

# 당근 재배 화산회토양에서 질소시비 수준 및 강우, 온도 환경 변화에 따른 N<sub>2</sub>O 배출 특성

양상호\* · 강호준 · 이신찬 · 오한준 · 김건엽<sup>1</sup>

제주특별자치도농업기술원, <sup>1</sup>농촌진흥청 국립농업과학원

## Influence of N Fertilization Level, Rainfall, and Temperature on the Emission of N<sub>2</sub>O in the Jeju Black Volcanic Ash Soil with Carrot Cultivation

Sang-Ho Yang\*, Ho-Jun Kang, Shin-Chan Lee, Han-Jun Oh, and Gun-Yeob Kim<sup>1</sup>

Jeju Special Self-governing Province Agricultural Research and Extension Services, Seogwipo 697-800, Korea

<sup>1</sup>National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, 441-707, Korea

This study was conducted to obtain investigated characteristic factors which has an influence on nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emissions related to the environment change of nitrogen application level, rainfall and temperature. It was done by the carrot cultivation at black volcanic ashes soil in the experimental field of Jeju Special Self-governing Province Agricultural Research and Extension Services from 2010 to 2011. During the carrot cultivation period, the more amount of nitrogen fertilizer applied, the more amount of N<sub>2</sub>O emissions were released. Generally N<sub>2</sub>O emissions were so deeply released to climate as that in the first and middle of cultivation with heavy rainfall released amount is high, otherwise it was released very low at the end of cultivation and drought season. N<sub>2</sub>O emissions type was considered to relate with the rainfall pattern and soil water content. We obtained the result correlated with N<sub>2</sub>O emissions, in 2010, as the soil water and soil temperature were significant to 0.5718\*\* (*r*) and 0.4908\*\* (*r*) respectively, but soil EC was not significant to 0.2704 (*r*). In 2011, soil water was significant to 0.3394\* (*r*), but soil temperature and soil EC were not significant to 0.2138 (*r*) and 0.2462 (*r*) respectively. Also, NO<sub>3</sub>-N and soil nitrogen (NO<sub>3</sub>-N + NH<sub>4</sub>-N) were not significant to 0.0575 (*r*) and 0.0787 (*r*) respectively. During the carrot cultivation period, the average emissions factor released by the nitrogen fertilizer application for 2 years was presumed to be 0.0025 N<sub>2</sub>O-N kg / N kg. This factor was 4 times than the IPCC (0.0100 N<sub>2</sub>O-N kg / N kg) factor.

**Key words:** Jeju black volcanic ash soil, Carrot cultivation, N<sub>2</sub>O emissions

## 서 언

최근 농업분야에서도 온실가스 저감기술 개발 등 기후변화에 효율적으로 대응하기 위하여 온실가스 배출량 평가에 대한 연구가 큰 관심이 되고 있다. 농업분야에서 온실가스 배출은 주로 메탄 (CH<sub>4</sub>)과 아산화질소 (N<sub>2</sub>O)에 의해서 일어난다. 농경지 토양에서의 N<sub>2</sub>O는 주로 화학비료, 축산분뇨 및 질소 고정작물 등의 질소원에 의해 배출된다 (GPG, 2000; IPCC, 1996; Moiser et al., 1998). N<sub>2</sub>O 배출은 토양, 재배관리, 기후 등에 따라 다르기 때문에 온실가스 배출량 산정을 위해서는 정확한 온실가스 배출 평가가 필요하다.

농경지에 사용한 질소비료 절반은 무기태질소의 형태로 유실되고, 대기로 배출되는 N<sub>2</sub>O는 81%가 질소비료 사용에 의해 배출된다고 하였으며 (Iserman, 1994), Bouwman (1990)은 약 70%가 토양에서 배출된다고 하였다. Minami (1997)은 농경지에서 대기로 배출되는 N<sub>2</sub>O는 질소비료 사용이 가장 큰 요인으로 작용하고 있다고 하였다. 토양환경 변화는 대기 중 N<sub>2</sub>O 증가에 많은 영향을 미친다 (Houghton and Skole, 1990). 농경지 토양에서의 N<sub>2</sub>O 배출은 온도, pH, 강우, 비료 사용량, 경작방법, 토성, 산소농도, 식생, 경지이용 등 여러 요인에 의해 영향을 받는다 (Frenay, 1997). 특히, 비료 사용량은 N<sub>2</sub>O 배출에 가장 큰 영향을 미치며, 농경지에 투입된 질소는 질소순환 과정을 통해 N<sub>2</sub>O로 직접 배출된다 (Smith et al., 1997). 토양에서 N<sub>2</sub>O 배출은 토양수분을 조절하여 N<sub>2</sub>O 배출을 줄일 수 있으며, 대기온도 변화에 따른 토양온도가 상승함에 따라 N<sub>2</sub>O 배출량도 증가하여 토양온도 변화에도 영

접수 : 2012. 3. 9 수리 : 2012. 6. 12

\*연락처 : Phone: +820647607332

E-mail: yang0420@korea.kr

향을 받는다고 하였다 (Frolking et al., 1998; Parton et al., 1996). N<sub>2</sub>O 배출량과 토양수분 함량과의 관계에서 토양공극에 대한 용적수분 함량 비율이 70~90%일 때 탈질이 가장 많이 일어나며, 90% 이상에서는 N<sub>2</sub>O 배출량이 급격히 감소한다고 하였다 (Lemke et al., 1998; Wagner-Riddle et al., 1997).

