

## 항온 호기 배양 조건에서 잔디 예초물 액비로부터 무기화된 질소의 농도 변화

이태규<sup>1</sup> · 박지숙<sup>1</sup> · 이민진<sup>1,2</sup> · 김종성<sup>1</sup> · 노희명<sup>1,2\*</sup> · 김상준<sup>3\*</sup> · 전승우<sup>3</sup> · 서상국<sup>3</sup> ·  
김길용<sup>4</sup> · 이건설<sup>5</sup> · 정병곤<sup>6</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 농생명공학부, <sup>2</sup>서울대학교 농업생명과학연구원, <sup>3</sup>(주)자연과 사람, <sup>4</sup>전남대학교 응용생물공학부,  
<sup>5</sup>군산대학교 생물학부, <sup>6</sup>군산대학교 환경공학부

## Variation Patterns in Concentration of Inorganic Nitrogen from Liquid Grass Fertilizer during Aerobic Incubation

Tae-Kyu Lee<sup>1</sup>, Ji-Suk Park<sup>1</sup>, Min-Jin Lee<sup>1,2</sup>, Jong-Sung Kim<sup>1</sup>, Hee-Myong Ro<sup>1,2\*</sup>, Sang-Jun Kim<sup>3\*</sup>,  
Seung-Woo Jeon<sup>3</sup>, Sang-Gug Seo<sup>3</sup>, Kil-Yong Kim<sup>4</sup>, Geon-Hyoung Lee<sup>5</sup>, and Byung-Gon Jeong<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Department of Agricultural Biotechnology, Seoul National University, Seoul 151-921, Republic of Korea

<sup>2</sup>Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Republic of Korea

<sup>3</sup>Nature and people Co. Ltd., Gunsan 573-952, Republic of Korea

<sup>4</sup>Department of Applied Bioscience and Biotechnology, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Republic of Korea

<sup>5</sup>Department of Biology, Kunsan National University, Gunsan 573-701, Republic of Korea

<sup>6</sup>Department of Environmental Engineering, Kunsan National University, Gunsan 573-701, Republic of Korea

To assess fertilizer value of an quasi-aerobically fermented liquid clipped-grass fertilizer, aerobic incubation experiment using two texturally contrasting loam (L) and sandy loam (SL) soils was conducted for 60 days to investigate temporal variations in N mineralization pattern of the liquid fertilizer applied. To do so, the quasi-aerobically fermented liquid clipped-grass fertilizer was prepared, applied to each soil at a rate of 200 kg-N ha<sup>-1</sup> and aerobically 25°C in the dark. During incubation, soil water content was adjusted to field moisture capacity (-33 kPa of soil matric potential) by adding distilled water as necessary to maintain their initial weights. At desired time of incubation (0, 1, 5, 10, 20, 40, and 60 days after incubation), soil was sampled and analyzed for inorganic nitrogen (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N) concentrations, pH, EC, total carbon contents and total nitrogen contents. Concentrations of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N began to decrease right after incubation for L soils, and 10 days after incubation for SL soils, while those of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N began to increase onset of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N disappearance. The results of this study showed that quasi-aerobically fermented liquid clipped-grass fertilizer could serve as an alternative to chemical N fertilizer.

**Key words:** Fertilizer value, Liquid clipped-grass fertilizer, Inorganic nitrogen, Mineralization, Nitrification

## 서 언

유기성 폐기물은 상당량의 질소, 인 및 유기 탄소를 갖고 있기 때문에, 이를 토양에 재활용할 경우 양분을 토양에 안정적으로 지속적으로 공급할 수 있다 (Garcia et al., 1992; Hernández et al., 2002). 그럼에도 불구하고, 이들 유기성 폐기물을 자원으로 이용하지 못하고 폐기하는 경우가 많아

환경오염을 상당히 유발하고 있는 것이 현실이다. 한국에서는 2003년에 1억 톤 정도의 유기성 폐기물이 발생한 것으로 보고되었으나, 발생 현황을 파악하기 어려워 실제 발생량은 더 많을 것으로 추정하고 있다 (Kim et al., 2005). 이는 비단 우리나라만이 갖는 문제가 아닌데, 일본에서도 연간 전체 폐기물의 60 %인 2억 8천만 톤의 유기성 폐기물이 버려지고 있으며, 여기에는 132만 톤의 질소를 함유하고 있다는 것이 조사되었다 (Chino, 2002).

