



ORIGINAL PAPER

원저

유박의 온도, 수분, 토심 및 토성에 따른 질소의 무기화

조성현[†], 장기운*

효성오앤비(주)[†], 충남대학교 농화학과*

(2007년 1월 23일 접수, 2007년 2월 27일 채택)

Nitrogen mineralization of oil cakes according to changes in temperature, moisture, soil depth and soil texture

Sung-Hyun Cho[†], Ki-Woon Chang*

Hyosung ONB Co.,LTD, 292-3 Songchon-dong, Daedeak-gu, Daejeon, Korea[†], Department of Agricultural Chemistry, Chungnam National University, Daejeon, 305-764*

ABSTRACT

To investigate the characteristics of the nitrogen mineralization of oil cakes according to changes in temperature (10, 20, 30°C) and moisture (40, 50, 60, 70% of field capacity in loam and 50, 60, 70, 80% of field capacity in sandy loam), mineral nitrogen was measured in soil after incubation for 30 days. In addition, the mineralization by soil depth with installing PVC column in the soil was checked after 30 days, and the mineralization in sandy loam and loam which had different soil texture were compared. According to incubating the castor seed, soybean, and rice bran cakes with soil, the higher the temperature and moisture content were, the higher the content of mineral nitrogen were observed. The content of mineral nitrogen was higher in sandy loam than loam. The content of mineral nitrogen was decreased with soil depth increasing and was also higher in sandy loam than loam.

Keywords : castor, soybean, rice bran, nitrogen mineralization

초 록

토양중 유박의 온도(10, 20, 30°C) 및 수분변화(양토 : 포장용수량의 40, 50, 60, 70%, 사양토 : 포장용수량의 50, 60, 70, 80%)에 따른 무기화정도를 검토하기 위해 토양과 피마자유박, 대두박, 탈지강을 혼합하여 실내향온배양을 30일간 실시하여 무기태 질소를 측정하였다. 또한 PVC파이프로 컬럼을 제작하여 실외 포장에 토양컬럼을 설치하여 30일 후 토양깊이에 따른 무기화를 조사하였으며 실내 및 실외배양에 사용

[†]Corresponding author (esphyun@hanmail.net)

된 토양은 사양토와 양토로 이들 두 토양간의 무기태질소의 생성량을 조사하였다. 피마자박, 대두박 및 탈지장을 토양에 혼합하여 실내항온배양을 실시한 결과 배양온도가 높고 수분함량이 높을수록 무기태 질소의 생성량이 증가되었으며 양토보다 사양토에서 무기태 질소의 생성량이 높았다. 한편 토양컬럼 실험결과 토심에 따른 무기태 질소의 생성량은 토심이 깊어짐에 따라 감소하였으며 실내항온배양과 마찬가지로 사양토가 양토보다 무기태 질소의 생성량이 높았다.

핵심용어 : 피마자박, 대두박, 탈지장, 질소무기화

1. 서론

우리의 농업생산성은 비료와 농약의 사용과 재배 방법의 기술력 향상으로 꾸준히 증가하여 왔으며, 최근 소비자의 고품질 농산물 선호에 따라 화학비료와 농약사용의 억제와 더불어 유기질비료의 사용이 확대되었다^{5), 7)}.

유기질비료는 토양에 유기물을 공급하여 토양의 물리화학적 특성과 생물상을 개선하여 양분 및 수분 보유능과 토양 완충능을 증가^{6), 8)} 시키며 유기질비료 자체가 양분공급원이 되므로 토양 미생물의 배지가 되어 작물의 생육안정과 토양생산성을 증가시킨다³⁾. 또한 식물의 생육에 필요한 무기양분이 부족하지 않은 조건에서 유기물로부터 생성된 humic acid나 pyruvic acid는 때때로 발아, 유식물의 생육, 발근, 뿌리의 성장, 지상부의 생육 등의 촉진적인 효과를 나타낸다²⁾. 이러한 유기질 비료의 특성을 고려하여 유기질비료 중에서 가장 많이 사용되고 있는 유박을 선정하여 실험을 실시하였다⁴⁾. 유박은 녹말 및 단백질의 함량이 높아서 가축사료로 쓰일 뿐 아니라 유기물과 질소 함량이 많고 인산, 칼륨 성분을 포함되어 예로부터 자급비료로 활용되고 있다. 비효가 완효성이므로 기비로 사용되며 우리나라의 경우 유기질 비료로 등록된 유박비료는 참깨, 들깨, 깻묵을 비롯해 콩깻묵, 채종깻묵, 면실깻묵 등 10여 종에 이르며 고농도의 질소를 함유하고 있다. 특히 참깻묵, 채종박, 면실박 및 피마자박 등은 토양개량제 효과뿐만 아니라 토마토에서 선충밀도를 감소시키고 벼의 키다리병을 일으키는 *Fusarium moniliforme*를 억제하는 효과가 있는 것으로 보고되었다.

