농경지 토양건강성 평가와 지속가능한 양분관리 전략

곽 진 협

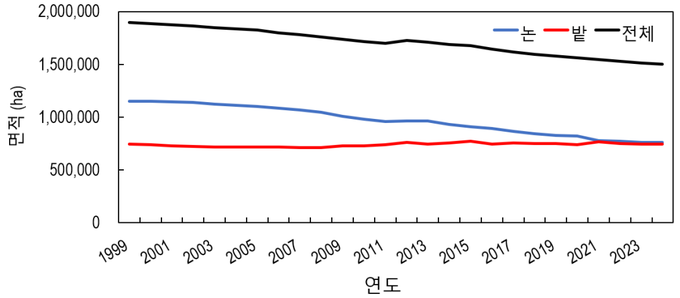
전북대학교 지역건설공학과

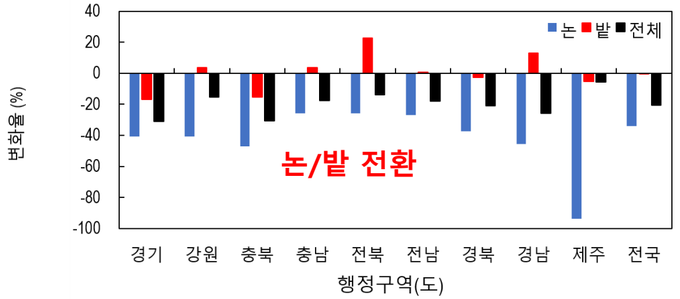
최우정(전남대)・윤석인(원광대)・박원표(제주대)・박현진(전남대)

발표 내용은 “우리나라 농업환경의 지속가능성 평가 및 대책 " 연구의 일부입니다.

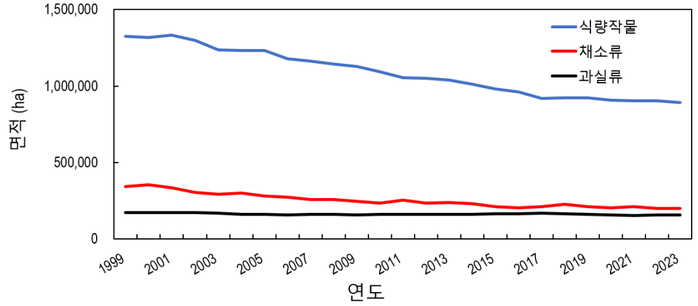
우리나라 농업여건 변화

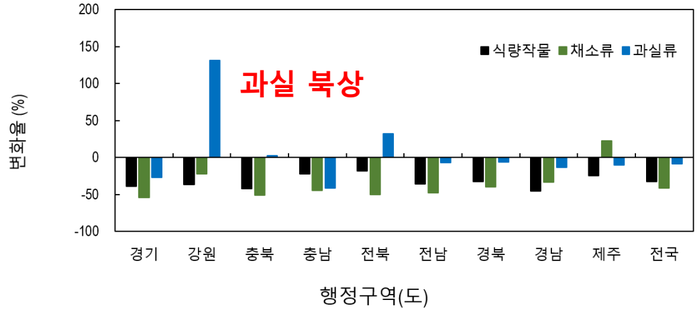
<농경지 면적>



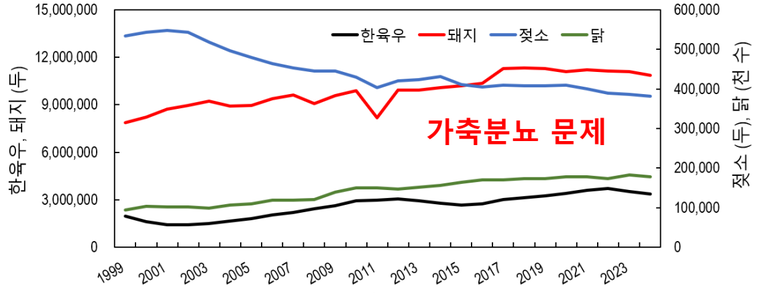


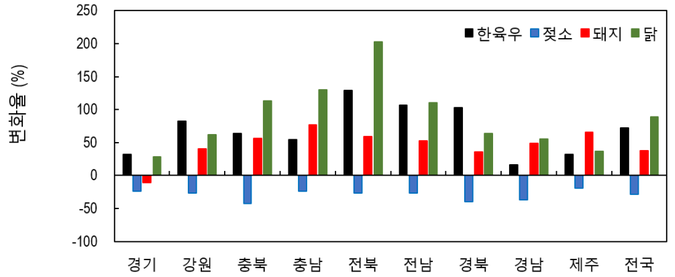
<재배 작물>



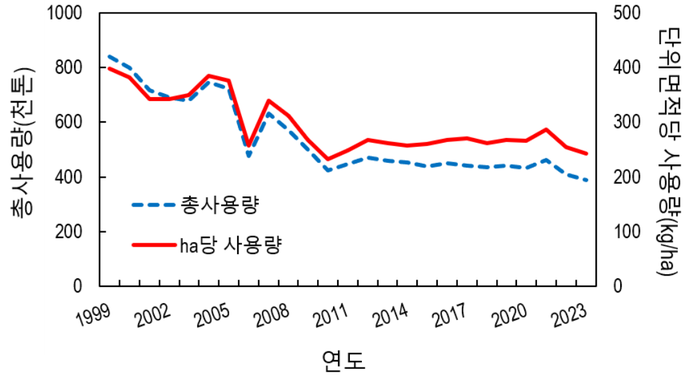


<축산>

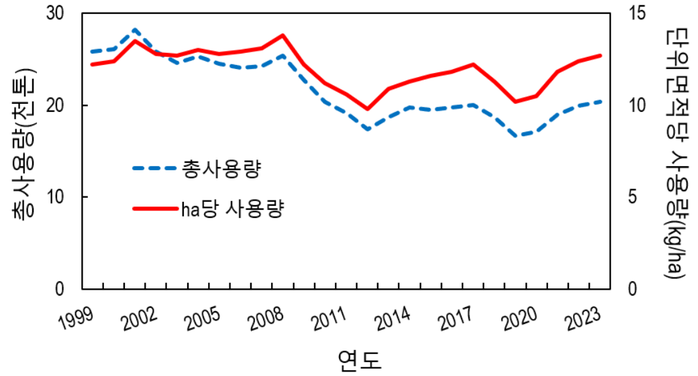




<화학비료 사용>

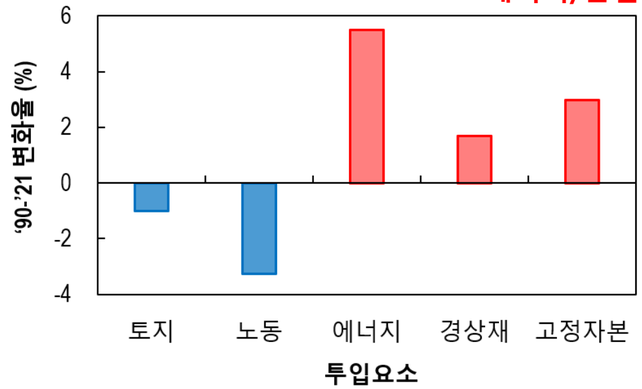


<농약 사용>



<생산요소 투입량>

에너지/물질 집약형 농업

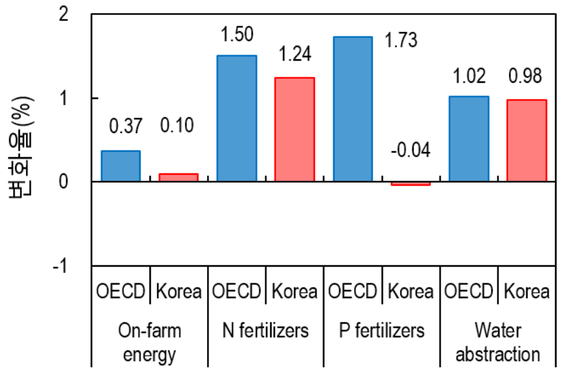


세계 속의 우리 농업

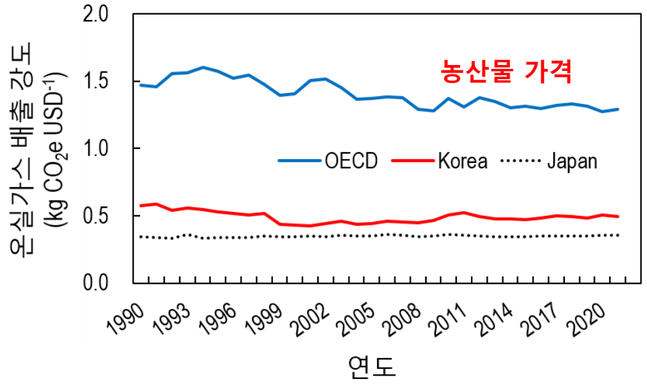
지표	내용	비고
곡물 자급률(%)	한국(19.5%), 세계(100.7%), 중국(92.2%), 일본(27.6%)	’21~’24 평균
유기농업 면적 비중(%)	한국: ’17 (1.23%) → ’22 (2.47%) 일본: ’17 (0.22%) → ’22 (0.33%) 중국: ’17 (0.57%) → ’22 (0.56%)	일본 ’50 목표(25%)
농업총생산에 대한 농업보조금 비중(%)	OECD: ’17 (9.9%) → ’22 (9.3%) 한국: ’17 (6.8%) → ’22 (5.7%) 일본: ’17 (9.2%) → ’22 (12.2%)	일본의 50% 수준

