

친환경 토양 관리 방법과 기준에 대한 평가

유진희¹ · 이교석² · 정덕영^{2*}

Review of Management Methods and Criteria for Environmentally-Sound Soil

Jin Hee Ryu¹ · Kyo S. Lee² · Doug Y. Chung^{2*}

ABSTRACT

The principle goal of environmentally-friendly agriculture is to maintain and conserve water and agriculture environment including drinking water resources by properly using agricultural materials such as agricultural chemicals, chemical fertilizers, and other agricultural materials according to act 19 of foster law of environmentally-friendly agriculture. To achieve these goals, we have to establish Integrated Nutrient Management(INM) and Integrated Pesticide Management(IPM) which are most important core technologies for environmentally-friendly rice cultivation. However, there are lack of criteria and technology for evaluation category according to soil management and its soil classes to practice an environmentally-friendly agriculture. Therefore, we should establish the standards to produce the safe agricultural products based on the soil physical and chemical characteristics which are basic properties of soil to accomplish the principle aims of environmentally-friendly agriculture.

Key words : Management, Integrated Nutrient Management, Integrated Pesticide Management, Environmentally-sound soil

¹ 호남농업연구소 식물환경과(Dept. of Crop and Environment, Honam Agriculture Research Institute)

² 충남대학교 농업생명과학대학 생물환경화학과(Dept. of Bioenvironmental Chemistry, Agriculture and Life sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)

* 교신저자 : 정덕영(E-mail: dychung@cnu.ac.kr, Tel: 042-821-6739)

1. 서론

현재 우리나라의 농업의 현황 및 문제점을 살펴보면 그 동안 증산위주의 고투입 농법에 의존해 온 화학비료, 농약 사용량은 1990년대 초를 정점으로 감소추세이나, 단위면적당 사용량은 크게 감소하지 않고 있다. 작물별 시비처방기준(91개 작물) 및 농약안전사용기준(54작물 575종 농약)이 설정되어 있으나, 실제 농업현장에서는 실천이 미흡한 실정이다. 오랜 기간 동안 지속된 고투입, 고생산성의 집약농업은 토양의 생산력을 저하시켰을 뿐 아니라, 우리의 생태계를 급속히 파괴해 왔고, 토양은 물론 그 주변의 수질 및 대기 환경을 오염시키는 결과를 가져왔다. 특히 지나친 농약사용은 토양미생물과 천적감소 등의 문제점을 일으킨다.

이는 생태계 교란, 수질오염 및 농산물의 농약 잔류문제를 야기하는 등 농업환경의 악화를 초래한다. 그리고 산업발달과 더불어 도시의 급격한 팽창과 휴, 폐업상태의 광산은 토양오염의 주원인으로 작용하고 있다(유, 2007; 양과 이, 2001; 농과원, 2004; 김 등, 1997, 김, 1996).

한편 정부는 국내 친환경농업의 기반을 구축함과 아울러 GR 등 친환경농업으로 전환하고자 하는 국제적 추세에 대처하기 위하여 1997년 12월에 제정한 환경농업육성법 제19조에 근거하여 농약, 화학비료 및 축산분뇨 등의 오염원을 경감하고, 농업환경을 보전하려 하였다. 또한 친환경농업 참여를 확대하기 위하여 상수원보호구역 등 친환경농업 실천이 필요한 지역을 중심으로 지역 실정에 맞는 시설과 장비를 지원하여 상수원보호구역 중심으로 친환경 농업 지구를 조성하였을 뿐만 아니라 특히 벼농사의 경우 친환경 벼재배 핵심기술인 병해충종합관리기술(IPM)과 작물양분종합관리기술(INM)을 종합적으로 실시하고 있는데 전체 농가 약 140만호 중 4% 정도에 해당하는 약 6만여호가 친환경 농업을 실천하고 있다(정, 2004; 서, 2005).

실천 작목 중 논벼가 약 68% 정도로 압도적으로 많으며 친환경농업 실천을 위한 재배방법은 유기, 무농약, 저농약 등이 있으며, 이중 저농약이 조사된 모든 실천 작물에 있어서 가장 많이 적용되는 재배방법으로 조사되었다(Table 1). 이에 UR농산물 협상에서는 국경보호 뿐만 아니라

Table 1. Yearly changes of farmhouses for production of environmentally-sound crops

Year	Organic faming		Transition		No pesticide		Low pesticide		Total	
	House	%	House	%	House	%	House	%	House	%
1999	355	27.2	-	-	449	34.4	502	38.4	1,306	100.0
2000	353	14.4	-	-	1,060	43.3	1,035	42.3	2,448	100.0
2001	439	9.4	3	0.1	1,645	35.2	2,591	55.4	4,678	100.0
2002	877	7.4	628	5.3	4,084	34.3	6,303	53.0	11,892	100.0
2003	1,459	6.3	1,297	5.6	7,426	31.9	13,127	56.3	23,309	100.0
	(8)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(8)	(0.0)
2004	1,492	5.1	1,825	6.3	9,776	33.7	15,892	54.8	28,985	100.0
	(34)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(34)	(0.1)
2005	1,645	5.4	2,313	7.6	9,930	32.5	16,653	54.5	30,541	100.0

Source : NAQS, 2004

국내농업보조도 규제 대상으로 삼고 있기 때문에 환경 친화적 농업 생산기반정비가 빠른 시간 내에 이루어지지 않고서는 현재 정부가 추진하고 있는 친환경농업구조로의 전환이 어려우며 지금과 같은 WTO체제하에서 농산물의 국제경쟁력의 배양은 기대하기 어렵다.

