

# 감자 재배 화산회토양에서 질소시비 수준, 강우 및 온도 환경 변화에 따른 아산화질소 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 Potato 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 investigate the characteristic factors which have been influenced on nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emissions related to the environment change of nitrogen application level, rainfall and temperature during the potato cultivation at black volcanic ash soil from 2010 to 2011. During the potato cultivation, the more amount of nitrogen fertilizer applied, N<sub>2</sub>O emissions amounts were released much. N<sub>2</sub>O emissions with the cultivation time were released much at the first and middle of cultivation with heavy rainfall, but it was released very low until the end of cultivation and drought season. N<sub>2</sub>O emissions mainly were influenced by the rainfall and soil water content. The correlation (*r*) with N<sub>2</sub>O emissions, soil wate, soil temperature in 2010 were very significant at 0.6251\*\* and 0.6082\*\* respectively, but soil EC was not significant to 0.10824. In 2011, soil temperature was very significant at 0.4879\*\*, but soil water and soil EC were not significant at 0.0468 and 0.0400 respectively. Also, NH<sub>4</sub>-N was very significant at 0.7476\*\*, but NO<sub>3</sub>-N and soil nitrogen (NO<sub>3</sub>-N + NH<sub>4</sub>-N) were not significant at 0.0843 and 0.1797, respectively. During the potato cultivation period, the average emissions factor of 2 years released by the nitrogen fertilizer application was presumed to be 0.0040 (N<sub>2</sub>O-N kg N<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup>). This factor was lower about 2.5 times than the IPCC guideline default value (0.0100 N<sub>2</sub>O-N kg N<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup>).

**Key words:** Jeju black volcanic ash soil, Potato 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 발생된다. 농경지 토양에서의 N<sub>2</sub>O는 주로 화학비료, 축산분뇨 및 질소 고정작물 등의 질소원에 의해 배출된다(IPCC, 1996; Moiser et al., 1998). 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)는 농경지에서 대기로 배출되는 N<sub>2</sub>O

는 질소비료에 가장 큰 영향을 받는다고 하였고, Houghton and Skole (1990)는 토양환경 변화가 대기 중 N<sub>2</sub>O 증가에 많은 영향을 미친다고 하였다. 농경지 토양에서의 N<sub>2</sub>O 배출은 온도, pH, 강우, 비료 사용량, 경작방법, 토성, 산소농도, 식생, 경지이용 등 여러 요인에 의해 영향을 받는다(Freney, 1997). 제주지역의 화산회 토양은 약 70% 이상을 차지하며 미사질양토가 대부분으로 유기물(7~25%) 함량이 높아 가볍고 대공극이 많아 물빠짐이 양호한 토양이다. 이러한 특성으로 인하여 화산회 토양에서는 지하부로의 질소 용탈이 많아 아산화질소 발생이 육지부의 토양(유기물 3% 이하)에 비해 적어질 것으로 생각된다. 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). N<sub>2</sub>O 배출은 토양수분을 조절하여 줄일 수 있으며, 대기온도에 따른 토양온도 변화에도 N<sub>2</sub>O 배출에 영향을 받는다고 하였다(Frolking et al., 1998; Parton et al.,

접수 : 2012. 3. 9 수리 : 2012. 7. 11

\*연락처 : Phone: +82647607332

E-mail: yang0420@korea.kr

1996). N<sub>2</sub>O 배출량과 토양수분 함량과의 관계에서 토양공극에 대한 용적수분 함량 비율이 70~90%에서 탈질이 가장 많이 일어나며, 90% 이상에서는 N<sub>2</sub>O 배출량이 급격히 감소한다고 하였다 (Lemke et al., 1998; Wagner-Riddle et al., 1997). 또한, 토양 중 무기태 질소인 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>에 의해 N<sub>2</sub>O 배출이 가장 크다고 하였고 (Månsson and Falkengren-Grerup, 2003; Xu et al., 2004), Hellebrand et al. (2008)은 토양의 무기태 질소 가운데 NO<sub>3</sub>-N의 증가가 N<sub>2</sub>O 배출을 증가시킨다고 하였다. Davidson (1991)은 호기 조건의 건조 토양은 미생물에 의해 질산화작용이 촉진되고, 상대적으로 습한 토양에서는 탈질현상으로 N<sub>2</sub>O의 발생이 증가한다고 하였다.