토양 중 질소시비량의 증가에 따라 토양으로부터의 N<sub>2</sub>O 배출량도 동시에 증가하며, 특히 토양 중 무기태 질소인 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>에 의해 N<sub>2</sub>O 배출이 가장 크다고 하였다 (Månsson and Falkengren-Grerup, 2003; Xu et al., 2004). 또한, 토양 중의 무기태 질소인 NO<sub>3</sub>-N의 상승도 N<sub>2</sub>O 배출을 증가시킨다고 하였다 (Hellebrand et al., 2008).

온실가스 배출량을 정확히 평가하기 위해서는 배출계수가 필요하다. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)에서는 2006년 가이드라인에 0.0100 kg N<sub>2</sub>O-N / N kg를 default 값으로 제시하고 있다. 그러나 이 값은 각 국가의 토양이나 기후 조건 등을 모두 반영하지 못하기 때문에 IPCC에서는 자국의 환경에 맞는 국가 배출계수를 개발하여 정확한 온실가스 배출량을 산정하도록 권고하고 있다.

따라서 본 연구에서는 당근 재배 화산회 토양에서 질소시비 수준 및 강우, 온도 환경 변화에 따른 N<sub>2</sub>O 발생 양상 특성을 구명하여 온실가스 배출 평가에 필요한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

### 재료 및 방법

본 시험은 토양의 수분, 온도, electrical conductivity(EC) 및 무기태질소가 발토양 N<sub>2</sub>O 배출에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 제주특별자치도 서귀포시 강정동에 위치한 농업기술원 시험포장에서 2년간(2010~2011년) 수행하였다.

시험 토양은 흑색 화산회 토양인 미사질양토로서 이화학적 특성은 Table 1과 같았다.

당근(양면오촌)은 8월 2일('10)과 7월 22일('11)에 비료를 시비하고 관리기로 경운한 후 재식거리를 20 cm (이랑) × 10 cm (주간)로 줄파하였다. 발아 후에는 속음 작업을 하여 주간 10 cm 간격으로 1주가 남도록 하였고, 수확은 '10년과 '11년 모두 이듬해 2월에 하였다. 시험구 면적은 20 m<sup>2</sup>로 하여 시험구 처리를 무비구, 표준시비구, 표준시비 2배구의 3처리 단구제로 하였다. 시비는 제주지역 주요작물 표준재배법에

준하여 화학비료를 무비구는 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O : 0-0-0 kg ha<sup>-1</sup>, 표준시비구는 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O : 200-96-122 kg ha<sup>-1</sup>, 표준시비 2배구는 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O : 400-192-244 kg ha<sup>-1</sup>을 사용하였다. 질소와 칼리는 요소와 염화칼리를 4회 분시 하였고, 추비는 9월 9일, 10월 12일, 10월 26일('10)과 8월 9일, 9월 9일, 10월 6일('11)에 3회 하였다. 인산은 용성인비로 전량 기비 하였다.

강우량은 농업기술원 야외에 설치된 자동기상측정장비(CRI1000, Campbell)에서 측정되는 일별 자료를 이용하였다. 토양의 화학성은 농촌진흥청 토양화학분석법(NIAST, 2000)에 준하여 분석하였다. pH (1:5)는 초자전극법, 유기물은 Turin법, 유효 인산은 Lancaster법, 치환성 양이온은 1N NH<sub>4</sub>OAC (pH 7.0) 용액으로 침출하여 유도결합플라즈마방출분광기 (Optima 7300DV, Perkin Elmer)로 분석하였다. NO<sub>3</sub>-N은 증류수로 침출하여 이온크로마토그래피 (850 professional, Metrohm), NH<sub>4</sub>-N은 2 mol KCl로 침출하여 자외선/가시선 분광광도계 (Cary 100, Varian)로 분석하였다. 토양의 수분, 온도, EC 측정은 유전율식센서 (WT1000B, Mirae Sensor)를 N<sub>2</sub>O 포집 챔버 내에 표면에서 직각으로 꼽고 (토심 0~10 cm, 평균 5 cm) 테이터로거 (WP700, Mirae Sensor)를 이용하여 30분 간격으로 자동 측정하였다. N<sub>2</sub>O 포집 및 측정은 포집 챔버와 비분산적외선 (Non Dispersive Infrared) 방식인 Gas Filter Correlation N<sub>2</sub>O Analyzer (320EU, Teledyne)를 연동시켜 자동화 하여 3일에 1회 오전 10:00~11:30 사이에 시험구 처리별로 30분 간격으로 포집 및 측정 되도록 하였다. N<sub>2</sub>O 포집은 비정체형, 밀폐형태인 순환형 상자법 (Denmead, 1979)을 이용하였다. 지름이 0.45 m, 높이가 0.35 m인 아크릴 소재로 제작된 자동챔버를 시험포장에 설치하고 외부로부터 공기 유출이 없도록 하여 포집되도록 하였다. 챔버에서 포집되는 N<sub>2</sub>O를 880 mL min<sup>-1</sup>의 흐름 속도로 측정기에 순환되도록 하였고, 챔버 내 가운데 높이에 온도 보상선 (Thermocouple)을 설치하여 측정기와 연결되도록 하였다. 측정 시작 후 챔버를 오픈하여 6분 후의 초기 N<sub>2</sub>O 농도와 챔버 내 온도를 측정한 후 챔버를 밀폐시켜 24분 후의 나중 N<sub>2</sub>O 농도와 챔버내 온도를 측정되도록 하였다. N<sub>2</sub>O 배출량 측정은 '10년도에는 8월 4일 ~ 12월 25일, '11년도에는 7월 22일~12월 28일까지 측정하였다.

