

어젠다코드	2 - 1 - 1		구분	완결	
기술분야코드	V1	기술유형코드	E02	작목구분코드	EE-02-EE22
과제종류	공동연구		과제번호	PJ012505	
과제명	농업환경자원 변동 평가(4년 1주기 5차 사업)				
과제책임자	성명		직급	소속기관 및 부서	
	김명숙		농업연구관	국립농업과학원	
연구기간	2017 ~ 2020		참여연구기관	-	
세부과제명			부서	세부책임자	연구기간
1) 강원도 일반농경지 토양화학성 및 물리성 변동조사			환경농업연구과	윤병성	'17~'20
2) 강원도 농업용수 수질조사 및 비료사용 실태조사			환경농업연구과	이남길	'17~'20
색인용어	토양화학성, 토양물리성, 토양중금속, 농업용수, 수질, 비료사용				

ABSTRACT

Monitoring on soil chemical properties, soil physical status and fertilizer application in arable soils was conducted on 4 cropland types including upland, orchard, rice paddy and plastic film house from 2017 to 2020 in order to provide basic information for soil fertility management of Gangwon Province. Monitoring of agricultural irrigation water, surface and ground-water, quality was investigated annually too. Objective of this study was to provide the fundamental data of environmentally-friendly agriculture policy and to product agricultural safe products.

Soil Chemical Properties

Upland soil samples were taken from 170 sites in 2017. Chemical properties were pH 6.4, organic matter 32 g/kg, available phosphate 742 mg/kg and exchangeable K, Ca, Mg were 1.2, 7.6, 2.0 cmol_c/kg, respectively. The content of pH and exchangeable Mg were within the optimal range. The content of EC was lower than the optimal range. Available phosphate content, organic matter and exchangeable K and Ca were over the optimal range. In terms of the long-term change, the contents of EC, OM, and Exch. cations in upland soils showed increasing tendency. However, significant changes in the contents of pH and Avail. P₂O₅ were not observed since 2013. The ratio of optimal range of pH and OM in upland fields reduced from 55% in 2001 to 36% in 2017 and from 33% to 27%, respectively. The ratio of excessive range of Exch. cations have increased.

Upland soil(alpine region) samples were taken from 56 sites in 2017. Chemical properties were pH 6.4, organic matter 28 g/kg, available phosphate 895 mg/kg and exchangeable K, Ca, Mg were 1.2, 7.5, 1.8 cmol_c/kg, respectively. The content of pH, organic matter and exchangeable Mg were within the optimal range. The content of EC was lower than the optimal range. Available phosphate content and exchangeable K and Ca were over the optimal range.

Orchard soil samples were taken from 80 sites in 2018. Chemical properties were pH 6.2, organic

matter 36 g/kg, available phosphate 860 mg/kg and exchangeable K, Ca, Mg were 1.4, 7.6, 2.1 cmol_c/kg, respectively. The content of pH and EC were within the optimal range. Available phosphate content, organic matter and exchangeable K and Ca were over the optimal range. The content of organic matter tend to increase gradually since first investigated 2002. Available phosphate content was much high than the optimal range. The ratio of high-level site was increased from 62% in 2002 to 76% in 2018.

Orchard soil(alpine region) samples were taken from 46 sites in 2018. Chemical properties were pH 6.4, organic matter 29 g/kg, available phosphate 726 mg/kg and exchangeable K, Ca, Mg were 1.1, 7.2, 2.0 cmol_c/kg, respectively. The content of pH, EC, organic matter and exchangeable Mg were within the optimal range.

Paddy soil samples were taken from 150 sites in 2019. Chemical properties were pH 6.0, organic matter 26 g/kg, available phosphate 128 mg/kg, available silicate 169mg/kg and exchangeable K, Ca, Mg were 0.33, 4.5, 1.1 cmol_c/kg, respectively. The content of pH, organic matter and available silicate were within the optimal range. The content of exchangeable Ca and Mg were lower than the optimal range for plant cultivation. Available phosphate content and exchangeable K were over the optimal range. In the long-term analysis, the contents of Avail. SiO₂, Exch. K and pH of paddy soils showed increasing tendency. Paddy soil samples within appropriate pH range were increased from 65% in 2003 to 77% in 2007, 68% in 2011, 71% in 2015 and 74% in 2019. In case of Avail. SiO₂, soil samples within appropriate range were increased from 20% in 2003, to 37% in 2007, 29% in 2011, 45% in 2015 and 44% in 2019.

Paddy soil(alpine region) samples were taken from 24 sites in 2019. Chemical properties were pH 6.2, organic matter 29 g/kg, available phosphate 162 mg/kg, available silicate 246mg·kg⁻¹ and exchangeable K, Ca, Mg were 0.41, 4.9, 1.0 cmol_c/kg, respectively. The content of pH, organic matter and available silicate were within the optimal range. The content of exchangeable Ca and Mg were lower than the optimal range for plant cultivation. Available phosphate content and exchangeable K were over the optimal range.

Plastic film house soil samples were taken from 100 sites in 2020. Chemical properties were pH 6.5, organic matter 45 g/kg, available phosphate 1,203 mg/kg and exchangeable K, Ca, Mg were 1.7, 11.4, 3.5 cmol_c/kg, respectively. The pH average was optimal range, but the other components exceeded the optimal range by more than two times. The content of organic matter tend to increase gradually. Average of pH, EC, and available phosphate showed little change since 2016.

Plastic film house soil(alpine region) samples were taken from 56 sites in 2020. Chemical properties were pH 6.7, organic matter 45 g/kg, available phosphate 1,112 mg/kg and exchangeable K, Ca, Mg were 1.7, 11.4, 2.9 cmol_c/kg, respectively.

Heavy metal content investigated much lower than soil contamination criteria.

Soil physical Properties

Upland soils samples were taken from 40 sites in 2017 were following as; Bulk densities of surface soil and subsoil were 1.20 and 1.49 Mg m⁻³. Yamanaka hardness of subsoil was 18.2 mm. In addition, the average of surface soil depth was 16.1 cm.

Orchard soils samples were taken from 40 sites in 2018 were following as; Bulk densities of surface soil and subsoil were 1.19 and 1.42 Mg m⁻³. Yamanaka hardness of subsoil was 18.5 mm. In addition, the average of surface soil depth was 28.3 cm.

Paddy soils samples were taken from 40 sites in 2019 were following as; Bulk densities of surface soil and subsoil were 1.25 and 1.58 Mg m⁻³. Yamanaka hardness of subsoil was 20.8 mm. In addition, the average of surface soil depth was 18.7 cm.

Plastic film house soil samples were taken from 40 sites in 2020 were following as; Bulk densities of surface soil and subsoil were 1.12 and 1.41 Mg m⁻³. Yamanaka hardness of subsoil was 19.0 mm. In addition, the average of surface soil depth was 20.0 cm.

Agricultural Water Quality

Surface water quality was estimated at 34 sites from 2017 to 2020. In 2020, the average concentration of DO, BOD, COD_{Mn}, SS were 11.2, 1.0, 1.7, 3.1 mg/L, respectively. and pH was 7.7. The sampling site ratio of pH, BOD which was over the agricultural water criteria was 1.0, 2.9, respectively. and All of the other factors were within the criteria.

The sampling site ratio of exceeding the agricultural water criteria, from 2017 to 2020. pH was 2.0, 1.0, 3.9, 1.0% in 2017, 2018, 2019, 2020, respectively. T-P was 1.0, 2.9, 3.6%, in 2017, 2018, 2019, respectively. TOC was 1.0, 2.0% in 2017, 2018, respectively. COD_{Mn} was 1.0% in 2018, As for DO, BOD, SS, there was no excess site from 2017 to 2020.

Ground water quality was estimated at 20 sites from 2017 to 2020. The average concentration of Cl⁻, NO₃-N were 21.0, 5.72mg/L, respectively. pH was 6.8 and EC was 0.3 dS/m in 2020. Especially, the concentration of NO₃-N, critical factor of ground water quality was much lower than the agricultural water quality criteria.

From 2017 to 2020, the sampling site ratio of exceeding the agricultural water criteria, pH was 2.5, 2.5%, in 2017, 2020, respectively. NO₃-N was 3.3, 2.5% in 2019, 2020, respectively, As was 2.5, 3.3% in 2017, 2019, respectively, and Cd, Hg were not detected or much lower than agricultural water quality criteria. There was no significant change of surface and ground water quality from 2017 to 2020.

Fertilizer application Monitoring

Fertilizer application Monitoring was estimated at 400 sites from 2017 to 2020. In 2017, Highland cabbage, cabbage, and radish crops were surveyed at 50, 25, and 25 points, respectively, for a total of 100 sites. In 2019, Potato and corn were examined at 30 and 30 points respectively. Nitrogen, phosphoric acid, and potassium were the most used in cabbage for farm fertilizers. The difference between farm household consumption and fertilizer use by crop was found to be the largest in highland cabbage. In 2018, a total of 100 locations were surveyed for apples, pears, grapes, and peaches. The total fertilizer use was highest in pears. The difference between the recommended amount of use by crop and that of farmers was the largest in pears, and in the case of apples and grapes, it was found that the amount of use by farmers was insufficient. In 2019, 40 farmers of rice crops were investigated. Total fertilizer use of farms was 27.7 nitrogen, 10.3 phosphoric acid, and 17.1 potassium. In 2020, Tomatoes, green peppers, and cucumbers

were examined at 100 points. The total amount of fertilizer used by farms was found to be the most used green pepper. The difference between the recommended fertilizer use and the use of farmers was the largest.

1 연구목표

우리나라 소비자들에게 안전한 먹거리를 제공하고 생산자들에게는 소득을 보장하면서 농경지의 농업환경을 보전하는 친환경농업의 중요성이 강조되고 있다. 따라서 이를 위해서는 농경지 화학성 변동 조사사업을 통해 토양 양분과 안전한 농산물 생산을 위한 토양 유해성분 등 농업환경을 파악하여 균형 있게 유지하는 것이 필요하다. 우리나라 농경지에 대한 토양 비옥도 조사는 1958년부터 1963년 전국 토양개량 조합과 시군농촌지도소에서 토양을 채취하고 식물환경연구소에서 화학성을 분석하면서 시작되었다(Kim et al., 1963). 이후 1998년도에는 친환경농업 육성법이 시행되어 동법 제11조 토양자원 및 농업환경 실태조사가 추진됨에 따라 1999년부터 농촌진흥청과 각 도의 농업기술원이 참여하는 전국적인 규모의 농업환경변동조사가 수행되어 오고 있으며(RDA, 2009), 논문 1990년부터 1,168개, 발은 1992년부터 854개 동일한 지점의 토양화학성을 조사 분석한 보고가 있다(Jung et al., 1998; Jung et al., 2001). 2013년 흙토람에 업로드 된 전국 밭토양 1,006,227 지점의 화학성을 분석하여 보고한 결과(Kong et al., 2015)가 있고, Park et al.(2016)의 경북지역 시설재배지, 밭, 과수원 토양의 비옥도를 4년 주기로 12년간 조사 한 결과 밭토양의 평균 pH와 교환성 칼륨은 유의하게 증가하는 경향을 나타냈고 유기물과 유효인산 함량 등은 큰 변동없이 유지되었다는 보고가 있다. Roh et al. (2018)은 경기도 밭토양 190 지점을 대상으로 조사한 결과 장기적인 변화에서는 pH, 유기물, 교환성 칼슘 함량 등은 증가하는 경향을 나타냈으며, 유효인산 함량은 감소하는 경향을 나타냈다고 하였다. 한편, 강원도 토양화학성 분석 결과로는 2015년 논토양의 평균 화학성은 토양 pH 5.9, 유기물 함량 22 g/kg, 유효인산 함량 123 mg/kg을 나타냈고, 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘 함량은 각각 0.39, 4.8, 0.9 cmol_c/kg이었고, 유효규산 함량은 170 mg/kg이라는 결과가 있다(Yoon et al., 2016). 농업용 하천수 수질변동평가 조사 결과로는 2007~2016년 COD_{Mn}은 평균 1.9mg/L, 중위값 1.7mg/L, EC는 평균 0.17dS/m, 중위값 0.15dS/m, T-N은 평균 2.83mg/L, 중위값 2.50mg/L, T-P는 평균 0.05mg/L, 중위값 0.02mg/L이라는 결과가 있다(Lee et al., 2019).

따라서 본 연구는 우리나라 농경지 토양환경 변동을 주기적으로 파악하여 과학적인 토양개량과 합리적인 시비대책 수립, 친환경농업 기반 구축, 토양과 농업용수 수질오염 경감, 농산물의 안전성을 지키기 위하여 밭-과수원-논-시설재배 토양의 화학성, 물리성, 농업용수 수질, 비료사용실태를 조사한 결과를 검토하였다.

2 재료 및 방법

〈제1세부과제: 강원도 일반농경지 토양화학성 및 물리성 변동조사〉

(시험 1) 토양화학성 변동조사

가. 시료 채취

농경지 토양의 화학성과 중금속 함량의 변동을 주기적으로 파악하기 위하여 밭토양 226정점(2017),

과수원토양 126정점(2018), 논토양 174정점(2019), 시설재배지토양 156정점(2020)을 논과 밭 토양은 표토(0~20cm), 과수원과 시설재배지 토양은 표토(0~20cm)와 심토(20~40cm)로 구분하여 채취·분석하였다(표 1).

나. 토양 분석

토양 화학성 분석은 농촌진흥청 토양화학분석법 (NAAS, 2010a)에 따라 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5 (w/w)로 희석하여 진탕한 후 pH meter (Orion 3 Star, Thermo Scientific)로 측정하였고, 유기물 함량은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 치환성양이온은 1.0 N NH₄OAc (pH 7.0)로 침출하여 ICP(Integra Dual, GBC)로 분석하였다. 유효규산은 1.0 M NaOAc (pH 4.0)로 침출하여 분광광도계 (Uvikon X5, Secoman)를 이용하여 정량하였다. 조사된 논토양 화학성 평균의 연차간 변화를 분석하였고, 2013년 제2차 농업환경자원 변동평가 워크숍(RDA, 2013)에서 제안한 토지이용별 토양화학성 적정범위 변경안에 따라 논토양 화학성 적정범위를 기준으로 부족, 적정, 과다비율을 구하여 연차별 변화를 비교하였다. 중금속 분석은 토양오염공정시험기준(ME, 2009)에 따라 중금속 6종 As, Cd, Cr, Ni, Pb, Zn, Cu는 ICP(Integra Dual, GBC), Hg는 수은분석기(DMA-80, Milestone)로 측정하였다.

표 1. 강원도 토양 화학성 조사지점수

○ 2017년 강원도 밭토양 226지점(고랭지 56 지점 포함)

지역	춘천	원주	강릉	동해	태백	속초	삼척	홍천	횡성	영월
기존지점 (고랭지추가)	14	14	12 (3)	7	8 (6)	3	2 (5)	15 (9)	15 (9)	13
지역	평창	정선	철원	화천	양구	인제	고성	양양	합계	
기존지점 (고랭지추가)	14 (9)	15 (6)	7	6	8 (2)	10 (7)	5	2	170 (56)	

○ 2018년 강원도 과수원 토양 126지점(고랭지 80 지점 포함)

지역	춘천	원주	강릉	동해	태백	속초	삼척	홍천	횡성
기존지점 (고랭지추가)	16	17	10 (2)	3	(3)	2	4 (3)	4 (8)	3
지역	영월	평창	정선	철원	화천	양구	인제	양양	합계
기존지점 (고랭지추가)	4 (2)	1	1 (13)	1	1	3 (15)	1	9	80 (46)

○ 2019년 강원도 논토양 174지점 (고랭지 24지점 포함)

지역	춘천	원주	강릉	동해	속초	삼척	홍천	횡성	영월
기존지점 (고랭지추가)	10	25	16	6	2	6 (1)	24 (4)	16 (9)	5
지역	평창	정선	철원	화천	양구	인제	고성	양양	합계
기존지점 (고랭지추가)	5 (3)	3 (3)	12	2	4 (3)	4 (1)	5	5	150 (24)

○ 2020년 강원도 시설재배 토양 156지점 (고랭지 56지점 포함)

지역	춘천	원주	강릉	동해	태백	속초	삼척	홍천	횡성	영월
기존지점 (고랭지추가)	14	8	7 (2)	6	5 (5)	4	4 (5)	5 (7)	7 (12)	4
지역	평창	정선	철원	화천	양구	인제	고성	양양	합계	
기존지점 (고랭지추가)	7 (9)	2 (7)	5	3	4	4 (7)	7 (2)	4	100 (56)	

(시험 2) 토양 물리성 조사

가. 시료 채취

농경지 토양의 물리성은 2017년에는 밭토양, 2018년에는 과수원토양, 2019년에는 논토양, 2020년에는 시설재배토양을 대상으로 각각 40점을 채취·분석하였다(표 2).

