

Effect of Soil Salinity on Nitrogen Mineralization of Livestock Manure Compost in Salt-Affected Coastal Soils

Jung-Hyun Kim, Myung-Yong Shim, Tae-Il Moon, Seung-Hwan Kim, Kook-Sik Shin¹,
Yeon-Kyu Sonn¹, Doug-Young Chung², and Sang-Eun Lee*

Climate Change Research Center, Hankyong National University, Anseong, 456-749, Republic of Korea

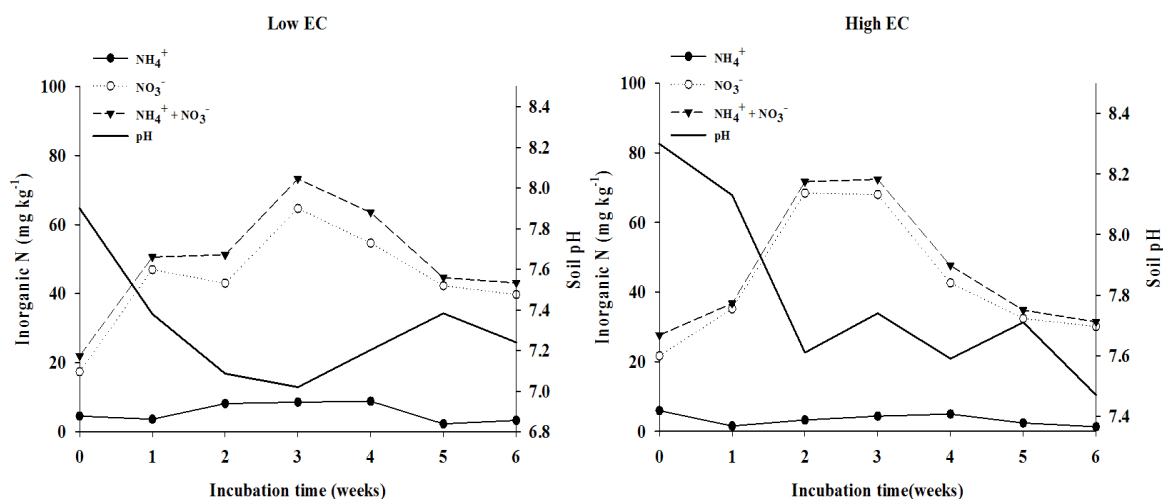
¹National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Republic of Korea

²Dept. of Bio-Environmental Chemistry, College of Agriculture and Life Science, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

(Received: May 12 2014, Accepted: June 5 2014)

We conducted a short-term incubation experiment in order to understand the effect of the salinity of reclaimed coastal soils on nitrogen mineralization of livestock manure compost (LMC). Two soils with the same soil texture but different EC levels were collected from the same field. These samples were treated with 0%, 1%, 2%, and 3% of LMC by weight basis and incubated at 25°C to observe changes in inorganic N contents, pH, and dehydrogenase activity with respect to time. As a result, regardless of the soil EC level, as the LMC increased, the total content of the inorganic N ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) increased. Difference in the soil EC level did not affect N mineralization of LMC greatly. The soil EC had negligible effect on the dehydrogenase activity as with the case of inorganic nitrogen. The NH_4^+ contents remained very low throughout the experimental period starting from the first week of incubation. We believe this is due to the high pH level (pH 7.9 and pH 8.3) of the original soils leading to ammonia volatilization. On the other hand the NO_3^- content maintained high level as the LMC treatment level increased and reached maximum at the third week. The pH of the soil during incubation period decreased as the NO_3^- contents increased and increased slightly after three weeks. The rise of pH level is believed to be from the NO_3^- absorption for immobilization by microbes. In conclusion, the high soil $\text{EC}_{1:5}$ level of 12 dS m^{-1} conducted in this experiment did not affect the growth in terms of soil microbes involved in N mineralization of LMC.

Key words: Salinity, EC, Livestock manure compost, N mineralization, Coastal Soil



Periodical change of mineralized N contents and pH in salt-affected coastal soils with different EC levels, as applied with 1% levels of livestock manure compost. Low and high EC level was 3.5 and 12 dS m^{-1} , respectively.

*Corresponding author : Phone: +82316705085, Fax: +82316705080, E-mail: selee@hknu.ac.kr

§Acknowledgement: This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ008516)" Rural Development Administration, Republic of Korea. This work supported by a research grant from Hankyong National University for a academic exchange program in 2012.

