

어젠다코드	1 - 1 - 1		구 분	과제완결	
기술분야코드	V1	기술유형코드	E02	작목구분코드	EE-02-EE22
과제종류	공동연구		세세부사업	핵심전략기술개발	
연구과제 및 세부과제			수행기간	과제책임자 및 세부책임자	
환경변화에 따른 농업환경 모니터링			'09~'12	국립농업과학원	강성수
1) 강원 일반농경지 토양화학적 및 물리적 변동 조사			'09~'12	환경농업연구과	최승출
2) 강원 일반농경지 미생물 분포 및 농업용수 수질조사			'09~'12	환경농업연구과	최승출
색인용어	토양화학적, 토양물리적, 토양중금속, 농업용수 수질, 토양미생물				

ABSTRACT

Monitoring on soil chemical properties and microorganisms(population of indicative microbes, microbial diversity and biomass) in arable soils was conducted on 4 cropland types including rice paddy, upland, orchard and plastic film house from 2009 to 2012. Soil physical status was also measured at orchard in 2010 and at rice paddy 2011, 2012. Monitoring of agricultural irrigation water, surface and groundwater, 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

Paddy soil samples were taken from 150 sites in 2011. Chemical properties were pH 5.8, organic matter 25 g kg⁻¹, available phosphate 104 mg kg⁻¹, available silicate 131mg kg⁻¹ and exchangeable K, Ca, Mg were 1.19, 4.4, 0.8 Cmol_c kg⁻¹, respectively.

The content of available phosphate, available silicate, exchangeable K, Ca, Mg was lower than the optimal range for plant cultivation. The low-level sites of available phosphate tend to increase since 1999, first investigated. Especially, the optimal-level site of available silicate was only 5~ 9%, and low-level site of it was 63~80%.

Upland soil samples were taken from 170 sites in 2009. Chemical properties were pH 6.3, organic matter 20 g kg⁻¹, available phosphate 699 mg kg⁻¹ and exchangeable K, Ca, Mg were 1.19, 4.4, 0.8 Cmol_c kg⁻¹, respectively. The content of pH, organic matter was within the optimal range. The content of exchangeable Ca, Mg was lower than the optimal range. Available phosphate content was over the optimal range.

Orchard soil samples were taken from 80 sites in 2010. Chemical properties were pH 5.9, organic matter 25 g kg⁻¹, available phosphate 791 mg kg⁻¹ and exchangeable K, Ca,

Mg were 0.97, 4.9, 1.3 $\text{Cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, respectively. 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 sites was increased from 80% in 2002 to 90% in 2010.

Plastic film house soil samples were taken from 100 sites in 2012. Chemical properties were pH 6.2, organic matter 36 g kg^{-1} , available phosphate 1358 mg kg^{-1} and exchangeable K, Ca, Mg were 0.98, 12.2, 3.9 $\text{Cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, respectively. The content of organic matter tend to increase gradually. In that increased EC and exchangeable K, Ca, Mg, there was severe salination.

Heavy metal content investigated was much lower than soil contamination criteria.

Soil physical Properties

Soil physical properties of **orchard soils** were measured at 35 sites in 2010. The average physical properties of orchard soils were following as; Bulk densities of surface soil and subsoil were 1.33 and 1.44 Mg m^{-3} . Yamanaka hardnesses of surface soil and subsurface were 16.1 and 19.1, respectively. In addition, the average of surface soil depth was 13.5 cm.

Soil physical properties of **paddy soils** were measured at 30 sites in 2011 and 2012. The average physical properties of Paddy soils in 2011 were following as; Bulk densities of surface soil and subsoil were 1.35 and 1.38 Mg m^{-3} . Yamanaka hardnesses of surface soil and subsurface were 15.0 and 19.9, respectively. In addition, the average of surface soil depth was 14.0 cm. Bulk densities of surface soil and subsoil were 1.38 and 1.59 Mg m^{-3} . Yamanaka hardnesses of surface soil and subsurface were 13.1 and 18.1, respectively. In addition, the average of surface soil depth was 19.3 cm in 2012.

Soil Microorganism

Biomass C of **paddy soils** was 61.6 mg kg^{-1} and soil dehydrogenase activity was 265 $\text{ugTPF g}^{-1}24\text{h}^{-1}$. Bacterial dominant phylum rank was *Proteo-bacteria*, *Chloro-flexi*, *Actino-bacteria*. The shannon index for microbiel diversity was 6.7(5.6~7.4).

Biomass C of **plastic film house soils** was 207.4 mg kg^{-1} and soil dehydrogenase activity was 27.8 $\text{ugTPF g}^{-1}24\text{h}^{-1}$. Bacterial dominant phylum rank was *Proteo-bacteria*, *Actino-bacteria*. *Actino-bacteria*. The shannon index for microbiel diversity was 6.0(5.4~6.3).

Biomass C of **upland soils** was 128 mg kg^{-1} . The average populations were 9.1×10^6 cfu g^{-1} of aerobic bacteria, 17.8×10^4 cfu g^{-1} of fungi, *Bacillus* 2.7×10^6 cfu g^{-1} and *Pseudomonas* 2.6×10^4 cfu g^{-1} , respectively.

Biomass C of **orchard soils** was 315 mg kg^{-1} . The average populations were 4.7×10^6 cfu g^{-1} of aerobic bacteria, 12.2×10^4 cfu g^{-1} of fungi, *Bacillus* 2.2×10^5 cfu g^{-1} and

Pseudomonas 5.0×10^4 cfu g⁻¹, respectively.

Agricultural Water Quality

Surface water quality was estimated at 34 sites from 2009 to 2012. The average concentration of DO, BOD, CODMn, T-P, SS were 8.0, 1.5, 1.7, 0.05, 5.2 mg/L, respectively. pH was 7.4 in 2012. The sampling site ratio of pH, BOD, SS which was over the agricultural water criteria was 2.9, 1.0, 1.0%, respectively.

The sampling site ratio of exceeding the agricultural water criteria, from 2009 to 2012. pH was 4.6, 6.8, 2.9%, in 2009, 2010, 2012, respectively. SS was 2.0, 1.0%, in 2011, 2012, respectively. BOD was 1.0% in 2011, 2012. As for DO, there was no excess site from 2009 to 2012.

Ground water quality was estimated at 20 sites from 2009 to 2012. The average concentration of Cl⁻, NO₃-N were 14.1, 3.67 mg/L, respectively. pH was 6.7 and EC was 0.24 dS/m in 2012. Especially, the concentration of NO₃-N was much lower than the agricultural water quality criteria.

The sampling site ratio of exceeding the agricultural water criteria, from 2009 to 2012. pH was 4.9, 6.8, 2.9%, in 2009, 2010, 2012, respectively. SO₄²⁻ was 2.0, 5.0%, in 2011, 2012, respectively. Cl⁻ was 1.0% in 2010. As for the major water quality index NO₃-N, there was no excess site from 2009 to 2012.

Specific harmful substances such as Cd, As, Hg were not detected or much lower than agricultural water quality criteria.

1. 연구목표

최근에 환경보전에 대한 관심이 고조되면서 농업생산과 환경의 건전성과의 균형을 유지하는 것이 세계적으로 큰 관심사가 되었다. 과거에는 농경지의 화학성 변동을 모니터링 하는 목적이 토양의 비옥도를 증진하여 작물의 생산성을 높이는데 중점을 두었지만(Peters, 2000), 최근에는 양분의 과잉투입으로 농경지내 인산, 칼리 등 집적된 양분과 중금속 성분 등이 환경으로 유출될 수 있는 가능성을 평가하고 2차 오염을 방지하는 것이 중요하게 되었다(박, 1997; 김, 1996). 각 나라마다 작물생산에 필요한 화학비료, 중금속 등 외부자재의 투입으로 생긴 토양 내 물질의 함량을 지속적으로 모니터링하고 있고 이를 기초로 데이터베이스를 구축하는 시스템을 갖춰 자료를 축적하고 활용하는 체계를 갖추고 있다. 우리나라는 친환경농업 육성법이 1998년 공포됨에 따라 토양자원 및 농업환경 실태조사를 효율적으로 실시하기 위하여 국립농업과학원과 각도 농업기술원이 참여하여 농경지의 토양환경 변동을 정점지점을 중심으로 조사하기 시작하였다. 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 논-시설재배지-밭-과수원 토양의 화학성, 물리성, 미생물 분포, 농업용수 수질을 조사한 결과를 검토하였다.

2. 재료 및 방법

<제1세부과제 : 강원 일반농경지 토양화학성 및 물리성 변동조사>

(시험 1) 토양화학성 변동조사

가) 시료 채취 방법

농경지 토양의 화학성과 중금속 함량의 변동을 주기적으로 파악하기 위하여 밭토양 170정점(2009), 과수원토양 80정점(2010), 논토양 150정점(2011), 시설재배지토양 100정점(2012)을 논과 밭 토양은 표토(0~20cm), 과수원과 시설재배지 토양은 표토(0~20cm)와 심토(20~40cm)로 구분하여 채취·분석하였다.

나) 토양 분석 방법

토양의 일반 화학성 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법(2000)에 준하여 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 추출하여 pH Meter로 측정하였고, 유기물은 Tyurin법으로, 유효인산은 Lancaster법으로, 유효규산은 1M NaOAc(pH 4.0)의 가용규산으로, 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘 등의 양이온은 1M NaOAc로 추출하여 ICP로 분석하였다. 질산태 질소는 KCl로 추출하여 자동분석기를 이용하여 분석하였고, 전기전도도는 EC meter로 측정하였다. 중금속 분석은 시료 10g을 100 ml 삼각플라스크에 취하여 Cd, Cu, Pb, Zn, Ni, Cr은 0.1M HCl, As는 1M HCl을 각각 50ml를 가하고 30℃에서 90분간 진탕 후 No. 5B 여지로 여과 후 유도플라즈마 분광광도기(ICP-OES, GBC)로 측정하였다(환경부, 1999).

