

두과·녹비작물 재배를 통한 유기농법 토양비옥도의 유지와 증진

장경란·손상목

단국대학교 한국유기농업연구소¹⁾

Sustenance and Enhancement of Soil Fertility for Organic Farming by Legumes and Green Manure

Chang Kyong - Ran · Sohn Sang - Mok

Research Institute of Organic Agriculture, Dan Kook University, Cheonan 330 - 714, Republic of Korea

ABSTRACT

An organic agriculture should be managed by mixed farming in farm unit as a closed recycling system. Due to restricted purchase of fertilizers from outside, organic farmer has to deal with limited amount of nutrient source in farm unit. Especially the supply of the essential nutrient, nitrogen, mostly depends on legumes fixing nitrogen optimizing the site-adapted crop rotation.

Dynamics of humus and metabolic plant carbon and active soil carbon compartment in active and passive humuspool by rotation system was explained, and dynamics of potentially mineralizable nitrogen in organic nitrogen and biomass was discussed. It was also discussed comparison of ammonia emission, potential greenhouse effect, primary energy input, acidification potential, CO₂ emission between organic and conventional farming, the nitrate-nitrogen dynamic in the soil profile by organic, integrated and conventional farming system.

In conclusion, it was suggested for Korean Organic Agriculture that the importance of legumes and green manures in rotation system for increase/maintenance of soil fertility, and was pointed out the need of investment for environmental impact of Korean organic farming implement.

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

I. 서 언

환경친화형농업, 지속농업형태인 생태학적농업, 즉 유기농업을 추진하게 된 것은 다수확생산을 위주로 하는 일반 관행농업에 의해서 수질, 대기 및 토양이 오염되고 생태계 등이 파괴되는 심각한 환경문제를 해결하고자 하는 의지와 고품질 안정성농산물에 대한 요구에서 비롯된다. 특히 일반 관행의 농업방식에서 아가되는 질산염 용탈에 의한 지하수오염 등에 대한 환경문제 및 식물체내의 질산염과 잔류농약성분에 의한 농산물 품질저하로 인한 문제가 심각하게 대두되었다. 토양 내로의 질산염 농도의 증가로 많은 동·식물의 종이 멸종 위기에 처해 있으며 농경지대의 잡초의 종도 현저히 줄어들어 자연생태계의 불균형을 초래하고 있다.

유럽연합(EU) 위원회는 식수의 질산염함량을 50mg/l로, 채소작물 식물체의 질산염함량을 각 채소별, 재배시기별로 차이를 두어 기준치를 정하여 놓고 있으며, 잔류독성물질은 0.0001mg/l로 기준치를 정해놓고 있는데, 특히 비소는 0.04mg/l, 시안화물은 0.05mg/l, 그리고 수은은 0.001mg/l로 그 기준치를 정해놓고 있다. 각 유럽국가들은 이 기준치를 초과하지 않기 위한 친환경농업을 실시하고 있다.

환경을 보존하는 지속농업의 일환으로 INM(= Integrated Nutrient Management, 종합양분관리) 및 IPM(= Integrated Pesticide Management, 종합병충해방제)을 위주로 하는 형태의 농업이 1967년부터 독일을 시초로, 1987년에는 전 유럽국가에서, 나아가서는 1993년부터 전 세계적으로 시도되고 있으나 환경오염문제를 잠재울 수 있는 농업형태로까지는 발전되지 못한 현 실정에 직면하게 되었다. 따라서 무기비료의 사용을 억제하고 유기물을 사용 함으로써 토양내의 양분용탈이 방지되어 토양을 건강하게 유지하고 생태계를 보존하면서 인체에 해롭지 않은 안전 농산물을 생산하는 유기농업이 자연환경을 보존하기 위한 하나의 일환으로 대두되고 있으며, 미래의 농업으로 전환되어야 함이 마땅하다는 주장들이 많이 대두되고 있다.

독일, 영국, 네덜란드를 비롯한 유럽의 유기농가들은 IFOAM(International Federation of Organic Agriculture Movement, 국제유기농업운동연맹) 및 EU(Europe Union)가 정해놓은 기본 규약, 즉 IFOAM Basic Standard과 EU Regulation에 준하여 영농을 영위하는 농가들이다. 위의 두 단체가 정한 유기농업작부방식에 의한 규약 중에는 토양비옥도를 유지·증진하기 위하여 윤작을 하고 두과작물 및 녹비작물을 기본적으로 재배하여야만 하는 것으로 규정하고 있으며, 작물이 생육에 필요로 하는 질소요구량을 충족시키지 못할 경우에 가축분이나 가축분퇴비를 제한적으로 사용할 수 있는 것으로 규정하고 있다. 따라서 본고는 유기농업에 있어서 질소의 공급원으로서 뿐만 아니라 토양비옥도 증진원으로서 필수적으로 전체 작부체계에 25~50%정도로 높은 비중을 두어 재배되는 두과작물, 녹비작물의 양분효율성을 파악하는데 중점을 두었다. 유기농업이 목표로 하는 토양비옥도의 유지와 증진을 위하여 토양비옥도와 관련이 있는 유기물, 즉 부식과의 관계를 고찰하고자 하였으며, 특히 녹비·두과작물의 전작물로서의 질소공급효과를 분석하였다.

주로 퇴비를 사용하는 농법으로 제한되어 있는 우리 나라 유기농업의 더 나은 과학적인 발전을 위하여 윤작체계에 있어서 두과작물, 녹비작물재배에 의한 지력향상 및 유기농법이 환경에 미치는 영향 등을 작물재배학적인 관점에서 파악하고자 하였다.