따라서 우리 농업이 살아남기 위해서는 무엇보다도 농업생산기반구조의 개선을 통한 국제경쟁력 배양이 매우 중요하다. 또한 현대 농업의 목표인 농업생산성을 유지 및 향상시켜야 함은 물론이고, 더 나아가 환경의 질을 보호하는 친환경적 농업 측면에서의 토질 기준설정에 관한 연구가 필요하다.

이제까지의 토양에 대한 주된 관심은 생산성을 향상시키기 위한 작물의 생산에 적합한 토양비옥도 수준에 머물러 있었다. 그러나 급격한 농업생태계 내 유해 물질의 증가로 토양에 대한 관심은 국민건강과 관련한 사회적 문제로 대두되었다. 이는 인간의 삶의 질 향상으로 환경의 질에 대한 요구가 커짐으로써 이에 부응하는 생산, 환경보전 기능을 평가하는 방향으로 전환되고 있다. 토양비옥도는 토양 중 양분의 공급 측면에서 한정적으로 사용하여 왔고, 토양의 비옥도 요인을 극복하기 위하여 부족한 성분을 인위적으로 공급하여 주는 유기질 비료 또는 무기 화학 비료의 사용은 비옥도 관리의 대부분을 포함하는 광범위한 용어이며, 최근에 들어서는 생산성이 더해져 토양이 생태계에서 물질 순환에 있어서 교환과 저장의 가장 중요한 중추로서 환경문제를 고려한 토양의 질(토질: Soil Quality)이라는 개념으로 확대 되었다(Doran et al., 1994, 1996; Sarrantonio, et al., 1996; Lowery et al., 1996).

II. 본론

1. 친환경 농업

친환경 농업이란 지속 가능한 농업 또는 지속 농업(Sustainable Agriculture)으로 농업과 환경을 조화시켜 농업의 생산을 지속 가능하게 하는 농업형태로서 농업생산의 경제성 확보, 환경보존 및 농산물의 안전성을 동시 추구하는 농업으로 정의하고 있다. 친환경농업의 기본패러다임은 단기적인 것이 아닌 장기적인 이익추구, 개발과 환경의 조화, 단일작목 중심이 아닌 순환적 종합농업체계, 생태계의 물질순환 시스템을 활용한 조화된 고도의 농업기술로, 「유기농업」 등 특수농법 뿐 아니라, 병해충종합관리(IPM), 작물양분종합관리(INM), 천적과 생물학적 기술의 통합이용, 윤작 등 흙의 생명력을 배양하는 동시에 농업환경을 지속적으로 보전하는 모든 형태의 농업을 포함한다(서, 1998).

우리나라에서 친환경 농업에 관심을 갖기 시작한 것은 '70년대말 부터라고 할 수 있다. 이때부터 친환경 농업에 관련된 용어정의와 친환경 농업이 많이 소개되기 시작하였다. 친환경관련 농업은 ①지력을 토대로 자연의 물질순환 원리에 따르는 농업인 자연농업 ②지역폐쇄 시스템에서 작물양분과 병해충 종합관리 기술을 이용하여 생태계 균형유지에 중점을 두는 농업인 생태농업, ③농약과 화학비료를 사용하지 않고 원래 흙을 중시하여 자연에서 안전한 농산물을 얻는 것을 바탕으로 한 농업인 유기농업, ④환경에 부담을 주지 않고 영원히 유지할 수 있는 농업으로 환경을 오염시키지 않는 농업인 저투입 지속농업 등이 있다.

현재까지 우리나라에서 알려진 친환경 농법으로는 토종농법, 청정농법, 그린음악농법, 육각수농법, 산화전해수농법, BMW(박테리아, 미네랄, 활성화물)농법, 거미농법, 자연농법, 전해이온수농법, 흡살림순환농법, 키토산농법, 참깨농법, 쌀겨농법, 오리농법, 태평농법, 붕어농법, 솔잎농법, 음이온농법, 우렁이농법, 목초액농법, 활성탄농법 등 많은 농법이 있으며, 1993년 12월부터 유기농산물에 대한 품질인증제를 도입하는 등 유기농업에 대한 지원을 추진해 오고 있다. 그리고 환경농업육성법 제1장 2조 용어의 정의에 환경농업이란 농약의 안전사용기준 준수, 작물별 시비기준량 준수, 적절한 사료첨가제 사용 등 화학자원 사용을 적정수준으로 유지하고, 축산분뇨의 적절한 처리 및 재활용 등을 통하여 환경을 보전하고 안전한 농산물을 생산하는 농업이라 규정하였다(농림부, 2004).

농업은 본래, 자연의 물질순환을 기본으로 하여 먹거리를 포함한 유기물을 경제적으로 생산함으로써 환경과 가장 조화된 산업이다. 그러나 농약과 비료 등의 사용으로 농업이 환경을 가해하는 작용이 증대되어 미국과 EU를 중심으로 이의 대응책으로 LISA(Low Input Sustainable Agriculture) 즉, 저투입에 의한 지속 가능한 농업이 요구되어 왔다. 최근 USDA의 지속 농업에 대한 정의는 두 가지 중요한 사실을 시사한다. 첫째는 전 지구적 관심의 대상이 되고 있는 지속 농업을 정의함에 있어서 농업의 환경친화성이나 안정성 보다는 농업의 생산성을 우위에 두고 있고, 또 경제성이 없으면 그 농업은 지속될 수 없음을 들고 있는 점이다. 이는 종전의 정서와는 크게 다른 점이다. 둘째는 지속 농업의 실천기술로 제안된 기술에는 유기농업의 기술이 포함되어 있다는 사실이다(USDA, 2003).