이러한 문제는 런던 의정서의 발효로 해양 투기가 금지되고, 세계적으로 폐기물 처리 규제가 강화되고 있는 추세와 맞물려 더욱 심각하게 문제가 되고 있다 (London protocol,

접수 : 2012. 11. 29 수리 : 2012. 12. 10

\*연락처 : Phone: +8228804655

E-mail: hmro@snu.ac.kr

Phone: +82634723319

E-mail: k3pljw@hanmail.net

1996; Westerman and Biscon, 2002). 이에 대한 한 가지 해결책으로 농산업 부산물을 친환경적 유기자원으로 재활용하는 방안이 활발하게 논의되고 있다. 유럽, 미국 등지에서는 최근 들어 유기성 폐기물에 대한 강화된 규제에 대응하여 다양한 방법의 처리법이 연구되고 있는데 그 중 퇴비, 토양 개량제와 같은 비료로 만드는 연구가 많이 수행되었다 (Goeschl and Lee, 1998; Westerman and Biscon, 2002). 우리나라에서도 이러한 추세에 따라 가축분뇨, SCB (Slurry Composting and Biofiltration)액비 등 농축산 폐기물을 비료로 재활용하는 연구가 활발히 진행되고 있다 (Lee 2012b; Ro et al., 2008).

이러한 유기성 폐기물의 재활용은 비단 농업 분야 뿐 아니라 골프장과 같은 스포츠 산업 분야에서도 활발하게 논의되고 있다. 우리나라에서 운영 중인 골프장의 면적은 꾸준히 증가하였는데, 환경부 자료에 따르면 2004년에 199.4 km<sup>2</sup>, 2010년에 327 km<sup>2</sup>으로 조사되어 꾸준히 증가하고 있는 것을 보여주었다 (MOE, 2010). 여기서 상당량의 잔디 예초물이 발생하는데, 과거에는 별다른 처리를 거치지 않고 폐기물로서 버려져 많은 오염을 야기하였으나, 최근에는 오염을 방지하고 친환경적으로 재활용하기 위한 일환으로 자연 순환시키는 방면으로 노력을 기울이고 있다.

최근 Ha et al. (2005)은 잔디 예초물로 만든 퇴비는 비료 성분, 식물 독성 등의 측면에서 비료로서의 적합성을 갖는다고 하였으며, Lee (2012a)는 잔디 예초물에 유용미생물 (EM)활성액을 첨가하여 발효를 시킨 액비를 토양에 처리했을 때 잔디의 품질에 미치는 영향을 미친다는 것을 밝혀내었다. 이처럼 잔디 예초물을 액비로 사용하였을 때 토양개량효과와 식물생육이 좋아진다는 결과는 많은 연구에서 보고되고 있다 (Verkleij, 1992; Yamada and Xu, 2001).

그러나 지금까지 진행된 연구에서는 주로 예초물을 비료로 만들었을 때, 질소, 탄소 등의 함량이 어떻게 변하는지에 대해 초점이 맞추어져 있어, 실제로 토양에 사용하였을 때 식물이 이용할 수 있는 형태로 영양분이 얼마나 공급되는지에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 대부분의 식물의 경우 토양 내의 질산태 질소를 질소의 공급원으로 이용한다 (Hopkins and Hüner, 2008). 따라서 질소 총량만 갖고는 질소 공급이 잘 이루어지는지 알기 어려우며, 어떤 형태로 얼마나 존재하는지에 대한 연구가 필수적으로 뒤따라야 한다. 본 연구에서는 이 점을 착안하여, 잔디 예초물 혼합액비가 지닌 친환경 비료로서의 가치를 평가하고자 항온실험을 통해 토양 내에서 무기질 질소의 함량 변화를 주기적으로 조사하였다. 본 연구에서는 국내 골프장에 광범위하게 심겨져있는 Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.) 잔디 품종의 예초물을 EM활성액으로 발효시켜 만든 액비를 현행 질소시비수준에 맞춰 토양에 처리하고, 60일간 호기조건에서 항온배양 실험하여 토양 내에서 무기태질소 (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 및 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)의

변화를 조사함으로써, 잔디 예초물 혼합액비의 질소비료로서의 가능성을 연구하였다.