이상의 여러 유박중 우리나라에서 제조되고 있는 유박비료의 주원료인 피마자박, 대두박 및 탈지장을 선정하여 이들 유박의 토양중 질소의 무기화 작용을 이해하고자 토성이 다른 양토(Loam)와 사양토(Sandy loam)에 일정수준으로 혼합하여 수분과 온도 조건을 달리 하여 실내항온배양 실험(Thind et al., 1998)과 토양중 PVC파이프를 이용하여 제조한 컬럼을 설치하여 토양과 상기유박의 혼합물을 충전하여 토양에서 배양한 후 토양 깊이별 무기태 질소의 변화를 조사하여 유박의 토양중 무기화에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

본 실험에 사용된 유박은 여러 식물 유박중 유기질 비료원으로 가장 많이 사용되고 있는 피마자박(C), 대두박(S), 탈지장(R)으로 대두박과 탈지장은 국내에서 생산된 것이며 피마자박은 인도네시아에서 생산된 것으로 이들 유박의 특성은 [Table 1]과 같다.

유박의 특성은 [Table 1]과 같으며 특히 이들 유박이 함유한 질소의 특성을 보면 [Table 2]와 같이 총질소의 함량이 가축분퇴비의 20g kg⁻¹ 수준에 비해 1~3배정도 높은 수준이며 유박의 무기태 질소함유율은 0.52%에서 0.77%로 이들 유박이 함유한 대부분의 질소는 유기태 질소임을 알 수 있다.

유박을 토양과 혼합하여 실내배양과 토양컬럼배양 실험에 사용된 토양의 화학적 특성과 모래, 미사, 점토의 함량은 [Table 3]과 같다.

[Table 1] Chemical Properties of the Oil Cakes used in the Study

Materials	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM		Ava. P (mg kg ⁻¹)	Ex. cation(cmol ⁺ kg ⁻¹)			
			TP (%)			Na	K	Ca	Mg
C*	6.5	9.0	69.3	2.07	1657.1	1.9	19.3	3.5	6.9
S	6.6	17.3	77.7	1.65	1646.4	0.7	56.4	2.5	16.9
R	6.4	10.1	87.4	3.57	1714.2	1.4	34.9	0.4	24.3

* C : castor seed, S : soybean, R : rice bran cake after oil extraction

[Table 2] Nitrogen Characteristics of Oil Cakes Used in the Study

Oil cakes	Nitrogen			Mineral nitrogen ratio(%)		
	TN	NH ₄ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N + NO ₃ -N	NH ₄ -N	NO ₃ -N
	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)				
C	50.4	232.0	30.0	0.52	0.46	0.06
S	68.6	457.0	47.0	0.73	0.67	0.07
R	25.2	153.0	41.0	0.77	0.61	0.16

[Table 3] Physico-chemical Properties of the Soils Used for the Incubation and Column Experiments

Soil	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM		Ava. P	NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)	NO ₃ -N
			(g kg ⁻¹)				
1	5.3	2.8	6.0	2.2	49.4	120	182
2	4.9	5.2	2.0	1.0	9.4	132	462

Ex. Cation(cmol ⁺ kg ⁻¹)				Sand	Silt (%)	Clay	Texture
Na	K	Ca	Mg				
0.3	1.0	0.8	2.3	20	15	65	L
0.4	2.1	0.3	3.3	18	35	47	SL

* Loam, Sandy loam(USDA)

2.1 실내향온배양

실내향온배양 실험은 50ml의 튜브에 건토 30g 과 퇴비화 실험과 동일하게 피마자박, 대두박 탈지강을 각각 3g을 첨가하여 골고루 혼합하였다. 혼합이 완료된 후 수분함량을 양토는 포장용수량의 40, 50, 60, 70%, 사양토는 50, 60, 70, 80%가 되도록 수분을 보정하여 유박(3종) × 수분(4조건) ×

토성(2) = 24개 처리구를 두었다. 동일한 방법으로 48개구를 더 두어 24개 처리구씩 10, 20, 30℃의 온도조건으로 30일간 튜브마개를 밀봉하여 배양하였다. 배양이 완료된 후 배양기에서 꺼내 즉시 시료를 2M KCl로 추출한 후 Kjeldahl 증류법으로 암모니아태, 질산태 질소의 함량을 분석하였다.