(시험 2) 토양 물리성 조사

가) 시료 채취 방법

농경지 토양의 물리성을 조사·분석하기 위하여 2010년에는 과수원토양 35지점, 2011년과 2012년에는 논토양 각각 30점을 채취·분석하였다.

나) 토양 분석 방법

토양 물리성 조사항목은 토성, 용적밀도, 삼상, 경도 등이다. 토성은 미농무성 비중계법으로 분석하였으며, 2 inch core를 이용하여 3반복으로 시료를 채취한 후 용적밀도와 삼상을 분석하였다(농업과학기술원, 2000). 경도는 Yamanaka 경도계를 이용하여 표토와 심토의 경도를 10반복으로 측정하였다. 또한 토양단면의 A층 깊이인 표토심을 측정하였다.

<제 2 세부과제 : 강원 일반농경지 미생물 분포 및 농업용수 수질조사>

(시험 1) 토양미생물 분포조사

가) 시료 채취 방법

토양미생물 분석 시료는 일반농경지 토양화학성 시료에서 선정하여 밭토양(2009), 과수원 토양(2010), 논토양(2011), 시설재배지토양(2012) 각각 25지점의 토양시료를 2mm 체로 선별하여 4℃ 저온실에 보존하며 분석하였다.

나) 토양미생물 분석 방법

2009년 밭토양과 2010년 과수원토양은 선택배지를 이용하여 평판도말법으로 호기성 세균, 그람음성균, 형광성 슈도모나스, 바실러스균, 사상균, 방선균, 대장균 등의 밀도를 분석하였고, 2011년 논토양과 2012년 시설재배지토양은 분자생물학적 방법으로 토양에서 DNA를 추출하여 Pyrosequencing법으로 미생물의 다양성, 종 풍부도, 문 수준의 미생물 분포를 측정하였고, 모든 시료에 대하여 미생물체 탄소량(Biomass C), 토양탈수소효소 (Soil dehydrogenase) 활성을 측정하였다(2009, 국립농업과학원 ; 2012, 국립농업과학원). Pyrosequencing기법에 의한 미생물 군집 분석 과정은 그림 1과 같다.

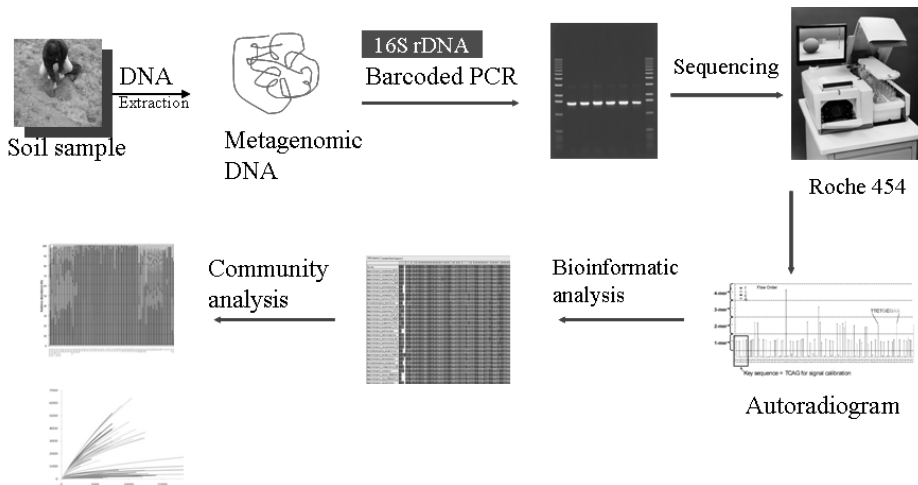


그림 1. Pyrosequencing 분석 과정

(시험 2) 농업용수 수질조사

가) 시료 채취 방법

농업용 하천수의 수질조사는 농업지대를 경유하는 하천 34지점을 대상으로 4월, 7월, 10월로 연 3회씩 실시하였다. 현장에서 pH, EC, DO 등 현장측정항목을 측정 후, 채수용기를 ICE BOX에 넣어 운반하여 분석을 실시하였다. 지하수 수질시료는 형농형태별로 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 방법

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 Indophenol법, 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.

3. 결과 및 고찰

<제1세부과제 : 일반농경지 토양화학성 및 물리성 변동조사>

(시험 1) 토양화학성 변동조사

가) 논토양의 화학성

우리도 논토양의 토양화학성 변동을 주기적으로 파악하기 위하여 2011년 조사한 토양화학성 평균 함량은 표 1과 같다.

표 1. 강원 논토양의 화학성 변화

조사년도 (시료수)	pH (1:5)	Av.SiO ₂ (mg kg ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. cation(Cmol ⁺ kg ⁻¹)		
					K	Ca	Mg
'99(247)	6.0	121	19	146	0.23	4.4	0.9
'03(150)	5.8	121	21	145	0.27	5.0	1.2
'07(150)	6.1	152	20	105	0.15	5.1	1.0
'11(150)	5.8	131	25	104	0.19	4.4	0.8
적정범위	5.5~6.5	157~180	25~35	350~500	0.7~0.8	5.0~7.0	1.5~2.5

우리도 논토양의 평균 화학성은(2011) pH 5.8, 유기물 25 g kg⁻¹, 유효규산 131 mg kg⁻¹, 유효인산 104 mg kg⁻¹이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 0.19, 4.4, 0.8 Cmol/kg⁻¹이었다. pH와 EC는 적정범위를 만족하였으나 유효인산, 유효규산, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 적정범위 미만이었다. 유기물의 경우 점차적으로 높아지는 경향이었고 치환성 양이온류는 큰 변화가 없었으며 유효인산은 낮아지는 경향이였다. 특히 유효규산은 2007년부터 종전 4년주기로 논토양 개량제로 공급하던 규산질비료를 3년 주기로 공급을 강화했음에도 오히려 감소했다. 2011년에 조사된 우리도 논토양의 토양화학성을 일정 수준으로 분포비율을 살펴 본 결과는 표 2와 같다.

표 2. 논토양의 화학성분 함량 수준별 분포비율

(단위 : %)

성분	함량분포비율						적정범위
pH (1:5)	≤ 4.5	4.6~5.0	5.1~5.5	5.6~6.0	6.1~6.5	6.5 <	6.0~6.5
	0.0	1.3	26.0	46.7	18.7	7.3	
OM (g kg ⁻¹)	≤ 10	11~20	21~30	31~40	41~50	50 <	25~35
	1.3	34.0	36.7	19.3	5.3	3.3	
P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	≤ 50	51~100	101~150	151~200	201~250	250 <	200~300
	28.7	32.0	17.3	10.7	5.3	6.0	
Ex. K (cmol ⁺ kg ⁻¹)	≤ 0.10	0.11~0.20	0.21~0.30	0.31~0.40	0.41~0.50	0.50 <	0.3~0.8
	18.7	45.3	23.3	6.0	4.0	2.7	
Ex. Ca (cmol ⁺ kg ⁻¹)	≤ 3.0	3.1~4.0	4.1~5.0	5.1~6.0	6.1~7.0	7.0 <	5.0~6.0
	4.0	20.0	30.0	21.3	12.0	12.7	
Ex. Mg (cmol ⁺ kg ⁻¹)	≤ 0.5	0.6~1.0	1.1~1.5	1.6~2.0	2.1~2.5	2.5 <	1.2~2.0
	37.3	43.3	8.7	5.3	2.7	2.7	
Av.SiO ₂ (mg kg ⁻¹)	≤ 50	51~100	101~150	151~200	201~250	250 <	157~180
	14.7	30.0	23.3	13.3	6.0	12.7	

유기물 함량 분포는 21~30g kg⁻¹ 범위가 36.7%로 가장 높았으며, 11~20g kg⁻¹이 34.0%, 31~40g kg⁻¹, 10g kg⁻¹ 이하는 1.3% 순으로 분포하였는데 적절한 유기물함량은 25~30g kg⁻¹(농업과학기술원, 2006)인 점을 보아 퇴비 및 볏짚, 우분, 돈분 등 농산부산물의 토양환원이 필요하다고 판단되었다. 유효인산의 함량별 분포율은 51~100 mg kg⁻¹ 범위가 32.0%로 가장 많았으며, 50 mg kg⁻¹ 이하가 28.7%, 101~150 mg kg⁻¹ 17.3%, 151~200 mg kg⁻¹ 10.7% 순으로 분포하였고, 적정범위인 200 mg kg⁻¹ 이상인 필지는 12% 정도에 불과하였다. 따라서 논토양에는 인산 함량이 높은 가축분퇴비의 시용이 요구되었다. 치환성 양이온류인 칼륨은 적정범위 0.3~0.8 mg kg⁻¹ 이하의 분포율이 87.3%, 칼슘은 54.0% 이었고, 마그네슘은 적정범위 1.2~2.0 mg kg⁻¹ 보다 낮은 0.6~1.0 mg kg⁻¹ 범위가 43.3%, 0.5 mg kg⁻¹ 이하가 37.3%로 조사되었다. 유효규산은 51~100 mg kg⁻¹ 범위가 30.3%로 가장 많이 분포하였고, 101~150 mg kg⁻¹ 수준이 23.3%, 50 mg kg⁻¹ 이하가 14.7%로 조사되었다. 또한 151~200 mg kg⁻¹ 이상은 32.0%로 벼 생육의 적정수준인 157~180 mg kg⁻¹ 이 되려면 적극적인 규산질비료의 시용이 요구되었다.

