

발토양 조건에서 유박과 아미노산 비료의 질소 무기화량 추정*

임종욱** · 김송엽** · 윤영은** · 김장환** · 이상범*** · 이용복****

Nitrogen Mineralization in Soil Amended with Oil-Cake and Amino Acid Fertilizer under a Upland Condition

Im, Jong-Uk · Kim, Song-Yeob · Yoon, Young-Eun · Kim, Jang-Hwan ·
Lee, Sang-Beom · Lee, Yong-Bok

The potential of nitrogen mineralization was studied by applying organic fertilizer to soil and incubating at 25°C for 28 weeks. The organic fertilizers used in this experiment were oil-cake (CF- I , CF-II) and amino acid fertilizer (AAF- I , AAF-II). Accumulated mineralized nitrogen (N) fits the first-order kinetics during incubation. The N mineralization potential (N_0) for organic fertilizers treated soil was highest at AAF-II treatment with a value of 27.71 N mg/100g, then followed by CF-II , AAF- I , CF- I . The pure N mineralization potential (N_0 treatment - N_0 control) for CF- I , CF-II , AAF- I , AAF-II were 2.55, 5.83, 3.66, 8.57 N mg/100g, respectively. The amount of N mineralized from organic fertilizers applied soil ranged from 46% to 61% of the total N content in organic fertilizer. The half-life ($t_{1/2}$) of organic nitrogen in soil treated with oil-cake and amino acid fertilizer was 17-21 days. Therefore, half of nitrogen contained in oil-cake and amino acid fertilizer was mineralized after 3 weeks application.

Key words : *amino acid fertilizer, nitrogen mineralization, oil-cake, upland*

* 본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호 : PJ01082703)의 지원에 의해 이루어진 것임.

** 경상대학교 환경생명화학과

*** 국립농업과학원 유기농업과

**** Corresponding author, 경상대학교 생명과학연구원(yblee@gnu.ac.kr)

I. 서 론

무기질 비료를 전혀 사용하지 않는 유기농업에서 작물의 양분관리는 주로 풋거름 작물, 퇴비, 작물잔사, 유기질 비료 등을 통해서 이루어지고 있다. 토양에 투입된 유기자재는 무기화(mineralization) 과정을 통해서 작물에 흡수 이용된다. 따라서 유기농업에서 영양원으로 이용되는 유기자재의 토양 중 무기화 양과 경향은 작물에 대한 적정 시비량과 시비 효율을 결정하는 중요한 요인으로 잘 알려져 있다.

지금까지 유기자재에 대한 질소 무기화율 평가는 주로 가축분 및 가축분 퇴비를 대상으로 다수의 연구가 진행되어 오고 있다(Miller et al., 1990; Eghball, 2000; Yun et al., 2010; Yun et al., 2009). 가축분 퇴비의 무기화 특성은 유기물의 구성 성분과 탄질율의 차이에 의해서 크게 달라지며(Yun et al., 2007), 온도, 수분 등과 같은 환경요인에 많은 영향을 받는다(Joa et al., 2012).

현재 유기농업에 많이 이용되고 있는 유박에 대한 양분학적 연구는 포장시험에서 수량(Kim et al., 2012; Kim et al., 2014), 토양미생물(Joa et al., 2012) 등과 같은 토양비옥도 증진 측면에 국한되어 있다. Kim 등(2014)에 의하면 다체에 대한 유박의 적정 시비량은 12 Mg/ha 이며 이때 질소 이용율은 39.4-51.6%이고 유박의 시용량 증가에 따라서 질소 이용율은 감소한다고 보고 하였다. Lim 등(2011)은 유기농 토마토 생산을 위한 벧짚과 혼합유박 시용효과 분석에서 유박은 질소 공급원으로 우수한 효과가 인정되었으나 토양물리성 개선효과는 없고, 벧짚은 용적밀도, 토양입단 등과 같은 토양물리성 개선효과가 뛰어난 것으로 보고 하였다. 그리고 유기농업에서 작물에 대한 유박의 적정 시용량 및 시용 시기 결정을 위한 무기화율에 관한 연구의 필요성을 제시하였다.