2.2 토양컬럼배양

토양컬럼배양 실험은 피마자박, 대두박 탈지강의 유박(3종) × 토성(2) × 시비수준(3) = 18개 처리구를 두었으며 PVC파이프로 제작한 컬럼(5cm in diam. × 21cm in height)을 이용하여 토양내에서 30일간 실시하였다. PVC 컬럼의 외부에 일정 간격으로 지름 5mm인 31개의 구멍을 내었다.

이 컬럼에 토양 500g과 실내향온배양에 사용된 동일한 유박을 각각 5, 10, 20Mg ha⁻¹수준으로 혼합한 후 토양의 가비중이 1.25g cm⁻³이 되도록 하였으며 수분함량은 실험토양과 동일하게 포장용수량의 60%가 되도록 수분을 첨가하였다. 토양과 유박을 충전한 컬럼을 비닐하우스내 토양에 30cm 간격으로 수직이 되게 묻었으며 컬럼의 양끝을 나일론 망으로 막아 혼합물의 손실을 방지하였다. 토양에서 30일간 배양한 후 컬럼을 꺼내어 7cm 간격으로 3등분하여 각각 분석시료로 사용하였다. 실내향온배양 실험과 동일한 방법으로 암모니아태 및 질산태 질소의 함량은 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 실내향온배양

실내향온배양 실험결과 유박종류별 생성된 무기태 질소의 생성량은 [Fig. 1]과 같다.

[Fig. 1]과 같이 무기태 질소의 생성량은 사양토와 양토 모두 온도가 높아지고 수분함량이 많아

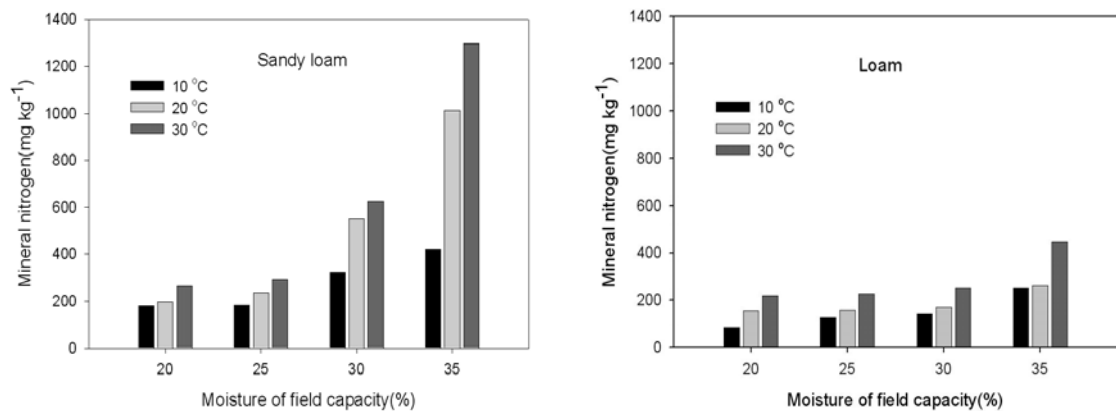
질수록 증가되었다.

사양토의 수분함량이 포장용수량의 70% 조건일 때 온도가 10℃에서 20℃로 높아지면 생성된 무기태 질소의 생성량은 1.5~1.6배가 증가하였고 80% 조건에서는 약 3배 이상 증가되며 유기태 질소의 무기화 작용이 최대의 효율을 보였다. 한편 수분함량이 포장용수량의 70% 조건에서는 양토에서는 배양온도를 10℃에서 20℃로 높였을 경우 생성된 무기태 질소의 생성량은 크게 증가되지 않았으며 20℃에서 30℃로 높아진 경우에 1.4~1.8배 증가되어 사양토보다 무기화작용의 효율이 낮게 나타났다. 이와 같이 토성에 따른 무기태 질소의 생성량 차이는 사양토가 양토보다 통기성이 양호하였기 때문인 것으로 생각된다.

따라서 무기화율이 통기성이 양호한 토양에서 증가되었다는 보고¹²⁾, 와 같이 유기물 분해와 미생물 활동 평가에서 호기성 미생물이 혐기성 미생물보다 유기물 분해에 크게 영향을 미쳤던 점으로 미루어 통기성 차이에 의한 효과로 판단된다. 피마자박 처리구보다 질소의 함량이 높은 대두박 처리구의 무기태 질소변화는 [Fig. 2]와 같다.

[Fig. 2]와 같이 피마자박 처리구에 비해 대두박 처리구의 무기태 질소의 생성량이 높음을 알 수 있다. 대두박 처리구에서도 사양토 및 양토에서 모두 온도가 높고 수분함량이 많을수록 무기태 질소의 생성량이 높게 나타나고 있다.

한편 온도 및 수분에 대해 피마자박 처리구와는



[Fig. 1] Contents of mineral nitrogen from castor seed cake after incubation for 30 days.