벼 생육 적정범위에 따른 논토양의 유효인산과 유효규산의 과부족을 변화를 살펴보면 그림 2와 같다. 유효인산의 경우 2011년 적정범위 보다 낮은 비율이 89%로 2003년 30%, 2007년 59% 대비 조사년도 마다 급격히 증가하였고, 적정 및 과다 범위도 1999년 조사시점부터 감소되는 것을 알 수 있었다. 유효규산은 2011년 부족 필지가 71%, 적정 5%, 과다 24%로 조사되었고, 2007년부터 종전 4년주기에서 3년주기로 논토양 개량제 규산질비료 공급을 확대하였음에도 불구하고 1999년 대비 큰 변화가 없었다. 따라서 정부공급 규산이 유기산에 의해 가용화 됨을 감안하여 볏짚 등 유기물 투입에 의한 가용성 규산의 효율을 증대시킬 필요가 있다고 판단된다.

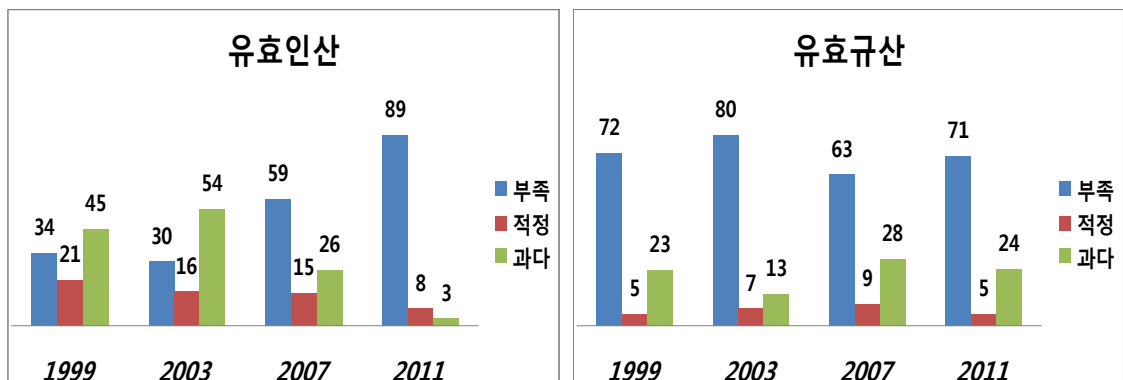


그림 2. 논토양의 화학성분 적정함량에 따른 연도별 과부족율 변화(%)

나) 발토양의 화학성

우리도 발토양의 토양화학성 변동을 주기적으로 파악하기 위하여 2009년 조사한 토양화학성 평균 함량은 표 3과 같다.

표 3. 강원 밭토양의 화학성 변화

조사년도 (시료수)	pH (1:5)	OM (g kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. cation(Cmol ⁺ kg ⁻¹)		
				K	Ca	Mg
'01(172)	5.9	20	688	0.8	5.4	1.5
'05(170)	6.0	20	728	0.6	4.6	0.4
'09(170)	6.3	20	699	0.6	4.4	1.1
적정범위	6.0~6.5	20~30	300~500	0.5~0.6	5.0~6.0	1.5~2.0

우리도 밭토양의 평균 화학성은(2009) pH 6.3, 유기물 20 g kg⁻¹, 유효인산 699 mg kg⁻¹이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 0.6, 4.4, 1.1 Cmol_ckg⁻¹ 이었다. pH와 유기물, 치환성 칼륨은 적정범위를 만족하였으나 치환성 칼슘 및 마그네슘은 적정범위 미만이었으며, 유효인산은 적정범위를 초과하였다. 유기물, 치환성 양이온류 및 유기물은 큰 변화가 없었으며 pH는 점차 개선되는 경향이었고, 유효인산은 적정범위 대비 높은 수준이었으나 연차별로 큰 변화는 없었다.

그림 3은 2009년에 조사된 우리도 밭토양 170지점의 토양화학성 적정수준 대비 분포비율의 과부족율을 살펴 본 결과이다. pH는 33%가 적정수준(6.0~6.5) 보다 낮은 산성 토양이었고, 6.5를 초과하는 필지도 48%로 조사되었다. 유기물의 경우 55%가 적정수준인 20~30 g kg⁻¹ 보다 낮았으며, 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 적정수준 보다 낮은 필지가 각각 53, 64, 75%로 조사되었다. 그리고 유효인산의 경우 적정수준 300~500 mg kg⁻¹ 보다 높은 필지가 64%로 이는 우리도 밭토양에 가축분퇴비 시용이 많음을 알 수 있었다.

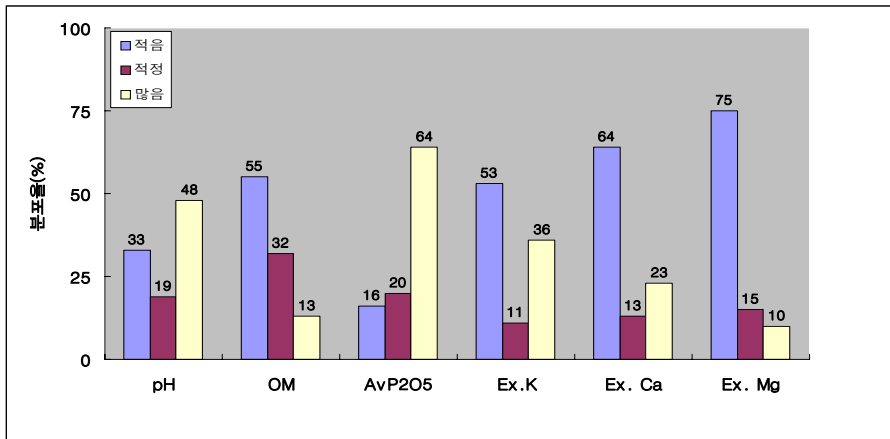


그림 3. 밭토양의 화학성분 적정함량에 따른 과부족율(단위 : %)

우리도 밭토양의 화학성분 중 유기물과 유효인산의 적정함량 대비 과부족율 변화를 그림 4에 나타내었다. 유기물의 부족 필지는 조사가 시작된 2001년 보다 다소 감소하였고, 적정지점은 다소 증가하는 경향이 있었으며, 과다지점에는 큰 변화가 없었다. 유효인산의 경우 2009년

과다 필지가 64%로 많은 수준으로 조사되었고, 적정 20, 부족 16% 수준이었다. 조사가 시작된 2001년 대비 과다 포장은 감소되었고, 적정수준 포장은 증가되는 경향이였다. 따라서 우리도 밭토양 양분관리를 위해서는 인산 함량이 많은 가축분퇴비 시용을 지양하고 유기물 시용을 증시하여야 할 것으로 사료된다.

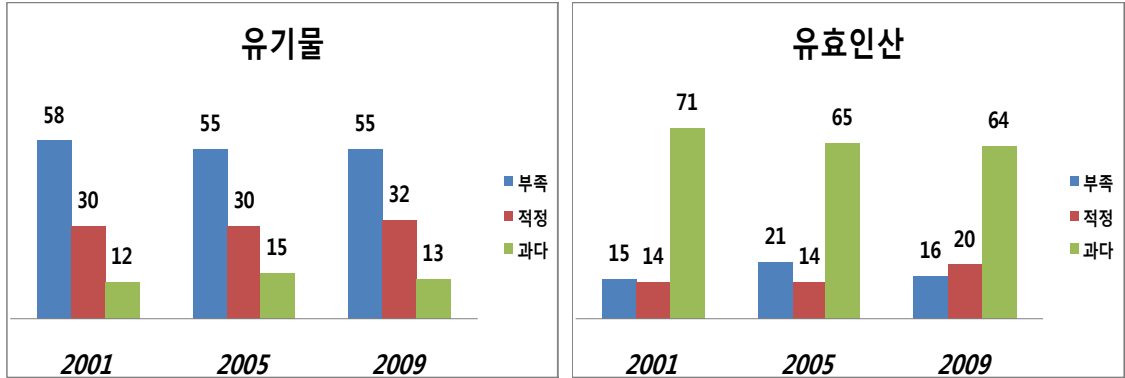


그림 4. 밭 토양의 화학성분 적정함량에 따른 과부족을 변화(%)

다) 과수원 토양의 화학성

우리도 과수원 토양의 토양화학성 변동을 주기적으로 파악하기 위하여 2010년 조사한 80 지점에 대한 토양화학성 평균 함량은 표 4와 같다.

표 4. 강원 과수원토양의 화학성 변화

조사년도 (시료수)	pH (1:5)	OM (g kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. cation(Cmol ⁺ kg ⁻¹)		
				K	Ca	Mg
'02(80)	5.9	22	734	0.95	4.5	1.3
'06(80)	5.9	24	896	0.92	4.6	1.2
'10(80)	5.9	28	791	0.97	4.9	1.3
적정범위	6.0~6.5	25~35	200~300	0.3~0.6	5.0~6.0	1.5~2.5

우리도 과수원 토양의 평균 화학성은(2010) pH 5.9, 유기물 25 g kg⁻¹, 유효인산 791 mg kg⁻¹이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 0.97, 4.9, 1.3 Cmol.kg⁻¹ 이었다. 유기물 함량은 적정범위를 만족하였으나 pH와 치환성 칼륨, 마그네슘은 적정범위 미만이었다. 그리고 유기물은 적정 수준이었으나 치환성 칼륨은 적정 수준을 초과하였다. 유기물의 경우 점차적으로 높아지는 경향이었고 치환성 양이온류와 pH는 큰 변화가 없었으며 유효인산은 적정범위보다 매우 높았는데 이는 과수원에 관행적으로 가축분퇴비를 과량 시용하는데 원인이 있는 것으로 사료된다. 따라서 우리도 과수원의 경우 저인산 함유 퇴비의 시용이 요구되었다.

