

Short communication

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2017.50.1.040>

pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Potential Nitrogen Mineralization and Availability in Upland Soil Amended with Various Organic Materials

Jong-Uk Im,¹ Song-Yeob Kim,² Seong-Hwa Jeon,¹ Jang-Hwan Kim,¹ Young-Eun Yoon,¹ Sook-Jin Kim,³ and Yong-Bok Lee^{2,*}¹Division of Applied Life Science (BK 21plus program), Graduate School, Gyeongsang National University, Jinju, 52828, Republic of Korea²Institute of Agriculture & Life Science Gyeongsang National University, Jinju, 52828, Republic of Korea³National Institute of Crop Science, RDA, Suwon, 16429, Republic of Korea

*Corresponding author: yblee@gnu.ac.kr

ABSTRACT

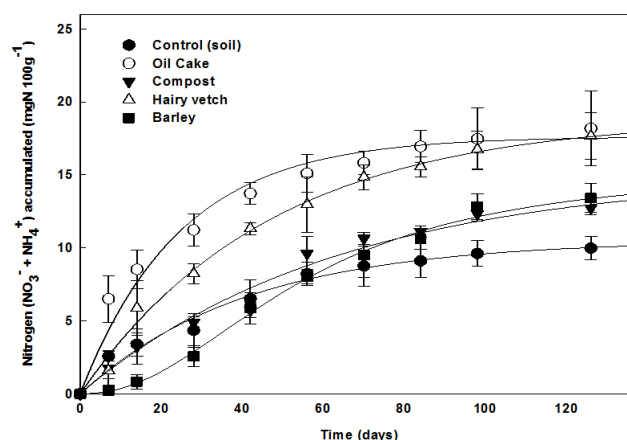
Received: February 1, 2017

Revised: February 22, 2017

Accepted: February 28, 2017

In this study, we evaluated the nitrogen (N) mineralization potential and Nitrogen use efficiency (NUE) of oil-cake, compost, hairy vetch and barley, which are the most widely used organic amendments in South Korea. The N mineralization potential (N_0) for organic fertilizers treated soil was highest for the hairy vetch treatment with a value of $18.9 \text{ mg N } 100 \text{ g}^{-1}$, followed by oil-cake, barley and compost. The amount of pure N mineralization potentials in hairy vetch, oil-cake, barley and compost treatments were 8.42, 7.62, 3.82 and $3.60 \text{ mg N } 100 \text{ g}^{-1}$, respectively. The half-life ($t_{1/2}$) of organic N in soil amended with oil-cake fertilizer mineralized quickly in 17 days. While, $t_{1/2}$ values of organic N for the compost and barley treatments accounted to 44.4 and 44.1 days, respectively. Oil-cake was good in supplying nutrients to plants. Compost and barley inhibited plant growth in the beginning growth stage and this is attributed to N immobilization effect. The results of this study highlight that compost and barley could be used as potential slow release fertilizers in conventional agriculture.

Keywords: Organic amendments, Upland soil, Nitrogen availability, Nitrogen mineralization



Cumulative N mineralization over 20 weeks in soils treated with organic amendments.



Introduction

농작물의 생산성 향상에 목적을 가지고 있는 근현대농업은 지력감소, 환경부하량 증대, 농작물의 안전성 등 여러 가지 문제점을 안고 있다. 유기농업은 인간과 자연이 생태적 조화를 바탕으로 인위적인 농자재의 사용을 배제하고 지속적으로 안전한 농산물의 생산을 추구하는 농업방식이다 (Harris and Benzdicck, 1994).

전 세계적으로 유기농업은 주로 농업 선진국을 중심으로 지속적으로 증가하고 있으며 유럽의 경우 2014년도를 기준으로 최근 8년간 약 59%의 성장을 하였다. 친환경농산물의 시장규모 또한 2012년도 기준 6380억 달러의 규모로 성장하였으며, 매년 11.3%씩 꾸준한 증가 추세를 보이고 있다 (IFOAM, 2004). 우리나라의 유기농업은 1970년대에 도입된 이래 재배 면적은 21,210 ha로 확대 되고 있지만 (NAP, 2014) 유기농산물의 출하량은 2008년 이후로 정체기에 접어들었다. 이와 같은 유기농산물 출하량 감소의 주요원인으로 유기농법의 복잡성 (70.3%), 낮은 효율성 (21.6%) 등이 보고되었다 (KREI, 2013). 농작물 생산 측면에서 유기농업의 복잡성과 효율성 개선 방향은 크게 양분관리와 병해충관리로 구분 할 수 있을 것이다.