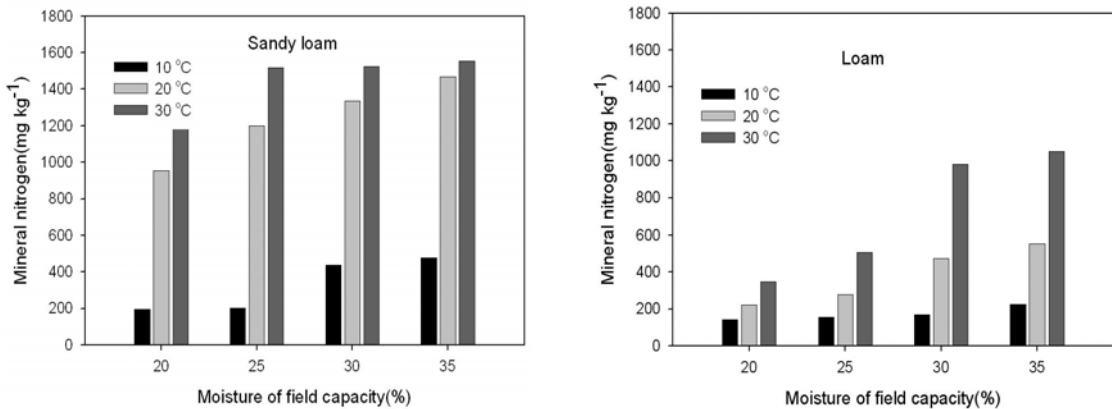
달리 양토에서의 무기화 효율이 높았는데 이는 온도 및 수분함량이 최저인 조건에서 무기태 질소의 생성량이 사양토에 비해 낮아 온도와 수분이 증가된 조건일 때 무기태 질소의 생성량과 차이가 컸기 때문으로 해석된다. 탈지각 처리구의 온도와 수분함량 변화에 대한 무기태 질소의 생성량은 [Fig. 3]과 같다.

앞서 보았던 피마자박, 대두박 처리구와 마찬가지로 탈지각 처리구도 온도가 높고, 수분함량이 많고 양토보다 사양토에서 무기태 질소의 생성량이 높았다. 또한 온도가 동일하면 수분함량이 높고, 수분함량이 동일할 경우에는 온도가 높을수록 질소의 무기화가 증가하고 있다. 이는 온도가 높은 여름철에 질소의 무기화율이 겨울철에 비해 크게

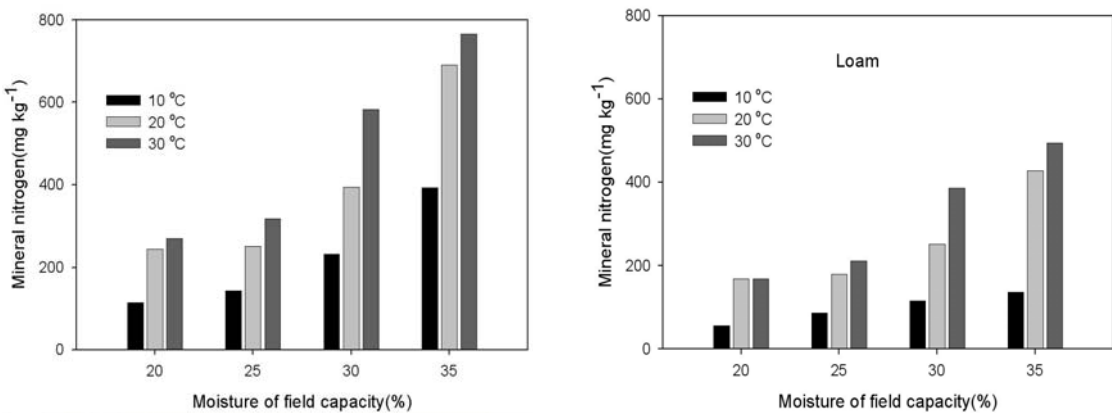
증가하였다는 결과^{9), 10)}와 일치하였다.

토성간 무기태 질소의 생성량은 사양토가 양토보다 1.1~2.9배가 높아 탈지각 처리구에서도 사양토에서의 무기화 효율이 높으며 탈지각의 토양중 무기태 질소의 생성량은 사양토에서 수분조건, 양토에서 온도조건에 큰 영향을 받는 것을 알 수 있다.

이상의 결과를 보아 피마자박, 대두박 및 탈지각 처리구에서 온도와 수분함량의 변화로 사양토에서 10℃, 포장용수량의 50%인 조건에 비해 30℃, 포장용수량의 80%에서 6.0~7.9배, 양토에서 10℃, 포장용수량의 40%인 조건에 비해 30℃, 포장용수량의 70%에서 5.3~8.8배의 무기태 질소의 생성량이 증가됨을 알 수 있었다. 탄소와 질소의 최대



[Fig. 2] Contents of mineral nitrogen from soybean cake after incubation for 30 days.