Introduction

간척지 조성은 우리나라나 네덜란드와 같이 농경지가 협소하고 해안가 바다 수심이 얇은 나라에 국한되어 행해진 다. 우리나라 간척의 역사는 오래되었으며, 현재까지 총 135.1천 ha의 간척지가 조성되어 왔다. 간척지는 해수의 영향으로 알칼리토양에 속하며, 알칼리토양의 분류상 나트륨성 토양 (sodic soil) 또는 염류 나트륨성 토양 (saline-sodic soil)에 속 한다 (Sonn et al., 2006). 알칼리토양은 일반적으로 건조내지 반 건조지대의 증발량이 강수량보다 많은 곳에서, 수위가 높은 지하수로부터 염이 상향 이동하여 표토에 집적됨으로써 만들어지는 문제 토양이다. 고 염이나 고 나트륨 문제에 봉착된 땅은 전 세계적으로 831 M ha에 달한다 (Yan and Marschner, 2013).

간척지와 건조지대의 문제 토양들은 성인은 다르나 같은 알칼리 토양으로 분류되므로, 문제 해결방식도 동일하게 구사할 수 있다. 건조지대의 알칼리성 토양과 마찬가지로, 간척지 토양개량은 석고사용으로 물리성을 개선시키면서, 다량의 저염 관개수로 Na를 세척하는 방법이 일반적으로 추천되고 있다. 한편, 토양 물리성 개선 목적으로 유기물 사용도 권장하는데, 과거에는 유기물 원으로 볏짚이나 보릿짚 등이 추천되었으나, 현재에는 가축분 퇴비가 접근이 용이한 자원이 되었다. 토양 유기물 증가를 도모하기 위하여 가축분뇨를 사용하는 것은 세계적 추세인데, 유기물 공급 뿐 아니라 식물영양분도 다량 공급해줄 수 있기 때문이다 (Kang et al., 2011). 가축분 퇴비가 함유하고 있는 유기태 영양분들이 식물에 가급태가 되려면 미생물에 의한 무기화가 선행되어야 한다. 식물영양분 중에서 가장 중요한 질소는 순환 과정이 매우 복잡하고, 이 과정의 많은 단계에서 미생물이라는 살아있는 생명체가 관여하므로, 가축분 퇴비에 함유된 질소가 식물영양분으로 전환되는 비율을 정확하게 정량화하여 시비추천에 이용하는 것은 매우 어려운 작업이다. Azeez and van Averbeke (2010)은 미생물에 의한 질소의 무기화와 부동화 과정을 이해하는 것은 고염 토양에서 가축분 퇴

비의 순 질소 공급량을 예측하는데 필수적이라고 하였다.

고염 토양조건은 토양용액의 삼투압이 높기 때문에 미생물 세포의 건조와 분해를 일으켜서 토양 미생물에 해를 끼치게 된다 (Chowdhury et al., 2011; Wichern et al., 2006). 염농도가 미생물의 활성과 생체량에 미치는 영향에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다. 대부분의 연구들은 고염도가 미생물 생체량과 토양호흡량을 감소시키는 결과를 나타낸다고 하였으나 (Pathak and Rao, 1998; Rietz and Haynes, 2003; Tripathia et al., 2007; Yan and Marschner, 2012), 일부 과학자들은 반대의 결과를 제시함으로써 완전한 일치성은 보이지 않는다고 설명한 바 있다 (Yan and Marshner, 2012).

미생물의 활성을 평가하는 지표는 미생물상, 효소활성, 미생물 생체량과 군집구조 등 다양하다 (Joa et al., 2013). Dehydrogenase 활성도는 유기물 분해과정에서 수소이온이 분리되면서 증가 한다 (Dinesh et al., 1998). 이 효소의 활성도는 미생물 군락의 총 산화적 활성도를 반영하며, 대사 작용의 핵심 부분에 관여하고 세포내에서만 작용하는 특징이 있다 (Nannipieri et al., 1990). 염농도가 증가되면, 여러 효소들 중에서 토양미생물 활성도의 척도로 간주되는 Dehydrogenase가 염농도에 가장 크게 영향을 받는 것으로 보고된 바 있다 (Tripathia et al., 2007).

우리나라에서는 간척지에 대한 조사와 분류 및 토양개량과 작물생육에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다 (Han et al., 2011; Hwang et al., 2012). 그러나 간척지 토양에서 염농도가 가축분퇴비의 질소무기화에 미치는 영향에 대한 연구 결과는 미흡하다. 따라서 본 실험의 목적은 토양 EC차이가 가축분퇴비의 질소 무기화와 미생물 활성에 미치는 영향을 밝혀, 간척지토양에서 가축분퇴비의 효율적 사용을 위한 기초자료를 제공하는데 있다.

