

유채의 녹비 환원에 의한 질소무기화 및 옥수수 질소 흡수*

최봉수** · 홍기찬** · 성좌경*** · 남재작*** · 임정은** · 이현용** · 양재의** · 옥용식****

Incorporation of Winter Rapeseed (*Brassica napus*) as Green Manure on Mineralization and Uptake of Nitrogen to Succeeding Corn (*Zea mays* L.)

Choi, Bongsu · Hong, Ki Chan · Sung, Jwa-Kyung · Nam, Jae Jak ·
Lim, Jung-Eun · Lee, Hyeon Yong · Yang, Jae E. · Ok, Yong Sik

Crop production can be secured by the cycle of green manure crops as an alternative of the chemical fertilizer. Recently, rapeseed (*Brassica napus* L.) has been cultivated in the south part of Korea for the production of biodiesel. In this research, we focused on recycling rapeseed residue, which is produced after harvesting the rapeseed for biodiesel, as a potential source of nitrogen to the succeeding crop. Pot experiment was conducted to evaluate the effects of winter rapeseed as green manure on mineralization and uptake of nitrogen to the succeeding corn (*Zea mays* L.). Result showed that total nitrogen and C/N ratio of rapeseed at the harvesting stage was 0.54% and 63, respectively. The incorporation of rapeseed without decomposition period slightly inhibited nitrogen uptake to the succeeding corn compared to those with 30 days decomposition period. The pH and EC values of soils increased by increasing the period of decomposition of rapeseed from 5.2 to 6.4 and from 0.05 dS/m to 0.21 dS/m, respectively. Significant amounts of NH_4^+ and NO_3^- are released by incorporation of rapeseed. The succeeding corn took up 86% and 88% of inorganic nitrogen released from the rapeseed with and without decomposition period, respectively. The overall results suggested that the utilization of rapeseed residue as green manure can be an

* 본 연구는 2008년 농촌진흥청 농업과학기술개발공동연구사업 “유채재배 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)의 환경성 및 경제성 평가 연구”의 지원으로 수행되었습니다.

** 강원대학교 자원생물환경학과

*** 국립농업과학원

**** 교신저자, 강원대학교 자원생물환경학과(soilok@kangwon.ac.kr)

alternative source of nitrogen in corn-rapeseed double cropping system.

Key words : corn (*Zea mays* L.), green manure, mineralization, nitrogen, rapeseed

I. 서 언

유기농업은 비료, 농약 등의 합성 화학제재의 투입을 금하는 것 이상으로 생태학적 원칙에 근거한 농업의 총체적 관리체계이다(손, 2007). 이는 토양의 물리 화학성 및 생물종 다양성을 개선하는 등 환경보전을 통한 지속적인 작물재배가 가능하도록 하며 자연환원의 법칙을 바탕으로 물질순환에 의한 안전한 농작물 생산과 건강한 삶을 누리기 위한 것으로 이를 실천하기 위해 퇴비 및 녹비작물을 이용하는 것도 하나의 방법이 될 수 있다(손, 2007).

녹비(Green manure) 작물의 이용은 식물체로부터 분해되어 방출되는 양분에 의해 후작물이 필요로 하는 양분을 공급하고 지력증진 및 토양의 물리·화학성을 개선해 준다(Choi et al., 2008). 이외에도 녹비 작물은 생물다양성과 토양의 수분보유능을 증가시키며(Sarrantonio and Scott, 1988), 식물 잔유물의 분해과정에서 타감물질과 같은 다양한 생육억제물질을 방출함으로써 잡초 방제에도 효과적인 것으로 알려져 있다(Petersen et al., 2001).

국내에서는 헤어리베치, 자운영 등의 콩과녹비작물을 중심으로 녹비이용에 따른 후작물로의 양분공급에 관한 연구가 주로 진행되어 왔다(양 등, 2004; Seo and Lee, 2005). 이와 같이 녹비작물은 자연계의 물질 순환 및 유기물의 환원 측면에서 큰 기대를 모으고 있지만 현재까지 국내에서 녹비로 이용하고 있는 작물은 대부분 헤어리베치, 자운영, 호밀로 그 종과 수가 한정되어 있기 때문에 유기농업을 확대하기 위해서는 다양한 녹비작물을 탐색하고 이용 가능성을 평가하는 연구가 필요하다.

