

◀ 주제 3 ▶

유기질비료 사용에 의존하는 한국유기농업의 토양비옥도 증진책

- 그 문제점과 대안에 대하여 -

손 상 목

(단국대학교 한국유기농업연구소¹⁾)

1. 서 언

화학비료를 사용하지 않고 유기농법으로 작물을 재배하기 위해서는 토양비옥도를 유지 증진시키기 위한 대안이 있어야 한다. 한국과 일본유기농법은 토양비옥도를 증진시키기 위해 유기질비료를 사용하는 방법을 사용해 왔는데 반해, 유럽과 미국 등 환경농업선진국의 국제유기농법에서는 유축폐쇄순환농업과 윤작체계(두과 녹비 작물재배)를 통해 토양비옥도를 증진하여 왔다(정 등, 1996 ; 손과 김, 1995). 유럽에서는 자국의 유기농법 기술에 대한 환경영향평가를 통해 친환경농법임을 판가름해 질산염과 인산염의 용탈이 관행농법보다 훨씬 적다고 해 직접지불제를 실시하고 있다(Willer, 1998 ; 손과 정, 1997).

그러나 국제유기농업 핵심기술 및 원칙과 상이한 토양비옥도 유지증진 기술을 실시하는 한국유기농법, 즉 유기질비료만에 주로 의존하는 방법으로 토양비옥도를 유

1) (사)한국유기농업협회와 단국대학교가 설립한 산·학 협동연구기관.

지/증진시켜 작물을 다년간 재배하는 우리나라 유기농업 독농가가 본래 추구하고 목적해 왔던 환경보전 기능을 제대로 수행할 수 있는지는 토양비료학적 측면에서 검토해 보아야 할 대상이다.

과연 유기질비료의 효과는 무엇이며, 유기질비료의 누적적 과다사용의 폐해는 무엇인지, 그리고 이를 회피할 수단은 없는지, 녹비작물과 두과작물 재배 그리고 윤작에 의한 토양비옥도 유지/증진은 무슨 뜻이기에 Codex 유기농업기준(Codex, 1999)과 IFOAM 기본규약(IFOAM, 1997)에서 핵심기술로 규정하고 있는 것인지 등이 사뭇 궁금하지 않을 수 없다.

이에 보고는 상기와 같은 몇가지 의문점들에 중점을 두면서 유기질비료 시용에 주로 의존하는 한국유기농법의 토양비옥도 유지/증진책에 대한 제반 문제점들을 파악하는데 목적을 두고 작성되었으며 이에 대한 대안으로서 유기농법 실시 농가가 사용할 수 있는 토양진단에 의한 최적시비방법을 제시 설명하였다.

2. 유기질비료의 시용효과

화학비료를 연용하여 작물을 재배해 오던 숙전토양에 퇴비나 축산분뇨 등 유기질 비료를 시용하면 작물생육이 눈에 띄게 향상되고 수량이 증대되는 등의 유기질비료 시용효과가 뚜렷이 나타난다. 이러한 유기질비료의 효과는 크게 나누어 <표 1>에서 알수 있는바와 같이 유기물의 물리적(토양 입단 형성, 투수력·보수력·통기성 향상, 지온상승), 화학적(양이온 치환용량증대, 토양완충능 증대, 양분 가용성 증가, 탈질감소, 중금속 유해작용 감소, 무기화작용), 생물학적(유용미생물 활성화증대, 유기물 분해, 양분용탈 억제, 유효인산 고정억제, 공생/비공생균의 질소고정) 효과가 총합적으로 나타나는 것이라고 할 수 있다(Recel, 1994).

Tab. 1. The special function of improving the physio-chemical and microbiological properties of the soil(Recel, 1994)

Function	Improving property of soil
Physical	<ul style="list-style-type: none"> - Soil aeration - Water holding capacity - Infiltration rate - Soil structure - Soil tilth - Soil temperature
Chemical	<ul style="list-style-type: none"> - CEC / AEC - Nutrient availability - Reduce leaching losses - Reduce volatilization - Synergistic effects of one element with the other - Soil reaction - Mineralization
Microbiological	<ul style="list-style-type: none"> - Increase population / Activity of microorganisms - Organic matter decomposition - Nutrient releases - BNF - Mycorrhiza - Symbiotic / Non-symbiotic nutrient fixation

유기농법으로 작물을 재배하려면 마땅히 작물재배에 요구되는 지력 즉, 토양비옥도를 유지/증진시켜야 하며, 이를 위해 근권토양내에 충분한 부식함량이 함유되어 있어야 함은 당연한 이치이다. 부식산, 홀브산, 휴민 등으로 구성되는 부식물질중 부식산이 대부분을 차지하고 있는데, 퇴비화과정에서 부숙이 진전될수록 부식산의 함량이 증가된다(Alley, 1999 ; Bannick & Ziechmann, 1991 ; Scheffer & Ulrich, 1960). 부식물질은 무정형의 암갈색이고, 고분자성물질로 작용기가 많아 토양물리성 개선효과와 화학적 개량효과 및 생물학적 효과 등에 중요한 역할을 한다(Koepf 등, 1980). 부식물질에 들어 있는 유기태질소는 토양미생물에 의해 분해되어 $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 으로 전환되어 작물뿌리나 미생물에 이용되기 때문에 양분공급측면에서

뿐만 아니라 토양비옥도 유지/증진면에서 중요한 의미를 갖고 있다(Alley, 1999 ; Beste, 1999 ; Kücke, 1999).

본고에서 한국유기농업의 과다 유기질비료 시용에 의한 토양비옥도 유지/증진 문제점을 거론하는 것은 유기질비료가 갖고 있는 부식물질의 각종 효과나 무기태질소 공급능을 폄하하려는 것이 절대 아니라, 장기간 유기질비료만을 과다시용하여 작물 재배에 필요한 양분을 공급하고자 했을 때 나타날 수 있는 여러 문제점을 음미해보고, 이에 대한 대안으로 한국유기농법이 개선해 나가야 할 토양비옥도 유지/증진책을 조심스럽게 제안키 위해서이다. 왜냐하면 정부가 추진하는 환경농업정책중의 하나인 유기농업에 대해 그동안 문제점을 지적하려는 연구자가 거의 없었기 때문이다.

3. 국제유기농업규격과 한국유기농법의 토양비옥도 유지/증진책 비교

토양비옥도를 유지/증진키 위한 한국유기농법 기술은 유기질비료 시용이다. 그래서 일반인과 심지어 일부 유기농업인들조차 “농약과 화학비료를 사용하지 않고 유기질비료와 효소제, 미생물제, 자연광물질 등을 사용하여 작물을 재배하는 것”이 유기농법인 것으로 잘못 이해하고 있는 것이다. 그래서 심지어는 유기질비료를 사용하여 작물을 재배하는 것이 유기농법인 것으로 착각하기조차 하는 것이다(손과 김, 1995).

실로 한국유기농법과 국제규정간에는 많은 차이가 있다. 우리는 유기질비료 시용에 의해 지력향상을 도모하고 있으나 국제유기농법규정에서는 녹비작물/두과작물/심근성작물 재배 등에 의한 윤작, 적정량의 퇴비 시용, 규정된 가축사양두수에서 생산되는 퇴비사용 등이 핵심(Codex, 1999 ; IFOAM, 1997 ; Willer, 1998)이며 한

국유기농법에서 토양비옥도 증진을 위해 주로 사용하는 핵심기술인 외부로부터의 퇴비 등, 퇴비효과나 토양개량을 위해 사용하는 자재는 상기 기술의 실시에도 불구하고 부족한 양분공급을 위해 제한적으로 사용할 수 있다는 것이다(손과 김, 1995 ; Codex, 1999 ; Willer, 1998).

유기농법에서 필수적으로 요구되는 두과/녹비/심근성작물 재배가 포함된 윤작체계를 한국유기농법에서는 상황에 따라 윤작을 해도 좋고 아니해도 좋은 것처럼 여기고 있고 정부는 관련법규에서 이를 소홀히 다루어 강제성이 없는 선택사항으로 규정하고 있는 현실에 있다. 이러한 한국유기농법의 기술로 인해 토양의 화학성이 어떻게 달라지고 있는가에 대한 분석결과와 이는 유기농법의 환경보전 기능 측면에서 어떠한 의미를 지니고 있는가라는 초미의 관심거리가 아닐 수 없으며 본고는 이를 구명하고 그 대안을 논의하는데 목적을 두고 있는 것이다.

1999년 6월에 확정된 FAO/WHO 유기농산물에 관한 Codex alimentarius (Codex, 1999)는 앞으로 전세계 유기농산물의 교역이 가공품을 중심으로 이루어 질 때 유기농산물 품질규격으로 통용될 곳이므로 대단히 중요한 의미가 있다. 이 품질규격에 의하지 않은 농업생산품은 유기농산물이라는 상품명을 붙일 수 없기 때문이다. 이 규격에 의하지 않은 방법으로 토양비옥도를 유지/증진시켜 생산한 농산물은 어쩌면 더 이상 유기농산물로 이름 붙일 수 없을 지도 모른다. 일본의 기무치를 김치codex에서 제외시키고자 하는 것도 이러한 국제식품생산규격이 제정된 후 몰아내고 싶기 때문이라면 이해가 쉬울 것이다. 국제규격은 이를 지키고 농산물을 생산한 생산자와 이 방법에 의해 생산된 식품/농산물을 선별 구입코자 하는 소비자를 보호하기 위해 제정하는 것이기 때문이다.

