

## Effect of Decomposition on Nitrogen Dynamics in Soil Applied with Compost and Rye

Byong-Gu Ko, Myung-Sook Kim, Seong-Jin Park, Sun-Gang Yun, Taek-Keun Oh<sup>1</sup>, and Chang Hoon Lee\*

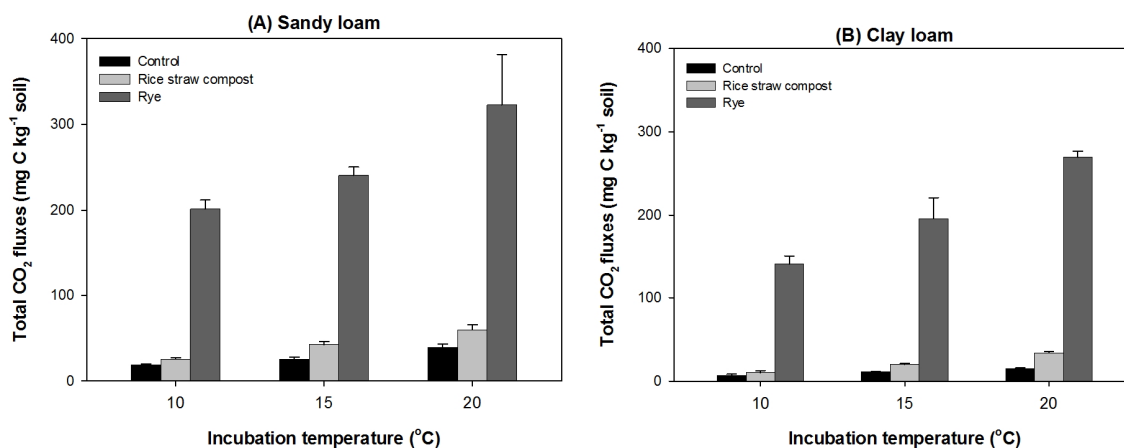
Soil and Fertilizer Division, NAS, RDA, Wanju, 55365, Korea

<sup>1</sup>Department of Bio-Environmental Chemistry, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea

(Received: August 17 2015, Revised: November 15 2015, Accepted: November 16 2015)

Soil organic matter (SOM) plays an important role in the continuous production and environmental conservation in arable soils. In particular, the decomposition of organic matter in soil might promote soil organic matter and fertility due to the mineralization of N. In this study, to evaluate the effect of organic matter amendment on the C mineralization and N dynamic, CO<sub>2</sub>-C flux, extractable N and N<sub>2</sub>O emission were determined using closed chamber for 4 weeks at 10, 15, 20°C of incubation temperature after the mixture of 2 Mg ha<sup>-1</sup> rice straw compost and rye in sandy loam and clay loam. Regardless of soil texture, decomposition rates of rice straw compost and rye at 10~20°C of incubation temperature ranged from 0.9 to 3.8% and 8.8 to 20.3%, respectively. Rye application in soil increased NH<sub>4</sub>-N and NO<sub>3</sub>-N content as well as the N<sub>2</sub>O emission compared to the rice straw compost. After incubation for 4 weeks, total C content in two soils was higher in rice straw compost than in rye application. In conclusion, application of rice straw compost and rye to soil was able to improve the soil organic matter and fertility. However, organic matter including the recalcitrant compounds like rice straw compost would be effective on the management of soil organic matter and the reduction of greenhouse gases in soil.

**Key words:** Soil organic matter, Soil respiration, Mineralization, N dynamic



Total CO<sub>2</sub> fluxes in sandy loam (A) and clay loam (B) by rice straw compost and rye application under closed chamber condition with air-temperature levels.

\*Corresponding author: Phone: +82632382453, Fax: +82632383822, E-mail: chlee915@korea.kr

§Acknowledgement: This study was supported by research project of National Academy of Agricultural Science (PJ009348042015), Rural Development Administration, Republic of Korea.

## Introduction

농경지에 유기물 사용은 생물·화학적 및 물리적 특성을 향상시키고, 토양에서 유실되는 유기물을 보충하는 역할을 한다 (Goyal et al., 1999). 그러나 농경지에 사용된 유기물은 경운과 비료사용, 그리고 작부체계 등에 의해서도 영향을 받는데 (Devevre and Horwath, 2000; Lal, 2004; Lee et al., 2013; Gal et al., 2007), 특히 농경지에 추가적인 유기물의 사용 없이 지속적인 작물재배는 토양유기물 함량을 감소시킨다 (Lee et al., 2009). 토양유기물의 감소는 입단 안정성, 수분보유력, 배수 및 통기, 그리고 양분순환 및 공급에 영향을 미침으로 (Edwards and Lofty, 1982; Li et al., 2010; Potter et al., 1998; Rudrappa et al., 2006), 결국 토양의 생산성을 감소시킬 수 있기 때문에 토양유기물 관리는 중요하다.

토양유기물은 가축분뇨, 퇴비, 그리고 작물잔존물 등으로 관리되어 왔으며, 최근에 동절기-하절기 작부체계도 이용되고 있다 (Yun et al., 2007; Kim et al., 2008; Lee et al., 2010). 특히, 동절기에 주로 재배되고 있는 호밀, 청보리, 헤어리벳치는 전량 재투입 및 잔존 그루터기로 인해 토양에 유기물의 공급 및 비료절감이 가능하다 (Azam, 1990; Jeon et al., 2011; Kim et al., 2012). 농경지에서 사용된 유기물의 분해는 C/N비 및 난분해성 함량에 영향을 받으며 (Couteaux et al., 1995; Seneviratne, 2000; Lashermes et al., 2010; Zhang et al., 2011), 작물이 흡수한 질소의 19~50%를 공급이 가능하다 (Ashraf et al., 2004). 그러나 유기물 분해과정 중 토양 pH와 수분, 온도의 변화는 작물에 질소공급 이외에도 암모니아 휘산, 용탈, 탈질과 같이 토양 질소의 유실을 초래할 수 있다 (Asagi and Ueno, 2009; Fenn and Hossner, 1985; Sommer and Ersboll, 1996; Vlek and Craswell, 1979). 그러므로 농경지에 유기물을 사용함에 있어 토양 중 질소의 동태를 고려할 필요가 있다.

지금까지 농경지에 C/N비 차이에 따른 유기물 사용이 작물생산성 및 질소유효도 변화에 미치는 영향에 대한 연구가 주로 수행되어 왔다 (Sainju et al., 1999; Wagger, 1989). 예를 들어, C/N비가 8:1~15:1 범위의 유기물은 토양 중 질소함량과 작물의 수량을 증대시키며 (Sainju et al., 1999), 30~60 범위의 C/N비를 가진 유기물은 질소부동화 및 토양유기물 함량을 증진시키는 것으로 보고되고 있다 (Wagger, 1989). 그러나 토양 중 유기물 분해는 유기물의 함유된 난분해성 함량에 의해 달라질 수 있으며, 이러한 결과로 토양질소의 무기화 및 탈질 등이 영향을 받을 수 있다. 그럼에도 불구하고 이에 대한 평가를 시도한 연구는 미미한 실정이다. 본 연구는 분해안정성이 상이한 벧짚퇴비와 호밀을 이용하여 온도에 따른 유기물 분해율과 질소동태, 그리고 토양유기물 공급 효과를 향온정지장치를 이용하여 평가

하였다. 이를 통해 농경지의 토양유기물과 질소유효도를 관리하기 위한 합리적인 유기물 사용 방안을 제시하고자 하였다.