[Fig. 3] Table 6. Contents of mineral nitrogen from rice bran cake after incubation for 30 days.

무기화율은 온도가 20~28℃에서 진행되었으며¹¹⁾, 질소의 무기화율이 최대인 토양수분함량이 0.3~0.1MPa로 보고하였다⁸⁾. 따라서 본 실험 결과 온도가 30℃이며 토양수분이 포장용수량의 양토는 70%, 사양토는 80%인 조건에서의 무기태 질소의 생성량이 최대인 것과 일치하였다. 또한 같은 유박 처리구의 경우 사양토가 양토보다 질소의 무기화효율이 높았다.

토성에 다른 사질식양토와 사양토에서 유기태 질소의 무기화작용이 모래함량이 높은 사양토에서 유기물의 종류에 따라 4~30%가 증가되었다고 보고¹⁶⁾하여 본 실험 결과와 같았다. 또한 토양의 물리성이 질소의 무기화에 영향⁷⁾을 줄 수 있는 것으로 판단되며 토양중 유기태 질소의 무기화는 온도와 수분함량 및 공기 등의 요인이 중요하게 작용하며¹⁵⁾ 이는 미생물의 활동과 밀접하다는 것을 알 수 있다. 토양 수분함량을 6~20%(g 100g⁻¹ dry soil)로 조절하여 당근 잎의 양질사토(loamy sand)에서 질소무기화 실험결과에서 토양수분함량과 질소의 무기화는 정의 상관성이 있어 질소무기화에 중요한 인자임을 보고하였다¹⁹⁾. 한편 온도와 수분함량이 다른 조건에서 질소의 무기화율은 온도가 높고 수분함량이 많을수록 현저히 증가함을 보고하였다²¹⁾. 이는 온도증가에 의해 미생물의 분해율이 증진되었기 때문이며 결국 토양중 유기물의 무기화는 미생물의 활동에 큰 영향을 받는 것으로 판

단된다.

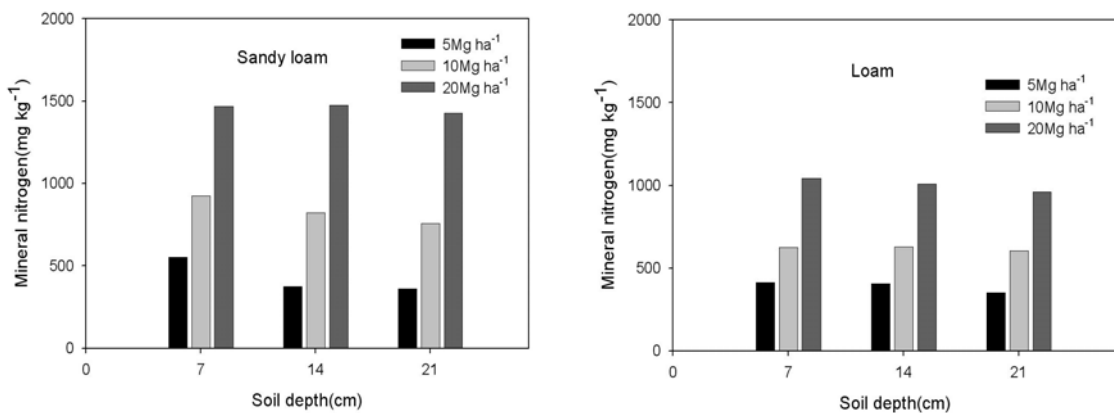
사양토 및 양토에서 온도가 높은 조건에서 무기태 질소의 생성량이 높았는데, 이는 김 등¹⁾이 지온이 높고 강우량이 많은 여름철에 질산태 질소의 생성량이 증가되어 용탈에 의한 지하수 오염 가능성을 보고한 결과와 일치하고 있다. 따라서 질산태 질소에 의한 지하수 오염 방지를 위해 유박 및 질소질 비료의 사용량 조절이 필요할 것으로 판단된다.

3.2 토양컬럼배양

토양과 유박의 혼합물을 충전한 PVC 컬럼을 토양에서 30일간 배양한 후 컬럼토양 깊이를 0~7cm, 7~14cm, 14~21cm의 3수준으로 나누어 무기태 질소의 생성량을 조사한 결과는 (Fig. 4)와 같다.

