

논토양의 화학성과 질의 장기 변동

김명숙* · 김원일 · 이종식 · 이계준¹ · 조광래² · 안문섭³ · 최승출³ · 김현주⁴ · 김영상⁴ · 최문태⁵ ·
문영훈⁶ · 안병구⁶ · 김현우⁷ · 서영진⁸ · 이영한⁹ · 황재종¹⁰ · 김유학 · 하상건

국립농업과학원, ¹고령지농업연구센터, ²경기농업기술원, ³강원농업기술원, ⁴충북농업기술원, ⁵충남농업기술원,
⁶전북농업기술원, ⁷전남농업기술원, ⁸경북농업기술원, ⁹경남농업기술원, ¹⁰제주농업기술원

Long-term Monitoring Study of Soil Chemical Contents and Quality in Paddy Fields

M.S. Kim*, W.I. Kim, J.S. Lee, G.J. Lee¹, G.L. Jo², M.S. Ahn³, S. C. Choi³, H.J. Kim⁴,
Y.S. Kim⁴, M.T. Choi⁵, Y.H. Moon⁶, B.K. Ahn⁶, H.W. Kim⁷, Y.J. Seo⁸, Y.H. Lee⁹,
J.J. Hwang¹⁰, Y.H. Kim, and S.K. Ha

National Academy of Agricultural Science, Suwon 441-707, Korea

¹Highland Agriculture Research Center, National Institute of Crop Science, Pyongchang, 232-955, Korea

²Gyeonggido Agricultural Research & Extension Service(ARES), ³Gangwondo ARES, ⁴Chungbuk ARES,

⁵Chungnam ARES, ⁶Jeonbuk ARES, ⁷Jeonnam ARES, ⁸Gyeongbuk ARES, ⁹Gyeongnam ARES, ¹⁰Jeju ARES

There is very important to investigate long-term trend of soil chemical properties and quality index for sustainable agriculture and production of agricultural safety products. Monitoring on soil chemical properties in paddy soils was conducted as one cycle with 4 years from 1999 to 2007. Paddy soil samples were taken from 4,007, 1,970, 2,070 sites in 1999, 2003 and 2007, respectively. With these data, soil quality index (SQI) was evaluated by method that Yoon et al suggested in 2004. Chemical properties of paddy soils were 5.8 for pH, 24 g kg⁻¹ for organic matter, 132 mg kg⁻¹ for available phosphate, 0.29 cmol_c kg⁻¹ for exchangeable potassium, 4.7 cmol_c kg⁻¹ for exchangeable calcium, 1.3 cmol_c kg⁻¹ for exchangeable magnesium and 126 mg kg⁻¹ for available silicate in 2007. Long-term change was shown that pH has increased gradually whereas exchangeable potassium has decreased. However, reasonably large changes were found. Exchangeable calcium and available silicate level in 1999 was 4.0 cmol_c kg⁻¹, 86 mg kg⁻¹, but had risen to 4.7 cmol_c kg⁻¹, 126 mg kg⁻¹ in 2007, respectively. The change of paddy soils quality index was increased gradually and increasement of silicate quality index was higher than other quality indicators.

Key words: Paddy soil, Chemical contents, Soil quality index

서 언

최근에는 자연보전에 대한 관심이 고조되면서 지속적인 농업생산과 환경의 건전성과의 균형을 유지하는 것이 세계적으로 큰 관심사가 되었다. 과거에는 농경지의 화학성 변동을 모니터링 하는 목적이 토양의 화학성 비옥도를 증진하여 작물의 생산성을 높이는데 중점을 두었지만 (Jung et al, 1998; Peters, 2000) 최근에는 양분의 과잉투입으로 농경지내 인산, 칼리 등 양분의 집적과 환

경으로 유출될 수 있는 양분을 평가하는 목적이 중요하게 되었다. 각 나라마다 일정한 지역에서의 작물생산에 필요한 화학비료, 중금속, 농약 등 외부자재의 투입으로 생긴 토양 내 물질의 대한 지속적인 모니터링을 실시하고 있고 (European Environment Agency, 2001) 미국에서는 토양중의 인산이 환경으로 유출되어 수계의 부영영화의 원인이 됨에 따라 토양중의 인산 함량 기준을 설정하여 법령화하려고 하고 있다 (Sharpley, 2003).