Materials and Methods

공시재료 전라북도 부안군 계화면에 위치한 농촌진흥

Table 1. Basic chemical properties of soils used in this experiment.

EC level	pH	EC	Ex. cation				CEC	ESP	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	Av.P ₂ O ₅	O.M	Soil texture
			K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺							
	(1:5)	(dS m ⁻¹)	-----	cmol _c kg ⁻¹		-----	(%)	-----	mg kg ⁻¹	-----	(%)		
high	8.3	12.0	1.0	3.7	2.1	10.2	4	255	4	6	44	0.2	Sandy
low	7.9	3.5	0.8	1.8	2.7	3.2	5	64	2	2	66	0.2	Loam

Table 2. Chemical Properties of livestock manure compost used in this experiment.

pH	EC	T-C	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O
(1:5)	(dS m ⁻¹)	-----						
6.4	6.0	39.4	2.1	4.2	1.7	7.1	1.4	0.5

청 국립식량과학원 벼백류부 간척지농업과 시험포장에서 EC가 높은 토양과 낮은 토양의 표토를 채취하였다. 채취한 토양은 풍건 후 2 mm 체로 쳐서 실험에 사용하였으며, 공시토양의 이화학적 성분은 Table 1과 같았다. 실험에 사용한 가축분 퇴비는 전라북도 익산시 영농조합법인 '부성'에서 생산된 "선농 부숙비료"를 사용하였는데, 이 퇴비의 원료 구성은 도축 폐기물, 작물 잔사, 돈분뇨, 계분 및 톱밥이 각각 19%, 7%, 30%, 19% 및 25% 이었으며, 주요 화학적 특성은 Table 2와 같았다.

실내 항온배양 실험 여러 개의 100 ml의 플라스틱 광구병에 각각 건토 80 g을 담고, 미리 잘 분쇄한 가축분 퇴비를 중량비 0%, 1%, 2%, 3%의 비율로 첨가한 후 골고루 혼합하였다. 포장용수량의 75%에 해당하는 양의 수분을 첨가한 후 25°C로 설정된 항온배양기에서 6주간 배양하였다. 1주간격으로 시료를 꺼내어 토양을 분석하였으며, 분석대상이 아닌 나머지 시료는 각각 무게를 달아 손실된 수분을 보충하였다. 3반복으로 실험을 수행하였다.

토양 분석 무기태 질소 (NH_4^+ 와 NO_3^-)는 습토를 2M KCl로 추출한 후 켈달중류법으로 분석하였다 (NIAST, 2000). 이 때 수분 정량을 따로 하여 건토기준으로 함량을 표시하였다. 무기태 질소 외에 다른 성분 분석은 건조시킨 토양 시료를 사용하였다. pH와 EC는 토양 및 증류수의 비를 1:5로 하여 측정하였다. 총 질소는 토양시료에 CuSO_4 를 분해 촉매제로 첨가하고 황산으로 습식분해한 후 켈달중류법으로 측정하였다. 유효인산은 Lacaster법으로 분석하였다. 양이온들 (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 및 Na^+)은 1 M Ammonium acetate (pH 7.0) 용액으로 침출한 후 유도결합 플라즈마 분광광도계 (ICP-AES)로 분석하였다. 양이온 교환능력 (CEC)은 1 M Ammonium

acetate (pH 7.0) 용액으로 토양 양이온을 NH_4^+ 이온으로 교환하고, 과잉의 NH_4^+ 이온을 90% ethanol로 씻어낸 후, 포화된 NH_4^+ 이온을 2M KCl로 추출하고 켈달로 증류하여 분석하였다. 토양 유기물은 CNS 원소 분석기를 사용하여 탄소의 %함량을 구한 뒤 1.727을 곱하여 나타내었다.

Dehydrogenase (탈수소효소)의 활성도 탈수소효소의 활성도는 Tabaitabai (1994)의 방법을 이용하여 측정하였다. 시료 6 g에 0.05 g의 CaCO_3 를 균일하게 혼합하고, TTC (2,3,5-triphenyl tetrazolium chloride) 3%용액 1 ml와 증류수 2.5 ml를 가한 후, 37°C의 항온기에서 24시간 반응시켰다. 반응이 끝난 시료에 10 ml의 메탄올을 가하고 10분간 진탕한 후, 반응물을 여과하여 여액이 100 ml가 되도록 하였으며, 485 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이 때 TPF (triphenyl formazan)을 메탄올에 녹여 각각 0, 2.5, 5, 10, 15, 20 ppm의 표준용액을 만든 후 검량선을 작성하였다.