## Materials and Methods

**Closed chamber 조건** 향온조건에서 유기물의 탄소와 질소의 변동을 평가하고자 사양토 (SiL)와 식양토 (CL)를 이용하였다. 사양토와 식양토는 하천주변과 산림에서 표토 5 cm를 제거하고 20 cm 깊이의 토양을 채취하였다. 토양시료를 풍건 및 파쇄한 후에, 2 mm 체를 이용하여 향온시험을 위한 토양시료로 조제하였다. 시험전 토양의 화학적 특성은 Table 1과 같다. 전탄소 (TC)와 전질소 (TN) 함량은 사양토가 식양토에 비해 약 두 배 높았고, 가용성 질소 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ 과  $\text{NO}_3\text{-N}$ ) 함량은 토성 간에 큰 차이가 없었다. 향온정지 시험에서 난분해성 탄소함량 차이를 보기 위해서 벧짚퇴비와 호밀을 조제된 토양시료 250 g에 1 g을 혼합한 다음에 closed chamber ( $\varnothing$  9.0 cm, H: 12.5 cm)에 토양을 3.2 cm 높이로 충전하여 중량수분 30%로 동일하게 조절하였다. 이때, 벧짚퇴비는 2014년 수확한 벧짚을 이용하여 약 6개월 동안 퇴비화를 시킨 퇴비를 사용하였고, 호밀은 2015년 5월에 수확한 시료를 이용하였다. 벧짚퇴비와 호밀을 건조 및 파쇄하여 1 mm 체를 통과한 시료를 시험에 이용하였다. Table 2와 같이, 호밀은 TC와 TN 함량이 각각 398과 21.6  $\text{g kg}^{-1}$ 으로 벧짚퇴비에 비해 약 42와 54% 높았고, C/N비는 두 유기물간에 큰 차이가 없었다. Closed chamber는 10, 15, 20°C 향온조건으로 난괴법 3반복으로 배치하여 4주간 향온시험을 수행하였다.

**Table 1. Chemical properties of soils used for incubation test under closed chamber condition.**

Contents	Sandy loam	Clay loam
pH (1:5 with $\text{H}_2\text{O}$ )	5.88 ± 0.02	4.92 ± 0.02
EC ( $\text{dS m}^{-1}$ )	0.14 ± 0.001	0.10 ± 0.001
TC ( $\text{g kg}^{-1}$ )	4.78 ± 0.43	2.91 ± 0.12
TN ( $\text{g kg}^{-1}$ )	0.58 ± 0.04	0.36 ± 0.11
C/N ratio	8.35 ± 0.95	9.18 ± 3.64
Av. $\text{P}_2\text{O}_5$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	95.5 ± 1.21	1.1 ± 0.22
Exchangeable cation ( $\text{cmol kg}^{-1}$ )		
K	0.14 ± 0.01	0.17 ± 0.09
Ca	2.86 ± 0.19	0.08 ± 0.01
Mg	0.51 ± 0.03	0.42 ± 0.01
Na	0.18 ± 0.01	0.07 ± 0.01
Extractable N ( $\text{mg kg}^{-1}$ )		
$\text{NH}_4\text{-N}$	3.08 ± 0.05	3.45 ± 0.29
$\text{NO}_3\text{-N}$	2.37 ± 0.36	4.29 ± 0.36

**Table 2. Total nutrients in rice straw compost and rye used for incubation test under closed chamber condition.**

Contents	Rice straw compost	Rye
C	280.4 ± 2.59	398.8 ± 0.34
N	14.0 ± 0.05	21.6 ± 0.34
P	2.22 ± 0.01	3.51 ± 0.16
K	22.3 ± 0.33	32.2 ± 0.35
Ca	11.0 ± 0.29	3.79 ± 0.03
Mg	4.48 ± 0.21	1.54 ± 0.03
Na	2.83 ± 0.06	0.99 ± 0.02
C/N ratio	20.0 ± 0.23	21.6 ± 0.29

Note) Unit: g kg<sup>-1</sup>

**이산화탄소 (CO<sub>2</sub>)와 아산화질소 (N<sub>2</sub>O) flux** 향온조건에 closed chamber내 발생하는 CO<sub>2</sub>와 N<sub>2</sub>O 농도를 조사하였다. 향온기간 중 1일, 3일, 7일, 14일, 21일, 28일에 주사기로 60 mL의 가스시료를 채취하였으며, 이후 진공펌프를 이용하여 새로운 대기공기를 투입함으로써 closed chamber 내부에 잔존하는 CO<sub>2</sub>와 N<sub>2</sub>O를 제거하였다. 그리고 대기로부터 공급되는 CO<sub>2</sub>와 N<sub>2</sub>O 농도 산정을 위해 2 mm 유리구슬을 넣은 Blank를 두었다. 시료의 CO<sub>2</sub>와 N<sub>2</sub>O 농도는 가스크로마토그래피 (Aligent, 7890A)로 분석하였다. 이때 컬럼은 Porapack Q와 Porapack N 컬럼 (80/100 mesh, 0.3 cm, 2 m)이었고, CO<sub>2</sub>와 N<sub>2</sub>O 측정은 불꽃 이온화 검출기 (flame ionization detector, FID)와 전자포획형 검출기 (Electron Capture Detector, ECD)로 하였고, 검출온도는 250°C와 350°C이었다. 향온조건에 따른 CO<sub>2</sub>와 N<sub>2</sub>O flux의 계산은 아래의 (Eq. 1)을 이용하였다 (Curiel yuste et al., 2007).

$$F = \frac{PV}{RT} \times \frac{\Delta C}{\Delta t} \times \frac{AW}{soil} \times 10^{-3} \quad (\text{Eq. 1})$$

여기서, F=CO<sub>2</sub>와 N<sub>2</sub>O flux (μg g<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>), P: 1기압 (atm), V: chamber 부피 (795 mL), R: 82.05 (mL atm/mol K), T: 273+향온 온도 (°C), ΔC/Δt: 단위시간당 CO<sub>2</sub>와 N<sub>2</sub>O 농도(ppm), AW: C와 N의 원자량, Soil: 토양시료 (g)을 의미한다. CO<sub>2</sub>와 N<sub>2</sub>O flux는 Σ(R×D)을 이용하여 (Singh et al., 1999) 4주 동안 향온조건에서 발생된 총 CO<sub>2</sub>와 N<sub>2</sub>O flux를 계산하였다. 이때 R은 CO<sub>2</sub>와 N<sub>2</sub>O 함량 (μg g<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>)이며, D는 시료채취 공백 기간을 나타낸다.

**토양분석** 향온조건에 따른 토양 중 가용성 질소함량의 변화를 조사하기 위해 100 mL 시료용기에 토양 80 g을 넣은 후 closed chamber와 동일한 비율로 유기물을 처리하고, 토양수분은 증량수분 30%로 조절하여 배양하였다. 1, 2, 3, 4 주차에 토양시료를 채취하였고, 이때 습토 10 g을 2M KCl

로 침출한 다음, 질소자동분석기 (Auto analyzer 3, BRAN+LUBBE)로 NH<sub>4</sub>-N과 NO<sub>3</sub>-N 함량을 측정하였다. 4주차 토양시료를 건조하여 막자사발로 시료를 곱게 조제하여 원소 분석기를 이용하여 TC와 TN을 측정하였다. 토양 pH는 토양과 증류수를 1:5비로 30분간 진탕하여 pH 측정기로 값을 측정하였다.