우리나라의 농경지에 대한 화학성 함량의 조사는 1958년부터 1963년에 전국 토양개량조합과 각 시·군농촌지도소로부터 토양시료를 채취하여 식물환경연구소에서 일부 분석하였으며 (Kim et al, 1963), 체계적인 토양검정은 1964년부터 1968년 사이에 실시된 토양 비옥도사업과

Table 1. Rating soil quality indicators for paddy field.

Soil property	Soil quality indicator (Score)				
	Very low (25)	Low (50)	Medium (75)	High (90)	Very high (100)
pH, 1:5 H ₂ O	<4.5	4.5-4.8	4.9-5.1	5.2-5.4	5.5-7.0
	>7.6	7.5-7.6	7.3-7.4	7.1-7.2	
OM, g kg ⁻¹	<9	9-15	16-20	21-24	25-30
	>45	41-45	36-40	31-35	
Av. P ₂ O ₅ , mg kg ⁻¹	<20	20-30	31-40	41-49	50-150
	>370	281-370	211-280	151-210	
Ex. K, cmol _c kg ⁻¹	<0.10	0.10-0.15	0.16-0.20	0.21-0.24	0.25-0.50
	>0.82	0.69-0.82	0.58-0.68	0.51-0.58	
Av. SiO ₂ , mg kg ⁻¹	<50	50-82	83-113	114-129	130-200
	>390	311-390	251-310	201-250	

1980년부터 1989년까지 실시된 농토배양 10주년 사업에 의하여 토양조사사업이 수행되었다 (RDA, 1989). 그 이후로 토양관리대책을 위한 전국적인 규모의 논토양에 대한 검정사업의 필요성이 대두되어 1990년도에 조사한 논토양의 화학성 함량 조사에 이어 1995에도 토양의 화학적 특성을 조사하였다 (Jung et al, 1998).

근래에 토양의 질은 작물생산성을 높이기 위하여 비료, 농약, 석유연료 등과 같은 외부 자원의 투입으로 자연자원의 악화를 가져와 농업의 지속성을 우려하게 되었다. 이에 관하여 국제경제협력개발기구 (OECD)에서 1994년에 토양의 질을 농업환경지표의 하나로 설정하였으며 (OECD, 1999), 국내에서는 Yoon et al (2004)이 2004년에 화학성에 관한 질 평가방법을 제안하였다. 토양의 질은 물리, 화학, 생물학적 요인 등 여러 가지 측면에서 고려되어야 하지만, 본고에서는 화학성에 관한 부분만을 대상으로 평가하였다.

이 연구는 1999년부터 4년 1주기로 농촌진흥청에서 전국 도 농업기술원과 공동으로 전국 논토양의 화학성 함량의 현황과 장기적인 변화양상을 파악하고 이를 바탕으로 토양의 화학성 질의 변동을 평가하고자 수행하였다.

재료 및 방법

우리나라 논토양의 일반 화학성의 변동을 주기적으로 파악하기 위하여 1999년도에 각 도별, 지대별 (19개 농업기후지대: Choi and Yun, 1989) 및 지형별 (하성평탄지, 하해혼성평탄지, 홍적대지, 곡간 및 선상지, 산록경사지) 분포 면적비율을 고려하여 선정된 4,047지점의 정점에서 토양시료를 채취하였고, 2003년도에는 1999년의 정점지점 중 2,010지점만을 선택하여 채취하였으며, 2007년도에는 해발 400 m 지점의 고령권 100지점을 추가하

여 2,110 지점에서 토양시료를 채취하였다. 각 도 농업기술원과 고령지농업연구센터에서 수도 이양전인 3월부터 5월 사이에 표토를 0~15 cm 깊이로 토양을 채취하였다. 이러한 방법으로 채취된 토양의 화학성 분석방법은 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 NH₄OAc로 추출하여 AAS 및 ICP로 측정하는 방법으로 분석하였다. 분석된 자료들 중 화산회토로 구성된 제주도 토양은 제외하였으며, 1999년 4,007점, 2003년 1,970점, 2007년에 2,070점의 분석 자료를 이용하였다.