II. 유기농업에서의 토양비옥도와 유기물, 부식과의 관계 및 중요성

유기농업의 목표는 토양비옥도를 유지·증진시키는 것이며 이를 위해서는 토양에 어느 정도 기준치(필요량)이상의 충분한 부식함량을 유지하여야 한다. 부식물질은 미생물에 쉽게 분해되는 비부식성물질과 부식성물질(Humus)로 구성되어있다. 부식물질은 부식산(humic acid), 풀브산(fulvic acid), 휴민(humin) 등으로 구성되어 있으며, 부식산이 부식물질의 주를 이루고 있다(Scheffer and Ulrich, 1960). 부식물질은 퇴비화과정에서 많이 생성되며(Waksman, 1939), 부속이 진전될수록 부식산의 함량이 증가된다고 한다(Bannick and Ziechmann, 1991). 부식물질은 무정형의 암갈색이고, 고분자성물질로 작용기가 많아 토양의 물리성 개선효과(토양 입단 형성, 투수력·보수력을 향상시키며, 지온을 향상)와 화학적 개량효과(양이온 치환용량증대, 토양완충능 증대, 중금속 유해작용 감소, 식물체 양분공급) 및 생물학적 효과(유용미생물 활성증대, 유효인산 고정억제)에 중요한 역할을 한다(Koepf 등, 1980).

식물체잔유물은 95%가 단백질, hemicellulose, cellulose, lignin 등의 유기물로 구성되어 있다. 이 유기물은 부식화되어 <그림 1>에서 보는 바와 같이 점토 입단의 표면에 부착되어 있으며, 토양의 유기태탄소와 질소의 분획물에 가장 크게 기여한다(Butler 등, 1973; Fengel and Wegener, 1984).

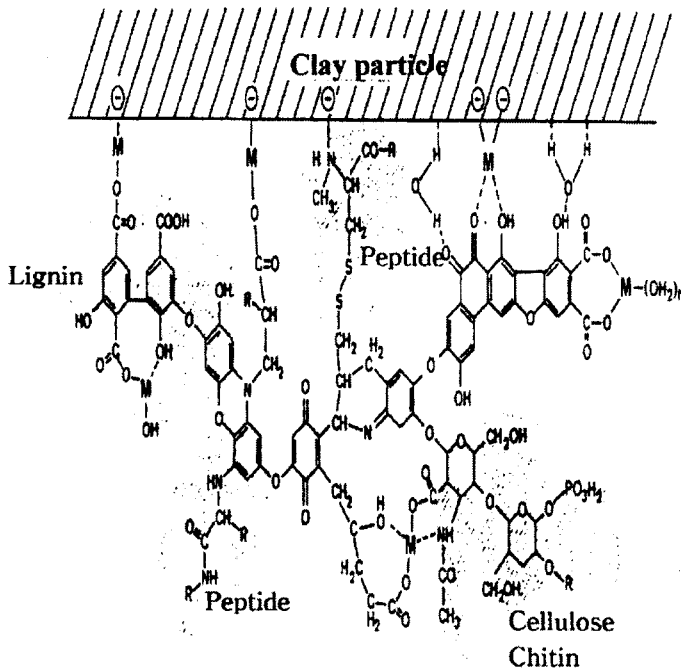


Fig. 1. Structure of humin molecular and its binding on the clay particle(Stevenson, 1982)

단백질은 쉽게 분해되어 질소의 공급원이 되거나 리그닌과 결합하여 토양부식의 기본을 이룬다. 아미노산, 아미노당, 당류, 유기산 따위는 식물체 건물량의 약 10%를 차지하고 있는데 이들은 식물체 잔유물로부터 쉽게 용출되어 미생물에 의해 빨리 이용되므로 근권미생물의 활성화에 매우 중요한 역할을 할 수 있다. 부식에 포함되어 있는 질소, 인산 등의 양분들은 부식의 분해로 인하여 유효화되어 식물에게 공급된다(Paul and Clark, 1996).

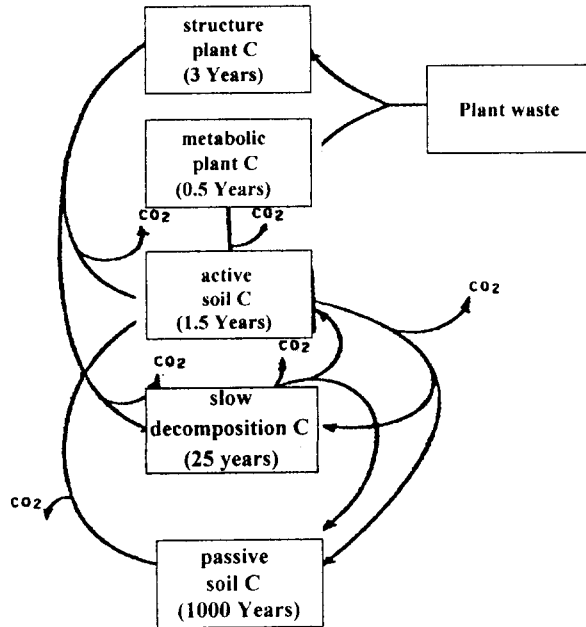


Fig. 2. Model of carbon-movement between different humus fraction in soil(Parton, et al., 1987)