〈표 2〉 토양비옥도 유지/증진에 대한 국제유기농법 기본규약과 한국유기농법 기술 비교

구 분	유기농업 기본규약 / 규격 또는 핵심기술
국제유기농업운동연맹 (IFOAM)의 기본규약 (IFOAM, 1997)	- ㉠ 토양비옥도 증진을 위한 윤작 - ㉡ 적정량의 퇴비 사용 - ㉢ 화학비료 사용금지 단, 토양/수질오염우려 있을시 토양 및 식물체 분석을 실시해야
EU 유기농업규정 (EU Regulation No.2092/91)	- ㉠ 적절한 두과작물, 녹비작물 또는 심근성작물 재배의 윤작체계 - ㉡ 규정된 가축사양두수에서 생산되는 축산분뇨나 퇴비 등 유기물질의 토양혼입 ⇒ 퇴비효과나 토양개량을 위해 사용하는 각종자재는 ㉠㉡의 조치에도 불구하고 부족한 양분공급을 위해 사용하는 경우 가능
FAO/WHO의 Codex 유기농업규격 (Codex, 1999)	- ㉠ 두과작물, 녹비작물 또는 심근성작물 재배의 윤작체계 - ㉡ 규정된 가축사양두수에서 생산되는 축산분뇨나 퇴비 등 유기물질의 토양혼입 ⇒ 퇴비효과나 토양개량을 위해 사용하는 각종자재는 ㉠㉡의 조치에도 불구하고 부족한 양분공급을 위해 사용하는 경우 가능
한국유기농업	- ㉠ 퇴비사용(채소의 경우 연간 단보당 4~10t) - ㉡ 효소제, 미생물제, 광물질 등 사용
농림부의 품질기준 (농림부령 제1269호)	- ㉠ 윤작 - ㉡ 유기질비료 사용

Tab 3. Major principles of international applicable standard(draft) for organically grown foods by FAO/WHO Codex alimentarius(Codex, 1999)

Crop production	Animal production
I . Crop Rotation	I . Organically grown feed stuff(85% for ruminant, 80% for no-ruminant)
II . Legume cultivation in cropping system	II . Care, responsibility and respect
III . Cultivation of green manure	
IV . Resistant cultivars	
V . Appropriate application of organic fertilizer	
No synthetic fertilizer No agro-chemicals against pest & weed No manure from factory farming	No veterinary drugs No livestock feed additives
Closed recycling system <i>(Improving the soil fertility by animal husbandry and rotation)</i> Holistic production management system <i>(Maintaining & improving the health of the soil-microbe-plant-animal system)</i> No genetically modified organism No growth regulators	

FAO/WHO Codex 유기농업규격(Codex, 1999)은 토양비옥도 유지/증진을 위해 첫째, 두과작물, 녹비작물 또는 심근성작물 재배의 윤작체계, 둘째, 규정된 가축사양두수에서 생산되는 축산분뇨나 퇴비 등 유기물질의 토양혼입을 명시하고 있으며 퇴비효과나 토양개량을 위해 사용하는 각종자재는 상기의 두가지 토양비옥도 유지/증진 조치에도 불구하고 부족할 경우 작물재배에 부족한 양분의 공급을 위해 사용할 수 있다고 명시하고 있다. 즉 Codex의 토양비옥도 증진책은 두과작물/녹비작물/심근성작물 재배의 윤작이 그 근간이며, 농가의 경작지 면적당 대가축/중소가축의 분뇨량에 따라 마릿수를 정해 놓고 유기농업적으로 재배된 사료로 사육하여 배설되는 축분을 사용하여 폐쇄순환의 원리에 따라 토양비옥도를 유지/증진에 이용한다는 것이다.

축산과 경종이 한 농가단위에서 영위되는 유축복합영농의 유기농업에서 가장 중요한 것은 농가규모에 따라 축종별 분뇨발생량에 따른 가축 마릿수가 제한되어 있다는 점일 것(Willer, 1998)이다. 왜냐하면 유기농법적으로 재배한 사료를 먹고 유기축산이 행해지고 그 농산물, 즉 우유, 달걀, 고기를 유기축산물로 판매하며, 유기축산을 영위하는 가운데서 발생하는 분뇨를 모재료로 하여 농장의 식물잔재를 혼합하여 부숙시켜 제조한 유기질비료로 사용하여 작물을 재배하는 형태로 유기농법이 운영되어야 하기 때문이다.

유럽의 유기농업에서는 유기농가의 작물재배 면적을 기준으로 가축사육두수가 정해져 있어, 유기농법적으로 재배한 사료로 가축을 사육하고, 유기축산적으로 사육한 가축이 배설한 축분을 유기농업적 작물재배에 환원하도록 유축폐쇄순환농법이 실시되게끔 되어 있다(손과 김, 1995). 경작지 면적당 가축 마릿수를 정해 놓은 독일의 기준을 살펴보면 <표 4>와 같다. 가축 마릿수는 분뇨단위에 근거하여 정해지는데, 1 분뇨단위는 80kg N과 70kg P₂O₅에 해당되는 양의 분뇨량이다. 어느 유기농법 실시 독농가가 2살 짜리 젖소 1.5마리를 사육하고 있다면 분뇨를 통해 연간

질소 160kg을 토양에 환원할 수 있다는 것이다. 이 농가는 산란계 100마리를 사육하는 다른 농가의 계분에서 나오는 질소량과 비슷한 량의 비료성분을 토양에 환원할 수 있는 것이 된다. 이때 유기질비료 시용량은 ha당 최대 1.3분뇨단위를 넘을 수 없다고 한다. 즉 질소는 성분량으로 104kg, 인산은 성분량으로 91kg이라는 것이다. 이에 따르면 퇴비는 단보당 연간 1.04t 이상은 시용할 수 없다는 계산이 된다. 보다 구체적으로 질소성분기준으로 말하면 우분발효퇴비의 경우 단보당 1.76t, 돈분발효퇴비는 1.09t, 계분발효퇴비는 0.66t을 연간 시용할 수 있는 것이다. 왜냐하면 우분, 돈분, 계분 발효퇴비는 각각 <표 6>에서와 같이 0.59%, 0.95%, 1.58%의 질소성분이 함유되어 있기 때문이다. 그러나 우리나라 유기농법에서는 매작기당 2t을 추천시용량으로 결정 시행함으로써 연간 3작시 6t이 시용되는 것이니, 독일 등 유럽의 유기농법 규정에 비해 약 5배 가량 더 많은 량의 유기질비료를 사용하고 있는 셈이다.

한편 최근 독일에서는 가축이 없는 농가의 유기농업적 경종 가능성에 관한 연구가 4년 전부터 Rheinhessen州에서 진행되고 있다(Hampl, 1999). 이들은 두과/녹비작물 재배에 근거한 윤작체계와 심근성작물 재배 및 작물 수확후 가식부위를 제외한 식물잔재의 토양환원 등을 토대로 토양비옥도 유지/증진을 시도하고, 외부로부터 비공장식축산(Non-factory farming) 축분을 반입하여 퇴비화 시켜 적적량 시용하는 방법을 채용코자 하고 있다. 그러나 이것은 현재 국내에서 실시되고 있는 한국유기농법과는 비유축폐쇄순환농법(Non-closed recycling farming system)하의 토양비옥도 유지/증진책 시도라는 점에서, 이 연구의 최종결과는 경우에 따라 우리에게 시사하는 바가 장차 클 것으로 사료된다.

〈표 4〉 독일유기농업의 경작지 면적당 가축 마릿수

축 종	분뇨단위당 마릿수	비 고
종모우	1.25	
숫 소	1.5	황 소
암 소 (2년생 이상)	1.5	
(1~2년생)	2	
송아지 (0~1년생)	5	
양/염소 (1년생 이상)	18	
(1년생 까지)	30	
돼 지	6	
산란계	100	
산란 중병아리	200	
육 계	200	
오 리	150	
거 위	200	
칠면조	100	

그러나 우리나라의 경우 많은 유기농법 실시 독농가들은 토양지력의 상승방법으로 퇴비는 화학비료가 아니므로 사용하기만 하면 그 양에 관계없이 토양비옥도가 퇴비사용량이 증가할수록 당연히 유지/증진된다는 유기질비료 사용에는 긍정적 측면만 있는 것으로 알고 있었다.

이같은 인식은 유기농법의 기술과 원리를 그대로 반영한 정부의 유기농법과 유기농산물 관련규정에도 나타나 오류를 범하고 있다. 일례로 유기농업을 농림부의 품질기준(농림부령 제1269호)은 “윤작을 하거나 유기질비료의 투입 등으로 토양을 관리하며, 화학비료와 합성농약을 전혀 사용하지 아니하는 농법”으로 정의하고 있는 것이다. 한국유기농업 일부에서, 유기농법의 “윤작규정”을 주작물과 다른 경제작물 또는 환금성 작물(cash crop)과의 윤작을 실시하면 되는 것으로 이해하고 있으나 이는 토양비옥도 유지/증진책으로 규정된 내용을 너무나 잘못 해석하고 있는 것이

라 지적하지 않을 수 없다.

“운작을 하거나”와 “유기질비료의 투입 등”으로 토양을 관리하며 라는 것은 Codex의 ④ 두과작물에 의한 공중질소 고정에 의한 질소공급/녹비작물 재배에 의한 작물을 재배하지 않는 기간동안의 질소용탈 회피와 주작물재배기전의 녹비로의 이용효과/작물 비재배기의 심근성작물 재배에 의한 잔유물과 양분 지상부위로의 회수, ⑤ 가축의 분뇨발생량과 이를 시용할 작물 재배면적의 조화에 기초한 유축폐쇄 순환농업 등과는 전혀 정합성이 없는 규정이다. 그저 운작을 그럭저럭 이 작물 저 작물 돌려짓기에 의해서는 병충해 경감과 잡초방제에는 효과를 거둘 수 있을지 모르겠으나 토양비옥도 유지/증진에는 오히려 역효과의 수단이라 아니할 수 없다. 더군다나 “운작을 하거나 유기질비료의 투입 등으로” 토양을 관리하라는 규정은 운작을 실시해도 좋고 아니할 수도 있다는 규정이어서 유기농법을 위한 토양비옥도 유지/증진책으로, 유기농법 실시 독농가가 유기질비료만으로 유기농법 작물재배를 실시하여도 된다는 해석이 가능하다. 바로 이 잘못된 국내 유기농법 규정은 국제유기농업 기준과의 정합성을 이루어야 하는 미래 한국유기농업의 발전방향을 크게 가로막고 있다고 사료된다.