2010년에 조사된 우리도 과수원 토양의 토양화학성을 일정 수준으로 분포비율을 살펴 본

결과는 표 5와 같다.

유기물 함량 분포는 11~20g kg⁻¹ 범위가 31%로 가장 높았으며, 21~30g kg⁻¹이 28%, 31~40g kg⁻¹ 13%, 10g kg⁻¹ 이하는 6% 순으로 분포하였다. 유효인산의 함량별 분포율은 600 mg kg⁻¹ 이상이 63%로 가장 많았으며, 301~400 mg kg⁻¹, 501~600 범위가 11%, 201~300 mg kg⁻¹ 7%, 401~500 mg kg⁻¹ 6% 순으로 분포하였고, 적정범위인 200~300 mg kg⁻¹ 이상인 필지는 7% 정도에 불과하였다. 따라서 과수원 토양에는 인산 함량이 높은 가축분퇴비의 시용을 지양해야 할 것으로 사료되었다. 치환성 양이온류인 칼슘은 적정범위 5.0~6.0 mg kg⁻¹ 이하의 분포율이 19%, 마그네슘은 1.2~2.0 mg kg⁻¹ 이하가 45%, 칼륨은 적정범위 0.3~0.6 mg kg⁻¹을 초과하는 초과하는 지점이 72%로 조사되었다.

우리도 과수원 토양의 화학성분 중 유기물과 유효인산의 적정함량 대비 과부족을 변화를 그림 5에 나타내었다. 유기물의 부족 필지는 조사가 시작된 2002년 보다 많이 감소하였고, 적정지점은 2006년과 유사하였고, 과다지점은 연차별로 증가하는 경향이였다. 따라서 과수원 마다 토양 영양 불균형이 심화됨을 알 수 있었다. 유효인산의 경우 2010년 과다 필지가 90%로 매우 높은 수준으로 조사되었고, 적정 필지는 6%에 불과하였고, 부족 4% 수준이었다. 조사가 시작된 2002년 대비 과다 포장은 증가되었고, 부족 포장은 감소되는 경향이였다. 따라서 우리도 과수원 토양에 인산이 집적되고 있고, 합리적인 양분관리를 위해서는 인산 함량이 많은 가축분퇴비 시용을 지양하고 토양검정을 실시하여 부족한 양분을 적절히 공급해야 할 것으로 사료된다.

표 5. 과수원 토양의 화학성분 함량 수준별 분포비율 (단위 : %)

성분	함량 분포 비율						적정범위
	≤ 4.5	4.5~5.0	5.1~5.5	5.6~6.0	6.1~6.5	6.5 <	
pH (1:5)	≤ 4.5	4.5~5.0	5.1~5.5	5.6~6.0	6.1~6.5	6.5 <	6.0~6.5
	5	10	9	26	25	25	
OM (g kg ⁻¹)	≤ 10	11~20	21~30	31~40	41~50	50 <	20~35
	6	31	28	13	11	11	
P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	≤ 200	201~300	301~400	401~500	501~600	600 <	200~300
	4	7	11	6	11	63	
Ex. K (cmol ⁺ kg ⁻¹)	≤ 0.30	0.31~0.40	0.41~0.50	0.51~0.60	0.61~0.70	0.70 <	0.3~0.6
	9	7	5	7	9	63	
Ex. Ca (cmol ⁺ kg ⁻¹)	≤ 3.0	3.1~4.0	4.1~5.0	5.1~6.0	6.1~7.0	7.0 <	5.0~6.0
	30	9	16	19	5	21	
Ex. Mg (cmol ⁺ kg ⁻¹)	≤ 0.5	0.6~1.0	1.1~1.5	1.6~2.0	2.1~2.5	2.5 <	1.2~2.0
	15	23	31	14	12	5	
EC (dS m ⁻¹)	≤ 0.3	0.4~0.6	0.7~0.9	1.0~1.2	1.3~1.5	1.5 <	< 2
	66	20	9	1	4	-	

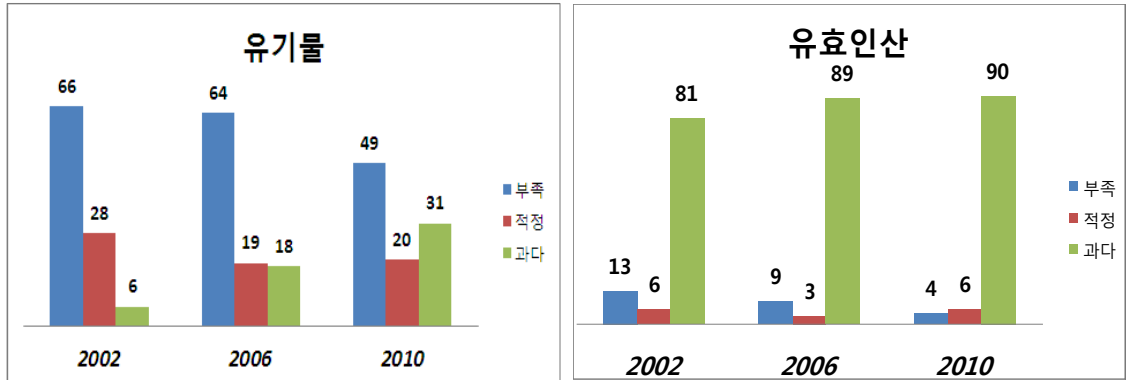


그림 5. 과수원 토양 화학성분 적정함량에 따른 연도별 과부족율 변화(%)

라) 시설재배지 토양의 화학성

우리도 시설재배지 토양의 토양화학성 변동을 주기적으로 파악하기 위하여 2012년 조사한 80지점에 대한 토양화학성 평균 함량은 표 6과 같다

표 6. 강원 시설재배지 토양의 화학성 변화

조사년도 (시료수)	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. cation(Cmol ⁺ kg ⁻¹)			
					K	Ca	Mg	Na
'00(88)	5.9	2.28	31	1307	1.70	11.2	3.5	0.54
'04(100)	6.4	2.71	33	1184	1.66	9.2	3.1	0.36
'08(100)	6.4	2.02	33	1179	1.42	8.1	2.5	0.38
'12(100)	6.2	2.86	36	1358	1.98	12.2	3.9	1.11
적정범위	6.0~7.0	<2.00	25~35	350~500	0.7~0.8	5.0~7.0	1.5~2.5	-

우리도 시설재배지 토양의 평균 화학성은(2012) pH 6.2, 유기물 36 g kg⁻¹, 유효인산 1358 mg kg⁻¹이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 0.98, 12.2, 3.9 Cmol.kg⁻¹ 이었다. pH와 유기물은 적정범위를 만족하였으나 EC, 유효인산, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 적정범위를 초과하였다. 유기물의 경우 점차적으로 높아지는 경향이었고 치환성 양이온류와 EC가 증가 되는 것으로 보아 염류 집적이 심화됨을 알 수 있었다. 이러한 결과들은 시설재배지 토양에서 작물재배시 작기마다 가축분퇴비와 화학비료를 토양검정에 의해 투입하지 않고 과다하게 사용하였기 때문으로 판단된다.

우리도 시설재배지 토양의 화학성분의 적정범위에 따른 많고 적음의 분포율을 2012년을 중심으로 살펴보면 표 7과 같다. 토양 pH의 경우 작물생육 적정수준(pH 6.0~7.0)에 속하는 포장의 비율은 58%였고 적정수준 보다 낮은 포장은 35, 높은 포장은 7%였다. 2000년 대비 pH가 낮은 포장은 점차로 증가되는 추세였다. 유기물 함량의 경우 적정수준(25~35g kg⁻¹)에 속하는 분포비율은 30%이며, 적정수준 보다 낮은 비율은 25%, 적정수준 보다 높은 비율은 45%의 분포로 유기물 과다 포장이 증가하는 추세였다. 유효인산의 경우는 적정수준

(350~500 mg kg⁻¹)에 속하는 비율은 6%이고 적정수준 보다 적은 비율은 3%, 적정수준 보다 높은 포장의 비율은 91%로 토양검정에 따른 인산질비료 적정시비가 요구된다. 치환성 양이온 칼륨, 칼슘, 마그네슘 등 양이온의 경우 시설재배지 적정수준은 각각 0.7~0.8, 5.0~7.0, 1.5~2.5 Cmol_c kg⁻¹ 인데 이 수준에 있는 분포비율은 각각 3, 11, 27%이며, 적정수준 보다 낮은 비율은 각각 22, 2, 8%, 적정수준 보다 높은 포장의 비율은 각각 75, 87, 65%로 대부분 적정함량 보다 높았으며 이들 양이온들 사이의 길항관계가 있기 때문에 토양검정에 의한 적정시비가 고려되어야 할 것으로 판단된다. 그리고 EC가 적정수준 이상이 포장이 48%로 염류집적이 시설토양에서 심각한 것이 확인되었다. 전반적으로 우리도 시설재배지 토양은 기술집약적 약탈농업에 의하여 영양 불균형이 심하고 영양 과잉 토양이 많고 따라서 토양검정 시비에 의한 과학적 시비관리가 절실히 요구된다. 그림 6은 우리도 시설재배지 토양의 유기물과 유효인산 함량의 과부족을 비율의 변화를 나타낸 것이다.