N<sub>2</sub>O의 단위시간당 배출량은 다음 식에 따라 계산하였다.

Table 1. Chemical properties of the experimental soils.

Year	pH	O.M.	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exch. Cation		
						K	Ca	Mg
	(1:5)	g kg <sup>-1</sup>	-----	mg kg <sup>-1</sup>	-----	-----	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	-----
2010	5.7	163.8	10.6	26.7	26.9	0.2	3.6	1.0
2011	5.7	151.8	10.6	30.5	8.59	0.3	2.4	0.5

$$F = \rho \cdot 273 \cdot (273 + (\text{처음온도} + \text{나중온도}) \cdot 2^{-1})^{-1} \cdot H \cdot \Delta C \text{ h}^{-1} 1000^{-1}$$

F : 단위시간당 배출량 (mg m<sup>-2</sup> hr<sup>-1</sup>)

ρ : 가스밀도 (mg m<sup>-3</sup>)

N<sub>2</sub>O-N 환산계수 : 28/44(N<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>O)

N : 질소시비량(kg N ha<sup>-1</sup>)

화학비료로 공급된 질소량 : 시비 N × 0.9

N<sub>2</sub>O의 ρ값 (T=273 K)은 다음과 같다.

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

H : 상자내 수면으로(또는 토양표면)부터 상자 위쪽 끝부분까지의 높이

ΔC : 시료 채취 전후의 농도 차(ppb)

h : 시료 채취 시간

N<sub>2</sub>O의 배출계수(Emission factor)는 다음 식에 따라 계산하였다.

$$EF(\text{kg N}_2\text{O-N} / \text{N kg}) = ((\text{누적배출량}/100) \times 0.9 \times (28/44)) / \text{N}$$

누적배출량 : 연간 N<sub>2</sub>O 누적배출량(kg N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>)

### 결과 및 고찰

당근 재배기간 동안 질소시비량에 따른 N<sub>2</sub>O 배출 변화 및 연간 누적 배출량은 Fig. 1과 Table 2와 같다. '10년과 '11년도의 N<sub>2</sub>O 연간 누적 배출량은 무비구 (N 0 kg ha<sup>-1</sup>)는 0.534와 0.016 kg N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, 표준시비구 (N 200 kg ha<sup>-1</sup>)는 1.897과 0.391 kg N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, 표준시비 2배구 (N 400 kg ha<sup>-1</sup>)는 3.390과 0.726 kg N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>로 질소시비량이 많을수록 많았다. 토양 중 질소 시비량의 증가에 따라 N<sub>2</sub>O 배출량도 동시에 증가하며, 질소질비료 사용에 의한 토양 중 무기태 질소인 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>에 의해 가장 N<sub>2</sub>O 배출이 크다고 하였다 (Månsson and Falkengren-Grerup, 2003; Xu et al., 2004).