표 2. 강원도 토양 물리성 조사지점수

○ 2017년 강원도 밭토양 40지점(표토, 심토)

지역	춘천	원주	강릉	동해	태백	속초	홍천	횡성	영월	정선	화천	양구	인제	합계
지점수	2	5	6	3	1	1	3	7	3	2	1	3	3	40

○ 2018년 강원도 과수원토양 40지점(표토, 심토)

지역	춘천	원주	강릉	동해	속초	양양	양구	철원	삼척	철원	횡성	합계
지점수	3	9	8	3	2	9	2	1	1	1	1	40

○ 2019년 강원도 논토양 40지점(표토, 심토)

지역	춘천	원주	강릉	속초	삼척	홍천	횡성	영월	평창	정선	철원	양구	인제	합계
지점수	2	7	4	1	2	5	6	1	1	2	6	2	1	40

○ 2020년 강원도 시설토양 40지점(표토, 심토)

지역	춘천	원주	강릉	동해	태백	속초	삼척	홍천	횡성	영월	정선	철원	화천	양구	인제	고성	양양	합계
지점수	8	4	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	2	1	3	1	40

나. 토양 분석

토양 물리성 조사항목은 토성, 용적밀도, 삼상, 경도 등이다. 토성은 미농무성 비중계법으로 분석하였으며, 2 inch core를 이용하여 5반복으로 시료를 채취한 후 용적밀도와 삼상을 분석하였다(농업과학기술원, 2000). 경도는 Yamanaka 경도계를 이용하여 표토와 심토의 경도를 10반복으로 측정하였다. 또한 토양단면의 A층 깊이인 표토심을 측정하였다.

〈제2세부과제: 강원도 농업용수 수질조사 및 비료사용실태조사〉

(시험 1) 농업용수 수질조사

가. 시료 채취

농업용 하천수의 수질조사는 농업지대를 경유하는 하천 34지점을 대상으로 4월, 7월, 10월로 연 3회씩 실시하였다. pH, EC, DO 등은 현장에서 측정 후, 폴리에틸렌 용기에 채취하여 ICE BOX에 넣어 운반하여 4℃ 냉장고에 보관하면서 분석을 실시하였다. 지하수 수질시료는 영농형태별로 논 5, 밭 5, 시설재배지 10지점을 선정하여 지하수 양수관 내에 잔류하고 있는 지하수를 완전히 배제하고 시료를 채수하였다. 현장에서 pH, EC를 측정하고 실험실로 운반 후 분석을 실시하였다.

나. 농업용수 분석

하천수 및 지하수 시료는 수질오염공정시험법(환경부, 2005), Standard Method(APAH, 1992), 농업용수 수질분석 이론 및 실무(농촌진흥청, 2006)에 준하여 분석하였다. BOD와 DO는 DO meter 법에 준하여 분석하였고, COD는 산화제로 과망간산칼륨을 이용하여 분석하였다. NH₄-N은 Indophenol 법, T-N과 T-P는 자동분석기를 이용한 비색법, SS는 중량법, 양이온류는 6번 여지로 여과한 후, ICP-AES(Inductively Plasma-Atomic Emission Spectrometry)를 이용하여 분석하였다. 중금속 분석은 전처리 시약으로 질산(HNO₃)을 이용하여 전처리 후 ICP-AES를 이용하여 분석하였다.

(시험 2) 비료사용실태조사

비료사용실태조사는 농촌진흥청 국립농업과학원의 설문지를 바탕으로 농민과 대면 및 비대면 방식으로 조사하였다. 조사내용으로는 재배작물, 품종, 재배면적, 생산량, 농산물 브랜드 명 등 농가현황과, 퇴비 및 유기질 비료, 화학비료, 미량요소, 토양개량제 등의 제품명, 가격, 성분량 사용일, 사용량 등을 2017년에 고랭지배추 50, 양배추 25, 무 25지점, 2018년에 사과 40, 토지포도 20, 배 20, 복숭아 20지점, 2019년에 벼 40, 감자 30, 옥수수 30지점, 2020년에 풋고추 40, 토마토 30, 오이 30지점을 설문조사와 토양 시료채취를 병행하여 조사하였다. 토양분석은 제1세부과제의 토양화학성 분석과 동일한 방법으로 수행하였다.

3 결과 및 고찰

〈제1세부과제: 일반농경지 토양화학성 및 물리성 변동조사〉

(시험 1) 토양화학성 변동조사

가. 밭토양의 화학성

강원도 밭토양의 토양화학성 변동을 주기적으로 파악하기 위하여 2017년 조사한 토양화학성은 기존 170 지점과 추가된 고랭지 56 지점으로, 평균 함량은 표 3 및 4와 같다. 강원도 밭토양의 평균 화학성은

pH 6.4, 유기물 32 g/kg, 유효인산 742 mg/kg이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 1.2, 7.6, 2.0 cmol_c/kg 이었는데 강원도 고랭지 밭토양의 평균 화학성은 pH 6.4, 유기물 28 g/kg, 유효인산 895 mg/kg이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 1.2, 7.5, 1.8 cmol_c/kg 이었다. pH, EC, 유기물 평균은 적정범위에 있었으나 유효인산과 치환성 K, 치환성 Ca는 적정범위를 초과 하였다. 적정범위 미달은 없었다. 유기물 함량, EC 및 치환성 양이온의 평균은 증가하는 경향을 보였으나, 평균 pH는 2013년 이후 변화가 거의 없었다(표 5).

표 3. 강원도 밭토양의 일반 화학성분 함량(2017년)

구분	산도 (pH)	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성양이온(cmol _c /kg)				NO ₃ -N (mg/kg)	석회요구도 (kg/10a)	
					K	Ca	Mg	Na			
평균	6.4	0.9	32	742	1.2	7.6	2.0	0.2	41.7	158	
표토 (170)	최대	8.6	4.1	109	1,847	3.9	24.3	7.6	1.4	461.6	398
	최소	4.6	0.1	2	10	0.1	1.6	0.4	0.1	0.3	0
	중앙	6.4	0.7	30	765	1.1	6.7	1.8	0.2	22.8	133
적정범위	6.0~7.0	2.0이하	20~30	300~550	0.5~0.8	5.0~6.0	1.5~2.0	-	-	-	

표 4. 강원도 고랭지 밭토양의 일반 화학성분 함량(2017년 추가)

구분	산도 (pH)	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성양이온(cmol _c /kg)				NO ₃ -N (mg/kg)	석회요구도 (kg/10a)	
					K	Ca	Mg	Na			
평균	6.4	1.3	28	895	1.2	7.5	1.8	-	-	237	
표토 (56)	최대	8.3	4.4	91	1,940	6.5	19.3	6.9	-	-	398
	최소	4.6	0.1	6	145	0.2	1.9	0.4	-	-	0
	중앙	6.4	0.9	25	937	1.0	6.6	1.7	-	-	133
적정범위	6.0~7.0	2.0이하	20~30	300~550	0.5~0.8	5.0~6.0	1.5~2.0	-	-	-	

표 5. 강원도 밭토양의 일반 화학성분 변화

구분	산도 (pH)	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성양이온(cmol _c /kg)				
					K	Ca	Mg	Na	
표토 (170)	'01	5.9	0.5	20	687	0.8	5.3	1.6	0.1
	'05	6.0	0.4	20	726	0.6	4.6	1.3	0.4
	'09	6.3	0.6	20	699	0.6	4.4	1.1	0.6
	'13	6.5	0.5	26	675	0.8	5.7	1.4	0.2
	'17	6.4	0.9	32	747	1.2	7.6	2.0	0.2
적정범위	6.0~7.0	2.0이하	20~30	300~550	0.5~0.8	5.0~6.0	1.5~2.0	-	-

그림 1은 강원도 밭토양 170지점의 토양화학성 적정수준 대비 분포비율의 과부족을 살펴본 결과이다. pH 적정범위(6.0~7.0) 비율은 2001년 42%에서 2017년 36%로 감소하였고 적정범위보다 높은 곳의 비율이 증가하였다. 이러한 결과는 경기지역 조사(Roh et al., 2018)와 비슷한 경향을 보였는데, 토양의 pH가 높아지면 세포액의 농도에 부정적인 영향을 미치게 되어 식물생육에 지장을 초래하고, 염기성물질인 칼슘과 마그네슘 결핍을 야기한다. 또한 인산의 역할을 저해하므로 밭토양의 산도 개선과 토양개량을 위한 석회질 비료 사용을 위해 토양 검정에 의한 석회 요구량을 산출하여 적정시비가 이루어져야 할 것이다. 토양유기물의 적정범위 비율은 2001년 35%에서 2017년 27%로 감소되었고, 적정범위보다 낮은 비율은 53%에서 24%로 감소되고, 적정범위보다 높은 비율은 12%에서 49%로 증가되어, 경기도의 유기물 적정범위보다 낮은 지점의 비율이 54%에서 40%로 감소, 높은 지점의 비율이 5%에서 17%로 증가된 것 (Roh et al., 2018)에 비해 유기물이 풍부해졌으나, 적정범위 미만의 농가도 20% 이상이어서 유기물 함량 증가를 위한 토양관리와 공급대책이 필요하다

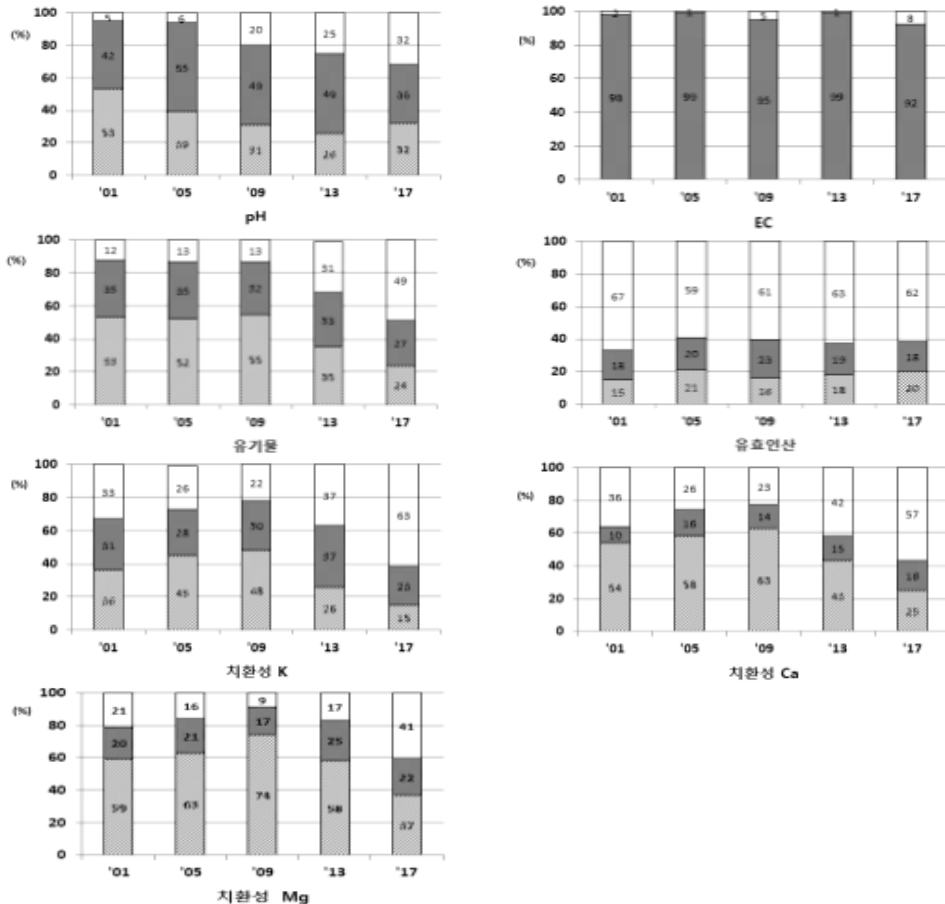


그림 1. 강원도 밭토양의 화학성분 적정수준에 따른 과부족율 변화

기존 밭토양 및 추가된 고랭지의 중금속 평균 함량은 표 6과 표 7과 같고, 기존 밭토양의 연차간 중금속 함량변화는 표 8과 같다.

표 6. 강원도 발토양의 중금속 함량(2017년)

통 계	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	As	Hg	Cr	Cr ⁶⁺
	(mg/kg)								
170 지점 평균	0.23	21.0	13.5	11.0	82.6	4.8	0.01	26.0	0.4
평균/우려기준(%)*	5.8	14.0	13.5	5.5	27.5	21.0	0.3	-	8.0
중앙	0.11	18.9	11.0	7.7	80.0	2.8	0.01	22.5	0
최대	3.07	80.8	44.7	150.4	180.1	24.2	0.03	169.4	3.7
최소	ND	2.0	ND	ND	38.0	ND	ND	2.3	0
우려기준**	4	150	100	200	300	25	4	-	ND
대책기준**	12	450	300	600	900	75	12	-	15

* 토양환경보전법상의 토양오염우려기준에 대한 비율(평균값/우려기준 × 100)

** 토양환경보전법상의 토양오염 우려 및 대책기준(환경부, 2010)

표 7. 강원도 고랭지 발토양의 중금속 함량((2017년 추가)

통 계	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	As	Hg	Cr	Cr ⁶⁺
	(mg/kg)								
56 지점 평균	0.22	25.5	15.4	12.7	91.6	7.3	0.01	25.3	0.8
평균/우려기준(%)*	5.5	17.0	15.4	6.4	30.5	29.2	0.3	-	0.0
중앙	0.11	22.9	12.9	9.5	87.2	7.1	0.01	22.9	0.2
최대	1.25	66.8	39.1	70.5	181.2	13.7	0.03	57.2	4.9
최소	0.00	5.3	0.4	2.8	38.3	1.6	0.01	5.6	0.0

표 8. 강원도 발토양의 연차간 중금속 함량 변화

(단위 mg/kg)

구 분	'13		'17	우려기준	대책기준
	강원(170 지점)	전국(1,760 지점)	강원(170 지점)		
Cd	0.30	0.35	0.23	4	12
Cu	20.5	23.4	21.0	150	450
Ni	12.6	17.3	13.5	100	300
Pb	13.3	16.9	11.0	200	600
Zn	77.0	74.1	82.6	300	900
Cr	24.6	27.7	26.0	-	-
As	7.3	3.8	4.8	25	75

강원도 발토양의 연차간 중금속 함량 변화는 표 8에서 보는 바와 같이 우려기준 보다 현저히 낮았으며, 우려기준을 초과하는 지역은 없었다. 강원도 발토양 중금속 평균값의 토양오염 우려기준치에 대한 비율(%)은 아연(27.5%) > 비소(21.0%) > 구리(14.0%) > 니켈(13.5%) > 카드뮴(5.8%) > 납(5.5%)와 같다.

나. 과수원토양의 화학성

강원도 과수원토양의 토양화학성 변동을 주기적으로 파악하기 위하여 2018년 조사한 토양화학성은 기존 80 지점과 추가된 고랭지 46 지점으로, 평균 함량은 표 9 및 10과 같다. 강원도 과수원토양의 평균 화학성은 pH 6.2, 유기물 36 g/kg, 유효인산 860mg/kg, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 1.41, 7.6, 2.1 cmol_c/kg 이었고, LR은 58 이었다. pH와 EC는 적정범위를 만족하였으나, 유효인산과 치환성 칼륨, 치환성 칼슘은 적정범위를 초과하였다(표 9). 강원도 고랭지 과수원토양의 평균 화학성은 pH 6.4, 유기물 29 g/kg, 유효인산 726 mg/kg 이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 1.11, 7.2, 1.7 cmol_c/kg 이었다. pH, EC 평균은 적정범위에 있었으나 유효인산과 치환성 K, 치환성 Ca은 적정범위를 초과 하였다. 적정범위 미달은 없었다(표 10).