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<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup>를 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 감자 재배 화산회 토양에서 질소시비 수준 및 강우, 온도 환경 변화에 따른 N<sub>2</sub>O 배출량을 측정하고 배출에 영향을 미치는 요인을 분석하여 온실가스 배출량 산정에 필요한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

## 재료 및 방법

본 시험은 토양의 수분, 온도, EC 및 무기태질소가 밭토양 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 미사질식양토로서 이화학적 특성은 Table 1과 같았다.

감자 (*Dejima*, *Solanum tuberosum* L., 제주특별자치도 농산물원종장)는 9월 9일 (2010년)과 8월 25일 (2011년)에 비료를 시비하고 관리기로 경운한 후 재식거리를 70 cm (후폭) × 25 cm (주간)로 파종하였고, 수확은 '10년과 '11년 모두 이듬해 1월에 하였다. 시험구 면적은 20 m<sup>2</sup>로 하여 시험구 처리를 무비구, 표준시비구, 표준시비 2배구의 3처리 단

구제로 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 : 180-250-190 kg ha<sup>-1</sup>, 표준시비 2배구는 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O : 360-500-380 kg ha<sup>-1</sup>을 사용하였다. 질소, 인산 및 칼리는 요소, 용성인비 및 염화칼리로 전량 기비 하였다.

강우량은 농업기술원 야외에 설치된 자동기상측정장비 (CR1000, Campbell)에서 측정되는 일별 자료를 이용하였다. 토양의 화학성은 농촌진흥청 토양화학분석법 (NIAS, 1988)에 준하여 분석하였다. pH (1:5)는 초사전극법, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 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) 데이터로거 (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 9월 11일 ~ 12월 26일, '11년도에는 8월 26일 ~ 12월 29일 까지 측정하였다.

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

Table 1. Chemical properties of soil used.

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 H <sub>2</sub> O)	g kg <sup>-1</sup>	-----	mg kg <sup>-1</sup>	-----	-----	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	-----
2010	5.7	160.2	8.87	9.98	19.0	0.2	2.8	0.8
2011	5.8	159.7	7.77	27.6	8.57	0.3	2.9	0.9

\*O.M. : organic mater, Avail. : available phosphate(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), Exch. : exchangeable cation.

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

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

ρ : 가스밀도 (mg m<sup>-3</sup>)

N<sub>2</sub>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.

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

누적배출량 : 연간 N<sub>2</sub>O 누적배출량 (kg N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</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>O 배출에 대한 상관분석은 SAS를 이용하여 분석하였다.

### 결과 및 고찰

감자 재배기간 동안 질소시비량에 따른 N<sub>2</sub>O 배출 변화는 Fig. 1과 Table 2와 같다. '10년과 '11년도의 N<sub>2</sub>O 배출량은 무비구 N 0 kg ha<sup>-1</sup>는 0.892와 0.029 kg N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, 표준시비구 N 180 kg ha<sup>-1</sup>는 2,566과 0.492 kg N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, 표준시비 2배구 N 360 kg ha<sup>-1</sup>는 5,413과 1.088 kg N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>로 질소시비량이 많을수록 높았다. 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). 또한, Davidson (1991)은 습한 토양에서는 탈질현상으로 N<sub>2</sub>O의 발생이 증가한다고 하였다. 감자 재배기간 동안 N<sub>2</sub>O는 '10년도에는 9월중순~10월하순, '11년도에는 8월하순~9월하순에 대부분 배출되는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 감자 재배 초기와 중기에는 강우량이 집중되는 기간으로 토양수분이 증가함에 따라 질소비료의 탈질 현상이 활발히 일어나기 때문에 N<sub>2</sub>O 발생이 증가하는 것으로 생각된다.