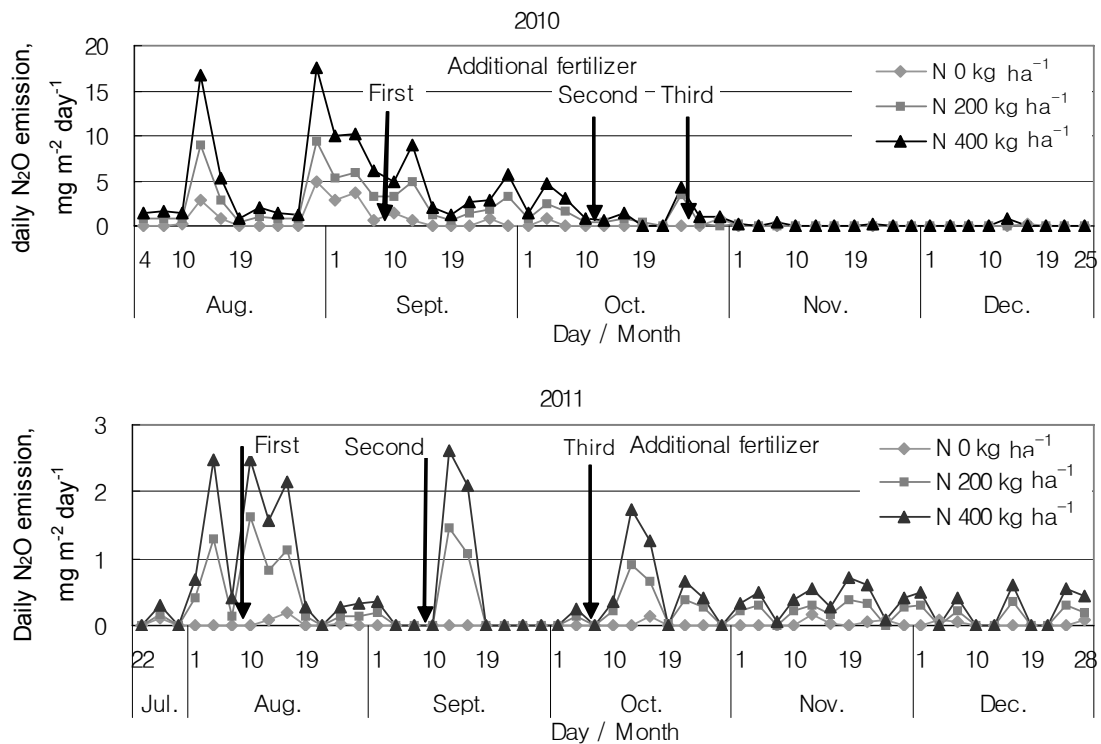


Fig. 1. Changes of N<sub>2</sub>O emissions on the amount of nitrogen fertilizer applied in the carrot cultivation field.

Table 2. Accumulated emission amount of N<sub>2</sub>O for the carrot cultivation period in the field.

Year	Nitrogen application amount (N kg ha <sup>-1</sup> )		
	0	200	400
	----- kg N <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> -----		
2010	0.534	1.897	3.390
2011	0.016	0.391	0.726
Average	0.275	1.144	2.058

당근 전 재배 기간 동안 N<sub>2</sub>O는 '10년과 '11년 모두 8월상순~10월하순에 대부분 배출되는 것으로 나타났고, 특히 '11년도에는 8월, 9월 및 10월 중순에 배출이 많은 경향을 보였다. 이는 당근 재배 초기와 중기에는 강우량에 의한 다습한 토양 수분과 질소 분시에 의한 추비의 영향으로 N<sub>2</sub>O 발생이 증가하기 때문인 것으로 생각된다. 또한, 연간 누적 N<sub>2</sub>O 배출량은 '10년도가 '11년도에 비해 4배 이상 높게 나타나 연도간 상당한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 특히 재배 초기(7월하순~10월)에 큰 차이를 보였다. N<sub>2</sub>O 배출량과 토양수분 함량과의 관계에서 토양공극에 대한 용적수분 함량 비율이 70~90%일 때 탈질이 가장 많이 일어나며, 90% 이상에서는 N<sub>2</sub>O 배출량이 급격히 감소한다고 하였다 (Lemke et al., 1998; Wagner-Riddle et al., 1997). 본 연구에서는 재배 초기(7월하순~10월)에 강우량 및 강우빈도가 '10년도에는 690 mm, 43회로, '11년도의 381 mm, 26회보다 많았다. 이에 따라 N<sub>2</sub>O가 발생할 수 있는 토양수분상태가 적당하였기 때문인 것으로 생각된다.

자연 강우에 따른 N<sub>2</sub>O 배출량의 경시적 변화는 Fig. 2와 같다. 당근 재배기간 동안 강우는 여름철인 8월상순~9월상순에 많았으나, 가을과 겨울철인 9월중순~12월에는 강우가 적거나 한발 현상이 나타났다. 당근 전 재배기간 동안 N<sub>2</sub>O 배출 양상은 강우 패턴과 비슷한 흐름을 보이는 경향이었고,

'11년도에는 질소 분시에 의한 추비의 영향이 뚜렷한 것으로 나타났다. N<sub>2</sub>O 배출량은 '10년도에는 재배 초기와 중기인 8월상순~10월하순에 대체로 강우량이 많은 시기에 많았고, '11년도에는 8월, 9월 및 10월 중순에 강우와 질소 분시에 의한 추비 시기에 많은 경향을 보였다. 재배 말기에는 강우가 적고 한발 시기로서 N<sub>2</sub>O 배출량이 매우 적거나 거의 없는 경향을 보였다. Davidson (1991)은 호기 조건의 건조 토양은 미생물에 의해 질산화 작용이 촉진되고, 상대적으로 습한 토양에서는 탈질 현상으로 N<sub>2</sub>O와 N<sub>2</sub>의 발생이 증가한다고 하였다. 본 연구에서도 강우량이 많고 토양이 습한 시기에 N<sub>2</sub>O 배출이 많은 것으로 나타났다. 또한 질소 분시에 의한 추비 시기에 강우에 의해서 토양수분이 충분할 때 N<sub>2</sub>O 배출이 많은 것으로 나타났다. 연도별 N<sub>2</sub>O 배출 양상이 다소 다르게 나타나는 것은 재배 시기와 강우 패턴에 따라 토양수분상태가 다르기 때문인 것으로 생각된다. 또한, 프로그래밍에 의하여 일정한 시간에 N<sub>2</sub>O를 측정하도록 되어 있어 비가 내릴 때, 비가 그칠 때 또는 비가 내리지 않을 때 측정하는 시기가 다르기 때문인 것으로도 생각된다.

