

고추재배에서 지구온난화잠재력 (Global Warming Potential)을 고려한 토성별 온실가스 발생량 종합평가

김건엽* · 소규호 · 정현철 · 심교문 · 이슬비 · 이덕배

농촌진흥청 국립농업과학원

Assessment of Green House Gases Emissions using Global Warming Potential in Upland Soil during Pepper Cultivation

Gun-Yeob Kim*, Kyu-ho So, Hyun-Cheol Jeong, Kyo-Moon Shim, Seul-Bi Lee, and Deog-Bae Lee

National Academy of Agricultural Science(NAAS), RDA, Suin-ro 150, Gwonseon-gu, Suwon-si 441-707, Korea

Importance of climate change and its impact on agriculture and environment have increased with a rise of greenhouse gases (GHGs) concentration in Earth's atmosphere, which causes an increase of temperature in Earth. Greenhouse gas emissions such as carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) in the Upland field need to be assessed. GHGs fluxes using chamber systems in two upland fields having different soil textures during pepper cultivation (2005) were monitored under different soil textures at the experimental plots of National Academy of Agricultural Science (NAAS), Rural Development Administration (RDA) located in Suwon city, Korea. CO₂ emissions were 12.9 tonne CO₂ ha⁻¹ in clay loam soil and 7.6 tonne CO₂ ha⁻¹ in sandy loam soil. N₂O emissions were 35.7 kg N₂O ha⁻¹ in clay loam soil and 9.2 kg N₂O ha⁻¹ in sandy loam soil. CH₄ emissions were 0.054 kg CH₄ ha⁻¹ in clay loam soil and 0.013 kg CH₄ ha⁻¹ in sandy loam soil. Total emission of GHGs (CO₂, N₂O, and CH₄) during pepper cultivation was converted by Global Warming Potential (GWP). GWP in clay loam soil was higher with 24.0 tonne CO₂-eq ha⁻¹ than that in sandy loam soil (10.5 tonne CO₂-eq ha⁻¹), which implied more GHGs were emitted in clay loam soil.

Key words: CO₂, N₂O, CH₄, Global warming potential (GWP)

서 언

대류권에서 아산화질소 농도는 산업시대 이전에 270 ppb에서 2001년에 314 ppb로 증가하였다. 지구온난화 잠재력은 이산화탄소, 아산화질소, 메탄 등의 배출에 대한 net balance를 모두 이산화탄소 상당량으로 환산하여, 이산화탄소를 기준으로 아산화질소가 310배에 달하므로 아산화질소는 지구온난화에 5%이상 기여하는 무시할 수 없는 온실가스이다 (IPCC, 1996). 최근에 Mosier et al. (1998)과 Kroeze et al. (1999)은 농업이 전 지구적 질소 순환에 미치는 영향을 고려한 아산화질소의 농업부문의 배출량에 대해 지표로부터 배출되는 아산화질소가 전체 배출량에서 가장 큰 부분을 차지한다고 하였다.

질소시비와 유기물 토양 투입에 대한 탄소 연구는 주로 작물에 의한 탄소흡수 관계를 평가하는데 제한되어 있

으며, 토양 중 질소시비에 의해 토양에서 CO₂배출의 증가와 작물 잔사의 분해 촉진과 관련된 연구는 미미하였다. 토양 중 질소 시비량의 증가에 따라 토양 중 CO₂배출량도 동시에 증가하며, 질소질 비료사용에 의한 CO₂배출 시험에서 CO₂ 배출량은 토양 중 무기태 질소인 NH₄⁺에 의해 가장 CO₂배출이 크다고 하였다 (Månsson and Falkengren-Grerup 2003; Xu et al. 2004).

질소비료 사용은 농경지로부터 대기로 배출되는 N₂O의 가장 큰 요인으로 작용하고 있으며, 최근 1990년대의 질소비료 사용이 해마다 6~7% 증가 추세에 있어 이에 대한 대책이 시급하다 (Minami, 1997).