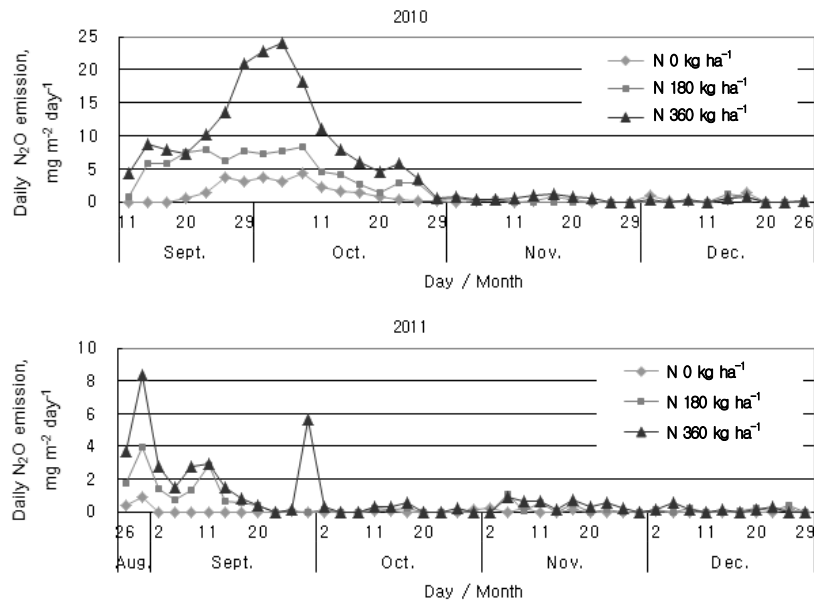


Fig. 1. Changes of N<sub>2</sub>O emissions to the amount of nitrogen fertilizer applied in the potato cultivation field.

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

Year	Nitrogen application amount (N kg ha <sup>-1</sup> )		
	0	180	360
	----- kg N <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> -----		
2010	0.892	2.566	5.413
2011	0.029	0.492	1.088
ave.	0.461	1.529	3.251

자연 강우에 따른 N<sub>2</sub>O 배출량의 경시적 변화는 Fig. 2와 같다. 감자 재배기간 동안 강우는 '10년도에는 9월중순~10월하순에 소량씩 자주 내렸으며, '11년도에는 8월하순, 9월중순 및 11월에 많았다. 그 이외의 기간에는 강우가 적거나 한발 현상이 나타났다. 감자 재배기간 동안 N<sub>2</sub>O 배출 양상은 강우량 패턴과 비슷한 경향을 보였다. N<sub>2</sub>O 배출량은 '10년도에는 재배 초기와 중기인 9월중순~10월하순에 대체로 강우량이 많은 시기에 많았고, '11년도에는 8월하순~9월하순에 많았다. 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 작

용이 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. 연도별 N<sub>2</sub>O 배출 양상이 다소 다르게 나타나는 것은 재배 시기와 강우 패턴에 따라 토양수분상태가 다르기 때문인 것으로 생각된다. 또한, N<sub>2</sub>O 포집 및 측정은 강우일을 고려하지 않고 일정 주기 (3일 간격)로 하였으므로 일 강우 패턴을 모두 반영하지는 못했기 때문인 것으로 생각된다.

토양수분, 토양온도와 N<sub>2</sub>O 배출량의 경시적 변화는 Fig. 3과 같다. 감자 재배기간 동안 토양수분함량 범위는 '10년 42.5~74.0%, '11년 38.0~64.7%, 토양온도 범위는 '10년

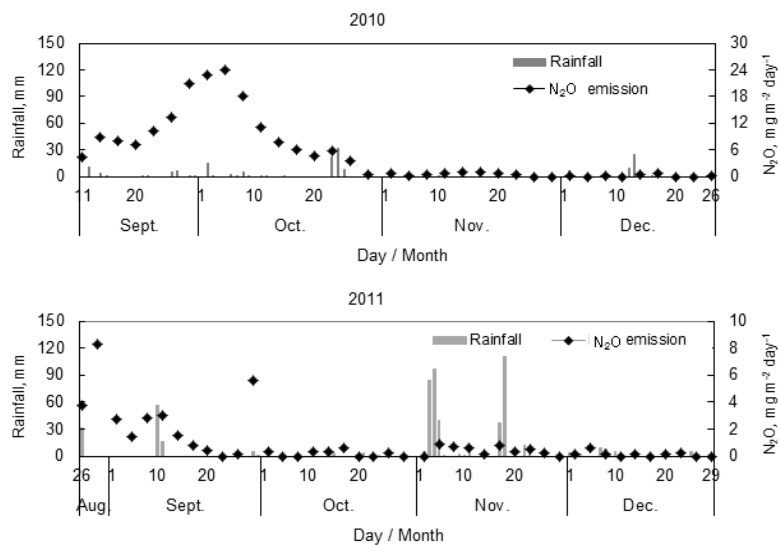


Fig. 2. Changes of N<sub>2</sub>O emissions as affected by rainfall in the potato cultivation field.