Results and Discussion

토양 EC가 축분퇴비 질소무기화와 Dehydrogenase 활성도에 미치는 영향 토양 EC 수준과 무관하게 축분 퇴비 처리량이 증가할수록 총 무기태 질소 ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) 함량이 증가하였다 (Fig. 1). 총 무기태 질소 함량은 항온 초기부터 증가하기 시작하여 3주 후에 최대함량을 보인 후 다시 급격히 감소하는 2차 곡선 형태를 나타내었다.

최고점에 달했을 때의 총 무기태 질소 함량을 축분 퇴비의 무기화의 척도로 간주하고, 토양 EC가 축분 퇴비의 질소 무기화에 미치는 영향을 살펴보았다. 토양 EC가 높을수록 질소무기화가 감소할 것이라는 일반적인 상식과 달리 EC 차이가 축분 퇴비의 질소무기화에 큰 영향을 미치지 않았

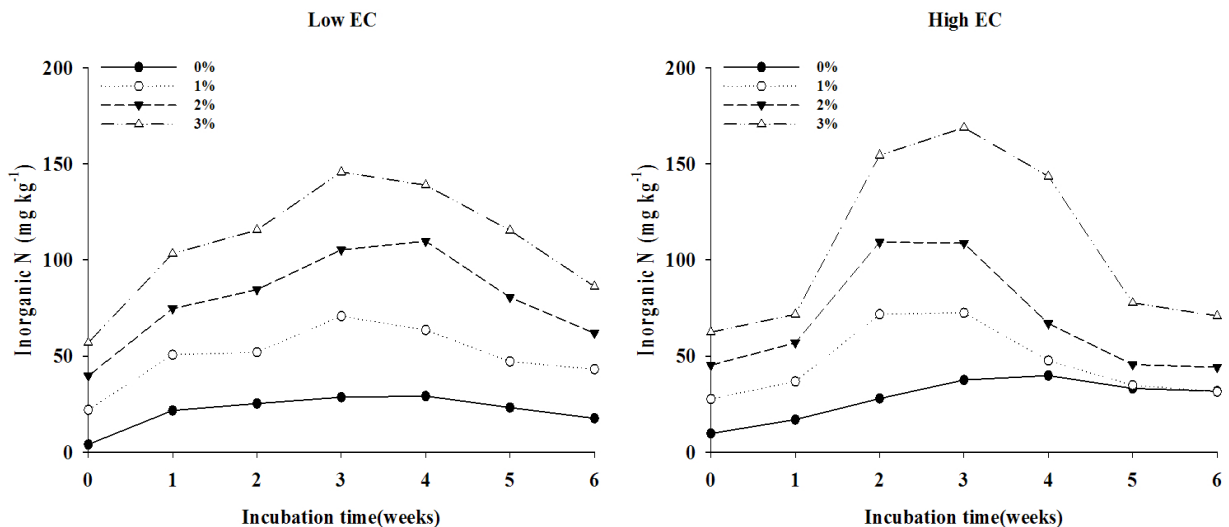


Fig. 1. Periodical change of mineralized N ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) contents in salt-affected coastal soils with different EC levels, as applied with four levels (0%, 1%, 2% and 3%) of livestock manure compost. Low and high EC level was 3.5 and 12 dS m^{-1} , respectively.