<참고 자료: 통계로 본 세계 속의 한국농업(KREI, 2024)>

<자원투입 변화>

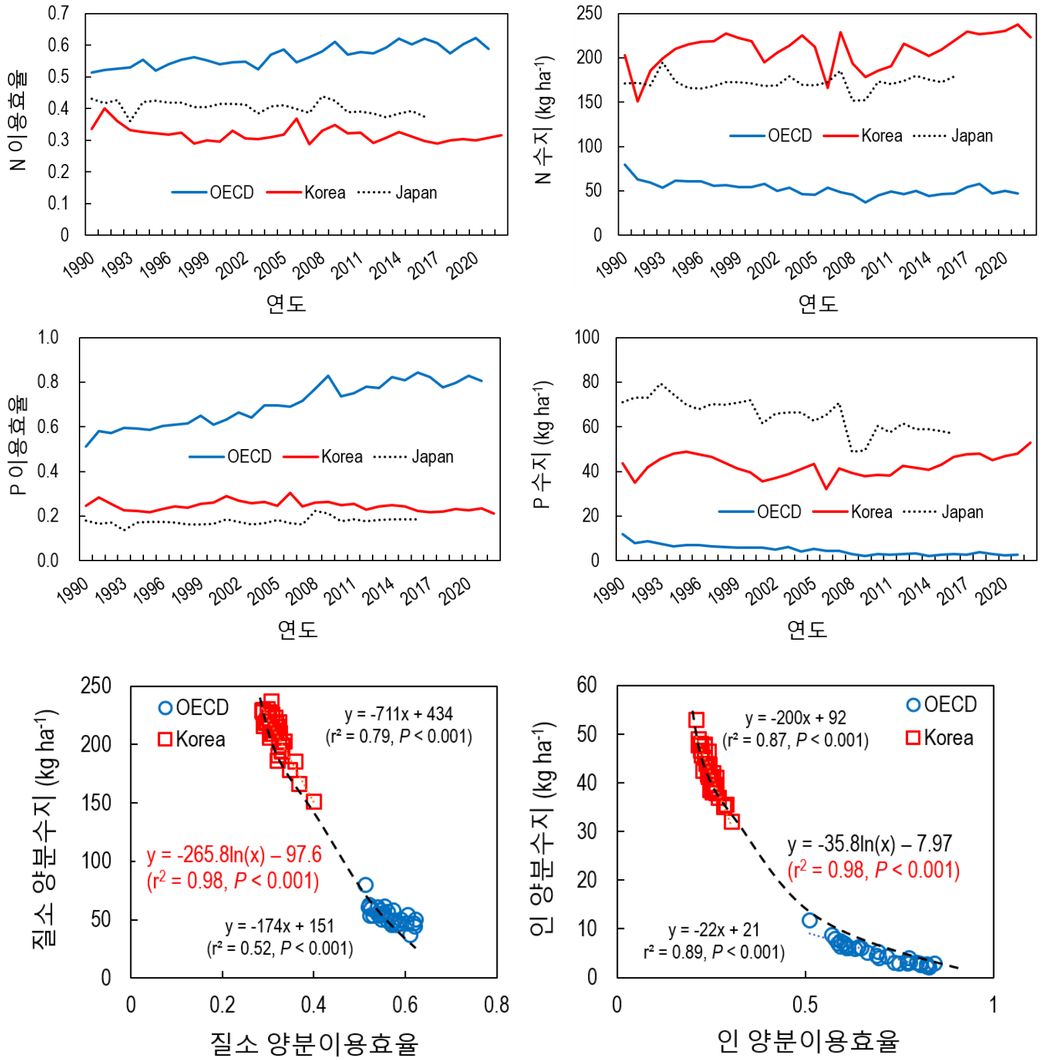


<온실가스배출 강도>



OECD 국가에 비해 질소와 인산 시비 증가율 낮음

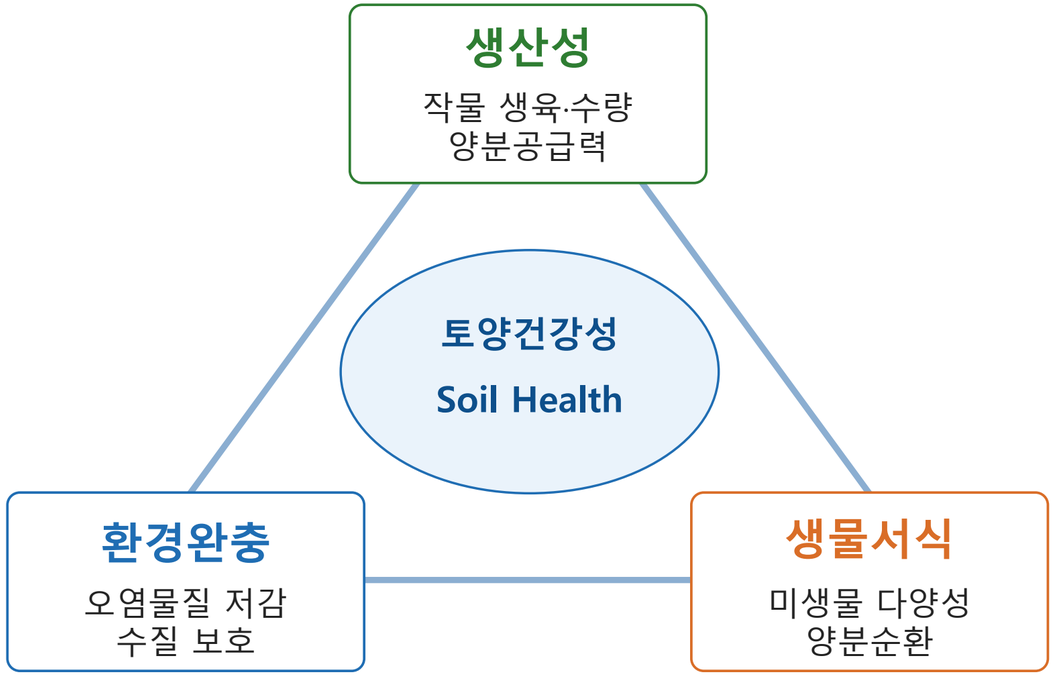
<질소와 인산 이용효율과 양분 수지>



양분이용효율 개선을 통한 양분과잉 완화

토양 건강성

구 분	의 미	핵심 관점
토양 비옥도	작물 생육에 필요한 양분을 공급하는 능력	생산성 중심
토양 질 / 토양 품질	토양이 여러 기능을 수행할 수 있는 능력	기능 중심
토양 건강성	토양을 살아 있는 생태계로 보고, 생산·환경·생물 기능이 지속되는 상태	지속가능성 중심



농업환경변동조사

목적: 농업환경 모니터링은 비료, 농약 과다 사용 등 **집약농업의 개선과 지속 가능한 농업을 위한 국가적 농업환경 보전 대책을 수립**하는 데에 필수적임.

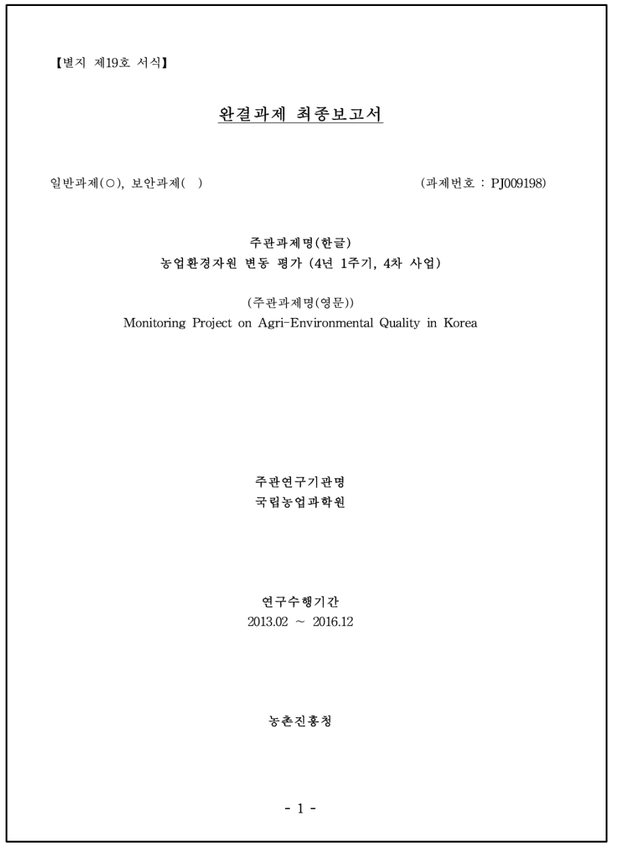
법적 근거

- 「**친환경농어업법**」 **제11조 (1998.12.14. 시행)**
- 제11조 (농어업 자원·환경 및 친환경농어업 등에 관한 실태조사·평가)

농림축산식품부 장관은 다음 각 호의 사항을 주기적으로 조사·평가하여야 한다.

  - 농경지의 비료도(肥料度), 중금속, 농약성분, 토양미생물 등의 변동사항
  - 농업에 용수로 이용되는 지표수와 지하수의 수질
  - 농약·비료·항생제 등 농어업투입제의 사용 실태
  - 수자원 함양, 토양 보전 등 농어업의 공익적 기능 실태
  - 축산분뇨, 폐비닐 등 농업지역 내 자재 자원 순환 사용 실태

- **(시행령·시행규칙) 법 제11조 1항**에 관한 권한은 **농촌진흥청장에 위임**



【별지 제19호 서식】

완결과제 최종보고서

일반과제(○), 보안과제( ) (과제번호 : PJ009198)

주관과제명(한글)
농업환경자원 변동 평가 (4년 1주기, 4차 사업)

(주관과제명(영문))
Monitoring Project on Agri-Environmental Quality in Korea

주관연구기관명
국립농업과학원

연구수행기간
2013.02 ~ 2016.12

농촌진흥청

- 1 -

농업환경변동조사

○ 조사내용

<농경지 토양>

- 대상 및 주기: 논・밭・과수원・시설재배지에 대해 4년 1주기
- 조사 항목: 물리성, 화학성, 미생물, 중금속, 잔류농약

<농업용수>

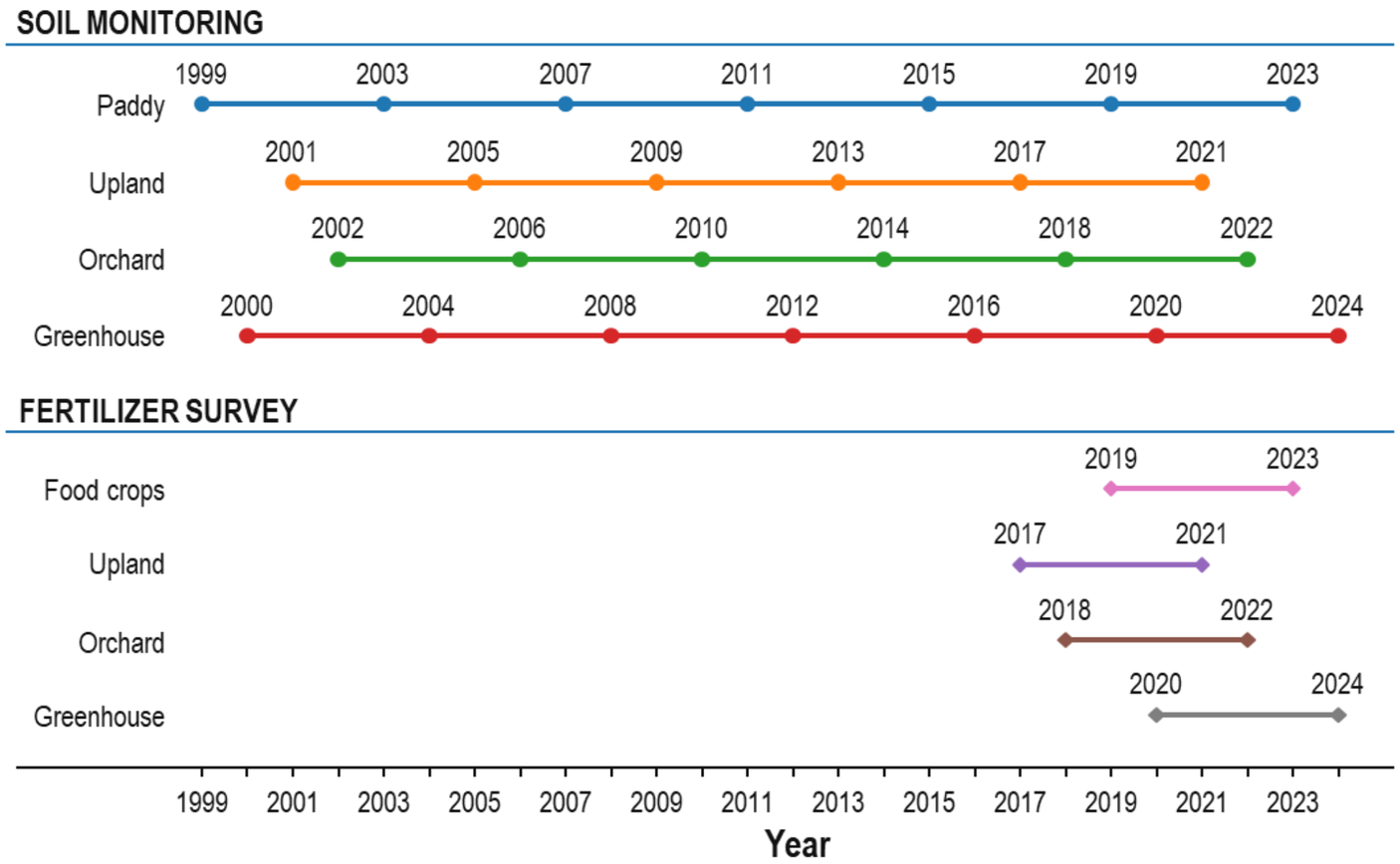
- 대상 및 주기: 하천수와 지하수에 대해 매년
- 조사 항목: 기본항목, 영양물질, 중금속, 대장균, 잔류농약

<농업투입재>

- 대상 및 주기: 작물(밭, 과수, 식량, 시설)별 4년 1주기
- 조사 항목: 비료와 농약 종류, 사용량, 사용방법, 횟수 등

<기타>

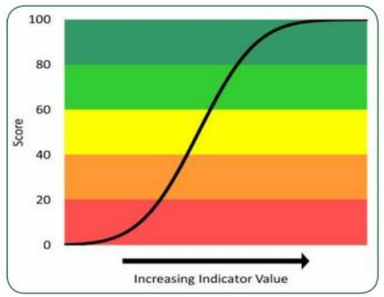
- 농업공익기능
- 자원순환(퇴・액비화) 실태
- 양분수지
- 수분모니터링
- 토양조사
- 장기연용시험
- 라이시미터 시험



등급화 방법

○ Indicator selection → Scoring → Integration

○ Indicator types (Cornell Univ.)

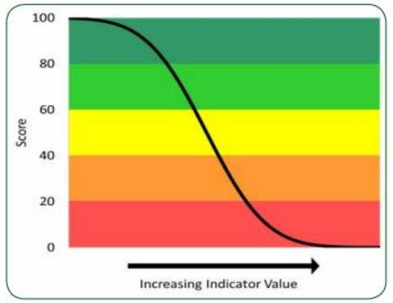


A. More is better graph

More is better

In this situation, the higher the measured value of the indicator, the higher the score until a maximum score of 100 is attained (Figure 2.15 A). Values exceeding this maximum are assigned a score of 100. Indicators falling in this class include Aggregate Stability, Available Water Capacity, Organic Matter Content, ACE Protein, Soil Respiration, Active Carbon, and Potentially Mineralizable Nitrogen. Scoring functions for these

토양 물리성/미생물

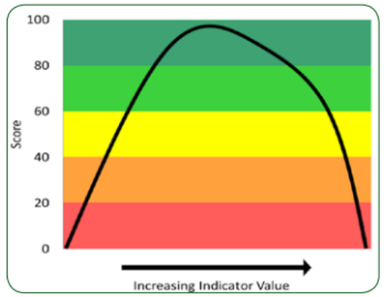


B. Less is better graph

Less is better

For a few indicators, lower measured values are associated with better soil functioning (Figure 2.15 B). This is the case for Surface and Subsurface Hardness and the Root Health Bioassay Rating. Scoring functions for these indicators are

토양 경도/오염물질



C. Optimum graph

Optimum curve

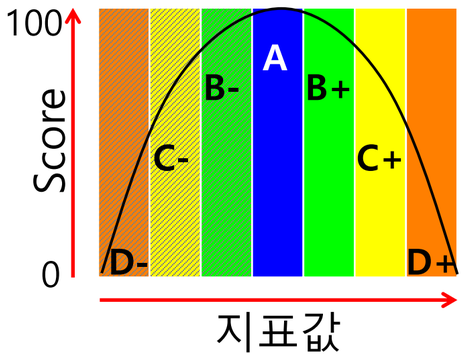
Extractable Phosphorous and pH are both scored using an optimum curve (Figure 2.15 C). In this case, the scoring curve rises with increasing measured value until the lower end of the optimum range is reached. Within the optimum range, scores are always 100. Values exceeding