유기농업의 복잡성과 효율성 제고를 위해서 정부에서는 2007년부터 유기농업자재의 공시제도를 시행 하고 있으며, 2016년 기준 1439종의 유기 농자재가 공시되었다. 이중에서도 토양개량과 작물생육에 연관된 제제가 746종으로 가장 높은 비율을 차지하고 있다 (RDA, 2016). 그리고 농경지 비옥도관리 및 작물의 양분 공급을 위해 현재 가장 널리 이용되고 있는 유기농업자재는 퇴비, 유박, 풋거름 작물 환원으로 알려져 있다.

작물에 대한 양분공급과 토양비옥도 개선을 목적으로 사용되는 유기농업자재의 토양내 물리성 (Mader et al, 2002; Lee et al, 2014) 및 화학성 개량 (Diacono and Montermuro, 2010; Park and Seo, 2012; Lee and Hwang, 1984) 그리고 미생물 활성 (Joa et al., 2012; Manma and Singh, 2001) 증진과 같은 시용효과 구명에 관한 많은 연구가 진행되어 왔다. 그러나 다양한 유기농업자재 사용에 대한 편리성을 제공하기 위한 시용시기와 시용량 추천을 위한 연구는 상대적으로 미흡한 현실이다. 토양에 처리된 유기자재는 주로 토양 내 미생물에 의해 무기화되고, 무기화된 양분은 식물에 의해 흡수되어 작물 생육에 이용된다. 따라서 유기자재의 무기화 패턴과 무기화량은 시용시기와 시용량 결정에 중요한 지표로 활용될 수 있을 것이다.

본 실험에서는 밭 토양에서 유박, 퇴비, 풋거름작물 (헤어리베치, 풋거름보리)을 대상으로 질소 무기화율과 이용율을 조사하여 이들 유기농업자재의 시용시기 및 시용량 결정에 필요한 자료를 제공하고자 하였다.

Materials and Methods

공시토양 유기농업자재의 질소 무기화율과 이용율 평가 시험에 사용한 토양은 경상남도 산청군 단성면 남사리에 위치한 실습포장에서 채토하여 음건 후 사용하였다. 공시토양의 이화학적 특성은 농촌진흥청 토양 분석방법에 준하여 pH는 1:5법 (토양:증류수, v/v), 토성은 비중계법, 유효인산은 Lancaster 방법 (0.33M CH₃COOH, 0.15M Lacticacid, 0.03M NH₄F, 0.05M (NH₄)₂SO₄, 0.2M NaOH)추출한 후 비색정량, 치환성 양이온은 1M NH₄-Acetate buffer (pH7.0조정)로 추출 후 ICP (Inductive coupled plasma spectrometer, Atomscan25TJA, USA)로 정량 분석하였다 (RDA, 2003). 공시토양의 이화학적 특성은 Table 1에서 보는 바와 같다.

Table 1. Characteristics of the soil used in the experiment

pH (1:5)	T-N (g kg ⁻¹)	O.M (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. cation (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)			Soil texture
				K	Ca	Mg	
6.6	6.7	165	658	0.4	5.8	1.7	Sandy loam