토양수분, 토양온도와 N<sub>2</sub>O 배출량의 경시적 변화는 Fig. 3과 같다. 당근 재배기간 동안 토양수분함량 범위는 '10년 16.9~61.3%, '11년 29.3~64.3%, 토양온도 범위는 '10년 5.8~33.9°C, '11년 6.7~31.2°C로 나타났다. N<sub>2</sub>O 배출 양상은

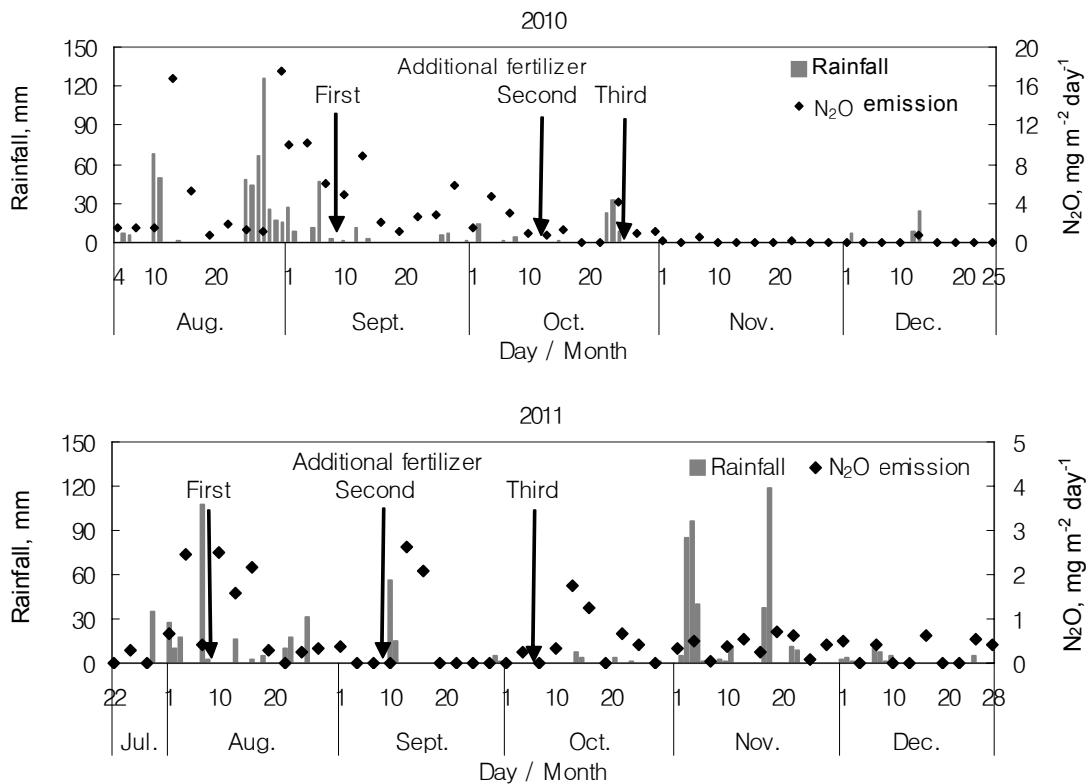
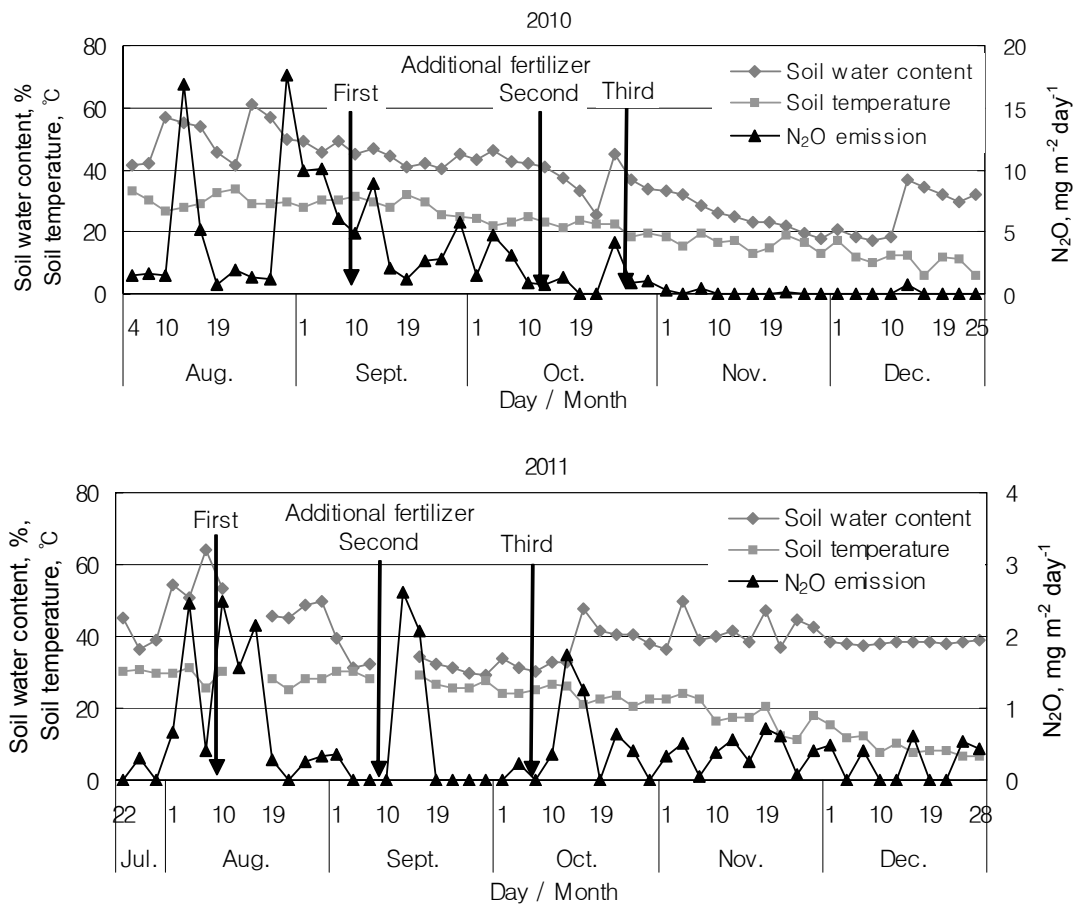