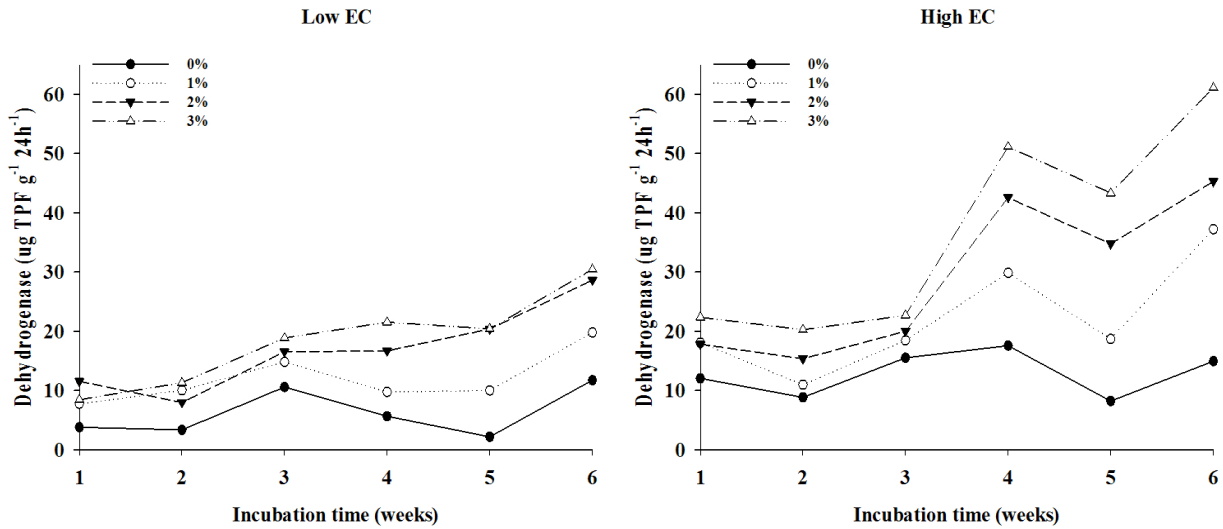


Fig. 2. Periodical change of dehydrogenase activity in salt-affected coastal soils with different EC levels, as applied with four levels (0% 1% 2% and 3%) of livestock manure compost. Low and high EC level was 3.5 and 12 dS m^{-1} , respectively.

다. 오히려 축분 퇴비의 처리량이 본 실험 최대 수준인 3% 처리에서는 토양 EC가 높은 토양이 낮은 토양에 비하여 질소 무기화가 조금 더 큰 것으로 나타났다.

축분 퇴비의 무기화는 토양 미생물에 의하여 일어나며, 미생물의 활성을 반영하는 지표로 흔히 Dehydrogenase의 활성도가 이용 된다 (Joa et al., 2013). Dehydrogenase의 활성도는 토양 EC 높낮이에 관계없이 배양기간이 늘어날수록 지속적으로 증가하는 경향을 나타내었다 (Fig. 2). 한편, 축분 퇴비의 처리량이 많을수록 토양 EC 높낮이와 관계없이 높은 수준을 유지하였다. 토양 EC가 Dehydrogenase 활성도에 미치는 영향을 보면, 토양 EC가 높은 토양에서 Dehydrogenase의 활성도가 높았다. 따라서 토양 EC가 Dehydrogenase에 미치는 영향과 축분 퇴비의 질소무기화에 미치는 영향은 같은 경향을 나타내었다. 축분 퇴비의 무기화가 미생물에 의해서 일어나고, Dehydrogenase의 활성도는 미생물 활성도의 척도이므로 둘 사이의 경향이 일치하는 것은 당연한 결과로 보인다. 그런데 무기태질소는 항온 3주 까지 증가하다가 이후에는 현저히 감소하였던 것과는 달리 (Fig. 1), Dehydrogenase는 항온 6주 후에 다시 증가하고 있는 것을 볼 수 있는데 (Fig. 2), 이는 토양 중 NO_3^- 를 흡수하여 부동화 작용을 일으키는 미생물들의 증식을 반영하는 결과로 유추해 볼 수 있다.

Pathak and Rao (1998)는 실내 항온실험으로 토양 ECE (1, 16, 26, 70 및 97 dS m^{-1} 의 5개 수준)이 녹비작물 (Sesbania)의 탄소와 질소 무기화에 미치는 영향을 연구한 결과, ECE가 증가할수록 탄소 무기화는 감소하였던 반면 질소 무기화는 다른 양상을 보인다고 하였다. 암모니아화 작용은 토양 ECE가 70 dS m^{-1} 일 때 까지는 증가하다가 그 후로는 감소하였고, 질산화 작용은 ECE 16 dS m^{-1} 일 때까지는 촉진되다가 ECE 26 dS m^{-1} 이상에서는 방해를 받아서

‘영 (零)’으로 떨어졌다고 보고하였다. 따라서 Pathak and Rao (1998)의 결과를 그대로 본 실험에 적용해 보면, 본 실험의 높은 토양 ECE 수준인 14 dS m^{-1} 정도는 식물 생육의 관점에서 보면 매우 높은 값이지만 (Brady and Weil, 2008), 축분 퇴비의 질소 무기화에 관여하는 토양미생물의 관점에서는 전혀 생육에 지장을 초래하는 수준은 될 수 없었던 것으로 판단된다.

암모니아 휘산작용과 질산화 작용 및 부동화 작용

Fig. 1의 총 무기태 질소 ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) 함량을 NH_4^+ 와 NO_3^- 함량으로 구분하여 보면, NH_4^+ 함량은 항온초기부터 낮은 수준을 유지하였던 반면, NO_3^- 함량은 점차 크게 증가하여 3~4 주에 최고 함량을 나타내었다 (Fig. 3).