토양에 투입된 유기자재의 무기화율 평가는 destructive 방법(Lee et al., 2012a), 비닐팩법(Kim et al., 2012), non-destructive(세탈법, Stanford and Smith, 1972) 등이 이용되고 있으나, Lee 등(2012)은 실험실 조건에서 세밀한 무기화 경향과 무기화량 추정을 위한 방법은 세탈법으로 추천하였다. 따라서 본 연구는 현재 유기농업에서 가장 많이 이용되고 있는 유박과 식물성 아미노산 비료를 대상으로 밭 조건에서 무기화량을 추정하였다.

II. 재료 및 방법

본 연구에 사용된 유박(CF)은 질소가 52.6 g/kg, C/N율은 4.5이었고, 식물성 아미노산(AAF) 비료의 질소는 125.5 g/kg, C/N율은 1.1로 시중에서 유통되고 있는 제품을 이용하였다.

유박과 식물성아미노산 비료의 무기화량 추정을 위한 실내 항온 시험은 토양 200 g에 CF 5.7 mg N/100g (CF-I), 11.4 mg N/100g (CF-II), 그리고 AAF 6.7 mg N/100g (AAF-I), 13.4 mg

N/100g (AAF-II) 기준으로 혼합하였다. 유박과 아미노산 비료는 토양과 잘 혼합한 다음 0.45 um cellulose acetate membrane 필터가 바닥에 부착된 250 ml 용기(Corning Inc., Corning, USA)에 넣고, 포장용수량의 65%로 수분을 조절하여 25°C 항온기에서 28주간 항온하였으며, 시료 채취는 항온 후 1, 2, 4, 6, 8, 12, 16, 20, 24, 그리고 28주째 총 10회에 걸쳐 실시하였다. 무기화를 추정을 위한 분석용 시료는 0.01M CaCl₂ 용액 100 ml를 첨가한 다음 진공 펌프를 이용하여 추출하였다. 분석용 시료를 채취한 다음 질소가 포함되지 않은 무기영양액(N-free solution : 0.002 M-CaSO₄·2H₂O, 0.002 M-MgSO₄, 0.005 M Ca(H₂PO₄)₂·H₂O, 0.0025 M-K₂SO₄) 25 ml 첨가하고 과잉의 무기영양액은 진공펌프를 이용하여 제거 한 다음 항온 정치하였다(Stanford and Smith, 1972). 각 시기별 추출용액 내 암모니아태 질소(NH₄-N)는 Indophenol-Blue 비색법(RDA, 2010), 질산태 질소(NO₃-N)는 Brucine 비색법(RDA, 2010)을 이용하여 분석하였다. 그리고 본 시험에 이용된 토양의 이화학적 특성은 Table 1에서 보는 바와 같다. 유박과 아미노산 비료의 탄소와 질소는 72°C에서 2일간 건조 후 분쇄하여 CNS2000 (Leco, USA)를 이용하여 분석하였다. 그리고 그 외 토양의 이화학적 특성은 농촌진흥청 토양 분석방법에 따랐다(RDA, 2003).

유박과 아미노산 비료 처리 후 포텐셜 질소 무기화량과 속도 상수는 Stanford와 Smith (1972)가 제시한 식 (1)에 의해서 계산되어졌다.

$$N = N_0 [1 - \exp(-k \cdot t)] \tag{1}$$

여기서 N은 시간(t)에 질소 무기화량, N₀는 포텐셜 질소 무기화량, k 질소 무기화 상수를 의미한다.

Table 1. Soil properties at the beginning of the experiment

pH (1:5)	OM (g/kg)	Av.-P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex.- Cation (cmol ⁺ /kg)		
			K	Ca	Mg
6.94	2.443	26.33	0.4	7.66	1.85

Ⅲ. 결과 및 고찰

유기농에서 최적의 질소 양분관리를 위한 유박과 아미노산 비료의 질소 무기화를 추정을 위한 항온 시험의 질소(NH₄-N + NO₃-N)의 무기화 패턴은 Fig. 1과 2에서 보는 바와 같다. 두 가지 유기질 비료의 질소 무기화량은 모두 처리량에 비례하여 증가하였다. 시간에