Fig. 2. Temporal changes of N<sub>2</sub>O emissions (N 400 kg ha<sup>-1</sup> treatment) as affected by rainfall in the carrot cultivation field.

토양수분함량 변화와 대체로 유사한 경향이였다. 그러나 토양온도 변화와는 '10년도에는 대체로 유사한 경향을 보였으나, '11년도에는 유사한 경향을 보이지는 않았다. N<sub>2</sub>O 배출은 토양수분함량이 건조 시작 단계인 40% (100 kPa) 이상에서는 증가하였으나, 그 이하에서는 매우 적거나 감소하는 경향을 보였다. Kim et al. (2010)은 토양수분 (Stevens et al., 1997; Arnone and Bohlen, 1998; Hou et al., 2000)과 토양온도 (Gödde and Conrad, 1999)의 변화에 따라 N<sub>2</sub>O 배출량의 양상이 비슷하다는 결과와 일치하였다고 하였다. 본 연구에서는 N<sub>2</sub>O 배출 양상은 토양수분 변화와는 일치하는 경향을 보였으나, 토양온도 변화와는 반드시 일치하지는 않았다.

N<sub>2</sub>O 배출량과 토양수분, 토양온도 및 토양 EC와 상관의

유의성을 분석한 결과는 Table 3과 같다. '10년도에는 상관계수(*r*)가 각각 0.5718\*\*, 0.4908\*\*, 0.2704로 토양수분과 토양온도와 고도로 유의성이 인정되었으나, 토양 EC와는 유의성은 인정되지 않았다. '11년도에는 상관계수(*r*)가 각각 0.3394\*, 0.2138, 0.2462로 토양수분과는 유의성이 인정되었으나, 토양온도와 토양 EC와는 유의성은 인정되지 않았다. Kim et al. (2010)은 토양온도, 토양수분, 무기태질소가 N<sub>2</sub>O 배출량과의 상관 관계에서 고도로 유의하여 N<sub>2</sub>O 배출에 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났다고 하였다. Arone and Bohlen (1998)은 N<sub>2</sub>O 배출량과 토양수분 함량과는 정의상관 관계가 있다고 하였으며, Dobbie et al. (1999)은 기후 차이에 관계없이 N<sub>2</sub>O 배출량은 토양수분과 밀접한 관계가 있다고 하였다. 본 연구에서도 N<sub>2</sub>O 배출량은 토양수분, 토양온도와 정의상



**Fig. 3.** Temporal changes of soil water contents, soil temperature and N<sub>2</sub>O emissions (N 400 kg ha<sup>-1</sup> treatment) in the carrot cultivation field.

**Table 3.** Significance test of simple correlation (*r*) between N<sub>2</sub>O emissions and soil water contents, soil temperature, soil EC in the carrot cultivation field.

Division	Year	Soil water contents	Soil temperature	Soil EC
N <sub>2</sub> O	2010	0.5718**	0.4908**	0.2074
Emission	2011	0.3394*	0.2138	0.2462

\* *p*<0.05, \*\* *p*<0.01.

**Table 4. Significance test of simple correlation ( $r$ ) between  $N_2O$  emissions and soil nitrogen in the carrot cultivation field (2011).**

Division	$NO_3-N$	$NO_3-N + NH_4-N$
$N_2O$ emission	0.0575	0.0787

\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ .**Table 5. Emission factor of  $N_2O$  for the carrot cultivation period in the field.**

Year	Nitrogen application amount ( $N \text{ kg ha}^{-1}$ )		ave.
	200	400	
	----- $\text{kg } N_2O-N / N \text{ kg}$ -----		
2010	0.0039	0.0041	0.0040
2011	0.0011	0.0010	0.0011
Average	0.0025	0.0026	0.0025

관을 나타내어 유의성이 인정되었지만, 이중 토양수분이  $N_2O$  배출에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다.