토양 화학성

<토양 이화학성 적정 기준(농촌진흥청)>

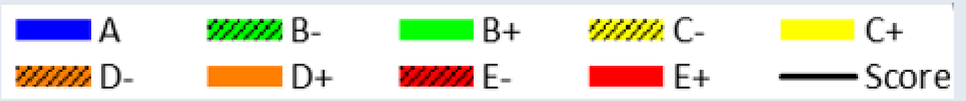
농경지	사양질(점토함량 18% 미만)	식양질(점토함량 18% 이상)
논	< 1.5 Mg/m^3	< 1.4 Mg/m^3
밭	< 1.6 Mg/m^3	< 1.5 Mg/m^3
평가방법	L	L

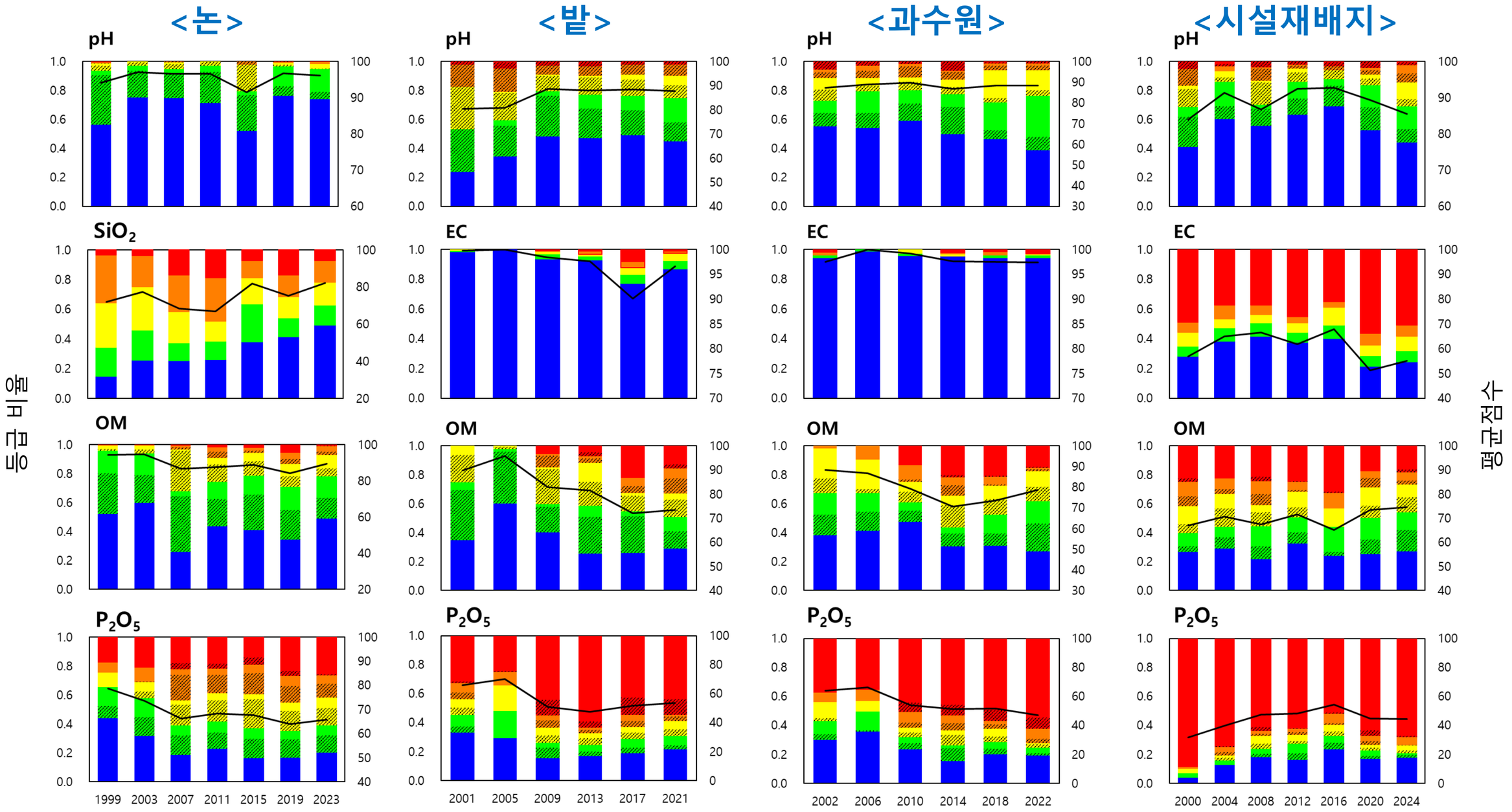
농경지	pH ($1:5_{H2O}$)	EC (ds/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	유효규산 (mg/kg)	치환성양이온 ($cmol_c$/kg)		
						K	Ca	Mg
논토양	5.5~6.5	-	20~30	80~120	>157	0.2~0.3	5.0~6.0	1.5~2.0
밭토양	6.0~7.0	<2.0	20~30	300~550	-	0.5~0.8	5.0~6.0	1.5~2.0
과수토양	6.0~7.0	<2.0	20~30	300~550	-	0.5~0.8	5.0~6.0	1.5~2.0
시설재배지	6.0~7.0	<2.0	25~35	300~550	-	0.5~0.8	5.0~6.0	1.5~2.0
평가방법	O	L	O	O	M	O	O	O



등급	A	B-	C-	D-	E-
		B+	C+	D+	E+
항목별 배점	100	90	75	50	25
등급 기준 (항목별 평균)	91-100	75-90	50-75	25-50	0-25
상태	매우 좋음	좋음	보통	나쁨	매우 나쁨

토양 환경


A
B-
B+
C-
C+
D-
D+
E-
E+
Score


<논>
<밭>
<과수원>
<시설재배지>
pH
SiO_2
EC
OM
P_2O_5
비율 (%)
점수
1999 2003 2007 2011 2015 2019 2023
2001 2005 2009 2013 2017 2021
2002 2006 2010 2014 2018 2022
2000 2004 2008 2012 2016 2020 2024

토양 환경

<논>

구분	pH		유기물		유효인산		유효규산		종합등급	
	'99	'23	'99	'23	'99	'23	'99	'23	'99	'23
강원	A	A	B-	B+	C-	C-	C	C	B	B
경기	A	A	B0	B+	D-	C-	D	B	C	B
경남	A	A	B+	B+	C-	C-	D	B	C	B
경북	A	A	B-	B+	C-	C-	D	C	C	B
전남	A	A	B-	B+	C-	C-	D	B	C	B
전북	A	A	A	B+	C	C	C	B	B	B
제주	B+	A	B+	D+	C-	C-	B	A	C	C
충남	A	A	B0	A	D-	C-	D	B	C	B
충북	A	A	B-	A	C-	C-	D	C	C	B

<밭>

구분	pH		EC		유기물		유효인산		치환성칼륨		종합등급	
	'01	'21	'01	'21	'01	'21	'01	'21	'01	'21	'01	'21
강원	B-	B-	A	A	B-	C+	C+	D+	B-	B+	B	B
경기	B-	B-	A	A	B-	B-	C+	C+	B0	B0	B	B
경남	B-	B-	A	A	B-	B-	C+	C+	C-	B+	B	B
경북	C-	B-	A	A	B-	B+	C+	C+	B-	B+	B	B
전남	B-	B-	A	A	B-	B-	C+	C+	B+	B+	B	B
전북	B-	B-	A	A	B-	C-	C+	C+	B+	B+	B	B
제주	C-	C-	A	A	C+	C+	C-	D-	A	B+	B	B
충남	B-	B-	A	A	B-	B-	C+	C+	B+	B+	B	B
충북	B-	B-	A	A	B-	B-	C+	C+	B-	B+	B	B

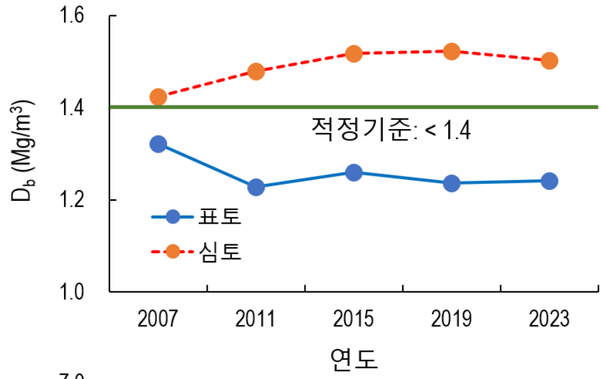
<과수원>

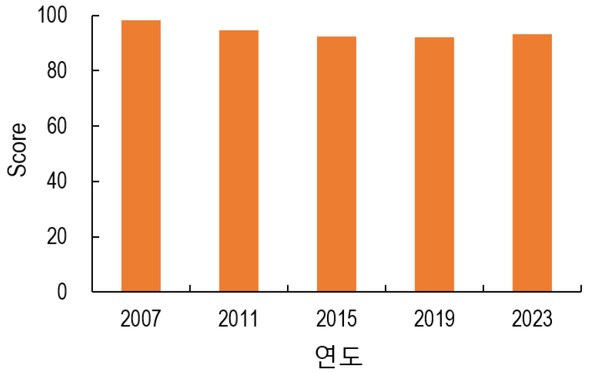
구분	pH		EC		유기물		유효인산		치환성칼륨		종합등급	
	'02	'22	'02	'22	'02	'22	'02	'22	'02	'22	'02	'22
강원	B-	B-	A	A	B-	C+	C+	D+	B+	B+	B	B
경기	B-	B+	A	A	B-	B-	C+	C+	B0	B+	B	B
경남	B-	B-	A	A	B-	C+	C+	D+	B-	B+	B	C
경북	C-	B-	A	A	B-	C+	C+	D+	B+	B+	B	B
전남	B-	B-	A	A	C+	C+	C+	C+	C+	B+	B	B
전북	B0	B+	A	A	B+	B+	C+	D+	C+	B+	B	B
제주	D+	D+	A	A	D+	D+	C-	C+	B-	B-	C	C
충남	B-	B+	A	A	B-	B-	C+	C+	B+	B+	B	B
충북	B-	A	A	A	C-	B+	C+	C+	B-	B+	B	B

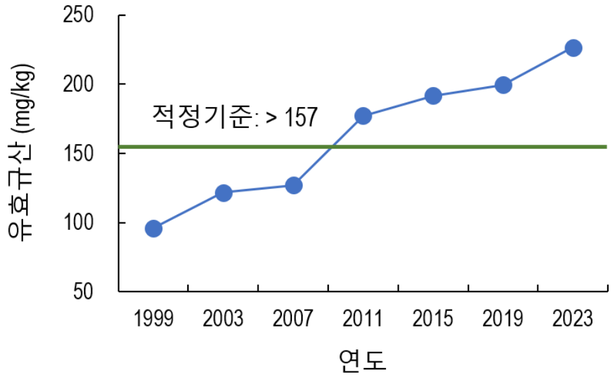
<시설재배지>

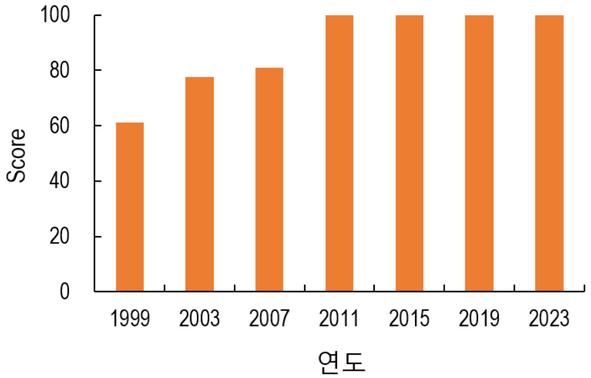
구분	pH		EC		유기물		유효인산		치환성칼륨		질산태질소		종합등급	
	'00	'20	'00	'20	'00	'20	'00	'20	'00	'20	'00	'20	'00	'20
강원	B-	B0	B	C	B+	C+	D+	D+	C+	C+	D	C	C	C
경기	A	A	C	C	C+	C+	D+	D+	C+	C+	C	D	C	C
경남	B-	B+	C	C	C+	C+	D+	D+	C+	C+	C	C	C	C
경북	B0	B+	C	C	B-	C+	C+	D+	C+	C+	C	C	C	C
전남	A	B-	A	C	C+	C+	D+	D+	C+	C+	C	C	C	C
전북	B-	B-	C	C	C+	C+	D+	D+	C+	C+	D	C	C	C
제주	C-	C-	B	C	D+	D+	C+	D+	C+	C+	D	C	C	C
충남	B-	B-	B	C	B+	B+	D+	D+	B+	B+	C	C	C	C
충북	B-	B0	C	D	B+	C+	D+	D+	C+	C+	C	D	C	C