공시 유기자재 본 실험에 사용된 유기자재는 유박 (Oil-cake), 퇴비 (Compost), 헤어리베치 (Hairy vetch) 그리고 풋겨름 보리 (Barley)를 사용하였다. 유박과 퇴비는 시중에서 유통되고 있는 제품을 구입 후 건조하여 사용하였다. Hairy vetch와 barley는 경상남도 진주시 가좌동 경상대학교 내 시험포장에서 재배 후 수확하여 사용하였다. 시험에 사용된 유기자재는 72°C에서 2일간 건조 후 분쇄하여 사용하였고 탄질율은 CNS2000 (Leco, USA)로 분석하였으며, 일반적 무기성분은 식물체 분해액 (HClO₄:H₂O:H₂SO₄=9:4:1)으로 분해시킨 여액을 희석하여 P는 Vanado-molybdate 법, K, Ca, Mg는 ICP로 분석하였다. 공시 유기자재의 양분 함량은 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Nutrient contents and C:N ratio of the organic amendments

Organic amendments	Nutrient contents (g kg ⁻¹)			C:N ratio
	N	P	K	
Oil-Cake	50.1	4.2	8.6	4.5
Compost	21.4	12.8	11.3	13.0
Hairy vetch	33.3	4.3	28.5	12.7
Barley	12.1	1.1	5.2	31.6

유기자재 잠재적 질소무기화율 평가 질소무기화율 평가를 위한 항온 실험은 Stanford and Smith가 제시한 방법에 따라 실험을 진행하였다 (Stanford and Smith, 1972). 2 mm 체를 통과한 건조 토양 100 g을 질소 함량 기준으로 유기자재 11 mg N과 잘 혼합하였다 (Table 3). 그리고 0.45 um cellulose acetate membrane 필터가 부착되어 있는 250 mL 용기 (Corning, USA)에 넣고 20주간 25°C에서 항온 정치하였다. 항온 기간 수분함량은 포장용수량의 65%로 일정하게 유지 시켜주었다. 유기자재의 질소 무기화율 추정을 위한 토양 내 무기 질소 (NH₄-N+NO₃-N)는 Non-destructive법에 따라 0.01M CaCl₂용액 100 mL을 용기에 첨가한 다음 진공 펌프를 이용하여 추출하였다. 무기 질소를 추출 후 질소가 제외된 무기 영양액 (N-free solution : 0.002M CaSO₄·2H₂O, 0.002M MgSO₄, 0.005M Ca (H₂PO₄)·2H₂O, 0.0025M K₂SO₄) 25 mL을 첨가하고 과잉된 양액을 증류수를 이용하여 세척한 후 항온에 정치하였다 (Stanford and Smith, 1972). 시료의 추출 시기는 최초 항온 후 1, 2, 4, 6, 10, 14, 18 그리고 20주째 총 8회에 걸쳐 실시하였다. 추출 시료 내 NH₄-N는 Indophenol-Blue 비색법 (RDA, 2010), NO₃-N는 Brucine 비색법 (RDA, 2010)을 이용하여 분석하였다.

질소무기화 포텐셜과 속도상수 추정 질소무기화 속도 상수 (k)와 잠재적 질소무기화 포텐셜 (N_0)은 stanford 와 smith (1972)가 제시한 식(1)에 의해서 계산되었다.

$$N = N_0 [1 - \exp(-k \cdot t)] \quad (1)$$

여기서 N 은 시간 (t)에 질소 무기화량, N_0 는 포텐셜 질소 무기화량, k 는 질소무기화 상수를 의미한다.

$t_{1/2}$ 는 유기자재에 함유된 유기 질소의 반감기, 즉 N_0 값이 1/2이 되는 일수를 나타내며, 다음 식(2)를 이용해 구하였다.

$$t_{1/2} = 0.693/k \quad (2)$$

위 모델 식에서 각각의 파라미터는 SAS Proc. procedure을 이용하여 구하였다.

Table 3. Upland condition fertilization rates used for the chamber experiment

Treatments	Fertilization (mg 100g ⁻¹)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Control	-	-	-
Oil-Cake	11	0.9	1.8
Compost	11	6.0	5.7
Hairy vetch	11	1.3	9.6
Barley	11	3.5	28.4