4. 한국유기농법의 환경보전 기능

1) 유기질비료 사용 역사와 신뢰

농사직설(1429년, 정초)에 나타나 있는 대로 우리 나라에서 전통적으로 사용해온 비료는 모두 유기질비료였다. 즉 농사직설에 기재된 비료 즉 작물 성장을 촉진하기 위해 사용한다는 물질들은 인분, 우 마 분, 잠 분 등 인 축의 분뇨를 비롯하여 갈 나무 잎, 버드나무 잎, 농산 부산물인 왕겨 각종 유 박(콩 깨 등), 아궁이 재, 외

양간 거름, 낡은 벽이나 허물어진 흙담의 흙 등이 그것이다. 또 이를 유기질비료는 매년 주는 것이 아니고 때나 새 흙과 해 거리로 엇갈리게 돌려주며 주는 것이 좋다고 되어 있다(1988, 박 천서).

일제시대의 경우 “금비(화학비료, 대두박, 어분 등 돈을 주고 구입하는 비료)”라고 알고 있을 만큼 비료 구하기가 힘들었을 때, 산야초와 두엄을 혼합한 퇴비는 힘들게 만든 자급비료의 하나로서 농작물재배에 가장 효과 있는 유기질비료로 인식되어져 왔었다. 그러나 당시의 퇴비는 지금과 같이 농후사료 위주로 사육한 가축 분뇨가 아니어서 질소, 인산 등의 양분함량이 훨씬 적었을 뿐만 아니라 퇴비사용량도 지금의 유기농법 독농가에서 사용하는 량과 비교가 되지 않을 만큼 적은 량이었던 것이다.

그럼에도 불구하고 유기질비료가 효과적이라는 평가가 많은 유기농업 실시 독농가에 뿌리깊히 남아 있는 까닭은 화학비료가 본격적으로 보급 사용된 후, 즉 화학비료를 다년간 사용한 땅에서의 유기질비료 효과가 확연히 드러났기 때문이다. 이것을 화학비료+유기질비료 병용효과라고 하는데 화학비료만을 다년간 사용한 토양에서 유기질비료가 사용될 때 토양의 물리적, 화학적 성질이 개선되는데 따른 효과가 나타난 것이고 또한 유기질비료에 들어 있던 미생물적 효과가 나타나 그야말로 화학비료 단독 사용의 부작용이 일시에 제거되고 유기물의 효과가 극대화되어 나타났기 때문인 것을 한국유기농법 실시 독농가는 이를 확대 해석하고 유기질비료는 많이 사용하면 많이 사용할 수록 좋다는 유기질비료 지상주의로 흘러 버리는 시행착오를 범하고 말았던 것이다.

이 말은 이미 본고 서두에서 언급한 유기질비료의 효과를 평가절하 하려는 것이 아니라 토양에 물리적, 화학적, 미생물적 효과를 두드러지게 나타내는 유기질비료도 다년간 과다사용할 경우 부작용이 나타날 수도 있다는 것을 설명하기 위해서이다.

2) 유기질비료에만 의지한 토양비옥도 유지/증진책의 문제점

초창기 유기농업 교본에 나타나 있던 다다익선적 퇴비 추천시용량은 “유기채소의 고질산염 파동” 이후 단보당 8t으로 하향조정 되었다가, 다시 5t, 그리고 3t, 그리고 이제는 2t으로 낮추어 지기에 이르렀다.

문제는 지금과 같은 단보당 2t 내외의 유기질비료 사용이 작물재배를 하기에 필요한 각종 영양분을 공급하는데 아무런 문제가 없는가, 즉 토양비옥도 유지/증진에 효과적인가 하는데 있다. 또한 장기간 연용하였을 때에 유기농업 본래의 환경친화적 기능(토양 및 수질오염)을 수행하는데 아무런 문제가 없는가 하는 점이다.

유럽 각국의 농업백서나 Green peace보고서를 보면 유기농법이 환경친화적인 기능을 수행한다는 연구결과가 나타나 있다. 그래서 유럽각국은 이에 근거하여 직접 지불제를 도입하여 유기농업을 장려하고 있다. 우리 정부도 '98년부터 유기농업 독농가에 대한 직접지불제를 일부 지역에서 우선적으로 실시하고 있으며 향후 전국적으로 실시할 예정이다. 지불제를 통해 유기농가에 보상금을 지급하는 이유는 유기농법 실시농가의 환경보전 기능을 들 수 있다. 환경보전 기능이란 불특정 다수인이 향유하게 되는 대기, 수질 및 토양 환경보전에 기여하는 유기농법의 또 다른 순기능으로, 정부와 지자체가 마땅히 이에 대한 보상금을 유기농법 독농가에게 지불해야 하는 이유가 여기에 있다

문제는 과연 퇴비시용만으로 토양비옥도를 유지 증진시키고자 하는 현재의 한국 유기농업의 방법으로 환경보전 기능을 수행할 수 있는나이다. 특히 상수원보호구역 내에 맑은물 공급을 위해 실시되는 지불제 사업인 만큼 수질보전 기능에 대한 것이 우리의 관심거리가 아닐 수 없다.

이와 관련해 현재까지 학계에 보고된 바를 정리하면 다음과 같다. 유기농법 실시 농가 포장의 토양화학적 성질은 관행농법 실시 농가 포장에 비해 ① 유기물함량이 높고, ② 염류가 집적되어 있으며, ③ 질산염 함량이 높고, ④ 인산염 함량이 높다

는 것 등이다(김, 1999; 손 등, 1996; 손 등, 1999). 김(1999)에 의하면 유기농법으로 발작물을 재배한 토양의 화학성을 보면, 장기간 재배할수록 모든 성분이 증가되는 경향이어서, 유기물함량은 3년이상 재배할 경우 3% 이상이 되고 인산은 재배초년부터 증가하여 10년이상 재배하면 1700ppm이상이 되며 기타 치환성 양이온도 점증하여 토양양분의 적정함량보다 크게 상회하는 경향을 나타낸다고 한다. 손 등(1996)이 관행농법과 시설재배 및 유기농업 재배지 토양의 화학적 특성을 비교한 것을 보아도 유기농법 토양이 문제가 되고 있는 시설재배 토양과 비슷하거나 더 많은 질산염, 인산염 그리고 염류집적 현상을 나타내고 있다.

유기농법 토양이 이처럼 김(1999)의 보고에서와 같이 유기물함량이 유기농업 재배 초년에 2.2%에서 1~3년에 3%, 5~10년에 4.6%, 10년이상에서 8.2%로 급격히 증가하며, 손과 한(1999)의 보고와 같이 배추를 재배하는 유기농법 실시 독농가의 유기물함량이 12%내외라는 사실은 유기농법 실시현장에서 그동안 다년간에 걸쳐서 작물의 수량증대를 위해 얼마나 유기질비료를 많이 사용해 왔었나를 나타내고 있다.

일반적으로 토양중 유효인산 함량이 300ppm이상일 경우 수용성인산으로의 용탈 가능성이 있으므로 수질오염 가능성을 배제하지 못한다고 알려져 있는데(박, 1999), 유기농법 실시 독농가 포장의 유효인산 함량은 262-1557ppm(손과 한, 1999), 943~3347ppm(김, 1999) 등으로 대단히 높아 문제가 있음을 보여주고 있다. 상이한 농법을 실시하는 포장의 인산함량을 비교한 손 등(1996)의 보고에 의하면 관행농법 실시 농가포장의 유효인산함량이 159~498ppm인데 비해 유기농법 농가포장의 유효인산 함량은 462~938ppm으로 높다고 한다. 질산염 함량 역시 유기농법 실시포장이 64~86ppm으로, 관행농법 포장의 11~18ppm에 비해 높아 질산염 용탈 가능성이 있음을 나타냈다(손 등, 1996). 염류집적도 역시 관행농법 농가에 비해 유기농법 농가가 훨씬 높다고 한다(손 등, 1996; 손과 정, 1997; 손과 한, 1999; 박, 1999).

ha 당 20t을 연간 3회 사용할 경우 846kg의 인산을 사용한 것이 되고 3년간 유기

농법을 실시한 경우 성분량으로 2.5t의 인산비료를 시용한 것과 같은 것이다. 이러 하기에 유기농법 실시 독농가의 인산집적량이 500~1000ppm에 달하고 있는 것이라 고 판단된다. 칼리의 경우에도 퇴비중에 0.89%의 칼리가 함유되어 있으므로, ha 당 20t을 연간 3회 시용할 경우 534kg의 인산을 시용한 것이 되고 3년간 유기농법 을 실시할 경우 1.6t의 치환성 칼 리가 토양에 시용되는 것과 같은 효과가 있게 되 는 것이다. 토양중에 유효인산과 치환성칼리가 많아지면 염류농도가 상승하게 되어 작물 수분흡수에 장애를 초래하고 체내 수분포텐설이 높아지게 된다.

유기농산물의 당도가 높다는 것도 여러 가지 원인이 있겠으나 장기간의 유기질비 료 연용으로 인한 염류집적이 식물체의 자기방어 기작에 의해 스스로 높은 염류가 집적된 토양수분을 흡수하고자 식물체의 다당류와 단백질을 저분자 단당류나 가용성 인 아미노산으로 분해하여 식물체 각 세포내의 수분포텐설을 높혔기 때문이라고 판 단된다(박, 1999). 수분포텐설을 높이기 위해서 식물체는 광합성의 산물로 만든 각 종 다당류를 과당, 포도당 등 단당류으로 가수분해 시키는 것이고 이를 통해 근세포 의 삼투압이 높아져 근권주위의 고 염류성의 토양수분이 뿌리내 세포로 흡수되어 식 물체 각 부위로 비로소 이동되어 질 수 있다는 것이다. 유기농산물의 향기가 좋고 당도가 높으며 고소한 것은 바로 이 까닭이라고 사료된다.