**통계분석** SAS 9.2를 이용하여 분산분석을 실시하였고, 처리평균간 비교는 최소유의차 검정으로 실시하였다.

## Results and Discussion

**토양유기물의 분해특성** 토양에 유기물 사용에 따른 토양유기물의 분해양상을 조사한 결과는 Fig. 1과 같다. 유기물을 사용한 사양토와 식양토에서 향온 온도는 유기물 분해를 증가시켰고, 특히 향온 10°C 조건에서 온도가 증가함에 따라 유기물 분해속도도 높아졌다. Fig. 1에서 호밀 사용은 향온온도가 10, 15, 20°C일 때, 각각 7일 3일, 1일에 최고 CO<sub>2</sub>-C 농도를 나타내었고, 이후에 CO<sub>2</sub>-C 농도가 감소되는 경향을 보였다. 사양토와 식양토에서 향온온도에 따른 CO<sub>2</sub>-C 농도의 차이는 있었지만, 최고 CO<sub>2</sub>-C 농도가 나타내는 시점은 비슷하였다. 토양의 CO<sub>2</sub>-C의 발생량은 투입되는 유기물의 양과 C/N비와 같은 화학적 조성에 따라 달라진다. 토양에 사용된 벧짚퇴비와 호밀의 C/N비는 처리 간 차이가 거의 없으나 (Table 2), 난분해성 탄소로 안정화된 벧짚퇴비에 비해 호밀은 상대적으로 분해가 쉬운 이분해성 탄소가 약 30~35% 포함되어 있기 때문에 향온정지 기간 동안 호밀의 분해율이 CO<sub>2</sub>-C의 발생량에 영향을 미칠 것으로 사료된다.

향온 온도조건에 따른 사양토와 식양토의 총 CO<sub>2</sub>-C 발생량은 Fig. 2와 같다. 총 CO<sub>2</sub>-C 발생량은 사양토, 식양토 모두 향온조건에서 온도가 증가함에 따라 많아지는 것으로 나타났다. 사양토의 벧짚퇴비 시용구에서 향온 10, 15, 20°C 조건에 따른 총 CO<sub>2</sub>-C 발생량은 각각 25.6, 42.8, 59.5 mg kg<sup>-1</sup>이었고, 호밀시용구는 201.5, 240.8, 322.7 mg kg<sup>-1</sup>으로 호밀시용구가 벧짚퇴비 시용구에 비해 약 6~8배 높았다. Fig. 2와 같이 식양토의 총 CO<sub>2</sub>-C 발생량은 사양토와 유사한 경향을 나타내었다. 벧짚퇴비 시용구는 각각 10.4, 20.3, 34.1 mg kg<sup>-1</sup>, 호밀시용구는 140.2, 195.8, 269.3 mg kg<sup>-1</sup>으로 약 9~14배의 총 CO<sub>2</sub>-C 발생량의 차이가 있었다. 4주 동안 향온조건에 따른 사양토와 식양토에서 벧짚퇴비의 분해율은 2.3~5.3%와 0.9~3.0%이었고, 호밀의 분해율은 12.7~20.3%, 8.8~16.9%으로 토양에 투입되는 유기물에 따라 차이를 나타내었다. Fig. 2에서 보면 사양토와 식양토의 유기물의 분해율 차이가 있는 것으로 나타났다. 토성에 따른 수분함량이 차이는 토양유기물의 분해에 영향을

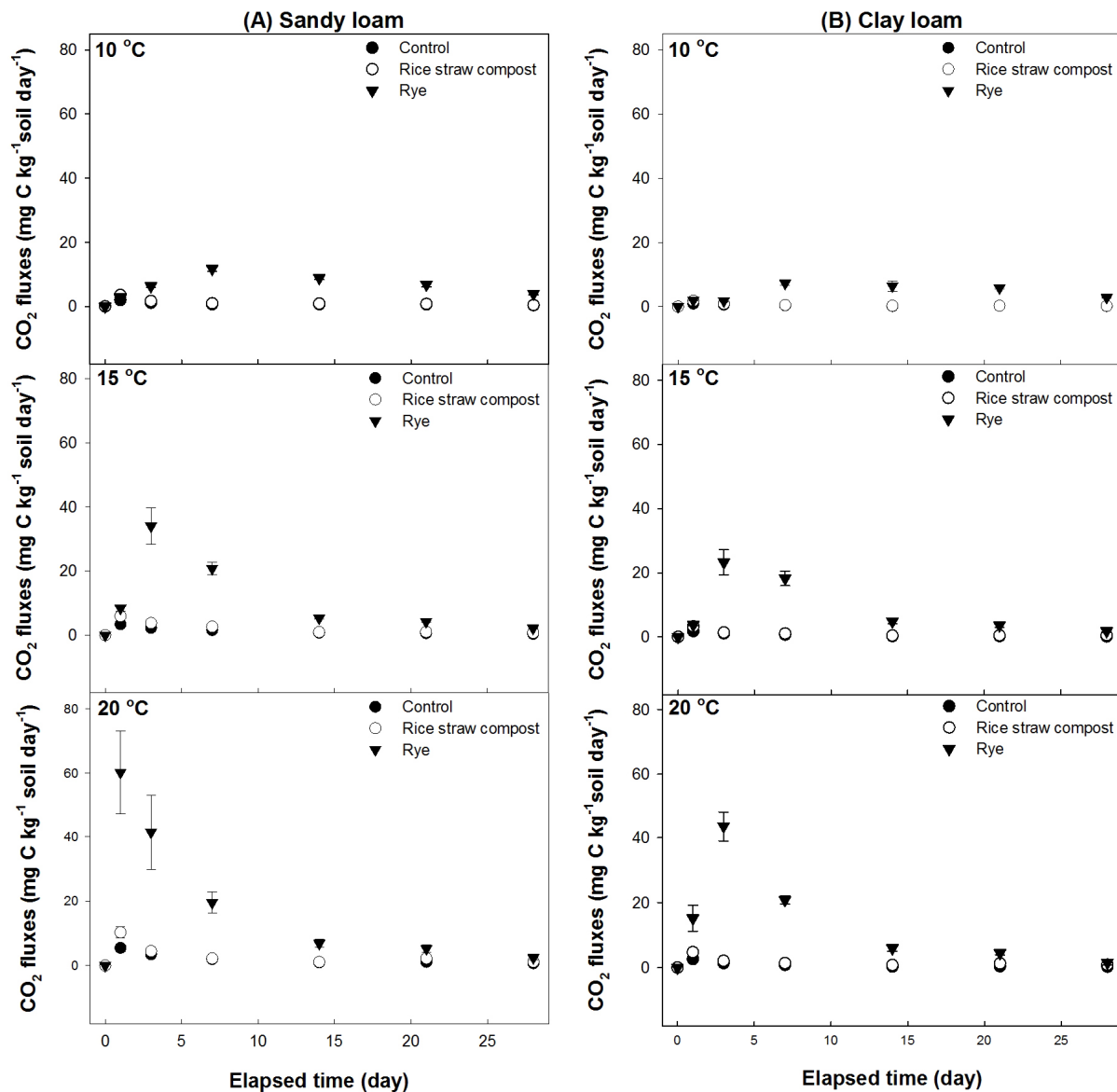


Fig. 1. Changes of CO<sub>2</sub> emission in sandy loam (A) and clay loam (B) by rice straw compost and rye application under closed chamber condition with air-temperature levels.