표 9. 강원도 과수원토양 일반 화학성분 함량(2018)

구분	산도 (pH)	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성양이온(cmol _c /kg)				NO ₃ -N (mg/kg)	석회요구도 (kg/10a)	
					K	Ca	Mg	Na			
표토 (80)	평균	6.2	0.79	36	860	1.41	7.6	2.1	0.34	23.3	158
	최대	7.8	6.43	93	1,947	4.92	23.6	5.6	3.25	267	398
	최소	4.1	0.20	9	36	0.06	1.4	0.6	0.03	0.6	0
	중양	6.3	0.55	33	860	1.14	7.0	2.3	0.09	8.0	133
심토 (80)	평균	5.8	0.54	18	521	0.78	5.1	1.5	0.29	6.3	224
	최대	8.3	2.02	42	1,539	3.94	17.0	4.8	2.83	80.1	398
	최소	3.8	0.10	2	2	0.04	0.8	0.4	0.04	0.6	0
	중양	5.7	0.46	18	486	0.67	4.1	1.5	0.08	4.6	265
적정범위	6.0~7.0	2.0이하	20~30	300~550	0.5~0.8	5.0~6.0	1.5~2.0	-	-	-	-

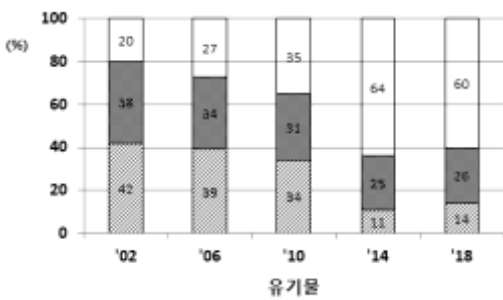
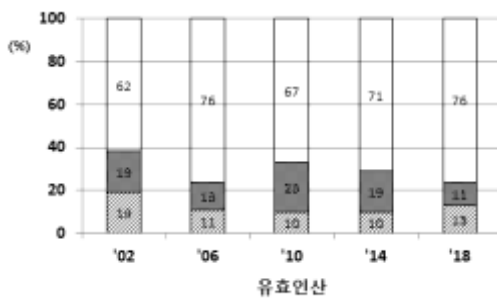
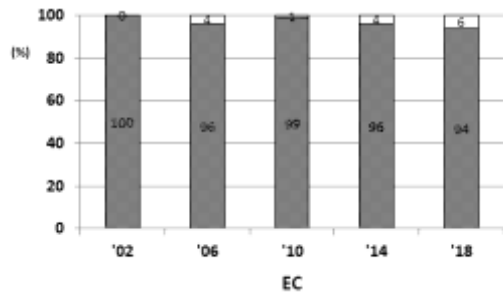
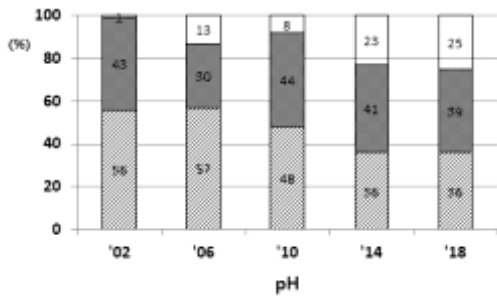
표 10. 강원도 고랭지 과수원토양 일반 화학성분 함량(2018년 추가)

구분	산도 (pH)	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성양이온(cmol _c /kg)				NO ₃ -N (mg/kg)	석회요구도 (kg/10a)	
					K	Ca	Mg	Na			
표토 (46)	평균	6.4	0.51	29	726	1.11	7.2	2.0	0.12	11.4	260
	최대	8.2	1.47	66	2,040	3.39	31.1	6.0	0.80	87.9	398
	최소	4.7	0.17	4	42	0.25	1.4	0.6	0.04	0.24	133
	중양	6.2	0.43	28	648	1.02	5.4	1.7	0.07	4.5	265
심토 (46)	평균	5.9	0.47	20	325	0.64	4.3	1.4	0.13	8.7	311
	최대	8.3	1.37	54	915	2.07	13.6	3.8	1.10	42.0	398
	최소	4.5	0.17	2	20	0.11	1.1	0.3	0.05	0.38	133
	중양	5.5	0.41	18	330	0.54	3.5	1.3	0.09	5.8	398
적정범위	6.0~7.0	2.0이하	20~30	300~550	0.5~0.8	5.0~6.0	1.5~2.0	-	-	-	-

강원도 과수원토양 일반 화학성분 변화는 표 11에 나타난 바와 같이 평균 pH, 유기물 함량, 치환성 양이온은 14년 이후 변화가 적었다. 강원도 과수원토양의 화학성분 적정수준에 따른 과부족율 변화는 그림 2에서 보는 바와 같다.

표 11. 강원도 과수원토양의 일반화학성분 변화

구 분	산도 (pH)	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성양이온(cmolc/kg)				석회요구도 (kg/10a)	
					K	Ca	Mg	Na		
표토 (80)	'02	5.9	0.39	22	734	0.95	4.5	1.3	0.12	283
	'06	5.9	0.64	24	896	0.92	4.6	1.2	0.54	236
	'10	5.9	0.39	28	791	0.97	4.9	1.3	0.18	154
	'14	6.2	0.67	38	804	1.41	8.0	2.3	0.66	149
	'18	6.2	0.79	36	860	1.41	7.6	2.1	0.34	158
심토 (80)	'02	5.8	0.35	18	538	0.76	3.9	1.1	0.12	304
	'06	5.7	0.40	17	531	0.68	3.6	1.0	0.53	255
	'10	5.8	0.30	18	591	0.70	4.0	1.1	0.14	186
	'14	6.1	0.42	23	665	1.12	6.8	1.9	0.62	201
	'18	5.8	0.54	18	521	0.78	5.1	1.5	0.29	224
적정범위	6.0~7.0	2.0이하	20~30	300~550	0.5~0.8	5.0~6.0	1.5~2.0	-	-	



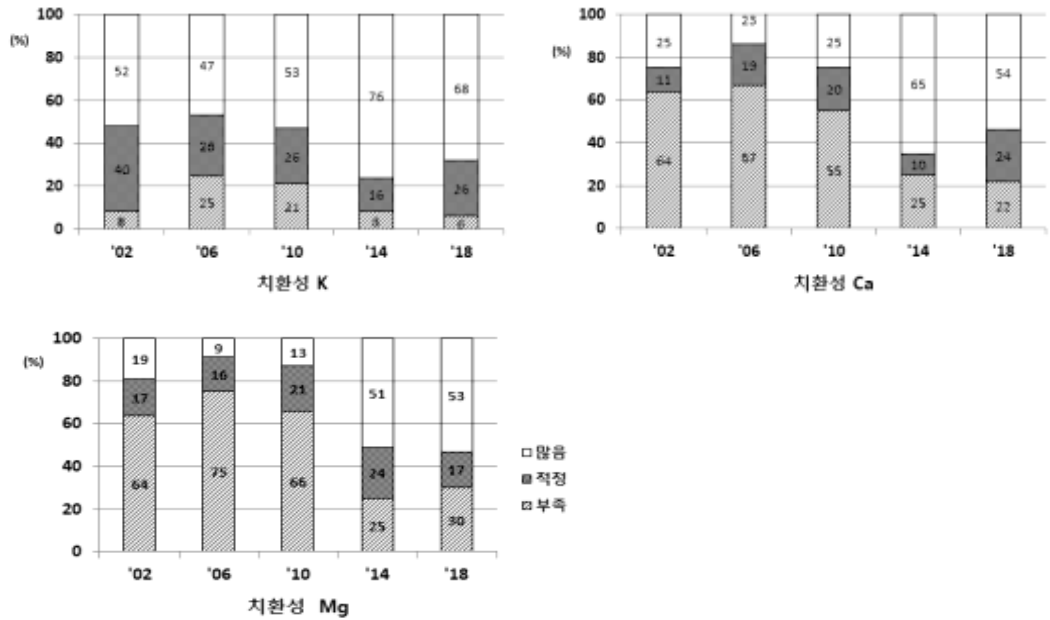


그림 2. 강원도 과수원토양의 화학성분 적정수준에 따른 과부족율 변화

표 12. 강원도 과수원토양 중금속 함량(2018년)

통 계	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	As	Hg	Cr
	(mg/kg)							
80 지점 평균	0.13	27.8	16.6	8.0	87.9	4.7	0.03	34.9
평균/우려기준(%)*	4.5	17.3	17.5	4.0	28.9	16.8	0.8	-
중앙	0.09	24.2	17.1	7.0	81.2	4.4	0.02	35.6
최대	0.89	128.2	36.2	82.0	241.1	15.5	0.21	109.7
최소	nd	nd	3.0	nd	46.8	0.4	0.01	6.9
우려기준**	4	150	100	200	300	25	4	-
대책기준**	12	450	300	600	900	75	12	-

* 토양환경보전법상의 토양오염우려기준에 대한 비율(평균값/우려기준 × 100)

** 토양환경보전법상의 토양오염 우려 및 대책기준(환경부, 2010)

강원도 과수원 토양의 중금속 함량은 표12, 표 13과 같고 연차가 중금속 함량 변화는 표 14와 같다. 강원도 과수원토양 중금속 평균값의 토양오염 우려기준치에 대한 비율(%)은 아연(28.9%) > 니켈(17.5%) > 구리(17.3%) > 비소(16.8%) > 카드뮴(4.5%) > 납(4.0%)와 같다.

표 13. 강원도 과수원토양 중금속 함량((2018년 추가)

통계	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	As	Hg	Cr
	(mg/kg)							
46 지점 평균	0.28	22.7	18.9	7.9	85.0	3.5	0.02	35.8
평균/우려기준(%)*	7.0	15.1	18.9	4.0	28.3	14.0	0.5	-
중앙	0.20	14.9	20.9	7.1	80.2	3.1	0.02	33.4
최대	1.4	84.0	36.6	25.5	158.5	6.4	0.09	128.8
최소	0.03	3.2	3.4	nd	49.8	0.9	0.01	6.9

표 14. 강원도 과수원토양의 연차간 중금속 함량 변화 (단위: mg/kg)

구분	'14		'18	우려기준	대책기준
	강원(80 지점)	전국(1,470 지점)	강원(126 지점)		
Cd	0.20	0.18	0.18	4	12
Cu	24	31	26	150	450
Ni	12.6	21.7	17.5	100	300
Pb	9	24	8	200	600
Zn	87	77	86.9	300	900
Cr	30.3	37.0	35.3	-	-
As	4.7	3.7	4.2	25	75

다. 농토양의 화학성

강원도 농토양의 토양화학성 변동을 주기적으로 파악하기 위하여 2019년 조사한 토양화학성은 기존 150 지점과 추가된 고령지 24 지점으로 평균 함량은 표 19 및 20과 같다. 강원도 농토양의 평균 화학성은 pH 6.0, 유기물 26 g/kg, 유효인산 128 mg/kg이었고, 유효규산 169 mg/kg, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 0.33, 4.5, 1.1 cmol_c/kg 으로 pH, EC, 유효규산의 평균은 적정범위에 있었으나 유효인산과 치환성 K은 적정범위를 초과 하였고, 치환성 Ca과 Mg은 적정범위에 미달되었다(표 15).

표 15. 강원도 농토양의 일반 화학성분 함량(2019)

구분	산도 (pH)	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성양이온(cmol _c /kg)				유효규산 (mg/kg)	
					K	Ca	Mg	Na		
평균	6.0	0.40	26	128	0.33	4.5	1.1	0.19	169	
표토 (150)	최대	8.2	61	417	1.02	10.2	4.7	0.73	551	
	최소	5.0	0.12	12	11	0.09	0.09	0.4	0.06	22
	중앙	5.9	0.33	25	106	0.30	4.3	0.9	0.15	140
적정범위	5.5~6.5	2.0이하	20~30	80~120	0.20~0.3	5.0~6.0	1.5~2.0	-	157이상	

표 16. 강원도 고랭지 논토양의 일반 화학성분 함량(2019 추가)

구분	산도 (pH)	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성양이온(cmolc/kg)				유효규산 (mg/kg)	
					K	Ca	Mg	Na		
표토 (24)	평균	6.2	0.31	29	162	0.41	4.9	1.0	0.13	246
	최대	7.9	0.72	44	555	0.67	8.7	2.5	0.29	680
	최소	5.5	0.13	14	9	0.21	2.1	0.3	0.05	76
	중앙	6.2	0.29	26	116	0.38	4.4	0.8	0.13	187
적정범위	5.5~6.5	2.0이하	20~30	80~120	0.20~03	5.0~6.0	1.5~2.0	-	157이상	

표 17. 강원도 논토양의 토양화학성분 함량 변화

구분	산도 (pH)	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성양이온(cmolc/kg)				유효규산 (mg/kg)	
					K	Ca	Mg	Na		
표토 (150)	'03	5.8	-	21	144	0.27	5.0	1.1	0.14	121
	'07	6.1	-	20	105	0.15	5.1	1.1	0.55	152
	'11	5.8	0.20	25	104	0.19	4.4	0.8	0.27	134
	'15	5.9	0.34	26	123	0.39	4.8	0.9	0.21	170
	'19	6.0	0.31	26	128	0.33	4.5	1.0	0.13	169
적정범위	5.5~6.5	2.0이하	20~30	80~120	0.20~03	5.0~6.0	1.5~2.0	-	157이상	

강원도 고랭지 논토양의 평균 화학성은 pH 6.2, 유기물 29 g/kg, 유효인산 162 mg/kg, 유효규산 246 mg/kg이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 0.41, 4.9, 1.0 cmolc/kg으로. 논토양의 pH, EC, 유기물, 유효규산의 평균은 적정범위에 있었으나, 유효인산과 치환성 K은 적정범위를 초과하였고, 치환성 Mg은 적정범위에 미달되었다. 전반적으로 고랭지 논토양의 화학성분 함량이 높았다(표 16). 강원도 논토양 일반 화학성분 변화는 표 17에 나타낸 바와 같이 평균 유기물 함량, 유효인산과 유효규산은 2015년 이후 변화가 적었다.

그림 3은 강원도 논토양 150지점의 토양화학성 적정수준 대비 분포비율의 과부족율 변화를 살펴 본 결과이다. 조사 초기인 2003년 이래 pH는 적합한 농가의 비율이 높았고, 치환성 Ca과 치환성 Mg은 부족한 농가의 비율이 높았다. 2015년 이래 치환성 K은 과다한 농가의 비율이 높았다. 강원도 기존 논토양 및 추가된 고랭지 논토양의 중금속 평균 함량은 표 18 및 표 19와 같다. 강원도 논토양 중금속 평균값의 토양오염 우려기준치에 대한 비율(%)은 아연(23.6%) > 비소(20.0%) > 니켈(19.7%) > 구리(10.7%) > 납(5.1%) > 카드뮴(4.8%)와 같다. 강원도 일반농경지 논토양 중금속 함량 평균은 우려기준 보다 현저히 낮았고, 니켈과 비소 오염우려 2곳에 대해서 농가 실태 및 버를 수확하여 식물체내의 중금속 함량을 분석하였으나 특이점은 없었다.

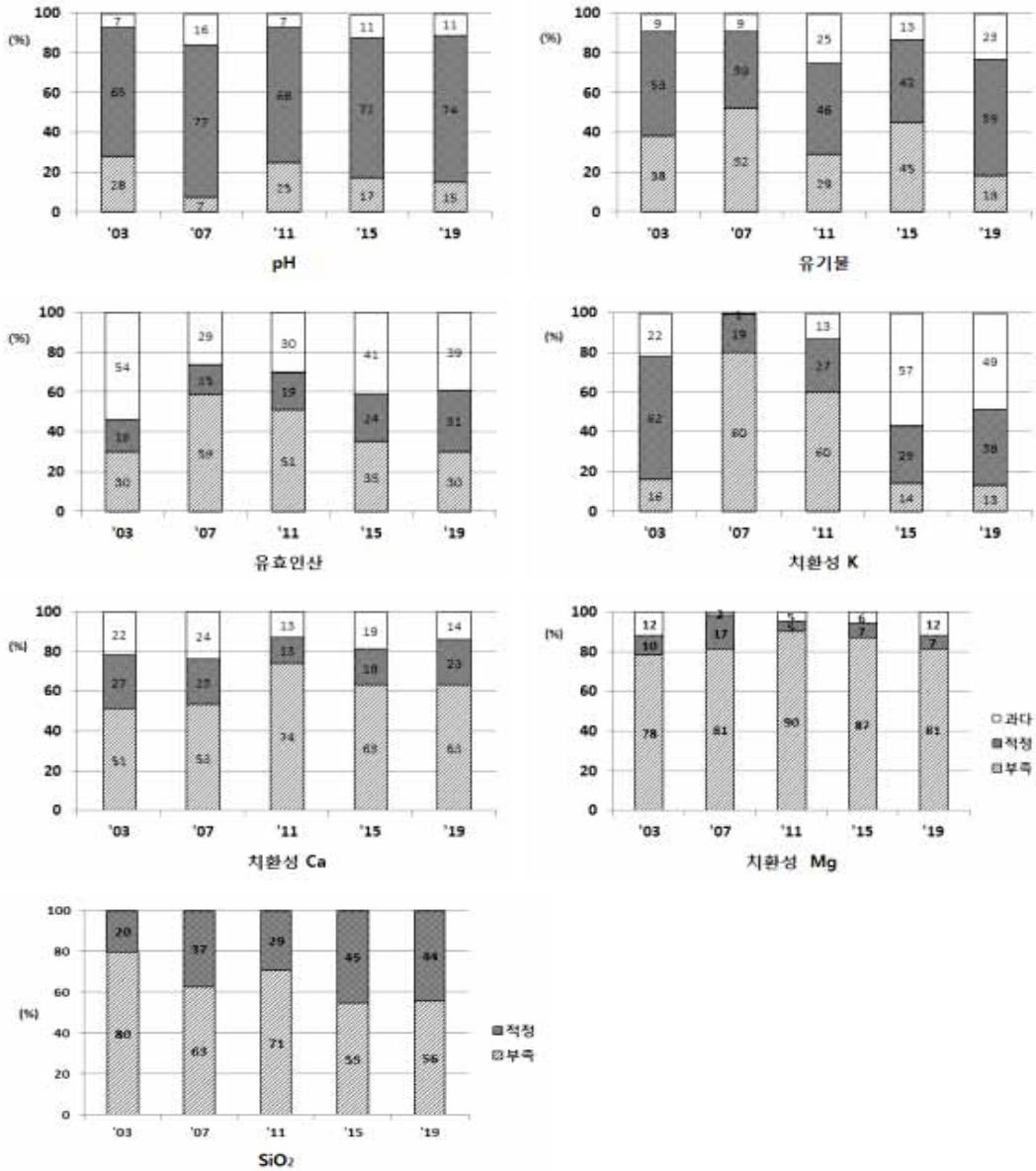


그림 3. 강원도 농토양의 화학성분 적정수준에 따른 과부족율변화

표 18. 강원도 농토양 중금속 함량(2019년)

통계	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	As	Hg	Cr
	(mg/kg)							
평균(150지점)	0.19	16.3	20.2	9.9	71.1	5.1	0.0321	36.4
평균/우려기준(%)*	4.9	10.9	20.2	5.0	23.7	20.4	0.8	-
중앙값	0.14	13.8	16.8	8.1	70.7	3.4	0.0272	30.2
최대	2.03	47.7	106.3	42.4	117.2	37.5	0.1439	150.7

통계	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	As	Hg	Cr
	(mg/kg)							
최소	nd	2.0	3.3	nd	38.8	0.3	0.0072	5.5
우려기준**	4	150	100	200	300	25	4	-
대책기준**	12	450	300	600	900	75	12	-

* 토양환경보전법상의 토양오염우려기준에 대한 비율(평균값/우려기준 × 100)

** 토양환경보전법상의 토양오염 우려 및 대책기준(환경부, 2010)

표 19. 강원도 고랭지 논토양 중금속 함량((2019년 추가)

통계	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	As	Hg	Cr
	(mg/kg)							
평균(24지점)	0.14	14.6	17.1	12.5	68.5	4.4	0.0417	26.6
평균/우려기준(%)*	3.5	9.7	17.1	6.3	22.8	17.6	1.0	-
중앙값	0.10	13.3	15.2	12.7	67.1	3.8	0.0434	25.5
최대	0.38	31.6	29.8	16.3	83.4	9.6	0.0767	45.3
최소	0.01	3.8	5.2	0.6	51.8	1.3	0.0151	10.8

라. 시설재배토양의 화학성

강원도 시설재배토양의 토양화학성 변동을 주기적으로 파악하기 위하여 2020년 조사한 토양화학성은 기존 100 지점과 추가된 고랭지 56 지점으로 평균 함량은 표 20 및 21과 같다. 강원도 시설재배토양의 평균 화학성은 pH 6.5, 유기물 45 g/kg, 유효인산 1,203 mg/kg이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 1.7, 11.4, 3.5 cmol_c/kg 으로 강원도 시설토양의 pH 평균은적정범위에 있었으나, 그 외의 성분은 적정범위를 1.5~2배 이상 초과하였다.