따른 무기화량은 처리 후 6주까지 무처리에 비해서 유박과 아미노산 비료에서 높게 나타났으며, 처리 후 6주 이후는 큰 차이를 보이지 않았다. 이와 같은 시간에 따른 유박의 무기화 경향은 Lee 등(2012)이 논 조건에서 대두박의 무기화 경향과는 2주 정도 빠른 것으로 나타났으며, 이는 밭의 산화조건에서 논외 환원조건보다 유기물의 분해속도가 빠른 것에서 기인된 것으로 생각된다. 그리고 처리 후 2, 4주에서 유박처리보다 아미노산 비료에서 질소 무기화량이 높은 것은 아미노산 비료가 유박보다 처리량이 높은 것에서 기인된 것으로 판단된다.

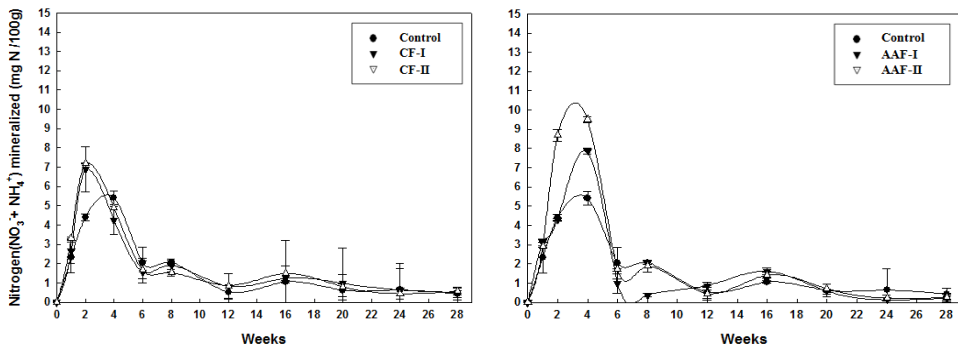


Fig. 1. Changes of inorganic nitrogen (NH₄-N + NO₃) in soil amended with Mixed oil-cake (A) and amino acid fertilizer (B).

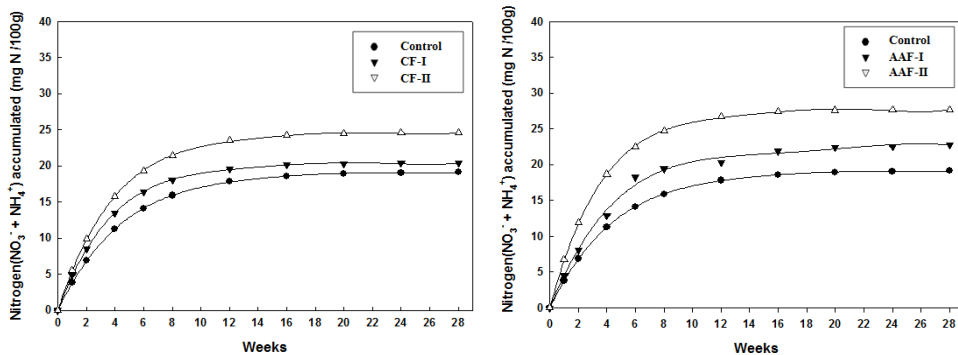


Fig. 2. Cumulative nitrogen mineralization over 28 weeks in soil amended with mixed oil-cake (A) and amino acid fertilizer (B).

유박과 아미노산 비료의 시간에 따른 누적 질소 무기화량은 아미노산 비료 처리에서 유박 처리보다 높게 나타났으며, 이는 위에서 설명한 시비량의 차이 때문인 것으로 판단된다 (Fig. 2). 유기자재 처리 토양의 무기화된 질소량에서 유기자재를 처리하지 않은 토양의 무기화된 질소량을 빼서 계산된 순질소무기화량은 CF-I, CF-II, AAF-I, AAF-II에서 각각 2.62,

