한국농림기상학회지, 제17권 제4호(2015) (pISSN 1229-5671, eISSN 2288-1859)
Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 17, No. 4, (2015), pp. 326~332
DOI: 10.5532/KJAFM.2015.17.4.326
ⓒ Author(s) 2015. CC Attribution 3.0 License.

국내 봄배추 재배지의 아산화질소 배출계수 개발에 관한 연구

김건엽[1]* · 박우균[1] · 정현철[1] · 이선일[1] · 최은정[1] · 김필주[2] · 서영호[3] · 나운성[1]
[1]국립농업과학원, [2]경상대학교, [3]강원도농업기술원
(2015년 9월 8일 접수; 2015년 10월 26일 수정; 2015년 11월 25일 수락)

A Revised Estimate of N_2O Emission Factor for Spring Chinese cabbage fields in Korea

Gun-Yeob Kim[1]*, Woo-Kyun Park[1], Hyun-Cheol Jeong[1], Sun-il Lee[1], Eun-Jung Choi[1], Pil-Joo Kim[2], Young-Ho Seo[3] and Un-sung Na[1]
[1]National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea
[2]Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea
[3]Gangwondo Agricultural Research and Extension Services, Chuncheon 24226, Korea
(Received September 8, 2015; Revised October 26, 2015; Accepted November 25, 2015)

ABSTRACT

Greenhouse-gas emission factors are widely used to estimate emissions arising from a defined unit of a specific activity. Such estimates are used both for international reporting to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) and for a myriad of national and sub-national reporting purposes. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) provides a methodology for national and sub-national estimation of known greenhouse gas emissions including N_2O for each sector from which the emissions arise. The objective of this study was to develop an emission factor to estimate the direct N_2O emission from an agricultural field cultivated with Chinese cabbage during spring season in 2010-2012. An estimated emission factor of N_2O calculated over three years from field experiment accounting for cumulative N_2O emission, nitrogen fertilization rate, and background N_2O emission was 0.0056±0.00254 (95% CI) Kg N_2O-N/kg N. More extensive studies are needed to develop N_2O emission factors for other upland crops in various regions of Korea because N_2O emission is influenced by many factors including climate characteristics, soil properties agricultural practices and crop species.

***Key words*: N_2O emission factor, Nitrous oxide emission, Spring Chinese cabbage**

I. 서 론

농경지 토양에서 아산화질소 (N_2O)는 질소질 비료와 가축분뇨를 투입했을 때 토양 미생물이 탈질 과정을 일으키는 동안 발생된다(Freney, 1997; Warneck, 2000; Singh and Tyagi, 2009). Iserman(1994)은 농경지에 시용된 질소비료 중 절반은 무기태질소의 형태로 유실된다고 하였으며, 농경지로부터 대기로 배출되는 N_2O 중에서 81% 정도가 질소비료 시용에 의해 배출된다고 하였다. 따라서 질소비료 시용은 농경지로부터 대기로 배출되는 N_2O의 가장 큰 요인으로 작용하고 있으며(Minami, 1997), 토양의 무기태 질소 중에 NO_3^--N의 상승이 N_2O 배출을 증가시킨다고 하였다(Hellebrand *et al*., 2008). 그러나 토양에서 N_2O

* Corresponding Author : Gun-Yeob Kim
(gykim1024@korea.kr)

배출의 감축은 유기물이나 비료 시용을 줄이는 것보다 토양 중에서 발생하는 질산화 및 탈질작용 등의 과정을 적절히 조절하는 것이 더 큰 효과를 볼 수 있다고 하였다(Firestone and Davidson, 1989). 그리고 그 다음 감축 효과로는 토양수분을 조절하여 N_2O 배출을 줄일 수 있으며, 대기온도에 따른 토양온도 변화에도 N_2O 배출에 영향을 받는다고 하였다(Frolking *et al*., 1998; Parton *et al*., 1996).