한편 2008년 농림수산식품부는 기존 식량 작물과의 경합 없이 겨울에도 재배가 가능한 유채를 바이오에너지 생산을 위한 핵심 작물로 선정하고 유채생산 확대정책의 일환으로 유채재배 면적을 현재의 1,500ha에서 겨울철 유향 논을 활용하여 2012년까지 45,000ha로 확대 재배할 계획을 발표하였다(남 등, 2008). 이는 향후 유채의 재배면적의 확대에 의한 녹비 자원으로서의 가치가 높아질 것으로 예상되지만 국내에서는 1970년대 이후 그 재배면적이 급격히 감소하여 유채의 녹비로의 이용에 관한 연구는 전무한 실정이다.

일반적으로 유채를 포함한 십자화과 식물에는 glucosinolates가 다량 함유되어 있어 작물 생산에 해를 끼치는 곤충(Blau et al., 1978), 균류(Muehlchen et al., 1990), 선충(Mojrahedi et al., 1993) 및 잡초(Petersen et al., 2001) 등에 대한 억제 효과가 있는 것으로 보고되어, 양분 공급은 물론 작물재배에서 투입되는 노동력을 줄이는데 큰 영향을 미칠 것으로 기대되므로 유기농업에서 유채의 이용 가치가 클 것으로 판단된다.

본 연구에서는 바이오디젤 생산을 위한 유채재배 과정에서 부산물로 발생하는 유채 잔

유물을 옥수수 재배에 녹비로 사용하였을 때 토양 내 질소의 무기화를 중심으로 옥수수 (*Zea mays* L.)의 생육과 질소흡수에 미치는 영향을 평가하였다.

II. 재료 및 방법

1. 유채 재배

유채(*Brassica napus* L. cv. Sunmang)는 2007년 10월 18일 전라남도 영광군의 유채 단지 시험포에 파종하였으며, 유채 잔유물을 수확기인 2008년 6월 13일에 수확하여 옥수수(*Zea mays* L.) 재배 과정에서 녹비로 이용하였다. 수확기 유채재배지에서 평균 재식밀도는 15,300 plants/10a였으며, 건물 생산량은 2,672 kg/10a이었고, 종자 수확 후 발생한 유채 잔유물은 녹비로서 토양과 혼합하여 본 실험에 이용하였다.

2. 옥수수 재배 및 유채의 녹비 처리

옥수수 재배의 녹비원으로 사용하기 위해 수확기에 채취한 유채 잔유물은 건조 후 원소 분석기(Flash EA 1112, Thermo, USA)를 이용하여 탄소(C) 및 질소(N) 함량을 분석하였다. 총질소 함량이 0.54%인 유채 잔유물 100g(27kg N/10a)과 3.4kg의 토양을 혼합한 뒤 pot의 표면적이 1/5000a인 Wagner pot에 충전하였다. 본 실험에 이용한 토양은 pH 5.2, EC 0.05 dS/m, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 과 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 함량이 각각 2.5mg/kg, 4.1mg/kg인 사양토를 이용하였다.

유채의 부숙기간에 따른 토양에서의 질소 무기화 및 옥수수 생육에 미치는 영향을 알아보기 위하여 옥수수 파종 전에 미리 유채 잔유물을 토양과 혼합하여 30일간 부숙기간을 설정한 처리구와 부숙기간 없이 옥수수 파종 직전에 유채 잔유물을 토양에 환원한 두 종류의 처리구로 구분하여 60일간 옥수수를 재배하였다. 또한 작물재배 없이 유채 환원에 의한 토양의 화학성 변화 및 질소무기화를 알아보기 위하여 30일간 부숙기간을 설정한 처리구와 동일한 시기와 조건으로 유채와 토양을 혼합하였으며, 유채 녹비환원 후 30, 50, 70, 90일 후에 토양을 채취하여 녹비환원전 토양과 비교하였다. 이때 모든 처리는 5반복으로 실시하였다.