5.92, 3.22, 8.12 N mg/100g으로 나타났으며 이는 시험 전 유기자재에 의해서 투입된 질소량 대비 CF-I, CF-II, AAF-I, AAF-II에서 각각 45.9, 51.8, 48.2, 60.5%에 해당된다. 따라서 유기자재에 의한 질소 투입량이 증가될수록 무기화율이 높은 것으로 나타났다. 본 연구에서 유박의 순무기화량은 Lee 등(2012)이 보고한 논 조건에서 약 21주 동안 약 35%보다 매우 높은 것으로 나타났다. 이것은 환원조건에서 무기화된 질소는 주로 NH_4^+ 형태로 존재하여 토양 콜로이드에 흡착된 양이 많아서 추출효율이 낮고, 본 연구와 같은 밭 조건에서 무기화된 질소는 주로 NO_3^- 형태로 존재하여 추출 효율이 높은 원인으로 판단된다.

유기물 시용에 의한 토양 중 질소 무기화량 추정식(식 (1))을 통해서 잠재적 질소 무기화량(N_0), 일일 질소 무기화량(k), 잠재적 질소 무기화량의 1/2에 도달하는 일수($t_{1/2}$)를 추정할 수 있다(Table 2). 본 연구에서 잠재적 순질소무기화량(N_0 treatment - N_0 control)은 CF-I, CF-II, AAF-I, AAF-II 처리에서 각각 2.55, 5.83, 3.66, 8.57 N mg/100g으로 나타났다.

Table 2. Nitrogen mineralization potential and other characteristics of soil amended with mixed oil-cake and amino acid fertilizer

Treatment	N_0 (mg/100g)	k (mg/100g/day)	$t_{1/2}$ (day)
Control	19.14	0.0317	21.8
CF-I	21.69	0.0401	17.3
CF-II	24.97	0.0365	18.9
AAF-I	22.80	0.0329	21.0
AAF-II	27.71	0.0399	17.3

CF-I, CF-II, AAF-I, AAF-II 처리에서 잠재적 순질소무기화량 N_0 값은 28주 동안 실제 질소무기화량의 각각 97.3%, 98.5%, 112.9%, 105.1%에 해당 되었으며, 이는 가축분 퇴비 시용 농경지에서 97-107%와 비슷한 결과로 나타났다(Yun et al., 2010; Hseu and Huang, 2005). 따라서 유박과 아미노산 비료를 시용한 농경지에서 무기화 될 수 있는 유기태 질소는 28주 후에는 거의 남아 있지 않는 것을 알 수 있다. 유박과 아미노산 비료의 질소 무기화 속도(k)는 0.03 mg/100g/day 내외로 두 가지 유기질 비료사이의 큰 차이를 보이지 않았다(Table 2). 하지만 본 연구에서 유박과 아미노산 비료의 질소 무기화 속도는 가축분 퇴비의 0.015 mg/100g/day (Yun et al., 2010)와 하수슬러지 퇴비(Hernandez et al., 2002) 보다는 높은 값을 보였다. 토양에 시용된 유기물의 질소 무기화량과 속도는 유기물원의 탄질율에 가장 높게 영향을 받는다(Janssen, 1996). 따라서 유박과 아미노산 비료의 질소 무기화 속도가 퇴비에 비해 높은 것은 유기질 비료 자체의 질소 함량이 높았기 때문으로 생각된다. 그리고 본 연구에서 잠재적 질소 무기화 속도(k)를 추정한 결과 k 값과 N_0 값 사이의 유의한 상관관계는

보이지 않았으며, 이는 Chae와 Tabatabai (1986)와 Yun 등(2010)이 발표한 결과와 같다.

잠재적 질소 무기화량(N_0) 값의 1/2일 되는 일수를 나타내는 반감기($t_{1/2}$)는 CF-I, CF-II, AAF-I, AAF-II 처리에서 각각 17.3, 18.9, 21.0, 17.3일이었다. 이는 계분, 우분, 돈분퇴비의 약 50일 보다 낮게 나타났다(Yun et al., 2010).

