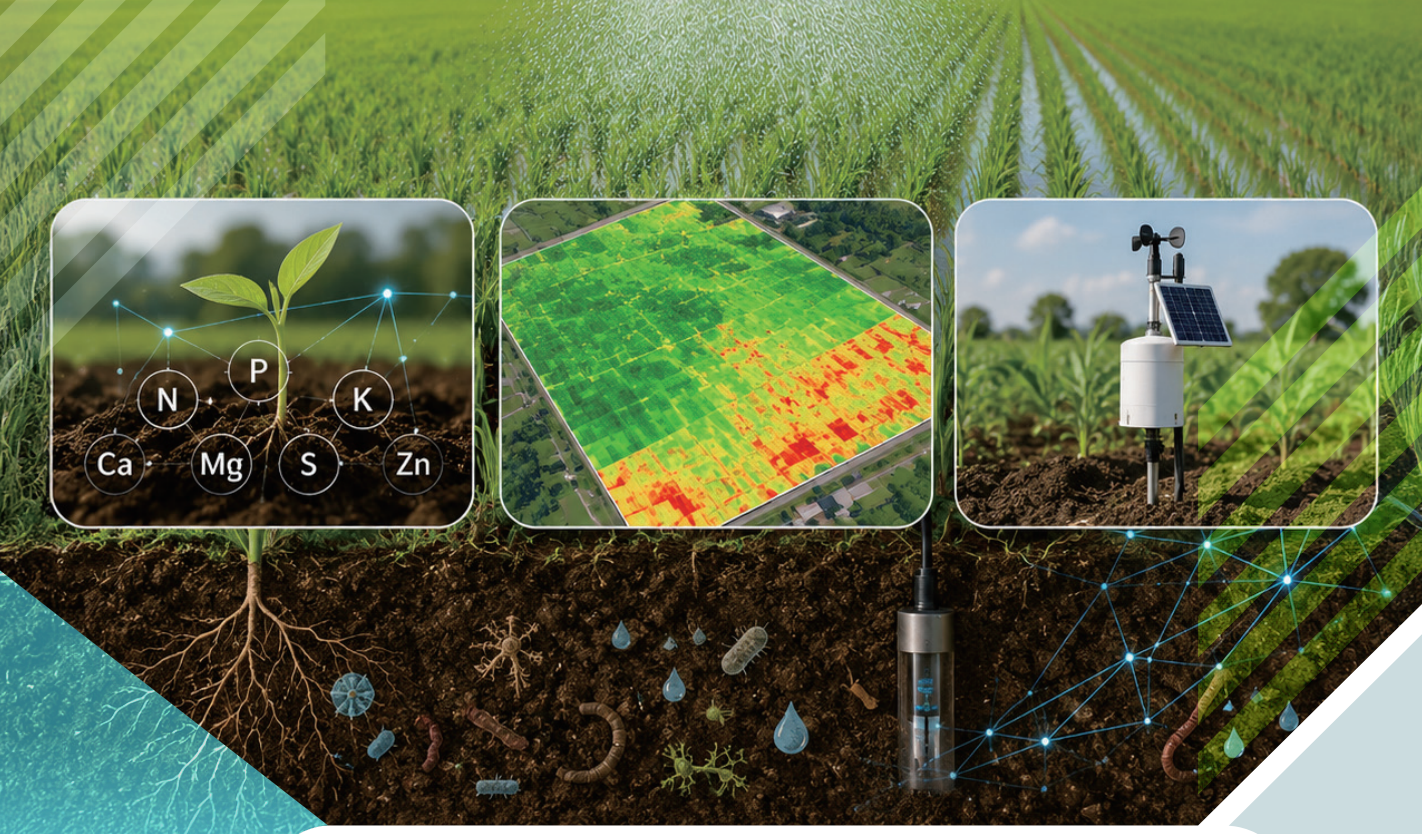


2026 한국토양비료학회

제58차 총회 및 국제학술대회

미래 기후회복력 강화를 위한
지능형 토양 모니터링 및 공학적 복원 기술

8. 26. WED - **28.** FRI **소노벨 변산 리조트**

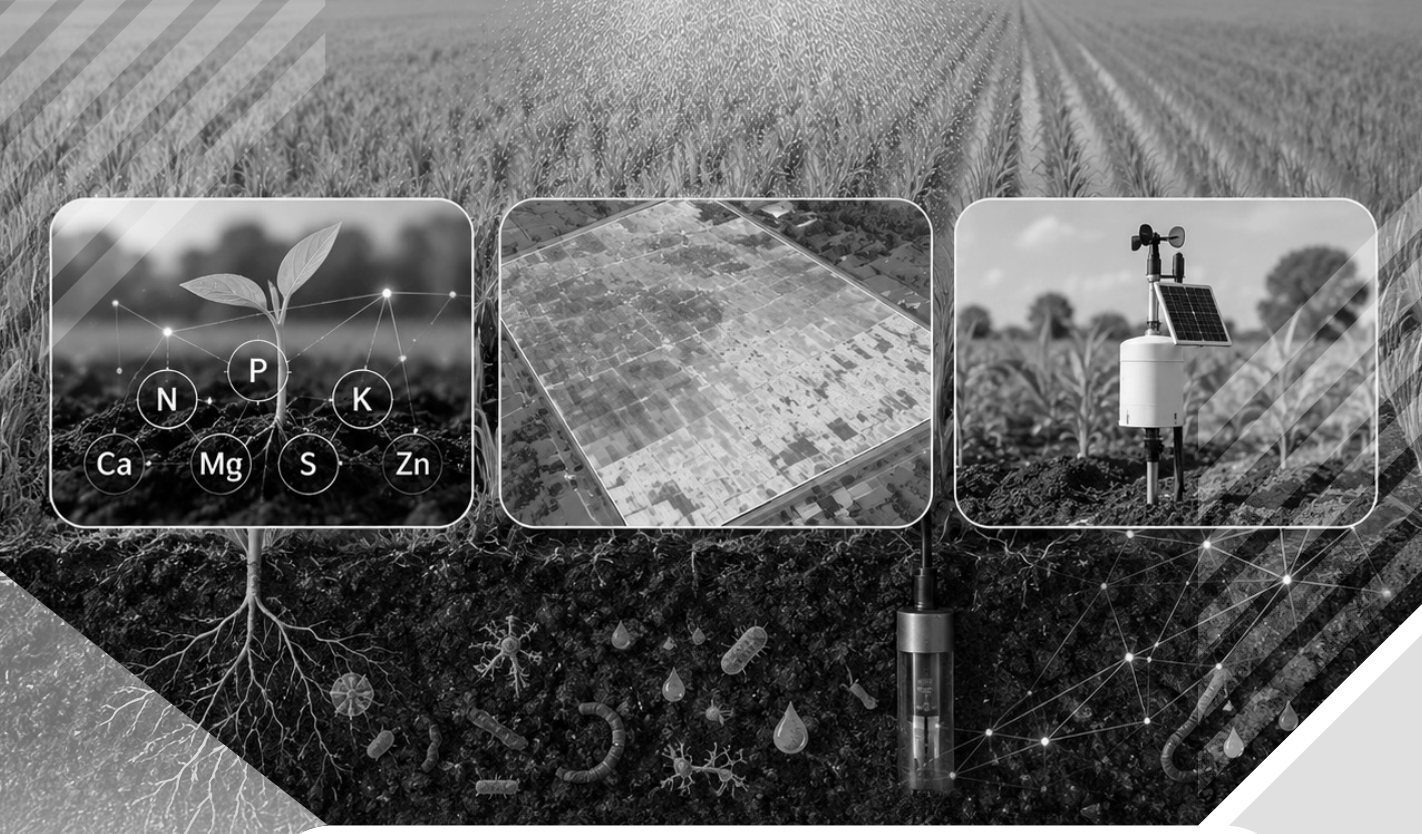
www.ksssf.org

주최 (사)한국토양비료학회
주관 (사)한국토양비료학회
농촌진흥청

사단법인 한국토양비료학회
Korean Society of Soil Science and Fertilizer

농촌진흥청

무기질비료
가성비 좋고, 안전하며,
효과적입니다.
KFA
한국비료협회
남해화학㈜ · ㈜조비 · ㈜팜한농 · ㈜풍농 · ㈜한국협화 · ㈜세기 · KG케미칼㈜



2026 한국토양비료학회

제58차 총회 및 국제학술대회

미래 기후회복력 강화를 위한
지능형 토양 모니터링 및 공학적 복원 기술

8. 26. WED - 28. FRI 소노벨 변산 리조트

www.ksssf.org

주최 (사)한국토양비료학회
주관 (사)한국토양비료학회
농촌진흥청

사단법인 한국토양비료학회
Korean Society of Soil Science and Fertilizer

농촌진흥청

This work is supported by the ‘Lottery Fund’ of the ‘Ministry of Strategy and Finance’ and the ‘Science and Technology Promotion Fund’ of the ‘Ministry of Science and ICT’, contributing to the realization of social value and the development of national science and technology.

개 회 사

함께 해주신, 존경하는 내외 귀빈 여러분, 그리고 한국토양비료학회 회원 여러분, 한국토양비료학회장 이승헌입니다.

청명한 8월, 이곳 소노벨 변산 리조트에서 '2026 한국토양비료학회 제58차 총회 및 정기국제학술대회'를 개최하게 된 것을 매우 기쁘게 생각하며, 바쁘신 일정 중에도 참석해 주신 모든 분께 진심으로 감사의 말씀을 드립니다.

최근 전 지구적인 기후위기 속에서 농업 환경을 보전하고 식량 안보를 지키기 위한 토양의 역할은 그 어느 때보다 중요해지고 있습니다. 이에 우리 학회는 올해 학술대회의 주제를 '미래 기후회복력 강화를 위한 지능형 토양 모니터링 및 공학적 복원 기술'로 정하고, 다가올 미래 환경 변화에 선제적으로 대응하기 위한 실질적인 지혜를 모으고자 합니다.

이번 학술대회는 학문적 깊이를 더하고 교류를 확장하는 다채로운 프로그램들로 채워져 있습니다. 기후회복력 강화를 위한 토양 건강성 연구와 ERW(Enhanced Rock Weathering) 기술 활용 등 최신 연구 동향을 심도 있게 다룰 예정입니다. 아울러, 2026 WCSS 제5차 국제토양조사경진대회 결과 보고를 통해 우리 학회의 역량을 되새기고, 일본 토양비료학회 및 중국 유기물학회 연구진 등과 함께하는 특별 세션을 통해 글로벌 연구 협력을 한층 강화할 것입니다.

또한, 우리 학회의 미래를 이끌어갈 신진 과학자와 대학원생들을 위한 발표 세션, 농업 연구·지도분야 채용설명회 및 취업 멘토링 프로그램, 그리고 논문작성 및 연구윤리 교육 등을 마련하였습니다. 원로 회원분들과 학생회원분들이 함께 어우러져 신구의 조화를 통한 학문의 지속성을 확보하는 뜻깊은 자리가 되기를 기대합니다.

모쪼록 3일간 진행되는 이번 학술대회가 연구자들과 현장 실무자들이 활발히 소통하고 지식과 경험을 나누는 학술 교류의 장이 되기를 바랍니다.

끝으로 이번 행사를 위해 애써주신 학회 관계자 여러분과 전시부스 등 후원하여 주신 기관과 기업에도 깊은 감사를 드립니다.

참석하신 모든 분의 건강과 소속 기관의 무궁한 발전을 기원합니다.

감사합니다.

2026년 8월 26일

한국토양비료학회장 **이 승 헌**

환 영 사

존경하는 한국토양비료학회 회원 여러분, 그리고 내외 귀빈 여러분. 안녕하십니까. 국립농업과학원 농업환경부장 정병우입니다.

먼저, 올해 한국토양비료학회 국제 학술 심포지엄의 개최를 진심으로 축하드리며, 바쁘신 일정 중에도 귀한 시간을 내어 참석해주신 전문가 여러분께 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

올해 심포지엄의 주제인 '회복력 강화를 위한 지능형 토양 모니터링 및 공학적 복원기술'은 기후위기와 극한 기상 현상이 일상화된 현시점에서 매우 시의적절하고 중요한 화두입니다. 건강한 토양은 지속 가능한 농업의 근간이자, 인류의 생존과 직결되는 핵심 자원입니다. 토양의 생태적 회복력을 높이기 위해 첨단 지능형 모니터링 기술을 도입하고, 훼손된 토양을 되살리는 공학적 복원기술을 연구하는 것은 우리 농업과 환경의 미래를 밝히는 필수적인 과제일 것입니다.

저희 국립농업과학원 농업환경부 역시 이러한 시대적 요구에 부응하여, 데이터 기반 토양 관리 시스템의 고도화와 더불어 토양 내 탄소 격리 및 온실가스 감축을 통한 국가 탄소중립 실현 연구에 매진하고 있습니다. 오늘 이 자리를 통해 발표될 국내외 훌륭한 연구 성과들은 저희 국립농업과학원의 향후 연구 방향에도 큰 영감과 시사점을 줄 것으로 기대합니다.

이번 국제 학술 심포지엄이 세계 각국의 최신 연구 동향을 공유하고, 국제적인 학술 교류와 협력 네트워크를 더욱 공고히 하는 뜻깊은 장이 되기를 희망합니다. 아울러 토양비료 분야의 학문적 발전과 현장 적용 기술의 도약을 이끄는 중요한 밑거름이 되기를 바랍니다.

끝으로, 이번 학술 심포지엄을 훌륭하게 준비해주신 한국토양비료학회 관계자 여러분의 노고에 다시 한번 깊은 감사를 드리며, 오늘 참석하신 모든 분들의 건승과 학회의 무궁한 발전을 기원합니다.

감사합니다.

2026년 8월 26일

국립농업과학원장 농업환경부장 **정 병 우**

❑ 일 자 : 2026년 8월 26일(수) ~ 8월 28일(금)
❑ 장 소 : 소노벨 변산 리조트
❑ 주 제 : 미래 기후회복력 강화를 위한 지능형 토양 모니터링 및 공학적 복원 기술
(Intelligent Soil Monitoring and Engineering-Based Soil Remediation Technologies for Strengthening Future Climate Resilience)

1일차: 2026. 8. 26.(수) **장소: GRAND BALLROOM I**

시간	발표 및 내용	사회자/좌장
10:00~	**등록**	이예진 (국립농업과학원)
11:30~12:30	**이사회** (장소 : 중식 포함 추후공지)	
13:00~13:30	**개회식 및 시상식** 개회사 : 이승헌(한국토양비료학회장) 환영사 : 정병우(국립농업과학원 농업환경부장) 시 상 : 토암상, 유공자 포상, 우수논문상, 우수심사자상, 동오농업과학기술인상, C&H학술상	
13:30~13:50	**2026 WCSS 제5차 국제토양조사경진대회 결과 보고** 박진희(충북대학교), 조기태(서울대학교)	
13:50~14:00	**휴식(coffee break)**	
14:00~14:25	Development of Soil Organic Carbon Sequestration Technologies to Enhance Climate Resilience 김필주(경상국립대학교)	이용복 (경상국립대학교)
14:25~14:50	Application of Enhanced Rock Weathering (ERW) Technology 최병영(한국지질자원연구원)	
14:50~15:15	Economic and Social Value of Engineered Restoration Technologies for Enhancing Future Climate Resilience and Policy and Institutional Directions 김태영(경상국립대학교)	
15:15~15:30	**휴식(coffee break)**	
15:30~15:55	Estimation of Atmospheric Carbon Dioxide Removal through Enhanced Rock Weathering 홍창오(부산대학교)	이승헌 (한국농어촌공사)
15:55~16:20	From Forest Sinks to Wetland Sources: Biogeochemical Controls on Ecosystem Methane Cycling 이재현(한국과학기술연구원)	
16:20~17:00	**종합토론** 박찬원(국립농업과학원), 이승헌(한국토양비료학회장), 국내 연사 등	
17:00~18:30	**취업 멘토링 프로그램** (장소 : EMERALD I) **농업 연구·지도분야 채용설명회 및 직업별 맞춤형 멘토링(소그룹 토의)** 정강호(농촌진흥청), 이미진(경상남도농업기술원), 이정수(충청남도농업기술원), 박창범(국가독성과학연구소), 이승헌(한국농어촌공사), 오승민(남해화학)	김상윤 (국립순천대학교) 윤학원 (강원대학교)
19:00~21:00	**젊은 토양학자의 모임** (장소 : 셀프가든)	

1일차: 2026. 8. 26.(수)
특별세션 A : 농업 인재양성 사업 프로그램 워크숍 **장소: EMERALD I**

시간	발표 및 내용	좌장
9:30~10:00	**제주도 화산회토양의 발달과 농업적 이용** 박원표(제주대학교)	최우정 교수 (전남대학교)
10:00~10:30	**농경지 토양에서 풍화촉진 기술 적용에 따른 CO_2 제거 효과** 김혁수(강원대학교)	
10:30~11:00	**농경지 토양건강성 평가와 지속가능한 양분관리 전략** 곽진협(전북대학교)	
11:00~11:30	**토양오염물질 인체 위해성 평가 방법 개요** 이군택(서울대학교)	

1일차: 2026. 8. 26.(수)

취업 멘토링 프로그램 **장소: EMERALD I**

시간	발표 및 내용	좌장/사회자
17:00-17:15	**농업·농촌 연구 및 지도 분야 채용설명회** 정강호(농촌진흥청), 이미진(경남도원), 이정수(충남도원)	김상윤 (국립순천대학교) / 윤학원 (강원대학교)
17:15~17:30	**국가독성과학연구소 채용설명회** 박창범(경남상생협력연구센터)	
17:30~17:45	**한국농어촌공사 채용설명회** 이승헌(농어촌연구원)	
17:45~18:00	**비료업체 채용설명회** 오승민(남해화학)	
18:00~18:30	**직업별 맞춤형 멘토링 소모임 활동**	

1일차: 2026. 8. 26.(수)

특별세션 B : 국가 농업환경 종합관리 기술개발 사업 워크숍 **장소: EMERALD II**

시간	발표 및 내용	좌장/발표자
09:00~09:10	**인사 말씀 및 진행안내**	**좌장 : 조남준 단장**
09:10~09:25	**국가 농업환경 종합관리 기술개발 사업관리 계획**	이선일(농촌진흥청)
	1부-내역1. 농업환경 모니터링 및 변동평가 기술개발	
09:25~09:30	비료 농약 사용실태조사, 농업환경자원 통합평가 기술 및 플랫폼 개발	이은진(국립농업과학원)
09:30~09:35	농경지 토양화학성 모니터링 및 변동평가 기술개발	
09:35~09:40	농경지 토양물리성 모니터링 및 변동평가 기술개발	조희래(국립농업과학원)
09:40~09:45	전국 대표필지 토양비옥도 평가 및 분석데이터 품질관리	김명숙(국립농업과학원)
09:45~09:50	농경지 토양미생물 모니터링 및 변동평가 기술개발	조경준(국립농업과학원)
09:50~09:55	전국 농경지 생물상 변동평가 및 지표 개발	공민재(국립농업과학원)
09:55~10:00	국가·지역단위 양분수지 영향평가 통합관리 기술개발	박혜진(국립농업과학원)
10:00~10:05	농경지 토양 잔류농약 모니터링 및 변동평가 기술개발	이효섭(국립농업과학원)
10:05~10:10	농업용수 잔류농약 모니터링 및 변동평가 기술개발	
10:10~10:15	농업용수 수질 모니터링 및 변동평가 기술개발	이병모(국립농업과학원)
10:15~10:20	농업용수 소유역 단위 수질환경 평가 및 친환경 정책 평가 체계 구축	전상민(국립농업과학원)
10:20~10:30	농업환경자원 평가 통합 플랫폼 고도화 방향	최규훈(위디비)
10:30~11:00	**종합토론**	
11:00~11:10	**휴식(coffee break)**	
	1부-내역2. 농업환경보전 정책지원 기술개발	
11:10~11:15	아열대 작물 비료사용기준 설정 및 양분공급 방법에 따른 비료처방 개선	이예진(국립농업과학원)
11:15~11:20	기후·토양을 고려한 과정기반 작물모형의 비료사용처방 기술 개발	이찬욱(국립농업과학원)
11:20~11:25	문제토양 개선을 위한 농경지 회복탄력성 및 현장진단·처방 고도화 기술 개발	정하일(국립농업과학원)
11:25~11:30	공익직불제·농업환경보전정책의 효과성 및 경제성 종합관리 기술개발	옥정훈(국립농업과학원)
11:30~11:50	**종합토론**	
	2부. 농업환경조사 결과를 활용한 친환경 농정 지원 기술개발	
14:00~14:10	**인사 말씀 및 진행안내**	**좌장 : 조남준 단장**
14:10~14:30	**농산물소득조사-토양검정자료 연계 분석을 통한 경제·사회·환경 가치평가 연구** 비료 농약 사용실태조사, 농업환경자원 통합평가 기술 및 플랫폼 개발	유도일(서울대학교)
14:30~14:50	**환경 및 농업 분야 간 양분수지 산정 및 관리지표 비교** 국가·지역단위 양분수지 영향평가 통합관리 기술개발	윤영만(한경국립대학교)
14:50~15:10	**농업환경 변동조사DB 활용성 제고를 위한 시공간적 통계분석 및 표준화 수질 평가** 농업용수 소유역 단위 수질환경 평가 및 친환경 정책 평가 체계 구축	김동현(전북대학교)
15:10~15:30	**변화이론을 바탕으로 한 농업환경지불금 평가 체계 구축** 공익직불제·농업환경보전정책의 효과성 및 경제성 종합관리 기술개발	성재훈(농촌경제연구원)
15:30~15:50	**종합토론**	

2일차: 2026. 8. 27.(목) **장소: GRAND BALLROOM I**

시간	발표 및 내용	사회자/좌장
09:00~09:20	**신진과학자 발표**(질의응답 포함) Correlation between Soil Properties and Soil Microbial Community in Wild-Simulated Ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer) Cultivation Sites 김기윤(충북대학교)	**윤학원** **(강원대학교)**
09:20~09:40	Adjusting Transplanting Dates as a Sustainable Strategy to Mitigate Methane Emissions and Mechanistic Insights in Mono Rice Paddy Ecosystems 이여명(국립농업과학원)	
09:40~10:00	Relationships of Woody Plant and Soil Fungal Functional Characteristics with Soil Organic Carbon Across Korean Forest Long-Term Ecological Research Sites 이해인(서울대학교)	
10:00~10:20	Digital Soil Mapping-based Prediction of Agricultural Soil Carbon Stocks and Biochar Application for Sequestration Enhancement 강윤구(충남대학교)	
10:20~10:40	Application of Phosphogypsum-Derived Hydrated Lime as an Additive for Composting 박병준(강원대학교)	
10:40~11:00	**휴식(coffee break)**	
11:00~12:00	**2분 스피치 포스터 발표 및 심사(A)** **Part1** (장소 : ROSE I) 좌장 : 김경민(서울대학교)/김권래(경상국립대학교)	**2분 스피치 포스터 발표 및 심사(B)** **Part1** (장소 : ROSE II) 좌장 : 박원표(제주대학교)/박진희(충북대학교)
12:00~13:00	**중식**	
13:00~15:10	**대학원생 구두발표A** (10편, 10분발표. 2분 질의응답) (장소: ROSE I) 좌장 : 김성철(충남대학교)/ 김영남(경북대학교)	**대학원생 구두발표B** (10편, 10분발표. 2분 질의응답) (장소: ROSE II) 좌장 : 곽진협(전북대학교)/ 김혁수(강원대학교)	**대학원생 구두발표C** (10편, 10분발표. 2분 질의응답) (장소: ROSE III) 좌장 : 민경진(서울대학교)/ 이창훈(한국농수산대학교)
15:10~15:30	**휴식(coffee break)**	
15:30~16:50	**분야별 구두발표1** (장소: ROSE I) 제1세션 : 작물생산 (토양구조, 물리성, 비옥도 등) 사회자/좌장 : 구현회(한경국립대학교)	**분야별 구두발표2** (장소: ROSE II) 제2세션 : 기후변화와 농업환경/최신분석 기법 (토양탄소, 기후변화, 농업환경, 모델링 등) 사회자/좌장 : 최우정(전남대학교)
16:50~18:00	**일반 포스터 발표 및 현장 심사** (장소 : B1, 1F) ※ 수상 신청자(2분스피치 포함)는 반드시 포스터 앞에 서 있어야 함 - 심사위원: 강세원(국립순천대학교)/성좌경(충북대학교)/정현철(국립농업과학원)	
18:30~20:30	**간친회** (장소 : GRAND BALLROOM)	

2일차: 2026. 8. 27.(목)

특별세션 C : 제6회 ITEA 포럼 **장소: EMERALD III**

시간	발표 및 내용	사회자/발표자
08:50~09:00	**등록**	사회자
09:00~09:05	**국민의례**	
09:05~09:10	**참석 내빈 소개**	
09:10~09:20	**개회사 및 환영사(사진 촬영)**	
09:20~10:00	**바이오차 활성화방안**	박대권 대표((주)유기산업)
10:00~10:30	**바이오차 외부사업**	이길재 팀장(한국농업기술진흥원)
10:30~10:40	**단상 정리 및 네트워킹**	
10:40~11:30	**패널토론 : "바이오차 외부사업 등록을 위한 방법론 및 기준설정"**	**좌장 : 윤석인 교수(원광대학교)**
11:30~12:00	**종합질의 및 청중 의견 수렴**	

2일차: 2026. 8. 27.(목)

특별세션 D : Korea-China Joint Symposium: Development of Technologies for Enhancing Soil Climate Resilience

장소: EMERALD III

시간	발표 및 내용	사회자/좌장
13:00~13:10	Opening Remarks	Sang Yoon Kim (국립순천대학교)
13:10~13:40	Spatial-Temporal Distribution and Changes of Soil Organic Matter in Northeast Black Soil Region of China Jingkuan Wang (Shenyang Agricultural University, China)	
13:40~14:10	Soil Component Interactions and Impacts on Organic Carbon Accumulation Qiaoyun Huang (Huazhong Agricultural University, China)	
14:10~14:40	Dilemma of Organic Matter Input to Mitigate the Climate Impact of Rice Paddies Pil Joo Kim (Gyeongsang National University, South Korea)	
14:40~15:10	The Dynamic Continuum of MAOM: Destabilization Mechanisms and Implications for Soil C Assessment Kyungmin Kim (Seoul National University, South Korea)	
15:10~15:40	Extracellular Polymeric Substances: Overlooked Contributors to Soil Organic Carbon Persistence Peng Cai (Huazhong Agricultural University, China)	
15:40~15:50	Tea Break	
15:50~16:20	Multiple Approaches to Estimate the Sources of Mineral-Associated Soil Organic Matter Fan Ding (Shenyang Agricultural University, China)	Pil Joo Kim (경상국립대학교)
16:20~16:50	Biochar as a Dual-Function Climate Solution: Integrating Carbon Sequestration and Soil Water Regulation for Climate Resilience Gayoung Yoo (Kyung Hee University, South Korea)	
16:50~17:20	Aggregation Counteracts Bacterial Decomposition to Facilitate Carbon Persistence under Combined Application of Lime and Organic Materials Chenchen Qu (Huazhong Agricultural University, China)	
17:20~17:35	Rice Paddy Soils have Greater Accumulation of Stable Organic Carbon than Upland Soils So Yeong Park (Gyeongsang National University, South Korea)	
17:35~17:50	Nondestructive Quantification of Soil Mineral Associated Organic Carbon (MAOC) Species and their Distribution at Global Scale Daxin Gao (Huazhong Agricultural University, China)	
17:50~18:00	Closing Ceremony	

2일차: 2026. 8. 27.(목)

특별세션 E : 15 Years after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident: Achievements in Agricultural Environmental Recovery and Future Challenges **장소: GRAND BALLROOM I**

시간	발표 및 내용	사회자/좌장
15:00~15:05	**개회사 및 인사말**	일본토양비료학회 회장 한국토양비료학회 회장
15:05~15:30	**Fukushima Prefecture Today: Reconstruction and Revitalization 15 Years after the Great East Japan Earthquake and Nuclear Disaster** Naoyuki Uenodai (Fukushima Prefecture) **Remaining Problems 15 Years after FDNPP Accident** Takuro Shinano (Hokkaido University)	
15:30~15:55	**Assessment and Control of the Risk of Radiocesium Transfer from Soil to Rice Using Nonexchangeable Potassium in Soil and Visual Inspection of Micaceous Minerals** Junta Yanai (Kyoto Prefectural University) **Application of Refined Transport Model to Estimate Long-Term Migration Behavior of ^{137}Cs in Andosols** Kazuki Hashii (Kyoto Prefectural University)	
15:55~16:35	**Countermeasures to Reduce Radiocesium Concentration in Brown Rice after the TEPCO's FDNPP Accident** Shigeto Fujimura (NARO, Tohoku Agricultural Research Center) **How Does Root Nodule Symbiosis Affect Cesium Dynamics in Leguminous Plants?** Kazuki Murashima (Hokkaido University) **Behavior of Radioactive Cesium in Irrigation Water and Efforts to Resume Farming Following the Fukushima Nuclear Disaster** Moono Shin (Fukushima University)	
16:35~16:55	**종합토론 및 질의응답**	
16:55~17:00	**폐회사**	일본토양비료학회 부회장

3일차: 2026. 8. 28.(금) **장소: GRAND BALLROOM I**

시간	발표 및 내용	사회자/좌장
09:30~10:15	**논문 작성법 및 연구 윤리 교육** (장소 : EMERALD III)	박현진(전남대학교)
	최신 분석 장비 소개 (장소 : GRAND BALLROOM I)	윤여욱(충청남도농업기술원)
10:30~11:30	**시상식 및 정기총회** 총회, 시상 : 학술발표상, 토양사랑사진전, 경품추첨 등	이예진(국립농업과학원)

○ 분야별 구두발표

2026. 8. 27.(목)

〈 제1세션 : 작물생산 〉 **장소: ROSE I**

시간	발표제목 (이름, 소속)	사회자/좌장
15:30~15:50	Soil Water Potential Threshold for Methane Mitigation and Yield Maintenance across Paddy Soils with Contrasting Textures 구현회(한경국립대학교)	구현회 (한경국립대학교)
15:50~16:10	Evaluation of Soil Physical Properties and Soybean Growth Variability in Korean Fields Using UAV Imagery and Soil Penetration Resistance Data Munehiro Ebato (NARO, Japan)	
16:10~16:30	Development of Planetary Regolith Simulants and Crop Cultivation Research for the Realization of Space Agriculture 김재환(한국지질자원연구원)	
16:30~16:50	Deciphering Chlortetracycline-Induced Nutrient Imbalance and Molecular Toxicity Mechanisms in Rice (*Oryza sativa* L.) through Integrated Multi-Omics Analysis 최현지(경상국립대학교)	

〈 제2세션 : 기후변화와 농업환경/최신분석 기법 〉 **장소: ROSE II**

시간	발표제목 (이름, 소속)	사회자/좌장
15:30~15:50	Nonlinear Responses of Soil Organic Carbon to Biochar Application Rates in Rice Paddies: A Data Synthesis and Future Challenges 최우정(전남대학교)	최우정 (전남대학교)
15:50~16:10	Securing Overseas Greenhouse Gas Mitigation for Korea's NDC through International Aid of Silicate Fertilizer: A Policy Application of the Dual-Wallet (Infrastructure Wallet - Carbon Wallet) Financing Methodology 이현우(에코싱크)	
16:10~16:30	Global Meta-Analysis of Rice Management Practices: Balancing Yield Optimization and Net Global Warming Potential Change 랄리테슈와리 바르드와즈(경상국립대학교)	
16:30~16:50	Effects of Long-Term Experimental Warming on Nitrogen Dynamics during Shoulder Seasons in Subarctic Heath Tundra 정지영(극지연구소)	

○ 대학원생 구두발표

2026. 8. 27.(목) 13:00~15:00

대학원생 구두발표 A: PA(생산), PC(기법) **장소: ROSE I**

시간	발표제목 (이름, 소속)	사회자/좌장
13:00~13:12	Extreme Legacy Phosphorus Accumulation in Agricultural Soils of South Korea: A Global Comparison of Plant-available Phosphorus 바쿠스 마 이사벨(경상국립대학교)	김성철 (충남대학교) / 김영남 (경북대학교)
13:12~13:24	Effects of Soil Organic Matter and Nitrogen Fertilization on Carbohydrate-Nitrogen Metabolism during Grain Filling in Rice 장유나(충북대학교)	
13:24~13:36	Temperature Effects on the Chemical Nature of Soil Phosphorus along an Elevation Gradient in Korean Forests: Sequential Fractionation and Solution ^{31}P NMR Spectroscopy 알렉산드라 베로니카 비 (경상국립대학교)	
13:36~13:48	Crop-Specific Variable-Rate Fertigation Improves Nitrogen Use Efficiency in Pepper and Carrot 김민지(충북대학교)	
13:48~14:00	Effect of Slope Construction for Drainage Improvement on Soil Physicochemical and Biological Properties in Reclaimed Tideland 이승범(전북대학교)	
14:00~14:12	Effects of Fertilizer Type and Application Method on Growth, Nitrogen use Efficiency, and Soil Chemical Properties in Open-field Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) Cultivation 송은수(전북대학교)	
14:12~14:24	Long-Term Nitrogen Additions Reduce Soil Microbial Respiration but Increase its Temperature Sensitivity 김현진(서울대학교)	
14:24~14:36	Temperature Responses of Soil Nitrogen Loss and Carbon Mineralization as Affected by Fertilizer Source and Rate 바코지키 다티브(전북대학교)	
14:36~14:48	Comparison of Minimum Dataset Selection and Scoring Methods for Soil Quality Assessment in Reclaimed and Upland Agricultural Soils 정호진(충남대학교)	
14:48~15:10	Machine Learning-based Soil Nutrient Prediction Model using Various Variable Selection Strategies 이승준(충북대학교)	

2026. 8. 27.(목) 13:00~15:00

대학원생 구두발표 B: PB(관리: 바이오차, 토양오염 및 정화) 장소: ROSE II

시간	발표제목 (이름, 소속)	사회자/좌장
13:00~13:12	Is Biochar Production and Application Better than Pepper Residue Incorporation for Enhancing Net Ecosystem Carbon Budget under Climate Change Conditions? 윤소희(국립순천대학교)	곽진협 (전북대학교) / 김혁수 (강원대학교)
13:12~13:24	Biochar Promotes Stable Soil Organic Carbon Accumulation with Limited Improvement in Soil Physical Properties 김근우(경상국립대학교)	
13:24~13:36	Assessment of Carbon Stabilization Mechanism of Biochars from Different Feedstocks Using Soil Organic Carbon Fractions 이정민(충남대학교)	
13:36~13:48	Trace Element-Dependent Effects of Biochar on Cadmium Stabilization and Nitrogen Biogeochemical Processes in Soybean-Cultivated Soil 이진주(서울대학교)	
13:48~14:00	Optimization of Poultry Manure Biochar Application for Kimchi Cabbage Cultivation 이창곤(국립순천대학교)	
14:00~14:12	Interactive Effects of Biochar Feedstock and Particle Size on Soil CO_2 and N_2O Emissions under Different Nitrogen Conditions 임민효(원광대학교)	
14:12~14:24	Enhanced Methane Mitigation in Abandoned Paddy Fields by the Application of Biochar and Silicate Fertilizer 신은서(전남대학교)	
14:24~14:36	Chemical Oxidation Using Rice Husk Biochar for Soil Health Restoration of Metalaxyl-Contaminated Soil 김민희(서울대학교)	
14:36~14:48	Enhancing Metalaxyl Remediation in Soil through the Synergistic Effects of Adsorption and Biofilm-Induced Biodegradation via Surface-Specific Modifications of Wood Biochar 김규리(서울대학교)	
14:48~15:10	Assessment of Nutrient Load Reduction by Furrow Vegetative Cover Using APEX Model 양예린(국립농업과학원)	

2026. 8. 27.(목) 13:00~15:00

대학원생 구두발표 C: PB(관리: 기후변화) **장소: ROSE III**

시간	발표제목 (이름, 소속)	사회자/좌장
13:00~13:12	Evaluation of Soil Organic Carbon Storage and Carbon Stability as Affected by Organic Matter Type in a Maize Field 이유나(국립농업과학원)	민경진 (서울대학교) / 이창훈 (국립한국농수산대학교)
13:12~13:24	Unexpected Increase in Soil Organic Carbon under Global Warming through Enhanced Root-Derived Carbon Inputs and Organo-Mineral Stabilization in Paddy Soil 서영호(경상국립대학교)	
13:24~13:36	Comparison of Greenhouse Gas Emissions between an Andisol and an Ultisol in Jeju Citrus Orchards 강태형(제주대학교)	
13:36~13:48	Effects of Rice Transplanting Density on CH_4 Emissions and Yield Characteristics 이준영(충남대학교)	
13:48~14:00	Feasibility of Pot Seedling Transplanting for Enhancing Annual Net Ecosystem Carbon Budget under Different Planting Densities in Paddy Ecosystems 이민경(국립순천대학교)	
14:00~14:12	Soil Organic Carbon Dynamics in Coastal Saline Paddies are Driven by Salinity-Mediated Microbial Processes Rather than Rice Biomass Inputs 박서우(전남대학교)	
14:12~14:24	Ethephon-Derived Ethylene Suppresses Methane Emissions through Broad Microbial Suppression and Shifts in Hydrogenotrophic Methanogens in Rice Paddy Soil 신호준(경상국립대학교)	
14:24~14:36	Evaluating the Nitrous Oxide Mitigation Potential of Steel Slag in Upland Soil through Iron-Mediated Regulation of Soil Nitrogen Cycling 김동현(부산대학교)	
14:36~14:48	Comparing the Effect of Liming Materials on Soil Organic Carbon Stabilization Between paddy and upland 하예람(경상국립대학교)	
14:48~15:10	Evaluation of Global Warming Potential and Rice Yield under Different Fertilization and Tillage Practices in Paddy Soil 김무성(부산대학교)	

○ **2분 스피치** (2분 발표, 질문 없음, 절대 시간 엄수!)

2026. 8. 27. (목) **장소: ROSE I, II**

순서	시 간	Part 1 (좌장 : 김경민, 김권래) 장소: ROSE I		Part 2 (좌장 : 박원표, 박진희) 장소: ROSE II	
		발표 번호	발표자(소속)	발표 번호	발표자
1	11:00~11:02	PA-081	신승주 (경상국립대학교)	PB-104	맹희주 (한경국립대학교)
2	11:03~11:05	PA-035	박민기 (서울대학교)	PB-103	임세훈 (서울대학교)
3	11:06~11:08	PB-101	이승환 (경북대학교)	PB-102	이동진 (경북대학교)
4	11:09~11:11	PB-099	정해진 (부산대학교)	PB-066	양지원 (서울대학교)
5	11:12~11:14	PA-077	임동욱 (국립순천대학교)	PB-100	김동희 (부산대학교)
6	11:15~11:17	PA-076	이지용 (전북대학교)	PA-078	오현정 (서울대학교)
7	11:18~11:20	PB-093	김채원 (원광대학교)	PB-098	이혜원 (부산대학교)
8	11:21~11:23	PA-074	왕상원 (경북대학교)	PB-097	파크마니쉬 파르바네 (전북대학교)
9	11:24~11:26	PA-073	김연호 (국립농업과학원)	PB-096	장가연 (국립순천대학교)
10	11:27~11:29	PA-072	서명철 (국립식량과학원)	PB-105	송시훈 (서울대학교)
11	11:30~11:32	PA-071	이인하 (국립식량과학원)	PB-094	박진환 (경상국립대학교)
12	11:33~11:35	PB-107	이창동 (경북대학교)	PA-075	정재은 (경북대학교)
13	11:36~11:38	PB-106	유주원 (강원대학교)	PB-092	박선민 (원광대학교)
14	11:39~11:41	PB-095	정현우 (국립순천대학교)	PB-091	이익형 (국립순천대학교)
15	11:42~11:44	PB-109	이진주 (서울대학교)	PB-110	조한희 (국립순천대학교)
16	11:45~11:47	PC-010	김정연 (충북대학교)	PB-108	이현민 (경상국립대학교)
17	11:48~11:50	PB-019	이태연 (전남대학교)	PC-001	이정찬 (서울대학교)
18	11:51~11:53	PB-007	김민선 (서울대학교)	PB-022	정재영 (서울대학교)
19	11:54~11:56			PB-064	이남희 (경상국립대학교)

CONTENTS

주 제 발 표

Development of Soil Organic Carbon Sequestration Technologies to Enhance Climate Resilience ····· 3
Pil Joo Kim*

Enhanced Rock Weathering (ERW) 기술의 활용 ····· 4
최병영*

미래 기후회복력 증진을 위한 공학적 복원 기술의 경제적·사회적 가치와 정책·제도적 추진 방향 ···· 5
김태영*

Estimation of Atmospheric Carbon Dioxide Removal through Enhanced Rock Weathering ····· 6
Chang Oh Hong*

From Forest Sinks to Wetland Sources: Biogeochemical Controls on Ecosystem Methane Cycling ····· 7
Jaehyun Lee*

취업 멘토링 프로그램

농업·농촌 연구 및 지도 분야 채용설명회
정강호, 이미진, 이정수

국가독성과학연구소 채용설명회
박창범

한국농어촌공사 채용설명회
이승헌

비료업체 채용설명회
오승민

신 진 과 학 자

Correlation between Soil Properties and Soil Microbial Community in Wild-Simulated Ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer) Cultivation Sites ····· 11
Kiyoon Kim*

Adjusting Transplanting Dates as a Sustainable Strategy to Mitigate Methane Emissions and Mechanistic Insights in Mono Rice Paddy Ecosystems ····· 12
Yeomyeong Lee, and Sang Yoon Kim*

Relationships of Woody Plant and Soil Fungal Functional Characteristics with Soil Organic Carbon Across Korean Forest Long-Term Ecological Research Sites ····· 13
Hae-In Lee*

Digital Soil Mapping-based Prediction of Agricultural Soil Carbon Stocks and Biochar Application for Sequestration Enhancement ····· 14
Yun-Gu Kang, Jun-Yeong Lee, Motohei Kanayama, Yeon-Kyu Sonn, Chang-Hoon Lee, and Taek-Keun Oh*

인산석고 기반 소석회의 퇴비보조제 활용 ····· 15
박병준, 남성현, 김혁수*

특 별 세 션 A

제주도 화산회토양의 발달과 농업적 이용
박원표

농경지 토양에서 풍화촉진 기술 적용에 따른 CO_2 제거 효과
김혁수

농경지 토양건강성 평가와 지속가능한 양분관리 전략
곽진협

토양오염물질 인체 위해성 평가 방법 개요
이군택

특 별 세 션 B

비료 농약 사용실태조사, 농업환경자원 통합평가 기술 및 플랫폼 개발
이은진

농경지 토양화학성 모니터링 및 변동평가 기술개발
이은진

농경지 토양물리성 모니터링 및 변동평가 기술개발
조희래

전국 대표필지 토양비옥도 평가 및 분석데이터 품질관리
김명숙

농경지 토양미생물 모니터링 및 변동평가 기술개발
조경준

전국 농경지 생물상 변동평가 및 지표 개발
공민재

국가·지역단위 양분수지 영향평가 통합관리 기술개발
박혜진

농경지 토양 잔류농약 모니터링 및 변동평가 기술개발
이효섭

농업용수 잔류농약 모니터링 및 변동평가 기술개발
이효섭

농업용수 수질 모니터링 및 변동평가 기술개발
이병모

농업용수 소유역 단위 수질환경 평가 및 친환경 정책 평가 체계 구축
전상민

농업환경자원 평가 통합 플랫폼 고도화 방향
최규훈

아열대 작물 비료사용기준 설정 및 양분공급 방법에 따른 비료처방 개선
이예진

기후·토양을 고려한 과정기반 작물모형의 비료사용처방 기술 개발
이찬욱

문제토양 개선을 위한 농경지 회복탄력성 및 현장진단·처방 고도화 기술 개발
정하일

공익직불제·농업환경보전정책의 효과성 및 경제성 종합관리 기술개발
옥정훈

농산물소득조사-토양검정자료 연계 분석을 통한 경제·사회·환경 가치평가 연구 ····· 19
문용식, 양주영, 정민식, 김대웅, 유도일*

환경 및 농업 분야 간 양분수지 산정 및 관리지표 비교 ····· 20
윤영만*

농업환경 변동조사DB 활용성 제고를 위한 시공간적 통계분석 및 표준화 수질 평가 ····· 21
김동현*, 김학관, 장태일, 송정헌

변화이론을 바탕으로 한 농업환경지불금 평가 체계 구축 ····· 22
성재훈*

특별세션C

바이오차 활성화방안
박대권

바이오차 외부사업
이길재

특별세션D

Spatial-Temporal Distribution and Changes of Soil Organic Matter in Northeast Black Soil Region of China ····· 25
Jingkuan Wang*

Soil Component Interactions and Impacts on Organic Carbon Accumulation ····· 26
Qiaoyun Huang*

Dilemma of Organic Matter Input to Mitigate the Climate Impact of Rice Paddies ····· 27
Pil Joo Kim*

The Dynamic Continuum of MAOM: Destabilization Mechanisms and Implications for Soil C Assessment ····· 28
Kyungmin Kim*

Extracellular Polymeric Substances: Overlooked Contributors to Soil Organic Carbon Persistence ····· 29
Peng Cai*

Multiple Approaches to Estimate the Sources of Mineral-Associated Soil Organic Matter ··· 30
Yi Chang, Sam Leuthold, Claudia Guidi, Jingkuan Wang, and Fan Ding*

Biochar as a Dual-Function Climate Solution: Integrating Carbon Sequestration and Soil Water Regulation for Climate Resilience ····· 31
Gayoung Yoo*, Inhye Seo, You Jin Kim, Jeehwan Bae, and Yonghui Jung

Aggregation Counteracts Bacterial Decomposition to Facilitate Carbon Persistence under Combined Application of Lime and Organic Materials ····· 32
Chenchen Qu*

Rice Paddy Soils have Greater Accumulation of Stable Organic Carbon than Upland Soils ····· 33
So Yeong Park, Song Rae Cho, Young Ho Seo, Hyeon Ji Song, and Pil Joo Kim

Nondestructive Quantification of Soil Mineral Associated Organic Carbon (MAOC) Species and their Distribution at Global Scale ····· 34
Daxin Gao*

특별세션 E

Fukushima Prefecture Today: Reconstruction and Revitalization 15 Years after the Great East Japan Earthquake and Nuclear Disaster ····· 37
Naoyuki Uenodai*

Remaining Problems 15 Years after FDNPP Accident ····· 38
Takuro Shinano*

Assessment and Control of the Risk of Radiocesium Transfer from Soil to Rice Using Nonexchangeable Potassium in Soil and Visual Inspection of Micaceous Minerals ····· 39
Junta Yanai*, Atsushi Nakao, Kohei Kurokawa, Ayano Nakajima, and Takuro Shinano

Application of Refined Transport Model to Estimate Long-Term Migration Behavior of ^{137}Cs in Andosols ····· 40
Kazuki Hashii*, Atsushi Nakao, Kosuke Noborio, Hiroaki Kanno, Yuki Fujita, and Junta Yanai

Countermeasures to Reduce Radiocesium Concentration in Brown Rice after the TEPCO's FDNPP Accident ····· 41
Shigeto Fujimura*

How Does Root Nodule Symbiosis Affect Cesium Dynamics in Leguminous Plants? ····· 42
Kazuki Murashima*, Nao Okuma, Hayato Maruyama, Toshihiro Watanabe, and Takuro Shinano

Behavior of Radioactive Cesium in Irrigation Water and Efforts to Resume Farming Following the Fukushima Nuclear Disaster ····· 43
Moono Shin*

구 두 발 표

OS-01 Soil Water Potential Threshold for Methane Mitigation and Yield Maintenance across Paddy Soils with Contrasting Textures ····· 47
Tae-Il Moon*, and Hyun-Hwoi Ku

OS-02 Evaluation of Soil Physical Properties and Soybean Growth Variability in Korean Fields Using UAV Imagery and Soil Penetration Resistance Data ····· 48
Munehiro Ebato*, Dong-Hyeok Gong, and Chi- Yong An

OS-03 우주농업 실현을 위한 행성 모사토 개발 및 작물 재배 연구 ····· 49
김재환*

OS-04 Deciphering Chlortetracycline-Induced Nutrient Imbalance and Molecular Toxicity Mechanisms in Rice (*Oryza sativa* L.) through Integrated Multi-Omics Analysis ····· 50
Hyeonji Choe, Hadjer Chohra, Vimalraj Kantharaj, Seung Ju Shin, and Yong Bok LEE*

OS-05 Nonlinear Responses of Soil Organic Carbon to Biochar Application Rates in Rice Paddies: A Data Synthesis and Future Challenges ····· 51
Husna Israt Pia, Nuri Baek, Seo-Woo Park, Eun-Seo Shin, Tae-Yeon Lee, Hyun-Jin Park, Jin-Hyeob Kwak, and Woo-Jung Choi*

OS-06 규산질비료의 국외 원조를 통한 국가온실가스 해외감축 확보 전략 – 이원조달(인프라월렛, 탄소월렛) 방법론의 정책적 활용을 중심으로 – ····· 52
이현우, 강기경*, 이귀재

OS-07 Global Meta-Analysis of Rice Management Practices: Balancing Yield Optimization and Net Global Warming Potential Change ····· 53
Laliteshwari Bhardwaj*, and Pil Joo Kim

OS-08 장기 온난화가 아북극 히스 툰드라의 전이계절 질소 동태에 미치는 영향 ····· 54
전지현, 에밀 알렉산더 셔먼 안데르센, 정수정, 남성진, 김진현, 앤더스 미켈슨, 정지영*

대학원생 구두발표

01 Extreme Legacy Phosphorus Accumulation in Agricultural Soils of South Korea: A Global Comparison of Plant-available Phosphorus ····· 57
Ma. Isabel Bacus*, Pil-Joo Kim, Benjamin Turner, Aleksandra Bielnicka, So Yeong Park, Seulbi Lee, and Young Ho Seo

02 Effects of Soil Organic Matter and Nitrogen Fertilization on Carbohydrate–Nitrogen Metabolism during Grain Filling in Rice ····· 58
CHANG YUNA, and Jwakyung Sung*

03 Temperature Effects on the Chemical Nature of Soil Phosphorus along an Elevation Gradient in Korean Forests: Sequential Fractionation and Solution ^{31}P NMR Spectroscopy ····· 59
Aleksandra Bielnicka*, So Yeong Park, Pil Joo Kim, and Benjamin Turner

04 Crop–Specific Variable–Rate Fertigation Improves Nitrogen Use Efficiency in Pepper and Carrot ····· 60
Minji Kim, Jwakyung Sung*, Sunyoung Lee, Yuna Chang, Kangwoo Lee, Jeongju Lee, and Jihyeok Yun

05 간척지 배수 개선을 위한 경사 조성이 토양 이화학성 및 생물학적 특성에 미치는 영향 ·· 61
이승범, 송은수, 이광승, 곽진협*

06 비종 및 시비 방법이 노지 생강의 생육 및 질소이용효율, 토양 화학성에 미치는 영향 ·· 62
송은수, 이승범, 바코지키다티브, 서병환, 손정우, 곽진협*

07 Long–Term Nitrogen Additions Reduce Soil Microbial Respiration but Increase its Temperature Sensitivity ····· 63
Hyunjin Kim, Jeongchan Lee, and Kyungjin Min*

08 Temperature Responses of Soil Nitrogen Loss and Carbon Mineralization as Affected by Fertilizer Source and Rate ····· 64
Dative Bakoziki, Seung-Beom Lee, Eun-Su Song, and Jin-Hyeob Kwak*

09 간척지 및 밭토양의 토양질 평가를 위한 MDS 선정 및 점수화 방법 ····· 65
정호진, 김성철*, 홍영규, 김진욱, 이정민

10 Machine Learning–based Soil Nutrient Prediction Model using Various Variable Selection Strategies ····· 66
Seung Jun Lee, and Jin Hee Park*

11 Is Biochar Production and Application Better than Pepper Residue Incorporation for Enhancing Net Ecosystem Carbon Budget under Climate Change Conditions? ·· 67
Sohee Yoon, Yeomyeong Lee, Mun Hyeong Park, Chang-Hoon Lee, and Sang Yoon Kim*

12 Biochar Promotes Stable Soil Organic Carbon Accumulation with Limited Improvement in Soil Physical Properties ····· 68
Keun Woo Kim, and Pil joo Kim*

13 토양 유기탄소 분획을 이용한 바이오차 원료별 탄소 안정화 메커니즘 평가 ····· 69
이정민, 홍영규, 김진욱, 정호진, 김성철*

14 Trace Element–Dependent Effects of Biochar on Cadmium Stabilization and Nitrogen Biogeochemical Processes in Soybean–Cultivated Soil ····· 70
Jin Ju Lee, Ji Won Yang, Min Hui Kim, Gyu Ri Kim, Jae Hee Shin, and Goontaek Lee*

15 배추 재배를 위한 계분 바이오차 최적 시용 조건 선정 ····· 71
이창곤, 송지민, 이익형, 조한나, 강세원*

16 Interactive Effects of Biochar Feedstock and Particle Size on Soil CO_2 and N_2O Emissions under Different Nitrogen Conditions ····· 72
Min-Hyo Lim, Chae-Won Kim, Seon-Min Park, and Seok-In Yun*

17 Enhanced Methane Mitigation in Abandoned Paddy Fields by the Application of Biochar and Silicate Fertilizer ····· 73
Eun-Seo Shin, Nuri Baek, Seo-Woo Park, Tae-Yeon Lee, Pia Husna Israt, and Woo-Jung Choi*

18 Chemical Oxidation Using Rice Husk Biochar for Soil Health Restoration of Metalaxyl–Contaminated Soil ····· 74
Minhui Kim*, Goontaek Lee, Jinju Lee, Jeewon Yang, Gyuri Kim, and Jaehee Shin

19 Enhancing Metalaxyl Remediation in Soil through the Synergistic Effects of Adsorption and Biofilm–Induced Biodegradation via Surface–Specific Modifications of Wood Biochar ····· 75
김규리*

20 APEX 모델을 이용한 고랑식생피복의 양분 유출 부하량 저감 평가 ····· 76
양예린*, 엽소진, 이병모, 이종문, 오부영

21 옥수수 재배지에서 유기물 종류에 따른 토양유기탄소 저장 및 안정성 평가 ····· 77
이유나, 김신실, 김경영, 황선아, 전상호, 김성헌*

22 Unexpected Increase in Soil Organic Carbon under Global Warming through Enhanced Root–Derived Carbon Inputs and Organo–Mineral Stabilization in Paddy Soil ····· 78
YoungHo Seo, and PilJoo Kim*

23 제주 감귤원 Andisol과 Ultisol의 온실가스 배출 특성 비교 ····· 79
강태형, 강다현, 신우성, 박원표*

24 벼 이앙밀도 변화에 따른 CH_4 배출량 및 수량 특성 평가 ····· 80
이준영, 강윤구, 이성학, 오택근*

25 Feasibility of Pot Seedling Transplanting for Enhancing Annual Net Ecosystem Carbon Budget under Different Planting Densities in Paddy Ecosystems ····· 81
Mingyeong Lee, Yeomyeong Lee, Sohee Yoon, Gayeon Jang, Donguk Lim, and Sang Yoon Kim*

26 Soil Organic Carbon Dynamics in Coastal Saline Paddies are Driven by Salinity–Mediated Microbial Processes Rather than Rice Biomass Inputs ····· 82
Seo-Woo Park, Nuri Baek, Eun-Seo Shin, Tae-Yeon Lee, and Woo-Jung Choi*

27 Ethephon–Derived Ethylene Suppresses Methane Emissions through Broad Microbial Suppression and Shifts in Hydrogenotrophic Methanogens in Rice Paddy Soil ····· 83
Shin Ho Jun, and Pil Joo Kim*

28 Evaluating the Nitrous Oxide Mitigation Potential of Steel Slag in Upland Soil through Iron–Mediated Regulation of Soil Nitrogen Cycling ····· 84
Dong Hyun Kim, and Chang Oh Hong*

29 Comparing the Effect of Liming Materials on Soil Organic Carbon Stabilization Between paddy and upland ····· 85
Ye Ram Ha, and Pil Joo Kim*

30 Evaluation of Global Warming Potential and Rice Yield under Different Fertilization and Tillage Practices in Paddy Soil ····· 86
Mu seong Kim, and Chang oh Hong*

포스터 발표

PA–001 Temporal Changes in Soil Properties and Evaluation of Agricultural Utilization Potential in Section 1 of the Saemangeum Reclaimed Land, Korea ····· 89
Banghun Kang*, Kwang-Seung Lee, Hyeoun-Suk Cho, Haksung Lee, and Jin Jung

PA–002 1 Mpa 압축스프링 탐침봉을 이용한 작토심 측정방법 ····· 90
이미진*, 허재영, 제희정, 이영한

PA–003 과수원 토양물리성 현황 및 변동 평가 ····· 91
조희래*, 옥정훈, 손정우, 조송래

PA–004 논 전환 밭 참깨 재배 시 땅속배수가 지하수위, 토양수분 및 참깨 수량에 미치는 영향 ·· 92
공동혁*, 최만수, 류종수, 전현정, 이상훈, 서진희

PA–005 논 전환 밭 참깨 재배시 비닐멀칭이 토양 온도·수분 환경 및 수량에 미치는 영향 ····· 93
공동혁*, 최만수, 류종수, 전현정, 이상훈, 서진희

PA–006 토양 건조–재습윤(Drying–Rewetting) 반복에 따른 SWRC 동적 지표 수립 및 바이오차 개량 토양을 통한 적용성 평가 ····· 94
정용희, 신영서, 김은솔, 김유진, 김진현, 서인혜, 유가영*

PA-007 Evaluation of Soil Physical Properties of Greenhouse Late-Maturing Citrus Orchards in Gyeongnam Province, Korea ····· 95
Mi-Jin Lee*, Jae-Young Heo, Hee-Jeong Je, Young-Han Lee, and Jin Hyang Son

PA-008 토성 분포면적을 고려한 시군단위 밭 토양 총 유효수분량 산정 ····· 96
조희래*, 허승오, 이세인, 최정미

PA-009 논에서 암거배수와 심토파쇄가 쪽파와 배추의 생육 및 수량에 미치는 영향 ····· 97
정승탁*, 임태준, 강병은

PA-010 강원지역 밭 토양의 물리적 특성 및 변동 ····· 98
홍성유*, 허수정, 김희연, 홍수영, 김동민

PA-011 Long-Term Compost Application Sustains Maize Yield and Improves Soil Quality Despite Lower Apparent N Recovery than Inorganic Fertilizer ····· 99
hyun Young Hwang*, Sang Min Lee, Yeomyeong Lee, Yeon Ho Kim, and Sung Jun Hong

PA-012 생분해 수지 코팅 완효성 비료의 양배추 재배 적용 효과 ····· 100
오민아*, 이용우, 이서영, 김효정, 고순보

PA-013 제주 서부지역 양파 재배에서 토양검정 기반 적정시비의 현장적용 ····· 101
오민아*, 이용우, 고정연, 이서영, 김효정, 고순보

PA-014 Aggregate Size Dependent Responses of Humic Aicd Formation and Compostion to Soil Amendments ····· 102
Jong-Hoon Lim, Na-Hyun Kwon, and Jeong-Gu Lee*

PA-015 노지 밭작물 생강의 생육단계별 물 필요량 산정 기준 설정 ····· 103
서병환*, 손정우, 옥정훈

PA-016 Evaluation of Nutrient Leaching and Nutrient Balance in Garlic (*Allium sativum* L.) Cultivation under Different Soil Textures and Mulching Treatments Using Weighing Lysimeters ····· 104
Danbi Lee, DongHyeon Kim, JeongWoo Son, and JungHun Ok*

PA-017 Long-Term Changes in Soil Physical Properties by Land-Use Type and Soil Layer in Agricultural Soils of Gyeongbuk, Korea ····· 105
Yeongyu Jeong*, Myeonghwan Jang, Hyerin Jeong, and Yeongjin Seo

PA-018 Estimation of the Water Balance during Garlic (*Allium sativum* L.) Cultivation Using Upland-Soil Weighable Lysimeters ····· 106
Dong-Hyun Kim, Jung-Hun Ok*, Ean-Bi Lee, and Jeong-Woo Son

PA-019 Characteristics of Saturated Hydraulic Conductivity by Soil Horizons in the Saemangeum and Yeongsangang Reclaimed Land ····· 107
Se-In Lee, Kwangseung Lee*, Haksung Lee, Seung-hyun Ahn, Hyeounsuk Cho, Seoyoung Jeong, Gunho Jung, and Banghun Kang

PA-020 **새만금간척지에서 풋거름작물 재배방법이 풋거름작물의 양분생산량에 미치는 효과** … 108
조현숙*, 신영태, 이학성, 이광승

PA-021 **충남지역 과수원 토양 물리성 현황** …… 109
이정수*, 이진일, 윤여욱, 김선중, 이정, 조희래

PA-022 Effects of Vertical Drainage as a Complementary Component of Subsurface Drainage on Soil Water properties and Crop Productivity …… 110
Hyen Chung Chun*, Seong Min Moon, DongHyeok Gong, Jinhee Seo, Mansoo Choi, and Sanghoon Lee

PA-023 Classification of Phosphorus Deficiency and Estimation of Phosphorus Concentration in Rice Using RGB Color Indices …… 111
박수연, 이정주, 성좌경*, 윤지혁, 김민지, 이재준, 박인서

PA-024 **대기질소 비료화 기술의 소규모 실증: 옥수수 노지 적용 사례** …… 112
송종석*, 양건우, 홍용철

PA-025 Classification of Nitrogen Deficiency and Estimation of Plant Nitrogen Concentration in Rice Using RGB Color Indices …… 113
Jiyun Jung, Seon-A Lee, Kangwoo Lee*, Yuna Chang, Sunyoung Lee, Jae-Jun Lee, Inseo Park, and Jwakyung Sung

PA-026 Soil Fertility Assessment and Nutrient Management Strategies for Upland Soils in Gangwon State …… 114
Sooyoung Hong*, Dongmin Kim, Seongyu Hong, Heeyeon kim, Sujeong Heo, Kisun Kim, and Teagu Lee

PA-027 **충남지역 과수원 토양 화학성 현황** …… 115
이정수*, 이진일, 윤여욱, 김선중, 이정, 이은진

PA-028 **토양검정 비료추천을 위한 작물별 비료 추천 계수 유형 분류** …… 116
이예진*, 이찬욱, 박혜진, 송요성

PA-029 **쪽파(*Allium wakegi*) 수경재배 양액조성 필수원소의 과잉·결핍 처리에 따른 생육반응 및 양분흡수 특성** …… 117
김선중*, 이정수, 윤여욱, 김관후, 정종태

PA-030 Effects of Livestock Manure Biochar Application on Soybean Growth and Soil Propertie …… 118
Hye-Rin Jeong*, Myeong-Hwan Jang, Yeong-Gyu Jeong, Yun-Kyung Kim, Jun-Young Lee, Young-Jin Seo, and Eun-Jin Lee

PA-031 **2026년 과수원 토양 화학성 모니터링 및 건강성 평가체계 구축 방향** …… 119
이은진*, 김명숙, 이단비, 정하일, 조남준

PA-032 수분해성 원소 황 비료의 토양 pH 감소 효과 ····· 120
문정환*, 한민수, 박승환

PA-033 Relative Contribution Rate on Soil Physio-Chemical Properties Related to Fruit Quality of 'Arisoo' Apple ····· 121
Tae Jun Lim*, Seong Tak Jung, and Byeong Eun Kang

PA-034 Soil Fertility Status and Priorities for Nutrient Management in Selected Organic Paddy Fields of Chungcheongbuk-do ····· 122
Dong Geun Lee*, Ji Yoon Yoo, Kwan-Woo Lee, Kyung Ok Kim, Hyo-Jung Kang, Jiwon Do, and Jae-Hyeong Lee

PA-035 Biodegradable Mulch Improves Soil Physicochemical and Biological Properties During the Growing Season, but not After Post-Harvest Tillage ····· 123
Mingi Park, and Kyungjin Min*

PA-036 Crop Productivity and Nutrient use Efficiency of *Allium hookeri* in Response to NPK Fertilization Levels ····· 124
Hee-Jeong Je*, Mi-Jin Lee, Jae-Young Heo, Young Han Lee, and Yejin Lee

PA-037 경축순환농업 추진단지에서 가축분퇴비 시용이 논토양 화학성 및 벼 생육·수량에 미치는 영향 ····· 125
서재순*, 정재원, 안희정, 장재은, 소호섭, 박중수

PA-038 Available Phosphorus as a Central Linker to Spatially Variable Soil Bulk Properties and Chemical Properties in Suburban Orchards ····· 126
Pros Khok*, Yehun Lee, Eunjin Lee, Jeeyoon Kim, and Gwang Hyun Han

PA-039 KCl Loading into Zeolites for Environmentally Benign Slow-Release K Source ····· 127
Taw-Wook Choi, Dae-Eon Geum, Seung-Won Lee, Sang-Won Wang, Dong-Gyu Kim, Hyeon-Jun Park, Woo Taik Lim, and Man Park*

PA-040 Sulfide-Occluded Zeolite 3A as a Potential K and S Nutrient Source ····· 128
Seung-Won Lee, Dae-Eon Geum, Jeong-Hun Jang, Woo Taik Lim, and Man Park*

PA-041 트리티케일 출수 후 환원 시기에 따른 바이오매스 및 양분 환원 특성 ····· 129
이영돈, 박충배, 한은정, 이슬비*

PA-042 GroMore® 프로그램의 벼 생산성과 메탄 유래 온실가스 배출집약도 평가 (국가 지정 비료시험연구기관의 현장실증 및 환경성 평가 산학협력 사례) ····· 130
전경식, 맹희주, 김낙겸, 구현회*

PA-043 바이오차 원료 및 투입 수준에 따른 토양 내 양분 방출 특성과 인(P) 이용성 평가 ··· 131
이정민, 홍영규, 김진욱, 정호진, 김성철*

PA-044 유기농법을 시행한 기간에 따른 토양 내 양분 함량 변화 ····· 132
홍영규, 김진욱, 이정민, 정호진, 김성철*

PA-045 가뭄 및 과습 조건에서 시비 처리가 콩의 생육 및 양분 흡수에 미치는 영향 ····· 133
강다현, 강태형, 신우성, 박원표*

PA-046 고로슬래그 시용에 따른 밭토양 특성 및 상추 생육 반응 ····· 134
이태한, 정석순, 남성현, 김혁수*

PA-047 시설작물(시금치, 토마토, 풋고추) EC 분포 및 수량에 미치는 영향 ····· 135
김명숙*, 이은진, 이태구, 정하일

PA-048 충북지역 논토양에서 비료의 장기연용 효과 시험(1998~2025) ····· 136
진미지*, 조도연, 김선국, 윤향식

PA-049 소면적 재배 작물 근대의 토양검정에 의한 비료사용처방 기준설정 ····· 137
소호섭*, 안희정, 이정혜, 장재은, 서재순, 정재원, 이예진, 박중수

PA-050 제주지역 '감평' 재배농가의 시비 실태 및 토양 화학성과 잎 양분 함량 간의 관계 ···· 138
이용우*, 김효정, 고윤정, 오민아, 고정연, 이서영, 고순보

PA-051 농업환경변동조사 자료를 활용한 농경지 이용형태별 토양비옥도 변화 평가 ····· 139
윤정환*

PA-052 뿌리작물 재배 시 바이오차의 비료 저감효과 ····· 140
김동민*, 홍수영, 홍성유, 김희연, 허수정, 김기선

PA-053 생분해성 완효성 비료 처리 수준에 따른 고추 생육 및 질소 이용 효율 평가 ····· 141
홍영규*, 박혜진, 이찬욱, 이예진, 김명숙

PA-054 Biochar Enhances Fe and Zn Biofortification and Modulates *ZIP* Transporter Gene Expression in Kimchi Cabbage ····· 142
Periyasamy Rathinapriya, Tae-Jun Lim, Byeongeun Kang, and Seung Tak Jeong*

PA-055 Effects of Combined Organic and Inorganic Fertilization on Soil Enzyme Activities during Paddy-to-Soybean Conversion ····· 143
Lakmini T. Godagedara, Ju Young Cho, Dae Hyeon Kim, Seung Ju Shin, and Yong Bok Lee*

PA-056 배추 재배에서 바이오차 시용에 따른 토양검정 비료추천량과 생육 변화 ····· 144
안진희*, 이찬욱, 박혜진, 이예진

PA-057 부산석고 처리가 가축분뇨 퇴비화 중 암모니아 저감 및 퇴비 품질개선에 미치는 영향 평가 ····· 145
석영주*, 오영아, 박병준, 남성현, 유지은, 황조은, 김혁수

PA-058 충북지역 밭 토양 화학적 변화 특성 ····· 146
조도연*, 진미지, 윤향식

PA-059 강원지역 농경지 토양화학성 변화(1999~2025) ····· 147
허수정*, 김희연, 홍수영, 홍성유, 김동민, 김기선, 이은진

PA-060 완효성비료 처리 수준별 고추의 생육반응 및 양분 이용 효율 평가 ····· 148
김우진*, 박혜진, 이찬욱, 이예진, 홍영규

PA-061 지역단위 양분관리를 위한 작물생산성 기준 양분수지 지표 개발 방법론 ····· 149
서예본, 이재성, 신효진, 윤영만*

PA-062 지역별 토양특성에 따른 사과 생리장해 및 품질특성 비교 ····· 150
박형진, 조송래*, 서병환, 이단비, 옥정훈

PA-063 Effects of Nitrogen Top Dressing on the Physiological Traits and Yield of Soybean in Nutrient-Heterogeneous Sandy Reclaimed Land ····· 151
Jeongmin Lee, Hyeoun-Suk Cho, Hyeonsoo Jang, Jwakyung Sung, and Gun-Ho Jung*

PA-064 Effects of Deep Fertilizer Placement on Nitrogen Losses, Soybean Growth and Productivity ····· 152
Seong Min Moon, Dong Hyeok Gong, Jin Hee Seo, Man Soo Choi, Min Su Jeong, Yoon Ha Kim, Jong Hwan Park, and Hyen Chung Chun*

PA-065 Assessment of Blast Furnace Slag as a Partial Replacement for Commercial Peat-Based Growing Media for Cucumber Seedlings ····· 153
Chanjin Park, Hyerin Lee, and Hakwon Yoon*

PA-066 논토양 유효인산 함량에 따른 인산 시비가 콩 수량과 근류 형성에 미치는 영향 ····· 154
김대현, 최현지, 조주영, 신승주, 고다게다라 고다얄라게다라 라크미니, 이용복*

PA-067 새만금간척지에서 질소 시비수준에 따른 트리티케일의 생육과 종실수량 ····· 155
김민창, 장현수, 강방훈, 정서영, 전지원, 안승현*

PA-068 목질계 바이오차 시용에 따른 노지 고추 생육 및 토양환경 변화 ····· 156
박지은*, 염규생, 김지희, 송기중

PA-069 지형 및 과종에 따른 전북지역 과수원 토양의 화학성 변동 특성 분석 ····· 157
박나영*, 엄미정, 김용준, 최병진, 장영환, 최소라, 이은진

PA-070 2,3-부탄디올 토양 처리가 염 스트레스 하 상추의 생육 및 생리활성에 미치는 효과 ··· 158
황지은, 한상우, 이금아, 김채연, 이도균, 도윤아, 김덕기, 유혜진, 김용환, 이동석, 김영남*

PA-071 최근 기상패턴을 모의한 과습 및 가뭄 조건에서 감자 재배 토양의 수분 동태: 다중 토양환경 센서 기반 평가 ····· 159
이인하, 전다솜*, 배희수, 서명철, 상완규, 권동원, 임우진, 장성율, 조정일, 정남진

PA-072 공공기상 API와 연동한 노지 작물 농경지 토양수분 예측 모델 프로그램 개발 ····· 160
서명철*, 권동원, 장성율, 임우진, 전다솜, 상완규

PA-073 호밀(*Secale cereale* L.) 피복이 유기농 전환기 포도 과수원의 양분 순환 및 토양 건강성에 미치는 영향 ····· 161
김연호, 이여명, 이상민, 홍성준, 황현영*

PA-074 Fe-complexed Urea-Formaldehyde as N and Fe Slow-Release Fertilizer ····· 162
Sang-Won Wang, Dae-Eon Geum, Tae-Wook Choi, Seung-Won Lee, Hyeon-Jun Park, Woo Taik Lim, and Man Park*

PA-075 Synthetic Sludge Emerges as a Salinity-Resilient Circular Fertilizer Sustaining Nutrient Supply and Reinforcing Soil Carbon Stabilization ····· 163
Jae-Eun Jung, Jong-Rok Jeon, and Jeong-Gu Lee*

PA-076 과거 다토양·다시험 자료를 이용한 배추 질소 반응 복원과 시험 간 전이성 평가 ····· 164
이지용, 윤경담*

PA-077 Effective Mitigation for Reactive Nitrogen Loss (NH_3 and N_2O) in Rice Paddy Soils Using Different Types of Phosphate Fertilizers ····· 165
Donguk Lim, Sohee Yoon, Mingyeong Lee, Gayeon Jang, and Sang Yoon Kim,*

PA-078 Effects of Fertilizer Type and Soil Amendments on Paprika Growth and Soil Biochemical Properties at the Mid-Growing Stage ····· 166
Hyun Jeong Oh, Sehun Im, Sihoon Song, Hyokyeong Kim, Noh Eun Kim, and Kyungmin Kim*

PA-079 Cultivar-Specific Nitrogen Requirements for Optimizing Yield and Nitrogen-Use Efficiency in Welsh Onion (*Allium fistulosum* L.) ····· 167
Dadi Tolessa Lemma, Sunghan Bae, and Dongpil Kim*

PA-080 고랭지 배추의 시비 농도에 따른 생육 및 생산 평가 ····· 168
배성한, 김동필*

PA-081 벼(*Oryza sativa* L.) 시비 기준 재정립을 위한 CO_2·온도 상승 반응 평가 ····· 169
신승주, 조주영, 김대현, 이용복*

PB-001 Evaluation of the Multi-Functional Effects of Microbial Biochar Pellets for Organic Cabbage Cultivation ····· 170
JoungDu Shin*, Seoyoung Han, JooHee Nam, SeoulBi Lee, Seokin Youn, and Dogyun Park

PB-002 Co-benefits of Microbially Engineered Biochar Pellets for Carbon Neutrality and Clubroot Suppression in Organic Vegetable Production: A Field-Scale Evaluation ····· 171
JoungDu Shin*, JooHee Nam, ChangKi Shim, ChulLee Chang, and HongShik Nam

PB-003 Evaluation of the Major Plant Nutrients Using Acidified Biochar Pellets Inoculated with Microorganisms by the Sigmoid Function ····· 172
JoungDu Shin*, JooHee Nam, ChangKi Shim, ChulLee Chanhg, and HongShik Nam

PB-004 Environmental Impacts of Biodegradable Polymer-Coated Fertilizer during Pepper (*Capsicum annuum* L.) Cultivation ····· 173
SeoYoung Han, JoungDu Shin*, SeungHa Lee, HyeonJong Jo, DaYeon Kim, SiHyeon An, and HyangYeon Won

PB-005 Plasma-Modified Biodegradable Coatings for Controlled Nitrogen Release from Urea ····· 174
Seoyoung Han, JoungDu Shin*, WooJin Chung, YoungJoon Ko, KwangKyo Oh, and JeaHyung Ahn

PB-006 A Biochar-Loess Granular Formulation for Reducing Abamectin Mobility under Laboratory Soil-Column Conditions ····· 175
SeoYoung Han, JoungDu Shin*, SeungHa Lee, JiHyock Yoo, Jeongseok Song, and SangWon Park

PB-007 Mineral-Bound Extracellular Enzyme Activity and Abiotic Oxidation Drive Soil Organic Matter Decomposition ····· 176
Minsun Kim, and Kyungjin Min*

PB-008 Effects of Soil and Cultivation Management on the Incidence of Rice Brown Spot Disease in Jeonnam Province, Korea ····· 177
Soyoun Lee*, Hyeonji Kim, Sungwoo Kim, Seul Lee, Kyungjin Kwak, Sunkook Kim, and Sugju Ko

PB-009 충청남도 농업 부문 온실가스 배출량 시범 산정 ····· 178
김선중*, 이정수, 윤여욱, 이정, 정종태, 이형석

PB-010 가축분 바이오차 혼합비율에 따른 유기질비료의 탄소 및 양분 특성 변화 ····· 179
김선중*, 이정수, 윤여욱, 이재한, 이정, 정종태

PB-011 Effects of Long-Term Organic Amendment Application on Carbon Storage and Carbon Budget in Paddy Soil ····· 180
Jinju Yun*, Jaehyuk Park, Govind Dnyandev Vyavahare, Sangho Jeon, and Seonah Hwang

PB-012 왕겨바이오차 연용이 토양 물리·화학성과 삼광벼의 생육, 수량구성요소 및 쌀 품질에 미치는 영향 ····· 181
김규철, 조기원, 윤여태, 윤여욱*

PB-013 미세조류 수열액화 고형부산물의 농업적 활용 가능성 평가: 용출 특성 및 가축분 퇴비화 중 암모니아 저감 효과 ····· 182
이건호, 윤다은, 장순웅, 정우진*

PB-014 FRI-PARAFAC를 이용한 가축분퇴비 DOM 형광 성분 변화 분석 및 부숙도 평가 ····· 183
윤다은, 윤진주, 심재홍, 이윤경, 허진, 장순웅, 정우진*

PB-015 바이오차 연용이 콩 수량과 토양 이화학성에 미치는 영향 ····· 184
강동한, 윤여욱, 이승수, 이재한, 장지선, 윤덕상*

PB-016 전국 농경지 양분유출 실태조사 및 기후변화 영향·취약성 평가(2021-2025) ····· 185
엽소진*, 이병모, 어진우, 전상민, 오부영, 이종문, 양예린

PB-017 Organic Fertilization does not Always Increase Methane Emissions from Rice Soils under Experimental Warming ····· 186
Nuri Baek, Seo-Woo Park, Eun-Seo Shin, Husna Israt Pia, Hyun-Jin Park, Tae-Yeon Lee, Jaeil Cho, Han-Yong Kim, and Woo-Jung Choi*

PB-018 기후변화에 따른 농업용수(하천수·지하수) 수질 영향·취약성 평가: 2021~2025년 2주기 분석 ····· 187
이병모*, 엽소진, 어진우, 전상민, 오부영, 이종문, 양예린

PB-019 묵논에서 바이오차와 규산질비료 시용에 따른 토양 탄소 격리 증진 ····· 188
이태연, 백누리, 박서우, 신은서, Husna Israt pia, 최우정*

PB-020 Combined Application of Rice Husk and Chicken Manure Biochar Enhances Methane Mitigation, Soil Carbon, and Rice Productivity while Reducing Salinity Rick in Paddy Soils ····· 189
Husna Israt Pia, Nuri Baek, Seo-Woo Park, Eun-Seo Shin, and Woo-Jung Choi*

PB-021 유기농 시설재배지의 토양탄소 저장 증진을 위한 복합 유기자원 활용 기술 ····· 190
공민재*, 홍성준, 이상민, 황현영, 이재형, 이영미, 강지원, 이여명

PB-022 Substrate-Use History and Substrate Complexity Modify Post-Rewetting Respiration under Repeated Drying-Rewetting Cycles ····· 191
Jaeyoung Jung, and Kyungjin Min*

PB-023 우분 바이오차 시용량에 따른 작물 생산성 및 토양 탄소격리 효과 ····· 192
안희정*, 장재은, 서재순, 정재원, 소호섭, 박중수

PB-024 Low Country-Specific Indirect N_2O Emission Factor (EF_5) for Nitrogen Leaching and Runoff from Agricultural Headwater Streams in South Korea ····· 193
YoungJae Jeong*, Yunsik Shin, HyeRan Park, Minji Lee, HyoungSeok Lee, MinWook Kim, Sung-Chang Hong, and Jinho Kim

PB-025 논 토양의 배수성 및 시비 방식이 온실가스 배출에 미치는 영향 ····· 194
이준영, 강윤구, 이성학, 오택근*

PB-026 밀 부산물 바이오차의 열분해 조건별 이화학적 특성 평가 ····· 195
이성학, 강윤구, 이준영, 오택근*

PB-027 벼논에서 써레방식이 토양 물리성과 CH_4 배출에 미치는 영향 ····· 196
김지훈, 이수현, 이윤호*

PB-028 Effects of Organic Fertilizer Types on Greenhouse Gas Emissions and Vegetative Growth of 'Gamtan' Rice under Pot Conditions ····· 197
Yeomyeong Lee, Hyun Young Hwang*, Min Young Han, Yeon Ho Kim, Sang Min Lee, and Sung Jun Hong

PB-029 MCT 방식을 활용한 농업부산물 바이오차 제조 및 이화학적 특성 ····· 198
윤여욱*, 유승민, 김선중, 이정수, 이정, 정종태, 이재한

PB-030 무경운 연용 농업 환경에서 탄소 저장 및 지구온난화 가속화 정도 평가 ····· 199
노수빈, 이위영, 윤정환, 정석순, 박병준, 무니르 부시라, 이내경, 윤상민, 유지은, 김혁수*

PB-031 무경운 유기농업 환경에서 온실가스 배출량 및 탄소 저장량 평가 ····· 200
노수빈, 윤정환, 박병준, 원채윤, 박인수, 이내경, 신승훈, 황조은, 주진호*

PB-032 벼 재배 시 물관리 및 써레질 방법에 따른 논토양 산화환원전위와 메탄 배출 특성 ·· 201
이효정, 오승가, 이윤호, 조영손*

PB-033 축분바이오차 연용 및 증량처리에 따른 알칼리성 마늘 재배지의 토양 탄소축적과 작물 반응 ····· 202
정혜정*, 오혜민, 조우영, 유영준, 권오훈, 이문중

PB-034 경북의 농업부문 온실가스 배출량 장기 변동 특성 및 감축 요인 분석 ····· 203
장명환*, 정연규, 정혜린, 서영진, 박만

PB-035 Effects of Biochars from Different Feedstocks on N_2O Emissions, Nutrient Uptake, and Yield of Altari Radish (*Raphanus sativus* L.) under Greenhouse Cultivation ····· 204
Soe Sandar Aung, Da-Hyun Kang, Tae-Hyeong Kang, Woo-Sung Shin, and Won-pyo Park*

PB-036 벼논에서 복합기술 적용시 온실가스 감축 기술의 농산물 인증제 적용 가능성 평가 ·· 205
김건엽*, 이재인, 박성직, 임송택

PB-037 Effects of Chicken Manure Biochar on Soil and Chrysanthemum Growth ····· 206
Gyeongwon Kim*, Heeyoung Jang, Seungtae Kim, Jeongsuk Bae, Jangsoo Kim, and Seunghan Kim

PB-038 바이오차 처리가 브로콜리 재배지의 뿌리혹병 발병 억제와 토양 이화학성 변화에 미치는 영향 ····· 207
현희정*, 이정민, 김영민, 고안나, 문경희, 김효정, 고순보

PB-039 고로슬래그 기반의 강화된 암석 풍화가 토양 유기탄소의 분해와 안정화에 미치는 영향 ·· 208
박예림, 유가영*, 서승희, 김동길

PB-040 시설재배 토양에서 마늘대 및 계분 바이오차의 2년 연용이 N2O 배출에 미치는 영향 ·· 209
신우성, 강태형, 강다현, 박원표*

PB-041 목질계 바이오차를 활용한 일반재배 벼 육묘용 상토의 특성 ····· 210
김성우*, 이소연, 이슬, 곽경진, 김선국, 고숙주

PB-042 규산질비료 및 볏짚퇴비 장기연용이 논토양의 유기탄소 축적 및 분획 특성에 미치는 영향 ·· 211
황선아, 전상호, 김경영, 윤진주, 김성헌*

PB-043 초기 토양 pH가 다른 배추 재배지에서 바이오차 처리가 토양유기탄소 축적 및 작물 생산성에 미치는 영향 ····· 212
김신실, 이유나, 김경영, 황선아, 전상호, 김성헌*

PB-044 Biochar Mitigation Potential under Future Climate Conditions: Current Evidence and Knowledge Gaps ····· 213
Yunsik Shin, Yong-Jae Jeong, Minji Lee, Hye-Ran Park, Hyeong-Seok Lee, Min-Wook Kim, and Jinho Kim*

PB-045 토양 특성별 목재 및 계분 바이오차 처리에 따른 상추 생육 및 양분 흡수 평가 ····· 214
조주영, 김대현, 신승주, 이용복*

PB-046 바이오차의 농업적 활용을 위한 원료별 특성 평가 ····· 215
조주영, 김대현, 신승주, 이용복*

PB-047 목질계 바이오차를 활용한 유기재배 벼 육묘용 상토의 특성 ····· 216
김성우*, 이소연, 이슬, 곽경진, 김선국, 고숙주

PB-048 Effects of Biochar Application on Soil Carbon Content and Chemical Properties in Saemangeum Relcaimed Land ····· 217
Kwang-Seung Lee*, Hak-Sung Lee, Seo-Young Jeong, Eun-Ji Song, Bang-Hun Kang, and Hyeoun-Suk Cho

PB-049 유기재배 논에서 볏짚 투입 형태에 따른 온실가스 배출 평가 ····· 218
정정아, 황현영, 이상민*

PB-050 옥상녹화 인공토양의 유기탄소 정량을 위한 Walkley-Black법과 건식연소법의 비교 ·· 219
김태하, 김효민*, 조준영

PB-051 북극 건조 툰드라 지역의 겨울철 적설 증가가 이듬해 식물생장시기의 토양 내 가용성 탄소와 질소 동태에 미치는 영향 ····· 220
정수정, 남성진, 조강현, 정지영*

PB-052 벼 유기재배 작부체계에 따른 메탄 배출량 및 생육·수량 특성 ····· 221
곽경진*, 김성우, 이소연, 이슬, 김선국, 고숙주

PB-053 도시 가로녹화 유형별 토양 유기탄소 저장량 및 토양호흡 특성 비교 ····· 222
조준영, 김효민*, 김태하

PB-054 애호박 시설 비가림 재배 시 이온교환제 토양 처리에 따른 생육 및 온실가스 발생량 비교 ·· 223
이평호*, 구연종

PB-055 유기농 논에서 토양 관리가 토양 건강성과 벼 생산성에 미치는 직·간접 영향: PLS-PM을 이용한 토양 건강성의 매개효과 평가 ····· 224
김아린, 문태일, 맹희주, 김낙겸, 구현회*

PB-056 벼 깨씨무늬병 발생지의 토양 물리·화학성과 발병 간의 관계 ····· 225
서진희*, 전현정, 이상훈, 공동혁, 최만수, 류종수

PB-057 Evaluating the Effects of Prolonged Dry Periods Followed by Intense Rainfall on Plant-Microbe Interactions and CO_2 Pulses During Plant Invasion ····· 226
San Koh, and Kyungjin Min*

PB-058 Vegetation Dynamics during the Transition to Eco-friendly Vineyard Management: Implications for Sustainable Agroecosystem Management ····· 227
Ji-Won Kang, Sun-Ock Hong, Sung-Jun Hong, Young-Ju Oh, and Min-Jae Kong*

PB-059 유기 및 관행재배 토양의 화학적 특성과 세균·진균 군집 구조의 연관성 ····· 228
정혜정*, 오혜민, 조우영, 유영준, 권오훈, 이문중

PB-060 시설상추에서 *Bacillus amyloliquefaciens*의 생육 촉진 및 질소비료 저감 효과 ····· 229
이용우*, 김효정, 고윤정, 오민아, 고정연, 이서영, 고순보

PB-061 Characterization of Environmental Factors in Native Earthworm Habitats ····· 230
Sang Woo Han, Chaeyeon Kim, Dokyun Lee, Yunah Do, Myung Hoon Kim, Ji Eun Hwang, and Young-Nam Kim*

PB-062 Evaluation of Soil Loss under Potato Cultivation in Highland Sloping Fields ···· 231
Yang-Min Kim*, Gye-Ryeong Bak, and Nayoung Choi

PB-063 Chemical Properties and Long-term Trends of Upland Soils in Jeonnam Province, Korea (2001-2025) ····· 232
Soyoun LEE*, Hyeonji Kim, Sungwoo Kim, Seul Lee, Kyungjin Kwak, Sunkook Kim, and Sugju Ko

PB-064 안정화제 처리에 따른 작물 카드뮴 흡수 저감 평가에서 Mehlich-3 추출법의 적용 한계 ····· 233
이남희, 백태희, 이미나, 김권래*

PB-065 오염토양 중금속(준금속)의 식물유효도 저감을 위한 안정화제의 장기 지속성 ····· 234
최연정, 백태희, 이남희, 박진환, 이현민, 안수창, 이미나, 김권래*

PB-066 NaCl Porogen을 이용한 바이오차의 미생물 서식 적합 공극 구조 설계 및 세척 후 구조 안정성 평가 ····· 235
양지원, 이군택*

PB-067 저투수성 간척지 토양에서 토양개량제 종류와 염도 수준이 투수성 및 제염에 미치는 영향 ····· 236
정서영*, 이정민, 강방훈, 조현숙, 이학성, 이광승

PB-068 반복 인공강우 조건에서 강우체계와 경사도가 배추 재배지의 질소 유출에 미치는 영향 ·· 237
이종문*, 엽소진, 어진우, 이병모, 오부영, 양예린

PB-069 생분해성 고분자 수지를 이용한 완효성 비료 개발 ····· 238
강민승*, 김해나, 장경만, 김혜빈, 서예진, 조현종, 권오연

PB-070 Integrating Cellular Mechanisms and Whole-Plant Systemic Responses of Particulate Matter Phytotoxicity in Lettuce (*Lactuca sativa* L.) ····· 239
Kanghee Kim, and Chang-Beom Park,*

PB-071 Chemical Properties of Shallow Groundwater based on Different Cropping Types in Gyeongnam Province, South Korea ····· 240
Jae Young Heo*, Hee Jeong Je, Mi Jin Lee, Young Han Lee, and Byung Mo Lee

PB-072 경기도 농업용 하천수 및 지하수의 수질 변동 ····· 241
이정혜*, 정재원, 안희정, 서재순, 소호섭, 박중수

PB-073 Optimizing Organic Matter Digestion Conditions for Accurate Microplastic Extraction in Agricultural Soils ····· 242
Yun-Gu Kang, Jun-Yeong Lee, Sunghak Lee, Motohei Kanayama, and Taek-Keun Oh*

PB-074 중량식 라이시미터를 활용한 참동진 벼 재배시 물수지 및 물이용효율 산정 ····· 243
옥정훈*, 김동현, 이단비, 손정우

PB-075 경기도 대표필지 지목별 토양화학적 특성 평가(2021~2025) ····· 244
안희정*, 장재은, 서재순, 정재원, 소호섭, 박중수

PB-076 폐담배 필터 유래 셀룰로오스 기반 비료를 이용한 논토양 메탄 배출 저감 ····· 245
이찬영, 임종훈, 이정구*

PB-077 철인산염 개질 우분 바이오차를 이용한 수용액에서 비소, 카드뮴, 납 제거 및 토양 내 금속 안정화 평가 ····· 246
이진서, 김한나, 김정연, 신수경, 이승준, 이예은, 오종건, 박진희*

PB-078 Decoupling Arsenic Tolerance from Arsenic Accumulation: Sulfur-Enhanced Thiol Metabolism and Antioxidant Capacity in Arsenic-Stressed Rice Seedlings ····· 247
Ha-il Jung*, Myung-Sook Kim, Eun-Jin Lee, Tae-Gu Lee, and Chaw Su Lwin

PB-079 모재 및 지형에 따른 우리나라 농경지 토양 화학적 특성의 변이 ····· 248
이단비, 김명숙, 정하일, 옥정훈, 이은진*

PB-080 굴패각의 인산염 흡착특성에 입자크기가 미치는 영향 ····· 249
문성빈, 이정민, 이예지, 박정원, 박종환*

PB-081 다양한 수분조절제의 NH_4-N의 흡수특성 ····· 250
최현정, 이정민, 이예지, 박정원, 박종환*

PB-082 깔짚 종류와 열분해 온도가 우분 바이오차의 이화학적 특성에 미치는 영향 ····· 251
이정민, 이예지, 박정원, 서동철, 박종환*

PB-083 톱밥 및 바이오차 처리가 우분의 악취 및 특성 변화에 미치는 영향 ····· 252
이예지, 이정민, 박정원, 서동철, 박종환*

PB-084 지질 추출된 조류 바이오매스 기반 바이오차에 의한 납 흡착 특성 ····· 253
박정원, 이예지, 이정민, 서동철, 박종환*

PB-085 국내 도 단위 양분수지(순질소수지, 인수지)의 변동 모니터링(2017-2023) ····· 254
이재성, 신효진, 서예본, 강동휘, 윤영만*

PB-086 청미천 상류 유역(청미A)에서 HSPF 모형을 이용한 양분수지 저감이 수질에 미치는 영향 분석 ····· 255
이재성, 신효진, 서예본, 강건우, 윤영만*

PB-087 도시 정원 식재를 위한 자생식물 종의 중금속 내성 평가 ····· 256
이도균, 이금아, 김채연, 한상우, 백생글, 김영남*

PB-088 전북지역 밭토양 미생물 다양성 및 군집 특성 변화 ····· 257
김용준*, 박나영, 최효정, 최소라, 조경준

PB-089 지역 양분관리 방안 마련을 위한 도단위 양분수지 분석(23년 기준) ····· 258
박혜진*, 이예진, 이찬욱

PB-090 Salt Stress Tolerance in Native Species: Implications for Sustainable Urban Landscaping ····· 259
Yunah Do, Chaeyeon Kim, Keum-Ah Lee, Dokyun Lee, Sang Woo Han, Ji Eun Hwang, Saeng Geul Baek, and Young-Nam Kim*

PB-091 계분 바이오차 펠렛의 시용이 배추의 생산성, 토양 화학성 및 N_2O 배출에 미치는 영향 ··· 260
이익형, 조한나, 이창곤, 송지민, 강세원,*

PB-092 탄화 정도가 다른 옥수수대 바이오차 시용에 따른 토양 내 CO_2 및 N_2O의 배출 특성 ·· 261
박선민, 임민효, 김채원, 윤석인*

PB-093 석회 처리에 의한 토양 pH 변화가 질산화 과정에서 아산화질소 배출에 미치는 영향 ·· 262
김채원, 임민효, 박선민, 윤석인*

PB-094 가뭄·과습 조건에서 비종에 따른 옥수수의 생육 및 질소 반응 특성 ····· 263
박진환, 백태희, 이현민, 이남희, 안수창, 최연정, 이미나, 김권래*

PB-095 Effects of *Bacillus velezensis* strain Inoculation on Rice Productivity and Greenhouse Gas (CH_4 and N_2O) Emissions in a Rice Paddy Soil During Cultivation: A Pot Experiment ····· 264
Yeomyeong Lee, Juhee An, Jaekyeong Song, Hyunwoo Jung, Hyeon Su Kim, and Sang Yoon Kim*

PB-096 Evaluation of Residual Rice Root on Influencing Methane Emissions and Rice Productivity in Post-Cropping Season in a Mono-Rice Paddy ····· 265
Gayeon Jang, Sohee Yoon, Mingyeong Lee, Donguk Lim, and Sang Yoon Kim*

PB-097 A Circular Resource-Based Strategy for Commercializing Livestock Manure Biochar in Korea ····· 266
Parvaneh Pakmanesh, Seung-Beom Lee, Eun-Su Song, and Jin-Hyeob Kwak*

PB-098 Estimation of Atmospheric Carbon Dioxide Sequestration through Enhanced Weathering of Alkaline Industrial By-products. ····· 267
Hye Won Lee, and Chang Oh Hong*

PB-099 Soil Aggregate-Size Distribution Rather than Soil Organic Carbon Content and Regional Climate Determines Methane Emissions from Paddy Soils in Different Regions of South Korea ····· 268
Hae Jin Jeong, Taek Keun Oh, Minji Lee, and Chang Oh Hong*

PB-100 Comparison of Impacts of Different Soil Amendments on Net Global Warming Potential in Arable Soils ····· 269
Dong Hee Kim, and Chang Oh Hong*

PB-101 동계 녹비작물 시용이 논과 밭 토양의 탄소수지에 미치는 영향 ····· 270
이승환, 이정구*

PB-102 Cover Cropping Sustains Soil CH_4 Oxidation under Plastic Mulching by Enhancing C_1 Metabolism and Alternative Electron Donor Use ····· 271
Dong-Jin Lee, Sihyun Park, and Jeong-Gu Lee*

PB-103 질소 형태와 액비 유래 용존유기물의 질적·양적 특성에 따른 토양 탄소 전환 반응 ·· 272
임세훈, 송우진, 김태용, 한정윤, 김경민,*

PB-104 Effects of Transplanting Density on Compensatory Growth, Yield, and Methane Emission Dynamics in Rice Cultivars with Different Maturity Ecotypes: A Field Study in Anseong, Gyeonggi-do ····· 273
Hui-Ju Maeng, and Hyun-Hwoi Ku,*

PB-105 Effects of Biochar Application on Extracellular Enzyme Activities and Microbial Community Structure in the Soybean Rhizosphere ····· 274
Sihoon Song, Hae-In Lee, and Kyungmin Kim,*

PB-106 UV Weathered Biodegradable Mulch Film-Derived Microplastic Altered Plant Stress and Rhizosphere Structure and Function ····· 275
Juwon Yoo, Hakwon Yoon,*, and Sohyun An

PB-107 Fate of Surplus Fertilizer Nitrogen in Wheat: Linking a Pot Dose-Response with a Controlled Soil Incubation ····· 276
Chang-Dong Lee, and Jeong-Gu Lee,*

PB-108 농경지 토양에서 카드뮴 전함량 기준의 한계와 유효태 분석법의 식물 흡수 예측 적합성 평가 ····· 277
이현민, 이남희, 백태희, 박진환, 최연정, 안수창, 이미나, 김권래*

PB-109 Long-Term Changes in Soil Physical Properties under Different Agricultural Land-Use Types in Gyeonggi Province, Korea ····· 278
Jin Ju Lee, Ji Won Yang, Min Hui KIM, Gyu Ri KIM, Jae Hee Shin, and Goontaek Lee*

PB-110 Effects of Different Biochar Types on Ameliorating Soil Salinity and Mitigating Greenhouse Gas Emissions in a Bok Choy Pot Experiment ····· 279
Han hui Jo, Han Woong Lee, Yeong Jun Shin, Sohee Yoon, and Sang Yoon Kim,*

PC-001 Estimating Soil Organic Carbon Stocks and Andic Properties in Natural Grassland on Mt. Halla Using Diffuse Reflectance Mid-Infrared Fourier Transform Spectroscopy ····· 280
Jeong Chan Lee, and Kyungjin Min*

PC-002 A Novel Wet Oxidation for Simultaneous Measurement of Soil Total Carbon and Nitrogen via Radical-Mediated Decomposition of Organic Matter ····· 281
Pros Khok*, Eunjin Lee, Khoungyoung Kim, and Gwang Hyun Han

PC-003 NIR 및 LIBS를 활용한 농경지 토양 화학성의 신속 평가 가능성 ····· 282
김다은, 이태한, 원상빈, 김혁수*

PC-004 토양 황(S) 추출 및 분획 토양 내 유효 황(S) 분석을 위한 신규 분광학적 정량 모델 개발 및 필드 검증 ····· 283
이신희, 김경영, Khok Pros, 이예훈, 한광현*

PC-005 농업 전문 데이터의 생성형 AI 활용을 위한 증거·승인 게이트 기반 참조 아키텍처 개발 및 검증: 작물·시비작업 표준화 사례 ····· 284
오부영*, 양예린, 이병모, 엽소진, 최순군

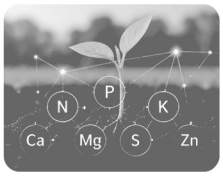
PC-006 기상·토양 가중치 시나리오에 따른 복숭아 재배적지 판정의 공간적 안정성 평가 ····· 285
배예진, 윤경담*

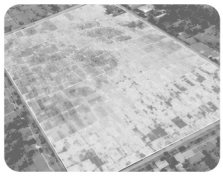
PC-007 Evaluation of Long-term Soil Salinity (ECe) Dynamics in Reclaimed Paddy Fields of the Mid-Western Region of Korea ····· 286
Kyosuk Lee*, Dougyoung Chung, and Girim Kim

PC-008 Comprehensive Evaluation of Salinity Characteristics of Irrigation Water in Reclaimed Paddy Fields of Mid-Western Korea ····· 287
Kyosuk Lee*, Dougyoung Chung, and Girim Kim

PC-009 바이오차 흡착 셀룰로오스 섬유의 물리적 특성 및 식물 안전성 평가를 통한 코코피트 대체 가능성 검토 ····· 288
김용성, 홍영규, 김진욱, 이정민, 정호진, 김성철*

PC-010 Comparison of Organic Matter Removal Methods and Density Separation Solutions for Microplastic Analysis in Soil ····· 289
Jeong Yeon Kim, Han Na Kim, Su Kyeong Shin, Ye Eun Lee, Seung Jun Lee, Jin Seo Lee, Jong Geon Oh, and Jin Hee Park*





주제발표

주제발표 1

Development of Soil Organic Carbon Sequestration Technologies to Enhance Climate Resilience

Pil Joo Kim*
Division of Applied Life Science (BK21+ Program), Gyeongsang National University
501 Jinju-daero, Jinju 52828, Republic of Korea

The term “soil climate resilience,” which has recently emerged in response to rapid climate change, can be defined as the capacity of soil to absorb climatic disturbances and to maintain and recover its essential functions. Enhancing soil climate resilience refers to strengthening the inherent capabilities of soil-namely productivity, carbon sequestration, and environmental regulation-so that they remain stable under climate stressors such as elevated temperatures, drought, and extreme precipitation. Achieving this goal requires integrated management strategies that simultaneously improve the physical, chemical, and biological properties of soil.

Since the Industrial Revolution, atmospheric carbon dioxide (CO_2) concentrations have increased from approximately 280 ppm to 424 ppm as of 2024, and are projected to reach 500–650 ppm by 2100 even under conservative scenarios. Consequently, the global mean temperature has already risen by about 1.5°C compared to pre-industrial levels and is expected to increase by 2–3.5°C by the end of this century. Such warming has intensified the frequency and severity of extreme weather events, including heatwaves, heavy rainfall, and drought, thereby creating an urgent need to develop effective soil management practices that enhance climate resilience.

Although global warming is known to stimulate plant biomass production (net primary productivity, NPP), it is also expected to accelerate microbial activity more strongly, leading to increased decomposition of soil organic carbon (SOC) and a consequent decline in carbon storage. The reduction of SOC stocks can significantly impair soil health by decreasing the activity and diversity of plants, animals, and microorganisms, while simultaneously accelerating climate change through increased CO_2 emissions. To strengthen soil climate resilience, strategies that effectively enhance SOC sequestration are essential. However, in many agricultural systems, organic matter inputs have declined, and soils are increasingly subjected to imbalanced nutrient management, excessive nutrient accumulation, and structural degradation. These trends collectively contribute to the deterioration of soil quality and raise serious concerns about long-term sustainability. This presentation aims to discuss strategies for enhancing soil health through increased organic matter accumulation and to explore how such improvements can contribute to strengthening soil climate resilience under changing climatic conditions.

Keywords: soil carbon sequestration, soil health, soil quality, organic amendments

주제발표 2

Enhanced Rock Weathering (ERW) 기술의 활용

Application of Enhanced Rock Weathering (ERW) Technology

최병영*
Byoung-Young Choi*
한국지질자원연구원
Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 34132, Korea

탄소중립 달성을 위해서는 온실가스 배출 감축과 함께 대기 중 CO_2 제거(Carbon Dioxide Removal, CDR)의 확대가 긴급히 요구되고 있다. 하지만 현재 CDR은 산림 등 전통적인 방법에 크게 의존하고 있으며, 2050년 넷제로(net-zero) 달성을 위해서는 다양한 CDR 기술의 확대가 필요하다. 풍화촉진(Enhanced Rock Weathering or Enhanced Weathering) 기술은 칼슘과 마그네슘이 풍부한 규산염 암석 또는 염기성 물질을 분쇄해 토양에 살포하고 자연 풍화를 촉진하여 대기 기원의 CO_2를 주로 용존 된 중탄산(HCO_3^-)으로 전환하는 것이다. 이 풍화 산물은 토양수와 지하수, 하천을 거쳐 해양으로 이동하여 장기간 저장될 수 있다. ERW가 특히 주목받는 이유는 농업과의 높은 연계 가능성에 있다. 기존 농경지의 석회나 비료 살포 인프라를 활용 가능하고 토양 산도 완화, 규소·칼륨 등 양분 공급, 토양 비옥도와 작물 생산성 개선이라는 공동편익을 제공할 수 있다는 점에서 확장 잠재력이 크다고 할 수 있다. 최근 연구에 의하면 2050년 전 세계 ERW 잠재량을 연간 약 5억~20억 tCO_2로 제시하고 있다. 하지만 현재 실험실이나 파일롯 규모를 대규모 현장 적용으로 전환하는 과정에서 핵심적인 병목 중 하나는 표준화된 모니터링·보고·검증(Monitoring, Reporting and Verification, MRV) 방법론의 부재이다. 이는 단순히 측정 기술이 부족해서가 아니라 무엇을 탄소제거로 정의하고, 언제부터 크레딧으로 인정하며, 어디까지 추적할 것인지에 대한 기준이 일치하지 않기 때문이다. 따라서 국내에서도 시급히 현장 실험 연구 확대가 필요하고 이를 통해 다양한 자료 획득을 통해 공통적인 최소 측정기준과 다중 방법의 교차검증 등을 포함하는 한국형 MRV 프로토콜을 개발할 필요가 있다.

주제어: 풍화촉진기술(enhanced rock weathering), MRV 방법론
주연구자 연락처: choiby@kigam.re.kr (042-868-3261)

주제발표 3

미래 기후회복력 증진을 위한 공학적 복원 기술의 경제적·사회적 가치와 정책·제도적 추진 방향

Economic and Social Value of Engineered Restoration Technologies for Enhancing Future Climate Resilience and Policy and Institutional Directions

김태영*
Tae Young kim*
경상국립대학교 농업생명과학대학 식품자원경제학과
Gyeongsang National University

이상기후 현상의 빈도와 강도가 급증함에 따라 농업 생산자가 직면한 물리적 기후 리스크가 임계점에 도달하고 있으며, 이에 대응하기 위한 농업 부문의 온실가스 관리 전략 역시 과거의 소극적 적응 단계를 넘어 토양을 핵심 탄소 흡수원으로 활용하는 적극적 완화 체계로의 패러다임 전환이 요구되고 있다. 특히 조암광물 풍화 촉진(ERW)을 비롯한 공학적 토양 복원 기술은 대기 중 이산화탄소를 장기적으로 격리함과 동시에 농경지 환경을 개선할 수 있는 유력한 네거티브 배출 기술(NET)로 주목받고 있다. 본 연구는 이러한 공학적 복원 기술이 지닌 시장 및 비시장적 가치를 환경경제학적 관점에서 살펴보고, 지속가능한 농업생태계 조성을 위한 정책 및 제도적 추진 방향을 제시하고자 한다.

미래 기후회복력 증진을 위한 공학적 복원 기술이 실제 농업 현장에 성공적으로 도입 및 확산되기 위해서는 단순히 기술의 물리적 탄소 격리능을 입증하는 수준을 넘어, 전과정평가(LCA) 및 배출 인벤토리와 연계된 정교한 기술경제성 평가(TEA) 프레임워크 설계가 선행되어야 한다. 나아가 시장에서 직접 거래 가능한 배출권 등의 경제적 가치뿐만 아니라, 토양 산성화 완화, 양분 보존력 증진, 수질 개선 및 재난 완화와 같이 다원적 생태계 서비스 회복에 기여하는 사회·환경적 공익 가치 전반을 포괄적으로 평가할 필요가 있다. 최근의 선행연구 및 예비 평가 결과들은 공학적 복원 기술이 현장에 적절히 적용될 경우, 이러한 막대한 비시장적 가치를 창출하고 농가의 수익 다변화를 동시에 견인할 수 있다는 긍정적인 잠재력을 보여주고 있다. 여기에 지능형 토양 모니터링 시스템이 결합된다면, 기술 적용 과정의 정보 비대칭성을 해소하고 측정·보고·검증(MRV)에 수반되는 거래비용을 획기적으로 낮추어 현장 수용성을 한층 높일 수 있을 것으로 기대된다.

향후 공학적 토양 복원 기술의 실효성 있는 현장 확산과 가치 내부화를 위해서는 다각적인 정책·제도적 연계가 뒷받침되어야 한다. 우선 신뢰도 높은 실증 데이터를 기반으로 국제 표준에 부합하는 국가 단위 탄소크레딧 인증 체계(MRV)를 구축하고, 이를 저탄소인증 및 직불제 등 기존 농업 정책과 연계하여 농가에 적정한 인센티브를 제공할 수 있는 제도적 근거를 마련해야 한다. 아울러 산출된 격리 실적을 국가 온실가스 인벤토리 및 국가 감축 목표(NDC) 달성에 체계적으로 반영하는 한편, 민간 기업의 ESG 투자 및 자발적 탄소 상쇄 수요와 연계한 상생협력 비즈니스 모델을 도입함으로써 기술 도입 초기의 경제적 부담을 완화할 필요가 있다. 결론적으로 공학적 토양 복원 기술은 단순한 비용 유발 요인이 아닌 농가 소득 증대와 국가 기후회복력 강화를 동시에 견인하는 전략적 투자 자산이며, 이를 현장에 성공적으로 안착시키기 위한 초학제적 융합 연구와 실증 기반의 제도 혁신이 필수적이다.

주제어: 기후회복력, 공학적 복원기술, 기술경제성, 공익적 가치, 탄소크레딧
주연구자 연락처: taeyoung.kim@gnu.ac.kr (055-772-1847)

주제발표 4

Estimation of Atmospheric Carbon Dioxide Removal through Enhanced Rock Weathering

Chang Oh Hong*
Department of Life Science and Environmental Biochemistry, Pusan National University, Miryang, 50463, Republic of Korea

Enhanced rock weathering (ERW) is a promising atmospheric carbon dioxide (CO_2) removal strategy for agricultural soils. Enhanced rock weathering is a carbon dioxide removal (CDR) process where finely ground silicate rocks are spread on soil. Atmospheric CO_2 dissolves in rainwater, reacts with these minerals through enhanced weathering, and converts into bicarbonate ions. These ions wash into the ocean for long-term carbon storage. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) recognizes ERW as a promising CDR and negative emissions strategy to help mitigate global warming. However, standardized methods estimating CDR by ERW materials have not yet been established. So far, CDR via ERW has been predicted primarily through modeling techniques rather than measured via long-term trials. Some studies argue that modeled estimates of atmospheric CDR are overestimated and should be corrected by factoring in long-term field tests, weathering rates over time, and actual weathering dynamics. The stoichiometric CDR of ERW materials can be calculated as $M_{rock} \times \Sigma\ (f_i \times R_i \times E_i)$, where M_{rock} is the applied material mass, f_i is the proportion of each alkaline component, R_i is its dissolution rate, and E_i is its CO_2 capture efficiency. To account for actual reaction conditions, CO_2 removal is expressed as follows: CO_2 *removal* (mol) = Ca^{2+} or Mg^{2+} *release* in leachate and run-off water (mol) × 2 × SF_c × SF_e × SF_f × SF_m × SF_o × SF_s × SF_u × SF_{wa} × SF_{wr}. The scaling factors (*SF*) represent climate: CO_2 concentration and pH in rain water (SF_c), CO_2 emission from soil (SF_e), CO_2 addition with urea fertilizer (SF_f), surface area and ERW material type (SF_m), carbonate compounds loss from ocean: 0.5 (SF_o), soil property: pH, adsorption, and precipitation of Ca and Mg (*SFs*), plant uptake of Ca and Mg ions (SF_u), weathering amount of ERW material (SF_{wa}), and weathering rate of ERW material (SF_{wr}), respectively. To evaluate CDR via ERW more clearly, above scaling factors should be developed through laboratory and field tests in future.

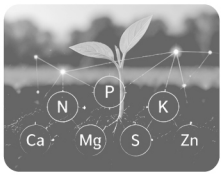
Keywords: Alkalinity, Bicarbonate, Calcium, Magnesium, Scaling factor
Correspondence: soilchem@pusan.ac.kr (055-350-5548)

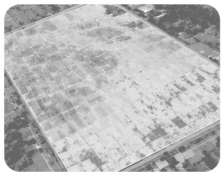
주제발표 5

From Forest Sinks to Wetland Sources: Biogeochemical Controls on Ecosystem Methane Cycling

Jaehyun Lee*
Climate and Environmental Research Institute, Korea Institute of Science and Technology, Seoul, Republic of Korea

Methane (CH_4) exchange between terrestrial ecosystems and the atmosphere is governed by interactions among microbial processes and soil biogeochemistry. Here, I present two studies examining ecosystem-specific controls on CH_4 cycling in forest soils and coastal wetlands. In upland forests, field observations, global meta-analysis, and process-based modeling identified soil organic carbon (SOC) as a key determinant of CH_4 uptake, and incorporating SOC effects increased the estimated global forest CH_4 sink by 39%. In coastal wetlands, long-term warming and elevated CO_2 manipulation altered CH_4 emissions through changes in belowground biogeochemical conditions and microbial CH_4 cycling. Together, these studies highlight how distinct biogeochemical controls shape ecosystem CH_4 sources and sinks, with important implications for predicting terrestrial CH_4 dynamics under environmental change.