질소이용효율 재배실험은 5000⁻¹ a 포트에서 실험을 진행하였으며 시비량은 농업과학기술원 작물별 시비처방 기준에 따른 상추 표준시비량 (N-P₂O₅-K₂O=10-5.9-6.4 kg 10a⁻¹)의 질소 함량을 기준하여 유기자재를 사용하였다. 관행 처리구로서 무기질비료를 처리하였으며, 각 유기자재의 성분 함량 차이에 따른 P₂O₅, K₂O함량의 부족분은 무기 질비료로 대체하였다 (Table 4). 상추 품종은 우리나라에서 가장 대표적인 *Lactuca sativa* L.을 재배하였다. 상추는 2016년 7월 16일 파종하여 3주간 생육 후 5000⁻¹ a 포트에 이식하여 실험을 진행하였다. 모든 포트에 하나의 상추 모종을 이식하였으며, 상추는 시기별 바이오매스 비교를 위해 이식 후 15, 30, 45일 동안 생육 후 수확하였다. 모든 실험은 3 반복으로 실험이 진행되었다.

Table 4. The amount of fertilizer applied for the lettuce growth experiment

Treatments	Fertilization (kg 10a ⁻¹)								
	N			P ₂ O ₅			K ₂ O		
	organic	inorganic [†]	total	organic	inorganic	total	organic	inorganic	total
Control	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Urea	10	-	10	5.9	0	5.9	6.4	-	6.4
Oil-Cake	10	-	10	0.8	5.1	5.9	1.6	4.8	6.4
Compost	10	-	10	6.2	-	6.2	5.7	0.7	6.4
Hairy vetch	10	-	10	1.2	4.7	5.9	8.8	-	8.8
Barley	10	-	10	0.8	5.1	5.9	4.1	2.3	6.4

[†] Adjusted additional chemical fertilization in response to different ingredient of organic amendments.

상추는 뿌리까지 수확 후 세척, 수분 제거하여 처리구 간의 생중량을 비교하였다. 그 후 75°C에서 건조하여 40 mesh 이하로 분쇄한 후 분석에 사용하였다. 식물체 내 T-N 함량은 CNS2000 (Leco, USA) 분석기를 이용하여 분석한 후 식(3)을 통해서 질소이용율 (Nitrogen use efficiency; NUE)을 구하였다.

$$NUE = \frac{N(\text{fertilized crop uptake}) - N(\text{unfertilized crop uptake})}{N(\text{fertilizer input})} \quad (3)$$

Results and Discussion

유기자재 처리에 의한 질소 무기화 평가 유기자재별 질소 무기화 경향은 시간과 유기자재의 특성에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다 (Fig. 1). 탄소와 질소의 비가 낮은 유박 (Oil-Cake)과 헤어리베치 (Hairy Vetch)는 처리후 1주 및 2주째 가장 높은 질소 무기화량을 보였으며, 풋겨름 보리와 퇴비는 처리후 6주째 가장 높은 질소 무기화량을 나타내었다. 그리고 처리 후 120일째 모든 유기자재 처리구에서 질소 무기화량은 무처리구와 비슷한 수준을 나타내었다. 풋겨름 보리의 경우 처리 2주까지 무처리 (Control)구에 비해 낮은 질소 무기화량을 보였다. 풋겨름보리의 경우 C:N율이 31.6으로 많은 양의 탄소 투입에 의해서 미생물에 의한 고정으로 질소 무기화량이 무처리구에 비해서 낮은 것으로 판단된다 (Hoffland, 2010). Im (2015) 등의 밭 토양 조건에서 유박의 질소 무기화량은 향온 14일째 최대값을 보였다. 반면, 논 토양에서의 유박의 질소 무기화량은 처리 3주째 가장 높은 것으로 나타났다 (Lee, 2012). 이와 같이 논과 밭 조건에서 질소 무기화 속도 차이를 보이는 것은 산화와 환원조건에서 유기물의 무기화 속도 차이에 기인된 것으로 판단된다.