이러한 자료를 바탕으로 토양의 화학성 질은 Yoon (2004) 이 제안한 방법을 이용하였다. 이것은 논토양의 화학성 질을 나타내는 중요한 인자로 pH, 유기물함량, 치환성 칼륨, 유효인산, 유효규산 등을 주성분분석을 통해 선정하였고 화학성 각 인자 당 수준에 따라 점수화하였으며 이 값들을 평균하여 토양의 화학성 질을 지수화하는 방법으로 Table 1과 같다.

결과 및 고찰

논토양 화학성분 평균함량 우리나라 논토양의 화학성분 평균함량과 범위는 2007년 (RDA, 2007)에 pH는 5.8 (4.2~8.2), 유기물함량은 24 (1~110) g kg⁻¹, 유효인산은 132 (1~1,450) mg kg⁻¹, 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘 함량은 각각 0.29 (0.01~1.75), 4.7 (1.0~22.8), 1.3 (0.1~7.1) cmol_c kg⁻¹이었으며 유효규산은 126 (5~1,351) mg kg⁻¹이었다 (Table 2). 이를 1995년, 1999

Table 2. Average contents of extractable chemical component in paddy soils.

Year	Number of sample	pH	O.M.	Av. P ₂ O ₅	Ex. cation			Av. SiO ₂	
					K	Ca	Mg		
		(1:5)	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----	mg kg ⁻¹	
2007	2,070	Mean	5.8	24	132	0.29	4.7	1.3	126
		Max	8.2	110	1,450	1.75	22.8	7.1	1,351
		Min	4.2	1	1	0.01	1.0	0.1	5
2003	1,970	Mean	5.8	23	141	0.30	4.6	1.3	118
		Max	8.1	86	1,123	2.11	25.8	13.9	674
		Min	4.1	1	1	0.03	0.7	0.1	10
1999	4,007	Mean	5.7	23	137	0.32	4.0	1.4	86
		Max	8.9	75	1,218	4.14	27.4	11.2	1,009
		Min	4.2	1	1	0.04	0.2	0.1	2
1995 data [†]	1,168	Mean	5.6	25	128	0.32	4.0	1.2	72

[†] 1995 data : Jung et al, 1998.

년 (RDA, 1999), 2003년 (RDA, 2003a)의 토양화학성분 함량과 비교해 보면 pH는 약간씩 점진적으로 증가하였고, 유효인산은 1995년에 128 mg kg⁻¹에서 2003년에 141 mg kg⁻¹까지 증가하다가 2007년에 약간 감소하였다. 그리고 유기물함량과 치환성 마그네슘 함량은 약간의 증감이 있었지만 일정한 수준을 유지하였으나 치환성 칼륨 함량은 감소하는 경향이였다. 그러나 치환성 칼슘 함량과 유효규산 함량은 매우 큰 폭으로 증가하였다. 특히 치환성 칼슘 함량은 2007년에 4.7 cmol_c kg⁻¹으로 1995년과 1999년 당시 4.0 cmol_c kg⁻¹인 값보다 1.4배로 급격히 증가하였고, 2003년 치환성 칼슘함량인 4.6 cmol_c kg⁻¹ 값과는 큰 차이가 없었다. 토양 중 유효규산의 함량도 2007년에는 126 g kg⁻¹으로 1995년과 당시 72 mg kg⁻¹보다 1.8배, 1999년 당시 86 mg kg⁻¹보다 1.5배 이상으로 크게 증가하였으며 2003년 유효규산 함량인 118 mg kg⁻¹ 보다는 1.1배 상승하였다. 이는 1996년부터 논토양의 규산함량을 높이기 위해 정부가 규산질 비료를 공급하여 그 시용량이 증대되었고 (RDA, 2003b), 치환성 칼슘함량도 규산질비료의 부성분으로 있는 칼슘의 영향으로 인하여 높아지고 있다고 판단된다.

논토양 화학성분 함량 분포 우리나라 논토양의 토양화학성분함량을 일정한 구간별로 분포비율을 살펴보면 Fig. 1과 같다. pH의 분포율이 가장 높은 범위는 1999년에는 5.1~5.5의 범위였지만, 2003년과 2007년에는 5.6~6.0의 범위로 이동하였다. 이러한 결과는 1996년부터 논토양에 pH를 증대하기 위해 정부가 공급한 규산질비료의 부성분인 칼슘 성분이 논토양에 공급됨으로써 토양의 pH를 상승시킨 것으로 판단된다 (RDA, 2003b). 토양의 유기물함량은 11~30 g kg⁻¹의 범위를 중심으로

