

배추의 재배시기와 경운 유·무에 따른 아산화질소 배출 평가

김건엽* · 정현철 · 심교문 · 이슬비 · 이덕배

농촌진흥청 국립농업과학원

Evaluation of N₂O Emissions with Different Growing Periods (Spring and Autumn Seasons), Tillage and No Tillage Conditions in a Chinese Cabbage Field

Gun-Yeob Kim*, 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 has increased with a rise of greenhouse gases (GHGs) concentration in Earth's atmosphere. Nitrous oxide (N₂O) emission in upland fields were assessed in terms of emissions and their control at the experimental plots of National Academy of Agricultural Science (NAAS), Rural Development Administration (RDA) located in Suwon city. It was evaluated N₂O emissions with different growing periods (spring and autumn seasons), tillage and no tillage conditions in a chinese cabbage field. The results were as follows: 1) An amount of N₂O emissions were high in the order of Swine manure compost>NPK>Hairy vetch+N fertilizer. By tillage and no tillage conditions, N₂O emissions were reduced to 33.7~51.8% (spring season) and 31.4~76.7% (autumn season) in no-tillage than tillage conditions. 2) In autumn season than those spring season, N₂O emissions at NPK, hairy vetch+N fertilizer and swine manure compost were reduced to 49.6%, 39.0% and 60.0%, respectively, in tillage treatment and 59.5%, 70.6% and 58.7%, respectively, in no-tillage treatment. 3) N₂O emission measured in this study was 15.2~86.4% lower with tillage and no tillage treatments than that of the IPCC default value (0.0125 kg N₂O-N/kg N).

Key words: N₂O emissions, Fertilization, Chinese cabbage

서 언

농업부문에서 발생하는 온실가스 배출원 중 지구온난화 잠재력이 CO₂ 대비 310배에 해당하는 N₂O 농도는 산업혁명 이전 대기 중 270 ppb에서 2006년에 320 ppb로 약 1.2배 증가하였다. 농업활동에서 N₂O의 주 배출원은 질소질 비료 및 가축분뇨이며, N₂O의 지구온난화 기여율은 5%이상인 것으로 알려져 있다 (IPCC, 1996).

Iserman et al. (1994)은 농경지에 사용된 질소비료 절반은 무기태질소의 형태로 유실되고, 농경지로부터 대기로 배출되는 N₂O 중 81% 정도가 질소비료 사용에 의해 배출된다고 하였다. 질소비료 사용은 농경지로부터 대기로 배출되는 N₂O의 가장 큰 요인으로 작용하고 있다 (Minami et al., 1997). Hellebrand et al. (2008)은 토양의 무기태 질소 가운

데 NO₃-N의 상승이 N₂O 배출을 증가시킨다고 하였다.

그러나 Firestone et al. (1989)은 토양에서 N₂O의 배출은 유기물이나 비료 사용을 줄이는 것보다 토양 중에서 발생하는 질산화 및 탈질 작용 등 생화학적 과정을 적절히 조절하는 것이 더 큰 효과를 볼 수 있다고 하였다. Frohking et al. (1998)과 Parton et al. (1996)은 토양수분을 조절하여 N₂O 배출을 줄일 수 있으며, 대기온도에 따른 토양온도 변화에도 N₂O 배출에 영향을 받는다고 하였다.

경운방법에 따라 온실가스 배출에 영향을 받는다. 무경운 재배는 경운재배와 비교하여 노동력과 생산 비용을 절감할 수 있고, 토양의 물리적, 생태적인 조건들을 변화 시키지 않는 재배 방법 중의 하나이다. Keren et al. (1993)은 밭작물에서 무경운 재배에 의한 온실가스 배출 감축 효과는 아산화질소 배출이 감소하고 토양유기탄소는 증가하는 반면, 경운재배는 아산화질소 배출이 증가한다고 하였다.

따라서 본 논문에서는 밭에서 N₂O 배출에 영향을 주는 요인 중 토양온도의 특성을 파악하고 질소질원과 재배시기에 따라 N₂O 배출에 얼마나 영향을 주는지를 정량적으로 밝히

접수 : 2011. 11. 18 수리 : 2011. 12. 12

*연락처 : Phone: +82312900240

E-mail: gykim@rda.go.kr

Table 1. Chemical properties of soil before experiment.