표 20. 강원도 시설재배토양의 일반 화학성분 함량(2020)

구분	산도 (pH)	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성양이온(cmol _c /kg)				석회요구도 (kg/10a)	NO ₃ -N (mg/kg)	
					K	Ca	Mg	Na			
표토 (100)	평균	6.5	4.8	45	1,203	1.7	11.4	3.5	0.5	111	80
	최대	7.9	25.7	140	2,440	5.7	35.7	14.2	3.6	0	394
	최소	4.6	0.3	11	221	0.1	2.0	0.5	0.1	398	3
	중앙	6.7	2.7	41	1,213	1.3	9.9	3.1	0.4	0	67
심토 (100)	평균	6.5	2.3	32	969	1.1	9.1	2.7	0.4	127	68
	최대	8.2	14.5	93	2,033	4.3	21.2	7.4	3.1	398	327
	최소	4.9	0.2	2	16	0.1	1.7	0.6	0.1	0	3
	중앙	6.6	1.7	28	965	0.8	8.3	2.5	0.3	0	51
적정범위	6.0~7.0	2.0이하	25~35	300~550	0.5~0.8	5.0~6.0	1.5~2.0	-	-	-	-

표 21. 강원도 고랭지 시설재배토양의 일반 화학성분 함량(2020 추가)

구 분	산도 (pH)	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성양이온(cmol _c /kg)				석회요구도 (kg/10a)	NO ₃ -N (mg/kg)	
					K	Ca	Mg	Na			
평균	6.7	3.1	45	1,112	1.7	11.4	2.9	0.4	111	71	
표토 (56)	최대	8.3	14.7	97	2,165	7.0	21.7	11.2	1.6	398	391
	최소	4.6	0.1	16	240	0.3	3.3	0.5	0.1	0	2
	중앙	6.7	1.4	43	1,091	1.6	10.9	2.2	0.3	0	43
심토 (56)	평균	6.4	1.4	26	608	1.0	7.7	1.9	0.3	171	54
	최대	8.4	4.8	66	1,814	2.3	18.6	5.4	1.4	398	331
	최소	4.7	0.1	4	16	0.3	1.0	0.4	0.1	0	1
중앙	6.4	1.0	26	629	0.9	6.9	1.7	0.2	133	30	
적정범위	6.0~7.0	2.0이하	25~35	300~550	0.5~0.8	5.0~6.0	1.5~2.0	-	-	-	

강원도 시설재배지토양 일반 화학성분 변화는 표 22에 나타낸 바와 같이 평균 pH, EC, 유효인산은 16년 이후 변화가 적었으나 유기물 함량은 증가하였다.

표 22. 강원도 시설재배토양의 토양화학성분 변화

구 분	산도 (pH)	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성양이온(cmol _c /kg)				NO ₃ -N (mg/kg)	
					K	Ca	Mg	Na		
표토	'04	6.4	2.8	33	1,214	1.7	9.0	3.1	0.4	164
	'08	6.3	2.0	33	1,179	1.4	8.8	2.5	0.4	89
	'12	6.2	2.9	36	1,359	2.0	12.2	3.9	1.1	244
	'16	6.5	4.8	40	1,240	1.9	13.3	3.9	0.7	157
	'20	6.5	4.8	45	1,203	1.7	11.4	3.5	0.5	80
심토	'04	6.1	1.7	28	974	1.1	7.2	2.3	0.3	91
	'08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	'12	6.2	1.3	24	924	1.1	8.6	2.6	0.8	78
	'16	6.4	2.7	30	1,038	1.4	10.7	3.0	0.6	110
	'20	6.5	2.3	32	969	1.1	9.1	2.7	0.4	68
적정범위	6.0~7.0	2이하	25~35	300~550	0.5~0.8	5.0~6.0	1.5~2.0	-	-	

그림 4는 강원도 시설재배토양 100지점의 토양화학성 적정수준 대비 분포비율의 과부족율 변화를 살펴 본 결과이다. 조사 초기인 2004년 이래 pH는 적합한 농가의 비율이 높았고, 이를 제외하고는 과다한 농가의 비율이 높았다. 유기물은 적정하거나 풍부한 농가의 비율이 높고 많은 농가의 비율이 증가하고 있으나, 15%의 농가는 부족한 결과를 얻었다. '20년 부족비율 pH(19%) > 유기물(15%) > 치환성 Mg(14%) > 치환성 K(12%) > 치환성 Ca(6%) > 유효인산(1%) 이었고, 과다비율은 유효인산(91%) > 치환성 Ca(89%) > 치환성Mg(69%) > 치환성 K(67%) > 유기물(63%) > pH(29%) 이었다.

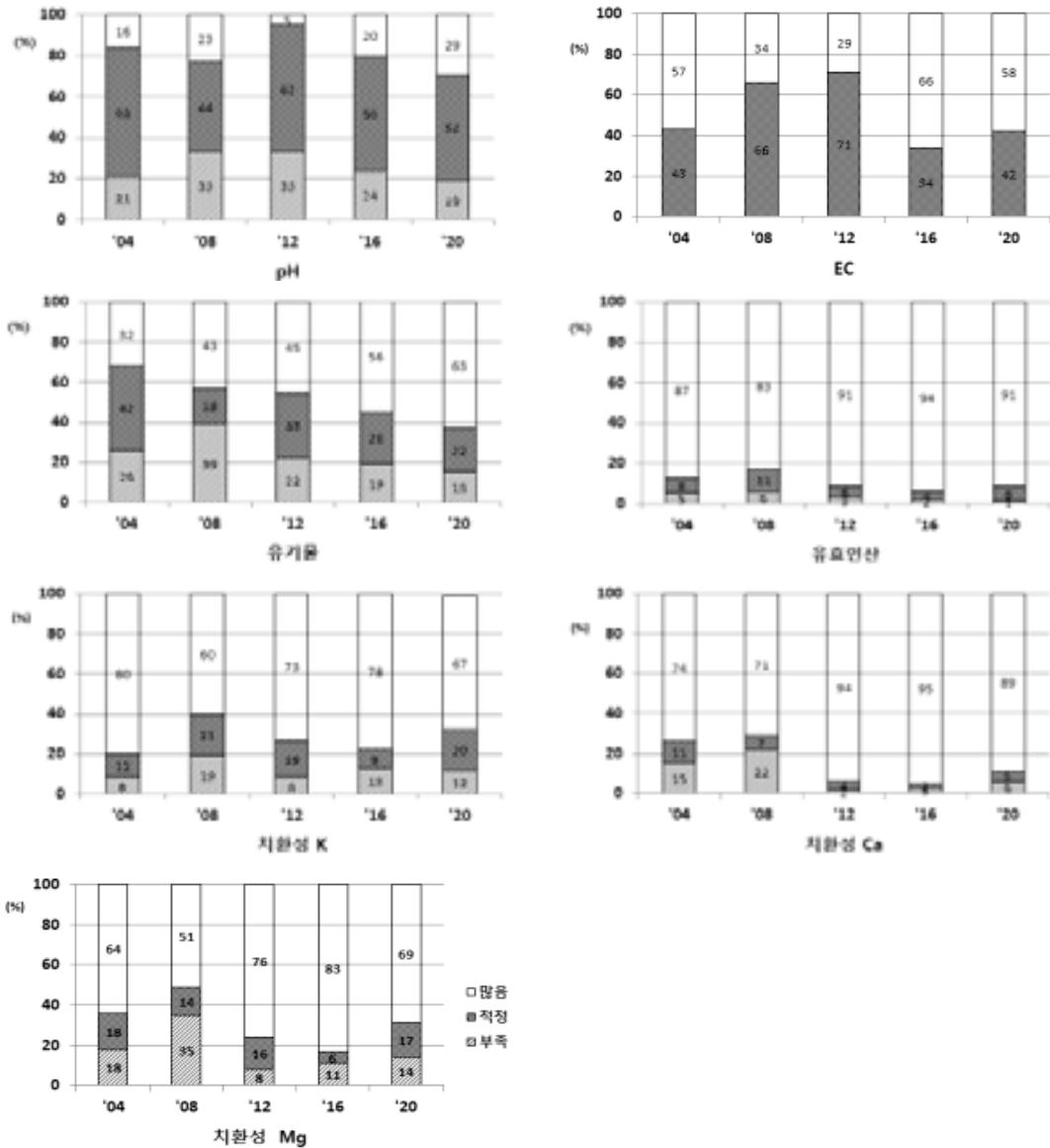


그림 4. 강원도 시설토양의 화학성분 적정수준에 따른 과부족율변화

강원도 기존 시설재배토양 및 추가된 고랭지 시설재배토양의 중금속 평균 함량은 표 23 및 표 24과 같고, 기존 시설재배토양의 연간간 중금속 함량변화는 표 25와 같다. 강원도 일반농경지 시설재배 토양 중금속 평균값의 토양오염 우려기준치에 대한 비율(%)은 아연(44.7%) > 구리(22.6%) > 비소(17.6%) > 니켈(17.2%) > 납(5.8%) > 카드뮴(4.0%)로 우려기준보다 낮으나 광산지역정선 4지점 태백 2지점에 비소 우려기준을 초과하는 지점이 있었다. 이 지점들은 다른 중금속함량도 강원도 평균 보다 높은 편이었다. 그러나 토양 중금속 오염 우려지점에서 생육하고 있는 곤드레, 가지, 고추, 산마늘, 토마토, 케일에 대하여 식물체내 중금속 함량을 조사하였으나 특이한 점은 없었다. 광산 인근 지점에 대해서는 추후 일반농경지에서 제외하고 새로운 지점을 선정할 필요가 있다.

표 23. 강원도 시설재배토양 중금속 함량(2020년)

통 계	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	As	Hg	Cr
	(mg/kg)							
2020 평균(96지점)	0.16	33.9	17.2	11.6	134	4.4	0.05	35
평균/우려기준(%)*	4.0	22.6	17.2	5.8	44.7	17.6	1.3	-
중앙	0.12	29.7	17.2	11.1	125	3.8	0.03	31
최대	0.59	115.5	46.9	27.3	297	17.1	0.79	95
최소	nd	7.6	2.9	0.5	51	0.3	0.01	6
우려기준**	4	150	100	200	300	25	4	-
대책기준**	12	450	300	600	900	75	12	-

* 토양환경보전법상의 토양오염우려기준에 대한 비율(평균값/우려기준 × 100)

** 토양환경보전법상의 토양오염 우려 및 대책기준(환경부, 2010)

표 24. 강원도 고랭지 시설재배토양 중금속 함량(2020년 추가)

통 계	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	As	Hg	Cr
	(mg/kg)							
2020 평균(54지점)	0.19	29.5	16.2	13.0	118	5.5	0.04	33
평균/우려기준(%)*	4.8	19.7	16.2	6.5	39.3	22.0	-	-
중앙	0.15	27.1	12.9	10.8	112	4.0	0.03	24
최대	0.66	96.4	80.3	33.4	231	19.2	0.29	203
최소	0.05	8.4	3.4	5.9	61	0.5	0.01	5.6

** 토양환경보전법상의 토양오염 우려 및 대책기준(환경부, 2010)

표 25. 강원도 시설재배 토양의 연차간 중금속 함량 변화

(단위: mg/kg)

구 분	'16		'20	'20	우려기준	대책기준
	강원(100 지점)	전국(1,377지점)	강원(156지점)*	강원(150지점)		
Cd	0.20	0.20	0.19	0.17	4	12
Cu	32	34	34	33	150	450
Ni	15.2	15.6	17.3	16.8	100	300
Pb	9.3	15	12.9	12.1	200	600
Zn	124	116	128	128	300	900
Cr	31	30	34	34	-	-
As	0.44	3.3	6.3	4.7	25	75

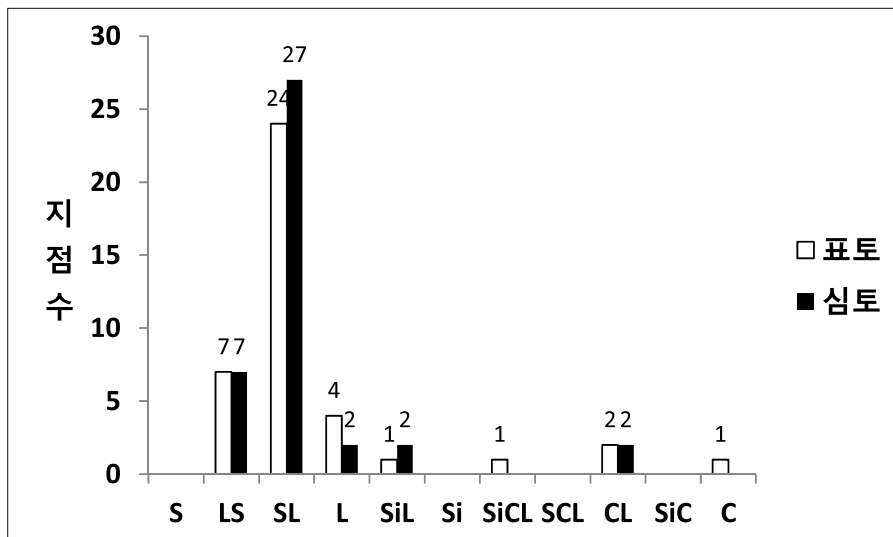
* 광산 인근 지점 포함

(시험 2) 토양물리성 변동조사

우리나라의 토양물리적 특성 조사는 1984년 최초로 전국 단위의 정밀토양조사가 실시되었는데 조사 결과 점토 함량 20%, 유기물 2.03%, CEC 10.3 cmol+ kg⁻¹ 이었으며 분포면적 가중평균치는 점토 함량 18%, 유기물 1.85%, CEC 8.6 cmol/kg이었다(허 등, 1984). 이후 우리나라 농경지의 물리적 특성에 관한 연구는 지형별 논토양의 점토함량(현 등, 1989), 토성별 유효수분(정 등, 1990) 등의 연구가 있었으나 일부 지역에 한정된 것이고, 2010년 과수원 포장 35지점, 2011년과 2012년은 지점을 달리하여 논포장 각각 30점을 조사하였다. 강원도 농경지 토양의 물리적 특성을 파악하기 위하여 2017년 밭토양, 2018년 과수원토양, 2019년은 논토양 2020년은 시설재배토양으로 대상으로 각각 40지점을 조사하였다(표 2).

가. 밭토양의 물리성

강원도 밭토양의 물리성 조사 결과를 그림 5,6 및 표 26에 나타냈다. 조사대상 토양의 토성은 대부분 사양토였으며, 다음으로 양질사토의 비율이 높았다. 밭 토양의 용적밀도는 표토가 평균 1.20Mg/m로서 조사토양의 92.5%가 1.40Mg/m 미만 이었고, 심토는 평균 1.49Mg/m로서 62.5%의 조사 토양이 개량 기준인 1.40Mg/m 이상으로 나타났으나, 용적밀도의 평균은 2013년도 보다 약간 개선된 결과를 보였다. 심토의 경도는 평균 18.2mm로서 57.5%의 토양이 15.1~25.0mm에 분포하였다. 밭토양의 공극률은 표토가 54.6%로서 82.5%의 토양이 51~60%에 분포하였고, 심토는 45.9%로서 60%이하에 분포하였다. 조사대상 밭 심토의 65%는 기상물이 15% 이상으로 나타났다.