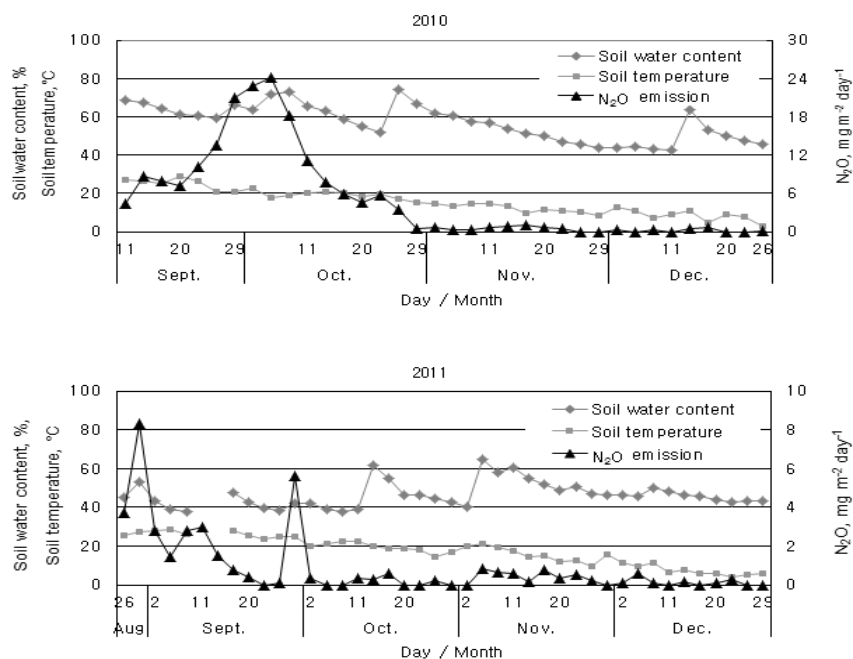


Fig. 3. Changes of N<sub>2</sub>O emissions with different soil water contents and soil temperature in the potato cultivation field.

2.9~28.8°C, '11년 3.8~28.3°C로 나타났다. N<sub>2</sub>O 배출 양상은 토양온도 변화와 대체로 유사한 경향이였다. 그러나 토양수분 변화와는 '10년도에는 대체로 유사한 경향을 보였으나, '11년도에는 유사한 경향을 보이지는 않았다. Kim et al. (2010)은 토양수분 (Stevens et al., 1997; Arnone and Bohlen, 1998; Hou et al., 2000)과 토양온도 (G dde 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 토양온도 변화와는 일치하는 경향을 보였으나, 토양수분 변화와는 반드시 일치하지는 않았다.

N<sub>2</sub>O 배출량과 토양수분, 토양온도 및 토양 EC와의 상관관계는 Fig. 4와 같으며, 상관의 유의성을 분석한 결과 (Table 3), '10년도에는 각각 0.6251\*\*, 0.6082\*\*, 0.1082로 토양수분과 토양온도와 고도로 유의성이 인정되었으나, 토양 EC와는 유의성은 인정되지 않았다. '11년도에는 각각 0.0469, 0.4879\*, 0.0400으로 토양온도와는 유의성이 인정되었으나, 토양수분과 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 함량은 정의상관 관계가 있다고 하였으며, Dobbie et al. (1999)은 기후 차이에 관계없이 N<sub>2</sub>O 배출량은 토양수분과 밀접한

관계가 있다고 하였다. 본 연구에서는 토양온도가 '10년과 '11년 모두 N<sub>2</sub>O 배출량과 유의성이 인정되어 N<sub>2</sub>O 배출에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다.