<그림 2>는 토양내의 부식물분획과 유기물의 유동을 나타낸다. 일반적으로 부식함량은 Ct-함량으로 표시한다(Gottschall, R. 1985). 식물체 잔유물에 들어 있는 유기물은 자체에 함유된 Lignin함량에 의하여 쉽게 분해되는(metabolic), 또는 쉽게 분해되지 않는(cometabolic) 분획물로 구분된다(Parton 등, 1988). 전자에는 metabolic plant C와 active soil C분획물이 속하며 0.5~2년에 걸쳐서 분해된다. 후자는 서서히 분해되는, 또는 능동적인 유기물분획(slow decomposition C, passive soil C)이라 일컬으며 그 분해가 25~1000년이 걸린다고 한다(Rayner, 1977 ; Paul and Veen, 1978 ; Parton 등, 1988). Active humuspool은 미생물의 활동에 의하여 분해가 급격하게 진행되기 때문에 passive humuspool로 많이 이동하지 않으며 탄소와 양분을 공급해주는 비료공급과 같은 화학성 개량효과를 나타낸다. Passive humuspool은 무기적으로 matrix에 안정적으로 결합되어 있어서 토양구조 개선효과, 즉 토양의 물리성을 개선하는 효과를 갖고 있다(Parton 등, 1988 ; Hayes 등, 1989).

부식물질에 들어 있는 유기태질소의 분해물은 토양미생물에 의해 분해되어 $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 으로 전환되어 뿌리나 미생물에 이용되기 때문에 양분공급측면에서 뿐만 아니라 토양비옥도 측면에서 중요한 의미를 갖는다. 따라서 토양 유기물에 함유되어 있는 양분 중에서 가장 중요한 것은 질소이다. 토양 총질소의 90%는 유기태질소이다(Paul and Clark, 1996 ; Stevenson, 1994). 유기물이 분해될 때 유기질소 중에 들어 있는 잠재무기태질소(potentially mineralizable Nitrogen)가 무기화되어 무기태질소로 공급된다. 보편적으로 해마다 1-3%의 유기태질소가 무기화되어 대략 50-90kg의 질소를 식물에게 공급된다(Diez and Sommer, 1979 ; Standford, 1982 ; Amberger, 1988 ; Kohl, 1988).

다음의 <그림 3>에서 볼 수 있듯이 토양질소의 분해 및 형성과정은 미생물 생물량(Biomass)과 연관관계가 있다. 미생물 생물량에 고정되어 있는 질소는 생존한 생물량의 유기체가 죽은 후에 가장 빨리 무기화되는 질소분획이다. 이 분획은 active soil C라고 하며, 짧은 기간 안에 무기화되어 식물에게 흡수될 수 있는 유기질소의 Pool이다(Schnürer and Rosswal, 1987). 여러 학자들에 의하면 이 질소의 양은 대략 30-360kg/ha라고 한다(Anderson and Domsch, 1987 ; Azam 등, 1986 ; Myrold, 1987).

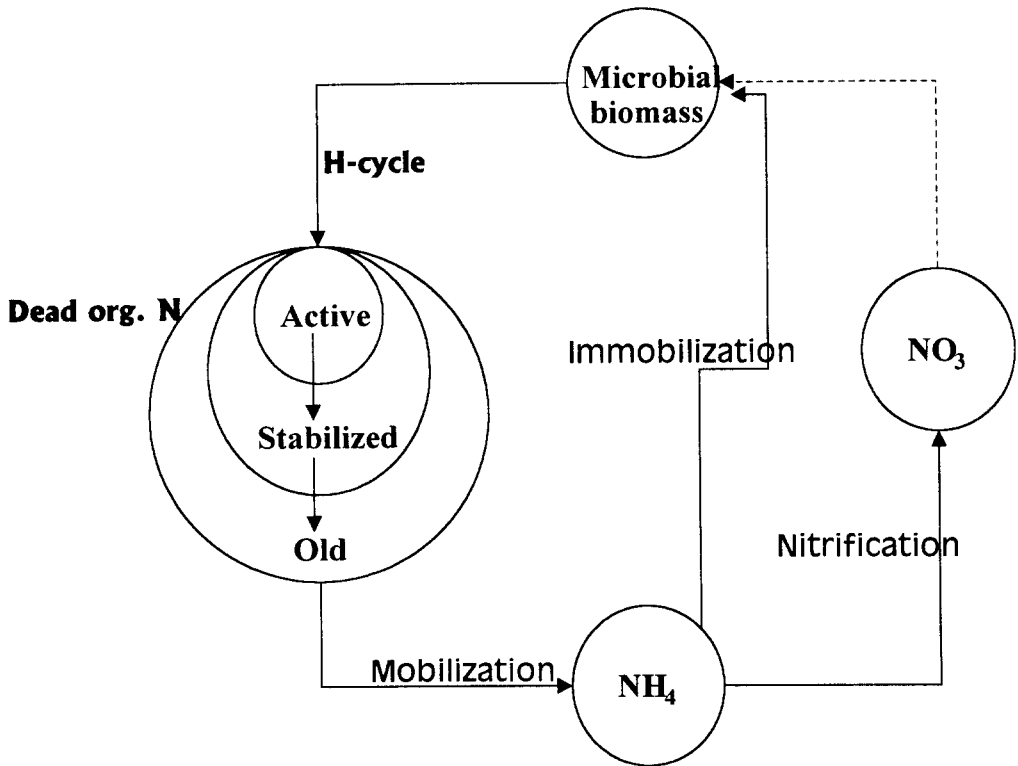


Fig. 3. The conversation of nitrogen in soil(Jansson and Persson, 1982)

활동성인 토양유기물분획(= active soil C)은 1.5년 안에 쉽게 분해되는데 이때 유기태질소가 무기화되어 $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 형태의 무기태질소로 공급된다. 일반 유기농업에서의 질소 공급은 윤작체계의 작부방식에 따른 두과작물재배에 의한 질소고정과 뿌리잔사량 및 녹비작물의 잔유물에 함유된 유기물이 분해되어 분획물로부터 무기화된 무기태질소의 양과 가축분 또는 가축분퇴비의 시용으로 공급되는 질소의 양으로 충분하다(Jansson and Persson, 1982 ; Koepf 등, 1996).