주) S:사토, LS:양질사토, SL:사양토, L:양토, SiL:미사질양토, Si:미사토, SiCL: 미사질 식양토, SCL:사질식양토, CL:식양토, SC:사질식토, SiC:미사질식토, C:식토

그림 5. 밭토양 토성 분포

표 26. 강원도 밭토양의 삼상 및 토성분포

구분	작토심 (cm)	용적밀도 (Mg/m ³)	삼 상 (%)			모래 (%)	미사 (%)	점토 (%)	산중식 경도 (mm)	유기물 함량 (g/kg)	
			고상	액상	기상						
'13년 평균	표토	18.5	1.31	49.3	19.4	31.4	64.8	27.1	8.1	12.5	24
	심토		1.49	56.1	23.8	20.1	61.0	29.1	9.9	15.8	13
'17년 평균	표토	16.1	1.20	45.4	20.2	34.4	61.2	27.6	11.2	9.4	30
	심토		1.43	54.1	26.5	19.4	62.1	26.9	11.0	18.2	23
적정 범위	표토	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20~30
	심토	-	<1.40	-	-	-	-	-	<20	-	-

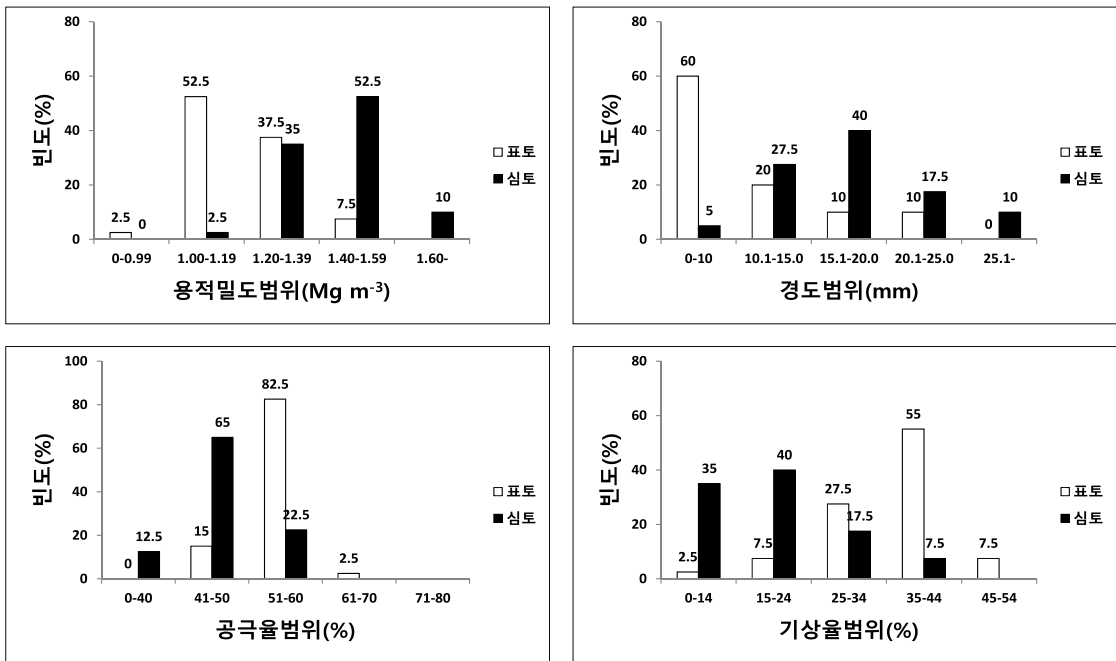
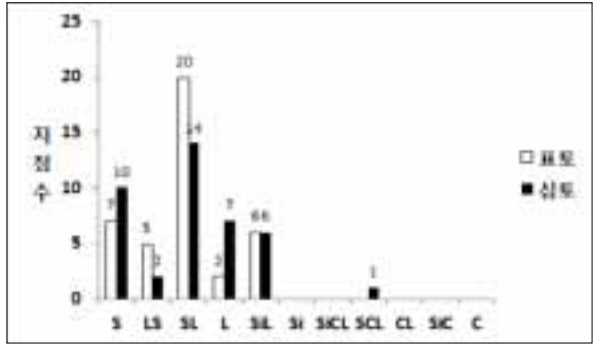


그림 6. 밭토양 물리적 특성별 분포 비율(단위: %)

나. 과수원 토양 물리성

강원도 과수원토양의 물리성 조사 결과를 그림 7,8 및 표 27에 나타냈다. 조사대상 토양의 토성은 대부분 사양토였으며, 다음으로 사토의 비율이 높았다. 과수원 토양의 용적밀도는 표토가 평균 1.19Mg/m로서 조사토양의 90%가 1.40Mg/m 미만 이었고, 심토는 평균 1.42Mg/m로서 52.5%의 조사 토양이 개량기준인 1.40Mg/m 이상으로 나타났으나, 용적밀도의 평균은 2014년과 비슷한 결과를 보였고, 심토 경도는 평균 18.5mm로서 85%의 토양이 15.1~25.0mm에 분포하였다. 과수원토양의 공극률은 표토가 57.0%로서 90%의 토양이 50~60%에 분포하였고, 심토는 46.6%로서 60%이하에 분포하였다. 조사대상 과수원 심토의 80%는 기상률이 15% 이상으로 나타났다.



주) S:사토, LS:양질사토, SL:사양토, L:양토, SiL:미사질양토, Si:미사토, SiCL: 미사질식양토, SCL:사질식양토, CL:식양토, SiC:미사질식토, C:식토

그림 7. 과수원토양 토성 분포

표 27. 강원도 과수원토양의 삼상 및 토성분포

구분	작토심 (cm)	용적밀도 (Mg/m ³)	삼 상(%)			모래 (%)	미사 (%)	점토 (%)	산중식경도 (mm)	유기물함량 (g/kg)	
			고상	액상	기상						
'14년 평균	표토	28.0	1.29	48.8	25.7	25.5	58.2	32.2	9.6	14.2	34.9
	심토		1.43	54.0	24.1	21.9	58.2	31.0	10.8	15.8	18.4
'18년 평균	표토	28.3	1.19	44.9	24.1	31.0	61.6	32.8	5.6	13.5	35.2
	심토		1.42	53.4	25.7	20.9	58.6	33.4	8.0	18.5	18.1
적정 범위	표토	-	-	-	-	-	-	-	-	20~30	-
	심토	-	<1.40	-	-	-	-	-	<20	-	-

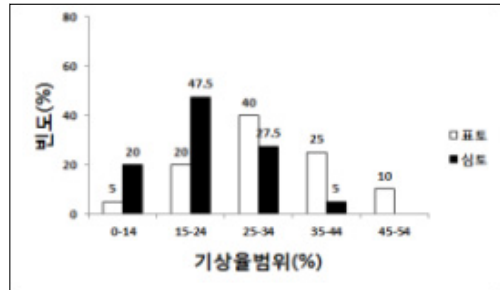
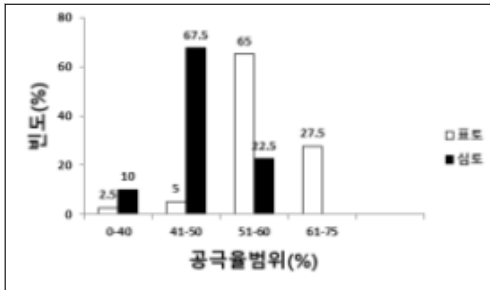
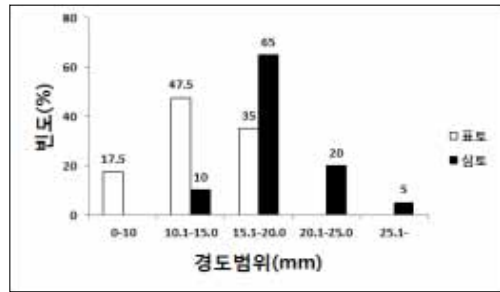
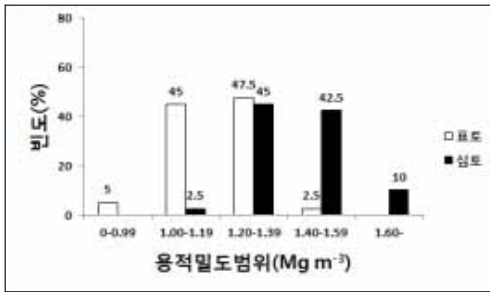
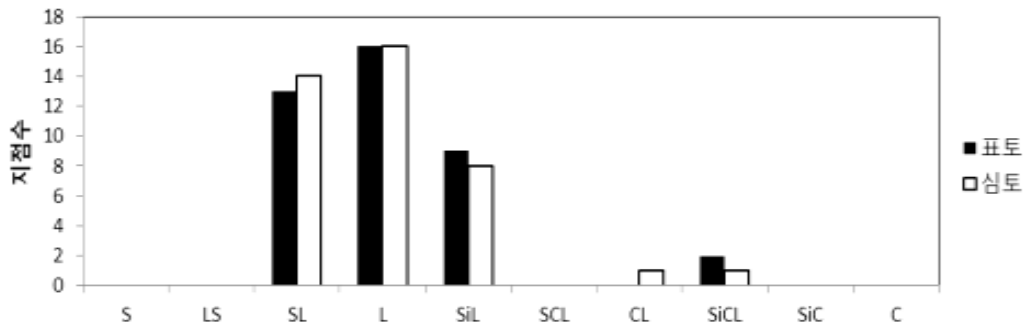


그림 8. 과수원토양 물리적 특성별 분포 비율(단위: %)

다. 논토양 물리성

강원도 논토양의 물리성 조사 결과를 그림 9, 10 및 표 28에 나타냈다. 조사대상 토양의토성은 대부분 양토였으며, 다음으로 사양토의 비율이 높았다. 토양의 용적밀도는 표토가 평균 1.25Mg/m로서 조사 토양의 87.5%가 1.40Mg/m 미만 이었고, 심토는 평균 1.58Mg/m로서 52.5%의 조사토양이 개량기준인 1.40Mg/m 이상으로 나타났으나, 표토의 용적밀도의 평균은 2015년도 보다 약간 개선된 결과를 보였다. 심토의 경도는 평균 20.8mm로서 55%의 토양이 20.1~25.0mm에 분포하였다. 논토양의 공극율은 표 토가 52.8%로서 60%의 토양이 공극율 51~60%에 분포 하였고, 심토는 공극율이 40.5%로서 97.5%가 공극율 60% 이하에 분포하였다. 조사대상 논 심토의 72.5%는 기상률이 5% 이하로 나타났다.



주) S:사토, LS:양질사토, SL:사양토, L:양토, SiL:미사질양토, Si:미사토, SiCL: 미사질식양토, SCL:사질식양토, CL:식양토, SC:사질식토, SiC:미사질식토, C:식토

그림 9. 논토양 토성 분포

표 28. 강원도 논토양의 삼상 및 토성분포

구 분	작토심 (cm)	용적밀도 (Mg/m³)	삼 상(%)			모래 (%)	미사 (%)	점토 (%)	산중식 경도 (mm)	유기물 함량 (g/kg)	
			고상	액상	기상						
'15년 평균	표토	16.1	1.31	49.5	37.2	13.3	48.6	39.1	12.3	-	21
	심토		1.56	58.6	35.9	5.5	49.4	37.5	13.1	16.4	17
'19년 평균	표토	18.7	1.25	47.2	40.8	12.0	43.8	43.3	12.9	-	26
	심토		1.58	59.5	36.3	4.2	43.6	42.3	14.1	20.8	18
적정 범위	표토	-	-	-	-	-	-	-	-	20~30	
	심토	-	<1.40	-	-	-	-	-	<20	-	

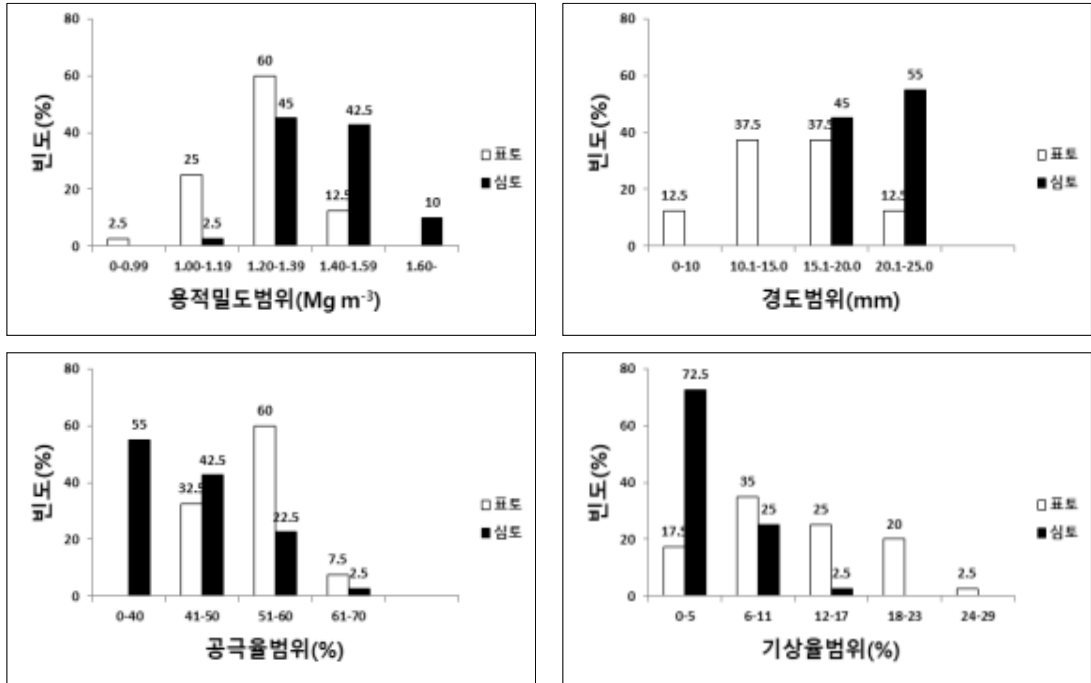


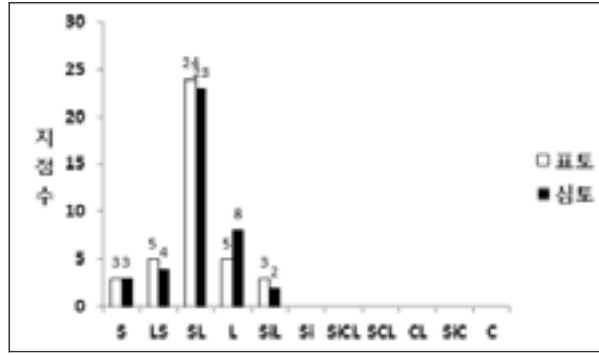
그림 10. 논토양 물리적 특성별 분포 비율(단위: %)

한편 논토양의 물리성과 수량성에 관한 연구(권 등, 1995)를 보면 벼의 뿌리가 잘 신장할 수 있는 작토 하부의 적정 경도는 15~20이고, 경도 17 mm 이하에서는 수량에 거의 영향이 없고, 경도 23 mm 이상에서는 수량이 현저히 제한되고 감수정도도 25% 이상이 된다고 보고된 바 있다. 또한 유아와 유근의 길이는 토양 경도의 증가에 따라 감소하며, 유아의 굵기는 토양경도의 증가에 따라 굵어지는 경향이 있다고 보고하였다. 따라서, 강원도 논토양의 물리성은 대체로 양호한 것으로 사료되나, 심토의 경도는 20.8mm로서 2015년도 16.4mm로서 단단해진 결과가 나와 추후 지속적인 모니터링이 필요하다.

라. 시설재배토양 물리성

강원도 시설재배토양의 물리성 조사 결과를 그림 11, 12 및 표 29에 나타냈다. 조사대상 토양의 토성은 대부분 사양토였으며, 다음으로 양토의 비율이 높았다.

시설토양의 용적밀도는 표토가 평균 1.12Mg/m로서 조사토양의 92.5%가 1.40Mg/m 미만 이었고, 심토는 평균 1.41Mg/m로서 50%의 조사토양이 개량기준인 1.40Mg/m 이상으로 나타났으나, 표토의 용적밀도의 평균은 2015년도 보다 약간 개선된 결과를 보였다. 심토의 경도는 평균 19.1mm로서 47.5%의 토양이 15.1~20.0mm에 분포하였다. 시설토양의 공극율은 표토가 57.6%로서 60%의 토양이 공극율 51~60%에 분포하였고, 심토는 공극율이 46.8%로서 100%가 공극율 60% 이하에 분포하였다. 조사대상 시설 심토의 37.5%는 기상률이 14% 이하로 나타났다. 2016년도와 2020년도 사이 경도 및 작토심이 편차가 큰 이유는 총 40 지점 중 7지점(17.5%)의 시설이 없어서 새로운 지점으로 선정하였기 때문으로 생각한다.