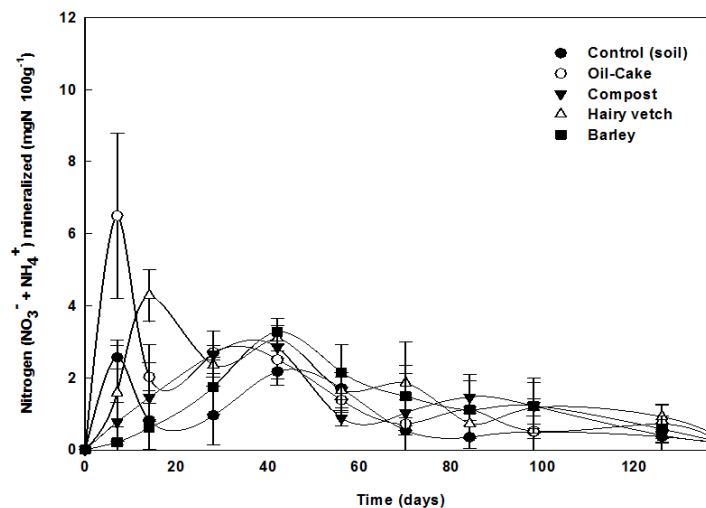


Fig. 1. Changes in inorganic N in soils treated with organic amendments.

유기자재 처리에 따른 20 주간 누적 질소 무기화량은 유박에서 18.3 mg N 100g⁻¹으로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 헤어리베치, 풋겨름 보리, 퇴비 그리고 무처리 순으로 각각 17.9, 13.6, 13.3, 10.3 mg N 100g⁻¹이었다 (Fig. 2). 유기자재를 처리한 토양의 무기화된 질소량에서 무처리의 질소 무기화량을 뺀 순질소 무기화량은 유박, 헤어리베치, 풋

겨름보리, 퇴비에서 각각 8.0, 7.6, 3.3, 3.0 mg N 100g⁻¹이었으며 이는 전체 질소 투입량의 73, 69, 30, 27%에 해당되는 값으로 나타났다. 그리고 풋겨름 보리의 경우 처리 56일까지 무처리에 비하여 낮은 누적 질소 무기화량을 나타내었다. 이는 Hoffland et al. (2010) 연구에서 C:N을 20 이상의 유기물을 처리 하였을 때 나타나는 질소 부동화 현상에서 기인된 것으로 판단된다. 따라서 풋겨름 보리와 같이 C:N율이 높은 유기자재를 질소 양분원으로 이용시 작물의 생육 초기에 질소 기아 현상을 유발시킬 수 있을 것으로 생각된다.

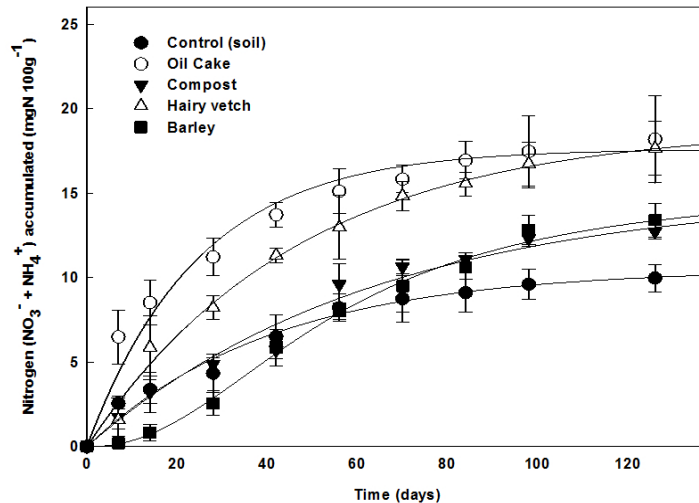


Fig. 2. Cumulative N mineralization over 20 weeks in soils treated with organic amendments.

Table 5. N mineralization potential and other characteristics of soils that received organic amendments.

Treatments	N_0 (mg N 100g ⁻¹)	k (mg 100g ⁻¹ day ⁻¹)	$t1/2$ (day)
Oil-Cake	18.1	0.041	17.1
Compost	14.3	0.016	44.4
Hairy vetch	18.9	0.021	32.5
Barley	14.1	0.016	44.1

유기농업자재 사용에 의한 질소 무기화량 추정식 (식(1))에 의해서 추정된 잠재적 질소 무기화량 (N_0)은 헤어리베치가 유박보다 높게 나타났으며, 풋겨름 보리에서 가장 낮게 나타났다 (Table 5).