2006년 IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change) 가이드라인에는 농경지에서 온실가스 배출량을 산정하는 방법을 크게 Tier 1, 2, 3으로 구분하고 있다(IPCC, 2006). Tiers는 방법의 복잡성 정도를 나타내는 것으로서, 방법론의 선택은 배출계수(emission factor) 및 활동자료(activity data) 확보수준에 따라 달라질 수 있다. 국가고유의 배출계수가 아직 준비되어 있지 않을 경우에는 Tier 1 방법으로 N_2O 배출량을 산정할 수 있다. 이때는 IPCC 가이드라인에서 제시하고 있는 N_2O 배출계수와 활동자료 등을 활용하여 연간 N_2O 배출량을 산정할 수 있다(IPCC, 2006). 한편, Tier 2 수준에서는 각국의 기상, 토양환경이 다르기 때문에 그 나라 환경에 맞게 개발한 고유 N_2O 배출계수와 활동자료를 활용하여 정확한 N_2O 배출량을 산정한다. Tier 3은 Tier 2보다 더 높은 정확도를 갖는 배출계수이며, 상당부분 시험・분석을 통하여 개발한 매개변수 값을 활용한다. 온실가스 배출 통계작성의 복잡성 및 정확성은 Tier 3로 갈수록 높으며, Tier 2 이상은 국가고유의 작성방법으로 간주된다.

3년간(2010~2012) 국내 봄 배추 재배토양에서 N_2O 배출계수 개발 시험연구를 통해 2014년에 봄 배추 재배지 국가고유 N_2O 배출계수로 설정되어 국가공인을 받았다. 이전에는 IPCC에서 제시한 임의 값은 0.0125kg N_2O-N/kg N (IPCC, 1996)과 0.01kg N_2O-N/kg N (IPCC, 2006)을 이용하여 N_2O의 발생량을 추정하였다. 즉, 농경지에 시용한 무기질 비료나 가축분 퇴・액비의 질소 가운데 휘산되지 않고 남은 부분의 1.25% 또는 1%가 N_2O로 직접 대기에 배출된다는 것이다. 국가고유 배출계수는 그 나라의 토양, 기후, 농사 기술과 재배환경 등을 반영하므로 IPCC에서 주어지는 임의 계수보다 온실가스 배출량의 불확도(Uncertainty)를 줄이면서 정확하게 배출계수를 추정할 수 있다. 지금까지 배추 재배 토양에서 국가고유 배출계수를 개발하지 못하여 IPCC에서 부여하는 N_2O 임의계수 값을 적용하였기 때문에 국가 온실가스 배출량이 과대평가가 될 우려가 있었다. 따라서 본 연구에서는 더욱 정밀한 온실가스 인벤토리 작성을 위하여 질소비료 시용량에 따라 N_2O 배출 특성을 3년(2010~2012년)간 조사하여 2014년에 우리나라 국가고유 N_2O 배출계수로 등록된 봄 배추 재배지 토양의 배출 특성을 파악하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

밭에서 N_2O 배출계수 개발의 이론적 배경을 살펴보면, 2006 IPCC 가이드라인(IPCC, 2006)에 따라 N_2O 총 배출량은 아래의 식 (1)과 같이 N_2O 직접배출량에서 EF_1 (배출계수)을 개발해야 한다.

$$N_2O\text{-}N_{input} = [(F_{SN}+F_{ON}+F_{CR}+F_{SOM})\times EF_1] + [(F_{SN}+F_{ON}+F_{CR}+F_{SOM}\times EF_1)^{*}_{FR}\times EF_{1FR}] \quad (1)$$

여기서,

F_{SN} : 화학비료로 공급되는 질소량(kg N yr^{-1})

F_{ON} : 축산분뇨로 배설되는 양을 유기질비료로서 농경지에 투입된 질소량(kg N yr^{-1})

F_{SOM} : 무기질 토양의 무기화에 의해 공급되는 질소량 (kg N yr^{-1})

F_{CR} : 토양으로 환원되는 작물 잔사에 의해 공급되는 질소량 (kg N yr^{-1})

EF_1 : 밭 토양에서 N_2O 직접 배출계수(kg N_2O-N kg^{-1} 투입)

EF_{1FR} : 벼논에서 질소시용으로 배출되는 N_2O 배출계수(Kg N_2O-N/kg N)

$(F_{SN}+F_{ON}+F_{CR}+F_{SOM})_{FR}^{*}$: 벼논에 해당

봄 배추밭 토양에서 N_2O 배출량을 정확하게 산정하기 위해서는 1차적으로 우리나라 밭 재배환경 하에서 N_2O 고유 배출계수의 설정이 선행되어야 한다.