표 7. 시설재배지 토양의 화학성분 적정수준에 따른 과부족율(%)

연도	pH			EC		유기물			유효인산		
	부족	적정	과다	적정	과다	부족	적정	과다	부족	적정	과다
2000	18	48	4	66	34	34	30	36	2	5	93
2004	21	63	16	44	56	26	43	31	4	7	89
2008	32	19	49	66	34	21	28	51	8	5	87
2012	35	58	7	52	48	25	30	45	3	6	91
기준	<6.0	6.0~7.0	7.0<	2이하	2.0<	<25	25~35	35<	<350	350~500	500<

연도	치환성 K			치환성 Ca			치환성 Mg		
	부족	적정	과다	부족	적정	과다	부족	적정	과다
2000	10	13	77	6	20	74	19	23	58
2004	16	4	80	14	23	63	18	32	50
2008	15	5	80	22	7	71	35	13	52
2012	22	3	75	2	11	87	8	27	65
기준	<0.7	0.7~0.8	0.8<	<5.0	5.0~7.0	7.0<	<1.5	1.5~2.5	2.5<

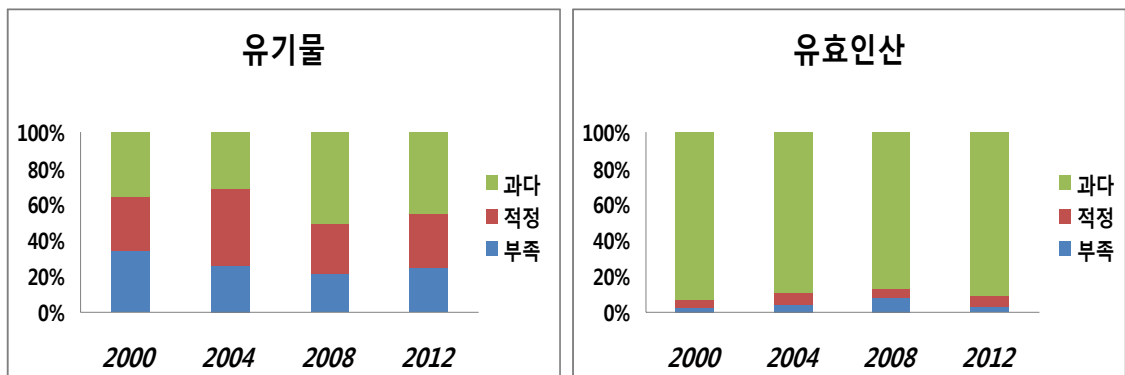


그림 6. 시설재배지 토양의 화학성분 적정함량에 따른 연도별 과부족율 변화(%)

마) 토양 중금속 함량

우리나라에서는 대기, 수질, 토양 등 환경오염 문제가 1970년대부터 사회적인 문제로 제기되면서 농산물 안전성에 관련이 깊은 농경지 토양의 중금속 오염에 대해서 관심을 갖기 시작하였다(김, 1996; 농촌진흥청, 1999). 농경지 토양의 오염수준 평가는 경작형태별로 주산단지 중심으로 실시되었고, 농산물에 대한 중금속 함량도 재배토양과 연계하여 오염도를 평가하여 왔다(유 등, 1988. 농촌진흥청, 1999). 우리나라에서 토양의 중금속 규제기준은 토양환경보전법(환경부, 2008)에서 0.1N-HCl 침출량(Cd, Cu, Pb), 1N-HCl 침출성함량(As), 그리고 전함량(Ni, Zn) 등으로 규정하고 있으나 선진 외국에서는 총함량을 기준으로 하는 추세이다. 선진국의 경우 일반농경지를 대상으로 오염원이 유입되지 않은 토양을 중심으로 중금속 함량을 조사 보고하였고(Holmgren 등, 1993 : Ma 등, 1997) 오염원이 유입된 농경지는 장기적인 조사와 함께 장기적으로 중금속의 분포형태, 가용화 등을 고려하여 작물과의 관계를 구명하는 연구가 보고되고 있다(정, 1995 : Smith 등, 1996 : Vulava 등, 1997). 표 8은 2009년부터 2012년 까지 조사된 우리도 농경지 논, 밭, 과수원, 시설재배지 토양의 중금속 평균 함량을 정리한 결과 이다. 농경지의 중금속 함량은 토양환경보전법의 토양오염우려기준에 미달하는 매우 낮은 수준이었다.

표 8. 농경지 토양의 중금 속함량 (단위 : mg/kg)

구 분	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	As
논토양	0.20	0.39	14.6	19.1	20.8	62.0	3.4
밭토양	0.04	0.17	1.3	15.1	1.11	81.9	0.2
과수원토양	0.34	0.07	32.4	21.5	25.1	98.0	4.4
시설토양	0.28	0.37	24.9	23.0	21.0	87.3	3.0
우려기준**	4	5	150	100	200	300	25

※ 우려기준** : 토양환경보전법 토양오염우려기준

(시험 2) 토양물리성조사

우리나라의 토양물리적 특성 조사는 1984년 최초로 전국 단위의 정밀토양조사가 실시되었는데 조사 결과 점토 함량 20%, 유기물 2.03%, CEC 10.3 cmol+ kg- 이었으며 분포면적 가중평균치는 점토 함량 18%, 유기물 1.85%, CEC 8.6 cmol+ kg- 이었다(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 것 이었다.

여기에서는 우리도 농경지 토양의 물리적 특성을 파악하기 위하여 2010년 과수원 포장 35 지점, 2011년과 2012년은 지점을 달리하여 논포장 각각 30점을 조사하였다.

가) 과수원 토양 물리성

우리도 과수원 토양의 물리성을 조사하기 위하여 토양화학성 분석지점에서 토양통, 지형 등 토양특성을 고려하여 선정한 35지점의 표토와 심토의 물리성을 표 9에 나타내었다.

표 9. 강원 과수원토양 물리성 현황(2010)

구분	A층 (cm)	용적밀도 (Mg m ⁻³)	삼상(%)			산중식 경도 (mm)
			고상	액상	기상	
표토	13.5	1.33	50.1	30.6	19.3	16.1
심토		1.44	54.3	29.2	16.5	19.1

우리도 과수원토양의 표토심인 A층 깊이는 평균 13.5cm였고, 용적밀도는 표토 1.33 Mg m⁻³, 심토 1.44 Mg m⁻³이었고, 토양 삼상은 표토는 고상, 액상, 기상이 각각 50.1, 30.6, 19.3%이었고, 심토의 경우는 고상, 액상, 기상의 비율이 각각 54.3, 29.2, 16.5%, 경도는 표토, 심토 각각 16.1, 19.1 mm로 조사되었다.

나) 논 토양 물리성

우리도 논토양을 2011, 2012년 토양특성을 고려하여 선정된 각각 조사지점 30지점에 대한 표토와 심토의 물리성은 표 10과 같다.

표 10. 강원 논토양 물리성 현황 (2011, 2012)

연도	조사 지점	구분	A층 (cm)	용적밀도 (Mg m ⁻³)	공극률 (%)	삼상(%)			산중식 경도 (mm)
						고상	액상	기상	
'11	30	표토	14.0	1.35	49.0	51.0	37.4	10.5	15.0
		심토		1.57		40.7	59.3	31.8	8.9
'12	30	표토	19.3	1.38	48.0	52.0	25.2	22.8	13.1
		심토		1.59		39.9	60.1	32.1	7.7

2011년에는 우리도 논토양의 표토심인 A층 깊이는 평균 14.0cm였고, 용적밀도는 표토 1.35 Mg m⁻³, 심토 1.57 Mg m⁻³이었고, 토양 삼상은 표토는 고상, 액상, 기상이 각각 51.0, 37.4, 10.5%이었고, 심토의 경우는 고상, 액상, 기상의 비율이 각각 59.3, 31.8, 8.9%, 경도는 표토, 심토 각각 15.0, 19. mm로 조사되었다. 2012년도 조사에서는 표토심인 A층 깊이는 평균 19.3cm였고, 용적밀도는 표토 1.38 Mg m⁻³, 심토 1.59 Mg m⁻³이었고, 토양 삼상은 표토는 고상, 액상, 기상이 각각 52.0, 25.2, 22.8%이었고, 심토의 경우는 고상, 액상, 기상의 비율이 각각 60.1, 32.1, 18.1%, 경도는 표토, 심토 각각 13.1, 18.1 mm이었다. 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, 우리도 논토양의 물리성은 대체로 양호한 것으로 사료된다.

<제2세부과제 : 강원 일반농경지 미생물 분포 및 농업용수 수질조사>

(시험1) 강원 일반농경지 미생물 분포조사

토양미생물은 물리, 화학적 분석 등을 통해 알 수 있는 토양 건전성 평가 지표를 제공한다. 예로서 미생물의 밀도와 활성은 토양건정성 변화에 대한 우수한 지표로 활용될 수 있다 (Kennedy 등; Pankhurst 등, 1995). 본 연구에서는 우리도 농경지 토양의 지표성 미생물의 다양성과 토양 미생물학적 기준자료를 제시하고 그 변동을 제시하고자 하였다.

가) 밭 토양의 미생물상

강원지역 밭토양 25지점에 대한 일반 미생물상인 세균, 사상균과 유기물 분해와 관계가 깊은 *Bacillus*, 작물생육촉진 미생물로서 감수성 세균인 *Pseudomonas*와 미생물총량으로 양분 Pool로서 기능이 해석되는 Biomacc C를 측정하였다.

밭토양 미생물은 표 11과 같이 종류별로 호기성 세균 9.1×10^6 cfu g^{-1} , 사상균 17.8×10^4 cfu g^{-1} 로 세균의 밀도가 높았으며, *Bacillus* 2.7×10^6 cfu g^{-1} , *Pseudomonas* 2.6×10^4 cfu g^{-1} 로 조사되었고, 미생물체량은 평균 128 mg kg^{-1} 수준이었다.