Year	pH	EC	O.M	Avail. P ₂ O ₅ NH ₄ -N NO ₃ -N			Exch. Cation		
							K	Ca	Mg
	(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹			cmole kg ⁻¹		
2009	6.9	0.2	16.0	286.1	12.7	6.0	0.4	7.0	3.2
2010	6.8	0.3	15.8	254.7	11.5	5.8	0.6	6.1	1.6

고 온실가스 관리에 필요한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

본 시험은 경운방법, 질소질원, 재배시기 등 밭 토양 N₂O 배출에 미치는 영향을 살펴보기 위해 수원시에 위치한 국립농업과학원의 배추재배 시험포장에서 2년간 (2009~2010년) 수행하였다. 시험 토양은 고평통 식양토 (37°15′27.68″N, 126°59′16.05″E)에서 유기물 함량이 16.0 (2009), 15.8 (2010) g kg⁻¹, 암모니아태질소가 12.7, 11.5 mg kg⁻¹ 그리고 질산태 질소가 6.0, 5.8 mg kg⁻¹로서 토양의 이화학적 분석은 Table 1과 같으며, 무기태질소는 Mulvaney (1996)의 2 mol KCl방법으로 분석하였다 (Table 1).

배추 (시암)는 봄배추를 4월 21일 ('09)과 4월 16일 ('10)에 파종하여 5월 11일 ('09)과 5월 3일 ('10)에 정식하였고, 가을 배추는 8월 18일 ('09)과 8월 20일 ('10)에 파종하여 9월 4일 ('09)과 9월 8일 ('10) 노지에 정식하였다. 경운방법으로는 무경운과 경운 2처리로 경운은 토양깊이 20 cm를 경운하였다. 재식거리는 75×30 cm, 시험구 면적은 30 m², 시험구는 2² 요인시험 3반복, 배추 수확은 봄배추 6월 30일, 가을배추 11월 10일에 하였다.

시비는 농촌진흥청 작물별 시비처방기준 (1999)에 의한 표준시비방법으로 하였다. 시비처리로 화학비료 (대조구)는 N-P₂O₅-K₂O : 320-78-198 kg ha⁻¹, 헤어리베치+N 처리구는 화학비료 질소 320 kg 해당량인 160-78-198 kg ha⁻¹과 헤어리베치는 질소 320 kg 해당량인 생초 8,800 kg ha⁻¹, 그리고 축분퇴비는 질소 320 kg 해당량인 돈분퇴비 2,963 kg ha⁻¹을 사용하였다. 질소는 요소를 2회 분시, 인산은 용성인 비로 전량 기비, 칼리는 염화칼리를 1회 분시 하였으며, 헤어리베치와 돈분퇴비는 전량 기비 하였다.

토양온도 측정은 Hydraprobe (Stevens-water Co.)를 작물의 근권인 토양 깊이 20 cm에 설치하여 측정하였다. N₂O 포집 방법은 비정체형, 밀폐형태인 순환형 상자법 (Denmead et al., 1979)을 이용하여 외부로의 공기 유출이 없도록 시험포장에서 포집하였고, 설치된 chamber는 지름이 0.25 m, 높이가 0.5 m인 PVC 소재로 제작하였다. N₂O 가스시료 채취는 Yagi et al. (1991)의 방법에 의하여 10:00~13:00시 사이에 60 ml 주사기로 1주일에 2회 채취하여 분석하였다.

Table 2. Gas chromatographic analysis conditions for N₂O measurement.

Detector	ECD	
Column	Packing material	Porapack Q (80/100)
	Materials	Stainless steel
	O.D. × length	1/8" × 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	

채취한 공기 시료의 N₂O 기체농도 분석은 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 °C로 하였다. N₂O 분석 조건은 Table 2와 같다.

플럭스는 다음 식에 따라서 계산하였다.

$$F (\text{mg m}^{-2} \text{ hr}^{-1}) = \rho V A^{-1} \Delta c \Delta t^{-1} 273 T^{-1}$$

ρ 는 가스밀도 (mg m⁻³),

A 는 chamber 바닥면적 (m²),

V 는 chamber 내 공기체적 (m³),

$\Delta c/\Delta t$ 는 chamber내 가스농도의 평균 증가속도 (10⁻⁶ m³ m⁻³ hr⁻¹),

T 는 chamber 내 평균기온 (K)

N₂O ρ 값 ($T=273$ K)은 다음과 같다.