NO_3^- 는 질산화 균이 NH_4^+ 를 기질로 하여 에너지를 얻는 과정인 질산화 과정을 통하여 형성 된다 (Brady and Weil, 2008). 따라서 NO_3^- 가 일정 수준의 함량을 보이려면, 그에 앞서 이에 상응하는 NH_4^+ 함량의 존재해야 마땅하다. 그러나 본 실험에서는 NO_3^- 함량에 상응하는 수준의 NH_4^+ 함량이 NO_3^- 함량에 앞서 나타나지 않았으며, 이미 항온 1주 후부터 낮은 수준을 보였다. 따라서 항온 초기의 암모니아 휘산을 생각해 볼 수 있는데, 암모니아 휘산은 일반적으로 토양 pH 8.5이상에서 잘 일어나는 것으로 알려져 있다 (Brady and Weil, 2008). NH_3 와 NH_4^+ 사이의 평형 ($\text{pK}_a = 9.3$)에서 pH 조건별 ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) 총량에 대한 NH_3 의 존재비율은 Hasell-Balch 식으로 계산할 수 있다. 이 식에 따르면 pH 9.3, 8.3 및 7.3에서 그 비율은 각각 50, 10 및 1%가 된다 (Lindsay, 1979). 따라서 Havlin et al. (2004)은 NH_3 가스의 비율이 7%가 되는 pH 7.5 이상에서는 상당한 양의 NH_3 가스가 휘산 될 수 있다고 하였다. 실제적인 예로 Kim et al. (2010)은 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 가 들어 있는 양액으로 가지를 암면

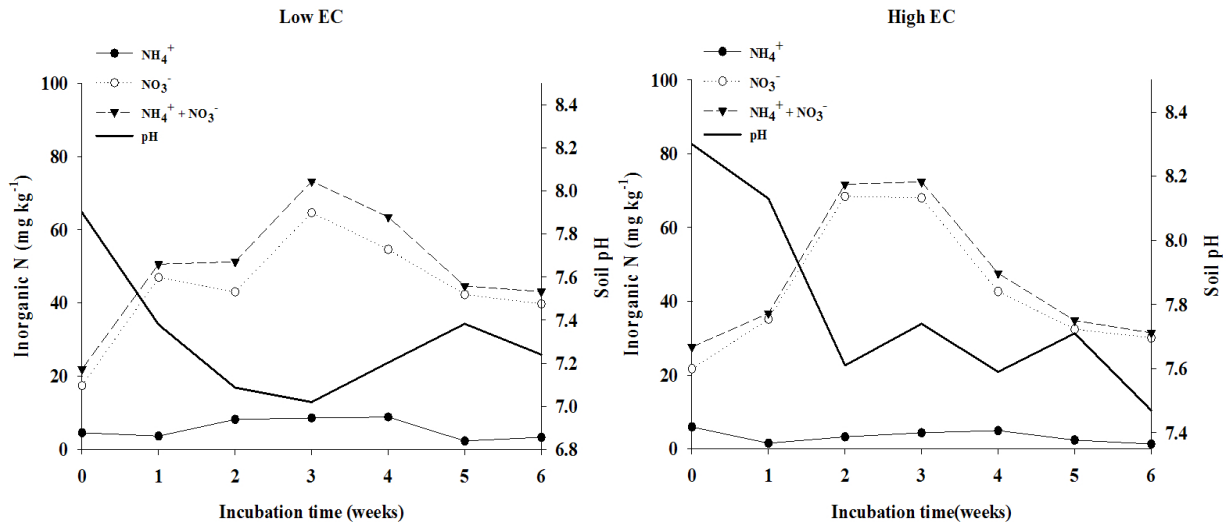


Fig. 3. Periodical change of mineralized N contents and pH in salt-affected coastal soils with different EC levels, as applied with 1% levels of livestock manure compost. Low and high EC level was 3.5 and 12 dS m⁻¹, respectively.

배지에서 재배할 때, 배지 용액의 pH가 7.8로 높아지면 NH₃ 가스가 휘산되어 가지에 생육장애 (암모니아 가스피해)를 일으켰다고 보고한 바 있다. 본 실험에서는 시험 전 토양의 pH 값이 저염 토양과 고염 토양에서 각각 7.9와 8.3으로 상당히 높았던 것으로 미루어 (Table 1), 상당한 양의 NH₃ 가스가 휘산되어 없어지거나, 그렇지 않은 것은 질산화 작용을 거쳐 NO₃⁻로 변하게 되므로, 토양 속에는 소량의 NH₄⁺만이 존재할 수밖에 없었던 것으로 판단되었다.