2011년도 N<sub>2</sub>O 배출량과 토양 질소와의 상관 관계는 Fig. 5와 같으며, 상관의 유의성을 분석한 결과 (Table 4), N<sub>2</sub>O 배출량은 NH<sub>4</sub>-N과는 0.7476\*\* 로 고도로 유의성이 인정되었으나, NO<sub>3</sub>-N과 토양 질소 (NO<sub>3</sub>-N + NH<sub>4</sub>-N)와는 각각 0.0843과 0.1797로 유의성이 인정되지 않았다. 토양 중 질소 시비량의 증가에 따라 토양 중 N<sub>2</sub>O 배출량도 동시에 증가하며, 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 상승이 N<sub>2</sub>O 배출을 증가시킨다고 하였다 (Hellebrand et al., 2008). 본 연구에서는 N<sub>2</sub>O 배출량은 대체로 토양 중의 질소함량이 많을수록 높았으며, 특히 토양 질소 중 NH<sub>4</sub>-N과 고도로 유의하여 N<sub>2</sub>O 배출에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다.

감자 재배기간 동안 질소시비량에 대한 배출계수는 Table 5와 같다. 질소 표준시비구와 표준시비 2배구에 대한 배출계수는 '10년도에는 각각 0.0053와 0.0072 N<sub>2</sub>O-N kg N<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup>, '11년도에는 각각 0.0015와 0.0017 N<sub>2</sub>O-N kg N<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup>으로 산출되었다. '10년과 '11년 2개년 평균 배출계수는 0.0040 N<sub>2</sub>O-N kg N<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup>으로 IPCC의 0.0100 N<sub>2</sub>O-N kg

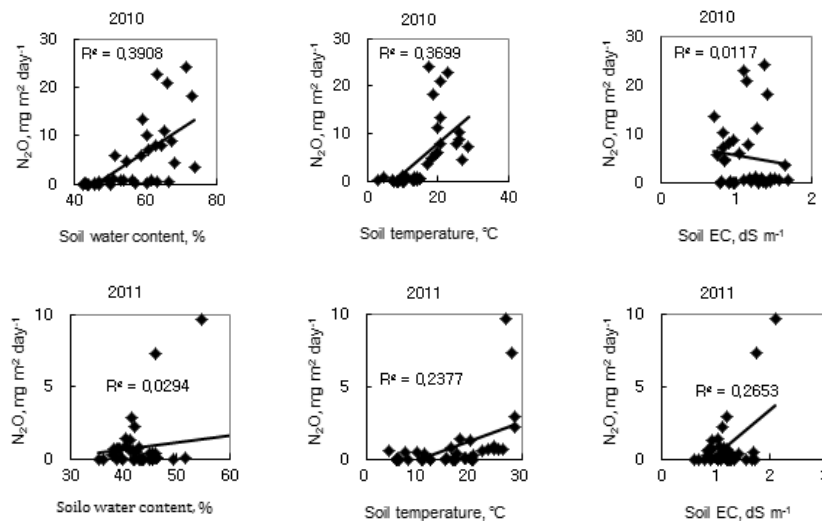


Fig. 4. Correlation of N<sub>2</sub>O emissions among soil water contents, soil temperature and soil EC in the potato cultivation field.

Table 3. Correlation coefficient (r) of N<sub>2</sub>O emissions among soil water contents, soil temperature and soil EC in the potato cultivation field.

Year	Soil water contents	Soil temperature	Soil EC
2010	0.6251**	0.6082**	0.1082
2011	0.0469	0.4879**	0.0400

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

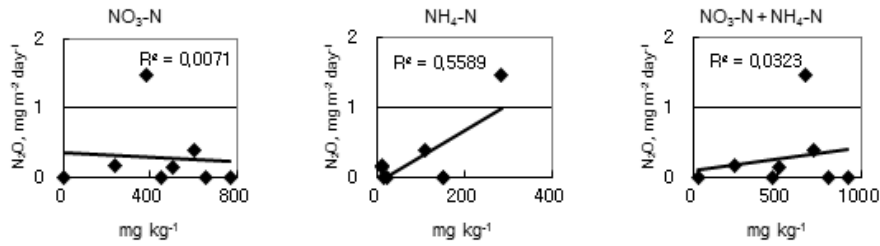


Fig. 5. Correlation of N<sub>2</sub>O emissions with soil nitrogen in the potato cultivation field (2011). Soil was collected to 15 days interval from seeding to harvester.

Table 4. Correlation coefficient (*r*) of N<sub>2</sub>O emissions with soil nitrogen in the potato cultivation field (2011).