$$\rho_{\text{N}_2\text{O}} = 1.96, \rho_{\text{N}_2\text{O}-\text{N}} = 1.25$$

결과 및 고찰

봄과 가을 배추재배에서 N₂O 배출량과 토양온도의 경시적 변화는 Fig. 1과 같다. 토양온도는 봄배추의 경우 경운처리에서 18.5~23.7 °C, 무경운은 16.3~23.7 °C, 그리고 가을 배추는 경운처리에서 5.7~20.6 °C, 무경운은 6.2~20.6 °C로 가을보다 봄재배에서 토양온도가 높은 것으로 나타났다. N₂O

배출량 추이는 토양온도가 높은 봄배추 재배기간 보다 토양 온도가 낮은 가을배추 재배기간에서, 경운재배 보다 무경운 재배에서 낮은 배출 양상을 보였다. 토양온도의 변화는 재배기간 2년 동안 N₂O 배출 양상과 대체로 유사한 양상을 보였다. 경운 재배에 비해 무경운 재배시 토양온도가 낮은 이유는 Rockwood and Lal (1974)의 콩과 옥수수 멀칭재배에서 경운 토양에 비해 무경운 토양에서 토양온도가 7.6~9.8°C (표토 5 cm)가 낮았다고 하였고, Sidiras and Pavan (1986)은 무경운 토양에서 토양 공극이 경운 토양에 비해 적기 때문에 지열의 이동이 감소하기 때문이라고 하였다. 생육기간 동안 계절에 따른 토양의 기상조건의 차이를 보면, 봄배추는 봄~여름철에 재배하기 때문에 여름철 빈번한 강우로 인한 토양수분 (2년 평균 38.6 vol. %)과 토양온도 (2년 평균 20.1°C)의 상승으로 아산화질소 배출이 증가된 것으로 판단된다. 가을배추는 가을~초겨울 동안 재배하므로 봄배추의 경우에 비해 토양수분 (2년 평균 26.7 vol. %)과 토양온도 (2년 평균 15.6°C)가 낮아 아산화질소 배출이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 토양온도와 토양수분은 N₂O 배출과 정의 상관관계가 있다고 하였으며, 토양온도와 토양수분이 높을수록 N₂O 배출량이 많다고 한 기존의 연구결과들과 같은 경향이 있었다 (Gödde and Conrad, 1999; Kim et al., 2008b; Kim et al., 2010; Sozanska et al., 2002).

N₂O 배출량 추이는 2009년 배추 봄재배를 제외하고 대부

분 전 재배기간 중 토양온도 변화에 따른 N₂O 배출 양상이 같은 흐름을 보였다. 재배기간 중 경운의 유·무에 따라 아산화질소 배출 양상은 경운에 비해 무경운 처리에서 전체적으로 배출량 변동이 낮았다. Douglas (1993)는 밭작물에서 경운재배에 비해 무경운 재배에 의한 온실가스 배출 감축 효과가 높다는 결과와 일치하였다. 경운과 무경운 처리 모두 재배 초기에 질소 양분시용의 효과로 아산화질소 배출량이 높았으며, 질소질원 종류별 시비처리에 따른 아산화질소 배출은 전반적으로 돈분퇴비>NPK>헤어리베치+N 비료 처리 구 순으로 나타났다.

배추의 봄과 가을 생육기간 중 정식 직후부터 2차 홍고추 수확까지 136일 (재배기간 2년 평균)간의 질소공급원 처리별로 N₂O의 총 배출량을 경운과 무경운, 봄과 가을재배에 따라 질소공급원 처리별로 비교한 결과는 Fig. 2와 같이 나타났다. 경운 처리시 N₂O 총 배출량은 2009년에 경운처리 는 2.26~5.44 kg N₂O ha⁻¹ (봄재배)와 1.44~2.51 kg N₂O ha⁻¹ (가을재배)로 나타났고, 무경운처리에서는 0.85~3.76 kg N₂O ha⁻¹ (봄재배)와 0.79~1.68 kg N₂O ha⁻¹ (가을재배)로 나타났다. 경운재배에 비해 무경운 재배가 30.9~62.4% (봄재배) 그리고 33.1~45.1% (가을재배)가 저감되었다. 2010년에서경운처리 는 0.55~2.51 kg N₂O ha⁻¹ (봄재배)와 0.27~0.66 kg N₂O ha⁻¹ (가을재배)로 나타났고, 무경운처리에서는 0.51~1.52 kg N₂O ha⁻¹ (봄재배)와 0.21~0.49 kg N₂O ha⁻¹ (가