유기농업자재 처리에 의한 잠재적 순질소 무기화량 ($N_p = N_0 \text{ treatment} - N_0 \text{ control}$)은 유박, 퇴비, 헤어리베치, 보리에서 각각 7.62, 3.82, 8.42, 3.60 mg N 100g⁻¹으로 나타났다. 이는 20주간 항온 시험에서 실제 평가된 유박, 퇴비, 헤어리베치, 풋겨름보리의 질소 무기화량의 92.5, 120.6, 107.5, 102.8%에 해당되었다. 밭 토양에서 가축분 퇴비의 잠재적 순질소 무기화량과 실제 무기화량의 비율이 97~107% (Yun et al., 2010)인 기존의 연구결과보다는 다소 높은 경향을 보였다. 질소무기화 속도 (k)는 유박 처리구에서 0.041 mg 100g⁻¹ day⁻¹로 다른 처리구들에 비해 빠른 질소무기화 속도를 보였으며, 이 결과는 기존 Im (2015)의 연구에서 나타난 0.040 mg 100g⁻¹ day⁻¹ 값과 큰 차이를 보이지 않았다. 퇴비와 보리 처리구에서는 0.016 mg 100g⁻¹ day⁻¹로 상대적으로 느린 질소무기화 속도를 확인하였으며, 논토양에서 실행한 가축분 퇴비의 무기화속도 0.015 mg 100g⁻¹ day⁻¹ (Yun et al., 2010)와 하수슬러지 퇴비 (Hernandez et al.,

2002)에서 유사한 결과를 확인하였다. 토양에 사용되는 유기물의 질소 무기화량과 속도는 유기물원의 탄질율에 가장 높게 영향을 받는다 (Janssen, 1996). 유기자재 농경지 처리시 전체 질소 무기화량의 1/2이 무기화 되는 기간 ($t_{1/2}$)은 유박 처리구에서 가장 빠른 17.1일로 나타났으며, 이 값은 Im (2015)등의 연구결과와 동일 값을 보였다. 반면에 퇴비 및 풋거름보리 처리구에서는 44.4, 44.1일로 나타났다. 따라서 유기농업에서 질소원으로 퇴비 및 풋거름 보리를 사용할 경우 속효성 유기자재인 유박과 혼용사용이 필요할 것으로 판단된다.

유기자재 처리에 따른 질소이용효율 평가 유기자재를 질소원으로 토양에 사용하여 유기자재의 종류와 사용 기간에 따른 상추의 성장량을 평가하였다 (Fig. 3). 무기질비료인 요소를 사용한 처리구의 15일 생육 상추의 생중은 10.9 g pot^{-1} 로 가장 높게 측정되었으며, 이후 30일, 45일 생육한 상추 생중은 각각 $57.5, 121.5 \text{ g pot}^{-1}$ 로 처리한 자재 중 가장 빠른 생중의 증가를 확인하였다. 요소는 토양 내에서 사용 후 48시간 내 절반 이상이 무기화 되고 일주일 이내 대부분의 질소가 무기화된다. 이는 식물이 생육 초기에 많은 양의 질소를 흡수 할 수 있기 때문이다 (Baldi and Toselli, 2014). 유기자재 중 무기화속도가 가장 빠른 유박 처리구에서 상추의 성장속도가 가장 빠르게 나타났다. 유박 처리 45일 생육 상추의 생중은 112.8 g pot^{-1} 로 요소 처리구와 유사한 수량을 보였다. 퇴비, 풋거름 보리 처리구는 유기 질소의 느린 무기화 과정에 의하여 15일차 수확량은 각각 $4.8, 3.4 \text{ g pot}^{-1}$ 로 무처리구의 상추 생중인 6.12 g pot^{-1} 보다 낮게 측정 되었으며, 이후 45일차 상추 생중은 퇴비와 풋거름 보리 처리구에서 각각 $84.4, 81.1 \text{ g pot}^{-1}$ 로 요소 처리구에 비하여 약 69.5, 66.7% 낮았다.