토성별 경작지 토양에서 사질토양은 양질토양에 비해 질화작용 과정을 지연시켜 CH₄의 산화 촉진으로 인해 배출량이 적었으며, 동시에 상대적으로 N₂O 배출량도 낮아진다고 하였다 (Kravchenko, 2002).

따라서 본 논문에서는 고추밭에서 CO₂, CH₄ 그리고 N₂O의 배출 특성을 구명하고, 지구온난화잠재력으로 환산하여 토양에서 발생하는 온실가스 배출 총량을 파악

접수 : 2010. 11. 15 수리 : 2010. 12. 20

*연락처 : Phone: +82312900240

E-mail: gykim@korea.kr

하여 고추재배지에서 온실가스 관리에 필요한 기초 자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

재배 및 처리내용 본 시험은 수원시에 위치한 국립농업과학원의 시험 포장에서 노지 재배로 시험을 2005년에 수행하였다. 시험 토양은 고평통 식양토 (37°15' 27.68"N, 126°59'16.05"E)와 본랑통 사양토 (37°15' 38.47"N, 126°59'20.64"E)에서 유기물 함량이 각각 22, 21 g kg⁻¹, 암모니아태질소가 62.5 mg kg⁻¹, 31.8 mg kg⁻¹, 질산태질소는 51.7 mg kg⁻¹, 53.4 mg kg⁻¹로서 시험전 토양의 이화학적 특성은 Table 1과 같다.

고추 (마니파)를 2005년에는 2월 22일 파종하여 5월 16일에 정식하였다. 재식거리는 60×40 cm, 시험구는 64 m², 3반복으로 하였다.

시비는 농촌진흥청 작물별 시비처방기준 (RDA, 1999)에 의한 표준시비방법으로 하였다. 화학비료는 N-P₂O₅-K₂O를 190-112-149 kg ha⁻¹로 N은 3회 분시, P₂O₅는 전량 기비, K₂O는 2회 분시 하였고, 돈분퇴비 15,000 kg ha⁻¹을 사용하였다.

본 시험에서는 자연강우 조건에서 tensiometer를 이용하여 토양수분함량 변화를 측정하였다. 토양온도 측정은 고추 생육기간 동안 Hydraprobe (Stevens-water Co.)를 이용하여 고추의 근권인 토양 깊이 20 cm에 설치하여 측정하였다.

시료채취 및 분석방법 CO₂는 고추 정식 한 달 후부터 1주 간격으로 토양에서 배출되는 CO₂가스를 포집·측정하였다. CO₂ 배출량은 soda lime (NaOH와 Ca (OH)₂)법 (Kleber, 1997)을 사용하였으며, soda lime에 흡수된 CO₂ 양을 칭량하였다. 크기가 2~5 mm (Merck catalogue No. 6839, soda)의 과립형 soda lime을 100℃에서 24시간 건조시킨 다음, 40 g을 칭량하여 플라스틱 접시에 넣고 토양 표면으로부터 2~3 cm 높이에 설치된 삼각대에 담아서 빛을 차단하기 위해 불투명 스테인레스 원통 chamber를 씌워 토양의 과다 호흡의 한계값인 7일간을 노출 시켰다 (Kleber, 1997). 스테인레스 원통 chamber는

직경 23 cm (밀면적 415.5 cm²), 높이 31 cm인 부피 10 L로 제작하였다 (Kleber, M., 1997). 7일 후 soda lime을 100℃, 24시간 건조 시킨 후 CO₂의 양 (g CO₂ m⁻² d⁻¹)을 계산하였다. 보정계수와 증량법 계산은 Kleber, (1997)의 방법으로 보정계수 (보정계수는 CO₂+H₂O/CO₂가 1.4)와 재배기간 일수를 곱하여 재배기간 동안 CO₂흡수된 양으로 환산하는 증량법으로 측정하였다. CO₂의 양 (g CO₂ m⁻² d⁻¹)은 Tesarova and Gloser (1976)의 방법에 의하여 3.5~23.8 g CO₂ m⁻² d⁻¹에서 측정값이 인정되며 그 외에 범위를 벗어난 값은 측정 오차로 간주하고 있다.