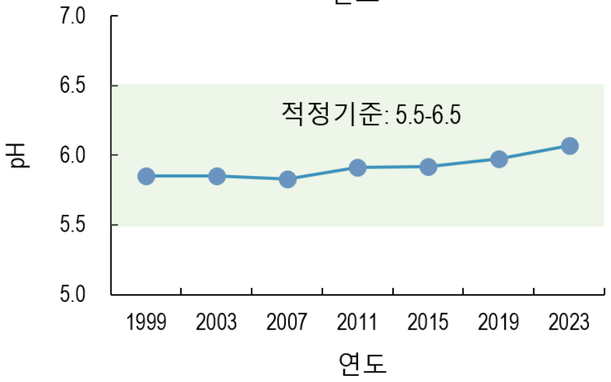
평가 결과: 논

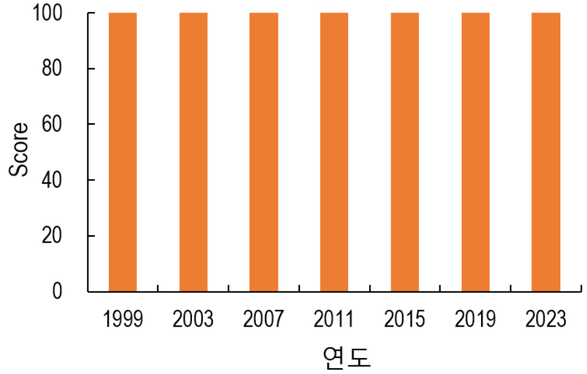

D_b (Mg/m³)
적정기준: < 1.4
표토
심토
연도

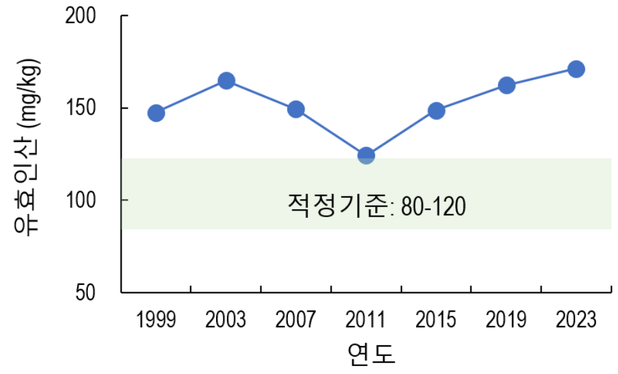

Score
연도

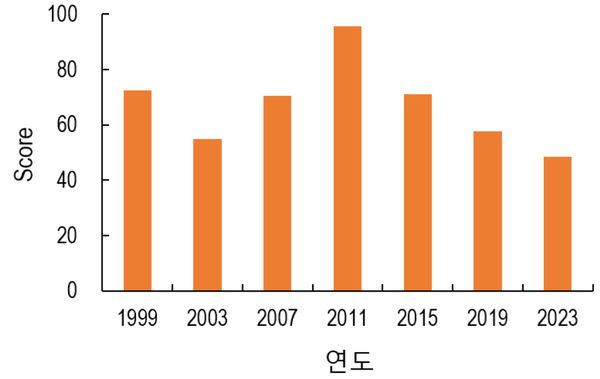

유효규산 (mg/kg)
적정기준: > 157
연도

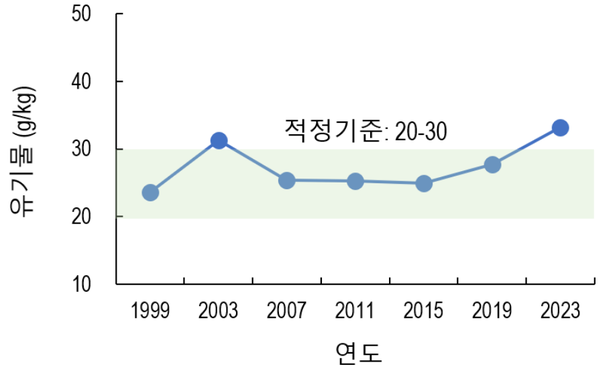

Score
연도

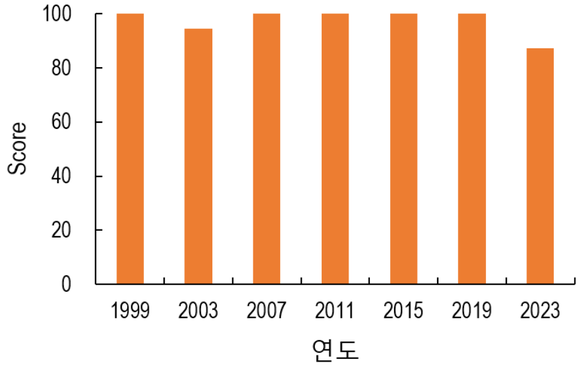

pH
적정기준: 5.5-6.5
연도

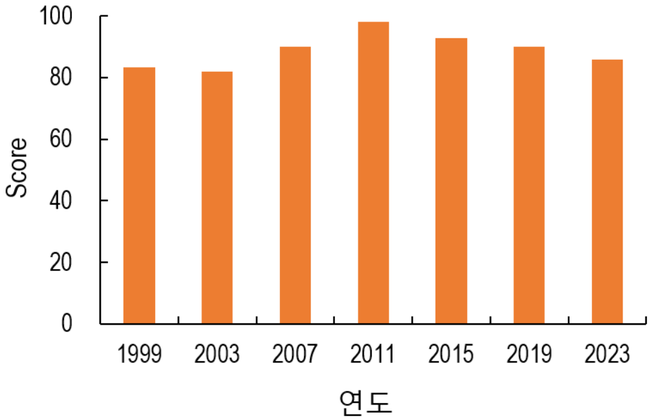

Score
연도


유효인산 (mg/kg)
적정기준: 80-120
연도

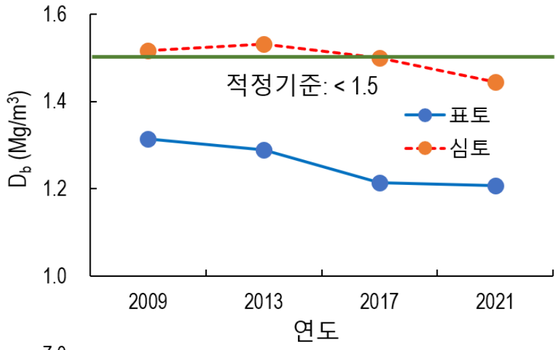

Score
연도

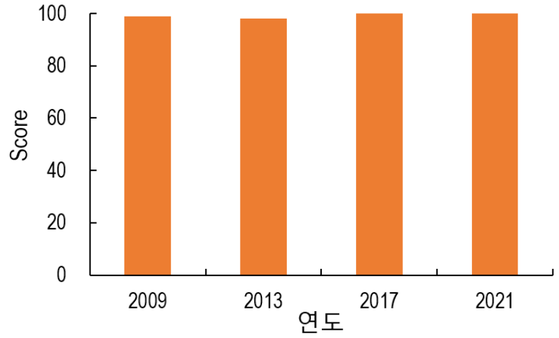

유기물 (g/kg)
적정기준: 20-30
연도

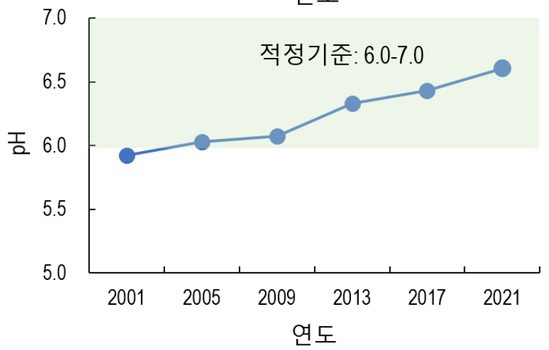

Score
연도

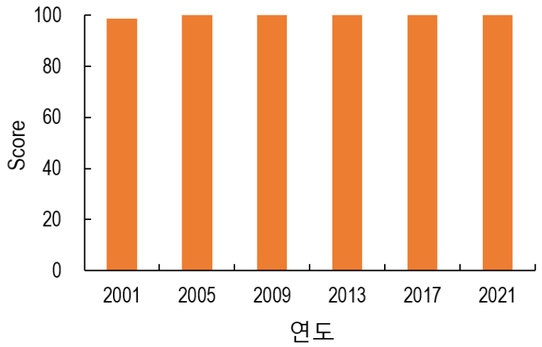

Score
연도

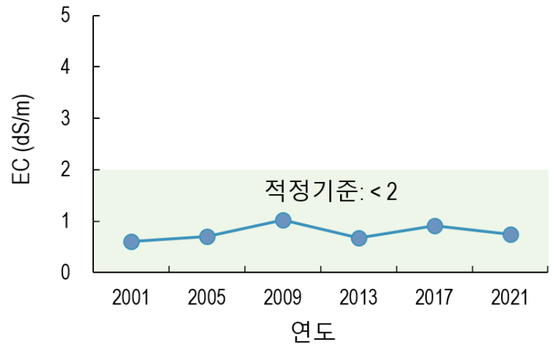
평가 결과: 밭

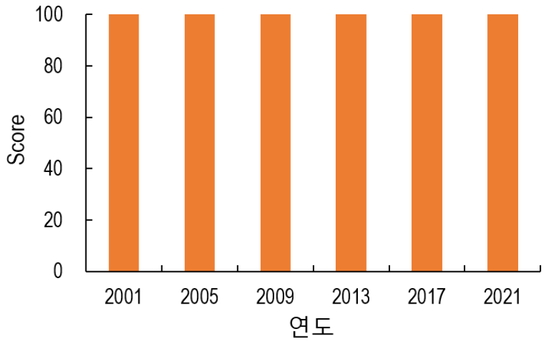

적정기준: < 1.5
표토
심토
D_b (Mg/m^3)
연도

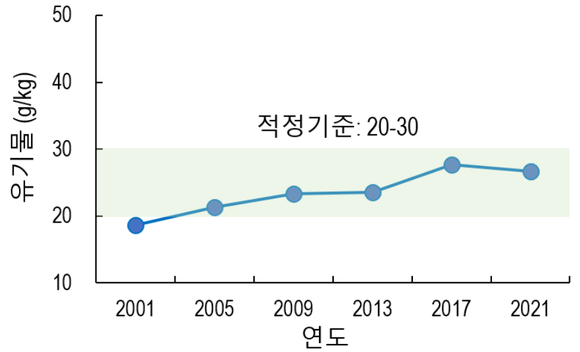

Score
연도

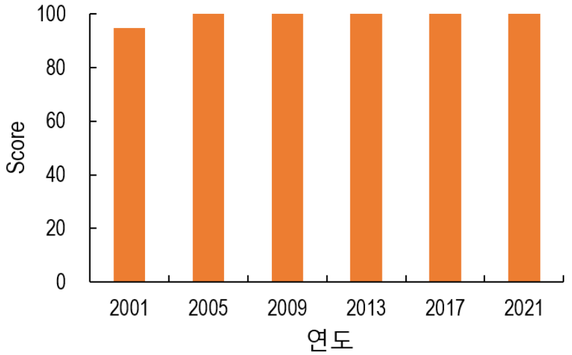

적정기준: 6.0-7.0
pH
연도

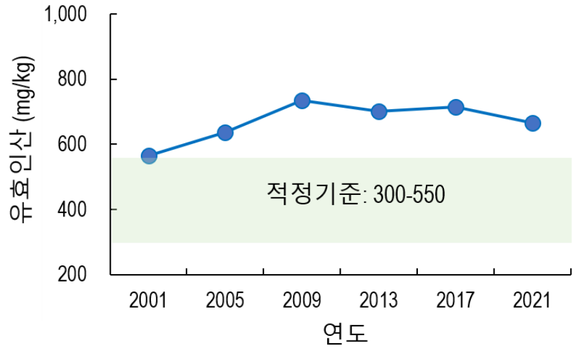

Score
연도

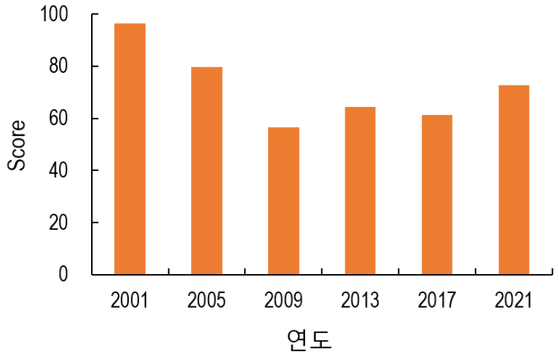

적정기준: < 2
EC (dS/m)
연도


Score
연도


적정기준: 20-30