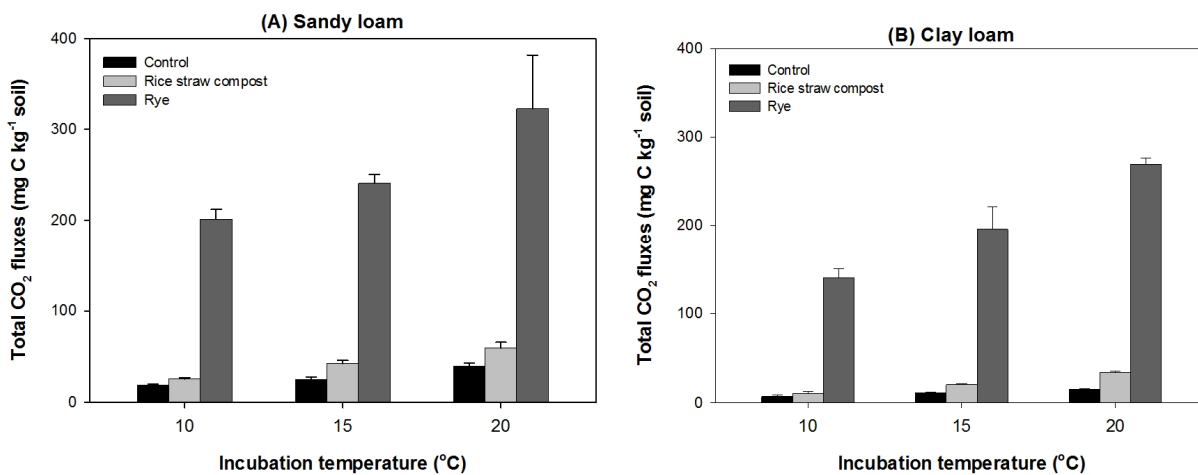


Fig. 2. Total CO<sub>2</sub> fluxes in sandy loam (A) and clay loam (B) by rice straw compost and rye application under closed chamber condition with air-temperature levels.

미칠 수 있다 (Ingram et al., 2008; Li et al., 2008). 항온 조건에서 사양토와 식양토에 중량수분함량을 30%로 동일하게 하였으나, 상대적으로 식양토가 사양토에 비해 수분 보유력이 높기 때문에 유기물의 분해율은 달라질 수 있다 (Buchmann, 2000; Stoyan et al., 2000). 또한 유기물 분해는 미생물의 활성에 의해 영향을 받을 수 있는데, Table 1에서 보듯이 식양토는 토양 pH가 4.92로 인 고정력이 높은 산립토양이기 때문에 유효인산  $1.1 \text{ mg kg}^{-1}$ 이었고, 사양토에 ( $\text{Av.P}_2\text{O}_5$   $96 \text{ mg kg}^{-1}$ ) 비해 미생물 활성이 상대적으로 제한될 수 있다. 이상의 결과에서 토양에 사용된 유기물 분해는 투입되는 유기물의 화학적 조성에 좌우되며, 토양의 토성과 비옥도에서도 유기물의 분해율은 영향을 받을 수 있었다.

**토양 중 질소변동 특성** 토양에 사용된 유기물 분해는 암모니아화, 질산화 및 탈질작용으로 토양질소의 변동으로

토양의 질소 유효도에 영향을 미친다 (Khalil et al., 2005). 사양토와 식양토에서 토양의  $\text{NH}_4\text{-N}$ 와  $\text{NO}_3\text{-N}$  함량, 그리고  $\text{N}_2\text{O}$  발생량을 조사한 결과, 항온기간이 길어짐에 따라  $\text{NH}_4\text{-N}$  함량은 높아지는 경향을 나타내었다 (Fig. 3).  $10^\circ\text{C}$  항온 조건에서 사양토는 볏짚퇴비시용구가 1주차에  $\text{NH}_4\text{-N}$  함량이  $3.5 \text{ mg kg}^{-1}$ 에서 4주차에  $9.3 \text{ mg kg}^{-1}$ , 호밀시용구는  $6.6 \text{ mg kg}^{-1}$ 에서  $15.8 \text{ mg kg}^{-1}$ 이었다. 항온 온도가 15와  $20^\circ\text{C}$  항온조건에서 사양토는 볏짚퇴비시용구가 1주차에 10.5와  $13.0 \text{ mg kg}^{-1}$ 에서 4주차에 4.0과  $4.1 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 감소되었다. 이에 반해 식양토의  $\text{NH}_4\text{-N}$  함량의 변화는 사양토와는 차이가 있었다. 예를 들어,  $20^\circ\text{C}$  항온조건에서 호밀시용구의  $\text{NH}_4\text{-N}$  함량은 1 주차에  $5.6 \text{ mg kg}^{-1}$ 에서 4주차에  $27.1 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 항온기간이 길어짐에 따라 지속적으로 증가하였다.