신진과학자

신진과학자 1

Correlation between Soil Properties and Soil Microbial Community in Wild-Simulated Ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer) Cultivation Sites

Kiyoon Kim*
Dept. of Environmental and Biological Chemistry, Chungbuk National University, Cheongju, Korea

Wild-simulated ginseng (WSG) is a representative medicinal plant cultivated for long periods in forest environments without artificial facilities, pesticides, or chemical fertilizers, and its growth and bioactive compound content are strongly influenced by soil chemical properties and the rhizosphere soil microbial community. However, research examining the correlation between soil properties and microbial communities at WSG cultivation sites remains insufficient. Therefore, this study aimed to analyze the soil chemical properties and soil bacterial community structure of WSG cultivation sites and to elucidate their correlation with the growth characteristics of WSG, providing foundational data for selecting suitable cultivation sites. Soil chemical properties and rhizosphere soil bacterial communities were analyzed at WSG cultivation sites, along with the growth characteristics of WSG, and the relationships among these three factors were statistically evaluated. The results showed that the soil was generally acidic, and acidophilic bacterial groups such as *Acidobacteria* and *Proteobacteria* were identified as the dominant taxa, with the relative abundance of *Acidobacteria* increasing as soil pH decreased. Organic matter content, total nitrogen, and cation exchange capacity showed significant positive correlations with bacterial community structure and diversity indices, suggesting that soil fertility plays an important role in shaping the microbial community. Correlation analysis with growth characteristics revealed that specific bacterial taxa were significantly associated with both aerial and root growth. Rhizome length showed significant positive correlations with certain taxa and negative correlations with others, while detailed growth indicators such as leaflet number, petiole length, and rootlet number were also significantly correlated with specific bacterial classes. Soil pH, available phosphate, and exchangeable cation content likewise showed significant correlations with total weight, rhizome length, and rootlet number, confirming that soil chemical properties directly influence WSG growth. In conclusion, soil acidity, organic matter content, total nitrogen, and cation exchange capacity are key factors determining bacterial community structure at WSG cultivation sites, and these properties, together with specific bacterial taxa, are closely correlated with WSG growth characteristics. Selecting suitable cultivation sites therefore requires considering both soil chemical properties and microbial community structure, and future research on growth-promoting microorganisms is expected to contribute to stable improvements in WSG productivity.

Correspondence: kky0607@chungbuk.ac.kr (043-261-2561)

신진과학자 2

Adjusting Transplanting Dates as a Sustainable Strategy to Mitigate Methane Emissions and Mechanistic Insights in Mono Rice Paddy Ecosystems

Yeomyeong Lee[1], and Sang Yoon Kim[2]*
[1]Regenerative Organic Agriculture Division, Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea
[2]Department of Agricultural Life Sciences, Sunchon National University, Suncheon 57922, Republic of Korea

Rice paddies are a major source of atmospheric methane (CH_4), and practical mitigation strategies that can be applied without additional material inputs or labor are needed. Shifting rice transplanting dates can affect CH_4 emissions by altering meteorological conditions, flooding duration, rice growth, and belowground carbon (C) inputs, but the underlying mechanisms remain unclear. A field study was carried out over the three years (2022-2024), in which two rice cultivars (late and early maturing) were transplanted on four dates: May 10 (Time1), May 25 (Time2, locally recommended date), June 9 (Time3), and June 24 (Time4). CH_4 emissions, rice growth and yield, root exudation, residual root biomass, and environmental properties were evaluated. Regardless of cultivar and year, cumulative CH_4 emissions were highest at Time1 and decreased significantly by 30-73% with delayed transplanting. Grain yield was maintained or slightly increased when transplanting was delayed by approximately 15 days from the recommended date, whereas excessively early or late transplanting reduced productivity. The lowest yield-scaled CH_4 emissions were estimated around June 21 for the early-maturing cultivar and June 16 for the late-maturing cultivar. Delayed transplanting shortened the flooding period and reduced tiller development, potentially decreasing plant-mediated CH_4 transport. It also accelerated the transition to reproductive growth and altered belowground C allocation. Root biomass and potential root-derived C inputs at harvest consistently decreased with delayed transplanting. Notably, root-derived C input was strongly and positively correlated with CH_4 emissions in the following season and was identified by random forest analysis as a major explanatory factor, indicating that residual roots serve as methanogenic substrates. Path analysis further showed that transplanting date influenced CH_4 emissions through changes in meteorological conditions, rice growth, soil properties, and belowground C inputs. In conclusion, adjusting rice transplanting dates could be a practical strategy to reduce CH_4 emissions without significant yield loss by simultaneously regulating flooding duration, rice growth, and root-derived C input.

Correspondence: sykim@scnu.ac.kr (061-750-5189)

신진과학자 3

Relationships of Woody Plant and Soil Fungal Functional Characteristics with Soil Organic Carbon Across Korean Forest Long-Term Ecological Research Sites

Hae-In Lee*
Soil Environmental Science and Ecology Lab, Seoul National University

Biodiversity-ecosystem functioning (BEF) research has established the importance of biological diversity and community composition for ecosystem functions such as productivity, carbon storage, and nutrient cycling. However, most studies have focused separately on aboveground and belowground components. It remains unclear how plant functional traits are associated with soil fungal functional composition and soil organic carbon (SOC) as well as aboveground biomass (AGB) in natural forests. Accordingly, this study examined the relationships of woody plant and soil fungal diversity and functional composition with AGB and SOC, and associations between woody plants and soil fungi.

To do so, forest inventory data and soil samples were collected from seven Long-Term Ecological Research (LTER) sites spanning major forest zones of South Korea. Based on these data, diversity was quantified using species richness and functional dispersion (FDis) for woody plants, and ASV richness and the Shannon index for soil fungi. In addition, functional composition was characterized by the community-weighted mean (CWM) of each plant trait and fungal guild abundance. The variables were then analyzed with linear mixed-effects models (LMMs) and redundancy analysis (RDA) to evaluate relationships among diversity, functional composition, AGB, and SOC.

The results showed that woody plant diversity explained 31.14% of the variation in AGB and SOC, whereas functional composition accounted for 35.08%. In particular, the CWM of wood density was positively related to AGB and SOC. The functional composition of soil fungi explained 35.29% of the variation in AGB and SOC. Specifically, ectomycorrhizal fungi were positively related to SOC, whereas wood and plant saprotrophic fungi were negatively related to it. For plant-fungal relationships, woody plant species richness was positively associated with ectomycorrhizal fungal abundance, whereas the FDis of leaf carbon content was negatively associated with this guild. Across other fungal guilds, the CWM of leaf phosphorus content was positively related to wood saprotrophic fungi, whereas that of wood density was negatively related to plant saprotrophic fungi. These findings indicate that the functional characteristics of woody plants and soil fungi are linked to variation in forest carbon pools.

Building on these findings, the current work further examines these relationships in the context of specific functional strategies and soil carbon fractions. A global meta-analysis is being conducted to compare how particulate organic carbon (POC) and mineral-associated organic carbon (MAOC) respond to drought stress between ectomycorrhizal (EcM) and arbuscular mycorrhizal (AM) types, and to assess the generality of these relationships across biomes. Ultimately, this approach aims to advance a functional understanding of soil organic carbon responses to climate change.

Correspondence: haeintegrity@gmail.com (02-880-4656)

신진과학자 4

Digital Soil Mapping-based Prediction of Agricultural Soil Carbon Stocks and Biochar Application for Sequestration Enhancement

Yun-Gu Kang[1], Jun-Yeong Lee[1], Motohei Kanayama[2], Yeon-Kyu Sonn[3], Chang-Hoon Lee[4], and Taek-Keun Oh[1,2]*
[1]Department of Agricultural Chemistry, Chungnam National University
[2]Department of Agro-environmental Sciences, Kyushu University
[3]Soil & Fertilizer Management Division, National Institute of Agricultural Science
[4]Department of Fruit Tree, Korea National College of Agriculture and Fisheries

Accurately estimating soil carbon (C) stocks and developing practical sequestration strategies are pivotal components of agricultural climate change mitigation and national-scale carbon neutrality plans. Despite their importance, conventional assessments often fail to capture spatial variability across national-wide agricultural lands and neglect deeper soil profiles beyond the surface layer, limiting the formulation of concrete greenhouse gas (GHG) reduction pathways. This study established an integrated framework incorporating digital soil mapping (DSM) technique to quantify the soil C sequestration potential of agricultural lands in South Korea and develop national-scale GHG reduction strategies. The research was conducted in three phses: a national-wide field survey across 935 sites to build a multi-layer soil profile database (Part 1), spatial estimation of depth-wise soil C stocks using a random forest-based DSM framework with spline extrapolation up to 100 cm soil depth (Part 2), and controlled field validation to establish crop residue- and biochar-based strategies for national GHG reduction targets (Part 3). Specifically, Field soil surveys were conducted at 935 agricultural lands nationwide over four years from 2020 to 2023. Soil properties sampled at 10 cm depth intervals were analyzed to construct a soil profile database for the 0-70 soil layer. Soil bulk density gradually increased with soil layers, reaching 1.55 g/cm3 at 60-70 cm, while soil chemical characteristics showed negative correlations with soil layers. Soil C stocks exhibited a logarithmic decreasing trend, with the highest value of 16.33 Mg C/ha at 0-10 cm and the lowest value of 7.11 Mg C/ha at 60-70 cm. The highest value for cumulative soil C stock observed in volcanic ash soil-based Jeju-do soils. By agricultural land-use type and soil taxonomic order, orchard soil and Mollisols-order exhibited the highest soil C storage performance, respectively. Part 2 estimated soil C stocks in unsurveyed agricultural lands by integrating twenty-four environmental covariates classified depending on the SCROPAN model with five machine learning algorithms. Additionally, the 70-100 cm interval was estimated using spline extrapolation to maximize soil C sequestration potential. The random forest (RF) algorithm exhibited the superior performance for estimating soil C stocks, with the R2 values of 0.23 (0-30 cm) and 0.35 (0-100 cm). Mean soil C stocks considering spatial variability was 31.00 Mg C/ha and 75.13 Mg C/ha for the 0-30 cm and 0-100 cm intervals, respectively, approximately 30% lower than field soil survey-based findings. Total soil C stocks were calculated at 48.43 million Mg and 117.16 million Mg at 0-30 cm and 0-100 cm, respectively. Part 3 established agricultural residue utilization strategies for achieving national GHG reduction goals. Kimchi cabbage cultivation experiment was conducted under controlled condition using 13 crop residues in raw material and biochar forms. Four GHG scenarios were derived: Business-As-Usual (BAU), 2050 Carbon Neutrality (CN), 4 per mile (4‰) initiative, and 2030 Nationally Determined Contribution (NDC). A stabilization coefficient using H:C molecular ratio and C/N ratio was introduced to validate soil C increase efficiency. Biochar exhibited superior soil C sequestration potential and Kimchi cabbage yield enhancement compared to original crop residues. Additionally, upland crop-based biochar showed higher performance than paddy or orchard derived biochars. Among them, soybean stalk biochar demonstrated the highest soil C storage efficiency relative to input amount. The requirement of soybean stalk biochar for achieving GHG reduction goals was approximately 0.1% relative to soil weight based on the plow layer. In conclusion, this provides fundamental and scientific evidence for agricultural sector GHG reduction and climate change response, contributing to soil C management for sustainable agricultural development.

Correspondence: ok5382@cnu.ac.kr (042-821-6735)

신진과학자 5

인산석고 기반 소석회의 퇴비보조제 활용

Application of Phosphogypsum-Derived Hydrated Lime as an Additive for Composting

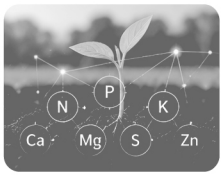
박병준, 남성현, 김혁수*
Byung Jun Park, Seong Hyeon Nam, and Hyuck Soo Kim*
강원대학교
Kangwon National University

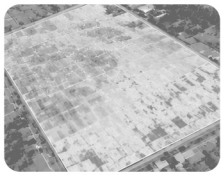
본 연구는 비료 산업에서 발생되는 인산석고(Phosphogypsum)를 소석회로 전환하고, 이를 현장 퇴비보조제로 적용해 온실가스 발생 저감 및 양분 보존 효과를 확인하기 위해 수행되었다. 본 연구에서 제조한 소석회(Phosphogypsum-derived hydrated lime; PHL)는 인산석고와 수산화나트륨(NaOH)의 알칼리 반응을 통해 생산하였으며. PHL의 CaO 함량은 91.9%로 일반 소석회(Hydrated lime; HL)와 유사한 수준을 보였다. 또한 이를 토양에 적용해 작물 생육 및 스트레스 지표를 분석한 결과 HL 처리구와 유의미한 차이를 보이지 않아 작물 생육 환경에 부정적인 영향을 미치지 않음을 확인하였다.

일반적으로 퇴비화 과정에 소석회를 처리하면 pH 상승으로 인해 암모니아(NH_3) 휘산이 증가하고, 아산화질소(N_2O) 발생이 감소한다. 그러나 현장 규모의 호기성 퇴비화 공정에 PHL을 적용한 결과 온실가스 및 악취 저감 효과를 동시에 확인할 수 있었다. 이는 낮은 pH로 인해 NH_3의 휘산을 줄이는 인산석고의 특성이 반영된 것으로, PHL 내에 잔존하는 인산석고의 SO_4^{2-}가 HL 처리구와 인산석고 처리구의 중간 수준으로 적정 pH 환경을 조성했기 때문이다. 이를 통해 HL 대비 NH_3 휘산을 84% 저감함과 동시에 N_2O 누적 발생량을 무처리구(7.0 g/ton) 대비 2.6 g/ton 수준으로 감소시키는 효과를 보였다. 또한 PHL의 처리는 퇴비화 과정에서 질산화(Nitrification)에 유리한 환경을 유지하였고, 최종 퇴비 내 질산태 질소(NO_3^--N) 함량이 742 mg/kg으로 무처리구(294 mg/kg) 및 HL 처리구(574 mg/kg) 보다 높게 나타났다.

결론적으로 인산석고로 제조한 PHL은 온실가스 배출을 줄이고 퇴비의 양분 함량을 높이는 퇴비보조제로 활용될 수 있을 것으로 보인다, 이는 산업 부산물의 자원순환과 농업 분야의 온실가스 저감을 연계하는 지속가능한 시스템 구축에 긍정적으로 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

주연구자 연락처: E-mail. kimhs25@kangwon.ac.kr (033-250-6442)





특별세션 B

국가 농업환경 종합관리 기술개발 사업 워크숍

2부. 농업환경조사 결과를 활용한 친환경 농정 지원 기술개발

특별세션B 01

농산물소득조사–토양검정자료 연계 분석을 통한 경제·사회·환경 가치평가 연구

An Integrated Assessment of Economic, Social, and Environmental Values Using Agricultural Income Survey and Soil Test Data

문용식[1], 양주영[1], 정민식[2], 김대웅[1], 윤도일[1]*
Yongsik Moon[1], Jooyoung Yang[1], Minsik Jung[2], Daewoong Kim[1], and Do-il Yoo[1]*
[1]서울대학교, [2]충북대학교
[1]Seoul National University, Seoul 08826, Korea
[2]Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

최근 이상기후의 빈발과 농업생산 구조의 집약화, 환경규제 강화 등으로 인해 농업환경은 농업생산성과 농가소득뿐만 아니라 농업의 지속가능성을 결정하는 핵심 요인으로 인식되고 있다. 따라서 농업환경에 대한 정확한 평가에 기반한 농업계획 수립의 필요성 또한 대두되고 있다. 그러나 기존 농업환경 관련 조사는 토양, 농업용수, 농약 및 농자재 등 개별 항목의 상태를 파악하는 데 집중되어 왔으며, 조사 결과를 농가의 경영성과 및 사회적 특성과 연계하여 종합적으로 평가하는 체계는 충분히 마련되지 못하였다. 이에 본 연구는 농산물소득조사와 토양검정자료를 중심으로 관련 자료를 연계하여 농가 단위 농업생산의 경제적·사회적·환경적 지속가능성을 종합적으로 평가하기 위한 지표체계를 구축하였다. 이를 위해 환경·경제·사회 분야의 주요 국제 지표체계를 종합적으로 검토하고, 국내 농업 여건에 대한 적용 가능성, 자료 접근성, 농가 단위 산출 가능성 및 지표 간 중복성을 기준으로 평가지표를 선별하였다. 또한 선별된 지표를 환경·경제·사회의 3개 평가부문(pillar)과 평가원칙(principle), 평가지표(indicator), 세부지표(sub-indicator)의 위계로 구조화하였다. 구축 결과, 환경 부문에서는 토양 건전성, 토양 관리, 작물 방제 및 탄소 저감의 4개 평가원칙에 따라 19개 세부지표가 도출되었다. 경제 부문에서는 경영성과, 생산성, 경영 독립성, 판매 및 시장대응 역량의 4개 평가원칙에 따라 10개 세부지표가 도출되었으며, 사회 부문에서는 영농 역량 및 교육, 복지 및 형평성, 사회적 책임의 3개 평가원칙에 따라 7개 세부지표가 도출되었다. 본 연구는 개별적으로 관리되어 온 농가 경영자료와 토양환경자료를 연계하여 농업생산의 경제적 성과, 환경적 건전성 및 사회적 지속가능성을 함께 진단할 수 있는 분석 기반을 제시하였다는 점에서 의의가 있다. 특히 기존의 지역 단위 평균값 중심 평가에서 나아가 평가 단위를 농가 단위로 세분화함으로써 농가 간 이질성을 반영할 수 있는 보다 세밀한 평가체계를 제시하였다는 점에서 차별성이 있다. 구축된 지표체계는 향후 농가 및 작목별 지속가능성 비교, 취약 부문의 식별, 농업환경 개선사업의 성과평가 및 농가 맞춤형 정책지원 기준 마련에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

주제어: 환경, 경제, 사회, 농가소득조사, 토양검정자료
주연구자 연락처: scydl8@snu.ac.kr (010-3351-3456)

특별세션B 02

환경 및 농업 분야 간 양분수지 산정 및 관리지표 비교

Comparison of Nutrient Balance Calculation and Management Indicators Between the Environmental and Agricultural Sectors

윤영만*
Yopung-Man Yoon*
한경국립대학교
Hankyong National University, Anseong 17579, Korea

우리나라는 농경지·축산 밀집지역의 양분 과잉으로 인한 수계 비점오염 부하를 저감과 지역자원 기반의 경축순환농업 체계 구축을 위하여 지역의 환경용량 범위 내에서 양분 투입·처리를 과학적으로 관리하는 체계를 구축하고자 지역단위 양분관리제도 도입을 추진하고 있다. 당초 "가축분뇨 관리·이용 종합대책"(기후부·농식품부 합동, 2004)에서는 가축분뇨로 인한 양분 부하 경감 방안으로 양분총량관리제도 도입을 시사한 바 있으며, 이후 제도 도입을 위한 연구용역의 수행 과정에서 무기질 비료 및 유기질비료 유래 양분까지 관리 대상에 포함되었다. 양분관리제도의 시행에서 기본적으로 농경지로 투입되는 양분의 저감이 필수적이며, 농경지 투입 양분의 저감은 작물의 생산성 저하를 유발할 가능성이 크다. 따라서, 무기질 비료 생산업계, 가축분뇨 퇴·액비 생산업계뿐만이 아니라 가축분뇨를 배출하는 축산업계, 농산물을 생산하는 경종업계까지 다양한 이해관계자가 존재한다. 이러한 이유로 양분관리제도 도입 과정에서 다발적인 쟁점이 발생하였으며, 다양한 이해관계자들이 순응할 수 있는 과학적이고, 합리적인 제도 방안의 마련이 요구되고 있다. 과학적이고, 합리적인 제도 마련을 위해서는 지역의 양분수지 현황을 평가하는 양분수지 산정 방법론 개발, 지역의 양분수지 적정 관리 수준 도출 방법론 개발, 양분관리제도 도입에 따른 농업생산 저해 영향 평가 및 수계 비점오염원 저감 등에 따른 환경적 편익 효과 등의 분석법 개발이 요구된다. 그러나 현재 기후부에서 제시하고 있는 지역단위 양분수지 산정 방법론조차도 과학성과 합리성이 의심받고 있으며, 지역의 양분수지 적정 관리 수준 도출 방법론 개발에 대한 방향 정립도 미흡한 상황이다. 따라서, 본 연구에서는 지금까지 양분관리제도 도입을 위한 연구 및 논의 과정에서의 주요한 쟁점 사항을 살펴보고, 농업 생산성 유지와 환경오염 경감을 동시에 충족시킬 수 있는 연구개발 방향을 제시하고자 하였다. 특히, 지역의 양분수지 적정 관리 수준 도출 방법론 개발 분야에서 기후부에서 제안하고 있는 양분부하(양분초과율) 지표의 문제점을 살펴보고, 이를 개선하기 위하여 지역의 작물 생산성과 연계하는 양분수지 지표 설정 방법론을 제안하였다. 또한, 양분관리제도 도입에 있어서 농촌진흥청에서 수행하고 있는 "국가·지역단위 양분수지 영향평가 통합관리 기술개발" 과제의 역할과 위치를 명확히 하여 향후 안정적인 과제 성과 도출을 위한 기초 자료로 활용하고자 하였다.

주제어: 양분수지, 양분부하, 질소, 인, 양분관리, 영향평가
주연구자 연락처: yyman@hknu.ac.kr (010-2618-0355)

특별세션B 03

농업환경 변동조사DB 활용성 제고를 위한 시공간적 통계분석 및 표준화 수질 평가

Spatiotemporal Statistical Analysis and Standardized Water Quality Assessment of Agricultural Water Using the Agricultural Environment Database

김동현[1]*, 김학관[2], 장태일[1], 송정헌[3]
Donghyeon Kim[1], Hakkwan Kim[2], Taeil Jang[1], and Junghun Song[3]
[1]전북대학교, [2]서울대학교 [3]충남대학교
[1]Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Korea
[2]Seoul National University, Seoul 08826, Korea
[3]Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

최근 기후변화 가속화와 농업 환경 변화로 농업용수 수질의 불확실성이 증대되고 있으나, 현재 국가 수질 모니터링은 환경부 수질오염총량측정망을 중심으로 운영되어 농촌 소유역, 농촌 하천에 대한 수질 관리 및 정밀 평가 체계는 미흡한 실정이다. 이에 따라 농업환경 변동조사 DB를 활용하여 농촌 소유역을 정의하고 시공간적 수질 변동을 평가하며, 전국 상세 모니터링의 한계를 극복하기 위해 AI 및 모델링 기반으로 데이터를 보완하는 통합형 수질 평가 체계 구축이 시급히 요구된다. 본 연구는 기후변화 및 농업환경 변화에 대응하여 농업용수 수질 관리의 효율성을 높이고자, 농촌진흥청 국립농업과학원의 농업환경 변동조사 DB(전국 300여 개 하천수 조사 지점)를 활용한 시공간적 수질 변동 특성 평가 및 평가 체계 표준화 연구를 수행하였다. 2015년부터 2024년까지 10개년 동안 4월, 7월, 10월에 관측된 수질 측정 자료를 대상으로 Mann-Kendall(MK) 및 Regional Kendall(RK) 검정을 적용하여 전국 농업용 수질의 장기적 경향성과 추세를 시공간적으로 분석하였다. 또한, 수질 항목별 복합적 영향을 종합적으로 평가하기 위해 Nemerow 수질지수(Nemerow Pollution Index) 및 종합수질지수(WQI) 등 표준화된 지수화 방법론을 도입하여 농촌유역 수질 상태를 등급화 및 평가하였다. 연 3회 농업환경 변동조사 모니터링 자료의 시간적 해상도 한계를 극복하고 수질 환경 모니터링 체계를 보완하기 위해 대표 유역 모니터링 지점 2곳인 새만금 유역(원평천 유역) 및 한강 유역(시설재배 단지 중심 유역)을 선정하여 매월 수문, 수질 모니터링을 계획하고 있다. 수집된 모니터링 자료를 바탕으로 군집분석(Cluster Analysis)을 통해 공간적 수질 패턴을 유역별로 유형화하였으며, 다층 퍼셉트론(MLP, Multi-Layer Perceptron) 기반의 인공신경망 예측 모델을 구축하여 미관측 시기의 수질 데이터 보강 및 예측 평가를 수행할 예정이다. 본 연구 결과는 전국 단위 농업용수 수질의 장기 변동 경향과 정밀 유역의 특성을 체계적으로 파악하는 데 기여할 것이며, 향후 '농업용수 소유역 단위 수질환경 평가 및 친환경 정책 평가 체계 구축'을 위한 과학적, 기반적 기초자료로 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

감사의 글: 본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: RS-2026-25517429)의 지원에 의해 이루어진 것임

주제어: 농업환경 변동조사 DB, Kendall 검정, Nemerow 지수, 종합수질지수(WQI), 농촌소유역
주연구자 연락처: kdh4354@jbnu.ac.kr (010-8338-4354)

특별세션B 04

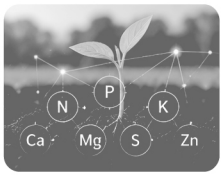
변화이론을 바탕으로 한 농업환경지불금 평가 체계 구축

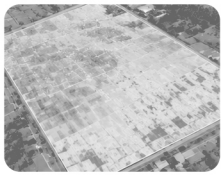
Establishing an Evaluation Framework for Agri-Environmental Payments Based on the Theory of Change

성재훈*
Jae-hoon Sung*
한국농촌경제연구원
Korea Rural Economic Institute, Naju-si 58217, Korea

2027년까지 직불금을 5조 원으로 확대한다는 계획에 따라, 농업환경지불금의 규모와 범위 역시 확대될 것으로 예상된다. 농업환경지불금은 교차준수를 넘어선 농업인의 자발적 참여를 바탕으로 하며, 현재 국내에는 농업환경보전프로그램, 저탄소농업프로그램, 농업농촌자발적온실가스 감축사업, 전략작물직불제를 제외한 선택형 공익직불제이 운영되고 있다. 다만, 이러한 농업환경지불금 정책은 지속적 추진에도 불구하고 성과의 불확실성과 상대적으로 큰 정책 비용으로 인해 정책의 외연 확장에 어려움을 겪고 있으며, 나아가 제도의 지속가능성마저 위협받고 있다. 특히, 현재의 농업환경지불금에 대한 평가는 논리모형(Logframe)에 기반하여 '무엇이 달성되었는가'에만 초점을 맞추고 있어, 농가의 행태 변화와 환경적 성과가 도출된 원인을 식별하는 데에는 한계를 지닌다. 이에 본 연구는 변화이론(Theory of Change, 이하 ToC)을 바탕으로 국내 농업환경지불금제도의 평가체계를 분석하고, 이를 통해 제도 개선을 위한 정책과제를 도출하고자 한다. ToC는 정책의 투입부터 궁극적인 영향에 이르는 복잡한 인과 경로를 지도화하고, 그 기저에 갈린 가정과 변화 메커니즘을 실증적으로 검증하는 개념적 틀이다. 결과적으로 본 연구에서는 ToC를 적용하여 현행 농업환경지불금 정책 평가를 위한 새로운 지표체계를 구축하고, 이를 기존의 논리모형과 연동한 종합적인 농업환경지불금 평가체계를 제시하고자 한다.

주제어: 변화이론, 농업환경지불금, 평가체계
주연구자 연락처: jsung@krei.re.kr (010-4926-8006)





특별세션 D

Korea-China Joint Symposium: Development of Technologies for Enhancing Soil Climate Resilience

특별세션D 01

Spatial-Temporal Distribution and Changes of Soil Organic Matter in Northeast Black Soil Region of China

Jingkuan Wang*
Shenyang Agricultural University, China

The total area of Northeast China is approximately 1.24 million km^2, with a cultivated land area of 0.38 million km^2, accounting for about 30% of the total area. This region has three major mountains (Greater Xingan Mountain, Smaller Xingan Mountain, and Changbai Mountain), three major plains (Liaohe Plain, Songnen Plain, and Sanjiang Plain), and three boundary rivers (Heilongjiang River, Wusuli River, and Yalu River).

The black soils have faced three major problems due to the intensive utilization over the past 40 years: “Thickness of cultivated layer is becoming thinner”, “Soil organic matter is decreasing”, and “Bulk density of cultivated layer is becoming harder”. The soil organic matter contents in black soils have decreased significantly, mainly distributed in the northeastern and southwestern parts of the black soil region, with a decrease of 0.5%-1.0%, accounting for about 52% of the total cultivated land area. The thickness of the soil layer in the black soil region has decreased (“becoming thinner”) significantly, with the thickness decreasing from 21 cm to 16 cm, accounting for about 50% in total cultivated land. The bulk densities of the cultivated soils have also increased significantly, from 1.25 g/cm^3 to 1.35 g/cm^3, accounting for about 46% of the total cultivated land.

The average content of soil organic matter in the black soil region is 30.56 g/kg at present. The organic matter contents are distributed most widely in the range of 20-35 g/kg, accounting for 34.41% of the total cultivated land area in the region. Overall, it shows a decreasing trend from the northeast to the southwest. Compared with 40 years ago, the organic matter contents in farmland soil have changed from mainly $\geq$ 40 g/kg to mainly 10-40 g/kg, showing a trend of aggregation from high and low levels to intermediate levels. Using geostatistical modeling methods, the targets for soil organic matter fertilization in typical black soils areas were 21.2-93.5 g/kg. Among them, the space distributions of organic matter improvement for medium and low fertility soils were 2.4-66.6 g/kg and 9.4-81.2 g/kg.

The significant changes in the distribution of cultivated land quality grades were in Northeast black soil region over time and space. The average grade has increased from 3.88 in 2012 to the current 3.49 in 2022. The cultivated land quality grades in the central, northern, and western regions have improved significantly. Using the Miami climate model and stepwise correction method, the grain production capacities in Northeast black soil region are calculated to be 2.97-12.1 t/hm^2, with the actual yield accounting for an average of 68% of the grain production potential. The average potential increase in grain production in the black soil region is 3.4 t/hm^2, and the grain surplus productivity is 1.37 billion tons, which can ensure the food supply for 340 million people in other regions of China. Therefore, Northeast black soil plays a significant role in ensuring China’s food security.

특별세션D 02

Soil Component Interactions and Impacts on Organic Carbon Accumulation

Qiaoyun Huang*
National Key Laboratory of Agricultural Microbiology, Hubei Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Soil is a multi-phase system encompassing various biotic and abiotic components such as minerals, organic matter, microorganisms and so forth. The interplay of these reactive constituents govern the cycling, accumulation and persistence of organic carbon (OC) at different levels e.g. molecular, aggregate etc. via forming a wide range of complexes and aggregates. Clarifying the behavior and mechanisms of organic carbon at the soil interface is fundamentally important for understanding the long-term preservation of SOC. At the molecular scale, the type of minerals significantly affects microbial activity. Iron oxides such as goethite strongly inhibits bacterial metabolism by enhancing cell adhesion and inducing oxidative stress and the inhibition enhances with decreasing mineral particle size, while clay minerals like kaolinite show much less impacts. The way bacterial extracellular polymers bind to minerals (adsorption vs. co-precipitation) determines the chemical composition of OC - co-precipitation enriches more carbon and contains more aromatic/fatty acid components, while adsorption retains more nitrogen and carboxyl/amide substances. By using NanoSIMS, synchrotron-based FTIR and other techniques, we revealed that new carbon preferentially attaches to the surface of existing soil organic matter, suggesting that organic-organic interaction is the main driving force for SOC accumulation, and this process is mediated by iron oxides which promote the retention of polysaccharide-rich microbial necromass. At the aggregate scale, the stability of OC decreases with decreasing particle size: macroaggregates > micro aggregates > silt + clay fractions. In large aggregates, physical protection (porous structure) and chemical binding contributes equally, while in micro aggregates, chemical binding dominates (53-59%). Protozoa regulate carbon turnover by predating on bacteria and fungi, and their trophic cascades are active in large aggregates and fine clay particles, but are decoupled in micro aggregates, which is conducive to carbon storage. In order to better understand the mechanism of OC preservation in soils, more in-depth studies of OC with soil components particularly in-situ experiments and the integration with modeling are needed in the future under the scenario of different field and climate conditions, and land utilizations. Attentions should also be paid the influence of soil viruses and fauna.

특별세션D 03

Dilemma of Organic Matter Input to Mitigate the Climate Impact of Rice Paddies

Pil Joo Kim*
Division of Applied Life Science (BK 21 Plus), Gyeongsang National University
Jinju, 52828, South Korea (pjkim@gnu.ac.kr)

Soil can act as either a source or sink of atmospheric carbon (C). Organic matter application can sequester carbon dioxide (CO_2) through negative emission technologies. However, in rice paddies, organic matter application can significantly increase methane (CH_4) emissions, offsetting potential climate benefits. We compared the effects of organic matter types on net climate impact by quantifying annual gaseous fluxes and soil C stock changes with CO_2 equivalents. All organic amendments increased CH_4 emissions (7−30 Mg CO_2-eq. ha^{-1}) compared with the no organic matter treatment (NPK). However, the increases in soil C stock (9 −11 Mg CO_2-eq. ha^{-1}) were insufficient to shift the system from a net C source to a net sink, even when combined with water management strategies. In contrast, biochar increased CH_4 emissions but enhanced soil C stock, leading to a net negative emission effect without compromising rice productivity. Given that rice paddies account for about 11 % of anthropogenic CH_4 emissions, organic matter application requires careful evaluation to avoid exacerbating climatic impacts.

Keywords: organic matter application, climate impact, rice paddy

특별세션D 04

The Dynamic Continuum of MAOM: Destabilization Mechanisms and Implications for Soil C Assessment

Kyungmin Kim*
Department of Agricultural Biotechnology, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

Separating soil organic matter into particulate (POM) and mineral-associated organic matter (MAOM) provides an effective framework for addressing global change, as these components differ in their formation, persistence, and functioning. However, the widespread practice of equating MAOM with a uniformly slow-cycling and stable fraction, frequently without empirically measuring its actual turnover, presents a critical limitation. Indeed, MAOM functions as a multi-pool continuum containing a highly bioavailable, fast-cycling fraction.

Synthesizing recent findings from Jia and Feng (2026), Jilling et al. (2025), and Bölscher et al. (2026), this presentation reviews the destabilization mechanisms of this fast-cycling MAOM, which can be driven by plant-microbe interactions and environmental shifts. Within complex soil matrices, indirect microbially mediated pathways can destabilize MAOM significantly more effectively than direct physicochemical mechanisms. Crucially, this fast-cycling mineral-associated fraction can be more readily accessible to microbial processing than structurally recalcitrant POM. This introduces a paradoxical mechanism in soil carbon sequestration: because fast-cycling MAOM enters the microbial cycle efficiently, bulk MAOM pool size does not universally guarantee long-term carbon stability.

Consequently, using the operational POM versus MAOM dichotomy as an absolute proxy for carbon stability leads to a fundamental miscalculation of soil carbon vulnerability. Assuming all mineral-associated carbon acts as a permanently sequestered sink risks overestimating long-term carbon persistence. Therefore, studies investigating carbon stabilization mechanisms must explicitly evaluate actual turnover rates rather than relying on physical fractions as proxies for stability. Ultimately, enabling a more accurate evaluation of soil carbon potential under global environmental change requires a fundamental shift in focus toward actual bond strengths and continuous microbial-mineral dynamics.

Keywords: Soil Organic Carbon, Carbon dynamics, SOC stability, Soil Carbon Accrual, Soil Carbon persistence
Correspondence: km_kim@snu.ac.kr

특별세션D 05

Extracellular Polymeric Substances: Overlooked Contributors to Soil Organic Carbon Persistence

Peng Cai*
National Key Laboratory of Agricultural Microbiology, College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan, 430070, China

Microbial contributions to the persistence of soil organic carbon (SOC) are often attributed to the long-term accumulation of microbially derived products, primarily cellular residues. Beyond cellular products, microbes also synthesize and secrete a group of ubiquitous, adhesive biomacromolecules known as extracellular polymeric substances (EPS). Although the involvement of soil EPS in SOC persistence has long been suggested, their quantitative contribution and underlying mechanisms remain poorly resolved. We synthesize current knowledge to highlight that while EPS quantified using existing methods account for only approximately 2% of SOC, their production often matches or exceeds microbial cellular biomass production, indicating that EPS represent a major microbial carbon flux to soil. We outline four mechanisms by which EPS contribute to SOC stabilization: the direct formation of (i) stable mineral-associated organic matter and (ii) hypothesized chemically complex and less bioavailable polymers, and the indirect protection of SOC through (iii) enhanced soil aggregation and (iv) modification of soil pore structure to physically constrain decomposition. We propose that EPS-mediated stabilization is a central control on SOC persistence and explicitly incorporate EPS into the soil microbial carbon pump (MCP) framework. This framework distinguishes the *in vivo* extracellular route of EPS production from the cellular route of biomass production, providing a process-based basis for developing testable hypotheses on how cellular and extracellular microbial carbon fluxes jointly regulate SOC persistence. Key knowledge gaps include robust approaches for soil EPS extraction and quantification, incorporation of EPS dynamics into SOC models, and a process-based understanding of environmental and microbial controls on EPS production and degradation. Addressing these gaps will significantly refine our understanding of microbial contributions to the terrestrial carbon cycle and inform strategies to enhance soil carbon storage.

특별세션D 06

Multiple Approaches to Estimate the Sources of Mineral-Associated Soil Organic Matter

Yi Chang[1], Sam Leuthold[2], Claudia Guidi[3], Jingkuan Wang[1], and Fan Ding[1]*
[1]College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang, China
[2]Department of Soil and Crop Sciences, Colorado State University, Fort Collins, CO, United States
[3]Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL, Birmersdorf, CH-8903, Switzerland

Mineral-associated organic matter (MAOM) represents the largest and most slowly cycling carbon pool in terrestrial ecosystems. MAOM can be categorized by its sources into plant- and microbial-derived compounds, or also by its molecular weight into structural and non-structural compounds. Clarifying the relative contribution of "plant versus microbe to MAOM, as well as "structural versus non-structural compounds", is essential for managing and modeling the response of soil carbon to environmental change. However, convincing quantitative approaches are still lacking for knowing plant versus microbial contribution to MAOM, and no technique can differentiate contribution of structural versus non-structural compounds. Here, we collected soil samples from 0-20 cm and 20-40 cm layers from a grassland aboveground and belowground litter experiment and measured the stoichiometric ratios (C/N, C/P, and N/P) and isotopic signatures ($d^{13}C$ and $\delta^{15}N$) for MAOM, particulate organic matter (POM), microbial biomass and dissolved organic matter (DOM). We used five approaches, including two pool mixing model with microbial biomass and POM as end-members based on stoichiometric ratios (C/N, C/P, and N/P) and isotopic signatures ($\delta^{15}N$) and amino sugar measurement in MAOM, to quantify plant versus microbial contribution to MAOM, and used similar two pool mixing model with POM and DOM as end-members based on stoichiometric ratios and $\delta^{15}N$ to quantify the contribution structural versus non-structural compound to MAOM. Across all the approaches, microbial contributions to MAOM ranged from 32% to 72%. Most approaches highlight the importance of microbial contributions in MAOM formation in deep soil. Across all the approaches, the contribution of non-structural compounds to MAOM ranged from 30% to 74% and structural compounds contributed from 26% to 70.). All the approaches generally proved greater non-structural compounds contribution to MAOM in deeper soil. Our study provides the first quantitative assessment of the relative contributions of non-structural and structural compounds to MAOM, highlighting that structural and non-structural compounds both play important role in MAOM formation.

Keywords: mineral-associated organic matter, particulate organic matter, plant carbon, microbial residues, soil organic matter dynamics
Correspondence: dingfan1985@syau.edu.cn

특별세션D 07

Biochar as a Dual-Function Climate Solution: Integrating Carbon Sequestration and Soil Water Regulation for Climate Resilience

Gayoung Yoo*, Inhye Seo, You Jin Kim, Jeehwan Bae, and Yonghui Jung
Kyung Hee University, Yongin 17104, Korea

Biochar is increasingly recognized as a soil-based carbon dioxide removal (CDR) strategy because its recalcitrant carbon can persist in soils for extended periods. Beyond carbon sequestration, biochar has been suggested to enhance soil water regulation and ecosystem resilience under increasing climatic extremes. However, the long-term performance of biochar under field conditions remains insufficiently understood, particularly regarding how biochar placement and aging influence its multifunctional roles. This study investigated the long-term carbon sequestration potential and soil water regulation effects of biochar using a five-year field experiment established in an urban green space system.

A total of 24 tree-pit plots were established, including 12 biochar-amended plots and 12 untreated controls. To minimize biochar loss during application and maintain consistent spatial placement, a fixed amount of wood-derived biochar was enclosed in biodegradable mesh units, termed Soil Chargers™, and installed in two layers around the tree root zone. Eight Soil Chargers™ were applied per tree, corresponding to 4% of soil mass and approximately 10 t C ha^{-1}. Four years after application, soil sampling confirmed that the biodegradable mesh had completely decomposed, while the biochar remained largely intact at its original placement locations. This demonstrated that the Soil Charger™ configuration effectively maintained localized biochar retention and provided a stable framework for long-term biochar–soil interactions. Soil water content was continuously monitored for five years, and precipitation–soil moisture relationships were evaluated across multiple temporal scales using wavelet coherence analysis.

The effects of biochar on soil water dynamics were not expressed as a simple increase in soil moisture but varied with season and time since application. During the dry pre-monsoon period (March–May), biochar enhanced soil water retention and persistence, whereas during the monsoon period (June–September), it reduced excessive surface moisture accumulation and promoted downward water redistribution. These contrasting functions became increasingly evident with biochar aging. Structural analyses revealed that these hydrological responses were associated with the development of distinct functional domains within the biochar–soil system. In soil surrounding the biochar layers, readily plant-available water increased by 16%, and the proportion of 53–250 μm microaggregates at 30–60 cm depth increased by 53%, indicating enhanced development of water-retentive soil structures. Meanwhile, X-ray computed tomography showed that connected porosity within the biochar layer was approximately twice that of the control soil. Field-aged biochar particles exhibited pore enlargement, linear fractures, and partial collapse of internal structures, suggesting the development of connected pathways facilitating excess water transmission during wet periods. Consistently, vertical soil moisture observations showed more rapid downward redistribution of water in biochar-amended plots during monsoon rainfall.

These findings demonstrate that biochar functions not simply as a persistent carbon reservoir or a static soil amendment, but as a time-evolving component of the soil system that simultaneously supports climate change mitigation through carbon sequestration and adaptation through improved regulation of hydrological extremes. The results highlight that maximizing the climate benefits of biochar requires consideration not only of application amount, but also of deployment configuration, aging processes, and long-term biochar–soil structural development.

Keywords: biochar; carbon sequestration; climate resilience; soil water regulation; urban green space; long-term field experimentKeywords: Climate resilience, Biochar, Carbon sequestration, Soil water regulation, urban, long-term experiment

Correspondence: gayoo@khu.ac.kr (031-201-3858)

특별세션D 08

Aggregation Counteracts Bacterial Decomposition to Facilitate Carbon Persistence under Combined Application of Lime and Organic Materials

Chenchen Qu*
Huazhong Agricultural University, Wuhan, 430070, China

The amelioration of acidified soil is critical for increasing its productivity and health. Although single calcite, straw, or biochar are known to mitigate soil acidification, the persistence of added organic carbon and the underlying mechanisms remain poorly understood, particularly under combined calcite-organic treatments. Here we show the temporal dynamics and treatment-dependent pathways of exogenous carbon stabilization during a nine-year field amelioration, as governed by the balance between aggregate protection and microbial decomposition. On average, the amendments increased aggregate-associated carbon by 9.5% and bacterial necromass carbon by 35.7%, without altering SOC at year nine, suggesting a redistribution of carbon toward more stable pools. The pathways of SOC sequestration differed markedly among treatments: single calcite primarily facilitated physicochemical protection, whereas single organic amendments promoted both microbial decomposition and necromass accumulation, indicating a fast turnover of organic carbon. In contrast, the calcite-organic combination delayed the mineralization of organic carbon through physicochemical protection and the elevated microbial carbon pump efficacy (ΔMCPefficacy). The combined treatment also enriched Actinobacteria, Gemmatimonadota, and *Streptococcus*, taxa that are known to promote microaggregate formation via hyphal entanglement, thereby further reducing SOC mineralization. Collectively, these findings elucidate the biophysical regulatory pathways of exogenous persistence during acidified soil amelioration, and highlight the advantage of calcite and organic combination in delaying carbon loss.

특별세션D 09

Rice Paddy Soils have Greater Accumulation of Stable Organic Carbon than Upland Soils

So Yeong Park[1], Song Rae Cho[2], Young Ho Seo[1], Hyeon Ji Song[1], and Pil Joo Kim[1,3]
[1]Division of Applied Life Science (BK21+ Program), Gyeongsang National University, Jinju, 52828, South Korea
[2]Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju, 55365, South Korea
[3]Institute of Agriculture and Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju, 52828, South Korea

Soil organic carbon (SOC) sequestration can mitigate climate change, but the development of effective management strategies is limited by a poor understanding of the factors controlling organic matter stabilization in soils. SOC sequestration occurs through interactions between organic matter and soil minerals, but the role of iron (Fe) oxides in this process is not well understood. This is particularly true in rice paddies, where waterlogging alters Fe oxide chemistry in ways that might promote SOC sequestration. For example, redox fluctuations promote the formation of amorphous Fe oxides, which have a higher surface area for sorption than crystalline Fe, and create complexes between organic matter and Fe oxides that resist decomposition. To estimate the influence of Fe compounds on SOC accumulation in rice paddies, we determined Fe and SOC pools in rice paddy and upland soils throughout South Korea. We isolated particulate organic C (POC) and mineral-associated organic C (MAOC), and quantified Fe oxides in amorphous (extracted in acid ammonium oxalate), organically associated (extracted in sodium pyrophosphate) and total pedogenic (extractable in sodium dithionite) forms. SOC is greater in paddy than in upland soils in Korea by an average of 2.0 g C kg^{-1}. Paddy soils also contain a greater proportion of SOC as MAOC compared to upland soils, indicating more stable SOC in rice paddies. Paddy soils contain higher concentrations of organically associated Fe than upland soils (3.2 vs 2.3 g Fe kg^{-1}, respectively) and a greater proportion of their pedogenic Fe is in amorphous forms (i.e., oxalate-Fe / dithionite-Fe × 100; 25% v 21% in paddy and upland soils, respectively). Overall, these results suggest that fluctuating anaerobic and aerobic conditions in rice paddies promote SOC stability through interactions with Fe oxides, predominantly via organic matter–Fe complexation. Future research should develop management practices that promote these mechanisms for effective SOC sequestration.

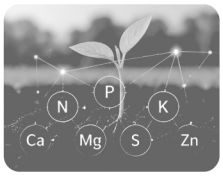
Keywords: mineral-associated organic carbon, particulate organic carbon, organic carbon stability, iron oxide complexation
Correspondence: pjkim@gnu.ac.kr

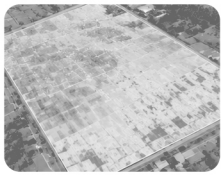
특별세션D 10

Nondestructive Quantification of Soil Mineral Associated Organic Carbon (MAOC) Species and their Distribution at Global Scale

Daxin Gao*
National Key Laboratory of Agricultural Microbiology, Hubei Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Several traditional chemical methods have been widely used in the evaluation of soil mineral associated organic carbon (MAOC). Yet, these methods may under- or over-estimate the different MAOC species due to incomplete extraction or weak selectivity. Here, we establish a nondestructive technique to assess different MAOC species using SEM-EDS combined with a mineral fingerprint algorithm. We find that Fe oxyhydroxides (Fe-OC), phyllosilicates (Si-OC), Fe oxyhydroxides - Ca (Fe-Ca-OC) and Ca associated OC (Ca-OC) contribute to MAOC storage by 44.6±29.3%, 24.2±19.9%, 17.2±16.5% and 14.0±18.8%, respectively, along a latitudinal gradient (18 - 47 N°, 3600 km) in China. Using the Random Forest model, we estimate the contribution of the four MAOC species to OC preservation in global soils at 1 m depth to be 333±25 Pg, 191±36 Pg, 207±23 Pg and 194±25 Pg C, respectively. Our predictions challenge prevailing ideas on the preservation and distribution of MAOC species in soils. A holistic conceptual framework is proposed to describe the distribution pattern of MAOC species. Contrary to current understanding, Fe-Ca-OC and Si-OC may play a critical role in the accumulation of OC in alkaline and acidic soils, respectively.





특별세션 E

일본토양학회(후쿠시마대학)

특별세션E 01

Fukushima Prefecture Today: Reconstruction and Revitalization 15 Years after the Great East Japan Earthquake and Nuclear Disaster

Naoyuki Uenodai*
Agriculture, Forestry and Fishery Department, Fukushima Prefectural Government, Fukushima 960-8670 Japan

The Great East Japan Earthquake and the accident at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station on 11 March 2011 caused widespread damage across Fukushima Prefecture through the combined impacts of the earthquake, tsunami, and nuclear disaster, severely affecting residents' lives, agriculture, forestry, and fisheries, as well as tourism and other local industries. Concerns over radioactive contamination also led to long-term reputational damage, including lower prices, reduced demand for local products, and import restrictions imposed overseas. This paper provides an overview of the current status of Fukushima Prefecture 15 years after the earthquake and nuclear disaster, together with initiatives towards environmental recovery, food safety, the revitalization of agriculture, forestry and fisheries, and the expansion of exchanges.

Environmental recovery has progressed through extensive decontamination of residential areas, roads, schools, and farmland by the national and local governments, along with natural radioactive decay, resulting in a substantial reduction in ambient dose rates within the prefecture. Approximately 14.3 million m^3 of removed soil and waste are being managed at the Interim Storage Facility. The national government is responsible for ensuring final disposal outside the prefecture by March 2045. In Fukushima Prefecture, comprehensive monitoring for radioactive substances in local agricultural, forestry, and fisheries products has been conducted since immediately after the nuclear disaster to ensure food safety, including the inspection of all 10,304,616 bags of rice in FY2012. Together with national monitoring and voluntary inspections by producers, a system is in place to ensure that only products meeting safety standards enter the market. Inspection results are made public, and products containing radioactive substances above regulatory limits remain subject to shipment restrictions.

In the agriculture, forestry, and fisheries sectors, recovery has steadily progressed, particularly in the Evacuation-Designated Zones, through farmland restoration and trial cultivation in the agriculture, as well as the rehabilitation of production infrastructure and strengthened safety management in the forestry and fisheries sectors. However, recovery of prices and market distribution remains incomplete for some products. The number of international overnight visitors to Fukushima Prefecture has continued to recover, as have agricultural exports, and import restrictions imposed after the nuclear disaster have been lifted by 50 of the 55 countries and regions that introduced them. Although import restrictions remain in place in South Korea, momentum for further exchanges continues to build through promotional activities and charter flights linking Fukushima Airport and Cheongju. In addition, initiatives such as the Fukushima Innovation Coast Framework and the Fukushima Institute for Research, Education and Innovation (F-REI) are promoting research and development, new industry creation, and human resource development.

Keywords: Fukushima, The Great East Japan Earthquake, Nuclear disaster, Environmental recovery, Food safety, Recovery and revitalization
Correspondence: kikaku.aff@pref.fukushima.lg.jp (+81-24-521-8027)

특별세션E 02

Remaining Problems 15 Years after FDNPP Accident

Takuro Shinano*
Fukushima Institute for Research, Education and Innovation, Hokkaido University, Graduate school of agriculture, Hokkaido 060-8589 Japan

March in Fukushima, the agricultural activity is very limited. Major crops (rice, buckwheat, soybean, etc.) were not cultivated yet, and most of the agricultural soil was not covered with plant. Only in some area of pasture, winter wheat, winter vegetables and orchard trees were found. Most of the radioactive Cs (RCs) derived from hydrogen explosion of FDNPP directly attached to the soil. As there is a large amount of clay mineral in the soil of this area, most of the RCs was removed by top soil stripping but it is not realistic to remove all the RCs from the soil. To overcome this problem, potassium supply by fertilizer was carried out to mitigate RCs transfer from soil to plant. Though this countermeasure was very successful to reduce RCs content of the crops, there were several remaining problems were revealed after 15 years. One is the effect of potassium application is not consistent among soil types. When transfer factor (TF = radioactivity of plant or harvesting organ / radioactivity of soil) is measured at different level of potassium availability of the soil, some area shows higher TF at the same level of potassium availability (e.g. Hamadori area has higher TF at the same potassium availability compared to Nakadori area. The other is that the relationship between potassium availability and TF is different among crop species (e.g. soybean and buckwheat are higher than that of rice). We are trying to make clear the mechanism to explain the difference.

Keywords: Radio cesium, Soil mitigation, Transfer factor, Nuclear power plant accident
Correspondence: shinano@agr.hokudai.ac.jp (+81-80-5598-7764)

특별세션E 03

Assessment and Control of the Risk of Radiocesium Transfer from Soil to Rice Using Nonexchangeable Potassium in Soil and Visual Inspection of Micaceous Minerals

Junta Yanai[1]*, Atsushi Nakao[1], Kohei Kurokawa[1,2], Ayano Nakajima[1], and Takuro Shinano[3]
[1]Kyoto Prefectural University, Kyoto 606-8522 Japan
[2]James Hutton Institute
[3]Hokkaido University

Assessment and control of the risk of radiocesium (RCs) transfer from soil to crops is vital for safe food production in RCs affected regions. Exchangeable K (Ex-K) in soil is a key to control the transfer factor of RCs from soil to brown rice, and Ex-K content > 25 mg K_2O 100g-1 before the usual fertilization was recommended in Japan as a threshold value to reduce the RCs transfer. However, no threshold has been determined for nonexchangeable K (Nex-K) content in soil regardless of its potential usefulness. This study aimed, therefore, 1) to establish a new threshold for Nex-K in soil to control the transfer factor and 2) to develop an on-site visual inspection method of the amount of micaceous minerals which considerably regulate Nex-K in soil. The transfer factors were determined for paddy fields in 2017 and 2018 under different K fertilization regimes in Fukushima Prefecture, Japan. The Ex-K and Nex-K contents were investigated for the surface soil sampled after the transplanting and fertilization as well as after harvest of rice in the same paddy fields. The Ex-K content largely decreased from after transplanting and fertilization to after harvest, and the Ex-K of the soil after harvest was negatively correlated with the transfer factor ($r_s = -0.70$, $p < .001$). Most soil samples after harvest showed that the transfer factors exponentially increased as the Ex-K decreased; however, some of the samples indicated considerably low transfer factors (< 0.005) despite Ex-K content < 25 mg K_2O 100 g^{-1}. In addition, not only the Ex-K but also Ne-K contents had a negative correlation with the transfer factor ($r_s = -0.60$, $p < .001$) of the soil samples after harvest but were not correlated with each other ($r_p = -0.10$). Furthermore, the soil with Ne-K > 50 mg K_2O 100 g^{-1} indicated a considerably low transfer factor, even if Ex-K deficient. Thus, based on our field-scale experiments, we concluded that the new threshold of Nex-K > 50 mg K_2O 100 g^{-1} can be used along with that of Ex-K to differentiate soil with a low RCs transfer rate from Ex-K deficient soil.

Visual inspection of the amount of micaceous minerals in soil was carried out in 2023 for 85 paddy soils with a variety level of Nex-K content. About 5g of wet soil was placed between two slide glasses and size and abundance of shiny materials (presumably micaceous materials) were scored on a 5-grade scale by visual inspection. The score of the amounts of shiny materials by visual inspection had significant positive correlation with the Nex-K content ($r_p = 0.81$, $p < 0.01$). In addition, the soil with the visual score of 3 or more had Nex-K content > 50 mg K_2O 100 g^{-1}, suggesting that on-site visual inspection of soil can be used for quick and reliable assessment of Nex-K content in soil. In conclusion, these results would enable us to control the risk of RCs transfer from soil to rice with more precision and promptness, and lead to more rational and effective countermeasures for safe food production.

Keywords: Micaceous minerals, nonexchangeable potassium, radiocesium, soil, transfer factor (TF), visual inspection

Correspondence: yanai@kpu.ac.jp (+81-75-703-5649)

특별세션E 04

Application of Refined Transport Model to Estimate Long-Term Migration Behavior of ^{137}Cs in Andosols

Kazuki Hashii[1]*, Atsushi Nakao[1], Kosuke Noborio[2], Hiroaki Kanno[3], Yuki Fujita[4], and Junta Yanai[1]
[1]Kyoto Prefectural University, Kyoto 606-8522 Japan
[2]School of Agriculture, Meiji Univ.
[3]ABI Inc.
[4]Oriental Consultants Global Co., Ltd.

Ion transport models in soils have used the distribution coefficient (Kd) to characterize solid-phase adsorption, assuming that retardation is controlled by reversible ion exchange on solid surfaces. However, Kd-based conventional models are not suitable for estimating radiocesium (RCs) migration in soils because they neglect irreversible fixation, which can cause significant retardation. As a result, therefore, to accurately estimate RCs migration, ion transport models should be redesigned to incorporate a fixation-related parameter in addition to reversible adsorption. In this study, we investigated RCs migration in Andosol using a refined transport model that incorporates fixation.

The ^{137}Cs migration was examined using an Andosol collected in Iwate Prefecture, Japan, and a ^{137}Cs-containing solution prepared from fallen leaves. Andosols are a major soil type in eastern Japan. The solution permeated 1.21 g/cm3 of soil packed in a column (φ 5 cm × 5 cm) at a flow rate of 1 cm/h for 100- or 200-h. The concentrations of total ^{137}Cs (Bq/kg) and exchangeable ^{137}Cs (Bq/kg) were measured at 0.5 cm vertical intervals, and fixed ^{137}Cs (Bq/kg) was calculated. The depth distributions of exchangeable and fixed ^{137}Cs were analyzed using both conventional and refined transport models. Unlike the conventional model, the refined model distinguishes reversible adsorption (refined-Kd) and fixation (Kf). In this model, ^{137}Cs is first adsorbed onto the solid phase as exchangeable ^{137}Cs, and a portion of the adsorbed ^{137}Cs is then converted to fixed ^{137}Cs over time.

Under both 100-h and 200-h, almost Cs remained within the top of 1.5 cm, and about 50 % of the total ^{137}Cs existed as fixed ^{137}Cs. These distributions are explained by the fixation of infiltrated ^{137}Cs, which becomes immobile and suppresses its migration. The conventional model could not account for this retardation of ^{137}Cs migration and therefore failed to calculate below a depth of 0.5 cm. Furthermore, Kd were 670 L/kg (100-h) and 1190 L/kg (200-h), exhibiting an apparent time dependence of Kd despite using the same soil sample, because fixation was not incorporated in the model. In contrast, the refined model could calculate the depth distributions of ^{137}Cs successfully under both durations. Refined-Kd were 127 L/kg (100-h) and 168 L/kg (200-h), converging to about 150 L/kg, which is within the range reported for Andosols in eastern Japan. However, Kf (100-h) was about twice Kf (200-h), and the values differed. In preliminary batch experiments, the fraction of fixed ^{137}Cs increased rapidly up to about 50% and did not increase after that. Fixation seems to proceed only when the fraction of fixed ^{137}Cs is below a certain level. This change can explain the difference in Kf between the two conditions, although further verification is needed.

These suggest that incorporating fixation into transport models enables more accurate estimation of ^{137}Cs transport in Andosols, especially over long timescales.

Keywords: Radiocesium, Distribution coefficient, Environmental pollution
Correspondence: yanai@kpu.ac.jp (+81-75-703-5649)

특별세션E 05

Countermeasures to Reduce Radiocesium Concentration in Brown Rice after the TEPCO's FDNPP Accident

Shigeto Fujimura*
Tohoku Agricultural Research Center, NARO, Fukushima, 960-2156, Japan

Radiocesium was deposited on farmland in the Tohoku and Kanto regions of Japan, mainly in March 2011, following the accident at Tokyo Electric Power Company's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. Because rice is typically transplanted from May to June in these regions, rice plants accumulated radiocesium mainly through root uptake from paddy soil rather than through direct deposition. Four countermeasures have been adopted to reduce radiocesium concentrations in distributed brown rice to below the provisional regulatory value (500 Bq kg-1 for brown rice used until March 2012 and the new limit (100 Bq kg-1) introduced in April 2012: 1) prohibition of rice cultivation, 2) decontamination of farmland, 3) inspection of harvested brown rice, and 4) additional potassium application. Rice cultivation has been prohibited in evacuation-ordered areas since 2011 until evacuation orders were lifted. In 2012, rice cultivation was restricted in areas where radiocesium concentrations in brown rice exceeded the new limit during the 2011 cultivation season. Since 2012, farmland decontamination has mainly involved topsoil removal followed by the addition of infertile soil to restore soil volume. Decontamination by topsoil removal reduced radiocesium levels in farmland but produced large amounts of removed soil and could reduce soil fertility; therefore, soil management has been an important research topic in radiocesium-contaminated areas. In 2012, Fukushima Prefecture introduced inspections of all 30-kg bags of brown rice, the general transportation unit in Japan, to prevent rice exceeding the new limit from being shipped. In parallel with the implementation of these and other countermeasures, exceedances declined rapidly and were not detected between 2015 and 2019. As a result, Fukushima Prefecture shifted to sampling inspections in 2020, except in 12 municipalities that included evacuation-ordered areas. Additional potassium application has been recommended to raise soil exchangeable potassium content to 210 mg kg-1 before conventional fertilization. This recommendation was based on field research showing a negative correlation between the transfer factor of radiocesium from soil to brown rice and soil exchangeable potassium content at harvest, as well as a reduction in radiocesium concentration in brown rice through potassium application. After additional potassium application is discontinued, insufficient potassium supply or straw removal may lower exchangeable potassium content and increase radiocesium uptake by rice, suggesting the need for appropriate soil potassium management.

Keywords: Decontamination, Inspection, Potassium application, Prohibition
Correspondence: fujimura.shigeto943@naro.go.jp (+81-24-593-6174)

특별세션E 06

How Does Root Nodule Symbiosis Affect Cesium Dynamics in Leguminous Plants?

Kazuki Murashima[1]*, Nao Okuma[2], Hayato Maruyama[3], Toshihiro Watanabe[3], and Takuro Shinano[1,3]
[1]Fukushima Institute for Research, Education and Innovation, Hokkaido 060-8589 Japan
[2]RIKEN CSRS
[3]Hokkaido University, Graduate school of agriculture

The accident at the TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant in 2011 released radioactive substances, including radiocesium (^{137}Cs), contaminating agricultural soils in Fukushima. Crops cultivated on contaminated soils remain at risk of ^{137}Cs uptake from soil. Potassium (K) fertilization has been widely adopted as an effective countermeasure because K competes with Cs due to their chemical characteristics. However, the mitigation of Cs translocation in soybean under equivalent soil K concentrations is lower than in other crops such as rice and wheat, highlighting the need to better understand the soybean-specific mechanisms regulating Cs translocation. In legumes, root nodule symbiosis substantially alters nutrient transport and acquisition system, but its impact on Cs dynamics remains unclear. This study aimed to reveal the effects of nodules on the mechanism of Cs transfer to shoot.

To visualize the distribution of ^{137}Cs within the root system, hydroponic experiments supplied with ^{137}Cs were conducted using inoculated soybean (Glycine max (L.) Merrill). In addition, field experiments were conducted in 2021 and 2024 using three soybean genotypes with different nodulation abilities (normal-, hyper-, and non-nodulating genotypes) under various fertilization treatments to account for the influence of soil nutrient conditions on both nodule formation and Cs translocation. Elemental concentrations in different plant organs were subsequently analyzed.

Spatial mapping of ^{137}Cs in the root system revealed that ^{137}Cs was predominantly distributed in nodules. Consistently, field experiments showed that Cs concentrations were significantly higher in nodules than in other plant organs, whereas K concentrations did not exhibit a comparable organ-specific distribution pattern. These findings indicate that nodules serve as major organs of preferential Cs accumulation. Furthermore, covariance analysis indicated that soybean genotypes with higher nodule formation exhibited lower Cs translocation to shoot than those with lower nodules under equivalent soil exchangeable K concentrations. Increased nodulation, particularly nodule number, was also associated with reduced Cs translocation to shoots regardless of soil exchangeable K levels. These findings suggest that nodules play as important sinks for Cs and that increased nodulation may suppress Cs translocation to shoot. Further elucidation of the mechanisms underlying Cs accumulation in nodules will contribute to the development of more effective strategies for mitigating Cs transfer to legume plants, complementing conventional K fertilization.

Keywords: Cesium, Nodule, Potassium, Legume plants, Root nodule symbiosis
Correspondence: murashima.kazuki.s5k@research.f-rei.go.jp (+81−11−706−3845)

특별세션E 07

Behavior of Radioactive Cesium in Irrigation Water and Efforts to Resume Farming Following the Fukushima Nuclear Disaster

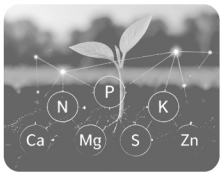
Moono Shin*
Faculty of Food and Agricultural Sciences, Fukushima University, Fukushima 960-1296 Japan

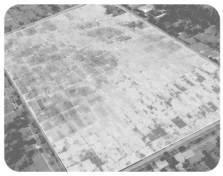
Fifteen years have passed since the accident at the Tokyo Electric Power Company (TEPCO) Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, triggered by the 2011 Great East Japan Earthquake and tsunami. Although farmland decontamination has progressed and agricultural production has resumed across much of Fukushima Prefecture, in irrigation districts where water sources lie within the Difficult-to-Return Zones, concerns have persisted that radiocesium could be transported into paddy fields and cause recontamination. Understanding the long-term behavior of radiocesium in irrigation water therefore remains essential for supporting agricultural recovery. Since the accident, MAFF, NARO, Fukushima Prefecture, universities, and other organizations have conducted continuous monitoring programs and field demonstration studies to support the resumption of farming. These studies have analyzed radiocesium in irrigation water by distinguishing between suspended and dissolved forms, while also evaluating its inflow and outflow, transport and accumulation within paddy fields, and transfer to brown rice.

Radiocesium concentrations in irrigation water generally remain low except during rainfall events, with most radiocesium adsorbed onto soil particles and organic matter in suspended form; the more readily available dissolved fraction accounts for only a small proportion. Radiocesium entering paddy fields accumulates mainly near irrigation inlets, and the amount introduced via irrigation water into decontaminated fields is only about 0.076% of that already present in the soil, indicating an extremely low risk of recontamination. Under appropriate potassium fertilization, its contribution to radiocesium concentrations in brown rice is considered negligible, making it highly unlikely that concentrations will exceed the regulatory limit.

Long-term monitoring, including in the Ukedo River watershed, shows that radiocesium concentrations are generally higher in rivers than in irrigation canals, and that both dissolved (Bq/L) and suspended (Bq/mg) concentrations have declined faster than expected from radioactive decay alone, reflecting not only natural attenuation but also strong adsorption onto fine particles such as clay minerals. The gradual transport of these contaminated particles out of the watershed during rainfall and flood events has likely reduced the amount of radiocesium remaining within the watershed. Because the analytical detection limit for radiocesium in irrigation water is 1.0 Bq/L, many MAFF monitoring results are reported as “Not Detected,” underscoring the need for continued long-term monitoring and clear risk communication with farmers and local communities. Overall, studies conducted over the past 15 years indicate that the risk of paddy field recontamination via irrigation water is extremely low. This review summarizes current knowledge of the long-term behavior of radiocesium in irrigation water in Fukushima Prefecture and highlights future challenges for long-term monitoring and risk communication.

Keywords: Radiocesium, Irrigation water, Fukushima, Paddy field, Suspended solids
Correspondence: moono@agri.fukushima-u.ac.jp (+81-24-504-2111)





구두발표

OS-01

Soil Water Potential Threshold for Methane Mitigation and Yield Maintenance across Paddy Soils with Contrasting Textures

Tae-Il Moon[1,2]*, and Hyun-Hwoi Ku[1,2]
[1]Department of Plant Resource and Landscape Architecture, HKNU, Anseong 17579, Korea
[2]Soil Environment Research Institute, HKNU, Anseong 17579, Korea

Midseason drainage is a widely used water-management practice for mitigating methane (CH_4) emissions from rice paddies. however, the actual degree of soil drying may differ among soils even under the same drainage duration because of differences in soil water-retention characteristics. This study evaluated soil water potential (SWP) as a quantitative indicator for midseason drainage and determined an SWP threshold that could reduce CH_4 emissions while maintaining grain yield across soils with contrasting textures. A pot experiment with three replicates was conducted using sandy loam, loam, silty loam, and clay loam soils. Water-management treatments consisted of continuous flooding (0 kPa) and midseason drainage followed by re-flooding when SWP reached -10, -20, or -30 kPa. Midseason drainage was initiated approximately 60 days after transplanting. Cumulative CH_4 emissions and grain yield were measured, and CH_4 responses to soil drying were described using the logarithmic model M(D)=a+bln(1+D), where D=-SWP. Cumulative CH_4 emissions decreased significantly with declining SWP in all soils ($p < 0.001$). Drainage to -10 kPa reduced CH_4 emissions by 27.8~41.0% relative to continuous flooding, whereas the additional mitigation achieved by further drying differed among soils. The estimated baseline CH_4 emission potential (a) ranged from 393.0 to 735.9 kg CH_4 ha^{-1} $season^{-1}$, and the magnitude of the drying-sensitivity coefficient ($|b|$) ranged from 51.7 to 102.1, indicating substantial differences among soils in both baseline emissions and absolute responses to drying. Soils with higher baseline emissions also exhibited greater absolute CH_4 mitigation sensitivity. However, differences in CH_4 emissions among soils progressively narrowed as SWP declined. When CH_4 emissions were normalized to the continuous-flooding baseline, relative $|b|$ values were similar among soils (12.93~14.37), indicating a common relative response to soil drying despite differences in absolute emission levels. The marginal CH_4 mitigation rate derived from the logarithmic model, $v(D)=|b|/(1+D)$, decreased continuously with increasing drying intensity. When the threshold was defined as the SWP at which an additional 1-kPa decrease produced a CH_4 reduction equivalent to 1% of the continuous-flooding emission, soil-specific thresholds ranged from -11.93 to -13.37 kPa, and the pooled relative-response model yielded a common threshold of -12.54 kPa. Grain yield showed no consistent decline with decreasing SWP, and yield at -10 kPa did not differ significantly from that under continuous flooding in any tested soil. These results indicate that approximately -12.5 kPa represents a model-derived common SWP threshold for CH_4 mitigation, whereas -10 kPa provides a conservative, experimentally validated management level for reducing CH_4 emissions without compromising grain yield.

Keywords: methane emission, midseason drainage, rice, soil texture, soil water potential, threshold
Correspondence: timoon@hknu.ac.kr (0316704612)

OS-02

Evaluation of Soil Physical Properties and Soybean Growth Variability in Korean Fields Using UAV Imagery and Soil Penetration Resistance Data

Munehiro Ebato[1]*, Dong-Hyeok Gong[2], and Chi- Yong An[2]
[1]Field Crop Research Division, NIRE, NARO, Tsukuba 305-8609, Japan
[2]Researcher, Crop Production Technology Research Division, National Institute of Crop Science, RDA, Miryang 50424, Korea

Climate change has increased the frequency and intensity of heavy rainfall events, resulting in serious waterlogging damage in agricultural fields. Consequently, improving field drainage has become a critical issue for sustainable crop production. From the perspective of Soil Health, rapid assessment of soil physical conditions is increasingly important. We have therefore developed a method for evaluating field drainage based on the spatial distribution of soil penetration resistance. A cone penetrometer enables measurement of soil penetration resistance at 1-cm intervals to a depth of 60 cm within 60-90 seconds. Previous studies in Japan demonstrated that this approach can effectively explain spatial variability in crop growth and yield. This study evaluated the applicability of the method to soybean fields in Korea.

Field investigations were conducted in three soybean fields (35, 30, and 22 a) at NICS, RDA, Miryang, Korea. Soil penetration resistance (0-60 cm) and volumetric water content (0-10 cm) were measured in October 2025. Spatial variability in soybean growth was assessed using UAV-derived orthomosaic RGB and multispectral images. NDVI was calculated and mapped using a hexagonal grid system for comparison with soil physical measurements.

Temporal analysis of NDVI maps revealed sparse soybean growth and exposed soil during the early growth stage. As canopy development progressed, distinct spatial variability became evident. Correlation analysis showed strong positive relationships among NDVI maps acquired on August 20, September 8, and October 1. PCA using soil penetration resistance, volumetric water content, and NDVI data explained 86% of the total variance with the first four principal components. These components represented crop productivity, degree of soil physical degradation, soil moisture status, and heterogeneity of soil physical properties. Cluster analysis classified the study area into five groups: Good, Bad, Non-vegetated, Poor (Hard & Wet), and Poor (Hard).

The results demonstrated that UAV-derived imagery alone can identify within-field growth variability associated with soil physical conditions. This approach provides a practical tool for Soil Health assessment and precision agriculture and appears applicable to soybean production systems in both Korea and Japan.

Keywords: Soil Health, Soil Penetration Resistance, UAV Remote Sensing, NDVI, Soybean
Correspondence: ebato.munehiro087@naro.go.jp (+81-29-838-7613)

OS-03

우주농업 실현을 위한 행성 모사토 개발 및 작물 재배 연구

Development of Planetary Regolith Simulants and Crop Cultivation Research for the Realization of Space Agriculture

김재환*
Jaehwan Kim*
한국지질자원연구원
Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources(KIGAM)

전 세계적으로 우주개발이 가속화됨에 따라 달·화성 등 행성의 장기 탐사와 유인 거주를 위한 핵심기술 확보의 중요성이 높아지고 있다. 특히 장기간의 우주탐사와 거주를 위해서는 현지 자원을 활용한 식량 생산이 필수적이며, 이를 위한 우주농업 기술 개발이 요구된다. 국내에서도 우주농업의 필요성과 관련 연구동향에 대한 논의가 이루어지고 있으나, 실제 연구개발은 아직 초기 단계에 머물러 있다. 특히 지구 토양과 물리·화학적 특성이 상이한 달·화성 토양을 모사한 행성 모사토를 이용하여 작물의 생육 특성과 생리·대사적 반응을 체계적으로 분석한 국내 연구는 매우 제한적이다. 본 연구에서는 달·화성 환경을 모사한 토양 및 재배환경에서 작물의 생육과 생리·분자적 반응을 분석하고, 이를 기반으로 우주환경에 적합한 작물 재배기술을 확립하고자 한다. 첫째, NASA JSC-1A와 유사한 물리·화학적 특성을 갖는 한국형 달 모사토를 개발하고, 이를 기반으로 작물 재배에 적합한 기질을 구축하고자 한다. 또한 행성 모사토를 이용하여 벼(*Oryza sativa* L.)를 재배하고 지구 토양에서 재배한 벼와 생육 특성을 비교한 결과, 재배 토양 조건에 따른 생육 차이를 확인하였다. 이와 함께 행성 모사토와 지구 토양에서 재배한 벼를 대상으로 질량분석 기반 대사체 분석과 전사체 분석을 수행하였다. 이를 통해 토양 조건에 따른 대사산물 및 유전자 발현의 차이를 확인하였으며, 행성 모사토의 특성이 작물의 생육뿐 아니라 생리·대사 및 분자 수준의 반응에 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다. 향후 대사체와 전사체 데이터의 통합 분석을 통해 행성 모사토에서 나타나는 작물의 주요 스트레스 반응 및 적응 기작을 규명하고자 한다. 또한 미세중력 환경에 따른 식물 스트레스를 모사할 수 있는 식물 생장챔버를 구축하여 작물의 생육 저해 요인을 분석하여 스트레스를 저감 재배기술을 개발하고자 한다. 본 연구를 통해 구축되는 행성 모사토 및 작물 재배 기질, 우주환경 모사 식물 생장챔버와 작물 생육·대사체·전사체 데이터는 향후 달·화성 현지자원 기반 우주농업 기술 개발을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 극한환경에서의 토양-식물 상호작용에 대한 이해를 확장함으로써 기후변화와 식량안보 문제에 대응하기 위한 극한환경 농업 연구에도 활용될 수 있을 것으로 전망된다.

사사: 본 연구는 2026년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 국가과학기술연구회 창의형 융합연구사업(No.CAP25041-000)의 지원을 받아 수행되었습니다

주제어: 우주농업, 행성, 모사토, 작물, 기질, 대사체
주연구자 연락처: jaehwankim@kigam.re.kr (054-245-3743)

OS-04

Deciphering Chlortetracycline-Induced Nutrient Imbalance and Molecular Toxicity Mechanisms in Rice (*Oryza sativa* L.) through Integrated Multi-Omics Analysis

Hyeonji Choe[1], Hadjer Chohra[1], Vimalraj Kantharaj[2], Seung Ju Shin[1], and Yong Bok LEE[2]*
[1]Division of Applied Life Science (BK21 Four)
[2]Institute of Agriculture and Life Science

Veterinary antibiotics introduced into agricultural environments through livestock manure may affect crop growth by disturbing nutrient acquisition and cellular metabolism. This study investigated the mechanisms underlying chlortetracycline (CTC)-induced nutrient imbalance and molecular toxicity in rice (*Oryza sativa* L. cv. Ilmi) using physiological, transcriptomic, and proteomic approaches. Rice seedlings were exposed to 0, 0.1, 1.0, and 5.0 mg L^{-1} CTC. CTC exposure inhibited shoot and root growth in a concentration-dependent manner and accumulated predominantly in roots, reaching 122.93 and 157.00 mg kg^{-1} at 1.0 and 5.0 mg L-1 CTC, respectively. Mineral nutrient analysis revealed that nitrogen remained relatively stable, whereas Ca, Mg, Mn, Zn, Cu, and Mo concentrations decreased in shoots, accompanied by substantial decreases in Fe, B, Zn, and Cu in roots. These changes were associated with reduced chlorophyll contents and impaired photosystem II performance, with Fv/Fm decreasing from 0.89 in the control to 0.81 at 5.0 mg L^{-1} CTC. In addition, H2O2 and malondialdehyde contents increased, indicating enhanced oxidative damage. RNA sequencing identified 400, 594, and 2,370 differentially expressed genes at 0.1, 1.0, and 5.0 mg L^{-1} CTC, respectively. Up-regulated genes were primarily associated with stress responses, hormone signaling, translation, and protein quality control, whereas down-regulated genes were enriched in photosynthesis, light harvesting, chlorophyll biosynthesis, and redox metabolism. Proteomic analysis further identified 286 and 660 differentially abundant proteins at 1.0 and 5.0 mg L^{-1} CTC, respectively. Increased-abundance proteins were mainly involved in protein synthesis, degradation, turnover, and intracellular transport, whereas decreased-abundance proteins were associated with photosynthetic electron transport, carbon and nitrogen metabolism, and energy production. Collectively, these results indicate that CTC-induced growth inhibition in rice is associated with root-localized accumulation, disruption of mineral nutrient homeostasis, photosynthetic dysfunction, oxidative stress, and extensive transcriptomic and proteomic reprogramming.

Correspondence: yblee@gnu.ac.kr (01094239695)

OS-05

Nonlinear Responses of Soil Organic Carbon to Biochar Application Rates in Rice Paddies: A Data Synthesis and Future Challenges

Husna Israt Pia[1], Nuri Baek[1], Seo-Woo Park[1], Eun-Seo Shin[1], Tae-Yeon Lee[1], Hyun-Jin Park[1,3], Jin-Hyeob Kwak[2], and Woo-Jung Choi[1,3]*
[1]Dept. Rural and Biosystems Engineeirng, Chonnam National University
[2]Dept. Rural Construction Engineering, Jeonbuk National University
[3]AgriBio Institute of Climate Change Management, Chonnam National University

The effects of biochar (BC) on soil organic carbon (SOC) sequestration in rice paddies have been extensively reported. However, data syntheses examining SOC responses to increasing BC application rates remain limited. This study investigated the linearity of SOC increases with BC application rates. Dataset was compiled from studies covering BC application rates of 2.25-60 t ha^{-1}, with feedstocks including wood, straw, and rice husk, and pyrolysis temperatures ranging from 200 to 600 °C. We assessed the linearity of the response of SOC to biochar application rates via regression analysis. BC increased SOC content (33.7%) and stock (24.9%) relative to the control; however, this increment exhibited a nonlinear response to application rates. Specifically, the increment in SOC per unit of BC (1 t ha-1) decreased as application rates increased, suggesting that the capacity of a unit mass of BC to enhance SOC diminishes at higher application rates. Furthermore, SOC (including BC-derived C) in BC-amended soils decreased by up to 36% during rice growth season compared to the initial levels, implying SOC loss from the BC-applied soil layer during rice cultivation. To accurately assess the SOC sequestration potential of BC, it is essential to integrate these biophysical loss mechanisms into soil management strategies. Our findings provide a critical baseline for developing efficient BC management practices that maximize C persistence in paddy environments.

Correspondence: wjchoi@chonnam.ac.kr (01031742818)

OS-06

규산질비료의 국외 원조를 통한 국가온실가스 해외감축 확보 전략 – 이원조달(인프라월렛, 탄소월렛) 방법론의 정책적 활용을 중심으로 –

Securing Overseas Greenhouse Gas Mitigation for Korea's NDC through International Aid of Silicate Fertilizer: A Policy Application of the Dual-Wallet (Infrastructure Wallet - Carbon Wallet) Financing Methodology

이현우, 강기경*, 이귀재
Hyunwoo Lee, Kykung Kang*, and Kuijae Lee
에코싱크
Ecosync

목적: 2050 탄소중립과 2035 NDC 상향 목표 달성을 위해 국외 감축(국제감축)의 비중이 빠르게 커지고 있으며, 한국은 2030 NDC의 상당 부분(약 3,750만 톤)을 국외 감축으로 계획하고 있다. 그러나 한국의 국외감축 협력은 에너지·산업 부문에 편중되어 있고, 세계 인위적 메탄 배출의 주요 배출원이자 다수 개발도상국의 핵심 산업인 농업 부문은 정책적으로 소외되어 왔다. 본 발표는 국가 고유 배출계수로 이미 승인된 규산질(철슬래그) 비료의 논 메탄 저감 효과를 활용하여, 이 비료를 개발도상국에 원조·공급함으로써 발생하는 감축실적을 한국의 NDC 해외감축분으로 확보하는 정책모형을 제시한다. 핵심은 비료 원조 자체를 위한 예산(ODA)과 감축실적 이전·검증을 위한 예산(탄소재원)을 처음부터 분리 조달함으로써, 재원의 이중계상 우려 없이 사업을 설계하는 것이며, 특정 국가에 한정되지 않는 확장형 원조·협력 전략을 함께 제안한다.

내용 및 방법: 본 연구는 실측 기반 연구가 아닌 정책·제도 분석이다. 국내 승인 배출계수(비시용 대비 약 14% 저감, 관련 문헌상 16~35% 범위의 보수적 하한)를 활용하여 1기작(연 1회 재배) 기준 감축량을 수원국의 연간 작기 수에 비례 환산하는 단순·보수적 산정방식을 검토하고, 재원 조달 측면에서는 비료 원료·가공·물류 등 원조 인프라를 ODA 예산(인프라월렛)으로, 감축실적 이전 및 제3자 검증 비용을 민간·정부 기후재원(탄소월렛)으로 이원화하여 조달하는 회계 분리 구조를 검토한다. 아울러 일본의 JCM 벼농사 물관리(AWD) 방법론과 비교하여 농가 행동변화 부담이 낮은 비료 원조 방식의 보급 확장성을 분석하고, 필리핀 등 개별 국가에 국한하지 않고 담수 다기작 벼농사 국가군 전반을 대상으로 한 단계적(거점국 실증→권역 확산→표준화) 확장전략을 논의한다.

결과 및 고찰: 분석 결과, 농업 부문은 낮은 한계감축비용, 식량안보·기후적응 동반편익, 이미 검증된 국내 배출계수의 활용 가능성이라는 세 요인으로 인해 원조(ODA)와 NDC를 하나의 사업에서 동시에 달성할 잠재력이 큰 것으로 나타났다. 특히 인프라·탄소 재원의 이원조달 구조는 동일 사업 내 서로 다른 두 예산을 각각의 목적(원조 실적/탄소자산 확보)에 맞추어 별도 집행함으로써, ODA 재원의 국제감축 활용을 둘러싼 이중계상 쟁점을 회계적으로 회피할 수 있는 실행 가능한 대안으로 평가된다. 이 모형은 특정 수원국에 국한되지 않고 담수 벼농사가 이루어지는 다기작 개발도상국 전반에 적용 가능하여, 한국은 신규 개발 없이 검증된 배출계수의 반복적 적용을 통해 국외감축 파이프라인을 조기에 다변화할 수 있고, 수원국은 수량 증대와 기후재난 회복력 제고라는 실질적 편익을 함께 얻는다. 다만 실제 이행을 위해서는 ODA-탄소재원 회계 분리에 관한 국제 규범 정립, 수원국 조건부 NDC와의 상응조정 분배 협상, 농업 특유의 측정불확실성을 보완하는 MRV 체계 구축이라는 세 가지 제도적 과제가 함께 해결되어야 한다. 본 발표는 규산질 비료의 해외 원조가 개발협력 기여와 자국 NDC 이행이라는 두 목표를 동시에 충족시킬 수 있는 유망한 정책 수단임을 제시하고자 한다.

주제어: 국제감축(ITMO), 공적개발원조(ODA), 국가온실가스감축목표(NDC), 규산질 비료, 메탄 감축, 이원조달

주연구자 연락처: keykang@ecosync.kr (01054153221)

OS-07

Global Meta-Analysis of Rice Management Practices: Balancing Yield Optimization and Net Global Warming Potential Change

Laliteshwari Bhardwaj[1]*, and Pil Joo Kim[1,2]
[1]Institute of Agriculture and Life Sciences, Gyeongsang National University, South Korea
[2]Division of Applied Life Science (BK21+ Program), Gyeongsang National University, South Korea

Rice paddy systems are major agricultural contributors to global greenhouse gas (GHG) emissions and climate change, necessitating effective management strategies that balance emission reductions with food security. This meta-analysis evaluates the impacts of various agricultural management practices-including water regime adjustments, nutrient inputs, tillage, and crop establishment-on soil organic carbon (SOC), methane (CH*4*) emissions, nitrous oxide (N2O) emissions, and global warming potential (GWP). Quantitative synthesis reveals that non-flooding irrigation significantly suppresses area-scaled CH*4* emissions by over 50% and successfully reduces area-scaled and yield-scaled GWP. Conversely, practices such as organic manure and residue retention increase CH*4* production and area-scaled GWP due to enhanced substrate availability for methanogenesis. Furthermore, regression analyses demonstrate a strong, statistically significant positive linear relationship ($R2=0.5825$ to $0.5868, P<0.0001$) between CH*4* emission changes and total GWP variations at both area- and yield-scales. While individual practices exhibit distinct trade-offs between soil carbon storage, nitrogen loss, and productivity, adopting optimized management frameworks is crucial for mitigating paddy GHG intensity while sustaining agricultural yields.

Keywords: Meta-analysis, greenhouse gas emissions, rice paddies, methane (CH*4*), global warming potential (GWP), soil organic carbon, agricultural management practices
Correspondence: laliteshwari2025@gmail.com (01084692490)

OS-08

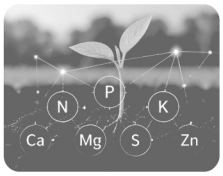
장기 온난화가 아북극 히스 툰드라의 전이계절 질소 동태에 미치는 영향

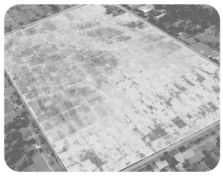
Effects of Long-Term Experimental Warming on Nitrogen Dynamics during Shoulder Seasons in Subarctic Heath Tundra

전지현[1], 에밀 알렉산더 셔면 안데르센[2], 정수정[1], 남성진[1], 김진현[3], 앤더스 미켈슨[4], 정지영[1]*
Jihyeon Jeon[1], Emil Alexander Sherman Andersen[2], Sujeong Jeong[1],
Sungjin Nam[1], Jinhyun Kim[3], Anders Michelsen[4], and Ji Yung Jung[1]*
[1]극지연구소, [2]우메오대학교, [3]경희대학교, [4]코펜하겐대학교
[1]Korea Polar Research Institute
[2]Umeå University
[3]Kyung Hee University
[4]University of Copenhagen

아북극 히스(Heath) 툰드라 생태계의 토양 질소 동태는 기후변화에 민감하게 반응한다. 기존 연구들은 생장기(여름) 질소 순환에 초점을 맞추어 왔으며, 식물과 토양 미생물 간 질소 경쟁이 활발하게 이루어지는 봄과 가을의 전이계절에 대한 연구는 상대적으로 부족하다. 본 연구에서는 상부 개방형 챔버(open-top chamber)를 이용하여 장기 온난화 처리가 이루어진 아북극 히스 툰드라에서 탄소·질소 이중표지 글리신($^{13}C^{15}N$-glycine)을 추적자(tracer)로 사용하여 전이계절 동안의 질소 흡수와 분배 특성을 조사하였다. 연구는 스웨덴 북부 아비스코(Abisko)에서 수행되었으며, 대조구, 2019년부터 온난화 처리를 시작한 단기(7년) 온난화 처리구, 2009년부터 처리를 시작한 장기(17년) 온난화 처리구로 구성되었다. 2025년 4월(봄)과 8월(가을)에 $^{13}C^{15}N$-glycine을 토양 5 cm 깊이에 주입한 후, 1일 및 1개월 뒤 토양 코어를 채취하여 식물과 토양 시료로 분리하였다. 식물 시료는 지상부와 지하부로 구분하였으며, 토양 시료는 토양, 용존유기물, 미생물로 구분하여 탄소·질소 농도와 탄소·질소 안정동위원소비($\delta^{13}C$, $\delta^{15}N$)를 분석하였다. 이를 바탕으로 각 풀(pool)의 ^{13}C와 ^{15}N 초과량(excess), 동위원소 풀과 회수율(recovery)을 산출하여 온난화 처리 기간과 계절에 따른 식물 및 토양 풀 간 탄소와 질소의 분배 특성을 평가하였다. 또한, 토양 DNA를 추출하여 16S rRNA 유전자 기반의 미생물 군집 분석을 수행하고 질소 순환 관련 미생물의 상대적 풍부도를 평가하였다. 본 연구는 장단기 온난화가 전이계절 동안 식물과 토양 미생물 간 질소 이용 및 분배에 미치는 영향을 규명하고, 기후변화에 따른 아북극 툰드라 생태계의 질소 순환 메커니즘에 대한 이해를 높이는데 기여할 것이다.

주연구자 연락처: jyjung@kopri.re.kr **(**032-760-5532)





대학원생 구두발표

대학원생 구두발표 01

Extreme Legacy Phosphorus Accumulation in Agricultural Soils of South Korea: A Global Comparison of Plant-available Phosphorus

Ma. Isabel Bacus[1]*, Pil-Joo Kim[1,2], Benjamin Turner[2,3], Aleksandra Bielnicka[1], So Yeong Park[1], Seulbi Lee[4], and Young Ho Seo[1]

[1]Division of Applied Life Science (BK21 + Program), Gyeongsang National University, 501 Jinju-daero, Jinju, 52828, South Korea

[2]Institute of Agriculture and Life Sciences, Gyeongsang National University, 501 Jinju-daero, Jinju, 52828, South Korea

[3]College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Taian, 271000, China

[4]Rural Development Administration, 300 Nongsaengmyeong-ro, Jeonju, 54875, South Korea

South Korea has the second-highest phosphorus (P) surplus among OECD countries due in part to long-term overapplication of P fertilizer. However, the consequences of soil P accumulation under different cropping systems remain poorly understood because South Korea uses a unique soil-test P method (modified Lancaster P) that complicates international comparisons. To address this, we first developed regression equations to convert plant-available P from the modified Lancaster method into two widely used procedures (Mehlich-3 P and Olsen P) based on 118 agricultural soils under a variety of cropping systems. We then used these equations to convert thousands of modified Lancaster P data from the South Korean national soil database into Olsen P for comparison with global datasets. The estimated Olsen P concentrations in Korea are highest in greenhouse soils (233±106mgP kg^{-1}, mean ± standard deviation), followed by orchard soils (158 ± 77 mg P kg^{-1}), upland soils (a mixture of vegetables and fruits: 147 ± 86 mg P kg^{-1}), and paddy soils (45 ± 37 mg P kg^{-1}). These values are substantially greater than in all other major agricultural regions of the world. These findings link the high national P imbalance in South Korea to an extreme accumulation of legacy P in agricultural soils, stressing the urgent need for a nationwide strategy to reduce P inputs, draw down legacy P reserves, and reduce the environmental impact on water bodies.

Keywords: Plant-available phosphorus (P), Olsen P, Mehlich-3 P, modified Lancaster P, Agricultural soils, Legacy P, South Korea, greenhouse agriculture, rice paddy, upland soils

Correspondence: isabelle.bacus.2828@gmail.com (01053957732)

대학원생 구두발표 02

Effects of Soil Organic Matter and Nitrogen Fertilization on Carbohydrate-Nitrogen Metabolism during Grain Filling in Rice

CHANG YUNA, and Jwakyung Sung*
Department of Crop science, Chungbuk National University, Cheongju, Republic of Korea

Introduction: Soil organic matter (SOM) regulates soil N availability and consequently affects N uptake and carbon-nitrogen (C-N) metabolism in rice. In particular, carbohydrate partitioning from vegetative tissues to panicles and N remobilization after heading are closely associated with grain filling and yield formation. This study investigated rice growth, carbohydrate partitioning, and C-N metabolism in response to N fertilization under different SOM levels.

Materials and Methods: Three rice cultivars ('Shindongjin', 'Milyang', and 'Saeilmi') were grown in soils with normal (NS; 22.0 ± 0.5 g kg^{-1}) and high (HS; 50.3 ± 4.9 g kg^{-1}) SOM contents. Nitrogen treatments were T1 (50-30-20%, basal-tillering-panicle N; standard fertilization), T2 (50-0-0%, no topdressing), and T3 (0-30-20%, no basal N). Plants were sampled at heading and 10 and 20 days after heading (DAH). Growth, dry weight, soluble sugars, starch, total N, C/N ratio, SPAD, and chlorophyll fluorescence were analyzed.

Results and Discussion: Tiller number and shoot and panicle dry weights at heading were generally higher under HS, whereas NS-T3 significantly reduced tiller number and panicle dry weight. During grain filling, shoot soluble sugar concentrations decreased while panicle starch accumulation increased in all treatments. At 20 DAH, however, NS-T2 and HS-T2 showed higher shoot soluble sugar and lower panicle starch levels, suggesting that the absence of topdressing affected carbohydrate partitioning and starch accumulation in panicles. Shoot N concentrations were significantly higher under HS than NS conditions. Overall, rice responses to N fertilization differed depending on SOM content, suggesting that N application strategies could be adjusted according to soil N-supplying capacity.

Keywords: Rice, Soil organic matter, Nitrogen fertilization, C-N metabolism
Correspondence: jksung73@chungbuk.ac.kr (01040173789)

대학원생 구두발표 03

Temperature Effects on the Chemical Nature of Soil Phosphorus along an Elevation Gradient in Korean Forests: Sequential Fractionation and Solution ^{31}P NMR Spectroscopy

Aleksandra Bielnicka[1]*, So Yeong Park[1], Pil Joo Kim[1,2], and Benjamin Turner[2,3]
[1]Division of Applied Life Science (BK21), Gyeongsang National University, South Korea
[2]Institute of Agriculture and Life Sciences, Gyeongsang National University, South Korea
[3]College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, China

Phosphorus (P) is an essential plant nutrient that influences the productivity of ecosystems worldwide, yet it remains unclear how future climate warming will influence the biogeochemical cycling of soil P. To address this issue, we determined the chemical nature of soil P in > 70 permanent forest census plots along a 1700 m elevation gradient on Mount Baekun and Mount Jiri, South Korea. The gradient represents a 10°C change in mean annual temperature and forms a climosequence in which four of the five soil forming factors are constrained. We quantified soil P forms using Hedley sequential P fractionation and solution 31P NMR spectroscopy of NaOH-EDTA extracts. We hypothesized that temperature regulates P cycling through long-term processes linked to pedogenic change and short-term processes linked to microbial dynamics, which are reflected in soil P availability and molecular speciation. We predicted a shift from high available and primary mineral P in weakly weathered and colder soils at high elevation, to low P availability and a high proportion of occluded (residual) P in more strongly weathered and warmer soils at low elevation. We further predicted that organic P would accumulate in labile forms in colder high elevation soils due to reduced microbial activity. Consistent with our first prediction, the concentrations of total, primary mineral, and available P all increase with elevation. Organic P is the largest pool throughout the climosequence, accounting for 62 ± 13% of total P, and its concentration and proportion increase with elevation. In contrast, residual P (21 ± 12% of total P) is more abundant in warm, low elevation soils. Contrary to our second expectation, however, solution 31P NMR spectroscopy shows that the proportion of stable organic P (e.g., myo-inositol hexakisphosphate; mean 12 ± 3% of total P) is greater in colder high elevation soils, while the proportion of labile organic P (e.g., DNA, mean 11 ± 3%) is greater in warmer low elevation soils. Overall, these results demonstrate that soil P biogeochemistry responds strongly to temperature, and that future warming will reduce P availability and alter its molecular chemistry in temperate forest soils of South Korea.

Keywords: climosequence, global warming, elevation gradient, nutrient cycling, phosphorus, montane forest, NMR, sequential fractionation

Correspondence: a.bielnicka@gmail.com (01064919922)

대학원생 구두발표 04

Crop-Specific Variable-Rate Fertigation Improves Nitrogen Use Efficiency in Pepper and Carrot

Minji Kim, Jwakyung Sung*, Sunyoung Lee, Yuna Chang, Kangwoo Lee, Jeongju Lee, and Jihyeok Yun
Department of Crop science, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Republic of Korea

Fertigation is increasingly adopted as a sustainable alternative to conventional fertilizer application, because it can improve nutrient uptake and nitrogen use efficiency (NUE) without reducing crop yield. Its major advantage is the ability to synchronize nutrient supply with changing crop demand throughout growth and development. Precise nutrient management is particularly important for pepper and carrot because their nutrient demands vary over time with fruit production and storage-root development, respectively. This study evaluated the effects of soil test-based (STB) and nutrient uptake-based (NUB) fertilization strategies on growth, yield, and NUE. Four treatments were established: no fertilization (NF), STB, NUB and farmers' practice (FP). In the STB and NUB treatments, fertilizers were applied at a basal-to-topdressing ratio of 30:70. In the FP treatment, 55% and 30% of the nitrogen were applied basally to pepper and carrot, respectively, with the remainder split equally between 30 and 60 days after planting. Uniform- rate fertigation distributed the topdressing fertilizer equally throughout the application period. Variable-rate fertigation was scheduled using a Gompertz growth model for pepper (R^2 = 0.823) and a logistic model for carrot (R^2 = 0.925). Accordingly, 60% of the total fertilizer was applied to pepper during the seven weeks following the onset of red-pepper harvest, whereas 56% was applied to carrot between 63 and 84 days after sowing. STB and NUB produced comparable dry matter accumulation and yield in both crops, with no significant differences between the treatments. In pepper, variable-rate STB supplied 190 kg N ha^{-1}, compared with 402 kg N ha^{-1} under NUB, while maintaining stable early-season dry matter accumulation and fruit yield and achieving an NUE of 37.1 kg kg^{-1}. In carrot, variable-rate NUB supplied 110 kg N ha^{-1}, compared with 240 kg N ha^{-1} under STB, while maintaining dry matter accumulation and root yield and achieving an NUE of 37.7 kg kg^{-1}. Thus, combining reduced nitrogen inputs with crop-specific growth patterns can maintain crop productivity while achieving high nitrogen use efficiency.

Acknowledgment: This work was supported by the 'Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. RS-2021-RD0009879)', Rural Development Administration, Republic of Korea.

Keywords: Fertigation, nitrogen use efficiency, variable-rate fertilization
Correspondence: jksung73@chungbuk.ac.kr (+82-43-261-2512)

대학원생 구두발표 05

간척지 배수 개선을 위한 경사 조성이 토양 이화학성 및 생물학적 특성에 미치는 영향

Effect of Slope Construction for Drainage Improvement on Soil Physicochemical and Biological Properties in Reclaimed Tideland

이승범[1], 송은수[1], 이광승[2], 곽진협[1]*
Seung-Beom Lee[1], Eun-Su Song[1], Kwang-Seung Lee[2], and Jin-Hyeob Kwak[1]*
[1]전북대학교 지역건설공학과, [2]국립식량과학원 간척지농업연구센터
[1]Department of Rural Construction Engineering, Jeonbuk National University
[2]Reclaimed Land Agriculture Research Center, National Institute of Crop Science, RDA

국내 간척지는 짧은 토양 경작이력으로 인한 토양 구조 미발달과 배수 불량으로 인해 밭작물 재배 시 습해로 인한 생육 저해가 빈번하게 발생한다. 이러한 문제를 완화하기 위한 방안으로 인위적인 경사 조성을 통한 지표 배수 개선을 검토할 필요가 있으나, 조성 과정에서 심토 노출과 토양 교란으로 인해 토양 이화학성과 생물학적 특성을변화시킬 수 있다. 따라서 본 연구는 경사 조성에 따른 토양 이화학성 변화가 미생물 생체 탄소(Microbial biomass carbon, MBC)와 효소 활성에 미치는 영향을 평가하였다. 연구는 새만금 간척지 5공구에서 2023년(누적 강수량 1,344 mm)과 2024년(651 mm)에 수행하였으며, 경사 0°(대조구), 3°, 5° 처리구를 조성하고 콩(*Glycine max* L.) '대찬'을 재배하였다. 각 경사 상단, 중단, 하단에서 주요 생육단계별로 깊이 0-20 cm에서 토양 시료를 채취하여, $pH_{1:5}$, 유기물, 유효인산, MBC 및 탄소, 질소, 인 순환 관련 효소(β-1,4-glucosidase, BG; β-1,4-N-acetylglucosaminidase, NAG; acid phosphatase, AP)활성을 분석하였다. 토양 수분함량과 온도는 TEROS-12 센서로 재배기간동안 연속 모니터링하였다. 변수 간 관계는 Pearson 상관분석과 piecewise structural equation modeling (piecewiseSEM)으로 평가하였다. 2023년 piecewiseSEM은 수용 가능한 적합도를 나타냈다(Fisher's C=9.014, p=0.173). 경로분석 결과, 경사 위치는 하단으로 갈수록 pH(β=+0.71, p<0.001)와 수분함량(β=+0.35, p<0.001)을 증가시키는 반면, 유기물은 감소시키는 것으로 나타났다(β=-0.86, p<0.001). 경사 하단의 pH 증가와 유기물 감소는 각각 β=-0.39 (p<0.001)와 β=+0.21 (p<0.05)로 MBC 저하에 유의한 직접효과를 나타냈다. 또한 경사 위치는 pH와 유기물을 매개하지 않고도 MBC에 직접적인 음의 영향을 미쳤다(β=-0.33, p<0.01). 따라서 감소한 MBC는 BG와 NAG 활성 저하로 이어졌으며, 유기물 감소는 AP 활성 저하에도 직접적으로 작용하였다. 이는 경사 조성 과정에서 발생한 하단부 심토 노출이 pH 상승과 유기물 감소라는 1차적 변화를 야기하고, 이 변화가 MBC 감소를 매개하여 최종적으로 탄소, 질소, 인 순환 관련 효소활성 저하에 영향을 미친 것으로 판단된다. 반면 2024년도 piecewiseSEM 모델은 적합도가 유의하지 않았으며(Fisher's C=102.927, p<0.001), 이는 개화 및 등숙기의 고온 및 가뭄과 같은 이상기상이 변수 간 관계의 방향성과 강도를 교란하여, 생물학적 지표의 변동이 토양 이화학성만으로는 충분히 설명되지 않았기 때문으로 판단된다. 연구 결과 간척지에서 경사 조성은 지표 배수 개선에 효과적인 방안이 될 수 있으나, 하단부 심토 노출로 인한 이화학성 변화가 토양 미생물 활성 및 양분 순환 기능을 제한할 수 있음을 보여준다. 따라서 밭작물의 안정적 생산과 토양 생물학적 기능 유지를 위해서는 경사 조성 시 표토 보존 및 유기물 관리가 병행되어야 할 것으로 판단된다.

주연구자 연락처: jh_kwak@jbnu.ac.kr (063-270-2488)

대학원생 구두발표 06

비종 및 시비 방법이 노지 생강의 생육 및 질소이용효율, 토양 화학성에 미치는 영향

Effects of Fertilizer Type and Application Method on Growth, Nitrogen use Efficiency, and Soil Chemical Properties in Open-field Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) Cultivation

송은수[1], 이승범[1], 바코지키다티브[1], 서병환[2], 손정우[2], 곽진협[1]*
Song Eun-Su[1], Lee Seung-Beom[1], Dative Bakoziki[1], Seo Byung-Hwan[2], Son Jung-Woo[2], and Kwak Jin-Hyeob[1]*
[1]전북대학교 지역건설공학과, [2]국립농업과학원 토양물환경과
[1]Department of Rural Construction Engineering, Jeonbuk National University
[2]Department of Soil and Water Environment, National Academy of Agricultural Science, RDA

생강 (*Zingiber officinale* Roscoe)은 국내 주요 향신료 작물로, 최대 수량 확보를 위해 20~30 kg 10 a^{-1} 수준의 질소 시비가 요구된다. 이는 일반 밭작물 (10~15 kg 10 a^{-1})에 비해 높은 수준으로, 과다 시비에 따른 질소 손실 우려가 있음에도 질소이용효율 (nitrogen use efficiency, NUE)을 고려한 시비 방법 비교 연구는 미흡한 실정이다. 이에 본 연구는 비종 및 시비 방법이 노지 생강의 질소이용효율 및 토양 화학성에 미치는 영향을 중심으로, 생육 반응을 함께 평가하였다. 실험은 생강 주산지인 전북특별자치도 완주군 노지밭에서 2024년, 2025년 각각 5~11월에 수행하였다. 처리구는 무비구 (control, C), 무기질비료 (관개) (chemical fertilizer irrigated, CF), 무기질비료 (무관개) (chemical fertilizer non-irrigated, CF_NI), 완효성비료 (controlled-released fertilizer, CRF), 관비 20:80 (기비:추비) (surface drip fertigation, SDF80), 관비0:100 (기비:추비) (SDF100)로 6 처리, 3 반복 배치하였다. 토양 검정 시비량 (24-13.5-16.3 kg 10 a^{-1}, N-P-K)에 따라, 무기질비료구는 기비 슈퍼원예S (12-6-8, N-P-K), 추비 바짝엔케이22 (22-0-12, N-P-K)를, 관비구는 요소 (N 46%)와 황산가리 (K 50%)를, 완효성비료구는 한번에아리커 (21-10-11, N-P-K, 2024년) 및 바싸코트 (16-8-12, 2025년)를 시비하였다. 토양 시료는 월 1회 처리구당 무작위 3지점에서 0~20 cm 깊이에서 채취하여 pH, EC를 분석하였다. 수확기에는 동일 3지점에서 식물체의 건물중을 조사하고, 총 질소 함량 (TN)을 이용하여 처리구별 NUE를 산출하였다. 2024년 pH, EC 모두 처리구 간 유의한 차이를 보였으나 ($p<0.01$), 2025년에는 EC만 유의하였다. 2024년 건물중은 처리구별 유의한 차이를 보였으며 ($p<0.001$), 이는 CF_NI 처리구의 낮은 값에 주로 기인하였다. SDF80, SDF100 처리구는 각각 CF 처리구 대비 26%, 48% 높은 값으로 가장 높은 경향을, CRF 처리구는 16% 낮은 값을 보였지만, 세 처리구 모두 유의한 차이는 없었다. CRF 처리구의 낮은 생장은 사용한 완효성비료의 성분 용출 기간 (3개월)이 생육기간 (6개월)에 비해 짧았던 데 기인한 것으로 판단된다. 2025년에는 처리구 간 건물중의 유의한 차이는 없었으나, SDF80, SDF100, CRF 처리구에서 CF 처리구 대비 각각 71%, 24%, 23% 높은 경향을 보였다. NUE는 두 해 모두 SDF 처리구에서 가장 높았으며 (2024년 SDF100 76.9%, 2025년 SDF80 20.3%), CRF 처리구는 성분 용출 기간이 적합한 완효성비료를 사용한 2025년에 8.5%로 상대적으로 개선된 값을 보였다. 2025년에는 잦은 강우와 고온으로 인한 시비효과 저감으로 건물중은 2024년 대비 약 59%, NUE는 약 72% 낮았다. 본 연구는 관비 및 완효성비료의 노지 생강 재배 시 질소이용효율 개선 효과를 확인하였으며, 향후 관비 시설 초기 설치 및 관리 비용에 대한 고려와, 완효성비료의 작물별 용출 기간 최적화에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

이 논문은 농촌진흥청 국립농업과학원 협동연구사업(RS-2023-00220014)의 지원을 받아 수행된 연구임.

주제어: 노지 생강, 완효성비료, 관비, 질소이용효율, 토양 화학성
주연구자 연락처: 연락처 : jh_kwak@jbnu.ac.kr (063-270-2488)

대학원생 구두발표 07

Long-Term Nitrogen Additions Reduce Soil Microbial Respiration but Increase its Temperature Sensitivity

Hyunjin Kim, Jeongchan Lee, and Kyungjin Min*
Department of Agricultural Biotechnology, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea

Nitrogen (N) fertilizers alter soil microbial respiration (R_m). Yet, it remains unclear how increasing N addition rates and temperature jointly regulate R_m. Here we investigated the effects of N additions on R_m and its temperature sensitivity (Q_{10}), and the mechanisms underlying these responses. In 2023, we collected top soils (0-20 cm) from a *Miscanthus x giganteus* field that had received N additions at 0, 30, 60, 120, and 240 kg N ha^{-1} yr^{-1} for twelve years. After removing roots, soils were incubated at 4, 15, and 30°C for 191 days in the lab. We also quantified microbial biomass carbon (MBC), extracellular enzyme activities, soil organic matter composition, and root biomass.

N additions suppressed R_m at 15 and 30°C and increased its Q_{10}, especially under high N additions (120 and 240 kg N ha^{-1} yr^{-1}). These responses coincided with a greater proportion of aromatic C in soil organic matter, and increased phosphatase but decreased peroxidase per unit MBC. In addition, reduced root biomass under high N additions suggests that lower root-derived C inputs may have contributed to the decline in R_m. Together, the reductions in carbon inputs and quality seemed to decrease R_m while increasing the Q_{10} of R_m. Thus, although high N additions can reduce microbial CO_2 release, the concurrent rise in Q_{10} may partly offset this effect under warming, complicating projections of soil C stability.

Correspondence: kjmin@snu.ac.kr (02-880-4644)

대학원생 구두발표 08

Temperature Responses of Soil Nitrogen Loss and Carbon Mineralization as Affected by Fertilizer Source and Rate

Dative Bakoziki, Seung-Beom Lee, Eun-Su Song, and Jin-Hyeob Kwak*
Department of Rural Construction Engineering, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Republic of Korea

Efficient fertilizer management is important for reducing gaseous nitrogen (N) and carbon (C) losses from agricultural soils under warming conditions. This study evaluated how fertilizer source and application rates, and incubation temperature affected ammonia (NH_3) volatilization and carbon dioxide (CO_2) emission from silt loam soil. Chemical fertilizer (CF), slow-release fertilizer (SRF), and organic fertilizer (OF) were applied at 50%, 100%, and 200% of the recommended N rate for sweet pumpkin production, with an unfertilized control. Treated soils were incubated at 25°C and 35°C for 35 days. NH_3 was measured using H_2SO_4 traps and following NaOH titration, while CO_2 was measured using NaOH traps followed by HCl titration. Cumulative NH_3 and CO_2 emissions during the 35-day incubation, and apparent Q10 were calculated at 25°C and 35°C. Daily NH_3 volatilization increased rapidly after fertilizer application, peaked at 5-7 days after treatment (DAT), and then declined. Cumulative NH_3 volatilization followed the order CF > OF > SRF and increased with N rate, especially at 200%. This indicates that CF promoted NH_3 loss by rapidly supplying mineral N, whereas SRF reduced volatilization by slowing N release and limiting rapid NH_4^+ accumulation. Daily CO_2 emissions peaked earlier than NH_3, reaching a maximum at 1 DAT, then decreased gradually. Cumulative CO_2 emissions followed the order OF > CF > SRF because OF supplied decomposable organic C that stimulated microbial respiration, while CF provided mineral N that moderately enhanced decomposition. Cumulative CO_2 emissions also increased with application rate in the order 200% > 100% > 50%, showing that greater fertilizer input increased substrate availability and microbial activity. CO_2 Q10 ranged from 1.61 in SRF-200% to 2.92 in OF-50% and generally decreased as the fertilizer rate increased. NH_3 Q10 ranged from 0.50 in control to 1.57 in CF-200%, with a stronger temperature response at the 200% N rate. Overall, fertilizer source and N rate strongly controlled gaseous N and C losses, with different effects on NH_3 volatilization and CO_2 emission, suggesting that avoiding excessive N application and using slow-release fertilizer may reduce environmental losses under warming conditions.

Keywords: slow-release fertilizer; organic fertilizer; silt loam soil; sweet pumpkin; microbial respiration; nitrogen loss

Correspondence: jh_kwak@jbnu.ac.kr (063-270-2488)

대학원생 구두발표 09

간척지 및 밭토양의 토양질 평가를 위한 MDS 선정 및 점수화 방법

Comparison of Minimum Dataset Selection and Scoring Methods for Soil Quality Assessment in Reclaimed and Upland Agricultural Soils

정호진[1], 김성철[1]*, 홍영규[1,2], 김진욱[1], 이정민[1]
HoJin Jung[1], Sungchul Kim[1]*, Youngkyu Hong[1,2], Jinwook Kim[1], and Jeongmin Lee[1]
[1]충남대학교 생물환경화학과, [2]농촌진흥청 국립농업과학원 토양물환경과
[1]Department of Bio-Environmental Chemistry, Chungnam National University
[2]Soil and Water Environment Division, National Institute of Agricultural Science

토양질지수(soil quality index, SQI)는 토양의 물리적·화학적·생물학적 특성을 통합하여 토양 상태를 평가하는 데 활용되지만, 지표 선정 방법과 점수화 함수에 따라 평가 결과가 달라질 수 있다. 본 연구에서는 간척지 토양, 관행 밭토양 및 유기농 밭토양을 대상으로 최소자료집합(minimum dataset, MDS) 선정 방법과 점수화 함수의 조합이 SQI 성능에 미치는 영향을 평가하였다. 국내 농경지에서 토양 조건별 100점씩 총 300점의 표토를 채취하였으며, 이 중 240점은 모델 구축에, 60점은 독립 검증자료(independent validation dataset)로 사용하였다. 전체자료집합(total dataset, TDS), 주성분분석 기반 최소자료집합(PCA-MDS) 및 네트워크 분석 기반 최소자료집합(NA-MDS)에 선형, 누적정규분포(cumulative normal distribution, CND) 및 sigmoid 점수화를 각각 적용하여 총 9개의 SQI 모형을 구축하였다. PCA-MDS는 치환성 Na^+, 치환성 Ca^{2+}, Dehydrogenase, 용적밀도, Phosphatase 및 점토 함량의 6개 지표로 구성되었으며, NA-MDS는 용적밀도, β-glucosidase, (ESP)exchangeable sodium percentage, 유효인산 및 DHA의 5개 지표로 구성되었다. 독립 검증자료에서 NA-sigmoid 모형은 MDS 기반 모형 중 가장 높은 R^2(0.788), 일치상관계수(CCC; 0.825) 및 민감도지수(SI; 7.86)를 보여 TDS 기반 SQI와의 대응성, 수치적 일치도 및 토양질 변이에 대한 민감도가 가장 높았다. NA-CND 모형은 가장 높은 효율비(ER; 70.59%)를 보여 측정된 토양 지표와 가장 폭넓은 유의적 연관성을 유지하였다. 반면 PCA-linear 모형은 가장 낮은 RMSE(0.067)를 보였으나 R^2, CCC, SI 및 ER도 가장 낮아, 낮은 절대오차가 압축된 SQI 분포와 관련된 것으로 해석되었다. 이상의 결과는 SQI 성능이 MDS 선정 방법이나 점수화 함수 중 하나에 의해 독립적으로 결정되는 것이 아니라 두 구성요소의 상호작용에 의해 결정됨을 보여준다. 본 연구 조건에서는 NA-sigmoid 모델이 TDS 기반 SQI와의 대응성, 수치적 일치도 및 민감도를 종합적으로 가장 잘 확보한 모형으로 평가되었으며, 향후 다양한 토양 유형과 관리조건을 대상으로 추가 검증이 필요하다.