## 재료 및 방법

우리나라의 대표적인 토성인 양토와 사양토를 사용하여 실험을 진행하였다. 양토는 경기도 남양주시 소재의 농가에서 20 cm 깊이까지 채취하였으며, 사양토의 경우 경기도 수원시 소재 서울대학교 실험농장에서 채취하였다. 토양은 풍건시킨 후 2-mm 표준체를 통과한 것을 시료를 사용하였다. 토양의 물리화학적 특성은 Table 1과 같으며, 사양토의 경우는 약산성, 양토의 경우는 약염기성을 띠었다. 양토의 경우 사양토보다 총질소와 총유기탄소의 함량이 더 높았다. 암모늄태 질소 (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N) 농도는 두 토성 간 큰 차이가 없었으나, 질산태 질소 (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)의 경우 양토에서 농도가 높았다. 토양수분함량은 토양수분압출장치를 이용하여 토양수분장력이 33 kPa일 때의 수분함량으로 계산하였다.

**잔디 예초물 혼합액비** 본 연구에서 사용한 생초미생물혼합액비는 전라북도 군산시 소재 군산 컨트리클럽에서 개발한 액비로서, 화학성은 Table 2와 같다. 이 혼합액비는 Kentucky bluegrass와 EM활성액, 폐당밀을 혼합하여 1 주일간 발효시켜 제조하였다. 발효 과정 중에는 일정량의 산소가 공급되었는데 발효가 진행됨에 따라 산소 공급량이 산소 요구량에 미치지 못해 혐기상태가 발생하는 유사 호기

**Table 1. Physical and chemical properties of Loam and Sandy loam soil.**

|  | Sandy loam | Loam  |
|--|------------|-------|
| Particle size distribution (g kg <sup>-1</sup> )       |            |       |
| Sand   | 655.7      | 250.8 |
| Silt   | 255        | 489.1 |
| Clay   | 89.3       | 260.1 |
| Soil water content <sup>†</sup> (kg kg <sup>-1</sup> ) | 0.14       | 0.25  |
| pH (1;5)   | 6.1        | 7.8   |
| EC <sup>‡</sup> (dS m <sup>-1</sup> )                  | 0.05       | 0.14  |
| T-N <sup>§</sup> (g kg <sup>-1</sup> )                 | 0.50       | 1.78  |
| Inorganic Nitrogen (mg kg <sup>-1</sup> )              |            |       |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N                        | 4.6        | 4     |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N                        | 18.1       | 74.8  |
| TOC <sup>§</sup> (g kg <sup>-1</sup> )                 | 4.8        | 15.9  |

<sup>†</sup>Equivalent to -33 kPa of matric potential.

<sup>‡</sup>1:5 soil-to-water suspension.

<sup>§</sup>T-N, Total nitrogen; <sup>§</sup>TOC, Total organic carbon.

**Table 2. Chemical properties of Liquid grass fertilizer.**

| pH    | Total N           | Inorganic Nitrogen              |                                 | Total C | Total P |
|-------|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------|---------|
|       |                   | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N |         |         |
| (1;5) | g L <sup>-1</sup> |                                 |                                 |         |         |
| 5.00  | 4.30              | 3.32                            | N.D <sup>†</sup>                | 22.2    | 0.25    |

<sup>†</sup>Not Detected.

발효 (quasi-aerobic fermentation)가 일어났다. 그 결과 유기태 질소는 대부분 암모늄태 질소로 변환되었으며 질산태 질소는 거의 생성되지 않았다.

**항온배양실험** 양토와 사양토를 250 mL polyethylene 병에 각각 100 g씩 넣고, 토양의 수분함량을 포장용수량에 맞추었다. 그 후 25°C로 설정한 항온배양기에서 7일간 전처리 배양 후 처리구에는 200 kg-N ha<sup>-1</sup>의 질소가 공급될 수 있도록 잔디 예초물 혼합액비를 2.33 mL 씩 처리하였다. 질소를 처리하지 않은 시료를 대조구로 설정하였다. 이 후 시료를 포장 용수량의 수분상태로 유지하며 25°C로 온도가 유지되는 어두운 조건의 항온배양기에서 항온배양실험을 진행하였다. 처리구와 대조구는 각 3 반복으로 시행하였으며, 잔디 예초물 혼합액비를 처리한 후 주기적 (0, 1, 5, 10, 20, 40, 60일)으로 시료를 채취하여, 화학분석을 하였다.