본 시험은 우리나라 봄 배추밭 토양의 고유 N_2O 배출계수를 설정하기 위해, 아래 Table 1에서와 같이 강원도 춘천, 경기도 수원의 2지역을 시험포장으로 선정하였다. 2지역 모두 2009년 포장을 설치하였으며, 2010년부터 2012년까지 봄 배추재배 시험포장에서 N_2O를 포집・분석하였다.

춘천시에 위치한 강원도농업기술원의 봄 배추밭 시험포장 (37°57'15.9"N, 127°46'26.6"E)은 용계통 사질

Table 1. Chemical properties of soil before experiment at 2 different sites

Parameter	Investigation site	
	Suwon	Chuncheon
Soil series	Gopyeong	Yonggye
Soil texture	SICL	SCL
pH (1:5 with H_2O)	5.8	6.0
EC (dS m^{-1})	0.52	0.43
OM (g kg^{-1})	17.2	22.0
Av.P_2O_5 (mg kg^{-1})	245.1	430.5
NH_4-N (mg kg^{-1})	6.2	4.5
NO_3-N (mg kg^{-1})	5.8	4.0
Exch. Cation ($cmol_C$ kg^{-1})		
K	0.8	0.7
Ca	5.9	3.6
Mg	2.0	1.3
Sampling site (GPS reading)	N 37°1527.68"E 126°59'16.05"	N 37°57'15.9" E 127°4626.6"

식양토로서 유기물 함량 22.0g kg^{-1}, 유효인산 470.2mg kg^{-1}, 암모니아태 질소 4.5mg kg^{-1}, 질산태질소 3.8mg kg^{-1}였다. 또한 수원시에 위치한 국립농업과학원 기후변화생태과 봄 배추밭 시험포장은 고평통 미사질식양토(37°15'27.68"N, 126°59'16.05"E)로서 유기물 함량 15.4g kg^{-1}, 인산 372.6mg kg^{-1}, 암모니아태 질소 7.3mg kg^{-1}, 질산태질소 7.8mg kg^{-1}이였다. 공시품종은 춘천지역은 불암3호, 수원에서는 시알이었으며, 재식거리는 2지역 모두 75 (이랑거리)×0cm(포기거리)로 정식하였다.

비료 시용량은 봄 배추의 표준 시비량(RDA, 2010)을 기준으로 N-P_2O_5-K_2O를 320-78-198kg ha^{-1}였으며, 토양 수분관리는 자연 강우량으로 하였다. 질소비료 처리의 양은 시험포장 면적 규모의 여건에 따라 수원에서는 0배(질소 무처리), 1배(질소 320kg ha^{-1}), 2배(질소 640kg ha^{-1}), 그리고 춘천은 0배와 1배로 시용하였으며 그밖에 인산과 칼리는 기준량을 시용하였다. 비료의 시비방법은 농촌진흥청의 작물별 시비처방기준(RDA, 2010)에 준하여, 질소는 요소를 2회 분시, 인산은 용성인비로 전량 기비, 칼리는 염화칼리를 1회 분시 하였다.

N_2O 배출 플럭스를 조사하기 위해 국제적으로 공인된 밀폐형태 챔버인 steady-state (Hutchinson and Livingston, 1993)를 사용하였다(Fig. 1). 설치된 챔버는 외부로의 공기 유출이 없도록 하였으며 지름 0.25m, 높이 0.5m인 PVC 소재로 각 시험구의 대표지점에 안정적으로 설치하였다. N_2O 가스 시료채취는 Yagi(1991)의 방법에 의하여 10:00~13:00시 사이에 60ml 주사기로 1주일에 2회 채취하여 분석하였다.

Fig. 1. Steady-state chamber for collecting N_2O in soil.