유기농업 실시농가 포장에서 이같은 질산염과 인산염 함량이 많아지고 염류가 집 적되는 등의 부작용이 나타나게 된 것은 한국유기농법이 작물을 재배하기 위한 지력 (토양비옥도)유지를 위해 많은 량의 유기질비료를 계속 연용해 왔기 때문에 빚어진 어찌할 수 없는 현상이었다. 국제유기농법에서 규정하고 있는 토양비옥도 유지/증진 방법이란 작물을 유기농법적으로 재배하려 할 때 실시해야 하는 몇가지 기술인 것이 다. 토양비료학적으로 보아 녹비/두과작물 등과의 윤작과 심근성작물 등의 재배는 토양비옥도 유지/증진을 위해 행하지 않으면 안되는 기본적 토양관리기술이다.

녹비/심근성작물 재배는 지하로 깊이 용탈되고 있거나 스며들고 있는 각종 양분

을 이들 작물을 갈아 엮었을 때 다시 표토층으로 환원시킬 수 있는 좋은 방법이며
 염류집적 토양의 경우 이를 통해 과잉집적된 염류를 제거하는 방법으로 활용할 수
 도 있다(Willer, 1998). 더욱이 포장에 투입된 영양분이 작물을 재배하지 않는 기간
 에 유거/용탈되지 않도록 하는데 가장 효과적인 방법으로 토양비옥도 증진 뿐만 아
 니라 환경보전적 측면에서도 훌륭한 대책이 된다(Willer, 1998 ; Kuecke, 1999). 두
 과작물은 공중질소를 다량 고정하여 인산에 초점을 맞춘 적정유기질비료 사용에서
 부족하기 쉬운 질소의 공급원으로 결코 소홀히 해서는 안되는 토양비옥도 유지/증
 진책으로 한국유기농법에서 실시하여야 할 것이라고 사료된다.

3) 한국유기농법 토양에서 나타나는 고 염류집적 현상의 이유

왜, 어째서 우리나라 유기농업 실시 독농가의 포장의 토양화학적 특성 분석결과
 가 염류집적현상이 나타나고. 그 결과론적으로 한국유기농업의 환경친화적 기능 수
 행에 문제가 있다고 지적되고 있는가? 그 이유는 다음과 같이 설명할 수 있다.

농촌진흥청의 자료에 의하면 각종 축산분뇨와 이를 재료로 제조한 유기질비료(숙
 성 발효퇴비)의 화학성분은 질소, 인산, 칼리의 함량은 <표 6>과 같다. 물론 농후
 사료 급여량과 축분과 수분조절제 배합비율 등에 따라 유기질비료의 무기성분 함량
 은 이것과 편차가 있을 수는 있다.

현장에서 단보당 2t의 퇴비를 사용한다고 하고 년 3작 재배를 가정하면, 성분량 기
 준으로 624kg/ha의 질소, 846kg/ha의 인산, 534kg/ha의 칼리가 투입되는 것이 된다.

이중 질소는 사용 당시 총질소의 1/3정도 가급태화 되고, 나머지는 다음해에 다
 시 당해년도 총질소의 1/3정도, 3년차에 다시 당해년도 총질소의 1/3정도가 분해되
 는 양상을 보이므로 1년차 유기농법 실시 독농가의 경우 유기질비료를 작물이 요구
 하는 수준을 계산하여 사용하여도 무방하나, 재배횟수가 경과할 경우 이전에 투입
 한 유기질비료로부터 가급태화되어 공급되는 질소량을 감안하여 유기질비료 사용량

을 결정하는 것이 타당하다. 그러하지 않을 경우 매년 관행적인 유기질비료 시용량을 계속 시용할 경우 토양중 질산태질소 함량이 증가하여 용탈의 위험성을 배제할 수 없게 될 수 있는 것이다(Alley, 1999 ; Beste, 1999 ; 홍, 1993 ; Kücke, 1999 ; 이, 1994 ; 박, 1999).

유기질비료의 인산은 대개 피틴태로 이는 곡물위주의 가축사양에서 많이 배설되고 있는데 이는 곡류에 저장된 피틴태 인산이 동물의 소화기관에서 분해되지 않기 때문이다. 그러나 토양에서는 분해가 되어 화학비료의 인산이 토양중의 Ca, Al, Fe과 결합하여 불용성으로 고정되는 것과는 달리 피틴태 인산은 가용성으로 토양에 잔류하게 된다(박, 1999). 따라서 토양수의 이동과 함께 지하수를 오염 시킬 위험성이 크며, 건조한 토양이 갈라져 crack이 형성되어 있을 경우 그 틈으로 쉽게 심토층으로 이동이 가능하고, 강우시 유거수와 함께 유실되어 강과 상수원을 오염 시킬 가능성을 배제하기 어렵다(Alley, 1999 ; Kücke, 1999). 또한 인산은 작물체에 5~10%내외가 흡수 이용되고 대부분이 토양중에 잔류하게 됨으로 3년 유기재배 농가의 경우 740kg/ha의 내외의 인산이 집적되는 결과가 될 수 있다. 칼리와 칼슘, 마그네슘, 철, 구리 등도 다량 집적될 수밖에 없고 이는 곧바로 염류집적도(E.C.)가 상승하는 결과를 낳게 되어 토양오염의 문제로 연결되는 것이다(손과 정, 1997 ; 손과 한, 1999 ; 김, 1999 ; 박, 1999).

이같은 현상은 영국의 유기농업연구소의 Stopes와 Philipps 연구팀이 화학비료를 시용하지 않고 두과작물과의 윤작체계하에서 가축분뇨를 적정량 시용한 유기농법 토양에서의 질산염 용탈은 거의 없다고 한 것이라든지(Elm Farm Research Centre, 1992), 독일정부 보고서(UBA, 1994)에서 유기농가의 윤작체계 도입으로 근권토양내 질산염 함량이 55kg/ha에서 12kg/ha로 줄어 들었다고 한 것 그리고 덴마크(Green peace, 1992)에서 유기농법 포장의 질산염 용탈량이 관행농법 포장에 비해 40%나 줄어 들었다고 한 일련의 유럽의 연구결과와 크게 상치되는 것이다.

그 이유는 유럽유기농법은 국제유기농업기준(윤작체계/가축마릿수/토양진단에 의한 최적시비)을 실시한 반면 한국유기농업은 전혀 이를 실행하지 않았기 때문이라고 볼 수 있다. 네델란드에서 퇴비를 과다사용시 토양에서 방출되는 무기태질소의 과잉을 초래하고 지하수의 질산염 오염을 심각하게 만들었기 때문에 이를 방지하기 위해 1987년도에 “퇴비행동프로그램”을 만들었다는(정, 1993) 사실에서 한국유기농업은 큰 교훈을 찾아야 할 것이다.

한편 Codex(1999)국제규격은 유기농법이 토양과 수질보호 등 환경친화적 기능을 수행하여야 함을 명시하고 있는 까닭에 한국유기농법은 토양비옥도 유지/증진책에 있어 환경친화적 기능 수행을 결코 소홀히 해서는 안된다. 국제규격에 명시된 여러 기술을 사용하여 환경친화적 기능을 수행토록 노력하여야 직접지불의 근거가 확보되고, CSA(Community Supported Agriculture)운동을 이끌어 낼 수 있으며, 환경친화형농업의 일환으로 자리매김을 할 수 있기 때문이다.

Tab 5. Average mineral contents of various animal manures and compost(RDA, 1994)

Animal	Manure form	%					
		Water	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Cattle	Raw	80.1	0.44	0.35	0.35	0.34	0.17
	Dry	28.0	1.65	1.84	1.74	1.61	0.76
	Compost (manure + sawdust)	65.5	0.59	0.62	0.68	1.02	0.24
Swine	Raw	69.4	1.10	1.70	0.46	1.26	0.48
	Dry	24.3	2.60	4.56	1.51	3.30	1.20
	Compost (manure + sawdust)	57.8	0.95	1.39	0.65	1.28	0.42
Polutry	Raw	57.1	2.31	2.22	1.45	2.47	0.49
	Dry	17.0	2.99	4.93	2.67	6.68	1.46
	Compost (manure + sawdust)	48.9	1.58	2.21	1.35	3.18	11.41

4) 환경친화적 기능제고를 위한 한국유기농법의 토양비옥도 유지/증진책 대안

그렇다면 한국유기농법이 이같은 염류집적 문제를 회피할 수 있는 환경친화형 토양비옥도 유지/증진책은 과연 무엇인가? 이에는 세가지 답변이 가능하다.

첫째, 토양진단에 의한 최적시비 처방에 의하여 퇴비사용량을 결정하는 방법이고, 둘째, 녹비/두과작물 재배의 윤작체계와 심근성작물 재배를 도입하여 실시하는 방법이며,

셋째, 국제규정과 정합성을 이루는 한국유기농법의 기본규약을 제정하는 방법이다.