(Fig. 4)와 같이 피마자박의 사용량이 증가함에 따라 무기태 질소의 생성량이 많아지며 토심이 깊어짐에 따라 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 토심이 깊어짐에 따라 미생물의 호흡에 중요한 요인인 공기의 공급이 적어지기 때문으로 생각되며 무기태 질소의 생성량이 7cm이내에서가 7~21cm에서보다 높게 나타나고 있다.

토양컬럼배양 실험결과 실내항온 배양실험과 동일하게 사양토에서 무기태 질소의 생성량이 높았으며 양토에 비해 사양토가 1.0~1.6배가 높았다. 사양토의 7cm 층위에서 사용량이 5Mg ha⁻¹에서



[Fig. 4] Mineral nitrogen contents in the PVC column of castor seed cake after incubation for 30 days.

20Mg ha⁻¹로 증가함에 따라 무기태 질소의 생성량은 551mg kg⁻¹에서 1469mg kg⁻¹로 2.7배가 증가하였고 7~14cm 층위 및 14~21cm 층위에서도 동일하게 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 사용량의 증가로 인해 토양 깊이별 전체적인 무기태 질소의 생성량이 증가함을 알 수 있다.

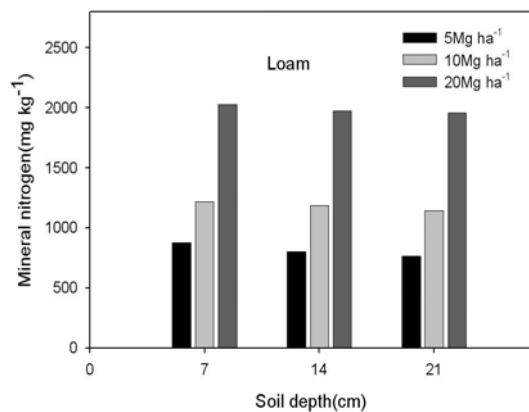
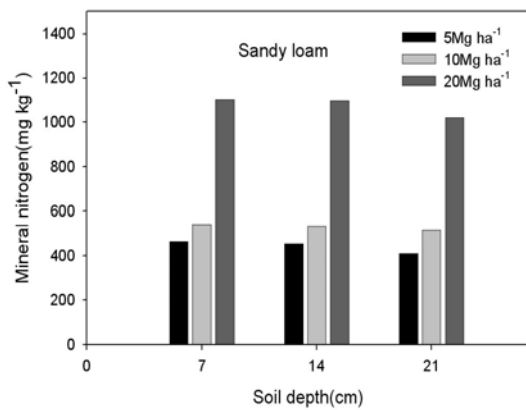
한편 양토에서의 무기태 질소생성량 변화는 사양토에서와 유사하였으나 사용량이 같은 조건에서 토양이 깊어짐에 따라 무기태 질소의 감소율이 사양토보다 낮았으며 사용량의 증가에 의해 감소율이 낮아졌다. 이는 7cm층위에서의 무기태 질소생성량이 사양토에서 높았기 때문이며 무기화 효율은 토심이 깊어지며 통기성이 사양토에 비해 불량

한 양토에서 낮은 것을 알 수 있다.

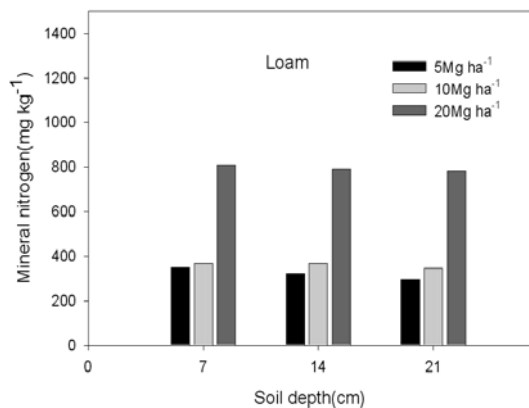
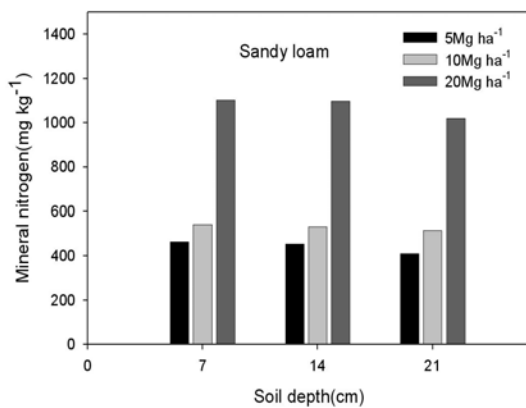
대두박 처리구에서도 이와 같은 경향을 볼 수 있으며 토양컬럼배양 후 무기태 질소의 생성량은 [Fig. 5]와 같다.