**화학분석** 시료 채취 때마다 무기태 질소, pH, EC, 총 질소, 총탄소의 함량을 분석하였다. 시료 약 15 g을 2 M KCl 60 mL로 침출한 후 Kjeldahl Protein/Nitrogen Analyzer (Kjeltec Auto 1035/1038 System, Tecator AB, Sweden)를 이용하여 무기태 질소 (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 및 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N) 농도를 측정하였다. 나머지 시료를 풍건시킨 후 2-mm 체를 통과한 토양 현탁액 (토양:용액=1:5)의 pH와 전기전도도 (EC)를 각각 pH meter (Orion 3 star, Thermo Scientific, USA)와 EC

meter (PET-2000 Kombi, Stelzner GMBH, Germany)로 측정하였으며, 총질소와 총탄소 함량은 토양을 0.05 mm 이하로 곱게 갈아 Elemental Analyzer (Flash EA 1112, Thermo Scientific, USA)로 분석하였다.

**통계분석** SAS 9.3 software (SAS Institute Inc., USA)를 이용하여 5 % 유의수준에서 항온배양 기간 동안의 화학성 변화에 대해 ANOVA를 실시하였고, Duncan's Multiple Range Test를 이용하여 평균 간의 차이를 분석하였다.

## 결과 및 고찰

**토양 pH와 EC** 잔디 예초물 혼합액비를 처리한 토양의 pH와 EC는 사양토의 경우 10일을 기점으로 변하였고, 양토의 경우 1일을 기점으로 변하였다 (Table 3). 사양토의 경우, 잔디 예초물 혼합액비를 처리하였을 때 pH가 10일차까지 증가하다가 급격하게 감소한 반면 EC의 경우 10일차까지 낮은 수준으로 유지되다 급격히 증가하였다. 대조구에서도 비슷한 경향이 보였는데 pH가 높은 수준에서 유지되다 10일 이후 감소하였으며 EC는 pH와 반대되는 경향을 보였다. 양토 처리구의 경우에는 사양토보다 먼저 이런 경향이 나타났는데 혼합액비 처리 후 1일 만에 pH가 감소하고 EC가 증가하였다. 반면 대조구에서는 초기에 큰 변화를 보이지 않았으나 40일 이후로 pH가 감소하고 EC가 증가하였

**Table 3. pH and EC of Sandy loam and Loam soil.**

| Incubation Day | Sandy loam          |                      |                      |                    | Loam              |                    |                   |                      |
|----------------|---------------------|----------------------|----------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|----------------------|
|                | Treatment           |                      | Control              |                    | Treatment         |                    | Control           |                      |
|                | pH                  | EC <sup>†</sup>      | pH                   | EC                 | pH                | EC                 | pH                | EC                   |
|                | (1:5)               | dS m <sup>-1</sup>   | (1:5)                | dS m <sup>-1</sup> | (1:5)             | dS m <sup>-1</sup> | (1:5)             | dS m <sup>-1</sup>   |
| 0              | 6.25 <sup>c,‡</sup> | 0.29 <sup>d, e</sup> | 6.71 <sup>a</sup>    | 0.05 <sup>c</sup>  | 7.50 <sup>b</sup> | 0.45 <sup>c</sup>  | 7.65 <sup>a</sup> | 0.22 <sup>b, c</sup> |
| 1              | 6.37 <sup>b</sup>   | 0.29 <sup>d</sup>    | 6.55 <sup>a, b</sup> | 0.04 <sup>d</sup>  | 7.56 <sup>a</sup> | 0.43 <sup>c</sup>  | 7.69 <sup>a</sup> | 0.20 <sup>c</sup>    |
| 5              | 6.64 <sup>a</sup>   | 0.25 <sup>d, e</sup> | 6.69 <sup>a</sup>    | 0.05 <sup>c</sup>  | 7.21 <sup>d</sup> | 0.53 <sup>b</sup>  | 7.64 <sup>a</sup> | 0.22 <sup>b, c</sup> |
| 10             | 6.59 <sup>a</sup>   | 0.25 <sup>e</sup>    | 6.64 <sup>a</sup>    | 0.05 <sup>c</sup>  | 7.24 <sup>d</sup> | 0.55 <sup>b</sup>  | 7.68 <sup>a</sup> | 0.22 <sup>b, c</sup> |
| 20             | 5.39 <sup>d</sup>   | 0.35 <sup>c</sup>    | 6.44 <sup>b</sup>    | 0.07 <sup>b</sup>  | 7.31 <sup>c</sup> | 0.52 <sup>b</sup>  | 7.65 <sup>a</sup> | 0.24 <sup>b</sup>    |
| 40             | 5.02 <sup>f</sup>   | 0.41 <sup>b</sup>    | 6.48 <sup>b</sup>    | 0.07 <sup>b</sup>  | 7.32 <sup>c</sup> | 0.54 <sup>b</sup>  | 7.68 <sup>a</sup> | 0.25 <sup>b</sup>    |
| 60             | 5.11 <sup>e</sup>   | 0.50 <sup>a</sup>    | 6.45 <sup>b</sup>    | 0.09 <sup>a</sup>  | 7.22 <sup>d</sup> | 0.65 <sup>a</sup>  | 7.56 <sup>b</sup> | 0.32 <sup>a</sup>    |

<sup>†</sup>1:5 soil-to-water suspension.