로 정규분포를 하였으며, 2007년에는 31 g kg⁻¹ 이상의 분포율이 1999년과 2003년의 분포율보다 점점 증가하고 있었다. 본고에서는 자료로 제시하지 않았지만, 2007년에 조사지역 중 전남, 경북지역의 유기물 함량이 30 g kg⁻¹ 이상에 속하는 분포비율이 증가하고 있었고, 특히 전남 지역은 친환경농업 실현을 위해 녹비작물을 재배하는 면적이 2007년에 140,000 ha까지 확대하였다고 보고하고 있어 (JNARES, 2007) 녹비의 토양 환원효과로 추정된다. 또한 2007년부터 해발 400 m 이상의 정점지점이 추가되면서 고도가 높아 토양의 유기물질이 분해가 느려지는 영향도 있을 것으로 생각된다.

유효인산의 50 mg kg⁻¹미만의 분포율은 1999년부터 2003년까지는 약간 감소하였다가 2007년에는 다시 증가했으며 100 mg kg⁻¹이상의 분포율은 1999년에서 2003년까지는 약간 증가하였다가 2007년에는 다시 감소하는 분포양상을 나타내고 있어 인산비료의 투입이 조절되고 있음을 알 수 있었다.

치환성 양이온의 분포율을 보면 먼저 치환성 칼륨은 2007년에 0.11~0.30 cmol_c kg⁻¹의 범위의 분포율은 1999년과 2003년에 비해 약간 높아졌으나, 0.50 cmol_c kg⁻¹ 이상에서의 분포비율은 약간 감소하고 있었다. 치환성 칼슘은 1999년에는 2.1~5.0 cmol_c kg⁻¹ 범위의 분포가 가장 높았으나, 2003년에는 3.1~5.0 cmol_c kg⁻¹ 범위에서, 2007년에는 6.0 cmol_c kg⁻¹ 이상에서도 분포비율이 높아지고 있었으며 이는 규산질비료의 투입으로 인해 부성분으로 함유되어 있는 칼슘성분이 과다 투입된 결과라고 여겨진다.

유효규산 함량의 분포율은 1999년에는 100 mg kg⁻¹ 미만을 중심으로 하향으로 편향된 분포를 보였으며 2003년과 2007년에는 101 mg kg⁻¹ 이상에서 그 분포율이 점