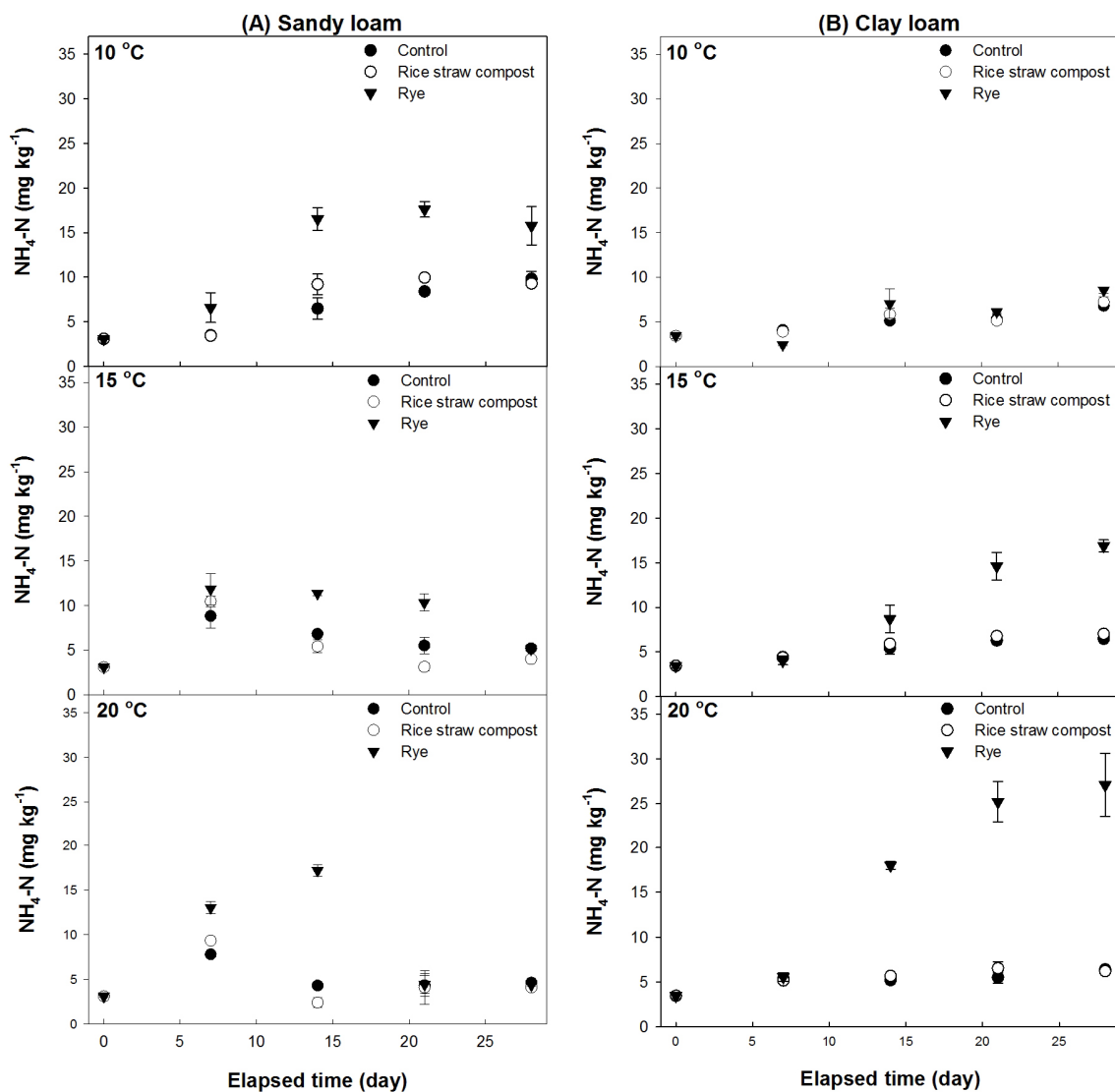
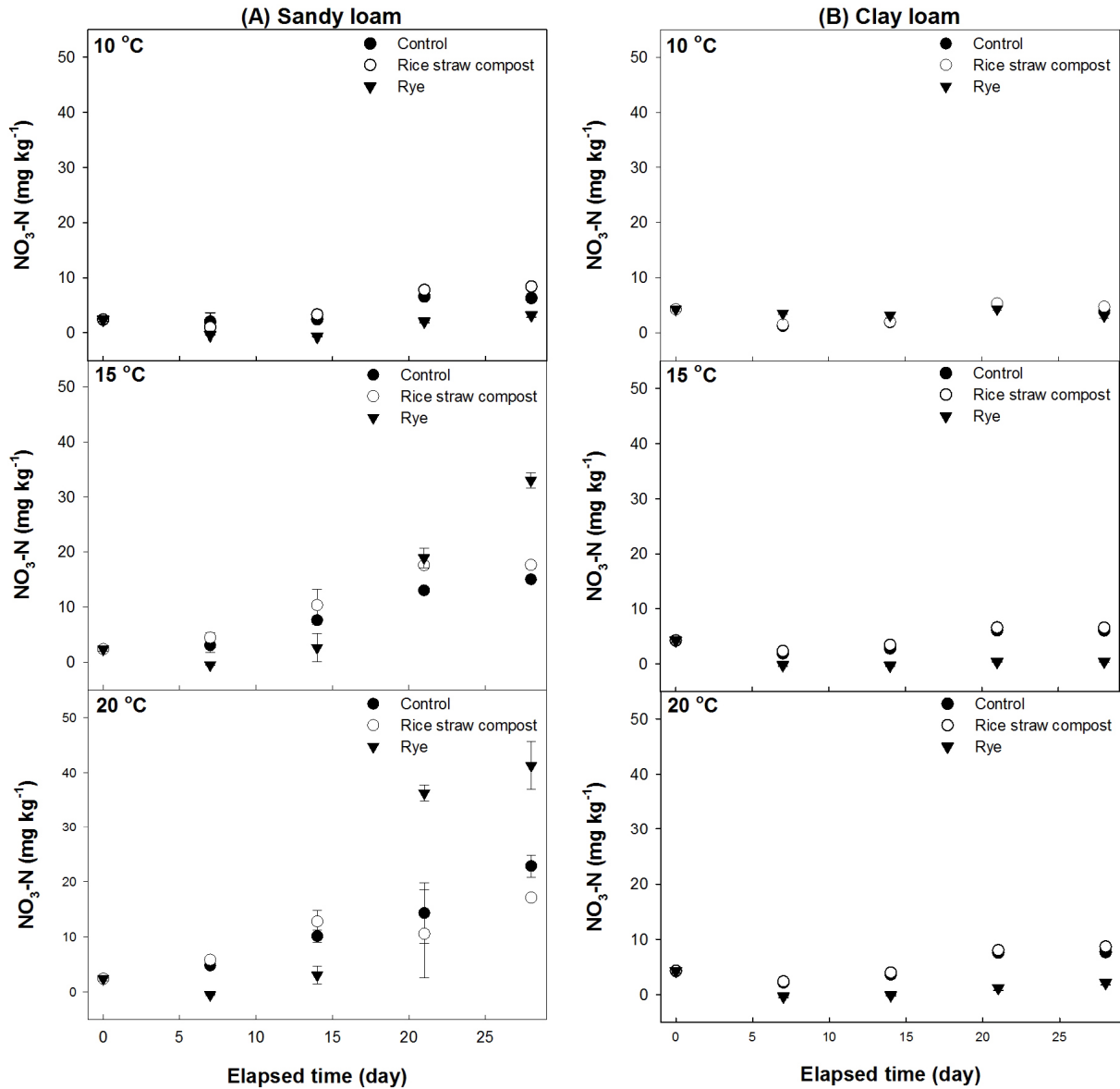


Fig. 3. Changes of  $\text{NH}_4\text{-N}$  concentration in sandy loam (A) and clay loam (B) by rice straw compost and rye application under closed chamber condition with air-temperature levels.



**Fig. 4.** Changes of  $\text{NO}_3\text{-N}$  concentration in sandy loam (A) and clay loam (B) by rice straw compost and rye application under closed chamber condition with air-temperature levels.

호기적인 조건에서는 토양  $\text{NH}_4\text{-N}$ 는 질산화 과정을 통해  $\text{NO}_3\text{-N}$ 로 전환된다. Fig. 4에 항온 온도조건에 따른 사양토와 식양토에서  $\text{NO}_3\text{-N}$  함량의 변화를 나타내었다. 사양토에서 항온조건 1주차까지는 초기  $\text{NO}_3\text{-N}$  함량  $2.37 \text{ mg kg}^{-1}$ 에 비해 낮았고, 이후 항온온도가 증가함에 따라 벚짚퇴비와 호밀시용구의  $\text{NO}_3\text{-N}$  함량은 급격히 증가되었다. 예를 들어, 15와  $20^\circ\text{C}$  온도조건에서 벚짚퇴비시용구는 1주차에 4.48와  $5.83 \text{ mg kg}^{-1}$ 에서, 4주차에 17.6과  $17.1 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로, 호밀시용은 0.41과  $0.51 \text{ mg kg}^{-1}$ 에서 33.0과  $41.3 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 급격하게 증가되었다. 식양토는 사양토와 유사한 경향을 보였고, 항온온도와 관계없이 항온 1주차까지 토양  $\text{NO}_3\text{-N}$  함량은 초기  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의  $3.45 \text{ mg kg}^{-1}$ 에 비해 낮았다. 항온 1주 이후부터 토양  $\text{NO}_3\text{-N}$  함량은 서서히 증가되었고,

식양토의 최종  $\text{NO}_3\text{-N}$  함량은 사양토에 비해 낮았다. Fig. 4에서 사양토와 식양토에서 항온 1주차까지  $\text{NO}_3\text{-N}$  함량의 감소되었다. Fig. 5에서 보듯이, 유기물 분해가 가장 활발한 항온 3-5일차에  $\text{N}_2\text{O}$  발생량이 가장 높았고, 이후로  $\text{N}_2\text{O}$ 의 발생량은 유기물 처리구간 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다. 항온온도의 증가에 의한 미생물 개체수의 증가는 유기물 분해과정 중 급격한 산소 소비와 더불어 토양환원 상태를 초래할 수 있다 (Shi and Norton, 2000). Fig. 5에서 항온초기의  $\text{N}_2\text{O}$  발생량의 증가는 유기물 처리 간에 분해속도와 미생물의 개체수가  $\text{N}_2\text{O}$  발생량에 영향을 미친 것으로 판단된다.