Ⅲ. 윤작과 토양양분의 유효화

윤작이란 지력유지를 목적으로 다른 종류의 작물을 일정한 순서로 순환해서 재배하는 작부 체계이다. 윤작은 생리생태적 특성이 다른 작물을 윤재하는 것에 의해 질소를 축적하고 짙을 생산하여 토양유기물의 소모를 방지하고 지력을 유지한다. 지력이란 토양의 물리성, 화학성, 생물학적 및 기상조건과 관련하여 작물이 그 고유특성을 바탕으로 목적물을 생산하기 위해 사용할 수 있는 토양의 능력이다. 윤작은 토양을 유효화시키고 그의 흡수 이용을 촉진시킨다. 윤작에서는 생리·생태적 특성, 토양병해충 특성이 다른 작물이 윤재되기 때문에 토양의 노화가 방지된다. 근계분포가 다른 작물이 윤재되기 때문에 뿌리 등 잔사유기물이 토양의 각 층에 분포되어 토양의 통기성을 촉진하고 미생물을 활성화시킨다. 또 매년 재배하는 작물이 다르기 때문에 미생물의 종류도 많게 되고, 그 결과 토양양분의 유효화가 촉진된다(Koepf and Row, 1991). 두과작물은 질소가 풍부한 뿌리잔유물을 토양에 남긴다(표 1).

Table 1. Weight of root waste on sand and loam soil after harvest(in dt dry weight per ha)
(Köhnlein and Vetter, 1953)

crop name	soil depth (0-23cm)		soil depth (23-45cm)	
	Loam	Sand	Loam	Sand
winter wheat	8.6	-	0.8	-
winter barley	6.9	9.9	0.7	1.2
maize	11.0	-	-	-
clover, 1 year	19.0	31.0	1.3	2.9
clover, 2 years	-	41.0	-	3.3
lucerne	36.0	-	6.7	-
red clover	13.0	18.0	1.0	0.7
white clover	8.2	15.0	0.7	2.4
potato	3.5	-	0.7	-
kohlrabi	5.7	-	0.6	-

위의 <표 1>에서 보는바와 같이 수확 후 토양에 잔재하는 식물뿌리 잔유량이 토양의 부식함량에 큰 영향을 끼치는데 이는 또한 윤작체계에 있어서 전작물의 효과를 나타내주기도 한다. 클로버와 다른 풀과의 혼성재배작물, 자주개자리, 적색클로버, 백색클로버 등의 사료작물이 많은 양의 뿌리 잔유물(25-60dt/ha)을 토양에 남기는 반면에 감자와 사료용 순무는 적은 양의 뿌리 잔유물(10dt/ha)을 토양에 남긴다. 따라서 클로버와 다른 풀과의 혼성재배작물, 자주개자리, 적색클로버, 백색클로버 등의 작물을 다년 경작하면 토양의 유기물함량을 적정수준 이상으로 유지하여 토양비옥도를 유지·증진하게 될 뿐만 아니라, 부식이 분해되면서 양분이 방출되어 식물에게 공급된다. 보편적으로 ha당 건물중 30-100dt의 뿌리잔유물은 ha당 40-200kg의 무기질소를 공급해 주는 것과 같은 효과를 나타낸다고 한다(Köhnlein and Vetter, 1953; Birecki and Roszak, 1961; Serbanescu and Catrgiu, 1961; Hagmeier, 1986; Hess, 1989).

윤작체계의 작부방식에서 두과작물의 높은 전작물로서의 효과는 토양에 잔류된 질소의 이용에 있다. 즉 전작물의 녹비 및 뿌리잔유량에 함유되어 있는 질소의 함량과 C/N비에 좌우되어 질소의 이용률이 변화된다. Thaer, A. D.(1752-1858)는 윤작을 강조하였는데, 곡류는 연작을 회피하여야 하며, 두과작물을 재배한 곳에는 맥류를 심어야 한다고 가르쳤다. 토양의 양분 지수상 마이너스로 되는 질소를 두과작물을 재배함으로써 보충하고자 함이다.

Vicia faba L.와 같은 두과작물은 비두과작물에 비하여 많은 양의 질소를 토양에 고정시키며, 식물잔유물에 많은 양의 질소를 남긴다. 잔사유기물의 분해에 의하여 질소가 방출되는데 이 질소량을 가급대 질소량이라 한다. 이 가급대 질소의 양은 보통 식물이 흡수하지 못하고 토양에 남기게 되는 질산태질소의 양보다 많다고 한다. 두과작물을 전작물로 재배하고 후작물로 화곡류를 재배하면 가축분을 시용한 것과 같은 질소공급효과를 얻을 수 있으며 30dt/ha의 대두작물 잔사량으로부터 ha당 200kg의 가급대질소가, 그리고 40dt/ha의 일반 두과작물 잔사량으로부터 ha당 180~200kg의 가급대질소가 공급된다(Köpke, 1986, 1996). 반면에 위에서 언급한 작물들의 뿌리잔유물을 제외한 일반 녹비작물에 의한 질소공급은 1년에 약 400kg/ha에 달한다고 한다(Nolte, 1989).