옥수수 종자는 30일간 부숙기간을 설정한 처리구와 부숙기간을 설정하지 않은 두 처리구에 3립씩 동시에 파종하였고, 출아 5일 후 1주를 제외하고 모두 솟아주었다. 옥수수는 7월 중순부터 비가림 하우스에서 재배하면서 유채의 무기화에 따른 양분 흡수에 의한 옥수수 성장과 SPAD 값(SPAD-502 meter, Minolta, Japan)을 조사하였다. SPAD 값은 엽록소의 특정파장대의 빛 흡수율을 통해 농작물의 엽록소를 측정하는 방법으로 작물의 생육속도를 고려하여 적절한 양분 공급량을 조절하는데 이용 가능하다.

토양분석은 pH와 EC의 경우 토양과 증류수의 비율을 1:5로 설정하고 30분간 교반 시킨 후 pH meter 및 EC meter(Orion 3 start, Thermo, USA)를 이용하여 측정하였다. 유채의 무기화 과정에서 방출되는 무기태 질소($\text{NH}_4^+\text{-N}$ 및 $\text{NO}_3^-\text{-N}$) 함량은 Kjeldahl 증류법을 이용하여 측정하였다(농업과학기술원, 1988).

3. 통계분석

유채 잔유물의 부숙기간에 따른 옥수수의 생육, 질소흡수 및 질소 무기화에 미치는 영향은 SAS software Ver. 9.1(SAS, 2003)을 이용하여 t-test 실시를 통해 통계적 유의성을 검정하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 유채의 녹비 처리와 옥수수의 생육

녹비로 이용한 수확기 유채 잔유물의 질소함량과 탄질율을 <Table 1>에 나타냈다. 유채의 질소함량은 0.54%로 낮았으며 탄질율은 63으로 높은 편이었는데, 이러한 화학적 특성은 지하부보다 지상부의 발달 비중이 크게 의존하였는데 토양에서의 분해과정에서도 지상부의 특성에 의해 녹비 효과가 결정될 것으로 판단되었다. 특히 녹비 작물의 분해에는 유기물의 양, 형태, 크기, 주성분 등이 영향을 미치며 주요인으로는 탄소/질소, 리그닌/질소, (리그닌+폴리페놀)/질소, 탄닌/질소의 비율 등을 들 수 있는데(Palm and Sanchez, 1991; Becker et al., 1994; Tejada and Gonzalez, 2006), Fong et al.(1999)은 유기물의 분해를 위한 최적의 탄질율이 25와 30 사이의 값이라고 하였다.

Table 1. Total nitrogen (T-N%), total carbon (T-C%) and C/N ratio of rapeseed at the harvesting stage.

	Shoot	Root	Total [†]
T-N (%)	0.54	0.47	0.54
T-C (%)	33.1	39.8	33.3
C/N ratio	61	85	63

[†]Total stands for whole biomass of rapeseed (shoot+root).

본 연구에서와 같이 탄질률이 63으로 높은 유채를 이용함에 있어서 녹비 환원 후 후작물의 생장억제를 피하기 위해 녹비 환원 후 몇 주의 부숙기간을 거친 뒤 파종해야 하며, Papavizas(1966)는 온실조건에서 후작물(완두) 정식 전 3주의 부숙기간이 필요하다고 보고하였다. 이러한 유채 잔유물의 이용 효율을 높이기 위해서는 *Bacillus* 속의 미생물을 이용하여 난분해성 물질의 분해를 촉진시키는 것과 같이 보다 효율적인 관리 방안을 적용시키는 연구가 병행되어야 할 것으로 판단된다(정 등, 2007).