유기물 (g/kg)
연도

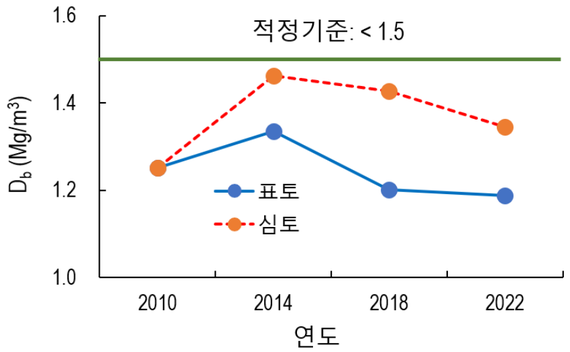

Score
연도

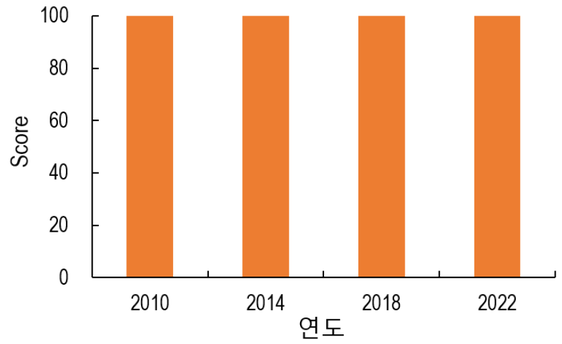

적정기준: 300-550
유효인산 (mg/kg)
연도

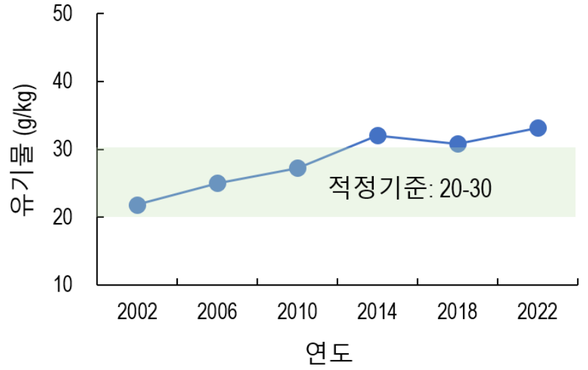

Score
연도

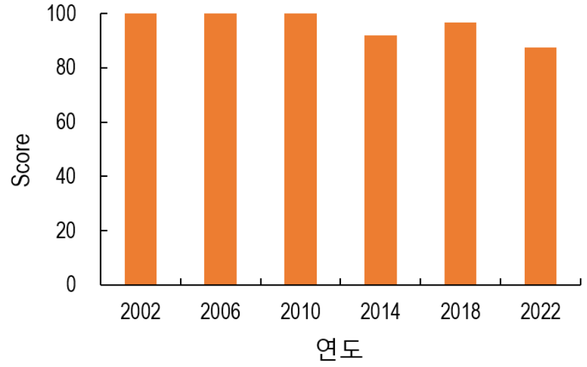
Score
연도

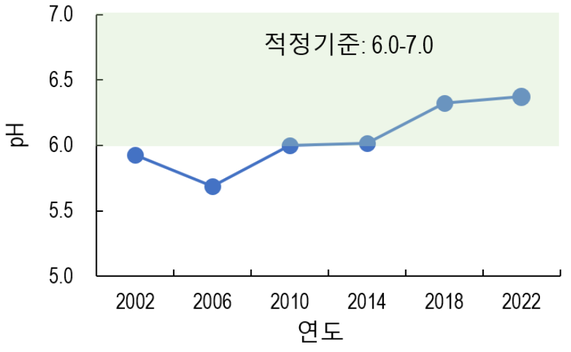
평가 결과: 과수원

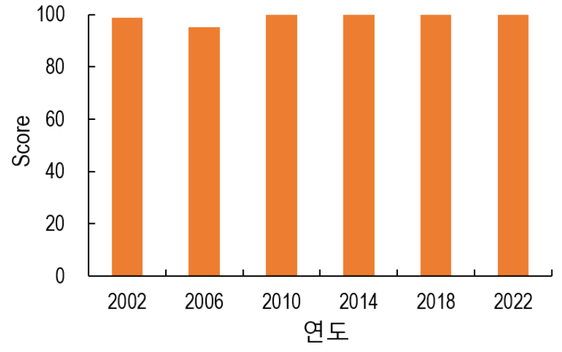

적정기준: < 1.5
D_b (Mg/m³)
표토
심토
연도

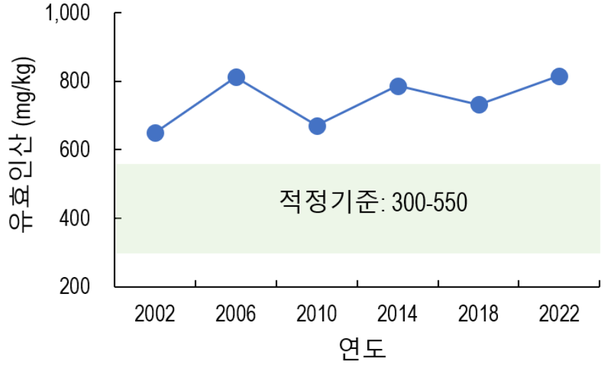

Score
연도

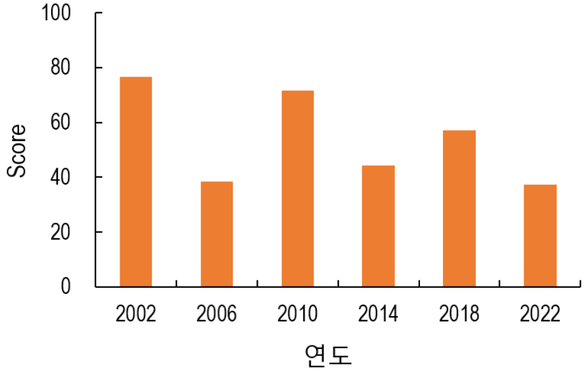

적정기준: 20-30
유기물 (g/kg)
연도

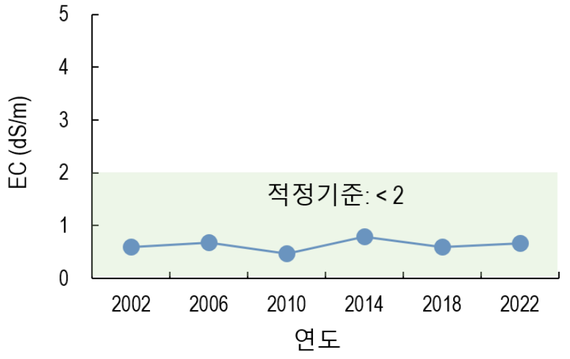

Score
연도

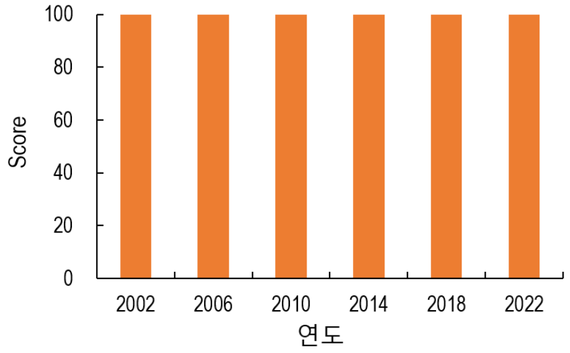

적정기준: 6.0-7.0
pH
연도

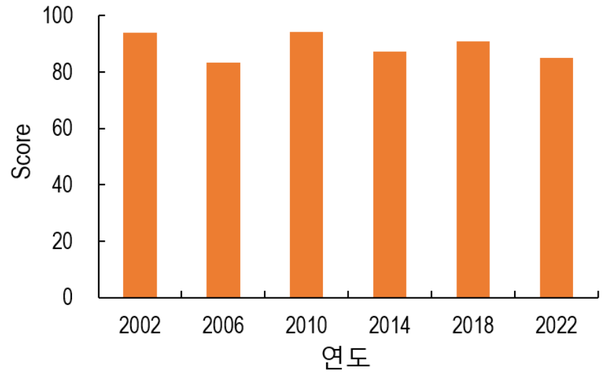

Score
연도


적정기준: 300-550
유효인산 (mg/kg)
연도

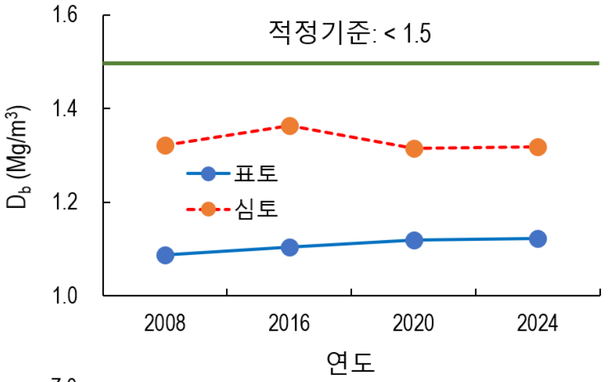

Score
연도

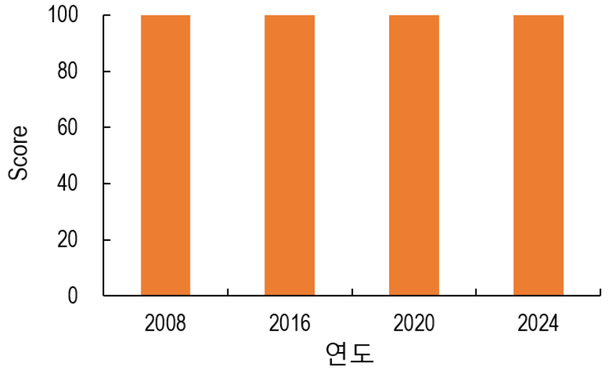

적정기준: < 2
EC (dS/m)
연도

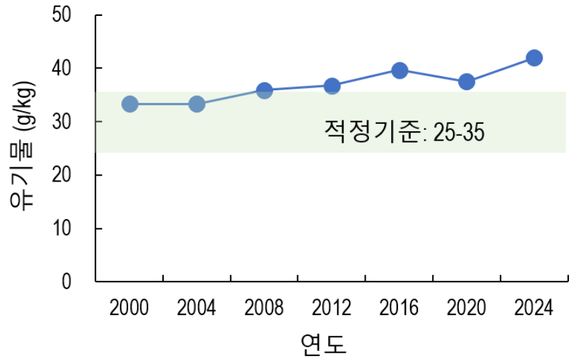

Score
연도

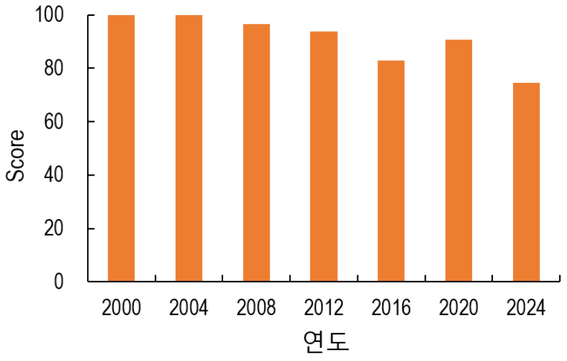

Score
연도

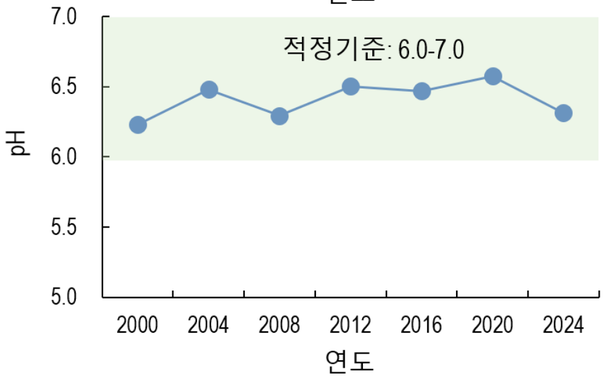
평가 결과: 시설재배지

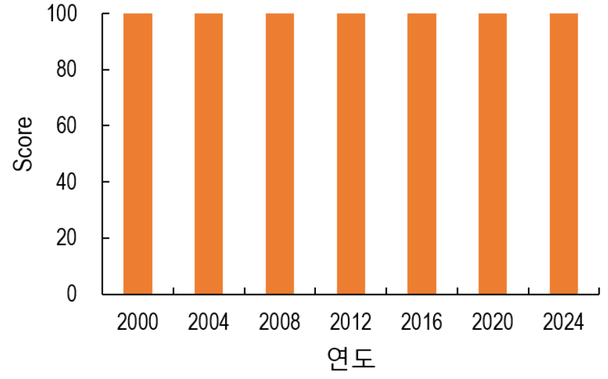

적정기준: < 1.5
표토
심토
D_b (Mg/m³)
연도