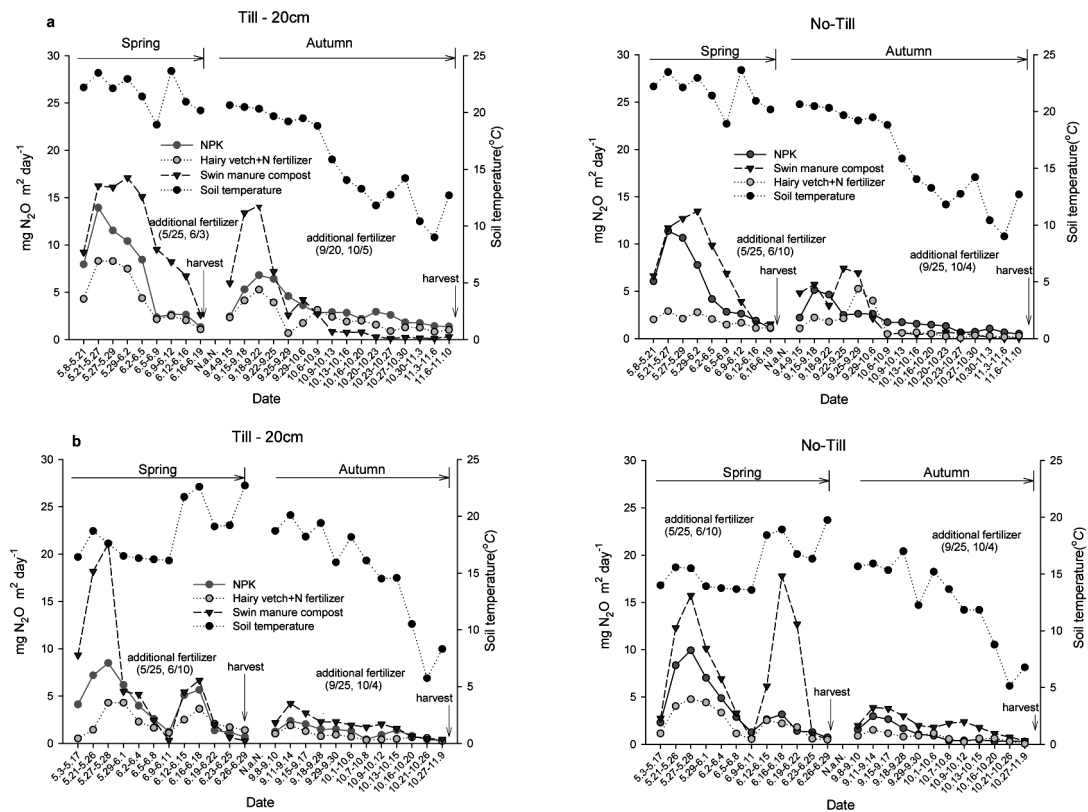


Fig. 1. Temporal changes of N₂O emissions as affected by different fertilizers, tillage and no tillage conditions in a chinese cabbage field (a, 2009; b, 2010).

을재배)로 나타났다. 경운재배에 비해 무경운 재배가 7.8~40.9% (봄재배) 그리고 22.2~36.6% (가을재배)가 저감되었다.

재배시기별 N₂O 배출 저감효과는 2009년 경운처리에서 봄재배에 비해 가을재배가 36.3~53.9% 그리고 무경운처리에서 7.1~55.3%가 저감되었고, 2010년에는 가을재배가 경운처리에서 50.9~73.7% 그리고 무경운처리에서 58.8~67.8%로 저감되었다.

재배기간 2년 평균 (2009~2010) 질소질원별 N₂O의 총 배출량은 돈분퇴비>NPK>헤어리베치+N 비료 처리 순으로 나타났다. 경운 유·무에 따라 N₂O 배출은 경운에 비해 무경운에서 33.7~51.8% (봄재배) 그리고 31.4~76.7% (가을재배)가 저감되었다.

무경운과 경운재배에서 아산화질소 배출 평가는 무경운이 경운에 비해 아산화질소 배출이 높다는 결과 (Ball et al. 1999; Rochette et al. 2008)가 있는 반면에 경운이 무경운보다 아산화질소 배출이 많다는 연구결과도 있다 (Chatskikh et al., 2007; Gregorich et al., 2008). Rochette (2008)는 아산화질소 배출은 통기가 불량한 토양에서 무경운으로 재

배하면 통기성이 양호한 토양에 비해 33배가 높았고, 아산화질소 배출에 미치는 무경운의 효과는 통기가 양호한 토양에서는 크지 않지만 배수가 제한된 조건에서 통기성이 감소하면 그 효과는 크다고 하였다.