이외에도 식물체의 분해는 녹비의 환원시기, 깊이, 경운의 형태, 토양의 수분함량 및 토성 등도 중요한 요인이 되며(Sarrantonio and Scott, 1988; Francis et al., 1995; van Hees et al., 2002), 경작지의 미생물상 등의 조건도 크게 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(van Hees et al., 2002; Tejada et al., 2008).

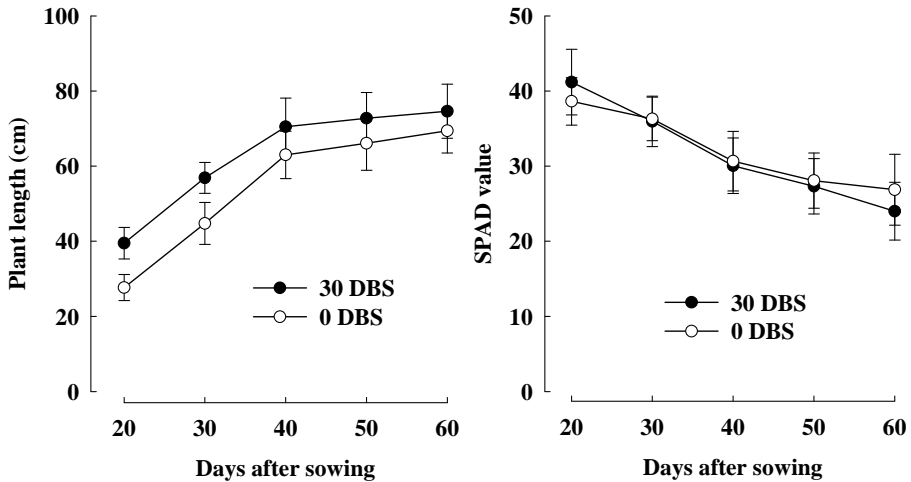


Fig. 1. Changes in plant length and SPAD value of corn as affected by incorporation of rapeseed as green manure. A legend means decomposition period before corn sowing (DBS).

유채의 녹비 환원에 따른 옥수수의 생장과 SPAD 변화를 Fig. 1에 나타냈다. 유채를 30일 동안 부숙시킨 후 파종한 옥수수는 부숙기간 없이 파종한 옥수수와 비교하여 전 생육기간에 걸쳐 초장의 생장을 촉진시켰다. 그러나 생육초기의 SPAD 값은 부숙기간 없이 유채 녹비의 환원 직후 파종한 옥수수가 38.6인 것과 비교해서 30일간 부숙시켜 환원시킨 것이 통계적인 차이는 없었으나 41.2로 높았던 것을 확인할 수 있었다. 그러나 이러한 SPAD 값이 30일간 부숙기간을 설정한 처리구에서 옥수수 파종 30일 이후에는 같거나 오히려 낮아지는 현상을 볼 수 있었는데 이는 시간이 경과함에 따라 옥수수의 생육이 왕성해지면서 토양 내 양분의 이용이 활발해지지만 유채로부터 무기화되어 방출된 양분은 한정되어 있기 때

문에 옥수수의 생장에 충분한 양의 질소가 공급되지 못하는 것으로 판단된다.

유채 녹비이용에 따른 옥수수의 수량과 질소흡수는 Table 2와 같다. 유채를 30일간 부숙시킨 후 파종한 옥수수의 생체중(39.1 g/pot)과 건물중(14 g/pot)은 유채의 부숙기간 없이 파종한 옥수수의 생체중(32.4 g/pot)과 건물중(9.6 g/pot) 보다 높은 것으로 나타났으며, 옥수수의 지하부 생육은 두 처리간 유의차가 없는 것으로 나타났다.

Table 2. Fresh weight, dry weight and N content of corn at 60 days after sowing as affected by incorporation of rapeseed as green manure.

Treatments	Fresh weight (g/pot)			Dry weight (g/pot)			N content (mg/pot)		
	Shoot	Root	Total	Shoot	Root	Total	Shoot	Root	Total
0 DBS [†]	24.9	7.5	32.4	8.5	1.0	9.6	146.0	13.4	159.3
30 DBS	31.8	7.3	39.1	12.9	1.1	14.0	229.3	18.4	247.8
t-test	**	ns	*	*	ns	*	**	ns	**

[†]: Decomposition period before corn sowing.