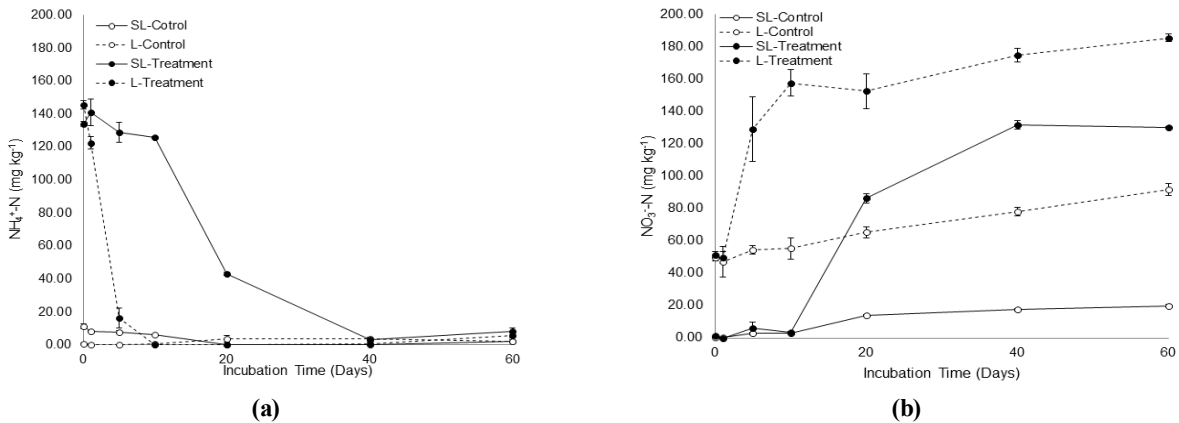
<sup>‡</sup>Means in the same column with different superscripts differ significantly by Duncan's Multiple Range Test ( $p < 0.05$ ).

다. pH와 EC의 변화는 암모늄태 질소와 질산태 질소가 보여준 패턴과 비슷한 것으로 보아 질산태 질소가 증가함에 따라 pH가 감소한 것으로 생각된다. 이번 실험에서 처리한 농도 수준에서는 작물 생육에 적합한 수준 (pH 5.5~7, ECe : 4 dS m<sup>-1</sup>)을 다소 벗어나는 것으로 나타나 농도의 조절이 필요할 것으로 보였다 (Brady and Weil, 2008).

**무기태질소의 질산화 작용** 무기태질소의 함량 변화는 무기화와 질산화, 두 가지 반응의 측면에서 살펴보았다. 우선 질산화 과정을 살펴보면 사양토에서 10일이 경과한 후 급격한 암모늄태 질소 농도의 감소, 질산태 질소 농도의 증가 패턴을 보였다. 대조구에서는 처리구와 비교하여 비교적 완만한 경향성이 나타났는데 배양을 시작한 후 지속적으로 암모늄태 질소가 감소하고 질산태 질소가 증가하였다. 양토에서는 처리구의 경우 처리 후 1일 만에 급격히 암모늄태 질소가 감소하고 질산태 질소가 증가하는 경향을 보였다. 대조구의 경우 암모늄태 질소의 경우 완만하게 증가하는 듯한 모습을 보였으나 통계적으로 유의한 수준은 아니었으며 질산태 질소의 경우 10일까지는 차이가 없었으나 그 이후로

완만한 증가세를 보였다. 이러한 경향은 Fig. 1에서 확인할 수 있다. 질산화작용의 속도가 양토가 사양토에 비해 더 빠르게 일어난 것은 토성이 아닌 다른 요인에 의한 결과로 보인다. 더 고온 토성에서 질산화가 더 활발히 일어나는 현상이 과거에도 종종 보고되었는데 이러한 현상은 질산화균의 활성에 기인한 것으로 추정 된다 (Maag and Vinther, 1996; Wahhab et al., 2009). 질산화균은 pH 8~9 범위에서 가장 높은 활성을 가지며 pH가 감소할수록 활성이 감소하여 질산화작용에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다 (Shammas, 1986). 이번 연구 뿐 아니라 Maag and Vinther (1996)과 Wahhab et al. (2009)이 수행한 연구에서도 모두 가는 토성의 pH가 질산화균의 최적 pH에 가까웠다는 점으로 미루어 보아 토성보다는 pH의 영향이 더 크게 작용한 것으로 보인다.