주) S:사토, LS:양질사토, SL:사양토, L:양토, SIL:미사질양토, Si:미사토, SiCL: 미사질 식양토, SCL:사질식양토, CL:식양토, SC:사질식토, SiC:미사질식토, C:식토

그림 11. 시설재배토양 토성 분포

표 29. 강원도 시설재배토양의 삼상 및 토성분포

구분	작토심 (cm)	용적밀도 (Mg/m ³)	삼 상(%)			모래 (%)	미사 (%)	점토 (%)	산중식경도 (mm)	유기물함량 (g/kg)	
			고상	액상	기상						
'16년 평균	표토	24	1.04	39.1	26.3	34.6	62.6	31.7	5.7	-	40
	심토			52.0	32.1	15.9					
'20년 평균	표토	20	1.12	42.4	25.7	31.9	60.5	32.3	7.1	-	41
	심토			53.1	29.2	17.7					
적정 범위	표토	-	-	-	-	-	-	-	-	20~30	-
	심토	-	<1.40	-	-	-	-	-	<20	-	-

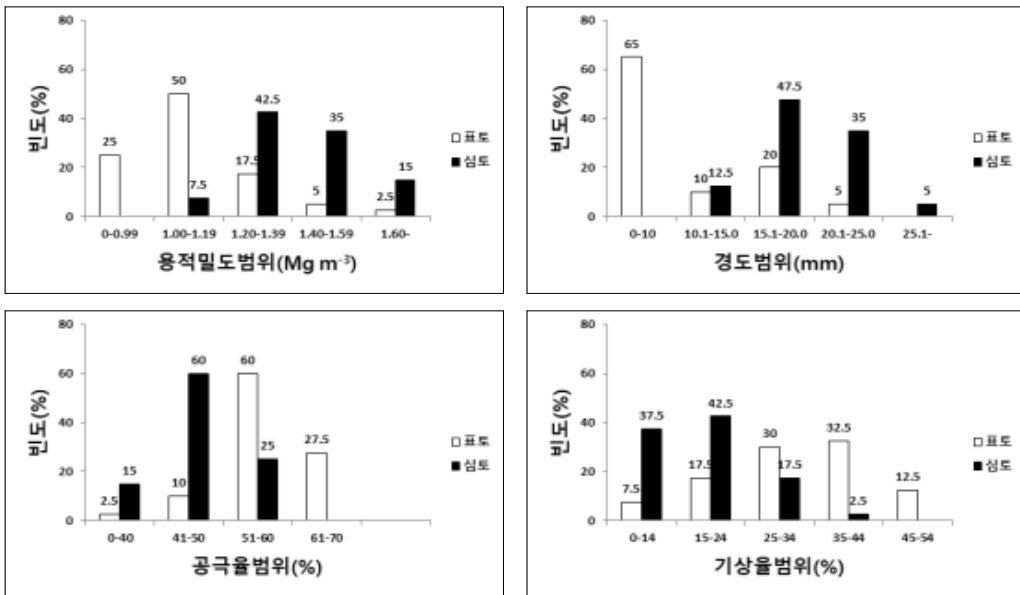


그림 12. 시설재배토양 물리적 특성별 분포 비율(단위: %)

〈제2세부과제: 강원도 농업용수 수질조사 및 비료사용실태조사〉

(시험 1) 농업용수 수질조사

가. 하천수

표 30. 하천수 수질 현황(법적기준 7항목 및 기타 7항목)

시 기	pH	DO	BOD	COD _{Mn}	TOC	T-P	SS	
		mg/L						
2017	4월	7.7	11.1	1.1	2.4	3.39	0.04	3.3
	7월	7.5	9.2	0.4	2.3	5.08	0.06	8.9
	10월	7.6	10.6	0.5	2.2	3.83	0.04	1.4
	평균	7.6	10.6	0.7	2.3	4.10	0.05	4.5
2018	4월	7.7	12.2	0.5	2.4	5.80	0.05	2.5
	7월	7.6	8.8	0.6	2.4	0.0	0.08	2.5
	10월	7.6	11.0	0.5	1.7	0.0	0.06	1.2
	평균	7.6	10.7	0.5	2.2	1.93	0.06	2.1
2019	4월	7.6	11.7	1.2	1.3	1.36	0.03	1.6
	7월	7.5	9.5	0.6	1.6	1.90	0.40	1.3
	10월	7.8	10.9	0.6	1.7	4.16	0.05	1.0
	평균	7.6	10.7	0.8	1.5	2.47	0.16	1.3
2020	4월	7.7	12.0	1.1	1.7	1.46	0.03	4.1
	7월	7.5	9.6	1.2	1.9	1.37	0.03	3.4
	10월	7.8	11.9	0.7	1.5	0.99	0.02	1.7
	평균	7.7	11.2	1.0	1.7	1.27	0.03	3.1
기 준	6.0~8.5	≥2	≤8	≤9	≤6	≤0.3	≤100	

시 기	EC (dS/m)	NH ₄ -N	T-N	Ca	K	Mg	Na	
		mg/L						
2017	4월	0.21	0.12	3.34	19.67	2.15	4.67	11.63
	7월	0.21	0.21	3.37	22.16	4.13	4.92	9.80
	10월	0.21	0.12	2.80	21.61	2.05	4.99	9.88
	평균	0.21	0.15	3.17	21.15	2.78	4.86	10.44
2018	4월	0.20	0.10	3.10	15.50	1.60	4.50	9.70
	7월	0.20	0.30	3.90	26.60	2.30	6.10	11.30
	10월	0.20	0.00	2.90	19.90	4.40	4.90	8.70
	평균	0.20	0.13	3.30	20.67	2.77	5.17	9.90
2019	4월	0.19	0.01	2.37	16.76	1.60	4.07	10.30
	7월	0.28	0.01	3.46	26.54	2.91	6.28	9.85
	10월	0.16	0.00	3.52	22.04	1.79	4.99	7.77
	평균	0.21	0.01	3.12	21.78	2.10	5.11	9.31
2020	4월	0.20	0.00	2.81	19.41	2.62	4.83	9.62
	7월	0.18	0.00	2.93	22.51	3.28	5.10	8.98
	10월	0.19	0.04	2.79	24.83	2.00	5.56	9.19
	평균	0.19	0.01	2.84	22.25	2.63	5.16	9.26

2017~2020년을 연도별로 하천수 34지점을 조사한 결과, 연도별·시기별 평균 농업용수 수질은 표 30과 같이 조사되었으며 수질기준에 적합한 것으로 나타났다. 주요 항목별로 DO는 '17~'20 4월에 11.1, 12.2, 11.7, 12.0mg/L으로 7월, 10월보다 높았으며, BOD의 경우도 높거나 비슷하였다. COD는 '17에서 '20년에 갈수록 낮아지는 경향을 보였다. T-P는 큰 변화는 없었으나, '19 7월 0.40mg/L으로 기준을 초과하였는데 10월에 기준에 적합한 것으로 나타나 일시적인 오염으로 예측된다. 농업용수 수질기준 이 외 기타항목에서는 '17~'20 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

나. 지하수

'17~'20 영농형태별(논, 밭, 시설재배 지역)로 지하수 수질조사를 실시하였다. 논 지역의 수질조사 결과는 표 31과 같이 pH는 '17~'20 각 평균 6.4, 6.6, 6.8, 6.5로 큰 변화가 없는 것으로 나타났으며 수질기준에 적합하였다. 지하수의 수질오염의 척도가 되는 NO₃-N 경우 연도별 평균 5.03, 4.75, 4.57, 4.15mg/L로 수질기준에 적합하였다. 유해물질인 As, Hg, Pb의 경우 As는 '17 4월과 7월 평균 0.01, 0.03mg/L 검출되었고, Pb도 '17 4월 평균 0.03mg/L 검출되었으나, 수질기준에는 적합한 것으로 나타났다. '18~'20에는 검출되지 않았으며, Hg은 매해 검출되지 않았다. 이 외 기타항목에서는 매해 큰 변화가 없는 것으로 조사되었다.

표 31. 논 지역 지하수 수질 현황(법적기준 7항목 및 기타 8항목)

영농형태	시기	pH	NO ₃ -N	Cl ⁻	Cd	As	Hg	Pb	
			mg/L						
논	2017	4월	6.4	4.82	23.21	0.00	0.01	0.000	0.03
		7월	6.4	5.24	23.98	0.00	0.03	0.000	0.00
		평균	6.4	5.03	23.60	0.00	0.02	0.000	0.01
	2018	4월	6.6	4.45	23.19	0.00	0.00	0.000	0.00
		7월	6.6	5.05	23.14	0.00	0.00	0.000	0.00
		평균	6.6	4.75	23.17	0.00	0.00	0.000	0.00
	2019	4월	6.7	5.06	19.98	0.00	0.00	0.000	0.00
		7월	7.0	4.08	20.93	0.00	0.00	0.000	0.00
		평균	6.8	4.57	20.45	0.00	0.00	0.000	0.00
2020	4월	6.5	3.59	19.19	0.00	0.00	0.000	0.00	
	7월	6.5	4.72	20.98	0.00	0.00	0.000	0.00	
	평균	6.5	4.15	20.09	0.00	0.00	0.000	0.00	
농업용수 기준*		6.0~8.5	≤20	≤250	≤0.01	≤0.05	≤0.001	≤0.1	

영농형태	시기	EC (dS/m)	SO ₄ ²⁻	T-N	T-P	Ca	K	Mg	Na
논	4월	0.28	24.93	5.33	0.02	26.06	3.51	5.14	14.14
	7월	0.29	18.03	5.77	0.02	29.33	6.75	5.47	14.26
	평균	0.28	21.48	5.55	0.02	29.21	5.13	5.30	14.20
	4월	0.27	15.57	4.69	0.02	24.74	2.22	5.25	14.00
	7월	0.28	15.58	5.31	0.02	31.04	2.99	5.53	15.19
	평균	0.28	15.58	4.85	0.02	27.89	2.61	5.39	14.60
	4월	0.25	19.82	5.22	0.02	19.91	2.07	3.94	13.39
	7월	0.31	16.11	4.70	0.01	35.71	1.62	5.94	9.96
	평균	0.28	17.96	4.96	0.02	27.81	1.84	4.94	11.68
	4월	0.23	12.66	4.05	0.01	26.45	2.12	4.26	12.94
	7월	0.25	17.52	5.01	0.01	28.87	3.49	4.87	12.98
	평균	0.24	15.09	4.53	0.01	27.66	2.81	4.56	12.96

표 32. 밭 지역 지하수 수질 현황(법적기준 7항목 및 기타 8항목)

영농형태	시기	pH	NO ₃ -N	Cl ⁻	Cd	As	Hg	Pb
밭	4월	6.8	5.95	9.77	0.00	0.01	0.000	0.02
	7월	6.7	7.10	11.11	0.00	0.02	0.000	0.00
	평균	6.8	6.53	10.44	0.00	0.02	0.000	0.01
	4월	6.7	5.46	10.21	0.00	0.00	0.000	0.00
	7월	7.0	7.32	10.90	0.00	0.00	0.000	0.00
	평균	6.9	6.39	10.56	0.00	0.00	0.000	0.00
	4월	6.9	5.39	8.10	0.00	0.00	0.000	0.00
	7월	6.9	8.31	11.47	0.00	0.00	0.000	0.00
	평균	6.9	6.85	9.78	0.00	0.00	0.000	0.00
	4월	6.8	7.80	8.86	0.00	0.00	0.000	0.00
	7월	7.0	9.64	11.78	0.00	0.00	0.000	0.00
	평균	6.9	8.72	10.32	0.00	0.00	0.000	0.00
농업용수 기준*		6.0~8.5	≤20	≤250	≤0.01	≤0.05	≤0.001	≤0.1

영농형태	시기	EC (dS/m)	SO ₄ ²⁻	T-N	T-P	mg/L				
						Ca	K	Mg	Na	
밭	2017	4월	0.30	40.50	8.00	0.01	37.48	3.12	7.79	5.94
		7월	0.31	41.09	9.15	0.02	38.85	7.18	7.90	7.66
		평균	0.31	40.80	8.57	0.02	38.17	5.15	7.84	6.80
	2018	4월	0.30	38.56	7.15	0.01	33.21	1.91	7.88	7.79
		7월	0.30	38.62	10.81	0.02	37.05	2.65	8.56	8.46
		평균	0.30	38.59	8.98	0.02	35.13	2.28	8.22	8.13
	2019	4월	0.29	34.86	7.47	0.01	28.03	1.83	6.61	7.10
		7월	0.25	39.17	9.02	0.01	26.56	2.16	5.56	6.78
		평균	0.27	37.02	8.24	0.01	27.30	2.00	6.09	6.94
2020	4월	0.25	34.99	8.25	0.01	36.64	1.67	7.67	7.06	
	7월	0.31	38.77	10.00	0.01	41.75	3.13	8.51	7.86	
	평균	0.28	36.88	9.13	0.01	39.19	2.40	8.09	7.46	

밭 지역의 지하수 수질조사를 실시한 결과는 표 32와 같이 pH는 '17~'20 각 평균 6.8, 6.9, 6.9, 6.9로 큰 변화가 없었으며, 수질기준에 적합하였다. 지하수의 수질오염의 척도가 되는 NO₃-N 경우 연도별 평균 6.53, 6.39, 6.85, 8.72mg/L로 수질기준에 적합하였다. 유해물질인 As, Hg, Pb의 경우 As는 '17 4월과 7월 평균 0.01, 0.02mg/L 검출되었고, Pb도 '17 4월 평균 0.02mg/L 검출되었으나 수질기준에는 적합한 것으로 나타났다. '18~'20에는 검출되지 않았으며, Hg은 매해 검출되지 않았다. 이 외 기타항목에서는 매해 큰 변화가 없는 것으로 조사되었다.

표 33. 시설재배 지역 지하수 수질 현황(법적기준 7항목 및 기타 8항목)

영농형태	시기	pH	NO ₃ -N	Cl ⁻	Cd	As	Hg	Pb	
									mg/L
시설재배	2017	4월	7.0	5.47	20.24	0.00	0.02	0.000	0.02
		7월	7.1	4.94	15.93	0.00	0.02	0.000	0.00
		평균	7.0	5.20	18.08	0.00	0.02	0.000	0.01
	2018	4월	7.1	4.67	16.48	0.00	0.00	0.000	0.00
		7월	7.1	6.52	24.35	0.00	0.00	0.000	0.00
		평균	7.1	5.60	20.42	0.00	0.00	0.000	0.00
	2019	4월	7.2	4.48	38.86	0.00	0.01	0.000	0.00
		7월	7.0	4.60	35.39	0.00	0.01	0.000	0.00
		평균	7.1	4.54	37.13	0.00	0.01	0.000	0.00

영농형태	시기	pH	NO ₃ -N	Cl ⁻	Cd	As	Hg	Pb	
			mg/L						
시설재배	2020	4월	6.8	6.23	39.11	0.00	0.00	0.000	0.00
		7월	7.2	7.53	34.78	0.00	0.00	0.000	0.00
		평균	7.0	6.88	36.95	0.00	0.00	0.000	0.00
농업용수 기준*		6.0~8.5	≤20	≤250	≤0.01	≤0.05	≤0.001	≤0.1	

영농형태	시기	EC (dS/m)	SO ₄ ²⁻	T-N	T-P	Ca	K	Mg	Na	
			mg/L							
	2017	4월	0.32	11.34	8.86	0.02	36.94	2.73	8.35	9.17
		7월	0.29	12.26	6.45	0.03	34.69	7.16	7.55	9.22
		평균	0.31	11.80	7.65	0.02	35.82	4.94	7.95	9.20
시설재배	2018	4월	0.26	12.13	5.45	0.02	27.05	2.16	6.77	9.31
		7월	0.33	14.15	8.51	0.02	41.35	3.93	7.36	10.52
		평균	0.30	13.14	6.98	0.02	34.20	3.05	7.07	9.92
	2019	4월	0.36	12.30	5.35	0.02	23.09	2.99	6.75	13.11
		7월	0.40	16.43	5.66	0.02	39.50	2.41	8.68	15.25
		평균	0.38	14.36	5.51	0.02	31.29	2.70	7.72	14.18
	2020	4월	0.39	13.57	6.95	0.01	50.90	3.55	9.37	11.78
		7월	0.38	17.70	8.12	0.01	48.68	3.95	9.18	12.85
		평균	0.38	15.63	7.53	0.01	49.79	3.75	9.27	12.31

시설재배 지역의 지하수 수질조사를 실시한 결과는 표 33과 같이 pH는 '17~'20 각 평균 7.0, 7.1, 7.1, 7.0로 나타나 수질기준에 적합하였다. 지하수의 수질오염의 척도가 되는 NO₃-N 경우 연도별 평균 5.20, 5.60, 4.54, 6.88mg/L로 수질기준에 적합하였다. 유해물질인 As, Hg, Pb의 경우 As는 '17 4월과 7월 평균 0.02, 0.02mg/L 검출되었고, Pb도 '17 4월에 0.02mg/L 검출되었다. '18~'20에는 검출되지 않았으며, Hg은 매해 검출되지 않았다. 이 외 기타항목에서는 매해 큰 변화가 없는 것으로 조사되었다. '17~'20 영농형태별로 지하수를 조사한 바, pH의 경우 논<밭<시설재배 순으로 높은 경향을 보였으며, NO₃-N는 논<시설재배<밭 순으로 높았다.