나) 과수원 토양의 미생물상

2010년 과수원 토양 25지점에 대한 일반 미생물상인 세균, 사상균과 유기물 분해와 관계가 깊은 *Bacillus*, 작물생육촉진 미생물로서 감수성 세균인 *Pseudomonas*와 미생물총량으로 양분 Pool로서 기능이 해석되는 Biomacc C를 측정한 결과는 표 12와 같다

과수원 토양 미생물은 종류별로 호기성 세균 4.7×10^6 cfu g^{-1} , 사상균 12.2×10^4 cfu g^{-1} 로 세균의 밀도가 높았으며, *Bacillus* 2.2×10^5 cfu g^{-1} , *Pseudomonas* 5.0×10^4 cfu g^{-1} 로 조사되었고, 미생물체량은 평균 315 mg kg^{-1} 수준이었다. 미생물의 총량을 의미하는 미생물체량은 토양 중의 미생물 밀도와 밀접한 관계가 있으나 선택배지에 의해 계수 가능한 미생물 수는 종류에 따라 다르고 특히 세균의 경우는 1% 이하로 적용에 어려움이 있으나 미생물의 균수와 미생물체량과의 정의 상관관계를 확인한 보고가 있다(2009 국립농업과학원).

표 11. 강원지역 밭토양의 미생물상 및 미생물체량

연도	시료수	미생물 수(cfu g^{-1})				미생물체량 (mg kg^{-1})
		호기성 세균 ($\times 10^6$)	사상균 ($\times 10^4$)	바실러스 ($\times 10^6$)	형광성 슈도모나스 ($\times 10^4$)	
2010	25	9.1	17.8	2.7	2.6	128

표 12. 강원지역 과수원토양의 미생물상 및 미생물체량

연도	시료수	미생물 수(cfu g^{-1})				미생물체량 (mg kg^{-1})
		호기성 세균 ($\times 10^6$)	사상균 ($\times 10^4$)	바실러스 ($\times 10^5$)	형광성 슈도모나스 ($\times 10^4$)	
2010	25	4.7	12.2	2.2	5.0	315

다) 논 토양의 미생물 분포조사

토양은 중 다양성과 군집의 크기면에서 매우 복잡한 미생물 환경이다. 토양미생물 군집은 토양 대부분의 양분 순환에 관여하고, 식물의 다양성과 생산성에 영향을 미치기 때문에 농업 관리 시스템 중 가장 중요한 요인 중의 하나이다. 따라서 토양미생물의 다양성을 파악하기 위하여 많은 노력에도 불구하고 아직 미지의 영역으로 남아있는 실정이다. 토양미생물의 생육특성, 기능 등을 파악하기 위해서는 토양에서 순수분리 및 배양이 가능해야 하지만 현재 토양환경에서 배양 가능한 미생물은 1% 정도인 것으로 알려지고 있다(Amann et al. 1995). 따라서 2011년 부터는 기존의 선택배지에 배양된 미생물 상 조사를 중단하고 최신의 분자 유전학적 기법인 Pyrosequencing을 이용한 미생물 다양성 분석으로 전환하여 실시하였다(2012. 국립농업과학원).

표 13은 Pyrosequencing 기법을 이용한 우리도 논토양의 문 수준의 세균 분포를 나타내었다. 우리도 논토양의 세균은 *Proteo-bacteria*문이 평균 35.8%(27.0~44.3%)로 가장 많이 분포하였고, *Chloro-flexi* 16.7%, *Actino-bacteria* 12.1%, *Acido-bacteria* 10.2% 순으로 조사되었다. 우리도 논토양에 존재하는 미생물 종들의 풍부도와 미생물의 종류의 다양성은 표 14와 같다. 종 풍부도 추정치 chao값은 평균 3,943이었고, 논토양에 존재하는 미생물의 다양성 값인 shannon 지수는 6.7로 같은 시기에 조사된 전국 논토양 평균 보다 다소 높았다.

표 13. 강원지역 논토양의 세균 우점 문(phylum)의 상대 풍부도(%)

구 분	<i>Proteo-bacteria</i>	<i>Chloro-flexi</i>	<i>Actino-bacteria</i>	<i>Acido-bacteria</i>
평 균	35.8	16.7	12.1	10.2
최소값	27.0	7.3	5.4	5.3
최대값	44.3	30.0	19.6	16.7

표 14. 강원지역 논토양의 종 풍부도 추정치 및 다양성 지수

구 분	분석 염기 서열수	coverage	종 풍부도 추정치		다양성 지수	
			chao	ace	shannon	simpson
평 균	4,901	0.75	3,943	5,860	6.7	2.5
최소값	1,694	0.55	1,889	2,543	5.6	1.5
최대값	10,363	0.90	7,135	12,396	7.4	3.1

미생물의 총량을 의미하는 미생물체량(Biomass C)은 토양비옥도 지표로, 토양 탈수소효소(Soil dehydrogenase) 활성은 토양 건전성 지표인데, 우리도 논토양을 조사한 결과는 표 13에 나타내었다. 우리도 논토양의 미생물체량은 14.3~224.9 mg kg⁻¹의 분포로 평균 61.6mg kg⁻¹이었고, 토양 탈수소효소 활성은 평균 265.1 ugTPF g⁻¹24h⁻¹로 조사되었다.

표 15. 강원지역 논토양의 미생물체량 및 탈수소효소활성

미생물체량 (mg kg ⁻¹)			탈수소효소활성(ugTPF g ⁻¹ 24h ⁻¹)		
평균	최소값	최대값	평균	최소값	최대값
61.6	14.3	224.9	265.1	64.0	763.0

라) 시설재배지 토양의 미생물 분포조사

2012년 우리도 시설재배지 토양의 미생물 분포 및 다양성을 Pyrosequencing 기법을 이용하여 조사한 문 수준의 세균 분포를 표 16에 나타내었다. 우리도 시설재배지 토양의 세균은 *Proteo-bacteria*문이 평균 37.1%(29.8~49.7%)로 가장 많이 분포하였고, *Actino-bacteria* 16.6%, *Acido-bacteria* 7.1%, *Firmicutes* 6.6% 순으로 조사되었다. 우리도 시설재배지토양에 존재하는 미생물 종들의 풍부도와 미생물의 종류의 다양성은 표 15와 같다. 종 풍부도 추정치 chao값은 평균 1,838이었고, 시설재배지 토양에 존재하는 미생물의 다양성 값인 shannon 지수는 6.7로 같은 시기에 조사된 전국 시설재배지 토양 평균 보다 다소 낮았다.

표 16. 강원지역 시설재배지 토양의 세균 우점 문(phylum)의 상대 풍부도(%)

구 분	<i>Proteo-bacteria</i>	<i>Actino-bacteria</i>	<i>Acido-bacteria</i>	<i>Firmicutes</i>
평 균	37.1	16.6	7.1	6.6
최소값	29.8	7.8	2.4	1.1
최대값	49.7	25.0	16.9	12.6

표 17. 강원지역 시설재배지 토양의 종 풍부도 추정치 및 다양성 지수

구 분	coverage	종 풍부도 추정치		다양성 지수
		chao	ace	shannon
평 균	0.56	1,838	3,359	6.7
최소값	0.46	1,083	1,923	5.6
최대값	0.70	2,503	5,016	7.4

우리도 시설재배지 토양의 미생물체량(Biomass C)과 탈수소효소(Soil dehydrogenase) 활성을 조사한 결과는 표 18과 같다. 시설재배지 토양의 미생물체량은 15.8~486.7 mg kg⁻¹의 분포로 평균 207.4mg kg⁻¹이었고, 토양 탈수소효소 활성은 평균 27.8 ugTPF g⁻¹24h⁻¹로 조사되었다.

표 18. 강원지역 시설재배지 토양의 미생물체량 및 탈수소효소활성

미생물체량 (mg kg ⁻¹)			탈수소효소활성(ugTPF g ⁻¹ 24h ⁻¹)		
평균	최소값	최대값	평균	최소값	최대값
207.4	15.8	486.7	27.8	2.0	164.5

(시험 2) 농업용수 수질조사

우리나라의 농업용수 수질에 대한 연구는 1990년대에 농촌지역의 도시화로 수질이 악화되면서 시작되었다. 김(1991)이 농업환경보전대책에 관한 발표를 시작으로, 이(1995)는 지속적 농업과 환경 보전을 위한 농업용수 보전방안을 제시하였고, 김(1996)은 농업용수 및 농경지를 중심으로 한 환경오염의 실태와 대책을 논의하였다. 또한 학계에서는 서울대 박 등(1996), 강원대 정 등(1997), 대구대 정 등(1997), 전북대 한 등(1997)의 농업용수 수질의 연구가 발표되었다. 본 연구는 친환경농업육성법(1999년)에 근거하여 우리도 농업용 하천수 및 지하수를 4년간 조사한 결과이다.

가) 농업지대 농업용 하천수의 수질

농업용수의 건전성 확보는 농작물의 안전성 확보와도 직결되고 또한 최근 친환경농산물의 인증을 위해서도 농업용수 수질의 적합성이 필수적 요소이며, 작물생육에도 필요한 요소라 하겠다. 농업용 하천수는 우리도 18시군 주요 농업지대를 경유하는 소하천 34지점에서 연 3회 주기적으로 시료를 채취하여 분석하였고 2012년 하천수 수질을 조사한 결과는 표 19와 같다. 우리도 농업용 소하천의 평균 pH는 7.4로 약알카리성을 나타내고 있었는데, 일반적으로 용수의 pH는 쌀 수확량에 영향을 주는 것으로 알려지고 있으며 pH의 최대허용농도는 용량반응평가에 의해 6.0~8.5로 산출하였다(농림부, 2004). DO(용전산소)는 8mg/L 수준으로 농업용수 수질기준인 2.0 mg/L를 만족하였고, BOD(생화학적 산소요구량)는 1.5 mg/L 수준으로 농업용수 수질기준 8.0 mg/L에는 미치지 않는 수준이었고, COD_{Mn}은 1.7mg/L, SS는 5.2 mg/L로 각각 농업용수 수질기준 9.0mg/L, 100 mg/L에 적합하였다. 시료 채취 분석 시기별로 큰 차이는 없었다.