이는 유기 농업은 지속농업의 범주에 포함되는 농업이라 할 수 있다. 따라서, 이제는 유기농업을 따로 생각할 것이 아니라 유기농업을 지속 농업이라는 틀 속에서 생각해야 할 것임을 시사한다. 이런 의미에서 볼 때 유기농업을 안전농산물을 생산하는 정도의 농업으로 좁혀서 생각하는 것은 적절하지 못하다. 다시 말해서, 유기농업의 개념을 새로이 제안되고 있는 지속농업, 즉 생산성과 경제성은 여전히 높으면서 환경친화성과 지속성이 다 같이 높은 농업이라는 틀 속에서 재정립해야 할 것이다.

2. 토양 환경 현황

토양의 질 악화의 원인은 첫째로 잘못된 토양 관리에 의한 인위적 요인이 가장 크다(Table 2). 토양의 질 중에서 농민들의 관심이 가장 많은 것이 토양의 산성화와 양분의 불균형이다. 토양을 산성화시키는 요인으로 비료의 부적절한 사용과 산성 폐수의 유입, 산성비의 영향을 들 수 있다. 전자는 우리 농업 내부에서 발생하는 요인으로, 후자는 농업 외부에서 오는 환경오염의 원인이다.

Fig. 1은 토질이 저하되는 요인과 가정을 포함하고 있다. 예를 들어 지표면 가까이에서는 침식 작용에 의해 물리화학적 변화가 일어나게 되며, 동시에 물리적 작용에 의해 토양의 질에 영향을 준다. 그리고 심층부 토양은 표층에서의 변화 정도에 따라 차이를 보이기는 하지만 동반되는 질적 변화를 가져오게 된다. 이러한 질적 변화는 Fig. 1에서 보여주는 바와 같이 각각의 토양구조 특성을 가진 표층과 심층으로부터 발생하는데 표층에서는 수식 또는 풍식에 의한 침식, 유기물 손실, 토양구조 변화, 과도한 농약 시비 등에 의한 염류집적과 유해물질의 집적, 압밀화(Compaction) 그리고 심층 토양에서의 압밀, 염류집적, 영양요

소와 유해물질 토양으로부터의 용탈이 지속적으로 일어나며 한편 이러한 반응은 C층으로 전달되게 된다.

3. 중금속 오염

산업 활동, 농경, 주거 등 인간의 활동이 전혀 없는 상태 하에서 존재하는 원소의 자연농도를 배

Table 2. Factors affecting deterioration of soil quality

Factor	Contents
Acidification	Improper use of fertilizer, acid rain etc.
Imbalance of nutrient	Improper use of fertilizer and continued cultivation
Soil loss	Improper cropping system and soil management, lack of cultivation technology
Destruction of aggregate	Improper use of agricultural machinery lack of organic matter
Water deficit	Improper cropping system and land use
Salinization	Improper use of fertilizer and irrigation
Accumulation of toxicant	Use of wastewater
Biological decay	Intenced agricultural materials Improper cropping system and land use

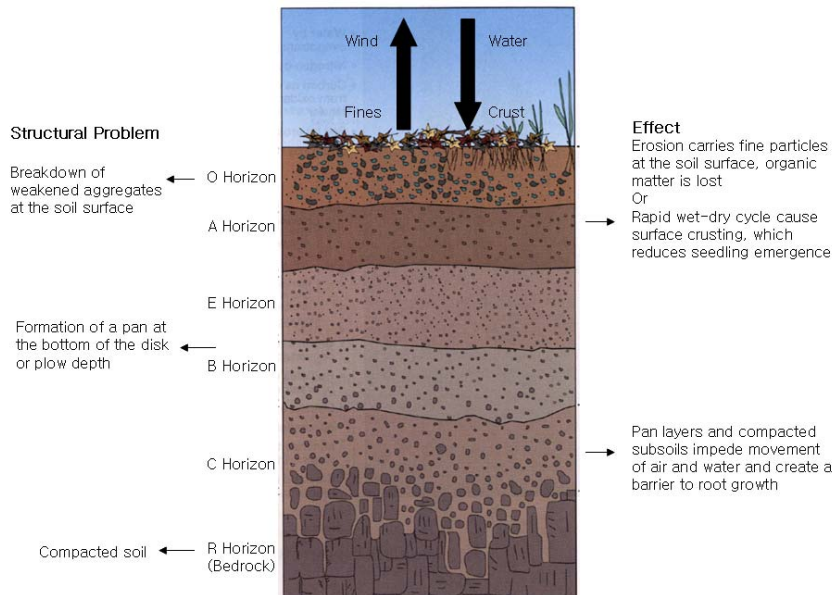


Fig. 1. Structural problems throughout the soil profile and effects of degradation

경치(Background level) 또는 자연함량이라 하며 우리나라 비오염 산림토양 중 모암특성별 퇴적층 내 0.1N-HCl 침출 중금속 자연함량을 조사한 결과 자연함량은 토양의 생성과정에서 유래된 모암 특성의 영향이 크며, Cd의 경우 함량은 퇴적암, 변성암, 화성암 유래 토양의 순이다. 또한 기존의 여러 보고(최 등, 2002; 김 등, 1995)에서도 토양의 중금속 배경치는 모암특성에 영향을 받으며, 모암별 함량차이는 Cd, Cu 및 Zn은 퇴적암의 토양에서, Pb는 변성암의 토양에서 높은 것처럼 광물학적 및 지질학적 차이에서 연유된다고 하였다 (Table 3). 퇴적산림토양 내 평균 중금속 자연함량의 조사결과 Cd은 0.029, Cu는 0.391, Pb은

3.87, Zn은 0.90(mg/ kg)으로 토양환경보전법상의 토양오염 우려 및 대책기준과 비교시 Cd는 1/53~1/140, Cu는 1/128~1/320, Pb는 1/26~1/77, As는 1/172~1/431, Hg는 1/159~1/398의 함량범위 수준이었다(김 등, 1995).