가을배추재배는 봄재배 보다 N₂O 배출량이 경운처리에서 NPK에서 49.6%, 헤어리베치+N 비료에서 39.0%, 돈분퇴비 처리에서 60% 감소하였고, 무경운 처리에서는 각각 59.5%, 70.6, 58.7%가 감소하였다. 가을배추의 N₂O 배출량 감소의 원인은 온실가스 배출에 영향을 미치는 요인 중 하나인 토양온도가 가을로 접어들면서 유기물의 분해가 느려지고 탈질세균의 활성이 떨어진 것으로 보인다 (Davidson et al., 1993).

질소질원별로는 헤어리베치+N 비료 처리에서 아산화질소 배출이 가장 낮게 나타났다. 이는 탄질율이 비교적 낮은 헤어리베치 (탄질율 10)가 토양에 가해지면 부숙이 촉진되어 유기태 질소의 무기화가 신속히 이루어지지만, 헤어리베치의 완전한 부숙이 이루어지기 전인 6월 하순에 배추를 수확하므로 온도 상승으로 탈질이 촉진되는 7~8월을 피하였기

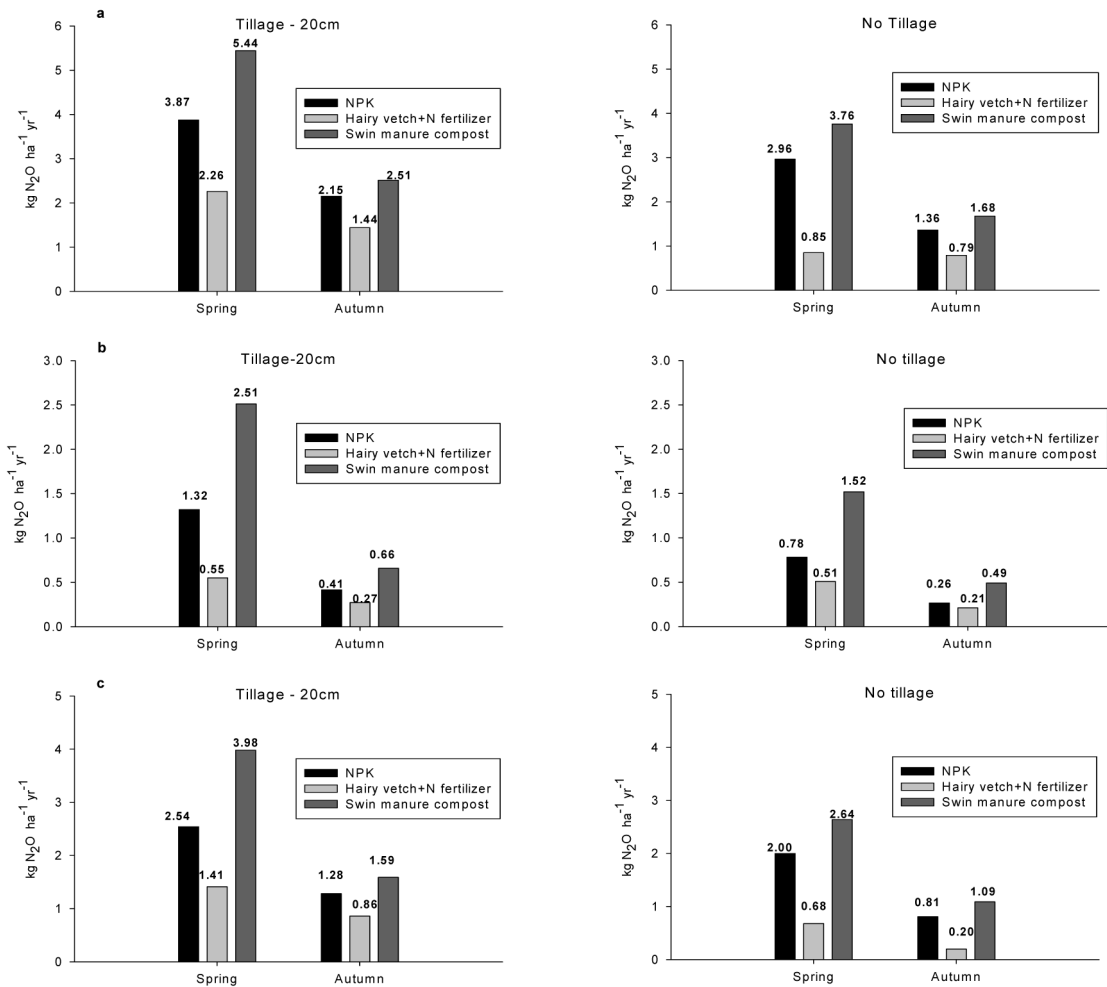


Fig. 2. Amount of N₂O emissions at different growing periods (spring and autumn seasons), and tillage and no tillage conditions in a chinese cabbage field (a, 2009; b, 2010; c, 2009~2010 average).

Table 3. Comparison emission factor with IPCC default value and N₂O emission by tillage and no tillage conditions in chinese cabbage field (all flux measurements included).

Treatments	Input N [†]	N ₂ O emission	Emission factor	IPCC default value (1996)
	kg ha ⁻¹	kg N ₂ O ha ⁻¹	----- kg N ₂ O-N kg N ⁻¹ -----	
Tillage	NPK	640	3.82	0.0073
	Hairy vetch+N fertilizer	640	2.27	0.0043
	Swine manure compost	640	5.57	0.0106
No-tillage	NPK	640	2.81	0.0053
	Hairy vetch+N fertilizer	640	0.88	0.0017
	Swine manure compost	640	3.73	0.0071