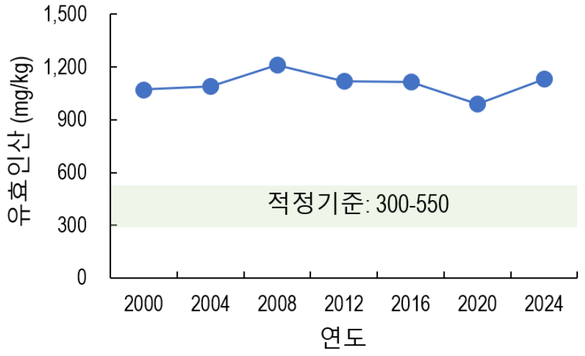

Score
연도

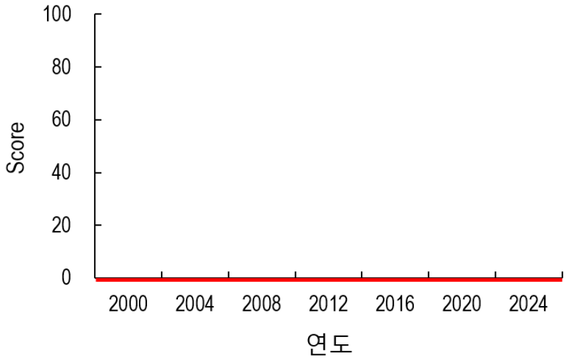

적정기준: 25-35
유기물 (g/kg)
연도

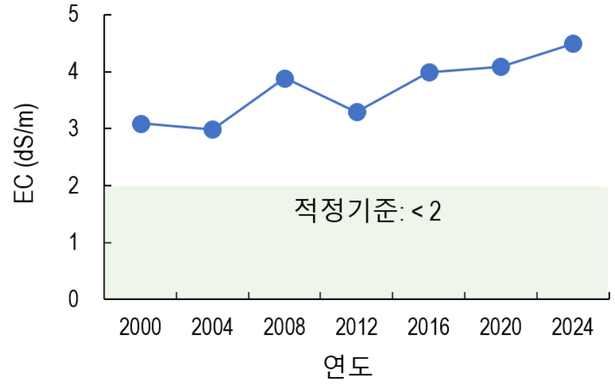

Score
연도

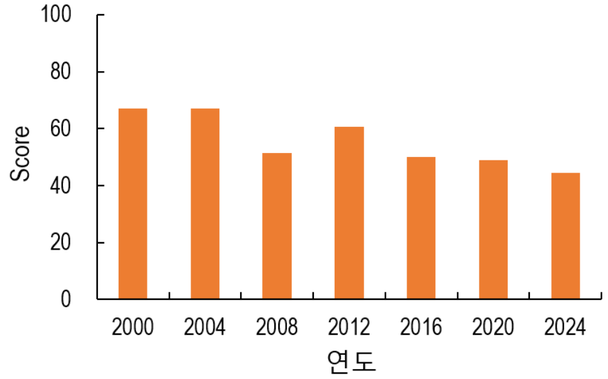

적정기준: 6.0-7.0
pH
연도

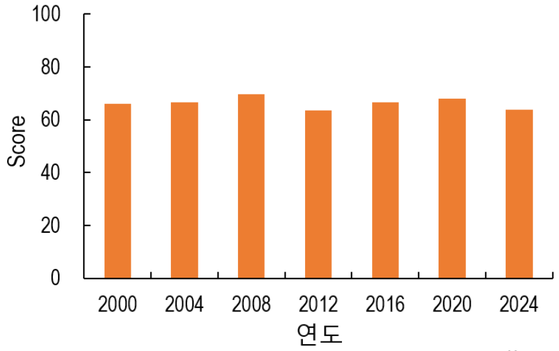

Score
연도


적정기준: 300-550
유효인산 (mg/kg)
연도


Score
연도

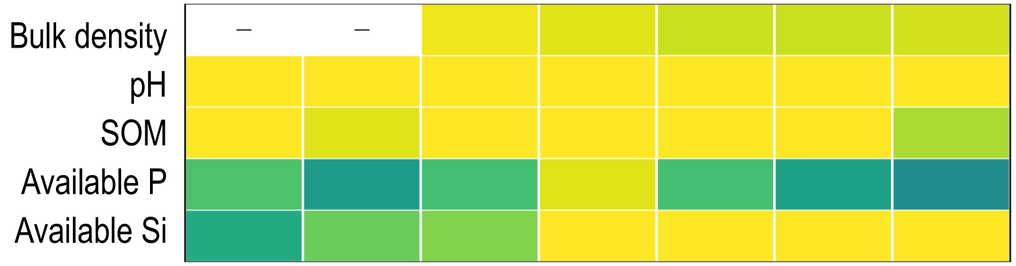

적정기준: < 2
EC (dS/m)
연도

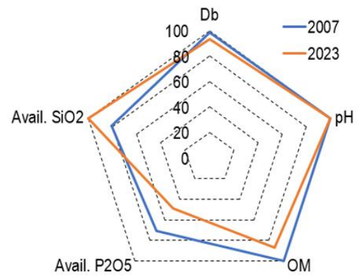

Score
연도

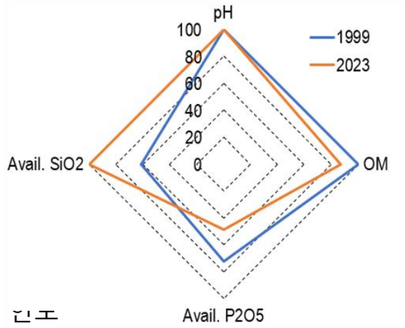

Score
연도

토양 종합 평가

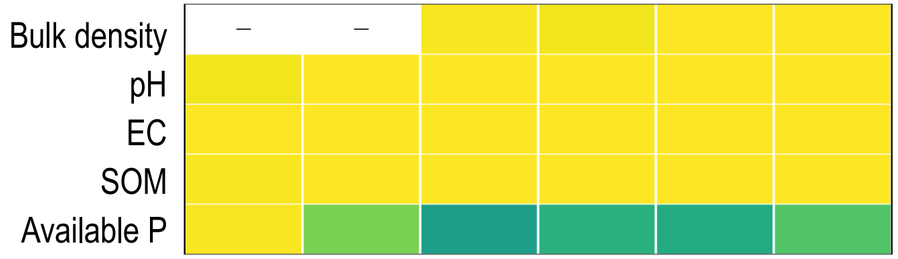
<논>

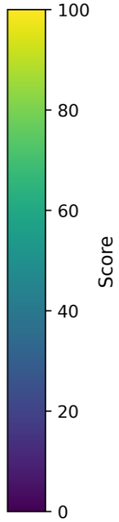


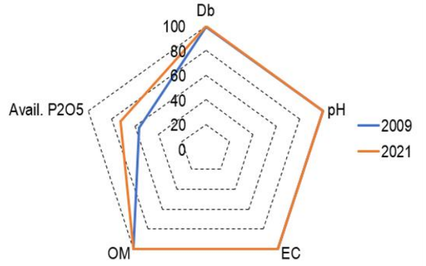


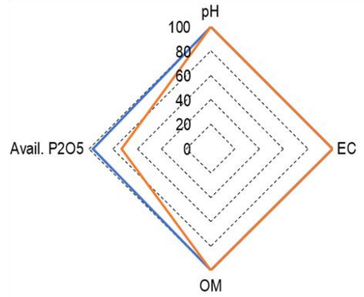


<밭>

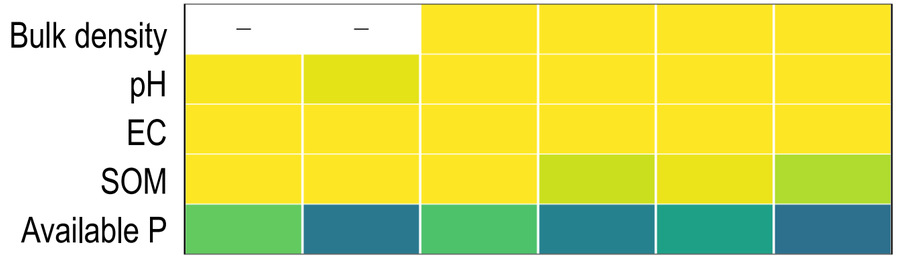


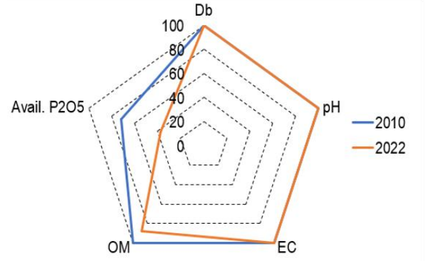


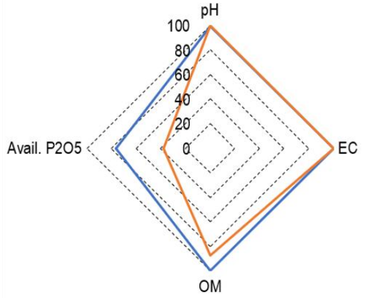




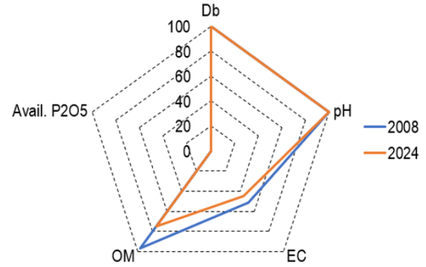
<과수원>

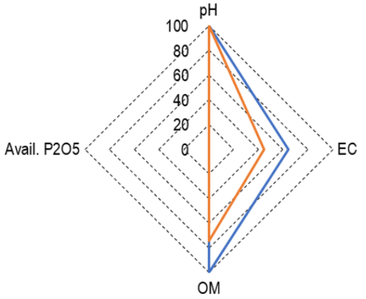






<시설재배지>



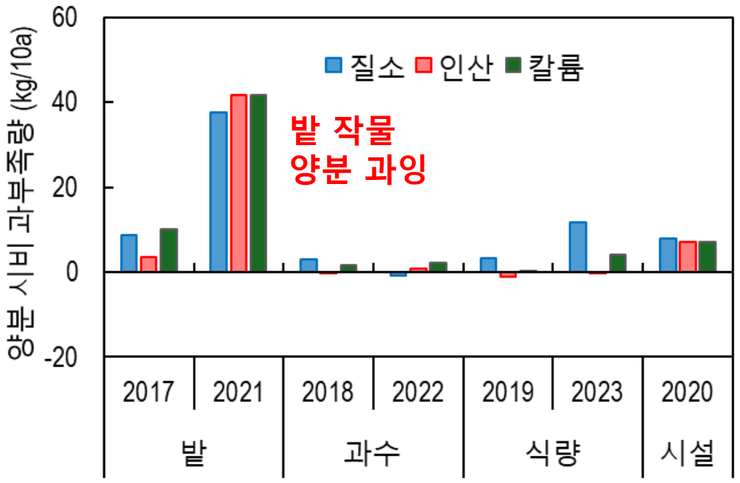


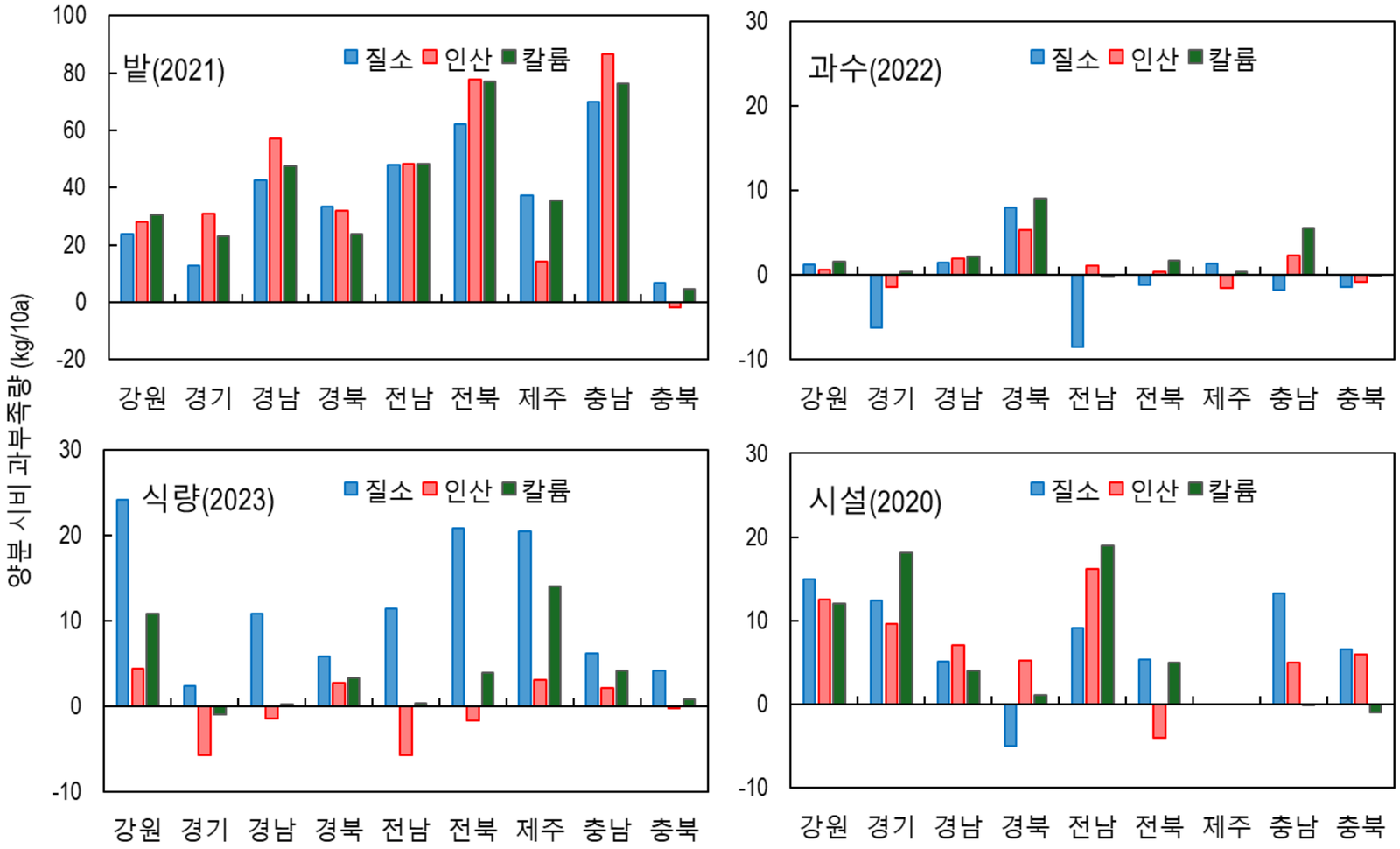
비료 사용 현황

양분 시비 과부족량

시비량–처방량

※ 퇴비는 제외