토양진단에 의한 최적시비는 유축폐쇄순환농법이 시행되지 않고 있는 우리나라와 같은 유기농법 실시 조건에서는 대단히 중요하다. 경종면적크기에 따라 사육가능 가축마릿수가 배출분뇨량에 따라 정해져 있는 유럽의 경우에도 토양진단에 의한 최적시비가 권장 실시되고 있음에 비추어 우리와 같이 외부로부터 유기질비료축분을 도입하여 사용하는 경우에 단보당 2t과 같은 퇴비 추천사용량 제도는 유기질비료의 완효성을 감안할 때 필수적으로 받아 들여야 할 방법이라 아니할 수 없다. 작물의 수량을 정상적으로 유지하면서 환경(토양, 수질)에 부하를 주지 않고 질산염함량이 낮은 안전한 농산물을 생산할 수 있는 최적 유기질비료 사용량을 구명해 내는 과학적인 토양진단 방법이 한국 유기농업에서 가장 절실히 요구되는 현장애로기술중의 하나라고 할 수밖에 없다. 실제 농가포장에서는 농민들은 과연 얼마만큼의 유기질비료를 사용하여야 가장 알맞는 시비처방이 될 것인지를 정확히 알 수 없어 고민하고 있으며, 아직도 많은 농민들은 기존과 같은 경험에 의한 유기질비료 사용량 결정방법에 따르고 있는 것으로 알려지고 있다. 작물의 적정생육을 도모하기 위해서는 작물생육에 요구되는 영양분을 지나치거나 부족함이 없이 공급할 수 있도록 하기 위해 토양검정을 통해 토양에 어떤 종류의 양분이 어느 정도 함유되어 있는가를 알아야 구체적인 최적시비법이 가능하기 때문이다. 토양진단 최적시비법에 대해서

는 다음 항에서 설명키로 하며, 윤작체계와 심근성 작물에 대해서는 이미 전항에서 언급하였으므로 중복설명을 피하기로 한다.

두과/녹비작물 재배의 윤작체계와 심근성작물 재배 실시가 모든 유기농법 현장에서 실시되도록 이를 반드시 실시토록 의무화하는 토양비옥도 유지/증진책을 수용하는 한국유기농법 기본규약을 하루속히 제정토록 하여야 하며 이 내용은 Codex (1999)와 IFOAM(1997)의 국제유기농업 규정과 정합성을 이루어 나가도록 하여야 한다. 왜냐하면 이들 국제규정중 토양비옥도 유지/증진책은 발작물에 관한 한 이미 환경영향평가 등을 거쳐 과학적으로 토양과 수질보전에 환경친화적임이 수차례 여러 국제기관과 정부에 의해 검증된 기술을 담고 있기 때문이다.

더욱이 Codex 발효가 멀지 않았고, 2002년까지 환경농산물(유기농산물이 포함)을 총 농업생산의 3% 수준으로 끌어 올리겠다는 정부의 야심찬 계획이 있고 보면, 이젠 사회적 정의의 실현을 위해서도 유기농법의 환경친화성에 대한 과학기술적 잣대에 의한 검토가 회피할 수 없는 추세가 될 것인바, 이제는 겹허히 두과작물(맥류, 진주조, 수수, 옥수수, 메밀 등)/녹비작물(자운영, 클로바류, 알팔파, 베치류 등)/심근성작물 재배를 실시하는 방법으로 유기농법의 방향을 전환하여야 할 것이다.

5. 유기농법을 위한 유기질비료 최적시비량 처방

1) 유기질비료의 질소 가급화비율

퇴비, 가축분뇨, 액상분뇨와 같은 유기질 비료원이 시비 등의 목적으로 농경지에 투입되어질 때 유익한 작용 뿐만 아니라 유해한 작용을 유발할 수도 있음을 간과해선 안 된다. 적절하게 사용되었을 때 유기성 폐자원은 질소를 공급함으로써 토양 생산성을 향상시킬 수 있고 안전하게 처리되어 질 수 있지만 부적절 량이나 방법으

로 사용되면 지하수와 지표수의 질소함량을 과다하게 증가시킬 수 있고 환경과 그리고 인간과 가축에 각각 위협을 줄 수 있다(Beste, 1999).

가축분뇨, 퇴비, 액상분뇨는 무기태와 유기태질소를 함유하고 있는데, 암모니움(NH_4^+) 및 질산염(NO_3^-)과 같은 무기태질소 형태는 식물에 의해 쉽게 흡수 가능한 상태이나, 질소의 유기태 형태는 식물체에 흡수 이용되기 전에 무기태질소의 형태로 무기화 되어져야 하거나 또는 분해되어져야만 한다.

무기화작용이란 단순하고 균일한 과정이 아니므로 무기화작용은 축산분뇨, 퇴비, 액상분뇨와 유기질비료의 이질적 성분 및 개별 질소형태들의 각기 다른 무기화 작용 때문에 대단히 크게 달라질 수 있다. 그러므로 유기질비료에 함유되어 있는 유기태질소 중에서 식물체에 흡수 가능한 질소의 양이 얼마인가를 정확히 분석해 내는 것은 때로 어려운 일이다. 따라서 예측 불능의 무기화율과 살포 유기질비료의 불균일성은 토양중의 무기태질소의 과다집적을 일으킬 수 있다. 토양 무기태질소의 과다집적은 곧바로 지하수 또는 지표수로 운반되어 질 수 있다. 질산염은 토양중에서 동태적이며 용탈, 지표하 박층유동, 지표 유거수에 의해 지하수 및 지표수로 쉽게 이동되어 질 수 있다. 분뇨와 액상분뇨의 농경지 살포는 지하수오염의 주요 원 인중 하나로 알려져 있다. 뿐만 아니라 암모니움은 침식 토양입자 또는 유거수와 함께 지표수로 이동되어질 수 있는 것이다.

식수내 질산염 함량이 높을 경우 인체내 소화과정중에서 질산염이 박테리아에 의해 아질산염(NO_2^-)으로 환원되어 인간에게 위협적일 수 있다. 아질산염은 유아에게 있어 청색증을 유발할 수 있고, 아민류와 작용하여 실험동물에게 암을 유발한다고 알려져 있는 N-nitroso 화합물들을 생성할 수 있다(Alley, 1999; Miwa & Miwa, 1995). 10ppm을 초과하지 않는 식수내 질산태질소 함량은 안전하다고 추정되고 있어 이를 우리나라도 식수내 질산태질소 허용기준으로 정하고 있는 것이다. 아질산염의 독성은 사료와 물에 질산염이 많이 함유되어 있을 경우 가축에서도 나타날 수

있다. 가축의 만성적 아질산염 중독은 신경성 식욕부진증, 혈관 확장, 저혈압, 유산, 우유분비기간 단축 등을 야기 시킨다. 질산태질소 100ppm까지가 함유된 식수가 가축에게 적당한 식수원 이라고 한다(Alley, 1999).

토양 유기물에 함유되어 있는 양분 중에서 무엇보다 가장 중요한 것은 질소이다. 토양 총질소의 90%는 유기태질소로, 유기물이 분해될 때 유기태질소중에 들어 있는 잠재적 무기화질소(potentially mineralizable nitrogen)가 가동화되어 무기태질소로 공급된다(Paul & Clark, 1996 : Stevenson, 1994).

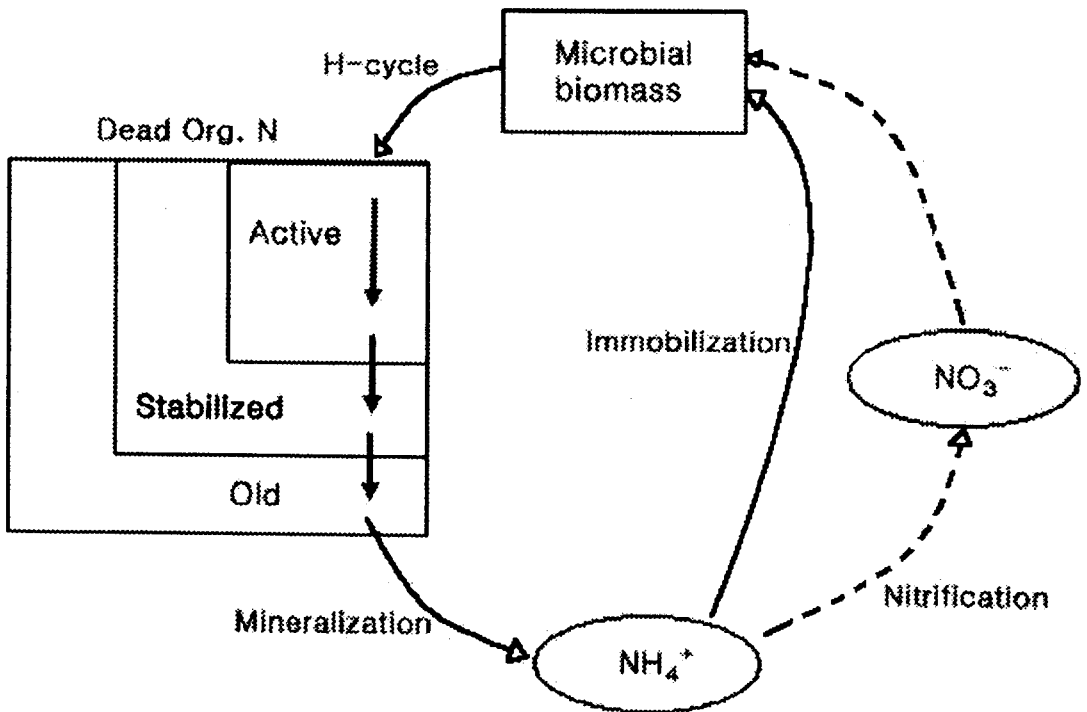


Fig. 1. Nitrogen cycle in soil(Jansson and Persson, 1982)

Fig. 1에서 볼 수 있듯이 토양질소의 분해 및 형성과정은 미생물 생물량(Microbial biomass)과 연관관계가 있다. 미생물 생물량에 고정되어 있는 질소는 생존한 생물량의

유기체가 죽은 후에 가장 빨리 무기화되는 질소분획이다. 이분획은 활동성인 토양 유기물 분획(active soil C)로서, 짧은 기간 안에 식물에게 흡수될 수 있는 유기질소의 Pool이며(Schnürer & Rosswall, 1987), 이 질소의 양은 대략 ha당 30-360kg 라고 한다(Anderson and Domsch, 1987 ; Azam 등. 1986 ; Myrold, 1987).

위의 Fig. 1에서 활동성인 토양유기물 분획(active soil C compound)은 대개 1.5년 이내에 쉽게 분해되어 유기태질소를 가급태화 시켜 NH₄-N, NO₃-N과 같은 무기태질소의 형태로 공급해 준다.