N₂O와 CH₄는 비정체형 밀폐형태인 순환형 상자법 (Denmead, 1979)을 이용하여 외부로의 공기 유출이 없도록 포집하였다. 설치된 chamber는 지름이 0.25 m, 높이가 0.5 m인 PVC 소재로 제작하였다. N₂O와 CH₄ 배출량은 고추 정식 후 수확까지 1주일에 2회 측정하였다.

채취한 공기 시료의 메탄 농도는 6 port gas sampling valve가 장착된 GC-FID (Varian 3400)로 분석하였으며, column은 Porapack N (80/100 mesh)을 충전한 1/8" × 2 m의 stainless steel tubing column이었고 carrier gas는 N₂로 유속을 분당 30 ml로 조절하였다. 아산화질소 기체농도는 10 port와 4 port valve를 장착한 GC-ECD (Varian 3800)를 사용하였고 column은 Porapack Q (80/100 mesh)를 충전한 1/8" × 2 m의 stainless steel tubing column, 그리고 Detector의 온도는 320℃로 하였다. CH₄ 및 N₂O 분석 조건은 Table 2와 같다.

N₂O는 토양과 대기간의 플럭스는 주로 확산에 의하므로 토양과 대기 간 농도차가 작을 경우에는 chamber 내 가스성분의 농도변화는 시간이 지날수록 변하지 않으나, chamber내에서 토양과 대기 간 농도차가 클 경우는 시간이 지날수록 가스농도는 거의 직선적으로 증가한다 (Minami, 1997). 이런 경우의 시료 가스농도의 정량계산은 data set를 직선회귀하여 플럭스를 계산한다. 직선회귀법에서 플럭스 (F : mg m⁻² hr⁻¹)는 다음 식으로 구했다.

$$F = \rho \cdot V \cdot A^{-1} \cdot \Delta c \cdot \Delta t^{-1} \cdot 273 \cdot T^{-1}$$

ρ는 가스밀도 (mg m⁻³),

A는 Chamber 바닥면적 (m²),

Table 1. Chemical properties of soil before experiment.

Soil texture	pH	EC	OM	Av.P ₂ O ₅	NH ₄ -N	NO ₃ -N	Exch. Cation		
							K	Ca	Mg
	(1:5 H ₂ O)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----		
Clay loam	5.4	0.31	22	362	62.5	51.7	0.6	5.8	1.4
Sandy loam	5.8	0.13	21	482	31.8	53.4	0.3	3.8	0.6

Table 2. Gas Chromatographic analysis conditions for N₂O measurement.

Detector		ECD
Column	Packing material	Porapack Q (80/100)
	Materials	Stainless steel
	O.D. x length	1/8" x 2 m
Carrier gas		N ₂
Flow rate		30 mL min ⁻¹ (Carrier + make up)
Temperature	Column	70°C
	Injector	80°C
	Detector	320°C
Retention time		3.2 min
Concentration of calibration gas		0.5 and 1.0 ppmv N ₂ O in N ₂
Loop		2 ml

V는 Chamber내 공기체적 (m³),
 $\Delta c/\Delta t$ 는 Chamber내 가스농도의 평균 증가속도
 (10⁻⁶ m³ m⁻³ hr⁻¹),
 T는 Chamber내 평균기온 (K)이다.