비료 사용 현황

시비처방전 대비 시비량

$$\frac{\text{시비량}-\text{처방량}}{\text{처방량}} \times 100\ (\%)$$

과잉: > 140%

약간 과잉: 120% ~140%

적정: 80% ~ 120%

약간 부족: 60% ~ 80%

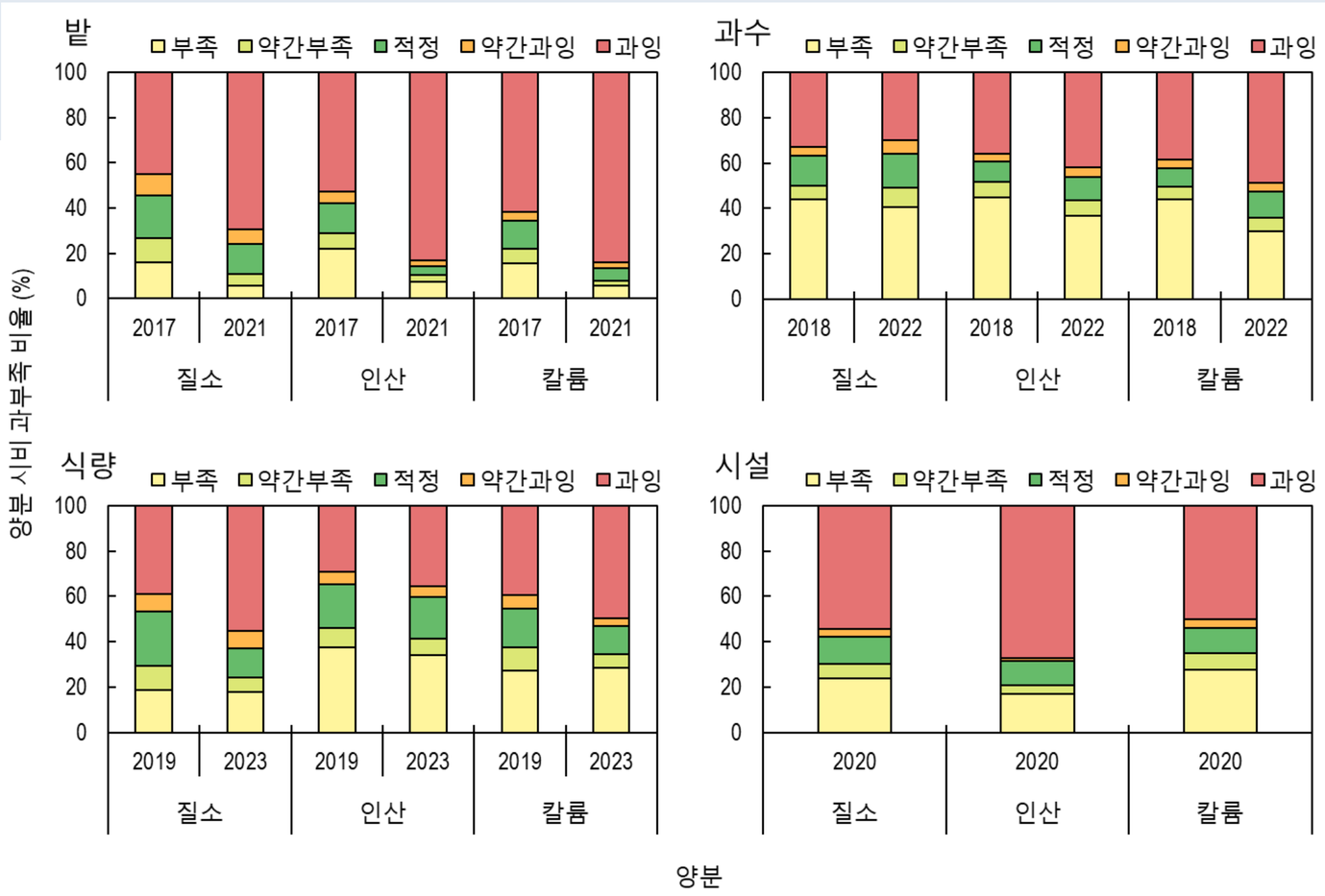
부족: < 60%

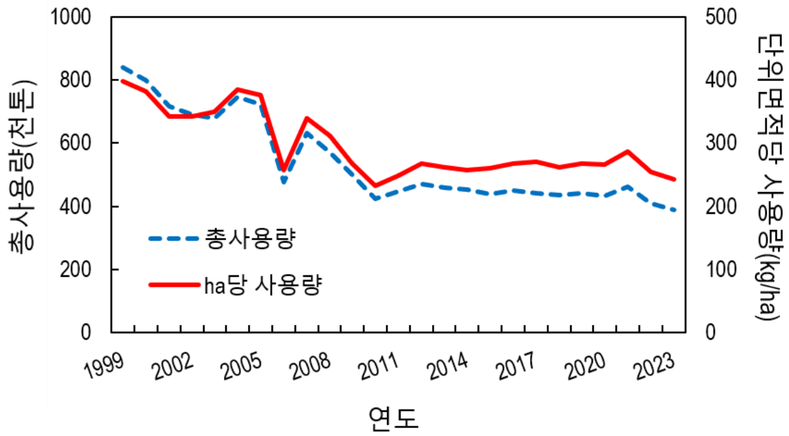
처방이 없는 경우에 “부족 " 시비 경향도 있음.

시비처방으로 적정량 시비 유도 필요

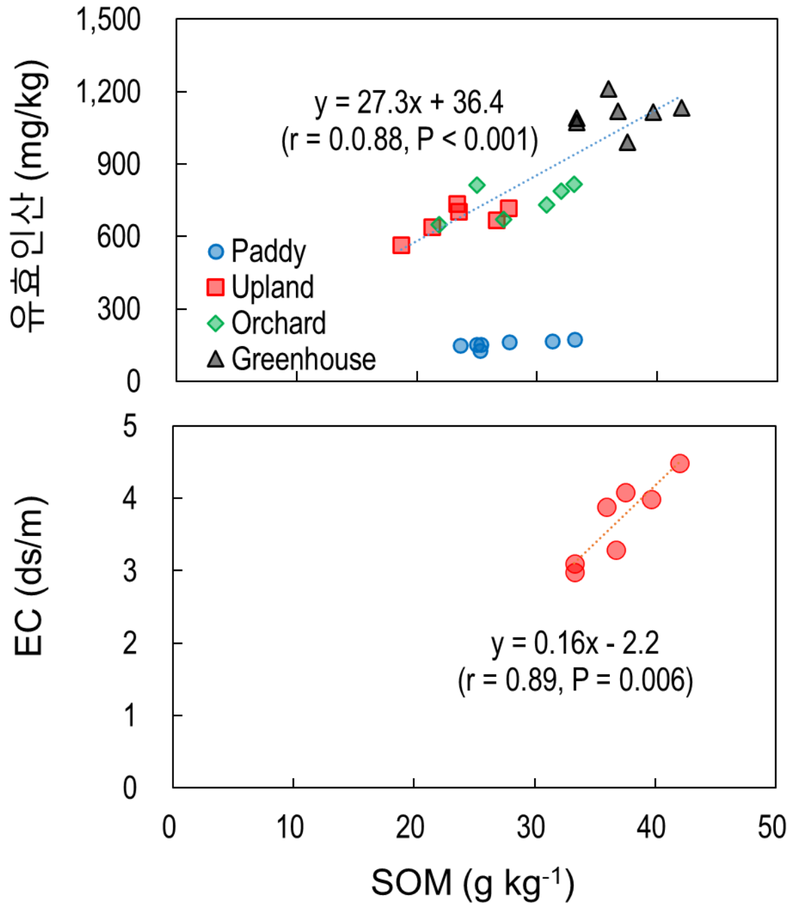
→ 농산물생산/비점오염저감/온실가스 저감

※ 퇴비는 제외

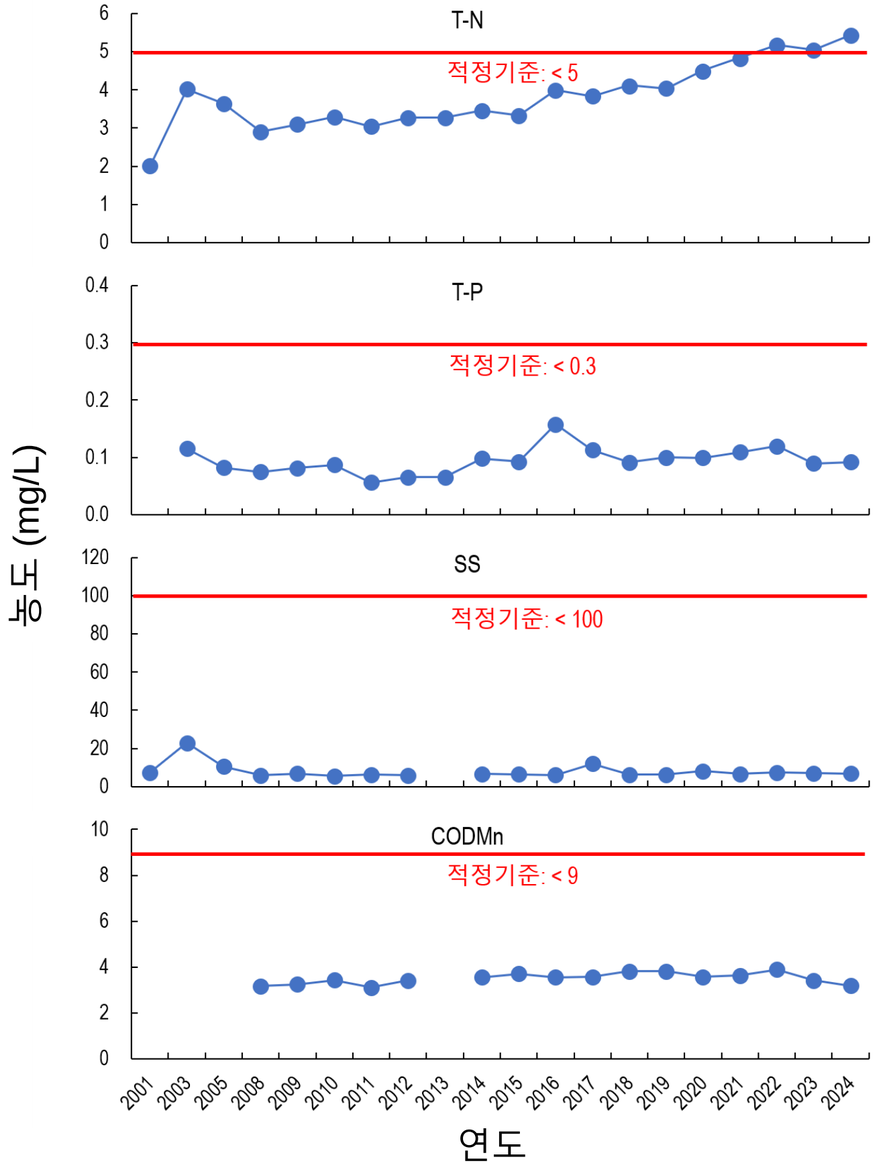


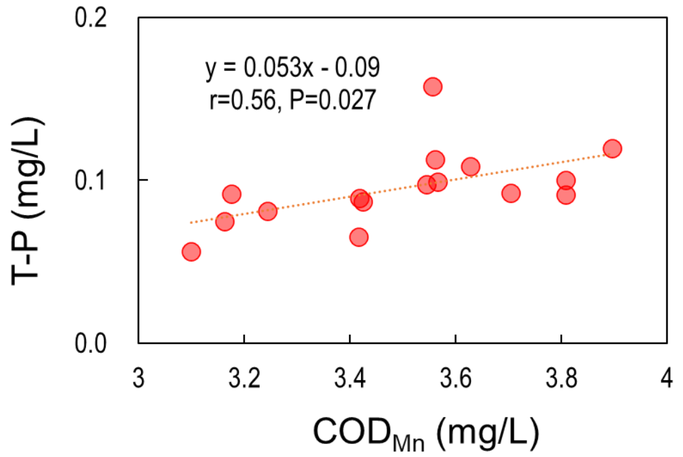


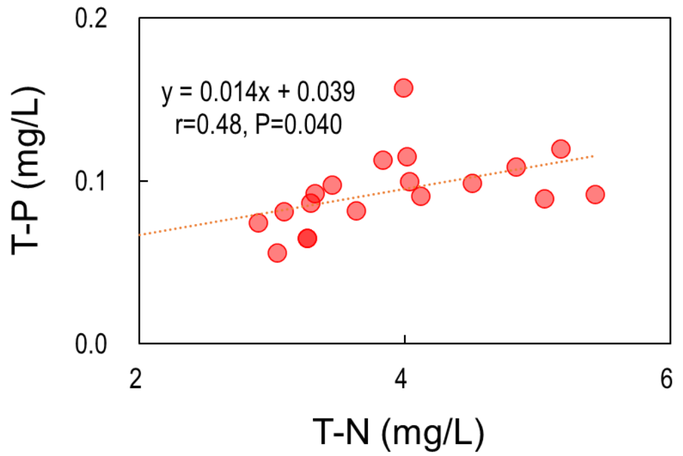
비료-토양-수질 관계



지표수 수질 변동







가축분 퇴비와 같은 유기성 비료 투입에 따른 유효인산·유기물·염 집적 가능성

가축분 퇴비와 같이 P 함유 유기물에 의한 수질 오염 가능성

미래도전과제 토양 지표 적정 범위와 기준 재설정

○ 토양 유기물 함량

문제점

→ 점토 함량이 높아서 유기물이 많은데, 유기물 과다로 판정

→ 점토 함량이 낮아서 유기물이 적은데, 유기물 부족으로 판정

→ 점토 함량이 낮지만, 유기물을 과다 투입하였는데도 유기물 적정으로 판정

(과다 투입 유기물은 수질 오염원 또는 CH_4 발생원으로 작용 가능)

Contents lists available at ScienceDirect

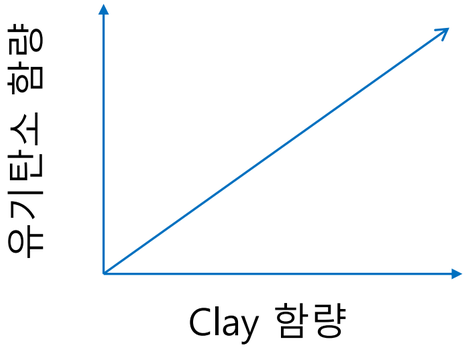
Geoderma

journal homepage: www.elsevier.com/locate/geoderma

Optimal organic carbon values for soil structure quality of arable soils. Does clay content matter?