Alley(1999)에 의하면 퇴비중에 들어 있는 전질소는 1년에 30% 가량이 가급태화되어 작물에 흡수 이용되거나 토양용액에 녹아 들어가게 된다(〈표 6〉 참조). 한편 유기태질소의 무기화비율은 5~15% 내외라고 하며, Delaware, Maryland, North Carolina州 등 미동부 지역에서는 10% 정도라고 한다(〈표 7〉 참조).

〈표 6〉 시용당일 토양혼입/주입 돈분 우분 및 돈우분 퇴비의 1차년도 질소의 가급화 비율

Fraction	Compost	Lagoon sludge ²⁾	Slurry ³⁾
Total-N (Cattle)	30%	58%	57%
(Swine)	30%	63%	60%
Organic N (우분)	-	40%	40%
(돈분)	-	40%	40%

1) Delaware州, North Carolina州, Pennsylvania州의 평균치임.

2) Lagoon sludge : 혐기적 Lagoon 밑바닥에 침전된 고형물, 매 4-8년마다 펌핑해 살포함.

3) 액상분뇨 slurry : 매일 배출되는 세척시 발생하는 분뇨현탁액.

〈표 7〉 퇴비에서 무기화되는 초기 유기태질소의 비율(%)

구 분	시 용 후 년도									
	0-1년	1-2년	2-3년	3-4년	4-5년	5-6년	6-7년	7-8년	8-9년	9-10년
퇴 비	5-15	5	3	3	3	3	3	3	3	3
(미동부 평균)	(10.5)	(5)	(2.8)	(2.3)						
- DE州	10	5	3	3	3	3	3	3	3	3
- MD州	10	5	2	1	-	-	-	-	-	-
- NC州	10	5	3	3	3	3	3	3	3	3

* DE : Delaware州, MD : Maryland州, NC : North Carolina州.

유기물함량에 따라 가급태질소함량을 추정하는 시비법이 국내에서 개발되어 보급된바 있는데 바로 이러한 이론에 근거한 것이다. 그러나 이 방법은 유기질비료의 축분 모재료와 축분혼합비율에 따라 유기태질소 함량이 다를 수 있고 따라서 가급태질소함량도 크게 달라질 수 있다는 점을 감안할 때 보다 정밀한 토양질산염진단법, 즉 가급태화된 $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 함량을 토대로 최적시비 처방을 내려주는 토양질산염진단법이 합리적이라고 할 수 있겠다.

2) 토양검정에 의한 유기질비료 최적시비량 처방 이론

한국유기농업이 안고 있는 가장 큰 문제점중의 하나는 “유기질비료는 얼마를 시용해야 하는나”이다. 왜냐하면 그동안 유기질비료 과다시용으로 인한 유기농가 토양의 염류집적과 그로 인한 질산염, 인산염 용탈 문제가 제기되어 왔기 때문이다.

그러나 우리나라에서는 토양진단을 통해 유기질비료를 얼마나 시용하는 것이 가장 적절한 것인지에 대해서는 전혀 알려진 바가 없이 유기질 비료는 많이 시용할수록 좋다는 막연한 믿음만이 일반적으로 통용되어 왔던 것이다. 따라서 유기농업을 실시하는 독농가들은 값비싼 유기질 비료를 다량 시용하는 것이 관행으로 되어 왔고 유기물을 다년간 다량시용하여 유기물 함량이 높을수록 유기농업을 완전하게 실시한 것처럼 생각해 왔던 것도 사실이었다. 즉 적정 유기물 시용량에 대한 개념이나 시용량 규명 연구, 또는 환경 영향 평가(정 등, 1996)가 전혀 이루어지지 않은 채 경험에 의한 개별 유기농가의 유기물 시용이 여태껏 실시되어 왔던 것이다.

유기농법을 실시하는 농가포장에서 최적유기질비료의 시용량을 어떻게 결정해야 하는지를 규명하는 것에 목적을 두고, 토양질산염진단법에 의한 시비처방의 결과 유기질비료를 사용하지 않아도 된다는 판단에 따라 무비구와 관행 시용량을 시비하는 보비구를 두고 천안의 유망작목반 오이재배 포장에서 실시한 결과, 현재와 같은

작목별 고정 추천시비량(20t/ha)에 의한 시비법보다는 토양진단을 통한 포장별 작목별 최적시비처방 계산 후 토양비옥도를 감안하여 최적시비량을 가감하여 결정하는 방법이 염류소 함량도 높고 오이수량도 13% 가량 높아 가장 합리적인 것으로 평가된다.

염류집적 정도를 나타내는 EC는, 토양진단 최적시비처방 결과에 따라 퇴비를 사용하지 않았던 무비구(0t/ha)에서 EC값이 1mS/cm 내외를 유지하였으나 농가에서 이전까지 관행적으로 사용해 오던 퇴비량을 사용한 관행퇴비시용구(60t/ha)의 경우 1.15mS/cm에서 시용2주만에 2.4mS/cm로 급상승하였다가 이후 1.7~1.9mS/cm 정도를 유지하여 유기농업 실시 독농가가 과다퇴비 시용으로 염류가 집적되었다. 이 같은 양상은 질산태질소 함량의 변이추세에서도 나타나, 3월 중순경의 0-30cm 표토층에 존재했던 막대한 량의 질산태질소는 30-60cm 심토층으로 서서히 이동하는 양상을 3월~4월의 경시적 변이에서 나타났다. 이같은 사실은 지난 4년간에 걸쳐 3작기 오이를 재배하면서 매 작기때 마다 관행적으로 사용해온 퇴비성분이 토양 근권층에 많이 남아 있어서 퇴비를 사용하지 않은 관행적 퇴비시용구에서 조차 질산염이 지하로 용탈되어 지하수오염을 일으키고 있음을 보여 주었다. 염류소함량 측정 결과와 草高에서도, 유기질비료를 사용하지 않은 무처리구와 관행적 퇴비시용구에서의 차이는 없었다

토양질산염진단에 의한 최적 유기질비료 시용량 결정방법(정 등, 1996 ; Commonwealth of Virginia, 1995)은 미국과 독일을 비롯한 선진농업국에서 개발되어 농가에서 사용되고 있는 실용화된 최적시비기술이나 아직까지 국내 유기농업계에서는 이를 적용하지 못하고 있었다(손과 Alley, 1996). 토양질산염진단법에 의한 최적시비기술은 일거에 유실될 가능성이 있는 무기질비료 의존 관행농법에서 보다 유기질비료의 무기화율에 의한 질산염 공급이 지속적으로 유지되는 유기농법 토양 및 시비조건에서 그 정확성이 높다고 알려져 있다(Kücke, 1999).

토양진단에 따른 최적시비법은 현재의 작목별 고정 추천시비량 시비법에 비해 다음과 같은 몇가지 실질적 효과를 기대할 수 있다. 적정 유기질비료의 시용량을 각 필지별로 보다 정확함으로서 유기농업 독농가들의 가장 큰 애로사항중의 하나인 막대한 유기질 비료의 생산비(또는 구입비)를 줄여 비용절감 효과를 기대할 수 있고, 최적 수준의 유기질비료의 시용을 각 필지별로 가능케 함으로서 유기질비료 과다시용으로 인한 토양의 염류집적, 지하수 및 수질오염 등을 방지할 수 있다.

한편 토양질산염진단법과 토양비옥도에 의한 시비량 조절을 통한 최적 시비법은 포장별로 최적량의 시비량을 제시할 수 있다는 장점이 있는 반면, 개별 포장단위별로 매작기 직전에 토양시료를 채취하여 분석해야 한다는 번거로움이 있다(손과 Alley, 1996 ; Kuecke, 1999). 그러나 유기농업이 추구하는 목표인 환경친화적이 기능과 안전농산물 생산 기능에 충실하고자 한다면 유기농가는 토양질산염진단법에 의한 최적시비법은 마땅히 도입되어 실천해야 한다.

독일의 경우 최적시비량을 결정할 때 점토함량, 유기물함량, 토양산도와 같은 토양화학적 특성과 토양미생물의 활력, 근의 신장력, 근권깊이, 보수력과 같은 토양물리적 특성을 고려하여 토양비옥도를 척박/비옥 수준에 따라 5개 등급으로 나누어 유기질비료의 무기성분 공급량을 전체 시비량에서 가산 또는 감산하여 결정하는 방법을 채택하여 왔었다(BML, 1994 ; Kuecke, 1999). 미국에서도 시비량을 결정할 때 토양비옥도에 따라 토양을 4개 등급으로 나누어 적용하고 있다(Donohue & Heckendorn, 1994 ; 손과 Alley, 1996).

이 방법과 같이 최적시비량을 결정할 때는 <표 8>에서와 같이 우선 토양의 물리적 특성, 화학적 특성 그리고 미생물적 활력 등을 고려하여 토양을 5개 등급으로 분류한 후 토양 등급에 따라 최적시비량을 10-20% 정도를 가감하는 것은 현재 우리나라 유기농업에서 권장되고 있는 고정된 $2t/ha$ 추천시비량 시비법보다는 일견 진일보된 것으로 생각할 수 있다. 이 시비법의 원리를 따를 경우 토양비옥도(물리적, 화학적

및 미생물적 요소를 모두 포함하는 유기농업 토양의 토양비옥도 척도를 말함)를 기준으로 과부족(--), 부족(-), 적정수준, 과다(+), 중과다(++) 등 5개 등급으로 나누고 각 등급별로 10-20%씩의 질소시용량을 가감하여, 20kg N/10a의 유기질비료 시용이 희망 작물재배의 추천시용량인 경우, <표 8>에서 보는 바와 같이 토양비옥도가 과부족한 농가토양의 경우 20%를 추가하는 24kg N/10a를, 토양비옥도가 부족한 농가토양의 경우 22kg N/10a를, 적정수준의 토양비옥도를 갖고 있는 농가포장은 20kg N/10a를, 토양비옥도가 과다수준인 농가포장은 18kg N/10a를, 토양비옥도가 지나치게 높은 토양의 경우 16kg N/10a를 사용하는 것이 되겠다.