다음의 <그림 4>는 잠두, 양배추, 귀리를 전작물로 재배하였을 때 후작물인 겨울밀의 수확량(종실중 수량) 및 천연질소공급량을 나타낸다. 전작물인 두과작물(잠두)로부터 84-108kg의 질소를 천연공급 받게 되어 69dt/ha의 밀수량을 획득하였다. 이는 두과작물의 전작물로서의 높은 (천연)질소공급능력에 의한 것으로 기인된다. 반면에 양배추나 귀리는 밀의 수확량에 전작물로서 거의 영향을 끼치지 않는다.

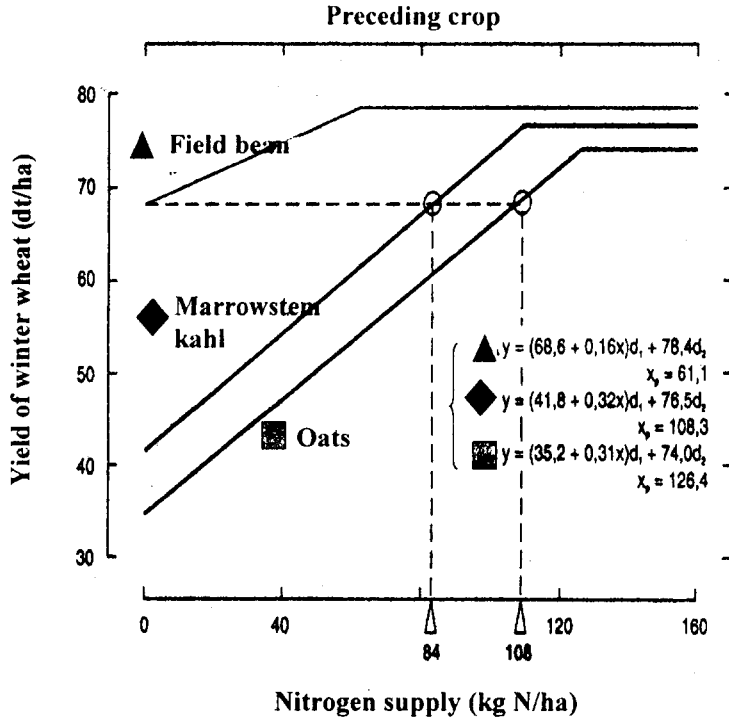


Fig. 4. Yield of winter wheat as function of preceding crop and N-fertilization(Köpke, 1986/1996)

IV. 유기농업이 환경에 미치는 영향

유럽 선진농업국가들, 예를 들면 독일정부가 직불제도를 통하여 유기농가에 보상을 지급하는 원인은 친환경생산물의 생산증대 및 환경보호를 그 목적으로 하기 때문이다. 현재의 농업방식은 농업생산증대를 위하여 많은 양의 화석자원을 투입하고 있다. 화석연료를 비롯하여 비료, 농약으로부터 배출되는 이산화탄소의 양이 증가하고 있다. 따라서 이산화탄소 발생량을 경감하고 지속적인 농업을 영위할 수 있는 친환경농업방식을 채택하여야만 하는 것이 당연과제이다. 친환경농업의 일환인 유기농업에서는 화학적인 공법에 의하여 생산되는 속효성인 무기질소비료의 사용대신 두과 작물의 생물학적 질소와 가축분뇨 및 가축분퇴비에서 공급되는 질소를 질소공급원으로 사용하므로 화학비료 생산시에 소모되는 에너지소비도 절감할 수 있다(Haas and Köpke, 1994 ; Haas 등., 1995). 또한 CH₄, NH₃ 등의 가스형태로 공기 중으로 휘산되는 것(Geier, 1997)과 질소가 NO₃의 형태로 용탈되는 것을 줄이는 환경적인 효과도 얻을 수가 있다(손, 1995 ; Berg 등, 1997).

다음의 <그림 5>는 온실가스의 주범인 CO₂의 방출량을 유기농가 및 관행농가와 비교하였다.

유기농가에서의 CO₂ 방출량은 ha당 총 0.503t으로 관행농가의 1.253t과 비교하였을 때 60%정도 낮았다. 이는 배합사료와 질소비료 제조시에 방출되는 CO₂ 방출량에 의한 차이인 것으로 기인된다.

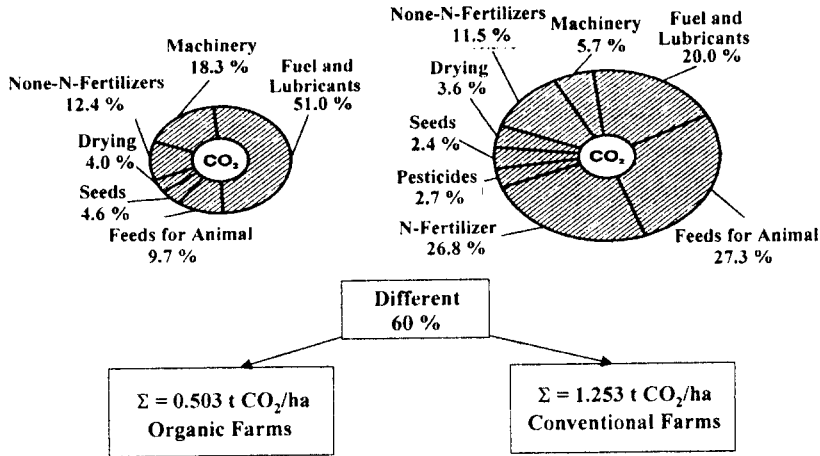


Fig. 5. Comparison of CO₂ Emission between conventional and organic farming(Haas and Köpke, 1994)

다음의 <그림 6>에서 볼 수 있듯이 NH₃의 휘산은 일반관행의 농가에서는 238t이었으나 유기농가에서는 165t으로 약 31%가 감소되었으며 지구온난화를 야기하는 CO₂ 또한 일반 농가(22.024t)에서 보다 유기농가에서 13.882t을 나타내어 약 37%가 감소되되어 환경에 부정적으로 미치는 영향을 감소시킬 수가 있었다(Geier, 1997).