주연구자 연락처: sckim@cnu.kr (0428216737)

대학원생 구두발표 10

Machine Learning-based Soil Nutrient Prediction Model using Various Variable Selection Strategies

Seung Jun Lee, and Jin Hee Park*
Department of Environmental and Biological Chemistry, Chungbuk National University, Cheongju, Chungbuk, Republic of Korea 28644

Conventional laboratory-based soil analysis is time-consuming and costly, limiting its applicability for rapid and large-scale soil nutrient assessment. Machine learning (ML) has emerged as a promising alternative for predicting soil properties and nutrient contents. However, model performance is often constrained by limited training data, resulting in overfitting and reduced reliability. Open databases provide large-scale datasets, thereby improving model robustness and predictive performance. Therefore, this study developed open data-based ML models to predict soil potassium (K), available phosphate (P_2O_5), calcium (Ca), and magnesium (Mg) contents. Three types of data were provided by Rural Development Administration (soil chemical and soil physical data) and Korea Meteorological Administration (meteorological data). Random Forest (RF) and eXtreme Gradient Boosting Regressor (XGB-R) were used for three input datasets: soil chemical properties (C-set), soil chemical and physical properties (CP-set), and soil chemical and physical properties combined with meteorological data (CPM-set). Models trained with C-set showed relatively poor predictive performance regardless of the algorithm. However, the sequential integration of soil physical properties and meteorological variables consistently improved model performance for all target nutrients. Among the evaluated models, XGB-R achieved the highest predictive performance using CPM-set, with R^2 values of 0.578, 0.593, 0.677, and 0.545 for K, P_2O_5, Ca, and Mg, respectively. Feature importance analysis indicated that soil chemical properties were the dominant predictors across all nutrient models, whereas soil physical properties contributed substantially to the prediction of available phosphorus. Meteorological variables, particularly cumulative precipitation, solar irradiation duration, and soil temperature, further enhanced predictive performance. These results demonstrate that integrating soil and environmental data from open databases with machine learning provides an effective and scalable approach for improving soil nutrient prediction.

Keywords: Machine learning, Open database, Soil, Nutrients, Chemical properties, Physical properties, Meteorological data

Correspondence: pjinh@chungbuk.ac.kr (043-261-2564)

대학원생 구두발표 11

Is Biochar Production and Application Better than Pepper Residue Incorporation for Enhancing Net Ecosystem Carbon Budget under Climate Change Conditions?

Sohee Yoon[1], Yeomyeong Lee[1], Mun Hyeong Park[2], Chang-Hoon Lee[2], and Sang Yoon Kim[1,3]*
[1]Department of Agricultural Chemistry & Interdisciplinary Program in IT-Bio Convergence System, Sunchon National University, Suncheon 57922, Korea
[2]Department of Horticulture, Korea National University of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Korea
[3]Department of Agricultural Life Science, Sunchon National University, Suncheon 57922, Korea

Converting crop residues into biochar which contains a high proportion of recalcitrant carbon (C) has gained increasing attention as a strategy for enhancing C sequestration and mitigating climate change. While direct residue incorporation boosts C input via NPP, it also accelerates decomposition losses. Conversely, biochar conversion may enhance long-term C retention and post-application NPP, despite initial C losses during pyrolysis. Therefore, a comprehensive NECB evaluation using a life-cycle assessment (LCA) framework under future climate change scenarios is required to verify the net advantage of biochar conversion over raw residue return in agroecosystems. This study aimed to suggest sustainable OM management strategies for pepper cultivation under climate change conditions by integrating NECB within the ecosystem boundary and LCA within biochar process boundary. We established four climate change conditions including present conditions (T0C0), elevated temperature (+2°C, T2C0), elevated CO_2 concentration (+200ppm, T0C200), and combined elevated temperature and CO_2 concentration (+2°C and +200ppm, T2C200) using a smart plant diagnostic system chamber. In addition, OM treatments included control (C; non-OM), pepper residue (R; 5 Mg d.w ha^{-1}), and pepper residue-derived biochar (B; 1.75 Mg d.w ha^{-1}), with the biochar rate determined from the yield of 5 Mg d.w ha^{-1} pepper residue pyrolyzed at 450°C for 1 h. We evaluated NECB including C input, heterotrophic respiration (CO_2 and CH_4) as C loss and pepper biomass productivity. Moreover, C losses associated with biochar production were assessed using LCA, including transportation, energy consumption, and pyrolysis. We observed that respired C losses showed an overall increasing trend in the T0C200, with a high value observed the R treatment compared to T0C0. Fruit productivity was significantly affected by climate change conditions and showed generally high values in the R treatment. Regardless of climate change conditions, NECB was highest in the order of B > R > C. In addition, C losses from biochar production accounted for less than 2% of soil C losses, which was considered negligible. Based on the integrated NECB-LCA framework, converting residue into biochar and applying it to the soil is a more effective approach for enhancing soil C stocks in upland ecosystems, even under climate change conditions.

Correspondence: sykim@scnu.ac.kr (061-750-5189)

대학원생 구두발표 12

Biochar Promotes Stable Soil Organic Carbon Accumulation with Limited Improvement in Soil Physical Properties

Keun Woo Kim[1], and Pil joo Kim[1,2]*
[1]Division of Applied Life Science (BK21 Four), Gyeongsang National University
[2]Institue of Agriculture and Life Sciences, Gyeongsang National University

Biochar is one of the negative emission technologies, increasing soil organic carbon (C) through its recalcitrance. However, this distinct property of biochar may induce different patterns of carbon sequestration and soil physical property changes compared with other organic amendments. This study aimed to evaluate the C accumulation pattern and changes in soil physical properties under continuous biochar application, in comparison with other organic carbon amendments. Rice cultivation was conducted for 5 years with annual application of different organic amendments (no amendment, green manure, compost, and biochar). Soil organic C stock changes were evaluated using the net ecosystem carbon budget (NECB), balancing C inputs from net primary production (NPP) and organic amendments against C outputs from respired C loss and harvest removal. After 5 years of rice cultivation, soil organic C was characterized in terms of total organic C and the chemically resistant organic C fraction, defined as the residual organic C remaining after NaOCl oxidation. Soil physical properties were analyzed, and soil organic C was fractionated with density-particle size into light fraction (LF) and heavy fraction (HF) to evaluate the physical protection of soil organic C. During the 5 year rice cultivation, NECB was highest under green manure, followed by biochar, compost, and control. The greater NPP-derived C input under green manure outweighed the accompanying increases in both C outputs-respired C loss and harvest removal. Soil organic C content was similarly elevated under green manure and biochar. In contrast, chemically resistant organic C content was distinctly highest under biochar, indicating greater organic C stability despite comparable soil organic C accumulation. Physical fractionation showed that biochar had the highest LF proportion and organic C content of the LF, whereas HF proportion and its organic C content were similar among treatments. The ratio between LF and HF was highest under biochar, indicating that the distinct C distribution under biochar was mainly associated with the LF pool. Despite this greater LF in biochar-amended soils, biochar also showed the highest bulk density among treatments, without a clear accompanying improvement in soil physical properties. Biochar enhanced the chemical stability and LF proportion of soil organic C despite a smaller C input, with limited accompanying improvement in soil physical properties.

Correspondence: pjkim@gnu.ac.kr (055-772-1966)

대학원생 구두발표 13

토양 유기탄소 분획을 이용한 바이오차 원료별 탄소 안정화 메커니즘 평가

Assessment of Carbon Stabilization Mechanism of Biochars from Different Feedstocks Using Soil Organic Carbon Fractions

이정민[1], 홍영규[1,2], 김진욱[1], 정호진[1], 김성철[1]*
Jeongmin Lee[1], Youngkyu Hong[1,2], Jinwook Kim[1], Hojin Jung[1], and Sungchul Kim[1]*
[1]충남대학교 생물환경화학과, [2]농촌진흥청 국립농업과학원 토양물환경과
[1]Department of Bio-Environmental Chemistry, Chungnam National University
[2]Soil and Water Environment Division, National Institute of Agricultural Sciences

바이오차는 높은 화학적 안정성으로 토양 탄소격리를 위한 유망한 소재로 주목받고 있다. 그러나 기존 연구에서는 토양 총유기탄소(total organic carbon, TOC)의 단순 증가나 바이오차 자체의 난분해성을 중심으로 탄소격리 효과를 평가하여, 바이오차 유입 탄소와 토양 내 유기탄소의 고유 안정화 과정을 명확히 구분하는데 한계가 있었다. 따라서 본 연구에서는 밀도 및 입경 분획법(density and particle-size fractionation)을 이용하여 토양 유기탄소를 particulate organic carbon (POC)과 mineral-associated organic carbon (MAOC)으로 분리·정량하고, 바이오차 원료에 따른 토양 탄소 안정화 메커니즘을 평가하였다. 계분(chicken manure, CHM) 및 왕겨(rice husk, RH) 유래 바이오차를 토양에 5%(w/w) 처리하여 24주간 배양한 후, dissolved organic carbon (DOC), easily oxidizable organic matter (EOM), microbial biomass carbon (MBC), urease 활성 및 토양 이화학적 특성을 분석하였다. CHM 처리구는 RH 처리구보다 높은 DOC와 EOM을 유지하였으며, DOC는 최대 299.6 mg kg^{-1}, EOM은 29.3 g kg^{-1}를 나타냈다. 또한 CHM 처리구의 MAOC는 최대 3.57 g C kg^{-1}로 RH 처리구의 최대값(2.84 g C kg^{-1})보다 약 26% 높았으며, POC 또한 RH 처리구보다 약 2.8 배 높은 수준을 나타냈다. Pearson 상관분석 결과 MAOC는 DOC, EOM 및 MBC와 유의한 양의 상관관계를 보여, 가용성 탄소의 공급과 미생물 활성이 MAOC 형성에 중요한 역할을 하는 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 계분 유래 바이오차가 미생물 매개 토양 탄소 안정화를 효과적으로 촉진할 가능성을 시사하며, 토양 유기탄소 분획을 이용한 평가는 바이오차 자체의 안정성과 토양 내 탄소 안정화 과정을 구분하여 해석하고, 바이오차 원료에 따른 MAOC 형성 메커니즘을 규명하는 효과적인 접근법임을 보여준다.

주연구자 연락처: sckim@cnu.ac.kr (042-821-6737)

대학원생 구두발표 14

Trace Element-Dependent Effects of Biochar on Cadmium Stabilization and Nitrogen Biogeochemical Processes in Soybean-Cultivated Soil

Jin Ju Lee, Ji Won Yang, Min Hui Kim, Gyu Ri Kim, Jae Hee Shin, and Goontaek Lee*
Seoul National University

Cadmium (Cd) contamination not only promotes Cd accumulation in crops but also disrupts key nitrogen (N) transformation processes in agricultural soils, leading to reduced biological N fixation and altered nitrification. To improve both Cd stabilization and soil N cycling, this study investigated the effects of biochar (BC) combined with different trace elements on soybean grown in Cd-contaminated soil. Soybean was cultivated in pots under six treatments (Control, Cd, BC, BC-Mo, BC-Fe_2O_3, and BC-FeS_2). Changes in nitrogenase activity, porewater inorganic N dynamics, Cd and trace element accumulation, rhizosphere bacterial communities, and phytohormone responses were comprehensively evaluated to determine how each amendment influenced nitrogen biogeochemical processes under Cd stress. The effectiveness of BC differed substantially according to the co-applied trace element. The BC-Mo treatment increased inorganic N concentrations in porewater, suggesting enhanced N mineralization and nitrification-related processes; however, it also resulted in greater Cd accumulation in soybean tissues and stronger physiological stress. Although BC-Fe_2O_3 maintained a nitrate-dominated N composition, recovery of nitrogenase activity remained limited. In contrast, BC-FeS_2 consistently preserved nitrogenase activity at levels comparable to the uncontaminated control while restoring porewater N composition toward the control condition. This treatment also minimized the decline of bacterial taxa associated with biological N fixation and nitrification and alleviated plant stress responses. These findings demonstrate that the influence of BC on Cd-contaminated soil is strongly dependent on the accompanying trace element. Among the tested amendments, BC-FeS_2 most effectively maintained nitrogen transformation processes while mitigating Cd toxicity, indicating its potential as a practical amendment for improving soil function in Cd-contaminated agricultural systems. Further studies under controlled environmental conditions and field-scale cultivation are required to verify its long-term applicability.

Correspondence: gtlee@snu.ac.kr (010-5401-8603)

대학원생 구두발표 15

배추 재배를 위한 계분 바이오차 최적 시용 조건 선정

Optimization of Poultry Manure Biochar Application for Kimchi Cabbage Cultivation

이창곤[1], 송지민[1], 이익형[1], 조한나[1], 강세원[2]*
Chang-Gon Lee[1], Ji-Min Song[1], Ikhyeong Lee[1], Han-Na Cho[1], and Se-Won Kang[2]*
[1]국립순천대학교 농화학과, [2]국립순천대학교 농생명과학과
[1]Department of Agricultural Chemistry, Sunchon National University 57922, South Korea
[2]Department of Agricultural Life Science, Sunchon National University 57922, South Korea

최근 한국 국내 소득 수준이 향상되고, 서구화 된 식생활 등으로 인해 단백질 공급원인 육류의 섭취가 증가하여 가축 사용량 또한 증가하고 있으며, 이에 따라 가축분 또한 증가하고 있다. 본 연구는 증가하는 가축분을 바이오차로 자원화하고 작물 재배를 위한 가축분 바이오차의 최적 시용 조건을 선정하고자 수행되었다. 본 실험에 사용 된 가축분 바이오차는 F사에서 생산한 계분 바이오차(Poultry Manure Biochar, PMB)를 사용하였고, 재배 작물은 배추(*Brassica rapa L.*)를 대상으로 7개 처리구에서 3반복의 임의 배치로 재배 실험을 실시 하였다. 처리구는 무처리구(CN), 농촌진흥청 표준시비량을 기준으로 질소, 인, 칼륨을 각각 200, 59, 238 kg ha^{-1} 처리한 무기질 비료 처리구(IF), PMB 5 t ha^{-1} 처리구(PMB5), PMB 10 t ha^{-1} 처리구(PMB10), PMB 20 t ha^{-1} 처리구(PMB20), PMB 40 및 PMB 80 t ha^{-1} 처리구(PMB40, PMB80)로 설정하였다. 배추의 주중은 처리구에 상관없이 1,850~2,974 g $plant^{-1}$의 범위로 조사 되었으며, PMB20 처리구에서 가장 높은 생육을 보였고 PMB40 처리구부터 감소되는 경향을 보였다. 토양의 화학적 특성의 경우 PMB 시용수준이 증가할수록 pH, T-N을 비롯한 토양 화학적 지표들이 증가하는 경향을 보였다. 이상의 결과를 미루어 볼 때, 배추 재배에서 PMB 처리는 배추의 생산성 향상과 토양 환경에 긍정적인 효과가 있었지만, 과다 시용 시 배추의 생육이 저하 되는 결과를 보았을 때 다양한 작물과 PMB의 적정 시용 수준을 규명하기 위한 추가적인 연구가 필요하다.

주제어: 계분 바이오차, 자원화, 최적 시용 조건, 토양 환경, 배추
주연구자 연락처: Kangsw@scnu.ac.kr (010-4124-5312)

대학원생 구두발표 16

Interactive Effects of Biochar Feedstock and Particle Size on Soil CO_2 and N_2O Emissions under Different Nitrogen Conditions

Min-Hyo Lim, Chae-Won Kim, Seon-Min Park, and Seok-In Yun*
Department of Bio-Environmental Chemistry, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea

Biochar affects soil physicochemical properties in ways that vary with its feedstock and particle size, whereas nitrogen (N) input can alter soil acidity through N transformation processes. These factors can therefore affect soil CO_2 and N_2O emissions, but their interactive effects remain unclear. This study evaluated the effects of biochar feedstock and particle size on soil CO_2 and N_2O emissions under different N input conditions and investigated their interactions and associated mechanisms. Rice husk and soybean stalk biochars were prepared from coarse (>1 mm) and fine (<1 mm) feedstock particles by pyrolysis at 500°C and applied to the soil at a rate of 5 Mg ha^{-1}. Ammonium sulfate was used for N treatment. The soil was incubated at 25°C with its moisture content maintained at field capacity. Soil samples were collected periodically for soil pH measurement, while CO_2 and N_2O emissions were measured from each incubation jar throughout the incubation period. In the N-treated soil, soil pH decreased during incubation regardless of biochar treatment. N input significantly decreased cumulative CO_2 emissions in the control soil ($P < 0.05$). However, owing to significant interactions between N input and feedstock ($P < 0.01$) and between N input and particle size ($P < 0.05$), cumulative CO_2 emissions from the biochar treatments were higher than those from the control in the N-treated soil, particularly in the fine-particle treatments. N input significantly increased cumulative N_2O emissions ($P < 0.001$). Meanwhile, a significant particle-size effect ($P < 0.05$) and its interaction with N input ($P < 0.01$) were observed: biochar decreased N_2O emissions in the N-untreated soil, whereas in the N-treated soil, emissions in the coarse-particle treatments were similar to or lower than those in the control but were higher in the fine-particle treatments. The contrasting effects of biochar on CO_2 and N_2O emissions may reflect differences in the relative contributions of biochar sorption capacity and soil pH between N-untreated and N-treated soils. This study demonstrates that biochar effects on soil CO_2 and N_2O emissions can be reversed by N input and that fine-particle biochar can simultaneously increase CO_2 and N_2O emissions in N-treated soil.

Keywords: Rice husk biochar, Soybean stalk biochar, Biochar particle size, Carbon dioxide, Nitrous oxide
Correspondence: siyun@wku.ac.kr (063-850-6677)

대학원생 구두발표 17

Enhanced Methane Mitigation in Abandoned Paddy Fields by the Application of Biochar and Silicate Fertilizer

Eun-Seo Shin, Nuri Baek, Seo-Woo Park, Tae-Yeon Lee, Pia Husna Israt, and Woo-Jung Choi*
Chonnam National University

The increasing need to reduce rice cultivation areas due to the imbalance between rice supply and demand has led to increase in the area of abandoned paddies. These fields have recently attracted attention because of their potential environmental benefits such as reduced methane (CH_4) emissions and even CH_4 uptake. Biochar and silicate fertilizer (SiF) have been proven to mitigate CH_4 emissions from rice paddies, therefore, these soil amendments may enhance CH_4 mitigation in abandoned paddy fields. This study investigated the effects of rice husk biochar (RHBC, 200 g m^{-2}) and SiF (200 g m^{-2}) application on CH_4 emissions from abandoned paddies in comparison with the conventional rice paddies. The ability of RHBC and SiF to oxidize CH_4 was tested in lab experiments by analyzing the changes in CH_4 concentration after CH_4 injection under different soil moisture conditions. Water-filled pore space (WFPS) of soils was adjusted to 20%, 40%, 60%, 80%, 100%, and saturated conditions, and CH_4 oxidation potential and soil redox potential (Eh) were measured. Soil redox potential (Eh) decreased markedly in the control at 100% WFPS soil moisture conditions, whereas the decline in Eh was delayed by RHBC or SiF application. Incubation experiments demonstrated that CH_4 oxidation was markedly enhanced by the application of RHBC and SiF under aerobic conditions, with the most pronounced effect observed at 40% WFPS. Consistent with these findings, CH_4 oxidation was occasionally observed in the abandoned paddy field under aerobic conditions although statistical significance was low. Compared with the conventional rice paddy, the mean of CH_4 fluxes in the abandoned paddies was approximately 10 times lower, ranging from -0.25 to 0.29 mg CH_4 m^{-2} h^{-1}, with occasional CH_4 uptake during the dry season. Although CO_2 emissions from abandoned paddies were 30-109% higher than conventional rice paddies, these emissions are considered part of the biogenic carbon cycle and are therefore excluded from agricultural greenhouse gas inventories. Compared to conventional rice paddies, the total global warming potential-accounting for both CO_2 and CH_4 emissions-was reduced by approximately 17-76% in abandoned paddies. Overall, these results suggest that converting low-productivity rice paddies to abandoned ecosystems can serve CH_4 sink to mitigate emissions from neighboring conventional paddies.

Correspondence: wjchoi@jnu.ac.kr (062-530-2153)

대학원생 구두발표 18

Chemical Oxidation Using Rice Husk Biochar for Soil Health Restoration of Metalaxyl-Contaminated Soil

Minhui Kim*, Goontaek Lee, Jinju Lee, Jeewon Yang, Gyuri Kim, and Jaehee Shin
Seoul National University, Seoul, 08826, Korea

Chemical remediation of pesticide-contaminated soil is important not only for the removal of contaminants but also for the sustainable management of soil functions and health. Metalaxyl is a fungicide with high water solubility and mobility, making it highly susceptible to migration into soil and groundwater, thereby posing a risk of environmental contamination. In this study, a rice husk biochar (RHB)-based peroxymonosulfate (PMS) oxidation process was applied to evaluate the removal of Metalaxyl from contaminated soil with the aim of restoring soil health. In addition, iron oxide (Fe_3O_4) modification was employed to enhance the PMS activation performance of biochar, and the Metalaxyl removal efficiencies of unmodified rice husk biochar (RHB), ball-milled modified biochar (BM-RHB), co-precipitation-modified biochar (CP-RHB), and a physically mixed Fe_3O_4/biochar treatment (Mix-RHB) were compared.

The physicochemical properties of the biochars were characterized by SEM-EDS, FT-IR, and EPR analyses, while the residual concentration of Metalaxyl was determined over time using GC-FID. EPR analysis demonstrated that Fe_3O_4 effectively promoted the generation of reactive oxygen species (ROS), including $\cdot OH$, $SO_4^{\cdot -}$, and $^1O_2$, thereby enhancing PMS activation. However, in soil experiments, unmodified RHB exhibited higher Metalaxyl removal efficiency than the Fe_3O_4-modified biochars. SEM-EDS analysis suggested that Fe_3O_4 particles partially covered the biochar surface and pores, reducing the number of available adsorption sites and consequently limiting the adsorption-assisted chemical oxidation process. Furthermore, neither the co-precipitation-modified biochar nor the physically mixed Fe_3O_4/biochar treatment showed improved Metalaxyl removal compared with unmodified RHB. These findings indicate that enhanced PMS activation alone is insufficient to improve Metalaxyl removal in soil and that the adsorption characteristics and pore structure of biochar play critical roles in determining the efficiency of chemical oxidation. Future studies should evaluate whether the application of the chemical oxidation process contributes to the restoration of soil health, thereby considering both contaminant removal and the recovery of soil functions.

Keywords: Metalaxyl, Ricehusk biochar, Peroxymonosulfate(PMS), Chemical oxidation
Correspondence: mini17@snu.ac.kr (010-5334-6848)

대학원생 구두발표 19

Enhancing Metalaxyl Remediation in Soil through the Synergistic Effects of Adsorption and Biofilm-Induced Biodegradation via Surface-Specific Modifications of Wood Biochar

Gyu Ri Kim*
Seoul National University

Metalaxyl, a highly mobile pesticide in agricultural soils, poses significant environmental risks to off-site terrestrial and aquatic ecosystems via runoff through porewater and groundwater. Due to its structural stability, metalaxyl persists long-term in soils, disrupting nutrient cycling and threatening ecological health. In this study, we evaluated the remediation efficacy of wood pellet-based biochars to mitigate metalaxyl contamination and elucidated the synergistic mechanism between initial physical adsorption and microbe-mediated biodegradation. Specifically, we focused on modulating how the physicochemical surface properties of biochar induce extracellular polymeric substance (EPS) secretion and biofilm formation. Structural and functional surface modifications facilitating potential adsorption mechanisms were verified via FT-IR and SEM. Four biochar variants were evaluated: (i) pristine wood pellet biochar (WB), (ii) KOH-activated biochar (KOH), (iii) fast-release fertilizer-modified biochar synthesized via KOH activation followed by sequential impregnation of K*3*PO*4* and urea (FWB), and (iv) slow-release fertilizer-modified biochar modified via HNO*3* activation and ammonium sulfate impregnation (NFWB). Isotherm adsorption analysis quantified by GC-FID demonstrated that KOH biochar achieved the highest initial immobilization, showing a ~40-fold increase in adsorption capacity over WB. However, in actual soil biodegradation assays over 28 days, GC-FID monitoring revealed that FWB achieved the highest overall remediation efficiency, increasing degradation by ~60% compared to 48% for KOH, whereas NFWB and WB showed no significant differences. The supplied N and P nutrients from FWB enhanced soil microbial activity and promoted biofilm formation, accelerating the biological breakdown of pre-adsorbed metalaxyl. These findings demonstrate that fertilizer-modified biochars offer an effective, sustainable strategy to prevent off-site pesticide runoff and protect soil ecosystems.

Correspondence: gyuri7333@naver.com (01054018603)

대학원생 구두발표 20

APEX 모델을 이용한 고랑식생피복의 양분 유출 부하량 저감 평가

Assessment of Nutrient Load Reduction by Furrow Vegetative Cover Using APEX Model

양예린*, 엽소진, 이병모, 이종문, 오부영
Yerin Yang*, So-jin Yeob, Byeong-Mo Lee, Jong-Mun Lee, and Buyeong Oh
국립농업과학원
National Institute of Agricultural Science

농업에서 발생하는 비점오염원 (Nonpoint-source, NPS)은 전 세계적으로 수질 오염의 주요 원인으로 대두된다. 강우에 의해 농경지에서 배출되는 질소와 인은 하천, 호소, 연안 수역에서 부영양화와 조류 번식을 촉진한다. IPCC AR5에 따르면 기후변화에 따른 강우 강도 및 호우 빈도 증가로 인해 비점오염의 비중이 증가할 것으로 전망되었다. 따라서 본 연구에서는 이러한 기후변화로 인한 비점오염 증가에 대응하기 위한 대책으로써 최적관리기법 (Best Management Practices, BMPs) 중 하나인 고랑식생피복에 따른 양분 유출 저감효과에 대해 평가하였다. 평가 모델로 소유역 및 농장 규모의 농업지역에 대한 토양 및 물 환경에 미치는 영향 평가가 가능한 APEX (Agricultural Policy/Environmental eXtender) 모델을 사용하였다. 보·검정은 농촌진흥청 국립농업과학원 경사라이시미터 (전북 완주군 이서면)에 구성된 시험 포장에서 수집한 모니터링 데이터를 이용해 이루어졌다. 보정된 모델은 1991년에서 2020년까지 30년간의 과거 기후 조건에서 모의하여 유출량 및 질소, 인 부하량에 대한 저감효과를 평가하였다. 평가 결과, 고랑식생피복 처리 시 대조구와 비교해 연평균 유출량은 12.1%, 질소 부하량은 35.9%, 인 부하량은 40.8% 감소하는 것으로 나타났다. 본 연구 결과는 향후 농경지 수질관리 정책 수립의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 연구개발사업 (PJ00396736)의 지원으로 수행되었습니다.

주연구자 연락처: yyr1231@korea.kr (01089659309)

대학원생 구두발표 21

옥수수 재배지에서 유기물 종류에 따른 토양유기탄소 저장 및 안정성 평가

Evaluation of Soil Organic Carbon Storage and Carbon Stability as Affected by Organic Matter Type in a Maize Field

이유나, 김신실, 김경영, 황선아, 전상호, 김성헌*
yu Na Lee, Sin Sil Kim, kyeong yeong Kim, Seon Ah Hwang, Sang Ho Jeon, and Seong Heon Kim*

국립농업과학원 토양물환경과
Soil and Water Environment Division, National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju 55365, South Korea

기후변화를 완화하기 위한 방법으로 농경지에 탄소를 격리하기 위한 방법이 주목을 받고 있다. 탄소 격리 방법으로는 무경운, 바이오차 사용, 유기물원 투입 등이 알려져 있으며, 농경지 내 유기물원 투입은 작물에 양분을 공급하고 토양의 물리적 특성을 개선할 뿐만 아니라 토양으로 유입되는 탄소량을 증가시켜 토양유기탄소 축적원으로 중요한 역할을 한다. 따라서 본 연구는 퇴비, 잔재물과 같은 유기물원을 토양에 투입하여 옥수수의 생산량, 토양유기탄소 저장량 및 탄소 저장 양상을 평가하였다. 시험은 국립농업과학원 내부 포장에서 실시되었으며, 작물은 옥수수로 5월 초에 정식하여 7월 말에 수확하였다. 시험처리구는 무비구(NF), 무기질비료 처리구(NPK), 돈분단용 처리구(PC), NPK+옥수수잔재물 처리구(NPKR), NPK+돈분퇴비+옥수수잔재물(NPKPR)로 설정하였으며 각 처리구는 난괴법으로 3반복으로 설정하였다. 무기질비료 사용량은 토양검정을 통하여 산출하였으며 돈분퇴비는 토양 유기물함량에 따라 550 kg 10a-1을 처리하였다. 옥수수잔재물 투입 처리구는 열매를 제외한 전량을 투입하였으며 투입하지 않은 처리구는 뿌리를 제외하고 모두 제거하였다. 토양유기탄소 저장 양상을 평가하기 위한 탄소 특성 분획은 산염기 용해도 차이를 이용하여 실시하였다. 연구결과 옥수수 생산량은 NPKPR (1037 kg 10a-1) ≒ NPKR (905 kg 10a-1) ≒ NPK (896 kg 10a-1) > PC (701 kg 10a-1) > NF (384 kg 10a-1) 순으로 나타났다. 토양유기탄소 저장량은 NPKPR 처리구에서 17.6 t C ha-1로 가장 많았으며, 무비구에 비해 2.4배 증가한 것을 확인하였다. 탄소축적양상 평가결과 탄소저장에 영향을 미치는 풀빅산 및 휴믹산 모두 NPKPR 처리구에서 각각 781.87 mg kg-1, 1857.22 mg kg-1로 가장 높았다. HA/FA ratio는 NPKPR (2.37) > NPK (1.90) ≒ PC (1.77) ≒ NPKR (1.75) > NF (1.03) 순으로 나타났다. 이를 통해 유기물원 종류에 따라 저장되는 탄소의 특성이 다르다는 것을 확인하였으며 작물의 생산성과 토양유기탄소저장에 효과적인 처리구는 NPKPR 처리구인 것으로 확인되었다. 하지만 유기물 투입은 온실가스를 증가시킬 수 있으므로 탄소 축적량 증가, 안정된 탄소의 형태, 온실가스 관리 등을 위한 종합적인 평가를 수행하기 위해 장기간 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

주연구자 연락처: ksh4054@korea.kr (063-238-2453)

대학원생 구두발표 22

Unexpected Increase in Soil Organic Carbon under Global Warming through Enhanced Root-Derived Carbon Inputs and Organo-Mineral Stabilization in Paddy Soil

YoungHo Seo[1], and PilJoo Kim[1,2]*
[1]Division of Applied Life Science (BK21 Four), Gyeongsang National University
[2]Institute of Agriculture and Life Sciences, Gyeongsang National University, South Korea

Global warming can simultaneously enhance plant biomass and heterotrophic respiration, thereby increasing both plant-derived carbon inputs and microbial carbon (C) losses. Also, enhanced decomposition may increase the production of low-molecular compounds and microbial residues that can associate with soil minerals, thereby contributing to soil organic carbon (SOC) stabilization. However, it remains unclear whether these contrasting processes ultimately result in net SOC accumulation in paddy soils. To evaluate the effects of global warming on SOC accumulation in paddy soils, ambient and future climate conditions (+2 ○C and +200 ppm CO_2) were simulated using Open Top Chambers with chemical and organic fertilization. During the cold fallow season, the soil was kept bare in the chemical fertilization plots, and chemical fertilizers were applied before rice transplanting. In contrast, cover crops were grown in the organic fertilization plots and subsequently incorporated into the topsoil as green manure. Rice productivity, including aboveground and root biomass and root exudate, was quantified to estimate plant-derived C inputs, while heterotrophic respiration was measured to assess microbial C losses. Soil aggregates were separated to determine the distribution of SOC among macroaggregates, microaggregates, and silt-clay fractions, and mineral (Fe, Al, and Si) contents were analyzed to evaluate mineral-associated carbon stabilization. SOC stock increased by 5-18% under global warming conditions compared with present climate conditions. Under future climate conditions, aboveground biomass decreased by 9-17%, whereas root biomass and root exudation increased by 40-94% and 9-12%, respectively, indicating a substantial shift in plant-derived C allocation from aboveground biomass toward belowground inputs. Heterotrophic respiration increased by 28-98%, indicating enhanced microbial C losses under future climate conditions. Concurrently, the silt clay fraction increased by 7-9%, suggesting enhanced redistribution and retention of SOC within relatively stable mineral fractions. Furthermore, microaggregate-associated C was positively correlated with pedogenic and pyrophosphate-extractable Fe, Al, and Si across climate and fertilization treatments. In conclusion, these results suggest that enhanced root-derived C inputs and organo-mineral interactions within microaggregates may have promoted SOC stabilization and partially offset warming-induced C losses from respiration.

Correspondence: pjkim@gnu.ac.kr (055-772-1966)

대학원생 구두발표 23

제주 감귤원 Andisol과 Ultisol의 온실가스 배출 특성 비교

Comparison of Greenhouse Gas Emissions between an Andisol and an Ultisol in Jeju Citrus Orchards

강태형[1], 강다현[1], 신우성[1], 박원표[2]*
Tae-Hyeong Kang[1], Da-Hyun Kang[1], Woo-Sung Shin[1], and Won-pyo Park[2]*
[1]제주대학교 농학과, [2]제주대학교 식물자원환경전공
[1]Department of Agricultural Science, Jeju National University, Jeju 63243, Korea
[2]Plant Resources and Environment Major, College of Applied Life Science, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

농업 토양은 질소 시비에 의해 아산화질소(N_2O)가 배출되는 주요 온실가스 배출원이며, 토양 유형에 따라 수분 및 질소 동태가 달라져 온실가스 배출 특성이 다르게 나타날 수 있다. 제주도는 국내 감귤 재배의 중심 지역으로 화산회토(Andisols)와 비화산회토(non-Andisols)가 함께 분포하지만, 토양 유형에 따른 온실가스 배출 특성과 N_2O 배출계수(Emission factor, EF)를 비교한 연구는 제한적이다. 이에 본 연구에서는 제주 감귤 재배지의 Andisol과 Ultisol에서 온실가스 배출 특성과 N_2O 배출량을 비교하고, 토양 유형에 따른 N_2O 배출 차이를 바탕으로 토양 특성을 반영한 배출계수 개발의 필요성을 평가하고자 하였다. 이에 제주 감귤 재배지에서 화산회토와 비화산회토의 온실가스 배출 특성을 비교하고 토양 유형별 N_2O 배출량을 비교하였다. 화산회토(Andisols)와 비화산회토(Ultisols) 감귤원에서 무비구(no fertilizer, NF)와 표준시비구(inorganic fertilizer, IF)를 두고 봄, 여름, 가을로 나누어 시비하였다. 토양 수분(Water-filled pore space, WFPS), 지온, 무기태 질소(NH_4^+-N, NO_3^--N), N_2O 및 CO_2 배출량을 조사하였다. 가스 시료는 폐쇄형 챔버법을 이용하여 채취하였으며, 비료시비 기준으로 N_2O 누적량을 선형보간법을 이용하여 산정하였다. 또한 N_2O 배출계수(EF)와 지구온난화지수(Global Warming Potential, GWP)를 함께 평가하였다. Ultisol에서는 Andisol보다 높은 WFPS가 지속적으로 유지되었고, 비료 시비 후 토양 유형에 따라 무기태질소의 변화 양상이 다르게 나타났다. 다중회귀분석에서 Ultisol은 WFPS와 지온이 Andisol은 NO_3^--N가 N_2O 배출 변동을 설명하는 주요 변수였다. N_2O 배출은 시비 직후 증가하여 강우 이후 반복적인 peak를 나타냈으며, IF 처리구의 누적 N_2O 배출량은 Ultisol에서 Andisol보다 높았다. IPCC Tier 1 기본 배출계수(1%)와 비교할 때, 단일 표준시비 조건에서 산정한 N_2O 배출계수는 Andisol에서 0.69%, Ultisol에서 3.21%로 토양 간 차이를 보였다. 반면, 누적 CO_2 배출량은 Andisol에서 Ultisol보다 높게 나타났으며, SOC 저장량으로 보정한 RCO_2/SOC는 Ultisol IF처리구에서 5.21%로 Andisol보다 약 1.9배 높았다. GWP는 10,116-13,644 kg CO_2-eq ha^{-1} 범위로 두 토양 간 유의한 차이는 없었다. 종합적으로 Andisol과 Ultisol은 WFPS와 무기태 질소의 동태 차이에 따라 N_2O 배출 특성과 배출량에 뚜렷한 차이를 나타냈다. 본 연구는 단일 표준시비 수준에서 수행되어 토양 유형별 대표 N_2O 배출계수를 제시하는 데에는 한계가 있으나, 두 토양 간 N_2O 배출 반응과 산정된 배출계수의 차이는 제주 감귤 재배지의 온실가스 배출량을 보다 정확하게 산정하기 위해 토양 특성을 반영한 N_2O 배출계수 개발이 필요함을 시사한다.

주연구자 연락처: oneticket@jejunu.ac.kr (010-6663-0306)

대학원생 구두발표 24

벼 이앙밀도 변화에 따른 CH_4 배출량 및 수량 특성 평가

Effects of Rice Transplanting Density on CH_4 Emissions and Yield Characteristics

이준영[1], 강윤구[1], 이성학[2], 오택근[1,2,3]*
Jun-Yeong Lee[1], Yun-Gu Kang[1], Sunghak Lee[2], and Taek-Keun Oh[1,2,3]*
[1]충남대학교 농화학과, [2]충남대학교 생물환경화학과, [3]큐슈대학교 농업환경과학과
[1]Department of Agricultural Chemistry, Chungnam National University
[2]Department of Bio-Environmental Chemistry, Chungnam National University
[3]Department of Agro-environmental Sciences, Kyushu University

전 세계적으로 대기 중 온실가스 농도가 증가함에 따라, 이상기후 현상 발생이 심화되고 있으며, 인위적 활동으로 발생하는 온실가스 저감이 기후변화 대응을 위한 핵심과제로 대두되고 있다. 국내 주요 식량작물인 벼(*Oryza sativa* L.) 재배는 농업부문 온실가스 배출의 약 31%를 차지하고 있으며, 담수상태인 논은 CH_4의 주요 배출원으로 알려져 있다. 벼 재배에서 기상, 토양 특성 및 재배전략은 생산성과 CH_4 배출에 영향을 미치는 요인으로 작용하며, 그 중 벼의 이앙밀도는 군락 구조와 개체 간 경쟁을 조절하는 재배 요인이다. 국내에서는 벼의 수량 확보 및 생산 비용을 기준으로 권장 이앙밀도를 제시하고 있으나, 기후변화로 인해 변화된 벼 재배 환경과 CH_4 배출이 고려되지 않은 현황이다. 따라서, 본 연구는 벼 생태형 별 이앙밀도를 조정하였을 때, CH_4 배출과 벼 수량 특성 변화를 평가하였으며, 이를 통해 CH_4 저감 및 안정적인 생산성을 확보할 수 있는 생태형 별 최적 이앙밀도를 도출하고자 하였다. 벼 재배는 2025년 충남대학교 부속 논 포장에서 실시하였으며, 벼 생태형에 따라 조생종(운광)과 중만생종(삼광)을 선정하였다. 이앙밀도는 밀식재배(30 × 12 cm), 관행재배(30 × 15 cm), 그리고 소식재배(30 × 20 cm)로 구분하여 총 6개 처리구로 구성하였다. 벼 재배 기간 중 일일 CH_4 배출량은 품종 및 이앙밀도에 관계없이 이앙 이후 점차 증가하여 출수기 부근 최대 배출량을 나타내었으며, 두 품종 모두 관행재배에서 일일 최대 배출량(운광: 8.91 kg ha^{-1} day^{-1}, 삼광: 11.07 kg ha^{-1} day^{-1})을 보였다. 수확 전 낙수 이후, 모든 처리구의 CH_4 배출이 급격하게 감소하였으나, 지속적인 강우로 인해 수확까지 0.25 - 4.13 kg ha^{-1} day^{-1} 사이의 배출 범위를 나타내었다. 벼 재배 기간 중 누적 CH_4 배출량은 두 품종 모두 재식거리가 증가함에 따라 감소하였으나, 품종 내에서 유의차를 나타내지 않았으며, 조생종인 운광(323.67 kg ha^{-1})에 비해 중만생종인 삼광(444.14 kg ha^{-1}) 벼에서 평균 37.21% 높았다. 벼 수량을 조사한 결과, 운광은 소식재배(5.60 Mg ha^{-1}), 삼광은 밀식재배(7.96 Mg ha^{-1})에서 가장 높았으며, 조생종인 운광에 비해 중만생종인 삼광 벼에서 평균 36.63% 높게 나타났다. 작물 생산량 대비 온실가스 배출량을 나타내는 지표인 GHGI (greenhouse gas intensity)는 벼 수량과 유사한 경향을 나타내어 품종에 따라 상반된 결과를 보였으며, 운광은 관행재배 대비 소식재배를 적용함에 따라 15.59% 감소한 반면, 삼광은 소식재배를 적용함에 따라 19.05% 증가하였다. GHGI 지수를 기반으로 도출된 최적 이앙밀도는 운광에서 30 × 20 cm (1.57 kg CO_2-eq. kg^{-1} grain), 삼광에서 30 × 14 cm (1.64 kg CO_2-eq. kg^{-1} grain)로 나타났으며, 본 연구에서 도출된 적정 이앙밀도의 적용은 향후 CH_4 배출 저감과 수량 안정성을 확보할 수 있는 실용성 높은 재배 전략으로 판단된다.

주연구자 연락처: ok5382@cnu.ac.kr (042-821-6735)

대학원생 구두발표 25

Feasibility of Pot Seedling Transplanting for Enhancing Annual Net Ecosystem Carbon Budget under Different Planting Densities in Paddy Ecosystems

Mingyeong Lee[1], Yeomyeong Lee[1], Sohee Yoon[1], Gayeon Jang[1], Donguk Lim[1], and Sang Yoon Kim[1,2]*
[1]Department of Agricultural Chemistry & Interdisciplinary Program in IT-Bio Convergence System, Sunchon National University, Suncheon 57922, Korea
[2]Department of Agricultural Life Science, Sunchon National University, Suncheon 57922, Korea

Rice paddies are a major anthropogenic source of global methane (CH_4) emissions, highlighting the need for low-carbon practices. Seedling type and planting density can influence annual net ecosystem carbon budget (NECB), by altering both C inputs via plant growth and C losses. This study evaluated the annual NECB of seedling types under conventional and low planting density conditions. A field experiment was conducted using the early-maturing (*Oryza sativa* L. *cv. Jomyeong 1*) with four treatments under two seedling types (bed vs. pot seedlings) and two planting densities (conventional vs. low density). Annual NECB was calculated as total C input (urea and net primary production) minus total C output (CH_4 and CO_2 emissions during cropping and fallow seasons, plus harvested biomass). C input was slightly higher in pot seedlings than in bed seedlings, but the difference was not significant. However, C input was significantly greater under the conventional density than under the low density, which was attributed to the greater biomass production. CH_4 was emitted predominantly during the rice cropping season, with pot seedlings showing significantly lower C loss than bed seedlings. In contrast, emissions during the fallow season were negligible. CO_2 was emitted primarily during the fallow season, accounting for approximately 66-89% of total gaseous C loss. Pot seedlings also showed lower CO_2 emissions during this fallow period. C removal through harvest was greater under the conventional density than under the low density because of higher biomass production. Pot seedlings showed greater harvest C removal than bed seedlings under both planting densities, although a significant difference was observed only under the low density. Total C output did not differ significantly among treatments. Regardless of planting density, annual NECB was significantly greater in pot seedlings than in bed seedlings, while the conventional density resulted in a higher than the low density. Overall, pot seedling transplanting under conventional density enhances annual NECB, serving a sustainable practice in paddy ecosystems.

Correspondence: sykim@scnu.ac.kr (061-750-5189)

대학원생 구두발표 26

Soil Organic Carbon Dynamics in Coastal Saline Paddies are Driven by Salinity-Mediated Microbial Processes Rather than Rice Biomass Inputs

Seo-Woo Park, Nuri Baek, Eun-Seo Shin, Tae-Yeon Lee, and Woo-Jung Choi*
Chonnam National University

Coastal saline paddy soils contain low soil organic carbon (SOC), which conversely implies a high potential to sequester additional SOC from atmospheric CO_2. However, the key driving factors affecting SOC in coastal saline paddy soils have not been fully identified. Although soil salinity is recognized as a primary limiting factor of SOC storage in coastal saline soils, the underlying mechanisms are unclear. In this study, soil samples were collected from 186 fields from southwestern coastal area during 2018-2022. The soils samples were analyzed for SOC and other soil variables including texture, salinity, and fertility. Above-ground biomass of rice plants was also measured. The driving factors of SOC changes were assessed through a series of statistical analyses. First, correlation analyses were performed between SOC and soil and plant variables to investigate the individual effects of all variables. Second, the importance of these variables in driving SOC changes was ranked using random forest modeling (RFM). Third, the pathways of these effects on SOC were determined using structural equation modeling (SEM). Additionally, to identify the factors contributing to SOC decomposition, 25 soil samples were selected along an EC gradient to measure soil respiration in a 30-day incubation experiment under aerobic conditions. The correlation analyses showed that SOC was negatively affected by salinity factors, such as pH, electrical conductivity (EC), exchangeable sodium percentage, and sodium adsorption ratio (SAR), while being positively affected by soil fertility factors including nitrogen and phosphorus concentrations. There was also a positive correlation between SOC and rice biomass. The RFM results showed the highest contribution of SAR to SOC changes. The SEM results revealed that EC directly affected SOC (path coefficient (β) = -0.42 and $P < 0.001$), and a significant indirect path from clay to SOC mediated by EC was observed ($\beta = 0.64$ and $P = 0.016$). However, there was indication of increased SOC with rice biomass, neither directly nor indirectly. Regarding microbial respiration across the EC gradient, cumulative soil respiration was strongly correlated with SOC (positive, $P < 0.001$) and EC (negative, $P = 0.019$), suggesting that microbial activities and its necromass may drive the SOC variance. These results suggest that a high SOC under low salinity is associated with microbial activities rather than with rice biomass despite both microbial activity and rice residues are co-increased with desalinization.

Correspondence: wjchoi@jnu.ac.kr (0625302153)

대학원생 구두발표 27

Ethephon-Derived Ethylene Suppresses Methane Emissions through Broad Microbial Suppression and Shifts in Hydrogenotrophic Methanogens in Rice Paddy Soil

Shin Ho Jun, and Pil Joo Kim*
Division of Applied Life Science (BK21 Four), Gyeongsang National University, Republic of Korea

Methane emissions from rice paddies are an important source of agricultural greenhouse gas(GHG) emissions. Ethylene is known to suppress methanogenic activity, but its gaseous form and low water solubility limit its direct application to flooded soils. Ethephon is an ethylene precursor that can be applied directly to soil, where it decomposes to generate ethylene. However, the effects of ethephon application on CH_4 emissions and methane-cycling microorganisms in rice paddies remain poorly understood.

Ethephon was applied at 0, 1, 3, and 5 mg kg^{-1} soil. Methane(CH_4) and ethylene (C_2H_4) emissions were monitored during rice cultivation. The abundances of total bacteria, archaea, methanogens, and methanotrophs were determined using bacterial and archaeal 16S rRNA genes, *mcrA*, and *pmoA*. Methanogenic and methanotrophic community compositions were analyzed. Relationships among ethephon application, C_2H_4 production, microbial properties, and CH_4 emissions were assessed using correlation analysis and structural equation modeling.

Ethephon increased C_2H_4 emissions and decreased CH_4 emissions with increasing ethephon application rate. At 5 mg kg^{-1}, cumulative CH_4 emissions decreased by approximately 48% compared with the untreated control, with no significant reduction in rice yield. Bacterial and archaeal 16S rRNA gene abundances decreased following ethephon application. The abundance of *mcrA* decreased markedly, while the reduction in *pmoA* was smaller. Ethephon also changed methanogenic and methanotrophic community compositions. Hydrogenotrophic and methylotrophic methanogens generally decreased with increasing ethephon application. Hydrogenotrophic methanogens showed a positive but nonsignificant relationship with CH_4 emissions, while acetoclastic and methylotrophic methanogens were not significantly related to CH_4 emissions. Within the hydrogenotrophic group, *Methanocella* and *Methanoregula* were positively related to both *mcrA* abundance and CH_4 emissions. Structural equation modeling showed that ethephon application was positively related to C_2H_4 production ($\beta = 0.91$, $P < 0.001$). C_2H_4 production was negatively related to *mcrA* abundance ($\beta = -0.84$, $P < 0.001$), and *mcrA* abundance was positively related to CH_4 emissions ($\beta = 1.08$, $P < 0.001$). The model explained 92% of the variation in CH_4 emissions.

Ethephon reduced CH_4 emissions and methanogen abundance in rice paddy soil. The responses of *Methanocella* and *Methanoregula* were closely correlated with reductions in CH_4 emissions. These results support the potential use of ethephon as an ethylene-based approach to mitigate CH_4 emissions from rice cultivation without reducing rice yield.

Correspondence: pjkim0303@gmail.com (010-2387-6649)

대학원생 구두발표 28

Evaluating the Nitrous Oxide Mitigation Potential of Steel Slag in Upland Soil through Iron-Mediated Regulation of Soil Nitrogen Cycling

Dong Hyun Kim, and Chang Oh Hong*
Department of Life Science and Environmental Biochemistry, Pusan National University

Iron plays an important role in soil nitrogen cycling and nitrous oxide (N_2O) emissions. However, most studies have focused on flooded paddy soils characterized by pronounced redox gradients, whereas the role of iron in aerobic upland soils remains poorly understood. Therefore, this study used a two-stage approach to evaluate steel slag as an N_2O mitigation amendment and elucidate the underlying Fe-mediated mechanisms in upland soil. First, a pot experiment was conducted to evaluate the effects of basic oxygen furnace (BOF) and electric arc furnace (EAF) slags on N_2O emissions and soil N dynamics during radish (Raphanus sativus L.) cultivation. Both slags were applied at rates of 0, 2, 4, and 8 Mg ha^{-1}, and soil moisture was maintained at 60% water-filled pore space (WFPS). Increasing slag application reduced cumulative N_2O emissions and NO_3^- concentrations while increasing soil pH and NH_4^+ and Fe concentrations. Cumulative N_2O emissions were negatively correlated with NH_4^+ and Fe concentrations but positively correlated with NO_3^- concentrations. These results suggest that steel slag altered soil N transformations and potentially suppressed nitrification. However, the specific role of Fe could not be determined from the pot experiment alone. Second, a controlled laboratory incubation experiment is being currently conducted to determine whether Fe directly regulates soil N transformations and N_2O production and to distinguish the effects of Fe^{2+} and Fe^{3+}. Soil amended with 0.5% urea is incubated at 25 °C and 60% water-filled pore space with either $FeCl_3$ or $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ applied at an equivalent elemental Fe rate of 0.105% (*w/w*). N_2O fluxes, inorganic N concentrations, potential nitrification rate, denitrification enzyme activity, and Fe^{2+}/Fe^{3+} speciation are being assessed throughout the incubation to clarify the mechanisms underlying Fe-mediated N_2O mitigation and support the practical use of iron-rich steel slag in upland soils.

Keywords: By-product, Denitrification, Inorganic nitrogen, Nitrification, Soil amendment
Correspondence: soilchem@pusan.ac.kr (055-350-5548)

대학원생 구두발표 29

Comparing the Effect of Liming Materials on Soil Organic Carbon Stabilization Between paddy and upland

Ye Ram Ha[1], and Pil Joo Kim[1,2]*
[1]Division of Applied Life Science (BK21 Four), Gyeongsang National University
[2]Institue of Agriculture and Life Sciences, Gyeongsang National University

Liming materials have long been applied to acidic agricultural soils to improve soil quality. In South Korea, the government has subsidized the application of lime to upland soils and silicate fertilizers derived from blast furnace slag (BFS) to paddy soils for more than 60 years. $CaCO_3$-based liming materials can stimulate microbial activity by alleviating soil acidity, potentially accelerating organic matter decomposition and limiting soil organic carbon (SOC) accumulation. However, SOC can also be stabilized through interactions with minerals containing aluminum (Al) and iron (Fe). Because BFS contains mineral constituents such as Al and Fe, its application may promote SOC accumulation and stabilization through organo-mineral interactions. However, the contrasting effects of lime and BFS on SOC stabilization in paddy and upland soils remain poorly understood. To evaluate their effects on SOC accumulation and stabilization, the net ecosystem C budget (NECB) was assessed during the cropping period, while SOC fractions were evaluated at crop harvest. Both lime and BFS increased soil pH relative to the control in paddy and upland soils and also increased net primary production (NPP). However, BFS reduced heterotrophic respiration by 52% in paddy soils compared with lime, whereas lime reduced heterotrophic respiration by 18% in upland soils compared with BFS. These contrasting responses were associated with distinct patterns of SOC accumulation, with BFS promoting SOC accumulation in paddy soils and lime being more effective in upland soils. Lime increased particulate organic carbon (POC) contents in both paddy and upland soils, suggesting greater particulate C accumulation. In contrast, BFS increased mineral-associated organic carbon (MAOC) content in paddy soils but had no significant effect in upland soils, suggesting enhanced mineral-associated SOC stabilization primarily under paddy soil conditions. Overall, BFS was more effective in promoting SOC accumulation and mineral-associated stabilization in paddy soils, whereas lime was more effective in upland soils, highlighting the need for soil-specific liming strategies to enhance SOC sequestration.

Keywords: Soil organic carbon, Net ecosystem C budget, Blast furnace slag, Lime
Correspondence: pjkim@gnu.ac.kr (055-772-1966)

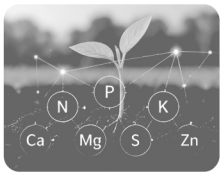
대학원생 구두발표 30

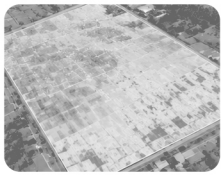
Evaluation of Global Warming Potential and Rice Yield under Different Fertilization and Tillage Practices in Paddy Soil

Mu seong Kim, and Chang oh Hong*
Department of Life Science and Environmental Biochemistry, Pusan National University

Previous studies on greenhouse gas emissions from paddy soils have often focused on either tillage practices or organic amendments as independent management factors. In contrast, this study evaluated the combined effects of tillage and representative fertilization practices by comparing four fertilization treatments. Rather than identifying a single optimal management practice, this study aimed to comprehensively assess the trade-offs among greenhouse gas emissions, soil organic carbon (SOC) sequestration, the net ecosystem carbon budget (NECB), net global warming potential (net GWP), grain yield, and greenhouse gas intensity (GHGI). A two-year field experiment was conducted in a paddy field in Miryang, Republic of Korea. The treatments of this study are chemical fertilizers (NPK), combined application of chemical fertilizers and compost manure (NPK+CM), combined application of chemical fertilizers and green manure (NPK+GM), and combined application of chemical, compost and green manure (NPK+CM+GM) under both tillage and no-tillage systems. CO_2 emissions were approximately twofold higher under tillage (1107 kg ha^{-1}) than under no-tillage (634 kg ha^{-1}), whereas CH_4 emissions were approximately 20% higher under no-tillage by 252 kg ha^{-1} and 304 kg ha^{-1}. CH_4 emissions increased with organic carbon inputs, with the NPK+CM+GM treatment showing the highest emissions. CH_4 emissions under no-tillage and NPK+CM+GM were likely due to more anaerobic conditions and greater organic C inputs. N_2O emissions tended to be slightly higher under tillage with 1124 kg ha^{-1} and 986 kg ha^{-1}, particularly in treatments receiving green manure. Higher N_2O emissions under tillage and NPK+GM were likely associated with enhanced soil aeration and the rapid supply of available C and N from green manure. Changes in soil organic carbon (ΔSOC) were more than twofold greater under no-tillage than under tillage with 13.4 Mg ha^{-1} and 5.4 MG ha^{-1}, although greater carbon inputs did not necessarily result in greater SOC accumulation. The NPK+CM+GM treatment showed the highest NECB, 12.5Mg ha^{-1} in till and 10.7 Mg ha^{-1} in no-till, and net GWP -1.4 Mg ha^{-1} in till and -0.8 Mg ha^{-1} in no-till, but the lowest greenhouse gas intensity (GHGI) owing to its high grain yield. In contrast, the NPK treatment exhibited the lowest net GWP (3.5Mg ha^{-1}) but the highest GHGI. These contrasting responses indicate a trade-off between climate change mitigation and crop productivity, suggesting that tillage and fertilization practices should be selected according to whether greenhouse gas mitigation or rice productivity is prioritized.

Correspondence: soilchem@pusan.ac.kr (01093263580)





포스터 발표

PA-001

Temporal Changes in Soil Properties and Evaluation of Agricultural Utilization Potential in Section 1 of the Saemangeum Reclaimed Land, Korea

Banghun Kang*, Kwang-Seung Lee, Hyeoun-Suk Cho, Haksung Lee, and Jin Jung
National Institute of Crop and Food Science, RDA

Reclaimed lands in Korea have high potential for agricultural use, but crop production is often restricted by high salinity and poor soil fertility during the early reclamation stage. This study evaluated temporal changes in soil properties and agricultural utilization potential in Section 1 of the Saemangeum reclaimed land.

Soil samples were collected from surface soil (0-30 cm) and subsurface soil (30-60 cm) in 2020 and 2025 across approximately 1,369 ha. Soil pH, electrical conductivity (EC), organic matter, available phosphate, and exchangeable cations were analyzed, and spatial distribution patterns were assessed using geographic information system-based analysis.

The soils were predominantly sandy-textured fluvio-marine alluvial soils. In 2025, mean EC values were 0.38 dS m^{-1} in surface soil and 0.42 dS m^{-1} in subsurface soil, indicating that most areas met the salinity threshold for upland crop cultivation. The proportion of land with EC values below 1.5 dS m^{-1} reached 97.25% in surface soil and 97.15% in subsurface soil, increasing by approximately 3.8% and 7.1%, respectively, compared with 2020. These results indicate progressive natural desalinization over time. However, soil fertility remained low. Organic matter contents below 5 g kg^{-1} were observed in 84.27% of surface soils and 94.15% of subsurface soils, far below the recommended level for stable crop production. Available phosphate and exchangeable cations were also generally deficient, indicating that nutrient insufficiency remains a major limitation.

Overall, Section 1 of the Saemangeum reclaimed land has reached salinity levels suitable for most upland crops, but low organic matter and nutrient availability continue to constrain productivity. Systematic fertility management, including organic matter amendment and balanced nutrient supply, is required for sustainable agricultural use.

Acknowledgment: This work was the 'Research Program for Agriculture Science and Technology Development (Project No. RS-2023-00230831)' Rural Development Administration, Republic of Korea.

Keywords: Saemangeum, soil salinity, electrical conductivity, soil fertility, nutrient management
Correspondence: ipmkbh@korea.kr (010-2378-8189)

PA-002

1 Mpa 압축스프링 탐침봉을 이용한 작토심 측정방법

Effective Measurement of Plowing Depth Using a 1 MPa Compression Spring Soil Probe

이미진*, 허재영, 제희정, 이영한
Mi-Jin Lee*, Jae-Young Heo, Hee-Jeong Je, and Young-Han Lee
경상남도농업기술원
Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services

본 연구는 농경지 토양 물리성 조사 및 시료 채취 시 조사자의 숙련도 및 힘 조절에 따른 작토심 측정 오차를 줄이기 위하여, 1 MPa 압축스프링이 장착된 개선형 토양 탐침봉을 개발하고 측정 정확도 및 현장 적용성을 검증하고자 수행되었다. 작토심 측정 성능 평가를 위해 표준 장비인 관입경도계의 측정값을 기준(독립변수)으로 설정하고, 개선 탐침봉과 기존 탐침봉(미숙련 조사자 2인 및 숙련자 1인)의 측정값을 종속변수로 하여 원점을 지나는 선형 회귀분석 (y = ax)을 수행하였다. 분석 결과, 관입경도계 대비 개선 탐침봉의 회귀계수(기울기)는 밭 1.006, 시설재배지 1.018, 논 1.036, 전체 토양 종합 1.015로 나타났으며, 결정계수(R2)는 0.98로 고도의 상관관계를 보였다. 반면, 기존 탐침봉을 사용한 미숙련 조사자의 경우 종합 회귀계수가 각각 1.575 (R2 = 0.53), 1.355 (R2 = 0.71)로 조사자 간 편차가 크고 결정계수가 낮았으며, 숙련자 역시 종합 회귀계수 0.938 (R2 = 0.94)로 논 토양 등 일부 포장에서 개선 탐침봉보다 낮은 정확도를 나타냈다. 이상의 결과는 1 MPa 압축스프링 탐침봉이 조사자의 주관적 힘 조절에 의한 측정 편차를 효과적으로 최소화하여 관입경도계 수준의 높은 정확도를 확보할 수 있음을 입증하였다. 또한, 관입경도계 대비 휴대성과 작업성이 뛰어나 향후 농경지 토양 조사 및 시료 채취 현장에서 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

주제어: 작토심, 토양 탐침봉, 압축스프링, 관입경도계,
주연구자 연락처: alwls0350@korea.kr (055-254-1314)

PA-003

과수원 토양물리성 현황 및 변동 평가

Assessment of Soil Physical Properties for the Orchard

조희래*, 옥정훈, 손정우, 조송래
Heerae Cho*, Junghun Ok, Jungwoo Sonn, and Songrae Cho
국립농업과학원
National Institute of Agricultural Science

2014년부터 2022년 제주 지역을 제외한 전국 과수원에 대해 4년 주기로 토양 물리성 조사를 통해 시간경과에 따른 물리성 변동 현황을 평가하였다. 조사지점은 2014년 312개, 2018년 320개, 2022년 320개 지점을 대상으로 각 도 농업기술원 및 한국농업기술진흥원이 공동으로 조사하고, 국립농업과학원에서는 조사결과를 검토, 취합하였다. 조사기관별로 표준화된 조사방법 및 분석법을 공유하였다. 토양수분 조건이 포장용수량 이하로 동결되지 않은 상태에서 경운시기를 제외하고 기계적 다짐의 영향이 적은 위치의 작물 사이에서 시료를 채취하였다. 조사항목은 작토심, 용적밀도, 삼상, 유기물 함량, 심토 산중식 경도 등이었다. 과수원의 주기 간 토양 물리성 평균치는 작토심 18.9 cm(2014), 22.6 cm(2018), 20.8 cm(2022), 심토 용적밀도 1.46 Mg m^{-3}(2014), 1.43 Mg m^{-3}(2018), 1.40 Mg m^{-3}(2022), 심토 유기물 함량 15.3 g kg^{-1}(2014), 14.7 g kg^{-1}(2018), 16.2 g kg^{-1}(2022), 심토 산중식 경도 19.3 mm(2014), 18.8 mm(2018), 19.0 mm(2022)이었다. 작토심은 18.9-22.6 cm 범위로 나타났으며, 심토 유기물 함량은 14.7-16.2 g kg^{-1}, 심토 용적밀도 평균치는 지속적으로 감소하는 경향을 보였다.

주연구자 연락처: chohr519@korea.kr (010-9622-5519)

PA-004

논 전환 밭 참깨 재배 시 땅속배수가 지하수위, 토양수분 및 참깨 수량에 미치는 영향

Effects of Subsurface Drainage on Groundwater Level, Soil Moisture, and Yield of Sesame Cultivated in Paddy-Converted Upland Field

공동혁*, 최만수, 류종수, 전현정, 이상훈, 서진희
국립식량과학원 밭작물개발부 스마트생산기술과
Department of Upland Crop Research and Development, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration

논 전환 밭에서 참깨를 재배할 경우 강우 후 과습으로 인한 습해가 재배 안정성을 저해하는 주요 요인으로 지적되나, 땅속배수 시스템이 논 참깨의 지하수위·토양수분 저하 및 수량에 미치는 효과에 대한 정량적 검증은 부족하다. 이에 본 연구는 경남 밀양시 사양토 논 포장에 땅속배수관을 설치하고 무배수 처리구와 비교하여 지하수위, 토양수분(지중 10·30 cm) 및 참깨(하니올) 생육·수량 특성을 분석하였다. 지하수위는 7월 집중호우(468 mm) 이후 땅속배수 처리구에서 5일 만에 69 cm 하강한 반면, 무배수 처리구는 동일한 수위 하강에 10일이 소요되어 배수 속도가 약 2배 향상되었다. 지중 10 cm 토양수분은 땅속배수 설치 시 무배수 대비 평균 약 3%p 감소하였고, 토양수분 30 % 이상 유지일수는 무배수 대비 6일 짧게 나타났으며, 강우 후 토양수분이 절반으로 감소하는 시점도 2~4일 앞당겨지는 경향을 보였다. 다만 지중 30 cm에서는 처리 간 토양수분 차이가 크지 않았다. 이러한 배수 개선 효과는 멀칭 유무에 따라 상이하게 나타나, 무멀칭 조건에서는 땅속배수 처리 시 초장·경태·초삭고·착삭절수·착삭부위장이 모두 유의하게 증가하고($p<0.05$) 주당삭수 60 %, 수량 52 % 증가한 반면($p<0.05$), 멀칭 조건에서는 초장·초삭고에서만 부분적인 개선 효과가 나타났고 수량 차이는 유의하지 않았다. 이는 멀칭이 토양 표면과 뿌리 주변을 보호해 자체적으로 습해를 완화하는 한편, 동일 포장 내에서 무배수구의 물이 땅속배수구로 유입되어 무배수구의 습해가 충분히 발현되지 않았기 때문으로 판단된다. 이상의 결과는 땅속배수가 집중호우 이후 지하수위 및 토양수분을 신속히 저하시켜 특히 무멀칭 조건의 논 참깨 재배에서 습해 경감 및 수량 증대에 효과적임을 시사하며, 멀칭 조건에서의 배수 효과는 별도 포장에서의 추가 검증이 필요할 것으로 판단된다.

Acknowledgement: 본 연구는 농촌진흥청 고유연구사업(사업번호: PJ01764702)의 지원에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

주제어: 참깨, 땅속배수, 논 전환밭, 지하수위, 토양수분, 수량
주연구자 연락처: dhgong1@korea.kr (055-350-1255)

PA-005

논 전환 밭 참깨 재배시 비닐멀칭이 토양 온도·수분 환경 및 수량에 미치는 영향

Effects of Plastic Film Mulching on Soil Temperature, Moisture Environment, and Yield of Sesame Cultivated in Paddy-Converted Upland Field

공동혁*, 최만수, 류종수, 전현정, 이상훈, 서진희
국립식량과학원 밭작물개발부 스마트생산기술과
Department of Upland Crop Research and Development, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration

논 전환 밭에서 참깨를 재배할 경우 토양수분 및 온도 환경이 밭 재배와 달라 생육 및 수량이 불안정한 것으로 알려져 있으나, 비닐멀칭이 논 참깨의 토양 환경과 수량에 미치는 영향에 대한 정량적 자료는 부족하다. 이에 본 연구는 경남 밀양시 사양토 논 포장에서 참깨(하니올)를 4월 30일, 5월 14일, 5월 26일, 6월 9일에 파종하고 멀칭 유무 처리를 두어 토양온도, 토양수분 및 생육·수량 특성을 비교하였다. 토양온도(지중 10 cm)는 무멀칭 처리구가 멀칭 대비 5월 평균 약 1.0°C 낮았으나 그 차이는 크지 않았으며, 시간대별 변동성은 무멀칭이 멀칭 대비 5월 10 %, 6월 58 %, 7월 79 %, 8월 8 % 높게 나타났다. 반면 토양수분(지중 10·30 cm 평균)은 무멀칭 23-31 %, 멀칭 26-33 %로 멀칭 처리구가 2-3%p 높게 유지되었으며, 토양수분 건조 지속일수(<25 % V/V)는 5월에 무멀칭이 멀칭 대비 35 %, 6월에는 87 % 더 길게 나타나 처리 간 격차가 온도보다 뚜렷하였다. 이러한 토양 환경 차이는 생육 및 수량 형질에도 유의한 영향을 미쳐, 멀칭 처리구는 초장·경태·분지수·주당삭수가 모든 파종시기에서 유의하게 증가하였다($p<0.001$). 삭당 종실수는 멀칭 처리구에서 평균 4.8립 감소하였고 천립중은 처리 간 유의차가 없었으나, 주당삭수 증가 효과가 우세하여 평균 수량은 멀칭 87.1 kg/10a, 무멀칭 58.4 kg/10a로 멀칭 처리구에서 49 % 증수하였다($p<0.001$). 이상의 결과는 두 처리구 간 생육·수량 차이가 평균 토양온도 차이보다는 토양수분 유지 여부에 더 크게 기인했을 가능성을 시사하며, 무멀칭 조건에서도 적절한 수분 관리가 병행된다면 양호한 생육 및 수량 확보가 가능할 것으로 판단된다.

Acknowledgement: 본 연구는 농촌진흥청 고유연구사업(사업번호: PJ01764701)의 지원에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

주제어: 참깨, 비닐멀칭, 논 전환밭, 토양수분, 토양온도, 수량
주연구자 연락처: dhgong1@korea.kr (055-350-1255)

PA-006

토양 건조-재습윤(Drying-Rewetting) 반복에 따른 SWRC 동적 지표 수립 및 바이오차 개량 토양을 통한 적용성 평가

Establishing Dynamic SWRC-Based Indices under Repeated Soil Drying-Rewetting Cycles and Validating Their Applicability through Biochar-Amended Soil

정용희, 신영서, 김은솔, 김유진, 김진현, 서인혜, 유가영*
Yonghui Jung, Youngseo Shin, Eunsol Kim, You Jin Kim, Jinhyun Kim, Inhye Seo, and Gayoung Yoo*
경희대학교
Kyung Hee University

기후변화로 가뭄과 강우의 변동성이 증가하면서, 반복적인 건조와 재습윤 조건에서도 토양의 수분 저장 및 공급 기능을 안정적으로 유지하는 것이 중요해지고 있다. 토양수분보유곡선(soil water retention curve, SWRC)은 토양수분장력에 따른 함수율 변화를 나타내며, 식물이용가능수분량(plant-available water, PAW)과 S-index 등 토양의 수분 보유 특성 및 공극구조를 평가하는 지표를 산정하는 데 널리 이용된다. 그러나 기존 SWRC 기반 평가는 대부분 단일 건조곡선 또는 습윤곡선에 기반하므로, 수분 변화 방향에 따른 경로 의존성과 반복적인 건조-재습윤(drying-rewetting, DRW)에 의해 발생하는 이력현상(hysteresis) 및 토양 물리성의 변화를 충분히 반영하지 못한다. 본 연구에서는 건조 및 재습윤 경로와 DRW 반복에 따른 SWRC 변화를 함께 고려하여 토양의 수분 저장·공급 기능을 동적으로 평가하는 체계를 구축하고자 하였다. 또한 토양수분 보유능을 향상시키는 것으로 알려진 바이오차 처리 토양에 이 평가체계를 적용하여, 반복적인 수분 변동에 따른 토양개량 효과의 지속성과 변화를 구분할 수 있는지 검토하였다. 실험에는 sandy loam 토양을 사용하였으며, 토양을 100 mL 코어에 용적밀도 1.3 g cm^{-3}로 충진하였다. 바이오차 처리구는 임업 부산물을 저온(350-400°C) 및 고온(650-800°C)에서 열분해하여 생산한 바이오차를 각각 토양 건조중량의 2.5% 비율로 혼합하여 조성하였고, 무처리 토양을 대조구로 설정하였다. 모든 코어를 포화한 후 총 3회의 DRW를 적용하였다. 각 DRW는 sandbox에서 포화 및 10 kPa까지 배수하고 40°C에서 건조한 후 다시 포화 상태까지 재습윤하는 과정으로 구성하였다. 각 DRW 회차의 건조 및 재습윤 경로에서 저수분장력 구간의 0과 10 kPa 함수율은 sandbox를 이용하여 동일 코어에서 측정하였다. 고수분장력 구간은 10 kPa까지 배수한 코어에서 채취한 시료를 대상으로 WP4C를 이용하여 단계적인 건조 및 재습윤 과정의 수분장력과 함수율을 측정하였다. 두 구간의 자료를 결합하여 van Genuchten 모델을 통해 처리구별, 경로별 및 DRW 회차별 SWRC를 구축하였다. 적합된 SWRC를 이용하여 10 kPa와 1,500 kPa에서의 함수율 차이로 PAW를 산정하고, 곡선 변곡점의 기울기로 S-index를 계산하였다. 이력현상은 동일한 수분장력에서 나타나는 건조곡선과 습윤곡선 간 함수율 차이를 잔류수분함량에서 포화수분함량까지의 범위에 대해 적분하여 이력면적(hysteresis loop gap)으로 정량화하였다. 이후 PAW, S-index 및 이력면적의 회차별 변화를 비교하여 반복적인 DRW가 무처리 및 바이오차 처리 토양의 수분 저장·공급 기능에 미치는 영향을 평가하였다. 본 연구는 단일 경로 기반 SWRC 기존 평가에서 벗어나, 건조·재습윤 경로 간 차이와 반복적인 DRW에 따른 기능 변화를 함께 반영하는 동적 토양수분 평가체계를 제안한다. 이 체계는 자연 토양의 수분기능 변화뿐 아니라 바이오차와 같은 토양개량제의 효과가 반복적인 수분 변동 조건에서 유지, 강화 또는 감소하는지를 정량적으로 평가하는 데 활용될 수 있다.

주연구자 연락처: gayoo@khu.ac.kr (010-6698-9702)

PA-007

Evaluation of Soil Physical Properties of Greenhouse Late-Maturing Citrus Orchards in Gyeongnam Province, Korea

Mi-Jin Lee*, Jae-Young Heo, Hee-Jeong Je, Young-Han Lee, and Jin Hyang Son
Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services

This study aimed to assess variations in soil physical conditions across different administrative regions and cultivars in greenhouse late-maturing citrus orchards in Gyeongnam Province, Korea. A total of 18 representative greenhouse orchards (n = 18) across late-maturing citrus-producing regions in Gyeongnam Province (Jinju 11, Gimhae 3, Geoje 2, and Hapcheon 2) and cultivars (Redhyang 13 and Cheonhyehyang 5) were investigated. Soil physical parameters including ridge height, plowing depth, bulk density, porosity, liquid phase, sand, silt, and hardness and organic matter content were analyzed at topsoil and subsoil. The results demonstrated significant regional variations in bulk density and porosity, primarily driven by differences in parent materials and regional soil management practices. Cultivar-based comparisons revealed distinct soil liquid phase profiles across orchards growing different cultivars. Correlation analysis identified strong inverse relationships between bulk density and porosity, as well as sand content and silt content. Conversely, a highly significant positive correlation was found between plowing depth and ridge height. Principal component analysis (PCA) successfully categorized the orchards into distinct clusters based on soil physical properties, with the first two principal components (PC1 and PC2) accounting for 73.2% of the total variance. These findings provide baseline scientific data for optimizing soil structure management, improving aeration and drainage, and establishing sustainable soil management practices for greenhouse late-maturing citrus production in Gyeongnam Province.

Keywords: Soil physical property, Late-maturing citrus, Bulk density, Porosity
Correspondence: alwls0350@korea.kr (055-254-1314)

PA-008

토성 분포면적을 고려한 시군단위 밭 토양 총 유효수분량 산정

Estimation of Total Available Soil Water Capacity of Upland at the County Level Considering Soil Texture Distribution Area

조희래[1]*, 허승오[2], 이세인[2], 최정미[1]
Heerae Cho[1]*, Seungoh Hur[2], Seoin Lee[2], and Jungmi Choi[1]
[1]국립농업과학원, [2]국립식량과학원
[1]National Institute of Agricultural Sciences
[2]National Institute of Crop and Food Science

농업·농촌부분 가뭄 종합대책에 따라 밭토양 유효수분율은 농업가뭄의 주요지표로 선정되어('16, 행안부) 시군단위로 밭 가뭄의 예·경보 정보로 제공되고 있다. 토양유효수분율은 총 토양수분함량 중 현재상태의 토양수분함량에 대한 백분율로 총 유효수분함량이 기준값이 된다. 총 유효수분함량은 토성, 용적밀도 등 토양특성에 따라 달라지며, 시군 내 분포하는 토양특성이 다양하기 이에 대한 고려가 필요하다. 본 연구에서는 시군 내 분포하는 밭 토양 중 토성 분포면적을 고려하여 총 유효수분량을 산정하였다. 시군별 토성 분포면적을 구하기 위해 토양도와 팜맵을 이용하여 제주지역을 제외한 전국 165개 시군별 밭 면적, 시군별 밭의 토성별 분포면적을 추출하고, 시군별로 분포면적이 많은 토성을 선정하였다. 토양수분특성곡선을 이용하여 토성별 33kPa, 1,500 kPa에서의 수분함량 및 총 유효수분함량, 토성별 밭 토양의 평균 용적밀도, 작물 근권을 고려한 토심 60cm를 적용하여 토성별 총 유효수분함량을 산정하였다. 시군별 토성 분포면적을 반영한 총 유효수분량을 구하기 위해 앞서 산정한 시군 내 토성 분포면적 비율에 각 토성의 유효수분량을 적용하였다. 기존 토성속을 기준으로 한 총 유효수분량에 비해 시군별 분포면적을 고려한 토성을 적용하였을 때 시군 전반적으로 대체로 총 유효수분량이 높았다. 본 연구결과는 밭 가뭄 예·경보 정보 제공을 위한 기초자료로 지역별 가뭄 대응에 활용가능할 것으로 사료된다.

주연구자 연락처: chohr519@korea.kr (010-9622-5519)

PA-009

논에서 암거배수와 심토파쇄가 쪽파와 배추의 생육 및 수량에 미치는 영향

Effects of Subsurface Drainage and Deep Tillage on Growth and Yield of Scalion and Chinese Cabbage in Paddy

정승탁*, 임태준, 강병은
Seungtak Jeong*, Tae-Jun Lim, and Byeongeun Kang
농촌진흥청 원예특작과학원 원예특작환경과
Horticultural and Herbal Crop Environment Division, NIHHS, RDA, Wanju, Korea

쌀 소비가 감소함에 따라, 정부는 쌀값 안정과 농가 소득 향상의 목적을 위해 벼 재배면적 조정제와 같은 정책을 실시하고 있다. 전략작물 직불제를 통한 보조금 지급에도 불구하고 논에서 콩이나 깨 재배는 소득이 낮아 농가에 부담이 크다. 채소와 같은 비교적 고소득 작물은 논에서 배수가 불량하여 재배가 어렵다. 하지만 논에서 암거배수와 심토파쇄 등으로 배수 개선을 하면 원예작물도 충분히 재배할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 논에서 암거배수와 심토파쇄를 동시에 실시하여 쪽파, 배추의 생육에 미치는 영향을 알아보았다. 암거배수와 심토파쇄는 부안군 계화면에 위치한 논 시험포장에서 2025년8월1일에 실시하였고, 쪽파와 배추는 2025년9월18일에서 11월14일까지 재배하였다. 쪽파의 생육은 초장, 경경, 생체중이 처리구가 유의적으로 증가하였고, 수량도 유의적으로 증가하였다. 배추의 생육은 구고, 구폭, 구중이 대조구에 비해 처리구가 유의성 있게 증가하였고, 수량도 유의성 있게 증가하였다. 두 작물 모두 활착율이 증가하였는데, 이는 심토파쇄로 인해 토양 내부의 구조가 교란되면서 쪽파의 뿌리가 신장할 수 있는 공간이 형성되었고, 유거수가 감소하며, 배수가 개선되면서 습해가 감소하고 뿌리에 산소 공급이 원활해진 결과로 보인다. 이 결과들을 통해 논에서의 암거배수와 심토파쇄는 채소 재배에 효과적인 배수개선 기술인 것으로 보인다.

본 성과물은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ017546)의 지원에 의해 이루어진 것임

주제어: 논, 암거배수, 심토파쇄, 쪽파, 배추
주연구자 연락처: jst0ry@korea.kr (063-238-6354)

PA-010

강원지역 밭 토양의 물리적 특성 및 변동

Physical Properties and Variations of Upland Soils in the Gangwon Region

홍성유*, 허수정, 김희연, 홍수영, 김동민
Seongyu Hong*, Sujeong Heo, Heeyeon Kim, Sooyoung Hong, and Dongmin Kim
강원특별자치도 농업기술원
Gangwon State Agricultural Research and Extension Services, 24203, Korea

토양 물리성은 식물 뿌리의 성장, 수분과 양분의 이동 및 보유력, 공기의 흐름에 관여하며 토양의 화학적, 생물적 특성에 영향을 주어 토양의 질을 평가하는 데 중요한 역할을 한다. 이에 농업 환경 변화에 따른 변동을 파악하고 건전한 농경지 관리를 위해 2007년부터 4년 1주기로 강원 지역의 밭, 과수원, 논, 시설 재배지를 대상으로 토양 물리성을 조사하였다. 본 연구에서는 밭 토양의 조사주기별 토양물리성 및 변동을 조사 분석하였다. 시료 채취는 경운 후 교란이 되어 있는 시기는 피하여 작물 생육 중기에 실시하였으며 토양수분 상태가 과건 또는 과습할 때는 피해 비가 온 경우에는 3-4일 후 실시하였다. 조사 및 분석 항목은 작토심, 경도, 용적밀도, 삼상, 토성 등이었으며 국립농업과학원의 '농경지 토양물리성 조사방법 및 분석법(NAS, 2022)'에 준하였다. 평균 작토심은 2017년, 2021년, 2025년에 각 16.1 cm, 19.3 cm, 21.2 cm로 나타나 2017년 이후 지속적으로 깊어지는 경향을 보였다. 표토의 평균 용적밀도는 2013년에는 1.31 Mg m^{-3}로 조사되었으며 이후 점차 감소하여 1.20-1.22 Mg m^{-3} 범위를 유지하였다. 심토의 용적밀도는 2009년에는 1.57 Mg m^{-3}로 조사되었으나 2013년, 2017년, 2021년, 2025년에 각 1.49 Mg m^{-3}, 1.43 Mg m^{-3}, 1.48 Mg m^{-3}, 1.42 Mg m^{-3}로 조사되어 감소하는 경향을 보였으며 물리성이 개선된 것으로 나타났다. 유기물 함량은 표토의 경우 2009년에는 21.8g kg^{-1}로 조사되었으며 이후 증가하여 2017년 이후에는 30.0 g kg^{-1} 수준을 유지하였으며 심토는 2009년에는 13.0 g kg^{-1}, 2017년에는 23.0 g kg^{-1}, 2025년에는 29.7 g kg^{-1}로 조사되어 증가하는 경향을 보였다. 밭 토양의 물리성 평가기준은 심토의 용적밀도는 사양질 기준 1.6 Mg m^{-3} 미만이며 식양질은 1.5 Mg m^{-3} 미만이다. 이 기준에 따른 미적정 비율을 살펴보면 사양질 토양의 경우 2017년에는 11.4.%, 2021년과 2025년에는 11.1%인 것으로 나타났다.

주연구자 연락처: 20002388@korea.kr (033-248-6094)

PA-011

Long-Term Compost Application Sustains Maize Yield and Improves Soil Quality Despite Lower Apparent N Recovery than Inorganic Fertilizer

hyun Young Hwang*, Sang Min Lee, Yeomyeong Lee, Yeon Ho Kim, and Sung Jun Hong
Regenerative Organic Agriculture Division,, National Institute of Agricultural Sciences

Long-term nutrient management should be assessed not only by crop nitrogen (N) recovery but also by yield stability and soil quality. We compared four nutrient management treatments in a long-term maize system over 10 years (2015-2024): no fertilizer, inorganic fertilizer (NPK), compost, and green manure. Grain yield, total N uptake, apparent N recovery efficiency, and soil chemical and biological properties were measured to evaluate treatment-specific responses over time.

Compost was the only treatment that maintained stable grain yield throughout the study, whereas green manure declined significantly and NPK showed a decreasing trend. Although NPK produced the highest apparent N recovery efficiency and total N uptake, grain yield was not greater than under compost. The higher N uptake under NPK was associated with greater N accumulation in non-harvested plant parts, suggesting lower efficiency of N partitioning to grain. In contrast, compost improved soil organic matter, total N, pH, microbial activity, urease activity, and inorganic N retention over time. These results indicate that apparent N recovery alone is insufficient to evaluate long-term N use performance in maize systems, and that compost is a more agronomically sustainable nutrient management strategy than continuous inorganic fertilization or green manure.

Correspondence: hyunyoung1203@gmail.com (010-9323-6566)

PA-012

생분해 수지 코팅 완효성 비료의 양배추 재배 적용 효과

Effects of Biodegradable Polymer-coated Controlled-release Fertilizer Application on Cabbage Cultivation

오민아*, 이용우, 이서영, 김효정, 고순보
Min Ah Oh*, Yong Woo Lee, Suh Young Lee, Hyo Heong Kim, and Sun Bo Ko
제주특별자치도농업기술원
Jeju Special Self-Governing Province Agricultural Research & Extension Services

기존 완효성 비료는 작물 생육 기간 동안 양분을 안정적으로 공급하여 비료 이용 효율 향상과 양분 손실 저감에 효과적이나, 일부 코팅재의 토양 내 잔류 우려로 환경적 한계가 제기되고 있다. 생분해성 수지를 이용한 코팅 완효성 비료는 토양 미생물에 의해 분해되어 기존 완효성 비료의 환경적 문제를 개선할 수 있는 대안으로 주목받고 있다. 본 연구는 제주지역 노지 양배추 재배 환경에서 생분해성 수지 코팅 완효성 비료의 시용이 비료 사용량 저감, 작물 생육 및 수량, 경제성, 탄소배출 저감에 미치는 영향을 평가하고자 수행하였다. 시험은 2025년 8월부터 2026년 4월까지 제주 애월읍과 한림읍의 양배추 재배 농가 포장에서 수행하였으며, 처리는 표준시비와 생분해성 수지 코팅 완효성 비료 120 kg/10a 처리로 구성하였다. 생육특성, 수량, 비료 투입량, 시비 노동력 및 경제성을 조사하였고, 처리 간 차이는 독립표본 T-검정(T-test)을 통해 검정하였다. 양배추 표준시비 대비 생분해성 수지 코팅 완효성 비료 처리에서 질소(N), 인산(P2O5), 칼리(K2O) 투입량은 각각 30%, 6%, 29% 감소하였다. 두 시험지 모두 처리 간 생육 특성과 구중은 유의적인 차이가 없었다($p > 0.05$). 구중은 애월읍에서 완효성 비료 처리구와 표준시비 처리구가 각각 2.14 kg과 2.00 kg이었으며, 한림읍에서는 각각 3.06 kg과 2.96 kg으로 나타났다. 또한 완효성 비료 처리는 추비 2회를 생략할 수 있어 시비 노동비를 66.6% 절감하였다. 비료 비용은 증가하였으나 시비 노동비 절감 효과로 인해 총 생산비는 표준시비 처리구에서 10a당 347,140원이었으나, 생분해성 수지 코팅 완효성 비료 처리구에서는 279,770원으로 감소하여 19.4%의 절감 효과를 나타냈다. 질소비료 투입량 감소를 기준으로 산정한 탄소배출 저감 효과는 30.1%로 평가되었다. 생분해성 수지 코팅 완효성 비료는 노지 양배추 재배에서 비료 투입량을 줄이면서도 생육과 수량을 유지하였으며, 시비 노동력 절감, 생산비 감소 및 탄소배출 저감 효과를 나타냈다. 또한 생분해성 코팅재 적용을 통해 기존 완효성 비료의 환경적 한계를 개선할 수 있어 지속가능한 양분관리 기술로서 활용 가능성이 높을 것으로 판단된다.

주연구자 연락처: paie5235@gmail.com (064-760-7353)

PA-013

제주 서부지역 양파 재배에서 토양검정 기반 적정시비의 현장적용

Field Application of Soil Test-Based Appropriate Fertilization in Onion Cultivation in the Western Region of Jeju

오민아*, 이용우, 고정연, 이서영, 김효정, 고순보
Min Ah Oh*, Yong Woo Lee, Jeong Yeon Ko, Suh Young Lee, Hyo Jeong Kim, and Sun Bo Kim
제주특별자치도농업기술원
Jeju Special Self-Governing Province Agricultural Research & Extension Services

제주 서부지역은 월동채소의 집약적 재배와 관행적인 화학비료 사용으로 인해 지하수 질산성질소 문제가 제기되고 있다. 2024년 제주특별자치도농업기술원의 조사 결과, 양파 재배지의 화학비료 사용량은 표준시비 대비 2.6배 높았으며, 보건환경연구원 조사(2023)에서는 지하수 질산성질소 오염원 분석 결과, 질소비료 유래 비율이 57.9%로 보고되었다. 본 연구는 양파(Allium cepa L.) 재배에서 토양검정 시비처방의 현장 적용을 평가하고, 지역 맞춤형 적정 양분관리 기술 확립에 기여하고자 수행하였다. 시험은 2025년 10월부터 2026년 4월까지 제주특별자치도 서귀포시 대정읍 소재 양파 재배농가 5개소에서 수행하였다. 처리구는 농가 관행시비(Conventional Fertilization)와 토양검정시비(Soil Test-based Fertilization)로 구성하였다. 생육 특성, 수량, 토양 화학성 및 비료 투입량을 조사하였으며, 처리 간 차이는 독립표본 T-검정(T-test)을 통해 검정하였다. 재배 전 토양검정 결과, 2개 농가의 유효인산 함량은 약 750 mg kg^{-1}로 적정범위(350~450 mg kg^{-1})를 초과하였으며, 나머지 3개 농가는 적정범위 내에 있었다. 또한 모든 농가에서 교환성 칼륨 함량은 적정범위를 초과하여 높은 수준이었음에도 관행적인 시비관리가 이루어지고 있었다. 평균 질소-인산-칼리(N-P2O5-K2O) 시비량은 농가 관행시비에서 37.5-20.6-15.3 kg $10a^{-1}$, 토양검정시비에서 28.8-11.8-13.6 kg $10a^{-1}$ 로 나타났다. 토양검정시비 적용 시 농가 관행시비 대비 질소 23.1%, 인산 42.8%, 칼리 10.8%의 투입량이 감소하였다. 농가 관행시비와 토양검정시비 처리 간 초장(81.9 및 82.2 cm), 엽초경(22.9 및 23.1 mm)은 유의적인 차이가 없었으며($p > 0.05$), 상품수량(5,834 및 5,855 kg $10a^{-1}$)과 상품비율(83.4 및 84.5%)에서도 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 토양검정시비는 양파의 생육과 생산성을 유지하면서 불필요한 양분 투입을 줄일 수 있었으며, 특히 인산과 질소 투입량 감소 효과가 크게 나타났다. 따라서 제주 서부지역 양파 재배에서 토양검정 시비처방은 과잉 비료 투입을 줄이고 지하수 질산성질소 오염 예방을 위한 지속가능한 양분관리 기술로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

주연구자 연락처: paie5235@gmail.com (064-760-7353)

PA-014

Aggregate Size Dependent Responses of Humic Aicd Formation and Compostion to Soil Amendments

Jong-Hoon Lim[1], Na-Hyun Kwon[2], and Jeong-Gu Lee[1,2,3]*
[1]School of Applied Life Science, College of Agriculture and Life Sciences, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea
[2]Department of Applied Bioscienes, College of Agriculture and Life Sciences, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea
[3]Institute of Basic Science Convergence, yungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea

Soil humic substances (HS) contribute to soil fertility and crop performance by improving aggregate structure, nutrient availability, metal detoxification, and tolerance to abiotic stress. Lime and silicate fertilizers alter soil pH and mineral-organic interactions, both of which are closely related to the composition and stability of soil organic matter. However, their effects on humic acid (HA) characteristics across soil aggregate size fractions remain unclear. In this study, HA extracted from separated aggregate fractions was compared among four treatments NPK, CaO, 0.5 SiO2, and SiO2 following incubation. Relative to the pre-incubation soil, the proportion of macroaggregates decreased, whereas those of the finer fractions increased across all treatments, indicating aggregate breakdown irrespective of amendment type. Microaggregates consistently exhibited the highest extractable HA yield. Full-dose silicate application increased the total carbon concentration of the extracted HA without altering its functional composition, suggesting that the increase in HA-associated carbon was not accompanied by substantial structural modification. The extracted HA contained lower concentrations of Si, Fe, and Al under the silicate treatments than under the NPK and CaO treatments. Within the silicate treatments, these elements were most abundant in the microaggregate-associated HA, consistent with the elemental distribution observed by SEM-EDS. Overall, silicate application increased the carbon concentration of extracted HA without markedly altering its structure, possibly reflecting weakened associations between HA and mineral phases. HA-mineral associations appeared to be most evident in the microaggregate fraction, indicating that the effects of silicate application varied among aggregate size fractions.

Keywords: Humic substance (HS), Aggregation, Lime and Silicate fertilzer
Correspondence: jeonggu@knu.ac.kr (053-950-8532)

PA-015

노지 밭작물 생강의 생육단계별 물 필요량 산정 기준 설정

Determination of Growth-Stage-Specific Crop Coefficients and Water Requirements for Open-Field Ginger (Zingiber officinale Roscoe) Using Mini-Lysimeters in Korea

서병환*, 손정우, 옥정훈
Byunghwan Seo*, Jeong-woo Son, and Jung-hun Ok
국립농업과학원 토양물환경과
Division of Soil and Water Environment, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju, 55365

최근 기후변화에 따른 이상기온 및 집중호우 빈도 증가로 농업용수의 효율적 관리가 중요한 과제로 대두되고 있다. 농식품부는 2022년 채소류 주산지 지정기준 고시를 개정하여 생강을 포함한 13개 품목을 지정하였으나, 국내 노지 생강의 물 필요량 기준은 아직 마련되지 않은 실정이다. 본 연구는 전북 완주군 봉동읍 노지 시험재배지에서 2024~2025년 반복 시험을 통해 생강의 생육단계별 물 필요량 산정 기준을 설정하고자 수행하였다. 생강(Zingiber officinale Roscoe)의 생육단계는 초기(4월 하순~6월 중순), 발육기(6월 중순~8월 중순), 중기(8월 중순~9월 중순), 후기(9월 중순~10월 하순)의 4단계로 구분하였다. 증발산량 측정을 위해 내경 60 cm, 높이 30 cm의 원통형 소형 라이시미터 3기를 설치하고 10분 간격으로 무게 변화를 자동 수집하였다. 기준증발산량(ETo)은 FAO Penman-Monteith 방법으로 산정하고, 실제 작물증발산량(ETc)은 라이시미터 중량 변화로 산정하였으며, 작물계수(Kc)는 ETc/ETo 비율로 도출하였다. 2024~2025년 재배기간 누적강수량은 각각 880.3, 765.2 mm였으며, 장마기에 집중되었다. 생육단계별 작물계수(Kc)는 2024년 초기 0.27, 중기 1.02, 후기 0.84, 2025년 초기 0.30, 중기 0.99, 후기 0.67로 두 연도 간 유사한 결과를 보였다. 재배기간 총 물 필요량은 2024년 389.7 mm, 2025년 395.1 mm로 나타났다. 반복 시험(2024~2026년)을 통해 연차별 결과를 비교·검증하여 최종 기준값을 도출할 예정이며, 산정 결과는 농촌진흥청 밭작물 물 사용 처방 프로그램에 활용될 것이다.

주연구자 연락처: sbhsbhlove@naver.com (063-238-2456)

PA-016

Evaluation of Nutrient Leaching and Nutrient Balance in Garlic (*Allium sativum* L.) Cultivation under Different Soil Textures and Mulching Treatments Using Weighing Lysimeters

Danbi Lee, DongHyeon Kim, JeongWoo Son, and JungHun Ok*
Division of soil and Water Environment, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration

Garlic (Allium sativum L.) is a major winter vegetable crop in Korea with a growing period of approximately eight months, and nutrient dynamics in the soil may vary considerably depending on soil texture and surface mulching conditions. Quantitative assessment of nutrient behavior under different cropping conditions is essential for reducing chemical fertilizer inputs and establishing appropriate fertilization guidelines. In this study, Undisturbed weighing lysimeters (1 m^2, 1.5 m deep) were used to evaluate nutrient leaching and the nutrient balance of garlic under soil texture (silty clay loam, SiCL; sandy loam, SL) × mulching (no mulch; black polyethylene film) treatments. Standard fertilizer (N-P-K: 25.0-7.7-12.8 kg/10a) was applied in split doses; leachate was collected at six growth stages, and crop growth, plant nutrients, and soil chemical properties were assessed at harvest. The nutrient balance was calculated as inputs (rainfall + fertilizer) minus outputs (crop uptake + subsurface leaching + surface runoff + volatilization). Garlic growth was significantly affected by both soil texture and mulching ($p<0.001$); only plant height showed a soil × mulch interaction ($p=0.0004$). Subsurface drainage was concentrated in the rooting stage and was greater under film mulch than bare conditions. The nutrient balance was negative for N, P, and K in all treatments, with the largest deficit under SL + film mulch. Soil after harvest total nitrogen decreased while available phosphate increased, consistent with the nutrient balance results. Both soil texture and mulching should be considered when establishing fertilization rates.

Correspondence: okjh@korea.kr (063-238-3822)

PA-017

Long-Term Changes in Soil Physical Properties by Land-Use Type and Soil Layer in Agricultural Soils of Gyeongbuk, Korea

Yeongyu Jeong*, Myeonghwan Jang, Hyerin Jeong, and Yeongjin Seo
Division of Agricultural Food and Environment Research, Gyeongsangbuk-do Agricultural Research & Extension Services, Deagu 41404

Soil physical properties are important indicators of soil health because they affect root development and the movement of water and air within the soil. This study was conducted to evaluate long-term changes in soil physical properties of paddy fields, upland fields, orchards, and greenhouse soils in Gyeongbuk Province, Korea, using data from the Agricultural Environment Monitoring Program. The survey periods differed among land-use types: 2011-2023 for paddy fields, 2009-2025 for upland fields, 2010-2022 for orchards, and 2016-2024 for greenhouse soils. Plowing depth, bulk density, total porosity, air-filled porosity, and penetration hardness were investigated. During the survey period, mean plowing depth increased from 15.1 to 19.8 cm in paddy fields and from 12.1 to 17.4 cm in upland fields, whereas orchards showed considerable variation among survey years. Bulk density showed different temporal patterns depending on land-use type and soil layer. In greenhouse soils, surface-soil bulk density increased from 1.11 to 1.22 Mg m^{-3}, whereas subsoil bulk density decreased from 1.44 to 1.28 Mg m^{-3}. Air-filled porosity in the greenhouse subsoil increased from 15.7% to 24.8%. Penetration hardness significantly decreased from 22.2 to 18.7 mm in paddy fields, from 19.0 to 17.1 mm in orchards, and from 19.1 to 13.2 mm in greenhouse soils between the initial and final survey years, whereas no significant difference was observed in upland fields. These results indicate that long-term changes in soil physical properties differed not only among land-use types but also between soil layers, suggesting that long-term monitoring and soil physical management should consider both land-use type and soil layer.

Correspondence: yglosa9897@korea.kr (010-8258-9897)

PA-018

Estimation of the Water Balance during Garlic (*Allium sativum* L.) Cultivation Using Upland-Soil Weighable Lysimeters

Dong-Hyun Kim, Jung-Hun Ok*, Ean-Bi Lee, and Jeong-Woo Son
Division of Soil and Water Environment, National Institute of Agricultural Sciences

Garlic is widely cultivated in both upland and paddy fields, where differences in soil water-holding capacity and drainage may affect crop water use. Because garlic is grown over a long period that includes overwintering, its water balance can vary with precipitation, soil texture, drainage, and mulching. This study quantified the water balance during garlic (*Allium sativum* L.) cultivation using weighable lysimeters and compared soil texture and mulching effects. The experiment was conducted over two cropping seasons, from October 2024 to June 2026, using weighalbe lysimeters installed at the National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea. The soils were a silty clay loam with relatively high clay content and a sandy loam with relatively low clay content. Non-mulching and mulching treatments were established for each soil texture. Lysimeter weight was continuously monitored to estimate water balance. Precipitation and irrigation were treated as water inputs, whereas evapotranspiration and subsurface drainage were treated as water outputs. No surface runoff occurred during cultivation. The mean total water input per cropping season was 384.0 mm. Cumulative evapotranspiration was 419.5 and 390.8 mm in the non-mulching and mulching treatments, respectively, for the silty clay loam, and 523.3 and 465.6 mm for the sandy loam. Mulching reduced evapotranspiration by 6.8% in the silty clay loam and 11.0% in the sandy loam. Cumulative subsurface drainage was 35.2 and 84.4 mm in the non-mulching and mulching treatments, respectively, for the silty clay loam, and 45.6 and 80.8 mm for the sandy loam. The greater drainage under mulching was likely associated with increased downward movement of water retained through reduced surface evaporation. The water balance was -76.0 and -91.3 mm in the non-mulching and mulching treatments, respectively, for the silty clay loam, and -179.7 and -162.2 mm for the sandy loam. The larger negative balance in the sandy loam indicates greater depletion of soil water storage during garlic cultivation. These results show that evapotranspiration, drainage, and water balance were affected by soil texture and mulching. Mulching reduced evapotranspiration in both soils, but its effects on drainage and overall water balance differed by soil texture. Therefore, irrigation management for garlic should consider soil-specific water retention and drainage together with mulching effects.

Correspondence: okjh@korea.kr (063-238-2433)

PA-019

Characteristics of Saturated Hydraulic Conductivity by Soil Horizons in the Saemangeum and Yeongsangang Reclaimed Land

Se-In Lee, Kwangseung Lee*, Haksung Lee, Seung-hyun Ahn, Hyeounsuk Cho, Seoyoung Jeong, Gunho Jung, and Banghun Kang
Reclaimed Land Agriculture Research Center, Department of Crop Sciences, NICS, RDA, Gimje, 576853, Korea

Reclaimed agricultural soils commonly have elevated salinity, high groundwater tables, weak structure, and poorly developed pore networks, which may restrict water movement and salt leaching. However, Korean soil surveys of reclaimed lands have focused mainly on chemical properties, providing limited information on physical and hydraulic properties and drainage conditions. This study assessed water movement and drainage in the Saemangeum and Yeongsangang reclaimed lands by comparing saturated hydraulic conductivity (K_s), soil properties, and groundwater depth among major soil series and horizons. Undisturbed core samples were collected from the Munpo, Gwanghwal, and Mangyeong series in the Saemangeum reclaimed land and from the Gwangpo, Pori, Dapyeong, Poseung, and Geumjin series in the Yeongsangang reclaimed land. After saturation, Ks was measured with a KSAT instrument (METER Group) using the falling-head method and corrected to 10 °C for temperature-dependent water viscosity. Electrical conductivity (EC), organic matter content, soil texture, bulk density, and groundwater depth were also examined. Across both areas, EC ranged from 0.1 to 20.2 dS m^{-1}, and organic matter content ranged from 0.7 to 39.7 g kg^{-1}; both were generally higher in Yeongsangang than in Saemangeum. The Munpo series in Saemangeum Districts 1 and 2 consisted mainly of sand and loamy sand. In District 1, K_s was 1.64 cm h^{-1} in the topsoil and 1.73 and 3.55 cm h^{-1} in the subsoil layers. The corresponding values in District 2 were 6.27, 4.57, and 5.80 cm h^{-1}, indicating higher K_s than in District 1. Groundwater depth was 59 cm in District 1 and 49 cm in District 2, indicating a relatively higher groundwater table in District 2. The Gwanghwal series in District 4 had a sandy loam texture, and its topsoil K_s of 2.34 cm h^{-1} exceeded those of the subsoil layers. The Mangyeong series in District 5 had a silt loam texture and higher K_s in the subsoil than in the topsoil. Groundwater depth in the Yeongsangang reclaimed land ranged from 25 to 38 cm, indicating generally higher groundwater than those in the Saemangeum reclaimed land. K_s ranged from 0.04 to 0.36 cm h^{-1} in Pori and from 0.09 to 0.19 cm h^{-1} in Poseung, both with silty clay loam; groundwater depths were 37.5 and 37.7 cm, respectively. In both series, EC tended to increase with depth, suggesting that low vertical water-transmission capacity and high groundwater tables may restrict drainage and salt leaching. Gwangpo had the highest groundwater table (25 cm depth) and a relatively low topsoil K_s of 0.51 cm h^{-1}, indicating potentially unfavorable field drainage. These findings complement chemistry-focused soil surveys with hydraulic data and provide a basis for evaluating drainage, salt leaching, and the applicability of pedotransfer functions to reclaimed agricultural soils.

Acknowledgements: This work was supported by the Rural Development Administration (RDA) research program (Project No. RS-2023-00224283), Republic of Korea.

Keywords: Reclaimed land, Soil series, Salinity stress, Waterlogging stress, Saturated hydraulic conductivity, Hydrologic soil group

Correspondence: kslee23@korea.kr (063-540-8517)

PA-020

새만금간척지에서 풋거름작물 재배방법이 풋거름작물의 양분생산량에 미치는 효과

Effect of Green Manure Crop Cultivation Methods on the Nutrient Yield of Green Manure Crops in the Saemangeum Reclaimed Tidal Land

조현숙[1]*, 신영태[2], 이학성[1], 이광승[1]
Hyeoun Suk Cho[1]*, Young Tae Shin[2], Hak Sung Lee[1], and Kwang Seung Lee[1]
[1]농촌진흥청 국립식량과학원 간척지농업연구센터, [2]농촌진흥청 국립식량과학원 고령지농업연구센터
[1]Reclaimed Land Agriculture Research Team, NICS, RDA, Wanju 55365, Korea
[2]Highland Agriculture Research Institute, National Institute of Crop and food Science, Rural Development Administration, Gangwon-do 25342, Korea

새만금간척지는 매립으로 만든 인위적인 농경지로 토양 내 염 농도는 낮으나 토양 지력이 일반농경지보다 매우 낮을 뿐만아니라 양분 간에 불균형도 매우 심한 편이다. 특히, 작물의 안정적인 생산에 영향이 큰 유기물함량, 유효인산함량 등이 밭작물 적정기준 대비 약 1/10 수준으로 매우 열악하며 치환성 칼리함량은 적정수준에 달하고 있다. 이런 양분 불균일을 해소하고 토양의 지력을 높이기 위한 다양한 방법으로 풋거름작물을 이용한 작부체계를 선택하였다. 풋거름작물과의 작부체계는 비경작기인 동계에 풋거름작물을 재배하여 토양에 환원함으로써 유기물 공급과 동시에 풋거름작물이 가지고 있는 양분을 다음 작물에 공급하는 효과가 있다.

본 연구는 새만금 신규 간척지에서 안정적인 작물 생산을 위한 풋거름작물의 재배방법에 따른 생육, 건물수량 및 양분 생산성을 평가하고자 호밀 단파(R100), 헤어리베치 단파(H100), 그리고 호밀과 헤어리베치를 50:50으로 혼파한 처리(R50H50)하는 재배방법을 달리하여 재배하였다. 풋거름작물의 초장, 건물수량 및 식물체 양분함량(N, P_2O_5, K_2O)을 조사하여 양분 환원량을 산정하였다.

풋거름 작물 재배 후 토양의 무기성분 함량은 치환성 마그네슘을 제외한 모든 항목에서 시험 전보다 유의적으로 증가되었으며 파종방법에 따른 차이는 호밀이 재배된 호밀 단파, 호밀+헤어리베치 혼파구에서 증가되었다. 풋거름작물의 초장은 호밀 단파는 168 cm, 헤어리베치 단파는 88 cm로 호밀이 헤어리베치보다 약 2배 정도 더 길었으며, 호밀+헤어리베치 혼파구의 호밀은 175 cm, 헤어리베치는 94 cm로 단파보다 혼파구의 초장이 더 길었다. 10a당 건물 수량은 호밀+헤어리베치 혼파는 502 kg이 생산되어 호밀 단파 (446 kg)나 헤어리베치 단파 (193 kg) 보다 약 113~260 %가 증수되었다. 풋거름 작물 식물체의 양분함량은 질소는 0.93~2.34 %, 인산은 0.72~1.03 %, 칼리는 1.24~3.84 % 였으며 이를 통해 토양에 환원 가능한 10a 당 양분 생산량은 질소는 4.1~6.0 kg, 인산은 1.6~5.2 kg, 칼리는 5.5~12.1 kg 이었다.

이상의 결과로 볼 때 새만금간척지에서 풋거름 작물을 이용할 때 호밀+헤어리베치를 혼파하여 재배하면 토양 유기물과 양분공급 면에서 유리할 것으로 판단되었다.

사사: 본 연구는 농촌진흥청 고유연구사업(ATIS 과제번호: PJ017272)의 지원으로 수행된 결과입니다.

주제어: 헤어리베치, 호밀, 양분함량, 수량, 생육
주연구자 연락처: chohs@korea.kr (063-540-8511)

PA-021

충남지역 과수원 토양 물리성 현황

Assessment of Soil Physical Properties in Orchard Soils of Chungnam Province

이정수[1]*, 이진일[1], 윤여욱[1], 김선중[1], 이정[1], 조희래[2]
Jeong Su Lee[1]*, Jin-Il Lee[1], Yeo-Uk Yun[1], Seon-Joong Kim[1], Jeong Lee[1], and Hee-Rae Cho[2]
[1]충청남도농업기술원, [2]국립농업과학원
[1]Chungcheongnam-do Agricultural Research and Extension Service, Yesan, 32418, Korea
[2]National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Republic of Korea

과수는 뿌리가 토양의 넓고 깊은 범위에 분포하는 다년생 작물로, 토양의 치밀도와 공극구조는 뿌리 신장뿐만 아니라 수분과 공기의 이동에 영향을 미치는 중요한 재배환경 요인이다. 과수원은 조성 이후 토양의 전면적인 경운이 어렵고 농기계가 일정한 작업로를 반복적으로 통행하기 때문에 표토에 비해 심토가 치밀해질 가능성이 있다. 이러한 토양의 물리적 제약은 뿌리 발달과 토양 내 물·공기의 이동을 제한할 수 있어 표토와 심토의 물리적 특성을 파악하고 이에 적합한 토양관리 방안을 마련할 필요가 있다.

본 연구는 2026년 충남지역 과수원 30지점을 대상으로 작토심, 토양경도, 용적밀도, 토양 삼상, 공극률 및 중량수분함량을 조사하였다. 조사지점의 토성은 양토가 14지점(46.7%)으로 가장 많았으며, 사양토 11지점(36.7%), 미사질양토 4지점(13.3%), 식양토 1지점(3.3%) 순으로 나타나 양토와 사양토가 전체의 83.4%를 차지하였다. 평균 작토심은 23.4 cm였으며, 심토의 토양경도는 2,919 kPa로 나타났다. 심토의 용적밀도는 1.51 Mg m^{-3}로 '22년 전국 과수원 용적밀도 평균(1.40 Mg m^{-3}, 제주 제외)에 비해 다소 높았다. 공극률과 토양 삼상 및 중량수분함량 조사 결과에서도 일부 과수원에서 토양이 비교적 치밀한 상태를 보이는 것으로 나타났다. 특히 심토의 높은 경도와 상대적으로 높은 용적밀도는 과수 뿌리의 신장과 토양 통기성을 제한할 수 있는 요인으로 판단된다. 따라서 충남지역 과수원의 안정적인 뿌리 생육환경 유지를 위해 토양 물리성에 대한 지속적인 관리가 필요하며, 토양다짐이 우려되는 과수원에서는 심토파쇄 등 물리성 개선 기술의 적용이 필요할 것으로 판단되었다.

구분	작토심 (cm)	관입식 경도 (kPa)	용적밀도 (Mg m^{-3})	삼상(%)			유기물 함량 (g kg^{-1})
				고상	액상	기상	
표토	6.7	0.44	20	0.96	8.2	2.4	647
심토	7.6	1.19	47	1.90	13.9	4.2	1576

주연구자 연락처: integer9@korea.kr (041-635-6104)

PA-022

Effects of Vertical Drainage as a Complementary Component of Subsurface Drainage on Soil Water properties and Crop Productivity

Hyen Chung Chun*, Seong Min Moon, DongHyeok Gong, Jinhee Seo, Mansoo Choi, and Sanghoon Lee
Smart Production Technology Research Division, NICS, RDA, Miryang 50424, Korea

Purposes: Paddy fields converted to upland crop cultivation frequently suffer from waterlogging damage due to poor soil drainage and increasingly frequent heavy rainfall, reducing crop yield and quality. No-till (excavation-free) subsurface drainage has been developed as a low-cost alternative to conventional trenched drainage, but relying solely on horizontal buried drain lines limits how quickly surface water can be removed during intense rainfall. This study aimed to evaluate whether adding a vertical drainage component-supplementary pipes inserted from the soil surface down to the horizontal drain line-to an existing subsurface drainage system improves the soil water properties and crop productivity.