또한 2000년도 환경부가 조사한 전국 토양 망 조사 결과를 보면 우리나라 농업토양 내 중금속 자연함유량은 Table 4와 같은데 일반적으로 논과 밭 토양은 비슷한 수준이지만, 1996년의 발표한 결과를 보면 카드뮴과 아연은 밭에서 약간 많고, 납은 논에서 약간 높은 것으로 보고되었다. 특히 채소와 과수 재배지에서 아연함량이 높게 나타나는데, 이는 사용하는 비료의 특성에 기인하는 것

Table 3. Average of the heavy metals extracted by 0.1N-HCl from each horizon of the forest soils (mg kg⁻¹)

Rock types	Horizon	Cd	Cu	Pb	Zn
Igneous	A	0.029	0.355	3.70	1.07
	B	0.025	0.231	3.70	0.64
	C	0.021	0.246	3.33	0.75
Sedimentary	A	0.039	0.852	3.30	1.57
	B	0.039	0.785	3.0	1.32
	C	0.034	0.659	3.43	1.34
Metamorphic	A	0.037	0.680	5.52	1.51
	B	0.039	0.492	5.91	0.77
	C	0.034	0.501	6.8	0.71

Table 4. Indigenous amount of heavy metals in aerable land (mg kg⁻¹)

Category	Year	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Cr ⁺⁶	CN
Paddy	'98	0.136	4.863	0.419	0.076	5.392	0.027	0.034
	'99	0.209	5.648	0.508	0.041	4.728	0.070	0.028
	'00	0.177	5.860	0.547	0.034	4.200	ND	0.017
Upland	'98	0.126	4.996	0.490	0.057	6.499	0.019	0.018
	'99	0.177	4.877	0.521	0.048	7.224	0.037	0.015
	'00	0.177	4.722	0.502	0.033	6.190	ND	0.010
Apprensive Standard		1.5	50	6.0	4.0	100	4.0	2.0

으로 알려졌다.

농업과학기술원(1998)이 95년부터 97년까지 3년간 74개소 1,364.7ha의 휴, 폐광산 인근 농경지의 중금속 오염도를 조사한 결과, 토양오염 우려 기준을 초과하는 지역은 39개소 183.2ha이며, 대책기준을 초과하는 지역은 21개소 104.6ha로서 총 287.8ha가 농업용 토양으로 부적합하다고 보고하였다. 일례로 가학광산 인근 농경지에서 오염지역과 비오염 지역을 구분하여 벼 수확기에 토양과 벼 시료를 채취 분석하여 중금속 함량을 조사한 결과 토양중의 중금속 함량은 주 오염물질인 카드뮴, 구리, 납 및 아연 함량이 오염지역이 비오염지역에 비하여 약 7~20배 정도 높았고 또한 현미 중 카드뮴 함량이 오염지역이 비오염지보다 높게 나타나 토양자체의 농도가 작물 흡수이행성에 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

그리고 하천으로 유입되거나 농업용 관개용수로 사용되는 광산침출수를 조사한 결과 환경기준을 초과하는 지역은 총 45개 광산조사 중 Cd의 경우 9개 광산, Pb 1개 광산, As 5개 광산이며, 하천수는 Cd이 1개 광산, As는 3개 광산에서 환경기준을 초과하였다고 보고하였다. 이와 같이 유해성분인 중금속과 영양염류가 다량 함유된 폐수가 토양으로 유입되면 토양오염으로 이어져 농작물 피해와 안전성에 문제를 일으키게 된다. 수

질오염지역에서 토양과 작물체내의 중금속 함량은 피해지역 주요오염원인 카드뮴, 구리, 아연 함량이 토양과 작물체 모두에서 무피해보다 모두 높았고, B 지역에서는 주요오염원인 구리가 토양과 작물체 모두에서 무피해보다 높았다고 보고하였다.

한편 2000년도 토양오염원별 농토양 내 중금속 함량은 조사한 결과 토양오염우려기준이나 대책기준을 초과한 면적이 233.7 ha나 되는 등 문제가 있는 것으로 밝혀진 바 있다. 그리고 토양 개량제나 비료로 사용되고 있는 농자재 내에 포함되어 있는 중금속 양을 조사한 결과(Table 5) Cr은 Triple superphosphate, Cow manure, Sewage sludge에서 허용치를 초과하는 것으로 보고되었으며, 이외에도 Cu나 Ni의 경우 Cow manure Sewage sludge에서 허용치를 초과하는 것으로 보고되어(Orihara, 2002; 권 등, 2003; 고 등, 2004) 실제 우리가 친환경 농업자재로 생각하는 유기물은 친환경농업자재로 적합하지 않다고 판단된다. 그리고 현재까지 농경지에서의 오염에 대하여 밝혀진 대부분이 중금속에 관련된 사항이고 이외에 영양염류의 과다집적과 이미 사용된 난분해성 농약잔류물 그리고 최근 다른 나라에서 문제가 되고 있는 유류를 포함한 유기오염물질에 의한 오염조사는 초기단계에 있다.

Table 5. Heavy metal concentrations in soil amendments (ppm on a dryweight basis)

Soil amendment	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Triple superphosphate (0-46-0)	9	5	92	3	36	3	108
Urea (46-0-0)	0.1	1	3	0.4	1	3	1
Potassium chloride (0-0-60)	0.1	2	3	0.6	4	3	1
Agricultural lime	0.1	1	3	0.2	5	3	2
Cow manure	1	6	56	62	29	16	71
Sewage sludge	5	5	350	660	35	980	800

4. 농약과 비료

농업토양에 잔류하는 유기독성화합물을 조사한 결과(Table 6)를 살펴보면 농약류와 비농약류로 나눌 수 있는데(최, 2002, 이 등, 2004), 현재 이러한 토양 내 잔류하는 것으로 알려진 유해화합물에 대한 조치 근거는 없어 이에 대한 대책이 시급하다.