**잔디 예초물 혼합액비의 무기화 작용** 질산화에 이용된 무기태질소의 공급원을 파악하기 위하여 무기태 질소의 총 생성량 (암모늄태 질소와 질산태 질소의 총량)의 변화를 살펴보았다 (Table 4). 사양토 처리구에서는 무기화가 일



**Fig. 1.** Temporal changes in (a) NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N and (b) NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N concentration during incubation. SL-Control, SL-Treatment, L-Control and L-Treatment represent Sandy loam Control, Sandy loam Treatment, Loam Control and Loam Treatment, respectively. Error bars indicate standard error (n=3).

**Table 4.** Total inorganic nitrogen concentration of Sandy loam and Loam soil.

| Incubation Day | Sandy loam                      |                      | Loam                   |                       |
|----------------|---------------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|
|                | Treatment                       | Control              | Treatment              | Control               |
|                | ----- mg kg <sup>-1</sup> ----- |                      |                        |                       |
| 0              | 135.30 <sup>a,†</sup>           | 11.69 <sup>c,d</sup> | 197.01 <sup>a</sup>    | 50.32 <sup>d</sup>    |
| 1              | 141.19 <sup>a</sup>             | 8.97 <sup>d</sup>    | 172.02 <sup>a, b</sup> | 47.44 <sup>d</sup>    |
| 5              | 134.83 <sup>a</sup>             | 10.38 <sup>d</sup>   | 145.18 <sup>c</sup>    | 54.30 <sup>c, d</sup> |
| 10             | 129.60 <sup>a</sup>             | 9.31 <sup>d</sup>    | 157.96 <sup>b, c</sup> | 55.76 <sup>c, d</sup> |
| 20             | 129.44 <sup>a</sup>             | 14.34 <sup>c</sup>   | 152.52 <sup>b, c</sup> | 69.10 <sup>b, c</sup> |
| 40             | 134.64 <sup>a</sup>             | 17.57 <sup>b</sup>   | 175.78 <sup>a, b</sup> | 78.16 <sup>b</sup>    |
| 60             | 138.11 <sup>a</sup>             | 22.09 <sup>a</sup>   | 191.36 <sup>a</sup>    | 93.83 <sup>a</sup>    |

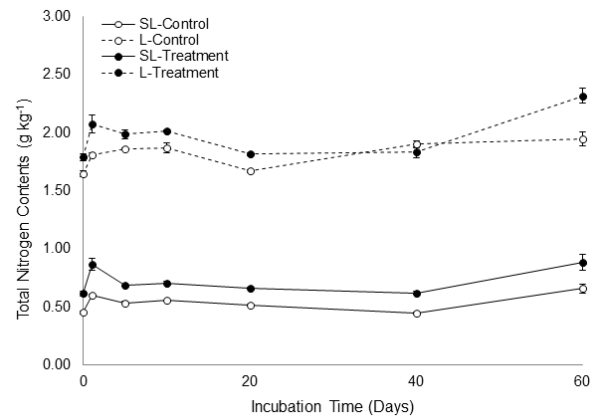
<sup>†</sup>Means in the same column with different superscripts differ significantly by Duncan's Multiple Range Test (p<0.05).