표 20은 2012년도에 조사한 농업용 하천수(34지점, 3회) 수질을 주요 조사항목별 농업용수 수질 기준 초과율로 나타내었다. DO, COD_{Mn}, T-P는 100% 농업용수 수질기준을 만족하였고, pH, BOD, SS는 기준 초과지점이 각각 2.9%, 1.0%, 1.0% 이었다. 특히 pH의 경우 영월 등 석회암 지대를 경유하는 하천에서 여름철에 기준을 초과하는 것으로 나타났다.

표 19. 농업지대내 소하천의 시기별 수질 현황(2012) (단위 : mg/L)

시기	pH	EC (dS/m)	DO	BOD	COD _{Mn}	NH ₄ -N	T-N	T-P	SS	Ca	K	Mg	Na
4월	7.2	0.135	8.44	2.44	2.18	0.094	3.488	0.055	4.44	16.03	2.28	3.17	6.62
7월	7.4	0.192	7.48	0.94	1.49	0.218	2.595	0.821	4.41	16.72	1.26	3.53	5.19
10월	7.7	0.171	8.05	1.16	1.55	0.433	3.682	0.06	6.62	17.60	1.71	3.50	6.49
평균	7.4	0.17	7.99	1.51	1.74	0.25	3.25	0.31	5.16	16.78	1.75	3.40	6.10

표 20. 농업용 하천수 수질기준 초과율(2012) (단위 : %)

구분	pH	DO	BOD	COD _{Mn}	T-P	SS
소하천	2.9	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0
기준	6.0-8.5	2.0 ≤	≤ 8.0	≤ 9.0	≤ 0.3	≤ 100

표 21은 2009~2012년까지 최근 4년 간 우리도 농업용 하천수의 수질 현황을 정리하여 나타내었다. pH는 평균 7.3~7.6의 분포를 보였고, BOD는 1.11~2.67 mg/L, COD_{Mn}은 1.74~2.27 mg/L, SS는 2.52~6.77 mg/L의 분포로 환경농업정책법의 농업용수 수질기준에 적합하였고 수질의 일반 지표인 pH, DO, T-P, SS 등은 큰 변동이 없었다. 특히 하천수의 중요한 지표인 BOD의 경우 농업용 소하천의 수질은 2급수(BOD 1~3) 수준이 유지되고 있음을 알 수 있었다.

최근 4년 간(2009~2012) 조사된 농업용 하천수에 대한 주요지표의 농업용수 수질기준 초과율을 표 22에 정리하였다. pH는 2009, 2010, 2012년에 각각 4.9, 6.8, 2.9%가 초과되었고, BOD는 2010~2012년에 1.0%, SS는 2011, 2012년에 각각 2.0, 1.0%가 초과되었으며, DO는 조사기간 동안 초과하는 지점이 없었다.

표 21. 연도별 하천수 수질변동 현황 ('09~'12) (단위 : mg/L)

연도	조사점수	pH	DO	BOD	COD _{Mn}	NH ₃ -N	T-P	SS
2009	34	7.6	7.02	1.11	1.96	0.106	0.049	2.52
2010	34	7.5	8.78	2.67	2.27	0.595	0.042	3.32
2011	34	7.3	8.48	1.92	2.43	0.748	0.050	6.77
2012	34	7.4	7.99	1.51	1.74	0.248	-	5.16
수질기준*		6.0~8.5	2이상	8	9	-	0.3	100
농작물 피해기준		5.0~8.5	-	-	50(COD _{cr})	-	-	-

* 수질기준: 농업용수 수질기준(환경정책기본법, 생활환경기준 IV등급)

표 22. 농업용 하천수 농업용수 수질기준 초과율(2009~2012) (단위 : %)

항목	2009	2010	2011	2012
pH	4.9	6.8	0.0	2.9
DO	0.0	0.0	0.0	0.0
BOD	0.0	1.0	1.0	1.0
SS	0.0	0.0	2.0	1.0

나) 농업용 지하수의 수질

영농형태별로 논, 밭, 시설재배에 사용되는 지하수 각각 5, 5, 10지점 등 총 20지점을 2012년 2회(4월, 7월) 채취, 분석한 결과는 표 23과 같다.

표 23. 영농형태별 농업용 지하수 수질 현황(2012) (단위 : mg L⁻¹)

영농형태	pH	EC (dS/m)	NO ₃ -N	Cl ⁻	Ca	K	Mg	Na
논	6.3	0.192	3.627	15.91	20.15	1.04	3.46	11.03
밭	6.8	0.303	4.269	12.87	34.68	1.10	7.09	7.00
시설재배	6.9	0.233	3.125	13.40	30.68	2.10	5.40	9.98
평균	6.7	0.24	3.67	14.1	28.50	1.41	5.32	9.34

우리도 농업용 지하수의 평균 pH는 6.7 로 약산성이었고, EC는 0.24 dS/m, Cl⁻은 14.1 mg/L이었으며, 지하수 수질의 가장 중요한 지표인 질산성질소(NO₃-N)는 3.67 mg/L로 지하수 중의 질산성질소 기준인 20mg/L에는 크게 미치지 않는 것으로 조사되었고, 음용수 수질기준인 20mg/L에도 미치지 않는 수준으로 나타났다. 그리고 지하수의 질산성질소의 농도는 밭>논>시설재배지 순으로 조사되었다.

표 24는 2012년도에 조사한 농업용 지하수(20지점, 2회) 수질을 주요 조사항목별 지하수 수질 기준 초과율로 나타내었다. 염소이온(Cl⁻)과 질산성 질소(NO₃-N)는 농업용수 수질기준에 적합하였으나, pH는 2.5%가 지하수 수질기준을 초과하였으나, 특정 유해물질인 카드뮴, 비소, 수은 등은 모두 수질기준 미만이거나 검출되지 않았다.

표 24. 농업용 지하수 수질기준 초과율(2012) (단위 : %)

영농형태	pH	NO ₃ -N	Cl ⁻	Cd	As	Hg
논	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
밭	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
시설재배	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
계	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
기준	6.0-8.5	≤ 20	≤ 250	≤ 0.01	≤ 0.05	ND

표 25는 2009~2012년까지 최근 4년 간 우리도 농업용 지하수의 수질 현황을 정리하여 나타내었다. pH는 평균 6.6~6.8의 분포를 보였고, 질산성질소(NO₃-N)은 2.55~5.85 mg/L, EC는 0.22~0.26 mg/L, 염소이온(Cl⁻)은 9.46~14.96 mg/L, 황산이온(SO₄²⁻)은 4.27~15.51 mg/L의 분포를 보였다. 황산이온이 연차적으로 증가하는 경향이였으나 그 농도는 미비하였고, 나머지는 연차별 변동이 거의 없었으며, 지하수 수질기준을 만족하였다.

표 25. 연도별 지하수 수질변동 현황('09~'12) (단위 : mg/L)

연도	조사점수	pH	EC (dS/m)	NO ₃ -N	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
2009	20	6.8	0.22	2.552	14.92	4.27
2010	20	6.6	0.23	3.497	9.46	-
2011	20	6.6	0.26	5.828	14.96	12.80
2012	20	6.7	0.24	3.674	13.90	15.51
수질기준*		6.0~8.5	-	20	250	-
농작물 피해기준		5.0~8.5	-			-

※ 수질기준 : 농업용수 수질기준(환경정책기본법, 생활환경기준 IV등급)

최근 4년 간(2009~2012) 조사된 농업용 지하수 전수에 대한 주요지표의 농업용수 수질기준 초과율을 표 26에 정리하였다. pH는 2009, 2010, 2012년에 각각 4.9, 6.8, 2.9%가 초과되

었고, 염소이온(Cl⁻)은 2011년에 1.0%, 황산이온(SO₄²⁻)은 2010년에는 조사되지 않았으며, 2011, 2012년에 각각 2.5, 5.0%가 초과되었으며, 지하수 오염의 가장 중요한 지표인 질산성 질소(NO₃-N)는 조사기간 동안 초과하는 지점이 없었다.

표 26. 최근 5년간 지하수 농업용수 수질기준 초과율(2009~2012) (단위 : %)

항 목	2009	2010	2011	2012
pH	4.9	6.8	0.0	2.9
NO ₃ -N	0.0	0.0	0.0	0.0
Cl ⁻	0.0	0.0	1.0	0.0
SO ₄ ²⁻	0.0	-	2.5	5.0

4. 적 요

<제1세부과제 : 강원 일반농경지 토양화학성 및 물리성 변동조사>

(시험 1) 토양화학성 변동조사

- 가. 논토양의 평균 화학성은(2011) pH 5.8, 유기물 25 g kg⁻¹, 유효규산 131 mg kg⁻¹, 유효인산 104 mg kg⁻¹이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 0.19, 4.4, 0.8 cmol_ckg⁻¹이었다.
- 나. 유효규산, 유효인산, 치환성 양이온인 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 적정 수준보다 낮았다. 조사가 시작된 1999년 이래로 유효인산의 부족 포장은 연차적으로 증가하는 경향이었고, 유효규산의 적정 포장은 5~9%, 부족 포장은 63~80%로 양분 불균형이 심각하였다. 토양의 중금속 함량은 토양오염우려기준 미만으로 낮은 수준이었다.
- 다. 밭토양의 평균 화학성은(2009) pH 6.3, 유기물 20 g kg⁻¹, 유효인산 699 mg kg⁻¹이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 0.6, 4.4, 1.1 Cmol_ckg⁻¹이었다. pH와 유기물, 치환성 칼륨은 적정범위를 만족하였으나 치환성 칼슘 및 마그네슘은 적정범위 미만 이었고, 유효인산은 적정범위를 초과하였다. 유기물, 치환성 양이온류 및 유기물은 큰 변화가 없었으며 pH는 점차 개선되는 경향이었고, 유효인산은 적정범위 대비 높은 수준 이었으나 연차별로 큰 변화는 없었다.
- 라. 과수원 토양의 평균 화학성은(2010) pH 5.9, 유기물 25 g kg⁻¹, 유효인산 791 mg kg⁻¹이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 0.97, 4.9, 1.3 Cmol_ckg⁻¹이었다. 유기물 함량은 적정범위를 만족하였으나 pH와 치환성 칼슘, 마그네슘은 적정범위 미만이었다. 유기물의 경우 점차적으로 높아지는 경향이었고 치환성 양이온류와 pH는 큰 변화가 없었 으며 유효인산은 적정범위 보다 높은 포장이 80%(2000년)~90%(2008년)으로 증가 되었다. 토양의 중금속 함량은 토양오염우려기준 미만으로 낮은 수준이었다
- 마. 시설재배지 토양의 평균 화학성은(2012) pH 6.2, 유기물 36 g kg⁻¹, 유효인산 1358 mg kg⁻¹이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 0.98, 12.2, 3.9 Cmol_ckg⁻¹이었다. 유 기물의 경우 점차적으로 높아지는 경향이었고 치환성 양이온류와 EC가증가되는 것으로

보아 염류 집적이 심화됨을 알 수 있었다. 토양의 중금속 함량은 토양오염우려기준 미만으로 낮은 수준이었다.