(시험 2) 비료사용실태조사

가. 밭 작물 비료사용실태

'17년에 고랭지배추, 양배추, 무 작물을 각 50, 25, 25지점 총 100지점을 조사하였고, '19년에 감자, 옥수수를 각 30, 30지점을 조사하였다.

표 34. 조사대상 작물

구 분	조사대상 작물					계
	고랭지배추	양배추	무	감자	옥수수	
조사 농가수	50	25	25	30	30	160
계	50	25	25	30	30	160

농가비료사용량 조사 결과를 보면 표 35와 같이 양배추에서 질소, 인산, 칼리 총사용량이 가장 높은 것으로 나타났으며, 옥수수가 가장 적게 사용하였다. 무기+유기질 비료 사용은 고랭지 배추가 많았으나, 퇴비사용량에서 양배추가 많이 사용하는 것으로 나타났다.

표 35. 농가비료사용량

작물	조사 농가	총사용량 ^{A)}			무기+유기질 ^{B)}			퇴비사용량 ^{C)}		
		질소	인산	칼리	질소	인산	칼리	질소	인산	칼리
고랭지배추	50	66.7	29.5	38.6	53.0	16.5	37.2	13.7	13.0	1.4
양배추	25	68.7	42.4	40.4	41.4	13.2	28.8	27.3	29.2	11.6
무	25	47.8	27.6	19.4	28.4	9.1	17.8	19.4	18.5	1.6
감자	30	44.8	34.1	33.8	27.1	12.2	13.7	17.7	21.9	20.1
옥수수	30	37.1	21.5	25.9	27.2	8.3	9.2	9.9	13.2	16.7

A) 농가에서 사용하고 있는 비료 총 투입량(무기질+유기질+퇴비)

B) 농가에서 사용하고 있는 무기질+유기질비료 사용량

C) 농가에서 사용하고 있는 퇴비의 성분 환산량

농가 퇴비사용량은 표 36과 같이 조사되었으며, 조사농가 대비 양배추가 가장 많이 사용하는 것으로 나타났고, 고랭지배추가 가장 적게 사용하는 것으로 나타났다. 사용량은 양배추가 가장 많고, 무가 가장 적게 사용하는 것으로 나타났다.

표 36. 농가 퇴비(부숙유기질) 사용량 및 사용퇴비의 성분함량 형태 비교

작물	조사 농가	사용 농가	추천량 (kg/10a)	사용량 (kg/10a)	퇴비성분량 ^{A)} (%)			퇴비사용량(성분) ^{B)} (kg/10a)		
					질소	인산	칼리	질소	인산	칼리
고랭지배추	50	27	239.7	1,576	1.72	1.60	0.20	25.3	24.2	2.6
양배추	25	23	193.8	2,487	1.50	1.51	0.34	32.5	34.8	13.9
무	25	18	275.4	1,558	1.73	1.65	0.14	27.0	25.7	2.2
감자	30	26	519	1,868	1.20	1.40	1.20	20.5	25.3	23.2
옥수수	30	22	796	1,704	1.00	1.20	1.30	13.5	18.0	22.8

유기질 비료는 조사농가 대비 고랭지배추가 가장 많았다(표 37). 사용량 또한 442kg/10a 가장 많이 사용하였고, 옥수수가 208kg/10a 가장 적게 사용하였다.

표 37. 농가 유기질비료 사용량 및 유기질비료의 성분함량 비교

작 물	조사 농가	사용 농가	사용량 (kg/10a)	비료성분량 ^{A)} (%)			유기질사용량 ^{B)} (kg/10a)		
				질소	인산	칼리	질소	인산	칼리
고랭지배추	50	23	442	4.0	2.0	1.0	17.7	8.8	4.4
양배추	25	8	246	4.6	1.9	1.1	10.3	4.8	2.6
무	25	8	338	4.0	2.0	1.0	13.5	6.8	3.4
감자	30	10	288	8.0	3.3	2.6	19.0	8.6	6.6
옥수수	30	10	208	5.4	2.1	1.6	11.5	4.4	3.4

A) 퇴비성분량: 삼요소 성분량을 포장대 또는 분석에 의해 환산

B) 유기질사용량(성분): 유기질비료 시용으로 인한 양분투입량

작물별 농가사용량과 비료사용처방량 조사결과, 고랭지배추가 사용량 차이가 가장 큰 것으로 나타났다(표 38).

표 38. 작물 및 농가 비료 추천사용량과 농가사용량 차이

작물	조사 농가	추천사용량 ^{A)}			농가사용량 ^{B)}			차이 ^{C)}		
		질소	인산	칼리	질소	인산	칼리	질소	인산	칼리
고랭지배추	50	23.8	3.0	7.1	53.0	16.5	37.2	29.2	13.5	30.1
양배추	25	31.2	3.0	21.7	41.4	13.2	28.8	10.2	10.2	7.1
무	25	25.2	3.0	6.8	28.4	9.1	17.8	3.2	6.1	11.0
감자	30	13.4	3.4	9.6	27.1	12.2	13.7	13.7	8.8	4.1
옥수수	30	22.6	3.6	5.8	27.2	8.3	9.2	4.6	4.7	3.4

A) 추천사용량(비료사용처방량): 토양검정결과를 활용하여 휴토람에서 처방량 평균

B) 농가사용량: 무기질+유기질비료 사용량

C) 차이: 농가사용량 - 비료사용처방량

나. 과수원 비료사용실태

'18년에 과수원 작물(사과, 배, 포도, 복숭아)을 대상으로 표 39와 같이 100지점을 조사하였다.

표 39. 조사대상 작물

구분	조사대상 작물				계
	사과	배	포도	복숭아	
조사 농가수	40	20	20	20	100
계	40	20	20	20	100

농가비료사용량을 보면 표 40에 보는 바와 같이 퇴비사용량은 사과가 많았으나, 무기+유기질 비료 사용량은 배가 많아 총사용량은 배가 가장 많고, 사과가 적은 것으로 나타났다.

표 40. 농가비료사용량

작물	조사 농가	총사용량 ^{A)}			무기+유기질 ^{B)}			퇴비사용량 ^{C)}		
		질소	인산	칼리	질소	인산	칼리	질소	인산	칼리
사과	40	15.0	10.1	8.2	4.1	3.3	2.3	10.9	6.8	5.8
배	20	24.7	14.2	18.1	16.1	8.4	13.3	8.6	5.8	4.8
포도	20	18.1	10.2	8.2	8.5	4.2	4.3	9.6	6.0	3.8
복숭아	20	17.4	8.7	11.7	11.9	5.2	8.5	5.5	3.5	3.2

A) 농가에서 사용하고 있는 비료 총 투입량(무기질+유기질+퇴비)

B) 농가에서 사용하고 있는 무기질+유기질비료 사용량

C) 농가에서 사용하고 있는 퇴비의 성분 환산량

퇴비사용 농가는 조사농가 대비 포도농가가 가장 많았다. 사용량은 사과가 1,615kg/10a으로 가장 많았으며 배>복숭아>포도 순으로 나타났다(표 41).

표 41. 농가 퇴비(부숙유기질) 사용량 및 사용퇴비의 성분함량 형태 비교

작물	조사 농가	사용 농가	추천량 (kg/10a)	사용량 (kg/10a)	퇴비성분량 ^{A)} (%)			퇴비사용량(성분) ^{B)} (kg/10a)		
					질소	인산	칼리	질소	인산	칼리
사과	40	30	700	1,615	1.2	0.8	0.6	19.5	12.1	10.4
배	20	15	733	1,500	1.0	0.7	0.6	15.3	10.3	8.5
포도	20	17	1,059	960	1.4	0.9	0.6	13.3	8.3	5.3
복숭아	20	14	1,071	995	1.1	0.7	0.6	11.3	7.1	6.4

유기질 비료 사용농가는 조사농가 대비 복숭아농가가 가장 많았고, 사용량도 304.9kg/10a 많은 것으로 조사되었으며, 포도>배>사과 순으로 나타났다(표 42).

표 42. 농가 유기질비료 사용량 및 유기질비료의 성분함량 비교

작물	조사 농가	사용 농가	사용량 (kg/10a)	비료성분량 ^{A)} (%)			유기질사용량 ^{B)} (kg/10a)		
				질소	인산	칼리	질소	인산	칼리
사과	40	20	96.7	6.6	5.9	3.2	6.4	5.7	3.1
배	20	12	166.4	5.4	2.5	1.6	9.0	4.2	2.6
포도	20	12	173.3	5.3	2.3	2.9	9.3	4.0	5.1
복숭아	20	13	304.9	3.7	1.8	4.6	11.3	5.5	14.1

A) 퇴비성분량: 삼요소 성분량을 포장대 또는 분석에 의해 환산

B) 유기질사용량(성분): 유기질비료 시용으로 인한 양분투입량

작물별 추천사용량과 농가사용량의 차이는 표 43에서와 같이 배가 가장 큰 것으로 나타났으며, 사과와 포도의 경우 칼리는 농가사용량이 부족한 것으로 조사되었다.

표 43. 작물 및 농가 비료 추천사용량과 농가사용량 차이

작물	조사 농가	추천사용량 ^{A)}			농가사용량 ^{B)}			차이 ^{C)}		
		질소	인산	칼리	질소	인산	칼리	질소	인산	칼리
사과	40	3.0	3.0	3.0	4.1	3.3	2.3	1.1	0.3	-0.7
배	20	10.9	5.0	6.0	16.1	8.4	13.3	5.2	3.4	7.3
포도	20	7.5	4.1	5.0	8.5	4.2	4.3	1.0	0.1	-0.7
복숭아	20	9.1	4.4	6.4	11.9	5.2	8.5	2.7	0.8	2.2

- A) 추천사용량(비료사용처방량): 토양검정결과를 활용하여 휴토람에서 처방량 평균
 B) 농가사용량: 무기질+유기질비료 사용량
 C) 차이: 농가사용량 - 비료사용처방량

다. 논 작물 비료사용실태

'18년에 논 작물 벼에 대해 40농가를 조사하였다. 벼에 농가비료 총사용량은 질소 27.7, 인산 10.3, 칼리 17.1이었고(표 44), 조사 농가 모두 퇴비를 사용하였으며, 사용량은 662kg/10a이었다(표 45). 표 46에서 보는 바와 같이 유기질비료는 40농가 중 15농가가 사용하고 있었고, 155kg/10a 사용하는 것으로 조사되었고, 추천사용량과 농가사용량 차이는 질소 12.6, 인산 3.2, 칼리 9.5로 나타났다(표 47).

표 44. 농가비료사용량

작물	조사 농가	총사용량 ^{A)}			무기+유기질 ^{B)}			퇴비사용량 ^{C)}		
		질소	인산	칼리	질소	인산	칼리	질소	인산	칼리
벼	40	27.7	10.3	17.1	24.3	7.2	13.0	3.4	3.1	4.1

- A) 농가에서 사용하고 있는 비료 총 투입량(무기질+유기질+퇴비)
 B) 농가에서 사용하고 있는 무기질+유기질비료 사용량
 C) 농가에서 사용하고 있는 퇴비의 성분 환산량

표 45. 농가 퇴비(부숙유기질) 사용량 및 사용퇴비의 성분함량 형태 비교

작물	조사 농가	사용 농가	추천량 (kg/10a)	사용량 (kg/10a)	퇴비성분량 ^{A)} (%)			퇴비사용량(성분) ^{B)} (kg/10a)		
					질소	인산	칼리	질소	인산	칼리
벼	40	40	880	662	0.5	0.4	0.6	3.4	3.1	4.1

표 46. 농가 유기질비료 사용량 및 유기질비료의 성분함량 비교

작물	조사 농가	사용 농가	사용량 (kg/10a)	비료성분량 ^{A)} (%)			유기질사용량 ^{B)} (kg/10a)		
				질소	인산	칼리	질소	인산	칼리
벼	40	15	155	5.4	1.9	1.6	8.2	2.9	2.3

- A) 퇴비성분량: 삼요소 성분량을 포장대 또는 분석에 의해 환산
 B) 유기질사용량(성분): 유기질비료 시용으로 인한 양분투입량

표 47. 작물 및 농가 비료 추천사용량과 농가사용량 차이

작물	조사 농가	추천사용량 ^{A)}			농가사용량 ^{B)}			차이 ^{C)}		
		질소	인산	칼리	질소	인산	칼리	질소	인산	칼리
벼	40	11.7	4.0	3.5	24.3	7.2	13.0	12.6	3.2	9.5

- A) 추천사용량(비료사용처방량): 토양검정결과를 활용하여 흙토람에서 처방량 평균
 B) 농가사용량: 무기질+유기질비료 사용량
 C) 차이: 농가사용량 - 비료사용처방량

라. 시설재배 작물 비료사용실태

'20년에 시설재배 작물(토마토, 풋고추, 오이)에 100지점을 조사하였다(표 48).

퇴비사용량은 토마토가 가장 많았으나, 무기+유기질 비료는 풋고추가 가장 많아 총사용량은 풋고추가 가장 많이 사용하는 것으로 나타났다(표 49).

표 48. 조사대상 작물

도별	조사대상 작물			계
	토마토	풋고추	오이	
조사 농가수	30	40	30	100
계	30	40	30	100

표 49. 농가비료사용량

작물	조사 농가	총사용량 ^{A)}			무기+유기질 ^{B)}			퇴비사용량 ^{C)}		
		질소	인산	칼리	질소	인산	칼리	질소	인산	칼리
토마토	30	25.4	17.9	17.5	16.6	11.5	14.6	8.8	6.3	2.9
풋고추	40	31.3	20.3	19.4	25.3	15.7	17.7	5.8	4.6	1.7
오이	30	28.6	16.4	21.1	18.9	9.2	17.1	9.7	7.2	4.1

- A) 농가에서 사용하고 있는 비료 총 투입량(무기질+유기질+퇴비)
 B) 농가에서 사용하고 있는 무기질+유기질비료 사용량
 C) 농가에서 사용하고 있는 퇴비의 성분 환산량

퇴비사용 농가는 조사농가 대비 오이농가에서 가장 많이 사용하는 것으로 조사되었고, 사용량은 토마토가 5,410.9kg/10a으로 가장 많았으며(표 50), 표 51에서와 같이 유기질비료 사용농가 조사에서는 풋고추 재배농가가 가장 많이 사용하였고, 사용량도 479.6kg/10a으로 가장 많았다. 추천사용량과 농가사용량 차이는 풋고추 > 토마토 > 오이 순으로 많았다(표 52).

표 50. 농가 퇴비(부숙유기질) 사용량 및 사용퇴비의 성분함량 형태 비교

작물	조사 농가	사용 농가	추천량 (kg/10a)	사용량 (kg/10a)	퇴비성분량 ^{A)} (%)			퇴비사용량(성분) ^{B)} (kg/10a)		
					질소	인산	칼리	질소	인산	칼리
토마토	30	12	792	5,410.9	0.7	0.6	0.2	21.9	15.9	7.2

작물	조사 농가	사용 농가	추천량 (kg/10a)	사용량 (kg/10a)	퇴비성분량 ^{A)} (%)			퇴비사용량(성분) ^{B)} (kg/10a)		
					질소	인산	칼리	질소	인산	칼리
풋고추	40	15	817	3,772.8	0.8	0.6	0.2	15.6	12.2	4.5
오이	30	18	222	4,739.8	0.5	0.4	0.2	16.2	12.0	6.8

표 51. 농가 유기질비료 사용량 및 유기질비료의 성분함량 비교

작물	조사 농가	사용 농가	사용량 (kg/10a)	비료성분량 ^{A)} (%)			유기질사용량 ^{B)} (kg/10a)		
				질소	인산	칼리	질소	인산	칼리
토마토	30	11	337.0	5.1	2.8	2.8	17.0	9.0	8.3
풋고추	40	18	479.6	7.3	3.4	3.9	32.0	17.9	16.4
오이	30	7	198.8	6.3	3.0	3.0	12.1	5.6	5.6

- A) 퇴비성분량: 삼요소 성분량을 포장대 또는 분석에 의해 환산
 B) 유기질사용량(성분): 유기질비료 시용으로 인한 양분투입량

표 52. 작물 및 농가 비료 추천사용량과 농가사용량 차이

작물	조사 농가	추천사용량 ^{A)}			농가사용량 ^{B)}			차이 ^{C)}		
		질소	인산	칼리	질소	인산	칼리	질소	인산	칼리
토마토	30	4.4	0.0	6.5	16.6	11.5	14.6	12.2	11.5	8.1
풋고추	40	5.6	0.0	3.9	25.3	15.7	17.7	19.7	15.7	13.8
오이	30	7.3	0.0	3.2	18.9	9.2	17.1	11.6	9.2	13.9

- A) 추천사용량(비료사용처방량): 토양검정결과를 활용하여 흙토람에서 처방량 평균
 B) 농가사용량: 무기질+유기질비료 사용량
 C) 차이: 농가사용량 - 비료사용처방량

4 적 요

<제1세부과제: 강원 일반농경지 토양화학성 및 물리성 변동조사>

(시험 1) 토양화학성 변동조사

가. 밭토양의 평균 화학성은 pH 6.4, 유기물 32 g/kg, 유효인산 747 mg/kg이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 1.2, 7.6, 2.0 cmol./kg이었다. pH와 EC, 치환성 마그네슘은 적정범위를 만족하였으나 유효인산, 치환성 칼륨과 칼슘은 적정범위를 초과하였다. 토양 pH는 2001년도에는 적정 범위보다 낮은 지점이 많았으나, 높은 지점의 비율이 증가하였다. 유기물의 부족한 필지는 조사가 시작된 2001년보다 부족한 지역이 감소하였고, 많은 지점이 증가하였다. 유효인산과 치환성 양이온은 과도한 지점이 많은 경향을 나타냈다. 일반농경지 밭토양 평균 중금속 함량은 환경오염 기준에 크게 미치지 못해 강원도에서 생산된 농작물은 중금속 오염으로부터 안전함을 알 수 있다.