메탄 및 아산화질소 ρ값 (T=273 K)은 다음과 같다.

$$\rho_{CH_4} = 0.714$$

$$\rho_{N_2O} = 1.96, \rho_{N_2O-N} = 1.25$$

결과 및 고찰

고추 재배기간 동안 대기 평균기온은 22.5°C이었다. 식양토에서 토양수분 함량의 범위는 34.1~50.4% (평균 40.4%), 사양토 21.3~27.0% (평균 24.5%)으로 식양토에서 토양수분 함량의 범위가 넓어, 이는 식양토의 점토 함량이 사양토에 비해 높기 때문에 같은 장력하에서 토양수분함량을 더 많이 함유한 결과인 것으로 보인다. 토양온도는 식양토 22.7~25.7°C (평균 24.4°C), 사양토 20.1~27.6°C (평균 24.2°C)로 식양토에서 토양수분의 측정값과 사양토에서 토양온도 측정값의 범위 폭이 크게 나타났다 (Table 3). 이러한 원인은 식양토는 사양토에 비해 비열이 높은 토양수분을 더 많이 보유하고 있기 때문에 온도변이에 대한 완충능이 더 크기 때문인 것으로 생각된다.

토양수분과 토양온도 그리고 CO₂, N₂O, CH₄ 배출량의 경시적 변화는 Fig. 1과 같다. CO₂ 배출량은 토양온도의 변화에 따라 식양토와 사양토에서 유사한 양상을 보였고, N₂O 배출량은 토성과 관계없이 전 재배기간 중 토양수분과 토양온도의 변화와 유사한 양상을 보였다.

Table 3. Red pepper yield and soil properties during the test.

Soil texture	Clay loam	Sandy loam
Fruit yield (Mg ha ⁻¹ , dried weight)	2.9	2.3
Soil Properties		
Mean water contents (% v/v)	40.4	24.5
Mean temperature (°C)	24.4	24.2

이는 토양온도와 CO₂ 배출, N₂O 배출과 토양수분, 토양온도의 관계를 구명한 연구결과가 없으며, 다만 Kim et al. (2008a)은 CO₂ 배출량은 토양온도와 정의 상관관계가 있다고 하였으며, N₂O 배출량은 토양수분 (Kim et al. 2008b; Stevens et al. 1997; Arnone and Bohlen 1998; Hou et al. 2000)과 토양온도 (Kim et al. 2008b; Gödde and Conrad, 1999)와 정의 상관관계가 있어, 토양수분이 많을수록 토양온도가 높을수록 N₂O 배출량이 많다고 하였다.

담수상태의 논에서는 혐기성균에 의해 유기물이 분해되어 상당량의 CH₄가 발생하는데 비해, 밭에서는 CH₄ 배출량이 적어 토양수분, 토양온도와 무기태질소 변화에 대한 배출과의 관계는 없었다.

토양수분은 CH₄ 배출에 영향을 미치는 중요한 인자이나 토양온도는 CH₄ 배출에 영향을 미치지 않았다고 하였다 (Yuping et al. 2008). 그리고 Kim et al. (2002, 2006)은 밭 토양에서는 토양 수분이 토양공극에 포화상태일 경우에 CH₄ 배출이 일시적으로 배출되므로 재배 전 생육기간을 통해서는 CH₄ 배출량이 극소량이어서 온실가스 배출에 영향을 주는 요인과는 관계가 없는 것으로 보고하였다.

고추 생육기간 중 정식 후 부터 수확기까지 CO₂, N₂O 그리고 CH₄의 총 배출량을 토성별로 비교한 결과 Fig. 2와 같았다. 토성에 따른 CO₂배출량은 식양토는 12.9 tonne CO₂ ha⁻¹, 사양토는 7.6 tonne CO₂ ha⁻¹로 나타났다. N₂O 배출량은 식양토 35.7 kg N₂O ha⁻¹, 사양토 9.2 kg N₂O ha⁻¹로 나타났으며 CH₄ 배출량은 식양토에서 0.054 kg CH₄ ha⁻¹, 사양토 0.013 kg CH₄ ha⁻¹로 식양토에 비해 사양토에서 온실가스 (CO₂, N₂O, CH₄) 배출이 적었다. 이러한 결과는 식양토에 비해 사양토에서 투수속도가 빠르기 때문에 용존된 온실가스가 지하로 침투되는 것으로 알려져 있다 (Kravchenko, 2002). Koizumi et al. (1999)이 CO₂ 배출량이 사양토 (300 mg CO₂ m⁻² hr⁻¹)보다 식양토 (500 mg CO₂ m⁻² hr⁻¹)에서 더 많다고 하였으며, Dilustro et al. (2005)의 혼합소나무림 토양에서 CO₂ 총 배출량이 사양토 (2.71 μmol m⁻² s⁻¹)가 식양토 (3.96 μmol m⁻² s⁻¹)에 비해 배출량이 적다고 하였다. N₂O의 배출량은 토양의 양분공급 외에도