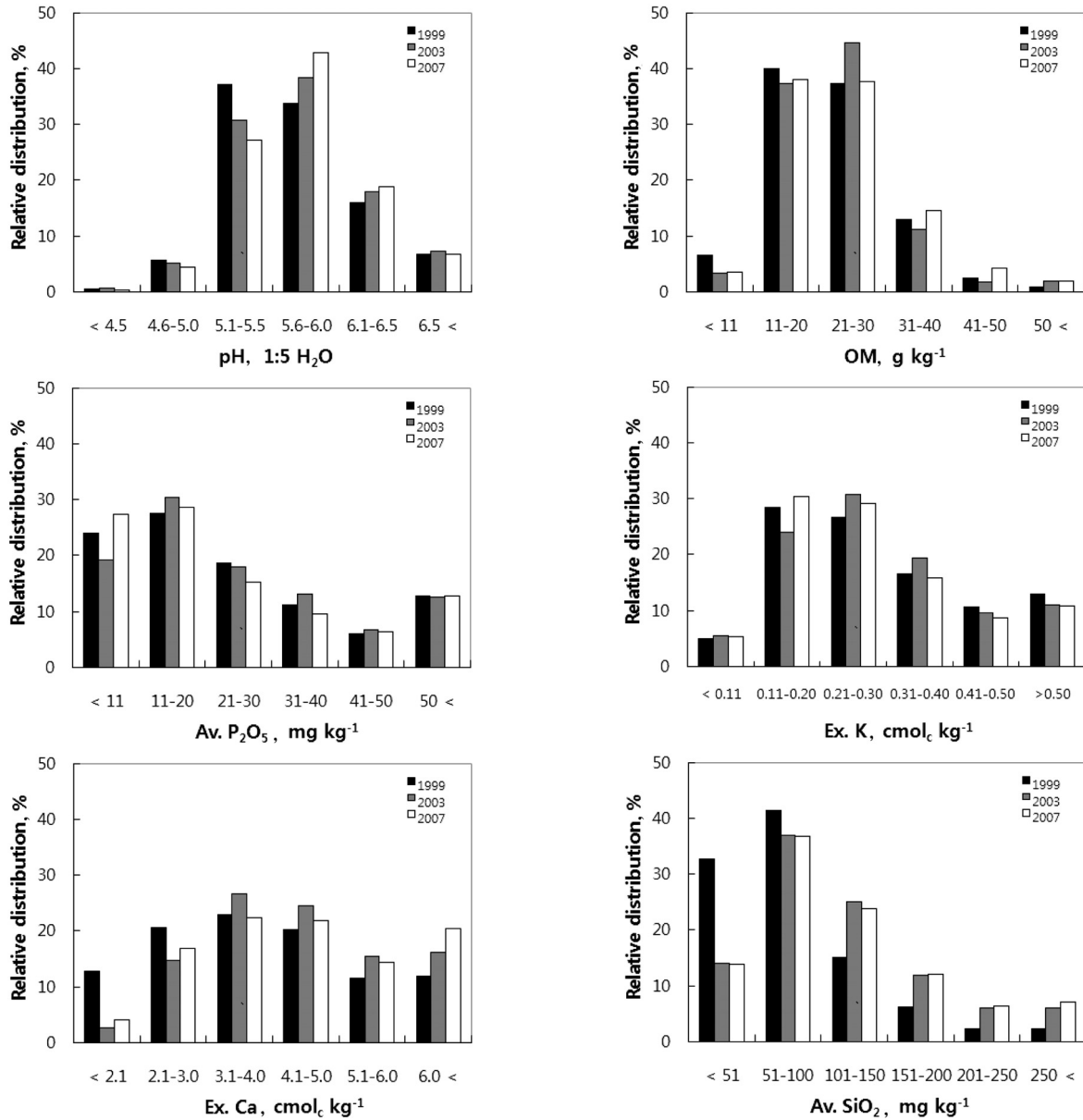


Fig. 1. Distribution percentage of paddy soils with range of chemical properties.

점 증가하는 양상을 나타냈다.

논토양 화학성분 함량 부족, 적정, 과다 분포율 비 생육 적정함량에 따른 논토양의 화학성분 함량의 부족, 적정, 과다 분포율은 다음과 같다 (Table 3). 2007년에 토양 pH의 경우 생육 적정범위 (pH 5.5~6.5) 에 속하는 곳의 분포비율은 67.6%으로 적정범위보다 낮은 곳의 분포비율은 25.5%였다. 그러나 1999년과 2003년에는 논 토양 중 pH의 적정범위 (pH 6.0~6.5) 에 속하는 비율이 각각 19.5, 22.5%, 적정범위보다 낮은 곳의 비율이 각각 73.5, 69.6%로 2007년의 분포양상과 반대였다. 이러한 결과는 pH의 비 생육 적정범위는 2004년을 기준으로 이전 (NIAST, 1999) 에는 6.0~6.5이었으나 2004년 이후 (NIAST, 2006) 에는 5.5~6.5로 범위가 확대되

어 적정범위에 속하는 비율이 더욱 증가하였기 때문이다.

유기물함량의 경우 2007년에 적정범위 (25~30 g kg⁻¹) 에 속하는 분포비율은 16.7%, 적정범위보다 낮은 비율은 61.8%, 적정범위보다 높은 비율은 21.5%의 분포로 1999년에 비해 적정범위보다 낮은 곳의 분포율은 점점 감소하였고 적정범위보다 높은 비율은 약간 증가하였다.

유효인산의 경우 2007년에 적정범위 (80~120 mg kg⁻¹) 에 속하는 비율은 16.7%이고, 적정범위보다 낮은 비율은 47.0%, 적정범위보다 높은 비율은 36.4%로 1999년, 2003년과 비교해서 적정범위보다 낮은 곳의 비율은 증가하였고 반대로 적정범위보다 높은 비율은 감소하였다. 유효인산과 같이 환경으로 유출되면 수계의 부영양화를 초래할 수 있는 성분이 적정범위보다 높은 분포율이 점차 감소하는 분포양상은 친환경농업이 중요하게 되면서

Table 3. Percent Distribution of lower, optimum, and higher levels classified by range values for the soil chemical properties.