Table 7에서 보여주는 바와 같이 일부 토양 내에 존재하는 원소들이 실질적으로 작물생육에 도움이 되지 않는 경우와 실제로 필요하지만 어느 정도 이상을 초과하게 되면 Cu와 같이 해를 나타내는 경우도 있다. 특히 토양 오염원 중 용해성이 높은 유기물 및 무기염류는 토양 중에서 용탈이나 용해되어 토양 내 축적성이 적으나, 중금

Table 6. Concentrations of some organic contaminants in agricultural soils, expressed on a dry weight basis

Pesticides	Nonpesticide compounds
Organochlorines <35 ppb,	Total PCB <0.2 ppm
Total DDT <70 ppm	Polynuclear aromatic hydrocarbons <0.05 ppm
Organo-P compounds <25 ppb	Naphthalene <1.2 ppm
Neutral herbicides <50 ppb,	Haloethers <0.14 ppm
Metolachlor <120 ppb	Chlorinated benzens <0.06 ppm
Phenoxy acid herbicides <60 ppb	Nitrosamines <0.06 ppm
Carbamate herbicides <0.15 ppm	Phthalate esters <1 ppm
	Phenols and cresols <0.19 ppm
	Phenol <1 ppm
	Pentachlorophenol <0.4 ppm
	Heterocyclic N and other compounds <0.2 ppm

Table 7. Heavy metals in plant and animal functions

Element	Essential or beneficial to		Potential toxicity to	
	Plants	Animals	Plants	Animals
Arsenic (As)	No	Yes	Yes	Yes
Cadmium (Cd)	No	No	Yes	Yes
Chromium (Cr)	No	Yes	Yes	DU
Cobalt (Co)	Yes	Yes	Yes	Yes
Copper (Cu)	Yes	Yes	Yes	Yes ^b
Lead (Pb)	No	No	DU ^a	Yes
Mercury (Hg)	No	No	DU	Yes
Molybdenum (Mo)	Yes	Yes	Yes	Yes ^b (5-20 ppm)
Nickel (Ni)	No	Yes	Yes	Yes
Selenium (Se)	Yes	Yes	DU	Yes(4 ppm)
Zinc (Zn)	Yes	Yes	Yes	DU

^aDU = Critical data oil limits unavailable.

^bToxic to ruminants (sheep, cattle)

속류는 이동성이 적어 토양 내에 유입되면 토양 입자 표면에 흡착되며 장기간 축적될 경우 식물의 생육피해와 먹이연쇄를 통하여 직·간접으로 사람과 가축에 피해를 줄 수 있다(Table 8).

그리고 Table 9에서 보는 바와 같이 토양에 잔류하는 Zn과 Cu의 농도를 살펴보면 토성에 따라 점토함량이 증가할수록 토양에 체류하는 Zn과 Cu의 농도가 높아져 상대적 위해성은 높아질 것으로 추정된다.

5. 토양 관리 기준

미국 NRCS Soil Quality Institute는 토질을 “the soil’s fitness to support crop growth without resulting in soil degradation or otherwise harming the environment”이라 정의하며 Soil Health와 혼용으로 사용하기도 한다(Larson and Pierce, 1991). 여기서 Soil health는 an indicator of environmental health and, like human health, provides an overall picture of the condition of

Table 8. Guidelines as of nutrient sources for the plants

Elements	Limit Level	Reasonable Level	Toxic level
N (%)	< 2.0	2.0 - 5.0	Non Toxic
P (%)	< 0.2	0.2 - 0.5	Non Toxic
K (%)	< 1.0	1.0 - 5.0	Non Toxic
Ca (%)	< 0.1	0.1 - 1.0	Non Toxic
Mg (%)	< 0.1	0.1 - 0.4	Non Toxic
S (%)	< 0.1	0.1 - 0.3	Non Toxic
Cl (%)	< 0.2	0.2 - 2.0	> 2.0
Si (%)	< 0.2	0.2 - 2.0	Non Toxic
Na (%)	< 1.0	1.0 - 10	Non Toxic
Fe (ppm)	< 50	50 - 250	Non Toxic
Zn (ppm)	15 - 20	20 - 100	> 400
Mn (ppm)	10 - 20	20 - 300	> 300
Cu (ppm)	3-5	20	> 20
B (ppm)	< 10	10 - 100	> 100
Mo (ppm)	< 0.1	0.1 - 0.5	> 0.5
Co (ppm)	< 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
V (ppm)	< 0.2	0.2 - 0.5	>1

Table 9. Soils Recommended maximum concentrations (ppm) of heavy metals based on their cation exchange capacities (CEC)

CEC ^a	Cu	Co	Hg	Cd	Cr	Zn	Pb	Ni
CEC>15	50	34	0.14	2.4	120	160	70	60
CEC<15	25	>17	0.07	1.2	60	80	35	30

^{a)} Measured as milliequivalents per 100grams.

many properties and processes”를 의미한다 (Table 10).

또한 토양의 질에 관해 Karlen과 Stott(1994, 1997)의 토양의 질 개선을 위한 접근을 나열하면 다음과 같다.