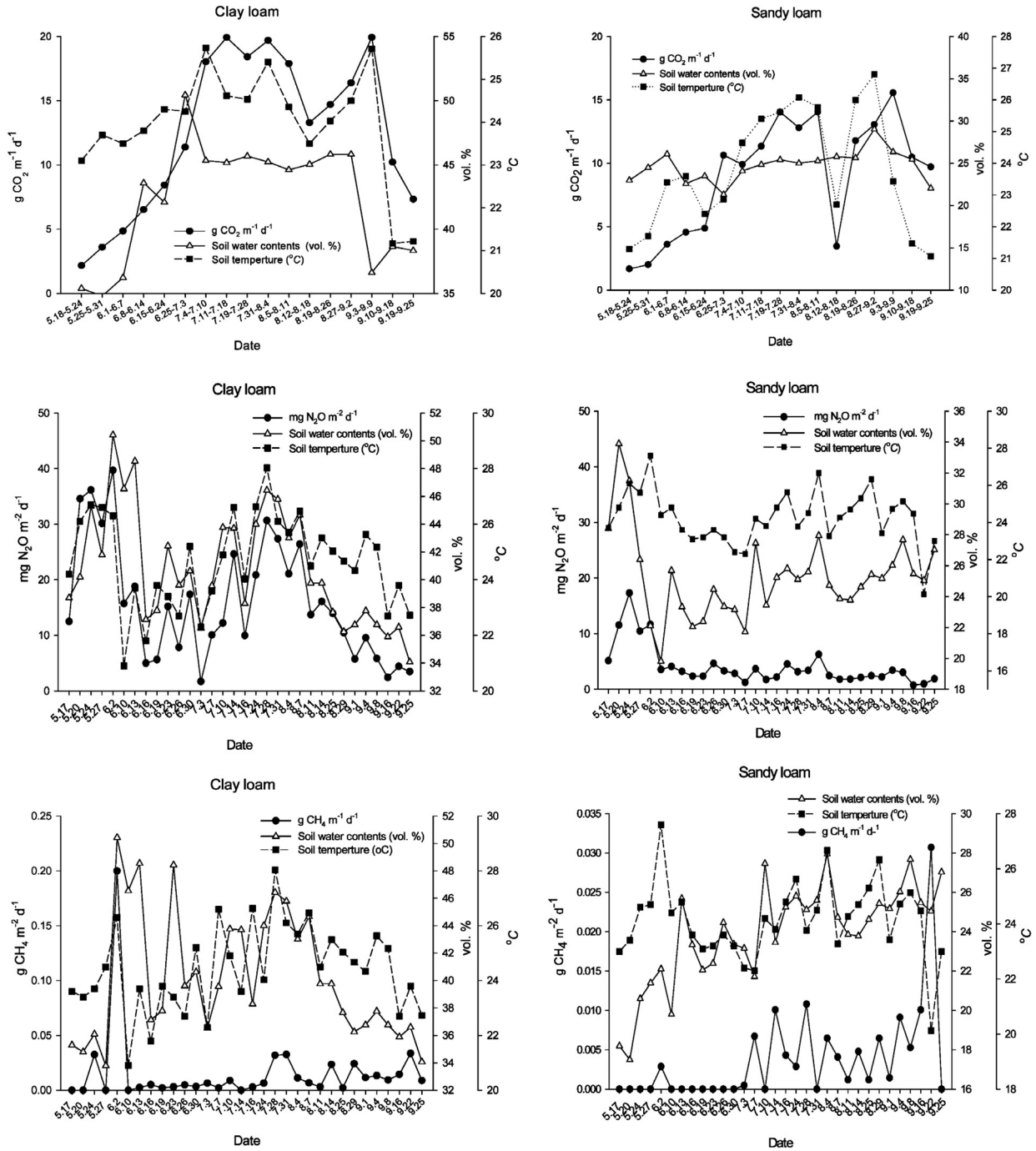


Fig. 1. Daily changes of soil water contents, soil temperature and soil N₂O, CO₂ and CH₄ emission in clay and sandy loam in pepper field (all flux measurements included). Values are the mean of three replicates measured between 9:00 a.m. and 11:00 at sampling dates.

토성에 따라 차이를 보이는데, Kravchenko (2002)은 토성별 경작지 토양에서 사질토양은 양질토양에 비해 탈질을 지연시켜 CH₄의 산화 촉진으로 인해 배출량이 적었으며, 동시에 상대적으로 N₂O 배출량도 낮아진다고 하였다. 그리고 Kim et al. (2008b)은 고추의 비가림 재배에서 식양토에 비해 사양토에서 N₂O 배출이 74.0~82.1% 감소한다고 하여 N₂O 배출의 저감 효과는 식양토에 비해 사양토에서 더 큰 것으로 보고하였다.