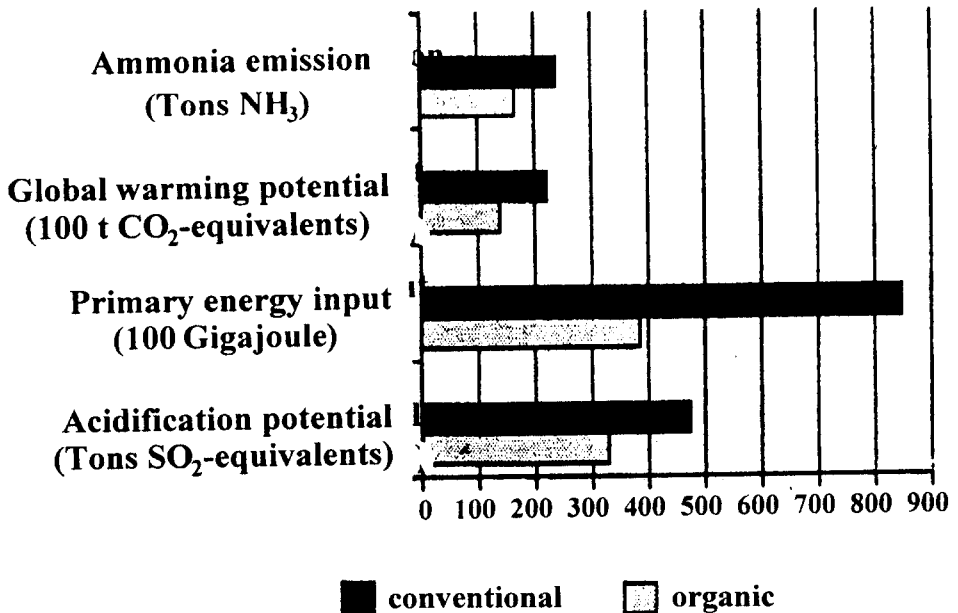
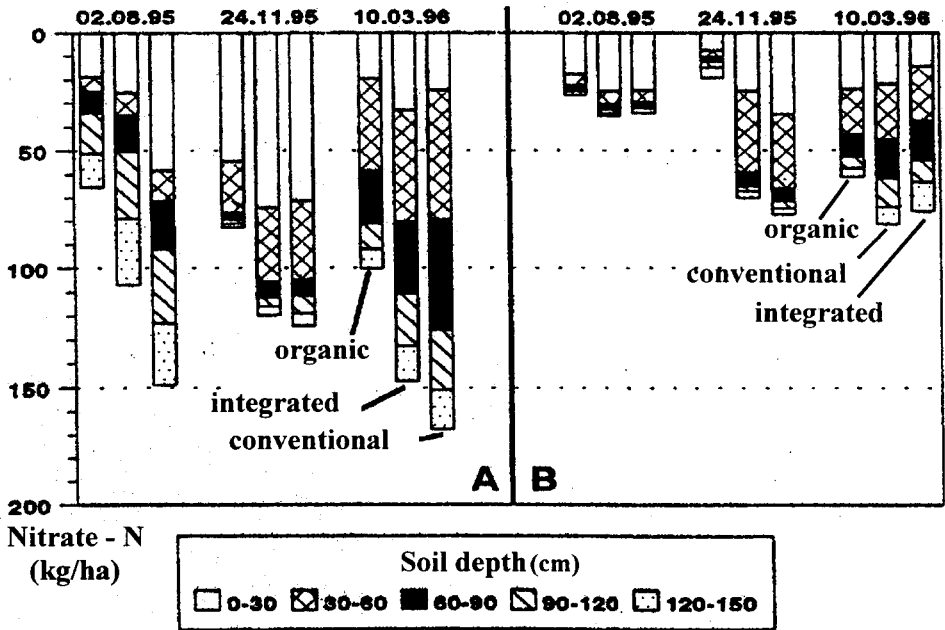


Fig. 6. Selected environmental effects of a conversion from conventional to organic farming in an area of Hamburg(5674ha) (Geier, 1997)

환경오염을 야기하는 질산염 용탈을 방지하기 위하여 integrated농법, 즉 종합양분관리나 중합병충해방제 위주의 농업이 시도되고 있다. 즉 작물에게 필요한 만큼의 비료와 농약을 작물의 생육에 맞추어 투입하여 줌으로서 과다투입시에 야기되는 환경오염 문제를 방지하고자 하는 것이다. integrated라는 단어는 "integratio"라는 라틴어에서 유래되었으며, "통합하다" 또는 "중합하다"라는 뜻으로 해석되는데, 1967년에 독일의 학자인 Hans Steiner에 의하여 처음 시도된 농법이다(Reinken, 1992).

Berg 등이 1997년에 유기농가, 관행농가 및 integrated농가의 포장에서 0-30cm, 30-60cm, 60-90cm, 90-120cm, 120-150cm 근권토양의 질산염함량을 분석한 결과 클로버를 전작물로 재배한 유기농업의 윤작작부체계(B)에서는 질산염함량이 클로버를 전작물로 재배하지 않은 유기농업 윤작작부체계(A)에서보다 현저히 낮았다(그림 7).



farming method	cropping system	
	A	B
organic	sugar beet → winter wheat	clover → sugar beet → winter wheat
integrated	sugar beet → winter wheat	winter barley → sugar beet → winter wheat
conventional		

Fig. 7. Nitrate-N-Content of the soil in organic, integrated and conventional crop rotations (Berg, et al., 1997)

작부체계 A와 B에서 일반적으로 근권토양의 질산염함량이 관행농법이나 integrated농법에서 보다 유기농법에서 현저히 낮았다. 유기질비료, 즉 퇴비사용에 의존하는 한국형 유기농업에서 근권토양의 높은 질산함량(정 등, 1996)과는 대조적인 결과이다. 클로버를 전작물로 재배하지 않은 integrated농업과 관행농업의 작부체계에서의 토양의 질산함량은 150ppm을 상회하고 있어 용탈로 인한 지하수 오염의 가능성이 높다.