Materials and Methods: The combined subsurface-vertical drainage system was tested in 2025 at two sites: a paddy field cultivated with sesame in Changwon and a mature apple orchard on sloped terrain in Miryang. Horizontal drain lines were installed with an excavator-mounted no-till drainage machine at 4 m spacing and 80 cm depth using wrapped perforated pipe (Ø50 mm), and vertical drains packed with rice husk were inserted at 4 m intervals down to the horizontal line at Changwon; a groundwater control unit regulated the water table at 30, 45, and 80 cm through a collection well. Soil moisture and groundwater level were monitored (May 20-Aug 5) from a control and drained treated field. An apple orchard at Miryang-the first known application of subsurface drainage to a mature orchard-the drainage installer was scaled down to avoid root damage, stones were removed with a ripper before pipe installation given the rocky, sloped ground, and vertical drain pipes were inserted from the soil surface to rapidly intercept the larger, faster surface runoff typical of sloped terrain. Soil moisture was monitored (May 30-Nov 7) against an untreated control orchard.

Results: The treated plot showed lower average soil moisture (26.3% vs. 40.5% in the control) and a deeper average groundwater table (-68 cm vs. -32 cm) during the growing season at Changwon site. Sesame stem length, thousand-seed weight, and yield increased by 20%, 22%, and 66.3%, respectively, compared to control. Average soil moisture was reduced by 26.7% relative to the control from apple orchard. These results indicate that adding a vertical drainage component to no-till subsurface drainage enhances surface water removal and lowers excess soil moisture beyond what horizontal drainage alone achieves, with measurable benefits for crop growth and yield in both paddy-converted upland fields and sloped orchards.

Conclusion: Adding a vertical drainage component to no-till subsurface drainage enhanced surface water removal and lowered excess soil moisture beyond what horizontal drainage alone achieved, with measurable benefits for crop growth and yield in both paddy-converted upland fields and sloped orchards. Further field studies of the combined subsurface-vertical drainage system on other crops are scheduled to test its applicability under various topographic conditions.

Keywords: subsurface drainage, vertical drainage, groundwater level control, soil moisture, sloped orchard, paddy-converted upland field

Correspondence: hyen2010@korea.kr (055-350-1262)

PA-023

Classification of Phosphorus Deficiency and Estimation of Phosphorus Concentration in Rice Using RGB Color Indices

박수연[1], 이정주[1], 성좌경[1]*, 윤지혁[1], 김민지[1], 이재준[2], 박인서[2]
[1]Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea
[2]ABC Circle Co., Ltd. Jincheon 27820, Korea

Purposes: This study evaluated the applicability of RGB color indices for the non-destructive classification of phosphorus (P) deficiency and the estimation of shoot P concentration in rice (Oryza sativa L.).

Methods: Three rice cultivars ('Jopyeong', 'Samgwang', and 'Alchanmi') were grown hydroponically under normal P and P-deficient conditions. Plant growth characteristics and shoot P concentration were measured 14 days after treatment. RGB images were acquired under controlled conditions, and R, G, and B values were extracted to calculate Excess Green (ExG), G/R, G/B, and the Visible Atmospherically Resistant Index (VARI). A Random Forest model was used to classify P deficiency, while simple and stepwise multiple regression analyses were performed to evaluate the potential of RGB color indices for estimating shoot P concentration.

Results: Shoot P concentration decreased significantly under P-deficient conditions in all three cultivars, whereas plant height and tiller number showed cultivar-dependent responses. The Random Forest model achieved an overall classification accuracy of 95.73%, with an out-of-bag error of 4.27%. G/B was identified as the most important variable, followed by VARI, G, and ExG. Simple regression models based on the combined dataset showed low predictive performance, with VARI exhibiting the highest but nonsignificant explanatory power (adjusted R^2 = 0.0145, P = 0.2727). Stepwise multiple regression improved model performance (adjusted R^2 = 0.2925) but remained insufficient for accurate quantitative estimation. In contrast, cultivar-specific analyses revealed significant relationships between G/B and shoot P concentration in 'Jopyeong' (adjusted R^2 = 0.907, P = 0.0021), 'Samgwang' (adjusted R^2 = 0.833, P = 0.0196), and 'Alchanmi' (adjusted R^2 = 0.888, P = 0.0031), although the direction of the relationship differed among cultivars.

Conclusions: RGB color indices, particularly G/B, can effectively distinguish P-deficient rice plants from plants supplied with sufficient P. However, the quantitative estimation of shoot P concentration requires cultivar-specific models because RGB responses to P deficiency vary among cultivars. These findings demonstrate the potential of RGB imaging as an accessible and non-destructive tool for diagnosing P deficiency in rice.

This research was supported by the Regional Innovation System & Education (RISE) program (2026-RISE-11-014-01) through the (Chungbuk Regional Innovation System & Education Center), funded by the Ministry of Education (MOE) and the (Chungcheongbuk-do), Republic of Korea.

Keywords: Rice, Phosphorus, Deficiency, RGB, Regression model
Correspondence: jksung73@chungbuk.ac.kr (010-4017-3789)

PA-024

대기질소 비료화 기술의 소규모 실증: 옥수수 노지 적용 사례

Small-Scale Air-to-Fertilizer Technology: A Case Study on Field-Grown Maize

송종석*, 양건우, 홍용철
Jong-Seok Song*, Geon Woo Yang, and Yong Chul Hong
한국핵융합에너지연구원 플라즈마기술연구소
Institute of Plasma Technology, Korea Institute of Fusion Energy

본 연구는 '한반도 과학기술협력사업'과 '산학연 Collabo R&D사업'의 일환으로 수행되었으며, 북한 농촌 지역과 지리·기후적 환경이 유사한 연천군에서 대기질소 비료화 장비의 상용화 및 현장 적용 타당성을 검토하였다. 본 장비는 플라즈마 반응을 통해 공기 중 질소(N2)와 산소(O2)를 결합하여 질산태 비료를 생성하는 기술로, 직접적인 탄소배출이 없을 뿐만 아니라 간헐적인 재생에너지 전력 환경에서도 운용이 가능하다는 강점을 지닌다. 현장에서 일일 100L 규모(퍼센트 농도 단위)로 생산된 질산태 비료 수용액을 희석 시용한 후 옥수수의 생육 및 수량성을 평가한 결과, 기존 시판비료와 동등한 수준의 생육 증진 효과와 안정적인 수확량을 확인하였다. 아울러 태양광 전력을 연계하여 장비를 가동할 경우 일조 조건을 고려할 때 4월에서 6월 사이에 운용하는 것이 가장 효율적일 것으로 판단되었다. 향후 실효성 확보를 위해 톤 단위의 비료 생산이 가능한 장비 고도화 및 대규모 실증 연구가 뒤따라야 할 것이다. 본 연구는 2025년도 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원(RS-2025-16292969)과 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원(RS-2025-02314924)을 받아 수행된 연구이다.

주연구자 연락처: jongseoksong@kfe.re.kr (063-440-4229)

PA-025

Classification of Nitrogen Deficiency and Estimation of Plant Nitrogen Concentration in Rice Using RGB Color Indices

Jiyun Jung[1], Seon-A Lee[1], Kangwoo Lee[1]*, Yuna Chang[1], Sunyoung Lee[1], Jae-Jun Lee[2], Inseo Park[2], and Jwakyung Sung[1]
[1]Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea
[2]ABC Circle Co., Ltd. Jincheon 27820, Korea

Purposes: This study evaluated the applicability of RGB color indices for the non-destructive classification of nitrogen (N) deficiency and the estimation of plant nitrogen concentration in rice (Oryza sativa L.).

Methods: Three rice cultivars (‘Samgwang’, ‘Alchanmi’, and ‘Jinhan’) were grown hydroponically under control and nitrogen-deficient conditions. RGB images were acquired using a smartphone under controlled conditions, and R, G, B values were extracted to calculate Excess Green (ExG), G/R, G/B, and the Visible Atmospherically Resistant Index (VARI). Independent t-tests, Random Forest classification with leave-one-out cross-validation (LOOCV), and simple and multiple regression analyses were performed to evaluate the potential of RGB color indices for nitrogen deficiency diagnosis and nitrogen concentration estimation.

Results: Plant nitrogen concentration decreased significantly under nitrogen-deficient conditions ($P = 0.022$), whereas RGB values and color indices showed no significant differences between treatments. The Random Forest model showed limited classification performance, with an accuracy of 0.333. Simple regression models showed low explanatory power ($R^2 = 0.041$-0.197), and although the multiple regression model showed a high R^2 (0.988), it was not statistically significant ($P = 0.164$).

Conclusions: The RGB color indices evaluated in this study were insufficient for reliable classification of nitrogen deficiency and estimation of plant nitrogen concentration in rice. Improving sample size, standardizing image acquisition conditions, and developing cultivar-specific models are expected to enhance the accuracy of RGB-based nitrogen diagnosis. These findings provide baseline information for the development of smartphone-based, non-destructive nitrogen diagnostic techniques in rice.

This research was supported by the Regional Innovation System & Education (RISE) program (2026-RISE-11-014-01) through the (Chungbuk Regional Innovation System & Education Center), funded by the Ministry of Education (MOE) and the (Chungcheongbuk-do), Republic of Korea.

Keywords: Rice, Nitrogen, Deficiency, RGB, Regression model
Correspondence: ksung73@chungbuk.ac.kr (043-261-2512)

PA-026

Soil Fertility Assessment and Nutrient Management Strategies for Upland Soils in Gangwon State

Sooyoung Hong[1]*, Dongmin Kim[1], Seongyu Hong[1], Heeyeon kim[1], Sujeong Heo[1], Kisun Kim[1], and Teagu Lee[2]
[1]Gangwon State Agricultural Research & Extension Services , [2]National Institute of Agricultural Science, RDA

Soil fertility is a key factor for improving crop productivity and achieving sustainable agriculture, and long-term monitoring of soil chemical properties is essential for establishing appropriate nutrient management strategies that reflect regional characteristics. This study was conducted to assess the current status and annual changes in the chemical properties of upland soils in Gangwon State and to provide basic information for soil fertility management.

From 2021 to 2025, soil testing was conducted annually on 6,680 samples collected from 18 cities and counties in Gangwon State. Among these, 4,251 upland soil samples were analyzed for pH, electrical conductivity (EC), organic matter (OM), available phosphorus, and exchangeable potassium (K), calcium (Ca), and magnesium (Mg). In 2025, the mean pH, EC, and OM content of upland soils were 6.5, 0.9 dS m^{-1}, and 27 g kg^{-1}, respectively, all of which were within the recommended ranges. In contrast, available P_2O_5 averaged 627 mg kg^{-1}, exceeding the recommended range of 300-550 mg kg^{-1}. Exchangeable K and Ca also showed relatively high levels, averaging 0.87 and 6.6 cmolc kg^{-1}, respectively, whereas exchangeable Mg averaged 1.7 cmolc kg^{-1} and remained within the recommended range. Among the cities and counties, relatively high soil pH values were observed in Donghae, Samcheok, Yeongwol, and Taebaek, which are located in limestone areas, suggesting that regional geological characteristics influence soil chemical properties.

Analysis of annual changes from 2021 to 2025 showed that soil pH and EC remained relatively stable, ranging from 6.4 to 6.5 and from 0.8 to 0.9 dS m^{-1}, respectively. Organic matter content also remained within the recommended range at 26-28 g kg^{-1}. Available P_2O_5 consistently exceeded the recommended level throughout the study period, reaching its highest value in 2023, temporarily decreasing in 2024, and increasing again in 2025. Exchangeable K showed a decreasing trend after 2023 but remained above the recommended range, while exchangeable Ca and Mg remained relatively stable throughout the study period.

These results indicate that upland soils in Gangwon State generally maintain appropriate pH and organic matter levels, but excessive accumulation of available phosphorus and some exchangeable cations persists. Therefore, it is necessary to promote appropriate application rates of phosphorus and potassium fertilizers based on soil test results and to strengthen site-specific nutrient management by prioritizing fertilizer reduction and soil-test-based fertilization recommendations in fields with excessive nutrient accumulation. In addition, in regions with high soil pH, such as limestone areas, excessive application of liming materials should be avoided. The application of differentiated fertilization strategies reflecting regional soil characteristics and crop nutrient requirements is expected to improve nutrient-use efficiency and reduce environmental loads. These findings can serve as basic information for establishing sustainable nutrient management policies for upland soils in Gangwon State and for improving soil-test-based fertilization recommendations.

Correspondence: hsy6520@korea.kr (010-2994-8874)

PA-027

충남지역 과수원 토양 화학성 현황

Assessment of Soil Chemical Properties in Orchard Soils of Chungnam Province

이정수[1]*, 이진일[1], 윤여욱[1], 김선중[1], 이정[1], 이은진[2]
Jeong Su Lee[1]*, Jin-Il Lee[1], Yeo-Uk Yun[1], Seon-Joong Kim[1], Jeong Lee[1], and Eun-Jin Lee[2]
[1]충청남도농업기술원, [2]국립농업과학원
[1]Chungcheonnam-do Agricultural Research and Extension Services, Yesan 32418, Korea
[2]National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Republic of Korea

과수원 토양은 다년생 작물이 장기간 동일한 장소에서 재배되고, 수확 후 토양을 경운하거나 개량하기 어려워 양분이 지속적으로 축적될 가능성이 크다. 특히 과수의 수량과 품질을 높이기 위해 화학비료와 가축분퇴비를 반복적으로 시용할 경우 토양의 pH 상승과 유효인산 및 교환성 양이온의 과잉이 발생할 수 있다. 따라서 과수원 토양의 건전성을 유지하고 적정 시비기준을 마련하기 위해서는 토양화학성에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다.

본 연구는 2026년 충남지역 과수원 80지점을 대상으로 토양화학성과 양분 과부족률을 조사하였다. 토양 pH는 평균 6.7로 적정범위인 5.5~6.5보다 다소 높았으며, 전체 지점의 73.8%가 과다 수준으로 나타났다. 전기전도도(EC)는 평균 0.44 dS m^{-1}로 적정기준인 2.0 dS m^{-1} 이하를 유지하였고, 적정 지점 비율도 98.8%로 염류집적 우려는 낮은 것으로 나타났다. 유기물 함량은 평균 20 g kg^{-1}으로 적정범위의 하한 수준이었으나, 부족 지점이 63.8%로 나타나 과수원별 유기물 관리가 필요한 것으로 판단되었다. 반면 유효인산은 평균 647 mg kg^{-1}으로 적정범위인 200~300 mg kg^{-1}을 크게 초과하였으며, 과다 지점 비율도 83.8%로 가장 높았다. 교환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 평균 0.96, 8.2 및 2.4 $cmol_c$ kg^{-1}로 모두 적정범위를 초과하였고, 과다 지점 비율은 각각 70.0%, 78.8% 및 63.8%로 나타났다. 특히 상위 5% 지점에서는 유효인산이 1,576 mg kg^{-1}, 교환성 칼륨과 칼슘이 각각 1.90 및 13.9 $cmol_c$ kg^{-1}까지 증가하여 일부 과수원에서 양분이 과잉 축적된 것으로 확인되었다. 이는 토양검정 결과를 고려하지 않은 인산질비료와 가축분퇴비의 반복적인 시용에 따른 결과로 판단되며, 향후 유기물 부족 토양에는 유기물 공급을 확대하되 인산과 칼륨 함량이 높은 비료와 퇴비의 사용량은 줄이는 등 토양검정에 기반한 맞춤형 양분관리가 필요할 것으로 판단되었다.

주연구자 연락처: integer9@korea.kr (041-635-6104)

PA-028

토양검정 비료추천을 위한 작물별 비료 추천 계수 유형 분류

Categorization of Crop-Specific Fertilizer Recommendation Factors for Soil Test-Based Application

이예진*, 이찬욱, 박혜진, 송요성
Ye jin Lee*, Chan wook Lee, Hye jin Park, and Yo sung Song
농촌진흥청 국립농업과학원 토양물환경과
Soil and water environment division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA

지속적인 작물 생산 기반을 유지하기 위해서는 토양 양분의 균형 관리가 필수적이다. 비료사용처방서는 토양검정 결과에 따라 비료 사용량을 가감하여 알려주기 때문에 토양에 비료를 과다하게 사용하지 않도록 농업인에게 정보를 제공하는 역할을 한다. 작물에 대한 토양검정 비료 추천식을 설정하기 위해서는 다양한 토양 조건에서 다년간의 재배시험을 수행해야 하나, 주요 작물이 아닌 경우에는 다양한 조건을 적용한 비료 수준별 시험을 수행하기 어려운 실정이다. 본 연구에서는 기존에 토양검정 비료사용기준이 설정된 작물을 대상으로 질소, 인산, 칼리 각각의 비료 추천 계수를 유형별로 그룹화하였다. 질소는 노지재배는 토양 유기물, 시설재배는 토양 EC로 비료량을 가감하기 때문에 구분하여 군집분석을 수행하였다. 인산은 유효인산을 기준으로 log 식과 log를 반영하지 않은 작물로 구분하였고, 칼리는 교환성칼륨, 칼리염기비( ), log 식으로 구분하여 군집분석을 하였다. 질소, 인산, 칼리 각각 반응이 대, 중, 소로 그룹이 나누어졌으며, 각각의 평균 비료처방식을 구하였다. 토양검정 비료 추천식을 설정하기 어려운 작물은 양분흡수량 정도를 감안하여 각 그룹별 토양검정 처방 계수를 적용하여 활용할 수 있을 것으로 생각되며, 보다 정밀한 처방을 위해서는 검증 시험이 필요할 것이다.

주연구자 연락처: leeyj418@korea.kr (063-238-2446)

PA-029

쪽파(*Allium wakegi*) 수경재배 양액조성 필수원소의 과잉·결핍 처리에 따른 생육반응 및 양분흡수 특성

Growth and Nutrient Uptake Responses of *Allium wakegi* to Nutrient Solution Element Stress

김선중*, 이정수, 윤여욱, 김관후, 정종태
Seon-Joong Kim*, Jeong-Su Lee, Yeo-Uk Yun, Gwan-Hou Kim, and Chong-Tae Chung
충청남도농업기술원
Chungcheongnam-do Agricultural Research & Extension Service

쪽파 수경재배와 스마트팜 재배시스템 확립을 위해서는 양액조성 필수원소별 생육반응, 양분흡수 및 생리장애 발현 예방기준에 대한 기초자료 확보가 필요하다. 본 연구는 쪽파 수경재배시 양액조성 필수원소(다량원소 NH_4-N, NO3-N, P, K, Ca, Mg, S 7종 및 미량원소 Fe, B, Mn, Zn, Cu, Mo 6종)의 적정·과잉(10배 또는 200배)·결핍(무첨가) 처리에 따른 생육반응과 식물체 무기·기능성 성분 특성을 구명하고자 하였다. 경북 예천산 쪽파 종구를 공시하여 비닐하우스 내 화분재배(코코피트+펄라이트 혼합배지)로 처리구를 조성하고, 초장·분얼수·경경·근장·엽수·잎마름증·생체중·건물중 등 생육지표와 식물체 내 다량 및 미량원소 함량을 조사·분석하였다. 그 결과 대량원소 중 NH_4-N 과잉 처리구는 전 생육기간 동안 생육이 우수하였던 반면, NO_3-N 과잉 처리구는 생육 후기로 갈수록 생육이 저하되는 경향을 보여 생육 후기에는 NH_4-N 요구도가 높은 것으로 판단되었으며, P 과잉 처리구는 전 처리구 중 생육이 가장 불량하였다. Fe 과잉 처리구는 생육이 저조하였으며, B 과잉 처리구에서 잎끝마름 증상이 가장 심하게 나타났다. 생육지표 간(초장-엽장-경경-생체중-건물중)에는 일관된 강한 양의 상관관계가 확인되었고, P·K·Ca 함량은 생육과 양의 상관을, Na 함량은 음의 상관을 보였으며 Fe·Cu·Zn의 과잉 축적은 생육을 저해하는 방향의 상관을 나타내었다. 식물체 성분분석에서는 처리 원소가 과잉 공급된 처리구에서 해당 원소의 체내 함량이 일관되게 높게 검출되었고, P 과잉시 N 함량 저하, Ca 과잉시 P 함량 저하, NO_3-N 과잉시 K 함량 저하, K 과잉시 Mg 함량 저하 등 필수원소 간 길항적 흡수 양상이 관찰되었다. 특히 Fe 과잉 처리구에서는 N, P, K, Ca, Mg, Na 함량이 전반적으로 가장 낮게 나타나 양분 가용성을 저해하는 주요 원소로 판단되었다. 본 연구 결과는 쪽파 스마트팜 수경재배시스템 도입 및 재배관리 자동화를 위한 필수원소별 생육반응 및 생리장애 예방기준 설정의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

주연구자 연락처: criticall@korea.kr (041-635-6102)

PA-030

Effects of Livestock Manure Biochar Application on Soybean Growth and Soil Propertie

Hye-Rin Jeong[1]*, Myeong-Hwan Jang[1], Yeong-Gyu Jeong[1], Yun-Kyung Kim[1], Jun-Young Lee[1], Young-Jin Seo[1], and Eun-Jin Lee[2]
[1]Gyeongsangbuk-do Agricultural Research & Extension Services
[2]National Institute of Agricultural Science, RDA

Purposes: The annual amount of livestock manure generated in Korea reaches approximately 51.89 million tons, making the development of effective and sustainable treatment methods an urgent task. As one solution, research on converting livestock manure into biochar for use as a soil amendment has been actively conducted. However, studies evaluating its actual effects on crop growth under field application remain limited. This study examined the effects of livestock manure biochar (LMB) application on soybean growth, soil environment, and greenhouse gas emissions during soybean cultivation.

Methods: The test crop was the soybean cultivar Seonpungkong. Biochar was incorporated into the soil two weeks before sowing using a randomized complete block design with three replications. Treatments consisted of a control (no biochar), wood-based biochar (WB), and livestock manure biochar (LMB), each applied at rates ranging from 300 to 1,200 kg $10a^{-1}$. Soil chemical properties, soil moisture content (measured with soil sensors, three replications), soil physical properties (including bulk density), greenhouse gas emissions (CO_2, CH_4, and N_2O, monitored over 135 days), and soybean growth were assessed across treatments.

Results: Soil pH increased from 7.4-7.8 before LMB application to 7.9-8.1 after application, and available phosphorus tended to increase with higher application rates, while EC and organic matter remained at appropriate levels. Soil chemical properties did not differ substantially among treatments in either topsoil or subsoil. Soil moisture content tended to be slightly higher in the control plots and was consistently higher in subsoil than in topsoil, while other soil physical properties, including bulk density, showed no marked differences among treatments. Total CO_2 and CH_4 emissions over the 135-day monitoring period did not differ significantly among treatments. For N_2O, emissions increased sharply during the first 20 days in the chemical fertilizer treatment; total N_2O emissions were somewhat higher in the control, and the WB treatment showed lower emissions than the LMB treatment. Soybean growth showed no statistically significant differences according to biochar treatment or application rate, a pattern also observed for WB.

Conclusions: No statistically significant differences were found in soil physicochemical properties or soybean growth among treatments. However, as these results are based on a second-year experiment, further research is needed to more clearly elucidate the effects of livestock manure biochar on soybean growth and greenhouse gas mitigation.

Correspondence: jhl5522@korea.kr (010-9599-9023)

PA-031

2026년 과수원 토양 화학성 모니터링 및 건강성 평가체계 구축 방향

Nationwide Monitoring of Orchard Soil Chemical Properties in 2026: Toward a Soil Health Assessment Framework

이은진*, 김명숙, 이단비, 정하일, 조남준
Eunjin Lee*, Myung-Sook Kim, Danbi Lee, Ha-il Jung, and Nam-joon Chough
농촌진흥청 국립농업과학원 토양물환경과
Division of Soil & Water Environment, National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju 55365, Korea

농경지 토양은 작물 생산의 기반인 동시에 양분순환, 물질저장 및 환경조절 기능을 수행한다. 특히 과수원은 동일 작물이 장기간 재배되고 비료와 토양개량제가 지속적으로 투입됨에 따라 양분의 과잉·결핍과 중금속 축적 가능성을 함께 진단할 수 있는 장기 모니터링 체계가 요구된다. 본 연구는 전국 농경지 토양의 화학성 변동평가, 데이터베이스 구축 및 토양 건강성 평가기법 개발을 목표로 구성된다. 국립농업과학원과 전국 9개 도농업기술원은 전국 과수원 토양의 화학성과 중금속 함량을 조사하여 장기 변동 특성을 구명하고 토양건강성 평가 및 농업환경 관리에 활용할 수 있는 기초자료를 구축하고자 한다. 이를 위해 전국 과수원의 대표 조사 지점에서 표토와 심토를 구분하여 토양 시료를 채취하고, 표준화된 분석법과 품질관리 절차를 적용하여 토양 화학성 및 중금속 함량을 분석할 예정이다. 조사자료는 지점·토양깊이·조사항목별 데이터베이스로 구축하고, 지역별 변동과 토양 화학성 적정범위 대비 과부족 특성을 분석하고자 한다. 또한 강원대학교에서는 장기 모니터링 자료를 기반으로 토양의 생산성과 환경 건전성을 반영할 수 있는 지표를 선정하고, 지표별 점수화 및 통합지수 산정 방법을 검토하여 과수원 토양건강성 평가기법을 개발하고자 한다. 아울러 전남대학교에서는 디지털 토양지도 및 인공지능 기반 공간예측 기술과 연계할 예정이다. 이를 통해 과수원 토양의 양분 불균형과 잠재적 관리 취약지역을 파악하고, 유역·지역 단위 토양건강성 평가에 활용할 수 있는 결과가 도출될 것으로 예상된다. 본 연구는 장기 모니터링과 토양건강성 평가를 연계함으로써 국가 농경지 토양관리의 과학적 근거를 강화하고, 토양개량 및 양분관리의 우선순위 설정과 지속가능한 농업환경 관리체계 구축에 기여할 것으로 기대된다.

주연구자 연락처: eunjin0219@korea.kr (063-238-2438)

PA-032

수분해성 원소 황 비료의 토양 pH 감소 효과

Effect of Dispersible Elemental Sulphur Fertilizer on Soil pH Reduction

문정환*, 한민수, 박승환
Junghwan Moon*, Minsu Han, and Seunghwan Park
에이치설퍼(주)
H Sulphur Corp

Purpose: 벤토나이트를 함유한 수분해성 원소 황 비료(이하 원소 황 비료)는 토양 산성용 토양 개량제로 널리 사용된다. 본 연구는 원소 황 비료 사용에 따른 토양 pH 저감 효과를 평가하고자 수행되었다. 토양 pH의 감소는 Streptomyces spp.에 의해 발생하는 감자 더뎅이병(Common scab)의 발생을 억제할 수 있으며, 블루베리와 같은 산성토양을 선호하는 작물의 재배에도 활용될 수 있다.

Methods: 초기 pH 6.60의 대구·경북지역 사양토를 이용하여 포트시험을 수행하였다. 감자 전용 복합 비료(이하 전용 비료)는 기준 사용량으로 처리하고, 벤토나이트를 함유한 수분해성 원소 황 비료인 '솔로아그리'(에이치설퍼㈜)를 10, 20 및 30 kg $10a^{-1}$ 수준으로 혼합 처리하였다. 토양 수분은 포장용수량의 60~70% 수준으로 유지하였으며, 처리 후 100일간 10일 간격으로 토양 pH를 조사하였다.

Results: 처리 후 10일에는 모든 처리구에서 토양 pH가 일시적으로 증가하였으나, 이후 감소하는 경향을 나타냈다. 원소 황 비료의 사용량이 증가할수록 pH 감소 폭이 커졌으며, 처리 후 약 40일경부터 처리 간 pH 차이가 나타나기 시작하였다. 50일 이후에는 모든 원소 황 비료 처리구에서 전용 비료 단독 처리구 대비 유의한 pH 감소가 확인되었다($p < 0.05$). 100일 후 토양 pH는 무처리구 6.75, 전용 비료 처리구 7.00, 원소 황 비료 10, 20 및 30 kg $10a^{-1}$ 처리구에서 각각 6.31, 5.75 및 5.00으로 나타났다. 전용 비료 처리구 대비 pH 감소량은 각각 0.69, 1.25 및 2.00 pH 단위였다. 또한 수용성 황산염(SO_4^{2-}) 농도는 원소 황 비료 사용량이 증가할수록 증가하였다. 100일 후 수용성 황산염 농도는 전용 비료 단독 처리구에서 207.90 mg kg^{-1}이었으며, 원소 황 비료 10, 20 및 30 kg $10a^{-1}$ 처리구에서는 각각 396.96, 452.14 및 512.56 mg kg^{-1}로 나타났다. 이는 벤토나이트가 수분을 흡수하여 팽창하면서 원소 황 과립을 분산시켜 미생물에 의한 원소 황 산화를 촉진한 결과로 판단된다. 이러한 원소 황의 산화는 토양 pH 감소에 기여했음을 시사한다.

Conclusion: 벤토나이트를 함유한 원소 황 비료는 토양 pH를 효과적으로 감소시켰으며, 토양 내 원소 황의 산화를 촉진하여 토양 산성화에 기여하는 것으로 판단되었다. 이러한 결과는 원소 황 비료가 토양 산성화를 위한 토양 관리 자재로 활용될 수 있음을 시사한다. 특히 감자 더뎅이병 억제에 적합한 토양환경 조성과 블루베리 등 산성토양을 선호하는 작물의 재배에 활용될 가능성이 있을 것으로 판단된다. 다만 토양 초기 pH와 완충능력 등 토양 특성에 따라 산성화 정도는 달라질 수 있으므로, 다양한 토양 조건에서의 검증과 함께 작물의 병해 발생 억제 효과와 생육 및 수량에 대한 추가 연구가 필요하다.

주연구자 연락처: jhmoon@hsulphur.com (052-237-1811)

PA-033

Relative Contribution Rate on Soil Physio-Chemical Properties Related to Fruit Quality of 'Arisoo' Apple

Tae Jun Lim*, Seong Tak Jung, and Byeong Eun Kang
Horticultural and Herbal Crop Environment Division, NIHHS, RDA, Wanju, Korea

Understanding the relationship between soil properties and fruit quality is important for high-quality apple production. 'Arisoo' is an early-September apple cultivar developed for the Chuseok market. It has attractive red skin, an average fruit weight of 285 g, and a soluble solids content of 14.0 °Brix, making it highly preferred by consumers. This study aimed to identify the key soil physio-chemical properties influencing fruit weight and soluble solids content to establish optimal soil environmental conditions for 'Arisoo' apple orchards. Soil texture, hardness, bulk density, saturated hydraulic conductivity, soil compaction depth, pH, organic matter, inorganic N, available P_2O_5, and exchangeable cation ratio were evaluated. A field survey was conducted in 37 commercial orchards located in Geochang, Cheorwon, Yeongju, and Yanggu, regions at South Korea. Correlation analysis was performed to evaluate the relationships between fruit quality (fruit weight and soluble solids content) and soil physico-chemical properties, and the relative contribution of each soil factor was calculated. The results showed that fruit weight was positively correlated with saturated hydraulic conductivity, soil compaction depth, organic matter, and inorganic N, whereas negatively correlated with bulk density and soil hardness. Similarly, soluble solids content showed positive correlations with saturated hydraulic conductivity and soil compaction depth and negative correlations with bulk density and soil hardness. The relative contributions of soil physio-chemical properties to fruit weight of 'Arisoo' apple was ranked as follows: soil organic matter > inorganic N > bulk density > soil compaction depth, whereas those to soluble solids content were ranked as bulk density > saturated hydraulic conductivity > soil compaction depth > inorganic N. These results suggest that improving soil physical conditions and maintaining adequate soil organic matter and nitrogen levels can help produce high-quality 'Arisoo' apples.

This study was supported by Rural Development Administration research program(PJ017323)

Keywords: Apple, Fruit quality, Soil physio-chemical properties, Relative contribution
Correspondence: taejun06@korea.kr (063-238-6340)

PA-034

Soil Fertility Status and Priorities for Nutrient Management in Selected Organic Paddy Fields of Chungcheongbuk-do

Dong Geun Lee[1]*, Ji Yoon Yoo[1], Kwan-Woo Lee[1], Kyung Ok Kim[1], Hyo-Jung Kang[1], Jiwon Do[1], and Jae-Hyeong Lee[2]
[1]Chungbuk-do Agricultural Research and Extension Services
[2]National Institute of Agriculture Sciences

Sustainable production in organic paddy fields requires nutrient management based on field-specific soil fertility conditions because repeated applications of organic inputs may result in either nutrient accumulation or insufficient nutrient supply. This study was conducted to assess the soil fertility status of selected organic paddy fields in Chungcheongbuk-do, Korea, and to identify priorities for nutrient management. A total of 125 soil samples were collected from organic paddy fields in eight cities and counties between 2023 and 2025. Soil pH, electrical conductivity (EC), organic matter (OM), available P_2O_5, available SiO_2, total N, cation exchange capacity (CEC), and exchangeable Ca, K, Mg, and Na were analyzed. Soil fertility status was classified as below, within, or above the recommended ranges for general paddy soils.

Mean soil pH and EC were 5.91 and 0.56 dS m^{-1}, respectively. Mean OM, available P_2O_5, and available SiO_2 contents were 28.0 g kg^{-1}, 130 mg kg^{-1}, and 365 mg kg^{-1}, respectively. Mean CEC and exchangeable Ca, K, and Mg were 7.42, 5.76, 0.50, and 0.99 cmolc kg^{-1}, respectively. Soil pH and OM were within the recommended ranges in 48.0 and 47.2% of the samples, respectively. Only 20.0% of the samples had available P_2O_5 contents within the recommended range, whereas 41.6% were below and 38.4% were above the range. Exchangeable K exceeded the recommended range in 48.0% of the samples, whereas 82.4% of the samples had exchangeable Mg contents below the recommended range. Exchangeable Ca also showed substantial field-to-field variation, with 42.4% of the samples below and 40.8% above the recommended range. Available SiO_2 was at or above the recommended minimum level in 60.8% of the samples.

These results demonstrate considerable spatial heterogeneity in the fertility status of the surveyed organic paddy soils. Available P_2O_5 and exchangeable Ca were characterized by the coexistence of deficient and excessive levels among fields, while exchangeable K tended to accumulate and Mg deficiency was prevalent. Accordingly, nutrient management in organic paddy fields of Chungcheongbuk-do should prioritize field-specific soil testing rather than uniform application of organic inputs. Inputs containing P and K should be adjusted in soils exceeding the recommended ranges, whereas the need for Mg supplementation should be evaluated in deficient soils. Available SiO_2 management should also be differentiated according to the soil-test results of individual fields. These findings provide baseline information for establishing soil-test-based nutrient management practices for organic paddy fields in Chungcheongbuk-do.

This work was supported by National Institute of Agriculture Sciences, and funded by the Rural Development Administration (RDA) (RS-2022-RD010404, Development of soil quality assessment and improvement technique in organic farming upland)

Keywords: Chungcheongbuk-do, Organic paddy field, Soil fertility, Nutrient status, Nutrient management
Correspondence: andante25@korea.kr (043-220-6563)

PA-035

Biodegradable Mulch Improves Soil Physicochemical and Biological Properties During the Growing Season, but not After Post-Harvest Tillage

Mingi Park, and Kyungjin Min*
Department of Agricultural Biotechnology, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea

Biodegradable mulch (BDM) is increasingly used as an alternative to polyethylene mulch (PM) to reduce agricultural plastic waste. BDM is designed to degrade in soil and may therefore alter soil properties. Yet, we know little about how BDM alters soil properties relative to PM as the growing season progresses and whether these changes persist after post-harvest tillage. Here, we compared the effects of BDM and PM on physical, chemical, and biological soil properties in the 0-14 cm layer of a hot pepper (*Capsicum annuum*) field during the growing season and after post-harvest tillage. The effects of BDM and PM on soil properties differed over time and were most pronounced during the late growing season. Across the growing season, soils under BDM exhibited lower water stable aggregate and acid phosphatase activity, but higher soil organic carbon and β-glucosidase activity than soils under PM. During the late growing season, just before harvest, soils under BDM showed higher soil pH and microbial biomass carbon than those under PM. After post-harvest tillage, most of these differences disappeared except for higher β-glucosidase and lower acid phosphatase activity under BDM than PM. Our results highlight that BDM induces contrasting changes across soil properties relative to PM, and that most changes are temporary, and that short-term assessments may not capture the cumulative soil effects of repeated BDM use.

주연구자 연락처: kjmin@snu.ac.kr (02-880-4644)

PA-036

Crop Productivity and Nutrient use Efficiency of *Allium hookeri* in Response to NPK Fertilization Levels

Hee-Jeong Je[1]*, Mi-Jin Lee[1], Jae-Young Heo[1], Young Han Lee[1], and Yejin Lee[2]
[1]Climate-Resilient Agriculture Research Division, Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services, Jinju 52733, Korea
[2]National Institute of Agricultural Sciences(NAS), Wanju 55365, Republic of Korea

With the implementation of the public direct payment system to promote the public benefits of agriculture, farmers are required to apply fertilizers at appropriate rates. However, optimum fertilizer rates for *Allium hookeri* have not yet been established, resulting in inefficient fertilizer use. Therefore, this study evaluated the effects of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization levels on the growth, yield, nutrient uptake, and fertilizer use efficiency of *Allium hookeri* and determined the optimum fertilization rates. Field experiments were conducted over two consecutive years (2024-2025) using five fertilization levels (0, 0.5, 1.0, 1.5, and 2.0 times the average farm application rate of N-P_2O_5-K_2O = 232-63-107 kg ha^{-1}). Growth characteristics, yield, nutrient uptake, and fertilizer use efficiency indices, including fertilizer partial factor productivity (F_{PFP}), fertilizer agronomic efficiency (F_{AE}), and fertilizer recovery (F_R), were evaluated. Root length was highest at the 0.5 times N treatment in both years, whereas tiller number tended to increase with increasing K application in the second year. The highest root yield was obtained at 0.5-1.0 times the N level, 1.0-1.5 times the P level, and 0.5-1.0 times the K level. Significant differences in yield were observed among the N, P, and K fertilization treatments in both years. Partial factor productivity (F_{PFP}) and fertilizer agronomic efficiency (F_{AE}) were highest at the 0.5 times N fertilization level, while fertilizer recovery (F_R) was highest at the 0.5 times fertilization level for N, P, and K. Overall, fertilizer use efficiency decreased with increasing fertilizer application rates. Based on two years of yield data, the optimum fertilizer rates for maximum yield were estimated to be 113 kg N ha^{-1}, 57 kg P_2O_5 ha^{-1}, and 90 kg K_2O ha^{-1}. These results indicate that excessive fertilizer application does not result in a substantial increase in yield but reduces fertilizer use efficiency. Appropriate fertilization management based on crop nutrient requirements and fertilizer use efficiency is therefore required for stable production and sustainable nutrient management of *Allium hookeri.*

Correspondence: hity84@korea.kr (055-254-1313)

PA-037

경축순환농업 추진단지에서 가축분퇴비 시용이 논토양 화학성 및 벼 생육·수량에 미치는 영향

Effects of Livestock Manure Compost Application on Paddy Soil Chemical Properties, Rice Growth and Yield in Crop-Livestock Cycling Farming Complexes

서재순*, 정재원, 안희정, 장재은, 소호섭, 박중수
Jae-Soon Seo*, Jaewon Jeong, Hee-Jung An, Jae-Eun Jang, Hoseup Soh, and Jung-Soo Park
경기도농업기술원
Gyeonggi-do Agricultural Research and Extension Services

경축순환농업은 축산분뇨 유래 퇴비를 경종작물 재배에 활용하여 지역 내 양분순환을 촉진하는 체계이나, 논토양의 양분 축적과 벼 생육·수량에 대한 현장 검증이 필요하다. 본 연구는 경기도 경축순환농업 추진단지에서 우분퇴비 시용에 따른 논토양 화학성, 벼 생육, 수량 및 미질 변화를 구명하고자 수행하였다. 조사는 2023년 용인·화성, 2024년 평택·화성, 2025년 평택의 참여 농가 포장을 대상으로 하였으며, 우분퇴비 살포 및 미살포 포장에서 시험 전과 수확 후 토양화학성(pH, 유기물, 유효인산, 유효규산, 치환성 K·Ca·Mg), 벼 성숙기 생육 및 수량구성요소, 쌀수량, 완전립비율, 완전미수량, 단백질 함량, 도복 및 병해충 피해를 조사하였다.

벼 재배기간 중 35°C 이상 일수는 2023년 17일, 2024년 4일, 2025년 24일로 연차별 기상 변동이 컸으며, 2025년은 고온과 강우일수가 상대적으로 많아 생육·수량 해석 시 기상 영향을 함께 고려할 필요가 있었다. 토양화학성에 대한 삼원분산분석 결과, 퇴비 살포는 pH, 유효인산, 유효규산 및 치환성 K에 유의한 영향을 보였고, 벼 재배전후에는 pH, 유효인산 및 유효규산에, 연도(기상)에 따라 pH, 유기물, 유효인산, 유효규산, 치환성 Ca 및 Mg에 유의한 영향을 나타냈다. 일부 우분퇴비 살포 포장에서는 pH, 유효인산, 치환성 K 등이 논토양 적정범위를 초과하여, 경축순환농업에서 퇴비 활용 시 토양검정 기반 양분관리가 중요함을 시사하였다. 한편 성숙기 생육 및 수량구성요소에 대한 분석에서 우분퇴비 살포 효과는 간장, 수장, 수수, 수당립수, 등숙비율 및 현미 천립중 모두에서 유의하지 않았으며, 품종과 연도 효과가 상대적으로 크게 나타났다. 쌀수량과 완전미수량은 우분퇴비 살포에 의해 유의한 차이를 보였으나, 완전립비율과 단백질 함량에는 유의한 영향이 없었다. 2025년 평택 오성의 동일 품종 비교에서는 우분퇴비 살포 포장이 미살포 포장보다 기비 질소 시비량이 낮았음에도 쌀수량이 759 kg 10a-1로 미살포 673 kg 10a-1보다 높았고, 단백질 함량은 5.7%로 동일하였다. 도복, 잎집무늬마름병 및 혹명나방 피해는 우분퇴비 살포보다 품종과 연도 요인의 영향을 크게 받았다.

이상의 결과는 우분퇴비를 활용한 경축순환농업이 벼 수량 및 미질을 유지하면서 화학비료 사용량 절감 가능성이 있지만, 우분퇴비 살포량은 토양검정를 반영한 우분퇴비 표준살포량을 준수해야 함을 보여준다.

주제어: 경축순환농업, 가축분퇴비, 벼, 토양화학성, 쌀수량
주연구자 연락처: sjs3923@gg.go.kr (031-8008-9342)

PA-038

Available Phosphorus as a Central Linker to Spatially Variable Soil Bulk Properties and Chemical Properties in Suburban Orchards

Pros Khok[1]*, Yehun Lee[1], Eunjin Lee[2], Jeeyoon Kim[1], and Gwang Hyun Han[1]
[1]Department of Environmental & Biological Chemistry, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea
[2]Department of Soil and Fertilizer, National Institute of Agriculture Science, RDA, Jeonbuk 54875, Korea

Orchards for perennial tree crops exhibit greater variabilities in both soil properties and productivity compared to annual crop farms, primarily due to difficulties in achieving homogeneous soil conditions. Given the large spatial heterogeneity in the field, fertility management often results in localized nutrient excesses or deficiencies, inconsistent crop production, and environmental pollution. To characterize this variability, we collected 126 soil samples from 42 fruit farms across central Korea, including apple (14), grape (14), pear (7), and peach (7) orchards. The variability of soil bulk properties (pH, EC, and SOC) and nutrients (inorganic N, available P, exchangeable K, Ca, and Mg) within individual farms were pronounced, sometimes exceeding regional differences. Conventional correlation analysis, using both farm-level means and individual data, revealed only marginally significant relationships among some soil factors, largely due to uneven and skewed data distributions. In contrast, principal component analysis (PCA) effectively reduced data dimensionality and identified key factors, highlighting the most influential soil determinants explaining spatial variability. However, it was difficult to elucidate the relationships between these determinants and other soil factors, despite apparent proportional trends evident in the PCA. Therefore, a new statistical approach was developed to identify a ubiquitous factor characterized by uniform and well-graded distribution, spanning low to high values, lacking skewness, and encompassing a wide range of variations. In this study, available P was identified as the central linking parameter with optimal distribution properties, thereby elucidating the functional relationships with all examined soil properties. This centrality of available P is in good accordance with the general conception that it enters the soil through many sources, including manure composts, crop residue, and chemical fertilizers, and that P pools are affected by factors such as pH, organic matter content, and microbial activity. In summary, in tree-based ecosystems where soil properties are highly variable, the proposed approach is expected to be useful for understanding intricate interactions and devising a proper management strategy.

Keywords: Perennial tree crops, Principal component analysis, Soil properties, Spatial variability
Correspondence: hangh@cbnu.ac.kr

PA-039

KCl Loading into Zeolites for Environmentally Benign Slow-Release K Source

Taw-Wook Choi[1], Dae-Eon Geum[1], Seung-Won Lee[1], Sang-Won Wang[1], Dong-Gyu Kim[1], Hyeon-Jun Park[1], Woo Taik Lim[2], and Man Park[1]*
[1]Department of Applied Biosciences, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea
[2]Department of Chemical and Biological Engineering, Gyeongkuk National University, Andong 36729, Republic of Korea

Polymer-coated slow-release fertilizers raise concerns regarding soil and water contamination with microplastics. This study focused on loading KCl into zeolite pores to develop an environmentally benign slow-release K source. KCl and anhydrous $MgCl_2$ were mixed at a molar ratio of 2:1. Erionite, zeolite 4A, ZSM-5, and sodalite were arranged with the salt mixture in a layered configuration at a salt-to-zeolite mass ratio of 4.0 and thermally treated at 450 °C. After repeated washing, residual K and Mg contents were quantified by atomic absorption spectrometry (AAS). Framework stability and salt retention were characterized using X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy coupled with energy-dispersive X-ray spectroscopy (SEM-EDS), thermogravimetric-differential thermal analysis (TG-DTA), and Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR).

K, Mg, and Cl remained in erionite and zeolite 4A after repeated washing, while their major framework structures were preserved. In contrast, KCl loading was limited in zeolites with excessively small pore openings or predominantly channel-type structures. These results indicate that effective loading depends on the combination of accessible pore openings for molten-salt transport and internal cavities for salt entrapment. No distinct loading was observed at lower salt ratios using the conventional heating process. However, chabazite exhibited effective KCl loading at a salt-to-zeolite mass ratio of 1.0 when the salt and zeolite were heated separately and subsequently mixed after the salt had melted. This improvement was attributed to reduced interaction between $MgCl_2$ and water released during zeolite dehydration, which facilitated the penetration of the molten salt into the dehydrated zeolite framework.

Release experiments demonstrated the gradual release of K from the occluded samples. Although KCl and $MgCl_2$ are highly soluble in water in their unconfined forms, their dissolution and release were retarded when they were stably confined within the zeolite pore structure. Consequently, KCl loaded within zeolite pores can suppress the rapid release of K and provide a sustained nutrient supply. This approach therefore shows potential for the production of environmentally benign slow-release K-Mg fertilizers.

Acknowledgement: This research was supported by the Cooperative Research Program for Agricultural Science and Technology Development (RS-2025-02220656), Rural Development Administration, Republic of Korea; and the Regional Innovation System & Education (RISE) program through the Gyeongbuk RISE CENTER, funded by the Ministry of Education (MOE) and the Gyeongsangbuk-do, Republic of Korea (2025-RISE-15-104).

Keywords: Zeolite, KCl loading, KCl-$MgCl_2$ eutectic salt, environmentally benign K source
Correspondence: manpark@knu.ac.kr (053-950-5717)

PA-040

Sulfide-Occluded Zeolite 3A as a Potential K and S Nutrient Source

Seung-Won Lee[1], Dae-Eon Geum[1], Jeong-Hun Jang[2], Woo Taik Lim[3], and Man Park[1]*
[1]Department of Applied Biosciences, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea
[2]Institute of Quality and Safety Evaluation of Agricultural Products, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea
[3]Department of Chemical and Biological Engineering, Gyeongkuk National University, Andong 36729, Republic of Korea

Slow- and controlled-release fertilizers have been developed to mitigate the problems of fast-acting fertilizers, such as low efficiency, high labor cost, and environmental pollution. However, poorly biodegradable synthetic polymers used in some of these fertilizers may accumulate in agricultural soils. Zeolites contain exchangeable cations within their aluminosilicate frameworks and may serve as polymer-free inorganic nutrient carriers. This study focused on sulfide-occluded zeolite 3A (Z3AS) prepared from zeolite 3A and evaluated its structure, sulfur species, K-release behavior, and potential as a slow-release K fertilizer. Oxidation of occluded sulfide species was hypothesized to produce protons and facilitate ion-exchange of exchangeable K^+.

Zeolite 3A (Z3A), K-exchanged form of zeolite 4A, was prepared by washing zeolite 4A with distilled water and then treating it with KCl solution. Z3AS was prepared by mixing Z3A with elemental sulfur and K_2CO_3, followed by thermal treatment at 400 °C for 12 h under a nitrogen atmosphere. The material was then characterized using XRD, SEM, FT-IR, Raman spectroscopy, XPS, and TG-DTA. K and S releases from Z3AS and changes in suspension pH were monitored through repeated 24-h batch release cycles in deionized water, and a pot experiment was conducted to cultivate romaine lettuce.

XRD, FT-IR, and SEM showed that Z3AS retained the long-range crystalline structure, characteristic framework vibration bands, and cubic morphology of zeolite A, respectively. Raman and XPS indicated the presence of polysulfide species and reduced and oxidized sulfur species, respectively. During the first 10 cycles of the repeated-batch release experiment in deionized water, a greater cumulative amount of total K was recovered from Z3AS than from Z3A (10.22 vs. 7.64 mg). S release increased during the initial cycles and subsequently declined to below the detection limit, while the suspension pH decreased. In a pot experiment with romaine lettuce, Z3AS treatment showed increased shoot fresh weight (36.01 vs. 19.55 g) and leaf length (151 vs. 118 mm) compared with the unfertilized control ($p < 0.05$), while these values did not differ significantly from those obtained with the conventional K fertilizer (34.51 g and 152 mm, respectively; $p > 0.05$).

The greater total K release from Z3AS and the concurrent decrease in suspension pH suggest that proton production during sulfide oxidation may facilitate the mobilization of zeolite-bound exchangeable K^+ through ion exchange. Together with the crop responses observed in the pot experiment, these findings suggest that Z3AS is a promising polymer-free inorganic platform for slow-release K fertilization.

Acknowledgement: This research was supported by the Cooperative Research Program for Agricultural Science and Technology Development (RS-2025-02220656), Rural Development Administration, Republic of Korea; and the Regional Innovation System & Education (RISE) program through the Gyeongbuk RISE CENTER, funded by the Ministry of Education (MOE) and the Gyeongsangbuk-do, Republic of Korea (2025-RISE-15-104).

Keywords: Slow-release fertilizer, Sulfide Occlusion, Zeolite A, Potassium Release
Correspondence: manpark@knu.ac.kr (053-950-5717)

PA-041

트리티케일 출수 후 환원 시기에 따른 바이오매스 및 양분 환원 특성

Effects of Triticale Incorporation Timing after Heading on Biomass and Nutrient Return Characteristics

이영돈, 박충배, 한은정, 이슬비*
Young Don Lee, Choong Bae Park, Eun Jung Han, and Seul Bi Lee*
국립농업과학원 재생유기농업과
Regenerative Organic Agriculture Division, Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Sciences, RDA

유기농업에서는 농경지 내 유기물과 양분의 순환을 효율적으로 관리하여 토양 비옥도와 작물 생산성을 지속적으로 유지하는 것이 중요하다. 이러한 측면에서 녹비 작물은 생육 중 흡수한 양분과 생산된 유기물을 토양에 환원함으로써 토양의 물리·화학적 특성과 생물학적 활성을 개선하는 주요 재배 관리 수단으로 활용된다. 특히 트리티케일은 밀의 높은 생산성과 호밀의 우수한 환경 적응성을 함께 지닌 화본과 작물로, 월동성이 강하고 건물 생산량이 많아 녹비 작물로서 활용 가치가 높다. 다만 트리티케일은 생육이 진행됨에 따라 바이오매스, 수분함량, 양분 농도 및 C/N비가 변화하므로, 환원 시기에 따라 토양에 공급되는 유기물과 양분의 양뿐만 아니라 잔사의 분해와 무기화 양상도 달라질 수 있다. 따라서 트리티케일의 양분 함량 및 환원량을 함께 고려할 필요가 있다. 그러나 기존 연구는 주로 품종 특성, 사료 생산성 및 재배 적응성에 집중되어 있어, 출수 후 환원 시기에 따른 녹비 생산량과 양분 환원 특성을 체계적으로 평가한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 트리티케일의 출수 이후 환원 시기가 트리티케일의 바이오매스 생산량, 식물체 양분 조성 및 양분 환원량에 미치는 영향을 구명하고, 유기농업에서 적정 환원 시기를 설정하고자 하였다. 시험은 국립농업과학원 재생유기농업 시험포장에서 수행하였다. 처리구는 출수기, 출수 후 10일, 20일 및 30일의 4개 환원 시기로 설정하였으며, 각 처리는 난괴법에 따라 3반복으로 배치하였다. 환원 시기별로 50 × 50 cm 방형구 내 지상부를 채취하여 생중량과 건중량을 측정하고, 이를 단위 면적당 건물수량으로 환산하였다. 건조한 식물체의 총 탄소(T-C), 총 질소(T-N), 총 인산(T-P2O5) 및 칼리(K2O) 함량을 분석하였으며, T-C와 T-N 함량을 이용하여 C/N비를 산출하였다. 그 결과 트리티케일의 건물수량은 환원 시기가 늦어질수록 증가하여 출수 20일, 30일 처리에서 출수기보다 유의하게 높았다. 반면 T-N, T-P2O5 및 K2O 함량은 생육이 진행됨에 따라 감소하였는데, 이는 식물체 성숙과 건물 축적에 따른 양분 희석 효과로 판단되었다. 그러나 단위 면적당 양분 환원량은 건물수량 증가의 영향으로 T-P2O5는 출수 후 20~30일, K2O는 출수 후 10~20일 처리에서 높은 수준을 보였다. 또한 후기 처리에서 C/N비가 증가하여 잔사의 분해 지연과 초기 질소 부동화 가능성이 높으므로, 건물수량과 양분 환원량을 종합해 보았을 때 출수 20일 전후가 적절한 환원 시기로 판단된다. 다만 환원시기에 따른 양분의 무기화와 작물 이용 가능성을 명확히 평가하기 위해서는 환원 후 토양의 무기태질소, 유효인산 및 치환성 양이온 등 토양 화학성 변화에 관한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

주연구자 연락처: seulvi23@korea.kr (010-9390-0285)

PA-042

GroMore® 프로그램의 벼 생산성과 메탄 유래 온실가스 배출집약도 평가 (국가 지정 비료시험연구기관의 현장실증 및 환경성 평가 산학협력 사례)

Assessment of Rice Productivity and Methane-Derived Greenhouse Gas Intensity under the GroMore® Program (Industry-Academia Field Validation by a Nationally Designated Fertilizer Testing Institution)

전경식[1], 맹희주[2,3], 김낙겸[2], 구현회[2,3,4]*
Kyoung-Sik Jun[1], Hui-Ju Maeng[2,3], Nak-Gyeom Kim[2], and Hyun-Hwoi Ku[2,3,4]*
[1]신젠타 코리아, [2]한경국립대학교 식물자원조경학부, [3]한경국립대학교 토양환경연구소, [4]한경국립대학교 비료시험연구기관
[1]Syngenta Korea Seoul Office, CP Sales Korea, Seoul 03160, Korea
[2]Department of Plant Resources and Landscape Architecture, HKNU, Anseong 17579, Korea
[3]Soil Environment Research Institute, HKNU, Anseong 17579, Korea
[4]Fertilizer Testing and Research Institute, HKNU, Anseong 17579, Korea

담수 논의 벼 생산은 곡물 생산성과 온실가스 효율성을 동시에 확보해야 하는 과제에 직면해 있다. 본 연구는 한경국립대학교의 국가 지정 비료시험연구기관인 토양환경연구소와 신젠타코리아가 공동으로 수행한 산학협력 현장실증 사례로서, 전남농업기술원과 신젠타가 공동 개발한 육묘상 관주처리 신기술 농법 GroMore® 프로그램의 벼 생산성과 메탄 유래 온실가스 배출집약도를 평가하였다. 실증시험은 2025년 5월부터 10월까지 경기도 평택의 관행농가에서 수행하였다. 국내 관행 농가 논에서 GroMore-Duo와 GroMore-Star 프로그램을 질소 80 및 90 kg N ha^{-1} 수준과 조합하고, 무농약 대조구 (90 kg N ha^{-1}) 및 관행처리구(관행농약+90 kg N ha^{-1})와 비교하여 수량과 수량기준 온실가스 성과를 검토하였다. 정조 수량은 GroMore-Star N80의 6.54 Mg ha^{-1} 에서 GroMore-Duo N90의 9.88 Mg ha^{-1} 까지 분포하였다. 동일한 N90 조건에서 GroMore-Duo와 GroMore-Star의 수량은 관행처리구의 6.87 Mg ha^{-1} 보다 각각 43.8%와 31.7% 높았다. 질소를 11.1% 감축한 N80 조건에서 GroMore-Duo는 8.23 Mg ha^{-1} 의 수량을 나타내어 관행 N90보다 19.8% 높았으며, 무농약 N90의 7.76 Mg ha^{-1} 과 비교해서도 유사하거나 높은 생산성을 유지하였다. 반면 GroMore-Star N80의 수량은 6.54 Mg ha^{-1} 로 관행 N90과 통계적으로 유사하였다. 따라서 질소 감비에 대한 수량 반응은 프로그램 유형에 따라 달랐다. GroMore-Star N90은 9.05 Mg ha^{-1} 의 높은 수량과 가장 낮은 온실가스 배출집약도(GHGI, 0.69 kg CO_2-eq kg^{-1} grain)를 나타냈으며, 누적 메탄 배출량은 관행처리구보다 10.6% 감소하였다. GroMore-Duo N80의 GHGI는 0.75 kg CO_2-eq kg^{-1} grain으로 관행 N90의 1.02보다 낮았으나, GroMore-Star N80은 0.99로 관행처리구와 유사하였다. 모든 처리구의 출수기는 동일했지만, 로지스틱 분석에서 GroMore-Duo N90과 GroMore-Star N90의 메탄 누적 변곡점은 이앙 후 약 69일, 두 N80 처리는 약 75일에 나타났다. 반면 무농약 대조구와 관행처리구의 변곡점은 각각 86일과 89일이었다. 이는 GroMore® 프로그램과 질소 수준의 영향이 최종 누적 메탄 배출량뿐 아니라 메탄 누적이 집중되는 시기와 속도에도 반영되었음을 보여준다. 종합하면, N90 조건에서는 두 GroMore® 프로그램 모두 관행처리보다 높은 수량을 나타냈으며, GroMore-Star N90은 생산성과 수량기준 온실가스 성과의 균형이 가장 우수하였다. N80 조건에서는 GroMore-Duo가 질소 감비 가능성을 보였으나, GroMore-Star의 개선효과는 제한적이었다. 본 연구는 국가 지정 비료시험연구기관이 작물 생산성, 질소 감비, 온실가스 배출동태 및 토양 중 농약 잔류성을 연계하여 농자재 프로그램의 현장 적용성과 환경성을 종합평가할 수 있음을 보여준다. 또한 본 평가체계는 향후 비료 및 비료 연계형 농자재·기술의 우량비료 지정, 농림식품신기술 인증 및 관련 국가 기술·제품 지정에 필요한 과학적 실증자료를 생산하는 데 활용될 수 있다.

Keywords: GroMore® 프로그램, 벼 생산성, 메탄 배출, 온실가스 배출집약도, 질소 감비, 비료시험연구기관
주연구자 연락처: seanku@hknu.ac.kr (031-670-5085)

PA-043

바이오차 원료 및 투입 수준에 따른 토양 내 양분 방출 특성과 인(P) 이용성 평가

Soil Nutrient Release and Phosphorus Availability by Biochar Feedstock and Rate in Soil

이정민[1], 홍영규[1,2], 김진욱[1], 정호진[1], 김성철[1]*
Jeongmin Lee[1], Youngkyu Hong[1,2], Jinwook Kim[1], Hojin Jung[1], and Sungchul Kim[1]*
[1]충남대학교 생물환경화학과, [2]농촌진흥청 국립농업과학원 토양물환경과
[1]Department of Bio-Environmental Chemistry, Chungnam National University
[2]Soil and Water Environment Division, National Institute of Agricultural Sciences

바이오차는 폐기물 자원화 및 화학비료 사용 저감을 위한 친환경 토양개량제로 주목받고 있으나, 원료 특성, 탄화 방법 등에 따라 물리·화학적 특성이 크게 달라 토양 내 양분 공급 효과 또한 달라질 수 있다. 그러나 바이오차 원료 특성에 따른 양분 용출 거동과 토양 내 이용성에 대한 정량적 평가 연구는 제한적이다. 따라서 본 연구에서는 계분(chicken manure, CHM), 우분(cattle manure, CM), 왕겨(rice husk, RH) 및 목재 펠렛(wood pellet, W) 유래 바이오차를 토양에 0, 1, 2, 5%(w/w) 수준으로 처리하여 12주간 배양한 후, 무기태 질소(NH_4^+-N 및 NO_3^--N), 유효인산(Available P), 치환성 칼륨(Available K)과 토양 이화학적 특성 및 phosphatase 활성을 분석하여 원료별 양분 공급 특성을 평가하였다. 연구 결과, 가축분 유래 바이오차(CHM: 5.08%, CM: 3.62%)는 식물성 바이오차(RH: 0.11%, W: 0.25%) 대비 총 인의 함량이 높았으며, 1% 처리 수준에서도 유효인산이 각각 최대 114.9 mg kg^{-1}, 101.0 mg kg^{-1}까지 증가하여 높은 인 공급 효과를 나타냈다. 중복분석(Redundancy Analysis, RDA) 결과, RDA1과 RDA2는 각각 46.17%와 6.67%의 변이를 설명하여 총 52.84%의 변이를 설명하였다. 바이오차의 총인 함량(BC_TP)은 토양 유효인산, 유기물, 양이온교환용량 및 전기전도도와 동일한 방향에 위치하여 양의 관련성을 나타냈다. 반면 phosphatase 활성은 BC_TP와 반대 방향에 위치하여 음의 관련성을 보였다. 또한 CHM과 CM은 BC_TP 방향에 군집한 반면, RH와 W는 반대 방향에 분포하여 원료에 따른 특성 차이가 뚜렷하게 나타났다. 본 연구 결과는 가축분 유래 바이오차가 단기적인 '인(P) 공급원'으로서의 활용 가치가 높음을 입증한다. 따라서 가축분 바이오차 적용 시 토양 비옥도 증진 효과를 극대화하는 동시에, 화학 인산비료와의 병용에 따른 과도한 인 축적을 방지하기 위해 원료별 방출 특성을 고려한 인 중심의 정밀 시비 관리 전략이 필요하다.

주연구자 연락처: sckim@cnu.ac.kr (042-821-6737)

PA-044

유기농법을 시행한 기간에 따른 토양 내 양분 함량 변화

Change of Nutrient Balance in Organic Farming Soil Depending on Cultivation Period

홍영규[1,2], 김진욱[1], 이정민[1], 정호진[1], 김성철[1]*
Youngkyu Hong[1,2], Jinwook Kim[1], Jeongmin Lee[1], Hojin Jung[1], and Sungchul Kim[1]*
[1]충남대학교 생물환경화학과, [2]국립농업과학원 농업환경부 토양물환경과
[1]Department of Bio-Environmental Chemistry, Chungnam National University
[2]Soil and Water Environment Division, National Institute of Agricultural Sciences

유기농법은 토양 특성 개선과 생산성 향상에 효과가 있는 것으로 알려져 있으나, 그 기작은 아직 충분히 밝혀지지 않았다. 본 연구에서는 유기농 인증 기간이 서로 다른 유기재배 논을 대상으로 토양의 물리·화학·생물학적 특성 변화를 조사하고, 양분 축적 중심의 토양이 미생물에 의해 조절되는 양분 순환 중심의 토양으로 전환되는 과정과 이러한 변화가 벼 생산성에 미치는 영향을 평가하였다. 연구 결과, 인증 기간이 증가함에 따라 토양 유기물 함량은 42에서 35 g kg-1, 유효규산은 250에서 179 mg kg-1로 감소하였으며, 유효인산은 126에서 88 mg kg-1로 감소한 후 104 mg kg-1로 일부 회복되었다. 반면 미생물 생체량 질소(microbial biomass N, MBN)는 10.4에서 15.5 mg kg-1로 증가하였다. 토양 내 잔존 양분의 감소에도 불구하고 벼 수량은 5.5에서 6.4 t ha-1로 약 16% 증가하였는데, 이는 미생물 활성 증진에 따른 양분 이용 효율 향상에 기인한 것으로 판단된다. 토양경도는 3.40에서 3.58 kg cm-2로 증가한 후 10년 이상에서 2.29 kg cm-2로 감소하여 장기 유기재배에 따른 토양 구조의 회복 가능성을 나타냈다. 반면 내수성 입단은 23.5-25.2% 범위로 큰 변화를 보이지 않아 장기간의 담수 조건에서는 입단의 생성과 붕괴가 동적 평형 상태를 유지하는 것으로 해석되었다. 이러한 결과는 장기 유기재배가 토양을 양분 축적 중심에서 미생물에 의해 조절되는 양분 순환 중심으로 전환시키며, 이러한 변화가 토양 기능 개선과 안정적인 벼 생산성 유지에 기여할 수 있음을 시사한다.

주연구자 연락처: sckim@cnu.ac.kr (010-5035-0627)

PA-045

가뭄 및 과습 조건에서 시비 처리가 콩의 생육 및 양분 흡수에 미치는 영향

Effects of Fertilization on Soybean Growth, Yield, and Nutrient Use Efficiency under Drought and Excess Soil Moisture Conditions

강다현[1], 강태형[1], 신우성[1], 박원표[2]*
Da-Hyun Kang[1], Tae-Hyeong Kang[1], Woo-Sung Shin[1], and Wonpyo Park[2]*
[1]제주대학교 농학과, [2]제주대학교 식물자원환경전공
[1]Department of Agricultural Science, Jeju National University, Jeju 63243, Korea
[2]Plant Resources and Environment Major, College of Applied Life Science, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

기후변화로 인해 가뭄과 과습에 따른 토양 수분 변동성이 증가하면서 작물의 생육과 양분 이용 특성에도 변화가 예상된다. 이에 본 연구는 다양한 토양 수분 조건과 시비 처리가 콩의 생육, 양분 흡수 및 이용률에 미치는 영향을 평가하고, 기후변화에 대응한 양분관리 방안을 제시하고자 수행하였다. 실험은 제주대학교 내 시설하우스에서 수행하였으며, 토양 수분 조건은 토양 공극 내 수분함량(WFPS, water-filled pore space)을 기준으로 40%(가뭄), 60%(적정), 80%(과습)로 설정하였다. 시비 처리는 무시비구(CT), 무기질비료(NPK), 무기질비료+퇴비(NPK+C)로 구성하였으며, 생육 특성, 생육 단계별 양분 흡수량 및 양분 이용률을 조사하였다. 연구 결과, WFPS 60% 조건에서 콩의 생육과 수량이 전반적으로 양호하였으며, NPK+C 처리에서 수량이 253.6 kg $10a^{-1}$로 가장 높았다. 반면 WFPS 40%의 CT 처리에서는 수량이 155.7 kg $10a^{-1}$로 낮았으나, NPK 및 NPK+C 처리에서는 각각 239.5 및 238.8 kg $10a^{-1}$로 증가하여 가뭄 조건에서 시비에 따른 수량 감소 완화 효과가 나타났다. 또한 WFPS 80%의 NPK+C 처리에서는 잎과 종실의 질소 흡수량이 각각 11.97 및 5.09 g m^{-2}로 가장 높았으며, WFPS 40%의 CT 처리(잎 4.62, 종실 1.34 g m^{-2})와 비교하여 각각 약 159% 및 280% 증가하였다. 그러나 WFPS 80% 조건에서는 높은 양분 흡수량에도 불구하고 양분 이용률이 WFPS 60% 조건보다 낮게 나타나, 양분 흡수량의 증가가 수량 증가로 동일하게 이어지지는 않았다. 이러한 결과는 토양 수분 조건에 따라 콩의 양분 흡수와 이용률이 다르게 반응하며, 적정 수분 조건에서는 양분 흡수와 수량 생산이 보다 효율적으로 연계될 수 있음을 보여준다. 따라서 기후변화에 따른 극한 토양 수분 조건에서는 단순한 양분 공급량 조절보다 토양 수분 상태에 따른 양분 흡수와 이용률을 함께 고려한 시비 관리가 필요하다. 특히 가뭄 조건에서는 적절한 양분 공급을 통해 수량 감소를 완화하고, 과습 조건에서는 과도한 양분 공급과 손실을 최소화하면서 양분 이용률을 높일 수 있는 관리가 중요할 것으로 판단된다.

주연구자 연락처: oneticket@jejunu.ac.kr (010-6663-0306)

PA-046

고로슬래그 시용에 따른 밭토양 특성 및 상추 생육 반응

Blast Furnace Slag Application: Responses of Upland Soil Properties and Lettuce Growth

이태한, 정석순, 남성현, 김혁수*
Tae Han Lee, Seok soon Jeong, Seong hyeon Nam, and Hyuck Soo Kim*
강원대학교 바이오자원환경학과
Department of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

토양 기반 풍화촉진(Enhanced Weathering, EW)은 칼슘(Ca) 또는 마그네슘(Mg)이 풍부한 규산염 광물이나 산업 부산물을 분쇄한 후 토양에 살포하여 자연풍화를 촉진하고, 대기 중 CO_2를 중탄산이온(HCO_3^-) 형태로 전환·저장하는 기술이다. 현무암과 감람석은 대표적인 EW 소재로 활용되어 왔으나, 국내에서는 자원 확보에 한계가 있어 적용이 어렵다. 반면, 철강산업 부산물인 고로슬래그(Blast furnace slag, BFS)는 Ca와 Mg 등의 염기성 양이온과 규소(Si)를 함유하고 높은 알칼리성을 지녀 EW 소재로 활용 가능하며 농업적으로는 주로 규산질비료 형태로 논토양에 2 t ha^{-1} 수준으로 적용되어 왔다. 따라서 농경지 기반 EW의 적용 범위를 밭토양으로 확대하는 동시에, 고로슬래그 처리량에 따른 토양 특성과 작물 생육 반응을 평가할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 포트시험을 통해 고로슬래그를 20 및 50 t ha^{-1} 수준으로 처리하고, 토양 특성과 상추(*Lactuca sativa*)의 생육 및 생리적 반응을 평가하여 동일 처리량의 현무암(Basalt, Ba)과 비교하였다. 그 결과, BFS 처리구의 토양 pH는 대조구 및 동일 처리량의 Ba 처리구보다 높게 나타났다. 교환성 Ca^{2+}와 Mg^{2+}는 BFS 처리량에 따라 증가하였으며, 특히 교환성 Ca^{2+}는 대조구 대비 BFS 처리구에서 33-60%, Ba 처리구에서 5-14% 증가하였다. 유효규산도 BFS 처리량에 따라 증가하였다. 탈수소효소 활성(DHA)은 Ba 처리구에서 대조구와 유의한 차이가 없었으나, BFS 처리구에서는 높게 나타났다. 또한, 식물 스트레스 지표인 MDA 함량은 BFS와 Ba 처리구 모두 대조구보다 낮았으며, 광화학적 스트레스 정도를 나타내는 Ctr1은 BFS 처리구에서 가장 낮게 나타나 식물 스트레스가 효과적으로 완화되었음을 확인하였다. BFS 처리는 상추의 지상부와 지하부 생체중을 대조구 대비 각각 28-50%와 33-73%, 건물중을 각각 11-52%와 28-84% 증가시켰다. Ba 20 t ha^{-1} 처리구의 생육은 대조구와 유사했으며, Ba 50 t ha^{-1} 처리구는 BFS 20 t ha^{-1} 처리구와 유사한 수준을 보였다. 결과적으로 BFS 처리는 토양 pH, 교환성 Ca^{2+}와 Mg^{2+} 및 유효규산 함량을 증가시켰으며, 식물 스트레스 관련 지표를 감소시키고 상추 생육을 증진하였다. 특히 동일 처리량의 현무암보다 토양 특성 개선과 작물 생육 증진 효과가 높게 나타났다. 이러한 결과는 기존 규산질비료의 일반적인 시용 수준(2 t ha^{-1})보다 높은 20-50 t ha^{-1}의 시험 범위에서 고로슬래그 처리량 증가에 따라 토양 특성과 상추 생육이 전반적으로 개선되었음을 보여주며, 농경지 기반 EW를 밭토양으로 확대할 경우 CO_2 제거 효과뿐만 아니라 농업적 부가효과를 기대할 수 있음을 시사한다.

주제어: 고로슬래그, 현무암, 상추, 토양 화학성, 생리적 반응
주연구자 연락처: kimhs25@kangwon.ac.kr (033-250-6442)

PA-047

시설작물(시금치, 토마토, 풋고추) EC 분포 및 수량에 미치는 영향

Assessment of Soil EC Variation and its Influence on Crop (Spinach, Tomato, and Green Pepper) Productivity in Plastic Film Greenhouse

김명숙*, 이은진, 이태구, 정하일
Myung-Sook Kim*, Eun-jin Lee, Tae-Gu Lee, and Ha-il Jung
국립농업과학원 토양물환경과
Division of Soil and Water Environment, National Institute of Agricultural Sciences

시설작물 재배 농업인들은 다수확 생산과 1년에 여러작기 재배(2-3작기 등)를 위해 비료를 과다하게 투입함으로써, 염류집적 문제가 심화되고 있다. 본 연구에서는 토양전기전도도의 적정관리 기준을 제시하고자 시설작물 중 시금치, 토마토, 풋고추를 대상으로 작물 재배 중에 채취한 토양 분석치와 작물생산량을 조사하여 이들 작물 생산에 적정한 EC 범위, EC 증가에 따른 작물의 수량 감소 정도를 평가하였다. 시설 작물 (시금치, 토마토 및 풋고추) 재배지 토양의 EC에 영향을 주는 토양 요인과 작물수량의 감소 정도를 조사한 결과, 시설시금치와 시설토마토 재배지는 질산 및 염소이온이, 시설풋고추 재배지는 염소 및 칼륨이온의 영향이 크게 나타났다. EC가 증가함에 따라 시설 작물 (시금치, 토마토 및 풋고추)의 수량도 감소하였는데, 특히 염류에 강한 대목을 사용한 토마토와 내병성에 강한 대목을 사용한 풋고추는 상대수량의 감소 양상이 FAO에서 제시한 것과 차이가 크게 나타났다. 다시 말하면, 동일한 EC 수치에서 토마토와 풋고추의 상대수량이 높게 평가되어 작물의 내염성은 커졌음이 확인되었다. 그리고 작물별 수량이 높은 EC의 범위는 시금치는 1.0 - 1.5 dS m-1, 토마토는 1.0 - 2.0 dS m-1, 풋고추는 2.5 - 3.5 dS m-1였다. EC를 적정 범위내로 관리하기 위해서는 수용성 양이온과 음이온 분석을 실시하여 염류성분을 알아내고, 이를 포함하는 비료 성분의 사용량을 줄여야 하겠으며, 제염 등의 영농학적 조치도 병행되어야 한다.

주연구자 연락처: E-mail. msk74@korea.kr (063-238-2440)

PA-048

충북지역 논토양에서 비료의 장기연용 효과 시험(1998~2025)

Effects of Long-Term Fertilization on Paddy Soil in the Chungbuk Province (1998~2025)

진미지*, 조도연, 김선국, 윤향식
Mejee Jin*, Doyeon Cho, Sunkook Kim, and Hyangsik Yoon
충청북도농업기술원
Chungcheongbukdo Agricultural Research and Extension Services

본 연구는 논토양에서 비료 및 유기물 등의 장기 연용 처리가 토양의 화학적 특성 변화와 벼의 수량에 미치는 영향을 장기적으로 분석하여 안정적인 쌀 생산 및 지속 가능한 논토양 양분 관리 체계를 구축하기 위한 기초 자료를 제공하고자 수행되었다. 시험장소는 충청북도농업기술원 내 논 시험포장이었으며, 처리구는 무비구, 유기물구, 규산구, 질소구, 인산구, 칼리구, 3요소구, 3요소+유기물구, 3요소+규산구, 3요소+유기물+규산구 등 총 10개 처리로 처리당 300 m^2로 구성되었다. 시험 품종은 시대적 변화에 따라 추청벼('06~'19), 진수미('20), 참드림('21~25)이었으며, 매년 일정한 시기(5. 26.~29.)에 재식거리 16×30 cm로 이앙하여 토양의 화학적 변화 특성과 벼의 생육 지표, 정조 수량 등을 조사·분석하였다. 1998년부터 2025년까지 장기 모니터링 결과, 비료와 유기물 처리에 따른 토양화학성의 뚜렷한 개선 효과가 확인되었으며, 특히 유기물의 경우 3요소+유기물구, 3요소+유기물+규산구의 경우 최근 연차에서 18.6~20.0 g/kg으로 시험 전 데이터 대비 높은 수준을 유지하여 유기물 축적 경향이 가장 두드러졌다. 주요 측정연도('98, '04, '17, '23년) 데이터를 평균화하였을 때, 무비구의 평균 간장은 67.4 cm, 수수는 10.1개/주로 제한적인 성장을 보인 반면, 3요소를 처리한 처리구의 평균 간장은 79.5 cm, 수수는 14.6개/주로 생육이 촉진되었으며, 전체 처리구 평균수량이 1998년 471.2 kg/10a, 2004년 461.8 kg/10a, 2017년 509.5 kg/10a, 2023년 683.0 kg/10a로 점진적으로 상승하는 경향을 보였다. 2006년부터 2016년까지의 정조수량을 분석한 결과 3요소+유기물+규산, 3요소+유기물 및 3요소구가 평균적으로 600kg/10a 이상의 가장 높은 정조수량 달성해 장기 양분 관리가 중요하다고 판단되었으며, 무비구는 지속적으로 300~400 kg/10a 수준으로 가장 낮은 경향이었다. 이처럼 논토양에서 무비 재배는 토양 양분 고갈 및 수량의 급격한 감소를 초래할 수 있으며, 3요소, 유기물 및 규산의 장기적이고 균형 있는 시비가 토양의 지력증진 및 토양산도 개선을 유도하여 벼의 안정적인 다수확을 견인하는 핵심 전략으로 판단되었다.

주연구자 연락처: mj6046@korea.kr (043-220-5662)

PA-049

소면적 재배 작물 근대의 토양검정에 의한 비료사용처방 기준설정

Estimation of Fertilization Standards based on Soil Testing of *Beta vulgaris* var. *cicla* L. as a Minor Crop

소호섭[1]*, 안희정[1], 이정혜[1], 장재은[1], 서재순[1], 정재원[1], 이예진[2], 박중수[1]
Hoseup Soh[1]*, Hee-Jung An[1], Jung-Hye Lee[1], Jae-Eun Jang[1], Jae-Soon Seo[1], Jaewon Jeong[1], Yejin Lee[2], and Jung-Soo Park[1]
[1]경기도농업기술원, [2]국립농업과학원
[1]Gyeonggi-do Agricultural Research and Extension Services
[2]National Institute of Agricultural Sciences

농업·농촌의 공익적 가치를 증진하기 위한 공익직불제 시행으로 농업인은 화학비료 사용기준을 준수해야 한다. 농업인이 화학비료를 사용기준에 맞게 사용하기 위해서는 토양검정 후 비료사용 처방서에 따라 화학비료를 정량 살포해야 하나 상대적으로 재배면적이 적은 작물은 시비량 기준이 없어 처방서 발급이 어려운 실정이다. 본 연구에서는 아직 비료사용 기준이 설정되지 않은 소면적 작물인 근대의 농가 현장 비료사용량과 토양 화학성을 조사하였고, 작물의 양분흡수량을 분석하였다. 경기도 근대 재배 21농가를 선정하여 비료사용량을 조사한 결과, 근대 재배농가의 평균 비료사용량은 질소-인산-칼리=27.8-18.7-21.5 kg/10a 이었으며, 재배지역 토양의 EC, 유효인산 및 교환성 양이온 함량은 시설재배지 적정범위에 비해 매우 높았으나 pH와 OM 함량은 적정범위 내에 있었다. 화학비료 시비량과 토양화학성의 상관관계를 분석한 결과 질소(N) 비료 시비량은 토양의 EC, 인산(P) 비료 시비량은 토양 유효인산, 칼리(K) 비료 시비량은 토양의 칼륨염기비에 유의한 상관을 보여 근대의 비료 표준사용량과 토양검정 비료추천식을 도출하였다. 조사결과를 통해 근대 재배농가는 토양검정에 따른 시비처방으로 적정량의 비료를 사용함으로써 토양 양분의 균형관리와 비료 사용량 감소에 기여할 것으로 판단된다.

사사: 본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: RS-2021-RD009117)의 지원에 의해 수행되었음

주제어: 근대, 토양검정, 비료사용처방
주연구자 연락처: sohhs@gg.go.kr (031-8008-9341)

PA-050

제주지역 '감평' 재배농가의 시비 실태 및 토양 화학성과 잎 양분 함량 간의 관계

Fertilization Practices and Relationships between Soil Chemical Properties and Leaf Nutrient Concentrations in 'Kanpei' Citrus Orchards in Jeju, Korea

이용우*, 김효정, 고윤정, 오민아, 고정연, 이서영, 고순보
Yong Woo Lee*, Hyo Jeong Kim, Yoon Jeong Ko, Min Ah Oh, Jeong Yeon Ko, Seo Yeong Lee, and Sun Bo Ko
제주특별자치도농업기술원
Jeju Special Self-governing Province Agricultural Research and Extension Services

2024년 기준 제주지역의 만감류 재배면적은 4,279 ha이며, 이 중 '감평'은 1,882농가에서 925 ha 규모로 재배되어 연간 18,972톤을 생산하는 주요 품종이다. 그러나 '감평' 재배지의 토양 양분 상태를 반영한 토양검정 비료사용기준은 마련되어 있지 않다. 본 연구는 제주지역 '감평' 재배농가의 연간 비료사용 실태를 조사하고, 토양 화학성과 잎의 양분 함량 간 관계를 분석하여 토양검정 비료사용기준 설정을 위한 시비처방 요인을 검토하고자 수행하였다. 2025년 2-3월 비료 살포 전 '감평' 재배농가 32개소에서 토양을 채취하여 pH, 전기전도도(EC), 유기물, 유효인산 및 교환성 양이온(K, Ca, Mg) 등을 분석하였다. 동일 재배지에서 7월에 녹화가 완료된 봄잎을 채취하여 질소, 인산 및 칼리 함량을 분석하였으며, 농가의 연간 비료사용량을 조사하였다. 농가의 평균 비료사용량은 질소, 인산, 칼리가 각각 41.5, 27.6, 29.9 kg $10a^{-1}$이었으며, 질소는 11.0-69.3 kg $10a^{-1}$, 인산은 6.4-62.3 kg $10a^{-1}$, 칼리는 8.3-54.6 kg $10a^{-1}$의 범위를 보여 농가 간 차이가 크게 나타났다. 토양의 평균 pH와 EC는 각각 5.5와 3.8 dS m^{-1}이었고, 유기물과 유효인산 함량은 각각 85 g kg^{-1}과 468 mg kg^{-1}, 교환성 K, Ca 및 Mg 함량은 각각 4.5, 15.2 및 5.7 cmolc kg^{-1}로 시설재배지 적정범위를 초과하여 양분 집적이 우려되었다. 잎의 양분 함량 분석 결과, 질소, 인산 및 칼리 함량은 각각 2.81, 0.37 및 2.28% 이었으며, 질소 함량은 토양 전기전도도와는 유의한 관계가 없었으나, 유기물 함량과는 유의한 부의 상관관계를 나타냈다($r=-0.38$, $p<0.05$). 인산 함량은 토양 유효인산 함량과 유의한 정의 상관관계를 나타냈으며($r=0.50$, $p<0.01$), 잎 칼리 함량은 토양 교환성 K 함량과 높은 정의 상관관계를 나타냈다($r=0.75$, $p<0.001$). 회귀분석 결과, 토양 EC와 유기물 함량에 따른 잎 질소 함량의 결정계수는 각각 0.07과 0.15였으며, 토양 유효인산 함량과 잎 인산 함량 간 결정계수는 0.25, 교환성 K 함량과 잎 칼리 함량 간 결정계수는 0.57이었다. 이러한 토양 양분상태와 잎의 양분함량 간 관계는 '감평' 재배지의 토양검정 비료사용기준을 설정하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

주연구자 연락처: dyddn2562@korea.kr (064-760-7534)

PA-051

농업환경변동조사 자료를 활용한 농경지 이용형태별 토양비옥도 변화 평가

Assessment of Changes in Soil Fertility of Korean Agricultural Soils Using National Agricultural Environment Monitoring Data

윤정환*
Junghwan Yoon*
강원대학교 바이오자원환경학과
Department of Biological Environment, Kangwon National University

우리나라에서는 농업자원의 보전과 농업환경의 개선을 목적으로 1999년부터 농업환경변동조사를 수행하고 있고, 이는 우리나라 농경지의 토양 특성과 장기적인 변화 양상을 파악할 수 있는 대표적인 자료이다. 그러나 기존 조사 결과는 주로 개별 토양 특성의 평균값, 분포 및 적정범위 충족 여부를 중심으로 제시되어 왔으며, 여러 토양 화학성을 하나의 지수로 통합하여 농경지의 전반적인 비옥도 수준과 장기적인 변화를 평가한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 기존 연구에서 개발한 토양비옥도 평가모형에 2024년까지 수행된 농업환경변동조사의 토양 화학성 분석자료를 적용하여 우리나라 농경지의 토양비옥도 변화를 평가하였다. 평가항목 중 pH, 유효인산 및 교환성 양이온에는 적정 범위에서 점수가 가장 높게 산정되는 'optimum is better' 모형을 적용하였다. 유기물에는 함량이 증가할수록 높은 점수를 부여하는 'more is better' 모형을 적용하였으며, 전기전도도에는 낮을수록 높은 점수를 부여하는 'less is better' 모형을 적용하였다. 각 항목의 점수를 통합하여 논, 밭, 과수원 및 시설재배지의 시기별 토양비옥도 변화를 비교하였다. 평가 결과, 논, 밭 및 과수원에서는 토양 유기물 함량이 점차 증가하였으며, 유기물에 'more is better' 모형을 적용한 영향으로 종합 토양비옥도 점수도 대체로 증가하는 경향을 보였다. 반면 시설재배지에서는 유효인산과 교환성 양이온 함량이 적정범위를 초과하면서 해당 항목의 점수가 감소하였고, 전기전도도 역시 지속적으로 높은 수준을 나타내어 종합 토양비옥도 점수가 낮아지는 경향을 보였다. 이에 따라 토양비옥도는 시설재배지를 제외한 논, 밭 및 과수원이 5점 만점 기준 4.0 이상으로 나타나 우리나라 일반 농경지의 토양비옥도는 전반적으로 양호한 수준인 것으로 판단되었다. 그러나 시설재배지는 유효인산, 교환성 양이온 및 염류의 과도한 축적으로 인해 다른 농경지보다 상대적으로 낮은 토양비옥도를 나타냈다. 이러한 결과는 토양 양분 함량의 단순한 증가가 반드시 토양비옥도의 향상을 의미하지 않으며, 작물 생육에 적합한 범위에서 양분 간 균형을 유지하는 것이 중요함을 보여준다. 특히 시설재배지에서는 비료 투입량 조절, 토양검정 기반의 양분관리 및 염류집적 저감 대책이 우선적으로 마련될 필요가 있다.

주연구자 연락처: yoonfnfg@hanmail.net (010-4007-8997)

PA-052

뿌리작물 재배 시 바이오차의 비료 저감효과

Effects of Biochar Application on Fertilizer Reduction in Root Crop Cultivation

김동민*, 홍수영, 홍성유, 김희연, 허수정, 김기선
DongMin Kim*, SooYoung Hong, SeongYu Hong, HeeYeon Kim, SuJeong Heo, and Kisun Kim
강원특별자치도농업기술원
Gangwon State Agricultural Research & Extension Services

바이오차는 Biomass와 Charcoal의 합성어로써, 산소공급이 제한된 조건에서 농업부산물, 가축분 등의 유기물을 350°C 이상의 온도에서 열분해하였을 때 만들어지는 고탄소 물질이다. 바이오차는 토양 내에서 분해되지 않고 수백년에서 수천년 이상 탄소 저장기간을 가지며, 국제적으로 온실가스 배출 저감 수단으로 인정되었다. 국내에서는 2024년 바이오차의 토양개량 효과 등을 인정받아 비료공정 규격에 등록되었다. 본 연구는 뿌리작물 재배 시 목재(농림부산물) 및 계분(가축분) 바이오차의 비료 저감효과를 구명하기 위해 수행되었다. 당근, 무를 강원특별자치도농업기술원 시험연구 포장에서 바이오차 처리 및 NPK 비료를 감비하여 재배하였다. 관행시비 및 바이오차 원료별 처리 4,000kg ha^{-1} 후 토양 검정에 따른 비료사용량에서 감비 10, 20, 30, 40%를 처리하였다. 이후 작물생육 및 수량, 토양화학성, 양분이용효율 등을 분석하였다. 당근은 목재 바이오차 처리에서 감비율 20% 처리구가 수량 32,600kg ha^{-1}으로 가장 높은 값을 나타냈으며, 감비율 30%까지 바이오차 무처리(관행)의 엽중, 근중, 수량을 유지하였다. 감비율 40%에서는 수량이 감소하였다. 계분 바이오차 처리에서는 감비율 40% 처리구에서 수량 32,280kg ha^{-1}으로 가장 높은 수량을 나타냈다. 감비율 40%까지 바이오차 무처리(관행)과 유의한 수량 차이가 없었다. 무 또한 목재 및 계분 바이오차 처리 시 감비율 30% 까지 수량에 유의한 차이가 없었으며, 감비율 40%에서는 생육이 저하되었다. 질소, 인산, 칼리 3요소 부분요인 생산성 분석은 비료 사용량에 대한 작물 수확량의 비율을 환산하였다. 당근, 무 공통으로 목재 바이오차는 감비율 30%에서, 계분 바이오차는 감비 40%에서 비료 투입량 대비 생산성이 높았다. 위 결과는 바이오차의 시용이 비료이용효율을 향상할 수 있고, 동일한 NPK 비료 투입량 대비 더 높은 수량을 확보할 수 있는 것으로 판단된다.

주연구자 연락처: kk2021@korea.kr (033-248-6095)

PA-053

생분해성 완효성 비료 처리 수준에 따른 고추 생육 및 질소 이용 효율 평가

Effects of Biodegradable Controlled-Release Fertilizer Levels on Growth and Nitrogen Use Efficiency of Pepper

홍영규*, 박혜진, 이찬욱, 이예진, 김명숙
Youngkyu Hong*, Hyejin Park, Chanwook Lee, Yejin Lee, and Myungsook Kim
국립농업과학원, 농업환경부, 토양물환경과
Division of Soil and Water Environment, Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Scienc

국내 농업분야는 비료 사용량 증가, 농업인구 감소 및 고령화로 인한 노동력 부족의 문제가 대두되며, 완효성 비료의 수요와 사용량이 증가하고 있다. 그러나, 난분해성 수지 피복 완효성 비료는 단기적으로 농경지의 심미적 환경을 해치고, 완효성 비료의 효율적인 이용과 더 불어, 장기적으로는 농업환경 내 영향을 최소화하는 관리가 필요하다. 이를 개선하기 위해 생분해성 수지 피복 완효성 비료 제품들이 생산되고 있으며, 이에 맞춰 본 연구는 생분해성 완효성 비료 처리가 고추의 생육 특성과 질소 이용 효율에 미치는 영향을 평가하고, 비료사용처방의 시비 효율 제고 및 환경 오염을 줄일 수 있는 최적의 시비 방법을 모색하고자 수행하였다. 생분해성 완효성 비료의 처리 수준을 3수준(토양검정량 대비 100%, 80%, 70%)으로 처리한 후 밭 작물 중 고추를 재배하였다. 고추를 정식한 뒤 약 70일 후 초장, 생체중, SPAD 등 주요 생육 지표와 토양 분석을 실시하였다. 본 연구 결과 무처리구(비료를 시비하지 않음) 대비 초장은 100%, 80%, 70% 처리구에서 각각 11.1%, 7.1%, 8.5% 증가하였으며, SPAD 값은 10.1%, 12.6%, 7.8% 증가하였다. 이는 생분해성 완효성 비료가 고추 생육기간 동안 양분을 점진적으로 공급함으로써 신장 생육과 엽록소 형성과 유지에 기여했음을 시사 한다. 또한, 80% 처리구에서 가장 높은 SPAD 증가율이 확인되어, 비료 사용량을 일부 저감 하더라도 생육 중기까지 작물의 영양 상태를 유지할 수 있다고 판단된다.

주연구자 연락처: hyk8895@korea.kr (063-238-2441)

PA-054

Biochar Enhances Fe and Zn Biofortification and Modulates *ZIP* Transporter Gene Expression in Kimchi Cabbage

Periyasamy Rathinapriya, Tae-Jun Lim, Byeongeun Kang, and Seung Tak Jeong*
Horticultural and Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, Wanju-gun 55365, Republic of Korea

Improving plant nutrient uptake from soil is essential for enhancing horticultural crops nutritional quality. Biochar(BC) is a potential soil amendment; however, soil-to-plant micronutrient uptake, edible tissue-accumulation, and transporter-gene expression remain unclear. This study investigated three concentrations of BC(5, 10, and 15 t ha^{-1}) combined with NPK fertilization in Kimchi cabbage(*Brassica pekinensis* L.) using soil analysis, plant growth, leaf mineral profiling, targeted gene-expression, and explainable machine learning. BC improved soil organic matter, available phosphorus, exchangeable cations, and Fe/Zn status. Among treatments, 5BC+NPK produced highest shoot fresh weight, shoot width, root dry weight, and yield. Additionally, 5BC+NPK significantly enriched Zn and Fe concentrations in the leaf, reaching 151.52 and 353.85 mg kg^{-1}, respectively. *BoZIP6* gene strongly induced under 5BC+NPK, whereas *BoZIP9* showed maximum expression under 10BC+NPK. Polynomial ridge regression identified BC application, growth traits, leaf Fe/Zn and gene expression as important predictors of Fe/Zn enrichment. Overall, this integrated framework highlights BC amendment as a promising strategy for improving crop productivity, Fe/Zn biofortification, and sustainable horticultural production.

Acknowledgement: This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science and Technology Development (Project No. PJ017152)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

Keywords: Biochar; Biofortification; Kimchi cabbage; Gene expression; Micronutrients; Zinc regulated and iron regulated transporter (ZIP)
Correspondence: jst0ry@korea.kr (063-238-6354)

PA-055

Effects of Combined Organic and Inorganic Fertilization on Soil Enzyme Activities during Paddy-to-Soybean Conversion

Lakmini T. Godagedara[1], Ju Young Cho[1], Dae Hyeon Kim[1], Seung Ju Shin[1], and Yong Bok Lee[2]*
[1]Division of Applied Life Science (BK21 Four), Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea
[2]Institute of Agriculture and Life Science (IALS), Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

Declining domestic rice consumption in South Korea has encouraged the conversion of paddy fields to upland soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) production systems. Because the transition from flooded to drained conditions alters soil redox status and microbial activity, understanding fertilizer effects on biological nutrient cycling is important for the sustainable management of paddy-derived soils. This study aimed to determine the effects of long-term fertilizer management across three paddy-derived cropping systems-continuous rice paddy (PF), rice-soybean rotation (RSF), and continuous soybean cultivation in drained paddy soil (DSF). Surface soils (0-20 cm) were collected from three fertilizer treatments: an unfertilized control, mineral NPK fertilizer, and combined NPK + compost. Enzyme activities associated with C, N, P, and S cycling were measured, together with dehydrogenase activity.

These soil biological indicators exhibited treatment- and cropping-system-specific responses. Under NPK + compost, N-acetyl-β-D-glucosaminidase activity increased by 130% in DSF, and alkaline phosphatase activity showed a 145% enhancement in RSF. β-Glucosidase and arylsulfatase activities increased by 57-85% and 29-52%, respectively, across the three cropping systems. Mineral NPK significantly increased acid phosphatase activity by 74%, 54%, and 22% in RSF, PF, and DSF, respectively. Dehydrogenase activity was significantly greater under NPK + compost in PF and DSF soils, whereas it did not differ significantly among fertilizer treatments in RSF.

Overall, these findings indicate that the combined organic and inorganic fertilization can strengthen soil biological functioning across paddy-derived cropping systems and may contribute to their sustainable management during conversion to soybean production.

Acknowledgements: This work was supported by a grant from the Rural Development Administration, Republic of Korea (RS-2024-00398135).

Keywords: Soybean, paddy conversion, soil enzyme activity, integrated nutrient management
Correspondence: yblee@gnu.ac.kr (055-772-1967)

PA-056

배추 재배에서 바이오차 시용에 따른 토양검정 비료추천량과 생육 변화

Inflence of Biochar Application on Soil Test-Based Fertilizer Recommended Rates and Chiense Cabbage Growth

안진희*, 이찬욱, 박혜진, 이예진
Jin-Hee An*, Chan-Wook Lee, Hye-Jin Park, and Ye-Jin Lee
농촌진흥청 국립농업과학원 토양물환경과
Division of Soil and Water Environment, National Institute of Agricultural Science

바이오차는 난분해성 탄소를 함유하고 있어 지속적으로 토양에 시용할 경우, 토양의 유기물 함량이 높게 산정될 수 있다. 본 실험은 바이오차를 시용한 토양에서 토양검정 비료추천 기준을 적용할 수 있는지 확인하자 하였다. 재배 토양은 노지 밭토양 적정 유기물 함량 (20~30 g kg-1)을 기준으로 미만, 적정, 초과인 3가지 토양에 각 토양별로 목질계와 왕겨 바이오차 2종을 각각 200 kg 10a-1 수준으로 하여 1/2500a 포트에 충진하였다. 처리는 질소 무비구(N0), Tyurin법으로 산정된 질소 처리구(N-Ty)와 원소분석기법으로 산정된 질소 처리구(N-CN)으로 하였다. 포트에 배추 (Hwiparam, 사카타 코리아㈜, Korea) 모종을 정식하여 생육 및 질수 흡수량 등을 조사하였다. 토양검정 비료 추천 기준에 따른 질소 비료량은 N-CN에서 N-Ty보다 1.9~4.5 N kg 10a-1 정도 적게 처방되었다. 유기물 3수준 모두 N0에서 초장, SPAD와 엽수가 모두 낮았으며, N-Ty에서 N-CN보다 높은 경향을 보였다. 배추의 생체중은 -8.8~20.7%정도로 N-Ty구에서 N-CN구보다 높았다. 따라서 바이오차 시용량이 많거나, 연용하여 토양에 탄소 함량이 상승한 경우에는 원소분석기로 분석하였을 때 질소 처방량이 적어져 작물 생육에 영향을 미칠 수 있으므로 질소 비료 사용량을 조절할 필요가 있다고 판단된다.

주제어: 토양 유기물 함량, 질소 비료량, Tyurin법, 원소분석기법
주연구자 연락처: cutefist@korea.kr (01071192694)

PA-057

부산석고 처리가 가축분뇨 퇴비화 중 암모니아 저감 및 퇴비 품질개선에 미치는 영향 평가

Effects of Phosphogypsum (PG) Treatment on Ammonia Reduction and Compost Quality during Livestock Manure Composting

석영주[1]*, 오영아[1], 박병준[2], 남성현[2], 유지은[2], 황조은[2], 김혁수[2]
Yeong-Ju Suk[1]*, Yeong-A Oh[1], Byung-Jun Park[2], Seong-Hyeon Nam[2], Ji-Eun Yoo[2], Jo-Eun Hwang[2], and Hyuck-Soo Kim[2]
[1]남해화학(주) 농자재연구팀, [2]강원대학교 바이오자원환경학과
[1]Agro-material Research Team, Namhae Chemical Corp.
[2]Department of Biological Environment, Kangwon National University

가축분뇨 퇴비화 과정에서 발생하는 암모니아(NH_3) 등의 악취 가스를 저감하기 위해 탈취제·방향제·미생물제제 살포, 악취방지시설 운영 등의 다양한 방법을 사용하고 있다. 하지만 이러한 방법은 주기적인 사용이 필요하며 고가의 설치 및 운영비용 등의 문제가 있다. 기존의 문헌에서 퇴비에 부산석고(PG, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$)를 혼합하면 퇴비의 pH가 감소하여 휘발성 암모니아(NH_3)의 배출이 감소하고, PG가 암모니아(NH_3)와 이산화탄소(CO_2), 수분(H_2O)과 반응하여 황산암모늄($(NH_4)_2SO_4$)을 형성하는 것을 확인하였다. 본 연구는 국내에서 인산비료 생산 중 발생하는 PG를 퇴비화 과정에 혼합하여 PG 혼합 퇴비의 NH_3 배출 특성 및 품질을 분석하고, PG 혼합 퇴비가 작물 생육에 미치는 영향을 평가하였다. 퇴비 제조는 강원도 횡성군에 위치한 통풍식 퇴비화 시설에서 진행하였으며 퇴비 원료에 PG를 5%, 10%(w/w) 혼합하고 15일간 호기 반응을 거친 후 42일간 후숙하였다. 퇴비 제조 중 온도, NH_3 배출량, 부숙도를 모니터링하고 부숙이 완료된 퇴비는 비료공정규격 분석항목과 pH, EC, 양분함량 등 이화학적 분석 및 상추 재배시험(pot)을 수행하였다. 퇴비화 기간 중 NH_3 배출량의 총합은 PG 5%, PG 10% 처리구에서 무처리구 대비 각각 47%, 73% 감소하였고, PG 혼합 처리구에서 퇴비의 반응온도가 최대 75°C까지 증가하여 부숙 기간이 단축되었다. PG 혼합퇴비는 비료공정규격을 만족하였고 무처리구 대비 무기태질소·황·교환성 칼슘 등 양분함량이 증가하였으며 상추 재배실험에서 일반 퇴비 대비 작물 생육이 개선되었다. 따라서 PG는 퇴비화 부숙과정에서 사용되는 광물질 중 악취를 효과적으로 저감하고 농업 생산성 향상에 기여할 수 있는 우수한 퇴비 원재료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

주연구자 연락처: wjdeka819@nhchem.co.kr (061-688-5794)

PA-058

충북지역 밭 토양 화학적 변화 특성

Characteristics of Chemical Property Changes of Upland Field Soils in Chungbuk Province

조도연*, 진미지, 윤향식
Do-Yeon Cho*, Mejee Jin, and Hyang-Sik Yoon
충청북도농업기술원
Chungbuk-do Agricultural Research and Extension Services

친환경농어업 육성 및 유기식품 등의 관리·지원에 관한 법률 제11조에 따라 충북지역 농경지 토양화학성 변동조사를 4년 1주기로 실시하고 있다. 충북지역은 도내 밭 토양 180지점을 대상으로 표토(0~15 cm)를 채취하여 pH, EC, 유기물, 유효인산, 교환성 양이온(K, Ca, Mg) 및 중금속 8성분을 농촌진흥청 토양화학분석법에 따라 분석하였다. 2025년 충북지역 밭 토양의 평균 pH는 6.7, EC 0.63 dS m^{-1}, 유기물 23 g kg^{-1}, 유효인산 587 mg kg^{-1}이었으며, 교환성 K, Ca, Mg는 각각 0.71, 7.1, 1.9 cmolc kg^{-1}이었다. pH, EC, 유기물, 교환성 K 및 Mg는 적정범위에 있었으나 유효인산과 교환성 Ca는 적정범위를 초과하였다. 작물별로는 과채류와 서류 재배지에서 유효인산이 각각 718, 710 mg kg^{-1}으로 다른 재배지보다 높게 나타났다. 유효인산은 과다한 지점과 부족한 지점이 함께 나타나 재배지에 따라 차이가 컸다. 중금속 8성분은 180지점 모두 토양오염우려기준을 초과하지 않았다. 2021년 결과와 비교하면 pH, 유효인산, 구리 및 아연은 증가하였으나 EC, 납 및 카드뮴은 감소하였다. 이는 토양개량제 투입 등 토양관리와 재배지별 시비 관리의 차이가 복합적으로 작용한 결과로 사료된다. 특히 유효인산과 교환성 Ca의 적정범위 초과가 지속되고 있어 토양검정을 통한 양분관리가 필요한 것으로 판단된다.

주연구자 연락처: doyeon98@korea.kr (043-220-5663)

PA-059

강원지역 농경지 토양화학성 변화(1999~2025)

Changes in Chemical Properties of Farmland Soils in Gangwon State (1999~2025)

허수정[1]*, 김희연[1], 홍수영[1], 홍성유[1], 김동민[1], 김기선[1], 이은진[2]
Su Jeong Heo[1]*, Hee Yeon Kim[1], Soo Young Hong[1], Seong Yu Hong[1], Dong Min Kim[1], Ki Sun kim[1], and Eun Jin Lee[2]
[1]강원특별자치도 농업기술원, [2]농촌진흥청 국립농업과학원
[1]Gangwon State Agricultural Research and Extension Services
[2]National Institute of Agricultural Science, RDA

농업환경 보전을 위해 국가정책에 기반한 전국 농경지 토양화학성 모니터링은 안전한 식량 공급과 지속 가능한 농업을 위한 것으로 1999년부터 농촌진흥청과 도 농업기술원은 전국 농지(논, 밭, 과수원, 온실)의 토양화학성을 토지 이용유형에 따라 4년 1주기로 조사하였다. 본 연구는 강원지역 농경지의 토양화학성 분석 자료를 바탕으로 토지 이용유형 별 변동 평가를 목적으로 하였다. 토지 이용유형 별 토양화학성을 보면, 밭, 과수원, 온실에서는 토양 pH가 6.3~6.4였고, 논 토양은 약 6.0이었다. 전기전도도(EC), 유효인산, 교환성 양이온은 시설재배지에서 가장 높았고, 밭, 과수원, 논 순이었다. 토양 유기물 함량은 밭 31~32 g kg-1, 과수원 36, 시설재배지 44, 논 26이었다. 밭 토양의 평균 화학성 변화는 pH가 5.9에서 6.4로 개선되고, 전기전도도는 0.5 dS m-1에서 1.0으로 증가했으며, 유기물이 20 g kg-1에서 32로 상승해 전반적인 토양 비옥도가 향상되었음을 보여준다. 유효인산 함량은 적정 범위를 초과하고 계속 증가하였으며, 유효인산을 제외하면 화학성 평균은 대체로 적정 범위 내에 있었지만, 최대 및 최솟값은 적정 범위를 크게 벗어났고, 과부족 비율도 항목별로 20~80%에 달해 적정 수준을 넘어섰다. 과수원 토양은 pH가 5.9에서 6.4로, 전기전도도가 0.39 dS m-1에서 0.76로, 유기물이 22 g kg-1에서 36로 증가했으며, 교환성 양이온도 지속적으로 증가했다. 유효인산, 교환성 칼륨과 칼슘을 제외하면 항목별로 적정 범위 내에 있었지만, 최댓값과 최솟값은 이 범위를 크게 벗어나 과부족 비율은 항목별로 10~80%에 달했다. 논 토양의 평균 화학성도 대체로 적정 범위 내에 있었지만, 마그네슘 함량은 여전히 부족한 것으로 나타났다. 조사 초기에는 부족하였던 칼슘과 유효규산은 꾸준히 개선되어, 칼슘은 2023년부터, 유효규산은 2015년부터 적정 함량을 나타냈는데, 이는 지속적인 토양개량제 공급사업의 결과로 보여진다. 그러나 지속적인 규산질 비료 공급에도 불구하고 토양의 60% 이상에서 규산이 부족한 것으로 나타났고, 칼슘과 마그네슘 부족은 50~80% 이상이었다. 일부 지역에서는 유효인산과 규산이 지나치게 높게 나타나, 시비 계획에서 주의가 필요함을 보여주고 있다. 면적이 빠르게 늘어나고 있는 시설재배지 평균 토양화학성은 pH를 제외한 모든 항목에서 지나치게 높았다. 특히, 유효인산 함량은 1,200 mg kg-1에 달해서 적정 범위보다 두 배 이상 높았고, 교환성 양이온과 질산태 질소 함량도 증가하고 있어 비료가 과다하게 사용되고 있음을 시사한다. 이로 인한 토양 건강 악화와 염류 집적 예방 및 해소를 위해 지속적인 농업인대상 적정 비료사용 교육이 필요한 것으로 판단된다.

주제어: 강원지역, 농경지, 토양화학성, 변화
주연구자 연락처: hsujeong@korea.kr (033-248-6091)

PA-060

완효성비료 처리 수준별 고추의 생육반응 및 양분 이용 효율 평가

Division Soil and Water Environment, Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Sciences

김우진*, 박혜진, 이찬욱, 이예진, 홍영규
Woojin Kim*, Hyejin Park, Chanwook Lee, Yejin Lee, and Youngkyu Hong
국립농업과학원, 농업환경부, 토양물환경과

Growth and Nutrient Use Efficiency of Red Pepper as Affected by Controlled-Release Fertilizer Levels

완효성 비료(Controlled-Release Fertilizer)는 양분의 용출속도를 조절함으로 작물의 생육 시기에 따른 양분 요구량에 맞추어 양분의 유실을 최소화하고 양분이용효율을 극대화할 수 있다. 그러나 기존의 완효성 비료 연구 및 실증은 주로 논토양(벼 재배)을 중심으로 이루어져 왔으며, 재배기간과 양분요구도가 다양한 밭작물에서 완효성 비료 활용 연구는 미흡한 실정이다. 이에 본 연구는 고추를 대상으로 완효성 비료의 처리 수준별 양분 용출 및 작물 영향을 검증하고, 최적화된 완효성 비료 처방 기준을 설정하고자 하였다. 본 실험은 전북 순창군 소재의 농가 실증포장에서 수행하였으며, 완효성 비료 처리는 전량 기비로, 토양검정량기준 처방량의 100% (CRF 100), 80% (CRF 80), 70% (CRF 70)으로 진행하였고, 무처리구(NF)와 관행적 속효성비료 처리구(CF)와 대조하였다. 연구 결과, 정식 후 70일 차 초장, SPAD, N, P, K 흡수량 등을 조사한 결과, 고추의 초장은 처리 구간 유의미한 차이가 없었지만, CF 처리구와 완효성 비료를 처리한 처리구가 동등한 수준의 SPAD 값을 나타내었다. CRF 70에서 잎과 줄기의 질소 흡수량은 가장 높은 수준을 나타내었으며 이는 CF와 같은 수준이었다. 인의 경우도 동일하게 CRF 70의 잎과 줄기에서 가장 높은 인 흡수량을 나타내었다. 완효성 비료 70% 시비구(CRF 70)의 경우 관행시비 대비 30%의 비료 투입량을 절감함에도 불구하고 초장 및 SPAD 등 작물 생육을 안정적으로 유지시켰으며, 이는 영양생장 부위(잎, 줄기)에서의 양분 흡수를 촉진하여 관행시비에 상응하는 양분 효율이 있음을 시사한다. 따라서 노지 고추 재배 시 완효성 비료 감량 시비는 노동력 절감, 비료 사용량 및 환경 부하 경감, 그리고 효율적인 양분 관리를 동시에 달성할 수 있는 지속 가능한 시비 관리 전략으로 판단된다. 추후 질소 용출 특성 및 작물 수량 평가를 통해 완효성 비료의 최적 사용 기준을 마련하고자 한다.

주연구자 연락처: kimwojin736@korea.kr (063-238-2439)

PA-061

지역단위 양분관리를 위한 작물생산성 기준 양분수지 지표 개발 방법론

A Methodology for Developing Regional Nutrient Balance Indicators Based on Crop Productivity

서예본[1], 이재성[2], 신효진[1], 윤영만[1,2,3,4]*
Yea-Bon Seo[1], Jea-Sung Lee[2], Hyo-Jin Shin[1], and Young-Man Yoon[1,2,3,4]*
[1]한경국립대학교 식물생명환경전공, [2]한경국립대학교 탄소중립바이오시스템융합학과,
[3]한경국립대학교 바이오가스연구센터, [4]한경국립대학교 농업탄소중립사업단
[1]Department of Plant Life & Environmental Science, Hankyong National University
[2]Department of Carbon-Neutral Bio-System Convergence, Hankyong National University
[3]Biogas Research Center, Hankyong National University
[4]Agricultural Carbon Neutral Project Team, Hankyong National University

정부는 지속가능한 농업과 농업 비점오염 저감을 위해 지역단위 양분관리 제도의 도입을 추진하고 있으며, 2050년까지 이를 전국 지자체로 확대할 계획이다. 농업생산을 위한 양분투입은 토양 비옥도를 향상시키고 작물 생산성을 증대시키는 데 필수적이지만, 과도한 양분투입은 비점오염원의 발생을 증가시켜 수질 악화를 유발하는 주요 원인으로 작용한다. 이에 따라 지역단위 양분관리를 위한 적정 양분투입 기준 마련의 필요성이 증대되고 있다. 그동안 국내 양분수지 연구는 농가를 기준으로 한 토양수지와 지역을 기준으로 한 토지수지 등 양분수지 산정 방법론이 개발되어 지역의 양분유입과 양분유출 현황을 파악하는 데 활용되어 왔다. 그러나 기존 양분수지 산정 방법론은 지역의 양분관리 현황을 평가하고 양분관리 수준을 평가하는 데 중점을 두고 있어, 양분관리제도 운영에 필요한 지역단위 양분관리 목표를 제시하지 못하는 한계가 있다. 양분관리제도가 도입될 경우 지역과 농경지의 양분투입량의 감소는 불가피하며, 이는 지역의 작물생산성 감소에 심각한 영향을 줄 수 있다. 따라서 양분수지 관리목표는 반드시 작물생산성과 환경적인 측면 모두 고려해야 한다. 본 연구에서는 지역의 작물생산성을 기준으로 지역단위 양분수지 관리지표를 개발하기 위한 방법론을 제안하였다. 작물생산성 기준 양분수지 지표 개발 방법론은 크게 네 단계로 구성하였다. 첫째, 무기질비료, 가축분뇨 퇴·액비, 유기질비료, 생물학적 질소고정 및 대기강하물 등 양분유입 항목과 작물생산, 작물부산물, 대기유출 및 수계유출 등 양분유출 항목을 이용하여 지역단위 양분부하와 양분수지를 산출하였다. 둘째, 작물별 시비반응함수를 적용하여 양분투입량 변화에 따른 작물생산량을 산출하였다. 셋째, 양분투입량에 따른 작물생산량을 기반으로 양분부하 변화에 따른 양분수지 변화를 정량적으로 예측하였다. 마지막으로 작물생산량이 최대가 되는 양분투입 수준을 도출하고, 이에 대응하는 양분수지를 지역단위 적정 양분관리 목표로 설정하였다. 2018년 기준 전국 137개 시·군에 분석한 결과, 평균 총질소수지(GNB)는 354.07 kg-N/ha, 작물생산성을 고려한 지역단위 적정 총질소수지는 174.14 kg-N/ha로 산출되었다. 본 연구는 작물생산성을 고려하면서 환경부하를 저감할 수 있는 지역단위 적정 양분관리 목표를 제시하였으며, 향후 지역단위 양분관리 제도의 관리기준 설정에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

사사: 본 결과물은 농촌진흥청의 재원으로 농촌진흥청의 농업환경모니터링및변동평가기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2026-25518288).