NO₃⁻ 함량은 항온 3주까지 증가하다가 그 이후에는 감소하였다 (Fig. 3). NO₃⁻ 함량의 증가는 질산화 작용 때문이고, 감소는 부동화작용 때문으로 판단되었는데, 질산화 작용과 부동화 작용은 토양 pH 변화로도 유추할 수 있다. 토양 pH는 항온 3주 후 까지 급격히 감소하다가 그 이후에는 동일 수준을 유지하거나 오히려 약간 증가하였다. 질산화균에 의한 질산화작용의 결과물로서 H⁺ 이온이 생성되어 배출되므로, 질산화 작용이 활발하였던 항온 초기에는 토양 pH 값이 큰 폭으로 감소하게 된다. 한편 항온 후기에는 부동화 작용으로 미생물이 NO₃⁻를 아미노산으로 동화시키고자 뿌리에서 흡수할 때, 그 결과물로서 OH⁻ 이온이 생성되어 토양으로 배출되기 때문에 토양 pH가 상승하게 된다 (Brady and Weil, 2008). 항온 후기에 나타나는 NO₃⁻의 감소를 탈질작용에 의한 N₂나 N₂O 가스 생성 때문으로 생각해 볼 수도 있겠으나, 본 실험의 토양수분 조건인 포장용수량 75%에서는 토양이 산화조건이므로, 환원조건에서만 일어날 수 있는 탈질작용의 가능성은 희박할 것으로 판단되었다 (Azeez and van Averbek, 2010).

축분 퇴비 무기화의 경시적 변화에 적합한 함수 모델은 Azeez and van Averbek (2010)가 제안한 바와 같이, 직선형이 아닌 3차 다항식이 적합할 것으로 판단되었다. 그들의 실험과 본 실험의 차이는 항온기간의 차이로서, 그들이 120

일간의 항온 실험 결과인 반면 본 실험은 42일간의 결과로서, 3차 다항식의 초기에 해당한다고 볼 수 있다. 유기물질 무기화의 경시적 변화에 적용하는 모델로 흔히 직선형 모델들 (first-order, second-order, parabolic diffusion)이 사용되고 있다 (Azeez and Van Averbek, 2010). 이 모델들은 그 형태가 계속적인 증가만을 나타낼 수 있으므로, 유기물질의 경시적 누적 무기화 양만을 표현하는 데에는 적합하다 (Yun et al., 2010). 실험방법도 약 2주마다 그간 무기화 된 질소를 추출한 후 다시 새롭게 무기화시키는 것을 반복하여 누적 무기화 양을 얻는 방법으로서, 본 실험의 방법과는 다르다. 따라서 본 실험에서와 같이 질소 무기화 발생 후에 질산화과정이나 부동화과정이 뒤따르면서 초기에는 증가하다가 후기에는 감소하는 형태를 표현하는 데에는 적합하지 않다.

Conclusion

간척지의 토양의 EC가 가축분 퇴비의 질소무기화에 미치는 영향을 알아보기 위하여 단기간 (6주간) 항온배양 실험을 수행하였다. 동일 포장에서 유래하여 토성은 동일하나 EC가 상이한 (3.5 dS m⁻¹와 12 dS m⁻¹) 2개의 토양에, 중량비로 0%, 1%, 2% 및 3% (4수준)의 가축분 퇴비를 처리하고 25°C에서 항온 배양하면서 무기태 질소, pH, Dehydrogenase의 경시적 변화를 살펴보았다. 그 결과 토양 EC 수준과 무관하게 축분 퇴비 처리량이 증가할수록 총 무기태 질소 (NH₄⁺ + NO₃⁻) 함량이 증가하였다. 토양 EC 차이는 가축분 퇴비의 질소무기화에 큰 영향을 미치지 않았다. Dehydrogenase의 활성도 또한 무기태 질소와 마찬가지로 토양 EC가 큰 영향을 미치지 않았다. NH₄⁺ 함량은 항온 초기인 1주 후부터 배양기간 내내 매우 낮은 수준을 나타내었다. 이는 초기 토

양의 높은 pH 수준 (pH 7.9와 pH 8.3)으로 인하여 발생하는 암모니아 휘산작용 때문인 것으로 판단되었다. NO_3^- 는 가축분 퇴비의 처리 수준이 증가할수록 높은 수준을 유지하였으며 3주에서 최대함량을 나타내었다. 배양기간 중 토양 pH는 질산태 질소가 증가함에 따라 감소하다가 3주 후부터 소폭 상승하였다. 배양 후기의 pH 상승은 미생물에 의한 질산태질소의 부동화 때문으로 판단되었다. 결론적으로 본 실험의 높은 토양 $\text{EC}_{1:5}$ 수준인 12 dS m^{-1} 정도는 가축분 퇴비의 질소 무기화에 관여하는 토양미생물의 생육에 전혀 영향을 미치지 않는 수준으로 판단된다.