V. 결 론

녹비작물, 두과작물을 재배하여 유기농업의 궁극적인 목표인 토양비옥도를 유지·증진하기 위한 유기농법의 윤작작부체계에서 투여되는 유기물, 부식의 중요성, 또 유기농업이 환경에 미치는 영향을 고찰한 결과는 다음과 같다.

유기농업은 토양비옥도를 유지·증진하기 위하여 화학적으로 합성된 화학비료나 농약을 사용하지 않고, 녹비작물, 두과작물, 특히 클로버와 같은 사료작물을 전체 윤작체계 작부방식에서 25~50%의 비중을 두어 재배하고 있다.

유기농업에 있어서의 질소공급은 윤작체계의 작부방식에 따른 두과작물재배에 의한 질소고정과 뿌리잔사량, 녹비작물의 잔유물에 함유된 유기물의 분해에 의한 부식물생성시 부식물질에 들어 있는 유기태질소의 분획물이 무기화되어 공급되는 질소의 양과 가축분 또는 가축분퇴비의 시용으로 공급되는 질소의 양으로 충분하다. 두과작물을 전작물로 재배하고 밀 등의 맥류작물을 재배했을 때에 토양으로부터 천연공급되는 질소의 양은 ha당 80~110kg이었으며, 이로 인하여 수량이 증가되었다.

유기농업에서는 화학비료의 사용을 근절하기 때문에 화학비료 생산시에 소요되는 에너지소모도 절감할 수가 있으며, CO₂, NH₃ 등의 가스가 방출되어 야기되는 대기오염을 방지할 수가 있다. 또한 두과작물, 사료작물을 전작물로 재배하는 윤작체계의 작부방식을 통하여 천연질소를 후작물에 공급하여 줌으로서 무기질소비료의 시용 없이 작물생산이 가능할 뿐만이 아니라 근권토양내의 질산염량을 감소시켜 질산염이 용탈되어 지하수를 오염시키는 등 수질오염 유발을 방지할 수가 있었다.

한국에서는 유기농업이 유기질비료, 특히 퇴비를 사용하는 농업으로 잘못 인식되어 있으나, 유기농업의 활성화를 위해서는 앞으로 유기물사용에 의한 유기질소의 무기화율, 인산의 유효화에 의한 양분관리 연구 및 토양비옥도 증진에 대한 연구가 더욱 과학적인 체계 하에서 이루어져야 하는 것이 당면 과제이다.

참고문헌

- 손상목 (1995) : 주요 유럽 농업선진국의 환경보존형 지속농업 실태와 한국의 접근과제, 한국국제농업개발학회지, 7(2), pp.138 - 155.
- 정길생 · 손상목 · 이윤건 (1996) : 선진 유럽유기농업의 환경보존 기능과 안전 농산물 생산, 한국유기농업학회지, 5(1), pp.45 - 65.
- Amberger, A. (1988) : Pflanzenernährung. 3. Aufl. Ulmer Verl., Stuttgart.
- Anderson, J.P.E. and K.H. Domsch (1978) : Mineralization of bacteria and fungi in chloroform fumigated soils. Soil Biol. Biochem. 10, 207 - 213.
- Azam, F., K.A. Malik and F. Hussein (1986) : Microbial biomass and mineralization-immobilization of nitrogen in some agricultural soils. Biol. Fertl. Soils 2, 157 - 163.
- Bannick, C.G. and W. Ziechmann (1991) : Huminstoffbildung während der Kompostierung. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 154, 233 - 236.
- Berg, M., G. Haas and U. Köpke (1997) : Wasserschutzgebiete : Vergleich des Nitratastrages bei Organischem, Integriertem und Konventionellem Ackerbau, Beiträge zur 4. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, 3-4. März 1997 an der Rheinischen Friedrich - Wilhelms - Universität Bonn, 96 - 102.
- Bierecki, M. and W. Roszak (1961) : Der Einfluss mehrjähriger Leguminosen und deren Gemische mit Gräsern auf die Nachfrucherträge. Wiss. Zeitschr. Univ. Halle, 341 - 345.
- Butler, G.W. and R.W. Bayley (1973) : Chemistry and Biochemistry of Herbage. Vol. I, Acad. Press, London, New York. pp.1 - 639
- Diez, T. and G. Sommer (1979) : Veränderungen des Gehaltes an löslichem Bodenstickstoff (Nmin) im Jahreslauf. Bayer. Landw. Jahrbuch 56, 351 - 363.
- Fengel, D. and G. Wegener (1984) : Chemistry, ultrastructure, reactions. Gruyter, Berlin.
- Geier, U. (1997) : Ökobilanzen in der Landwirtschaft - Bedeutung für den ökologischen Landbau, Beiträge zur 4. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, 3-4. März 1997 an der Rheinischen Friedrich - Wilhelms - Universität Bonn, 96 - 102.
- Gottschall, R. (1985) : Kompostierung. Verlag C.F. Müller, Karlsruhe.
- Haas, G. and U. Köpke (1994) : Vergleich der Klimarelevant ökologischer und konventioneller Landbewirtschaftung. In : Enquetekommission "Schutz der Erdatmosphäre" des Dt. Bundestages, Bd I : Landwirtschaft, Studienprogramm, Teilband 2, Studie H., Economica - Verlag, Bonn.