- ① 높은 질의 토양을 위한 목표 설정(Set goals for high-quality soil)
- ② 토양의 질 요인을 결정하기 위한 기준 설정 (Set criteria for high-quality soil in order to determine soil quality indices)

③ 토양의 질의 정의와 목표에 따른 기준의 순서 결정(Rank criteria according to goals and definition of soil quality)

④ 기준 순서에 따른 각 변수들에 점수 부여 (Give a weight to each parameter according to the rank of criteria)

⑤ 주어진 토양의 수치적 값을 얻기 위해 모든 점수화된 변수들을 더할 것(Add up all weighted parameters to obtain a numerical value for a given soil)

Table 10. Soil properties (chemical, physical, biological, and mineralogical) measured at benchmark sites

Degree of Sensitivity	Factors
Sensitive ¹	Soil reaction (pH) Available P and K Organic carbon Total nitrogen Bulk density Dry-aggregate size ¹³⁷ CS distribution Extractable Fe-Al ²
Moderately sensitive ³	Exchangeable cations Carbonates Soil moisture retention
Nonsensitive ⁴	Particle - size distribution ⁵ Clay mineralogy Total surface area Total elements (Al Ca Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Na, Ni, Pb, Zn)
Properties measured in the field ⁶	K _{sat} and Near-K _{sat} Soil moisture Biopore and root counts Crop Yields

¹Measured every 5 years. ²For Podzolic soils only. ³Measured every 10 years. ⁴Measured only at the beginning on the observation period to establish baseline data. ⁵Heavy application of N and K fertilizer may alter some silicate clays and special studies may be needed. ⁶Measured in the field annually. ⁷only in areas with potential salinity problems.

6. 토양의 물리적 질

토양의 물리적 질을 평가하여 토양의 비옥도 관리 또는 시비 관리에 사용하기까지는 아직 많은 어려움이 있다. 우리나라에서 토양의 특성으로부터 비옥도를 평가하기 위한 시도는 오래전부터 있었다. 한 예로 입경분포가 물리적 변수로 포함되어 있었으나 이들의 연구에서도 토성 이외의 물리적 질을 계량화 하지는 못했다(Arshad, et al., 1996; Doran et al., 1994, 1996; Millel, 1982).

작물 생육에 물리적 질이 영향을 주고, 시비의 효율, 질소, 인산과 칼륨 등 양분의 토양 내 행동들이 토양의 물리적 질에 의하여 결정되는 것은 분명하지만, 이들을 토양 비옥도 관리로 직접 연결시키기에는 아직 정보가 충분치 않으며, 각 요소를 비옥도 개념으로 정량화하기도 쉽지 않다. 왜냐하면, 대상 작물과 품종, 경작 방법, 생육상태 및 병해충, 토양 그리고 기후 조건 등 많은 변수들이 작용하기 때문이다. 대상 작물과 품종 및 경작 방법은 전적으로 경작자의 선택이며, 생육상태와 병해충은 재배 환경과 일부 재배관리에 의존하므로 제어가 가능하다. 그러나 기후 조건은 조절할 수 있는 범위가 좁다. 다만 어느 지역

의 평균적인 상태를 상정하여 해석해야 한다. 작물의 생산성과 관련된 토양의 물리적 특성들의 영향은 어떤 한 요소로만 생산성이 결정되는 것은 아니며, 많은 요인이 서로 얽혀서 작용하고 있다. 그러므로 생산성을 환경 문제와 관련지어 토양의 물리적 조건을 단순하게 계량화하여 평가하는 것은 불가능에 가까운 일이라고 할 수 있다. 또한, 어떤 시점에서 다른 여러 가지 요소들이 동시에 계량화되지 않는 한, 그 측정된 요소는 토지 이용과 관련에 의하여 더 크게 변화할 수 있다(Arshad, et al., 1996; Millel, 1982).

USLE(Universal Soil Loss Equation)이나 WEQ(Wind Erosion Equation)와 같이 물이나 바람에 의한 침식에 대한 토양 관리법의 영향을 평가할 수 있는 것과 마찬가지로 토양 자원의 물리적 조건에 대한 관리 체계의 영향을 평가할 수 있는 방법이 필요하다. 토지 이용과 관리 투입 조건에 대한 응수로 토양의 조건을 추적해 나가기 위한 지표의 설정에 많은 요인이 고려되어야 한다. 이에 대한 몇 가지 노력이 이루어지고 있다. Larson과 Pierce(1991)는 토양의 건강을 평가하는데 꼭 필요한 최소한의 자요 목록을 제안하고, 이들 요소의 질 변화를 평가하기 위한 방법과 평가 판정

Table 11. Physical index to evaluate the soil quality

Conditions	Functions	Evaluation unit
Texture	Moisture content, Nutrient, Solute transport and holding capacity	% of sand, silt, and clay
Bulk density	Root and biological activity	g cm ⁻³ Soil volume and mass
Water Property	Available soil water Water holding capacity	% of water between field capacity and wilting point
Soil Depth	Soil productivity	Depth of groundwater table
Infiltration	Water infiltration and percolation	cm S ⁻¹
Erodibility	Soil erosion	ton ha ⁻¹ year ⁻¹

의 기준안을 제시하였다. 이의 제안을 기초로 하여 토양의 물리적 질 평가에 꼭 필요한 6개 요소와 각 요소의 토양 내 기능을 추출하여 보면 Table 11과 같으며 1에서 4까지의 지표는 필수다. 지표의 5와 6은 토양 질 측정에 부수적인 것으로 특성상의 표현을 받아들일 수는 있다.