어나지 않은 것을 볼 수 있었으며 이는 공급해준 잔디 예초물 혼합액비 내의 암모늄태 질소가 질산화 작용의 공급원으로써 이용되었기 때문인 것으로 추정된다. 양토 처리구에서는 초기에 다소 감소하였으나 점차 회복되어 60일에는 무기태 질소의 함량이 배양 초기와 거의 같아지게 되었다. 이를 토대로 보면 처리구에서는 무기화과정 없이 넣어준 잔디 예초물 혼합액비의 암모늄태 질소가 질산화되어 질산태 질소를 공급해 준다는 것을 알 수 있었다. 물질 균형 (mass balance)을 검정한 결과도 이를 뒷받침하였는데, 60일간의 암모늄태 질소의 총 감소량과 질산태 질소의 총 증가량의 차이를 비교해 봄으로써 확인하였다. 그 결과 암모늄태 질소의 감소량과 질산태 질소의 증가량이 거의 일치하는 것으로 나타났는데 사양토의 경우  $126.04 \text{ mg kg}^{-1}$ 의 암모늄태 질소가 감소하고  $128.85 \text{ mg kg}^{-1}$ 의 질산태 질소가 증가하였으며 양토의 경우  $139.73 \text{ mg kg}^{-1}$ 의 암모늄태 질소가 감소하고  $134.09 \text{ mg kg}^{-1}$ 의 질산태 질소가 증가하였다. 이는 잔디 예초물 혼합액비가 갖는 유기질소는 거의 무기화되지 않으며 질산태 질소는 혼합액비 내의 암모늄태 질소의 질산화 결과라는 사실을 말해준다.

처리구와는 다르게 대조구에서는 무기화가 거의 일정하게 일어나는 것을 볼 수 있었다. 두 대조구에서 모두 무기화율이 0 차 반응 (zero-order kinetics)을 따르는 것으로 나타났는데 사양토 대조구의 경우  $k = 0.206$  ( $R^2=0.922$ ), 양토 대조구의 경우  $k = 0.743$  ( $R^2=0.980$ , data not shown)를 갖는 것을 확인할 수 있었다. 이는 대조구에서의 질산태 질소 증가 패턴과 거의 비슷한 모양이라는 것을 알 수 있었는데, 사양토 대조구의 경우  $k = 0.352$  ( $R^2=0.886$ ), 양토 대조구의 경우  $k = 0.723$  ( $R^2=0.990$ , data not shown)을 나타냄으로써 무기화된 질소가 거의 질산화되는 것으로 추정하였다.

처리구와 대조구가 서로 다른 무기화율을 보이는 것은 암모늄태 질소 농도 차이에 기인한 것으로 보인다. 암모늄태 질소 (기질)는 암모늄화 (ammonification)작용의 억제자로 작용하므로 유기태 질소의 무기화를 방해한다 (Hotta and Funamizu, 2008). 질소의 대부분이 암모늄태 질소로 존재하는 혼합액비가 처리구의 암모늄태 질소의 농도를 높여주어 결과적으로 액비와 토양에 존재하는 유기태 질소가 무기화되는 것을 방해한 것으로 보인다.

**총질소 및 총탄소 함량 변화** 총질소와 총탄소의 함량은 유의미한 변화를 보이지 않았다. 총탄소의 함량은 사양토보다 양토에서 높은 수준이 유지되었으며 함량 변화는 항온배양 기간 동안 모든 경우에서 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다(data not shown). 총질소의 경우 Fig. 2에서 보는바와 같이 특별한 경향 없이 증가와 감소가 반복되는 모습이 나타났는데 그 변화폭은 유의미하지 않았다.



**Fig. 2. Temporal changes in total nitrogen concentration during incubation. SL-Control, SL-Treatment, L-Control and L-Treatment represent Sandy loam Control, Sandy loam Treatment, Loam Control and Loam Treatment, respectively. Error bars indicate standard error (n=3).**

잔디 예초물 혼합액비가 질소와 탄소의 함량 변화에는 큰 영향을 주지 않은 것으로 파악하였다.

## 요 약

이번 연구에서는 잔디 예초물 혼합액비가 지닌 질소질 비료로서의 가치를 평가하기 위해 사양토와 양토에 잔디 예초물 혼합액비를 처리 후 25°C에서 60일간의 항온배양실험을 진행하였고 배양기간 동안의 pH, 전기전도도, 질소의 무기화와 질산화의 변화를 조사하였다. 잔디 예초물 혼합액비를 사용하였을 경우 토양 내에서 무기화가 일어나지 않았고 혼합액비 내의 무기태질소가 질산화작용을 통해 질산태 질소를 발생시키는 것을 보았는데 60일간의 배양 결과 양토에서는  $185.58 \text{ mg kg}^{-1}$ 의 질산태 질소가 존재하였고 사양토의 경우  $130.05 \text{ mg kg}^{-1}$ 의 질산태 질소가 존재하는 것을 볼 수 있었다. 하지만 잔디 예초물 혼합액비를 현행 질소 시비수준으로 처리하였을 경우 사양토에서 pH 5.1, EC (1:5) 0.50  $\text{dS m}^{-1}$ 로 나타났고, 양토에서 pH 7.2, EC (1:5) 0.65  $\text{dS m}^{-1}$ 를 나타냄으로써 산성화와 염류집적을 일으킬 가능성도 함께 보여주었다. 결론적으로 본 연구를 통하여 잔디 예초물 혼합액비가 질소질 비료를 대체하여 사용할 수 있음을 보여줌으로써 유기 부산물을 재활용한 질소 공급원으로서의 이용 가능성을 보여주었다.