2011년도  $N_2O$  배출량과 토양 질소와 상관의 유의성을 분석한 결과는 Table 4와 같다.  $N_2O$  배출량과  $NO_3-N$  및 토양 질소 ( $NO_3-N + NH_4-N$ )와의 상관계수( $r$ )가 각각 0.0575과 0.0787로 유의성이 인정되지 않았다. 토양 중 질소 시비량의 증가에 따라 토양 중  $N_2O$  배출량도 동시에 증가하며, 토양 중 무기태 질소인  $NH_4^+$ 에 의해  $N_2O$  배출이 가장 크다고 하였다 (Månsson and Falkengren-Grerup, 2003; Xu et al., 2004). 또한, 토양 중의 무기태 질소인  $NO_3-N$ 의 상승이  $N_2O$  배출을 증가시킨다고 하였다 (Hellebrand et al., 2008). 본 연구에서는  $N_2O$  배출량은  $NO_3-N$  및 토양 질소 ( $NO_3-N + NH_4-N$ )와는 유의성이 인정되지는 않았지만, 토양 중의 질소함량이 많을수록 대체로 높게 나타나  $N_2O$  배출에 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다.

당근 재배기간 동안 질소시비량에 대한 배출계수는 Table 5와 같다. 질소 표준시비구와 표준시비 2배구에 대한 배출계수는 '10년도에는 각각 0.0039와 0.0041  $N_2O-N \text{ kg} / N \text{ kg}$ , '11년도에는 각각 0.0011과 0.0010  $N_2O-N \text{ kg} / N \text{ kg}$ 로 산출되었다. '10년과 '11년 2개년 평균 배출계수는 0.0025  $N_2O-N \text{ kg} / N \text{ kg}$ 로 IPCC의 0.0100  $N_2O-N \text{ kg} / N \text{ kg}$ 보다 4배 낮았다. '11년도의  $N_2O$  배출계수는 '10년도에 비해 4배 정도 낮았다. 이는 7월하순~10월까지의 강우량 및 강우 횟수가 '11년도에는 381 mm, 26회로 '10년도의 690 mm, 43회에 비해 적어 토양수분이 충분하지 않았기 때문인 것으로 생각된다.  $N_2O$  배출계수는 질소시비량에 대한  $N_2O$  배출량을 계수로 나타낸 값으로,  $N_2O$ 은 질소시비량이 적으면 적게 배출하고 많으면 많이 배출한다는 것을 의미한다. 따라서 질소비료 사용량에 대한 온실가스 배출량 정확한 평가를 위해서는 배출계수 개발은 매우 중요하다고 생각된다.

이상과 같이 당근 재배 화산회 토양에서 질소시비 수준 및 강우, 온도 환경 변화에 따른  $N_2O$  발생 양상 및 배출량은 재

배 초기와 중기에 토양수분이 많고 적음에 따라 크게 달라지는 것으로 나타났다.  $N_2O$  배출계수는 2개년 평균 0.0025  $N_2O-N \text{ kg} / N \text{ kg}$ 로 IPCC의 배출계수보다 4배 더 낮았다. 농경지에서 발생하는 온실가스를 줄이기 위해서는  $N_2O$  배출에 제일 크게 영향을 미치는 요인인 토양수분을 적절히 관리하거나,  $N_2O$  배출에 직접적으로 관련이 있는 질소시비량을 토양검정에 의한 추천시비를 통하여 적절히 조절함으로써 가능할 것으로 생각된다.  $N_2O$  배출계수는 IPCC보다 4배 정도 낮은 것으로 나타나 적용시 농업분야 온실가스 배출량 감축에 기여할 것으로 생각된다. 그러나 온실가스 배출량 산출 적용을 위해서는 금후 지속적으로 연구 검토가 이루어진 후에 적용해야 할 것으로 생각된다.

## 요 약

본 연구는 당근 재배 화산회 토양에서 질소시비 수준 및 강우, 온도 환경 변화에 따른  $N_2O$  발생 양상 특성 구명하기 위하여 제주특별자치도농업기술원 시험포장에서 2년간(2010~2011년) 수행되었다. 당근 재배기간 동안  $N_2O$  배출량은 질소시비량이 많을수록 많았다. 대체적으로  $N_2O$  배출량은 강우량 많은 시기인 재배 초기와 중기에 많았으나, 강우가 적고 한발 시기인 재배 말기에는 매우 적거나 거의 없는 경향을 보였다.  $N_2O$  배출 양상은 강우 패턴 및 토양수분함량 변화와 대체로 유사한 경향을 보였다.  $N_2O$  배출량과 상관관계( $r$ )를 분석한 결과, '10년도에는 토양수분, 토양온도는 각각 0.5718<sup>\*\*</sup>, 0.4908<sup>\*\*</sup>로 유의성이 인정되었으나, 토양 EC는 0.2704로 유의성은 인정되지 않았다. '11년도에는 토양수분은 0.3394<sup>\*</sup>로 유의성이 인정되었으나, 토양온도와 토양 EC는 각각 0.2138, 0.2462로 유의성은 인정되지 않았다.  $NO_3-N$  및 토양 질소 ( $NO_3-N + NH_4-N$ )와는 각각 0.0575, 0.0787로 유의성이 인정되지 않았다. 당근 재배기간 동안 질소시비량에 의하여 배출된 2개년 평균 배출계수는 0.0025  $N_2O-N \text{ kg} / N \text{ kg}$ 로

추정되었으며, IPCC (0.0100 N<sub>2</sub>O-N kg / N kg) 배출계수 보다 약 4배 낮았다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청의 공동연구사업 (과제번호 : PJ00-6783062012)에서 연구비를 지원 받았습니다.