주제어: 지역단위 양분관리, 양분부하, 양분수지, 농업생산성
주연구자 연락처: yyman@hknu.ac.kr (010-2618-0355)

PA-062

지역별 토양특성에 따른 사과 생리장해 및 품질특성 비교

Comparison of Physiological Disorders and Quality Attributes of Apples in Relation to Regional Soil Properties

박형진, 조송래*, 서병환, 이단비, 옥정훈
Hyeongjin Bak, Song-rae Cho*, Byeong-hwan Seo, Dan-bi Lee, and Jung-hun Ok
국립농업과학원 토양물환경과
Division of Soil and Water Environment, National Institute of Agricultural Sciences

기후변화로 인해 농산물의 재배 적지와 주산지가 변화하면서, 지역별 토양특성 차이에 따라 농산물의 품질 및 저장성에 차이가 발생하고 있다. 농산물의 수급 조절과 가격 안정화를 위해 CA(Controlled Atmosphere) 저장과 같은 장기 저장기술의 활용이 확대되고 있으나, 저장 중 품질 변화는 저장조건뿐만 아니라 재배환경의 영향을 받을 수 있다. 따라서 저장기간 중 품질 변화를 예측하고 적절한 출하시기를 결정하기 위해서는 재배지 토양특성과 수확 후 및 저장 중 품질특성 간의 관계를 파악할 필요가 있다. 이에 본 연구는 CA 저장을 통해 장기 유통되는 과수 작물인 사과를 대상으로 지역별 토양특성과 수확 후 생리장해 발생 및 과실 품질 간 관계를 비교하였다.

사과 재배 지역 중 CA 저장고가 위치하는 보은, 청송, 장수 지역을 대상으로 지역별 1개 농가를 선정하여 조사를 수행하였다. 현장 토양조사 및 토양 시료 분석을 통해 지역별 토양 이화학성을 파악하였으며, 농가 내 경사를 고려하여 농가별로 3~4개의 토양수분 센서를 설치하였다. 토양수분은 개화 이후인 5월부터 수확일(11월 7~10일)까지 모니터링하였고, 이를 바탕으로 사과 성숙기(8월 말~11월 초) 평균 토양수분량 및 토양수분 변화율을 산정하였다. 또한 CA 저장고에 입고 전, 사과 생리장해 중 토양특성과 관련이 있을 것으로 예상되는 '열과' 발생 여부와 과실 품질을 조사하였으며, 토양특성과 품질특성 간 관계는 Spearman 순위상관분석을 통해 분석하였다.

토양 시료 분석 결과 보은과 장수의 토성은 사양토(sandy loam), 청송의 토성은 미사질식양토(silt clay loam)로 확인되었다. 성숙기 평균 토양수분량은 보은 14.8%, 청송 33.1%, 장수 28.1%로 청송에서 가장 높았다. 반면 토양수분 변화율은 보은 12.8%, 청송 4.3%, 장수 -0.5%로 보은에서 가장 크게 나타났다. 수확 후 생리장해 조사 결과, 열과 발생률은 보은에서 4.1%로 가장 높게 나타났다. Spearman 순위상관분석 결과, 열과 발생률은 토양수분 변화율과 양의 상관 경향을 나타냈으며, 과실 중량은 토양수분량과 양의 상관 경향을, 과실 경도는 토양수분량과 음의 상관 경향을 보였다. 이는 다량의 토양수분이 수분 흡수 및 비대를 촉진하여 과실 중량을 증가시키는 반면, 세포벽 구조를 변화시켜 과실 경도를 감소시킨 것으로 보이며, 성숙기 토양수분량의 증가가 과실의 급격한 팽창을 유도하여 열과 발생에 영향을 미쳤을 가능성이 있다. 해당 과제는 과수의 수확 및 장기 저장 후 나타나는 생리장해 발생 및 품질 변화와의 연관성 분석을 최종 목적으로 하기에 연관성 결과 분석은 추가적인 시간이 필요하다. 하지만 현재의 결과를 통해 지역별 토성 차이에 따라 장기 저장 시 생리장해 발생 유무 및 품질 변화의 차이가 나타날 것으로 기대된다.

주연구자 연락처: srchoo@korea.kr (063-238-2426)

PA-063

Effects of Nitrogen Top Dressing on the Physiological Traits and Yield of Soybean in Nutrient-Heterogeneous Sandy Reclaimed Land

Jeongmin Lee[1], Hyeoun-Suk Cho[1], Hyeonsoo Jang[1], Jwakyung Sung[2], and Gun-Ho Jung[1]*
[1]Reclaimed Land Agriculture Research Center, NICS, RDA, Gimje 54301, Korea
[2]Department of Crop Science, College of Agriculture, Life and Environment Sciences, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

Soybean [Glycine max (L.) Merr.] acquires the nitrogen (N) required for growth through biological nitrogen fixation (BNF) by root nodules and the uptake of soil-derived N by roots. However, reclaimed soils generally have lower soil organic matter contents and greater spatial heterogeneity in chemical properties than conventional agricultural soils. In areas with a high sand content, the risk of N leaching is also greater, making it difficult to achieve stable soybean yields. Excessive N application may suppress BNF, whereas an adequate N supply during periods of increasing crop N demand may alleviate N deficiency. Therefore, both the timing and rate of N topdressing need to be considered; however, information on appropriate N topdressing strategies for soybean grown on reclaimed land remains limited. This study was conducted to evaluate the effects of N topdressing timing and rate on soybean growth, N uptake, and yield and to determine an appropriate N topdressing strategy for reclaimed soils characterized by high sand content and heterogeneous nutrient distribution. A field experiment was conducted in 2025 at the Gwanghwal Experimental Field in the Saemangeum reclaimed land, Gimje, Republic of Korea, using the soybean cultivar 'Seonpung'. A treatment receiving the entire N rate as basal fertilizer (6 kg N $10a^{-1}$) was used as the control. Additional N was topdressed at rates of 2, 4, or 6 kg N $10a^{-1}$ at the vegetative (Vn), full bloom (R2), or full pod (R4) stage. The experimental soil was classified as sandy loam with a sand content exceeding 70%. Soil pH was 7.9, which was slightly above the recommended range, while exchangeable K^+ was 74% higher than the recommended level. In contrast, soil organic matter, available P_2O_5, exchangeable Ca^{2+}, and exchangeable Mg^{2+} were 34, 56, 38, and 30% lower than their respective recommended levels. At the R6 stage, application of 6 kg N $10a^{-1}$ at Vn increased stem length, stem diameter, branch number, main-stem node number, and pod number by 2.8, 12.6, 25.0, 9.5, and 57.9%, respectively, compared with the control. Application of 4 kg N $10a^{-1}$ at R2 increased branch number and pod number by 40.0 and 12.6%, respectively. Plant N analysis showed that N content in individual plant organs increased with increasing N application rate when N was topdressed at Vn, with the 6 kg N $10a^{-1}$ treatment showing a 25% increase compared with the control. When N was topdressed at R2, the highest N content was observed in the 4 kg N $10a^{-1}$ treatment, representing a 15% increase compared with the control. Regression analysis revealed a significant positive relationship between leaf N content at R6 and yield ($R^2 = 0.48$, $p < 0.01$). Crop growth rate (CGR; g m^{-2} d^{-1}) remained highest through the late growth period when N was topdressed at R2. Yield increased by approximately 32.6% with 4 kg N $10a^{-1}$ applied at R2 and by 3.5% with 6 kg N $10a^{-1}$ applied at Vn compared with the control, with these increases being primarily associated with an increase in pod number per plant. Overall, topdressing with 4 kg N $10a^{-1}$ at R2 or 6 kg N $10a^{-1}$ at Vn was effective in enhancing late-season soybean growth and N uptake in reclaimed soils characterized by high sand content and heterogeneous soil chemical properties. Among the treatments examined, application of 4 kg N $10a^{-1}$ at R2, when crop N demand increases, was considered the most effective strategy for improving final productivity. Nevertheless, further multi-year studies are required to account for the spatial and temporal variability in soil nutrient conditions across large reclaimed areas. Future analyses of N-use efficiency may also provide further insight into the major factors determining soybean yield under these conditions.

Correspondence: ideaway@korea.kr (063-540-8525)

PA-064

Effects of Deep Fertilizer Placement on Nitrogen Losses, Soybean Growth and Productivity

Seong Min Moon[1,2], Dong Hyeok Gong[1], Jin Hee Seo[1], Man Soo Choi[1], Min Su Jeong[3], Yoon Ha Kim[3], Jong Hwan Park[2], and Hyen Chung Chun[1]*
[1]Crop Production Technology Research Division, NICS, RDA, Miryang 50424, Korea
[2]Department of Applied Bioscience, Dong-A University, Busan 49315, Korea
[3]Department of Applied Biosciences, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

Purposes: Efficient fertilizer placement is important for improving nutrient availability to crop roots and crop productivity. Deep placement can alter root nutrient access, nitrogen leaching, and nitrous oxide (N_2O) emissions. A compost-biochar mixture (organic mixture) may further influence nutrient retention and release in the root zone. Nevertheless, the combined effects of inorganic and organic mixture fertilizer applied at deep soil remain poorly understood in soybean production. This study evaluated how their deep placement affected N_2O emissions, nitrogen leaching, root development, and soybean productivity.

Materials and Methods: A 143-day greenhouse column experiment was conducted in 2025 using clay loam paddy soil and soybean (*Glycine max*; cultivar Daechan). Columns (30 × 30 × 60 cm) were assigned to four treatments with ten replicates each. The organic mixture contained equal weights of compost and biochar. Compost and biochar were each applied at 1,000 kg 10 a^{-1}, and inorganic fertilizer at 3-3-3.2 kg 10 a^{-1} of N-P_2O_5-K_2O. SOI received both materials at the surface. DOI received the organic mixture at 20 cm and inorganic fertilizer at 10 cm. In SODI, the organic mixture was surface applied and inorganic fertilizer was placed at 20 cm. In SIDO, inorganic fertilizer was surface applied and the organic mixture was placed at 20 cm. Soil volumetric water content was maintained between 20% and 30%. N_2O fluxes were measured using a closed-chamber method and gas chromatography, leachate nitrogen was quantified by ion chromatography, root traits were analyzed with WinRHIZO, and crop growth, grain yield, partial factor productivity of nitrogen (PFP-N), and yield-scaled N_2O emissions (YSNE) were determined.

Results: Fertilizer placement significantly affected cumulative N_2O emissions ($p < 0.05$), which were 466.87 ± 50.28, 260.58 ± 26.87, 249.00 ± 120.02, and 205.12 ± 136.91 g-N ha^{-1} for SOI, SODI, SIDO, and DOI, respectively. DOI reduced cumulative N_2O emissions by 56% relative to SOI. Total nitrogen leaching did not differ among treatments ($p > 0.05$), but the relative leaching rate of deeply applied nitrogen was 60.4% in SODI, compared with 12.0% in DOI and 9.5% in SIDO. DOI produced the greatest root length (30 m), surface area (711.84 cm^2), and number of root tips (4,550). Grain yield was highest in DOI (55.85 ± 8.89 g $column^{-1}$), compared with 29.28 ± 6.07 g $column^{-1}$ in SOI. PFP-N was also highest in DOI (20.02 g g^{-1}), 90.85% greater than SOI, whereas YSNE was lowest in DOI (45 g-N Mg^{-1}) and highest in SOI (137 g-N Mg^{-1}).

Conclusion: Combined deep placement of the organic mixture and inorganic fertilizer reduced cumulative and yield-scaled N_2O emissions while improving soybean root development, grain yield, and nitrogen productivity. Although field-scale validation is required, this approach represents a promising soil and nutrient management strategy for soybean production in converted paddy soils.

Keywords: deep fertilization, soybean, nitrous oxide, nitrogen leaching, compost, biochar
Correspondence: hyen2010@korea.kr (055-350-1262); zoqlsqkr@dau.ac.kr

PA-065

Assessment of Blast Furnace Slag as a Partial Replacement for Commercial Peat-Based Growing Media for Cucumber Seedlings

Chanjin Park[1,2], Hyerin Lee[1], and Hakwon Yoon[1,2]*
[1]Department of Biological and Environmental Chemistry, College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Republic of Korea
[2]Department of Food Biotechnology and Environmental Science,College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Republic of Korea

Blast furnace slag (BFS), an alkaline, silicate-rich by-product of ironmaking, has received attention for its potential use in enhanced rock weathering and mineral carbon storage in agricultural soils. However, its use as a component of horticultural growing media remains poorly evaluated despite growing concerns regarding the cost, availability, and sustainability of peat-based substrates. This study assessed the short-term feasibility of incorporating BFS into a commercial peat-based growing medium by examining medium physicochemical properties, cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedling growth, chlorophyll fluorescence, and community-level carbon-substrate utilization. BFS was incorporated at 0, 5, 10, 15, 20, and 25% (w/w), and cucumber seedlings were cultivated for 21 days under controlled conditions. Medium pH, electrical conductivity (EC), and organic matter content were determined. Plant growth and chlorophyll fluorescence were measured, and microbial community-level physiological profiles were evaluated using Biolog EcoPlates™ assays. Increasing the BFS proportion increased medium pH and decreased EC and organic matter content. No significant adverse effects on the measured plant growth variables were observed. Shoot dry weight in 25% BFS treatment was 61.5% greater than that of the control, while chlorophyll fluorescence parameters did not differ significantly among treatments. Average well color development (AWCD) tended to increase with BFS proportion, whereas substrate-utilization richness and Shannon diversity did not differ significantly among treatments. These findings indicate that BFS can be incorporated at up to 25% into a commercial peat-based growing medium without adverse effects on cucumber seedling growth or photosynthetic performance. Thus, BFS shows potential as a partial inorganic component of horticultural growing media and as a recycling route for an industrial by-product.

Correspondence: hwyoon@kangwon.ac.kr (+82-33-250-6445)

PA-066

논토양 유효인산 함량에 따른 인산 시비가 콩 수량과 근류 형성에 미치는 영향

Effects of Phosphorus Fertilization on Soybean Yield and Nodulation under Different Available Phosphorus Contents in Paddy Soils

김대현[1], 최현지[1], 조주영[1], 신승주[1], 고다게다라 고다얄라게다라 라크미니[1], 이용복[2]*
Dae Hyeon Kim[1], Hyeonji Choe[1], Ju Young Cho[1], Seung Ju Shin[1],
Lakmini Godagedara Godayalagedara[1], and Yong Bok Lee[2]*
[1]경상국립대학교 응용생명과학부(BK21 four), [2]경상국립대학교 농업생명과학연구원(IALS)
[1]Division of Applied Life Science(BK21 four) Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea
[2]Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju, 52828, Korea

최근 논콩 재배 확대와 콩 자급률 향상을 위한 정책 추진에 따라 논콩의 안정적인 생산성 확보가 중요해지고 있다. 그러나 현재 논콩 재배에서는 밭콩을 기준으로 설정된 시비기준이 적용되고 있어 논과 밭의 비배관리 차이를 충분히 반영하지 못하고 있다. 특히 인산은 콩의 근류 형성 및 생물학적 질소고정에 필수적인 양분이나, 일반적으로 논토양은 밭토양에 비해 유효인산 함량이 낮은 경향을 보여 동일한 인산 시비기준을 적용하기에는 한계가 있다. 따라서 논토양의 유효인산 수준을 고려한 인산의 표준시비량 재설정이 필요하다. 본 연구는 유효인산 함량이 콩 재배 적정 수준의 토양(PS, P-sufficient soil, 155.6 mg kg^{-1})과 낮은 토양(PD, P-deficient soil, 27.0 mg kg^{-1})을 대상으로 인산 시비수준에 따른 콩의 수량 및 근류 형성 반응을 비교하여 분석하였다. 시험은 Wagner pot와 Rhizobox를 이용하여 수행하였다. Wagner pot 시험에서는 검정시비량을 기준으로 인산을 0, 75, 100, 125 및 150% 수준으로 처리하여 주당 알곡수, 종실수량 및 백립중을 조사하였다. Rhizobox 시험에서는 0, 75, 100 및 125% 수준으로 처리하여 근류수와 근류 생체중을 측정하였다. PS에서는 인산 시비에 따른 주당 알곡수와 종실수량의 변화가 나타나지 않았으며, 근류 형성에서도 처리 간 큰 차이를 보이지 않았다. 반면 PD에서는 인산 시비수준이 증가함에 따라 주당 알곡수는 102.5 ea $plant^{-1}$에서 248.7 ea $plant^{-1}$, 종실수량은 27.7 g $plant^{-1}$에서 63.3 g $plant^{-1}$까지 증가하는 경향을 보였다. 근류수와 근류 생체중 또한 각각 204 ea $plant^{-1}$에서 413 ea $plant^{-1}$, 3.33 g $plant^{-1}$에서 5.1 g $plant^{-1}$까지 증가하는 경향을 나타냈다. 따라서 이를 근거로 논의 유효인산 함량에 따른 논에서의 콩 시비량 재설정이 필요할 것으로 사료된다.

주제어: 논콩, 인산 시비, 유효인산, 종실수량, 근류 형성
주연구자 연락처: yblee5467@gmail.com (010-9423-9695)

PA-067

새만금간척지에서 질소 시비수준에 따른 트리티케일의 생육과 종실수량

Effects of Nitrogen Application Levels on the Growth and Grain Yield of Triticale in the Saemangeum Reclaimed Land

김민창[1], 장현수[2], 강방훈[1], 정서영[1], 전지원[1], 안승현[1]*
Minchang Kim[1], Hyeonsoo Jang[2], Bang-Hun Kang[1], Seo-Young Jeong[1], Jiwon Jeon[1], and Seunghyun Ahn[1]*
[1]농촌진흥청 국립식량과학원 간척지농업연구센터, [2]농촌진흥청
[1]Reclaimed Land Agriculture Research Center, NICS, RDA, Gimje 576853, Korea
[2]Rural Development Administration, Jeonju 54875, Korea

트리티케일 (× *Triticosecale* Wittmack)은 사료가치와 내재해성이 높아 간척지 재배에 적합하지만, 국내에서는 일반농지의 다른 맥류 시비기준을 주로 준용하고 있어 간척지 조건에 적합한 질소 시비기준이 확립되어 있지 않다. 본 연구는 질소 시비수준에 따른 트리티케일의 생육, 건물생산, 수량구성요소 및 종실수량을 비교하여 간척지 질소 시비기술 설정을 위한 기초자료를 마련하고자 수행하였다. 시험은 2025년 11월부터 2026년 6월까지 전라북도 김제시 광활면에 위치한 새만금간척지 5공구에서 트리티케일 '한영'을 대상으로 수행하였다. 질소 시비수준은 표준시비량(9.4 kg N $10a^{-1}$)의 0, 0.5, 1.0, 1.5 및 2.0배 수준으로 처리하였으며, 생육기간 중 월동 전후 개체수, 초장 및 분얼수를 조사하였고, 생육 중기에는 초장, 경수, SPAD, 엽면적지수(LAI), 정규화 식생지수(NDVI), 지상부 및 지하부 건물중을 조사하였다. 수확기에는 m^2 당 이삭수, 수당립수, 천립중 및 종실수량을 조사하였다.

월동 전과 월동 후 초기 생육에서는 질소 시비수준에 따른 유의한 차이가 나타나지 않았다. 그러나 생육이 진행됨에 따라 질소 시비효과가 확인되어, 3월 초장과 SPAD는 질소 수준에 따라 유의한 차이를 나타냈으며 (p<0.05), 4월 경수도 질소 처리의 영향을 받았다(p<0.05). 건물생산에서는 3월과 4월 지상부 건물중이 질소 수준에 따라 유의하게 달라졌고(p<0.05), 5월 S/R 비에서도 유의한 차이가 확인되었다(p<0.01). 반면 3월과 4월의 LAI 및 NDVI는 질소 처리 간 유의한 차이를 보이지 않았다. 수확기 m^2당 이삭수는 N0에서 405개, N0.5에서 436개, N1에서 475개, N1.5에서 439개, N2에서 510개로 나타났으며, 질소 시비수준에 따른 차이가 유의하였다(p<0.05). 반면 수당립수는 N0에서 53.6개, N0.5에서 53.3개, N1에서 57.6개, N1.5에서 54.0개, N2에서 59.3개로 나타났으나 처리 간 차이는 유의하지 않았다. 종실수량은 N0에서 417 kg $10a^{-1}$, N0.5에서 436 kg $10a^{-1}$, N1에서 420 kg $10a^{-1}$, N1.5에서 382 kg $10a^{-1}$, N2에서 392 kg $10a^{-1}$로 N0.5에서 가장 높았으나, 질소 시비수준에 따른 통계적 차이는 나타나지 않았다.

종합하면 질소 시비는 트리티케일의 초장, 엽색, 경수 및 지상부 건물생산을 촉진하였으나, 이러한 영양생장 증가는 수당립수와 최종 종실수량 증가로 직접 연결되지 않았다. 따라서 새만금 간척지에서 종자용 트리티케일의 질소 시비기준을 설정할 때에는 생육량 증가뿐 아니라 수량구성요소 간 보상관계와 최종 종실수량을 함께 고려할 필요가 있다.

사사: 본 연구는 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ01782102)의 지원에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

주제어: 간척지, 트리티케일, 질소, 시비
주연구자 연락처: shahn@korea.kr (063-540-8519)

PA-068

목질계 바이오차 시용에 따른 노지 고추 생육 및 토양환경 변화

The Effects of Wood Biochar Application on Growth of Field-Grown Red Pepper and Soil Environment

박지은*, 염규생, 김지희, 송기중
Jieun Park*, Gyusaeng Yeom, Jihee Kim, and Gijung Song
임실군농업기술센터
Imsil-gun Agricultural Technology Center, Imsil, 55913, Korea

바이오차는 토양의 물리·화학성을 개선하고 토양 내 탄소 저장을 증진시켜 저탄소 농업에 기여할 수 있는 중요한 자원이다. 노지 고추 재배지에서는 연작에 따른 토양 환경 악화와 병해충 증가 문제가 발생하고 있으며, 이에 따라 바이오차를 활용한 토양 개선과 고추 생육·수량성 증진 효과에 대한 연구가 요구된다. 본 연구에서는 참나무를 원료로 하여 시판 중인 목질계 바이오차를 노지 고추 재배지에 0, 400, 800kg/10a로 차등 시용하여 토양환경 변화, 고추 생육 특성 및 수량성을 평가하였다. 바이오차 시용에 따른 토양 용적밀도는 800kg/10a 처리구 0.65Mg/m3, 400kg/10a 처리구 0.81Mg/m3, 무처리구에서 1.01Mg/m3로 바이오차 시용량이 높아질수록 토양의 용적밀도가 감소하였다. 공극률은 800kg/10a 처리구 75.5%, 400kg/10a 처리구 69.5%, 무처리구에서 62.0%로 바이오차 시용량이 높이질수록 토양의 공급률이 높아졌다. 토양 화학성은 바이오차 시용량이 높아질수록 전기전도도와 유기물 함량이 높아지는 경향을 보였고, 토양탄소 저장량 또한 증가하는 경향을 보였다. 바이오차 시용에 의한 처리 간 토양 중금속 함량 차이는 거의 없었고 토양오염 우려기준에도 훨씬 미치지 못하여 그 영향은 미비한 것으로 나타났다. 고추 생육은 처리간 차이가 없었으며, 수량은 무처리 대비 바이오차 400kg/10a 처리에서 8.9%, 바이오차 800kg/10a 처리에서는 5.2% 증수하였다.

본 연구 결과, 참나무 목질계 바이오차 시용은 토양 중금속 유해성 없이 용적밀도 감소 및 공극률·유기물 함량 증가를 통해 토양의 물리·화학성을 개선하고 토양 탄소 저장능력을 크게 증진시켰다. 바이오차 시용은 고추 수량 증가에 긍정적인 효과를 보였으며, 특히 400kg/10a 수준 시용 시 무처리 대비 8.9% 증수되어 가장 효과적인 것으로 나타났다. 다만, 실제 농가 현장의 적용성을 제고하고 지속가능한 저탄소 농업기술로 정착시키기 위해서는 향후 바이오차의 종류, 시용량 및 투입 주기에 따른 작물 생육 및 토양 환경 변화에 대한 장기적이고 체계적인 후속 연구가 필요할 것으로 판단된다.

주제어: 노지고추, 바이오차, 토양환경
주연구자 연락처: jeeeunp@korea.kr (010-4794-2078); duarbtod@gmail.com

PA-069

지형 및 과종에 따른 전북지역 과수원 토양의 화학성 변동 특성 분석

Analysis of Variation Characteristics in Soil Chemical Properties of Orchards According to Topography and Fruit types in Jeonbuk State

박나영[1]*, 엄미정[2], 김용준[1], 최병진[1], 장영환[1], 최소라[1], 이은진[3]
Na-Young Park[1]*, Mi-Jeong Uhm[2], Yong-Jun Kim[1], Byeong-Jin Choi[1], Young-Hwan Jang[1], So-Ra Choi[1], and Eun-Jin Lee[3]
[1]전북특별자치도농업기술원 농업환경과, [2]전북특별자치도농업기술원 과채류연구소, [3]국립농업과학원 토양물환경과
[1]Agricultural Environmental Division, Jeonbuk State Agricultural Research and Extension Services, Iksan, 54591, Korea
[2]Fruit-Vegetable Research Institute, Jeonbuk State Agricultural Research and Extension Services, Gochang, 56469, Korea
[3]Division of Soil & Water Environment, National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju 55365, Korea

본 연구는 전북지역 과수원 토양의 화학성 변동 특성을 평가하고자 2002년부터 2022년까지 4년 간격으로 120지점을 6회 조사하였으며, 2026년에는 분석이 완료된 74지점을 대상으로 토양 화학성을 분석하였다.

조사 지역의 지형은 구릉지 38.5%, 곡간 및 선상지 30.5%, 산록경사지 11.5%, 산악지 7.5%, 하성평탄지 6.0% 순이었으며, 과종별 분포는 복숭아 29.4%, 사과 26.3%, 배 23.7%, 감 12.9%, 포도 6.7% 순으로 나타났다. 토성은 양토(66.5%)와 사양토(17.0%)가 대부분을 차지하였다. 장기(2002~2026년) 표토의 평균 화학성 변화를 살펴보면, pH는 2022년 6.4에서 2026년 6.7로 상승하였고, 유기물 함량은 2002년 26 g/kg에서 2018년 32 g/kg까지 증가 후 2026년 26 g/kg 수준으로 소폭 감소하였다. 유효인산 함량은 지난 20여 년간 646~859 mg/kg으로 적정 기준(300~550 mg/kg)을 지속적으로 상회하였으며, 전체 조사 토양의 65% 이상이 적정 범위를 초과하는 것으로 나타났다. 교환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘 함량 역시 2014년 이후 증가 경향을 보였으며, 조사 토양의 60% 이상에서 적정 기준보다 높게 분석되었다. 2026년 토양 화학성을 지형별로 분석한 결과, 구릉지는 EC 0.70 dS/m, 유효인산 964 mg/kg, 교환성 칼슘 8.6 cmolc/kg으로 양분 축적량이 높은 반면, 산악지는 pH 6.0, 유기물 15 g/kg, 교환성 칼슘 3.9 cmolc/kg으로 타 지형 대비 상대적으로 낮은 함량을 보였다. 과종별 토양 화학성을 비교한 결과, 배 과수원은 EC 1.06 dS/m, 유기물 36 g/kg, 유효인산 1,422 mg/kg, 교환성 칼륨 1.76 cmolc/kg, 칼슘 10.6 cmolc/kg으로 조사 과종 중 양분 축적 정도가 가장 높았다. 반면 감 과수원은 유기물 21 g/kg, 유효인산 464 mg/kg, 복숭아 과수원은 교환성 칼슘 6.4 cmolc/kg, 마그네슘 2.1 cmolc/kg으로 상대적으로 낮은 양분 함량을 나타냈다.

과수원은 영년생 작물 재배 특성상 토양 내 양분이 지속적으로 누적되기 쉬우나, 여전히 농가의 관행적인 시비 관리가 지속되고 있는 것으로 판단된다. 따라서 과수원 토양의 과다한 양분 집적을 방지하고 환경 친화적인 과수 생산을 도모하기 위해서는 토양검정 기반의 시비 지도와 효율적인 양분 관리 방안 마련이 필요할 것으로 생각된다.

주연구자 연락처: nypark87@korea.kr (063-290-6191)

PA-070

2,3-부탄디올 토양 처리가 염 스트레스 하 상추의 생육 및 생리활성에 미치는 효과

Growth and Physiological Activity of Lettuce in Response to Soil-Applied 2,3-Butanediol under Salt Stress

황지은[1], 한상우[1], 이금아[2], 김채연[1], 이도균[1], 도윤아[1], 김덕기[3], 유혜진[3], 김용환[4], 이동석[5], 김영남[1]*
Ji Eun Hwang[1], Sang Woo Han[1], Keum-Ah Lee[2], Chaeyeon Kim[1], Dokyun Lee[1], Yunah Do[1], Duk-Ki Kim[3], Hye-Jin Yu[3], Yong-Whan Kim[4], Dongseok Lee[5], and Young-Nam Kim[1]*
[1]경북대학교 식물자원학과, [2]경북대학교 농업과학기술연구소, [3]GS 칼텍스, [4]서울대학교 국제농업기술대학원, [5](주)대지개발
[1]Department of Crop Science, Kyungpook National University
[2]Institute of Agricultural Science and Technology (IAST), Kyungpook National University
[3]GS Caltex Corporation
[4]Graduate School of International Agricultural Technology (GSIAT), Seoul National University
[5]DAE JI Development Co., Ltd

최근 지구 온난화와 이상 기후 현상으로 인해 고온, 가뭄 등 환경 스트레스의 발생 빈도와 강도가 점차 증가하고 있다. 특히, 간척지, 시설재배지뿐만 아니라 일반 농경지에서도 과다시비로 인한 염 스트레스가 빈번히 발생하고 있으며, 이는 삼투압 이상과 활성산소(ROS) 축적을 유발하여 작물의 생장 및 생산성 저하를 초래하는 주요 요인으로 작용하고 있다. 2,3-부탄디올(2,3-Butanediol)은 근권미생물 유래 휘발성 대사산물로, 식물에 처리 시 비생물적 스트레스 저항성을 유도한다. 이와 관련된 연구는 주로 건조 스트레스에 집중되어왔으며, 염 스트레스에 대한 식물의 생리적 반응과 저항 기작에 대한 연구는 부족하다. 본 연구에서는 2,3-부탄디올 농도별 처리가 염 스트레스 하에서 상추(*Lactuca sativa* L.)의 생육 및 생리적 반응에 미치는 영향을 포트재배 시험을 통해 평가하였다. 상추 재배는 발아 후 14일 차 유묘를 혼합상토(부엽토:원예상토 = 1:2)에 정식을 한 후 유리온실에서 3주간 수행하였고, 관수는 매일 100 mL를 공급하였다. 2,3-부탄디올은 정식 전 혼합토양에 0, 5, 10, 20 mM 4 수준으로 2회 처리하였고, 염 스트레스는 NaCl 용액을 이용하여 0, 100, 200, 400 mM 4 수준으로 주 3회 처리하였다. 상추 생육 조사 결과, 상추의 엽장과 엽수는 NaCl 0 mM과 200 mM 조건에서 2,3-부탄디올의 농도가 높아질수록 미미하게 증가하는 경향을 보였으나 통계적 유의성은 없었다. 지상부 생체중의 경우, NaCl 0 mM에서 농도가 높아질수록 증가하는 경향을 보였으며, 특히 2,3-부탄디올 20 mM에서 대조구보다 약 47% 높았다. 반면 다른 염 농도 처리구에서는 2,3-부탄디올 처리구간 통계적 차이가 관찰되지 않았다. 상추의 광합성 색소 분석 결과, 엽록소 및 카르테노이드 함량은 대부분 NaCl 처리구에서 2,3-부탄디올 처리로 인해 높아진 경향을 보였다. 특히, 400 mM NaCl 처리구에서는 2,3-부탄디올 농도가 높아질수록 두 색소 함량이 증가(대조구 대비 16-35%)하였으며, 모든 값은 대조구보다 통계적으로 유의하게 높았다. 이를 종합해보면, 생육지표에서는 대조구와 뚜렷한 차이가 없었으나 광합성 색소 등 생리적 지표에서는 2,3-부탄디올 처리의 긍정적 효과가 확인되었다. 이는 염 스트레스 하에서 작물의 생리적 안정성을 유지하는데 기여할 수 있음을 시사하며, 향후 처리 횟수 조절 및 장기 재배 조건에서의 생산성 향상 가능성에 대한 후속 검증연구가 필요하다고 판단된다.

주연구자 연락처: youngnam.kim@knu.ac.kr (054-530-1205)

PA-071

최근 기상패턴을 모의한 과습 및 가뭄 조건에서 감자 재배 토양의 수분 동태: 다중 토양환경 센서 기반 평가

Multi-Sensor Assessment of Soil Water Dynamics under Excess-Moisture and Drought Regimes Simulating Recent Weather Patterns in Potato Cultivation

이인하[1,2], 전다솜[1]*, 배희수[1], 서명철[1], 상완규[1], 권동원[1], 임우진[1], 장성율[1], 조정일[1], 정남진[2]
Inha Lee[1,2], Dasom Jeon[1]*, Huisu Bae[1], Myungchul Seo[1], Wangyu Sang[1], Donwon Kwon[1], Woojin Im[1], Sungyul Chang[1], Jungil Cho[1], and Namjin Chung[2]
[1]농촌진흥청 국립식량과학원 재배생리과, [2]전북대학교 농업생명과학대학 작물생명과학과
[1]Crop Production and Physiology Research Division, National Institute of Crop and Food Science, RDA, Wanju-gun, 55365, Korea
[2]Department of Crop Agriculture and Life Science, College of Agriculture and Life Sciences, Jeonbuk National University, Jeonju 54896. Republic of Korea

봄철 집중강우와 장기 무강우의 빈도 증가는 감자 재배지의 토양수분 변동성을 확대하고 국내 봄감자 재배 안정성을 위협할 수 있다. 본 연구는 최근 기상패턴을 모의한 과습 및 가뭄조건에서 토양수분동태를 연속모니터링하고, 조성된 수분환경과 감자의 생육 및 괴경 생산 반응 간 연계성을 평가하고자 수행하였다. 시험은 국립식량과학원 비가림온실에서 골든볼과 추백 품종을 대상으로 수행하였다. 시험토양은 피펫법으로 분석한 결과 사양토로 분류되었으며, 자동점적관수 시스템(유량 200 mL h^{-1}), TEROS22(토양수분장력), TEROS12(체적수분함량, 지온, 전기전도도) 및 ATMOS41(기상)를 이용하여 토양-기상 통합 모니터링 체계를 구축하였다. 최근 기상자료(2005-2025, 기상청)를 바탕으로 과습 처리는 5월 말-6월 초 집중강우 시기를 반영하여 적습인 대조구와 1, 3, 5회 과습처리구(3회, 5회는 마지막 관수일에 각 2일, 3일 연속 침수 유도)로 구성하였으며, 가뭄 처리는 생육초기(4월 중-5월 중)와 괴경비대기(5월 중-6월 중)에 각각 10, 20, 30일간 단수하였다. 센서 자료를 주기적으로 모니터링하여 관수 시점과 관수량을 조절하였으며, 적습구(대조구)의 토양수분퍼텐셜은 -15~-40 kPa 범위로 유지하였다. 과습 처리에서는 체적수분함량이 증가하였으며, 토양수분퍼텐셜은 10 kPa이상 높은 값으로 지속되었다. 가뭄 처리에서는 단수기간이 증가할수록 체적수분함량이 감소하고 토양수분장력은 영구위조점 방향으로 증가하여 최대 -1300kPa까지 상승하여 처리 강도별 수분 환경이 명확히 구분되었다. 과습 처리에서는 처리 횟수가 증가할수록 골든볼의 초장과 지상부 건중이 증가하였으며(대조구 13.1 g/주 → 5회 과습처리구 28.3 g/주), 추백은 생육 후기 대조구가 과습 처리구를 상회하였다. 총수량은 유사하거나 증가하는 경향이었으나, 3회 이상 처리에서 2차 생장, 표면박리, 코르크화, 수확 전 맹아 등 괴경 품질 저하가 수반되었다. 생육초기 30일 단수 처리구에서는 골든볼 엽면적이 대조(1,441 cm^2/주) 대비 75% 감소(354 cm^2/주)하였고 지상부 건중도 12.6 (g/주)에서 6.0 (g/주)으로 축소되었다. 괴경비대기 단수는 지상부 생육보다 괴경 비대에 더 큰 영향을 미쳐, 30일 단수 처리구에서 골든볼 상서수량(≥80 g)이 대조 대비 96% 감소(1,207 g/주→45 g/주)하였으며, 추백은 상서수량이 전량 소실되고 내부 표면 결함 발생도 증가하였다. 이상의 결과는 다중 센서 기반 모니터링이 최근 기상패턴에 따른 토양수분 환경을 효과적으로 재현하고 감자의 생육, 수량, 품질 반응을 해석하는 데 유효함을 보여주며, 기후변화 대응 토양수분 관리기준 및 데이터 기반 관수기술 개발을 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

주연구자 연락처: ds4418@korea.kr (063-238-5317)

PA-072

공공기상 API와 연동한 노지 작물 농경지 토양수분 예측 모델 프로그램 개발

Development of a Soil Moisture Prediction Model Program for Open-Field Crops Integrated with Public Weather APIs

서명철*, 권동원, 장성율, 임우진, 전다솜, 상완규
Myungchul Seo*, Dongwon Kwon, Sungyul Chang, Woojin Im, Dasom Jeon, and Wangyu Sang
국립식량과학원
National Institute of Crop Science

본 연구에서는 기후변화에 대응하고 효율적인 농업 용수 관리를 달성하기 위해, 공간 GIS 데이터 및 공공 기상 API를 실시간 연동하는 물리 기반 일별 토양수분 예측 시스템(Soil Engine)을 개발하였다. 기존 물리 센서 기반 토양수분 측정 방식은 고비용 및 공간적 대표성 부족의 한계를 지닌다. 이를 극복하고자 본 시스템은 V-World 지오코딩 및 국가 정밀토양도(GDB), 흙토람 API를 결합하여 필지 단위의 수리 특성(모래·미사·점토 비율, 포화수분함량, 포장용수량, 위조점, 투수속도 등)을 자동 가공한다. 또한 기상청 및 Open-Meteo API로부터 과거 실측 기상 데이터와 3일 단기 예보 데이터를 병합 수집하여 기상 입력을 구축한다. 토양수분 동태 추정을 위해 FAO-56 Penman-Monteith 표준 방정식 기반의 기준 증발산량(PET) 모델과 동적 작물계수(K_c) 및 토양수분 스트레스 지수(K_s)를 적용한 실제 증발산량(AET) 산정 알고리즘을 구현하였다. 더불어 Saxton-Rawls 기반 토양수리 함수와 장력-수분함량 관계식($H = A \cdot \theta^B \times 100$)을 통해 유거량(Runoff), 심층 침투량(Deep Percolation), 모세관 상승량(Capillary Rise)을 일별 수지 방정식으로 추정한다. 특히 벼(논) 재배 환경을 위해 배수구 물꼬 높이(Drainage Height)와 담수심(Ponded Water)을 반영하는 2단계 물수지 연산 모듈을 특화 설계하였다. 본 시스템은 웹 기반 대화형 대시보드(Flask/Vanilla JS/Chart.js)로 제공되어, 농가 현장에서 별도의 고가 센서 설치 없이 정밀한 관개 의사결정을 지원하는 디지털 영농 플랫폼으로서 유용하게 활용될 수 있다

주연구자 연락처: mcseo@korea.kr (010-6224-7214)

PA-073

호밀(*Secale cereale* L.) 피복이 유기농 전환기 포도 과수원의 양분 순환 및 토양 건강성에 미치는 영향

Effects of Rye (*Secale cereale* L.) Cover Cropping on Nutrients Cycling and Soil Health in an Organic Conversion Grape Orchard

김연호, 이여명, 이상민, 홍성준, 황현영*
Yeon-Ho Kim, Yeomyeong Lee, Sang-Min Lee, Sung-Jun Hong, and Hyun-Young Hwang*
농촌진흥청 국립농업과학원 재생유기농업과
Regenerative Organic Agriculture Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

유기농업에서 피복 작물은 토양 건강성을 증진하는 핵심 토양 관리 기술로 널리 활용된다. 특히 포도 과수원과 같이 뿌리 손상의 우려로 물리적 경운이 제한되는 재배 조건에서 화본과 피복 작물인 호밀(*Secale cereale* L.)은 심근성으로 '생물학적 경운' 효과를 제공하며, 유기물 공급과 근권 활성 증진을 통해 토양 건강성 개선에 기여한다. 그러나 국내 유기 전환기 포도 과수원에서 호밀 피복이 종합적인 토양 건강성에 미치는 영향을 평가한 연구는 미비한 실정이다. 이에 본 연구는 전라남도 함평군에 위치한 유기 전환기 포도 과수원을 대상으로 호밀 피복이 토양 건강성에 미치는 영향을 구명하고자 수행되었다. 처리구는 피복제 (Mulch), 자생 초생 (Weed), 호밀 피복 (Rye)으로 구성하였으며, 2024년부터 2개년간 호밀 동계 재배 후 2025년 5월 처리구별 지상부 바이오매스와 토양 시료(0 - 15, 15 - 30 cm)를 채취하였다. 이를 바탕으로 식물체 양분 함량 및 양분 생산량을 산출하고, 토양의 이화학적 및 생물학적 특성을 분석하였다. 식물체 분석 결과, 초생과 호밀 간 질소, 탄소, 인, 칼륨 함량은 유의한 차이가 없었으나, 칼슘과 마그네슘 함량은 초생에서 높게 나타났다. 다만 호밀의 지상부 바이오매스 생산량이 초생 대비 약 5배 높아, 칼슘을 제외한 총 양분 생산량은 호밀에서 유의하게 높았다. 용적밀도는 피복과 초생 대비 호밀재배 처리구에서 표토(0 - 15 cm), 심토(15 - 30 cm) 모두 각각 8.8 - 10.9%, 7.6 - 10.9% 유의하게 감소하였으며, 토양 유기물 함량은 각각 56.4 - 68.0%, 50.3 - 58.4% 유의하게 증가하였다. 토양 생물학적 특성 또한 다른 처리구 대비 호밀 처리구 표토에서 주요 효소 활성 (β-glucosidase, dehydrogenase, acid-phosphatase, urease)과 미생물 체량 (microbial biomass carbon and nitrogen; MBC, MBN)을 유의하게 향상시켰다. 결론적으로 유기 전환기 포도 과수원에서 호밀은 높은 바이오매스 생산량과 근권 활성 증진을 통해, 양분 순환과 토양 건강성을 종합적으로 개선하여, 합리적인 토양 관리 전략으로 판단된다.

주제어: 피복 작물, 유기 농업, 토양 건강성, 포도 과수원
주연구자 연락처: hyhwang2325@korea.kr (010-9323-6566)

PA-074

Fe-complexed Urea-Formaldehyde as N and Fe Slow-Release Fertilizer

Sang-Won Wang[1], Dae-Eon Geum[1], Tae-Wook Choi[1], Seung-Won Lee[1], Hyeon-Jun Park[1], Woo Taik Lim[2], and Man Park[1]*
[1]Department of Applied Biosciences, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea
[2]Department of Chemical and Biological Engineering, Gyeongkuk National University, Andong 36729, Republic of Korea

Iron (Fe) is essential for plant growth and human health but is readily converted into insoluble forms in soil. Urea-formaldehyde (UF) fertilizers provide sustained nitrogen (N) release through their slowly degradable polymeric structure, while N- and O-containing functional groups provide coordination sites for Fe ions. This study developed an Fe-complexed urea-formaldehyde slow-release fertilizer (UF-Fe) by optimizing synthesis conditions to control the insoluble N fraction and induce UF-Fe interactions. The clouding point (C.P.) was defined as the first appearance of turbidity during UF synthesis. UF-Fe was synthesized at a urea/formaldehyde molar ratio of 1.6 under different pH conditions, Fe addition timings relative to the C.P., and Fe addition forms. The optimum condition was selected based on the cold-water-insoluble rate (CWIR), hot-water-insoluble rate (HWIR), and activity index (AI). UF and UF-Fe were characterized by scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD), attenuated total reflectance Fourier-transform infrared spectroscopy (ATR-FTIR), and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). Fe release was evaluated under weak-acid conditions, and soil incubation was conducted to monitor NH_4^+-N and NO_3^--N release, residual N, and soil pH. Pot experiments with crown daisy (*Glebionis coronaria*) and spinach (*Spinacia oleracea* L. 'Cameo') evaluated crop growth, biomass, and N and Fe uptake. The optimum UF-Fe was obtained by adding solid $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ at C.P. 1/2 under pH 5.5, resulting in CWIR, HWIR, and AI values of 54.49%, 36.22%, and 33.54%, respectively. SEM and XRD showed that Fe incorporation altered UF morphology and the arrangement of low-molecular-weight components while preserving its main crystalline domain. ATR-FTIR and XPS showed changes in the chemical environments of N- and O-containing functional groups, supporting UF-Fe interactions. UF-Fe released Fe under weak-acid conditions, indicating that incorporated Fe could be mobilized under weakly acidic rhizosphere conditions. During soil incubation, NH_4^+-N peaked at 4-6 weeks and was subsequently converted to NO_3^--N, while residual N gradually decreased, indicating sustained N release. In the pot experiments, UF-Fe produced the highest biomass and shoot Fe uptake in both crops. These results indicate that Fe incorporation modified UF morphology and chemical environment without disrupting its main structural domain. UF-Fe retained the sustained N-release characteristics of UF while supplying mobilizable Fe, showing its potential as a dual-function slow-release fertilizer for simultaneous N and Fe supply.

Acknowledgement: This research was supported by the Cooperative Research Program for Agricultural Science and Technology Development (RS-2025-02220656), Rural Development Administration, Republic of Korea; and the Regional Innovation System & Education (RISE) program through the Gyeongbuk RISE CENTER, funded by the Ministry of Education (MOE) and the Gyeongsangbuk-do, Republic of Korea (2025-RISE-15-104).

Keywords: Urea-formaldehyde, N-Fe slow-release fertilizer, Iron availability
Correspondence: manpark@knu.ac.kr (053-950-5717)

PA-075

Synthetic Sludge Emerges as a Salinity-Resilient Circular Fertilizer Sustaining Nutrient Supply and Reinforcing Soil Carbon Stabilization

Jae-Eun Jung[1], Jong-Rok Jeon[2], and Jeong-Gu Lee[1,3,4]*

[1]Department of Applied Biosciences, College of Agriculture and Life Sciences, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea

[2]Division of Applied Life Science (BK21Plus), Gyeongsang National University, Jinju 52828, Republic of Korea ,

[3]School of Applied Life Science, College of Agriculture and Life Sciences, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea

[4]Institute of Basic Science Convergence, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea

Purposes: Soil salinization constrains crop productivity in reclaimed lands by disrupting nutrient availability and soil carbon dynamics. This study evaluated whether synthetic sludge, a root exudate-responsive circular fertilizer fabricated from wastewater-derived sludge, regulates nutrient availability and carbon stabilization differently from raw sludge under increasing salinity using lettuce (*Lactuca sativa* L.) as a model crop.

Methods: A pot experiment was conducted using lettuce grown under four salinity levels (EC 1, 3, 5, and 7 dS m^{-1}) with three treatments (control, raw sludge, and synthetic sludge; $n = 3$). Soil pH, inorganic nitrogen, available P_2O_5, and labile carbon fractions (POXC, CWEC, HWEC, and citric acid extractable C) were determined together with lettuce growth parameters.

Results: Synthetic sludge maintained significantly higher soil NH_4^+-N under elevated salinity (18.77 mg kg^{-1} at 7 dS m^{-1}) while consistently increasing available P_2O_5 compared with the control and raw sludge. The sustained NH_4^+-N availability under saline conditions suggests a nutrient-release pathway that is less dependent on salt-sensitive microbial processes. In contrast, POXC, CWEC, and HWEC decreased whereas citric acid extractable C increased, indicating redistribution of labile carbon toward more stabilized pools. These changes occurred without significant effects on lettuce biomass, SPAD, or root-to-shoot ratio.

Conclusions: Synthetic sludge functions as a salinity-resilient circular fertilizer by sustaining nutrient availability while promoting soil carbon stabilization under saline conditions. These findings demonstrate its potential to improve soil function in reclaimed saline soils and provide a basis for future field-scale evaluation.

Keywords: Sludge-derived fertilizer, Soil salinity, Circular economy, Controlled nutrient release; Carbon stabilization

Correspondence: jeonggu@knu.ac.kr (053-950-8532)

PA-076

과거 다토양·다시험 자료를 이용한 배추 질소 반응 복원과 시험 간 전이성 평가

Reconstructing Chinese Cabbage Nitrogen Response from Two Reference Treatments: Evaluation of Transferability across Historical Trials

이지용, 윤경담*
Jiyong Lee, and Kyungdahm Yun*
전북대학교 농업생명과학대학 스마트팜학과
Jeonbuk National University, Department of Smart Farm

토양검정에 따른 질소 처방에서는 모든 질소 수준에서 수량을 직접 측정하기 어려우므로, 일부 질소 처리의 결과를 바탕으로 전체 수량 반응을 추정할 필요가 있다. 이때 핵심은 과거 시험에서 얻은 질소 반응형태의 전이성, 그 형태가 서로 다른 토양과 시험조건에서도 재현되는가이다. 그러나 이러한 시험 간 전이성은 충분히 검증되지 않았다. 본 연구에서는 배추 질소 반응자료의 질소시비량 N0와 N30을 기준처리로 하여 검증 대상 N15와 N45의 수량을 예측함으로써, 과거 여러 시험에서 얻은 반응형태의 전이성과 토양 화학성을 이용한 보정 가능성을 평가하였다. 질소 0, 15, 30 및 45 kg/10a 수준을 공통으로 포함하는 8개 시험의 46개 반응곡선을 분석하였다. 이 중 42개는 처리별 관측수량을 이용하였고, 4개는 원문에 제시된 토양별 이차회귀식으로부터 복원하였다. 각 곡선은 R(N)=[Y(N)-Y(0)]/[Y(30)-Y(0)]로 표준화하였다. 검증 대상과 동일한 연구계열을 제외하고, 나머지 각 시험의 반응곡선을 먼저 평균한 뒤 시험별 평균에 동일한 가중치를 부여하여 여러 시험의 평균 반응곡선(multi-trial mean response curve)을 산출하고 N15와 N45를 예측하였다. 비교를 위해 질소량에 비례하여 수량이 증가한다고 가정한 선형 기준곡선(linear baseline curve)과 N30 이후 추가적인 수량 증가가 없다고 가정한 포화 기준곡선(plateau baseline curve)을 적용하였다. 또한 OM, NO_3-N 및 EC 자료가 모두 확보된 5개 시험 38개 곡선을 대상으로 토양 화학성 유사도 가중곡선(soil-chemistry similarity-weighted curve)을 평가하였다. 여러 시험의 평균곡선을 적용한 결과, 시험별 평균 RMSE는 0.201이었으며 N15와 N45의 RMSE는 각각 0.154와 0.228이었다. 평균 RMSE는 선형 기준곡선(0.498)보다 작았으며 포화 기준곡선(0.205)과 유사하였다. 동일한 7개 외부 검증시험에서 1988년 토양 평균곡선을 사용했을 때의 평균 RMSE는 0.290이었으나, 여러 시험의 평균곡선을 사용하면 0.190으로 34.4% 감소하였으며 7개 시험 중 6개에서 오차가 줄었다. 전체 46개 반응곡선 중 25개(54.3%)에서 N45 수량이 N30보다 낮게 나타났다. 토양 화학성이 모두 확보된 자료에서는 여러 시험의 평균곡선 RMSE가 0.174, 화학성 유사도 가중곡선이 0.193으로 나타나 유사도 가중에 따른 예측성능 개선은 확인되지 않았다. N0와 N30을 기준처리로 하고 여러 시험의 평균 반응형태를 이용해 예측했을 때, N15의 복원오차는 N45보다 작았다. N45에서는 예측오차가 커졌으며, 여러 시험 중 절반 이상에서 N45 수량이 N30보다 낮게 나타나는 등 고질소 영역의 반응은 일정하지 않았다. 여러 시험을 함께 이용하는 것은 단일 시험곡선에 의존하는 것보다 안정적이었으나, OM, NO_3-N 및 EC를 이용한 유사도 가중으로는 시험 간 차이가 충분히 보정되지 않았다. 따라서 두 기준처리를 이용한 질소 반응 복원은 N0-N30 사이의 보간에서는 상대적으로 안정적이었으나, N30을 넘어서는 고질소 외삽에서는 시험 간 전이성에 한계가 있었다. 향후 고질소 영역의 예측력을 높이기 위해서는 N30 이후의 관측자료를 확충하고, 토양 질소공급력과 물리성, 재배조건 등 초기 토양 화학성 이외의 설명인자를 함께 검토할 필요가 있다.

주연구자 연락처: kdyun@jbnu.ac.kr (063-270-4852)

PA-077

Effective Mitigation for Reactive Nitrogen Loss (NH_3 and N_2O) in Rice Paddy Soils Using Different Types of Phosphate Fertilizers

Donguk Lim[1], Sohee Yoon[1], Mingyeong Lee[1], Gayeon Jang[1], and Sang Yoon Kim[1,2]*
[1]Department of Agricultural Chemistry & Interdisciplinary Program in IT-Bio Convergence System, Sunchon National University, Suncheon 57922, Korea
[2]Department of Agricultural Life Science, Sunchon National University, Suncheon 57922, Korea

Excessive nitrogen (N) fertilization in paddy fields increases reactive N losses through ammonia (NH_3) volatilization and nitrous oxide (N_2O) emissions. Phosphate (P) fertilizers not only supply essential phosphorus for crop growth but can also alter soil chemical properties associated with N transformations and losses. This study aimed to propose a P fertilizer management strategy to mitigate reactive N losses in paddy fields using different types of P fertilizers. A field experiment was conducted using three types of P fertilizers, fused superphosphate (FSP, alternative), single superphosphate (SSP, alternative), and fused magnesium phosphate (FMP, conventional) combined with nitrogen (urea) application rates at 0%, 50%, 100%, and 200% of the recommended N rate (90 kg N ha^{-1}). During the rice growing season, N losses (NH_3, N_2O and total N loss), soil and surface water chemical properties (pH and NH_4^+ concentration), and rice growth parameters (plant height and tiller number) were evaluated. N applications significantly increased NH_3 volatilization with increasing N application levels. Compared with the conventional P fertilizer (FMP), FSP and SSP treatments significantly reduced NH_3 volatilization by 16% and 33%, respectively, while having no significant effects on N_2O emissions, surface water pH, plant height, and tiller number. Overall, total N loss showed a similar trend to NH_3 volatilization, decreasing by 16% in FSP and 33% in SSP compared to FMP. These results are possibly due to decreased soil and surface water pH at the initial stage during cultivation. Additionally, surface water NH_4^+ concentration was 26% higher in FSP and 28% higher in SSP compared to FMP. This suggests lower pH formed unfavorable conditions for NH_3 volatilization, thereby retaining more NH_4^+ in the surface water. Overall, this study suggests that replacing conventional FMP with FSP or SSP in paddy fields can serve as a practical fertilizer management strategy to reduce reactive N losses without compromising rice growth. Future research will further investigate rice yield, P availability, and long-term soil pH decrease throughout the entire cultivation period.

Correspondence: sykim@scnu.ac.kr (061-750-5189)
#Both authors (Donguk Lim and Sohee Yoon) contributed equally to this study

PA-078

Effects of Fertilizer Type and Soil Amendments on Paprika Growth and Soil Biochemical Properties at the Mid-Growing Stage

Hyun Jeong Oh, Sehun Im, Sihoon Song, Hyokyeong Kim, Noh Eun Kim, and Kyungmin Kim*
Department of Agricultural Biotechnology, Seoul National University

Liquid manure can serve as a recycled nutrient source for crop production, while various soil amendments are applied to enhance nutrient availability and mitigate greenhouse gas emissions. The combined application of different fertilizers and soil amendments significantly influences crop growth and soil properties. This study aimed to evaluate the interactive effects of fertilizer types and soil amendments on soil biochemical properties and crop development.

A greenhouse pot experiment was conducted at the Seoul National University Farm in Suwon, Republic of Korea. The fertilizer factor comprised an unfertilized control, chemical fertilizer (CF), liquid manure (LM), and nitrified liquid manure (NLM), whereas the soil amendment factor included no amendment, wood biochar (WB), and goethite (GOE) in an incomplete factorial design (excluding CF-GOE and LM-GOE), consisting of 10 treatments and a total of 46 paprika plants (4-5 replicates).

To assess treatment effects on paprika performance, plant height, leaf number, flower number, and fruit set were measured at the midpoint (92 day after seeding) of the growing period. Concurrently, soil physicochemical and biological responses were evaluated by determining pH, electrical conductivity (EC), ammonium (NH_4^+-N), nitrate (NO_3^--N), available phosphorus, dissolved organic carbon (DOC), total dissolved nitrogen (TDN), microbial biomass C and N, and the extracellular enzyme activities including β-glucosidase (BG), N-acetyl-β-D-glucosaminidase (NAG), and acid phosphatase (AP).

At the midpoint of the growing period, LM showed significantly greater plant height and leaf number than the control ($p < 0.05$), while WB-LM also showed significantly greater leaf development ($p = 0.007$) and relatively high flower production. Meanwhile, GOE and GOE-NLM showed comparatively greater fruit numbers, with significant differences observed relative to selected WB treatments ($p < 0.05$). These differential growth responses indicates that fertilizer type modulates the allocation balance between vegetative and reproductive development in paprika. Integrating these responses with soil biochemical properties will provide a more comprehensive insight into plant nutrient acquisition and soil organic matter dynamics under combined fertilizer and amendment regimes.

Keywords: Paprika, Liquid manure, Circular Bionutrient Economy, Sustainable agriculture
Correspondence: km_kim@snu.ac.kr (02-880-4646)

PA-079

Cultivar-Specific Nitrogen Requirements for Optimizing Yield and Nitrogen-Use Efficiency in Welsh Onion (*Allium fistulosum* L.)

Dadi Tolessa Lemma, Sunghan Bae, and Dongpil Kim*
Chungnam national university

Excessive nitrogen (N) fertilization in Welsh onion (*Allium fistulosum* L.) production raises input costs and increases N losses to the environment, yet cultivar-specific N requirements remain poorly defined. This study determined the effects of N rate and cultivar on growth, leaf chlorophyll content, yield, quality, N uptake, and N-use efficiency (NUE). Four cultivars ('Jangbaekstar', 'Blackstar', 'Kameostar', and 'Baekdu General') were grown in the experiment field at Chungnam National University during the 2025/2026 growing season under five N rates (0, 125, 187.5, 250, and 312.5 kg·ha^{-1}) in a factorial randomized complete block design with three replications. Plant height, pseudostem diameter, leaf area, chlorophyll content, shoot biomass, N uptake, and marketable yield increased with increasing N supply, with marketable yield reaching 40.7 Mg ha^{-1} at 250 kg N ha^{-1}, after which no further yield improvement occurred. Across cultivars, the mean marketable yield ranged from 31.4 to 34.6 Mg ha^{-1}, with 'Kameostar' producing the highest overall mean yield of 34.6 Mg ha^{-1}. Total chlorophyll content was positively associated with shoot dry biomass, marketable yield, and tissue N concentration, indicating its potential as a nondestructive indicator of crop N status. Agronomic N-use efficiency declined as N application increased, demonstrating diminishing yield return per unit of fertilizer N. Quadratic-plateau regression was used to characterize cultivar-specific yield responses and estimate agronomic optimum N rates. Overall, increasing N from 250 to 312.5 kg ha^{-1} did not improve marketable yield, indicating that reducing N application from 312.5 to 250 kg ha^{-1} could decrease fertilizer N input by 20% without a yield penalty. These results demonstrate that matching N supply to cultivar demand can maintain productivity while improving fertilizer-use efficiency and provide a practical basis for cultivar-specific N management in Welsh onion.

Acknowledgment: This work was supported by the research fund of Chungnam National University (Project No. 2026-0900-01).

Keywords: marketable yield; nitrogen uptake; nitrogen-use efficiency; optimal nitrogen rate; chlorophyll content; *Allium fistulosum.*

Correspondence: kimdongpil@cnu.ac.kr (010-9715-2500)

PA-080

고랭지 배추의 시비 농도에 따른 생육 및 생산 평가

Effects of Fertilizer Application Concentration on the Growth and Yield of Highland Kimchi Cabbage (*Brassica rapa* L. subsp. *pekinensis*)

배성한, 김동필*
Sunghan Bae, and Dongpil Kim*
충남대학교
Chungnam National University

배추(*Brassica rapa* L. subsp. *pekinensis*)는 한국의 주요 채소 작물이며, 여름배추 재배는 주로 해발 600m 이상의 고랭지에서 이루어진다. 최근 여름철 고온과 건조 등 이상 기후 빈도가 증가함에 따라 고랭지 배추의 생육과 생산성이 불안정해지고 있다. 또한 경사가 큰 고랭지 밭은 토양유실에 따른 비료성분의 손실도 크게 발생한다. 따라서 안정적인 생산을 위한 최적 비료 시용량에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 경사지와 평지의 시비 농도가 고랭지 배추의 생육 및 생산에 미치는 영향을 규명하고자 수행되었다. 2026년 6월 10일에 배추 '춘광' 품종을 국립식량과학원 고령지연구소 시험포장에 정식하여 재배하였다. 비료 처리는 농촌진흥청 표준시비량($N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O = 8.3\text{-}3.0\text{-}3.9\ kg\ 10a^{-1}$)을 기준으로 하였다. 실험 처리는 경사지 포장(완효성 비료 50%, 완효성 비료 100%, 완효성 비료 200%, 속효성 비료 100%)과 평지 포장(완효성 비료 50%, 완효성 비료 100%, 완효성 비료 200%, 속효성 비료 100%)로 설정하였다. 정식 전 기비는 2026년 6월 2일에 시비하였으며 1차 추비는 2026년 6월 23일, 2차 추비는 2026년 7월 17일에 시비하였다. 배추는 2026년 8월 4일에 수확하였으며, 배추의 생육특성(엽수, 구고, 구폭, 엽면적, 생체중, 건물중, SPAD, 무기성분)을 매주 조사하였다. 토양화학성분석은 2026년 6월 30일(비료 후 25일), 2026년 7월 14일(비료 후 40일), 2026년 7월 28일(비료 후 55일)에 진행하였다. 실험 결과, 생육특성과 수확량이 평지포장이 경사지 포장보다 높은 경향을 보였다. 본 연구 결과를 통해 고랭지 경사지 환경과 시비 농도가 배추의 생육과 생산에 미치는 영향을 확인하였으며, 향후 정밀 시비 관리를 위한 한국 배추 생육 모델 개발의 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

본 성과물(논문, 산업재산권, 품종보호권 등)은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: RS-2026-25504261)의 지원에 의해 이루어진 것임

주연구자 연락처: kimdongpil@cnu.ac.kr (010-9715-2500)

PA-081

벼(*Oryza sativa* L.) 시비 기준 재정립을 위한 CO_2·온도 상승 반응 평가

Assessment of Rice (*Oryza sativa* L.) Responses to Elevated CO_2 and Temperature to Re-establishment of Fertilizer Standards

신승주[1], 조주영[1], 김대현[1], 이용복[1,2]*
Seung Ju Shin[1], Ju Young Cho[1], Dae Hyeon Kim[1], and Yong Bok Lee[1,2]*
[1]경상국립대학교 응용생명과학부(BK21 four), [2]경상국립대학교 농업생명과학연구원
[1]Division of Applied Life Science (BK21 four), Gyeongsang National University
[2]Institute of Agriculture and Life Science (IALS), Gyeongsang National University

대기 중 CO_2 농도 상승은 벼의 광합성과 생육을 촉진하는 반면, 동반되는 온도 상승은 고온 스트레스를 유발하여 생육 단계별 양분 요구도 변화로 이어질 수 있다. 따라서 미래 기후환경에 있어 현재 표준 시비 기준의 재검토가 필요할 것으로 사료된다. 본 연구에서는 미래 기후조건에서 벼의 생육 및 양분 흡수 변화를 평가하고, 이를 바탕으로 생육 단계별 시비량 재정립을 위한 기초자료를 확보하고자 하였다. 실험은 개방형 온실(OTC)을 이용하여 Present(대조구), OTC1(+2°C), OTC2(+100 ppm CO_2, +2°C), OTC3(+200 ppm CO_2, +2°C)의 4개 기후조건을 조성하고, 모든 처리구에 동일한 표준시비량(N-P_2O_5-K_2O = 9.0-4.5-5.7 kg $10a^{-1}$)을 적용하여 벼의 생육 시기별 생육 조사를 진행하였다. 초장(대조구 50.0 cm → OTC1 66.7 cm)과 생중량·건중량(대조구 24.4 g, 5.9 g → OTC1 37.0 g, 8.4 g)은 온도 단독 처리(OTC1)에서 유의하게 증가하여 온도 상승이 지상부 생장을 주도하였다. 반면 분얼수(대조구 약 18개 → OTC3 24개, 32.1%)와 탄소 동화 반응을 나타내는 $\delta^{13}C$(대조구 -29.3‰ → OTC2, OTC3 −33.4~-36.7‰)는 CO_2가 동반 상승한 처리구에서만 유의하게 반응하였다. 양분 함량 결과, 인산(대조구 1.99 g kg^{-1} → OTC1 2.82 g kg^{-1}, 41.6%)과 칼륨(대조구 15.8 g kg^{-1} → OTC1 20.6 g kg^{-1}, 30.6%) 함량은 온도 단독 처리에서 유의하게 증가한 반면, 붕소 함량은 OTC3에서 대조구 대비 유의하게 감소하였다(24.0 → 15.0 mg kg^{-1}, -37.6%). 또한 광계 기능을 나타내는 Fv/Fm은 대조구 0.825에서 OTC3 0.729로 유의하게 감소하여, 생육량 증가에도 불구하고 CO_2 상승이 광계II 기능 저하를 유발할 수 있음을 시사한다. 따라서 CO_2와 온도 상승은 생육 및 양분 흡수에 동일한 영향을 미치지 않으며, 현재 표준 시비량은 CO_2와 온도가 동시에 상승하는 기후조건에서 벼의 생육을 충분히 반영하지 못할 가능성이 있어 생육 단계를 고려한 시비 기준의 재검토가 필요할 것으로 사료된다.

주연구자 연락처: yblee5467@gmail.com (055-772-1967)

PB-001

Evaluation of the Multi-Functional Effects of Microbial Biochar Pellets for Organic Cabbage Cultivation

JoungDu Shin[1]*, Seoyoung Han[2], JooHee Nam[3], SeoulBi Lee[4], Seokin Youn[5], and Dogyun Park[6]
[1]Bio-technology of Multidisciplinary Sciences Co.
[2]Bio-technology of Multidisciplinary Sciences Co.
[3]Protected Horticulture Research Institute, National Institute of Horticultural & Herbal Sciences,
[4]Regenerative Organic Agriculture Division, National Institute of Agricultural Sciences
[5]Department of Life and Environmental Science, Wonkwang University
[6]Post harvest Technology Division, National Institute of Horticulture and Herbal Sciences

This study evaluated the integrated effects of microbial biochar pellets (RBPM86) on soil nutrient dynamics(N-P-K), soil carbon sequestration, nitrous oxide (N_2O) emissions, net ecosystem carbon balance (NECB), and cabbage productivity in an organic production system.

Soil ammonium nitrogen (NH_4-N) concentrations showed a transient increase during the early growth stage, followed by a gradual decline in all treatments. In contrast, nitrate nitrogen (NO_3-N) concentrations in the RBPM86 treatment were two- to three-fold higher than those in the conventional and untreated treatments, suggesting altered nitrogen transformation dynamics. Soil available P_2O_5 concentrations ranged from 29 to 42 mg kg^{-1}, whereas exchangeable K_2O concentrations did not differ significantly among treatments.

The RBPM86 treatment increased soil carbon storage by 2.34 t C ha^{-1} and reduced cumulative N_2O emissions by 82.6% and 41.6% compared with the conventional and untreated controls, respectively. Consequently, the RBPM86 treatment showed a positive NECB of 7.55 t CO_2-eq ha^{-1}, indicating a net carbon accumulation within the experimental field during the cultivation period. Despite receiving only 20% of the organic nitrogen fertilizer applied in the conventional treatment, RBPM86 produced a cabbage yield of 3.1 t $10a^{-1}$, comparable to the conventional treatment (3.0 t $10a^{-1}$).

These results suggest that RBPM86 can improve soil nutrient dynamics, enhance soil carbon storage, reduce N_2O emissions, and maintain crop productivity under reduced nitrogen input conditions. The positive NECB observed in RBPM86-treated plots highlights its potential contribution to improving the carbon balance of organic vegetable production systems.

Keywords: Microbial biochar pellet, Carbon sequestration, Nitrous oxide(N_2O), Nutrient cycling, Organic farming

Correspondence: jdshin1@gmail.com (010-3385-8581)

PB-002

Co-benefits of Microbially Engineered Biochar Pellets for Carbon Neutrality and Clubroot Suppression in Organic Vegetable Production: A Field-Scale Evaluation

JoungDu Shin[1]*, JooHee Nam[2], ChangKi Shim[3], ChulLee Chang[4], and HongShik Nam[5]
[1]Bio-technology of Multidisciplinary Sciences Co.
[2]Protected Horticulture Research Institute, National Institute of Horticultural & Herbal Sciences
[3]Agricultural Microbiology Division, National Institute of Agricultural Sciences
[4]Regenerative Organic Agriculture Division, National Institute of Agricultural Sciences
[5]Regenerative Organic Agriculture Division, National Institute of Agricultural Sciences

Ensuring climate-resilient and low-carbon vegetable production requires innovative soil management strategies that integrate carbon sequestration with biological disease suppression. This study evaluated the efficacy of acidified microbial biochar pellets(ABPM) enhancing net ecosystem carbon balance (NECB) and suppressing clubroot disease (*Plasmodiophora brassicae*) during organic Chinese cabbage (*Brassica rapa* ssp. *pekinensis*) production. In a field-scale evaluation, three treatments were compared: guano fertilizer (control), ABPM 27 (inoculated with *Pseudomonas fluorescens* 22BCO027), and ABPM 86 (inoculated with *Bacillus megaterium* 22BCO086). Our results demonstrate that soil incorporation of ABPM 27 and ABPM 86 significantly increased soil carbon sequestration by 29.1% and 22.4%, respectively, while simultaneously mitigating total greenhouse gas emissions. This led to positive NECB values of 2.63 and 2.95 t CO_2-eq ha^{-1}, representing a substantial contribution toward carbon neutrality in intensive vegetable systems. Notably, ABPM 27 further enhanced marketable yield by 8.6% (77.4 t ha^{-1}) and reduced clubroot incidence by 46.2%. Rhizosphere microbial analysis revealed that ABPM 27 promoted late-season diversity and the persistence of beneficial *Bacillus* and *Pseudomonas* populations. These findings indicate that microbially engineered biochar pellets can simultaneously improve carbon sink capacity, crop productivity, and biological suppression of soil-borne pathogens. Such a multi-functional approach provides a robust framework for transitioning toward sustainable, climate-smart, and carbon-neutral organic farming systems.

Keywords: Microbial biochar pellet, Carbon sequestration, Greenhouse gas emissions, Clubroot suppression, Net ecosystem carbon balance, Soil microbial community, Climate-smart agriculture

Correspondence: jdshin1@gmail.com (010-3385-8581)

PB-003

Evaluation of the Major Plant Nutrients Using Acidified Biochar Pellets Inoculated with Microorganisms by the Sigmoid Function

JoungDu Shin[1]*, JooHee Nam[2], ChangKi Shim[3], ChulLee Chanhg[4], and HongShik Nam[5]
[1]Bio-technology of Multidisciplinary Sciences Co.
[2]Protected Horticulture Research Institute, National Institute of Horticultural & Herbal Sciences
[3]Agricultural Microbiology Division, National Institute of Agricultural Sciences
[4]Regenerative Organic Agriculture Division, National Institute of Agricultural Sciences
[5]Regenerative Organic Agriculture Division, National Institute of Agricultural Sciences

This experiment aimed to investigate the nutrient dynamics in soil and to compare the plant growth responses under the treatment of incorporated with the acidified biochar pellets inoculated with microorganisms during Kimchi cabbage cultivation, using a sigmoid function model. The treatments included: Control: only guano application; ABPM27: application of the acidified biochar pellet inoculated with *Pseudomonas fluorescens* 22BCOO27, and ABPM 86: application of the acidified biochar pellet inoculated with *Bacillus megaterium* 22BCOO86. Guano and biochar pellets were applied at 320 kg ha^{-1}, based on the recommended nitrogen application rate for cabbage cultivation. Results showed that the cumulative NO_3-N and P_2O_5 in the ABPM 27 treatment were 42.0% and 12.1% higher, respectively, compared to the control. The maximum cumulative K was not significantly different ($p > 0.05$) among the treatments. The cumulative NH_4-N and NO_3-N were well-fitted ($R^2 > 0.824$) to Sigmoid curves, while the cumulative P_2O_5 and K were well described with the linear function ($R^2 > 0.970$) regardless of treatment. The highest yield was 77.4 tones ha^{-1} under the ABPM 27 treatment. Thus, the ABPM 27 treatment is strongly recommended for enchanting cabbage yield in organic farming practices with the high cumulative NO_3-N and P_2O_5.

Keywords: Microbial acidified biochar pellet, Biofertilizer, Cumulative plant nutrients, Kimchi cabbage
Correspondence: jdshin1@gmail.com (010-3385-8581)

PB-004

Environmental Impacts of Biodegradable Polymer-Coated Fertilizer during Pepper (*Capsicum annuum* L.) Cultivation

SeoYoung Han[1], JoungDu Shin[1]*, SeungHa Lee[2], HyeonJong Jo[2],
DaYeon Kim[3], SiHyeon An[3], and HyangYeon Won[3]
[1]Biotechnology of Multidisciplinary Sciences Co.
[2]Nousbo, Co.
[3]Agricultural Microbial Division, National Institute of Agricultural Sciences

This study evaluated the effects of a biodegradable polymer-coated fertilizer (BCF) applied under reduced fertilization on nitrous oxide (N_2O) emissions, coating degradation, and crop responses during pepper (*Capsicum annuum*L.) cultivation. N_2O fluxes increased after transplanting, reached a peak at 53 days after transplanting, and gradually declined thereafter. The BCF treatment exhibited a slightly lower peak N_2O flux than CF, while cumulative N_2O emissions during the 110-day cultivation period were 664.5 and 439.2 g 10 a^{-1} for CF and BCF, respectively, resulting in a 33.9% difference between treatments. Cumulative CO_2emissions steadily increased over time in both treatments. The estimated biodegradation rate of the coating accelerated after 60 days and reached approximately 14-15% at the end of cultivation. Plant height and total fresh yield did not differ significantly between the BCF and CF treatments.

These findings suggest that BCF-based reduced fertilization has the potential to mitigate field-scale N2O emissions while maintaining pepper growth and yield. Because the BCF treatment received a lower nitrogen input than the CF treatment, further studies using equivalent nitrogen application rates are needed to distinguish coating effects from reduction of fertilizer application.

Keywords: Biodegradable polymer coated fertilizer, controlled release fertilizer, N_2O emissions, Pepper(*Capsicum annuum* L.)

Correspondence: jdshin61@gmail.com (010-3385-8581)

PB-005

Plasma-Modified Biodegradable Coatings for Controlled Nitrogen Release from Urea

Seoyoung Han[1], JoungDu Shin[1]*, WooJin Chung[2], YoungJoon Ko[3], KwangKyo Oh[3], and JeaHyung Ahn[3]
[1]Biotechnology of Multidisciplinary Sciences Co.
[2]Kyonggi University
[3]Agricultural Microbial Division, National Institute of Agricultural Sciences

Slow-release urea based on biodegradable polymers offers a sustainable alternative to conventional formulations, which often causes rapid nitrogen loss and adverse environmental impacts. This study aimed to develop and evaluate novel biodegradable polymer coated urea using polybutylene succinate (PBS), polycaprolactone (PCL), and methylene diphenyl diisocyanate (MDI) as a crosslinker, with or without plasma surface treatment. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) and X-ray diffraction (XRD) analysis revealed decreased crystallinity in PCL after MDI crosslinking and plasma treatment, suggesting enhanced polymer interactions and structural modifications within the blend. Nitrogen release dynamics were assessed through a 90-day soil column experiment. Compared with the control, all coated formulations significantly delayed peak the release of nitrate-nitrogen (NO_3--N) from 30 days to approximately 70 days after precipitation. At day 90, cumulative NO_3--N release was 29.8 mg (PBS+PCL+MDI), 26.5 mg (PBS+PCL+Plasma), and 35.9 mg (MDS), compared with 48.6 mg in the control. Total nitrogen concentrations showed similar trends, with the MDS treatment achieving sustained release and a 70-day peak concentration (222.0 mg L^{-1}) versus a 30-day (229.5 mg L^{-1}) in control. Release profiles were best fitted by a three-parameter sigmoidal model, indicating improved control over nutrient availability. These results highlight the potential of plasma-modified biodegradable polymer-coated urea to provide prolonged and tunable nitrogen release, supporting environmentally responsible nutrient management.

Keywords: Biodegradable polymer coating, Plasma surface modification, Nitrogen release, Soil column experiment, Slow-release urea, Sigmoidal model
Correspondence: jdshin61@gmail.com (010-3385-8581)

PB-006

A Biochar-Loess Granular Formulation for Reducing Abamectin Mobility under Laboratory Soil-Column Conditions

SeoYoung Han[1], JoungDu Shin[1]*, SeungHa Lee[2], JiHyock Yoo[3], Jeongseok Song[4], and SangWon Park[3]
[1]Biotechnology of Multidisciplinary Sciences Co.
[2]Nousbo, Co.
[3]National Institute of Agricultural Sciences
[4]Plasma Technology Research Center, National Fusion Research Institute

This study evaluated the leaching behavior and soil-column transport-retention of abamectin using a loess-biochar carrier formulation under laboratory-controlled conditions. The formulation uses biochar as an adsorptive component contributing to reduced abamectin mobility in soil systems, while loess serves as a structural mineral component supporting granule formation. Phytotoxicity assessments using oriental melon (*Cucumis melo* L.) seedlings showed no significant inhibition of shoot and root development at concentrations up to 10 μg mL^{-1}. *In vitro* nematode bioassays indicated that egg hatching was the most sensitive endpoint, with near-complete inhibition at ≥0.8 μg mL^{-1} (IC_{50} = 0.84 μg mL^{-1}), demonstrating greater sensitivity compared to the shoot-growth IC_{50} (31.92 μg mL^{-1}). Laboratory column experiments, combined with Gaussian-fitted transport modeling, indicated that the loess-biochar formulation was associated with reduced abamectin mobility, likely due to retention processes within the soil matrix. Formulation ratios of 2% and 4% (w/w) biochar showed the most favorable performance for nursery substrates and upland soil columns, respectively, in terms of cumulative leaching reductions (23.3% and 39.2% compared to the control). While these findings establish the loess-biochar composite as a framework for reducing mobility, further investigations into mass balance, degradation kinetics, and field-scale efficacy are essential to fully characterize the long-term environmental behavior of this formulation under relevant conditions.

Keywords: Abamectin, biochar, loess, soil-column leaching, nematode bioassay, selective toxicity, Gaussian regression

Correspondence: jdshin61@gmail.com (010-3385-8581)

PB-007

Mineral-Bound Extracellular Enzyme Activity and Abiotic Oxidation Drive Soil Organic Matter Decomposition

Minsun Kim, and Kyungjin Min*
Department of Agricultural Biotechnology, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

Microbial extracellular enzymes (EE) regulate soil organic matter (SOM) decomposition. Hence, microbially-explicit SOM models have incorporated EE activity to improve predictions of SOM decomposition. These models assume that EE diffuse freely in soil solution, and that SOM decomposition is predominantly driven by enzymatic reactions. However, these assumptions remain unvalidated. To test the assumptions, we collected topsoil (0-25 cm), partitioned soil EE into mineral-bound, free, and cell-bound types using sequential fractionation, and distinguished biotic from abiotic contributions to apparent SOM decomposition using an enzyme inhibitor. More than 75% of EE activity was found on mineral surfaces for both hydrolytic and oxidative EE, whereas freely diffusible EE accounted for only 10.28 ± 1.14% of total EE activity. Biotic contributions accounted for 86.30 ± 4.78% of hydrolytic EE activity, but only 5.41 ± 4.47% for oxidative EE activity. Our findings suggest that EE predominantly exist in immobilized types rather than in free type, and that abiotic contribution to the total EE activity can be substantial, especially for oxidative EE. Incorporating EE localization and abiotic decomposition contribution into EE-explicit SOM models may improve estimates of microbial control over SOM decomposition and predictions of SOM dynamics.

Correspondence: kjmin@snu.ac.kr (02-880-4644)

PB-008

Effects of Soil and Cultivation Management on the Incidence of Rice Brown Spot Disease in Jeonnam Province, Korea

Soyoun Lee*, Hyeonji Kim, Sungwoo Kim, Seul Lee, Kyungjin Kwak, Sunkook Kim, and Sugju Ko
Jeonnam-Gwangju Special Metropolitan City Agricultural Research & Extension Services

Purposes: In 2025, the incidence area of rice brown spot disease in Jeonnam Province, Korea, increased by 137.6% compared to the previous year, causing substantial yield losses presumably linked to combined effects of weather, cultivation management, and soil nutrient status. This study investigated the relationship between soil chemical properties, cultivation practices, and disease severity to establish management strategies for minimizing disease incidence.

Methods: Soil samples were collected from 220 fields across 21 counties in Jeonnam Province and analyzed for pH, organic matter, available phosphate, exchangeable cations, available silicate, and EC. Disease severity was classified into four levels based on lesion area ratio. Soil properties were compared between severely affected (n=121) and lightly affected fields (n=99) using t-tests, and the effects of panicle fertilization (202 fields), straw incorporation (176 fields), and cultivation type (198 fields) on disease severity were analyzed.

Results: Available silicate content was significantly lower in severely affected fields (109 mg kg^{-1}) than in lightly affected fields (154 mg kg^{-1}) (P=0.003). The proportion of severe cases was higher in fields below the recommended silicate threshold of 157 ppm (26.4%) than above it (6.9%). Disease was most severe in fields receiving no panicle-stage fertilizer, less severe in straw-incorporated fields (42.2%) than in straw-removed fields (58.1%), and more severe under environment-friendly than conventional cultivation.

Conclusions: Maintaining adequate soil available silicate through continuous silicate fertilizer supply, balanced split fertilization including panicle-stage application, and expanded straw incorporation are recommended as integrated soil and cultivation management strategies to reduce rice brown spot damage in Jeonnam Province.

Correspondence: chancy24@korea.kr (061-330-2503)

PB-009

충청남도 농업 부문 온실가스 배출량 시범 산정

A Pilot Estimation of GHG Emissions from the Agricultural Sector in Chungcheongnam-do Province

김선중[1]*, 이정수[1], 윤여욱[1], 이정[1], 정종태[1], 이형석[2]
Seon-Joong Kim[1]*, Jeong-Su Lee[1], Yeo-Uk Yun[1], Jeong Lee[1], Chong-Tae Chung[1], and Hyeong-Seok Lee[2]
[1]충청남도농업기술원, [2]국립농업과학원
[1]Chungcheongnam-do Agricultural Research & Extension Service
[2]National Institute of Agricultural Sciences

충청남도는 전국에서 손꼽히는 축산, 벼재배 주산지로 농업 부문 온실가스 배출 특성이 뚜렷하지만, 지역단위의 체계적인 배출량 산정 사례는 부족한 실정이다. 이에 본 연구는 2006 IPCC 가이드라인 및 2019 개정판과 국가 온실가스 인벤토리 산정 방법론을 준용하여 충청남도 지역의 농업부문(장내발효, 가축분뇨처리, 벼재배, 농경지토양, 작물잔사소각, 석회 및 요소시용)의 1990~2024년 온실가스 배출량을 시범 산정하였다. 활동자료(AD)는 국가통계포털(가축동향조사, 농작물생산조사 등) 및 농림축산식품통계연보를 활용하였으며, 배출계수(EF)는 국가 고유계수(Country-Specific) 및 IPCC 기본값을 부문별로 적용하였다. 배출량은 CH4, N2O를 GWP(AR5 기준)로 환산하여 CO2-eq 단위로 산정하였다. 산정 결과, 2024년 충남 농업부문 총배출량은 약 341.8만톤 CO2-eq로 1990년(약 324.8만톤) 대비 약 5.3% 증가하였다. 그러나 부문별 배출 구조는 크게 변화하여, 1990년 벼재배가 전체의 59.9%를 차지하던 것과 달리 2024년에는 33.8%로 축소되었고, 대신 가축분뇨처리, 장내발효를 합한 축산부문이 29.8%에서 57.6%로 늘어나며 최대 배출원으로 부상하였다. 이는 지난 35년간 충남 지역의 축산 규모 확대와 논 면적 감소, 물관리 개선이 복합적으로 작용한 결과로 해석된다. 본 시범산정 결과는 충남 지역 특성에 맞는 농업부문 온실가스 감축목표 설정 및 저메탄사료 급여, 가축분뇨 자원화, 논물관리(중간낙수 등) 등 감축수단의 우선순위 결정을 위한 기초자료로 활용될 수 있다. 향후 구축된 활동자료와 충청남도 감축사업 원단위를 활용하여 감축량을 시범 산정할 계획이다.

주연구자 연락처: criticall@korea.kr (041-635-6102)

PB-010

가축분 바이오차 혼합비율에 따른 유기질비료의 탄소 및 양분 특성 변화

Change in Carbon and Nutrient Characteristics of Organic Fertilizer according to Livestock Manure Biochar Mixing Ratio

김선중*, 이정수, 윤여욱, 이재한, 이정, 정종태
Seon-Joong Kim*, Jeong-Su Lee, Yeo-Uk Yun, Jae-Han Lee, Jeong Lee, and Chong-Tae Chung
충청남도농업기술원
Chungcheongnam-do Agricultural Research & Extension Service

가축분뇨의 재활용 방안 마련과 농업부문 탄소중립 달성이 주요 정책 과제로 대두됨에 따라, 안정적인 탄소 저장 형태인 바이오차를 유기질비료에 혼합하여 토양탄소 저장형 유기질비료를 개발하고자 하였다. 본 연구는 가축분 바이오차를 함유한 혼합 유기질비료를 제조하고 그 화학적 특성 및 안전성을 평가하여, 향후 표준 사용기준 설정의 기초자료를 확보하는 데 목적이 있다. 이를 위해 '2024년 충청남도 유기질비료 지원사업' 매출중량(37,153톤) 자료를 바탕으로 매출 비중 상위 혼합유기질 및 혼합유박 비료 3종(A, B, C)을 선정하고, 계분 및 우분 유래 바이오차를 각각 10, 20, 30, 40, 50%(w/w) 비율로 혼합하여 시료를 조제하였다. 각 시료에 대해 pH, EC, 유기물함량, 총탄소(T-C), 양분함량(N, P_2O_5, K_2O) 및 유해성분(As, Cd, Hg, Pb, Cr, Cu, Ni, Zn) 함량을 분석하고「비료의 공정규격 설정」기준과 비교하였다. 선정된 유기질비료 A, B, C는 모두 부산물비료 공정규격의 유기물 및 양분함량 기준(양분 합계 7% 이상)을 충족하였다. 가축분 바이오차와 혼합한 결과, 계분 바이오차는 혼합비율이 증가할수록 총탄소 함량이 감소하는 경향을 보인 반면, 우분 바이오차는 혼합비율에 따른 총탄소 함량 변화가 크지 않았다. 양분함량은 우분 바이오차와 유기질비료 B를 40:60 및 50:50(w/w) 비율로 혼합한 경우를 제외하고 모든 처리에서 공정규격 기준을 충족하였으며, 유해성분 함량은 모든 혼합비율에서 공정규격 최대허용량 이내로 안전한 수준이었다. 총탄소 및 양분함량을 종합적으로 고려할 때 가축분 바이오차는 30%까지 혼합하여 시용하여도 무리가 없을 것으로 판단되었다. 이는 가축분 바이오차를 활용한 토양탄소 저장형 유기질비료 제조의 가능성을 제시하며, 향후 현장 적용성 평가를 통해 표준 사용기준을 마련할 계획이다.

주연구자 연락처: criticall@korea.kr (041-635-6102)

PB-011

Effects of Long-Term Organic Amendment Application on Carbon Storage and Carbon Budget in Paddy Soil

Jinju Yun*, Jaehyuk Park, Govind Dnyandev Vyavahare, Sangho Jeon, and Seonah Hwang
Division of Soil and Water Environment, National Institute of Agricultural Sciences

The development of management practices that enhance soil carbon sequestration has become increasingly important for mitigating climate change and achieving carbon neutrality in agricultural systems. This study evaluated soil organic carbon (SOC) accumulation, carbon fractions, and carbon balance under different organic amendments using a long-term paddy field experiment. The experiment was conducted at the National Institute of Agricultural Sciences (Wanju, Republic of Korea) and consisted of five treatments: no fertilizer (NF), inorganic fertilizer (NPK), NPK+rice straw (NPKRS), NPK+cattle manure compost (NPKCC), and NPK+pig manure compost (NPKPC). oil chemical properties, SOC, carbon fractions, and carbon balance were determined. The net ecosystem carbon balance (NECB) was calculated based on carbon inputs and outputs.

Long-term application of organic amendments increased soil organic matter and available phosphorus contents, with the highest values observed in the cattle manure compost treatment. Rice grain yield was also greatest under the cattle manure compost treatment. Compared with the NPK treatment, all organic amendment treatments significantly enhanced SOC accumulation, and the highest SOC stock (53.4 t C ha^{-1}) was recorded in the cattle manure compost treatment. Moreover, both labile carbon fractions, including water-extractable carbon (WEC) and hot water-extractable carbon (HWEC), and stable carbon fractions, represented by fulvic acid and humic acid, were greatest in the cattle manure compost treatment, indicating its superior capacity for soil carbon sequestration and stabilization.

The highest NECB was observed in the rice straw treatment, primarily due to increased carbon inputs from straw incorporation. Although the cattle manure compost treatment exhibited a lower NECB than the rice straw treatment, it showed the greatest SOC accumulation and stable carbon fractions, demonstrating superior long-term carbon storage potential. These findings indicate that the type of organic amendment distinctly influences carbon inputs and soil carbon stabilization processes. Therefore, sustainable carbon management in paddy fields should consider not only the overall carbon balance but also the long-term stabilization and accumulation of soil organic carbon when selecting organic amendment strategies.

Acknowledgements: This work was supported by the RDA Fellowship Program of National Institute of Agricultural Sciences (2026), Agricultural Science & Technology Development of the Rural Development Administration, Republic of Korea (Project No. PJ01728303).

Keywords: Paddy soil, Long term organic amendment, Soil organic carbon, Carbon balance, Carbon neutrality

Correspondence: jjyun121@korea.kr (063-238-2449)

PB-012

왕겨바이오차 연용이 토양 물리·화학성과 삼광벼의 생육, 수량구성요소 및 쌀 품질에 미치는 영향

Effects of Consecutive Annual Rice Husk Biochar Application on Soil Physical and Chemical Properties, Growth, Yield Components and Grain Quality of 'Samkwang' Rice

김규철, 조기원, 윤여태, 윤여욱*
Gyucheol Kim, Kiwon Cho, Yotai Yun, and Yeouk Yun*
충청남도농업기술원
Chungcheonnam-do Agricultural Research and Extension Services

본 연구는 탄소중립 실현 및 지속가능한 농업환경 구축을 위해 대표적인 토양개량제인 바이오차를 동일 시험포장에 2년간(2024~2025) 누적 연용 시용했을 때, 토양의 물리·화학성 변화와 삼광벼의 생육, 수량구성요소 및 품질에 미치는 영향을 규명하고자 수행되었다. 시험처리는 왕겨바이오차 시용량을 무처리(0), 1,500, 3,000, 6,000 L $10a^{-1}$의 4수준으로 매년 연용하는 것으로 설정하였고, 이앙 전·후 토양의 물리·화학성 변화와 벼 생육 특성을 농촌진흥청 연구조사분석기준(RDA 2012)에 준하여 조사하였다. 왕겨바이오차 시용 결과, 토양 용적밀도는 2024년 시험 전 1.4 Mg m^{-3}에서 시험 후 무처리(1.39)보다 낮아졌으며(1.29~1.31), 연용을 한 2025년에는 무처리(1.50→1.43)보다 낮은 용적밀도를(1.41→1.36) 보여 2년 연속 전반적으로 토양 물리성이 개선되는 경향을 보였다. 이러한 물리성 개선은 영양생육기 포기당 수수 형성을 촉진시켜, 2024년 6,000 L $10a^{-1}$ 처리구(14.6개) 및 2025년 3,000 L $10a^{-1}$ 처리구(19.0)개에서 무처리 대비 유의하게 높은 수수를 확보하였다. 수당립수, 등숙률, 천립중은 2년 모두 처리 간 유의적 차이가 나타나지 않았다. 백미수량(Milled rice yield)은 연용 1년차(2024년)에 6,000 L $10a^{-1}$ 처리구에서 무처리 및 타 처리구 대비 통계적으로 유의하게 높았으나, 연용 2년 차(2025년)에는 바이오차 시용량 증가에 따른 수량의 유의적 차이가 관찰되지 않았다. 쌀의 품질 특성 분석 결과, 단백질함량은 2년 평균 5.3~5.6% 수준으로 처리 간 유의적 차이가 없었고, 완전립 비율에서 2년 차(2025년) 무처리(87.2%) 대비 왕겨바이오차가 증가할수록 외관품질이 개선되는 경향이 관찰되었다. 결론적으로 왕겨바이오차의 2년 누적 연용은 토양 물리성 개선을 통해 수수 확보 및 완전립 비율 향상 등 쌀 품질에 긍정적인 영향을 미쳤으나, 백미수량 증대 효과는 연용 2년 차에 정체되는 경향을 보였다. 따라서 추후 지속적인 연용 평가를 통해 수량성 유지, 토양 탄소 격리 및 농가 경제성을 종합적으로 고려한 최적의 연용 시용 기준을 확립할 예정이다.

주제어: 왕겨바이오차 연용, 토양 물리·화학성, 벼 생육 및 품질
주연구자 연락처: kgc1231@korea.kr (041-635-6052)

PB-013

미세조류 수열액화 고형부산물의 농업적 활용 가능성 평가: 용출 특성 및 가축분 퇴비화 중 암모니아 저감 효과

Agricultural Utilization Potential of Solid Byproduct from Microalgal Hydrothermal Liquefaction: Leaching Characteristics and Ammonia Emission Reduction during Livestock Manure Composting

이건호[1], 윤다은[2], 장순웅[2], 정우진[2]*
Gunho Lee[1], Daeun Yoon[2], Soonwoong Chang[2], and Woojin Chung[2]*
[1]환경에너지공학전공, [2]사회에너지시스템공학과
[1]Department of Environmental Energy Engineering
[2]Department of Civil & Energy System Engineering

미세조류 수열액화(Hydrothermal liquefaction, HTL) 공정에서는 액체 연료 중간체인 바이오크루드와 함께 고형부산물인 하이드로차가 발생한다. HTL 기반 액체연료 생산 공정의 경제성과 자원순환성을 향상시키기 위해서는 부산물인 하이드로차의 고부가가치 활용이 중요하다. 이에 본 연구에서는 미세조류 유래 하이드로차의 표면 및 용출 특성을 분석하고, 용출액의 식물 발아 및 초기 생장에 대한 영향과 가축분 퇴비화 과정 중 암모니아 저감 효과를 평가하여 농업적 활용 가능성을 검토하였다. 주사전자현미경(SEM) 분석 결과, 하이드로차에서 거친 표면 구조가 관찰되었으며, 푸리에 변환 적외선 분광법(FTIR) 분석에서는 O-H, C=O, C-O 결합에 기인하는 흡수대가 관찰되었으며, 이는 hydroxyl 및 carboxyl 계열을 포함한 산소 함유 작용기의 존재 가능성을 시사하였다. 거친 표면 구조와 산소 함유 작용기는 암모니아 및 기타 이온성 물질의 흡착에 관여할 가능성이 있는 것으로 판단되었다. 하이드로차를 증류수와 1:10(w/v)으로 혼합하여 용출한 후 Hach 비색법으로 분석한 결과, 암모니아성 질소, 용존 총질소, 용존 유기탄소 및 용존 인산염(PO_4^{3-}) 농도는 각각 32.7 mg NH4+-N/L, 112.7 mg N/L, 520.0 mg C/L 및 245.7 mg PO_4^{3-}/L로 나타났다. 이를 통해 하이드로차로부터 수용성 탄소, 질소 및 인이 함께 용출될 수 있음을 확인하였다. 이는 하이드로차가 토양 내 탄소 및 양분 공급원으로 작용할 가능성을 시사한다. 이러한 용출 성분이 식물의 발아와 초기 생장에 미치는 영향을 평가하기 위해 용출액 농도를 12.5, 25, 50 및 100%로 조절하고, 무 종자(Raphanus sativus L.)를 이용하여 발아지수(GI)를 측정하였다. GI는 12.5, 25, 50 및 100% 처리구에서 74.45~101.59% 범위로 나타났다. 용출 원액에서는 일부 발아 저해가 관찰된 반면, 저농도 처리구에서는 대조구와 유사한 수준의 GI가 나타났으며, 특히 25% 처리구에서 101.59%로 가장 높은 값을 보였다. 이는 저농도 용출액이 발아 및 초기 생장을 저해하지 않으며, 특정 농도에서는 생장을 보조할 가능성이 있음을 시사한다. 한편, 하이드로차를 퇴비 원료 혼합물 총중량의 3%(w/w)로 투입하고 30일간 가스크로마토그래피-펄스방전검출기(GC-PDD)를 이용하여 암모니아 배출량을 측정한 결과, 하이드로차 처리구의 누적 암모니아 배출량은 미투입구 대비 60.31% 감소하였다. 이러한 결과는 미세조류 HTL 공정에서 발생한 하이드로차가 적정 농도에서 식물 발아 저해를 최소화하고, 가축분 퇴비화 과정의 암모니아 배출을 효과적으로 저감할 수 있음을 보여준다. 이는 하이드로차가 HTL 공정 부산물의 농업적 활용과 자원순환성 향상에 기여할 수 있는 소재로 활용될 가능성을 확인하였다.

사사: 본 연구는 2026년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다. (RS-2023-00255939, 미세조류를 이용한 탄소저감형 바이오항공유 업그레이드용 바이오오일 생산 통합시스템 개발)

주제어: 미세조류, 수열액화, 하이드로차, 용출 특성, 발아지수, 암모니아 저감
주연구자 연락처: cine23@kyonggi.ac.kr (010-6417-2289)

PB-014

FRI-PARAFAC를 이용한 가축분퇴비 DOM 형광 성분 변화 분석 및 부숙도 평가

Analysis of Fluorescent DOM Component Changes and Compost Maturity Assessment of Livestock Manure Compost Using FRI-PARAFAC

윤다은[1], 윤진주[2], 심재홍[2], 이윤경[3], 허진[3], 장순웅[1], 정우진[1]*
DaEun Yoon[1], JinJu Yun[2], JaeHong Shim[2], YunKyung Lee[3], Jin Hur[3], SoonWoong Chang[1], and WooJin Chung[1]*
[1]경기대학교 창의공과대학 사회에너지시스템공학과, [2]농촌진흥청 국립농업과학원,
[3]세종대학교 환경융합공학과, 지구환경연구소
[1]Department of Civil & Energy System Engineering, Kyonggi University
[2]National Institute of Agricultural Sciences
[3]Department of Environment and Energy, Center for Earth and Environment Research, Sejong University

국내 육류 소비 증가에 따라 연간 약 5천만 톤의 축산분뇨가 발생하며, 이 중 70% 이상이 가축분퇴비로 생산되어 농경지에 활용되고 있다. 가축분퇴비는 유기물과 양분을 공급하는 중요한 자원이다. 다만, 미부숙 가축분퇴비는 식물 생장과 종자 발아를 저해할 수 있어 정확한 부숙도 평가가 요구된다. 최근 용존유기물(Dissolved Organic Matter, DOM)의 형광 특성과 구조 변화를 비파괴적으로 평가할 수 있는 3차원 여기-방출 행렬(3D-EEM), 형광 영역 적분(Fluorescence Regional Integration, FRI) 및 병렬 인자 분석(Parallel Factor Analysis, PARAFAC)의 활용이 증가하고 있으나, 퇴비화 과정에서 이를 통합적으로 적용한 연구는 제한적인 실정이다. 이에 본 연구에서는 FRI-PARAFAC 분석을 적용하여 퇴비화 과정 중 DOM의 형광 특성과 구조적 변화를 해석하고 이를 기반으로 가축분퇴비의 부숙도 평가 가능성을 검토하고자 하였다. 계분과 우분을 톱밥과 8:2 비율로 혼합하여 스크류 교반식 자동 퇴비화 장치에서 퇴비화를 수행하였으며, 퇴비화 진행에 따른 DOM 형광 특성 변화를 3D-EEM 기반 FRI-PARAFAC으로 분석하였다. FRI 분석 결과, 퇴비화 초기에는 Region 1, Region 2(Tyrosine-like, Tryptophan-like) 및 Region 4(Soluble microbial by-product)가 우세하였으며, 부숙이 진행됨에 따라 Region 3, Region 5(Fulvic-like, Humic-like) 성분의 비율이 상대적으로 증가하였다. 이는 부식화가 진행되면서 안정한 부식질이 축적되었음을 의미한다. PARAFAC 분석에서도 퇴비화 진행에 따라 단백질 유사 성분(C2)은 감소하고, 부식질 유사 성분(C1, C3)은 증가하는 경향을 보여 FRI 분석에서 확인된 DOM의 부식화 경향을 뒷받침하였다. 또한, HIX(Zsolnay, 1999) 값은 계분과 우분 퇴비 모두에서 시간 경과에 따라 유의적으로 증가하였으며, 이는 유기물의 안정화와 부식화가 진행되었음을 보여준다. 본 연구 결과는 FRI-PARAFAC 기반 형광 분석이 퇴비화 과정에서 DOM의 구조 변화를 효과적으로 평가하고, 가축분퇴비의 부숙도 평가를 위한 유용한 도구로 활용될 수 있음을 시사한다.

사사: 본 연구는 농촌진흥청연구과제 '수확후 잔재물 활용 부숙유기질비료 제조 및 품질관리 기술개발(과제번호: RS-2022-RD-010368)' 지원에 의해 이루어진 결과로 이에 감사드립니다.

주연구자 연락처: cine23@kyonggi.ac.kr (010-6417-2289)

PB-015

바이오차 연용이 콩 수량과 토양 이화학성에 미치는 영향

Effects of Continuous Biochar Application on Soybean Yield and Soil Physicochemical Properties

강동한, 윤여욱, 이승수, 이재한, 장지선, 윤덕상*
충청남도 농업기술원
Chungcheongnam-do Agricultural Research and Extension Services

바이오차는 토양 내 탄소 함량 증가와 토양 물리·화학성 개선을 위한 토양개량 자재로 주목받고 있다. 그러나 기존 연구는 주로 단기 시용 효과에 초점을 두고 있어, 연용 시용에 따른 토양 특성 변화와 작물 생산성에 대한 연구는 미흡하다. 본 연구는 콩대바이오차(이하 바이오차)의 2년 연용이 콩 수량과 토양 특성 변화에 미치는 영향을 평가하고자 수행하였다. 공시 품종으로 '선풍'을 사용하였으며, 처리구는 무처리구와 바이오차 1,500, 3,000, 6,000 L 10a-1로 구성하였다. 충청남도 농업기술원 시험포에서 실시하였으며, 바이오차는 콩 파종 전 기비 시 화학비료와 동시에 처리하였다. 연구 결과, 콩 수량은 바이오차 처리구가 무처리구에 비해 전체적으로 높은 수확량을 보였다. 바이오차 3,000 L 10a-1처리구가 371.6 kg 10a-1로 가장 높았으며, 바이오차 6,000, 1,500 L 10a-1 처리구 순으로 나타났다. 토양 용적밀도는 시험 전 (1.44 Mg m-3)에 비해 시험 후 무처리구는 1.51 Mg m-3로 증가되었으며, 바이오차 처리구는 1,500, 3,000, 6,000 L 10a-1에서 각각 1.47, 1.47, 1.44 Mg m-3로 바이오차 처리량이 증가됨에 따라 감소되는 경향을 보였다. 토양 화학적 특성은 전체적으로 바이오차 처리구에서 토양 탄소함량, 유기물 함량, 교환성 양이온(K, Ca)이 증가되었다. 특히, 바이오차 6,000 L 10a-1 처리구에서 유기물 함량(22.4 g kg-1) 및 토양 탄소 함량(1.92%)이 가장 높게 나타났다. 본 연구 결과, 콩 재배 시 바이오차의 2년 연용은 콩 수량 증가와 농경지 토양 이화학성 개선에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 다만, 수량 증가와 토양개선 효과는 처리량에 따라 다르게 나타날 수 있으므로, 콩 재배지에서 바이오차의 적정 시용량 설정을 위한 추가 검토가 필요할 것으로 판단된다.

주제어: biochar, continuous application, soybean, carbon
주연구자 연락처: yunts@korea.kr (041-635-6040)

PB-016

전국 농경지 양분유출 실태조사 및 기후변화 영향·취약성 평가(2021-2025)

Nationwide Assessment of Nutrient Runoff from Agricultural Land and Climate-Change Impacts and Vulnerability in Korea (2021-2025)

엽소진*, 이병모, 어진우, 전상민, 오부영, 이종문, 양예린
So-Jin Yeob*, Byung-Mo Lee, Jinu Eo, Sang-Min Jun, Bu-Yeong Oh, Jong-Mun Lee, and Yerin Yang
국립농업과학원 기후변화대응과
Climate Change Division, National Institute of Agricultural Sciences

기후변화에 따른 강우 패턴의 변화로 농경지에서 발생하는 양분유출의 변동성이 증가하면서, 전국 규모의 양분유출 실태 파악과 기후변화 영향 및 취약성 평가의 필요성이 높아지고 있다. 본 연구에서는 전국 159개 시군을 대상으로 논 질소(N), 밭 질소 및 밭 인(P)의 유출량을 단위면적당 유출량(kg/ha)과 시군별 총 유출량(t)으로 산정하였다. 평가는 관측기상자료를 적용한 법정 고시 기반 실태조사 기간인 2021-2025년과 SSP2-4.5 및 SSP5-8.5 기후시나리오의 근미래(2011-2040년), 중미래(2041-2070년) 및 먼미래(2071-2100년)로 구분하였다. 이를 바탕으로 지역별 양분유출 실태를 조사하고, 기준연도(2016-2020) 및 historical 기간(1981-2010)대비 유출량 변화에 대한 영향평가와 지역별 취약성 평가를 수행하였다.

법정 고시 기반 실태조사 결과, 2021-2025년 논 질소의 평균 단위면적당 유출량은 29.0 kg/ha였으며, 시군별 총유출량은 평균 약 213 t으로 산정되었다. 밭 질소의 평균 단위면적당 유출량은 38.6 kg/ha, 시군별 총유출량은 평균 약 303 t이었으며, 밭 인은 각각 35.5 kg/ha와 약 285 t으로 나타났다. 지역 간 편차가 크게 나타났으며, 단위면적당 유출량은 논 질소의 경우 강원특별자치도 철원군, 밭 질소와 밭 인은 경상남도 남해군에서 가장 높았다. 반면 시군별 총유출량은 충청남도 당진시와 서산시, 전라남도 해남군 등 농경지 규모가 크고 농업활동이 집약적인 지역에서 높게 나타났다. 기준연도 대비 영향평가 결과, 논 질소 유출량은 평균 10.9%, 밭 질소는 18.1%, 밭 인은 6.5% 증가하였다. 취약성 지수는 평균 40.9에서 44.9로 약 4.1 상승하였다. 특히 충청남도 서산시의 취약성 지수가 77.4로 가장 높았으며, 당진시와 전라남도 해남군을 포함한 서·남해안 집약 농업지역이 취약성 수준과 증가 폭 모두에서 상위에 위치하였다.

기후시나리오 기반 평가에서는 미래로 갈수록, 그리고 고배출 시나리오일수록 양분유출량이 뚜렷하게 증가하였다. 논 질소 유출량은 SSP2-4.5에서 근미래에 평균 14.0%, 먼미래에 35.2% 증가하였으며, SSP5-8.5의 먼미래에는 57.8% 증가하는 것으로 전망되었다. 밭 질소는 SSP5-8.5 먼미래에 평균 76.2%, 지역에 따라 최대 153%까지 증가하였고, 밭 인은 평균 37.5% 증가하는 것으로 나타났다. 세 평가항목 가운데 밭 질소의 증가율이 가장 컸다. 이러한 양분유출량의 증가는 지역별 취약성 상승으로 이어졌으며, 현재 취약성이 높은 시군에서는 기후변화에 따른 위험이 더욱 심화될 것으로 평가되었다.

종합하면, 농경지 양분유출은 지역, 농경지 유형 및 양분 항목에 따라 큰 차이를 보였으며, 기후변화 시나리오에서는 양분유출량이 전반적으로 증가하고 지역별 취약성이 심화될 것으로 전망되었다. 따라서 서·남해안의 집약 농업지역 등 취약성이 높은 지역을 우선관리 대상으로 설정하고, 지역별 농경지 유형과 주요 유출 양분을 고려한 양분관리 대책 및 기후적응형 비점오염 저감전략을 마련할 필요가 있다.

주연구자 연락처: yeobsojin@korea.kr (063-238-2505)

PB-017

Organic Fertilization does not Always Increase Methane Emissions from Rice Soils under Experimental Warming

Nuri Baek, Seo-Woo Park, Eun-Seo Shin, Husna Israt Pia, Hyun-Jin Park,
Tae-Yeon Lee, Jaeil Cho, Han-Yong Kim, and Woo-Jung Choi*
Chonnam National University

Rice (*Oryza sativa* L.) farming with organic fertilizers (OF) may increase methane (CH_4) emissions, but its interactive effects with warming under inter-annual weather variability are unclear. This study investigated CH_4 emissions from OF rice soils in comparison with soils amended with chemical fertilizer (CF) under experimental warming for three consecutive years (2022-2024). Methane emissions were highly dependent on weather conditions, including vapor pressure deficit (VPD) in mid-season drainage (MSD) period and air temperature in reproductive stage. Lower CH_4 emissions were recorded in 2022 (3.1-11.5 g CH_4 m^{-2}) when VPD thus evapotranspiration (ET) during MSD period was higher as compared to 2023 (22.0-49.6 g CH_4 m^{-2}) and 2024 (1.2-30.8 g CH_4 m^{-2}). Increased CH_4 emissions from OF rice soils were only evident in 2023-2024 when soil drying was not performed well due to low VPD coupled with high humidity. The data of soil moisture content, soil Eh, and dissolved organic carbon (DOC) concentrations collected in MSD period indicated that low ET under low VPD retarded soil drying thus inhibiting oxidation of DOC, leading to CH_4 flushes after re-watering. Warming combined with heat waves further increased CH_4 emissions via increased DOC concentrations coupled with heat-induced floral infertility, which probably facilitates allocation of photosynthates to rhizodeposition. These results suggest that OF rice soils do not always increase CH_4 emissions and thus optimal management of soil moisture levels in MSD is a more critical factor affecting CH_4 emissions under climate change with unpredictable weather events.