지구온난화잠재력 (GWP; Global Warming Potential)은 CO₂, CH₄, N₂O 등의 배출량에 대한 net balance를 모두 CO₂ 상당량으로 환산하기 위하여 CO₂는 1배, CH₄ 배출 총량 21배, N₂O 배출 총량은 310배를 하였다. CO₂ 배출 총량은 지구온난화잠재력이 1이므로 총 배출량이 지구온난화잠재력이 된다. 그리고 CH₄과 N₂O 총 배출량은 지구온난화잠재력인 21배와 310배를 각각 곱하여 환산하였다 (IPCC, 1996).

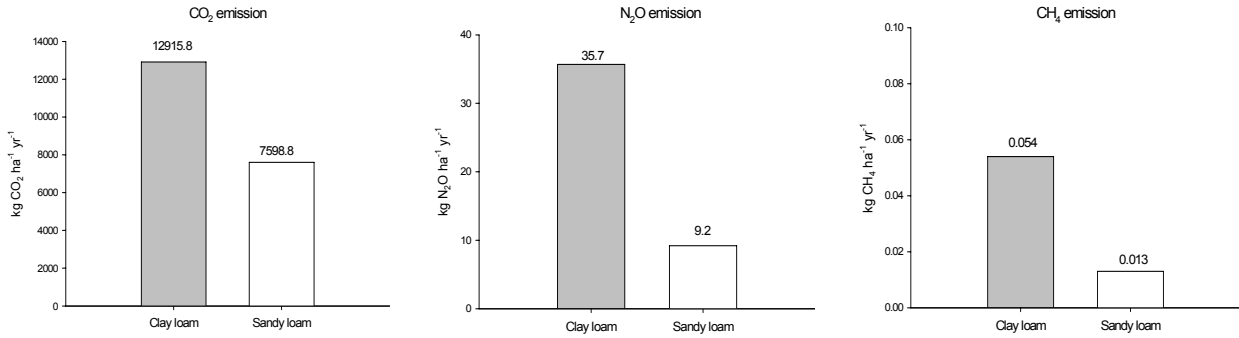


Fig. 2. Amount of CO₂, CH₄ and N₂O emitted in clay and sandy loam soils.

Table 4. Total emission of GHGs converted by global warming potential (GWP) in red pepper cultivation.