Component	Year	Lower than optimum	Optimum	Higher than optimum
pH (1:5 H ₂ O)	2007	25.5	67.6	7.2
	New Range	<5.4	5.5~6.5	6.5<
	2003	69.6	22.5	7.9
	1999	73.5	19.5	6.9
	Range	<6.0	6.0~6.5	6.5<
OM (g kg ⁻¹)	2007	61.8	16.7	21.5
	2003	67.0	18.0	15.1
	1999	67.8	15.5	16.7
	Range	<25	25~30	30<
Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	2007	47.0	16.7	36.4
	2003	38.2	19.7	42.0
	1999	39.1	20.8	40.1
	Range	<80	80~120	120<
Ex. K (cmol _c kg ⁻¹)	2007	50.0	14.3	35.7
	2003	43.3	16.6	40.1
	1999	46.0	13.7	40.3
	Range	<0.20	0.20 ~ 0.30	0.30<
Ex. Ca (cmol _c kg ⁻¹)	2007	64.0	15.4	20.6
	2003	67.1	16.4	16.5
	1999	76.1	12.0	11.9
	Range	<5.0	5.0 ~ 6.0	6.0<
Ex. Mg (cmol _c kg ⁻¹)	2007	69.2	16.1	14.7
	2003	69.2	16.0	14.8
	1999	68.2	14.0	17.8
	Range	<1.5	1.5 ~ 2.0	2.0<
Av. SiO ₂ (mg kg ⁻¹)	2007	76.3	5.8	17.8
	New Range	<157	157~180	180<
	2003	68.8	15.5	15.7
	1999	84.4	9.3	6.3
	Range	<130	130~180	180<

토양에서 바람직한 방향으로 관리되고 있음을 알 수 있었다.

치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘의 적정범위는 각각 0.25~0.30, 5.0~6.0, 1.5~2.0 cmol_c kg⁻¹로, 2007년에 이 범위 안에 있는 분포율이 각각 14.3, 15.4, 16.1%로 나타났고 적정범위보다 낮은 토양의 분포율은 각각 50.0, 64.0, 69.2%이며, 적정범위보다 많은 토양의 분포율은 각각 35.7, 20.6, 14.7%이었다. 이를 1999년, 2003년 정점토양과 비교하여보면 치환성 칼륨의 경우 적정범위보다 낮은 쪽의 비율은 증가되고 있으나, 적정범위보다 많은 쪽의 비율은 점차 감소되고 있는 것으로 조사되었다. 그러나 치환성 칼슘은 적정범위보다 낮은 쪽의 비율

은 감소되고 있으나, 적정범위보다 많은 쪽의 비율은 점차 증가되고 있는 것으로 조사되어 이러한 결과는 규산 질비료에 부성분으로 칼슘성분이 농토양에 공급되었기 때문으로 생각된다.

2007년에 유효규산의 적정범위 (157~180 mg kg⁻¹) 보다 낮은 곳의 분포율은 75.8%로 1999년에는 84.4%, 2003년에는 68.0%로 국가의 지속적인 규산질 비료의 공급에도 불구하고 규산질 비료가 많이 부족하다는 결과로 귀결된다. 그 이유는 유효규산의 적정범위를 2006년 이전에는 130~180 mg kg⁻¹이었으나 그 이후에는 157~180 mg kg⁻¹으로 하한수치가 130 mg kg⁻¹에서 157 mg kg⁻¹로 상승하였기 때문이다.

Table 4. The changes of score of each quality indicator and soil quality index (SQI) in paddy soils.

Year	pH (1:5)	O.M. (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. K cmol _c kg ⁻¹	Av. SiO ₂ (mg kg ⁻¹)	SQI
2007	100	90	100	100	90	96
2003	100	90	100	100	90	96
1999	100	90	100	100	75	93
1995	100	100	100	100	50	90

우리나라 논토양의 화학성 질 지표는 전체적으로 향상되고 있었다 (Table 4). 논토양의 질은 1995년에는 90, 1999년에는 93, 2003년과 2007년에는 96으로 지수화되었으며 pH, 유효인산, 치환성 칼륨은 1995년부터 2007년까지 100으로 질 지표가 가장 좋은 상태로 유지되었으나 유기물의 질 지표는 1995년에 100으로 좋았으나 1999년부터 2007년까지 90으로 질이 떨어져 있었다. 이는 벼 (식물체)의 잔재를 토양으로부터 수탈해 감으로써 벼 뿌리의 유기물만 투입되고 있기 때문으로 판단된다. 그러나 유효규산의 질은 오히려 점점 좋아지고 있었다. 1999년 당시 75에서 2003년과 2007년에 90으로 증가되는 폭이 가장 컸으며 이는 국가에서 정책으로 규산질비료를 공급함에 따라 논토양의 질 향상에 크게 기여한 것으로 판단된다.