[†]Input N, spring and autumn seasons, Almost 10 per cent of synthetic fertilizer-N is emitted as ammonia world-wide (IPCC 1996).

때문으로 생각된다.

봄과 가을배추 재배지에서 측정된 N₂O 배출계수와 IPCC default 값과 비교한 결과는 Table 3과 같다. 경운 유·무에 따른 N₂O 배출량은 경운 (2.27~5.57 kg N₂O ha⁻¹)에 비해 무경운 (0.88~3.73 kg N₂O ha⁻¹) 처리에서 26.4~61.2% 감소하였다. 질소공급원별 N₂O 배출량은 헤어리베치+N 처리에서 경운 2.27 kg N₂O ha⁻¹과 무경운 0.88 kg N₂O ha⁻¹로 NPK와 돈분퇴비 처리보다 낮았다.

국가온실가스 배출량을 산정할 때 활동자료 (Activity data)와 배출계수를 곱하여 산출한다. 배출계수를 개발하지 않은 국가는 IPCC (기후변화에 관한 정부간 협의체; Intergovernmental Pannel on Climate Change) 가이드라인 (1996년)에서 제시한 0.0125 kg N₂O-N/kg N을 사용한다. 봄과 가을배추 재배지에서 측정된 모든 처리의 N₂O 배출계수가 IPCC default 값인 0.0125 kg N₂O-N/kg N (현재 우리나라 온실가스 배출량 산정에 적용)보다 적어, 향후 우리나라 온실가스 배출량 산정시 N₂O 배출량 감축에 기여할 것으로 보인다.

이상과 같이 배추재배에서는 봄재배보다 가을 재배, 그리고 경운재배 보다는 무경운 재배가 N₂O 배출에 저감할 수 있는 수단으로 나타났다. 그리고 무경운 재배의 다양한 기술들을 개발하여 농업 현장에 널리 보급함으로써 우리나라 온실가스 관리에 크게 기여할 것으로 기대하고 있다.

요 약

밭에서 N₂O 배출에 영향을 주는 요인 중 토양온도의 특성을 파악하고, 이러한 요인들이 N₂O 배출에 얼마나 영향을 주는지를 정량적으로 밝히고자, 수원시에 위치한 국립농업과학원 기후변화생태과 시험포장에서 N₂O 배출 시험을 수행하였다. 배추 재배에서 경운 유·무와 재배시기에 따라 NPK, 헤어리베치+N, 돈분퇴비를 처리하여 N₂O 배출에 미치는 영향을 조사하고, 이에 대한 결과를 배출계수로 산출하여 IPCC default 값 (기후변화에 관한 정부간 협의체; Intergovernmental

Pannel on Climate Change)과 비교 결과는 다음과 같다.