- Haas, G., U. Geier, D.G. Schulz and U. Köpke (1995): Klimarelevant des Agrarsektors der Bundesrepublik Deutschland; Reduzierung der Emission von Kohlendioxid. Ber. Ldw. 73, 387-400. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup.
- Hagmeier, H.U. (1986): Über die Stickstoffversorgung von Winterweizen und Winterroggen durch Leguminosenvorfrüchte, dargestellt anhand von Experimenten auf einem viehlos bewirtschafteten organisch-biologischen Ackerbaubetrieb auf der Schwäbischen Alb. Diss. Hohenheim.
- Hayes, M.H.B., McCarthy, P., Malcolm, R.L., Swift, R.S. (1989): The search for structure: Setting the scene. In: Hayes, M.H.B., McCarthy, P., Malcolm, R.L., Swift, R.S. (ed.) Humic Substances II - In Search of Structure, 3-31, Wiley, Chichester/New York/Brisbane/Toronto/ Singapore.
- Hess, J. (1989): Klee grasumbruch im organischen Landbau Stickstoffdynamik im Fruchtfolgeglied "Klee gras - Klee gras - Weizen - Roggen". Diss. Bonn.
- Jansson, S. and J. Persson (1982): Mineralization and Immobilization of Soil Nitrogen. In: F.J. Stevenson, Nitrogen in agricultural soils, 229-248.
- Koepf, H.H., Petterson, B.D. und Schaumann, W. (1980): Biologisch-dynamische Landwirtschaft. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Koepf, H.H. and F. Row (1991): Das Konzept der Bodenfruchtbarkeit im ökologischen Landbau, Berichte über Landwirtschaft, Band 1, Bodenfruchtbarkeit, 46-58.
- Koepf, H.H., W. Schaumann and M. Haccius (1996): Biologisch-dynamische Landwirtschaft, Verlag Eugen Ulmer.
- Köpke, U. (1986): Symbiotische N-Fixierung und Vorfruchtwirkung von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.). Habil. schrift, Univ. Göttingen.
- Köpke, U. (1996): Symbiotische Stickstoff-Fixierung von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.). Habil. Schrift, Uni. Göttingen 1987. Neuauflage: Schriftenreihe des Inst. f. Organischen Landbau, Universität Bonn
- Kohl, A. (1988): Zur Bedeutung des leicht mobilisierbaren Bodenstickstoffs bei der Prognose des N-Düngerbedarfs von Zuckerrüben unter besonderer Berücksichtigung der mittels Elektro-Ultrafiltration (EUF) erfassbaren N-org-Fraktion. Diss. Bonn.
- Köhnlein, J. and H. Vetter (1953): Ernterückstände und Wurzelbild. Parey, Hamburg.
- Myrold, D.D. (1987): Relationship between microbial biomass nitrogen and nitrogen availability index. Soil Sci. Soc. Am. J. 51, 1047-1049.

- Nolte, C. (1989) : Bilanzierung des Nährstofflaufes auf dem biologisch-dynamisch bewirtschafteten "Boschheidhof" sowie Untersuchungen zum Phosphor- und Kaliumhaushalt in drei ausgewählten Böden im Vergleich zur drei Böden eines benachbarten konventionellen Betriebes. Diss. Bonn.
- Parton, W.J., D.S. Schimel, C.V. and D.S. Ojima (1987) : Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains Grasslands. *Soil. Sci. Soc. Amer. J.* 51, 1173-1179.
- Parton, W.D., Steward, J.W.B. and C.V. Cole (1988) : Dynamics of C, N, P and S in grassland soils : a model. *Biogeochem.* 5, 109-131.
- Paul, E.A. and J.A. Van Veen (1978) : The use of tracers to determine the dynamic nature of organic matter. *Transact. 11th Intern. Congr. Soil Sci.*, Edmonton, III, 61-102c.
- Paul, E.A. and F.E. Clark (1996) : *Soil microbiology and biochemistry*. 2nd ed., Academic Press.
- Rayner, J.H. (1977) : The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments, *Soil Sci.* 123, 298-305.
- Reinken, G. (1992) : *Integrierter Gemüse- und Obstbau im Europäischen Binnenmarkt*, Verlag Eugen Ulmer.
- Scheffer, F. and B. Ulrich. (1960) : *Lehrbuch der Agriculturchemie und Bodenkunde*. III. Teil, Bd. I : Humus und Humusdüngung. Enke, Stuttgart.
- Schnürer, J. and T. Rosswall (1987) : Mineralization of nitrogen from ¹⁵N labelled fungi, soil microbial biomass and roots and its uptake by barley plants. *Plant and Soil* 102, 71-78.
- Serbanescu, U. and D. Catargiu (1961) : Verwendungsdauer von Klee im Gemisch mit Timotheusgras in den landwirtschaftlichen Fruchtfolge im Mordwesten der Moldau. *Wiss. Zeitschr. Univ. Halle.* 311-313.
- 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. (1982) : *Humus chemistry*. Wiley, New York.
- Stevenson, F.J. (1994) : *Humus chemistry : Genesis, Composition, Reactions* (2nd Ed.). John Wiley and Sons. Inc., New York.
- Waksman, S.A (1939) : Influence of temperature upon the microbiological population and decomposing process in compost of stable manure. *Soil Sci.* 47, 83-98.