* and **: Significantly different between 0 and 30 DBS treatments at $P < 0.05$ and 0.01 , respectively. ns: not significant.

또한 유채의 녹비이용에 따른 옥수수의 질소 흡수량은 유채를 30일 동안 부숙시킨 후 파종한 옥수수 처리구에서 부숙기간 없이 파종한 처리구보다 유의성 있게 높았는데 이는 유채의 부숙과정에서 무기화되어 방출된 질소를 옥수수가 흡수한 것으로 사료된다. 한편 유채를 녹비로 환원하기 전 토양의 총 무기태질소 함량이 약 22.4mg/pot이었던 것을 감안할 때 옥수수가 흡수한 질소는 유채 잔류물의 분해로부터 기인한 것으로 판단된다.

후작물이 양분을 필요로 하는 시기에 녹비 작물이 적절하게 분해되어 양분이 공급되지 않는다면 후작물의 양분 요구도는 급격히 감소하게 된다. 작물의 양분흡수가 증가하는 동안 토양이 척박한 조건이거나 녹비 작물의 질소 무기화가 지연되는 경우에는 당해 년에 작물이 이용 가능한 질소의 양은 감소시키지만(Vyn et al., 1999), 이듬해에 분해가 진행된 뒤 작물의 질소 이용을 가능하게 할 것이다(Garwood et al., 1999). 한편 질소무기화의 지연이 후작물의 수확 후 방치된 조건에서 질소의 용탈을 촉진시킬 수 있음을 보고하였는데(Karen and Doran, 1991), 이러한 경우 피복작물(녹비작물) 등을 재배하여 양분의 용탈을 줄이고 작물생장에 이용 할 수 있기 때문에 양분의 순환과 재이용이라는 측면에서 중요한 가치가 있다.

2. 유채의 녹비 시비에 따른 토양의 특성 변화와 질소무기화

Table 3은 유채의 녹비 환원 후 시간경과에 따른 토양의 pH와 EC 변화를 나타낸 것이다. 토양의 pH는 녹비 환원 전 토양에서 pH 5.2였던 것과 비교하여 유기물이 투입되고 시간이 경과함에 따라 증가하였는데 유채의 녹비 환원 후 70일이 경과한 시점에서는 pH 6.4까지 증가하였다. EC 값 또한 pH의 증가와 같은 경향을 보였는데 녹비 환원 전 토양에서 0.05 dS/m에서 유기물이 투입되고 70일이 경과한 시점에서 0.21dS/m까지 증가하였다.

Table 3. Changes in soil pH and electrical conductivity (EC) after incorporation of rapeseed as green manure.

	0 DAI [†]	30 DAI	50 DAI	70 DAI
pH(1:5)	5.2	6.2	6.3	6.4
EC(1:5)(dS/m)	0.05	0.19	0.21	0.21

[†]DAI: Days after incorporation

토양에 녹비 작물을 시용할 경우 토양 유기물 함량에 직접적인 영향을 주어 산성화를 감소시키며(Hue, 1992; Liu and Hue, 2001), 토양의 비옥도 증진과 물리 화학성 개선 및 생물 다양성 유지 등에 영향을 미치게 된다(Sarrantonio and Scott, 1988). Ortiz Escobar and Hue (2008)는 유기물 투입 후 토양의 pH 증가 원인이 유기물의 무기화 과정에서 방출되는 NH₃ (NH₃+H₂O→NH₄⁺+OH⁻)에 의한 것으로 보고한 바 있다. 또한 유기물로부터 방출되는 인(P)의 증가도 토양 내 pH를 증가시키는 요인 중 하나로 보고되었다(Phan and Merckx, 2005). 반면, Erdem and Sözüdogru(2002)는 유기물 투입이 토양 내 pH를 감소시킴을 보고하였는데 이는 유기물의 분해과정에서 생성되는 NH₄⁺가 NO₃⁻로 변환(2NH₄⁺+3O₂→2NO₃⁻+8H⁺)되기 위해 산소와 반응하기 때문으로 보고하였다(Ok et al., 2008). 한편 EC는 토양용액 내 이온의 값으로 측정되기 때문에 토양에서 유기물의 분해과정에서 방출되는 주요 이온인 질소 이온과 높은 정의상관관계를 갖는다고 보고하였고(Patriquin, 1993), 유사한 결과는 다른 연구자들에 의해서 보고되었다(Erdem and Sözüdogru, 2002; Ortiz Escobar and Hue, 2008).