항온정지 기간 동안에 총  $\text{N}_2\text{O}$  발생량은 Fig. 6과 같다. 사양토에서 10, 15,  $20^\circ\text{C}$  항온조건에 따라 벚짚퇴비시용구의  $\text{N}_2\text{O}$  발생량은 각각 9.9, 11.3,  $13.0 \mu\text{g kg}^{-1}$ 이었고, 호밀

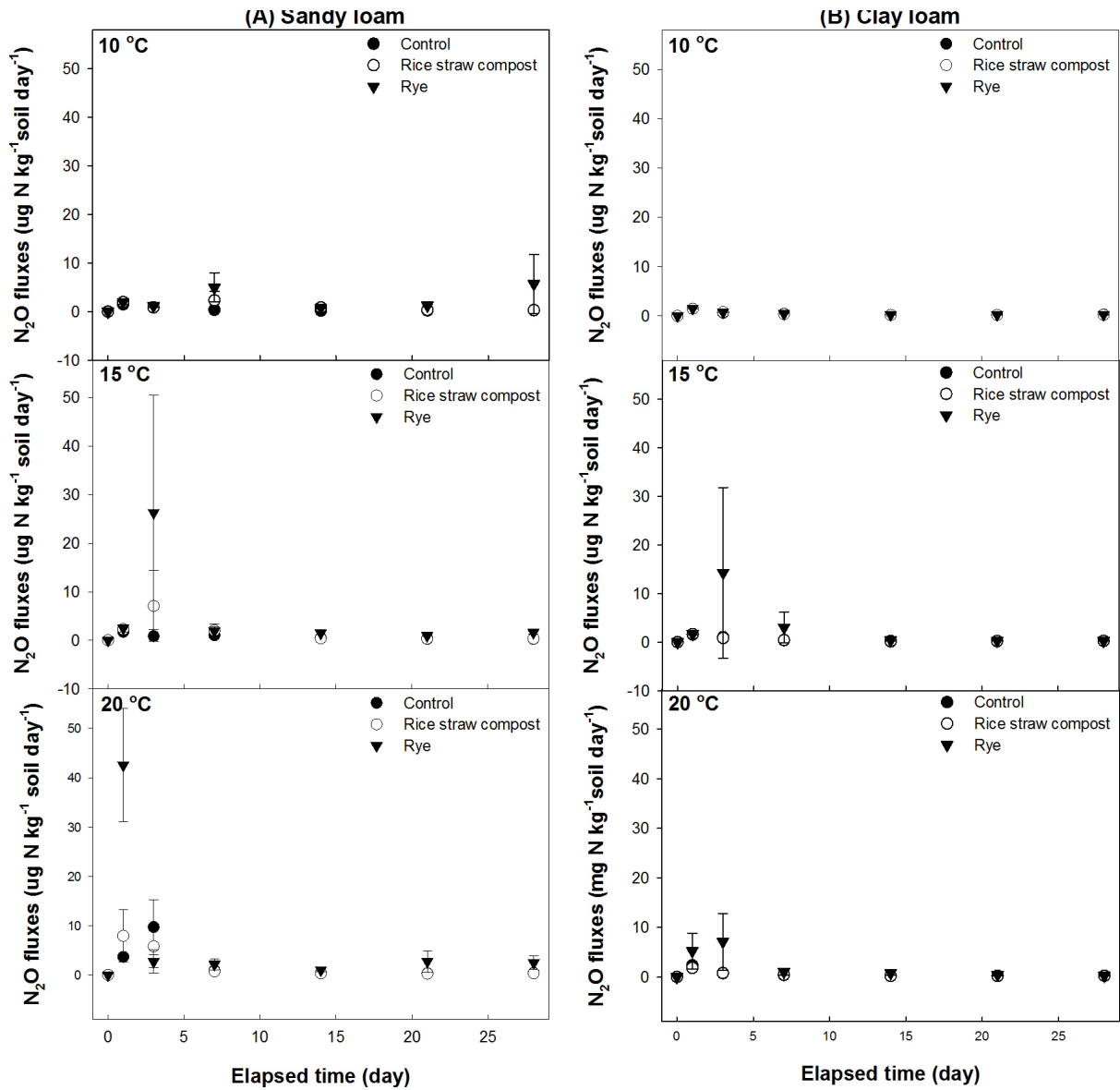


Fig. 5. Changes of N<sub>2</sub>O emission in sandy loam (A) and clay loam (B) by rice straw compost and rye application under closed chamber condition with air-temperature levels.

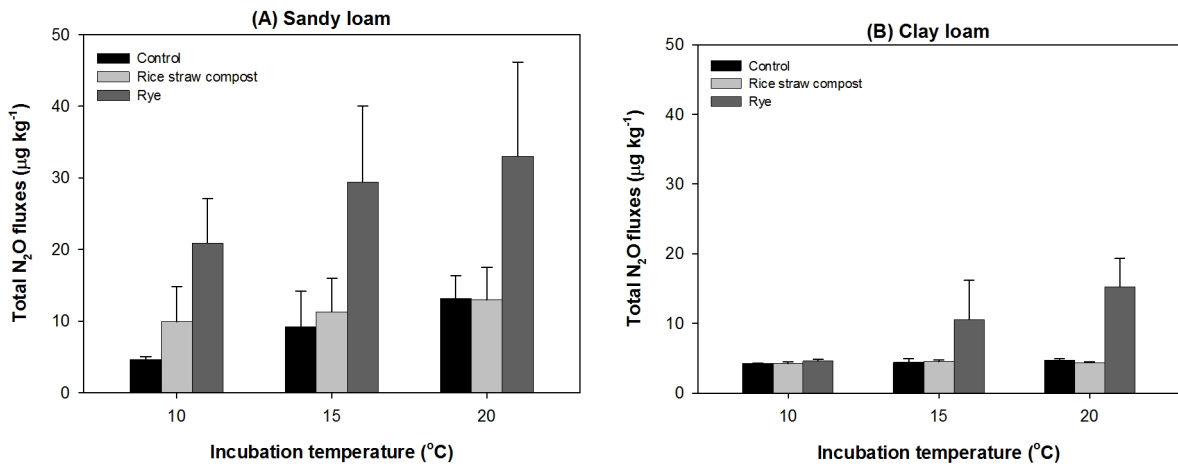


Fig. 6. Total N<sub>2</sub>O fluxes in sandy loam (A) and clay loam (B) by rice straw compost and rye application under closed chamber condition with air-temperature levels.

**Table 3.** Soil pH, TC, TN, and C/N ratio in sandy loam and clay loam by rice straw compost (RSC) and rye application under closed chamber condition with air-temperature levels.