토양의 물리적 조건에 영향을 가장 크게 미치는 토양 특성은 토성, 물의 상태, 용적밀도, 입단, 공극률, 유기물 함량, 토양 강도와 견지성 등이다. 엄밀한 의미에서 토양의 물리성은 아니지만, 토양 유기물은 생물의 활성을 직, 간접적으로 영향을 주어 토양의 물리적 성질과 생물학적 순환 과정의 상호관계에 영향을 준다. 많은 경우에 이들 성질은 독립적이지 않고, 하나의 성질이 변화될 때 다른 성질도 따라서 변하게 된다. 예를 들어 입단의 변화는 공극률과 용적밀도의 변화를 가져오게 되며, 토양의 강도와 견지성에도 변화를 가져오게 된다. 토성 이외에도 토양의 물리적 성질이 구조와 단일 입자들의 입단화에 의해 영향을 받는다(Table 12). 식물체 생육과 생물체 서식에 가장 중요한 토양 구조의 특징은 여러 크기의 공극들의 상대적 비율인 공극 크기 분포와 개개 입단의 견습 반복에 대한 저항성인 입단 안정성이

라 할 수 있다. 여러 가지 토양의 물리성 문제, 즉 통기성과 배수성의 불량, 압밀, 지나치게 높은 토양의 강도 등이 토양의 구조와 관련이 있으며, 이는 원래 토양의 구조 자체가 나쁘거나 관리의 미숙으로 기인한 물리적 성질의 악화에 의한 것이다. 토양의 물리적 성질의 차이가 작물의 생산성에 미치는 영향이 극단적인 경우를 제외하고는 화학적인 비옥도 또는 비료의 사용이 작물 생육에 미치는 영향만큼은 뚜렷하지 않다.

Acton과 Gregotich(1995)는 지역, 유역 또는 포장 단위 기준에서 토양의 질 변화를 감시하는 데 주요 토양 특성을 정하는 실행 방안을 제시하였다. 이는 다음과 같은 요소로 구성되어 있다.

- 1) 농업생태계(주 토지 이용 또는 경작 시),
- 2) 토양의 질 3요소(생산성, 환경 그리고 건강)
- 3) 중간 토양 지표(경운성, 비옥도, 해물질),
- 4) 1차 토양 특성,
- 5) 2차 토양 특성 등이다.

Larson과 Pierce(1991)는 최소한의 필요 조사 자료로 일컬어질 수 있는 몇 가지 주요지수를 선택하여 조사함으로써 토양의 질을 측정할 수 있다고 하였다. 토양의 질 변화는 어느 기준점으로

Table 12. General relationship of soil bulk density to root growth based on soil texture

Soil texture	Bulk density for root growth		
	Ideal	affecting (g/cm ³)	restricting
Sands, Loamy sands	<1.60	1.69	>1.80
sandy loams, loams	<1.40	1.63	>1.80
Sandy clay loams, clay loams	<1.40	1.60	>1.75
Silt, silt loams	<1.30	1.60	>1.75
Silt loams, silty clay loams	<1.40	1.55	>1.65
Sandy clays, silty clays,	<1.10	1.49	>1.58
clay loams (35-45% clay)	<1.10	1.49	>1.58

부터 개개 특성 기여 요소의 변화의 총화로 평가될 수 있다. 토양의 특성 기여 요소는 토성, 유기물, pH, 양분 상태, 용적 밀도, 전기 전도도, 근권 깊이 등의 토양의 특성을 포함한다. 다른 성질들은 토양의 질 평가에 사용하기 위하여 토양의 다른 특성과 성질을 서로 연관지어 토양특성 환산식의 관계를 통하여 최소의 자료로부터 얻어낼 수 있다고 제안하였다. 최소 자료 목록과 토양특성 환산식은 토양의 질이 토지 이용이나 관리 방법에 의하여 변화하여도 적용할 수 있다.

7. 토양의 화학적 질

우리나라의 토양은 토질이 척박하고, 산성이 강한 것으로 알려졌다. 이는 우리나라의 토양이 화강암 또는 화강편마암 계통의 암석에서 오랫동안 풍화되고, 많은 비에 의한 용탈과 토양 생성 과정을 거쳐 왔기 때문이다. 토양의 질 악화의 원인은 첫째로 잘못된 토양 관리에 의한 인위적 요인이 가장 크다고 할 수 있다. 토양의 질 중에서 농민들의 관심이 가장 많은 것이 토양의 산성화와 양분의 불균형이다. 토양을 산성화시키는 요인으로 비료의 부적절한 사용과 산성 폐수의 유입이나 산성비의 영향을 들 수 있다. 전자는 우리 농업 내부에서 발생하는 요인이며, 후자는 농업외부에서 오는 환경오염의 영향이다.

III. 결론

연도별 경지면적은 해마다 줄어드는 추세이나 유기농업 등 친환경 농업을 실천하는 농가 수는 해마다 증가하고 있다. 하지만 토양오염의 주범인 중금속 오염 및 산성화 등에 관한 여러 자료들은 그 심각성을 말해주며, 이에 대한 구체적인

오염 방지 방법, 중금속 제거 방법들의 연구로 국제 경쟁력의 배양에 힘써야 하겠다. 또한 친환경 농산물 생산 농가에 대한 정부의 적극적 지원이 절실하다. 우리나라의 한해 평균 농산물 수입액 규모는 249만7천 달러(2004년 말 현재)이며, 이 가운데 미국이 92만7천 달러로 전체 수입액의 1/3정도를 차지하고 있다.

일본과 유럽연합(EU)은 쌀을 포함해 채소류와 과일류 등까지 중금속 관리 기준을 설정해 놓고 있지만 현재 우리나라는 농산물 가운데 쌀에 대해서만 카드뮴 관리기준(기준규격 2ppm 이하)이 마련돼 있고, 나머지 중금속의 관리기준이 없는 상태이다. 친환경 농산물의 생산을 위한 각종 농법의 소개 뿐 아니라 근본적 해결책이 필요한 토양 관리 방법과 기준은 여전히 미흡한 실정이므로 충분한 자료의 확보를 위해서 우선은 토질 개념화의 변수들을 파악하고 그에 대한 토양 관리 방법을 제시해야 한다. 또한 농부 및 농업 관련 종사자들은 지속 가능한 농업(Sustainable Development), 정밀농업(Precision Agriculture System: PAS), 병해충종합관리(Integrated Pest Management: IPM), 작물양분종합관리(Integrated Nutrient Management: INM) 등의 활용을 위한 토양 관리의 중요성에 대한 인식이 필요하다.