Correspondence: wjchoi@jnu.ac.kr (062-530-2153)

PB-018

기후변화에 따른 농업용수(하천수·지하수) 수질 영향·취약성 평가: 2021~2025년 2주기 분석

Climate Change Impact and Vulnerability Assessment of Agricultural Water (Stream and Groundwater) Quality: A Five-Year Analysis (2021-2025)

이병모*, 엽소진, 어진우, 전상민, 오부영, 이종문, 양예린
Byungmo Lee*, So-jin Yeob, Jinu Eo, Sang-Min Jun, Bu-Yeong Oh, Jong-Mun Lee, and Yerin Yang
국립농업과학원 기후변화대응과
Climate Change Assessment Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

기후변화에 따른 기온·강수량 변화는 가뭄과 홍수의 빈도 및 강도를 증가시켜 농업용수의 수량 감소와 수질 저하를 동시에 초래한다. 본 연구는 5년 주기로 수행되는 전국 농업용 하천수(300지점) 및 지하수(200지점) 실태조사 자료를 이용하여 2주기(2021~2025년) 수질 변화와 도 단위 취약성을 1주기(2016~2020년)와 비교·평가하였다. 제주도를 제외한 전국의 하천수(pH, EC, CODMn, T-N, T-P, SS)를 영농기 전인 4월, 홍수기인 7월, 영농 후인 10월에 조사하였고, 지하수(pH, EC, NO3-N, Cl-, $SO4^{2-}$, T-P)는 제주도를 포함한 전국 200지점을 4월과 7월, 연 2회 조사하였다. 기준년도는 1주기인 2016~2020년의 5년평균으로 하였다. 기준년도 대비 변동율로 영향평가를 실시하였고, 영향값(하천수 CODMn·T-P, 지하수 EC·NO3-N)과 적응능력(비료사용처방서 발급 건수, 농업환경보전프로그램 참여 건수)을 AHP 가중치(α=0.7, β=0.3)로 결합한 지수로 취약성 평가를 실시하였다. 기준년도 대비 5년 평균 변동율은 하천수 T-N이 전국 135.2%(충남 316.7%로 최대), 지하수 T-N이 126.1%(충남 211.2%)로 나타나 8개 도 중 6개 도 이상에서 100%를 상회하는 등 질소 관련 지표의 전국적 악화 추세가 확인되었다. 도 단위 취약성 지수는 충북(43.2)·충남(37.0)이 1주기부터 지속적으로 상위권을 유지하여 영향값과 적응능력이 동시에 취약한 구조적 취약지역으로 판단되었다. 강원은 지하수 NO3-N이 전국 최고 수준으로 상승하였음에도 하천수 CODMn·T-P가 전국 최저 수준이어서 취약성 지수가 가장 낮게 산정되었는데, 이처럼 특정 대응변수에서 경계값(최소값·최대값)에 위치한 지역은 min-max 정규화의 구조적 특성상 준거 범위 설정에 따라 지수가 민감하게 반응할 수 있어, 향후 준거값 확장(다년도 통합, 기준년도 포함) 등을 통한 강건성(robustness) 검토가 필요할 것으로 판단되었다.

※ 이 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: RS-2026-25518783의 지원으로 수행되었습니다.

주제어: Climate change, Agricultural water quality, Vulnerability index, Nitrogen pollution
주연구자 연락처: leebm@korea.kr (063-238-2525)

PB-019

묵논에서 바이오차와 규산질비료 시용에 따른 토양 탄소 격리 증진

Enhanced Soil Organic Carbon Sequestration in Abandoned Paddies by the Application of Biochar and Silicate Fertilizer

이태연, 백누리, 박서우, 신은서, Husna Israt pia, 최우정*
Taeyeon Lee, Nuri Baek, Seowoo Park, eunseo shin, pia Husna Israt, and Woojung Choi*
지역바이오시스템공학과
Department of Rural and Biosystems Engineering

Due to the imbalance between rice supply and demand, the necessity for adjusting rice cultivation areas has increased, leading to growing social interest in the environmental functions of abandoned paddies including increased vegetation and subsequent soil organic carbon (SOC) sequestration. To propose effective management practices for enhanced SOC sequestration in abandoned paddies, this study investigated the effects of rice husk biochar (RHBC, 200 g m^{-2}) and silicate fertilizer (SiF, 200 g m^{-2}) application on SOC changes two years. In the abandoned paddies, six plant species were observed, and the chemistry of the plant litters, including C/N and the concentrations of non-structural carbohydrates and Si, was different between species ($P < 0.001$). The decomposability of these plant litters was investigated in an 30-day aerobic incubation experiments. It was found that 18-33% of the added litter C was decomposed. Carbon mineralization rate was evaluated by fitting the data to a first-order kinetic model. The neither decomposition rate (k) nor potentially mineralizable C (C_{max}) of the plant litters was correlated with any single litter chemistry parameter such as C, N, C/N, Si and non-structural carbohydrate. However, both k and C_{max} tended to decrease with increasing Si/NSC ratio, suggesting that higher silicon content relative to NSC decreased the decomposability of plant litters. The initial SOC content before the initiation of the experiment was 15.1±0.3 g C kg^{-1}. During two years, in the control plots, the SOC content fluctuated between 14.0±0.5 g C kg^{-1} and 15.5±1.3 g C kg^{-1}. In the amendments-treated plots, SOC content decreased during the first year to 12.6±0.3 g C kg^{-1}, probably due to disturbance of the soils for amendment mixing under aerobic conditions. However, in the second year, the SOC content increased to 17.6±1.6 g C kg^{-1}, implying that application of RHBC and SiF enhanced SOC storage. The increased SOC should be ascribed to direct addition of C contained in RHBC, stabilization of plant-derived C by RHBC, and formation of mineral-organic complex with trace elements (e.g., Fe) contained in SiF, and retardation of plant litter due to increased Si/NSC. These results demonstrate that application of RHBC and SiF is an effective management practice to take advantage of abandoned paddies by enhancing SOC sequestration.

Correspondence: wjchoi@naver.com (010-3174-2818)

PB-020

Combined Application of Rice Husk and Chicken Manure Biochar Enhances Methane Mitigation, Soil Carbon, and Rice Productivity while Reducing Salinity Rick in Paddy Soils

Husna Israt Pia, Nuri Baek, Seo-Woo Park, Eun-Seo Shin, and Woo-Jung Choi*
Chonnam national university

Biochar application can improve rice (*Oryza sativa* L.) productivity and mitigate methane (CH_4) emissions in paddy soils. However, co-application of biochar from different feedstock on these parameters has not been studied. Rice husk biochar (RHBC) contain more recalcitrant carbon (C) compounds but low nutrient contents, whereas chicken manure biochar (CMBC) in enriched with nutrients but C stability is low. Therefore, co-application of these biochar may exhibit complementary effects in terms of CH_4 mitigation, soil organic C (SOC) sequestration, and rice productivity. This study evaluated the effects of RHBC, CMBC, and their combined application (RHBC+CMBC) on CH_4 emissions, SOC, and rice productivity during two consecutive rice-growing seasons (2024-2025). Field experiments included no-fertilizer (NF) and conventional chemical fertilizer (CF) treatments with four amendments: control, RBC, CMBC, and RBC (1 t ha^{-1}) + CMBC (1 t ha^{-1}) at 2 t ha^{-1}. Seasonal CH_4 emissions in 2024 (0.27 ± 0.04 t CH_4 ha^{-1}) were comparable to the national emission factor (0.24 t CH_4 ha^{-1}) for continuously flooded paddies, reflecting ineffective mid-season drainage due to persistent rainfall during the rice growing seasons. On the contrary, CH_4 emissions in 2025 decreased by nearly 50% (0.14 ±0.07 t CH_4 ha^{-1}) compared to those in 2024 under more effective drainage conditions. Area-scaled and yield-scaled CH_4 mitigations were more prominent in RHBC and RHBC+CMBC compared to CMBC alone. Although yield-scaled CH_4 emissions were decreased greatly under NF condition in both years, rice yield was suppressed due to low nutrient content. Under fertilized conditions, RHBC+CMBC tended to increase rice yield productivity. CH_4 emissions were not significantly correlated with rice biomass, indicating that CH_4 emissions are not driven solely by rice plants. Soil EC and SOC responses varied with BC type across the two years. CMBC increased soil EC by 3-38%, reflecting its high intrinsic EC (8.5 dS m^{-1}) compared with RBC (0.5 dS m^{-1}). However, RHBC+CMBC reduced soil EC by up to 18%, indicating a mitigation effect of combined application on salinity accumulation. Meanwhile, RHBC and RHBC+CMBC consistently enhanced SOC in both years. These findings suggest that RHBC contributes to long-term SOC sequestration, whereas, CMBC primarily improves nutrient availability but may increase salinity risk. Therefore, the combined application of RHBC and CMBC may provide a balanced strategy for mitigating CH_4 emission and salt accumulation, while improving yield productivity and enhancing SOC in paddy systems.

Correspondence: wjchoi@jnu.ac.kr (062-530-2153)

PB-021

유기농 시설재배지의 토양탄소 저장 증진을 위한 복합 유기자원 활용 기술

Integrated Use of Organic Resources for Enhancing Soil Carbon Sequestration in Organic Protected Cultivation

공민재*, 홍성준, 이상민, 황현영, 이재형, 이영미, 강지원, 이여명
Min-Jae Kong*, Sung-Jun Hong, Sang-Min Lee, Hyun-Young Hwang, Jaehyeong Lee, Young-Mi Lee, Ji-Won Kang, and Yeomyeong Lee
국립농업과학원 농업환경부 재생유기농업과
Regenerative Organic Agriculture Division, Department of Agricultural Environment, RDA

농경지 토양탄소 저장은 기후변화 완화와 토양건강 유지를 동시에 달성하는 핵심전략으로 주목받는다(Lal, 2004). 특히 유기농 시설재배지는 집약재배와 연중 다비 조건으로 토양유기물 소모와 염류집적이 심하여, 화학비료를 대체하면서 토양탄소를 안정적으로 축적할 수 있는 복합기술이 요구되고 있다. 개별 유기자원 중 풋거름작물인 녹비(피복)는 이분해성 탄소 공급과 생물학적 질소고정으로 토양유기탄소와 미생물 활성을 높이고(Poeplau and Don, 2015), 바이오차는 방향족화(aromatization) 된 난분해성 탄소 구조로 장기 탄소 저장원이 되며, 바이오차와 퇴비 병용은 공극 내 양분 및 미생물 충전을 통해 단용 대비 탄소 안정화와 토양비옥도를 높이는 시너지가 보고되었다(Agegnehu et al., 2017). 그러나 이러한 자원을 유기농 시설재배 조건에서 동시에 조합했을 때의 탄소중립 효과에 대한 평가는 미흡한 실정이다.

본 연구는 저탄소 농업기술 20종 중 토양탄소 축적에 집중적인 기술을 관내 시험포장에서 수행하기 위해 문헌과 연구진 토의를 통해 유기농에 적용가능한 기술을 선정하였다. 선정된 기술에는 바이오차, 녹비, 퇴비를 조합한 저탄소 복합기술 모델을 설계하고, 재배기간 동안 처리구별 탄소저장량 및 온실가스 발생량을 정량적으로 평가하고자 한다. 유기농 시설재배지에서 국내에서 많이 재배되고 있는 작물인 토마토를 대상으로 난괴법 8처리 3반복(무처리, 단일, 복합조합)으로 설계하였다. 퇴비는 유기질비료 지원사업실적과 유통실태를 검토하여 시설농가가 가장 널리 사용하는 혼합가축분퇴비(비료공정규격, 부숙유기질비료 등)를 선정하고, 바이오차는 원소분석으로 산출한 H/C 및 O/C 몰비를 고려하여 선정하였다. 국제 바이오차 기준(IBI, EBC)에 따라 H/C < 0.7, O/C < 0.4로 농산물품질관리원에서 공시된 유기농업자재 및 비료공정규격에 적합한 바이오차를 분석하여 활용할 예정이다. 저탄소 농업기술을 활용한 복합패키지 모델은 안정적인 바이오차를 난분해성 탄소저장원으로 기본적으로 배치하고, 녹비(피복)와 퇴비를 조합하여 복합패키지의 탄소중립 효과를 구명하고자 구성하였다. 본 시험은 현재 시험 전 설계 단계이나, 안정적인 바이오차와 유기자원의 조합처리에서 단일처리 대비 토양탄소 저장량과 탄소 안정화 효율이 향상되고 유기자원 병용을 통해 화학비료 대체를 동시에 도모할 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 결과를 토대로 현장에 확산가능한 유기농 시설재배지 저탄소 복합패키지 기술 모델의 과학적 근거를 구축함으로써 복합적용에 따른 정책적인 지원의 기초자료로 활용될 예정이다.

주연구자 연락처: alswogud@korea.kr (063-238-2567)

PB-022

Substrate-Use History and Substrate Complexity Modify Post-Rewetting Respiration under Repeated Drying-Rewetting Cycles

Jaeyoung Jung, and Kyungjin Min*
Department of Agricultural Biotechnology, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

The Birch effect, a rapid increase in CO_2 efflux upon rewetting of dry soils, plays a critical role in soil carbon dynamics. Previous studies have shown that repeated drying-rewetting (D-RW) cycles can alter microbial recovery, community structure, and respiration after rewetting.

However, it remains unclear whether substrate-use history with substrates of varying complexity modifies the timing and intensity of post-rewetting respiration dynamics.

We investigated how substrate-use history with substrates of varying complexity shapes post-rewetting respiration dynamics following repeated D-RW events. We amended soils with glucose, cellobiose, cellulose, or no substrate(control), and subjected to 4-week air-drying before rewetting. Soil respiration was continuously monitored for 72 h after rewetting. Then, we subjected the soils to a second D-RW cycle and monitored respiration to examine how substrate-use history modified post-rewetting respiration dynamics.

Post-rewetting respiration showed two temporally distinct responses: an early response shortly after rewetting and a delayed response that appeared 12 h after rewetting. All treatments showed a common delayed peak, while the early response was particularly observed in glucose and cellobiose treatments, which had prior respiration history. During the second rewetting event, early responses emerged even in cellulose and control treatments, which had not shown clear early responses during the first rewetting event. These patterns suggest that previous substrate-use history and repeated D-RW cycles may influence early responses after RW.

Based on these temporally distinct patterns, we propose that early response may be associated with fast-responding microorganisms, whereas the delayed response may be associated with substrate accumulation during the period and microbial recovery from drought stress.

Correspondence: kjmin@snu.ac.kr (02-880-4644)

PB-023

우분 바이오차 시용량에 따른 작물 생산성 및 토양 탄소격리 효과

Effects of Cattle Manure Biochar Application on Crop Productivity and Soil Carbon Sequestration

안희정*, 장재은, 서재순, 정재원, 소호섭, 박중수
HeeJung An*, JaeEun Jang, JaeSoon Seo, Jaewon Jeong, Hoseup Soh, and JungSoo Park
경기도농업기술원
Gyeonggi-do Agricultural Research & Extension Services

우분 바이오차는 가축분뇨의 자원화와 농경지 탄소저장을 동시에 달성할 수 있는 유기자원으로 주목받고 있으나, 농업 현장에서 활용하기 위한 적정 시용량에 관한 연구는 부족한 실정이다. 본 연구는 우분 바이오차의 작물별 적정 시용량을 설정하기 위해 2023년부터 2025년까지 시설하우스에서는 상추를, 노지에서는 옥수수와 배추를 대상으로 우분 바이오차를 0, 100, 200, 300 kg $10a^{-1}$(노지는 500 kg $10a^{-1}$ 추가) 수준으로 작기별 1회씩 시용하여 시설 6회, 노지 5회 연용 처리하였다.

작물의 3년 평균 수량은 우분 바이오차 200 kg $10a^{-1}$ 시용구에서 상추, 옥수수 및 배추 모두 무시용구 대비 4~6% 높은 수량을 보여 작물 생산성을 유지하거나 향상시키는 것으로 나타났다. 우분 바이오차 시용량이 증가할수록 토양 pH, 유기물 및 교환성 칼륨 함량은 증가하는 경향을 보였으며, 연용에도 불구하고 토양 내 나트륨 축적은 뚜렷하게 나타나지 않았고 토양 중금속 함량은 모든 처리구에서 토양오염 우려기준 이하였다. 토양 탄소 격리량은 시용량 증가에 따라 증가하였으며, 우분 바이오차 200 kg $10a^{-1}$ 시용구의 탄소 격리량은 시설하우스(6회 연용) 286 kg C $10a^{-1}$, 노지 밭(5회 연용) 169 kg C $10a^{-1}$이었다. 또한, 우분 바이오차 시용량과 토양 탄소 격리량 간의 결정계수(R2)는 시설하우스와 노지에서 각각 0.9905와 0.9824로 높게 나타냈다.

주제어: 바이오차, 가축분, 우분, 시용량, 탄소저장
주연구자 연락처: heejung0212@gg.go.kr (031-8008-9344)

PB-024

Low Country-Specific Indirect N_2O Emission Factor (EF_5) for Nitrogen Leaching and Runoff from Agricultural Headwater Streams in South Korea

YoungJae Jeong*, Yunsik Shin, HyeRan Park, Minji Lee, HyoungSeok Lee,
MinWook Kim, Sung-Chang Hong, and Jinho Kim
Climate Change Division, National Institute of Agriculture Sciences Rural Development Administration,
Wanju 55365, Republic of Korea

Nitrogen (N) lost from croplands through leaching and runoff is converted to nitrous oxide (N_2O) in downstream water systems, an indirect emission estimated in the national greenhouse gas (GHG) inventory using the emission factor EF_5. The current country-specific EF_5 was derived in 2015 from groundwater in a single province under the 1996 IPCC guidelines and needs updating in line with the 2019 IPCC Refinement guidelines. This study aimed to update the country-specific sub-factor EF_{5g}, and thereby EF_5, from a nationwide survey of agricultural headwater streams. Stream water was sampled at 50 headwater sites across the major river basins in South Korea, which drain about 76% of national cropland, three times per year (before, during, and after the rice-farming season) over two years (2024-2025). Dissolved N_2O-N was quantified by the headspace equilibration method with a gas chromatograph (GC-ECD), and nitrate-N (NO_3-N) by continuous-flow colorimetry. EF_{5g} was calculated as the ratio of dissolved N_2O-N to NO_3-N, and EF_5 as $EF_{5g} + EF_{5r} + EF_{5e}$, with EF_{5r} and EF_{5e} set to the IPCC 2019 Refinement defaults. EF_{5g} did not differ among basins (0.00037-0.00046, $p>0.05$) but was significantly higher during the farming season than before or after it ($p<0.001$), with an overall value of 0.0004. Dissolved N_2O-N was positively correlated with NO_3-N ($r=0.40$, $p<0.001$), supporting a denitrification origin and the ratio-based approach. The developed EF_5 was 0.0056 kg N_2O-N kg^{-1} N, lower than the previous country-specific value (0.0135) and the IPCC 2019 default (0.011). This spatially and temporally representative analysis of agricultural headwater streams derived a country-specific EF_{5g} about an order of magnitude below the IPCC default, yet within the range of field-based estimates. The developed EF_5 (0.0056 kg N_2O-N kg^{-1} N) better reflects Korean cropland conditions and can replace the 2015 value in the national inventory.

Correspondence: jyj970731@korea.kr (063-238-2485)

PB-025

논 토양의 배수성 및 시비 방식이 온실가스 배출에 미치는 영향

Effects of Soil Drainage and Fertilization Methods on Greenhouse Gas Emissions in Rice Paddies

이준영[1], 강윤구[1], 이성학[2], 오택근[1,2,3]*
Jun-Yeong Lee[1], Yun-Gu Kang[1], Sunghak Lee[2], and Taek-Keun Oh[1,2,3]*
[1]충남대학교 농화학과, [2]충남대학교 생물환경화학과, [3]큐슈대학교 농업환경과학과
[1]Department of Agricultural Chemistry, Chungnam National University
[2]Department of Bio-Environmental Chemistry, Chungnam National University
[3]Department of Agro-environmental Sciences, Kyushu University

벼(*Oryza sativa* L.)를 재배하는 논은 농업부문에서 온실가스인 메탄(CH_4)과 아산화질소(N_2O)의 배출원이며, CH_4 및 N_2O는 이산화탄소(CO_2) 대비 지구온난화지수가 각각 27.9 및 273배에 해당하는 주요 감축 대상으로 알려져 있다. 논에서의 온실가스 배출은 환경 및 재배 관리에 따라 차이를 나타내며, 이 중 토양 배수 조건과 시비 방식은 산화·환원 조건 및 질소 전환 과정에 영향을 미쳐 온실가스 배출 요인으로 작용할 수 있다. 이러한 환경 변동성을 반영한 정밀 온실가스 배출량 산정은 농업부문 감축 정책의 실효성을 확보하고 탄소중립을 달성하기 위해 필수적이며, 국가 고유 배출계수 개발에 활용될 수 있다. 따라서, 본 연구는 논에서 토양 배수 조건과 시비 방식이 반영된 온실가스 배출량을 평가하고자 수행되었다. 벼 재배 시험은 2025년 충남대학교 논 시험포장에서 수행하였으며, 토양 배수 조건은 흙토람 토양환경정보시스템을 참고하여 지하수위에 따라 보통과 불량으로 구분하였다. 각기 배수성이 다른 토양에 전층시비, 심층시비, 그리고 질소비료를 20% 절감한 심층시비를 적용한 처리구로 구분하여 총 6개 처리구로 구성되었다. 벼 품종은 신동진 벼를 이앙하였으며, 이앙 후 35일차에 중간 물떼기를 2주간 실시하였다. 벼 재배 기간 동안 두 배수 조건 모두에서 일일 CH_4 배출량은 점차 증가하여 출수기 부근 가장 높았으며, 중간 물떼기 적용 기간에 감소하는 양상을 나타내었다. 두 배수 조건 모두 초기 전층시비 처리구에서 높은 CH_4 배출량을 보였으며, 최대 일일 CH_4 배출량은 배수 불량 전층시비 처리구에서 11.98 kg ha^{-1} day^{-1}로 나타났다. 재배 기간 중 누적 CH_4 배출량은 배수 불량 조건(471.89 kg ha^{-1})에서 보통 조건(400.55 kg ha^{-1})보다 평균 17.81% 더 높았으며, 두 배수 조건 모두 전층시비 처리구에 비해 심층시비를 적용한 처리구들에서 높은 경향을 보였으나, 시비 방식 간 유의한 차이를 나타내지 않았다. N_2O 배출량은 모든 처리구에서 중간 물떼기 기간에 높았으며, 일일 최대 배출량은 전층시비, 심층시비, 질소비료 20% 절감 심층시비 순으로 높게 나타났다. 재배 기간 중 누적 N_2O 배출량은 CH_4 배출과 상반된 경향을 나타내어, 배수 보통 조건(692.11 g ha^{-1})에서 평균 73.00% 높았으며, 심층시비를 적용한 처리구에서 전층시비에 비해 유의하게 낮은 결과를 나타내었다. 이러한 결과는 토양 배수 조건과 시비 방식이 토양의 산화·환원 조건, 유기물 분해 및 질소 전환 과정에 영향을 미쳐 CH_4와 N_2O 배출에 상반된 반응을 유발할 수 있음을 시사한다. 따라서, 다양한 논 조건을 반영한 정확한 온실가스 배출량 산정이 필요하며, 논에서 온실가스 배출을 효과적으로 감축하기 위해서는 토양 배수 조건과 시비 방식을 함께 고려한 통합 관리 전략이 요구된다.

주연구자 연락처: ok5382@cnu.ac.kr (042-821-6735)

PB-026

밀 부산물 바이오차의 열분해 조건별 이화학적 특성 평가

Evaluation of Physicochemical Characteristics of Wheat Residue Biochar under Different Pyrolysis Conditions

이성학[1], 강윤구[2], 이준영[2], 오택근[1,2,3]*
Sunghak Lee[1], Yun-Gu Kang[2], Jun-Yeong Lee[2], and Taek-Keun Oh[1,2,3]*
[1]충남대학교 생물환경화학과, [2]충남대학교 농화학과, [3]큐슈대학교 농업환경과학과
[1]Department of Bio-Environmental Chemistry, Chungnam National University
[2]Department of Agricultural Chemistry, Chungnam National University
[3]Department of Agro-environmental Sciences, Kyushu University

농업 부산물은 퇴비 제조, 바이오에너지 생산 등 다양한 방법으로 재활용되고 있으며, 이 중 바이오차는 열분해를 통해 탄소를 안정화하여 장기적인 탄소 격리와 온실가스 저감에 기여할 수 있는 지속가능한 자원화 기술로 주목받고 있다. 그러나, 바이오차의 이화학적 특성은 원료의 종류와 열분해 조건에 따라 크게 달라질 수 있어, 활용 목적에 적합한 바이오차를 생산하기 위해서는 이러한 특성 변화를 체계적으로 이해할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 밀짚과 밀기울을 각각 원료로 제조한 바이오차를 대상으로 다양한 열분해 조건(온도 및 시간)에 따른 이화학적 특성을 비교·평가하여 최적의 제조 조건을 도출하고자 하였다. 바이오차는 350~850°C 범위에서 100°C 간격으로 1, 2 및 4시간 동안 열분해하여 제조하였으며, 회수율, pH, EC, H/C 비율 등 총 14개 항목의 이화학적 특성을 분석하였다. 분석 결과, 밀 부산물 바이오차의 회수율은 열분해 온도와 시간이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타냈다. 반면, pH와 전기전도도(EC), 총 탄소(T-C) 함량은 열분해 온도가 증가함에 따라 유의하게 증가하는 경향을 나타내었다. 예를 들어, 밀기울과 밀짚 바이오차의 총탄소(T-C) 함량은 350°C에서 1시간 열분해 시 각각 67.03%와 65.03%였으나, 850°C에서 4시간 열분해 시 각각 78.44%와 78.67%까지 증가하였다. 또한, pH도 350°C 및 1시간 조건에서 각각 pH 6.33과 pH 10.63을 나타내었고, 850°C 및 4시간 조건에서 각각 pH 10.98과 pH 13.16을 나타내었다. H/C 비율의 경우, 350°C에서 제조한 밀기울과 밀짚 바이오차는 각각 0.9~1.0 및 0.8~0.9로 비료공정규격 기준(H/C < 0.7)을 초과하였다. 그러나, 열분해 온도를 450°C 이상으로 높여 제조한 바이오차에서는 모두 H/C 비율이 0.6 이하로 감소하여 해당 기준을 충족하였다. 또한, 중금속 분석 결과, 모든 바이오차의 중금속 함량은 비료공정규격의 법적 기준을 충족하였다. 종합적으로, 450°C에서 1시간 열분해한 바이오차는 H/C 비율이 비료공정규격을 충족하면서도 높은 회수율을 유지하여 공정 효율 측면에서 경제적인 제조 조건으로 판단되었다. 반면, 850°C에서 제조한 바이오차는 총탄소(T-C) 함량이 가장 높아 탄소 격리를 목적으로 하는 경우 유리한 조건으로 판단되었다. 다만, 이는 더 높은 열분해 온도가 요구되므로 에너지 투입 및 경제성을 함께 고려할 필요가 있다. 본 연구에서는 열분해 조건 변화에 따른 경제성 분석이 수행되지 않았으므로, 향후 경제성 분석을 통해 활용 목적에 따른 최적 열분해 조건을 종합적으로 검증할 필요가 있다.

주연구자 연락처: ok5382@cnu.ac.kr (042-821-6735)

PB-027

벼논에서 써레방식이 토양 물리성과 CH_4 배출에 미치는 영향

Effects of Puddling on Soil Physical Properties and CH_4 Emission in Rice Paddies

김지훈, 이수현, 이윤호*
Ji-Hoon Kim, Su-Hyun Lee, and Yun-Ho Lee*
농촌진흥청 국립식량과학원 기초식량작물부 재배생리과
Crop Production and Physiology Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration

농업부문 온실가스 감축에 있어 벼논에서 발생하는 메탄(CH_4)은 핵심 감축 대상이다. 벼 이앙 전 작업 중 관행적으로 수행되는 써레질은 담수 상태에서 토양을 교반하여 논 평탄, 잡초 억제, 이앙 작업성 향상에 기여를 하지만, 이 과정에서 토양 입단이 파괴되고 구조가 분산된다. 이러한 구조 변화는 입단 내부의 유기탄소 분해를 촉진시켜 CH_4 생성 기질의 공급을 늘리고, 토양의 환원 조건 형성에도 영향을 미칠 수 있다. 이에 따라 최근에는 논이 마른 상태에서 써레질을 하는 마른논 써레질이 대안으로 대두되고 있으나, 써레 방식에 따른 CH_4 배출량 차이와 이에 관한 기작은 충분히 구명되지 않았다. 본 연구에서는 관행 무논 써레질과 마른논 써레질이 CH_4 배출에 미치는 영향을 평가하고 토양 산화환원전위 및 수분 포텐셜, 그리고 용적밀도 등을 통해 그 기작을 평가하였다. 본 시험은 국립식량과학원 내 논포장에서 수행하였으며, 공시품종은 참동진으로 6월 8일에 이앙하였다. 처리구는 관행 무논써레질(Puddling; P)과 마른논써레질(Non-Puddling; NP)로 설정하였고, 물관리는 상시담수로 유지하였다. 시비는 농촌진흥청 벼 표준시비법($N-P_2O_5-K_2O$=9.0-4.5-5.7 kg $10a^{-1}$)에 준하여 실시하였다. CH_4 배출량은 폐쇄형챔버법으로 3반복 조사하였으며, 본 시험에서는 6월 12일부터 7월 22일까지 조사한 결과를 제시하였다. 가스 포집과 동시에 토양산화환원센서를 이용하여 Eh를 측정하였고, TEROS 32로 토양 수분 포텐셜과 지온을 측정하였다. 토양 용적밀도는 이앙 직전 5cm 깊이에서, 최고분얼기에는 5, 10, 15, 20cm의 깊이별로 채취하였다. 시험 결과, 벼 재배기간 동안 CH_4 배출량은 NP 처리구가 P 처리구보다 낮게 나타났다. CH_4 배출량이 증가하기 시작하는 최고분얼기 시점(이앙 후 약 35~40일)인 7월 15일에 P 처리구는 456.16, NP 처리구는 117.52 mg CH_4 m^{-2} day^{-1}로 74.2%의 차이를 보였다. 재배기간 동안 누적 CH_4 배출량은 각각 95.20, 30.29 kg CH_4 ha^{-1}로, 마른논써레질 처리구에서 누적 CH_4 배출량이 68.2% 저감되었다. 토양 Eh는 6월 8일 이앙과 동시에 담수하여 6월 12일에 P와 NP 처리구에서 각각 - 24, 39 mV로 나타났으며, 7월 1일경 두 처리구 모두 -400 mV 내외로 낮아지기 전까지 마른논써레질 처리구가 높은 경향을 나타내었다. 이는 본답 준비 과정에서 마른논써레질과 담수 시기의 차이에 의해 환원 조건 형성이 지연된 것으로 판단된다. 반면 7월 1일 이후에도 CH_4 배출량의 차이는 지속되었는데, 이는 CH_4 배출량 저감 효과가 환원 조건 형성의 지연뿐만이 아님을 시사한다. 이앙 직전 토양 용적밀도를 분석 결과, P와 NP 처리구 각각 1.12, 1.23 g cm^{-3}로 무논써레질 작업 시 토양이 상대적으로 이완되는 것을 보여준다. 최고분얼기 시점에는 5cm에서 두 처리구 모두 1.29 g cm^{-3}로 처리 간 차이가 없어진 반면, 각각 10cm에서 1.30, 1.48 g cm^{-3}, 15cm에서는 1.46, 1.56 g cm^{-3}로 하층에서 차이가 있었다. 이는 무논써레의 담수 교반으로 입단이 파괴되면서 토양이 분산·이완되고, 이 과정에서 입단 내부의 유기탄소가 분해되며 CH_4 생성의 기질로 공급되었을 가능성을 시사한다. 결론적으로 마른논써레로의 전환은 CH_4 배출을 저감할 수 있었으며, 이는 써레 방식이 벼논 CH_4 저감을 위한 실효적인 관리 방안이 될 수 있음을 나타낸다. 향후 수량과 전 생육기간 누적 CH_4 배출량 평가를 통해 감소 효과의 지속성과 실용성을 검증할 필요가 있다.

주제어: 마른논 써레질, 메탄(CH_4), 벼논, 산화환원전위(Eh), 용적밀도
주연구자 연락처: zooz9005@korea.kr (063-238-5305)

PB-028

Effects of Organic Fertilizer Types on Greenhouse Gas Emissions and Vegetative Growth of 'Gamtan' Rice under Pot Conditions

Yeomyeong Lee, Hyun Young Hwang*, Min Young Han, Yeon Ho Kim, Sang Min Lee, and Sung Jun Hong
Regenerative Organic Agriculture Division, Department of Agricultural Environment,
National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea

Organic fertilizers such as compost and oil cake can differ in their decomposition and nitrogen mineralization characteristics, affecting nutrient availability, rice growth, and greenhouse gas (GHG) emissions including CH_4 and N_2O in rice paddies. However, studies comparing the individual and combined effects of compost and oil cake on rice growth and GHG emissions at an equivalent nitrogen application rate remain limited. A pot experiment was conducted using Gamtan rice to investigate the individual and combined effects of compost and oil cake on GHG emissions and rice growth under same N input. Four treatments were established: no fertilizer (NF), compost (Com), oil cake (OC), and compost combined with oil cake (Com+OC). Based on previous reports that 'Gamtan' performs well under reduced N input(inorganic fertilizer), each fertilized treatment received 63 kg N ha^{-1}, set at 70% of the recommended N rate for rice cultivation. By 108 days after transplanting (DAT), cumulative CH_4 emissions were significantly higher in the OC-containing treatments than in NF and Com, although Com+OC showed a non-significant reduction of 9.2% compared with OC. Interestingly, Com+OC significantly reduced cumulative N_2O emissions by 13.6% compared with OC. Despite this reduction, total global warming potential (GWP) remained significantly higher in both OC-containing treatments than in NF (1.70 Mg CO_2-eq ha^{-1}) and Com (2.72 Mg CO_2-eq ha^{-1}). Com+OC (4.09 Mg CO_2-eq ha^{-1}) showed a 9.9% lower GWP than OC (4.54 Mg CO_2-eq ha^{-1}), but the difference was not statistically significant. Rice growth differences became evident at the later growth stage. At 70 DAT, Com and Com+OC significantly increased plant height compared with NF, while OC and Com+OC significantly increased tiller number. However, SPAD values did not differ among treatments. Conclusively, organic fertilizer type could strongly influence both rice growth and GHG emissions even under same N input. Oil cake-containing treatments promoted tiller development but increased total GWP, while combining compost with oil cake reduced N_2O emissions without significantly lowering CH_4 emissions or total GWP compared with oil cake alone. However, final grain yield and yield-scaled GHG intensity should be evaluated to determine the overall trade-off between rice productivity and environmental impact.

Correspondence: hyhwang@korea.kr (063-238-2563)

PB-029

MCT 방식을 활용한 농업부산물 바이오차 제조 및 이화학적 특성

Characteristics of Biochar Produced from Agricultural By-products Using the Material Carbonization Tunnel (MCT) Process

윤여욱[1]*, 유승민[2], 김선중[1], 이정수[1], 이정[1], 정종태[1], 이재한[1]
Yeo-Uk Yun[1]*, Seung-Min Yu[2], Seon-Joong Kim[1], Jeong-Su Lee[1], Jeong Lee[1], Chong-Tae Chung[1], and Jae-Han Lee[1]
[1]충청남도농업기술원, [2]셀디
[1]Chungcheonnam-do Agricultural Research and Extension Services, Yesan, 32418, Korea
[2]Sustainable Energy Research and Development Institute (SERDI), Anseong, 17570, Korea

농업부산물의 바이오차 전환은 폐기물 처리 부담을 줄이는 동시에 토양 탄소저장과 농업환경 개선에 기여할 수 있으나, 상용화를 위해서는 다양한 원료에 대한 연속처리 가능성, 제조 에너지 절감 및 생산물의 품질 확보가 필요하다. 본 연구에서는 연속식 MCT(Material Carbonization Tunnel) 방식의 탄화장치를 이용하여 왕겨, 콩 부산물, 고추 부산물, 들깨 부산물, 사과 전정지 및 포도 전정지 등 6종의 농업부산물을 열분해하고, 운전 중 전력소비량과 생산된 바이오차의 화학적 특성을 조사하였다. MCT 장치는 연속식·간접탄화 방식으로 시간당 200 kg 이상의 농업부산물을 처리할 수 있도록 구성되었으며, 탄화 과정에서 발생하는 가스와 열을 제연시설을 통해 처리하도록 설계되었다. 전력소비량은 장치 가동 시점부터 시간별 적산 전력량을 측정하였다. 왕겨를 원료로 9시간 가동한 결과, 총 전력소비량은 176.5 kWh였으며, 시간당 평균 소비량은 19.6 kWh로 나타났다. 특히 예열 구간인 첫 1시간에는 39.2 kWh가 소비되었으나, 이후 8시간 동안에는 시간당 14.9 ~ 21.3 kWh, 평균 17.2 kWh로 감소하였다. 탄화기 내부 온도는 가동 2시간 후 461.9°C까지 상승한 뒤 약 353 ~ 385°C 범위에서 유지되었다. 이는 초기 예열 이후에는 히터의 연속적인 고출력 운전 없이 모터와 부대장치 중심으로 운전됨에 따라 전력소비가 감소한 것으로 판단되며, MCT 방식이 농업부산물의 연속 탄화 과정에서 비교적 낮은 전력으로 운전될 수 있음을 보여준다.

생산된 바이오차의 pH는 8.5 ~ 11.7로 원료에 따라 차이를 보였으며, 총탄소 함량은 왕겨 49.4%, 콩 부산물 61.0%, 고추 부산물 71.2%, 들깨 부산물 55.4%, 사과 전정지 77.3% 및 포도 전정지 77.3%로 조사되었다. H/C 몰비는 0.33 ~ 0.57, O/C 몰비는 0.11 ~ 0.24 범위로 나타났다. 바이오차 기준인 총탄소 40% 이상, H/C 몰비 0.7 이하 및 O/C 몰비 0.4 이하와 비교한 결과, 6종의 바이오차가 모두 비료공정규격 기준에 적합하였다. 특히 사과와 포도 전정지 바이오차는 총탄소 함량이 가장 높았고, 포도 전정지 바이오차는 H/C 및 O/C 몰비가 각각 0.37과 0.11로 낮아 탄화도와 탄소 안정성이 높은 것으로 평가되었다. 고추 부산물 바이오차도 총탄소 함량이 71.2%로 높았으며, 콩과 들깨 부산물 바이오차는 K_2O 함량이 각각 8.07%와 8.17%로 높아 원료에 따른 무기양분 조성의 차이가 확인되었다. 이상의 결과, MCT 방식은 다양한 농업부산물을 연속적으로 탄화할 수 있고 예열 이후 전력소비량이 낮게 유지되었으며, 생산된 바이오차가 총탄소와 탄화안정도 기준을 모두 충족하여 농업부산물의 탄소저장형 자원화 기술로 활용 가능성이 높은 것으로 판단된다.

주제어: 농업부산물, 바이오차, MCT(Material Carbonization Tunnel), 전력소비량, 탄화안정도
주연구자 연락처: aoggi61@korea.kr (041-635-6103)

PB-030

무경운 연용 농업 환경에서 탄소 저장 및 지구온난화 가속화 정도 평가

Assessment of Soil Carbon Sequestration and Global Warming Potential in a Continuous No-Tillage Agricultural System

노수빈, 이위영, 윤정환, 정석순, 박병준, 무니르 부시라, 이내경, 윤상민, 유지은, 김혁수*
Subin Noh, Wiyoung Lee, Junghwan Yoon, Seoksoon Jeong, Byungjun Park, Munir Bushra, Naegyeng Lee, Sangmin Yoon, Jieun Yoo, and Hyucksoo Kim*
강원대학교
Kangwon National University

기후변화 시대에 농경지 토양 내 탄소를 격리하여 탄소 흡수원의 기능을 극대화하는 것은 기후변화 완화와 탄소중립 실현을 위한 핵심 전략으로 주목받고 있다. 농경지 내 탄소 저장은 유기물의 유입, 분해 및 유출의 균형에 의해 결정된다. 이에 본 연구는 무경운 조건에서 농경지 내 탄소 저장 및 온실가스 감축에 유리한 토양 관리 방안을 구명하고자 수행되었다.

시험 포장은 강원도 춘천시 신동에 위치한 서리태 밭에 조성하였다. 처리구는 무기질 비료, 퇴비, 풋거름 작물(헤어리 베치)의 단일 및 복합 처리를 통해 총 6개로 구성하였으며, 2년간 무경운 연용 실험을 진행하였다. 온실가스(CH_4, CO_2, N_2O) 시료는 전용 포집 챔버를 이용하여 채취한 후 가스크로마토그래피로 분석하였다. 수확은 11월 경 진행하였으며, 수확량과 콩대, 잔사, 뿌리 등 처리구 내에서 발생한 작물생산 탄소량을 확인하였다. 온실가스 누적 배출량과 작물생산 탄소량을 바탕으로 순생태계 탄소수지(NECB)와 순지구온난화 지수(Net GWP)를 산정하여 탄소 저장 및 지구온난화 가속화 정도를 평가하였으며, 토양 유기탄소 축적량(SOC Stock)의 변화를 함께 분석하였다.

밭 토양의 특성상 CH_4 배출량은 전반적으로 낮게 나타났다. 이산화탄소는 1년 차에 처리구 간 유의한 차이가 없었으나, 2년 차에는 무기질 비료와 퇴비 복합 투입 처리구에서 가장 높았다. 2년 차의 CO_2 배출량이 전반적으로 감소하였는데, 이는 연용에 따른 안정화 효과로 사료된다. 아산화질소의 경우 무기질 비료가 포함된 복합 처리구에서 배출량이 증가하는 경향을 보였으며, 이는 작물 흡수 전 질소의 빠른 용탈에 기인한 것으로 판단된다. 농업 활동에 따른 환경 영향을 종합적으로 평가한 결과, 순생태계 탄소수지는 1년 차 무기질 비료와 풋거름 작물 복합 처리구를 제외한 모든 처리구에서 양수를 기록하여 농경지 내 탄소가 저장되었음을 확인하였다. 순지구온난화 지수 역시 같은 처리구를 제외하고 모두 음수로 나타나 지구온난화 완화 효과를 보였다. 특히 퇴비를 단일 투입하거나 풋거름 작물과 복합 투입하였을 때 탄소 저장 및 온난화 억제 기여도가 가장 높았다. 토양 유기탄소 축적량은 무경운 방식을 적용함에 따라 전반적으로 증가하는 경향을 보였으며, 무기질 비료와 퇴비를 복합 투입한 처리구에서 가장 높은 증가율을 나타냈다.

결론적으로, 연용 실험을 통해 무경운 밭 토양에 퇴비를 단일 혹은 복합 처리하는 방식이 토양 및 농경지 내 탄소 저장과 온실가스 완화에 가장 유리한 관리 방안임을 확인하였다.

주제어: 토양관리, 온실가스, 무경운, 순생태계 탄소수지, 순지구온난화 지수
주연구자 연락처: lucy7637@kangwon.ac.kr (033-250-6442)
kimhs25@kangwon.ac.kr

PB-031

무경운 유기농업 환경에서 온실가스 배출량 및 탄소 저장량 평가

Evaluation of Greenhouse Gas Emissions and Carbon Storage in No-Tillage Organic Farming Systems

노수빈, 윤정환, 박병준, 원채윤, 박인수, 이내경, 신승훈, 황조은, 주진호*
Subin Noh, Junghwan Yoon, Byungjun Park, Chaeyoun Won, Insoo Park, Naegyeng Lee, Seunghoon Shin, Joeun Hwang, and Jinho Joo*
강원대학교
Kangwon National University

현재 농업 활동은 온실가스 배출원으로 분류되지만, 농경지 토양을 적절히 관리 시 탄소 흡수원으로의 기능을 수행할 수 있다. 따라서 농업 환경 중 배출되는 온실가스 배출량을 줄이고, 토양 내 탄소 흡수량을 증가시킬 수 있는 실용적인 현장 관리 기술의 개발이 시급하다. 무경운 농법은 토양 교란을 최소화하고, 온실가스 배출량을 감축할 수 있는 기술로 알려져 있는데, 여기에 유기농법을 병행할 경우 온실가스 배출 저감 효과를 더욱 극대화할 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 무경운 조건에서 관행 농법과 유기농업의 효과를 비교 평가한 연구는 아직 부족한 실정이다.

이에 본 연구는 무경운 옥수수 재배지에서 다양한 유기자원의 투입이 농업 환경에 미치는 영향을 규명하고자 2년간 수행되었다. 포장 시험은 강원도 춘천시에 위치한 유기 옥수수 재배지에서 진행되었으며 처리구는 무처리, 관행, 유박, 퇴비, 녹비+유박, 녹비+퇴비 등 총 6개로 구성하였다. 온실가스(CH_4, CO_2, N_2O)는 챔버법을 이용하여 채취한 후 가스크로마토그래피로 분석하였다. 또한, 온실가스 배출량을 포함한 옥수수 수확량 및 작물 생산 탄소량을 바탕으로 순생태계 탄소수지(NECB), 순지구온난화 지수(Net GWP), 단위 수량 당 온실가스 발생량(GHGI)을 산출하여 유기농업이 탄소 저장 및 지구온난화 완화에 미치는 영향을 종합적으로 평가하였다.

연구 결과, 밭 토양의 특성상 CH_4 배출량은 전반적으로 낮게 나타났다. 이산화탄소의 경우 1년 차에는 유기자원 처리구에서 배출량이 높은 경향을 보였으나, 2년 차에는 전반적인 처리구에서 감소하는 경향이었다. 아산화질소 배출량은 1년 차에 녹비+유박 처리구에서, 2년 차에는 무처리와 관행 처리구에서 가장 높았다. 농업 환경 내 탄소 저장 지표인 NECB는 1년 차 퇴비 단일 처리구와 2년 차 녹비+퇴비 처리구에서 가장 높았다. 특히, 퇴비가 투입된 처리구에서 농업 환경 내 탄소 저장량 증대가 확인되었으며, Net GWP 역시 가장 낮게 나타나 지구온난화 억제 효과가 뚜렷했다. GHGI는 1년 차 녹비+유박 처리구와 2년 차 무처리구에서 가장 높았는데, 이는 높은 N_2O 발생량과 연관이 있는 것으로 확인되었다. 또한 녹비+퇴비 처리구의 GHGI는 2년 연속 가장 낮은 수치를 나타냈다.

결론적으로, 무경운 조건에서 유기자원 중 녹비+퇴비를 투입하는 방식은 1년 차에 비해 2년 차에 순생태계 탄소수지를 증대시키고 지구온난화를 억제하며, 장기적으로 낮은 GHGI를 유지하는 데 기여함을 알 수 있었다. 이는 해당 관리법이 농업 분야의 효과적인 탄소 흡수원이자 온실가스 저감 기술로 현장에 적용될 수 있음을 시사한다.

주제어: 유기농업, 유기자원, 온실가스, 무경운, 순생태계 탄소수지, 순지구온난화 지수
주연구자 연락처: lucy7637@kangwon.ac.kr (033-250-6442)
jhjoo@kangwon.ac.kr

PB-032

벼 재배 시 물관리 및 써레질 방법에 따른 논토양 산화환원전위와 메탄 배출 특성

Effects of Water Management and Puddling Practices on Soil Redox Potential and Methane Emissions in a Rice Paddy

이효정[1], 오승가[1], 이윤호[2], 조영손[1]*
HyoJeong Lee[1], Seungka Oh[1], Yoonho Lee[2], and Youngson Cho[1]*
[1]경상국립대학교, [2]농촌진흥청 국립식량과학원 기초식량작물부 재배생리과
[1]Gyeongsang National University
[2]Crop Production and Physiology Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration

관행 농법인 무논써레질은 담수된 논에서 2번의 로터리와 써레질 과정을 거친 후 이앙 하는 반면, 마른논써레질은 마른 상태의 논에서 초벌 로터리와 레이저 균평기를 이용하여 정지 작업을 실시한 후 담수하여 이앙하는 방식이다. 이러한 방식은 작업 기간 단축, 농번기 노동력 집중 분산뿐만 아니라 토양 입단 형성, 토양 환원 및 메탄(CH4) 발생량 억제 등의 장점이 있다. 중간낙수는 재배기간 중 일시적으로 관수를 중단하여 토양을 산화적 조건으로 전환시킴으로써 메탄생성균의 활성을 억제하는 대표적인 물관리 기반 메탄 저감 기술로 알려져 있다. 따라서 본 연구는 써레질 및 물관리 방법이 논토양의 산화환원전위(Eh) 및 메탄 배출에 미치는 영향과 Eh와 CH4 flux 간의 관계를 구명하여, 논 메탄 배출 저감을 위한 관리기술 확립의 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

본 연구는 경상남도 의령군 궁류면 압곡리에 위치한 벼 재배지에서 수행하였다. 물관리 방법인 중간낙수(Mid-season drainage, MD)와 상시담수(Continuous flooding, CF)를 주구로 하고, 써레질 방법인 마른논써레질(Non-puddling, NP)과 무논써레질(Puddling, P)을 세구로 하는 분할구배치법으로 3반복으로 수행하였다. 2025년 6월 11일에 새청무를 주간 15 cm, 조간 30 cm로 이앙하여 10월 15일에 수확하였다. 중간낙수 처리는 2025년 7월 14일부터 7월 28일까지 14일간 실시하였고, 상시담수 처리구는 벼 재배기간 동안 약 5 cm의 담수심을 유지하였다. CH_4 flux는 폐쇄형 챔버법을 이용하여 주 1 ~ 2회씩 총 22회 측정하였으며, 측정값을 이용하여 벼 재배기간의 누적 CH_4 배출량을 산정하였다. 토양 Eh는 CH_4 flux 측정일과 동일한 날짜에 ORP 측정기(ORP 40-4-D, SWAP Instruments, Netherlands)를 이용하여 처리구별로 측정하였다.

그 결과 중간낙수 기간 동안 MD-NP와 MD-P의 토양 Eh는 각각 -273, -303 mV까지 상승하였으나, 양의 값으로 전환되지 않았다. 이는 2025년 7월 17일과 7월 19일에 각각 115.1 및 214.6 mm day-1의 집중강우로 토양 건조와 산소 확산이 충분히 이루어지지 못했기 때문으로 판단된다. CF-NP와 CF-P는 전체 평균 각각 -404, -410 mV로 재배 기간동안 환원 상태가 유지되었다. 이에 따라 MD 처리구의 CH_4 flux는 중간낙수 처리 후 급격히 감소하였으나, CF 처리구에서는 높은 수준이 지속되었다. MD-NP, MD-P는 8월 중순부터 완만히 재상승하여 8월 하순~9월 상순에 각각 최대 약 120, 150 mg CH_4 m-2 day-1에 도달한 반면, CF 처리구(CF-NP, CF-P)는 각각 동일 시기 최대 약 340, 470 mg CH_4 m-2 day-1까지 상승하였다. 출수기 전후 근권 삼출물 분비 증가에 따른 메탄생성 기질 공급 확대로 출수기(8월 25일)를 전후하여 flux 값이 가장 높게 나타났다. 누적 CH_4 배출량은 MD-NP가 40.0 kg CH_4 ha^{-1}로 가장 낮았고, CF-P가 210.7 kg CH_4 ha^{-1}로 가장 높게 나타나 MD는 CF 대비 최대 77.4%, NP는 P 대비 최대 33.1% 감축하였다. 토양 Eh와 CH_4 flux 간에는 유의한 음의 상관관계가 나타났다(r = -0.509, $p < 0.001$). 따라서 중간낙수는 논토양의 강한 환원상태를 완화하여 메탄 배출을 효과적으로 저감할 수 있는 것으로 확인되었다. 또한, 마른논써레질과의 병행은 작업 기간이 단축과 논에서의 메탄 배출을 줄일 수 있는 유용한 농업관리기술로 활용 가능성이 있는 것으로 판단된다.

주연구자 연락처: protaetiacho@gnu.ac.kr (010-7183-3682)

PB-033

축분바이오차 연용 및 증량처리에 따른 알칼리성 마늘 재배지의 토양 탄소축적과 작물 반응

Soil Carbon Accumulation and Crop Response in Alkaline Garlic Cultivation Sites Following Continuous and Increased Treatment of Livestock Manure Biochar

정혜정*, 오혜민, 조우영, 유영준, 권오훈, 이문중
HyeJeong Jeong*, Hye Min Oh, Woo Yongh Gho, Young Jun You, Oh-Hun Kwon, and Mun Jung Lee
경상북도농업기술원 유기농업연구소
Gyeongbuk Agricultural Research & Extension Services Organic Agriculture Reseach Institute

탄소중립 실현을 위해 농경지 탄소저장 기술의 중요성이 증가하면서 바이오차의 농경지 활용에 관한 관심이 높아지고 있다. 특히, 축분바이오차는 축산부산물의 자원순환과 탄소저장을 동시에 달성할 수 있는 소재로 기대되고 있으나 장기간 농경지에 연용하였을 때 토양 특성과 작물 생산성에 미치는 영향은 충분히 검토되지 않았다. 또한 초기 토양 pH가 높은 알칼리성 농경지에서의 축분바이오차의 장기 시용에 따른 토양 탄소축적과 화학성 변화, 적정 처리량에 대한 연구가 부족한 실정이다. 따라서, 본 연구는 알칼리성 마늘 재배지에서 축분바이오차의 3년 연용처리와 2년 증량처리에 따른 토양 탄소축적, 토양 특성 및 작물 반응을 평가하였다. 시험 작물은 의성마늘이며 시험 토양은 초기 pH가 7.5 이상인 알칼리 토양에서 수행하였다. 450°C에서 탄화한 분말형 축분(계분) 바이오차를 활용하였고, 처리는 연용처리와 증량처리로 구분하였다. 연용처리인 0kg/10a, 300kg/10a, 퇴비 처리는 3년 연용하였고, 600kg/10a, 1,200kg/10a, 3,000kg/10a는 2년 연용하였다. 그 결과, 연용처리에서는 일반화학성, 중금속 및 탄소축적 지표에서 무처리와 유의한 차이가나타나지 않았다. 작물 생육 및 수량에서도 무처리와 통계적 차이가 없었다. 증량처리에서는 처리 농도가 높아질수록 pH, 전기전도도, 유효인산, 치환성 K, 치환성 Mg 함량이 증가하였다. 토양 탄소지표인 토양 총 탄소(T-C)와 SOC저장량은 처리량 증가에 따라 증가하는 경향을 보였으나 3,000kg/10a 처리에서만 유의미한 차이를 확인하였다. 시험에 사용한 축분바이오차는 구리와 아연 함량이 120ppm, 666ppm으로 높아 처리 후 토양 중 중금속 함량을 비교하였다. 그 결과, 처리량 증가에 따라 토양 중 구리와 아연의 축적량이 증가하는 경향을 확인하였으며 축분바이오차 처리량과 토양 중 구리와 아연 함량의 결정계수(R^2)는 각각 0.9729, 0.9112로 높게 나타났다. 마늘 생육은 600kg/10a 처리에서 가장 우수하였으며 평균구중과 수량 모두 무처리 대비 각각 30%이상 향상되었다. 그러나 1,200kg/10a 이상 고농도 처리에서는 생육과 수량이 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과를 종합하였을 때, 300kg/10a의 3년 연용처리는 토양화학성을 안정적으로 유지하였으나 탄소축적, 작물 생육 증진과 관련된 효과가 제한적이었다. 증량처리에서는 처리량 증가에 따라 토양 탄소축적 효과는 향상되었으나 1200kg/10a 이상의 고농도의 처리에서는 토양 EC와 양분 및 중금속 축적이 동반되었고, 작물의 생육 및 수량이 감소하는 경향을 나타내었다. 따라서 알칼리성 마늘 재배지에서는 토양 탄소축적과 작물 생산성을 종합적으로 고려했을 때 축분바이오차 600kg/10a 수준이 적정 처리량으로 판단된다.

주연구자 연락처: hyejj84@korea.kr (054-832-9669)

PB-034

경북의 농업부문 온실가스 배출량 장기 변동 특성 및 감축 요인 분석

Long-Term Emission Characteristics and Reduction Drivers of Greenhouse Gases from Agricultural Crop Sector in Gyeongsangbuk-do (1990-2024)

장명환[1]*, 정연규[1], 정혜린[1], 서영진[1], 박만[2]
Myeong Hwan Jang[1]*, Yeon Gyu Jeong[1], Hye Rin Jeong[1], Young Jin Seo[1], and Man Park[2]
[1]경상북도농업기술원, [2]경북대학교
[1]Gyeongsangbuk-do Agricultural Research and Extension Services
[2]Kyungpook National University

본 연구는 2006 IPCC 가이드라인 및 국가 고유 배출계수를 적용하여 1990년부터 2024년까지 경상북도 농업 재배 부문(벼재배, 농경지토양, 작물잔사소각, 요소시용)의 온실가스 배출량 시계열 변동 특성을 정량적으로 분석하고 주요 감축 요인을 규명하고자 수행되었다.

경상북도 재배 부문의 총 온실가스 배출량은 1990년 2,817.59 천 톤 CO2eq에서 2024년 1,145.92 천 톤 CO2-eq로 59.3% 대폭 감소하였으며, 농업 전체 배출량 내 재배 부문 비중 역시 71.9%에서 35.8%로 낮아졌다. 2024년 기준 재배 부문 배출량의 69.8%(799.57 천 톤 CO2eq)는 벼재배 부문에서 발생하였고, 농경지토양 부문이 30.1%(345.38 천 톤 CO2eq)를 차지하였다. 벼재배 부문은 벼 재배면적 감소 및 물관리 관개 기술 전환으로 1990년 대비 배출량이 65.0% 감소하였다. 물관리 형태별로는 중간물떼기(1~2주)가 52.2%로 가장 높았으며, 상시담수(18.7%), 중간물떼기(1주 미만, 14.9%), 중간물떼기(2주 이상, 14.2%) 순으로 나타났다. 농경지토양 부문의 경우, 화학비료 직접 시용에 의한 배출량은 화학비료 절감 정책의 효과로 1990년 169.44 천 톤에서 2024년 51.31 천 톤 CO2eq로 69.7% 감소한 반면, 축산 두수 증가에 따른 가축분뇨 토양 투입 배출량은 72.15 천 톤에서 140.78 천 톤 CO2-eq로 95.1% 급증하였다. 작물잔사소각 및 요소시용에 의한 배출량은 지속적인 노천소각 금지 및 시용 패턴 변화에 따라 2024년 기준 미비한 수준(0.1% 이하)으로 감소하였다.

결론적으로 경상북도 재배 부문의 온실가스 추가 감축을 위해서는 최대 배출원인 벼재배 시 중간물떼기(2주 이상) 및 얕게 대기 관개기술 확대 보급과 함께, 급증하는 가축분뇨 유래 토양 N2O 배출을 제어하기 위한 지역 단위 양분종합관리(NMP) 체계 구축이 시급한 것으로 판단되었다.

주연구자 연락처: hwanmj@korea.kr (053-320-0230)

PB-035

Effects of Biochars from Different Feedstocks on N_2O Emissions, Nutrient Uptake, and Yield of Altari Radish (*Raphanus sativus* L.) under Greenhouse Cultivation

Soe Sandar Aung[1], Da-Hyun Kang[1], Tae-Hyeong Kang[1], Woo-Sung Shin[1], and Won-pyo Park[2]*
[1]Department of Agricultural Science, Jeju National University, Jeju 63243, Korea
[2]Plant Resources and Environment Major, College of Applied Life Science, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

Investigating greenhouse gas (GHG) emissions associated with fertilizer application is critical, as agricultural soils receiving fertilizer are an important source of nitrous oxide (N_2O), a potent GHG. This study evaluated the effects of biochar application at 2 t ha^{-1} on GHG emissions, nutrient uptake, yield, and post-harvest soil properties of greenhouse-grown altari radish under unfertilized and NPK fertilized conditions. The experiment was conducted with four biochar treatments: control, garlic stalk biochar (GB), chicken manure biochar (CB), and a 1:1 mixture of GB and CB biochar (GCB) under no-fertilizer (NF) and chemical fertilizer (CF) conditions. CO_2 and N_2O emissions were measured 12 times with three replications throughout the cultivation period. Yield was determined based on fresh root weight, and N, P, and K concentrations and uptake were determined separately for shoots and roots. Soil physicochemical properties were assessed after harvest. The CF control exhibited the highest N_2O emissions. Compared with the corresponding controls, biochar reduced cumulative N_2O emissions by 24-72% under NF and 39-49% under CF. Yield-scaled N_2O emissions were also markedly reduced, by 57-92% under NF and 59-76% under CF. For yield, under NF, CB showed the greatest yield response, producing a 3.63-fold increase. Under CF, CB and GCB yielded approximately 1.99 and 2.02-fold more than the CF control, respectively. Biochar also increased nutrient uptake, with CB showing the strongest response under NF and CB and GCB generally producing the highest uptake under CF. Biochar significantly affected post-harvest soil chemical properties, whereas soil physical properties remained unchanged, possibly because of the short cultivation period. GB produced a more pronounced increase in soil total carbon, whereas CB and GCB resulted in greater increases in pH, total N, exchangeable Ca, and available P_2O_5. These results demonstrate feedstock-dependent biochar functions: plant-derived biochar may be more suitable for enhancing soil carbon, whereas manure-derived biochar may provide greater nutrient and soil-fertility benefits. Therefore, these findings suggest that biochar, particularly a 1:1 mixture of two biochars, can improve agronomic performance while mitigating environmental impacts under both NF and CF conditions.

Correspondence: oneticket@jejunu.ac.kr (010-6663-0306)

PB-036

벼논에서 복합기술 적용시 온실가스 감축 기술의 농산물 인증제 적용 가능성 평가

Evaluation of the Applicability of Greenhouse Gas Reduction Technologies to the Agricultural Product Certification System When Applying Combined Technologies in Rice Paddy Fields

김건엽[1]*, 이재인[1], 박성직[1], 임송택[2]
Gun Yeob Kim[1]*, Jae In Lee[1], Seong Jik Park[1], and Song Tak Lim[2]
[1]한경국립대학교, [2]에코네트워크
[1]Hankyong National University
[2]ECO network

메탄(CH_4)은 혐기 상태에서 유기물이 분해될 때 발생한다. 논은 메탄의 배출원으로, 우리나라 메탄 배출량의 23%가 논에서 배출되는 것으로 알려져 있다. 토양은 담수상태로 대기로부터 산소공급이 원활하지 않기 때문에 토양 내 유기물은 혐기적 분해과정을 거치면서 밭 토양에서 발생되지 않는 미량기체들인 CH_4, ammonia, hydrogen sulfide, mercaptans, dimethyl sulfide 등이 발생하게 된다. 이 중 가장 많이 배출되는 것은 CH_4가스이다. CH_4은 담수된 논에서 H_2+CO_2 또는 acetate를 기질로 하여 편성혐기(偏性嫌氣) 조건에서 CH_4 생성균에 의해 생성되며, 이렇게 생성된 CH_4은 CO_2로 산화되거나 벼 통기조직을 통하여 90%이상이 배출된다. 대기로 배출된다. 그리고 논은 담수 상태에서 투입된 질소원들이 NO_3→N_2O→N_2 전환과정을 거치는데, 중간생성물인 N_2O는 신속히 N_2로 전환되고, 상당량의 N_2O가 물에 녹기 때문에 N_2O배출량은 적다. 그러나 과다한 배수는 양분 및 유기산의 용탈을 초래하고 지하수의 염류 집적을 야기 시키게 되므로 적절한 논물 관리가 필요하다. 벼논에서 온실가스 배출은 물 관리뿐만 아니라 유기물 또는 질소 비료의 종류에 따라 저감할 수 있다. 따라서 온실가스 감축량 증대를 위해 하나의 기술이 아닌 물 관리와 양분 관리 등 복합기술을 통하여 온실가스 배출을 평가하고자 하였다.

본 연구는 물 관리 및 양분 처리별 지구온난화지수(GWP)로 환산한 온실가스 배출량에서 온실가스 감축효과는 상시담수+NPK 처리에 비해 논물얕게대기+완효성비료 처리에서 64.8%, 간단관개+NPK 처리에 비해 34.3%로 가장 컸으며, 정조수량도 다른 처리에 비해 논물얕게대기+완효성비료 처리에서 가장 높았다. 따라서 비료이용효율과 온실가스 감축효과를 종합적으로 평가 한 결과, 논물얕게대기+완효성비료와 간단관개+완효성비료 처리가 가장 큰 것으로 나타나 향후 신규 저탄소 농업기술로 인정하여 농산물 인증제에 적용이 가능하도록 검토가 필요하다.

주연구자 연락처: gykim1024@gmail.com (010-2258-8683)

PB-037

Effects of Chicken Manure Biochar on Soil and Chrysanthemum Growth

Gyeongwon Kim*, Heeyoung Jang, Seungtae Kim, Jeongsuk Bae, Jangsoo Kim, and Seunghan Kim
Gumi Smart Farming Research Institute, Gyeongsangbuk-do Agricultural Research & Extension Services, Gumi 39102, Korea

The agricultural application of chicken manure biochar (CMB) is emerging as a promising strategy for soil carbon sequestration and sustainable agriculture. However, its application is limited due to concerns about negative effects, such as salinity stress, extreme alkalization, and phytotoxicity. Therefore, this study investigated the effects of varying CMB application rates (CMB300 to CMB1200) on soil chemical properties and Chrysanthemum growth. Results demonstrated that CMB1200 exclusively led to a significant increase in Total Carbon (TC) and Soil Organic Matter (SOM) ($p < 0.05$), while safely elevating the C/N ratio without depleting the soil Total Nitrogen (TN) content. In particular, CMB acted as a potential potassium (K) source, increasing exchangeable K by nearly three times compared to the control, while significantly mitigating salinity indicators (EC and Na) and maintaining a stable soil pH (7.7-8.0). Furthermore, even at the highest application rate (CMB1200), no physiological disorders or growth hindrances were observed; the total fresh weight of the crop was fully maintained, and internode length was significantly maximized in the CMB900 treatment ($p < 0.05$). These findings suggest that the application of CMB can safely and effectively achieve stable carbon sequestration and nutrient provision without compromising crop productivity.

Correspondence: kgw8438@korea.kr (010-8438-9983)

PB-038

바이오차 처리가 브로콜리 재배지의 뿌리혹병 발병 억제와 토양 이화학성 변화에 미치는 영향

Effects of Biochar Application on Clubroot Incidence and Soil Physicochemical Propertis in a Broccoli Field

현희정*, 이정민, 김영민, 고안나, 문경희, 김효정, 고순보
Heejeong Hyun*, Jungmin Lee, Youngmin Kim, Anna Ko, Kyunghee Moon, Hyojeong Kim, and Sunbo Ko
제주특별자치도농업기술원
Jeju Special Self-Governing Province Agricultural Research & Extension Services

배추과 작물의 뿌리혹병은 토양전염성 병해로 산성 및 과습한 토양조건에서 발생이 증가하는 것으로 알려져 있다. 병원균에 감염된 뿌리는 혹을 형성하고 병이 진전됨에 따라 양·수분 흡수가 저해되고, 이로 인해 작물의 생육이 억제되고 수량이 크게 감소한다.바이오차는 바이오매스를 산소가 제한된 조건에서 350°C 이상으로 열분해하여 제조한 탄소질 소재이다. 일반적으로 알칼리성을 띠며 다공성 구조를 가져 토양의 pH와 물리적 특성을 개선하는 토양개량 소재로 활용되고 있다. 이에 본 연구에서는 뿌리혹병 발생 브로콜리 재배지에서 바이오차 처리량에 따른 병 발생, 작물 생육 및 토양 이화학성 변화를 조사하여 환경친화적 뿌리혹병 관리 소재로서 바이오차 활용 가능성을 평가하고자 하였다. 시험은 2025년과 2026년 제주특별자치도 제주시 한림읍 대림리 소재 뿌리혹병 발생 농가 포장에서 봄재배 브로콜리를 대상으로 수행하였다. 바이오차는 시험구별 0, 200, 400 및 800kg·10a^{-1}로 처리하였다. 처리량에 따른 뿌리혹병 발병도와 초장, 화뢰중 등 생육특성을 조사하였고, 토양의 pH, 전기전도도, 유기물, 총탄소, 총질소, 유효인산, 치환성 양이온 및 용적밀도를 분석하였다. 2025년 뿌리혹병 발병도는 무처리에서 78%였으며, 바이오차 처리구에서 각각 75-77%로 처리 간의 유의한 차이는 없었다. 초장은 400kg·10a^{-1} 처리에서 가장 높게 나타났으며, 화뢰중은 400 및 800 kg·10a^{-1} 처리에서 무처리보다 높게 나타났다. 2026년 발병도는 무처리에서 78.9%, 바이오차 처리구에서 72.8-85.2%로 처리 간 유의한 차이가 없었으며, 병 발생에 따른 생육 저하로 화뢰가 형성되지 않아 화뢰중은 조사하지 못하였다. 토양 pH와 전기전도도는 바이오차 처리에 따른 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다. 2026년 바이오차 800 kg·10a^{-1}처리구의 유기물과 총탄소 함량은 각각 46.2g·kg^{-1} 및 3.33%로 처리구 중 가장 높았으나, 연도와 처리량에 따른 변화 경향은 일관되지 않았다. 이상의 결과, 바이오차 단독 처리는 브로콜리 뿌리혹병 발병도를 유의하게 감소시키지 못하였다. 바이오차 처리에서 토양 pH와 전기전도도의 뚜렷한 변화는 없었으나, 일부 처리에서 유기물과 총탄소 함량이 증가하는 경향이 나타나 바이오차의 토양개량 소재로서의 활용 가능성을 시사하였으며, 바이오차의 특성과 토양조건을 고려한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

주연구자 연락처: 1025heejeong@korea.kr (064-760-7364)

PB-039

고로슬래그 기반의 강화된 암석 풍화가 토양 유기탄소의 분해와 안정화에 미치는 영향

Effects of Blast Furnace Slag-Based Enhanced Rock Weathering on Soil Organic Carbon Decomposition and Stabilization

박예림[1], 유가영[1]*, 서승희[1], 김동길[2]
Ye Lim Park[1], Gayoung Yoo[1]*, Seung Hui Seo[1], and Dong Gill Kim[2]
[1]경희대학교, [2]하와사대학교
[1]Kyung Hee University, Yongin 16704, Korea
[2]Hawassa University, P.O. Box 05, Hawassa, Sidama Region, Ethiopia

강화된 암석 풍화(Enhanced rock weathering, ERW)는 암석의 풍화를 촉진하여 대기 중 CO_2를 제거하는 토양 기반 탄소제거 기술이다. 그러나 ERW 물질에 의한 토양 화학환경 변화는 무기탄소 형성뿐만 아니라 토양 유기탄소(soil organic carbon, SOC)의 분해와 안정화에도 영향을 미칠 수있다. 본 연구에서는 무처리 대조구(non-amended control, CON)를 두고, 저반응성 규산염 물질(amended control, AC)과 고로슬래그(blast furnace slag, BFS)를 각각 60 t ha^{-1}로 투입하여 알팔파 식재(P) 및 비식재(NP) 조건에서 290일간 포트실험을 수행하였다. 실험 0, 122 및 290일차에 토양 화학성, 효소활성 및 SOC 분획인 free particulate organic carbon(fPOC), occluded particulate organic carbon(oPOC) 및 mineral-associated organic carbon(MAOC)을 분석하였다. 또한 최종 MAOC 분획을 대상으로 sodium sulfate와 sodium pyrophosphate 추출을 실시하여 각각 Ca- 및 Fe-associated OC를 조작적으로 평가하였다. 실험 결과, AC 처리구는 대부분의 지표에서 CON과 유의한 차이를 보이지 않은 반면, BFS 처리구에서는 토양 화학성과 SOC 분획의 뚜렷한 변화가 나타났다. 실험 종료 시점인 290일차에 총 SOC 함량은 식재 여부와 관계없이 BFS 처리구에서 CON과 AC보다 약 13% 낮게 나타났다. 세개의 분획 중, fPOC는 처리구 간 차이 없이 모든 처리구에서 초기 대비 84~86% 감소하였다. oPOC는 실험기간 동안 증가하였으나 최종 시점에는 BFS 처리구에서 가장 낮았으며, 전반적으로 NP보다 P 조건에서 높았다. 반면 MAOC는 CON과 AC에서 122일차 이후 비교적 일정하게 유지된 것과 달리, BFS 처리구에서는 식재 여부와 관계없이 실험 종료 시까지 지속적으로 증가하였다. 또한, BFS 처리구에서는 식재 여부와 관계없이 높은 토양 pH와 교환성 양이온 함량이 실험 종료 시까지 유지되었으며, 산화효소 활성도 CON과 AC보다 높았다. 최종 MAOC 대비 Ca-associated OC의 상대비율은 CON보다 BFS에서 NP 및 P 조건에서 각각 8.4%p 및 4.0%p 증가하였으며, Fe-associated OC의 상대비율도 각각 12.0%p 및 6.3%p 증가하였다. 한편, 알팔파 바이오매스 탄소는 BFS 처리구에서 CON 대비 약 52% 높았다. 이러한 결과는 BFS 기반 ERW에서 토양 화학환경의 변화와 Ca 및 Fe 관련 유기물-광물 상호작용의 증가가 MAOC 축적과 함께 나타났음을 보여준다. 또한 BFS 처리에 따른 식물 생산성 증가는 장기적으로 식물 유래 탄소의 토양 유입을 확대하여 초기 SOC 손실을 일부 상쇄하고, 새롭게 유입된 탄소의 안정화에 기여할 가능성을 시사한다. 따라서 BFS 기반 ERW의 탄소제거 효과는 무기탄소 형성뿐만 아니라 SOC 분획 변화와 식물 유래 탄소 유입이 전체 토양 탄소수지에 미치는 영향을 함께 고려하여 평가할 필요가 있다.

주연구자 연락처: gayoo@khu.ac.kr (031-201-3686)

PB-040

시설재배 토양에서 마늘대 및 계분 바이오차의 2년 연용이 N2O 배출에 미치는 영향

Effects of Two-Year Consecutive Application of Garlic-Stalk and Chicken-Manure Biochars on N2O Emissions under Greenhouse Cultivation

신우성[1], 강태형[1], 강다현[1], 박원표[2]*
Woo-Sung Shin[1], Tae-Hyeong Kang[1], Da-Hyun Kang[1], and Wonpyo Park[2]*
[1]제주대학교 농학과, [2]제주대학교 식물자원환경전공
[1]Department of Agricultural Science, Jeju National University, Jeju 63243, Korea
[2]Plant Resources and Environment Major, College of Applied Life Science, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

바이오차는 농경지에서 발생하는 온실가스 배출을 저감할 수 있으나, 그 효과는 바이오차의 원료와 시용 조건에 따라 달라질 수 있다. 이에 본 연구는 마늘대 및 계분 바이오차의 2년 연용이 시설재배 토양의 N2O 배출과 열무 수량에 미치는 영향을 평가하였다. 시험 처리는 무기질비료 무처리(NF)와 처리(CF)조건에서 바이오차 무처리, 마늘대 바이오차(GB), 계분 바이오차(CB) 및 두 바이오차의 1:1 혼합 처리(GCB)로 구성하였으며, 2025년 바이오차를 시용한 시험구에 2026년 동일한 바이오차를 2 t ha^{-1}로 재시용하였다. N2O 배출량은 2차년도 열무 재배기간인 2026년 5월 7일부터 6월 23일까지 폐쇄형 챔버법을 이용하여 주 1~2회 채취한 후 가스크로마토그래피(Agilent 8890 GC, Agilent, CA, USA)로 분석하였으며, 선형보간법으로 누적 배출량을 산정하였다. 무기질비료, 바이오차 및 두 요인 간 교호작용은 누적 N2O 배출량에 유의한 영향을 미쳤다 ($p<0.05$) NF 조건에서는 바이오차 처리에 따른 누적 N2O 배출량의 유의한 차이가 없었으나, CB와 GCB 처리의 열무 수량은 각각 57,869 및 46,458 kg ha^{-1}로 NF의 15,470 kg ha^{-1}보다 각각 274.1 및 200.3% 증가하였다. 반면 CF 조건에서는 누적 N2O 배출량이 CF에서 159.00 g ha^{-1}로 가장 높았으며, CF+GB와 CF+CB 처리구에서는 각각 101.12 및 94.64 g ha^{-1}로 CF 처리구보다 36.4%와 40.5% 감소하였다($p < 0.05$). 특히 CB 처리의 열무 수량은 56,950 kg ha^{-1}로 CF의 34,979 kg ha^{-1}보다 62.8% 증가하였으며, 이에 따라 Yield-scaled N2O emission은 1.66 mg N2O kg^{-1} FW로 CF의 4.54 mg N2O kg^{-1} FW보다 63.5% 감소하였다. GCB 처리에서도 열무 수량은 CF보다 50.4% 증가하였으나, 누적 N2O 배출량의 감소는 유의하지 않았다. 이상의 결과는 바이오차 2년 연용의 2차년도에서 N2O 배출 저감과 열무 생산성에 대한 효과가 바이오차 원료와 무기질비료 시용 여부에 따라 다르게 나타남을 보여준다. 특히 계분 바이오차는 무기질비료 시용 여부와 관계없이 열무 생산성을 향상시켰으며, 무기질비료 조건에서는 누적 N2O 및 단위수량당 N2O 배출을 동시에 감소시켜 가장 일관된 효과를 나타냈다. 반면 혼합 바이오차는 생산성 향상에는 효과적이었으나, 무기질비료 조건에서 누적 N2O 저감 효과는 제한적이었다.

주연구자 연락처: hanaticket@gmail.com (010-6663-0306)

PB-041

목질계 바이오차를 활용한 일반재배 벼 육묘용 상토의 특성

Characteristics of Seedbed Media for Seedling Production of Conventional Rice Using Woody Biomass Biochar

김성우*, 이소연, 이슬, 곽경진, 김선국, 고숙주
Sungwoo Kim*, Soyoun Lee, Seul Lee, Kyungjin Kwak, Sunkuk Kim, and Sugju Ko
전남광주통합특별시농업기술원
Jeollanam-do Agricultural Research & Extension Services

국제 사회는 기후변화에 적극 대응하기 위해 선진국과 개발도상국이 같이 참여할 수 있는 신기후변화 대응 체제로 파리협정을 체결하였다. 기후변화 정부간협의체(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)에서는 파리협정의 탄소감축목표를 달성하기 위해 전지구적으로 2050년에 탄소중립을 달성하여야 한다는 방향을 제시하고, 이후 탄소중립 선언에 따른 2050 탄소중립 시나리오 및 2030 국가온실가스 감축 목표 (NDC, Nationally Determined Contribution)를 상향하는 등 세계 주요국에서 탄소중립을 위해 노력하고 있다. 우리나라도 탄소중립 달성을 위해 탄소중립녹색성장 기본법을 수립하고 2050 탄소중립 시나리오 및 2030 국가 온실가스 감축목표를 국제사회에 공표하였다. 농업분야의 경우 탄소감축을 위해 온실가스 감축 기술을 개발하고 있다. 온실가스 감축 기술 중 하나인 바이오차 (biochar)는 바이오매스 (biomass)와 숯 (charcoal)의 합성어로 다양한 종류의 바이오매스를 산소가 없는 환경에서 열분해를 통해 얻어지는 고체 물질로, 탄소저장능력이 우수하여 농축산분야(비에너지) 탄소중립 이행 수단으로 등록이 되었고, 농림축산식품부의 농업분야 탄소저감을 위한 바이오차 토양 개량제 보급 목표는 ('30) 40천톤 → ('40) 43 → ('50) 45으로 수립하였다. 그러므로 본 연구는 바이오차의 이용분야 다양화를 위하여 목질계 바이오차를 활용한 유기재배 벼 육묘용 상토를 개발하고 이의 특성을 규명하고자 하였다. 연구결과 경량 상토의 경우 바이오차 함량별 입모율은 96.7%(대조구)>95.2%(바이오차 10%)>74.6%(바이오차 30%)>70.9%(바이오차 20%) 순으로 높았고, 바이오차 20~30% 함유 처리구에서는 뜸모가 발생하여 벼 육묘용 상토로 적합하지 않았다. 준중량 상토의 경우 바이오차 함량병 입모율은 98.2%(바이오차 10%)>96.4%(바이오차 20%)>95.8%(대조구)>95.7%(바이오차 30%)순으로 높았고, 모든 처리구에서 입모율이 90%이상으로 벼 육묘용 상토로 적합하였다.

주연구자 연락처: ksw9088@korea.kr (061-330-2502)

PB-042

규산질비료 및 볏짚퇴비 장기연용이 논토양의 유기탄소 축적 및 분획 특성에 미치는 영향

Effect of Long-Term Silicate Fertilizer and Rice Straw Compost Amendments on Soil Organic Carbon Accumulation and Carbon Fractions in Paddy Soil

황선아, 전상호, 김경영, 윤진주, 김성헌*
Seon Ah Hwang, Sang Ho Jeon, Gyeong Yeong Kim, Jin Ju Yun, and Seong Heon Kim*
농촌진흥청 국립농업과학원 토양물환경과
Division of Soil and Water Environment, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju, 55365

최근 농업 분야에서는 탄소중립 실현과 토양건강 증진을 위해 토양유기탄소의 축적과 안정적 저장이 중요한 연구 로 부각되고 있다. 장기연용시험은 토양관리기술이 토양유기탄소의 축적과 안정성에 미치는 영향을 평가할 수 있는 대표적인 연구 기반이지만, 국내 논 장기연용 연구는 주로 토양 화학성과 총유기탄소 함량 변화에 초점을 두어 왔으며, 토양 탄소의 특성을 반영하는 탄소분획에 대한 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구는 1954년부터 유지되고 있는 논 장기연용 시험포장을 대상으로 규산질비료와 볏짚퇴비의 장기 시용이 토양유기탄소 축적과 탄소분획 특성에 미치는 영향을 평가하였다.

시험은 무처리(O), 화학비료(NPK), NPK+규산질비료(NPKS), NPK+볏짚퇴비(NPKC) 및 NPK+규산질비료+볏짚퇴비(NPKCS) 처리구를 대상으로 수행하였다. 토양 화학성과 토양유기탄소 및 탄소분획(휴믹산(Humic acid, HA), 풀빅산(Fulvic acid, FA), 증류수추출유기탄소(Water Extractable Organic Carbon, WEOC), 열수추출유기탄소(Hot Water Extractable Organic Carbon, HWEOC))을 분석하였다. 토양유기탄소 축적량은 처리별 용적밀도를 분석·적용하여 산정하였으며, 처리 간 차이는 일원분산분석(one-way ANOVA)과 Tukey HSD 다중비교 검정을 통해 검정하였다.

모든 탄소 관련 지표는 처리 간 유의한 차이를 나타냈다($p<0.001$). 토양유기탄소 함량과 토양유기탄소 축적량은 볏짚퇴비 처리구(NPKC, NPKCS)가 무처리, NPK 및 NPKS 처리구보다 유의적으로 높았으나, 두 볏짚퇴비 처리구 간에는 유의한 차이가 없었다. 또한 WEOC와 HWEOC는 볏짚퇴비 처리구에서 유의적으로 증가하여 토양 내 불안정탄소 분획 함량이 증가되었으며, HA는 볏짚퇴비 처리구에서 가장 높은 함량을 나타내어 장기적인 유기물 시용이 토양 내 안정탄소의 축적에 기여하는 것으로 판단되었다. FA 역시 처리에 따라 유의한 차이를 보였으나, HA에 비해 처리 간 차이가 상대적으로 작았다. 반면 규산질비료 단독 처리는 화학비료 단독 처리와 비교하여 SOC 및 탄소분획에서 유의한 차이를 나타내지 않았다. 이상의 결과는 장기적인 볏짚퇴비 시용이 논토양의 토양유기탄소 축적뿐 아니라 불안정탄소와 안정탄소의 균형을 개선하여 토양 탄소의 질적 특성을 향상시키는 데 효과적임을 시사한다. 또한 장기연용시험은 탄소중립 농업을 위한 토양탄소 격리 기술의 효과를 장기적으로 검증하고 평가할 수 있는 연구 기반으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

주연구자 연락처: ksh4054@korea.kr (063-238-2453)

PB-043

초기 토양 pH가 다른 배추 재배지에서 바이오차 처리가 토양유기탄소 축적 및 작물 생산성에 미치는 영향

Effects of Biochar Application on Soil Organic Carbon Sequestration and Crop Productivity in Chinese Cabbage Fields with Different Initial Soil pH

김신실, 이유나, 김경영, 황선아, 전상호, 김성헌*
Sin Sil Kim, yu Na Lee, kyeong yeong Kim, Seon Ah Hwang, Sang Ho Jeon, and Seong Heon Kim*
국립농업과학원 토양물환경과
Soil and Water Environment Division, National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju 55365, South Korea

바이오차는 유기성 바이오매스를 산소가 제한된 조건에서 열분해하여 제조한 고탄소 물질로, 방향족 탄소 구조와 높은 화학적 안정성으로 인해 토양 내에 탄소를 장기간 저장할 수 있다. 또한 바이오차는 토양의 물리화학적 특성을 개선하고 작물 생산성을 향상하는 효과가 있어 지속가능한 농업을 위한 토양개량제로 주목받고 있다. 그러나 바이오차의 처리 효과는 토양의 화학적 특성, 특히 초기 토양의 pH에 따라 달라질 수 있음에도 이를 고려한 국내 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 초기 토양 pH가 서로 다른 배추 재배지를 대상으로 바이오차 처리가 토양 유기탄소 (SOC) 축적과 작물 생산성에 미치는 영향을 평가하였다.

바이오차는 고춧대를 400°C에서 2시간 동안 열분해하여 제조하였다. 재배지는 초기 토양 pH에 따라 Soil A (pH 5.8)와 Soil B (pH 6.8)로 구분하였으며, 처리구는 무비구, NPK 처리구, NPK+바이오차 (100, 200, 300 및 500 kg 10a-1) 처리구로 설정하여 배추를 재배하였다. Soil A에서 토양유기탄소 저장량 (SOC stock)은 바이오차 처리량이 증가함에 따라 축적되어 500 kg 10a-1 처리구에서 36.8 t C ha-1로 가장 높게 나타났다. 반면 Soil B에서는 바이오차 300 kg 10a-1 처리구까지 SOC stock이 33.8 t C ha-1로 증가하였으나, 그 이상에서는 증가폭이 크지 않았다. 배추 수량은 Soil A에서 바이오차 300 kg 10a-1처리구에서 6,403 kg 10a-1로 가장 높았으며, Soil B에서는 200 kg 10a-1 처리구에서 4,200 kg 10a-1로 가장 높았다. 이는 동일한 바이오차를 처리하더라도 초기 토양 pH에 따라 토양 유기탄소 저장량과 작물 생산량의 증대 효과가 다르게 나타날 수 있음을 의미한다. 이상의 결과는 바이오차의 처리 효과가 단순히 처리량에 의해서만 결정되는 것이 아니라 초기 토양 pH를 포함한 토양의 화학적 특성에 영향을 받을 수 있음을 의미한다. 또한 토양 유기탄소 축적량과 작물 생산성을 종합적으로 고려하면, 본 연구 조건에서는 바이오차 처리량이 200-300 kg 10a-1일 때 토양유기탄소 축적과 작물생산성 증진에 효과적인 농경지 관리 방안이 될 수 있을 것으로 판단된다.

주연구자 연락처: ksh4054@korea.kr (063-238-2453)

PB-044

Biochar Mitigation Potential under Future Climate Conditions: Current Evidence and Knowledge Gaps

Yunsik Shin, Yong-Jae Jeong, Minji Lee, Hye-Ran Park, Hyeong-Seok Lee, Min-Wook Kim, and Jinho Kim*
Climate Change Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju, 55365, Korea

Biochar is widely used to enhance soil carbon storage and mitigate greenhouse gas emissions, but its effectiveness under future climate conditions remains uncertain. This review examined soil carbon and greenhouse gas responses to biochar under altered climatic conditions. Existing meta-analyses were used to describe responses under current climate conditions. Primary studies were included when biochar and no-biochar treatments could be compared under warming, elevated CO_2, drought, water-deficit, or altered precipitation conditions. Linked publications were grouped by experiment, resulting in six independent experiments. Because of substantial differences in climate treatments, experimental settings, and response variables, results were evaluated individually.

Altered climate conditions modified the magnitude and, in some cases, the direction of biochar effects. Increased precipitation reduced soil organic carbon gains in one field experiment, while water deficit weakened reductions in CH_4, N_2O, and global warming potential in a paddy field. Warming shifted the effect of biochar on N_2O from a small reduction to an increase, whereas combined warming and elevated CO_2 weakened CH_4 mitigation in a rice microcosm. However, most climate-factor and response-variable combinations were represented by only one experiment. Current evidence is therefore insufficient to extrapolate biochar mitigation effects observed under current climate to future conditions. Multi-year field studies are needed to determine whether biochar carbon storage and greenhouse gas mitigation persist under changing climate conditions.

Correspondence: Water86@korea.kr (063-238-2492)

PB-045

토양 특성별 목재 및 계분 바이오차 처리에 따른 상추 생육 및 양분 흡수 평가

Lettuce Growth and Nutrient Uptake Responses to Wood and Chicken Manure Biochar Application under Different Soil Properties

조주영[1], 김대현[1], 신승주[1], 이용복[2]*
Ju Young Cho[1], Dae Hyeon Kim[1], Seung Ju Shin[1], and Yong Bok Lee[2]*
[1]경상국립대학교 응용생명과학부(BK21 four), [2]경상국립대학교 농업생명과학연구원
[1]Division of Applied Life Science(BK21 four) Gyeongsang National University
[2]Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University

탄소중립 실현을 위한 바이오차의 농업적 활용이 확대되면서 다양한 원료 기반의 바이오차가 적용되고 있다. 그러나 바이오차는 원료에 따라 물리화학적 및 양분학적 특성이 달라 원료와 토양 특성을 고려한 농업적 활용이 필요하다. 특히, 목재 바이오차의 양분 보유 특성과 계분 바이오차의 양분 공급 특성은 토양의 양분 수준 및 이화학적 특성에 따라 작물 생육과 양분 이용성에 상반된 영향을 미칠 수 있다. 따라서, 본 연구는 토양 특성에 따라 목재 및 계분 바이오차의 처리 효과를 상추의 생육과 양분 흡수량을 통해 평가하고자 진행되었다. 시험 토양은 유효인산과 점토 함량을 기준으로 토양 4종을 선정하였다: PLCH(Av. P_2O_5 76.6 mg kg^{-1}, clay 31.0%), PLCL(Av. P_2O_5 52.6 mg kg^{-1}, clay 3.9%), PHCH(Av. P_2O_5 756.1 mg kg^{-1}, clay 29.4%), PHCL(Av. P_2O_5 854.9 mg kg^{-1}, clay 7.9%). 처리구는 계분 바이오차를 400 kg $10a^{-1}$ 수준으로 처리한 CB, CB에 함유된 가용성 인산과 동일한 양을 과석으로 공급한 PF, 그리고 CB와 동일한 탄소량을 목재 바이오차로 공급하고 목재 바이오차에 함유된 가용성 인산을 제외한 부족분을 과석으로 보충한 WB+PF로 구성하였다. 모든 처리구에 질소와 칼륨은 상추 검정시비량에 따라 동일하게 처리하였다. 상추 수확 후 생체중과 건물중을 조사하였으며 토양의 pH, EC 및 유효인산과 식물체의 P, K, Ca 및 Mg 함량을 분석하여 처리에 따른 토양 화학성 및 작물의 양분 이용성을 평가하였다. 상추 생육은 점토 함량에 따른 일관된 경향 없이 토양의 초기 유효인산 수준에 따라 상반된 반응을 보였다. 유효인산 함량이 낮은 토양에서는 CB 처리의 상추 생체중이 PF와 유사하거나 높았으며, WB+PF에서 가장 낮은 경향을 보였다. 반면, 유효인산 함량이 높은 토양에서는 WB+PF 처리에서 생육이 가장 좋고, CB 처리에서 가장 낮았다. 양분 흡수량은 생육 반응과 대체로 유사하여 유효인산이 낮은 토양에서는 CB 처리에서 P뿐만 아니라 K, Ca 및 Mg 흡수량이 상대적으로 높았다. 특히, PLCL 토양의 P 흡수량은 CB, PF 및 WB+PF 처리에서 각각 2.34, 1.61 및 1.32 mg $plant^{-1}$으로 나타났다. 반면, 유효인산이 높은 토양에서는 WB+PF 처리에서 P를 비롯한 양분 흡수량이 상대적으로 높은 경향을 보였다. 이러한 결과는 토양의 초기 양분 수준에 따라 원료별 바이오차의 기능적 특성이 작물 생육에 서로 다른 영향을 미칠 수 있음을 보여준다. 특히, 유효인산 함량이 낮은 토양에서는 목재 바이오차를 포함한 WB+PF 처리의 생육이 PF 처리보다 낮았으나 유효인산 함량이 높은 토양에서는 계분 바이오차 처리의 생육이 PF 처리보다 낮게 나타났다. 이는 바이오차의 양분 공급 또는 보유 특성이 모든 토양에서 동일한 생육 효과로 이어지지 않으며, 적용 토양의 양분 상태에 따라 그 효과가 달라질 수 있음을 시사한다. 따라서, 바이오차의 농업적 활용성 제고를 위해서는 원료별 기능적 특성과 적용 토양의 양분 수준 및 이화학적 특성을 함께 고려한 바이오차 선정이 필요하다.

주제어: 바이오차, 원료, 토양 비옥도, 양분 흡수량, 상추
주연구자 연락처: yblee5467@gnu.ac.kr (010-9423-9695)

PB-046

바이오차의 농업적 활용을 위한 원료별 특성 평가

Assessment of Feedstock-Dependent Biochar Characteristics for Agricultural Application

조주영[1], 김대현[1], 신승주[1], 이용복[2]*
Ju Young Cho[1], Dae Hyeon Kim[1], Seung Ju Shin[1], and Yong Bok Lee[2]*
[1]경상국립대학교 응용생명과학부(BK21 four), [2]경상국립대학교 농업생명과학연구원
[1]Division of Applied Life Science(BK21 four) Gyeongsang National University
[2]Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University

바이오차(Biochar)는 제한된 산소 조건에서 바이오매스를 열분해하여 제조한 고탄소 화합물로 원료와 열분해 조건에 따라 서로 다른 물리화학적 특성을 보인다. 특히, 바이오차의 원료는 이들을 결정하는 주요 요인 중 하나로 크게 목재, 농업부산물 및 가축분으로 구분된다. 따라서, 농업적 활용성 제고를 위해서는 바이오차 원료별 특성 평가가 필수적이다. 본 연구에서는 공정규격에 적합한 목재, 왕겨 및 계분 바이오차를 대상으로 구조적, 물리화학적 및 양분학적 특성을 평가하였다. 각 바이오차는 결정구조(XRD), 작용기(FTIR), 표면 및 기공(specific surface area, total pore volume, pore size distribution), 화학적 특성(pH, EC 및 elemental composition), 그리고 양분 특성(total, citrate-soluble, water-soluble nutrients)을 분석하여 비교하였다. 목재 바이오차는 가장 높은 탄화도를 보였으며(H/C: 0.26, O/C: 0.13) 방향족 탄소 구조의 발달로 분해 안정성이 높고 넓은 비표면적(213.0 $m^2\ g^{-1}$)과 공극부피(0.1295 $cm^3\ g^{-1}$)를 가졌다. 반면, 산소 함유 작용기의 발달이 비교적 제한적이었으며 양분 함량은 낮았다. 왕겨 바이오차는 탄소 구조 발달보다는 규산(SiO_2) 기반의 무기-탄소 복합 구조가 우세하였으며 가장 높은 pH(9.0)를 나타냈다. 계분 바이오차는 목재와 왕겨 바이오차에 비해 방향족 탄소 구조의 발달이 제한적이었으나 칼슘 기반의 무기염과 질소 함유 작용기가 풍부하고 양분 함량이 높았다(SSA: 2.1 $m^2\ g^{-1}$, Total N: 4.3%, Total CaO: 6.81%, Citrate-soluble P_2O_5: 2.4%, Water-soluble K_2O: 3.2%). 본 연구의 결과를 종합하였을 때, 목재 바이오차는 탄소 저장과 토양 개량을 위한 자재, 왕겨 바이오차는 규산이 풍부한 알칼리성 자재, 계분 바이오차는 양분 공급을 위한 비료형 자재로서의 활용 가능성을 보여주었다. 그러나, 본 연구는 원료별 바이오차의 특성을 비교·평가한 기초 연구로, 농업적 활용성 제고를 위해서는 실험실 수준의 연구부터 포장시험에 이르는 단계적인 후속 연구가 필요하다.

주제어: 바이오차, 원료, 물리화학적 특성, 농업적 활용
주연구자 연락처: yblee5467@gnu.ac.kr (010-9423-9695)

PB-047

목질계 바이오차를 활용한 유기재배 벼 육묘용 상토의 특성

Characteristics of Seedbed Media for Seedling Production of Organic Rice Using Woody Biomass Biochar

김성우*, 이소연, 이슬, 곽경진, 김선국, 고숙주
Sungwoo Kim*, Soyoun Lee, Seul Lee, Kyungjin Kwak, Sunkuk Kim, and Sugju Ko
전남광주통합특별시농업기술원
Jeollanam-do Agricultural Research & Extension Services

2015년 제21차 유엔기후변화협약 당사국 총회에서 파리협정이 체결됨 따라 온실가스 감축의무를 부여한 신기후체제가 출범되었다. 기후변화 정부간 협의체 (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)에서는 1.5°C 특별보고서 (2018)를 발간하여 파리협정의 탄소감축목표를 달성하기 위해서는 전지구적으로 2050년에 탄소중립을 달성하여야 한다는 경로를 제시하였고, 이후 탄소중립 선언에 따른 2050 탄소중립 시나리오 및 2030 국가온실가스 감축 목표 (NDC, Nationally Determined Contribution)를 상향하는 등 미국과 유럽을 비롯한 세계 주요국에서 탄소중립을 위해 노력하고 있다. 이에 따라 우리나라도 기후위기 대응을 위한 탄소중립녹색성장 기본법을 수립하고 2050 탄소중립 시나리오 및 2030 국가 온실가스 감축목표를 국제사회에 공표하였다. 이에 따라 우리나라도 기후위기 대응을 위한 탄소중립녹색성장 기본법을 수립하고 2050 탄소중립 시나리오 및 2030 국가 온실가스 감축목표를 국제사회에 공표하였다. 농업분야의 경우 탄소저감을 위해 농촌진흥청을 중심으로 온실가스 감축 수단을 개발하고 있다. 바이오차 (biochar)는 바이오매스 (biomass)와 숯 (charcoal)의 합성어로 다양한 종류의 바이오매스를 산소가 없는 환경에서 열분해를 통해 얻어지는 고체 물질로, 탄소저장능력이 우수하여 농축산분야(비에너지) 탄소중립 이행 수단으로 등록이 되었고, 탄소저감을 위한 바이오차 토양 개량제 보급 목표는 ('30) 40천톤 → ('40) 43 → ('50) 45, 온실가스 감축량은 58천톤CO2eq (`30) → 62천톤CO2eq (`40) → 65천톤CO2eq (`50)으로 설정하여 바이오차의 이용 확대를 추진 중이다. 그러므로 본 연구는 바이오차의 이용 분야 확대를 위하여 목질계 바이오차를 활용한 유기재배 벼 육묘용 상토 개발하고 이의 특성을 규명하고자 하였다. 연구결과 준중량 유기재배 벼 육묘용 상토의 바이오차 함량별 입모율은 96.7%(바이오차 30%)>96.4%(바이오차 10%)>95.8%(바이오차 20%)>94.0%(대조구)순으로 높았고, 모든 처리구간에서 90% 이상으로 유기재배 벼 육묘용 상토로 적합하였다

주연구자 연락처: ksw9088@korea.kr (061-330-2503)

PB-048

Effects of Biochar Application on Soil Carbon Content and Chemical Properties in Saemangeum Relcaimed Land

Kwang-Seung Lee*, Hak-Sung Lee, Seo-Young Jeong, Eun-Ji Song, Bang-Hun Kang, and Hyeoun-Suk Cho
Reclaimed Land Agriculture Research Center, Department of Crop Science, NICS, RDA, Wanju, 55365, Korea

Biochar, characterized by its high carbon content and large specific surface area, improves soil water- and nutrient-holding capacity and thereby enhances crop productivity. Owing to its structural stability, it can be sequestered in soil on a quasi-permanent basis, and it has therefore been utilized both as a soil amendment and as a greenhouse gas mitigation technology. The Saemangeum reclaimed land exhibits an organic matter content approximately 1/10 that of conventional arable soils and a high sand fraction, resulting in low water- and nutrient-holding capacity; soil improvement is thus required to enhance crop productivity. Accordingly, this study aimed to elucidate the effects of biochar application on soil carbon content and chemical properties in Saemangeum reclaimed soil. To this end, biochars derived from wood, rice husk, and coconut were applied at rates of 0, 100, 200, and 300 kg $10a^{-1}$ (coconut applied only at 300 kg $10a^{-1}$) and at application intervals of 1, 2, and 3 years for three years, after which the soil carbon accumulation rate and changes in chemical properties were analyzed. The total carbon content of the biochars ranged from 45.5 to 53.0%, satisfying the $\geq$40% criterion of the Fertilizer Process Standards. The initial soil carbon content was very low at 0.34%, but increased in most treatments after three years of biochar application. By feedstock, the wood and rice husk treatments showed significant increases, whereas the coconut treatment remained comparable to the untreated control. The carbon accumulation rate increased with application rate; however, no significant difference was observed between the 200 and 300 kg $10a^{-1}$ treatments (0.41-0.55% and 0.40-0.53%, respectively), indicating that the 200 kg $10a^{-1}$ rate exhibited relatively higher efficiency. With respect to application interval, both the wood and rice husk treatments showed the greatest carbon accumulation rate in the second year, with the highest values in the biennial (2-year interval) treatment, which maintained relatively high levels through the third year. In contrast, annual application produced only limited increases. These results suggest that biennial application of rice husk biochar at 200 kg $10a^{-1}$ is the most efficient practice for soil carbon accumulation in Saemangeum reclaimed land.

Acknowledgement: This work carried out with the support of 'Cooperative Research Program for Agriculture Science and Technology Development (Project No. PJ01727202)' Rural Development Administration, Republic of Korea.

Keywords: Saemangeum reclaimed land, Biochar and Soil carbon
Correspondence: kslee23@korea.kr (063-540-8517)

PB-049

유기재배 논에서 볏짚 투입 형태에 따른 온실가스 배출 평가

Assessment of Greenhouse Gas Emission According to Rice Straw Application Forms in an Organic Rice Paddy Field

정정아, 황현영, 이상민*
Jung-ah Jung, Hyun-young Hwang, and Sang-min Lee*
국립농업과학원 재생유기농업과
Regenerative Organic Agriculture Division, National Institute of Agricultural Sciences

유기 논에서 볏짚과 같은 유기물 투입은 토양 건강 증진과 비옥도 관리에 필수적이지만, 담수 조건에서는 메탄(CH_4) 배출량을 급격히 증가시킨다는 문제가 있다. 또한 동일 유기물이라 하더라도, 직접 투입 또는 퇴비화 후 투입에 따라 분해 특성이 달라져 온실가스 배출 양상에 차이가 나타날 수 있다. 본 연구는 2025년 유기 벼 재배 논에서 볏짚 투입형태에 따른 CH_4 및 아산화질소(N_2O) 배출 특성과 탄소 수지를 평가하고, 총 온난화지수(Total GWP), 순 온난화지수(Net GWP), 수량 당 온난화지수(GHGI)를 산정하여 지속가능한 유기물관리방안을 제시하고자 하였다, 처리구는 볏짚투입, 볏짚퇴비투입, 무투입 3개 처리구로 구성하였으며, 양분관리는 토양검정 질소 시비량에 따라 유박을 투입하였다. 벼 재배기간 중 발생하는 온실가스의 대부분은 CH_4이었고, 처리구별 CH_4 배출량은 볏짚투입구 400 kg ha^{-1}, 볏짚퇴비투입구 270 kg ha^{-1}, 무투입구 178 kg ha^{-1}로 볏짚투입구에서 가장 높았다. 반면 N_2O 배출량은 처리구간 차이 및 총 발생량이 미비한 수준이었다 (볏짚투입구 0.05 kg ha^{-1}, 볏짚퇴비투입구 0.1 kg ha^{-1}, 무투입구 0.04 kg ha^{-1}). Total GWP(kg CO_2-eq ha^{-1})는 볏짚투입구 11,204 > 볏짚퇴비투입구 7,573 > 무투입구 4,990 순이었고, 볏짚퇴비투입구는 볏짚투입구 대비 약 32.4% 낮은 값을 보였으나 통계적 유의성은 인정되지 않았다. 탄소수지(NECB)는 볏짚퇴비투입구 -574 kg C/10a > 무투입구 -659 kg C/10a > 볏짚투입구 -1049 kg C/10a 순으로, 메탄 배출량이 많아 음의 값을 나타냈으며, 볏짚퇴비투입구가 볏짚투입구보다 약 45.3% 낮아, 탄소 저감 및 저장에 효과적이었다. 총 온난화지수와 탄소 저장량을 함께 고려한 Net GWP(kg CO_2-eq ha^{-1})는 볏짚투입구 15,054 > 볏짚퇴비투입구 9,679 > 무투입구 7,411 순으로, 볏짚퇴비는 볏짚 대비 약 36% 저감시켰다($p < 0.05$). GHGI(kg CO_2-eq kg^{-1} fresh yield)는 볏짚투입구(41.3) 대비 볏짚퇴비투입구(24.7)가 약 40.2% 낮아, 볏짚 퇴비화가 수량 당 온실가스 배출량을 크게 감소시킴을 알 수 있었다. 볏짚의 직접 투입에 비해 퇴비화 후 투입은 벼 수량은 유지하면서도 CH_4 배출량은 크게 저감 시켰다. Total GWP, Net GWP 및 GHGI를 전반적으로 저감시켜 토양 관리와 온실가스 저감을 동시에 고려할 수 있는 보다 지속가능한 유기물 관리 방안으로 판단되었다.

주제어: 볏짚퇴비, 메탄, 탄소중립
주연구자 연락처: sangminlee@korea.kr (063-238-2591)

PB-050

옥상녹화 인공토양의 유기탄소 정량을 위한 Walkley-Black법과 건식연소법의 비교

Comparison of the Walkley-Black and Dry Combustion Methods for Quantifying Organic Carbon in Green Roof Substrates

김태하[1], 김효민[2]*, 조준영[3]
Taeha KIm[1], Hyomin KIm[2]*, and Junyoung Cho[3]
[1]전남대학교 조경학과 학부생, [2]한국건설기술연구원 건축도시연구본부, [3]한국건설기술연구원 건축도시연구본부
[1]Chonnam National University
[2]Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology
[3]Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

토양 유기탄소(TOC) 정량에 널리 쓰여 온 Walkley-Black(WB)법은 유기탄소를 불완전하게 산화시키므로, 관행적으로 회수율 77%를 가정한 표준 환산계수 1.32를 적용해 왔다. 그러나 회수율은 유기물의 질과 토양 특성에 따라 60~90% 범위에서 변동하는 것으로 보고되어 있어, 표준계수의 일률적 적용은 탄소 저장량 산정에 오차를 유발할 수 있다. 특히 옥상녹화 인공토양은 펄라이트등 경량자재와 퇴비 유래 유기물이 혼합된 특수 토양으로, 표준계수의 적용 가능성이 검증된 바 없다.

본 연구는 옥상녹화 대상지 3개소에서 채취한 토양 시료 25개 샘플을 대상으로 WB법과 건식연소법(원소분석)을 병행하여 옥상녹화 토양에 대한 WB법의 회수율과 전용 환산계수를 도출하였다. 시료는 풍건 후 2 mm 체를 통과시키고 0.5 mm 이하로 분쇄하여 균질화하며, pH 측정과 염산 발포 시험으로 탄산염 함유 여부를 확인하였다. 탄산염이 확인된 시료는 묽은 염산 전처리로 무기탄소(IC)를제거한 후 원소분석하여 유기탄소(OC)를 정량하고, 전처리 전후 원소분석 값의 차이로부터 IC 함량을 산정하였다. WB 측정값(보정 전)과 원소분석 OC값의 회귀분석을 통해 회귀 기울기로부터 회수율을 산출하고, 공분산분석으로 대상지 간 회수율 차이를 검정하였다.

본 연구의 결과는 옥상녹화 토양의 유기탄소 정량에 대한 표준 환산계수(1.32)의 적용 가능성을 실증적으로 평가하고, 토양 특성을 반영한 전용 환산계수를 제시함으로써 옥상녹화의 탄소 저장 기능을 보다 정확히 평가하는 데 기여할 것으로 기대된다. 더 나아가 과거 WB법으로 측정·축적된 유기탄소 자료를 건식연소법 측정값과 비교하거나 통합할 때 필요한 보정 근거를 제공할 수 있을 것이다.

주연구자 연락처: hyominkim@kict.re.kr (010-2070-1659)

PB-051

북극 건조 툰드라 지역의 겨울철 적설 증가가 이듬해 식물생장시기의 토양 내 가용성 탄소와 질소 동태에 미치는 영향

Effects of Increased Winter Snow Accumulation on Soil Carbon and Nitrogen Availability during the Subsequent Growing Season in the Dry Arctic Tundra

정수정[1,2], 남성진[1], 조강현[2], 정지영[1]*
Sujeong Jeong[1,2], Sungjin Nam[1], Kang-Hyun Cho[2], and Ji Young Jung[1]*
[1]극지연구소, [2]인하대학교
[1]Korea Polar Research Institute
[2]Inha University

북극은 전 지구 평균보다 빠른 속도로 온난화가 진행되고 있으며, 이는 물의 순환에 영향을 주어지역마다 겨울철 적설량을 변화시키고 있다. 겨울철 적설은 대기의 낮은 기온이 토양으로 전달되는 것을 막아 토양의 단열층 역할을 한다. 따라서 적설량이 증가할 경우 겨울철에도 미생물의 활성이 유지되어 유기물 분해가 가능하여 생물 생장에 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 캐나다 북극 건조 툰드라에서 스노우펜스(Snow Fence) 실험을 이용하여 적설의 변화가 이듬해 식물 생장 시기 동안 토양 가용성 탄소와 질소 동태에 미치는 영향을 평가하였다. 토양에서는 토양유기탄소(SOC), 총질소(TN), 무기탄소(TIC) 함량을 분석하였으며, 생토양을 물로 추출하여 Water-Extractable Organic Carbon/Total Nitrogen (WEOC/WETN)와 무기태 질소 (NH_4^+-N, NO_3^--N) 를 분석하였다. 또한 rhizon sampler를 이용하여 토양 공극수를 채취하여 용존유기탄소(DOC-rh), 총용존질소(TDN-rh), NH_4^+-N-rh, NO_3^--N-rh 농도를 측정하여 8월초와 생육기 말의 질소 형태와 양적 변화를 비교하였다. SOC와 TN은 유기물층에서 8월 초 두 처리구 간 차이가 크지 않았으나, 8월 말에는 적설증가구가 대조구보다 낮은 값을 나타냈다. 미네랄층에서는 처리구 간 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다. WEOC와 TDN은 8월 초에는 처리구 간 차이가 크지 않았으나, 8월 말 시료에서는 토양층위별로 다른 반응이 나타났다. 유기물층에서는 대조구의 WEOC와 TDN이 적설증가구보다 높은 반면, 미네랄층에서는 적설증가구에서 더 높은 값이 나타났다. 토양추출액의 NH_4^+-N 농도는 적설증가구에서 대조구보다 높게 나타났고, NO_3^--N은 시기와 토양 층위에 따라 다른 반응을 나타내었다. TDN 중 무기태 질소(NH_4^+-N+NO_3^--N)의 비율은 전반적으로 10% 이하이었다. 토양 공극수에서는 8월 중 4회(매주) 조사기간 동안 유기물층과 미네랄층 모두 적설증가구의 DOC-rh와 TDN-rh 농도가 대조구에서보다 지속적으로 높은 경향을 나타냈다. 유기물층의 NH_4^+-N-rh 역시 적설증가구에서 대조구보다 상대적으로 높았으나, 유기물층의 NO_3^--N-rh의 농도는 대조구에서 높은 경향을 보였다. 미네랄층의 공극수 내 무기태 질소 농도는 두 처리구 모두 약 2%의 낮은 농도를 나타냈다. 본 연구는 북극의 건조툰드라에서 적설 증가에 대한 영향이 전체 토양의 질소 풀보다 농도는 낮지만 생물들이 직접적으로 활용가능한 용존성/가용성 질소에 먼저 나타나며, 토양의 층위와 가용성 질소의 종류에 따라 서로 다른 반응을 나타낼 수 있음을 보였다. 따라서, 가용성 탄소와 질소를 종합적으로 분석함으로서, 기후변화에 따른 북극 토양의 변화를 빠르게 이해하는데 도움이 될 것이다.

주연구자 연락처: jyjung@kopri.re.kr (032-760-5532)

PB-052

벼 유기재배 작부체계에 따른 메탄 배출량 및 생육·수량 특성

Methane Emissions, Growth, and Yield Characteristics of Organic Rice under Different Cropping Systems

곽경진*, 김성우, 이소연, 이슬, 김선국, 고숙주
Kyungjin Kwak*, Sungwoo Kim, Soyoun Lee, Seul Lee, Sunkook Kim, and Sugju Ko
전남광주통합특별시 농업기술원
Jeonnam-GwangjuSpecial Metropolitan City Agricultural Research & Extension Services

기후위기 대응을 위한「탄소중립·녹색성장 기본법」이 시행됨에 따라 국가 및 지역 단위의 효과적인 온실가스 감축기술 개발의 중요성이 높아지고 있다. 전남광주통합특별시는 저탄소 유기농업 및 생태마을 육성 등의 사업을 추진하고 있으나, 지역 농업환경에 적합한 저탄소 재배기술에 대한 연구는 아직 부족한 실정이다. 이에 본 연구는 벼 유기재배 작부체계에 따른 메탄(CH4) 배출량과 벼 생육 및 수량 특성을 비교·평가하고, 저탄소 유기 벼 재배기술 개발을 위한 기초자료로 활용하고자 수행하였다.

시험은 벼 단작(T1), 벼-이탈리안라이그라스(IRG)(T2), 벼-보리(T3), 벼-호밀(T4)의 4가지 작부체계를 대상으로, 벼 재배기간 동안 메탄 배출량, 토양 및 식물체의 화학적 특성, 벼 생육 및 수량 특성을 조사하였다.

연구결과, 작부체계별 누적 메탄 배출량은 처리구 간 차이를 보였으며, 벼-IRG 처리구(T2)에서 가장 높게 나타났고, 벼-호밀(T4), 벼-보리(T3), 벼 단작(T1) 순으로 나타나, 후작물 종류에 따른 차이를 확인하였다. 토양 유기물 함량은 재배기간 동안 점차 감소하는 경향을 보였으며, 유효인산은 소폭 증가하는 경향을 나타냈다. 반면 $NH4^+$-N 함량은 재배기간이 경과함에 따라 감소하였다. 식물체 무기성분(질소, 인산, 칼리 및 마그네슘) 함량은 벼 수확기에 가까워질수록 전반적으로 감소하는 경향을 보였다.

벼의 초기생육은 벼-보리 처리구(T3)에서 상대적으로 양호한 경향을 나타났다. 수량은 벼-보리 처리구(T3)에서 가장 높았으며, 벼 단작 처리구(T1)에서 가장 낮게 나타났다. 이를 종합하면, 벼-보리 작부체계는 다른 처리구에 비해 상대적으로 낮은 누적 메탄 배출량과 양호한 벼 생육 및 수량 특성을 나타내어 저탄소 유기 벼 생산체계로서 활용 가능성이 있는 것으로 나타났다. 그러나 향후 좀 더 다양한 조건에서 온실가스 배출량을 종합적으로 평가하고 벼-작부체계의 안정성 및 현장 적용성을 검증하기 위해 장기간 반복적인 시험이 필요할 것으로 보인다.