Temp. (°C)	Treatments	Sandy loam				Clay loam			
		pH (1:5)	TC (g kg <sup>-1</sup> )	TN (g kg <sup>-1</sup> )	C/N ratio	pH (1:5)	TC (g kg <sup>-1</sup> )	TN (g kg <sup>-1</sup> )	C/N ratio
10	Control	5.68	4.61	0.38	12.0	4.81	2.69	0.25	10.9
	RSC	5.75	5.64	0.45	12.5	4.86	3.63	0.37	9.7
	Rye	5.90	5.32	0.54	9.9	4.93	3.64	0.31	11.6
	LSD <sub>0.05</sub>	0.08	0.26	0.06	1.08	0.02	0.20	0.04	1.42
15	Control	5.46	4.46	0.43	10.3	4.72	2.80	0.25	10.9
	RSC	5.54	5.57	0.54	10.3	4.79	3.71	0.38	10.0
	Rye	5.29	5.30	0.52	10.3	5.02	3.75	0.47	8.0
	LSD <sub>0.05</sub>	0.04	0.23	0.05	ns	0.05	0.35	0.10	2.22
20	Control	5.36	4.54	0.47	9.7	4.67	2.68	0.29	9.4
	RSC	5.52	5.68	0.55	10.4	4.73	3.79	0.38	9.9
	Rye	5.21	5.18	0.55	9.4	4.96	3.55	0.43	8.3
	LSD <sub>0.05</sub>	0.07	0.27	0.03	0.41	0.06	0.34	0.04	0.68
Temperature (A)		***	ns	***	***	***	ns	**	**
Treatments (B)		***	***	***	***	***	***	***	*
A×B		***	ns	*	***	***	ns	**	**

Note) \*, \*\*, and \*\*\* denotes significance at 5, 1 and 0.1% levels, respectively.

시용구는 20.8, 29.4, 33.0  $\mu\text{g kg}^{-1}$ 으로 향온온도가 증가함에 따라 높아졌다. 식양토는 벚짚퇴비시용구에서 4.21, 4.47, 4.36  $\mu\text{g kg}^{-1}$ , 호밀시용구에서 4.60, 10.5, 15.2  $\mu\text{g kg}^{-1}$ 의  $\text{N}_2\text{O}$ 가 발생되었다. 벚짚퇴비에 비해 유기물 분해가 높은 호밀이 토양에서  $\text{NH}_4\text{-N}$ 과  $\text{NO}_3\text{-N}$  함량, 그리고  $\text{N}_2\text{O}$  발생량을 높였다. 이와 같이 농경지에 유기물을 사용할 때는 질소 무기화 및 탈질 등을 고려할 필요가 있을 것으로 판단된다.

**토양탄소와 질소함량** 4주간 향온시험 후 토양의 화학적 특성을 조사하였다 (Table 3). 시험 전 사양토의 pH 5.9로 식양토 4.9에 비해 높았고, 이러한 토성 간에 pH 차이는 유기물 사용에 따른 세균과 곰팡이의 활성에 영향을 미친다 (Andersson and Nilsson, 2001). Table 3에서 보듯이, 4주간의 향온시험으로 토양 pH는 온도와 유기물 종류에 의해 차이를 보였으나, 4주간 향온시험 후에 사양토 pH는 식양토에 비해 높았다. 이러한 토성 간에 토양 pH 차이는  $\text{CO}_2\text{-C}$  발생량 및 가용성 질소함량에 영향을 미친 것으로 사료된다.

4주 향온시험 후, 토양의 전탄소 (TC) 함량은 유기물의 종류에 따라 차이를 나타내었다 ( $p > 0.001$ ). 사양토와 식양토에서 무비구의 TC 함량은 각각 평균 4.54과 2.72  $\text{g kg}^{-1}$ 으로 향온온도가 증가하더라도 4주후의 TC 함량은 변화가 거의 없었다. 이에 비해 사양토와 식양토의 벚짚퇴비시용구의 평균 TC 함량은 각각 5.63과 3.71  $\text{g kg}^{-1}$ 으로 무비구에

비해 약 24.0와 36.4%의 TC 함량이 증가되었다. 호밀시용구는 토성에 따라 TC 함량이 차이를 보였다. 사양토에서 호밀시용구의 TC함량은 10, 15, 20°C 향온조건에서 각각 5.32, 5.30, 5.18  $\text{g kg}^{-1}$ 으로, 식양토는 3.64, 3.75, 3.55  $\text{g kg}^{-1}$ 으로 줄어드는 경향을 나타내었다. 4주 향온 후 토양의 전질소 (TN)함량은 향온온도와 유기물 종류에 영향을 받았다 ( $p > 0.001$ ). 향온온도가 증가함에 따라 벚짚퇴비시용구의 TN 함량은 사양토가 0.45  $\text{g kg}^{-1}$ 에서 0.55  $\text{g kg}^{-1}$ , 식양토가 0.37  $\text{g kg}^{-1}$ 에서 0.38  $\text{g kg}^{-1}$ 으로 증가하였다. 그리고 향온온도가 증가에 따른 호밀시용구에서 사양토의 TN 함량은 0.54  $\text{g kg}^{-1}$ 에서 0.55  $\text{g kg}^{-1}$ 으로 뚜렷한 차이가 없었지만, 식양토의 TN 함량은 0.31  $\text{g kg}^{-1}$ 에서 0.43  $\text{g kg}^{-1}$ 으로 증가되었다. 이상의 결과에서 유기물 사용에 따른 농경지의 탄소와 질소함량은 유기물의 분해율에 의존된다고 볼 수 있다. 따라서 농경지의 합리적인 토양관리를 위해서는 유기물의 분해특성을 고려한 유기물 사용 방안 마련이 필요할 것으로 판단된다.

## Conclusion

향온정지 시험을 통해 토양에서 벚짚퇴비와 호밀의 분해 및 질소 동태를 평가하였다. 향온 10~20°C 조건에서 4주 동안 벚짚퇴비와 호밀의 분해율은 각각 0.9~3.8%과 8.8~20.3%이었다. 유기물 분해가 높은 호밀은  $\text{NH}_4\text{-N}$  및  $\text{NO}_3\text{-N}$



공급측면에서 우수하였으나, N<sub>2</sub>O 발생량을 높였다. 그러나 벗짚퇴비는 호밀에 비해 토양유기물 함량을 증가시켰다. 이상의 결과에서 농경지의 토양생산성 측면은 이분해성 유기물이, 지구온난화를 고려한다면 난분해성 유기물이 토양유기물 관리에 적합할 것으로 평가되었다.