(시험 2) 토양물리성 조사

- 가. 과수원토양의 표토심인 A층 깊이는 평균 13.5cm였고, 용적밀도는 표토 1.33 Mg m⁻³, 심토 1.44 Mg m⁻³, 경도는 표토 16.1 mm, 심토 19.1 mm이었다.
- 나. 논토양(2011)의 표토심인 A층 깊이는 평균 14.0cm였고, 용적밀도는 표토 1.35 Mg m⁻³, 심토 1.57 Mg m⁻³, 경도는 표토 15.0 mm, 심토 19.9 mm 이었다.
- 다. 2012년 조사된 논토양은 표토심인 A층 깊이는 평균 19.3cm였고, 용적밀도는 표토 1.38 Mg m⁻³, 심토 1.59 Mg m⁻³이었고, 경도는 표토 13.1 mm, 심토 18.1 mm로 조사되었다.

<제2세부과제 : 강원 일반농경지 미생물 분포 및 농업용수 수질조사>

(시험 1) 토양미생물 분포조사

- 가. 논토양의 미생물체량 탄소는 61.6 mg kg⁻¹, 탈수소효소활성 265.1 ugTPF g⁻¹24h⁻¹, 세균 우점 문(phylum)은 *Proteo-bacteria*, *Chloro-flexi*, *Actino-bacteria* 순 이었고, 미생물 종 풍부도 추정치와 다양성지수는 전국 평균 대비 다소 높았다.
- 나. 시설재배지 토양의 미생물체량 탄소는 207.4 mg kg⁻¹, 탈수소효소활성 27.8 ugTPF g⁻¹24h⁻¹, 세균 우점 문(phylum)은 *Proteo-bacteria*, *Actino-bacteria*, *Acido-bacteria* 순이었고, 미생물 종 풍부도 추정치와 다양성지수는 전국 평균 대비 다소 낮았다.
- 다. 밭토양의 미생물상은 호기성세균 9.1 x 10⁶ cfu g⁻¹, 사상균 17.8 x 10⁴ cfu g⁻¹, *Bacillus* 2.7 x 10⁶ cfu g⁻¹, *Pseudomonas* 2.6 x 10⁴ cfu g⁻¹로 조사되었고, 미생물체량은 평균 128 mg kg⁻¹ 수준이었다.
- 라. 과수원 토양의 미생물상은 호기성세균 4.7 x 10⁶ cfu g⁻¹, 사상균 12.2 x 10⁴ cfu g⁻¹, *Bacillus* 2.2 x 10⁵ cfu g⁻¹, *Pseudomonas* 5.0 x 10⁴ cfu g⁻¹로 조사되었고, 미생물체량은 평균 315 mg kg⁻¹ 수준이었다

(시험 2) 농업용수 수질조사

- 가. 농업용 하천수의 평균 pH는 7.4, DO는 8.0 mg/L, BOD는 1.5 mg/L, COD_{Mn}은 1.7mg/L, T-P는 0.05 mg/L, SS는 5.2 mg/L이었고, pH, BOD, SS는 기준 초과지점이 각각 2.9%, 1.0%, 1.0% 이었다. 최근 4년 간(2009~2012) 조사된 농업용 하천수에 대한 주요 지표의 농업용수 수질기준 초과율은 pH는 2009, 2010, 2012년에 각각 4.9, 6.8, 2.9%가 초과되었고, BOD는 2010 ~ 2012년에 1.0%, SS는 2011, 2012년에 각각 2.0, 1.0%가 초과되었으며, DO는 조사기간 동안 초과하는 지점이 없었다.
- 나. 농업용 지하수의 평균 pH는 6.7 로 약산성이었고, EC는 0.24 dS/m, Cl⁻은 14.1 mg/L이었으며, 지하수 수질의 가장 중요한 지표인 질산성질소(NO₃-N)는 3.67 mg/L로 지하수중의 질산성질소 기준인 20mg/L에는 크게 미치지 않는 것으로 조사되었다. 최근 4년간

(2009~2012) 조사된 농업용 지하수 전수에 대한 주요지표의 농업용수 수질기준 초과율은 pH는 2009, 2010, 2012년에 각각 4.9, 6.8, 2.9%가 초과되었다. 염소이온 (Cl)은 2011년에 1.0%, 2010년에는 조사되지 않았으며, 2011, 2012년에 각각 2.5, 5.0%가 초과되었으며, 황산이온(SO₄²⁻)은 2010년에는 조사되지 않았으며, 2011, 2012년에 각각 2.5, 5.0%가 초과되었다. 지하수 오염의 가장 중요한 지표인 질산성 질소(NO₃-N)는 조사기간 동안 초과하는 지점이 없었다. Cd 등 특정 유해물질은 수질기준 미만 이거나 검출 되지 않았다

5. 인용문헌

- 국립농업과학원. 2009. 농업환경변동조사사업 10년 완결보고서 : pp 179~182.
- 국립농업과학원. 2012. 토양미생물 다양성분석 워크숍.
- 김복영. 1996. 환경 오염 실태와 개선 대책. 환경보전형 농업을 위한 토양관리 심포지움. 한국토양비료학회지. 별권 : 68~98.
- 김시평. 1991. 농업환경 보전대책. 한국환경농학회 창립 10주년 기념 심포지움. p191~212.
- 농림부 농업기반공사. 2004. 농업용수 수질오염이 벼생육에 미치는 영향 연구(최종).
- 농업과학기술원. 2000. 토양과 식물체 분석법.
- 농업과학기술원. 2006. 작물별 시비처방 기준.
- 농촌진흥청. 2006. 농업용수 수질분석 이론 및 실무.
- 박용하. 1997. 토양질 측정자료의 관리체계 구축방안. 한국환경정책평가위원회.
- 정석채, 문준, 김태순, 현근수, 박창서. 1990. 우리나라 토양의 토성별 유효수분.
- 환경부. 1999. 토양오염공정시험법.
- 환경부. 2005. 수질오염공정시험법.
- 환경부. 2008. 토양환경보전법.
- APAH, AWWA, WEF. 1992. Standard method for the examination of water and waste water. 18th, APHA.
- Holmgren, G. G. S., M. W. Meyer, R. L. Chaney, and R. B. Daniels. 1993. Cadmium, Lead, Zinc, Copper, and Nickel in agricultural soils of the united states of america. J. Environ. Qual. 22:335~348.
- Ma Lena. Q., Fand Tan, and Willie G. Harris. 1997. Concentrations and distribution of eleven metals in florida soils. J. Environ. Qual. 26:769~775.
- Peters. J. B. 2000. Gambian soil fertility trend. 1991~1998. Commun. Soil. Sci. Plant Anal.(31):2201~2210.
- Smith, S. R. 1996. Agricultural recycling of sewage sludge and the environment. WRC Marlow Buckinghamshire UK.
- Vulava, V. M., B. R. James, and A. Torrents. 1997. Copper solubility in Myersville B horizon soil in the presence of DTPA. Soil Sci. Soc. Am. J. 61:44~52.

6. 연구결과 활용

연도(연차)	활용구분	제목
2009(1년)	논문	우리나라 밭토양의 화학성분 변동조사
	정책제안	밭토양개량제 지원시 석회소요량 분석을 통한 석회질비료 공급(중앙)
2010(2년)	영농활용	과수원 토양분석 시비처방에 의한 토양관리(시비처방서 발부 80부)
2011(3년)	영농활용	강원 논토양 화학성 분동을 활용한 시비지도(중앙)
	영농활용	T-P 기준 초과 하천수의 농업용 관개시 감비 추천(중앙)
2012(4년)	영농활용	강원지역 농경지 토양화학성 현황 및 과부족비율을 활용한 시비지도(중앙)
	논문	토지이용별 농경지 토양물리적 특성

7. 연구원 편성

구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도			
					'09	'10	'11	'12
과제책임자	국립농업과학원	농업연구사	강성수	과제 총괄	○	○	○	○
1세부책임자	환경농업연구과	농업연구사	최승출	주관수행	○	○	○	○
2세부책임자	환경농업연구과	농업연구사	최승출	주관수행	○	○	○	○
공동연구자	"	"	김세원	조사업무지원	○	○	○	○
"	"	농업연구사	서영호	"			○	○
"	"	농업연구사	임수정	"	○	○		
"	"	농업연구관	김인중	결과분석지원				○
"	"	"	김경희	"				○