[Fig. 5]와 같이 대두박이 함유한 총질소의 함량이 높아 전체적으로 피마자박 처리구보다 무기태 질소의 생성량이 높았다. 따라서 이러한 무기태 질소의 생성량은 사양토와 양토 모두 토심이 깊어짐에 따라 무기태 질소의 생성량이 낮아져 토양 표층에서의 질소의 무기화가 활발히 이루어짐을 알 수 있으며 탈지강 처리구의 무기태 질소의 생성량은 [Fig. 6]과 같다.

[Fig. 6]과 같이 탈지강 처리구에서의 무기태



[Fig. 5] Mineral nitrogen contents in the PVC column of soybean cake after incubation for 30 days.



[Fig. 6] Mineral nitrogen contents in the PVC column of rice bran cake after incubation for 30 days.

질소의 생성량은 다른 유박 처리구에 비해 크게 낮은 수준으로 이는 탈지강이 함유한 총질소의 함량이 최소임에 기인한 것으로 토심이 깊어짐에 따라 무기태 질소의 생성량도 낮아짐을 알 수 있다. 탈지강 처리구에서도 시용량 증가에 의해 앞서 보았던 피마자박 및 대두박 처리구와 비교해 보아 5Mg ha⁻¹~20Mg ha⁻¹ 처리구간에 큰 차이가 없으며 특히 양토에서 무기태 질소의 증가는 크지 않았다. 그러나 20Mg ha⁻¹ 처리구에서는 5, 10Mg ha⁻¹ 처리구에 비해 2배 이상 크게 증가하였으며 마찬가지로 사양토에서 무기태 질소량이 더 높았다.

토양컬럼배양 실험을 통해 무기태 질소의 생성량은 유박의 종류에 무관하게 사양토에 비해 양토에서 무기화가 지연되어 토양중 무기태 질소의 생성량이 낮았음을 알 수 있다. 또한 토심이 깊어짐에 따라 유박종류 및 토성에 상관없이 무기태 질소의 생성량이 낮아졌다. 이는 토양 깊이 0~40cm에서의 무기화율은 수분함량이 동일할 때 10cm층위 토양에서 최대임을 보고한 바와 같다.¹⁴⁾ 따라서 이러한 원인은 앞서 서술한 바와 같이 사양토에 비해 양토가 투수성이나 통기성이 낮아 토양이 깊어질수록 공기 및 수분의 흐름이 차단되어 유기물 분해 미생물의 활성이 저하되었기 때문으로 판단된다.

또한 Zaman 등²¹⁾과 Jennifer 등¹¹⁾에 의하면 질소의 무기화는 시용 유기물의 종류에도 영향을 받으며 동일한 온도 및 수분 조건에서 토양중 질소의 무기화는 원료의 특성중 질소의 함량에 영향을 받으며 질소함량이 높을수록 무기화율이 높은 것으로 보고하였다.

따라서 토양에 시용된 유기물은 토양 표면에서 대부분 호기적인 분해가 활발히 이루어짐을 알 수 있다. 따라서 대두박과 같이 총질소의 함량이 높은 유기물이 토양에 일시에 다량으로 시용되면 많은 량의 무기태 질소 방출에 의해 시용된 유기물의 질소손실과 가스방출에 의한 피해가 발생할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 유박비료의 주원료인 피마자박, 대두

박 및 탈지강을 선정하여 이들 유박의 토양중 질소의 무기화 작용을 이해하고자 토성이 다른 양토(Loam)와 사양토(Sandy loam)에 일정수준으로 혼합하여 수분과 온도 조건을 달리 하여 실내향온 배양 실험(Thind et al., 1998)²¹⁾과 토양중 PVC 파이프를 이용한 컬럼실험을 수행하여 유박의 무기태 질소의 생성량을 조사하였다.

이상의 실내향온배양 및 토양컬럼배양 실험결과 피마자박, 대두박 및 탈지강과 같은 유박이 토양중 시용되면 무기태 질소의 생성량은 온도가 10℃에서 30℃로 증가함에 따라 1.4~4.0배가 증가하였으며 수분이 포장용수량의 40에서 70% 및 80%로 증가되면 1.1~5.2배가 증가하였다. 또한 시용량이 5Mg ha⁻¹에서 20Mg ha⁻¹로 증가되면 2.3~4.2배가 증가하였고 토양층위가 7cm에서 14~21cm으로 깊어짐에 따라 1.4%~34.8%가 감소하였다. 사양토가 양토보다 온도 및 시용량 조건의 변화에 대해 무기태 질소생성량의 증가가 낮았으며 수분조건에 대해서는 높았다. 피마자박 처리구가 시용량의 증가로 인해 무기태 질소의 생성량이 크게 증가하였으나 대두박과 탈지강 처리구는 큰 영향이 없었다. 토양깊이에 따른 무기태 질소의 감소는 탈지강 처리구가 낮았으며 피마자박 처리구가 양토에서 온도 및 수분 조건에 가장 큰 영향을 받았고 시용량의 증가에 따라 사양토에서 최대 증가하였다.