한편 토양의 pH와 EC 변화는 유기물 시용에 따른 무기화 이외에도 미생물상의 변화, 온도 및 수분의 감소 등도 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Bååth et al., 1995; Cayuela et al., 2004; Gil et al., 2008).

유채를 녹비로 환원시킨 후 시간 경과에 따른 질소의 무기화량을 Fig. 2에 나타냈다. 유채로부터 분해된 암모늄태 질소의 토양 내 함량은 환원 전 초기 토양의 2.5mg/kg에서 90일 후 24.2mg/kg으로 약 10배 정도 증가하였으며, 질산태 질소의 함량은 초기 4.1mg/kg에서 90

일 후 58.4mg/kg으로 14배 정도 증가하였다. 암모늄태 질소의 경우 유채의 녹비 환원 후 50일까지 무기화가 꾸준히 증가하였으나 질산태 질소의 경우에는 70일 이후 급격히 증가하는 경향이 나타났다. 유채의 녹비 환원 후 무기화된 총 질소의 함량은 30일째에 30.5mg/kg 이었고 이후 지속적으로 상승하여 90일째에는 82.6mg/kg까지 증가하였다.

옥수수 재배기간 동안(60일) 무기화된 질소의 총량을 환산하면 환원직 후 옥수수를 파종한 처리구(녹비환원 60일 후)는 185.7mg/pot이었으며, 30일간 부숙기간을 거친 뒤 옥수수를 파종한 처리구(녹비환원 90일 후)는 280.8mg/pot이었다<Fig. 2>. 그 중 유채가 분해되어 방출된 무기태 질소에 대한 옥수수가 흡수한 질소량은 부숙기간 없이 환원 직후 파종한 처리구(159.3mg/pot)와 30일간 부숙기간을 설정한 처리구(247.8mg/pot)에서 각각 86% 및 88%로 높게 나타났다<Table 2>.

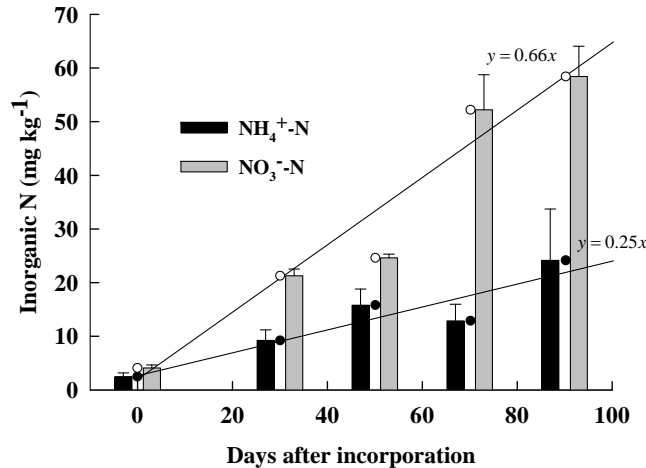


Fig. 2. Soil inorganic N(NH₄⁺-N and NO₃⁻-N) contents after incorporation of rapeseed as a green manure.

한편 무기화된 유채 잔유물에 대하여 옥수수에 의한 질소 흡수율이 높은 것은 pot 실험의 장점이자 단점으로서 왕성하게 생육하는 옥수수 뿌리의 확장범위를 pot로 한정하기 때문에 무기화 되어 방출되는 양분의 용탈 없이 대부분 흡수할 수 있었기 때문으로 판단된다.