- 1) 질소질원별 재배기간 2년 평균 (2009~2010) N₂O의 총 배출량은 돈분퇴비>NPK>헤어리베치+N 비료 처리 순으로 나타났으며, 경운 유·무에 따른 N₂O 배출은 경운에 비해 무경운에서 33.7~51.8% (봄재배) 그리고 31.4~76.7% (가을재배)가 저감되었다.
- 2) 재배시기별로는 가을배추재배는 봄재배 보다 N₂O 배출량이 경운처리 NPK 49.6%, 헤어리베치+N 비료 39.0%, 돈분퇴비 처리에서 60% 감소하였고, 무경운 처리에서는 각각 59.5%, 70.6, 58.7%가 감소하였다.
- 3) 봄과 가을배추 재배지에서 측정된 모든 처리의 N₂O 배출계수가 IPCC default 값인 0.0125 kg N₂O-N/kg N (현재 우리나라 온실가스 배출량 산정에 적용)보다 15.2~86.4% 적었다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업 (과제번호: PJ006810)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인 용 문 헌

Ball, B.C., Albert Scott, and J.P. Parker. 1999. Field N₂O, CO₂ and CH₄ fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. *Soil Till. Res.* 53(1):29-39.

Chatskikh, D. and J.E. Olesen. 2007. Soil tillage enhanced CO₂ and N₂O emissions from loamy sand soil under spring barley. *Soil Till. Res.* 97, 5-18.

Davidson, E.A. 1991. Fluxes 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. of America J.* 43:89-95.
- Douglas, J.T. and C.E. Crawford. 1993. The response of a ryegrass sward to wheel traffic and applied nitrogen. *Grass Forage Sci.* 48:91-100.
- Firestone, M.K. and E.A. Davidson. (1989), Microbiological basis of NO and N₂O production and consumption in soil. In: Andreae, M.O., Schimel, D.S. (Eds.), *Exchange of Trace Gases between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere.* Wiley, New York.
- Frolking, S.E., A.R. Mosier, and D.S. Ojima. 1998. Comparison of N₂O 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 two soils. *Biol. Fertil. Soils* 30:33-40.
- Gregorich, E.G., P. Rochette, P. St-Georges, U.F. McKim, and C. Chan. 2008. Tillage effects on N₂O emissions from soils under corn and soybeans in eastern Canada. *Can. J. Soil Sci.* 88, 153-161.
- 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.
- IPCC. 1996. Revised IPCC guideline for national greenhouse gas inventories: Reference Manual, revised in 1996, IPCC.
- 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. Pollut.* 83, 95-111.
- Keren, J.S. and M.G. Johnson. 1993. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. *SCI. Soc. Amer. J.* 57: 200-210.
- 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. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 399-407.
- Kim, G.Y., K.H. So, H.C. Jeong, K.M. Shim, S.B. Lee, and D.B. Lee. 2010. Evaluation of N₂O Emissions with Changes of Soil Temperature, Soil Water Content and Mineral N in Red Pepper and Soybean Field. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 880-885.
- Minami, K. 1997. Mitigation of nitrous oxide emissions from fertilized soils. In: *Proceedings of IGAC Symposium, Nagoya, Japan.*
- Mulvaney, R.L. 1996. Nitrogen-inorganic forms. p. In Bigham, J.M. et al. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods.* Soil Sci. Soc. of Am., Madison, WI, USA, pp. 1123-1184.
- Parton, W.J., A.R. Mosier, D.S. Ojima, D.W. Valentine, D.S. Schimel, K. Weier, and A.E. Kulmala. 1996. Generalized model for N₂ and N₂O production from nitrification and denitrification. *Global Biochem. Cycles.* 10:401-412.
- RDA. 1999. Fertilizer recommendation standards for various crops. Gwangmun-dang. pp. 57-58 (In Korean).
- Rockwood, W.C. and R. Lal. 1974. Mulch tillage: A technique for soil and water conservation in the tropics. *SPAN: Progress in Agri.*, 17 (1974), pp. 77-79.
- Rochette, P. 2008. No-till only increases N₂O emissions in poorly-aerated soils. *Soil & Tillage Research* 101:97-100.
- Sidiras, N. and Pavan, M.A. 1984. Influência do sistema de manejo na temperatura do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 10:181-184.
- Yagi, K. 1991. Emission of biogenic gas compounds from soil ecosystem and effect of global environment. 2. Methane emission from paddy fields. *Soil and Fert. Japan.* 62(5): 556-562.