Soil textures	CO ₂ emission	GWP ^(a)	N ₂ O emission	GWP ^(b)	CH ₄ emission	GWP ^(c)	GWP (^(a) + ^(b) + ^(c))
	kg CO ₂ ha ⁻¹	kg CO ₂	kg N ₂ O ha ⁻¹	kg CO ₂	kg CH ₄ ha ⁻¹	kg CO ₂	kg CO ₂
Clay loam	12,915.8	12,915.8	35.7	11,067.0	0.054	1.1	23,983.9
Sandy loam	7,598.8	7,598.8	9.2	2,852.0	0.013	0.3	10,451.1

고추밭에서 토성별로 재배기간 동안 CO₂, N₂O 및 CH₄의 총 배출량을 지구온난화잠재력 (GWP-Global Warming Potential)으로 환산한 결과 (Table 4), 식양토에서 24.0 tonne CO₂-eq ha⁻¹, 사양토에서는 10.5 tonne CO₂-eq ha⁻¹로 식양토에서 많은 온실가스 배출량을 보였다. 식양토에 비해 사양토에서 온실가스 배출이 낮은 원인은 사양토에서 투수속도가 빨라 대부분 지하 침투의 원인으로 알려져 있다 (IPCC, 1996). 그리고 지하로 침투된 용존 온실가스는 수계 온실가스 간접배출의 원인이 되고 있다 (GPG, 2003). 그러나 고추재배 토양에서 직접 배출되는 온실가스는 식양토에 비해 사양토에서 아산화질소 배출은 적었다고 보고하였다 (Kim et al, 2008b).

- (1) 토성에 따른 CO₂배출량은 식양토는 12.9 tonne CO₂ ha⁻¹, 사양토는 7.6 tonne CO₂ ha⁻¹로 나타났다. N₂O 배출량은 식양토 35.7 kg N₂O ha⁻¹, 사양토 9.2 kg N₂O ha⁻¹로 나타났으며, CH₄ 배출량은 식양토에서 0.054 kg CH₄ ha⁻¹, 사양토 0.013 kg CH₄ ha⁻¹였다.
- (2) CO₂, N₂O, CH₄의 총 배출량을 지구온난화잠재력 (GWP-Global Warming Potential)으로 환산한 결과, 식양토에서 24.0 tonne CO₂-eq ha⁻¹, 사양토에서는 10.5 tonne CO₂-eq ha⁻¹로 식양토에서 많은 온실가스 배출량을 보였다.

적 요

농경지에서 발생하는 온실가스인 CO₂, CH₄ 그리고 N₂O의 배출량을 토성별 지구온난화잠재력으로 평가하기 위하여 수원시에 위치한 국립농업과학원 기후변화생태과 시험포장에서 온실가스 배출시험을 수행하였다.

고추밭에서 온실가스배출 시험은 2005년에 노지재배로 재배하였다. 시비는 화학비료와 돈분퇴비를 사용하였으며, 식양토와 사양토에서 온실가스배출에 영향을 주는 토양수분과 토양온도 등 관련 요인별로 온실가스배출량을 측정하였다.

이와 같이 고추밭에서 CO₂, CH₄, N₂O의 배출량을 확인하고, 지구온난화잠재력으로 환산한 온실가스의 양을 파악하여 온실가스 관리에 필요한 기초 자료로 활용하고자 하였다. 시험한 결과는 다음과 같다.

인 용 문 헌

Arone, J.A. and P.J. Bohlen. 1998. Stimulated N₂O flux from intact grassland monoliths after two growing seasons under elevated atmospheric CO₂. *Oecologia*. 116:331-335.

Denmead, O.T. 1979. Chamber systems for measuring nitrous oxide emission from soils in the field. *Soil Sci. Soc. of American J.* 43:89-95.

Dilustro, J., B. Collins, L. Duncan, and C. Crawford. 2005. Moisture and soil texture effects on soil CO₂ efflux components in southeastern mixed pine forests. *Forest Ecology and Management* 204:85-95.

Gödde, M. and R. Conrad. 1999. Immediate and adaptational temperature effects on nitric oxide production and nitrous oxide release from nitrification and denitrification in two soils. *Biol. Fertil. Soils* 30:33-40.