References

- Azeez, J.O. and W. van Averbeke. 2010. Nitrogen mineralization potential of three animal manures applied on a sandy clay loam soil. *Bioresource Technology* 101:5645-5651.
- Brady, N.C. and R.R. Weil. 2008. *The nature and properties of soils* (14th Ed.). Pearson Prentice Hall.
- Chowdhury, N., P. Marschner, and R.G. Burns. 2011. Response of microbial activity and community structure to decreasing soil osmotic and matric potential. *Plant and Soil* 344:241-254.
- Dinesh, R., R.P. Dubey, and G.S. Prasad. 1998. Soil microbial biomass and enzyme activities as influenced by organic manure incorporation into soils of a rice-rice system. *J. Agro. Crop Sci.* 181:173-178.
- Han, S.G., H.J. Kim, J.A. Song, and D.Y. Chung. 2011. Fate of nitrogen influence by circumstance of a reclaimed tidal soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(5):745-751.
- Havin, J.L., S.L. Tisdale, W.L. Nelson, and J.D. Beaton. 2004. *In Soil fertility and fertilizers: and introduction to nutrient management* (7th Ed.). Pearson Prentice Hall. Nitrogen: 97-159.
- Hwang, S.W., J.G. Kang, K.D. Lee, K.B. Lee, K.H. Park, and D.Y. Chung. 2012. Division of soil properties in reclaimed land of the Mangyeong and Dongjin river basin and their agricultural engineering management. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(3):444-450.
- Joa, J.H., K.H. Moon, K.S. Choi, S.C. Kim, and S.W. Koh. 2013. Soil dehydrogenase activity and microbial biomass C in croplands of Jeju province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 46(2): 122-128.
- Kang, C.S., A.S. Roh, S.K. Kim, and K.Y. Park. 2011. Effects of the application of livestock manure compost on reducing the chemical fertilizer use for the lettuce cultivation in green house. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(3):457-464.
- Kim, Y.H., H.Y. Lee, M.S. Kim, and S.S. Kang. 2010. Injury symptom of egg plant growth in a high pH rockwool amended with ammonium phosphate. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(6): 975-977.
- Lindsay, W.L. 1979. *Chemical equilibria in soils*. John Wiley & Sons, New York.
- Nannipieri, P., S. Greco, and B. Ceccanti. 1990. Ecological significance of the biological activity in soil. In: Bollag JM, Stotzy G (eds) *Soil biochemistry* vol. 6. Dekker, New York: 293-355.
- NIAST. 2000. *Methods of soil and plant analysis*. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Pathak, H. and D.L.N. Rao. 1998. Carbon and nitrogen mineralization from added organic matter in saline and alkali soils. *Soil Biology & Biochemistry* 30(6):695-702.
- Rietz, D.N. and R.J. Haynes. 2003. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biology & Biochemistry* 35:845-854.
- Sonn, Y.K., G.S. Hyun, M.C. Seo, K.H. Jung, B.K. Hyun, S.J. Jung, and K.C. Song. 2006. A taxonomical consideration based on changes of salinity and profile features of the texturally different two reclaimed tidal soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 39(2):59-64.
- Tabatabai, M.A. 1994. Soil enzyme. In: Weaver, R.W., J.S. Angel, P.S. Bottomley (Eds), *Methods of soil analysis. Part 2: Microbial and Biochemical Properties*. Soil Science Society America, Madison, WI, USA:775-833.
- Tripathia, S., A. Chakraborty, K. Chakrabartia, and B.K. Bandyopadhyay. 2007. *Soil Biology & Biochemistry* 39:2840-2848.
- Wichern, J., F. Wichern, and R.G. Joergensen. 2006. Impact of salinity on soil microbial communities and the decomposition of maize in acidic soils. *Geoderma* 137:100-108.
- Yan, N. and P. Marschner. 2012. Response of microbial activity and biomass to increasing salinity depends on the final salinity, not the original salinity. *Soil Biology & Biochemistry* 53:50-55.
- Yan, N. and P. Marschner. 2013. Response of soil respiration and microbial biomass to changing EC in saline soils. *Soil Biology & Biochemistry* 65:322-328.
- Yun, H.B., Y. Lee, C.Y. Yu, J.E. Yang, 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(3):329-334.