## References

- Anderson, S., and S. I. Nilsson. 2001. Influence of pH and temperature on microbial activity, substrate availability of soil-solution bacteria and leaching of dissolved organic carbon in a mor humus. *Soil Biol. Biochem.* 33(9):1181-1191.
- Asagi, N., and H. Ueno. 2009. Nitrogen dynamics in paddy soil applied with various <sup>15</sup>N-labelled green manures. *Plant Soil.* 322:251-262.
- Ashraf, M., T. Mahmood, F. Azam, and R.M. Qureshi. 2004. Comparative effects of applying leguminous and non-leguminous green manures and inorganic N on biomass yield and nitrogen uptake in flooded rice (*Oryza sativa* L.). *Biol. Fertil. Soils.* 40:147-152.
- Azam, F. 1990. Comparative effects of organic and inorganic nitrogen sources applied to a flooded soil on rice yield and availability of N. *Plant Soil.* 125:255-262.
- Buchmann, N. 2000. Biotic and abiotic factors controlling soil respiration in *Picea abies* stands. *Soil Biol. Biochem.* 32:1625-1635.
- Couteaux, M.M., P. Bottner, and B. Berg. 1995. Litter decomposition, climate and litter quality. *Trends Ecol. Evol.* 10:63-66.
- Curiel Yuste, J., D.D. Naldocchi, A. Gershenson, A. Goldstein, L. Misson, and S. Wong. 2007. Microbial soil respiration and its dependency on carbon inputs, soil temperature and moisture. *Global Change Biol.* 13:1-18.
- Devevre, O.C., and W.R. Horwath. 2000. Carbon sequestration into soil organic matter under organic-based management. In: Proc. 10th International Meeting of the International Humic Substances Society, Toulouse, France, p.707-711.
- Edwards, C.A., and J.R. Lofty. 1982. Nitrogenous fertilizer and earthworms populations in agricultural soils. *Soil Biol. Biochem.* 147:515-521.
- Fenn, L.B., and L.R. Hossner. 1985. Ammonia volatilization from ammonium forming nitrogen fertilizer. *Adv. Soil Sci.* 1:123-169.
- Gal, A., J.V. Tony., M. Erika., J.K. Eileen., and W.M. William. 2007. Soil carbon and nitrogen accumulation with long-term no-till versus moldboard plowing overestimated with till-zone sampling depth. *Soil Till. Res.* 96:42-51.
- Goyal, S., K. Chander, M.C. Mundra, and K.K. Kapoor. 1999. Influence of inorganic fertilizers and organic amendments on soil organic matter and soil microbial properties under tropical conditions. *Biol. Fertil. Soils.* 29:196-200.
- Ingram, L.J., P.D. Stahl, G.E. Schuman, J.S. Buyer, G.F. Vance, G.K. Ganjegunt, J.M. Welker, and J.D. Deener. 2008. Grazing and drought affects on carbon, nitrogen and microbial communities in a mixed grass prairie. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72:939-948.
- Jeon, W.T., K.Y. Seong, M.T. Kim, I.S. Oh, B.S. Choi, and U.G. Kang. 2011. Effect of biomass and N production by cultivation methods of leguminous and gramineae green manures on rice growth in central regions of Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(5):853-858.
- Kim, G.Y., S.U. Suh, B.G. Ko, H.C. Jeong, K.A. Roh, and K.M. Shim. 2008. Evaluation of CO<sub>2</sub> balance in the barley-red pepper and barley-soybean cropping system. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 41(6):408-415.
- Kim, K.M., B.J. Lee, and Y.S. Cho. 2012. Differences of soil carbon by green manure crops in rotated cropping system. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(6):1027-1031.
- Khalil, M.I., M.B. Hossain, and U. Schmidhalter. 2005. Carbon and nitrogen mineralization in different uplands soils of the subtropics treated with organic materials. *Soil Biol. Biochem.* 37:1507-1518.
- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science.* 11(304):1623-1627.
- Lashermes, G., B. Nicolardot, V. Parnaudeau, L. Thuries, R. Chaussod, M.L. Guillotin, M. Lineres, B. Mary, L. Metzger, T. Morvan, A. Tricaud, C. Villette, and S. Houot. 2010. Typology of exogenous organic matters based on chemical and biochemical composition to predict potential nitrogen mineralization. *Bioresour. Technol.* 101:157-164.
- Lee, C. H., K. Y. Jung, S. S. Kang, M. S. Kim, Y. H. Kim, and P. J. Kim. 2013. Effect of long term fertilization on soil carbon and nitrogen pools in paddy soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 46(3):216-222.
- Lee, S. B., C.H. Lee, K. Y. Jung, K. D. Park, D. K. Lee, and P. J. Kim. 2009. Changes of soil organic carbon and its fractions in relation to soil physical properties in a long-term fertilized paddy. *Soil Till. Res.* 104:227-232.
- Lee, S.T., D.C. Seo, J.S. Cho, R. D. Ahlgren, and Y.H. Lee. 2010. Effect of annual and basal dressing with liquid pig manure on growth and quality of rice in double cropping system of rice-malting barley. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(5):502-508.
- Li, H.J., J.X. Yan, X.E. Yue, and M.B. Wang. 2008. Significance of soil temperature and moisture for soil respiration in a Chinese mountain area. *Agric. For. Meteorol.* 148:490-503.
- Li, Z.P., M. Liu, X.C. Wu, F.X. Han, and T.L. Zhang. 2010. Effects of long-term chemical fertilization and organic amendments on dynamics of soil organic C and total N in paddy soil derived from barren land in subtropical China.

- Soil Till. Res. 106:268-274.
- Potter, K.N., H.A. Torbert, O.R. Jones, J.E. Matocha, J.E. Morrison Jr, and P.W. Unger. 1998. Distribution and amount of soil organic C in long-term management systems in Texas. *Soil Till. Res.* 47:309-321.
- Rudrappa, L., T.J. Purakayastha, D. Singh, and S. Bhadraray. 2006. Long-term manuring and fertilization effects on soil organic carbon pools in a Typic Haplustept of semi-arid sub-tropical India. *Soil Till. Res.* 88:180-192.
- Sainju, U.M., B.P. Singh, S. Rahman, and V.R. Reddy. 1999. Soil nitrate-nitrogen under tomato following tillage, cover cropping, and nitrogen fertilization. *J. Environ. Qual.* 28:1837-1844.
- Seneviratne, G. 2000. Litter quality and nitrogen release in tropical agriculture: a synthesis. *Biol. Fert. Soils.* 31:60-64.
- Shi, W., and J.M. Norton. 2000. Microbial control of nitrate concentrations in an agricultural soil treated with dairy waste compost or ammonium fertilizer. *Soil Biol. Biochem.* 32:1453-1457.
- Singh, J., J.S. Singh, and A.K. Kashyap. 1999. Methane flux from irrigated rice fields in relation to crop growth and N-fertilization. *Soil. Biol. Biochem.* 31:1219-1228.
- Sommer, S.G., and A.K. Ersboll. 1996. Effect of air flow rate, lime amendments and chemical soil properties on the volatilization of ammonia from fertilizers applied to sandy soils. *Biol. Fert. Soils.* 21:53-60.
- Stoyan, H., H. De-Polli, S. Bohm, P. Robertson, and E. Paul. 2000. Spatial heterogeneity of soil respiration and related properties at the plant scale. *Plant Soil.* 222:203-214.
- Wagger, M.G. 1989. Time of desiccation effects on plant composition and subsequent nitrogen release from several winter annual cover crops. *Agron. J.* 81:236-241.
- Vlek, P.L.G., and E.T. Craswell. 1979. Effect of N source and management on ammonia volatilization losses from flooded rice systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43:352-358.
- Yun, H.B. Y. Lee, C.Y. Yu, S.M. Lee, B.K. Hyun, and Y.B. Lee. 2007. Effect of crude carbohydrate content in livestock manure compost on organic matter decomposition rate in upland soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40(5):364-368.
- Zhang, M., X.K. Zhang, W.J. Liang, Y. Jiang, G.H. Dai, X.G. Wang, and S.J. Han. 2011. Distribution of soil organic carbon fractions along the altitudinal gradient in Changbai Mountain, China. *Pedosphere*, 21:615-620.