- GPG (Good Practice Guidance). 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry, GPG.
- Hou, A., H. Akiyama, Y. Nakajima, S. Sudo, and H. Tsuruta. 2000. Effects of urea form and soil moisture on N₂O and NO emissions from Japanese Andosols. *Chemosphere - Global Change Science* 2:321-327.
- IPCC. 1996. Revised IPCC guideline for national greenhouse gas inventories: Reference Manual, revised in 1996, IPCC.
- Kim, G.Y., B.H. Song, B.K. Hyun, and K.M. Shim. 2006. Predicting N₂O emission from upland cultivated with pepper through related soil parameters. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 39:253-258.
- Kim, G.Y., S.I. Park, B.H. Song, and Y.K. Shin. 2002. Emission characteristics of methane and nitrous oxide by management of water and nutrient in rice paddy soil. *Korean Journal of Environ. Agri.* 21:136-143.
- Kim, G.Y., B.H. Song, S.Y. Hong, B.G. Ko, K.A. Roh, K.M. Shim, and Y.S. Zhang. 2008a. Evaluation of CO₂ Emission to Changes of Soil Water Content, Soil Temperature and Mineral N with Different Soil Texture in Pepper Cultivation. *J. Soil Sci. Fert.* 393-398.
- Kim, G.Y., B.H. Song, K.A. Roh, S.Y. Hong, B.G. Ko, K.M. Shim, and K.H. So. 2008b. Evaluation of Green House Gases Emissions According to Changes of Soil Water Content, Soil Temperature and Mineral N with Different Soil Texture in Pepper Cultivation. *J. Soil Sci. Fert.* 399-407.
- Kleber, M. 1997. Carbon exchange in humid grassland soils, University Hohenheim. 1-264.
- Koizumi H., M. Kontturi, S. Mariko, T. Nakadai, Y. Bekku, and T. Mela. 1999. Soil Respiration in three soil types in agricultural ecosystems in Finland. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Plant Soil Science.* 49:65-74.
- Kravchenko, I. 2002. Spatial variability of soybean quality data as a function of field topography: I. Spatial data analysis. *Crop Sci.* 42:804-815.
- Kroeze, C., A. Moiser, and L. Bouwman. 1999. Closing the global N₂O budget: a retrospective analysis 1500-1994. *Global Biogeochem. Cyc.* 13:1-8.
- Månsson, K.F, U. Falkengren-Grerup. 2003. The effect of nitrogen deposition on nitrification, carbon and nitrogen mineralisation and litter C:N ratios in oak (*Quercus robur* L.) forests. *Forest ecology and management* 179:455-467.
- Minami, K. 1997. Mitigation of nitrous oxide emissions from fertilized soils. In: *Proceedings of IGAC Symposium*, Nagoya, Japan.
- Mosier, A.R., W.J. Parton, and S. Phongpan. 1998. Long-term large N and immediate small N additions effects on trace gas fluxes in the Colorado shortgrass steppe. *Biol. Fertil. Soils.* 28:44-50.
- RDA. 1999. Fertilizer recommendation for crops. Rural development administration, Suwon, Korea.
- Stevens, R.J., R.J. Laughlin, L.C. Burns, J.R.M. Arah, and R.C. Hood. 1997. Measuring the contributions of nitrification and denitrification to the flux of nitrous oxide from soil. *Soil. Biol. Biochem* 29:139-151.
- Tesarova, M. und J. Gloser. 1997. Total CO₂ output from alluvial soils with two types of grassland communities. *Pedobiologica.* 16:364-372.
- Xu, X., H. Ouyang, G. Cao, Z. Pei, and C. Zhou. 2004. Nitrogen Deposition and carbon sequestration in alpine meadows. *Biogeochemistry.* 71:353-369.
- Yuping, YAN, S. Liqing, C. Min, Z. Zheng, T. Jianwei, W. Yinghong, Z. Yiping, W. Rui, L. Guangren, W. Yuesi, and S. Yang. 2008. Fluxes of CH₄ and N₂O from soil under a tropical seasonal rain forest in Xishuangbanna, Southwest China. *Journal of Environmental Sciences* 20:207-215.