- 나. 과수원토양의 평균 화학성은 pH 6.2, 유기물 36 g/kg, 유효인산 860mg/kg이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 1.4, 7.6, 2.1 cmol_c/kg 이었고, LR은 158 kg/10a이었다. pH와 EC는 적정범위를 만족하였으나, 유효인산과 치환성 칼륨, 치환성 칼슘은 적정범위를 초과하였다. 평균 pH, 유기물 함량, 치환성 양이온은 14년 이후 변화가 적었다. 조사초기인 2002년에는 pH가 낮은 농가의 비율이 높았으나, 2014년 이후 높은 농가의 비율이 증가하였다. 2002년 이래 유효인산과 치환성 K은 과다한 농가의 비율이 높고, 치환성 Ca과 치환성 Mg은 2014년 이래 과다한 농가의 비율이 높았다. 유기물은 부족한 지역이 감소하고, 많은 지점이 증가하였다. 80 지점 중 중금속 우려기준을 초과하는 필지는 없었고, 중금속 함량은 환경 오염기준 보다 크게 낮았다.
- 다. 논토양의 평균 화학성은 pH 6.0, 유기물 29 g/kg, 유효인산 162mg/kg이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 0.41, 4.9, 1.0 cmol_c/kg 이었다. pH, 유기물, 유효인산은 적정범위 이내에 있었으며, 치환성칼륨은 적정범위를 초과 하였고, 치환성칼슘과 마그네슘은 적정범위에 미달되었다. 조사 초기인 2003년 이래 pH는 적합한 농가의 비율이 높았고, 치환성 Ca과 치환성 Mg은 부족한 농가의 비율이 높았고, 2015년 이래 치환성 K은 과다한 농가의 비율이 높았다. 일반농경지 논토양 중금속 함량 평균은 우려기준 보다 현저히 낮았고, 오염우려 2곳에 대해서 농가실태 및 버를 수확하여 식물체내의 중금속 함량을 분석하였으나 특이점은 없었다.
- 라. 시설재배토양의 평균 화학성은 pH 6.5, 유기물 45 g/kg, 유효인산 1,203mg/kg이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 1.7, 11.4, 3.5 cmol_c/kg 이었다. pH는 적정범위 이내에 있었으나, EC, 유기물, 유효인산, 치환성 K, 치환성 Ca, 치환성 Mg은 적정 범위를 2배 이상 초과하였고, 적정범위 미달은 없었다. 평균 pH, EC, 유효인산은 16년 이후 변화가 적었으나 유기물 함량은 증가하였다. 시설재배 토양 중금속 평균값은 우려기준보다 낮으나 광산지역 정선 4지점 태백 2지점에 비소 우려기준을 초과하는 지점이 있었다. 식물체내 중금속 함량을 조사하였으나 특이한 점은 없었다.

(시험 2) 토양물리성 조사

- 가. 밭토양의 평균 작토심은 16.1cm, 경도는 심토에서 18.2mm 이었다. 표토의 용적밀도는 1.20g/cm³, 심토는 1.43g/cm³이었다. 토양 삼상은 표토는 고상, 액상, 기상이 각각 45.4, 20.2, 34.4%이었고, 심토는 각각 54.1, 26.5, 19.4%로 조사되었다.
- 나. 과수원토양의 평균 작토심은 28.3cm, 경도는 심토에서 18.5mm, 표토의 용적밀도 1.19g/cm³, 심토는 1.42g/cm³ 이었다. 토양 삼상은 표토는 고상, 액상, 기상이 각각 44.9, 24.1, 31.0%이었고, 심토는 각각 53.4, 25.7, 20.9%로 조사되었다.
- 다. 논토양의 평균 작토심은 18.7cm, 경도는 심토 20.8mm 이었다. 표토의 용적밀도는 1.25 Mg/m³, 심토는 1.58 Mg/m³ 이었다. 토양삼상은 표토는 고상, 액상, 기상이 각각 47.2 40.8, 12.0%이었고, 심토는 각각 59.5, 36.3, 4.2%로 조사되었다.
- 라. 시설재배토양의 평균 작토심은 20.0cm, 경도는 심토 19.0mm 이었다. 표토의 용적밀도는 1.03 Mg/m³ 이었으며 심토는 1.38 Mg/m³ 이었다. 토양삼상은 표토는 고상, 액상, 기상이 각각 42.4, 25.7, 31.9%이었고, 심토는 각각 53.1, 29.2, 17.7%로 조사되었다.

〈제2세부과제: 강원도 농업용수 수질조사 및 비료사용실태조사〉

(시험 1) 농업용수 수질조사

- 가. 최근 4년 간(2017~2020) 조사된 농업용 하천수의 평균 pH는 7.6, DO는 10.7 mg/L, BOD는 0.8 mg/L, COD_{Mn}은 1.9mg/L, T-P는 0.07 mg/L, SS는 2.7 mg/L이었고, 농업용 하천수에 대한 주요지표의 농업용수 수질기준 초과율은 pH가 2.0, T-P 1.45, BOD 0.7, TOC 1.0, COD_{Mn} 0.24%이었다. pH는 2017, 2018, 2019, 2020년에 각각 2.0, 1.0, 3.9, 1.0%, T-P는 2017, 2018, 2019년에 1.0, 2.9, 2.0%, TOC는 2017, 2018년에 2.0, 2.0%, COD_{Mn} 2018년에 1.0%, BOD는 2020년에 2.9%가 초과되었고 이 외 다른 주요 항목은 초과하는 지점이 없었다.
- 나. 최근 4년 간(2017~2020) 조사된 농업용 지하수의 평균 pH는 6.9로 약산성이었고, EC는 0.3 dS/m, Cl⁻은 21.0 mg/L이었으며, 지하수 수질의 가장 중요한 지표인 질산성질(NO₃-N)는 5.72 mg/L로 지하수 중의 질산성질소 기준인 20mg/L에는 크게 미치지 않는 것으로 조사되었다. 농업용 지하수 전수에 대한 주요지표의 농업용수 수질기준 초과율은 pH는 2017, 2020년에 각각 2.5, 2.0%가 초과되었다. 질산성 질소(NO₃-N)는 2019, 2020년도에 3.3, 2.5%가 초과하였으며 특정 유해물질은 As가 2017, 2019년도에 2.5, 3.3%가 초과되었고, Cd, Hg 등은 수질기준 미만 이거나 검출 되지 않았다.

(시험 2) 비료사용실태조사

- 가. '17년에 고랭지배추, 양배추, 무 작물을 각 50, 25, 25지점 총 100지점을 조사하였고, '19년에 감자, 옥수수를 각 30, 30지점을 조사하였다. 농가비료사용량 조사 결과, 양배추에서 질소, 인산, 칼리 총사용량이 가장 높은 것으로 나타났으며, 옥수수가 가장 적게 사용하였다. 무기+유기질 비료 사용은 고랭지 배추가 많았으나, 퇴비사용량에서 양배추가 많이 사용하는 것으로 나타났다. 농가 퇴비사용량은 조사농가 대비 양배추가 가장 많이 사용하는 것으로 나타났고, 고랭지배추가 가장 적게 사용하는 것으로 나타났다. 사용량은 양배추가 가장 많고, 무가 가장 적게 사용하는 것으로 나타났다. 유기질 비료는 조사농가 대비 고랭지배추가 가장 많았다. 사용량 또한 442kg/10a 가장 많이 사용하였고, 옥수수가 208kg/10a 가장 적게 사용하였다. 작물별 농가사용량과 비료사용처방량 조사결과, 고랭지배추가 사용량 차이가 가장 큰 것으로 나타났다.
- 나. '18년에 과수원 작물(사과, 배, 포도, 복숭아)을 대상으로 100지점을 조사하였다. 농가비료사용량을 보면 퇴비사용량은 사과가 많았으나, 무기+유기질 비료 사용량은 배가 많아 총사용량은 배가 가장 많고, 사과가 적은 것으로 나타났다. 퇴비사용 농가는 조사농가 대비 포도농가가 가장 많았다. 사용량은 사과가 1,615kg/10a으로 가장 많았으며 배>복숭아>포도 순으로 나타났다. 유기질 비료 사용농가는 조사농가 대비 복숭아농가가 가장 많았고, 사용량도 304.9kg/10a 많은 것으로 조사되었으며. 포도>배>사과 순으로 나타났다. 작물별 추천사용량과 농가사용량의 차이는 배가 가장 큰 것으로 나타났으며, 사과와 포도의 경우 칼리는 농가사용량이 부족한 것으로 조사되었다.
- 다. '19년에 논 작물 벼에 대해 40농가를 조사하였다. 벼에 농가비료 총사용량은 질소 27.7, 인산 10.3, 칼리 17.1으로 조사되었다. 벼 작물에서는 조사 농가 모두 퇴비를 사용하였고, 사용량은 662kg/10a으로 조사되었다. 유기질비료는 40농가 중 15농가가 사용하고 있었고, 155kg/10a 사용하는 것으로 조사되었다. 추천사용량과 농가사용량 차이는 질소 12.6, 인산 3.2, 칼리 9.5로 나타났다.

라. '20년에 시설재배 작물(토마토, 풋고추, 오이)에 100지점을 조사하였다. 퇴비사용량은 토마토가 가장 많았으나, 무기+유기질 비료는 풋고추가 가장 많아 총사용량은 풋고추가 가장 많이 사용하는 것으로 나타났다. 유기질비료는 조사농가 대비 풋고추농가가 가장 많이 사용하였고, 사용량도 479.6kg/10a으로 가장 많았다. 추천사용량과 농가사용량 차이는 풋고추 > 토마토 > 오이 순으로 나타났다.

5 인용문헌

- 농촌진흥청. 2006. 농업용수 수질분석 이론 및 실무.
- 정석채, 문준, 김태순, 현근수, 박창서. 1990. 우리나라 토양의 토성별 유효수분.
- 환경부. 2005. 수질오염공정시험법.
- APAH, AWWA, WEF. 1992. Standard method for the examination of water and waste water. 18th, APHA.
- Jung, B.G., G.H. Jo, E.S. Yun, J.H. Yoon, and Y.H. Kim. 1998. Monitoring on chemical properties of bench marked paddy soils in Korea. Korean J. Soil Sci. Fert. 31(3):246-252.
- Jung, B.G., G.H. Jo, E.S. Yun, J.H. Yoon, and Y.H. Kim. 2001. Monitoring on chemical properties of bench marked upland soils in Korea. Korean J. Soil Sci. Fert. 34(5):326-332.
- Kim, Y.S., S.C. Seo, and K.H. Han. 1963. Study on soil analysis. Annual research report of Institute of Plant Environment RDA, Suwon, Korea.
- Kong, M.S., S.S. Kang, M.J. Che, H.i. Jung, Y.G. Sonn, D.B. Lee, and Y.H. Kim. 2015. Changes of chemical properties in upland soils in Korea. Korean J. Soil Sci. Fert. 48(6):588-59
- Lee k.y., Hong S.Y., Yoon B.S., Heo S.J., Choi B.G., Jang U.H., Hong D.K., Kim M.K., 2019. Changes in agricultural stream water quality of small watershed in gangwon province from 2007 to 2016. Korean J. Soil Sci. Fert. 52(4):386-390.
- ME(Ministry of Environment). 2010. Standard test method for soil pollution. Ministry of Environment, Korea.
- NAAS (National Academy of Agricultural Science). 2010. Method of soil chemical analysis. Rural Development Administration. Korea.
- Park, S.J., J.H. Park, C.Y. Kim, Y.J. Seo, O.H. Kwon, J.G. Won, and S.H. Lee. 2016. Comparison of surface chemical properties of plastic film house, upland, and orchard soils in Gyeongbuk province. Korean J. Soil Sci. Fert. 49(2):115-124.
- RDA. 2009. Monitoring project on agri-environment quality in Korea, RDA, Suwon, Korea.
- RDA (Rural development administration). 2013. Monitoring project on agro-environment quality; the second round of the workshop. Rural development administration. Suwon, Korea.
- Roh, A.S., J.S. Park, Y.S. Park, O.J. Ju, M.W. Shin, and S.S. Kang. 2018. Status and changes in chemical properties of upland soil in Gyeonggi Province. Korean J. Soil Sci. Fert. 51(4):435-444.

Yoon B.S., S.C. Choi, S.J. Lim, S.J. Heo, I.J.Kim, and S.S. Kang, 2016. Status and changes in chemical properties of paddy soil in Gangwon Province. Korean J. Soil Sci. Fert. 49(4):293-299.

6 연구결과 활용

연도(연차)	활용방안	제 목
2017(1년)	영농정보	강원도 밭토양의 중금속 현황
	학술발표	강원도 시설재배토양의 화학성분 함량 변화 강원도 밭토양의 중금속 함량
2018(2년)	영농정보	강원지역 과수원토양의 중금속 현황
		강원도 농업지대 지하수의 수질 현황
		강원지역 과수농가(사과, 배, 포도, 복숭아)의 비료사용량 및 토양 양분함량 비교
	학술발표	강원도 밭 토양의 화학성분 현황과 변동
		강원도 과수원 토양의 화학성분 현황과 변동
		강원도 밭토양의 물리적 특성
강원지역 농업용수 수질조사		
2019(3년)	영농정보	강원도 논 토양화학성 변동 평가 자료를 활용한 양분관리 지도
		강원지역 농업지대 하천수의 수질현황
	논문게재	강원지역 농촌 소유역의 하천수 수질 변동
	학술발표	강원도 과수원 토양의 물리적 특성
		강원도 과수원토양의 중금속 함량
		강원도 논토양의 화학성분 현황과 변동(국제)
		강원지역 농업용수 수질특성조사
	홍보	과수원 토양 양분 균형관리 필요해(한국영농신문)
		강원 과수원 토양 화학성분 적정범위 초과(춘천 MBC)
		강원도내 과수원토양 화학성분 적정범위 초과- 균형관리 필요 (강원도민일보)
과수원 토양 화학성분 적정 범위 초과(원주 MBC)		
2020(4년)	영농정보	강원도 시설 토양화학성 변동 평가 자료를 활용한 양분관리지도
		강원지역 농업용 하천수의 수질현황
	논문게재	강원도 밭토양의 화학성 현황과 변동(2001~2017)
	학술발표	2020 강원도 시설재배토양의 화학성분 현황과 변화
		2019 강원도 논토양의 물리적 특성 강원지역 농업용수 수질특성
	홍보	강원 농기원 올해 농업환경자원 변동조사 비대면으로 진행(연합뉴스 등)

성과지표명		연 도		1년차(2017)		2년차(2018)		3년차(2019)		4년차(2020)		계	
		목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적
논문 게재	SCI												
	비SCI			1	0	0	1	1	1	1	2	2	
학술 발표	국제					1	1						
	국내	1	2	2	4	1	4	2	3	6	13		
영농 활용	기술												
	정보	2	1	2	3	2	2	2	2	8	8		
홍 보							4	1	1	1	5		
계		3	3	5	7	4	12	6	7	17	28		

7 연구원 편성

구 분	소 속	직 급	성 명	수행업무	참여년도			
					'17	'18	'19	'20
과제책임자	국립농업과학원	농업연구관	윤순강	과제 총괄	○			
	국립농업과학원	농업연구관	정구복	과제 총괄		○		
	국립농업과학원	농업연구관	김이현	과제 총괄			○	
	국립농업과학원	농업연구관	김명숙	과제 총괄				○
1세부책임자	환경농업연구과	농업연구사	윤병성	주관수행	○	○	○	○
2세부책임자	옥수수연구소	농업연구사	최승출	주관수행	○	-	-	-
	환경농업연구과	농업연구사	홍수영	주관수행	-	○	○	-
	농식품연구소	농업연구사	이기연	주관수행	-	-	○	-
	환경농업연구과	농업연구사	이남길	주관수행	-	-	-	○
공동연구자	인삼약초연구소	농업연구관	임수정	조사업무지원	○	○	○	-
	환경농업연구과	농업연구사	허수정	조사업무지원	○	○	○	○
	작물연구과	농업연구사	서영호	조사업무지원	-	○	○	-
	환경농업연구과	농업연구사	최병곤	조사업무지원	-	-	-	○
	환경농업연구과	농업연구관	정태성	결과분석지원	-	-	-	○
	환경농업연구과	농업연구관	박영학	결과분석지원	○	○	-	-
	옥수수연구소	농업연구관	홍대기	결과분석지원	○	○	○	-
	환경농업연구과	농업연구관	장은하	결과분석지원	-	-	○	○
환경농업연구과	공무직	김남호	조사업무지원	○	○	○	○	