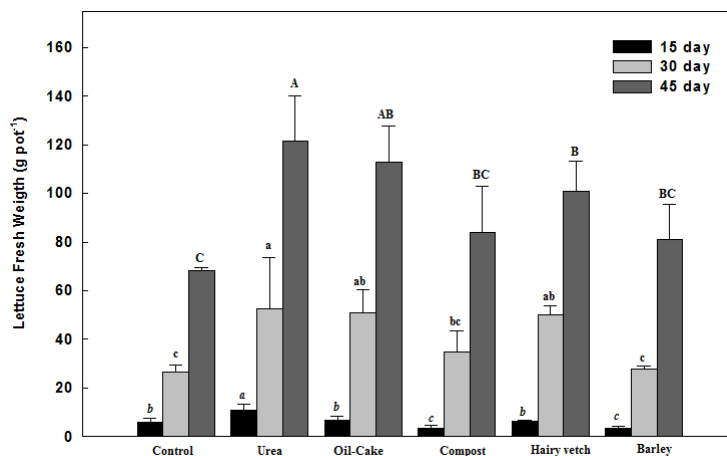


Fig. 3. Effect of organic amendments on lettuce yield over time (15, 30 and 45 days). Statistical analysis of organic amendments over 15 days (italics), 30 days (lowercase) and 45 days (uppercase) were tested by factorial ANOVA test.

Table 6. Comparison of the N use efficiency by lettuce at different harvest times and treatments.

Treatments	N use efficiency (%)		
	15 days	30 days	45 days
Control	-	-	-
Urea	9.99	51.7	68.2 ^a
Oil-Cake	5.13	46.7	59.5 ^b
Compost	-1.67	16.1	35.7 ^d
Hairy vetch	1.96	35.4	50.9 ^c
Barley	-5.04	6.05	31.4 ^d

유기자재 종류와 생육기간에 따른 상추의 질소 이용율 변화는 식(3)을 이용하여 계산하였다 (Table 6). 시험 후 45 일째 상추의 질소 이용율은 무기질 비료인 요소 처리구에서 68.2%로 가장 높게 나타났으며, 풋거름 보리에서 31.4%로 가장 낮게 나타났다. 그리고 질소 무기화 속도가 가장 빠른 유박 처리구에서 요소와 비슷한 질소 이용율을 나타냈다. 포장 시험에서 상추에 대한 무기질 비료의 질소 이용율은 약 40%로 보고되었으며 (Tei, 1999), 유박 사용에 따른 다채 재배에서 질소 이용율은 39.4-51.6%로 발표되었다 (Kim et al., 2014). 유기자재 처리 후 15일째 퇴비와 풋거름 보리 처리구에서 질소 이용율은 각각 -1.67% 및 -5.04% 나타났으며 이는 보리의 높은 탄질율에 의한 질소 기아 현상 때문으로 판단된다 (Yun et al., 2010; Hoffland et al., 2010).

Conclusion

본 연구에서는 우리나라에서 가장 대표적으로 사용되는 유박, 퇴비, 헤어리베치 그리고 풋거름 보리의 사용량 및 사용 시기 결정을 위한 질소 무기화율과 이용율을 상추를 대상으로 평가하였다. 잠재적 순질소 무기화량 (N_p)은 헤어리베치, 유박, 풋거름 보리, 퇴비 처리구에서 각각 8.42, 7.62, 3.82, 3.60 mg N 100g⁻¹이었다. 질소무기화 속도 (k)와 반감기 ($t_{1/2}$)는 유박 처리구에서 0.041 mg 100g⁻¹ day⁻¹, 17.1일로 가장 빠르게 나타났다. 반면 퇴비, 풋거름 보리 처리구의 반감기($t_{1/2}$)는 각각 44.4, 44.1일로 매우 느린 무기화 속도를 보였다. 유기자재 중 유박은 무기질 비료와 유사한 질소 이용율을 보였으며, 퇴비와 풋거름 보리 처리구에서는 초기 생육에서 질소 기아현상을 나타내었다. 따라서 유기농업에서 퇴비와 풋거름 보리를 사용 할 경우 초기 질소 기아 현상을 극복하기 위해서 유박과 같은 속효성 유기자재 사용이 필요할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This study was supported by a project of the Rural Development Administration, Republic of Korea (Project No. PJ01122702).