Tab 8. Nitrogen fertilization recommendation by soil fertility level for organic farming

Soil fertility level*	Recommendation rate for nitrogen fertilization (N kg/10a)
VH	16
H	18
M	20
L	22
VL	24

* Soil fertility level based on chemical, physical and biological factors of the organic soil, and VH represents for very high, H for high, M for moderate, L for low, and VL for very low respectively.

한편 최근 독일과 미국에서는 이같은 시비법에서 더 발전된 토양질산염진단법이 개발되어 보급되고 있다(Raupp, 1995). 작물재배 직전에 토양진단을 실시하여 토양의 무기태질소 공급량을 평가한 후 이를 토대로 재배 희망작물이 필요로 하는 질소 요구량과의 차이를 계산해 그 부족분을 유기질비료의 형태로 시비하는 토양질산염진단법에 의한 최적시비가 광범위하게 실시되고 있다. 이같은 토양질산염진단법에 의한 최적시비를 미국에서는 PSNT법(Pre-sidedress Nitrate Test)이라고 하고 (Schepers & Meisinger, 1994), 독일에서는 N_{min} 법(N mineralization method)이라

고 하나 그 토양진단과 시비원리는 대동소이하다고 볼 수 있다(Kücke et al, 1996 ; 손과 Alley, 1996 ; Sohn & Kücke, 1996).

N_{min} method에 의한 최적시비법의 원리는 <표 9>와 <표 10>에서 보는바와 같이 재배 희망작목과 포장의 토양비옥도에 따라 정해지는 N_{min} 시비목표치(Site-and crop-specific fertilization target value)에서 근권토양내 N_{min} 값을 빼주고 그 차이에 해당하는 질소량을 유기질비료의 형태로 사용하는 것이다(Scharpf & Wehrmann, 1991). 재배 희망작목과 포장의 토양비옥도에 따라 정해지는 N_{min} 시비목표치는 수량의 최대 확보와 NO_3 용탈의 최소화의 두가지 측면을 고려하면서 결정되는 것이다. 만약 시비목표치보다 근권토양의 N_{min} 값이 더 많을 때에는 작물체가 생육하는 동안 필요로 하는 질소 영양분 이상으로 많은 양의 질소가 이미 근권토양중에 존재하고 있다는 것을 의미함으로 작물재배전의 추가적인 기비나 추비의 형태의 시비가 필요없다는 것으로 해석할 수 있다.

이같은 토양진단에 의한 최적시비법은 잠재적 무기화 질소(Potential mineralizable nitrogen)를 토대로 하는 예측치에 근거하는 토양비옥도(또는 유기물함량)에 의한 시비법보다 정확도가 높다고 알려져 있는데 이는 토양진단 최적시비법이 토양중의 무기태질소함량을 파악하는 실측치에 근거하면서 토양의 비옥도와 작물의 양분요구도 등을 고려하고 있기 때문이라고 볼 수 있다.

Tab 9. Determination principle of fertilization rate by N_{min} target value(손, 1997)

Determination principle of N_{min} method	Crop (eg. vegetable which has a high target value)
Target value before cultivation	20kg N/10a
Amount of N_{min} in the rhizosphere	9kg N/10a
Actual N fertilization rate for crop cultivation	11kg N/10a

Tab 10. Crop-specific nitrogen target value by soil testing(N_{min} method) for organic farming by different nutrient need of crops

Crop-specific nitrogen target value(N_{min}) by soil nitrate testing		
High target value* (N_{min} value + N fertilization)	Medium target value** (N_{min} value + N fertilization)	Low target value*** (N_{min} value + N fertilization)
30kg N/10a	20kg N/10a	10kg N/10a
rape, broccoli, radish, chinese cabbage, lettuce	maize, wheat, spinach, leek	soybean, pea

* High target value, ** medium target value, *** low target value based on the nitrogen need of crop

토양진단에 의한 최적시비법을 토양비옥도 등급에 의한 시비량 조절과 연계시켜 실시한다면 더 좋은 결과를 기대할 수도 있다고 사료된다. 즉 <표 11>에서 볼 수 있는 바와 같이 유기농가 포장별로 그 토양의 물리적(사질 및 점토함량, 입단 형성 정도, 보수력, 근권토양의 깊이 등), 화학적(EC, CEC, pH, 무기영양분, 중금속 등), 미생물적(효소활성도, 미생물 밀도 등) 특성과 농가의 재배 희망작물의 질소요구도를 고려하여 질소비료목표치를 설정한 후 유기농가 포장별 토양시료의 무기태 질소함량에 대한 분석한 결과를 빼준 값을 산출하여 유기질비료의 형태로 사용하는 것이다. 우선 유기농법을 실시하는 농가포장의 토양을 토양비옥도에 의해 4-5개 등급으로 구분하고 척박/비옥도 수준에 따라 토양진단에 의한 질소비료목표치를 산정하고 유기질 비료의 사용량을 가산 또는 감산하여 사용하는 방법으로 보다 합리적인 방법이라고 할 수 있다. 그러나 유기농법 실시 농가 포장의 토양비옥도를 우리나라 실정에 적절하게 구체적으로 어떤 수치에 따라 등급화 해 나갈 것인지는 앞으로 연구해야 할 과제라고 생각된다.

Tab 11. Site-and crop-specific fertilization target value by soil testing(N_{min} method) for different crops (different N_{min} target value) and different soil fertility levels in organic farming

Application target rate by the nutrients need of crop	Site-and crop-specific fertilization target value by soil testing		
	High target value (N_{min} value + N fertilization)	Medium target value (N_{min} value + N fertilization)	Very low target value (N_{min} value + N fertilization)
Soil fertility level*	rape, broccoli, radish, chinese cabbage, lettuce	maize, wheat, spinach, leek	soybean, pea
VH	22kg N/10a	12kg N/10a	2kg N/10a
H	26kg N/10a	16kg N/10a	6kg N/10a
M	30kg N/10a	20kg N/10a	10kg N/10a
L	34kg N/10a	24kg N/10a	14kg N/10a
VL	38kg N/10a	28kg N/10a	18kg N/10a

* Soil fertility level based on chemical, physical and biological factors of the organic soil, and VH represents for very high, H for high, M for moderate, L for low, and VL for very low respectively

우리나라에서와 같이 유기농업 원예생산 활동의 대부분이 이 강우가 차단된 비닐 하우스 조건하에서 이루어 지고 있는 조건에서는 유기질비료가 분해되어 작물체가 흡수이용 할 수 있는 무기태질소로 변환되는데 영향을 주는 각종 인자(Rice & Havlin, 1994)들에 의한 무기화작용 속도의 차이가 노지조건에 비해 크지 않고, 더욱이 강우로 인한 질산염용탈의 가능성은 그리 많지 않다고 사료되기 때문에 노지 조건에 비해 토양진단에 의한 최적시비기술의 적용의 타당성이 높다고 사료된다.

일부에서는 유기질비료 다량시용 없는 유기농법을 실시하여 다년간 작물을 재배 하려고 할 때 토양중 질소가 부족하여 작물생육과 수량에 문제가 발생하지 않겠는가 염려하고 있으나, Jansson과 Persson(1982), Koepf 등(1996)의 보고는 일반 유기농업에서의 질소공급은 윤작체계의 작부방식에 따른 두과작물재배에 의한 질소고정과 뿌리 잔사량, 그리고 녹비작물의 잔유물에 함유된 유기물이 분해되어 분획물

로 부터 가동화된 양과 가축분 또는 가축분퇴비의 시용으로 공급되는 질소의 양으로 충분하다는 것이다.

끝으로 곡류 농후사료 위주의 축분과 이를 주재료로 제조한 유기질비료를 사용할 경우는 질산염 뿐만 아니라 인산염에 대한 동일한 처방기준이 필요하며 이에 대한 연구결과도 병행되어 현장에서 최적시비처방으로 실시되어야 한다고 사료된다.

6. 결 론

한국유기농법의 토양비옥도 유지/증진책의 근본적인 문제점은 한국유기농업이 「국제유기농업 기본규약」의 「토양비옥도 증진을 위한 최저요구사항」에 나타난 윤작 체계 도입, 녹비작물과 두과작물의 재배, 적정 가축마릿수 사양을 통한 가축분뇨 사용, 토양진단에 의한 최적시비 등과 같은 핵심기술들을 수용하지 않고 유기질비료 사용에만 의존하는 유기질비료농법을 아직도 견지해 오고 있다는 데 있다. 이 결과, 유기농업토양의 염류집적과 고 질산염, 고 인산염 함량으로 토양이 오염되고 수질오염의 위협성까지 야기하기에 이르렀다. 그러나 최근에는 유기농법 독농가에서 관행적으로 이루어지는 유기질비료의 과다투입은 한국유기농업계가 가장 시급히 해결해야 할 과제라는 인식이 점차 확산되고 있다.

한국유기농업계는 하루속히 ① Codex와 IFOAM 국제규약의 「토양비옥도 증진을 위한 최저요구사항」에 나타난 윤작체계 도입, 녹비작물(맥류, 수수, 진주조, 옥수수, 메밀 등)과 두과작물(자운영, 클로바류, 알팔파, 베치 등)의 재배, 심근성작물 재배 등과 같은 핵심기술들을 적극 수용하고, ② 토양검정, 즉 토양질산염진단에 근거한 유기질비료의 최적시비 처방법을 실시하고, ③ 국제규약과 정합성을 이루는 한국유기농법 기본규약을 제정하여 준수하는 것이 타당하다고 판단되었다. 이 같은

제반조치는 유기농업이 본래 추구하는 환경친화적 기능을 제고시키고, 직접지불의 근거를 확보하는데 기여 할 것으로 본다.