개선방안

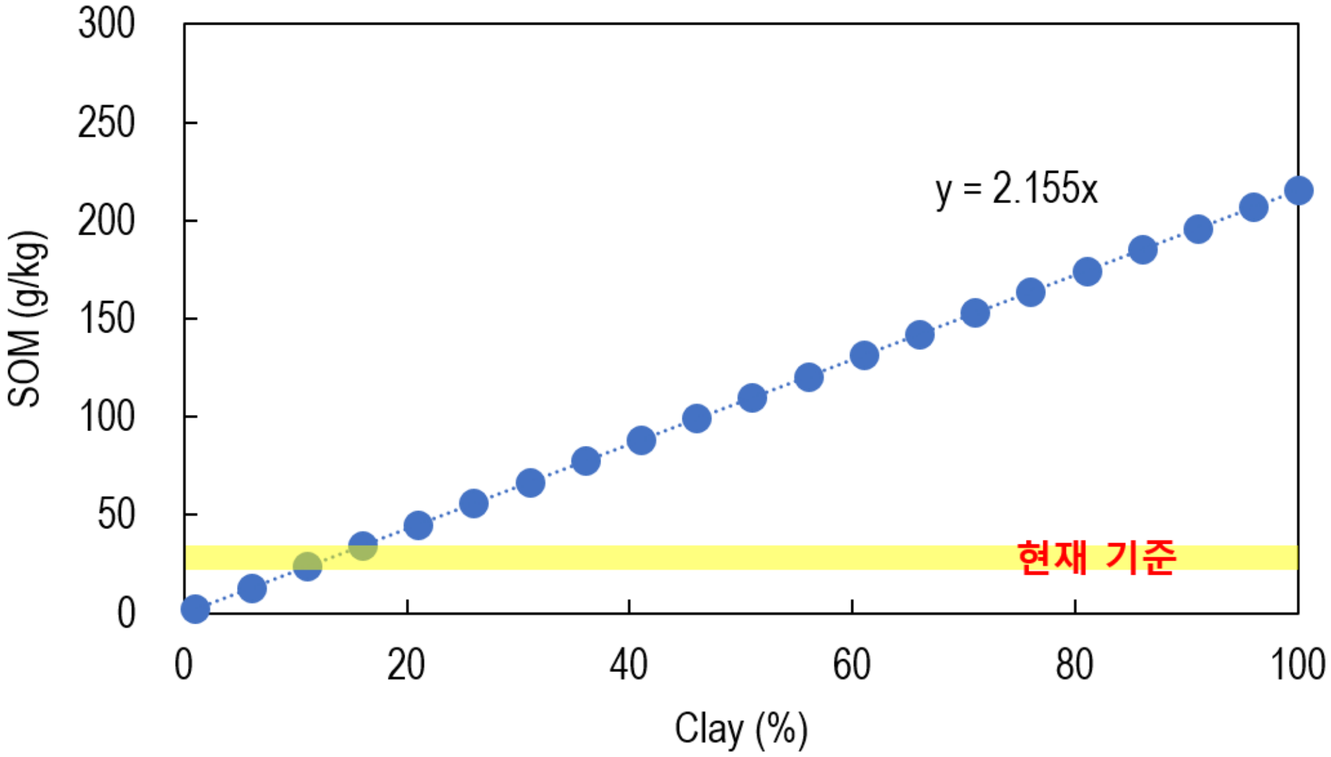
적정 SOC = Clay X 0.125



토양 지표 적정 범위와 기준 재설정

○ 토양 유기물 함량

<점토 함량을 고려할 경우 토양 유기물 적정 기준>



SOM (g/kg) = Clay (%) × 0.125 × 1.724 × 10

- Clay (%) : 점토 함량
- 0.125 : 점토 함량에 대한 적정 SOC 비율
- 1.724 : SOC → SOM 환산 계수
- 10 : % → g/kg 단위 환산 계수

현재의 방식을 적용할 경우 토양 유기물 적정 범위보다 높은 것으로 평가될 가능성이 매우 큼

토양 지표 적정 범위와 기준 재설정

○ EC

문제점

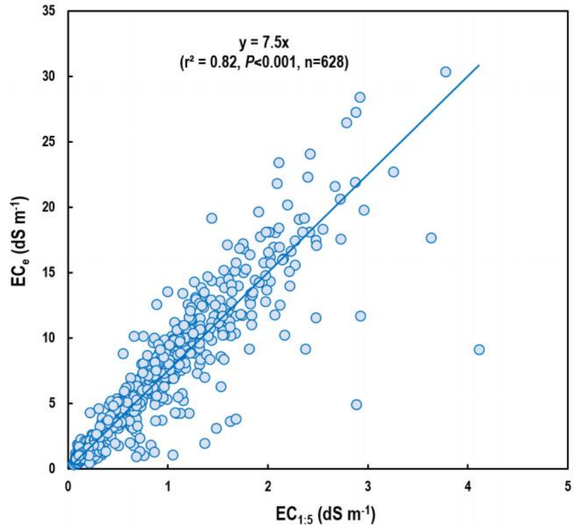
→ 현재 EC 기준 (2 dS/m)는 포화침출액 EC(EC_e)에 해당함.

→ $EC_{1:5}$×5 는 국제 표준이 아님. $EC_{1:5}$ 그대로 사용하거나, 토성별 EC_e 환산계수 적용 (현재 5 일괄 적용. 하지만, 모래 함량이 많을수록 계수가 커짐)

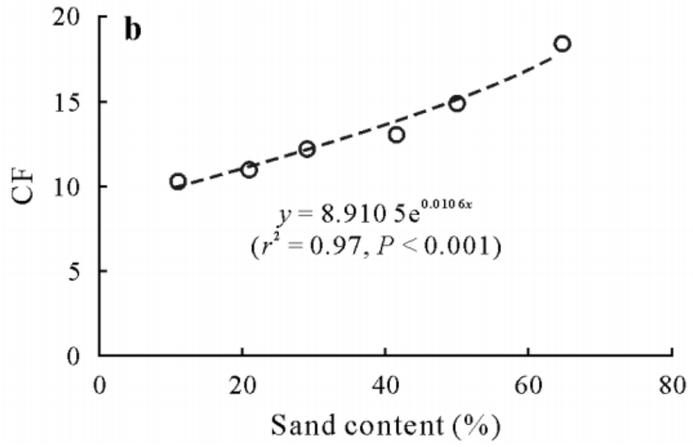
Pedosphere **32**(6): 905–915, 2022
doi: 10.1016/j.pedsph.2022.06.023
ISSN 1002-0160/CN 32-1315/P
© 2022 Soil Science Society of China
Published by Elsevier B.V. and Science Press

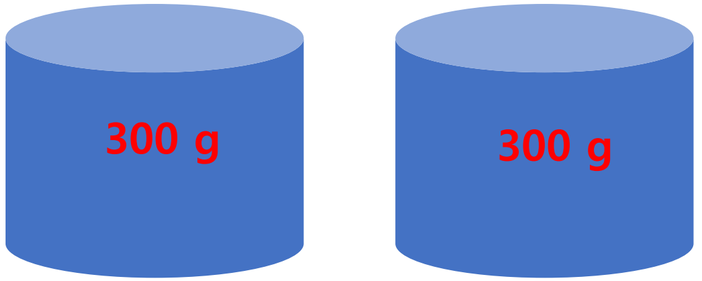
PEDOSPHERE
www.elsevier.com/locate/pedosphere

Soil texture affects the conversion factor of electrical conductivity from 1:5 soil-water to saturated paste extracts



$$CF = 8.910\,5e^{0.010\,6sand}/1.298\,4$$





포화 수분 함량 (mL)

150 mL 180 mL

$EC_{1:5}$ (dS/m)

0.2 0.2

$EC_{1:5}$ X 5 (dS/m)

1.0 1.0

CF (희석배수)

10 (1500/150) 8.3 (1500/180)

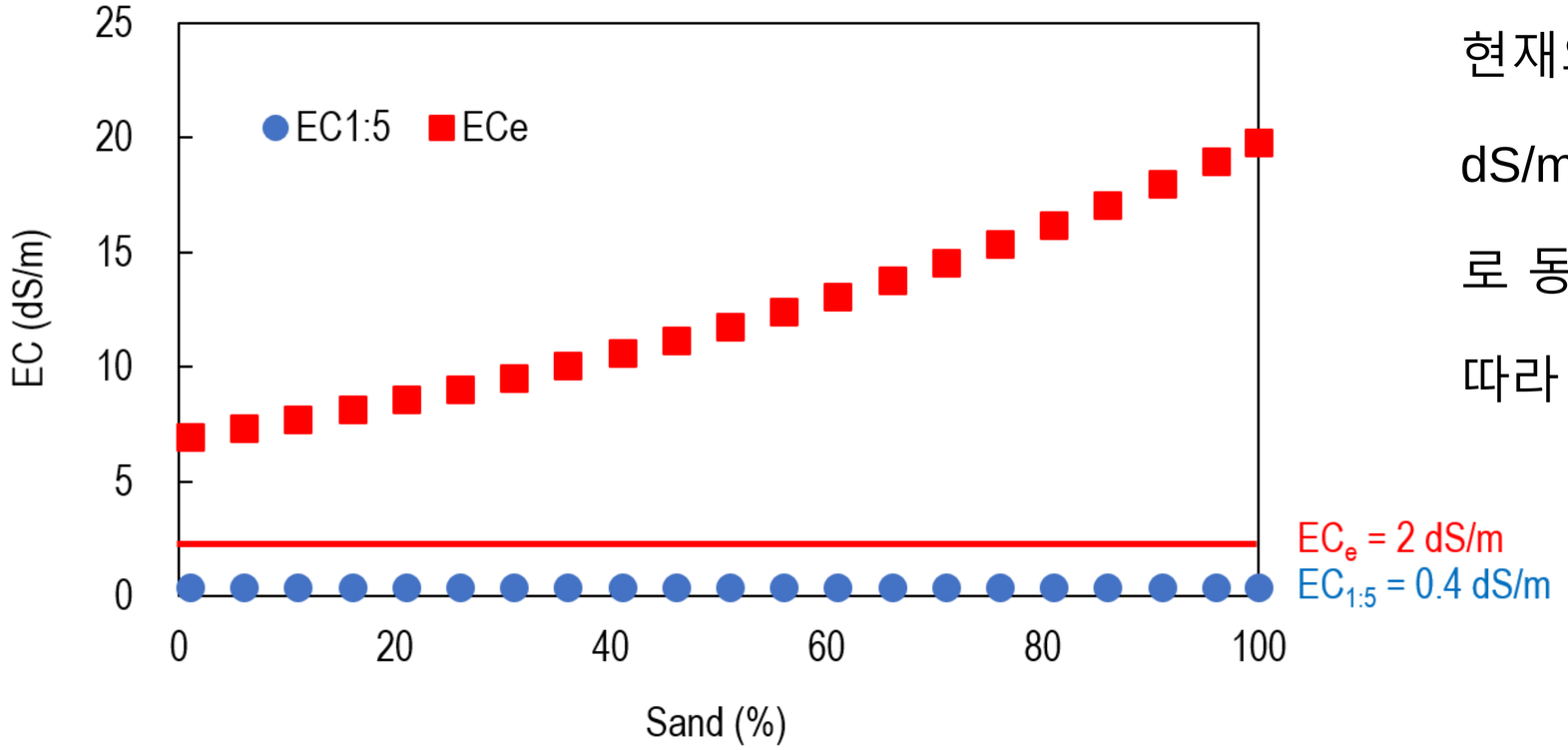
EC_e (dS/m)

2.0 1.7

토양 지표 적정 범위와 기준 재설정

○ EC

<모래 함량을 고려할 경우 모래 함량에 따른 ECe 변화>



현재의 EC 기준(2 dS/m, $EC_{1:5}$ 0.4 dS/m) 적용하면, $EC_{1:5}$가 0.4 dS/m로 동일하더라도 EC_e는 모래 함량에 따라 6.9~19.8 dS/m로 분포

현재의 방식을 적용할 경우 실제 EC_e가 2 dS/m 보다 매우 높음에도 불구하고 적정으로 평가될 가능성이 매우 큼

결론

전북대학교 JEONBUK NATIONAL UNIVERSITY

1 진단
- 토양검정, 장기점수
- 취약 지표 확인

2 처방
- 퇴비 성분 포함
- 통합 시비처방

3 감량
- P, K, 염류 집적지
- 투입 제한

4 저감
- 침식, 유출 저감
- 완충대, 피복

5 고도화
- SOC, TN, EC_e 기준
- 조사체계 개선

토지이용	상태	핵심 감점 지표	주요 원인	우선관리
논	양호	유기물, 유효인산	퇴비성 양분 축적	규산 완화, 퇴비 조정
밭	양호	유효인산	관행 시비, 유실 보전	처방 + 침식 저감
과수원	감소	유기물, 유효인산	장기 유기물 투입	P, K 감량
시설재배지	취약	유기물, 유효인산	고투입, 염류 집적	투입 차단, 제염

토양건강성 관리는 양분을 더 넣는 기술이 아니라,
토양 기능을 유지하면서 과잉 축적과 유출을 줄이는 통합관리 전략입니다.

감사합니다.