참고문헌

1. 김종구, 이경보, 이상복, 이덕배, 김성조, 유기물원이 다른 퇴비연용이 밭토양의 화학성 변화에 미치는 영향, 한토비지, 33(6), pp. 416~431 (2000).
2. 유성준, 황경숙, 김선익, 장기운, 유기질 비료 시용이 토마토 근권 미생물상에 미치는 영향, 한토비지, 29(3), pp. 297~302 (1996).
3. 원항연, 권장식, 서장선, 최우영, 돈분퇴비 시용이 배추재배지 토양의 미생물상 및 화학성에 미치는 영향, 한토비지, 32(1), pp. 76~83 (1999).

4. 이경자, 강보구, 김현주, 박성규, . 토양 EC 및 관개수중 질소함량이 상추생육에 미치는 영향, 한토비 지, 37(2), pp. 83~90 (2004).
5. 이주삼, 장기운, 조성현, 오진걸, 유기농산물 생산을 위한 퇴비시용이 무의 품질과 토양의 이화학성에 미치는 영향, 한토비지, 29(2), pp. 145~149 (1996).
6. 임수길, 이규하, 무, 배추생육에 대한 수종의 유기질비료 시용효과, 한토비지, 25(1), pp. 52~56 (1992).
7. 장기운, 조성현, 곽정하, 계분 및 돈분퇴비 연 용에 의한 토양의 물리화학성변화, 한국유기성 폐자 원학회지, 7(1), 23~30(1999).
8. 홍중운, 정이근, 박천서, 김영섭, 구르타민산 발효잔사 가공물의 성질과 비효, I. 그 성질과 옥수수에 대한 비효, 한토비지, 6(3), pp. 159~163 (1973).
9. Jeffrey, S. O., M. K. Wang, H. L. Sun, H. B. King, C. H. Wang, and C. F. Chuang, Comparison of soil nitrogen mineralization and nitrification in a mixed grassland and forested ecosystem in central Taiwan, *Plant and Soil*, 251(1), pp. 167~174 (2003).
10. Jennifer, D. K. and W. T. Swank, Rates of nitrogen mineralization across an elevation gradient in the southern appalachians, *Plant and Soil*, 204(2), pp. 235~241 (1998).
11. Jennifer, D. K. and W. T. Swank, Using soil temperature and moisture to predict forest soil nitrogen mineralization, *Biology and Fertility of Soils*, 36, pp. 177~182 (2000).
12. Mori, T., A. Narita, T. Animoto, and M. Chino, Composting of municipal sewage sludge mixed with rice hulls, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 27(4), pp. 477~486 (1981).
13. Nicolardot, B., G. Fauvet, and D. Cheneby, Carbon and nitrogen cycling through soil microbial biomass at various temperatures, *Soil Biology and Biochemistry*, 26, pp. 253~261 (1994).
14. Patra, A. K., S. C. Jarvis, and D. J. Hatch, Nitrogen mineralization in soil layers, soil particles and macro-organic matter under grassland, *Biology and Fertility of Soils*, 29, pp. 38~45 (1999).
15. Quemada, M., Temperature and moisture effects on C and N mineralization from surface applied clover residue, *Plant and Soil*, 189(1), pp. 127~137 (1997).
16. Rogers, B. F., U. Krogmann, and L. S. Boyles, Nitrogen mineralization rates of soils amended with nontraditional organic wastes, *Soil Science*, 166(5), pp. 353~363 (2001).
17. Smith, S. J. and A. N. Sharpley, Soil nitrogen mineralization in the presence of surface and incorporated crop residues, *Agronomy. J.*, 82, pp. 112~116 (1990).
18. Stanford, G. and E. Epstein, Nitrogen mineralization water relation in soils, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38, pp. 103~107 (1974).
19. Stefaan, D. N. and G. Hofman, Quantifying soil water effects on nitrogen mineralization from soil organic matter and from fresh crop residues, *Biology and Fertility of Soils*, 35(5), pp. 379~ 386 (2002).
20. Thind, H. S. and D. L. Rowell, Effects of algae and fertilizer-nitrogen on pH, Eh and depth of aerobic soil in laboratory columns of a flooded sandy loam, *Biology and Fertility of Soils*,

28(2), pp. 162~168 (1998).

21. Zaman, M. and S. X. Chang, Substrate type, temperature, and moisture content affect gross and net N

mineralization and nitrification rates in agroforestry systems, *Biology and Fertility of Soils*, 39(4), pp. 269~279 (2004). 