## 사 사

본 논문은 농림수산식품기술기획평가원 연구사업 (농림 폐자원을 이용한 친환경 생초미생물 혼합액비 산업화, 과제 번호: 311017-03-1-HD120)과 한국연구재단의 BK 21 사업

지원에 의해 이루어졌습니다.

## 인 용 문 헌

- Brady, N.C. and R.R. Weil. 2008. The nature and properties of soils. 14th ed. Peason Prentice Hall, NJ, USA.
- Chino, M. 2002. Recycling of nutrients and metals in relation to organic wastes recycling/composting in Japan. Korean Organ. Resour. Recycl. Assoc. SERES 2002:23-25.
- Garcia, C., T. Hernandez, and F. Costa. 1992. Variation in some chemical parameters and organic matter in soils regenerated by the addition of municipal solid waste. Environ. Manage. 16(6):763-768.
- Goeschl, R. and H.K. Lee. 1998. Recent tendency to organic waste treatment in Europe. J. Korea Organ. Resour. Recycl. Assoc. 4-14.
- Ha, S.M., K.W. Chang, K.P. Han, J.H. Hong, and J.J. Lee. 2005. Changes of physico-chemical properties and maturity assessment during composting of turfgrass clipping types from the golf courses. J. Korea Organ. Resour. Recycl. Assoc. 13(4):89-99.
- Hernández, T., R. Moral, A. Perez-Espinosa, J. Moreno-Caselles, M.D. Perez-Murcia, and C. García. 2002. Nitrogen mineralisation potential in calcareous soils amended with sewage sludge, Bioresour. Technol. 83:213-219.
- Hopkins, W.G. and N.P.A. Hüner. 2008. Introduction to plant physiology. 4th ed. John Wiley & Sons, Inc., Marblehead, MA, USA.
- Hotta, S. and N. Funamizu. 2008. Inhibition factor of ammonification in stored urine with fecal contamination. Water Sci. Technol. 58(6):1187-1192.
- Kim, Y.K., C.G. Phae, H.K. Choi, S.M. Kim, and E.Y. Hwang. 2005. Physical and chemical analysis of organic wastes for the establishment of total management system. J. Korea Organ. Resour. Recycl. Assoc. 13(1):100-114.
- Lee, S.K. 2012a. Effects of liquid fertilizer produced from fermented clippings for Kentucky bluegrass. Asian J. Turfgrass Sci. 26(1): 67-71.
- Lee, S.K. 2012b. Irrigation frequency for Kentucky Bluegrass (*Poa pratensis*) growth. Asian J. Turfgrass Sci. 26(2):123-128.
- Maag, M. and F.P. Vinther. 1996. Nitrous oxide emission by nitrification and denitrification in different soil types and at different soil moisture contents and temperatures. Appl. Soil Ecol. 4(1):5-14.
- Ministry of Environment. 2010. White paper of environment, Gwacheon, Republic of Korea.
- Ro, H.M., L.S. Kim, M.J. Lee, H.J. Choi, and C.H. Park. 2008. Soil moisture regime affects variation patterns in concentration of inorganic nitrogen from liquid swine manure during aerobic incubation, Korean J. Soil Sci. Fert. 41(1):34-37.
- Shammas, N.K. 1986. Interactions of temperature, pH, and biomass on the nitrification process. J. Water Pollut. Control Federation. 58(1):52-59.
- Verkleij, F.N. 1992. Seaweed extracts in agriculture and horticulture: a Review. Biol. Agric. Hortic. 8(4):309-324.
- Wahhab, A., M. Khan, and M. Ishaq. 2009. Nitrification of urea and its loss through volatilization of ammonia under different soil conditions. J. Agric. Sci. 55(1):47-51.
- Westerman, P.W. and J.R. Bicudo. 2005. Management considerations for organic waste use in agriculture. Bioresour. Technol. 96(2):215-221.
- Yamada, K. and H.L. Xu. 2001. Properties and applications of an organic fertilizer inoculated with effective microorganisms. J. Crop Prod. 3(1):255-268.