References

- Baldi, E. and M. Toselli. 2014. Mineralization dynamics of different commercial organic fertilizers from agro-industry organic waste recycling: an incubation experiment. *Plant Soil Envir.* 60(3):93-99.
- Diacono, M. and F. Montemurro. 2010. Long term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 30:401-422.
- Harris, R.F. and D.F. Bezdicek. 1997. Descriptive aspects of soil quality/health. pp. 23-35. In: J. W. Doran, D. C. Coleman, and B. A. Stewart (eds.). *Defining soil quality for sustainable environmental.* SSSa, Special publication No. 35. Madison, U.S.A.
- Hernandez, T., R. Moral, A. Perez-Espinosa, J. Moreno-Caselles, M.D. Perez-Murcia, and C. Garcia. 2002. Nitrogen Mineralization Potential in Calcareous Soils Amended with Sewage Sludge. *Bior. Tech.* 83:213-219.
- Hoffland, E., J.W. Groenigen, and O. Oenema. 2010. *Nutrient Management.* Wageningen university, Wageningen, Netherlands.
- Im, J.U., S.Y. Kim, Y.E. Yoon, J.H. Kim, S.B. Lee, and Y.B. Lee. 2015. Nitrogen mineralization in soil amended

- with oil-cake and amino acid fertilizer under a upland condition. *Korean J. Org. Agric.* 23:867-873.
- Janssen, B.H. 1966. Nitrogen Mineralization in Relation to C:N Ratio and Decomposability of Organic Matters. *Plant and Soil.* 181:39-45.
- Joa, J.H., K.H. Moon, S.C. Kim, D.G. Moon, and S.W. Koh. 2012. Effect of Temperature Condition on Nitrogen Mineralization of Organic Matter and Soil Microbial Community Structure in non-Volcanic Ash Soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45:377-384.
- Kim, K.C., B.K. Ahn, D.Y. Ko, J. Ko, and S.S. Jeong. 2014. Effects of Expeller Cake Fertilizer on Soil Properties and Tah Tasai Chinese Cabbage Yield in Organic Greenhouse Farm. *Korea J. Envir. Agric.* 33:149-154.
- Lee, J.E., Y. Kim, and S.I. Yun. 2014. Changes of Saturated Hydraulic Conductivity of Bed-soils Mixed with Organic and Inorganic Materials. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 47:66-70.
- Lee, S.K. and G.N. Hwang. 1984. Effects of compost and rice straw on immobilization and mineralization of nitrogen fertilizer added to coarse loamy and clay soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 17:60-66.
- Lee, T., H.S. Choi, J.H. Shin, and S.M. Lee. 2012. Mineralized N of plant residues with different C:N ratios under upland and rice paddy condition. *J. Food Agr. Envir.* 10:808-812.
- Mader, P., A.F. Bach, D. Dubois, L. Gunst, P. Fried, and U. Niggli. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296:1694-1697.
- Manna, M.C. and M.V. Singh. 2001. Long-term effects of intercropping and bio litter recycling on soil biological activity and fertility status of subtropical soils. *Bior. Tech.* 76:143-150.
- Park, Y.H and B.S. Seo. 2012. Changes in Growth and Quality of Melon (*Cucumis melo* L.) and in Soil Nitrogen Forms due to Organic Fertilizer Application. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45:1009-1016.
- Stanford, G. and S.J. Smith. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36:465-472.
- Tei, F., P. Benincasa, and M. Guiducci. 1999. Nitrogen fertilization on lettuce, processing tomato and sweet pepper: Yield, Nitrogen uptake and the risk of nitrate leaching. *Acta Hort.* 506:61-67.
- Yun, H.B., Y. Lee, C.Y. Tu, J.E. Tang, S.M. Lee, J.H. Shin, S.C. Kim, and Y.B. Lee. 2010. Soil nitrogen Mineralization Influenced by Continuous Application of Livestock Manure Composts. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:329-334.