Year	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N + NH <sub>4</sub> -N
2011	0.0843	0.7476*	0.1797

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

Table 5. Emission factor of N<sub>2</sub>O with different nitrogen application rates with the potato cultivation.

Year	Nitrogen application amount (N kg ha <sup>-1</sup> )		ave.
	180	360	
	----- kg N <sub>2</sub> O-N N <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> -----		
2010	0.0053	0.0072	0.0063
2011	0.0015	0.0017	0.0016
ave.	0.0034	0.0045	0.0040

N<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup>보다 2.5배 낮았다. '11년도의 N<sub>2</sub>O 배출계수는 '10년도에 비해 4배 정도 낮았다. 이는 8월하순~10월하순까지의 강우량 및 강우 횟수가 '10년도에 비해 적어 토양수분이 충분하지 않았기 때문인 것으로 생각된다.

이상과 같이 제주지역 화산회 토양에서 감자 재배 시 질소시비량에 따른 N<sub>2</sub>O 배출양상 및 배출량은 재배 초기와 중기에 토양수분이 많고 적음에 따라 크게 달라지는 것으로 나타났다. 그러므로 농경지에서 발생하는 온실가스를 줄이기 위해서는 N<sub>2</sub>O 배출에 제일 크게 영향을 미치는 요인인 토양수분을 적절히 관리하거나, N<sub>2</sub>O 배출에 직접적으로 관련이 있는 질소시비량을 토양검정에 의한 추천시비를 통하여 적절히 조절함으로써 가능할 것으로 생각된다. 또한 배출계수는 IPCC보다 2.5배 정도 낮은 것으로 나타났지만, 배출량 산출 적용을 위해서는 금후 지속적으로 연구 검토가 이루어진 후에 적용해야 할 것으로 생각된다.

## 요 약

본 연구는 감자 재배 화산회 토양에서 질소시비 수준 및 강우, 온도 환경 변화에 따른 N<sub>2</sub>O 배출량을 측정하고 배출에 영향을 미치는 요인 특성을 구명하기 위하여 제주특별자치도농업기술원 시험포장에서 2년간 (2010~2011년) 수행되었다.

감자 재배기간 동안 N<sub>2</sub>O 배출량은 질소시비량이 많을수록 많았다. 재배시기별 N<sub>2</sub>O 배출량은 강우량 많은 시기인 재배 초기와 중기에 많았으나, 강우가 적고 한발 시기인 재배 말기에는 매우 적거나 거의 없는 경향을 보였다. N<sub>2</sub>O 배출 양상은 강우량 및 토양수분함량 변화와 대체로 유사한 경향을 보였다. N<sub>2</sub>O 배출량과 상관관계 (*r*)를 분석한 결과, '10년도에는 토양수분과 토양온도는 각각 0.6251<sup>\*\*</sup>, 0.6082<sup>\*\*</sup>로 고도로 유의성이 인정되었으나, 토양 EC와는 0.1082로 유의성은 인정되지 않았다. '11년도에는 토양온도와는 0.4879<sup>\*\*</sup>로 유의성이 인정되었으나, 토양수분과 토양 EC와는 각각 0.0469, 0.0400으로 유의성은 인정되지 않았다. NH<sub>4</sub>-N과는 0.7476<sup>\*\*</sup>로 고도로 유의성이 인정되었으나, NO<sub>3</sub>-N과 토양 질소 (NO<sub>3</sub>-N + NH<sub>4</sub>-N)와는 각각 0.0843과 0.1797로 유의성이 인정되지 않았다. 질소시비량에 따른 2년 동안의 N<sub>2</sub>O 배출량을 배출계수로 환산한 값은 0.0040 N<sub>2</sub>O-N kg N<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup>로 IPCC 가이드라인의 기본계수인 0.0100 N<sub>2</sub>O-N kg N<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup> 보다는 약 2.5배 낮은 것으로 분석되었다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청의 공동연구사업 (과제번호 : PJ006783062012)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 Soc. of America 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.
- Freney, J.R. 1997. Emission of nitrous oxide from soils used for agriculture. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 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. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 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. *Atmos. Environ.* 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.
- IPCC. 2006. IPCC guideline for 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. Shim, 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.
- Lenke, 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, and 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 ecol. Manag.* 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. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 52:225-248.
- NIAST. 1988. *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 Managet.* 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 dentrification 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.