토양의 질(Soil Quality) 정의 시 기준표는 여러 변수들을 포함하며, 이 변수들은 가능한 모든 자료들을 사용하여 설정된 것이 아니라 가변성을 지닌다. 토양의 분포 범위도 다양하고, 토양의 질에 관여하는 여러 환경적 요건의 변화도 다양하기 때문에 일정한 자료로 얻기는 쉽지 않다. 하지만 각 변수들이 토양 오염 정도와 관련되므로 매우 중요함은 두말할 나위도 없다. 안전 농산물 생산을 위한 토양 관리 방법의 실천에 앞서 다투야 할 토질의 개념 정의에 대한 방법은 꾸준히

발전시켜야 한다.

참고문헌

1. Acton, D.F., Gregorich, L.J. 1995. The health of our soils. Towards sustainable agriculture in Canada. Agriculture and Agri-Food Canada.
2. Arshad, M.A., B. Lowery, and B. Grossman. 1996. Physical tests for monitoring soil quality. In J.W. Doran and A.J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. Soil Sci. Soc., p.123-142. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison
3. Doran, and A.J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison.
4. Doran J W., A.J. Jones editors, 1996. Methods for Assessing Soil Quality. SSSA Publ. No. 49. Soil Science Society of America., 677 South Segoe Rd., Madison, WI 53711. USA.
5. Doran J.W., D.C. Coleman, D.F. Bezdicek, and B.A. Stewart editors. 1994. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. SSSA Publ. No.35. Soil Science Society of America, 677 South Segoe Rd., Madison, WI 53711, USA.
6. Karlen, D.L. and Stott, D.E. 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In Doran, J.W. et al. (eds), Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Special Publication No. 35.
7. Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F., and Schumann, G.F., 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. Soil Science Society of America Journal, 61:4-10.
8. Larson, W.E. and Pierce, F.J., 1991. Conservation and enhancement of soil quality. In NN: Evaluation for sustainable land management in the developing world. Volume 2. Technical Papers. International Board for Soil Research and Management Proceedings No. 12(2), Bangkok, Thailand.
9. Lowery, B., M.A. Arshad, R. Lal, and W.J. Hickey. 1996. Soil water parameters and soil quality. p.143-157. In: J.W.
10. Millel, D. 1982. Introduction to soil physics. Academic Press, San Diego.
11. C. A. Karlen, D.L., M.J. Mausbach, J.W. Doran, R.G. Cline, R.F. Harris, and G.E. Schuman. 1997. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. Soil Sci. Soc. Amer. J., 61:4-10.
12. Orihara Kentaro, Kamiyama Kiyomi, and Fujiwara Shunrokuro. 2002. Characteristics of the Heavy Metal Content in Animal Manure Compost. Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition, VOL.73(4):403-409
13. Sarrantonio, M., J.W. Doran, M.A. Liebig, and J.J. Halvorson. 1996. On-farm assessment of soil quality and health. p.83~106. In: J.W. Doran and A.J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. SSSA Spec. Publ. 49. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
14. USDA. 2003. Definitions and History of Sustainable Agriculture.
15. 고훈중, 최홍립, 김기연. 2004. 축산폐기물 및 환경 : 이축분종(異畜糞種) 퇴비에서의 중금속 화학종분화(化學種分化). 한국동물자원과학회지.
16. 권순익, 임동규, 이상범, 김계훈, 고문환. 2003. 국내 하수오니에 대한 퇴비원료로의 활용성 검토. 한국환경농학회지.
17. 김규식, 김원일, 정구복, 이상복, 이재생. 1997. 광산인근 농경지의 중금속 오염도 조사. 농업과학기술원 시험연구사업 보고서 (농업 환경 부편). p.339-345.
18. 김복영, 정병간, 최정원, 윤을수, 최선. 1995. 우리

- 나라 논 토양중 중금속 자연함량. 한국토양비료 학회지.
20. 김복영. 1996. 환경오염의 실태와 대책. 우리나라 농업환경의 문제점과 개선방안. 한국 환경 농학회, p.27-53.
 21. 농림수산식품부. 2004. 친환경농업육성 관련 법률.
 22. 농업과학기술원. 2004. 농업환경변동 대책연구-농경지 중금속함량 변동조사. p.33-60. 농촌진흥청, 농업과학기술원.
 23. 서윤석. 2005. 친환경농업에 대한 올바른 이해 토양과 비료. 한국토양비료학회지.
 24. 서종혁. 1998. 친환경농업 육성정책의 방향. 한국 농업경제학회, 98 하계 심포지움 발표논문집.
 25. 양재의, 이규승. 2001. 농업환경. 한국환경농학회, p.149-176.
 26. 유관식. 2007. 농경지 오염 및 친환경 개선기술. 한국환경농학회 2007년 추계워크, p.3-17.
 27. 이희동, 경기성, 장석우, 권혜영, 박승순, 류갑희, 김장익. 2004. 잔류 및 환경:유사작물 중 농약 잔류 특성. 한국농약과학회, 춘계학술발표회초록논문집.
 28. 정덕영. 2004. 친환경농업의 문제점과 대처 방안. 경상대학교, 농업생명과학연구원농업생명과학연구.
 29. 최이송, 박재영, 오종민. 2002. 경작지 및 산지토양의 층위별 중금속농도의 분포 특성. 한국지구과학회지.
 30. 최주현. 2002. 우리 나라 농경지 토양 중 잔류농약 실태 및 대책. 농약과학소식지.