주연구자 연락처: kjin20@korea.kr (061-330-2505)

PB-053

도시 가로녹화 유형별 토양 유기탄소 저장량 및 토양호흡 특성 비교

Soil Organic Carbon Stocks and Soil Respiration Across Urban Roadside Greenery Types

조준영, 김효민*, 김태하
Junyoung cho, Hyomin kim*, and Taeha kim
한국건설기술연구원 건축도시연구본부
KOREA INSTITUTE of CIVIL ENGINEERING and BUILDING TECHNOLOGY,
Department of Building and Urban Research

도시 가로녹화는 식생과 토양을 통한 탄소의 흡수·저장으로 도시지역의 탄소저감에 기여할 수 있다. 그러나 토양에 축적된 유기탄소는 미생물 분해와 뿌리 호흡을 통해 다시 CO_2로 방출되므로, 토양 탄소함량이 높은 녹화공간이 반드시 낮은 탄소배출 특성을 나타내는 것은 아니다. 특히 가로수, 화단 및 저영향개발(LID) 시설은 식생구조와 토양조성, 수분환경 및 관리방식이 상이하여 토양 탄소의 축적과 배출 양상이 서로 다르게 나타날 수 있다. 따라서 가로녹화의 탄소 기능을 평가하기 위해서는 토양 내 탄소저장과 토양호흡에 따른 CO_2 배출을 함께 고려할 필요가 있다.

본 연구에서는 서울시 1개소와 고양시 2개소에 조성된 가로녹화를 대상으로 화단형, 가로수형 및 LID형의 토양 탄소함량과 CO_2 배출 특성을 비교하였다. 토양호흡은 휴대용 CO_2 분석장비인 EGM-5를 이용하여 약 5개월간 현장 모니터링하였으며, 측정 시 토양 및 대기의 온·습도를 함께 수집하였다. 토양 탄소 분석을 위해 표토 0-15 cm에서 총 27개의 토양시료를 채취하였으며, Walkley-Black법을 이용하여 총유기탄소(TOC)를 정량하고 토양 깊이와 부피밀도를 적용하여 단위면적당 토양유기탄소 저장량(SOC stock)을 산정하였다. 또한 가로녹화 유형별 TOC 및 토양호흡량의 차이를 비교하고, TOC가 높은 시료가 토양 CO_2 배출에서도 동일한 경향을 나타내는지 평가하였다.

연구의 결과는 가로녹화 유형에 따른 토양 유기탄소 정량과 토양호흡에 의한 CO_2 배출 특성을 함께 비교함으로써, 탄소 저장과 배출 측면에서 나타나는 유형별 차이를 정량적으로 제시할 수 있을 것으로 판단된다. 이를 통해 탄소저감 기능을 고려한 가로녹화 유형의 평가와 향후 탄소저감형 가로녹화의 조성 및 관리방안 마련을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

주연구자 연락처: hyominkim@kict.re.kr (010-2070-1659)

PB-054

애호박 시설 비가림 재배 시 이온교환제 토양 처리에 따른 생육 및 온실가스 발생량 비교

Comparison of Growth and Greenhouse Gas Emissions According to Soil Treatment of Ion Exchangers in Greenhouse Cultivation of Zucchini

이평호[1]*, 구연종[2]
Pyoungho Yi[1]*, Yeonjong Koo1[2]
[1]국립원예특작과학원 원예작물부 북부원예시험장, [2]전남대학교
[1]Northern Horticulture Research Station, National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Cheorwon 24031, Korea
[2]Department of Agricultural Chemistry, Chonnam National University, Gwangju 61186, Republic of Korea

작물의 생산성을 높이기 위해서는 비료의 공급이 필수적이다. 하지만 질소비료의 공급은 필수적으로 아산화질소 등의 온실가스 발생을 수반한다. 일반적으로 기비-추비로 진행되는 표준시비 방법보다는 완효성 비료의 투입 또는 관비 등을 활요한 분시 방법이 비료의 이용효율을 높이고 온실가스 발생을 줄이는 방법으로 연구되어 있다. 본 연구에서는 양분이 흡착된 이온교환제를 토양에 처리하여 작물 생육에 미치는 영향과 온실가스 발생에 미치는 효과에 대하여 알아보았다. 시설하우스에서 토양에 애호박 모종을 정식하였고 NO_3^-이온 흡착이 가능한 이온교환제를 조제하여 일정량을 토양에 처리하였다. 대조구는 표준시비량을 요소형태로 토양에 혼합처리하였다. 정식 전후 2주간 이산화질소 발생량을 측정한 결과 이온교환제 처리가 초기 아산화질소 발생량이 30% 낮은 것으로 나타났다. 정식 2주가 경과한 시점에서 줄기 생육량은 표준시비 처리구와 차이가 없었고 질소무처리구에 비해 생육량이 50% 정도 많았다. 따라서 이온교환제의 처리는 질소비료 공급효과 및 아산화질소 발생량 저감에 효과가 있는 것으로 판단되었다.

주연구자 연락처: leeph@korea.kr (033-450-5516)

PB-055

유기농 논에서 토양 관리가 토양 건강성과 벼 생산성에 미치는 직·간접 영향: PLS-PM을 이용한 토양 건강성의 매개효과 평가

Direct and Indirect Effects of Organic Paddy Soil Management on Soil Health and Rice Productivity: Assessing the Mediating Role of Soil Health Using PLS-PM

김아린[1], 문태일[2,3], 맹희주[2], 김낙겸[2], 구현회[1,2,3]*
A-Rin Kim[1], Tae-Il Moon[2,3], Hui-Ju Maeng[2], Nak-Gyeom Kim[2], and Hyun-Hwoi Ku[1,2,3]*
[1]한경국립대학교 토양환경연구소, [2]한경국립대학교 식물자원조경학부, [3]한경국립대학교 비료시험연구기관
[1]Soil Environment Research Institute, HKNU, Anseong 17579, Korea
[2]Department of Plant Resource and Landscape Architecture, HKNU, Anseong 17579, Korea
[3]Fertilizer Testing and Research Institute, HKNU, Anseong 17579, Korea

유기농업은 유기물과 생물학적 자원을 활용하여 작물 생산성과 토양 생태계 기능을 동시에 유지·향상시키는 것을 목적으로 한다. 그러나 실제 농가 포장에서 유기농 토양 관리가 토양 건강성을 개선하고, 이러한 변화가 벼 생산성 향상으로 연결되는지에 대한 정량적 검증은 부족하다. 본 연구는 유기농 논에서 토양 관리, 토양 건강성 및 벼 생산성 간의 구조적 관계를 분석하여 건강한 토양이 높은 작물 생산성을 유도하는지 평가하고자 수행하였다. 토양건강성지수 (Soil Health Index, SHI) 구축을 위해 2023년과 2025년에 경기도 및 강원도 유기농경지 (논)에서 조사한 물리적·화학적·생물학적 토양 특성 통합자료 (N=250)를 활용하였다. 핵심 토양 건강성 지표로 토양 유기물 (SOM), 총질소 (T-N), pH, 공극률, 내수성입단률 (WSA) 및 치환성 칼슘 (Ca^{2+})이 선별되었으며, 이들 지표를 이용하여 필지별 토양 건강성 점수를 산정하였다. 조사 농가의 토양 건강성 점수는 평균 62점이며 33-95점의 범위를 나타내어 농가 간 상당한 변이가 확인되었다. 이어 현장 농가 설문조사를 통해 수집한 토양 관리 및 벼 수확량 자료를 토양 건강성 지표와 연계하고, 자료의 신뢰성이 확보된 36개 농가 포장을 대상으로 PLS-PM 구조방정식을 적용하여 토양 관리 방식이 토양 건강성을 거쳐 벼 생산성에 영향을 미치는 직·간접 경로를 평가하였다. 분석 결과, 토양 관리 방식이 토양 건강성에 미치는 경로 ($\beta = -0.14$)와 벼 수확량에 대한 직접효과 ($\beta = -0.19$), 그리고 토양 건강성이 수확량에 미치는 영향 ($\beta = -0.18$)은 모두 통계적으로 유의하지 않았다. 토양 건강성과 벼 수확량의 설명력은 각각 $R^2 = 0.02$와 $R^2 = 0.06$으로 낮게 나타났다. 토양 건강성을 제외한 관리-수확량 단독 모형에서도 수확량 설명력은 $R^2 = 0.03$ ($\beta = -0.17$)으로 낮았다. 이러한 결과는 조사 농가의 기후, 관개관리, 품종, 재배연혁 및 양분 공급과 같은 통제되지 않은 외부 요인의 영향과 함께, 유기농 관리에 따른 토양 기능 개선이 작물 생산성으로 나타나기까지 일정한 시간적 지연이 존재할 가능성을 보여준다. 토양 건강성을 매개변수로 포함하였을 때 수확량 설명력이 $R^2 = 0.03$에서 0.06으로 소폭 증가하였으나 절대적인 설명력과 경로계수의 통계적 유의성이 낮았기 때문에, 이를 토양 건강성의 명확한 매개효과로 해석하기에는 제한이 있었다. 따라서 유기농경지의 작물 생산성 형성 메커니즘을 규명하기 위해서는 다년간 토양 관리 이력, 기상, 관개, 품종 및 양분투입 자료를 포함한 장기 모니터링과 보다 큰 표본을 이용한 구조적 분석이 필요하다.

주제어: PLS-PM, 유기농 논, 토양 관리, 토양 건강성, 벼 생산성, 매개효과
주연구자 연락처: seanku@hknu.ac.kr (031-670-5085)

PB-056

벼 깨씨무늬병 발생지의 토양 물리·화학성과 발병 간의 관계

Relationships between Soil Physical and Chemical Properties and Rice Brown Spot Incidence

서진희*, 전현정, 이상훈, 공동혁, 최만수, 류종수
국립식량과학원 스마트생산기술과
Smart Agricultural Technology Division, National Institute of Crop and Food Science, RDA

벼 깨씨무늬병은 토양 물리성, 양분 상태 및 재배환경의 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 특히 다발생지에서는 토양 양분의 불균형 및 물리·화학적 특성이 병 발생에 복합적으로 관여할 가능성이 있다. 본 연구는 벼 깨씨무늬병 다발생지의 토양 물리성 및 화학성을 조사하고, 토양 특성과 발병 간의 관계를 분석하여 병 발생 관련 토양 요인을 구명하고자 수행하였다. 조사는 경북 영덕군, 경남 하동군 논 24필지를 대상으로 수행하였다. 조사 포장은 배수등급별로 각각 3필지씩 선정하였다. 토양은 재배 전부터 발병 후기까지 시기별로 표토와 심토에서 채취하였으며, 토성, 용적밀도, pH, 전질소(T-N), 유기물, 유효인산, 치환성 K, Ca, Mg 및 유효규산 등을 분석하였다. 발병면적을 조사하고, 토양 물리·화학성과 발병면적 간의 관계는 Pearson 상관분석을 이용하여 검정하였다. 표토 용적밀도는 깨씨무늬병 발병면적과 유의한 음의 상관을 나타냈으며, 표토 용적밀도가 낮은 포장에서 발병면적이 증가하는 경향을 보였다. 심토 Mg 함량 역시 발병면적과 유의한 음의 상관을 나타내어, 심토 Mg 함량이 낮은 포장에서 발병이 증가하는 경향이 확인되었다. 반면 표토 T-N 함량은 발병면적과 유의한 양의 상관을 나타냈다. 또한 표토의 K, 유기물 및 유효인산 함량은 발병면적과 양의 상관 경향을 보였고, 표·심토의 Mg, Ca 및 유효규산은 대체로 음의 상관 경향을 나타냈다.

주연구자 연락처: sjh329@korea.kr (055-350-1271)

PB-057

Evaluating the Effects of Prolonged Dry Periods Followed by Intense Rainfall on Plant-Microbe Interactions and CO_2 Pulses During Plant Invasion

San Koh, and Kyungjin Min*
Applied Life Chemistry, Department of Agricultural Biotechnology, Seoul National University, Seoul, 08826, Korea

Precipitation regimes are shifting toward longer dry periods followed by intense rainfall events. Such changes in precipitation regimes may enhance the spread of invasive plant species while simultaneously suppressing the growth of native plant species. However, we know little about how plant-microbe interactions under native and invasive plants would influence soil carbon dynamics with different precipitation regimes. Here, we designed a pot-scale experiment in which *Conyza canadensis* (invasive, non-native)invades *Artemisia princeps* (native) under contrasting precipitation regimes: low-volume, frequent vs. high-volume, infrequent watering. We hypothesized that under changing precipitation regimes(1) *C. canadensis* will exhibit greater above- and belowground biomass, resulting in greater belowground carbon inputs, (2) increased carbon inputs will stimulate microbial biomass and extracellular enzyme activities, potentially promoting the growth of *C. canadensis*, (3) enhanced microbial activity will amplify CO_2 pulses after rewetting.We conducted a preliminary experiment to select the native species and precipitation regime pair that produce the greatest difference in plant height between contrasting watering treatments. To this end, we grew three native species under equal total water inputs while varying the watering interval and volume.*A. princeps* showed the clearest height difference between low-volume, frequent watering (34.99 ± 0.73 cm; 15% water holding capacity every 3 days) and high-volume, infrequent watering (24.96 ± 1.48 cm; 100% water holding capacity every 20 days). The main experiment will expose *A. princeps andC. canadensis* mixtures to these regimesat invasion levels of 0%, 25%, 75%, and 100%. This study will improve our understanding of how changing precipitation regimes influence plant-microbe interactions and soil carbon dynamics during plant invasion.

Correspondence: kjmin@snu.ac.kr (010-2693-3401)

PB-058

Vegetation Dynamics during the Transition to Eco-friendly Vineyard Management: Implications for Sustainable Agroecosystem Management

Ji-Won Kang[1], Sun-Ock Hong[1], Sung-Jun Hong[1], Young-Ju Oh[2], and Min-Jae Kong[1]*
[1]National Institute of Agricultural Sciences
[2]Institute for Future Environmental Ecology Company, Limited,

The transition to eco-friendly management reduces chemical fertilizer input and shifts nutrient supply from synthetic to organic sources, thereby altering vineyard vegetation communities, yet the processes governing early community assembly remain poorly understood. We investigated vegetation dynamics in three vineyards undergoing eco-friendly transition in Cheongyang, Hampyeong, and Damyang, Republic of Korea, between 2024 and 2025. Vegetation was surveyed twice annually using permanent quadrats. A total of 101 vascular plant taxa were recorded, and coverage-based rarefaction confirmed high sampling completeness (>93%) with consistent regional differences in species richness (Cheongyang > Hampyeong > Damyang). These differences were associated with the surrounding agricultural landscape and cultivation system of each vineyard. Beta-diversity partitioning revealed that species turnover accounted for 77.35 to 91.77% of total interannual community dissimilarity, indicating that vegetation change was driven primarily by species replacement rather than species loss or gain. Furthermore, perennial species constituted a significantly greater proportion of persistent taxa than annual species ($p = 0.04$), demonstrating the maintenance of a stable perennial core despite rapid annual species replacement. This pattern appears to reflect the reduced chemical fertilizer input and the altered nutrient supply regime under eco-friendly certification, which attenuate the pulses of readily available inorganic nitrogen that favor fast-growing annuals while providing a more gradual supply consistent with the conservative resource-use strategies of perennials. These findings indicate that early vegetation succession in eco-friendly vineyards is characterized by dynamic species turnover shaped by interactions between local management and the surrounding agricultural landscape. This study provides a baseline for integrating vegetation management into sustainable agroecosystem management during the transition to eco-friendly farming.

Correspondence: alswogud@korea.kr (+82-63-238-2567)

PB-059

유기 및 관행재배 토양의 화학적 특성과 세균·진균 군집 구조의 연관성

Associations of Soil Chemical Properties with Bacterial and Fungal Community Structures in Organically and Conventionally Managed Soils

정혜정*, 오혜민, 조우영, 유영준, 권오훈, 이문중
HyeJeong Jeong*, Hye Min Oh, Woo Yongh Gho, Young Jun You, Oh-Hun Kwon, and Mun Jung Lee
경상북도농업기술원 유기농업연구소
Gyeongbuk Agricultural Research & Extension Services Organic Agriculture Reseach Institute

관행재배는 작물 생산성 확보를 위해 무기질 비료와 농약 등 외부 투입재에 의존하는 반면, 유기재배는 유기물 투입과 생물학적 순환을 기반으로 토양 비옥도와 생태적 기능의 유지·향상을 지향한다. 이러한 재배방식의 차이는 양분공급 및 토양관리 방식이 달라 토양 화학성 뿐만 아니라 토양 미생물 군집 구조에도 영향을 미친다. 따라서, 본 연구는 유기 및 관행재배 밭토양을 대상으로 토양 화학성과 미생물 다양성 및 군집 구조를 비교하고 미생물 군집 분화와 토양 환경요인과의 연관성을 평가하고자 수행하였다. 경북 의성군에서 마늘 휴작기에 수단그라스, 네마장황, 밤콩, 혼파(수단그라스+네마장황), 무처리한 유기재배 밭토양과 장기 관행재배 밭토양을 대상으로 주작물인 마늘의 생육 중 5~15cm 깊이의 토양시료를 채취하였다. 토양 화학성은 pH, EC, T-C, T-N, C/N비, 무기태질소를 분석하였으며 세균과 진균 군집은 각각 16S rRNA 및 ITS 염기서열 분석을 이용하여 평가하였다. 미생물 다양성은 Chao1, Shannon, Faith's PD등의 α-diversity와 Bray-Curtis 및 Weighted-Unifrac 거리 기반의 β-diversity를 분석하였으며, 토양 환경요인과 미생물 군집 간의 연관성은 envfit 및 Pearson 상관분석을 이용하여 평가하였다. 세균은 유기재배와 관행재배간 α-diversity의 뚜렷한 차이가 나타나지 않았으나 진균에서는 관행재배에서 Chao1, Shannon 및 Faith's PD가 모두 높은 경향을 보여 세균과 상이한 반응을 나타냈다. Bray-Curtis 기반 PCoA에서 세균과 진균 모두 유기 및 관행 토양이 PC1을 따라 뚜렷하게 구분되었 다. 세균 군집은 pH(R^2=0.9094, p=0.015)와 NH_4-N(R^2=0.7074, p=0.049)가 군집 구조와 유의한 연관성을 나타내었으며, 진균 군집은 EC(R^2=0.9512, p=0.011), NO_3-N(R^2=0.9611, p=0.037), TC(R^2=0.9202, p=0.002), TN(R^2=0.8989, p=0.012), C/N (R2=0.9392, p=0.001)이 군집구조와 유의한 연관성을 나타내었다. 진균 군집 토양환경요인의 Pearson 상관분석 결과 EC와 NO_3-N이 강한 양의 상관(r=0.970)을 나타냈으며 TN, TC, C/N이 서로 강한 양의 상관(r=0.893~ 0.994)를 나타내었다. 분류학적 조성에서 세균의 주요 분류군은 Pseudomonadota, Actinomycetota 및 Bacillota가 우점하였으며 재배방식에 따른 Phylum 수준의 조성 차이는 크지 않았다. 반면, 진균은 Ascomycota가 우점하였으나, 관행 토양에서는 Other 그룹의 비중이 증가하여 Phylum 수준에서 재배방식에 따른 조성차이가 나타났다. 한편, Weighted-Unifrac 기반 PCoA에서는 Bray-Curtis와 달리 세균군집에서 유기재배 처리간 계통학적 분화가 뚜렷하게 나타났으며, 특히 풋거름 처리구는 무처리구와 구분되는 계통학적 군집 구조를 나타내었다. 이러한 결과를 종합하였을 때, 유기 및 관행재배 토양은 토양 화학성과 미생물 군집 구조에서 뚜렷한 차이를 나타냈으며, 세균과 진균은 서로 다른 토양환경 요인과의 높은 연관성을 나타내었다. 또한 유기재배 토양에서 풋거름 작물 처리에 따른 미생물 군집에 대한 차이는 풋거름 작물 도입이 우점 세균의 계통학적 군집구조와 연관될 가능성을 시사한다.

주연구자 연락처: hyejj84@korea.kr (054-832-9669)

PB-060

시설상추에서 *Bacillus amyloliquefaciens*의 생육 촉진 및 질소비료 저감 효과

Effects of *Bacillus amyloliquefaciens* on Growth Promotion and Nitrogen Fertilizer Reduction in Greenhouse Lettuce

이용우*, 김효정, 고윤정, 오민아, 고정연, 이서영, 고순보
Yong Woo Lee*, Hyo Jeong Kim, Yoon Jeong Ko, Min Ah Oh, Jeong Yeon Ko, Seo Yeong Lee, and Sun Bo Ko
제주특별자치도농업기술원
Jeju Special Self-governing Province Agricultural Research and Extension Services

화학비료 사용량을 줄이면서 생산성을 유지하기 위해 농업 현장에서 활용 가능한 미생물 활용기술 개발 필요성이 증가하고 있다. 이러한 미생물의 자원 확보를 위해 섬유소 분해능 등 농업적으로 유용한 바실러스균을 제주특별자치도농업기술원과 제주테크노파크가 공동으로 선발하여 특허 출원한 바 있다. 본 연구는 선발된 *Bacillus amyloliquefaciens*(B2) 균주의 생육 촉진 및 질소비료 저감 효과를 검토하고자 2025년 제주지역 시설상추 재배지 2개소에서 수행하였다. 무처리구는 농업용수만을 관수하였고, 미생물 처리구는 배양액을 1×10^6 cfu mL^{-1} 농도로 희석하여 3 t $10a^{-1}$씩 7일 간격으로 총 5회 관주하였다. 또한, 미생물 처리구는 표준 질소시비량(7 kg $10a^{-1}$)의 100, 90 및 80% 수준으로 나누어 처리하였다. 처리에 따른 생육특성, 누적 수량, 식물체 양분 함량과 흡수량, 질소이용효율, 토양 화학성 및 탈수소효소 활성을 조사하였다. 미생물 처리구의 엽장, 엽폭 및 엽록소 함량은 무처리구보다 대체로 높게 나타났다. 두 재배지의 평균 누적 수량은 무처리구가 2,141 kg $10a^{-1}$이었으며, 미생물 처리구는 질소시비 수준에 따라 2,520~2,678 kg $10a^{-1}$으로 18~25% 증가하였다. 식물체의 질소, 인산 및 칼리 함량은 처리 간 유의한 차이가 없었으나, 질소 흡수량은 미생물 처리구에서 3.8~3.9 kg $10a^{-1}$으로 무처리구의 3.4 kg $10a^{-1}$보다 높았다. 질소이용효율은 미생물 처리와 표준 질소시비량의 80%를 조합한 처리구에서 69%로 가장 높았으며, 무처리구 각각 20%p 증가하였다. 시험 후 pH, EC 등 토양 화학성은 일관된 변화를 나타내지 않았다. 또한, 미생물 처리에 따른 탈수소효소 활성도는 처리 간 유의한 차이가 없었다. *B. amyloliquefaciens*(B2) 처리는 시설상추의 수량과 질소 이용효율을 높였으며, 표준 질소시비량의 80% 수준에서도 수량을 유지하여 질소비료 사용 저감 가능성을 확인하였다.

주연구자 연락처: dyddn2562@korea.kr (064-760-7534)

PB-061

Characterization of Environmental Factors in Native Earthworm Habitats

Sang Woo Han, Chaeyeon Kim, Dokyun Lee, Yunah Do, Myung Hoon Kim, Ji Eun Hwang, and Young-Nam Kim*
Department of Crop Science, Kyungpook National University

Earthworms play a pivotal role in soil ecosystems by promoting the decomposition of soil organic matter, enhancing microbial activity and nutrient cycling, and influencing soil pH and physical structure. However, earthworm distribution is known to vary considerably depending on the physicochemical properties of habitat soils and the surrounding vegetation. Despite ongoing changes in soil and vegetation characteristics driven by climate change and environmental pollution, studies examining the effects of such environmental changes on earthworm distribution in Korea remain virtually nonexistent. Accordingly, this study investigated the distribution of earthworms across different land-use types (forest, grassland, farmland, and park) in Korea, and analyzed the physicochemical properties of habitat soils (pH, EC, organic matter content, bulk density, etc.) and vegetation characteristics (C, N, etc.) to elucidate the correlations between earthworm distribution and habitat environmental factors.

Earthworms were mainly collected within a soil pH range of 4.58-8.01, and the mean pH by land-use type decreased in the order of park (6.82) > farmland (6.31) > grassland (5.66) > forest (5.45). In particular, earthworm abundance was markedly low in acidic soils below pH 5.0, whereas the highest abundance (11-63 individuals) was observed within the pH range of 6.5-7.0. Soil bulk density showed a significant negative correlation with earthworm abundance per unit area (1 m^2) (R^2 = 0.5788), presumably because higher bulk density reduces soil porosity and increases penetration resistance, thereby limiting earthworm burrowing activity and habitation. In addition, plant Ca content was significantly positively correlated with earthworm abundance (R^2 = 0.6724), suggesting that surrounding vegetation characteristics, in addition to soil conditions, substantially influence earthworm distribution. Since this study was conducted at a limited number of survey sites, future research should secure a greater number of sites to improve data reliability, and employ comprehensive statistical approaches such as multiple regression analysis to more precisely elucidate the relationships between earthworm distribution and environmental factors.

Correspondence: youngnam.kim@knu.ac.kr (054-530-1205)

PB-062

Evaluation of Soil Loss under Potato Cultivation in Highland Sloping Fields

Yang-Min Kim*, Gye-Ryeong Bak, and Nayoung Choi
Highland Agriculture Research Institute, National Institute of Crop and Food Science

To sustain agricultural production in the highlands of Gangwon, minimizing soil loss is essential. This study investigated the effects of slope steepness (2%, 7%, and 15%) on soil loss from potato-cultivated upland fields over three growing seasons (2021, 2023, and 2024) using slope lysimeters at the Highland Agriculture Research Institute (37°40′48.0″N, 128°43′51.0″E) in Gangwon, Korea. The average cover management factor (C-factor) for potato was 0.22 during the growing season, with lower values observed at steeper slopes (e.g., 0.07 at 15%), indicating greater erosion protection relative to bare soil under conditions where potential soil loss was substantially higher. These results demonstrate that conventionally cultivated potato fields markedly reduce soil erosion compared with bare soil, particularly on steep slopes. However, considerable soil loss still occurred during the early growth stage when canopy cover was limited. Therefore, integrating additional conservation practices, such as mulching or cover cropping is recommended to further reduce C-factors and improve long-term soil conservation in highland potato production systems.

Correspondence: yangmink@korea.kr (033-330-1850)

PB-063

Chemical Properties and Long-term Trends of Upland Soils in Jeonnam Province, Korea (2001-2025)

Soyoun LEE*, Hyeonji Kim, Sungwoo Kim, Seul Lee, Kyungjin Kwak, Sunkook Kim, and Sugju Ko
Jeonnam-Gwangju Special Metropolitan City Agricultural Research & Extension Services

Purposes: Continuous nutrient accumulation and imbalance in upland soils, resulting from intensive agricultural practices, has raised concerns in Jeonnam Province, Korea. This study evaluated the chemical properties and long-term (2001-2025) changes of upland soils to provide basic data for soil fertility management and fertilization guidance.

Methods: Topsoil samples (0-20 cm) were collected from 250 upland field sites in Jeonnam Province in 2025 and analyzed for pH, EC, soil organic matter (SOM), available phosphate, and exchangeable cations (K, Ca, Mg, Na). The proportion of sites below, within, and above the optimum range was calculated for each property, long-term trends were assessed using data collected every four years since 2001, and soil chemical properties were compared among 11 major crop types.

Results: Mean pH was 6.3, within the optimum range, although 35.6% of sites were below it. Mean SOM was 27 g kg^{-1}, within range, but 33.2% of sites were deficient. Available phosphate averaged 762 mg kg^{-1}, about 1.4 times the upper optimum limit, and exchangeable K, Ca, and Mg exceeded the optimum range in 73.6%, 79.2%, and 64.8% of sites, respectively. Since 2001, pH increased from 5.9 to 6.3 and exchangeable cations showed continuous increasing trends. Pepper and corn fields had higher EC, while sweet potato fields had both low pH and low SOM.

Conclusions: Soil-test-based fertilizer recommendations and balanced application accounting for nutrients supplied through organic amendments are needed to maintain soil and crop health and prevent further nutrient accumulation in Jeonnam Province's upland soils.

Correspondence: chancy24@korea.kr (061-330-2503)

PB-064

안정화제 처리에 따른 작물 카드뮴 흡수 저감 평가에서 Mehlich-3 추출법의 적용 한계

Limitations of the Mehlich-3 Extraction Method for Evaluating Reductions in Crop Cadmium Uptake Following Soil Amendment Treatment

이남희[1], 백태희[2], 이미나[3], 김권래[4]*
Namhee Yi[1], Taehee Baek[2], Mina Lee[3], and Kwon-Rae kim[4]*
[1]경상국립대학교 생명자원과학과, [2]경상국립대학교 농업생명과학연구원,
[3]경상국립대학교 농식품바이오융복합연구원, [4]경상국립대학교 스마트농산업학과
[1]Department of GreenBio Science, Gyeongsang National University
[2]Institute of Agricultural and Life Science, Gyeongsang National University
[3]Agri-Food Bio Convergence Institute, Gyeongsang National University
[4]Department of Smart Agricultural Industry,Gyeongsang National University

안정화공법은 중금속 오염토양에 안정화제를 처리하여 중금속의 용해도, 이동성 및 생물유효도를 감소시키는 방법이다. 안정화공법의 효과를 평가하기 위해서는 토양 내 중금속의 변화뿐만 아니라 작물의 중금속 흡수 저감 여부를 확인할 필요가 있다. 작물 재배시험은 안정화제 처리에 따른 중금속 흡수 저감 효과를 직접적으로 평가할 수 있는 반면, 비교적 긴 시험기간과 많은 비용이 요구된다. 한편, Mehlich-3 추출법은 토양 내 양분 및 중금속의 잠재적 유효태 함량을 평가할 수 있는 다원소 추출법으로 활용되고 있다. 이에 본 연구에서는 Mehlich-3 추출성 카드뮴(Cd)이 안정화제 처리에 따른 작물 Cd 흡수 저감 효과를 평가하는 간접 지표로 활용될 수 있는지 검토하였다. 본 연구에서는 전국 폐광산 인근 농경지에서 채취한 Cd 오염토양 45점을 이용하여, 2023년에 각 토양에 NPK 비료만 처리한 대조구와 NPK 비료에 red mud(1%, w/w) 및 phosphogypsum(1%, w/w)을 혼합 처리한 안정화제 처리구를 조성하여 1년간 배양하였다. 이후 동일한 포트에서 안정화제를 추가로 처리하지 않고 2024년에는 벼를 재배하고, 2025년에는 대두를 재배하였다. 대조구와 처리구에서 식물체 시료가 모두 확보된 토양을 대상으로 Mehlich-3 추출성 Cd와 식물체 Cd 함량의 증감 방향을 구분하고, Cohen's kappa coefficient를 이용하여 일치도를 평가하였다. 벼에서는 31점 중 18점(58.1%), 대두에서는 30점 중 14점(46.7%)에서 두 지표의 변화 방향이 일치하였다. Cohen's kappa coefficient는 벼 0.130, 대두 0.077로 모두 낮은 일치도를 나타냈다. 이와 같은 결과는 안정화제 처리에 따른 Mehlich-3 추출성 Cd의 변화가 작물 Cd 흡수 변화를 충분히 반영하지 못할 수 있음을 보여준다. 따라서 Mehlich-3 추출성 Cd만으로 안정화제의 작물 Cd 흡수 저감 효과를 평가하는 데에는 한계가 있으며, 식물체 Cd 함량을 포함한 추가적인 평가 지표를 함께 고려할 필요가 있다.

주연구자 연락처: kimkr419@gnu.ac.kr (010-7120-9188)

PB-065

오염토양 중금속(준금속)의 식물유효도 저감을 위한 안정화제의 장기 지속성

Long-Term Persistence of Immobilizing Agents for Reducing the Phytoavailability of Heavy Metal(loid)s in Contaminated soil

최연정[1], 백태희[2], 이남희[3], 박진환[1], 이현민[1], 안수창[1], 이미나[4], 김권래[1]*
Yeonjeong Choe[1], Taehee Baek[2], Namhi Yi[3], Jinhwan Park[1], Hyunmin Lee[1], Suchang An[1], Mina Lee[4], and Kwon-Rae Kim[1]*
[1]경상국립대학교 스마트농산업학과, [2]경상국립대학교 농업생명과학연구원, [3]경상국립대학교 생명자원과학과, [4]경상국립대학교 농식품바이오융복합연구원
[1]Gyeongsang National University Smart Agro-industry
[2]Gyeongsang National University Institute of Agricultural and Life Science
[3]Gyeongsang National University GreenBio Science
[4]Gyeongsang National University Agri-Food Bio Convergence Institute

현재 중금속으로 오염된 농경지에서는 중금속의 식물 유효도를 저감시키기 위해 다양한 안정화제가 널리 사용되고 있다. 그러나 안정화 효과의 장기간 지속성에 대한 연구는 아직 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 중금속 오염 토양에 안정화제를 처리한 후 장기간이 경과한 시점에 쪽파를 재배하여 안정화 효과의 지속성을 평가하고자 하였다. 2017년에 진행된 선행연구에서는 2014년에 안정화제를 처리한 토양을 이용하여 쪽파 재배 실험을 수행하였다. 이후 본 연구에서는 안정화제를 추가 처리하지 않은 동일 토양을 이용하여 2025년에 쪽파를 재배하였다. 처리구는 안정화제 무처리구와 바이오차, 퇴비, 석고, 희석토양, 석회를 각각 처리한 단일처리구, 그리고 석회+석고, 석회+퇴비, 석회+희석토양, 석회+폐버섯배지, 석회+석고+희석토양을 혼합한 복합처리구를 포함하여 총 11개의 처리구를 구성하였다. 안정화 효과의 지속성 평가를 위해 쪽파 가식부의 중금속(비소, 카드뮴, 납) 농도와 재배 후 토양 pH, 용존유기탄소(DOC)를 분석하였다. 2025년 실험 분석 결과, 무처리구의 토양 pH가 5.29로 2017년(5.67)보다 낮아져 산성화가 진행된 것으로 나타났다. 반면, 석회를 포함한 모든 처리구에서는 pH가 6.68~8.07로 pH가 높은 상태로 유지되었다. 또한 석회를 포함한 처리구에서 무처리구 대비 쪽파 가식부의 중금속 농도가 비소를 제외하고 유의하게 낮았다. 이는 석회의 liming effect로 토양 pH가 증가하여 중금속의 흡착이 촉진되고 이동성이 감소함에 따라 안정화 효과가 장기간 유지된 결과로 판단된다. 따라서 선행연구와 본 연구 결과를 비교했을 때, 석회의 장기적인 중금속 안정화 효과가 확인되었으며, 석회는 중금속 오염 농경지에서 장기간 동안 효과있는 안정화제로 활용 가능성이 있음을 시사한다.

주연구자 연락처: kimkr419@gnu.ac.kr (010-7120-9188)

PB-066

NaCl Porogen을 이용한 바이오차의 미생물 서식 적합 공극 구조 설계 및 세척 후 구조 안정성 평가

Design of Microbially Habitable Pore Structure and Evaluation of Structural Stability After Washing in Biochar Fabricated Using NaCl Porogen

양지원, 이군택*
Ji Won Yang, and Goontaek Lee*
서울대학교 농생명공학부
Department of Agricultural Biotechnology, Seoul National University

토양 미생물의 정착, 수분 보유 및 가스 확산은 토양 내 공극의 크기 분포와 연결성에 큰 영향을 받는다. 특히 2-20 μm 영역은 미생물 체류 및 초기 biofilm 형성에 유리한 미세서식지로, 20-50 μm 영역은 수분 및 산소 공급을 위한 유효 수송 통로로 작용할 수 있다. 그러나 일반 열분해 기반 바이오차는 feedstock 및 탄화 조건에 따라 공극 구조가 크게 달라지며, 미생물 서식에 유리한 μm-scale 유효 공극의 크기, 분포 및 연결성을 의도적으로 조절하기 어렵다. 이에 본 연구에서는 NaCl 고체 porogen을 이용하여 바이오차 내 미생물 서식용 유효 공극을 확장할 수 있는지 예비적으로 평가하고, 세척 공정을 통한 잔류염 제거 가능성을 함께 확인하고자 하였다. 목재 펠릿 분말을 기반으로 NaCl 고체 porogen을 혼합한 뒤, 질소(N_2) 대기 조건에서 탄화 및 세척 공정을 수행하였다. 제조된 바이오차의 공극 구조는 수은압입법(MIP)과 SEM-EDS을 이용하여 평가하였으며, 세척 전후의 EC를 측정하여 잔류염 제거 및 세척 안정성을 확인하였다. MIP 분석에서는 미생물 서식 및 물질전달에 관련된 2-20 μm 및 20-50 μm 범위의 누적 관입 부피를 중심으로 비교하였고, 100 μm 부근의 입자 간 간극에 의한 해석 가능성을 함께 고려하였다. MIP 분석 결과, NaCl 고체 porogen 처리구는 대조구 대비 2-20 μm 및 20-50 μm 범위의 누적 관입 부피가 증가하는 경향을 보였으며, SEM-EDS 결과에서도 목재 펠릿 유래 세포벽 구조와 공극 형성 양상을 확인할 수 있었다. 이는 NaCl porogen 기반 공정이 미생물 접근 가능한 macropore window를 확장하는 데 활용될 수 있음을 시사한다. 또한 반복 세척 후 EC가 낮은 수준으로 안정화되어, NaCl 기반 porogen 적용 후 잔류염을 제어할 수 있는 가능성을 확인하였다. 다만 고체 NaCl porogen 단순 혼합 방식은 염 입자의 외부 응집, 바이오매스 내부 침투 제한, 그리고 MIP 분석 시 입자 간 간극에 의한 대공극 영역 노이즈를 완전히 배제하기 어렵다. 따라서 후속 연구에서는 NaCl 수용액 진공 함침과 동결건조 기반 ice-templating을 결합한 액상함침-동결건조 공정을 도입하여, 염의 내부 분포를 균일화하고 미생물 서식에 유리한 2-60 μm 범위의 연결성 공극 네트워크를 보다 정밀하게 설계하고자 한다. 본 연구는 바이오차를 단순 토양개량제가 아니라, 토양 미생물 서식 환경을 구조적으로 조절할 수 있는 공극 설계형 소재 플랫폼으로 확장하기 위한 기초 자료를 제공한다.

주연구자 연락처: gtlee@snu.ac.kr (02-880-4645)

PB-067

저투수성 간척지 토양에서 토양개량제 종류와 염도 수준이 투수성 및 제염에 미치는 영향

Effect of Soil Amendment Type and Salinity Level on Soil Permeability and Desalination in Low-Permeability Reclaimed Land Soil

정서영*, 이정민, 강방훈, 조현숙, 이학성, 이광승
Seo-Young Jeong*, Jeong-Min Lee, Bang-Hun Kang, Hyun-Suk Cho, Hak-Seong Lee, and Kwang-Seung Lee
농촌진흥청 국립식량과학원
National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea

국내 간척지는 본래 벼 재배를 목적으로 조성되었으나, 최근 쌀 수급 조정 정책에 따라 밭작물로의 전환이 요구되고 있다. 그러나 영산강간척지와 같이 점토 함량이 높은 토양은 낮은 투수성과 얕은 지하수위로 인한 배수불량, 그리고 높은 염농도로 인해 밭작물 재배에 적합하지 않다. 이러한 문제를 해결하기 위해 지표 배수, 심토파쇄, 담수 제염 등이 시도 되어왔으나 초기 비용이 높거나 효과가 일시적이라는 한계가 있는 반면, 토양개량제는 현장 적용성이 높아 주목받고 있다. 그러나 기존 연구는 대부분 단일 개량제를 단일 염도 조건에서 평가하였고, 서로 다른 기작을 가진 개량제를 동일 조건에서 직접 비교하거나, 저투수성 세립질 간척지 토양에서 투수성 개선과 제염 효과를 동시에 평가한 연구는 드물다. 이에 본 연구는 하이드로겔(HG), 바이오차(BC), 부산석고(PG) 세 가지 개량제의 투수성 개선, 제염 효율, 양이온 용탈 특성을 두 가지 염도 조건에서 비교·평가하고자 하였다.

영산강간척지 표토를 채취하여 풍건하여 2 mm 체 통과 후 컬럼 용탈 실험에 사용하였다. 아크릴 컬럼에 토양을 20 cm 높이로 용적밀도 1.37 g cm^{-3}으로 충전하였다. 염도 조건은 저염도($EC_{1:5}$ ≈ 1.5 dS m^{-1})와 고염도($EC_{1:5}$ ≈ 4.7 dS m^{-1})의 두 수준으로 설정하였다. 개량제는 표준시용량의 50, 100, 200% 수준으로 처리하였으며, 표준시비만 적용한 대조구(CON)를 두었고 각 처리는 3반복하였다. 상단 포화 및 2주간 평형 후 증류수를 공급하여 1 PV 단위로 용탈액을 수집하였다. 용탈액의 pH, EC와 주요 양이온(Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+}, ICP-OES)을 분석하였고, 변수두법으로 포화 투수계수를 산정하였다. 처리별 투수성 차이를 고려하여 누적 용탈량은 모든 처리에서 도달한 최소값인 5 PV를 기준으로 산정하였다.

저염도 조건에서 HG와 PG는 대조구 대비 투수계수를 각각 305%, 225% 증가시켰다. HG는 반복적인 팽윤-수축을 통해 토양 공극 구조와 수분 이동 경로를 변화시킴으로써 물리·수리적으로 Na^{+}의 이동과 용탈을 촉진하였으며, 처리구 중 가장 높은 Na^{+} 용탈량을 나타냈다. 또한 칼륨계 고흡수성 고분자인 HG의 특성상 교환성 K^{+}가 증가하고 Na^{+}가 감소하여 K^{+}/Na^{+} 비율이 유의하게 높아졌다. PG는 시용량 증가에 따라 교환성 및 용탈 Ca^{2+}가 유의하게 증가하여, 공급된 Ca^{2+}가 Na^{+}를 치환하는 Ca^{2+}-Na^{+} 이온교환 기작을 뒷받침하였다. 고염도 조건에서는 HG의 팽윤 용량이 감소하여 투수성 개선 효과가 크게 감소한 반면, PG는 상대적으로 안정적인 성능을 보여 누적 Na^{+} 용탈량이 대조구 대비 22.8% 높았다. 이는 Ca^{2+} 매개 치환 기작이 염도 수준에 상대적으로 독립적임을 시사한다. BC는 두 염도 조건 모두에서 투수계수와 Na^{+} 용탈에 유의한 영향을 미치지 않았고, 교환성 Na+ 및 SAR도 대조구와 유사하거나 다소 높게 나타났는데, 이는 분말 형태로 시용되어 공극 형성 기여가 제한적이었기 때문으로 판단된다.

종합하면, 세 개량제는 투수성 개선 및 제염에 있어 서로 다른 기작으로 작용하였다. HG는 물리·수리적 개선을, PG는 Ca^{2+} 매개 화학적 제염을 주된 기작으로 하였으며, 그 효과는 초기 토양 염도 수준에 따라 상이하게 나타났다. HG는 저염도 조건에서 효과가 극대화된 반면, PG는 염도 수준에 관계없이 안정적인 효과를 보였다. 따라서 저투수성 간척지 토양에서 개량제를 선정할 때 초기 염도 수준을 1차적 기준으로 활용하여, 저염도 조건에서는 HG를, 고염도 조건에서는 PG를 우선 검토할 것을 제안한다.

주연구자 연락처: seo019js@korea.kr (063-540-8522)

PB-068

반복 인공강우 조건에서 강우체계와 경사도가 배추 재배지의 질소 유출에 미치는 영향

Nitrogen Runoff and Soil Water Storage Responses to Repeated Simulated Rainfall Regimes in Kimchi Cabbage Plots with Different Slope Gradients

이종문*, 엽소진, 어진우, 이병모, 오부영, 양예린
Jong-Mun Lee*, So-jin Yeob, Jinu Eo, Byungmo Lee, Buyeong Oh, and Yerin Yang
국립농업과학원
National Institute of Agricultural Sciences

농경지의 질소 유출은 강우조건, 경사도 및 토양수분 상태에 따라 달라지지만, 반복 강우조건에서 이들 요인이 질소 유출에 미치는 영향에 대한 정량적 정보는 제한적이다. 본 연구에서는 인공강우 모의시설을 이용하여 강우체계 2수준 (30 및 50 mm h^{-1}, 60분)과 경사도 2수준 (4 및 12%)을 조합한 4개 처리구 (R30_S4, R30_S12, R50_S4, R50_S12)에서 배추 재배지의 지표유출 및 질소부하 특성을 평가하였다. 2026년 4-6월 동안 약 2주 간격으로 총 6회의 인공강우를 적용하였으며, E1-E3은 비닐멀칭 재배기간, E4-E6은 수확 및 비닐 제거 후 나지조건에서 수행하였다. 6회 누적 지표유출량은 37.1-87.6 mm, 유출계수는 0.21-0.29였으며, 누적 TN 부하량은 7.8-17.5 kg N ha^{-1}이었다. 동일 경사도에서 강우체계를 30 mm에서 50 mm로 증가시켰을 때 누적 지표유출량은 117-119%, TN 부하량은 71-80% 증가한 반면, TN 유량가중 평균농도는 17-22% 감소하였다. 반면 동일 강우체계에서 경사도가 4%에서 12%로 증가하였을 때 지표유출량은 8-9% 증가하였으나 TN 농도는 14-21%, TN 부하량은 24-31% 증가하였다. 따라서 본 시험조건에서 강우체계 차이에 따른 TN 부하량 증가는 주로 지표유출수량 증가와 관련된 반면, 경사도 증가는 유출수량뿐 아니라 TN 농도 증가와 함께 부하량 차이를 확대하는 양상을 나타냈다. TN 부하량은 비닐멀칭 재배기간 (E1-E3)에 7.6-15.0 kg N ha^{-1}이었으나 수확 후 나지기간 (E4-E6)에는 0.2-2.5 kg N ha^{-1}로 크게 감소하였다. 선행토양수분저장량은 지표유출량 ($r = 0.71$) 및 TN 부하량 ($r = 0.76$)과 양의 관계를 보인 반면, 강우사상에 따른 토양수분저장량 증가량은 각각 음의 관계 ($r = -0.68$ 및 -0.64)를 나타내어 강우수의 토양 내 저장과 지표유출 간 분배가 질소손실과 밀접하게 연계됨을 보여주었다. 본 연구는 처리조합별 공간반복이 없는 예비 규모 실험이므로 결과는 설정된 시험조건에서 나타난 탐색적 반응으로 해석하였다.

주연구자 연락처: jmlee1019@korea.kr (010-5060-4320)

PB-069

생분해성 고분자 수지를 이용한 완효성 비료 개발

Development of Controlled-Release Fertilizers Using Biodegradable Polymers

강민승*, 김해나, 장경만, 김혜빈, 서예진, 조현종, 권오연
Minseung Kang*, Heana Kim, Kyungman Jang, Hyebin Kim, Yejin Seo, Hyunjong Cho, and Oyeon Kwon
(주)누보
Nousbo Co., Ltd., Suwon 16614, Korea

전 세계적으로 지구온난화, 미세플라스틱으로 인한 생태계 파괴 등 환경오염 문제가 심각해짐에 따라 플라스틱 사용 규제와 대체재 개발 연구가 활발히 진행되고 있다. 완효성 비료(Controlled release fertilizer, CRF)는 기존 관행 무기질 비료의 과다 시비로 인한 양분 유실, 지하수 오염, 부영양화 등의 환경 문제를 예방하고, 노동력을 절감할 수 있는 해결책으로 주목받아 왔다. 그러나 기존 CRF의 피막은 대부분 폴리우레탄, 폴리올레핀 등 난분해성 폴리머 수지 계열을 이용한 것으로, 양분 용출 후 분해되지 않고 잔류하여 토양 및 수계 환경에 장기적인 오염원으로 남아 농업환경뿐만 아니라 지구 생태계에도 악영향을 끼치고 있다. 본 연구에서는 이를 해결하기 위해 미생물에 의해 완전 분해되는 생분해성 수지 PBAT(Polybutylene adipate-co-terephthalate)와 PBS(Polybutylene succinate)를 활용하여 최적의 코팅 조성물을 선발하기 위해 각 수지의 특성, 농도 및 혼합 비율에 따른 코팅 가능성을 유동층 코팅 시스템(Fluid bed system)을 적용하여 구명하였다. 시험결과, 단일 수지를 사용할 경우 코팅농도가 3.0%를 초과하면 수지의 섬유화(Cobwebbing) 현상으로 인해 코팅 과정 중 노즐 막힘이 발생하였고 비료 입자 간 점착 발생 및 유동 불량으로 인해 정상적인 코팅이 불가하였다. 반면, PBAT와 PBS를 혼합한 수지의 경우 최대 5.0% 농도까지 문제없이 액적(Droplet) 형태로 분사되어 정상적인 비료 코팅이 가능하였다. PBAT와 PBS의 혼합 중량비가 7:3, 6.5:3.5, 6:4, 5:5(w/w)일 때 정상적인 코팅막 형성이 가능하였으며, 특히 7:3 비율에서 적절한 코팅막을 형성하였다. 두 가지 수지의 최적 혼합 조건으로 제조된 생분해성 코팅 비료의 수중 질소 용출률을 분석한 결과, 기존 난분해성 CRF와 비교하여 동등한 수준의 용출 제어 성능을 확인하였다. 본 연구 결과는 난분해성 수지 코팅 비료를 대체할 수 있는 생분해성 수지 코팅 비료 개발이 가능함을 확인하였고 이를 활용하여 향후 친환경적인 농업 발전에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

주제어: 생분해성, 코팅비료, 완효성비료, 플라스틱, 친환경
주연구자 연락처: alstmd621@nousbo.com (010-6644-5173)

PB-070

Integrating Cellular Mechanisms and Whole-Plant Systemic Responses of Particulate Matter Phytotoxicity in Lettuce (*Lactuca sativa L.*)

Kanghee Kim[1], and Chang-Beom Park[1,2]*
[1]Korea Institute of Toxicology (KIT), Jinju, 52834, Republic of Korea
[2]University of Science and Technology (UST), Daejeon 34113, Republic of Korea

Purposes Particulate matter (PM) pollution poses severe risks to plant health, yet the fundamental cellular mechanisms and their translation to whole-plant systemic responses remain underexplored. This study investigated the comprehensive phytotoxic pathways of PM in lettuce (*Lactuca sativa L.*) by integrating cellular-level assessments (protoplast-callus systems) with whole-plant systemic evaluations to clarify particle internalization, oxidative stress, metabolic disruption, hormonal imbalance, and adaptive morphological responses.

Methods Lettuce protoplasts, micro-calli, and intact plants were exposed to standardized diesel exhaust particles (SRM-2975) at concentrations up to 250 mg/L. Intracellular PM accumulation was analyzed using Raman spectroscopy and optical clearing microscopy. Cellular damage and chloroplast integrity were evaluated via Bio-TEM. Physiological traits, including hydrogen peroxide (H_2O_2) accumulation, chlorophyll a and b contents, soluble sugars, and endogenous phytohormones (IAA and CYT), were quantified. Additionally, macro-morphological growth bio-indicators and the transcriptional expression of target genes (*CLH1*, *ARF5/MP*, *AIL6/PLT3*, *WRKY23*, and *SPT*) were analyzed using qRT-PCR.

Results Raman spectroscopy and optical microscopy confirmed that PM fractions translocated and accumulated within the cytoplasm and intracellular mesophyll compartments. PM exposure triggered concentration-dependent oxidative stress, marked by elevated H_2O_2 levels, which upregulated the chlorophyll-degrading gene *CLH1*, caused severe structural degradation of chloroplasts, depleted photosynthetic pigments, and reduced soluble sugar content. This metabolic energy starvation was accompanied by a hormonal imbalance characterized by decreased auxin (IAA) levels and a lower IAA-to-cytokinin ratio. In response to this cellular injury, plants strongly upregulated shoot-differentiating transcription factors *ARF5/MP* and *AIL6/PLT3*. At the whole-plant level, this integrated cellular and molecular pathway manifested as a trade-off between leaf size and number, characterized by reduced shoot biomass alongside an increased number of proportionally small leaves, while root biomass remained relatively unaffected.

Conclusions Particulate matter phytotoxicity follows a conserved multi-step pathway driven by intracellular accumulation, oxidative stress, chloroplast degradation, energy starvation, and hormone-mediated adaptive organogenesis. The high consistency between cellular and whole-plant responses demonstrates that protoplast-callus systems serve as robust, rapid, and reliable screening tools that accurately predict systemic environmental phytotoxicity, providing critical insights for safeguarding agricultural productivity and ecosystem health.

Correspondence: changbeom.park@kitox.re.kr (055-750-3735)

PB-071

Chemical Properties of Shallow Groundwater based on Different Cropping Types in Gyeongnam Province, South Korea

Jae Young Heo[1]*, Hee Jeong Je[1], Mi Jin Lee[1], Young Han Lee[1], and Byung Mo Lee[2]
[1]Climate-Resilient Agriculture Research Division, Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services, Jinju 52733, Korea
[2]National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

This study was conducted to obtain basic data of the chemical properties of shallow groundwater based on different cropping types in Gyeongnam Province, South Korea. Shallow groundwater sampling at 20 sites (5 paddy field, 5 upland, and 10 controlled horticultural field) were collected on April and July in every years from 2023 to 2025. The three-year average concentrations showed that groundwater pH ranged from 6.7 to 7.4 in paddy fields, 7.2 to 7.5 in upland fields, and 6.9 to 7.4 in controlled horticultural fields, with no significant differences among land-use types. Electrical conductivity (EC), an indicator of nutrient levels in agricultural water, also showed no significant annual variation. However, the mean EC was significantly higher in controlled horticultural fields 0.48 dS m^{-1} than in upland fields 0.34 dS m^{-1} and paddy fields 0.26 dS m^{-1}. The NO_3-N contents by land use were in the order of 9.60 mg L^{-1} for controlled horticultural field, 9.54 mg L^{-1} for upland, and 4.41 mg L^{-1} for paddy field. In addition, the concentrations of Cl^-, Ca^{2+}, K^+, Mg^{2+}, and SO_4^{2-} contents were highest in agricultural groundwater of controlled horticultural field type. In conclusion, shallow groundwater chemistry is heavily influenced by land use. These results indicated that they are traceable to agricultural non point sources fertilizers, livestock farms, and sewage.

Keywords: Shallow groundwater, cropping types, paddy field, upland, controlled horticultural field
Correspondence: bopo@korea.kr (055-254-1312)

PB-072

경기도 농업용 하천수 및 지하수의 수질 변동

Temporal Changes in the Quality of Agricultural Stream and Ground Water in Gyeonggi Province

이정혜*, 정재원, 안희정, 서재순, 소호섭, 박중수
Jung-Hye Lee*, Jae-Won Jung, Hee-Jung An, Jae-Soon Seo, Hoseup Soh, and Jung-Soo Park
경기도농업기술원
Gyeonggi-do Agricultural Research & Extension Services

경기도는「친환경농어업 육성 및 유기식품 등의 관리·지원에 관한 법률」제11조에 따라, 농업정책 수립 및 농업용수 수질관리를 위하여 매년 농업용 하천수와 지하수의 수질변동조사를 수행하고 있다. 2021년부터 2025년까지 경기도 내 하천수 32지점과 지하수 20지점의 수질 화학성을 조사·분석하였으며, 하천수는 연 3회(4월, 7월, 10월), 지하수는 연 2회(4월, 7월)씩 채취하여 모니터링 하였다.

최근 5년간의 경기도 농업용 하천수의 pH는 7.6~7.8, EC는 0.24~0.27dS/m 범위였다. DO는 8.8~9.8mg·L-1로 농업용수 관리기준인 2.0mg·L-1보다 높게 나타났다. TOC와 SS, COD는 각각 2.4~3.0mg·L-1, 4.2~6.0mg·L-1, 2.2~3.3mg·L-1 로 나타났다. T-N는 2021년 2.74mg·L-1에서 2025년 3.81mg·L-1로 완만히 증가하였으나, T-P는 0.07~0.08mg·L-1로 연차별 차이가 크지 않았다. 조사기간 동안 경기도 농업용 하천수는 관련 수질기준을 충족하여 전반적으로 양호한 추세를 보였다.

농업용 지하수의 pH는 6.7~7.0이었으며, EC는 0.29~0.33dS·m-1 수준이었다. NO3-N는 4.53~5.90mg·L-1, Cl-은 25.5~35.0mg·L-1로 기준치 미만이었다. SO42-는 2019년 19.44mg·L-1에서 17.58mg·L-1으로 감소하였고, T-N은 2021년 4.86mg·L-1에서 2024년 6.53mg·L-1까지 상승하였으나 2025년에 6.28mg·L-1로 약간 감소하였다. T-P는 0.03~0.04mg·L-1수준이었다. 최근 5년간 경기도 내 20개 지점에서 농업용 지하수 수질을 모니터링 한 결과 기준치를 초과한 지점은 없었다.

이상의 결과, 2021 ~ 2025년 경기도 농업용 하천수와 지하수는 전반적으로 양호한 수질 수준을 유지한 것으로 판단된다. 다만 하천수와 지하수에서 T-N이 증가하는 경향이 확인됨에 따라, 농업용수의 안정적인 수질관리를 위해 질소 성분에 대한 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

사사: 본 연구는 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: RS-2026-25518783)의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

주제어: 경기도, 농업용수, 하천수, 지하수, 수질
주연구자 연락처: junghye0522@gg.go.kr (031-8008-9343)

PB-073

Optimizing Organic Matter Digestion Conditions for Accurate Microplastic Extraction in Agricultural Soils

Yun-Gu Kang[1], Jun-Yeong Lee[1], Sunghak Lee[2], Motohei Kanayama[3], and Taek-Keun Oh[1,2,3]*
[1]Department of Agricultural Chemistry, Chungnam National University
[2]Department of Bio-Environmental Chemistry, Chungnam National University
[3]Department of Agro-environmental Sciences, Kyushu University

Plastics in the agricultural sector are primarily used as mulching films, pesticide containers, and fertilizers, and due to their high resistance to degradation, they persist in soils for extended periods. These plastics are gradually fragmented into smaller particles, forming microplastics (MPs), through various environmental factors. MPs introduced into agricultural soils can adversely affect soil environments and accumulate in organisms through the food chain, prompting extensive research on monitoring MPs in the environment. However, during the density separation process for MP analysis, soil organic matter (OM), which has a density similar to that of MPs, tends to float together with MP particles, thereby interfering with accurate MP quantification. Therefore, efficient removal of OM is essential for precise MP extraction. In this study, differences in OM degradation efficiency under various digestion conditions (i.e., acid-, alkali-, and oxidative digestions) were compared, and optimal conditions were determined based on OM content across five types of agricultural soils: reclaimed (12.45 g/kg), upland (20.69 g/kg), orchard (24.73 g/kg), paddy (35.17 g/kg), and greenhouse soils (41.31 g/kg). Additionally, digestion conditions exhibiting high OM degradation efficiency were selected to evaluate their effects on MPs through recovery analysis of polystyrene (PS, 1.05 g/cm3). Reaction temperatures and times for soil OM degradation were categorized into four levels (0, 20, 40, and 60°C) and three durations (1, 2, and 4 hours), respectively. Five solutions were used: distilled water (DW), 10% potassium hydroxide (KOH), 35% nitric acid (HNO3), 30% hydrogen peroxide (H2O2), and Fenton's reagent. The findings showed that OM degradation using DW exhibited the lowest efficiency across all soil types, while oxidative digestion (i.e., H2O2 and Fenton) achieved up to 64.5% higher efficiency compared to acid- and alkali-digestion methods. OM degradation efficiency increased with higher reaction temperature and longer reaction time, whereas a 1.0% increase in soil OM content resulted in an approximately 0.1% decrease in degradation efficiency. Under conditions with high OM degradation efficiency, PS recovery rates decreased in soils with relatively low OM content. Overall, the optimal OM digestion conditions should be adjusted according to soil OM content. Applying high temperature and prolonged reaction time to soils with relatively low OM content may reduce MP recovery, leading to inaccurate findings. Therefore, the most effective OM removal conditions for MP analysis is the use of Fenton's reagent at 40°C or 2 hours for low OM soils, and 60°C for 4 hours for soils with higher OM content.

Correspondence: ok5382@cnu.ac.kr (042-821-6735)

PB-074

중량식 라이시미터를 활용한 참동진 벼 재배시 물수지 및 물이용효율 산정

Stuady on the Estimation of Water Balance and Water Use Efficiency During Chamdongjin Rice Cultivation Using Undisturbed Weighable Lysimeters

옥정훈*, 김동현, 이단비, 손정우
Jung-hun Ok*, Dong-hyun Kim, Dan-bi Lee, and Jeong-woo Son
국립농업과학원 토양물환경과
National Institute of Agricultural Sciences

본 연구에서는 논토양으로 조성한 중량식 라이시미터에서 참동진 벼 재배시 토성별 물수지 및 물이용효율을 산정하고 비교·분석하였다. 라이시미터(UGT, Germany)는 토양수분이동실험동(위도 35°49′29″, 경도 127°02′46″)에 설치되어 있으며, 토성은 미사질식양토(식질)와 사양토(사양질)인 비교란 토양으로 표면적은 1 m^2, 깊이는 1.5 m로 조성하였다. 물수지 분석을 위한 조사항목 중 증발산량, 관개량, 강수량 등은 로드셀을 활용한 무게 변화로, 지하유출량은 티핑카운터 센서로, 유거수량은 80 L 통에 직접 받아서 무게로 측정하였다. 기상데이터는 라이시미터 인근에 설치된 기상대(AWS)로 시간별 일사량, 기온, 강수량 등을 수집하였다. 참동진 벼는 6월초에 이앙하여 10월중순에 수확하였으며, 3년간(2023년~2025년) 시험을 수행하였다. 물관리는 수위가 10 cm를 유지하도록 연속관개를 실시하였다. 물이용효율은 토성별로 증발산량 또는 증발산량+지하유출량을 반영하여 산정하고 비교하였다.

참동진 벼 재배시 토성별로 물수지를 분석한 결과, 사양토에서 상대적으로 지하유출량이 많이 발생하여 관개량, 유효강우량이 높게 나타났으며, 유거수량은 강우발생시 높은 물수위를 유지하던 미사질식양토에서 높은 경향을 보였다. 총 물수지에서 모두 음의 물수지로 산정되었으며, 높은 유거수량과 지하유출량에 기인한 것으로 판단된다. 토성별로 물이용효율을 산정한 결과, 증발산량 대비 미사질식양토는 0.77로, 사양토는 0.80으로 나타나 토성에 따른 뚜렷한 차이는 없었으나, 증발산량+지하유출량 대비 미사질식양토는 0.63으로, 사양토는 0.49로 나타나 미사질식양토에서 높은 물이용효율을 보였다.

주제어: 중량식 라이시미터, 참동진 벼, 물수지, 물이용효율, 토성
주연구자 연락처: : okjh@korea.kr (063-238-2433)

PB-075

경기도 대표필지 지목별 토양화학적 특성 평가(2021~2025)

Evaluation of Soil Chemical Properties in Representative Agricultural Fields of Gyeonggi Province (2021-2025)

안희정*, 장재은, 서재순, 정재원, 소호섭, 박중수
Hee-Jung An*, Jae-Eun Jang, Jae-Soon Seo, Jaewon Jeong, Hoseup Soh, and Jung-Soo Park
경기도농업기술원
Gyeonggi-do Agricultural Research and Extension Services

전국 단위의 토양검정 사업은 농경지의 토양 환경 보전과 지속 가능한 농업 생산을 위해 전국 지역 및 지목별 대표성을 갖춘 15만 개의 필지를 선정하고 매년 5만여점에 대해 토양검정을 실시하고 있다. 경기도는 도내 24개 시·군을 대상으로 3년 1주기의 토양검정을 실시하여 토양환경 데이터베이스를 구축하고 있으며, 이를 토양관리와 농업정책 수립의 기초자료로 활용하고 있다. 본 연구에서는 2021년부터 2025년까지 경기도 대표필지 토양검정 자료를 이용하여 지목별 토양화학성 특성을 평가하였다.

2021년부터 2025년까지 총 27,477점(논 14,452점, 밭 10,019점, 시설재배지 1,345점, 과수원 1,661점)의 토양을 분석한 결과, 지목별 평균 토양 pH는 6.4~6.7 범위로 대부분 적정수준을 유지하였다. 논토양은 전반적으로 적정 비옥도를 유지하였으나 교환성 K는 다소 높고 Mg은 다소 낮은 수준을 보였다. 밭토양의 유효인산 함량은 적정범위 내에 있었으나 교환성 Ca 함량은 적정범위를 초과하였다. 반면 시설재배지와 과수원에서는 유효인산과 교환성 K, Ca 및 Mg의 함량이 적정범위를 상회하여 양분 집적이 뚜렷하게 나타났으며, 특히 시설재배지의 EC는 4.1 dS m^{-1}로 높은 수준을 보였다.

이상의 결과는 경기지역 농경지의 토양화학성은 지목별로 뚜렷한 차이를 보이며, 특히 시설재배지와 과수원에서 인산 및 염기성 양이온의 과잉 축적이 지속되고 있음을 확인하였다. 따라서 대표필지 토양검정 자료를 활용한 지속적인 토양 양분 모니터링과 지목별 특성을 고려한 정밀 시비 및 맞춤형 토양관리 기술의 적용이 필요할 것으로 판단된다.

사사: 본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: RS-2021-RD009857)의 지원으로 수행되었습니다.

주제어: 경기도, 토양화학성, 토양검정, 대표필지
주연구자 연락처: heejung0212@gg.go.kr (031-8008-9344)

PB-076

폐담배 필터 유래 셀룰로오스 기반 비료를 이용한 논토양 메탄 배출 저감

A Cellulose-Based Fertilizer Derived from Waste Cigarette Filters Reduces Methane Emissions from Paddy Soil

이찬영[1], 임종훈[2], 이정구[1,2,3]*
Chan-young LEE[1], Jong-Hoon LIM[2], and Jeong-Gu LEE[1,2,3]*
[1]경북대학교 농업생명과학대학 응용생명과학과, [2]경북대학교 농업생명과학대학 응용생명과학부,
[3]경북대학교 기초융합과학연구소
[1]Department of Applied Biosciences, Kyungpook National University, Daegu, Republic of Korea
[2] School of Applied Life Science, College of Agriculture and Life Sciences, Kyungpook National University, Daegu, Republic of Korea
[3]Institute of Basic Science Convergence, Kyungpook National University, Daegu, Republic

Waste tobacco products pose significant environmental management challenges, yet contain valuable plant nutrients such as potassium (K) and iron (Fe). This study investigates the feasibility of transforming processed tobacco waste into an eco-friendly soil fertilizer and amendment. Elemental compositions and heavy metals (As, Cd, Pb, Ti, Na, K, Fe, Al, Mn, Cu, Zn) of control and treated tobacco waste samples (FT, NFT) were quantified using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). Surface morphology and cross-sections of control and final processed products before and after incubation were analyzed using Field Emission Scanning Electron Microscopy (FE-SEM at 60× and 250× magnifications). Sequential washing steps and an 11-day leaching test were conducted to monitor elemental elution behavior, while seed germination and radicle elongation ($\geq$1 cm threshold) were evaluated across four liquid media: standard Murashige & Skoog (MS) control, tobacco wash solution, post-wash solution, and final product extract. ICP-OES analysis revealed significant iron enrichment in FT samples (up to 21,187 mg/kg) and elevated potassium concentrations (up to 228.7 mg/kg) relative to control samples (Fe: ~6.4 mg/kg, K: ~65.2 mg/kg). Hazardous heavy metals (As, Cd, Pb, Ti) were below the detection limit (N/D) across all treatments, satisfying environmental safety criteria for agricultural application. Sequential washing efficiently removed minor trace elements (Al: 0.99 mg/L, Mn: 0.94 mg/L, Zn: 0.12 mg/L) in the initial rinse phase, after which concentrations dropped below detection limits. The 11-day elution assay confirmed a sustained, controlled-release behavior for iron, where cumulative Fe concentration steadily increased from 7.07 mg/L (Day 1) to 10.71 mg/L (Day 3), 13.11 mg/L (Day 5), and 14.46 mg/L (Day 11). FE-SEM micrographs corroborated these elution kinetics, revealing progressive porous structural erosion following incubation. Furthermore, seed bioassays demonstrated high phytocompatibility; post-wash solution and final product extract achieved a 56% radicle emergence rate-matching or exceeding that of the standard MS control (43%)-and strong root elongation (56-65% reaching $\geq$1 cm), confirming the mitigation of phytotoxicity and active support for early crop development. Overall, processed tobacco waste functions as a safe, iron-rich, controlled-release micronutrient fertilizer, presenting a sustainable circular model for converting organic waste into value-added agricultural soil amendments.

Correspondence: jeonggu@knu.ac.kr (053-950-8532)

PB-077

철인산염 개질 우분 바이오차를 이용한 수용액에서 비소, 카드뮴, 납 제거 및 토양 내 금속 안정화 평가

Evaluation of Iron Phosphate-Modified Cattle Manure Biochars for the Removal of Arsenic, Cadmium and Lead in Solution and Their Stabilization in Soil

이진서, 김한나, 김정연, 신수경, 이승준, 이예은, 오종건, 박진희*
Jin Seo Lee, Han Na Kim, Jeong Yeon Kim, Su Kyeong Shin, Seung Jun Lee, Ye Eun Lee, Jong Geon Oh, and Jin Hee Park*
충북대학교 환경생명화학과
Department of Environmental and Biological Chemistry, Chungbuk National University

비소(As), 카드뮴(Cd) 및 납(Pb)은 화학적인 반응 특성이 달라 토양에서 동시에 안정화하기 어렵다. 이에 본 연구에서는 As와 Fe, Pb·Cd와 인산염 간의 반응성을 이용해 As와 같은 준금속과 Pb, Cd와 같은 중금속을 동시에 안정화시키기 위해 철인산염을 우분에 혼합하여 바이오차를 제조하거나 바이오차 제조 후 표면 코팅하고, 제조 온도에 따른 수용액 내 금속 제거효율 및 토양 내 금속의 안정화 효과를 평가하였다. 우분 바이오차(WM), 철인산염 혼합 바이오차(WM-M) 및 철인산염 코팅 바이오차(WM-IP)는 각각 350°C와 700°C에서 제조하였다. 제조한 바이오차를 As(III), As(V), Cd 및 Pb 단독용액, As와 중금속 혼합 용액에 처리하여 제거율을 평가하였으며, 흡착 효과가 우수한 700°C 바이오차를 중금속 오염 토양에 1% 처리하여 2주간 배양한 후 토양 pH, 전기전도도(EC) 및 생체이용가능 금속 농도를 분석하였다. 제조 온도가 증가함에 따라 pH와 EC가 증가하였으며, 철인산염 처리에 의해 pH는 WM, WM-M, WM-IP 순으로 감소하였다. As(III)와 As(V)의 제거율은 제조 온도가 높을 때 증가하였으며, 700°C에서 제조한 WM-IP는 동일 온도의 WM보다 As(III)와 As(V) 제거율이 각각 약 67%와 129% 높았다. 이는 고온 열분해에 따른 기공 구조 발달과 표면에 코팅된 철 활성 부위의 증가로 비소 흡착이 촉진되었기 때문으로 판단된다. Cd와 Pb의 제거율은 WM과 WM-IP 간 차이가 크지 않았으나 WM-M에서는 상대적으로 낮았다. 혼합 용액에서는 WM과 WM-M의 As 및 Pb 제거율이 단독 용액보다 증가하였으며, 이는 Pb가 인산염과 우선 반응하면서 흡착 부위에서의 경쟁이 완화되고, 철 활성 부위와 비소의 반응이 촉진되었기 때문으로 판단된다. 토양 배양 결과, 700°C에서 제조한 WM-IP는 토양 pH와 생체이용가능한 Cd 농도를 감소시켰으나 As와 Pb에는 대조구와 유의한 차이를 보이지 않았다. 반면 WM과 WM-M은 높은 pH와 용존유기탄소 용출로 생체이용가능한 As와 Cd 농도를 증가시켰다. 따라서 철인산염 코팅 바이오차는 수용액 내 비소 제거와 토양 내 Cd 안정화에 효과적이지만 토양에 처리시 용존유기탄소로 인한 금속의 용출에 유의해야 한다.

사사: 본 연구는 농촌진흥청의 농업기초기반전문기술인재양성사업(세부과제번호: RS-2025-02309559)의 지원에 의해 이루어진 것임.

주제어: 바이오차, 철인산염, 비소, 카드뮴, 납, 토양 안정화
주연구자 연락처: pjinh@chungbuk.ac.kr (043-261-2564)

PB-078

Decoupling Arsenic Tolerance from Arsenic Accumulation: Sulfur-Enhanced Thiol Metabolism and Antioxidant Capacity in Arsenic-Stressed Rice Seedlings

Ha-il Jung*, Myung-Sook Kim, Eun-Jin Lee, Tae-Gu Lee, and Chaw Su Lwin
Soil and Water Environment Division, National Institute of Agricultural Sciences,
Rural Development Administration, Wanju 55365, Republic of Korea

Arsenic (As) contamination poses a serious threat to rice production and food safety. Although sulfur (S) nutrition is known to alleviate As toxicity through thiol-based detoxification, the mechanisms underlying the relationship between S-induced As accumulation and tolerance remain poorly understood. This study investigated the effects of contrasting S levels (0, 1, and 4 mM) on As uptake, translocation, oxidative stress responses, thiol metabolite pools, and mineral nutrient profiles in hydroponically grown rice seedlings exposed to 15 μM As for 15 days. S supplementation alleviated As-induced growth inhibition in a dose-dependent manner despite significantly increasing As accumulation in both roots and shoots, demonstrating that S-mediated tolerance operates independently of As uptake reduction. Elevated S supply reduced oxidative stress markers and promoted thiol-based detoxification through coordinated induction of γ -glutamylcysteine, glutathione, and phytochelatins, particularly in roots, where As retention was greatest. S supplementation also improved the uptake of major nutrients including nitrogen and potassium in shoots, while selectively modulating micronutrient distributions under As stress. Reductions in Zn and Mn in shoots under S supplementation were offset by enhanced non-enzymatic antioxidant capacity through the expanded thiol pool, sustaining oxidative stress mitigation despite micronutrient depletion. Correlation network and principal component analyses further revealed that S supplementation coordinated biomass recovery, thiol-mediated As chelation, and oxidative stress mitigation as an integrated tolerance response. These results suggest that S enhances As tolerance in rice seedlings through thiol-dependent detoxification and redox buffering, thereby decoupling As tolerance from As accumulation rather than acting through restricted As uptake.

Correspondence: hj255@korea.kr (063-238-2442)

PB-079

모재 및 지형에 따른 우리나라 농경지 토양 화학적 특성의 변이

Variation in Soil Chemical Properties by Parent Material and Topography in Korean Agricultural Soils

이단비, 김명숙, 정하일, 옥정훈, 이은진*
Danbi Lee, MyeongSook Kim, HaIl Jung, JungHun Ok, and EunJin Lee*
농촌진흥청 국립농업과학원 토양물환경과
Division of soil and Water Environment, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration

토양생성인자 중 모재(parent material)와 지형(topography)은 토양의 화학성을 결정할 수 있는 인자로, 두 요인은 지리적으로 강하게 교락(confounding)되어 각각의 독립적 기여도를 분리해 평가하기 어렵다. 본 연구는 전국 규모의 토양조사 자료를 이용하여 우리나라 농경지 토양 화학성에 대한 모재와 지형의 영향을 정량적으로 구명하고자 하였다. 전체 27,364점의 조사자료 중 화산회토 1,056점(Andisols 1,023점 포함)을 제외하고 표토 19,751점을 대상으로 하였으며, 모재·지형 정보가 결측이거나 '기타'로 분류된 경우, 관측치 30점 미만인 소분류, 염기성암(현무암)과 용암류평탄지를 추가로 제외하여 최종 16,400점을 확보하였다. 4개 모재 및 8개 지형 분류 간 화학성 차이를 일원분산분석(Tukey HSD, α=0.05)으로 비교하였고, 병행한 Kruskal-Wallis 검정도 모든 항목에서 동일한 결과를 보였다. 교락된 두 요인의 독립적 기여도는 이원분산분석(Type II)과 다중회귀분석으로 분리하였다. pH, 유기물, 유효인산, 교환성 양이온, CEC 등 모든 화학성은 모재와 지형 두 요인 모두에서 유의하게 차이가 났다($p<0.001$). 퇴적암 토양은 pH(6.4)와 CEC(13.7 cmolc kg^{-1})가 가장 높았던 반면, 제4기 퇴적층은 pH(6.1)·유효인산(337 mg kg^{-1})·CEC(11.8)가 가장 낮았다. 지형별로는 해성평탄지가 EC(1.1 dS m^{-1})와 교환성 Na(0.7 cmolc kg^{-1})가 가장 높고 유효인산(130 mg kg^{-1})은 가장 낮았으며, 산악지와 산록경사지는 CEC(각각 14.5, 14.1)가 가장 높았다. 한 요인을 통제했을 때 pH를 제외한 모든 항목에서 지형의 기여도가 모재보다 컸으며, pH만 모재의 영향이 더 컸다. 특히 교환성 Na에 대한 모재의 효과는 지형을 통제하면 유의하지 않았다($p=0.173$). 이는 강우·배수·물질 이동이 지형에 의한 영향을 상대적으로 많이 받으므로 토양 화학성의 공간적 변이에 영향을 주는 것으로 판단된다. 반면 pH는 모재의 영향이 상대적으로 커, 모암의 광물조성과 풍화특성이 토양 반응을 결정하는 근본 인자로 남아 있음을 시사한다. 따라서 토양관리와 시비처방 체계에서 모재와 함께 지형적 위치를 핵심인자로 반영할 필요가 있다. 특히 해성평탄지처럼 염류·나트륨 집적 위험이 높고 유효인산이 낮은 지형은 별도의 관리 단위로 구분하여 처방하는 것이 합리적이다. 본 연구의 정량적 기여도 분석은 향후 지형 기반의 정밀 토양관리 및 시비 기준 세분화를 위한 근거로 활용될 수 있다.

주연구자 연락처: eunjjin0219@korea.kr (063-238-2438)

PB-080

굴패각의 인산염 흡착특성에 입자크기가 미치는 영향

Effect of Particle Size on Phosphate Adsorption Characteristics by Oyster Shells

문성빈[1], 이정민[2], 이예지[2], 박정원[2], 박종환[2]*
Seong-Bhin Moon[1], Jeong-Min Lee[2], Ye-Ji Lee[2], Jung-Won Park[2], and Jong-Hwan Park[2]*
[1]동아대학교 스마트그린자원학과, [2]동아대학교 응용생명과학과
[1]Department of Smart Green Resources, Dong-A University, Buasn, 49315, Republic of Korea
[2]Department of Applied Bioscience, Dong-A University, Buasn, 49315, Republic of Korea

국내 굴 식품에 대한 수요가 증가함에 따라 남해안 일대에 굴 양식 및 생산량은 증가하는 추세이며, 그에 따라 굴패각의 배출량 또한 매년 증가하고 있다. 특히 굴패각 (Oyster Shell; OS)은 탄산칼슘에 기반한 천연 인산염 제거제로 널리 알려져 있으나, 입자크기에 따른 인산염 흡착특성에 대한 정보는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 OS의 입자크기 (0.075 mm에서 2 mm 이상)에 따른 인산염 흡착량, Ca 용출량 및 pH 변화를 비교하여 수중에 인산염을 효율적으로 처리하기 위한 최적의 입자크기를 선정하고자 하였다. OS에 의한 인산염의 흡착량은 입자크기가 감소함에 따라 증가하는 경향이었는데, 이는 입자크기 감소에 따라 OS와 용액 간 접촉면적이 증가하여 인산염과 반응할 수 있는 표면의 접근성이 증가했기 때문으로 판단된다. 하지만, 입자크기가 0.075 mm에서 0.25 mm인 OS에 의한 인산염 흡착량은 유의적인 차이를 나타내지 않았다. OS의 입자크기 감소에 따라 Ca 용출량과 pH가 증가하는 경향을 보였으며, 이는 입자크기 감소에 따른 OS와 용액 간 접촉면적 증가로 $CaCO_3$의 용출이 촉진되었기 때문으로 판단된다. 특히, OS의 입자크기에 따른 Ca 용출량 및 pH의 변화는 인산염 흡착량과 유사한 경향을 나타냈는데, 이는 OS로부터 용출된 Ca가 pH 증가와 인산염 흡착에 기여한다는 것을 알 수 있었다. 인산염 흡착 전과 후 OS의 FT-IR 및 SEM-EDS 결과 또한 OS에 의한 인산염의 흡착이 Ca에 의해 지배적인 영향을 받는다는 것을 증명하였다. 결론적으로, OS를 인산염 제거하기 위한 흡착/침전제로 활용하기에 최적의 입자크기는 0.18-0.25 mm인 것으로 판단된다.

주제어: 굴패각, 입자크기, 인산염, 흡착제
주연구자 연락처: zoqlsqkr@dau.ac.kr (010-4608-1804)

PB-081

다양한 수분조절제의 NH_4-N의 흡수특성

Evaluation of NH4-N Absorption Capacity of Various Bulking Agents

최현정[1], 이정민[2], 이예지[2], 박정원[2], 박종환[2]*
Hyun Jung Choi[1], Jeong-Min Lee[2], Ye-Ji Lee[2], Jung-Won Park[2], and Jong-Hwan Park[2]*
[1]동아대학교 스마트그린자원학과, [2]동아대학교 응용생명과학과
[1]Department of Smart Green Resorces, Dong-A University, Buasn, 49315, Republic of Korea
[2]Department of Applied Bioscience, Dong-A University, Buasn, 49315, Republic of Korea

최근 국내 육류 소비량의 증가로 인하여 가축사육 두수가 매년 증가하고 있는 추세이며, 그에 따라 가축분뇨 배출량 또한 증가하고 있다. 가축분뇨는 일반적으로 퇴비화 과정을 통하여 자원화되는데, 이 과정에서 발생하는 NH_4-N는 악취 발생뿐만 아니라 질소 손실을 유발하여 환경오염과 퇴비 품질 저하의 주요 원인으로 작용한다. 이에 가축분뇨 퇴비화를 위한 수분조절제 선정에 있어 NH_4-N 흡착/흡수량은 중요한 지표가 된다. 따라서, 본 연구는 커피박, 맥주박 및 제올라이트의 수분조절제로의 특성과 NH_4-N 흡착특성을 평가하고, 그와 관련된 메커니즘을 구명하고자 하였다. 커피박, 제올라이트 및 맥주박의 함수율은 각각 4.16, 1.03 및 0.99%으로 커피박이 가장 높았는데, 이에 커피박은 가축분뇨의 수분을 효율적으로 제거하기에는 제한적일 것으로 판단된다. 제올라이트, 커피박 및 맥주박의 밀도는 각각 0.84, 0.52 및 0.17 g/cm^{3}이었다. 또한 다양한 수분조절제에 의한 NH_4-N 흡착능은 제올라이트 (1.95 mg/g) > 커피박 (0.52 mg/g) > 맥주박 (0.01 mg/g) 순으로 제올라이트가 가장 높았다. FTIR 분석 결과에서도 NH_4-N 흡착 전·후 스펙트럼에서 hydroxyl(-OH), carbonyl(C=O), carboxyl(-COOH) 및 C-O 작용기 영역의 피크 변화가 확인되었으며, 이는 NH_4-N이 수분조절제들의 표면 산소 함유 작용기와 상호작용하여 흡착되었음을 의미한다. 특히 커피박에서는 표면 작용기에 의한 화학적 흡착이, 제올라이트에서는 양이온 교환에 의한 물리·화학적 흡착이 주요 메커니즘으로 작용한 것으로 판단된다. 이상의 결과를 종합적으로 검토할 때, 가축분 퇴비화를 위한 최적 수분조절제는 제올라이트일 것으로 판단된다. 이는 제올라이트가 가축분내 존재하는 NH_4-N의 손실을 저감함과 동시에 퇴비화 과정에서 적정 공극률을 확보할 수 있는 소재이기 때문이다. 하지만, 제올라이트 단독으로 수분조절제를 사용할 경우 경제성이 떨어지므로 비교적 저렴한 수분조절제와 혼합이 필요할 것으로 판단되며, 이에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

주제어: 가축분뇨, 수분조절제, NH_4-N 흡착
주연구자 연락처: zoqlsqkr@dau.ac.kr (010-4608-1804)

PB-082

깔짚 종류와 열분해 온도가 우분 바이오차의 이화학적 특성에 미치는 영향

Effects of Bedding Material Type and Pyrolysis Temperature on the Physicochemical Properties of Cow Manure Biochar

이정민[1], 이예지[1], 박정원[1], 서동철[2], 박종환[1]*
Jeong-Min Lee[1], Ye-Ji Lee[1], Jung-Won Park[1], Dong-Cheol Seo[2], and Jong-Hwan Park[1]*
[1]동아대학교 응용생명과학과, [2]경상국립대학교 응용생명과학부
[1]Department of Applied Bioscience, Dong-A University, Buasn, 49315, Republic of Korea
[2]Division of Applied Life Science(BK21 Four), Gyeongsang National University, Jinju, 52828, Republic of Korea

최근 가축분을 안정적으로 처리하고 농업적으로 활용하기 위한 방안으로, 열분해를 통해 안정된 탄소 구조를 갖는 바이오차로 전환하는 자원화 방법이 제시되고 있다. 본 연구에서는 소 사육농가에서 톱밥(Sawdust; SD), 왕겨(Rice Husk; RH) 및 바이오차(Biochar; BC)가 각각 깔짚으로 사용된 후 배출된 우분(Cow Manure; CM)을 회수하여 350, 500 및 650°C에서 우분 바이오차(CM-B; SD+CM-B, RH+CM-B 및 BC+CM-B)를 제조하고, 이들의 이화학적 특성을 비교·평가하였다. 모든 CM-B의 pH와 EC는 열분해 온도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 이는 열분해 과정에서 유기산을 비롯한 휘발성 성분이 감소하고 K, Ca 및 Mg 등의 무기성분이 상대적으로 농축된 결과로 판단된다. 탄소 함량 또한 열분해 온도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 열분해 온도별 특성을 비교한 결과, 350°C에서는 탄소가 안정화되는 동시에 질소를 비롯한 양분의 보유 특성이 상대적으로 높게 유지되는 경향을 보였다. 인은 질소와 달리 열분해 과정에서 대부분 고형물에 잔류함에 따라 열분해 온도가 증가할수록 상대적인 함량이 증가하는 경향을 나타내었다. 특히 BC+CM-B는 동일한 열분해 온도에서 SD+CM-B 및 RH+CM-B에 비해 높은 탄소 함량과 낮은 유기탄소 용출 특성을 나타내었다. 이는 상대적으로 안정한 탄소 구조를 갖는 BC가 깔짚으로 포함되어 최종적으로 생산된 CM-B의 탄소 조성 및 용출 특성에 영향을 미친 것으로 판단된다. 이러한 결과를 종합하면, CM-B의 이화학적 특성, 탄소 안정성 및 양분 함량은 열분해 온도와 깔짚 종류에 따라 뚜렷한 차이를 나타낸 것으로 판단된다. 특히 BC+CM-B는 SD+CM-B 및 RH+CM-B에 비해 높은 탄소 함량과 낮은 유기탄소 용출량을 보였으며, 질소 및 인의 보유 측면에서도 상대적으로 우수한 특성을 나타내었다. 따라서 BC의 깔짚 활용은 탄소 안정성과 양분 보유 특성이 향상된 CM-B 생산에 효과적일 것으로 판단되며, 탄소 안정성과 양분 보유 특성을 종합적으로 고려하였을 때 적정 열분해 조건은 350°C로 판단된다.

주제어: 우분, 바이오차, 깔짚, 열분해 온도, 탄소 안정성
주연구자 연락처: zoqlsqkr@dau.ac.kr (010-4608-1804)

PB-083

톱밥 및 바이오차 처리가 우분의 악취 및 특성 변화에 미치는 영향

Effect of Sawdust and Biochar Treatment on The Odor and Property of Cow Manure

이예지[1], 이정민[1], 박정원[1], 서동철[2], 박종환[1]*
Ye-Ji Lee[1], Jeong-Min Lee[1], Jung-Won Park[1], Dong-Cheol Seo[2], and Jong-Hwan Park[1]*
[1]동아대학교 응용생명과학과, [2]경상국립대학교 응용생명과학부
[1]Department of Applied Bioscience, Dong-A University, Buasn, 49315, Republic of Korea
[2]Division of Applied Life Science(BK21 Four), Gyeongsang National University, Jinju, 52828, Republic of Korea

국내 가축 사육 규모의 지속적인 확대에 따라 일일 우분뇨 발생량은 2017년 39,393톤에서 2024년 43,890톤으로 증가하였다. 사육두수 증가는 제한적 사육공간에서 우분 발생량을 가중시키고, 이는 시설내에 악취를 심화시키는 주요 요인으로 작용하며, 다양한 환경적·사회적 문제를 초래하고 있다. 따라서 축사 내 악취 발생을 효과적으로 저감하고 가축분뇨를 안정적으로 관리하기 위한 기술적 대안이 요구되고 있다. 이에 본 연구는 우사에서 깔짚으로 사용되는 톱밥(대조구)을 대체할 수 있는 소재로서 바이오차의 적용 가능성을 검토하기 위해, 톱밥 및 바이오차 처리에 따른 우분의 악취 및 이화학적 특성을 조사하였다. 깔짚의 사용 기간이 경과함에 따라 톱밥 처리 우분의 pH는 8.53에서 8.67로 증가하였으며, EC는 6.19 dS/m에서 14.13 dS/m로 크게 증가하였다. 바이오차 처리 우분에서도 pH와 EC가 각각 6.18에서 7.88 및 1.68 dS/m에서 7.48 dS/m로 증가하였으나, 처리 기간 전반에 걸쳐 톱밥 처리구 보다 EC가 상대적으로 낮게 나타났다. 이러한 결과는 바이오차의 다공성 구조와 높은 비표면적, 표면 전하 특성에 따른 우분 내 수용성 이온과 암모늄태 질소가 흡착되어 나타나는 결과로 판단된다. 따라서 바이오차 처리된 우분을 추후 퇴비로 활용하였을 시 토양내에 염류집적 및 염류장해 가능성을 낮추는 데 기여할 수 있는 것으로 판단된다. 또한 바이오차 처리 우분에서는 톱밥 처리 우분보다 질소(N) 및 황(S)과 관련된 악취물질의 발생이 감소하는 경향을 나타내었는데, 이는 바이오차의 구조적 및 표면적 특성에 따른 암모니아 및 황화수소의 물리적 흡착과 함께 표면 작용기 및 무기성분에 의한 화학적 흡착이 복합적으로 작용한 결과로 판단된다. 결과적으로 바이오차는 축사에서 발생하는 악취 저감과 후처리 공정인 퇴비 생산적인 측면에서 우수한 깔짚 소재로 판단된다.

주제어: 가축분뇨, 악취, 톱밥, 바이오차
주연구자 연락처: zoqlsqkr@dau.ac.kr (010-4608-1804)

PB-084

지질 추출된 조류 바이오매스 기반 바이오차에 의한 납 흡착 특성

Adsorption Characteristic of Lead by Biochar Derived from Lipid-Extracted Algae

박정원[1], 이예지[1], 이정민[1], 서동철[2], 박종환[1]*
Jung-Won Park[1], Ye-Ji Lee[1], Jeong-Min Lee[1], Dong-Cheol Seo[2], and Jong-Hwan Park[1]*
[1]동아대학교 응용생명과학과, [2]경상국립대학교 응용생명과학부
[1]Department of Applied Bioscience, Dong-A University, Buasn, 49315, Republic of Korea
[2]Division of Applied Life Science(BK21 Four), Gyeongsang National University, Jinju, 52828, Republic of Korea

본 연구는 3세대 바이오매스인 조류 부산물의 자원화를 위한 기초연구로서 바이오정제산업으로부터 배출되는 지질을 추출한 조류 부산물을 이용하여 열분해 온도에 따라 바이오차를 제조하고(Biochar derived from lipid-extracted algae residue; L-AB), 그것의 화학적 특성 및 납의 흡착 특성을 평가하였다. 본 연구에 조류는 *Spirulina*이며, 제조된 바이오차는 열분해 온도를 350(L-AB350), 500(L-AB500), 650°C (L-AB650)으로 설정하였다. L-AB 내의 탄소 함량은 열분해 온도가 증가함에 따라 감소하는 경향이었으며, L-AB 내의 질소 함량은 9-11%로 일반적인 목질계 바이오매스에 비해 매우 높은 함량을 나타내는데, 이는 L-AB가 단백질 및 질소를 함유한 화합물을 포함하고 있기 때문이다. FTIR 및 XPS를 통해 L-AB의 표면 관능기를 조사한 결과, 일반적인 바이오차의 탄소 관능기 (C=C, COOH, C=O 등)와 함께 1600 cm^{-1}의 파장에서 질소와 관련한 작용기가 관찰되었으며, 398 및 400 eV의 결합에너지에서 각각 pyridine-N과 pyrrole-N과 같은 질소계열 화합물이 나타났다. 특히 이들 관능기는 열분해 온도에 의존적으로 명확하게 관찰되었다. L-AB에 의한 납의 흡착특성은 열분해 온도가 증가함에 따라 증가하였고, 이들의 흡착패턴은 Langmuir 등온흡착 및 Pseudo second order 동적 모델에 더 적합하였다. 납 흡착 후 L-AB의 표면 관능기는 흡착 전에 비해 약해지거나 이동하였는데, 이는 납이 L-AB에 존재하는 탄소 및 질소 관능기에 영향을 받았다는 것을 나타내며, SEM-EDS mapping 결과 또한 이들의 흡착 관계를 증명하였다. 완충용액 적용시 L-AB에 의한 납의 흡착량은 완충용액이 없을 때에 비해 현저히 감소하였는데, 이는 L-AB에 의한 납의 흡착에 침전효과가 기여한다는 것을 의미한다. 결론적으로, 바이오정제산업으로부터 배출되는 지질을 추출한 조류 부산물을 이용한 바이오차는 토양 및 수중의 중금속을 제거 및 고정할 수 있는 소재로 활용 가능할 것으로 판단된다.

주제어: 조류 부산물, 바이오차, 질소 관능기, 중금속, 납 흡착
주연구자 연락처: zoqlsqkr@dau.ac.kr (010-4608-1804)

PB-085

국내 도 단위 양분수지(순질소수지, 인수지)의 변동 모니터링(2017-2023)

Monitoring of Variations in Nutrient Balances (Net Nitrogen Balance, Phosphorus Balance) at the Provincial Level in South Korea (2017-2023)

의재성[1], 신효진[2], 서예본[2], 강동휘[2], 윤영만[1,2,3,4]*
Jea-Sung Lee[1], Hyo-Jin Shin[2], Yea-Bon Seo[2], Dong-Hwi Kang[2], and Young-man Yoon[1,2,3,4]*
[1]한경국립대학교 탄소중립바이오시스템융합학과, [2]한경국립대학교 식물생명환경전공,
[3]한경국립대학교 바이오가스연구센터, [4]한경국립대학교 농업탄소중립사업단
[1]Department of Carbon-Neutral Bio-System Convergence, Hankyong National University
[2]Department of Plant Life & Environmental Science, Hankyong National University
[3]Biogas Research Center, Hankyong National University
[4]Agricultural Carbon Neutral Project Team, Hankyong National University

농경지에 투입되는 질소와 인은 작물생산을 위한 필수적인 양분이지만, 작물의 양분 요구량을 초과하여 투입되는 경우 토양에 축적되거나 강우 시 지표유출 및 침투를 통해 수계로 이동하여 비점오염원으로 작용할 수 있다. 이에 따라 지역단위 양분관리제도의 효과적인 도입을 위해서는 특정 연도의 양분수지 현황뿐만 아니라 동일한 산정체계에 따른 장기간의 양분수지 변화를 분석하고, 이러한 변화에 영향을 미치는 주요 양분원을 파악할 필요가 있다. 기존 국내 연구에서는 개별 연구자와 산정방법에 따라 특정 연도의 양분수지를 분석하는 경우가 많아 연도 간 직접적인 비교에 한계가 있었으며, 기존 연구에서도 동일 방법론을 이용한 연도별 양분수지와 영향인자의 관계성 분석 필요성이 제시된 바 있다. 본 연구에서는 2017년부터 2023년까지 국내 도단위 농경지를 대상으로 순질소수지(Net Nitrogen Balance, NNB)와 인수지(Phosphorus Balance, PB)의 변화를 산정하고, 경지면적과 가축분뇨 퇴·액비 및 무기질비료에서 기인하는 양분 유입량 변화와의 관계를 분석하였다. 양분수지의 경계조건은 지역 내 농경지를 경계로 하는 토양수지를 적용하였다. 양분수지의 유입항목은 가축분뇨 퇴·액비, 무기질비료, 생물학적 질소고정, 종자 및 종묘, 대기강하물 등을 포함하였으며, 유출항목은 작물생산, 작물부산물, 대기 및 수계유출을 고려하였다. 질소는 암모니아 휘산 및 탈질 등에 의한 대기유출을 고려한 반면, 인은 대기유출이 발생하지 않는 것으로 적용하였다. NNB는 총 질소유입량에서 작물생산 및 대기유출량을 제외하여 산정하였으며, PB는 총 인유입량에서 작물생산에 의한 인 반출량을 제외하여 산정하였다. 분석 대상지역은 경기도, 강원도, 충청북도, 충청남도, 전라북도, 전라남도, 경상북도, 경상남도 및 제주도의 9개 도로 설정하였으며, 국가단위 양분수지는 각 도의 양분유입·유출량과 경지면적을 합산하여 산정하였다. 양분수지 산정을 위한 기초자료는 농림축산식품부의 농림축산식품통계연보와 환경부의 가축사육두수, 가축분뇨 처리량 통계자료를 이용하였다. 분석 결과, 국가단위 NNB는 2017년 127.59 kg-N/ha에서 2023년 182.68 kg-N/ha로 43.2% 증가하였으며, PB는 27.53 kg-P/ha에서 37.21 kg-P/ha로 35.2% 증가하였다. 같은 기간 농경지 면적은 1,555,753ha에서 1,512,145ha로 2.8% 감소하였다. 가축분뇨 퇴·액비 유래 질소 유입량은 128,029.85 ton-N/year에서 124,993.55 ton-N/year으로 2.4% 감소하였으며, 인 유입량은 36,187.60 ton-P/year에서 36,604.55 ton-P/year으로 1.2% 증가하여 전체적인 변화폭이 크지 않았다. 반면 무기질비료 유래 질소 유입량은 166,747 ton-N/year에서 220,098 ton-N/year으로 32.0% 증가하였고, 인 유입량은 24,944.54 ton-P/year에서 32,269.43 ton-P/year으로 29.4% 증가하였다. 도별로는 전라남도의 NNB가 2017년 98.83 kg-N/ha에서 2023년 161.19 kg-N/ha로 63.1% 증가하였으며, PB는 15.99 kg-P/ha에서 24.03 kg-P/ha로 50.3% 증가를 나타냈다. 전라북도 또한 NNB가 114.47 kg-N/ha에서 177.08 kg-N/ha로 54.7% 증가하였다. 전라남도의 경우 같은 기간 무기질비료 유래 질소 유입량이 34,450 ton-N/year에서 47,382 ton-N/year으로 37.5% 증가하였으며, 가축분뇨 퇴·액비 유래 질소 유입량도 14,924.70 ton-N/year에서 16,964.63 ton-N/year으로 13.7% 증가하였다. 이는 양분수지 변화가 단일 양분 유입 항목에 의해서만 결정되기보다는 경지면적 감소와 무기질비료 및 가축분뇨 퇴·액비 투입량 변화가 복합적으로 작용한 결과로 판단된다. 국가 단위에서는 가축분뇨 퇴·액비 유입량의 변화가 제한적이었던 반면 무기질비료 유래 질소와 인 유입량이 각각 32.0% 및 29.4% 증가하여, 7개년 동안 국내 NNB와 PB 증가에 무기질비료 사용량 증가가 주요 영향인자로 작용한 것으로 판단된다. 따라서 2017년부터 2023년까지 국내 농경지의 질소 및 인 양분잉여는 전반적으로 증가하는 경향을 나타냈으며, 이러한 변화는 경지면적 감소와 함께 무기질비료 및 가축분뇨 퇴·액비 투입량의 영향을 받은 것으로 판단된다.

사사: 본 결과물은 농촌진흥청의 재원으로 농촌진흥청의 농업환경모니터링및변동평가기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(RS-2026-25518288).
주제어: 양분수지, 순질소수지, 인수지, 무기질비료, 지역양분관리
주연구자 연락처: yyman@hknu.ac.kr (010-2618-0355)

PB-086

청미천 상류 유역(청미A)에서 HSPF 모형을 이용한 양분수지 저감이 수질에 미치는 영향 분석

Analysis of the Impact of Nutrient Balance Reduction Using the HSPF Model on Water Quality in the Upper Cheongmi Stream Catchment (Cheongmi A)

이재성[1], 신효진[2], 서예본[2], 강건우[2], 윤영만[1,2,3,4]*
Jea-Sung Lee[1], Hyo-Jin Shin[2], Yea-Bon Seo[2], Geon-Woo Kang[2], and Young-man Yoon[1,2,3,4]*
[1]한경국립대학교 탄소중립바이오시스템융합학과, [2]한경국립대학교 식물생명환경전공,
[3]한경국립대학교 바이오가스연구센터, [4]한경국립대학교 농업탄소중립사업단
[1]Department of Carbon-Neutral Bio-System Convergence, Hankyong National University
[2]Department of Plant Life & Environmental Science, Hankyong National University
[3]Biogas Research Center, Hankyong National University
[4]Agricultural Carbon Neutral Project Team, Hankyong National University

청미천은 남한강 상류에 위치하여 수도권의 주요 상수원인 팔당호로 유입되는 국가하천으로, 유역 내 축산농가와 농경지가 밀집되어 있어 가축분뇨 및 비료 사용에 따른 영양염류 관리가 요구된다. 농경지에는 가축분뇨 유래 퇴·액비, 유기질비료 및 화학비료가 복합적으로 투입되고 있으며, 농경지에 투입된 양분은 강우 시 지표유출과 침투를 통해 수계로 유입될 우려가 있다. 따라서 청미천 상류 유역의 양분수지를 평가하고, 양분투입량 저감에 따른 농경지 양분수지 변화와 수질 변화와의 연관성을 정량적으로 분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 청미천 유역과 관련된 안성시, 여주시, 이천시 및 용인시를 대상으로 화학비료 사용량 저감에 따른 질소 및 인 양분수지 변화를 산정하고, 해당 저감 조건을 HSPF 모형에 적용하여 청미천 상류의 BOD, T-N 및 T-P 변화를 분석하였다. 지역 양분수지는 농경지로 유입되는 가축분뇨, 무기질비료 및 유기질비료의 질소·인 양분량과 작물생산 및 환경 중으로 유출되는 양분량을 이용하여 산정하였다. 무기질비료 사용량은 현행 조건을 기준으로 각각 10%, 20% 및 30% 저감하였으며, 이에 따른 질소 총 양분수지(Gross Nitrogen Balance, GNB)와 인수지(Phosphorus Balance, PB)의 변화를 분석하였다. 또한 작물별 재배면적과 단위면적당 질소 및 인 무기질비료량을 산정하고, 작물별 시비시기와 시비횟수를 고려하여 연간 투입량을 월별로 배분한 후 HSPF 모형의 토지계 입력자료에 반영하였다. HSPF 모형은 토지이용도, 기상자료, 수문자료 및 현장 수질자료를 이용하여 구축하였으며, 청미천 유역(청미 A)의 유량과 BOD, T-N 및 T-P를 기준으로 보정 및 검증하였다. 기존 시나리오에서는 지목별 면적당 질소·인 무기질비료량에 10%, 20% 및 30%의 저감률을 적용하여 수질변화를 모의하였다. 양분수지 분석 결과, 기준 조건의 GNB는 용인시가 766.99 kg-N/ha로 가장 높았으며, 안성시 640.18 kg-N/ha, 이천시 407.82 kg-N/ha 및 여주시 356.74 kg-N/ha로 나타났다. 무기질비료 사용량을 30% 저감한 경우, GNB는 안성시 610.57 kg-N/ha, 여주시 324.97 kg-N/ha, 이천시 380.89 kg-N/ha 및 용인시 723.49 kg-N/ha로 감소하였으며, 현행 대비 양분수지 저감률은 각각 4.63%, 8.91%, 6.60% 및 5.67%로 나타났다. PB는 안성시 138.94 kg-P/ha, 여주시 68.73 kg-P/ha, 이천시 88.59 kg-P/ha 및 용인시 157.44 kg-P/ha로 감소하였으며, 기준 대비 각각 3.00%, 8.70%, 4.63% 및 4.15% 저감되었다. 지자체별 무기질비료 양분 유입량을 분석한 결과, 현행 질소 유입량은 안성시 1,503.27 ton-N/year, 여주시 1,612.26 ton-N/year, 이천시 1,483.72 ton-N/year 및 용인시 883.74 ton-N/year 이었으며, 인 유입량은 각각 214.02, 332.60, 236.49 및 160.64 ton-P/year이었다. 무기질비료를 30% 저감한 경우 질소 유입량은 각각 1,052.29, 1,128.58, 1,038.61 및 618.62 ton-N/year으로 감소하였고, 인 유입량은 각각 149.81, 232.82, 165.55 및 112.45 ton-P/year로 감소하였다. 무기질비료 저감에 따른 상대적인 양분수지 개선효과는 여주시에서 가장 높게 나타났으며, 이는 여주시의 전체 양분유입 구조에서 무기질비료가 차지하는 비중이 상대적으로 크기 때문으로 판단된다. 반면 용인시와 안성시는 기준 GNB와 PB가 높았으나 무기질비료 저감에 따른 상대적 감소율은 여주시보다 낮아, 양분 유입 항목에서 가축분뇨 및 유기질비료가 무기질비료보다 지역 양분수지에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되었다. HSPF 시나리오 분석 결과, 무기질비료 사용량을 10%, 20% 및 30% 저감에 따라 청미천 본류 말단의 BOD는 현행 대비 각각 0.0%, 0.3% 및 0.3%, T-N은 각각 0.3%, 0.7% 및 1.0%, T-P는 각각 4.1%, 7.7% 및 11.2% 개선되는 것으로 나타났다. 무기질비료 저감에 따른 BOD 개선효과는 최대 0.3%로 제한적이었으나, T-N과 T-P는 저감률 증가에 따라 단계적으로 개선되었다. 특히 T-P는 무기질비료 30% 저감 조건에서 11.2% 개선되어 T-N보다 높은 개선효과를 나타냈다. 따라서 무기질비료 사용량 저감은 청미천 관련 4개 지자체의 GNB와 PB를 단계적으로 감소시키고, 청미천 수계의 T-N 및 T-P 수질 개선에 기여하는 비구조적 관리방안임을 확인하였다.

사사: 본 연구는 농림축산식품부 및 농림식품기술기획평가원의 농식품과학기술융합형연구 인력양성사업의 지원을 받아 수행한 과제입니다(No. RS-2024-00400922).
주제어: 무기질비료, 지역양분관리, HSPF
주연구자 연락처: yyman@hknu.ac.kr (010-2618-0355)

PB-087

도시 정원 식재를 위한 자생식물 종의 중금속 내성 평가

Evaluation of Heavy Metal Tolerance in Native Plant Species for Urban Garden Planting

이도균[1], 이금아[2], 김채연[1], 한상우[1], 백생글[3], 김영남[1]*
Dokyun Lee[1], Keum-Ah Lee[2], Chaeyeon Kim[1], Sang Woo Han[1], Saeng Geul Baek[3], and Young-Nam Kim[1]*
[1]경북대학교 식물자원학과, [2]경북대학교 농업과학기술연구소, [3]국립세종수목원 식물소재사업실
[1]Department of Crop Science, Kyungpook National University
[2]Institute of Agricultural Science and Technology (IAST), Kyungpook National University
[3]Plant Material Department Office, Sejong National Arboretum

도시토양은 다양한 산업활동으로 인해 중금속 등 독성물질로 오염되고 있으며, 이는 시민의 건강과 도시생태계를 위협하는 요인으로 작용하고 있어 정화사업이 요구된다. 본 연구에서는 중금속으로 오염된 도시토양에 식물정화기술(phytoremediation) 소재로 자생 정원식물의 활용 가능성을 평가하고, 중금속 저항성과 정화능력이 우수한 자생식물 종을 선별하고자 포트시험을 수행하였다. 연구대상 식물로는 자생식물 20종(벼·사초과 6, 현삼과 2, 장미과 4, 백합과 3, 국화과 2, 마편초과 1, 용담과 1, 미나리과 1)과 비교구인 국외식물 5종을 선정하였고, 이들 유묘를 중금속오염(As >300 mg kg-1, Cd >10 mg kg-1, Pb >400 mg kg-1)과 비오염 토양에 각각 식재한 후 16주 동안 식물의 생육 조사 및 생리적 반응분석을 수행하였다. 재배기간 동안 현삼과인 지리산꼬리풀은 중금속 독성에 대해 높은 감수성을 보여 대부분 고사한 반면, 나머지 종들은 저항성을 보이며 낮은 고사율이 보였다. 광합성 색소 분석 결과, 재배 초기에는 비오염 토양보다 중금속오염 토양에서 다수의 자생식물 종의 엽록소 및 카르테노이드 함량이 유의하게 높았으며, 이는 유묘기 산화스트레스에 대한 저항 기작이 발현된 결과로 생각된다. 하지만, 일부 자생식물 종에서는 수확 시 비오염 토양에 비해 중금속오염 토양에서 광합성 색소 함량이 뚜렷이 감소하였는데, 이는 장기간의 중금속 독성노출로 인해 색소합성 저해된 데 기인한 것으로 사료된다. 또한, 지질과산화물(MDA) 함량이 현삼과 자생식물 2종을 제외한 대부분의 자생종에서 두 토양 처리구 간 유의한 차이가 관찰되지 않았는데, 이는 이들 자생식물이 활성산소종(ROS) 축적을 완화할수 있는 방어 기작을 갖추고 있음을 시사한다. 중금속 농축계수(BAF)를 산출한 결과, As의 경우 지리산꼬리풀이 0.07로 가장 높았고, Cd은 골등골나물이 0.374로 가장 높았다. 그리고 Pb의 경우 왕밀사초가 0.044로 모든 국외식물(<0.01)보다 높은 BAF 값을 보였다. 식물의 지상부 중금속 축적량을 분석한 결과, 자생식물 두 종에서 가장 높게 관찰되었다. 낙지다리의 As, Cd, Pb 축적량은 각각 1.00 mg, 0.12 mg, 1.01 mg이였고, 골등골나물은 각각 0.64 mg, 0.24 mg, 0.17 mg이였다. 왕밀사초의 경우, As (0.32 mg)와 Pb(0.61 mg)에서 높은 축적량이 측정되었다. 반면 국외식물 5종의 중금속 축적량은 As 0.02-0.20 mg, Cd 0.004-0.039 mg, Pb 0.03-0.08 mg 수준으로 대부분의 자생식물보다 낮았다. 중금속 종별 자생식물의 흡수(축적)력을 평가해 보면, As는 낙지다리·갯보리·갈풀·골등골나물이, Cd은 골등골나물·낙지다리·인가목조팝나무가, 그리고 Pb은 낙지다리·왕밀사초·갈풀·갯보리가 우수한 흡수력을 가진 것으로 판단된다. 이러한 결과로 미루어 볼 때, 이러한 국화과, 사초과, 벼과에 속하는 자생식물 종들은 중금속오염 토양에서 강한 저항성을 나타내었으며, 생장량과 중금속 제거 효율 측면에서도 우수한 것으로 보였다. 따라서 오염 원소의 특성에 맞추어 적합한 자생식물 종을 정원소재로 활용한다면 높은 토양 정화 효율을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

주연구자 연락처: youngnam.kim@knu.ac.kr (054-530-1205)

PB-088

전북지역 밭토양 미생물 다양성 및 군집 특성 변화

Temporal Variation in Microbial Diversity and Community Structure of Jeonbuk Upland Soils

김용준[1]*, 박나영[1], 최효정[1], 최소라[1], 조경준[2]
Yong-Jun Kim[1]*, Na-Young Park[1], Hyo-Jung Choi[1], So-Ra Choi[1], and Gyeong-Jun Cho[2]
[1]전북특별자치도농업기술원, [2]국립농업과학원 농업미생물과
[1]Jeonbuk State Agricultural Research and Extension Services, Iksan, 54591, Korea
[2]Agricultural Microbiology Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju, 55365, Korea

토양미생물은 유기물 분해, 양분 순환 및 작물 생육 등 농업생태계의 주요 기능을 수행하며, 토양 건강성을 평가하는 생물학적 지표로 활용될 수 있다. 본 연구에서는 전북지역 밭토양의 미생물 군집 특성과 연차별 변화를 파악하기 위하여 전체 25개 조사 지점 중 2021년과 2025년에 동일하게 조사된 23개 지점을 대상으로 세균 및 진균 군집을 비교·분석하였다. 종 풍부도와 다양성은 Illumina MiSeq 기반의 염기서열 분석을 실시하고, Chao 및 Shannon 지수를 산출하였다.