## 인 용 문 헌

- Arone, J.A. and P.J. Bohlen. 1998. Stimulated N<sub>2</sub>O flux from intact grassland monoliths after two growing seasons under elevated atmospheric CO<sub>2</sub>. *Oecologia*. 116:331- 335.
- Bouwman, A.F. 1990. Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. p. 61-127. In; A.F. Bouwman (ed.) *Soils and the greenhouse affect*. John Wiley and Sons. New York.
- Davidson, E.A. 1991. Fluxes of nixes of nitrous oxide and nitric oxide from terrestrial ecosystems. In: *Microbial Production and Consumption of Greenhouse Gases: Methane, Nitrous Oxide and Halomethanes* (eds Rogers JE, Whitman WB), American Soc. of Microbiol., Washington, D.C. 219-235.
- Denmead, O.T. 1979. Chamber systems for measuring nitrous oxide emission from soils in the field. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43:89-95.
- Dobbie, K.E., I.P. McTaggart, and K.A. Smith. 1999. Nitrous oxide emissions from intensive agricultural systems: variations between crop and seasons; key driving variables; and mean emission factors. *J. Geophys. Res.* 104:26891-26899.
- Frenzy, J.R. 1997. Emission of nitrous oxide from soils used for agriculture. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 49:1-6.
- Frolking, S.E., A.R. Mosier, and D.S. Ojima. 1998. Comparison of N<sub>2</sub>O emissions from soils at three temperate agricultural sites: simulations of year-round measurements by four models. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 52:77-105.
- Gödde, M. and R. Conrad. 1999. Immediate and adaptational temperature effects on nitric oxide production and nitrous oxide release from nitrification and denitrification in tow soils. *Biol. Fertil. Soils*. 30:33-40.
- Hellebrand, H.J., V. Scholz, and J. Kern. 2008. Fertilizer induced nitrous oxide emissions during energy crop cultivation on loamy sand soils. *Atmospheric Environment*. 42:8403-8411.
- Hou, A., H. Akiyama, Y. Nakajima, S. Sudo, and H. Tsuruta. 2000. Effects of urea form and soil moisture on N<sub>2</sub>O emissions from Japanese Andosols. *Chemosphere-Global Change Science*. 2:321-327.
- Houghton, R.A. and D.L. Skole. 1990. Change in the global carbon cycle between 1700 and 1985. In: B.L. Turner. (ed.) *The earth transformed by human action*. Cambridge University Press.
- IPCC. 1996. IPCC guideline for national greenhouse gas inventories.
- IPCC. 2000. Good practice guideline and uncertainty management in national greenhouse gas inventories.
- Iserman, K. 1994. Agriculture's share in the emissions of trace gases affecting the climate and some cause oriented proposals for reducing this share. *Environ.* 83, 95-111.
- Kim, G.Y., K.H. So, H.C. Jeong, K.M. Shin, S.B. Lee, and D.B. Lee. 2010. Evaluation of N<sub>2</sub>O emissions with changes of soil temperature, soil water content and mineral N in red pepper and soybean field. *Korean J. Soil Sci. Fert.* Vol. 43(6):880-885.
- Lemke, R.L., R.C. Izaurralde, S.S. Malhi, M.A. Arshad, and M. Nyborg. 1998. Nitrous oxide emissions from agricultural soils of the Boreal and Parkland regions of Alberta. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:1096-1102.
- 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 if IGAC Symposium*, Nagoya, Japan.
- Moiser, A., C. Kroeze, C. Nevison, O. Oenema, S. Seitzinger, and O. van Cleemput. 1998. Closing the global N<sub>2</sub>O budget: nitro oxide emissionf through the agricultural nitrogen cycle. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 52:225-248.
- NIAST. 2000. *Methods of soil chemical analysis*. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Parton, W.J., A.R. Mosier, D.O. Ojima, D.W. Valentine, D.S. Schimel, K. Weier, and A.E. Kulmala. 1996. Generalized model for N<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O production from nitrification and denitrification. *Global Biochem. Cycles*. 10:401-412.
- Smith, K.A., I.P. McTaggart, and H. Tsuruta. 1997. Emissions of N<sub>2</sub>O and NO associated with nitrogen fertilization in intensive agriculture and the potential for mitigation. *Soil Use and Management*. 13:296-304.
- 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.
- Wagner-Riddle, C., G.W. Thurtell, G.E. Kidd, E.G. Beauchamp, and R. Sweetman. 1997. Estimates of nitrous oxide emissions from agricultural fields over 28 months. *Can. J. Soil Sci.* 77:135-144.
- Xu, Z., H. Ouyang, G. Cao, Z. Pei, and C. Zhou. 2004. Nitrogen deposition and carbon sequestration in alpine meadows. *Biogeochemistry*. 71:353-369.