IV. 요약

녹비 작물의 이용은 화학비료의 사용을 대체하고 물질순환에 의한 안전한 농작물 생산을 가능하게 할 수 있다. 이에 본 연구는 바이오디젤 생산의 원료로 이용되는 유채 종자의

수확 후 잔유물의 녹비 이용 가능성을 평가하였다. 유채 수확 후 잔류물의 질소함량은 0.53%로 낮았으며 탄질율은 63으로 나타났다. 유채 잔유물의 부숙기간 없이 환원 직후 파종한 처리구는 옥수수의 질소 흡수를 지연시켰으며, 생육에서도 30일간 부숙기간을 설정한 처리구의 옥수수보다 억제되어 유채 잔유물의 녹비 환원 직후 후작물의 파종은 주의해야 할 것으로 판단되었다. 유채 잔유물의 녹비 환원 90일 후 질소무기화는 암모늄태 질소(24.2 mg/kg)보다 질산태 질소(58.4mg/kg)에서 높았으며, 방출된 무기태 질소에 대한 옥수수의 흡수 및 이용량은 부숙기간 없이 환원 직후 파종한 처리구와 30일간 부숙기간을 설정한 처리구에서 각각 86%와 88%로 나타났다.

[논문접수일 : 2009. 6. 25. 논문수정일 : 2009. 8. 3. 최종논문접수일 : 2009. 8. 7]

참 고 문 헌

1. 남재작·옥용식·최봉수·임송택·정용수·장영석·양재의. 2008. 겨울 유채의 환경성 평가를 위한 전과정평가(LCA) 방법론. 한국환경농학회지 27: 205-210.
2. 농업과학기술원. 1988. 토양화학분석법.
3. 손상목. 2007. 유기농업. 향문사.
4. 양창휴·유철현·강승원·한상수. 2002. 자운영 후작 벼 재배시 경운시기별 질소비료량 절감효과. 한국토양비료학회지 35: 352-360.
5. 정두영·송인근·김영준. 2007. 음식물류폐수처리를 위한 유기물분해 미생물의 분리 및 동정. 유기물자원화 15: 128-135.
6. Bååtha, E., Å. Frostegårda, T. Pennanenb and H. Fritze. 1995. Microbial community structure and pH response in relation to soil organic matter quality in wood-ash fertilized, clear-cut or burned coniferous forest soils. Soil Biol. Biochem. 27: 229-240.
7. Becker, M., J. K. Ladha, I. C. Simpson and J. C. G. Ottow. 1994. Parameters affecting residue N mineralization in flooded soils, Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 1666-1671.
8. Blau, P. A., P. Feeny and L. Contardo. 1978. Allylglucosinolate and herbivorous caterpillars: A contrast in toxicity and tolerance. Science 200: 1296-1298.
9. Cayuela, M. L., M. P. Bernal and A. Roig. 2004. Composting olive mill waste and sheep manure for orchard use. Compost Sci. Util. 12: 130-136.
10. Choi, B., M. Ohe, J. Harada and H. Daimon. 2008. Role of belowground parts of green manure legumes, *Crotalaria spectabilis* and *Sesbania rostrata*, in N uptake by the succeeding