분석 결과, 세균의 종 풍부도를 나타내는 Chao 지수는 2021년 4,789에서 2025년 4,716으로 유사하였으며, Shannon 다양성 지수도 6.3에서 6.4로 큰 차이가 없어 세균의 종 풍부도와 다양성은 연차 간 유사한 수준을 유지하였다. 2021년 조사에서 밭토양은 다른 농경지 유형에 비해 세균 종 풍부도가 높은 특성을 나타냈다. 진균의 경우 2025년 Chao 지수는 2021년보다 증가하는 경향을 나타낸 반면, Shannon 지수는 유사한 수준을 보여 종 풍부도는 증가하였으나 전체적인 다양성에는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 문(phylum) 수준의 세균 군집 분석에서 주요 우점군인 Pseudomonadota는 2021년 44.6%에서 2025년 25.9%로 감소한 반면, Acidobacteriota는 15.8%에서 20.0%, Actinomycetota는 11.9%에서 20.0%, Bacillota는 10.3%에서 12.9%로 증가하여 주요 세균 군집의 상대적 구성 비율이 변화하였다. 이러한 변화는 종 풍부도와 다양성 자체의 큰 변화보다는 주요 미생물 분류군 간 상대적 우점도가 변화한 것으로 해석되며, 유기물 투입 및 경운 등 밭토양의 지속적인 재배관리와 이에 따른 토양환경 변화가 미생물 군집 구성에 영향을 미친 것으로 판단된다. 진균에서는 Ascomycota가 주요 우점군으로 나타났으며, 2021년과 2025년 사이 주요 군집의 상대적 분포에도 변화가 확인되었다. 전북지역 밭토양은 전국 평균과 비교하여 세균 종 풍부도가 상대적으로 높고, 진균 Mortierellomycota의 비율이 높은 특징을 나타냈다. 또한 조사 지점별로 미생물 군집 구성에 차이가 나타나, 지역별 토양환경 및 재배관리 특성이 군집 변화에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

본 연구 결과는 전북지역 밭토양의 미생물 군집 변화와 토양 이화학적 특성 간의 연관성을 해석하기 위한 기초자료로 활용될 수 있다. 향후 동일 지점에 대한 장기적인 모니터링과 지속적인 데이터 축적을 통해 토양미생물 변동 특성을 구명하고, 토양 건강성 평가 지표 개발 및 지속가능한 농경지 관리에 활용될 것으로 기대된다.

주연구자 연락처: yjkim1014@korea.kr (063-290-6193)

PB-089

지역 양분관리 방안 마련을 위한 도단위 양분수지 분석(23년 기준)

Analysis of Nutrient Balance by Province(do) for The Development of Regional Management Plan

박혜진*, 이예진, 이찬욱
Hyejin park*, Yejin Lee, and Chan Wook Lee
농촌진흥청 국립농업과학원 토양물환경과
Division of Soil and Water Environment, National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju-gun, 55365, Korea

양분수지는 농업 활동에 따른 토양, 수질 등 환경부하를 나타내는 지표 중 하나로, 농경지에 투입된 양분에서 작물흡수, 대기유출을 통해 제거된 양분을 뺀 값을 말한다. 2023년 기준 한국 질소수지는 234 kg/ha, 인수지는 43 kg/ha로 OECD 국가 중 높은 수준으로, 이는 농경지 토양에 양분이 작물 재배 시 필요한 양보다 과다 투입되고 있음을 시사한다. 농경지 양분수지를 효과적으로 개선하기 위해서는 지역의 농업 형태, 가축사육현황(분뇨 발생) 등 다양한 특성을 고려하여 맞춤형 관리 방안 마련이 필요하나, 지역별 양분발생·이용에 대한 현황조차 파악이 어려운 실정이다. 이에 도단위 양분 현황을 조사하고 양분수지를 산정하여 지역별 맞춤 양분관리 방안 마련의 기초자료로 활용하고자 한다. 광역시를 제외한 9개도의 농업통계를 활용하여 도별 양분투입량(무·유기질비료 사용량, 축종별 가축분뇨 발생량, 대기침적 등), 양분제거량(작물흡수량, 대기유출량)을 합산하고 양분수지(단위면적당 양분투입량과 양분제거량의 차이)를 산정하였다. 최신(2023년) 통계 기준 도별 양분투입량은 질소와 인 모두 전남 > 충남 > 전북 > 경북 > 경기 > 경남 > 강원 > 충북 > 제주 순으로 높게 나타난, 반면, 농경지 면적당 질소수지(범위: 271~157 kg ha-1)는 경기 > 제주 > 강원 > 충북 > 충남 > 전북 > 전남 > 경남 > 경북 순으로, 인수지(범위: 62~32 kg ha-1)는 경기 > 제주 > 강원 > 충북 > 경북 > 충남 > 경남 > 전북 > 전남 순으로 나타났다. 도별 양분투입 유형을 고려하였을 때, 가축분뇨를 통한 양분투입 비중이 높은(50 % 이상) 경기도와 충청도의 경우, 지역 내 가축분뇨 농경지 투입을 감축하기 위하여 에너지화 또는 타지역으로의 퇴비이동이 우선적으로 도입되어야 하며, 비료 투입 비중이 높은 제주도와 강원도는 토양검정 비료사용처방을 통해 무기질비료를 적정 투입하기 위한 방안이 우선 도입되어야 할 것으로 사료된다.

주연구자 연락처: hjin11@korea.kr (063-238-2463)

PB-090

Salt Stress Tolerance in Native Species: Implications for Sustainable Urban Landscaping

Yunah Do[1], Chaeyeon Kim[1], Keum-Ah Lee[2], Dokyun Lee[1], Sang Woo Han[1], Ji Eun Hwang[1], Saeng Geul Baek[3], and Young-Nam Kim[1]*
[1]Department of Crop Science, Kyungpook National University
[2]Institute of Agricultural Science and Technology (IAST), Kyungpook National University
[3]Plant Material Department Office, Sejong National Arboretum

Soil salinity in urban areas is increasing gradually due to the excessive use of de-icing agents in winter, while intensified transpiration and drought driven by rapid climate change further aggravate salt accumulation in urban soil. Such conditions impose severe salt stress on urban garden plants, causing growth inhibition and loss of ornamental quality. This study was conducted to evaluate the salt tolerance of native plant species and to select superior candidates as garden plant materials for growing in saline urban soil. We selected 10 species of Korean native plants (*Aster danyangensis* Jae Y.Kim & G.Y.Chung, *Koeleria macrantha* (Ledeb.) Schult., *Chrysanthemum zawadzkii* var. *tenuisectum* (Nakai) Kitag., *Thalictrum acutifolium* (Hand.-Mazz.) B.Boivin, *Pogostemon yatabeanus* (Makino) Press, *Chrysanthemum naktongense* Nakai, *Aster spathulifolius* Maxim., *Veronica nakaiana* Ohwi, *Hosta yingeri* S.B.Jones, and *Hylotelephium spectabile* (Boreau) H.Ohba). Plants were subjected to three NaCl concentrations (0, 250, and 500 mM) and grown for 4 weeks under greenhouse conditions. Variables related to plant growth and physiological responses were determined to compare salt tolerance among native species. As a result, two native species including *T. acutifolium* and *P. yatabeanus* showed severe damage within several days after salt treatment, particularly in 500 mM NaCl, and high mortality in 2 weeks, while *A. spathulifolius* and *H. spectabile* appeared strong resistance to salt stress. Dose-dependent growth responses to salt stress were observed in the remaining native species, and most eventually withered, particularly in 500 mM NaCl. In native *T. acutifolium* and *P. yatabeanus*, both normalized difference vegetation index (NDVI) and photochemical reflectance index (PRI) tended to decrease under salt treatment. In contrast, *A. spathulifolius* and *H. spectabile*, which maintained good growth performance, showed no significant differences in NDVI among salt treatments, whereas PRI declined sharply in 500 mM compared to control (16.3% and 37.9%, respectively). Our findings suggest that these two species possess the strongest tolerance; although they got photosynthetic limitation under high salinity (>250 mM NaCl), as reflected in the lowered PRI, their growth performance was maintained during this pot experiment. Research on the salt tolerance mechanisms of the native species is required for their successful use in urban garden plantings.

Correspondence: youngnam.kim@knu.ac.kr (054-530-1205)

PB-091

계분 바이오차 펠렛의 시용이 배추의 생산성, 토양 화학성 및 N_2O 배출에 미치는 영향

Effects of Application of Chicken Manure Biochar Pellets on Kimchi Cabbage Growth, Soil Chemical Properties, and N2O Emissions

이익형[1], 조한나[1], 이창곤[1], 송지민[1], 강세원[1,2]*
[1]국립 순천대학교 일반대학원 농화학과, [2]국립순천대학교 농생명과학과
[1]Department of Agricultural Chemistry, Sunchon National University 57922, South Korea
[2]Department of Agricultural Life Science, Sunchon National University 57922, South Korea

가축분뇨의 재활용은 자원순환 농업 실현을 위한 중요한 방안으로 인식되고 있다. 현재 가축분뇨는 대부분 퇴비화를 통해 활용되고 있으나, 부숙 과정에서 CH_4 및 N_2O와 같은 온실가스가 배출되는 환경적 한계가 있다. 이에 가축분 바이오차는 가축분의 새로운 자원화 기술로 주목받고 있으며, 토양 화학성 개선과 작물 생육 증진 효과가 보고되고 있다. 본 연구에서는 계분 바이오차 펠렛이 배추의 생육, 토양 화학성 및 N_2O 배출에 미치는 영향을 평가하였다. 본 연구는 전남광주통합특별시 보성군 동강면에서 배추를 대상으로 난괴법 3반복으로 수행하였다. 처리구는 무처리(CN), 가축분퇴비(CP), 계분 바이오차 펠렛을 각각 3, 5, 7 및 10 Mg ha^{-1}로 시용한 처리구(CMBC3, CMBC5, CMBC7 및 CMBC10)로 구성하였다. 가축분퇴비는 작물별 표준시비량에 따라 시용하였다. 배추의 주중과 구중은 CMBC10 처리구에서 1,308 g, 921 g으로 가장 높았다. 이는 1,131 g 과 814 g을 나타낸 CP 처리구 대비 각각 15.6%와 13.1% 증가한 수치였다. 토양 화학성은 계분 바이오차 펠렛 시용량 증가에 따라 전반적으로 개선되는 경향을 보였으며 pH와 총질소, 유기물 함량은 CMBC10 처리구에서 가장 높았다. 배추 재배기간 동안 배출된 누적 N_2O 배출량은 CMBC10 처리구에서 114.8 mg m^{-2}로 가장 높았으며, CP 처리구(92.9 mg m^{-2})보다 23.6% 높은 수준을 나타냈다. 종합적으로 계분 바이오차 펠렛의 시용은 토양 화학성을 개선하고 배추 생육을 증진시켰다. 반면, 계분 바이오차 시용량이 증가함에 따라 N_2O 배출량 또한 증가하는 경향을 보여, 생육 증진과 온실가스 배출을 함께 고려한 적정 시용량 설정에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

주제어: 계분 바이오차 펠렛, 가축분 퇴비, 배추, 토양 화학성, N_2O 배출
주연구자 연락처: kangsw@scnu.ac.kr (061-750-5192)

PB-092

탄화 정도가 다른 옥수수대 바이오차 시용에 따른 토양 내 CO_2 및 N_2O의 배출 특성

CO_2 and N_2O Emissions Characteristics in Soil as Affected by Application of Corn Stalk Biochar with Different Degrees of Carbonization

박선민, 임민효, 김채원, 윤석인*
Seon-Min Park, Min-Hyo Lim, Chae-Won Kim, and Seok-In Yun*
원광대학교 생물환경화학과
Department of Bio-Environmental Chemistry, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea

농경지 토양에서 바이오차 시용은 CO_2와 N_2O 배출을 저감시킨다고 보고되고 있으나, 그 효과는 바이오차의 탄화 정도에 따라 달라질 수 있다. 고온에서 열분해된 바이오차는 높은 난분해성을 가져 탄소 격리에 유리한 반면, 저온에서 열분해된 바이오차는 토양 내에서 분해가 상대적으로 용이하여 탄소 고정 효과가 저하되고 그에 따라 토양 내 질소 반응에 영향을 줄 수 있다. 이에 본 연구는 탄화 정도가 서로 다른 옥수수대 바이오차 시용에 따른 토양 내 CO_2 및 N_2O 배출 특성을 규명하고자 하였으며, 다양한 열분해 온도로 제조된 옥수수대 바이오차를 토양에 처리하여 항온배양실험을 진행하였다. 처리구는 대조구(CON), 원료 처리구(CS), 그리고 옥수수대 바이오차(CSB) 탄화 정도(200~500°C)에 따른 CSB200, CSB300, CSB400, CSB500 처리구로 설정하였으며, 탄화 정도에 따른 수율을 고려하여 원료 기준 14 Mg ha^{-1}에 맞춰 처리량을 산정하였다. 투입된 바이오차 탄소 대비 CO_2-C 방출량은 CS, CSB200, CSB300, CSB400, CSB500에서 22.8%, 14.0%, 2.0%, 0.5%, -0.5%로 나타났으며, 바이오차 제조 및 CO_2 방출로 인한 투입 원료 대비 탄소 손실량은 각각 22.8%, 15.7%, 29.2%, 39.7%, 46.5%로 나타났다. N_2O 누적 배출량은 대조구 대비 CS, CSB200 처리구는 각각 8배, 12배 증가한 반면, CSB300, CSB400, CSB500에서는 각각 15%, 13%, 6% 감소하였으며, CSB500에서 유의적으로 가장 낮았다 ($P < 0.001$). 본 실험 결과, 원료 및 저온 처리구에서는 불완전한 탄화로 인해 토양 내 CO_2 배출이 촉진되었고, 이와 함께 투입된 유기물의 분해가 활발해지면서 N_2O 증가에 직접적인 영향을 준 것으로 판단된다. 반면, 300°C 이상에서 열분해된 옥수수대 바이오차는 온실가스 방출을 효과적으로 저감하였으며, 특히 CSB500 처리구는 탄소 방출률이 -0.53%로 나타나 실질적인 탄소 격리 효과를 입증하였다. 그러나 고온 바이오차의 경우, 제조 과정에서의 수율 저하로 인해 원료 기준 탄소 손실이 46.5%까지 증가했었기에, 온실가스 감축 및 탄소 격리 효율을 종합적으로 고려한 최적의 열분해 온도 설정이 필요할 것으로 판단된다.

주제어: 탄화 정도, 옥수수대 바이오차, CO_2 , N_2O
주연구자 연락처: siyun@wku.ac.kr (063-850-6677)

PB-093

석회 처리에 의한 토양 pH 변화가 질산화 과정에서 아산화질소 배출에 미치는 영향

Effect of Liming-Induced Soil pH Adjustment on N_2O Emissions During Nitrification

김채원, 임민효, 박선민, 윤석인*
Chae-Won Kim, Min-Hyo Lim, Seon-Min Park, and Seok-In Yun*
원광대학교 생물환경화학과
Department of Bio-Environmental Chemistry, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea

농경지에서 질소 비료 시용은 토양 산성화를 유발할 뿐만 아니라, 토양 내 질소 전환 과정에서 아산화질소(N_2O) 배출을 증가시킬 수 있다. 산성 토양을 개량하기 위해 석회가 이용되며, 석회 시용은 토양 pH를 변화시켜 질소 전환 과정과 N_2O 배출에 영향을 미칠 수 있다. 그러나 질산화 과정에서의 N_2O 배출은 온도, 수분, 기질 등 다양한 환경요인의 영향을 받기 때문에, 이러한 요인의 영향을 통제하여 석회 처리에 따른 토양 pH 조절의 효과를 독립적으로 평가한 연구는 제한적이다. 따라서 본 연구에서는 석회 처리로 조절된 토양 pH가 질산화 과정에서의 N_2O 배출에 미치는 영향을 규명하기 위해 배양 실험을 수행하였다. 석회 처리량은 토양 pH 완충곡선을 바탕으로 pH 7.0에 도달하는 데 필요한 석회 소요량을 계산하여 기준량인 0.4 g $CaCO_3$ kg^{-1}을 설정하였다. 이를 기반으로 처리구를 각각 0, 0.2, 0.4, 0.9, 1.8 g $CaCO_3$ kg^{-1}로 구성하였으며, 모든 처리구에 황산 암모늄을 200 mg N kg^{-1} 수준으로 동일하게 처리하였다. 배양 기간 동안 토양의 pH와 무기태 질소 농도를 분석하였으며, 주기적으로 N_2O 농도를 측정하였다. 석회 처리를 통한 토양 pH 상승은 암모늄태 질소의 질산태 질소로의 전환을 촉진하였다. 모든 처리구에서 질산화는 배양 2주 이내에 완료되었으나, 토양 pH가 높을수록 질산화 속도가 증가하였다. 반면, 누적 N_2O 배출량은 석회 무처리구보다 석회 처리구에서 27-52% 감소하는 경향을 보였다. 또한 단위 질산화량당 N2O 배출량은 석회 무처리구(0.6 μg N_2O mg^{-1} N)에 비해 석회 처리구(0.3-0.4 μg N_2O mg^{-1} N)에서 감소하는 경향을 보였다. 배양 종료 시 토양 pH와 누적 N_2O 배출량 간에는 음의 선형 관계가 나타났다 ($R^2 = 0.16$, $P < 0.05$). 특히 석회 처리량이 가장 높았던 처리구를 제외한 경우 두 변수 간의 음의 선형 관계가 더욱 뚜렷하게 나타났다($R^2 = 0.60$, $P < 0.001$). 이는 적정 범위의 석회 처리를 통한 토양 개량이 N_2O 배출 저감과 관련될 가능성을 시사한다.

주제어: 석회, 토양 pH, 질산화, N_2O
주연구자 연락처: siyun@wku.ac.kr (063-850-6677)

PB-094

가뭄·과습 조건에서 비종에 따른 옥수수의 생육 및 질소 반응 특성

Fertilizer Type-Dependent Growth and Nitrogen Response of Maize under Drought and Waterlogging

박진환[1], 백태희[2], 이현민[1], 이남희[3], 안수창[1], 최연정[1], 이미나[4], 김권래[1]*
Jinhwan Park[1], Tahee Baek[2], Hyunmin Lee[1], Namhee Yi[3], Suchang An[1], Yeonjeong Choe[1], Mina Lee[4], and Kwon-rae Kim[1]*
[1]경상국립대학교 스마트농산업학과, [2]경상국립대학교 농업생명과학연구원, [3]경상국립대학교 생명자원과학과, [4]경상국립대학교 농식품바이오융복합연구원
[1]Gyeongsang National University Smart Agro-industry
[2]Gyeongsang National University Institute of Agricultural and Life Science
[3]Gyeongsang National University GreenBio Science
[4]Gyeongsang National University Agri-Food Bio Convergence Institute

IPCC 제6차 평가보고서(AR6)는 지구 평균기온 1.5°C 상승 시 극한 호우 발생확률은 약 1.5배, 농업·생태 가뭄 발생빈도는 약 2.0배 증가할 것으로 전망하였다. 이에 기후변화 대응 양분관리 기술이 강조되나, 수분 조건별 질소 무기화 특성과 비종별 작물 반응 차이에 대한 실증적 검증은 미흡하다. 본 연구는 WFPS와 비료 종류에 따른 옥수수의 생육·질소 흡수 반응을 평가하기 위해 수행되었다. 경상국립대학교 내동 부속농장에서 WFPS를 가뭄(40%), 적정(60%), 과습(80%)으로 조절하고, 각 수준에 무기질비료(Chemical Fertilizer, CF) 단독 처리와 무기질비료-가축분퇴비(Livestock Manure Compost, LM) 혼합(LM+CF) 처리를 적용하여 총 6처리구를 구성하였다. 이 조건에서 옥수수를 재배하여 수확기에 생육·수량, 질소 흡수량·이용효율(NUE), 토양 탈수소효소활성(DHA)을 조사하였다. WFPS 40%에서는 비료 알갱이가 완전히 용해되지 않아 생육·양분 흡수량이 비종과 무관하게 유의하게 낮았다. 반면 WFPS 60%와 80% 사이에서는 CF의 NUE는 60%에서, LM+CF의 NUE는 80%에서 더 높아 뚜렷한 교차 반응을 보였다. 이는 DHA에서도 확인되었는데, WFPS 80%에서 CF의 DHA는 재배 후 거의 0까지 감소한 반면 LM+CF는 변화가 거의 없었다. 무기질비료는 시비 직후 바로 가용화되어 과습 시 질산화·용탈 손실과 미생물 활성 저하가 동반되었으나, 가축분퇴비는 서서히 분해·공급되어 과습에서도 상대적으로 안정적이었기 때문으로 판단된다. 종합적으로 적정 수분조건에서는 무기질비료만으로 충분하지만, 과습 조건에서는 가축분퇴비 복합시비가 안정적인 양분 공급과 이용효율 확보에 유리함을 시사한다. 다만 가뭄 조건에서는 비종과 무관하게 용해 지연으로 근본적인 양분 공급 제한이 발생해, 복합시비만으로는 해결이 어려운 한계가 있었다.

주제어: 기후변화, 토양수분, 식물양분
주연구자 연락처: kimkr419@gnu.ac.kr (010-7120-9188)

PB-095

Effects of *Bacillus velezensis strain* Inoculation on Rice Productivity and Greenhouse Gas (CH_4 and N_2O) Emissions in a Rice Paddy Soil During Cultivation: A Pot Experiment

Yeomyeong Lee[1], Juhee An[2], Jaekyeong Song[2], Hyunwoo Jung[3], Hyeon Su Kim[4], and Sang Yoon Kim[1,3]*
[1]Department of Agricultural Chemistry & Interdisciplinary Program in IT-Bio Convergence System, Sunchon National University, Suncheon 57922, Republic of Korea
[2]Agricultural Microbiology Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration (RDA), 55365, Republic of Korea
[3]Department of Agricultural Life Science, Sunchon National University, Suncheon 57922, Korea
[4]Microbiological Fermentation Foundation of Sacheon City, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do, 52538, Republic of Korea

Rice paddies are recognized as major anthropogenic sources of atmospheric methane (CH_4), necessitating effective mitigation strategies to minimize their global warming impact. Developing innovative and sustainable agricultural technologies is essential to suppress GHG emissions without compromising crop productivity such practical solutions remain limited, prompting growing interest in microbial-based approaches. In this study, a pot experiment was conducted to evaluate the effect of seed-soaking inoculation with *Bacillus velezensis* on rice productivity and greenhouse gas (GHG) emissions during the cultivation season across four different treatments (with or without inoculation, combined with rice straw applications at 0 and 5 Mg ha^{-1}). Inoculation with *B. velezensis* increased rice productivity, although no significant differences were observed among treatments. Global warming potential (GWP), driven by CH_4 and N_2O emissions, significantly increased with inoculation (2.7 g CH_4 pot^{-1} and 15.0 mg N_2O pot^{-1}) compared to the control (2.2 g CH_4 pot^{-1} and 8.4 mg N_2O pot^{-1}) in non-organic matter (OM) soils. In OM-amended soils, CH_4 and N_2O emissions were markedly higher, and inoculation further increased emissions (31.4 g CH_4 pot^{-1} and 12.8 mg N_2O pot^{-1}) relative to the control (19.3 g CH_4 pot^{-1} and 12.3 mg N_2O pot^{-1}). Although the increase in CH_4 emissions was not statistically significant, overall fluxes rose in both non-OM and OM-treated soils following inoculation. This increase was likely due to the stimulation of OM degradation via cellulase production and other carbon-cycling metabolites by *B. velezensis*, ultimately elevating GWP in OM-amended soils (789.2 g CO_2-eq. pot^{-1}) compared to the control (486.4 g CO_2-eq. pot^{-1}). Overall, these findings suggest that seed-soaking inoculation with *B. velezensis* alters CH_4 and nitrogen dynamics under varying OM regimes. Consequently, future studies should focus on screening beneficial microorganisms that function as CH_4 oxidizers or N_2O reducers to simultaneously mitigate GHG emissions and enhance crop productivity in paddy soils.

Correspondence: sykim@scnu.ac.kr (061-750-5189)
#Yeomyeong Lee and Juhee An contributed equally to this work.

PB-096

Evaluation of Residual Rice Root on Influencing Methane Emissions and Rice Productivity in Post-Cropping Season in a Mono-Rice Paddy

Gayeon Jang[1], Sohee Yoon[1], Mingyeong Lee[1], Donguk Lim[1], and Sang Yoon Kim[1,2]*
[1]Department of Agricultural Chemistry & Interdisciplinary Program in IT-Bio Convergence System, Sunchon National University, Suncheon 57922, Korea
[2]Department of Agricultural Life Science, Sunchon National University, Suncheon 57922, Korea

Methane (CH_4) is one of the major greenhouse gases emitted from paddy fields, and its emissions are known to increase when carbon-containing organic residues are incorporated into the soil. After rice harvest, root residues are commonly incorporated into the soil through tillage, where they decompose and serve as substrates for methanogenesis. However, the contribution of root decomposition to methane emissions from residue-incorporated rice paddy soils remains poorly understood. Therefore, a pot experiment was conducted to quantify methane emissions derived from rice root decomposition. Methane emissions (CH_4) were evaluated during rice cultivation under different root management practices (residual root removal or incorporation) including rice cultivation treatments (cultivated or non-cultivated), and varieties (early maturing or medium-late maturing). Rice roots were collected from a field one month before transplanting and one rice hill was incorporated into the soil of each pot. Greenhouse gas emissions were measured using the closed chamber method during rice cultivation. The contribution of residual rice roots to methane emissions was estimated based on their carbon input into each pot and the cumulative methane emissions. Influencing factors including rice growth, productivity and soil properties were monitored. Methane emissions from the root incorporation treatment were approximately 1.5 - 2.1 times higher than those from the root removal treatment, indicating that approximately 32.2 - 52.8% of the total methane emissions were attributable to root decomposition by 34 days after transplanting. Regardless of rice cultivar, methane emissions from cultivated pots were 65.1 - 66.6% lower than those from non-cultivated pots. Although rice aerenchyma is generally considered a major pathway facilitating methane transport from soil to the atmosphere, methane emissions in this study were lower in cultivated pots than in non-cultivated pots despite the presence of rice plants. This result suggests that enhanced root oxidation and oxygen transport capacity during cultivation suppressed methanogenesis in paddy soils. In addition, the early-maturing cultivar showed lower methane emissions than the medium-late maturing cultivar due to lower C inputs. Therefore, residual rice root should be considered key contributors to significantly influence CH_4 emissions during the following cropping seasons in a mono-rice paddy. Further studies are needed to establish sustainable residue management strategies, including post-harvest root incorporation, to mitigate greenhouse gas emissions from paddy fields.

Correspondence: sykim@scnu.ac.kr (061-750-5189)

PB-097

A Circular Resource-Based Strategy for Commercializing Livestock Manure Biochar in Korea

Parvaneh Pakmanesh, Seung-Beom Lee, Eun-Su Song, and Jin-Hyeob Kwak*
Department of Rural Construction Engineering, Jeonbuk National University, Jeonju, 54896, Korea

Livestock manure-derived biochar has gained considerable attention as a sustainable solution for nutrient recovery, carbon storage, and environmentally responsible agricultural production. Nevertheless, the considerable variability in feedstock characteristics, including moisture content, salinity, ash content, and heavy metal concentrations, makes a single commercialization strategy impractical. This study presents a region-specific commercialization framework for livestock manure biochar in Korea that integrates circular resource management with quality-based utilization. The proposed framework addresses the complete biochar value chain, from feedstock collection and pretreatment to thermochemical conversion, quality evaluation, product classification, end-use applications, and long-term field monitoring. It is built upon four fundamental principles: regional clustering of feedstock resources, quality-oriented production, diversification of utilization pathways, and balanced optimization of environmental and economic benefits. A three-level product classification system is proposed, consisting of Grade A biochar for direct agricultural application, Grade B biochar for fertilizer and compost blending, and Grade C biochar for non-agricultural purposes such as ecological restoration and landscape management. To reflect regional differences in livestock density, infrastructure, and agricultural demand, several commercialization scenarios are suggested, including centralized cooperative production, mixed-feedstock processing, agricultural extension-supported distribution, and carbon credit-driven business models. In addition, the framework incorporates traceability and carbon accounting components to facilitate future Monitoring, Reporting, and Verification (MRV) systems. Overall, the findings indicate that quality-based product classification combined with diversified utilization strategies can enhance both the environmental sustainability and economic viability of livestock manure biochar. This framework offers a practical roadmap for promoting regional resource circulation and supporting the large-scale commercialization of livestock manure biochar in Korea.

Correspondence: jh_kwak@jbnu.ac.kr (063-270-2488)

PB-098

Estimation of Atmospheric Carbon Dioxide Sequestration through Enhanced Weathering of Alkaline Industrial By-products.

Hye Won Lee, and Chang Oh Hong*
Department of Life Science and Environmental Biochemistry, Pusan National University

Enhanced rock weathering (ERW) is a promising atmospheric carbon dioxide (CO_2) removal strategy for agricultural soils. However, natural materials such as basalt are limited in South Korea, except on Jeju Island, highlighting the need to utilize alkaline industrial by-products as alternative ERW materials. Furthermore, standardized methods that account for environmental and material factors in estimating CO_2 sequestration by ERW materials have not yet been established. The stoichiometric CO_2 sequestration potential of ERW materials can be calculated as $M_{rock} \times \Sigma (f_i \times R_i \times E_i)$, where M_{rock} is the applied material mass, f_i is the proportion of each alkaline component, R_i is its dissolution rate, and E_i is its CO_2 capture efficiency. To account for reaction conditions, CO_2 removal was expressed as follows: *CO_2 removal* (mol) = Ca^{2+} or Mg^{2+} *release* (mol) × 2 × *SFc* × *SFm* × *SFs* × *SFr* × *SFb*. The scaling factors represent climate (*SFc*), material (*SFm*), soil (*SFs*), soil chemical reactions (*SFr*), and field mass balance (*SFb*), respectively. Batch experiments were conducted to develop *SFc* (carbonate concentration and initial pH) and *SFm* (application rate and particle size). Granulated blast furnace slag was reacted at a solid-to-solution ratio of 10 g L^{-1} (0.5 g in 50 mL) for 48 h under sealed conditions with five replicates. Four initial HCO_3^- concentrations of 0, 1.25, 2.50, and 5.00 μM were tested, with 2.50 μM representing equilibrium with atmospheric CO_2 at 420 ppm. As initial HCO_3^- concentration increased from 0 to 2.50 μM, dissolved Ca decreased from 0.01154 to 0.01040 mmol L^{-1}, corresponding to a 9.9% reduction, and remained similar at 5.00 μM (0.01041 mmol L^{-1}). Dissolved Mg ranged from 0.02021 to 0.02261 mmol L^{-1} and showed no significant differences among carbonate treatments. Alkalinity-derived HCO_3^- decreased by 22.2%, from 0.5085 to 0.3958 mmol L^{-1}, between the 0 and 2.50 μM treatments and increased slightly to 0.4040 mmol L^{-1} at 5.00 μM. Initial HCO_3^- concentration and combined Ca+Mg concentration were related by $y = -8.719 \times 10^{-5}x^2 - 1.436 \times 10^{-4}x + 0.03273$, providing a basis for estimation the carbonate component of *SFc*. In the particle-size experiment, four particle-size treatments were evaluated: >1.7 mm, 0.6-1.7 mm, <0.6 mm, and finely ground (FG). The combined Ca+Mg concentrations were 0.02255, 0.02951, 0.0339, and 0.05224 mmol L^{-1}, respectively. Using the >1.7 mm treatment as the reference (scaling factor = 1.000), the corresponding Ca+Mg-based particle-size scaling factors were 1.309, 1.503, and 2.317 for the 0.6-1.7 mm, <0.6 mm, and FG treatments, respectively. These responses provide preliminary information for developing *SFc* and *SFm*. Further experiments on initial pH, application rate, and additional industrial by-products will be incorporated to develop the scaling factors and improve the estimation of atmospheric CO_2 sequestration by ERW materials.

Keywords: Alkalinity, Bicarbonate, Calcium, Dissolution, Slag
Correspondence: soilchem@pusan.ac.kr (055-350-5548)

PB-099

Soil Aggregate-Size Distribution Rather than Soil Organic Carbon Content and Regional Climate Determines Methane Emissions from Paddy Soils in Different Regions of South Korea

Hae Jin Jeong[1], Taek Keun Oh[2], Minji Lee[3], and Chang Oh Hong[1]*
[1]Department of Life Science and Environmental Biochemistry, Pusan National University
[2]Department of Bio-Environmental Chemistry, Chungnam National University
[3]Climate change Division, National Institute of Agricultural Sciences

Methane (CH_4) in paddy soils is produced by methanogens through the anaerobic decomposition of soil organic carbon, and methanogen activity is influenced by flooding conditions associated with temperature and precipitation. Regional differences in CH_4 emissions among paddy soils are well documented, but the role of soil aggregate-size distribution in explaining this variation remains poorly understood. Therefore, the objectives of this study were to 1) compare soil aggregate-size distributions among paddy soils located in three major rice-growing regions of South Korea and 2) examine their association with regional variation in cumulative CH_4 emissions. Field experiments were conducted during the growing season of rice in 2024 at paddy soils in Honam (*Wanju* and *Gimje*), Jungbu (*Daejeon*), and Yeongnam (*Miryang*). Each region included both moderately drained (water table below 50 cm) and poorly drained (upper 50 cm) paddy soils. The soils were classified as silty clay loam, sandy loam, and loam in Honam, Jungbu, and Yeongnam, respectively, with soil organic carbon contents ranging from 10.8-16.8, 7.0-8.2, and 11.1-12.5 g kg^{-1}. Daily CH_4 flux and cumulative CH_4 emissions during the growing season of rice were measured. Soil samples (0~30 cm depth) were collected at harvest time and wet-sieved into four aggregate-size fractions (>2, 2-0.25, 0.25-0.053, and <0.053 mm) to determine aggregate-size distribution. Mean air temperatures and cumulative precipitation during the growing season of rice were 23.6°C and 835 mm in Honam, 23.3°C and 1,090 mm in Jungbu, and 23.9°C and 841 mm in Yeongnam, respectively. Across all three regions, cumulative CH_4 emissions were consistently higher under poorly drained than moderately drained conditions. Mean cumulative CH_4 emission across both drainages was highest in Yeongnam (713 kg ha^{-1}), followed by Jungbu (590 kg ha^{-1}), and lowest in Honam (285 kg ha^{-1}). Regional patterns of cumulative CH_4 emissions were not consistent with mean air temperature, cumulative precipitation, or soil organic carbon content, suggesting that these factors alone cannot adequately explain regional differences in CH_4 emissions. Mean value of microaggregate fraction (0.25-0.053 mm), which is considered an important aggregate fraction for the physical protection and stabilization of soil organic carbon, was greatest in Honam (38.1%), followed by Jungbu (14.1%), and lowest in Yeongnam (10.1%). A significant negative correlation (r = -0.6875**) was observed between microaggregate abundance and cumulative CH_4 emissions. The negative relationship suggests that soil structural characteristics may play a more important role than soil organic carbon content in explaining regional differences in CH_4 emissions. These findings indicate that soil structural stabilization through microaggregate formation is an important factor regulating CH_4 emissions in paddy soils.

Keywords: Greenhouse gas, Microaggregate, Physical protection, Soil structure, Spatial heterogeneity
Correspondence: soilchem@pusan.ac.kr (055-350-5548)

PB–100

Comparison of Impacts of Different Soil Amendments on Net Global Warming Potential in Arable Soils

Dong Hee Kim, and Chang Oh Hong*
Department of Life Science and Environmental Biochemistry, Pusan National University, Miryang 50463, Republic of Korea

Carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4), nitrous oxide (N_2O), and ammonia (NH_3) emissions from agricultural soils vary with soil amendment properties and moisture conditions. We hypothesized that accounting for the indirect warming effect of NH_3 volatilization would increase net global warming potential (net GWP), calculated as $CO_2 \times 1 + CH_4 \times 27 + N_2O \times 273 + NH_3 \times 3.53$. This study compared net GWP among soil amendments. A 78-day incubation experiment was conducted at 25°C under upland (60% WFPS) and paddy (100% WFPS) soil conditions. Four soil amendments including urea, liquid manure, hairy vetch, and livestock compost with contrasting carbon (C) and nitrogen (N) contents were added at an equivalent nitrogen (N) rate (0.1 %, *wt/wt*) [u1] to soil. The mean value of net GWP across the four soil amendments was 401 CO_2-eq [u2] in paddy soil, 27% higher than the 317 CO_2-eq [u3] measured in upland soil. This difference was mainly attributed to greater CH_4 and NH_3 emissions under flooding. Mean value of cumulative NH_3 volatilization across soil amendments was higher in paddy soil (32 kg ha^{-1}) than in upland soil (15 kg ha^{-1}), while CH_4 emissions were negligible in upland soil but increased substantially in paddy soil. Mean cumulative N_2O emissions were lower in paddy soil (0.75 kg N_2O-N ha^{-1}) than in upland soil (0.89 kg N_2O-N ha^{-1}), but this reduction did not offset the increased contributions of CH_4 and NH_3 to net GWP. In upland soil, hairy vetch had the lowest numerical net GWP with 291 CO_2-eq[u4] , followed by liquid manure, livestock compost, and urea with 309, 322, and 347 CO_2-eq[u5] , respectively. These relatively low values in upland soil compared with paddy soil were associated with the negligible contribution of CH_4 under aerobic conditions; however, net GWP did not differ significantly among the four soil amendments. In paddy soil, net GWP was lowest for liquid manure (348 CO_2-eq[u6]) and highest for hairy vetch (526 CO_2-eq[u7]). The high value for hairy vetch was mainly attributed to increased CH_4 production under reduced conditions, as its high C content and readily decomposable organic matter supplied substrates for methanogenesis. Hairy vetch also had the highest cumulative NH_3 volatilization in paddy soil at 47 kg ha^{-1}, compared with 31-36 kg ha^{-1} for the other soil amendments. This greater NH_3 volatilization was consistent with the predominance of NH_4^+ over NO_3^- under flooded conditions. Net GWP of soil amendments varied and responded differently to moisture conditions. Further field validation experiment should be conducted for practical recommendations.

Keywords: Agricultural fertilizer, Ammonia volatilization, Greenhouse gas, Paddy soil, Upland soil
Correspondence: soilchem@pusan.ac.kr (055-350-5548)

PB-101

동계 녹비작물 시용이 논과 밭 토양의 탄소수지에 미치는 영향

Hydrological Regulation of Contrasting Soil Carbon Balances Following Winter Cover Crop Incorporation in Paddy and Upland Soils

이승환[1], 이정구[1,2,3]*
Seung-Hwan Lee[1], and Jeong-Gu Lee[1,2,3]*
[1]경북대학교 응용생명과학과, [2]경북대학교 농업생명과학대학 응용생명과학부, [3]경북대학교 기초과학연구원
[1]Department of Applied Biosciences, Kyungpook National University, Daegu, 41566, South Korea
[2]School of Applied Life Science, College of Agriculture and Life Sciences, Kyungpook National University, Daegu, 41566, South Korea
[3]Institute of Basic Science Convergence, Kyungpook National University, Daegu, Republic of Korea

Winter cover crops are incorporated before summer cropping to return organic carbon to agricultural soils. The fate of this carbon depends on soil hydrological regime, which determines both the rate and the pathway of decomposition. However, whether the same incorporation practice produces comparable carbon gains under flooded and aerated conditions remains unclear. In this study, a rice paddy and an adjacent maize upland field were managed for two years under either recommended NPK fertilization or incorporation of winter-grown barley and hairy vetch. Weekly static chamber measurements of CO_2 and CH_4 were combined with net primary production (NPP), fertilizer-derived carbon, and harvested biomass removal to calculate the net ecosystem carbon balance (NECB). Redox potential in the flooded paddy remained near 200 mV, whereas upland soil stayed aerated under fluctuating moisture. Annual CO_2-C loss was 2.4-3.8 times greater in upland than in paddy soil, whereas CH_4-C emission occurred almost exclusively in paddies and increased from 146-168 to 501-631 kg C ha^{-1} after incorporation. The ratio of NPP to respired carbon was 2.55-2.83 in paddies but only 0.99-1.35 in uplands, indicating that carbon inputs exceeded losses only under flooded conditions. Cover crop incorporation shifted paddy NECB from 879 and 731 to 2,168 and 1,773 kg C ha^{-1} in the first and second years. Upland NECB remained negative, decreasing only from 7,789 and 7,630 to 6,622 and 4,663 kg C ha^{-1}. Overall, winter cover crop incorporation produced net carbon gain only where flooding suppressed decomposition, suggesting that aerated upland soils require additional residue retention to offset net carbon loss.

Correspondence: jeonggu@knu.ac.kr (053-950-8532)

PB–102

Cover Cropping Sustains Soil CH_4 Oxidation under Plastic Mulching by Enhancing C_1 Metabolism and Alternative Electron Donor Use

Dong-Jin Lee[1], Sihyun Park[1], and Jeong-Gu Lee[1,2,3]*
[1]Department of Applied Biosciences, Kyungpook National University, Daegu, 41566, South Korea
[2]School of Applied Life Science, College of Agriculture and Life Sciences, Kyungpook National University, Daegu, 41566, South Korea
[3]Institute of Basic Science Convergence, Kyungpook National University, Daegu, Republic of Korea

Purposes: Plastic mulching (PM) conserves soil moisture and stabilizes yields in upland crops but reduces the soil CH_4 sink, and the microbial mechanisms sustaining CH_4 oxidation under PM remain poorly understood. This study investigated how cover crop integration alters soil CH_4 dynamics and methanotrophic function under PM, and characterized the microbial pathways mediating CH_4 mitigation.

Methods: A field experiment in a maize production system under PM compared conventional NPK fertilization with cover crop integration. CH_4 fluxes, methane oxidation potential (MOP), microbial biomass, and functional genes were assessed, and partial least squares path modeling (PLS-PM) linked microbial traits to CH_4 emissions.

Results: Cover crop integration significantly reduced cumulative CH_4 emissions and maintained higher MOP than NPK fertilization, while the abundance of particulate methane monooxygenase genes did not differ between treatments. Cover crop integration instead enriched genes spanning H_2 oxidation, C_1 compound utilization, alternative electron transport, and antioxidant biosynthesis, whereas NPK fertilization increased genes associated with cellular stress responses. PLS-PM indicated that microbial metabolic flexibility was a major regulator of CH_4 emissions, acting mainly through indirect pathways mediated by MOP, and cover crop integration reduced both area- and yield-scaled CH_4 emissions while maintaining maize productivity.

Conclusions: Integrating cover crops with PM offers a viable strategy to sustain the soil CH_4 sink in upland maize production, with microbial metabolic flexibility, rather than methanotroph abundance, identified as the key underlying driver.

Keywords: : Plastic mulching, Cover crop, Soil CH_4 sink, Methanotroph metabolic flexibility
Correspondence: jeonggu@knu.ac.kr (053-950-8532)

PB-103

질소 형태와 액비 유래 용존유기물의 질적·양적 특성에 따른 토양 탄소 전환 반응

Soil Carbon Turnover Responses to Nitrogen Type and the Quality/Quantity of Liquid Manure-Derived Dissolved Organic Matter

임세훈[1], 송우진[1], 김태용[2], 한정윤[2], 김경민[1,2]*
Sehun Im[1], U Jin Song[1], Taeyong Kim[2], Jeong Yun Han[2], and Kyungmin Kim[1,2]*
[1]서울대학교 농생명공학부, [2]서울대학교 응용생물화학부
[1]Department of Agricultural Biotechnology, Seoul National University, Seoul 08826, Korea
[2]Department of Applied Biology and Chemistry, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

Nitrogen (N) fertilizer inputs alter soil carbon (C) turnover, but their effects depend on both N type and the quality and quantity of dissolved organic matter. To evaluate these interactive effects at a uniform N application rate (100 mg N/kg soil), we conducted an aerobic incubation experiment with six treatments: an unamended control (CTL), urea (UR), ammonium sulfate (AS), ammonium nitrate (AN), liquid manure (LM), and nitrified liquid manure (NLM). Soil respiration was monitored throughout the 34-day incubation, and half of the replicates were destructively sampled on day 7 to assess the early response.

Aerobic digestion altered the chemical composition of manure. Relative to LM, NLM contained less dissolved organic N (DON) and NH_4^+-N but more NO_3^+-N, indicating progressive mineralization and nitrification during aeration. NLM also contained substantially less DOC than LM. Higher $SUVA_{254}$ and $SUVA_{280}$ and lower E2/E3 and E4/E6 in LM indicated that its DOM was more aromatic and characterized by longer-chain organic molecules.

During the early stage, all N-amended soils released more CO_2 than the control. Increased N availability may have enhanced microbial demand for C relative to N stoichiometric requirements, thereby stimulating the utilization of native soil C. Among C-free mineral fertilizers, AS produced the strongest CO_2 response together with the lowest DOC and pH. LM supplied abundant DOC and strongly stimulated CO_2 release, likely due to the rapid mineralization of labile manure C. NLM also increased DOC but induced less CO_2 release than LM, with CO_2 levels comparable to those under the C-free AN treatment.

During the late stage, CO_2 emissions were lower in all N-amended soils than in the control, while MBC differences among treatments disappeared. The transition from early stimulation to later suppression may reflect depletion of readily available C and fertilizer-induced acidification. Meanwhile, nitrate accumulated to a greater extent under mineral fertilizers than under manure treatments, likely because organic N requires additional mineralization to NH4+ before subsequent nitrification.

To further resolve microbial C-use strategies, β-glucosidase (BG), cellobiohydrolase (CBH), chitinase (NAG), and phenol oxidase (POX) activities will be quantified. We hypothesize that LM will show relatively low BG and CBH activities because of abundant readily available C, but greater POX activity in response to its more aromatic DOM.

POC and MAOC fractionation will further test whether manure-derived C is retained in persistent soil C pools. We expect both LM and NLM to promote MAOC formation, but hypothesize that the larger C input under LM may induce greater C mineralization, whereas the smaller and more processed C input under NLM may favor MAOC formation relative to MAOC loss. Overall, N type regulated the timing and intensity of soil C utilization, while manure processing altered DOM quantity and quality and thereby modified the fate of added C.

Correspondence: km_kim@snu.ac.kr (02-880-4646)

PB-104

Effects of Transplanting Density on Compensatory Growth, Yield, and Methane Emission Dynamics in Rice Cultivars with Different Maturity Ecotypes: A Field Study in Anseong, Gyeonggi-do

Hui-Ju Maeng[1], and Hyun-Hwoi Ku[1,2]*
[1]Department of Plant Resources and Landscape Architecture, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea
[2]Soil Environment Research Institute, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea

Transplanting date and transplanting density are major agronomic factors affecting rice yield and methane (CH_4) emissions from paddy fields. This study evaluated cultivar-specific compensatory growth and CH_4 emission responses to reduced transplanting density at a June 23 transplanting date, which showed the lowest greenhouse gas intensity (GHGI) in a previous transplanting-date experiment conducted in Anseong, Gyeonggi Province, Republic of Korea. Two rice cultivars, Koshihikari and Chamdream, were transplanted at four spacings of 12 × 30, 15 × 30, 20 × 30, and 30 × 30 cm, and rice growth, yield, and CH_4 emissions were evaluated. Compensatory responses of grain weight per hill were quantified using a power-law function, whereas the temporal dynamics of aboveground biomass accumulation and cumulative CH_4 emissions were analyzed using a logistic function. As planting density decreased, tiller number, aboveground biomass, and grain weight per hill increased in both cultivars. The absolute value of the power-law exponent for grain weight per hill was greater in Chamdream (1.099) than in Koshihikari (0.504), indicating a stronger compensatory response in Chamdream. Accordingly, grain yield of Koshihikari decreased from 8.8 to 5.0 Mg ha^{-1} as planting density decreased, whereas that of Chamdream remained within a range of 7.5-8.7 Mg ha^{-1}. Logistic parameters of cumulative CH_4 emissions varied little with transplanting density in Koshihikari. In contrast, in Chamdream, the timing of the maximum CH_4 emission rate (t_0) was delayed from 64.5 to 69.5 days after transplanting as planting density decreased, while the rate constant (k) decreased from 0.070 to 0.059. The estimated asymptotic cumulative CH_4 emission (L) was also estimated to be lower at spacings of 20 × 30 and 30 × 30 cm, at 224.3 and 251.4 kg CH_4 ha^{-1}, respectively, compared with 302.7 kg CH_4 ha^{-1} at 12 × 30 cm. These results indicate that, under low-density conditions, the seasonal center of CH_4 emissions in Chamdream shifted toward a later growth stage and cumulative emissions increased more gradually. However, the main effect of planting density on the observed seasonal cumulative CH_4 emissions was not statistically significant. As a result, GHGI increased in Koshihikari under low-density conditions because grain yield declined while CH_4 emissions remained relatively unchanged. In contrast, Chamdream maintained grain yield at lower transplanting densities and tended to show lower CH_4 emissions at medium-to-low densities, resulting in lower GHGI. A significant cultivar × planting density interaction was therefore observed for GHGI. Based on a quadratic regression model, the transplanting density associated with the minimum predicted GHGI in Chamdream was estimated at 13.2 hills m^{-2}. Overall, the agronomic and environmental responses to reduced transplanting density were cultivar dependent. Stronger hill-level compensation in Chamdream maintained grain yield at lower densities and was associated with lower GHGI, whereas insufficient compensation in Koshihikari resulted in yield loss and increased GHGI. These findings suggest that transplanting density for low-carbon rice production should be optimized by considering not only the locally appropriate transplanting date but also cultivar-specific compensatory growth capacity and CH_4 emission dynamics.

Keywords: rice paddy; transplanting density; sparse planting; compensatory growth; methane emission; greenhouse gas intensity
Correspondence: seanku@hknu.ac.kr (010-7355-3751)

PB–105

Effects of Biochar Application on Extracellular Enzyme Activities and Microbial Community Structure in the Soybean Rhizosphere

Sihoon Song[1,2], Hae-In Lee[2], and Kyungmin Kim[1,2]*
[1]College of agriculture and life sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea
[2]Soil Environmental Science and Ecology Lab, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea

Biochar is widely used as a soil amendment to improve soil physical properties and enhance carbon storage. However, biochar-induced changes in the soil environment may also affect microbial enzyme activities and community composition. This study evaluated the effects of biochar derived from different feedstocks on soil extracellular enzyme activities and microbial community structure in the soybean rhizosphere. Soybeans (*Glycine max L.*) were cultivated in rhizoboxes (16×12×3 cm^3) for 9 weeks, wood biochar and poultry biochar were applied to the soil. Each biochar was mixed with the soil at 3% or 6%(w/w), or surface-applied at 3%(w/w). β-Glucosidase (BG), N-acetyl-β-D-glucosaminidase (NAG), and phosphatase (PHO) were used as indicators of carbon, nitrogen, and phosphorus acquiring enzyme activities. Overall soil enzyme activities were quantified using enzyme assays, whereas enzyme activities in the rhizosphere were measured and visualized using time-lapse zymography (TLZ). Rhizosphere microbial communities were analyzed using next-generation sequencing. Alpha diversity was assessed using the Shannon diversity index, while community composition among treatments was compared using non-metric multidimensional scaling (NMDS) and PERMANOVA. Relationships between microbial community structure, soil properties, and enzyme activities were evaluated using environmental vector fitting. Poultry biochar treatments had higher total dissolved nitrogen (TDN) and available P than wood biochar treatments, indicating feedstock-dependent differences in soil nutrient characteristics. Based on these treatment-related differences, the relationships between enzyme activities and TDN were examined. TDN was significantly and negatively related to soil NAG activity (R^2=0.17), suggesting that greater dissolved N availability alleviated microbial N demand and reduced investment in N-acquiring enzyme production. In contrast, rhizosphere PHO increased with increasing TDN (R^2=0.15). These responses indicate that greater N availability may reduce N-acquiring enzyme activity at the whole-soil level while strengthening relative P-acquisition responses around roots. The Shannon diversity index did not differ significantly among treatments. However, PERMANOVA showed that both bacterial (R^2=0.117, F=1.46, P=0.002) and fungal (R^2=0.113, F=1.407, P=0.019) community compositions differed significantly among biochar treatments. Bacterial community structure was significantly associated with available P, NO_3^--N, total N, and TDN, whereas fungal community structure was significantly associated with TDN and PHO activity. These results suggest that biochar treatment had a greater effect on microbial community composition than on overall microbial diversity. In particular, both fungal community composition and rhizosphere PHO activity were significantly associated with TDN, suggesting that nitrogen availability may be a key environmental factor related to both responses.

Correspondence: km_kim@snu.ac.kr (02-880-4646)

PB-106

UV Weathered Biodegradable Mulch Film-Derived Microplastic Altered Plant Stress and Rhizosphere Structure and Function

Juwon Yoo[1], Hakwon Yoon[1,2]*, and Sohyun An[1]
[1]Department of Food Biotechnology and Environmental Science, Kangwon National University
[2]Department of Biological and Environmental Chemistry, Kangwon National University

Biodegradable mulch films (BDMs) are alternatives to conventional polyethylene mulches, but biodegradability describes their eventual fate rather than the effects of residues formed before complete mineralization. We investigated how prior UVC weathering altered polylactic acid/polybutylene adipate-co-terephthalate (PLA/PBAT) BDM-derived microplastics (BDM-MPs) and their effects on chili pepper (*Capsicum annuum* L.), soil, and rhizosphere microorganisms. PLA/PBAT films were non-weathered or weathered for 28 days, cryogenically milled, and incorporated into soil at 0.05% and 0.1% (w/w). Material, plant, soil, and microbial endpoints were assessed after 56 days. Weathering roughened and oxidized the surface, reduced thermal stability, and increased fragmentation susceptibility. Mean particle size decreased from 131.14 to 70.55 μm, and the surface O/C ratio increased from 0.11 to 0.24. All BDM-MP treatments reduced shoot fresh weight by 13.5-23.5% relative to the control, with the lowest value in the weathered 0.1% treatment. Prior weathering did not consistently intensify growth inhibition but differentiated PSII and oxidative stress. At 0.1%, F_v/F_m decreased from 0.67 in the non-weathered treatment to 0.48 in the weathered treatment, while DI_0/RC increased from 0.97 to 2.10. The weathered 0.1% treatment increased malondialdehyde content and peroxidase and superoxide dismutase activities by 137%, 108%, and 72%, respectively, whereas catalase was unaffected. Weathered treatments showed lower soil available P and root P and marked reductions in stem and root Mn. Rhizosphere bacterial alpha diversity remained stable, whereas community composition differed significantly among treatments while dispersion remained homogeneous. Terephthalate-related predictions were most prominent in the weathered 0.1% treatment, where the *tphA2*-associated function was significantly higher than in the corresponding non-weathered treatment. At day 28, O_2 consumption was numerically higher in weathered than non-weathered soil (701 versus 473 mg O_2 100 g^{-1}), although the overall effect was nonsignificant. EcoPlate AWCD developed more slowly in weathered treatments but largely converged by day 10, indicating altered substrate-use kinetics rather than persistently lower carbon-use potential. Cross-domain analyses linked lower plant growth with oxidative stress and lower P and Mn status. Genus-level Mantel tests identified *Ramlibacter* and *Cupriavidus* as recurrently associated with soil chemistry, plant nutrient status, and microbial functional variation. Overall, weathering established a distinct exposure state that selectively altered plant and rhizosphere. These findings indicate that BDM residues should not be assumed environmentally benign solely because of their biodegradability. Therefore, weathering history and resulting particle properties should be incorporated into ecological assessments of biodegradable plastic residues across the soil-plant-microbe continuum.

Correspondence: hwyoon@kangwon.ac.kr (033-250-6445)

PB–107

Fate of Surplus Fertilizer Nitrogen in Wheat: Linking a Pot Dose-Response with a Controlled Soil Incubation

Chang-Dong Lee[1], and Jeong-Gu Lee[1,2]*
[1]Department of Applied Biosciences, Kyungpook National University
[2]2School of Applied Life Science, College of Agriculture and Life Sciences, Kyungpook National University

Purposes: Improving nitrogen-use efficiency (NUE) in wheat (Triticum aestivum L.) depends not only on how much fertilizer nitrogen the crop takes up but on the fate of the surplus that the crop does not use, which may remain as soil mineral nitrogen, be immobilized by soil microorganisms, or be lost. This study characterized where and how surplus fertilizer nitrogen is retained versus lost by pairing a wheat pot dose-response experiment with a controlled soil incubation, and examined whether soil management modifies this partitioning.

Methods: In the pot experiment, wheat seedlings were grown under six treatments - an unfertilized control; soil urea at 91, 137, 182, and 273 kg N ha^{-1} (one to three times a standard rate); and a foliar nitrogen treatment - with three replicates each, and soil pH, moisture, ammonium (NH_4^+-N), nitrate (NO_3^--N), total carbon and nitrogen, and microbial biomass carbon and nitrogen were measured through the seedling period. In a parallel incubation, managed field soils differing in nitrogen-fertilization and silicate history were amended with urea and incubated under controlled temperature and moisture; inorganic nitrogen, microbial biomass (chloroform-fumigation extraction), and total nitrogen were followed over time, with nitrous-oxide screening and a total-nitrogen balance. Treatment effects were tested by analysis of variance with Tukey's HSD, and time-course dynamics by linear mixed models.

Results: In the pot experiment, wheat-seedling biomass peaked at the standard rate (91 kg N ha^{-1}), with no further increase at higher rates, so the surplus nitrogen was not converted into biomass. Instead it accumulated in the soil: ammonium rose from about 64 mg kg^{-1} in the unfertilized control to roughly 300-590 mg kg^{-1} at the higher urea rates in the early-to-mid seedling stage, nitrate persisted as residual nitrogen at the highest rate (about 59 versus 3 mg kg^{-1} in the control later in the seedling period), and soil pH rose with urea rate (from about 5.4 to 7.2), whereas microbial biomass carbon was highest at moderate rather than excess rates. In the incubation, the added urea nitrogen was rapidly hydrolysed to ammonium and then declined through nitrification, so that, as in the pot experiment, inorganic nitrogen occurred in a transient rather than a persistent form, and the magnitude and timing of this transient pulse varied with the soil's previous nitrogen-fertilization and silicate-application history.

Conclusions: Beyond the point at which wheat growth saturates, surplus fertilizer nitrogen is not converted into biomass but instead cycles through the soil inorganic-nitrogen pool - a transient ammonium pulse followed by residual nitrate - with microbial biomass responding mainly at moderate rather than excess rates. The soil incubation showed the same transient behaviour of added nitrogen, broadly reflecting each soil's nitrogen-fertilization and silicate history. Characterizing this partitioning provides a mechanistic basis for matching urea supply to crop demand and for managing nitrogen retention in wheat cropping systems.

Correspondence: jeonggu@knu.ac.kr (010-6855-1839)

PB-108

농경지 토양에서 카드뮴 전함량 기준의 한계와 유효태 분석법의 식물 흡수 예측 적합성 평가

Limitations of Total Cadmium Concentration Criteria and Evaluation of Phytoavailable Extraction Methods for Predicting Plant Cadmium Uptake in Agricultural Soils

이현민[1], 이남희[3], 백태희[2], 박진환[1], 최연정[1], 안수창[1], 이미나[4], 김권래[1]*
Hyunmin Lee[1], Namhi Yi[3], Taehee Baek[2], Jinhwan Park[1], Yeonjeong Choe[1], Suchang An[1], Mina Lee[4], and Kwon-Rae Kim[1]*
[1]경상국립대학교 스마트농산업학과, [2]경상국립대학교 농업생명과학연구원, [3]경상국립대학교 생명자원과학과, [4]경상국립대학교 농식품바이오융복합연구원
[1]Gyeongsang National University Smart Agro-industry
[2]Gyeongsang National University Institute of Agricultural and Life Science
[3]Gyeongsang National University GreenBio Science
[4]Gyeongsang National University Agri-Food Bio Convergence Institute

국내 농경지의 카드뮴 관리는「토양환경보전법」에 따른 토양 내 카드뮴 전함량을 기준으로 이루어지고 있다. 그러나 카드뮴 전함량은 토양 내 카드뮴의 총 존재량을 반영할 뿐 실제 작물이 흡수할 수 있는 식물유효도를 반영하지 못하여 농산물의 안전성을 평가하는 데 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 현행 카드뮴 전함량 기준의 적절성을 평가하고, 유효태 분석법의 식물 흡수 예측 적합성을 비교하여 농경지 카드뮴 관리에 적합한 유효태 분석법을 제시하고자 하였다. 이를 위해 카드뮴 오염 및 비오염 농경지 토양 45점을 선정하고, 무처리구와 Red mud 및 인산석고 처리구를 조성하여 총 90개의 포트를 구축하였다. 재배시험은 동일 포트에서 벼를 담수 조건으로 재배한 후 대두를 비담수 조건에서 재배하였다. 이후 토양의 카드뮴 전함량과 유효태(Mehlich-3 및 1 M NH4NO3)함량을 분석하여 식물체 카드뮴 함량과의 상관성을 평가하였으며, 토양카드뮴 오염우려기준(4.0 mg kg-1)과 벼·대두의 카드뮴 허용기준(0.2 mg kg-1) 간의 정합성을 분석하여 전함량 기준의 실효성을 평가하였다. 정합성 분석 결과, 논 토양에서는 카드뮴 전함량 기준을 초과하더라도 농산물 허용기준을 만족하는 과대평가 사례가 38.0%, 밭 토양에서는 카드뮴 전함량 기준 이하에서도 허용기준을 초과하는 과소평가 사례가 25.4%로 나타났다. 또한 카드뮴 전함량은 식물체 카드뮴 함량과의 상관성이 낮아 실제 작물의 카드뮴 흡수를 충분히 설명하지 못하였다. 반면 유효태 분석법은 카드뮴 전함량보다 높은 예측력을 보였으며, 1 M NH4NO3는 가장 높은 예측력을 나타냈으나 낮은 추출농도로 인해 고감도 분석장비가 요구되는 한계가 있었다. Mehlich-3는 분석 효율성과 현장 적용성이 우수하여 농경지 카드뮴 관리를 위한 가장 실용적인 유효태 분석법으로 확인되었다. 따라서 농경지 카드뮴 관리는 전함량 중심의 관리 체계에서 벗어나 식물유효도를 반영하는 유효태 분석법을 함께 활용할 필요가 있다.

주제어: 카드뮴, 전함량, 유효태 분석법, 식물유효도, 농경지 관리
주연구자 연락처: kimkr419@gnu.ac.kr (010-7120-9188)

PB-109

Long-Term Changes in Soil Physical Properties under Different Agricultural Land-Use Types in Gyeonggi Province, Korea

Jin Ju Lee, Ji Won Yang, Min Hui KIM, Gyu Ri KIM, Jae Hee Shin, and Goontaek Lee*
Seoul National University

This study evaluated long-term changes in the physical properties of agricultural soils in Gyeonggi Province according to land-use type and proposed directions for future soil management. The investigated agricultural lands were classified as paddy fields, upland fields, orchards, and greenhouse-cultivated fields. From 2009 to 2025, topsoil and subsoil samples were collected from 22-45 sites in each survey year. Plow-layer depth, bulk density, porosity, Yamanaka-type soil hardness, and soil organic matter content were evaluated. Data from the most recent survey year were additionally classified according to whether the subsoil clay content was below or above 18%.

In paddy soils, topsoil bulk density and porosity ranged from 1.23 to 1.27 Mg m^{-3} and from 52.0 to 53.4%, respectively, showing relatively small variations among survey periods. In contrast, subsoil bulk density decreased from 1.52-1.53 Mg m^{-3} in 2011-2015 to 1.49 Mg m^{-3} in 2019-2023, whereas subsoil porosity increased from 42.4-42.6% to 43.8-43.9%. In upland soils, plow-layer depth increased from 12.9 cm in 2009 to 19.6 cm in 2025, while topsoil bulk density decreased from 1.43 Mg m^{-3} in 2013 to 1.28 Mg m^{-3} in 2025. During the same period, subsoil bulk density decreased from 1.56 to 1.41 Mg m^{-3}, and porosity increased from 41.2 to 46.7%, indicating an overall improvement in soil physical conditions. However, topsoil organic matter content decreased to 18.7 g kg^{-1} in 2025. In orchard soils, plow-layer depth increased from 12.1 cm in 2010 to 16.4 cm in 2022, and subsoil bulk density decreased from 1.50 Mg m^{-3} in 2018 to 1.41 Mg m^{-3} in 2022. Nevertheless, subsoil organic matter content in 2022 was 9.9 g kg^{-1}, which remained lower than the 2010 value of 15.6 g kg^{-1}. Greenhouse-cultivated soils exhibited the highest topsoil organic matter content, reaching 38.7 g kg^{-1} in 2024, and a relatively low topsoil bulk density of 1.22 Mg m^{-3}. In contrast, subsoil bulk density increased from 1.32 Mg m^{-3} in 2016-2020 to 1.39 Mg m^{-3} in 2024, while subsoil porosity decreased from 50.1 to 47.4%.

Overall, the physical properties of agricultural soils in Gyeonggi Province exhibited distinct long-term changes depending on land-use type. Paddy and upland soils showed recent improvements in subsoil structure, whereas continuous management of soil organic matter is required in upland and orchard soils. Although greenhouse-cultivated soils maintained favorable topsoil conditions, the increased risk of subsoil compaction indicates the need for appropriate subsoil management practices, including deep tillage, organic matter application, and improved drainage. These findings provide fundamental information for diagnosing long-term changes in agricultural soil physical properties and developing land-use-specific soil management strategies.

Correspondence: gtlee@snu.ac.kr (010-5401-8603)

PB–110

Effects of Different Biochar Types on Ameliorating Soil Salinity and Mitigating Greenhouse Gas Emissions in a Bok Choy Pot Experiment

Han hui Jo[1], Han Woong Lee[1], Yeong Jun Shin[1], Sohee Yoon[2], and Sang Yoon Kim[1,2]*
[1]Department of Agricultural Life Science, Sunchon National University, Suncheon 57922, Korea
[2]Department of Agricultural Chemistry & Interdisciplinary Program in IT-Bio Convergence System, Sunchon National University, Suncheon 57922, Korea

Intensive farming systems, including greenhouse cultivation, often lead to severe soil salinization and increased greenhouse gas (GHG) emissions. Applying biochar to salt-affected soils has emerged as a promising way for soil restoration and climate change mitigation; however, its efficacy largely depends on the biochar type and its physicochemical properties as affected by feedstock selection and pyrolysis process. In this study, a pot experiment was conducted with bok choy (*Brassica rapa* subsp. *chinensis*) as a fast-growing crop subjected to multiple cropping cycles per year (5-6 cycles) with high fertilizer inputs and sensitivity to the salinity. We evaluated the effects of different biochar types (pepper residue biochar: PR, rice husk biochar: R, palm shell biochar: PS, and oak wood biochar: O) including control (no biochar amendment) on soil salinity remediation based on electrical conductivity measurement, GHG emissions (CO_2, N_2O, and CH_4), crop productivity and greenhouse gas intensity (GHGI) during the cultivation. Our results showed that biochar applications in particular PS and O reduced soil salinity by improving plant growth and physical properties compared to the control, possibly facilitating nutrient uptake and salt leaching, respectively. Concurrently, biochar amendments (particularly the O treatment) did not significantly increase cumulative GHG emissions, primarily due to the suppression of N_2O fluxes, while enhancing overall crop productivity and nutrient uptake, thereby resulting in the lowest GHGI. Furthermore, a strong negative correlation was observed between soil EC and crop productivity, indicating that biochar not only directly alleviates salt stress to promote crop development, but also indirectly reduces soil EC through enhanced plant nutrient uptake. Overall, these findings highlight that oak wood biochar is an effective management practice for restoring salinized soils and maintaining productivity without stimulating GHG emissions in intensive greenhouse farming systems. Nevertheless, investigating the long-term sustainability of biochar application requires further validation over successive cultivation cycles of bok choy based on annual cropping period.

Correspondence: sykim@scnu.ac.kr (061-750-5189)
#The authors (Han hui Jo, Han Woong Lee and Yeong Jun Shin) contributed equally to this study

PC-001

Estimating Soil Organic Carbon Stocks and Andic Properties in Natural Grassland on Mt. Halla Using Diffuse Reflectance Mid-Infrared Fourier Transform Spectroscopy

Jeong Chan Lee, and Kyungjin Min*
Seoul National University

Grasslands store approximately 517 Pg C in the upper 3 m of soil worldwide, accounting for nearly 22% of global soil organic carbon (SOC). However, global estimates provide limited information on country-specific SOC stocks because SOC storage varies among ecosystems and soil types. Accurate national estimates therefore require both SOC quantification and information on soil classification, yet the conventional analyses needed for these purposes are time-consuming and expensive. This study investigated SOC stocks in a natural grassland on Mt. Halla, Jeju Island, South Korea, and evaluated the potential of diffuse reflectance Fourier transform mid-infrared (DRIFT-MIR) spectroscopy as a rapid method for estimating SOC and Andic properties. Because the study soils were derived from volcanic materials, we measured SOC content, bulk density, pH, ammonium oxalate-extractable aluminum (Al_o) and iron (Fe_o), and phosphorus retention. We then developed partial least squares regression models to predict these properties from the DRIFT-MIR spectra. The SOC stock in the 0-30 cm soil layer was 135 Mg C ha^{-1}. The DRIFT-MIR models accurately predicted SOC content ($RMSE_{test}$ = 13.985 g kg^{-1}, RPD_{test} = 5.29, and $RPIQ_{test}$ = 9.28) and Al_o ($RMSE_{test}$ = 0.248 wt%, RPD_{test} = 3.47, and $RPIQ_{test}$ = 5.97). The models showed moderate predictive performance for Fe_o and phosphorus retention but lower performance for pH and bulk density. These results indicate that the SOC stock of the Mt. Halla natural grassland falls within the range reported for other grasslands and that DRIFT-MIR spectroscopy can provide a rapid and promising approach for estimating SOC and Andic properties.

Correspondence: kjmin@snu.ac.kr (010-9666-8239)

PC-002

A Novel Wet Oxidation for Simultaneous Measurement of Soil Total Carbon and Nitrogen via Radical-Mediated Decomposition of Organic Matter

Pros Khok[1]*, Eunjin Lee[2], Khoungyoung Kim[2], and Gwang Hyun Han[1]
[1]Department of Environmental & Biological Chemistry, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea
[2]1Department of Soil and Fertilizer, National Institute of Agriculture Science, RDA, Jeonbuk 54875, Korea

Alkaline persulfate oxidation methods are widely used for the simultaneous determination of carbon (C) and nitrogen (N) in soil extracts and particulate matter. However, no study has applied this approach to air-dried soils or employed alizarin yellow R (AYR) to determine CO_2 released during soil oxidation. We developed a new persulfate digestion method in which CO_2 released from soil digestion is trapped in an indicator solution inside a sealed serum vial, while the digest is analyzed for total nitrogen (TN). Sodium persulfate and sodium hydroxide served as oxidants, while a mixture of AYR and potassium carbonate was used as the indicator solution. In alkaline solution, AYR exhibited a bathochromic shift from red to yellow as the pH decreased from 12.0 to 10.0 due to CO_2 absorption, with a decrease in absorbance at 490 nm and a corresponding increase at 375 nm. Although absorbance changes at a single wavelength were nonlinear, applying the Henderson-Hasselbalch equation to the absorbance ratio (A375/A490) produced a linear calibration curve ($R^2 > 0.99$), enabling accurate determination of soil organic carbon (SOC). In addition, TN, determined by the salicylic acid nitration method, also showed excellent linearity ($R^2 > 0.99$). These results indicate the reliability of the methods, which can be used to determine SOC and TN contents in single soil digest. For safe and precise analysis, all digestion conditions were optimized. The optimal conditions for determining SOC and TN in a 0.1 g air-dried soil sample were a total digestion volume of 6 mL, comprising 5 mL of an oxidant solution (0.4 M sodium persulfate in 0.6 M sodium hydroxide) and 1 mL of an indicator solution (15 mL of 0.1% AYR in 1.0 M potassium carbonate), followed by digestion at 110°C for 60 min. Under these conditions, our method can measure up to 8% C and 0.8% N, respectively. The reliability of the method is based on well-fitted calibration curves, high precisions, low detection limits, and strong concordance between our results and those obtained with an elemental analyzer. To determine SOC and TN in air-dried soil samples, our proposed method is simpler, faster, and cost-effective alternative compared to conventional methods.

Keywords: Air-dried soils, Alizarin yellow R, Salicylic acid, Sodium persulfate, Soil organic carbon
Correspondence: hangh@cbnu.ac.kr

PC-003

NIR 및 LIBS를 활용한 농경지 토양 화학성의 신속 평가 가능성

Potential of Near-Infrared Spectroscopy and Laser-Induced Breakdown Spectroscopy for Rapid Assessment of Chemical Properties in Agricultural Soils

김다은, 이태한, 원상빈, 김혁수*
Daeun Kim, Taehan Lee, Sangbin Won, and Hyucksoo Kim*
강원대학교
Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

토양 화학성 분석은 토양의 양분 상태를 진단하고 적절한 토양 관리를 위해 필수적이지만, 토양 분석 과정 동안 많은 시간과 인력이 소요된다. 이로 인해 최근 현장에서 토양을 신속하게 분석할 수 있는 방안이 지속적으로 요구되고 있다. 본 연구에서는 현장에서 토양 화학성을 분석할 수 있는 장비로 NIR (Near infrared spectroscopy)과 LIBS (Laser induced breakdown spectroscopy)를 선정하였으며, 강원지역 농경지에서 채취한 토양 시료 중 NIR 분석에는 40점, LIBS 분석에는 20점을 이용하였다. NIR을 통해서는 토양의 전반적인 화학성을 분석하고, LIBS를 이용하여 탄소(C) 및 미량원소(Cu, Fe, Mn 및 Zn)를 분석하였다. 각 기기의 측정값은 실험실에서 분석한 결과와 비교하여 현장 장비의 신속 분석 가능성을 검토하였다. NIR 스펙트럼의 복잡한 파장 정보를 소수의 주성분(Principal component, PC)으로 요약하기 위해 주성분분석을 실시하였다. 또한 토양의 입도와 시료 표면 상태 등에 따른 빛의 산란 영향을 줄이기 위해 표준정규변량(Standard normal variate, SNV) 보정을 적용한 후, 각 파장과 실험실 토양 화학성 분석값 간의 상관관계를 분석하였다. 주성분분석 결과, PC1과 PC2가 전체 NIR 스펙트럼 변이의 92.7%를 차지하였다. 이 중 PC1은 토양 화학성 항목 가운데 교환성 K(ρ=0.56)이 가장 높은 양의 상관관계를 보였다. SNV 보정 후 실시한 파장별 상관분석에서는 특정 파장이 유효인산($|\rho|$=0.75)이 가장 높은 상관관계를 나타냈다. LIBS 분석 결과, 탄소 측정값은 토양 유기물 함량과 높은 상관관계를 나타냈으며(R^2=0.83), Mn 측정값도 Mehlich III 추출 Mn 함량과 비교적 높은 선형관계를 보였다(R^2=0.71). 반면 Cu, Fe 및 Zn은 LIBS 측정값과 Mehlich III 추출 함량 간에 뚜렷한 관계가 나타나지 않았다. 결과적으로 NIR와 LIBS는 토양의 화학성을 신속하게 진단하는 현장 분석기술로 활용 가능성이 보였으나, 본 연구는 건조한 토양을 실내에서 측정한 결과이므로 향후 분석 대상 토양과 화학성 항목을 확대하고 수분 및 입도 영향을 고려한 현장 토양 검증과 분석 프로토콜 개발이 필요하다.

주제어: 근적외선 분광법, 레이저 유도 붕괴 분광법, 토양 화학성, 현장 분석, 신속 분석
주연구자 연락처: kimhs25@kangwon.ac.kr (033-250-6442)

PC-004

토양 황(S) 추출 및 분획 토양 내 유효 황(S) 분석을 위한 신규 분광학적 정량 모델 개발 및 필드 검증

Development of Soil Sulfur (S) Extraction and Fractionation Techniques and Spectroscopic Models for Quantifying Plant-Available Sulfur (S)

이신희[1], 김경영[1,2], Khok Pros[1], 이예훈[1], 한광현[1]*
Shin hee Lee[1], Kyoung young Kim[1,2], Pros Khok[1], Yehun Lee[1], and Gwang hyun Han[1]*
[1]충북대학교, [2]농촌진흥청
[1]Department of Environmental & Biological Chemistry, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea
[2]Department of Soil and Fertilizer, National Institute of Agriculture Science, RDA, Jeonbuk 54875, Korea

황(S)은 작물의 생장과 기능에 필수적인 다량 양분으로 질소, 인, 칼륨에 이어 네 번째로 중요한 원소이며 특히 작물의 효소 시스테인, 메티오닌과 같은 주요 아미노산의 기본 구성 요소로 단백질 합성, 광합성 효율 증대 및 병해충 예방에 직간접적으로 관여되어 작물의 품질 및 수확량 결정에 핵심 역할을 하며, 작물 생육, 질소 효율 증대 및 토양 pH에 영향을 미치는 2차 양분으로 작물이 흡수 할 수 있다. 본 연구에서 추출액들 DW, NH4NO3, MCP 중 무기태 및 유기태 황의 분별 정량 이용 가능한 유효 황 함량의 정량에 대한 모델을 개발코자 수행하였다.

비료 3요소 N,P,K 및 바이오차 처리 시설 토양 및 노지토양을 증류수, NH_4NO_3, MCP 추출액으로 추출하여 토양중 무기태 및 유기태 황을 정량하여 식물체에 이용 가능한 토양 중 황 함량을 측정하여 추출액의 관련성을 분석하였다.

염류가 축적된 시설 재배지와 노지간 황 동태에 차이가 컸고 바이오차 처리에 의해 유무기태 황의 농도가 상승하는 경향으로 황 농도를 비교적 정확한 측정이 가능하였다.

염류가 축적된 시설 재배지와 노지간 황 동태의 차이가 컸고, 바이오차 처리에 의해 유무기태 황의 농도가 상승하는 경향으로 볼 때 증류수로도 무기태 황을 비교적 정밀하게 측정하는 것이 가능하였지만 토양 유무기태 황 분획과 다양한 추출액 또는 토양의 황 분석을 위한 $BaSO_4$ 결정에 흡착 가능한 dye를 이용한 새로운 분광분석법 적용이 필요할 것으로 사려 된다.

주연구자 연락처: hangh@cbnu.ac.kr (010-5706-8007)

PC-005

농업 전문 데이터의 생성형 AI 활용을 위한 증거·승인 게이트 기반 참조 아키텍처 개발 및 검증: 작물·시비작업 표준화 사례

Development and Validation of an Evidence- and Approval-Gated Reference Architecture for Generative AI Use of Agricultural Domain Data: A Case Study on Crop and Fertilization Activity Standardization

오부영[1]*, 양예린[1], 이병모[1], 엽소진[1], 최순군[2]
Buyeong Oh[1]*, Yerin Yang[1], Byeong-Mo Lee[1], So-Jin Yeob[1], and Soon-Kun Choi[2]
[1]국립농업과학원 기후변화대응과, [2]농촌진흥청 농업지능데이터팀
[1]National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365,Korea
[2]Agricultural Intelligence Data Team, RDA, Jeonju 54875, Korea

농업 분야에는 작물 재배력, 영농활동 분류, 영농일지 등 기관별로 축적된 전문 데이터가 있으나, 코드체계와 용어, 시간축 표현이 서로 달라 생성형 AI가 그대로 활용하기 어렵다. 특히 AI가 추출한 후보 정보가 사람의 확인 없이 공식 기록이나 영농 권고로 전환되면 출처 추적이 끊기고 승인되지 않은 값이 사실처럼 굳어질 수 있다. 본 연구는 농업 전문 데이터를 생성형 AI 기반 영농의사결정 시스템에 연결할 때 후보 생성, 표준 매핑, 근거 검증, 사람의 승인, 공식 기록 전환을 단계적으로 분리하는 참조 아키텍처를 설계하고 그 구조적·기능적 유효성을 검증하고자 하였다.

대상 자료는 16개 작목의 영농활동 분류 자료(84행)와 디지털 영농일지 재배정보 분석자료(1,121행)이며, 원본을 수정하지 않고 읽기 전용으로 프로파일링하였다. 내부 표준 체계로 작물 20종, 농작업 12종, 생육단계 9종을 구성하고 외부 코드와 내부 표준 식별자를 분리하여 출처와 불확실성을 함께 보존하였다. 검증은 세 단계로 진행하였다. 1단계에서는 자연어 발화에서 추출한 정보를 후보로 저장하고 사용자가 확인·수정·거절한 항목만 확정 기록과 영농일지로 전환하도록 하였다. 2단계에서는 외부 자료의 매핑 후보를 생성하되 연구책임자가 승인한 항목만 공식 매핑 등록부에 등재하도록 하였다. 3단계에서는 승인된 매핑과 일정 근거를 이용하여 일반 작기와 월동 작기의 시간축을 표현하고, 근거가 불충분하면 후보를 생성하지 않고 미준비 상태로 유지하도록 하였다.

매핑 결과, 외부 자료의 시비 관련 표현인 기비·분얼비·수비와 추비 1·2차는 모두 표준 항목인 시비 작업으로 연결되어, 작목과 생육시기에 따라 다르게 기재되던 시비 기록을 하나의 표준 용어로 통합할 수 있었다. 작목명 배추는 수정 결정을 거쳐 표준 작물 항목으로 등재된 반면, 쌀과 건고추는 작물과 산물 형태를 공식적으로 동일시하지 않기 위해 보류로 기록되었다. 대표 작물로는 일반 단년 작기의 벼, 연도를 넘기는 월동 작기의 양파, 생육단계와 작업 구조가 복잡한 고추를 승인하였다. 자동 생성된 매핑 후보는 128건, 표준 항목 연결 후보는 127건이었으나 이 가운데 공식 승인은 3건, 공식 보류는 2건으로, AI가 제시한 후보와 사람이 승인한 공식 매핑이 분리되어 관리됨을 확인하였다.

상태 전이 검증에서는 21개의 차단 시나리오를 적용하였다. 시비와 같은 농작업을 출수기 등 생육단계와 동일한 축으로 취급하려는 입력은 두 항목이 서로 다른 체계임을 근거로 차단되었다. 양파와 같이 해를 넘기는 작기에서 재배 연도와 일정 연도가 어긋난 입력, 시작일이 종료일보다 늦은 역전된 기간, 실재하지 않는 날짜는 모두 차단되었다. 일수 기준과 적산온도 기준, 명시된 날짜를 하나의 근거처럼 혼합한 입력도 차단되었으며, 적산온도 산정에 필요한 기준값이 없을 때에는 임의의 값을 생성하지 않고 미준비 상태로 처리하였다. 또한 동일한 근거가 반복 제시되어도 신뢰도가 높아지지 않도록 하였고 이상값을 근거 없이 자동 보정하지 않도록 하였다.

이러한 규칙은 단계별 자동시험 44건, 168건, 96건으로 검증하였으며, 승인된 기준선을 독립적으로 두 차례 재실행하였을 때 논리 산출물이 동일하게 재현되고 개인정보 노출은 확인되지 않았다. 본 연구는 농업 전문 데이터를 생성형 AI에 단순히 연결하는 대신, 근거가 확인되고 사람이 승인한 정보만 공식 기록으로 전환되도록 하는 개발·검증 절차를 제시하였다는 점에 의의가 있다. 다만 본 결과는 참조 아키텍처의 구조적·기능적 검증에 한정되며, 실제 영농 일정의 농학적 정확성, 적산온도 기준값의 타당성, 16개 작목 전체로의 확장 및 농업인 대상 현장 유효성은 후속 평가가 필요하다.

사사: 본 연구는 농촌진흥청 농업과학기술 연구개발사업(과제번호 PJ01768901)의 지원에 의해 수행된 연구입니다.

주제어: 농업 데이터 표준화, 생성형 AI, 참조 아키텍처, Human-in-the-Loop, 영농의사결정
주연구자 연락처: ofyoung@korea.kr (010-2868-5015)

PC-006

기상·토양 가중치 시나리오에 따른 복숭아 재배적지 판정의 공간적 안정성 평가

Assessment of the Spatial Stability of Peach Cultivation Suitability under Climate-Soil Weighting Scenarios

배예진, 윤경담*
Yejin Bae, and Kyungdahm Yun*
전북대학교 스마트팜학과
Department of Smart Farm, Jeonbuk National University

기존의 과수 재배 적지 연구는 기온과 저온위험 등 기상요인을 중심으로 한 평가와 유효토심, 배수 및 경사도 등 토양요인을 중심으로 한 평가가 각각 수행되어 왔다. 그러나 두 조건을 하나의 공간평가 체계로 통합한 연구는 상대적으로 부족하여, 단일 요인 기반 지도만으로는 실제 재배 가능성을 종합적으로 판단하는 데 한계가 있다. 기상 및 토양요인을 선형보간법으로 연속 점수화하고 각각의 적지지도를 구축하였다. 이후 두 자료의 공통 유효영역을 추출하고, 기상:토양 가중치를 1:9부터 9:1까지 변화시킨 시나리오별 복숭아 재배 적지지도를 작성하였다. 이를 바탕으로 각 지역의 적지 판정 빈도를 산출하여, 가중치 변화에도 적지 판정이 유지되는 공간적 안정성을 평가하고 안정적인 핵심 적지를 제시하고자 하였다.

전북 행정구역 경계를 기준으로 연구지역 마스크를 생성하고, 기상 및 토양자료의 좌표계와 공간범위를 일치시켜 30 m 해상도 래스터로 구축하였다. 복숭아 기상 적합도 평가에는 연평균기온, 생육기(4~10월) 평균기온, 겨울철 극최저기온을 이용하였으며, 0~100점으로 환산하고 기준점 사이는 선형보간을 적용하였다. 생육기·연평균기온을 7:3으로 합산한 값과 극최저기온 점수를 5:5로 반영해 기상 종합점수를 산정하였다.

토양 적지평가에는 세부정밀토양도와 토양 속성자료에서 추출한 유효토심, 배수등급, 경사도를 이용하였으며, 각 항목을 단계별로 점수화하고 선형보간을 적용하였다. 유효토심 40%, 배수등급 40%, 경사도 20%의 가중치로 토양 종합점수를 산정한 뒤 래스터로 변환하고 행정구역 외부는 제외하였다. 토양과 기상 기준은 모두 흙토람과 농사로의 기준을 참고해서 연구를 진행하였다.

9개 시나리오 중 적지로 판정된 횟수(0 ~ 9회)를 산출하여 적지 판정 안정도 지도를 작성하였다. 적지 판정 횟수가 많을수록 가중치 변화에 대한 적지 판정의 안정성이 높은 것으로 해석하였다. 9회는 모든 시나리오에서 적지로 유지된 지역, 0회는 모든 시나리오에서 적지로 판정되지 않은 지역을 의미하며, 1 ~ 8회는 판정 횟수에 따라 서로 다른 중간 안정도 수준으로 구분하였다.

기상조건에 따른 복숭아 재배 적지평가 결과, 전체 유효 분석면적 중 재배 적지는 약 95%, 재배 가능지는 약 5%를 나타냈다. 기상조건에 따른 저위생산지는 나타나지 않았다. 기상 종합점수는 평균 97.06점으로 높게 산정되었는데, 이는 전북 대부분 지역의 생육기 및 연평균기온이 설정된 적정 범위에 포함되고, 겨울철 극최저기온도 전 지역에서 -20°C를 초과하여 저온 피해 제한요인으로 작용하지 않았기 때문이다.

토양조건 분석에서는 전체 면적 중 재배 적지가 약 46%, 재배 가능지가 약 40%, 저위생산지가 약14%를 차지하였다. 기상 적지에 비해 토양 적지의 비율이 상대적으로 낮고 공간적 편차도 크게 나타나, 유효토심과 배수등급, 경사도가 복숭아 재배 가능지역을 구분하는 주요 제한요인으로 판단되었다. 특히 동일한 기상 적합성을 갖는 지역에서도 토양 특성에 따라 적지등급이 세분되는 양상이 확인되었다.

9개 시나리오 모두에서 적지로 판정된 핵심 적지는 약 45% 였으며, 5회 이상 판정된 적지는 약82%로 나타났다. 이를 통해 가중치 변화에도 적지 판정이 유지되는 공간적으로 안정적인 지역을 확인하였다.

종합하면 전북은 전반적으로 복숭아 재배에 유리한 기상조건을 갖추고 있으나, 실제 적지의 공간적 분포는 토양조건에 의해 더욱 구체적으로 구분되는 것으로 나타났다. 본 연구의 적지지도는 기후변화에 대응한 신규 재배지 조성, 품종 배치 및 지역별 재배관리 전략 수립을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

주연구자 연락처: kdyun@jbnu.ac.kr (063-270-4852)

PC-007

Evaluation of Long-term Soil Salinity (ECe) Dynamics in Reclaimed Paddy Fields of the Mid-Western Region of Korea

Kyosuk Lee*, Dougyoung Chung, and Girim Kim
Chungnam National University

Soil salinity is one of the major environmental constraints limiting rice production in reclaimed paddy fields. This study was conducted to evaluate long-term changes in soil salinity and its spatial variability in major reclaimed paddy fields located in the central-western region of Korea.

Soil samples were collected biennially from 2018 to 2025 at five reclaimed areas (Sihwa, Hwaong, Seokmun, Iwon, and Busa). Saturated paste extract electrical conductivity (ECe) was determined for both surface and subsurface soils to investigate temporal changes in soil salinity.

The highest ECe values were generally observed during the initial monitoring period (2018), followed by a marked decline and a gradual increase during the subsequent monitoring years. Except for the initial decline, soil salinity showed a gradual increasing trend in both surface and subsurface soils, suggesting secondary salt accumulation over time. Among the reclaimed areas, Hwaong consistently exhibited the highest salinity levels, whereas Busa maintained the lowest ECe values throughout the monitoring period. The relatively low salinity in the Busa area is likely attributable to its sandy soil texture and longer reclamation history, which have promoted more effective natural salt leaching.

These results indicate that soil salinity in reclaimed paddy fields may increase gradually after the initial desalination stage, highlighting the importance of continuous long-term monitoring and site-specific soil and irrigation water management for sustainable rice production in reclaimed agricultural lands.

Correspondence: kyosuk@cnu.ac.kr (042-821-7891)

PC-008

Comprehensive Evaluation of Salinity Characteristics of Irrigation Water in Reclaimed Paddy Fields of Mid-Western Korea

Kyosuk Lee*, Dougyoung Chung, and Girim Kim
Chungnam National University

Salinity of irrigation water is one of the major factors affecting rice growth and productivity in reclaimed paddy fields. This study was conducted to evaluate the salinity characteristics of irrigation water and assess its suitability for rice cultivation in reclaimed agricultural lands located in central-western Korea.

Irrigation water samples were collected from five reclaimed areas (Sihwa, Hwaong, Seokmun, Iwon, and Busa) during the pre-cultivation, post-monsoon, and post-harvest periods. Electrical conductivity (EC) of irrigation water was measured, and water quality was evaluated according to the FAO guidelines for irrigation water.

According to the FAO guidelines, irrigation water with an electrical conductivity (ECw) below 2 dS m^{-1} has little or no adverse effect on rice yield, whereas rice yield decreases by approximately 17.9% for every 1 dS m^{-1} increase in EC above the threshold. Before the cultivation season, the EC of irrigation water in the Seokmun reclaimed area was below 0.7 dS m^{-1}, indicating no restriction for irrigation use. In contrast, the Hwaong reclaimed area exhibited the highest EC, averaging 5.2 dS m^{-1}, indicating severe restrictions on irrigation water use. The Sihwa, Iwon, and Busa reclaimed areas showed slight to moderate restrictions for irrigation. During the post-monsoon and post-harvest periods, irrigation water in the Hwaong area consistently maintained high salinity levels, whereas the remaining reclaimed areas generally required only slight caution for irrigation use.

Overall, the average EC of irrigation water remained below 2 dS m^{-1} in most reclaimed areas except Sihwa and Hwaong, suggesting that irrigation water quality was generally suitable for rice cultivation. However, the persistently high salinity observed in the Hwaong reclaimed area indicates the need for continuous monitoring and appropriate irrigation water management, including securing freshwater resources. These findings provide valuable baseline information for developing region-specific irrigation management strategies and promoting sustainable rice production in reclaimed agricultural lands.

Correspondence: kyosuk@cnu.ac.kr (042-821-7891)

PC-009

바이오차 흡착 셀룰로오스 섬유의 물리적 특성 및 식물 안전성 평가를 통한 코코피트 대체 가능성 검토

Potential of Biochar-Adsorbed Cellulose Fiber as an Alternative to Cocopeat

김용성[1], 홍영규[1,2], 김진욱[1], 이정민[1], 정호진[1], 김성철[1]*
Yongseong Kim[1], Youngkyu Hong[1,2], Jinwook Kim[1], Jeong Lee[1], Hojin Jung[1], and Sungchul Kim[1]*
[1]충남대학교 생물환경화학과, [2]농촌진흥청 국립농업과학원 토양물환경과
[1]Department of Bio-Environmental Chemistry, Chungnam National University
[2]Soil and Water Environment Division, National Institute of Agricultural Sciences

코코피트는 우수한 수분보유력과 통기성을 바탕으로 원예용 상토 및 인공토양의 핵심 소재로 널리 사용되고 있으나, 최근 원료 가격 상승과 수급 불안정으로 인해 이를 대체할 경제적이고 안정적인 친환경 소재의 개발이 요구되고 있다. 본 연구에서는 코코피트 대체를 목적으로 바이오차를 흡착·개량한 셀룰로오스 섬유의 물리적 특성 및 식물 안전성을 평가하여, 원예용 상토 2호의 대체 원료로서 적용 가능성을 검토하였다. 실험은 셀룰로오스 섬유 단독(CF), 셀룰로오스 섬유와 바이오차의 단순 혼합(CF+BC), 바이오차 흡착 셀룰로오스 섬유(BC-CF) 처리구를 제조하여 코코피트와 비교 평가하였다. 각 처리구의 수분보유력, 총공극률, 기상률(Air-Filled Porosity, AFP), 용적밀도 및 유효수분 함량을 측정하였으며, 추출액 기반 종자 발아시험과 중금속 분석을 통해 식물 독성 및 안전성을 평가하였다. 연구 결과, CF 단독 처리구는 수분보유력이 뛰어났으나 기상률(AFP)이 9.36%로 낮아 과잉 수분의 배출 한계 및 통기성 부족 가능성이 확인되었다. 반면 BC-CF 처리구는 기상률이 13.24%로 증가하여 코코피트(19.35%) 수준으로 확연히 개선되었으며, 우수한 수분보유력을 유지함과 동시에 유효수분 함량 및 용적밀도 등 상토의 종합적인 물리성이 향상되었다. 또한 모든 처리구에서 종자 발아가 정상적으로 유도되었으며, 중금속 분석 결과 유해 성분이 검출되지 않아 식물 생육에 대한 안전성을 확보하였다. 본 연구 결과는 바이오차를 흡착한 셀룰로오스 섬유가 원예용 상토 2호에 요구되는 물리적 특성을 확보하고 식물 생육에 대한 안전성이 확인됨에 따라, 코코피트를 대체할 수 있는 친환경 인공토양 소재로서의 활용 가능성을 시사한다.

주연구자 연락처: sckim@cnu.ac.kr (042-821-6737)

PC-010

Comparison of Organic Matter Removal Methods and Density Separation Solutions for Microplastic Analysis in Soil

Jeong Yeon Kim, Han Na Kim, Su Kyeong Shin, Ye Eun Lee,
Seung Jun Lee, Jin Seo Lee, Jong Geon Oh, and Jin Hee Park*
Department of Environmental and Biological Chemistry, Chungbuk National University, Cheongju, Chungbuk, Republic of Korea 28644

The most widely used pretreatment method for the analysis of microplastics in soil involves organic matter removal followed by density separation. Previous studies have employed a variety of solutions for these pretreatment steps, but an optimal method has yet to be established. Therefore, this study aimed to evaluate digestion solutions capable of efficiently removing soil organic matter without adversely affecting microplastics and to select an optimal density separation medium that provides high recovery. For the organic matter removal, five solutions were evaluated, including deionized (DI) water, Fenton reagent, 7% sodium hypochlorite (NaOCl), 30% nitric acid (HNO_3), and 10% potassium hydroxide (KOH). Polypropylene (PP), polyethylene (PE), polystyrene (PS), polyethylene terephthalate (PET), and polyvinyl chloride (PVC) were treated with each solution at 50°C, after which their recoveries were determined. Upland soil was treated under the same conditions, and the organic matter removal efficiency was determined using the Walkley-Black method. To select the optimal density separation solution, NaI, $ZnCl_2$, $ZnBr_2$, and KI were prepared at a density of 1.60 g cm^{-3}. An oil separation method using canola oil was also evaluated. After removal of organic matter, the recoveries of microplastics ranged from 99.4% to 105.1%, although PET recovery was relatively low following KOH treatment. Fenton reagent caused the greatest overall mass loss of the tested polymers, with recoveries ranging from 93.2% to 102.3%, and PS was particularly affected. The soil organic matter removal efficiencies were 18.1% for DI water, 77.5% for Fenton reagent, 85.0% for NaOCl, 63.8% for HNO_3, and 55.6% for KOH. The oxidative digestion treatments using Fenton reagent and NaOCl were more effective than the other treatments. Considering both organic matter removal efficiency and potential effects on microplastics, 7% NaOCl was identified as the most suitable digestion solution. In the density separation experiment, the recoveries were 97.6-101% for NaI, 72.0-78.8% for $ZnCl_2$, 99.1-102% for $ZnBr_2$, 97.9-101% for KI, and 98.5-100% for the oil separation method. All separation solution except $ZnCl_2$ provided high recoveries. Considering recovery efficiency, toxicity, and cost-effectiveness, the canola oil separation method was identified as the optimal method for separating microplastics from soil.

Correspondence: pjinh@chungbuk.ac.kr (043-261-2564)

| 2026년도 한국토양비료학회 제58차 총회 및 정기학술대회 |

발 행 인 : 한국토양비료학회장 이승헌

편집위원장 : 한국토양비료학회 편집부회장 최우정

편 집 위 원 : 홍창오, 김상윤, 윤학원

편 집 간 사 : 윤석인, 곽진협, 박원표, 박현진

발 행 처 : 사단법인 한국토양비료학회
전북 완주군 이서면 농생명로 166 국립농업과학원 313호

연 락 처 : TEL : 063-226-7335, FAX : 063-226-7335
E-mal : ksssf733@naver.com
https://www.ksssf.org

인 쇄 : (주)에이퍼브

비료 시험연구기관 현황

(농촌진흥청 고시 제2023-18호, 2023. 5. 3.)

연번	지정번호	기 관 명	소 재 지	시험분야	연락처
1	제001호	(주)판코리아 농업환경과학연구소	대전광역시 유성구 현충원로 295번길 13-10	이화학적분석 미생물분석 식물재배시험	042)824-6734
2	제003호	㈜한국생물안전성 연구소	충청북도 음성군 감곡면 성주로 362-20	식물재배시험	043)882-0296
3	제004호	㈜친환경농산물 안전성센터	강원도 춘천시 강원대학길 1 농업생명과학대학 3호관 302호	이화학적분석 식물재배시험 미생물분석	033)257-6441
4	제005호	㈜유일 부설연구소	경상남도 창녕군 대합면 대합공단길 46	이화학적분석 식물재배시험	055)532-4741
5	제006호	㈜풍농 부설 농화학연구소	충남 서천군 장항읍 장산로 209	이화학적분석 식물재배시험	041)956-0417
6	제008호	(주)흙살림 부설연구소	충북 청주시 청원구 오창읍 각리 1길 85	미생물분석 식물재배시험	043)216-8179
7	제010호	㈜대유 부설연구소	서울특별시 강남구 학동로 77길 26	이화학적분석 식물재배시험	02)556-6293
8	제011호	제일분석센타(주)	서울특별시 구로구 디지털로 272 한신IT타워 913호	이화학적분석 미생물분석	02)869-8188
9	제013호	㈜한국식물환경 연구소	경기도 수원시 권선구 오목천로152번길 40 첨단벤처밸리 912호	식물재배시험	031)292-3682
10	제014호	동아대학교 농업생명과학연구소	부산광역시 사하구 낙동대로 550번길 37	식물재배시험	051)200-6535
11	제015호	(재)전주농생명소재 연구원	전북 전주시 덕진구 원장동길 111-27(장동)	미생물분석	063)711-1000
12	제016호	목원대학교 미생물 생태자원연구센터	대전광역시 서구 도안북로 88	미생물분석 식물재배시험	042)829-7598
13	제020호	동진생명연구원	경남 창원시 의창구 차룡로 48번길 61	이화학적분석 미생물분석	055)293-5440
14	제022호	(재)충남테크노파크 바이오센터	충남 논산시 대학로 121	이화학적분석	041)980-1002
15	제023호	우성환경기술센터	울산광역시 울주군 범서읍 천상리 7블럭 1-1놋트	이화학적분석	052)222-5030
16	제025호	한국농업기술진흥원	전라북도 익산시 평동로 457	이화학적분석 미생물분석	063)919-1538

연번	지정번호	기 관 명	소 재 지	시험분야	연락처
17	제027호	농협경제지주(주) 축산연구원	경기도 안성시 공도읍 대신두길 42-20	이화학적분석 미생물분석	031)659-1381
18	제028호	바이오식물환경 연구소	광주광역시 광산구 무진대로 272-9 오렌지빌 511호	식물재배시험	062)945-5031
19	제031호	공주대학교 두과녹비자원연구센터	충남 예산군 예산읍 대학로 54 공주대학교 산업과학대학 생명관 319호	식물재배시험	041)330-1200
20	제033호	전라남도 농업기술원	전라남도 나주시 산포면 세남로 1508	이화학적분석 미생물분석 식물재배시험	061)330-2600
21	제034호	제주특별자치도 농업기술원	제주특별자치도 서귀포시 중산간서로 212	이화학적분석 미생물분석	064)760-7333
22	제038호	경상남도 농업기술원	경상남도 진주시 대신로 570	이화학적분석 식물재배시험	055)771-6414
23	제039호	경북대학교 농산물품질안전성 평가연구소	대구광역시 북구 대학로 80 글로벌프라자 11층 1115호	이화학적분석 미생물분석 식물재배시험	053)950-5703
24	제040호	경상북도 농업기술원	대구광역시 북구 칠곡중앙대로 136길 47	이화학적분석 식물재배시험	053)320-0269
25	제042호	경북대학교 생태환경대학	경상북도 상주시 경상대로 2559	이화학적분석 식물재배시험	054)530-1641
26	제043호	전라북도 농업기술원	전라북도 익산시 서동로 413	이화학적분석 미생물분석	063)290-6193
27	제044호	충남대학교 농업과학연구소	대전광역시 유성구 대학로 99	이화학적분석 미생물분석	042)821-6709
28	제045호	강원도 농업기술원	강원도 춘천시 충열로 83	이화학적분석 미생물분석 식물재배시험	033)248-6096
29	제047호	(주)현농	광주광역시 북구 용봉로 77 전남대학교 친환경농업연구소 510호	식물재배시험	061)362-5316
30	제048호	에이티 분석센타(주)	인천광역시 연수구 벤처로 100번길 21, 201호	이화학적분석 미생물분석 식물재배시험	032)715-4755
31	제054호	(재)전남바이오 산업진흥원 친환경농생명연구센터	전남 곡성군 입면 입면로 495	미생물분석 식물재배시험	061)362-0630
32	제055호	(주)부농 기술연구소	경북 경주시 천북면 모아동산길 183	식물재배시험	054)745-3501
33	제058호	응용생물시험연구소	전북 익산시 망성면 여강로 1035-24	식물재배시험	063)861-0323
34	제059호	경상국립대학교 산학협력단 농업생명과학연구센터	경남 진주시 진주대로 501, 28동 210호	이화학적분석 식물재배시험 미생물분석	055)772-2534

연번	지정번호	기 관 명	소 재 지	시험분야	연락처
35	제060호	비토분석센타(주)	경기도 안산시 단원구 지원로 107, 시화지식산업센터 205호	이화학적분석 미생물분석	031)364-8181
36	제061호	(주)네이처텍	전북 전주시 완산구 효자로3가 1643-9 삼진빌딩 302호	이화학적분석 미생물분석	063)714-2410
37	제062호	한국기초과학지원 연구원	대전광역시 유성구 과학로 169-148 한국기초과학지원연구원	이화학적분석	042)865-3500
38	제063호	(주)수호분석	전라북도 전주시 덕진구 신복로 88 경동택배 3층	이화학적분석 미생물분석	063)717-2441
39	제064호	청명아그리스주식회사 농업회사법인	충남 예산군 오가면 오가중앙로 86-3	식물재배시험	010-3898-2696
40	제065호	(주)신성미네랄	충청북도 괴산군 청안면 조천로2길 34	식물재배시험	043)836-9630
41	제066호	순창군농업기술센터	전라북도 순창군 유등면 담순로 1552	이화학적분석	063)650-5631
42	제068호	KG케미칼(주) 생명농업연구소	울산광역시 울주군 온산읍 당월로 322	식물재배시험	032)231-1881
43	제069호	(주)SAP분석평가연구소 기업부설연구소 R&D center	대전광역시 유성구 테크노 3로, 한신에스메카 620, 621, 622호	이화학적분석 미생물 분석	042)933-2100
44	제070호	순천대학교 산학협력단 친환경농업센터	전라남도 순천시 중앙로 255, C2동 104호	이화학적분석 식물재배시험	061)750-5470
45	제071호	지구환경측정(주)	경상북도 포항시 북구 양덕남로 103	이화학적분석	054)274-1260
46	제072호	(주)이노바텍	전북 정읍시 북면 3산단2길 75	식물재배시험	063)535-5833
47	제073호	재단법인 축산환경관리원	세종특별자치시 한누리대로 219 한림프라자 6층	이화학적분석	044)550-5000
48	제074호	(재)농축산용미생물 산업육성지원센터	전라북도 정읍시 첨단과학로 241	이화학적분석 미생물 분석	063)536-6717
49	제075호	(주)한얼싸이언스 부설연구소	(이화학적·미생물분석) 강원도 태백시 철암공단길 10 (식물재배시험) 경기도 안성시 서운면 산평리 148-1	이화학적분석 미생물분석 식물재배시험	031)627-9900
50	제076호	(주)한국협화	경상북도 포항시 남구 대송로253번길 63	이화학적분석	064)272-5072
51	제077호	(주)이시스리서치	경기도 화성시 남양읍 남양로 615 2층	식물재배시험	031)357-0026
52	제078호	명인분석센터(주)	경기도 부천시 석천로 397, 102동 1203호 (삼정동, 부천테크노파크쌍용3차)	이화학적분석 미생물 분석	010-8840-0555
53	제079호	(주)식물보호연구소	충청북도 충주시 충원대로 268, 창업보육센터 102호(단월동, 건국대학교글로컬캠퍼스)	식물재배시험	031)996-2577
54	제080호	(주)융전 생물화학연구소	충청북도 옥천군 동이면 옥천동이로 576-49 3층 생물화학연구소	식물재배시험	043)732-0004

2026 한국토양비료학회

제58차 총회 및 국제학술대회

광고후원사 리스트

남해화학(주)	(주)조비
(주)판코리아	(주)팜한농
(주)풍농	한국비료협회
한국협화	- 가나다 순-

기기전시회사 리스트

(주)라스코리아	비엘텍코리아(주)
(주)씨앤와이	어날리틱예나코리아(유)
(주)엔지에프코리아	(주)엔코시스
엘레멘타(주)	영인에스티(주)
퍼킨엘머코리아(유)	- 가나다 순-

주식회사 조비는 1955년 창립 이래, 지난 70년 간
한국 농업의 발전과 농업인의 안녕을 위해 노력해왔습니다.
앞으로도 **농업인과 함께 행복한 농업 환경을 조성하며,**
지속가능한 농업 발전을 선도하는 기업으로 성장해 나가겠습니다.
완효성 비료
수도 · 원예 · 과수용 비료
유기농업 · 기능성 자재
유기질 비료
국내 최초 완효성 비료 개발
조비
&
생분해성 피복공정 '그리너스' 기술
GreenUS
Innovative CRF

농업인과 함께 걸어온 종합비료 회사

인간과 자연의 가치를 창조하는 기업, 한국협화!

땅심

생산 현황 5종

- 무기질 비료
- 토양 개량제
- 원예용 비료
- 유기질 비료
- 퇴비

수출 현황

12개국 수출

말레이시아, 미얀마, 베트남, 예멘, 이랍, 일본, 인도네시아, 중국, 캄보디아, 태국, 파키스탄

공장 위치 경상북도 포항시 남구 대송로 253번길 63 (괴동동)

국내 유통망
- 도별 영업지점 8개, 대리점 183개소
- 지역농협 경제사업소 납품

한국협회 **본사** 서울특별시 종로구 새문안로 5길 37, 도렴빌딩 6층 www.khhc.co.kr

www.pankorea.re.kr

토양 · 비료 · 유기농업자재 연구 분석기관

PANKOREA CO., LTD

(주)판코리아

농촌진흥청 지정
비료시험연구기관(제1호)
(이화학적 분석 · 식물재배시험)
농촌진흥청 지정
유기농업자재 시험연구기관(제4호)

(주)판코리아는 자연환경보존과 건강한 미래를 추구하는 기업입니다.

설립 목적 · 주요기능

농업 · 환경관련 분석, 시험, 연구 수행
관련 기기 및 실험실습 등 인력 양성 지원
국내 · 외의 대학연구소 및 산업체 등과 연구 협력

(주)판코리아는
2001년 1월 창립이래 농업의 근간이 되는 토양 · 비료의 분석, 시험, 연구를 주 사업으로 하는 전문연구기관입니다.

비료 비해 · 비효 01
- 비료 등록관련 분석 · 시험
- 비료 비효비해 평가
- 비료 품질관리 · 컨설팅
- 제조공정 검토 및 현장지도

작물 재배 · 관리 02
- 작물재배 컨설팅
- 작물재배환경 및 토양 환경진단
- 작물의 영양진단 및 처방
- 영양결핍 및 과잉증상 진단

분석지원 서비스 03
- 최첨단 분석기기 이용 고품질 서비스
- 무기화학 성분분석(토양, 비료, 식물체)
- 비료 공정규격 설정 시험 및 자문
- 제품의 특성연구 및 분석

PANKOREA
(주)판코리아
농업환경과학연구소
PANKOREA CO.,LTD

유기농업 자재 04
- 원료 및 제품의 품질 관리
- 비효비해시험 및 성분 분석
- 유기자재 관련 컨설팅 업무
- 유기농자재 제품 연구개발

토양 분석 · 평가 05
- 토양비옥도 조사 · 시비처방
- 토양개량제 · 식재용토 평가
- 토양의 중금속 · 유해성분 검사
- 오염토양 복원 상담

개발 · 효능 · 활용 06
- 유기농업자재 및 기능성 비료 개발
- 기능성 신소재 및 생물 활성제 개발
- 천연광물 및 자재의 농업적 효능 연구
- 부산물 및 폐기물의 농업적 활용연구

34151 대전광역시 유성구 현충원로295번길 13-10(덕명동)
Tel_ 042-824-6734 Fax_ 042-825-6735

www.pungnong.co.kr

우리농촌, 농업인의 동반자 – **엔피코비료**
정밀농업으로 농업환경을 더 스마트하게!

A faithful companion(true friend) of farmers – NPKO
Making the agricultural environment smarter with precision agriculture.

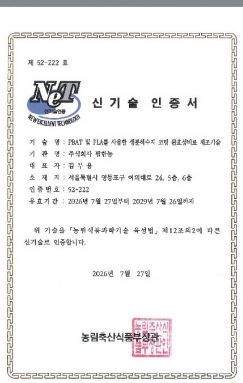
NPKO

NPKO® 엔피코 주식회사 풍 농

고객상담전화
080-022-4646

팜한농
'생분해 수지 코팅 완효성 비료 제조 기술' 신기술(NET)인증 획득

팜한농은 LG화학의 자회사입니다


제 52-222 호

신 기 술 인 증 서

기 술 명 : PBAT 및 PLA를 사용한 생분해수지 코팅 완효성비료 제조기술
기 관 명 : 주식회사 팜한농
대 표 자 : 김 ㅇ 용
소 재 지 : 서울특별시 영등포구 여의대로 24, 5층, 6층
인증번호 : 52-222
유효기간 : 2026년 7월 27일부터 2029년 7월 26일까지

위 기술을 「농림식품과학기술 육성법」 제12조의2에 따른 신기술로 인증합니다.

2026년 7월 27일

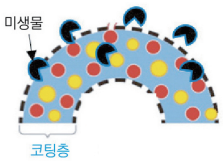
농림축산식품부장관

"광분해에서 생분해로... 에코뮬라 기술의 진화"

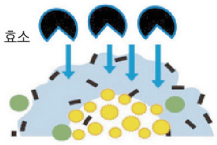
생분해 기술 농림축산식품부 신기술인증 (2026.07.27)
PBAT 및 PLA를 사용한 생분해수지 코팅 완효성비료 제조기술 (제 52-222호)
광분해 기술 산업통상자원부 신기술인증 (2023.01.25)
광분해 기술 농림축산식품부 녹색인증 (2022.04.14)

생분해 과정 소개

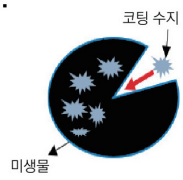
비료가 토양과 수중 미생물 에 의해 코팅(수지) 층이 자연 분해 됩니다.



① 열화 (Deterioration)
미생물의 부착과
군집형성(colonization)으로 인해
코팅수지 특성 변화



② 생물절단 (Biofragmentation)
미생물의 효소반응을 통한
수지탈중합(depolymerization) 반응



③ 동화작용 (Assimilation)
절단된 수지 조각들이
미생물에 의해 흡수

④ 광화작용 (Mineralization)
수지가 이산화탄소(CO_2)와
물(H_2O)로 분해

에코뮬라
친환경 분해 과학

에코뮬라(ecomula)
= 친환경적인(ecological) + 공식(formula)

완효성비료 코팅 **껍질**을 분해합니다
지속가능한 농업을 위한 솔루션, 에코뮬라
우리 땅과 지구를 보호합니다

팜한농의 에코뮬라 기술은 광분해 기술을 넘어 햇빛이 닿지 않는 땅속의 생분해 기술로 진화하였습니다.

에코뮬라의 BI는 혁신적인 기술을 통한
코팅 껍질의 분해과정을 형상화하였습니다

Innovate Today, Enrich Tomorrow
대한민국 농업의 미래를 키우는 연구
그 위대한 결실 뒤엔 항상
남해화학이 있습니다
학자들의 열정이 대지를 여물게 할 때,
우리는 그 열정을 받치는 가장 깊은 뿌리가 됩니다.
토양을 연구하는 당신에게,
남해화학이라는 비료를 더합니다.
N
P
K
Soil Analysis Report
남해화학
남해화학 유튜브
'거북선 비료' 바로가기
카카오톡 채널
'남해화학_비료' 바로가기