IV. 적 요

유기자재의 토양 중 질소 무기화 특성을 구명하기 위해 유박(CF-I, CF-II), 아미노산(AAF-I, AAF-II)을 각각 처리하여 28주간 항온시험을 실시하였다. 항온기간 동안 누적 질소 무기화량을 1차 반응 속도식(first-order kinetics)에 적용하여 잠재적 질소무기화량(N_0)을 평가 한 결과 AAF-II에서 27.71 N mg/100g로 가장 높았으며, CF-I에서 21.69 N mg/100g로 가장 낮았다. 그리고 잠재적 순질소무기화량(N_0 treatment - N_0 control)은 CF-I, CF-II, AAF-I, AAF-II 처리에서 각각 2.55, 5.83, 3.66, 8.57 N mg/100g으로 나타났으며, 28주 동안 실제 질소무기화량의 97.3-112.9%에 해당되었다. 특히 유박, 아미노산을 처리한 토양의 유기태 질소의 무기화 반감기($t_{1/2}$)는 17-21일로 유박과 아미노산 비료에 포함된 질소는 3주 이내에 무기화 되는 것을 확인하였다. 따라서 유기농업에 이용되는 유박과 아미노산에 함유된 질소의 1/2는 3주 이내에 모두 무기화되는 것으로 나타났다.

[Submitted, October. 26, 2015; Revised, November. 6, 2015; Accepted, November. 7, 2015]

References

1. Chae, Y. M. and M. A. Tabatabai. 1986. Mineralization of Nitrogen in Soils Amended with Organic Wastes. *J. Environ. Qual.* 15: 193-198.
2. Eghball, B. 2000. Nitrogen Mineralization from Field Applied Beef Cattle Feedlot Manure of Compost. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 2024-2030.
3. 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. *Bioresour. Technol.* 83: 213-219.
4. Hseu, Z. Y. and C. C. Huang. 2005. Nitrogen Mineralization Potentials in Three Tropical Soils Treated with Biosolids. *Chemosphere.* 59: 447-454.

5. Idei, K. and T. Yoshino. 1972. Utilization of nitrogen in paddy field. Report of Natl. Agri. Res. Japan. 2: 1-14.
6. Janssen, B. H. 1966. Nitrogen Mineralization in Relation to C. N Ratio and Decomposability of Organic Matters. Plant Soil. 181: 39-45.
7. 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.
8. Kim, H. W., H. S. Choi, B. H. Kim, H. J. Kim, K. J. Choi, D. Y. Chung, Y. Lee, K. L. Park, and S. K. Jung. 2012. Change of Organic Rice Yield as Affected by Surface and Broadcast Fertilizer Applications. Korean J. Organic Agric. 20: 81-89.
9. 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. Environ Agric. 33: 149-154.
10. 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 Agric. Environ. 10: 808-812.
11. Lim, T. J., J. M. Park, S. E. Lee, H. C. Jung, S. H. Jeon, and S. D. Hong. 2011. Optimal Application Rate of Mixed Expeller Cake and Rice Straw and Impacts on Physical Properties of Soil in Organic Cultivation of Tomato. Korean J. Environ Agric. 30: 105-110.
12. Miller, R. W., R. L. Donahu, and J. U. Miller. 1990. Soils: An introduction to soils and plant growth. Prentice-Hall, New Jersey, USA. pp. 192- 278.
13. Stanford, G. and S. J. Smith. 1972. Nitrogen Mineralization Potentials of Soil. Soil Sci. Amer. Proc. 36: 465-472.
14. Yun, H. B., Y. Lee, C. H. Tu, S. M. Lee, B. K. Htun, and Y. B. Lee. 2007. Effects of Crude Carbohydrate Content in Livestock Manure Compost on Organic Matter Decomposition Rate in Upland Soil. Korean J. Soil Sci. Fert. 40: 364-368.
15. Yun, H. B., W. K. Park, S. M. Lee, S. C. Kim, and Y. B. Lee. 2009. Nitrogen Uptake by Chinese Cabbage and Soil Chemical Properties as Affected By Successive Application of Chicken Manure Compost. Korean J. Environ Agric. 28: 9-14.
16. 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.
17. Youn, L., H. S. Choi, and S. M. Lee. 2012. Estimation of N- and P-Mineralization of Organic Materials under a Paddy Condition. Korean J. Intl, Agri. 24: 299-302.