참고문헌

- Alley, M. (1999) : Personal communication. Dept. of Environmental Soil Science and Agronomy, Virginia Polytech Institute of State University, Blacksburg/Virginia, USA.
- Anderson, J.P.E. and Domsch, K.H. (1978) : Mineralization of bacteria and fungi in chloroform fumigated soils. *Soil Biol. Biochem.* 10 : 207-213.
- Azam, F., Malik, K.A. and Hussein, F. (1986) : Microbial biomass and mineralization-immobilization of nitrogen in some agricultural soils. *Biol. Fertl. Soils* 2 : 157-163.
- Bannick, C.G. and Ziechmann, W. (1991) : Huminstoffbildung während der Kompostierung. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 154 : 233-236.
- Beste, A. (1999) : Bodennutzung : zum "Wie?" gehoert auch die Frage "Fuer wen?". *Oekologie & Landbau* 112 : 40-112.
- Bioland (1994) : Bioland Richtlinien fuer Pflanzenbau, Tierhaltung und Verarbeitung.
- BML (1994) : Richtlinien fuer die sachgerechte Duengung. Ministry of Agriculture. Bonn/Germany.
- 정길생 · 손상목 · 이윤건 (1996) : 선진 유럽유기농업의 환경보전적 기능과 안전농산물 생산. *한국유기농업학회지* 5(1) : 45-66.

- Codex (1999) : Draft guidelines for the production, processing, labelling and marketing of organicaaly produced foods. *In* : Report of the twenty-sixth session of the codex committee on food labelling. ALINORM 99/22, Pages 71.
- Commonwealth of Virginia (1995) : Virginia Nutrient Management Standards and Criteria. DCR, Conserving Virginia's Natural and Recreational Resources. Pages 64.
- Donohue, S.J. and Heckendorn, S.E. (1994) : Soil Test Recommendations for Virginia. Virginia Cooperative Extension. Blacksburg/USA. Pages 155.
- Elm Farm Research Centre (1988) : Nitrogen Mineralisation in Organic Ley/Arable Farming Systems. Research Notes No.7, Pages 11.
- Green peace (1992) : Oekologische Landwirtschaft in Europe-der Schrift in die Zukunft und wer ihn verhindern will.
- Hampl, U. (1999) : Projekt Oekologische Bodenbewirtschaftung-Ergebnisse. Oekologie & Landbau 112(4/1999). Pages 52.
- 홍종운 (1993) : 유기자원의 활용현황과 전망. 환경보전을 위한 토양관리 심포지움, 한국토양비료학회. pp.31-67.
- IFOAM (1997) : Basisrichtlinien, SOEL Nr.16, Pages 46.
- Jansson, S. and Persson, J. (1982) : Mineralization and Immobilization of Soil Nitrogen. *In* : F.J. Stevenson, Nitrogen in agricultural soils, pp.229-248.
- 정말레 (1993) : 세계 가축분뇨 처리 대책의 새로운 방향. 서울우유 25(8) : 64-70.
- 김복진 (1999) : 친환경농업과 흙살리기. 제4회 농업인의 날-흙을 살리자 심포지엄. 농협중앙회. 13 Pages.

- Kohl, A. (1988) : Zur Bedeutung des leicht mobilisierbaren Bodenstickstoffs bei der Prognose des N-Düngerbedarfs von Zuckerrüben unter besonderer Berücksichtigung der mittels Ekektro-Ultrafiltration (EUF) erfassbaren N-org-Fraktion. Diss. Bonn.
- Koepf, H.H., Schaumann, W. and Haccius, M. (1996) : Biologisch-dynamische Landwirtschaft, Verlag Eugen Ulmer.
- Kücke, M. Han, I.A. and Sohn, S.M. (1996) : Implication of Examination of the Mineral Nitrogen Dynamics in Korea and Germany for N Fertilization Recommendations and Environmental Protection in Asia. Eds. Ishii, R. and Horie, T, Crop Research in Asia : Achievements and Perspective. Asian Crop Science Association, March 1996. pp.462-463.
- Kücke, M. (1999) : Personal communication. Institute of Crop Sciences, Federal Agricultural Research Centre. Braunschweig/Germany.
- 이상규 (1994) : 유기농업에 관한 연구. 농촌진흥청 특정과제최종보고서.
- Magdoff, F. (1992) : Building Soils for Better Crops. Organic Matter Management. University of Nebraska Press. USA. Pages 176.
- Miwa, M. and Miwa, K. (1995) : Carcinogenicity of NO. Experimental Medicine 13(8) : 118-121.
- Oshins, C. (1995) : Strategies for Encouraging the Use of Organic Wastes in Agriculture. In : Agricultural Utilization of Urban and Industrial By-Products. ASA Special Publication 58 : 73-86.
- Paul, E.A. and Clark, F.E. (1996) : Soil microbiology and biochemistry. 2nd ed., Academic Press.
- Piekielek, W.P. Fox, R.H. Toth, J.D. and Macneal, K.E. (1995) : Use of a Chlorophyll Meter at the Early Dent Stage of Corn to Evaluate Nitrogen Sufficiency. Agronomy Journal 87(4) : 403-408.

- Piekielek, W.P. and Fox, R.H. (1994) : Use of a Chlorophyll Meter to Predict Sidedress Nitrogen Requirements for Maize. *Agronomy Journal* 84(1) : 59-65.
- Raupp, J. (1995) : Main effects of various organic and mineral fertilization on soil organic matter turnover and plant growth. *Fertilization Systems in Organic Farming*. Publications of the Institute for Biodynamic Research, Vol.5. Pages 58.
- Recel, M.R. (1994) : Use of Bio-organic Fertilizers in Agriculture Production in the Philippines. *In*: International Seminar on the Use of Microbio and Organic Fertilizers in Agricultural Production. held in June 14-15 1994 in Suweon, organized RDA & FFTC, Pages 18.
- Rice, C.W. and Havlin, J.L. (1994) : Integrating Mineralizable Nitrogen Indices into Fertilizer Nitrogen Recommendations. *In*: eds. Havlin, J.L. and Jacobsen, J.S., *Soil Testing : Prospects for Improving Nutrient Recommendations*. SSSA Special Publication 40 : 1-14.
- Scheffer, F. and Ulrich, U. (1960) : *Lehrbuch der Agriculturnchemie und Bodenkunde*. III. Teil, Bd. I : Humus und Humusdüngung. Enke, Stuttgart.
- Schepers, J.S. and Meisinger, J.J. (1994) : Fields Indicators of Nitrogen Mineralization. *In*: eds. Havlin, J.L. and Jacobsen, J.S., *Soil Testing : Prospects for Improving Nutrient Recommendations*. SSSA Special Publication 40 : 31-48.
- Standford, G. (1982) : Assesment of soil nitrogen availability, *In*: F.J. Stevenson : nitrogen in agricultural soils. *Agronomy*22, Madison, Wisconsin, USA, pp.651-683.
- Stevenson, F.J. (1994) : *Humus chemistry : Genesis, Composition, Reactions* (2nd Ed.). John Wiley and Sons. Inc., New York.

- 손상목 (1995) : 주요 유럽 농업선진국의 환경보존형 지속농업 실태와 한국의 접근 과제, 한국국제농업개발학회지, 7(2), pp.138-155.
- 손상목 (1997) : 질소영양 및 생리측정. 농업과학기술총서 2집. 「작물재배생리의 이론과 실험」. 농촌진흥청. pp.595-640.
- 손상목, Alley, M.A. (1996) : 적정질소시비를 위한 미국의 토양 질산염 진단법과 이용현황. 국제농업개발학회지 8(1) : 24-33.
- Sohn, S.M. and Chung, K.S. (1997) : Development, Issues and Prospects of Organic Agriculture in Korea. Journal of Korean Organic Agriculture 5(2) : 71-84.
- 손상목 · 정길생 (1997) : 한국 환경농업의 성공적 정착을 위한 기술적 및 정책적 접근과제. 한국유기농업학회지 5(2) : 13-36.
- 손상목 · 한도희 (1999) : 팔당상수원 보호구역내 유기농법 실시 독농가 포장의 토양 화학성 특성. 한국토양비료학회지(투고예정) .
- 손상목 · 김영호 (1995) : 국제유기농업 기본규약과 한국유기농업 실천기술의 비교분석 연구. 한국유기농업학회지 4(2) : 97-136.
- 손상목 · 김영호 · 한도희 (1996) : 관행농법, 시설재배 및 유기농법 재배지 토양의 화학적 특성과 배추, 상추의 NO_3^- 집적량 차이. 한국유기농업학회지 5(1) : 149-165.
- Sohn, S.M. and Kücke, M. (1996) : Investigation on the Dynamic of NO_3 in Barley Rhizosphere and its Suitability for N-Fertilization Strategies and Environmental Control. Eds. R.Ishii and T.Horie, Crop Research in Asia : Achievements and Perspective. Asian Crop Science Association, March 1996. pp.460-461.
- 손상목, Kücke, M., 한인아 (1995) : 질산태 질소의 보리 근권토양내 동적변화와 Nmin 토양진단법에 의한 적정 질소추비량 결정. 한국작물학회지 40 : 185-194.

- 손상목, Kücke, M., 이윤건 (1997) : *E. coli* cell을 이용한 식물체, 토양, 수질의
질산태 질소 분석방법. 한국토양비료학회지 30(4) : 361-369.
- Scharpf, H.C. and Wehrmann, J. (1991) : Fachgerechte Stickstoffdüngung.
AID 1017. Bonn/Germany. Pages 35.
- 박천서 (1988) : 토양비옥도. 한국토양비료학회지 21(S1) : 71-109.
- _____ (1999) : 개인면담. 단국대학교 한국유기농업연구소.
- UBA (1994) : Berichte 2/94, Stoffliche Belastung der Gewässer durch die
Landwirtschaft und Massnahmen zu ihrer Verringerung. Umwelt
Bundesamt, Pages 208.
- Willer, H. (1998) : Oekologischer Landbau in Europa. SOEL, Germany, Pages
400.