- tendergreen mustard plant. *Plant Prod. Sci.* 11: 116-123.
11. Erdem, N. and S. Sözüdogru. 2002. Effect of brewery sludge amendments on some chemical properties of acid soil in pot experiments. *Bioresour. Technol.* 84: 271-273.
 12. Fong, M. J. W. C. Wong and M. H. Wong. 1999. Review on evaluation of compost maturity and stability of solid waste, *Shanghai Environ. Sci.* 18: 91-93.
 13. Francis, G. S., R. J. Haynes and P. H. Williams. 1995. Effects of the timing of ploughing-in temporary leguminous pastures and two winter cover crops on nitrogen mineralization, nitrate leaching and spring wheat growth. *J. Agric. Sci.* 124: 1-9.
 14. Garwood, T. W. D., D. B. Davies and A. R. Hartley. 1999. The effect of winter cover crops on yield of the following spring crops and nitrogen balance in a calcareous loam. *J. Agric. Sci.* 132: 1-11.
 15. Gil, M. V., M. T. Carballo and L. F. Calvo. 2008. Fertilization of maize with compost from cattle manure supplemented with additional mineral nutrients. *Waste Manag.* 28: 1432-1440.
 16. Hue, N. V. 1992. Correcting soil acidity of a highly weathered Ultisol with chicken manure and sewage sludge. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 23: 241-264.
 17. Karen, D. L. and J. W. Doran. 1991. Cover crop management effect of soybean and corn growth and nitrogen dynamics in an on-farm study. *Am. J. Altern. Agric.* 6: 71-82.
 18. Liu, J. and N. V. Hue. 2001. Amending subsoil acidity by surface applications of gypsum, lime and composts. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32: 2117-2132.
 19. Mojrahedi, H., G. Santo, J. Wilson and A. N. Hang. 1993. Managing *Meloidogyne chitwoodi* on potato with rapeseed as green manure. *Plant Dis.* 77: 42-46.
 20. Muehlchen, A. M., R. E. Rand and J. L. Parke. 1990. Evaluation of crucifer green manures for controlling *Aphanomyces* root rot of peas. *Plant Dis.* 74: 651-654.
 21. Ok, Y. S., S. X. Chang, and Y. Feng. 2008. The role of atmospheric N deposition in soil acidification in forest ecosystems. In *Ecological Research Progress*. Nova Science Publishers. New York. USA.
 22. Ortiz Escobar, M. E. and N. V. Hue. 2008. Temporal changes of selected chemical properties in three manure-Amended soils of Hawaii. *Bioresour. Technol.* 99: 8649-8654.
 23. Palm, C. A. and P. A. Sanchez. 1991. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biol. Biochem.* 23: 83-88.
 24. Papavizas, G. 1966. Suppression of *Aphanomyces* root rot of peas by cruciferous soil amendments. *Phytopathology* 56: 1071-1075.
 25. Patriquin, D. G., H. Blaikie, M. J. Patriquin, and C. Yang. 1993. On-farm measurements of

- pH, electrical conductivity and nitrate in soil extracts for monitoring coupling and decoupling of nutrient cycles. *Biol. Agric. Hort.*, 9: 231-272.
26. Petersen, J., R. Belz, F. Walker and K. Hurlle. 2001. Weed suppression by release of isothiocyanates from turnip-rape mulch. *Agron. J.* 93:37-43.
 27. Phan, T. C. and R. Merckx. 2005. Improving phosphorus availability in two upland soils of Vietnam using shape *Tithonia diversifolia* H. *Plant Soil* 269: 11-23.
 28. SAS. 2003. SAS/STAT User's Guide, Release 9.1 ed. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
 29. Sarrantonio, M. and T. W. Scott. 1988. Tillage effects on availability of N to corn following a winter green manure crop. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 1661-1668.
 30. Seo, J. H. and H. J. Lee. 2005. Effects of hairy vetch green manure on nitrogen enrichment in soil and corn plant. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 38: 211-217.
 31. Tejada, M. and J. L. Gonzalez. 2006. Crushed cotton gin compost on soil biological properties and rice yield. *Eur. J. Agron.* 25: 22-29.
 32. Tejada, M., J. L. Gonzalez, A. M. García-Martínez and J. Parrado. 2008. Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. *Bioresour. Technol.* 99: 1758-1767.
 33. van Hees, P. A. W., D. L. Jones and D. L. Godbold. 2002. Biodegradation of low molecular weight organic acids in coniferous forest podzolic soils. *Soil Biol. Biochem.* 34: 1261-1272.
 34. Vyn, T. J., K. J. Janovicek, M. H. Miller and E. G. Beauchamp. 1999. Soil nitrate accumulation and corn response to preceding small-grain fertilization and cover crops. *Agron. J.* 91: 17-24.