이상의 결과를 종합하여 보면 조사기간내의 논토양 화학성분 함량은 pH는 조금씩 증가하고 있었지만 치환성 칼륨 함량은 약간씩 감소하고 있었다. 그러나, 치환성 칼슘과 유효규산 함량은 가장 크게 증가하였으며 이에 힘입어 논토양의 화학성 질도 함께 향상되었다.

요 약

지속농업은 환경의 건전성과 균형을 유지하는 것에 좌우된다. 본 연구는 농촌진흥청과 전국 도 농업기술원이 공동으로 전국 논토양의 화학성분 함량의 현황과 장기적인 변화양상을 파악하기 위하여 1999년부터 4년 1주기로 모니터링한 결과, 토양 화학성 변동 해석과 그에 따른 토양의 질 지표의 변화정도를 예측하고자 수행하였다. 2007년에 조사한 전국 논토양 2,070 지점의 평균 화학성은 pH 5.8, 유기물 24 g kg⁻¹, 유효인산 132 mg kg⁻¹, 유효규산 126 mg kg⁻¹이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 0.32, 4.7, 1.3 cmol_c kg⁻¹이었다. 장기적인 변화에서는 pH는 약간 증가하였으나 치환성 칼륨은 다소 감소하였다. 그러나, 치환성 칼슘과 유효규산 함량은 지속적으로 가장 많이 증가하였다. 그리고 논토양의 화학성 질 지표는 2007년까지 점점 향상되고 있었으며 유효규산의 질 지표 변화량이 가장 높아 전

체 질 지표에 미치는 영향이 가장 컸음을 알 수 있었다.

인 용 문 헌

Choi, D.H. and S.H. Yun. 1989. Agroclimatic zone and characters of the area subject to climatic disaster in Korea. *Korean Journal of Crop Science* 34:13-33.

European Environment Agency. 2001. European soil monitoring and assessment framework. EIONET workshop proceedings. Copenhagen, Denmark.

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: 246-252.

JNARES. 2007. Jeonnam statistical year book. Jeollanam-do Agricultural Reserach & Extension Services. Naju, Korea.

Kim, Y.S., S.C. Seo, and G.H. Han. 1963. Soil testing project. Res. Rept. p. 205-218. Institute of Plant Environment. Rural Development Administration (RDA), Suwon, Korea.

NIAS. 1999. Fertilizer recommendation for crops. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.

NIAS. 2000. Methods of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.

NIAS. 2006. Fertilizer recommendation for crops (revised). National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.

OECD. 1999. Environmental indicators for agriculture: Vol. 1. concepts and framework. head of publication service, OECD publication service, Paris, France. NIAS.

Peters. J.B. 2000. Gambian soil fertility trends, 1991-1998. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 31:2201-2210.

RDA. 1989. Soil improvement project for 10 years. Res. Rept. p. 83-104. Rural Development Administration, Suwon, Korea.

RDA. 1999. Monitoring project on agri-environment quality in Korea. Rural Development Administration, Suwon, Korea.

RDA. 2003a. Monitoring project on agri-environment quality

- in Korea. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- RDA. 2003b. Monitoring project on agri-environment quality in Korea. one cycle project workshop. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- RDA. 2007. Monitoring project on agri-environment quality in Korea. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- Sharpley, A.N., J.L. Weld, D. B. Beegle, P. J. A. Kleinman, W. J. Gburek, P. A. Moore, Jr., and G. Mullings. 2003. Development of phosphorus indices for nutrient management plannings strategies in the United States.
- Yoon, J.H. 2004. Review and Discussion on Development of Soil Quality Indicators, Korean J. Soil Sci. Fert., 37: 192-198.
- Yoon, J.H., B.G. Jung, H.J. Jun, and H.G. Kwak. 2004. Soil quality assessment method of paddy and upland. Korean J. Soil Sci. Fert. 37:357-364.