채취한 공기 시료의 N_2O 농도는 10port와 4port valve를 장착한 GC-ECD(Varian 3800)를 사용하여 정량하였다. 또한 column은 Porapack Q(80/100 mesh)를 충전한 1/8"×2m의 stainless steel tubing column, Detector의 온도는 320°C로 하였다. N_2O 분석 조건은 Table 2와 같다.

플럭스는 다음 식에 따라서 계산 (F: mg m^{-2} hr^{-1})하였다.

Table 2. Gas Chromatographic analysis conditions for N_2O measurement

Detector	ECD
Column Packing material Materials O.D. × length	Porapack Q(80/100) Stainless steel 1/8" × 2 m
Carrgier gas	N_2
Flow rate	30 ml/min (Carrier+make up)
Temperature Column Injector Detector	70 80 320
Retention time	3.2 min
Concentration of calibration gas	0.5 and 1.0 ppmv N_2O in N_2
Loop	2 ml

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

ρ는 가스밀도 (mg m^{-3}),
A는 챔버 바닥면적 (m^2),
V는 챔버내 공기체적 (m^3),
$\Delta c\ \Delta t^{-1}$는 챔버내 가스농도의 평균 증가속도 ($10^{-6} m^3\ m^{-3}\ hr^{-1}$),
T는 챔버내 평균기온 (K)
N_2O ρ값 (T=273 K)은 다음과 같다.
$\rho_{N2O} = 1.96$, $\rho_{N2O\text{-}N} = 1.25$

IPCC에서는 불확도 평가를 통해 생산 자료의 신뢰성 확보를 요구하고 있다(IPCC, 2006). 우리나라 봄 배추 토양에서 N_2O 배출계수를 구하기 위하여 3년간 전국 2개 지역에서 조사된 N_2O 배출계수의 정규분포 95% 신뢰구간을 산정하였다. 또한 본 신뢰구간의 절대 값을 평균 배출계수로 나누어 자료의 불확도 (%)를 평가하였다(SRI, 2011).

III. 결과 및 고찰

우리나라 밭토양에서 국가고유의 N_2O 배출계수 개발을 위하여 3년 동안 봄 배추재배기간 중에 측정한 N_2O 배출변화는 Fig. 2와 같다. N_2O 배출량은 조사지역과 연차와 관계없이 대부분 정식 후 한 달까지는 높은 양상을 보였다. 생육초기에는 질소비료 시용으로 N_2O 배출량이 빠르게 증가하였으나, 정식하고 1개월 이후에는 크게 감소하여 수확기와 다음해 정식 전 기간까지 낮은 배출을 유지하였다. 특히, 2010과 2011년에 수원지역에서 N_2O 배출량이 춘천지역 보다 정식 직후 생육초기에 높았는데, 이는 토양온도와 토양수분에 영향을 미치는 강수량이 춘천보다 높은데(Table 3), 원인이 있다고 생각되었다. 또한 2012년에 수원지역의 정식 직후 N_2O 배출이 낮은 원인은 생육초기 강수량이 적어 토양온도와 토양수분이 낮았기 때문으로 판단된다. 2012년 수확후 7월18일 수원지역에서 N_2O 배출량이 높은 것은 7월16일~7월19일 태풍 카눈의 영향으로 토양수분 증가의 영향이 미치는 강수량이 상대적으로 높은 원인이라 판단된다.

농경지에서 N_2O 배출 양상은 토양온도와 토양수분 변화와는 밀접한 관련성이 있는것으로 알려져있다. 여러 보고(Clayton *et al*., 1997; Mahmood *et al*., 1998; Dobbie *et al*., 1999; Gödde and Conrad, 1999; Conen *et al*., 2000; Sozanska *et al*., 2002; Kim *et al*., 2008; Kim *et al*., 2010)에서 토양온도와 토양수분이 증가할수록 N_2O 플럭스가 증가된다고 하였고, Arone and Bohlen(1998)은 N_2O 배출량과 토양 수분함량과는 정의 상관관계가 있다고 하였다. 또한 Dobbie *et al*. (1999)은 남부 스코틀랜드의 N_2O 배출량이 조사지역과

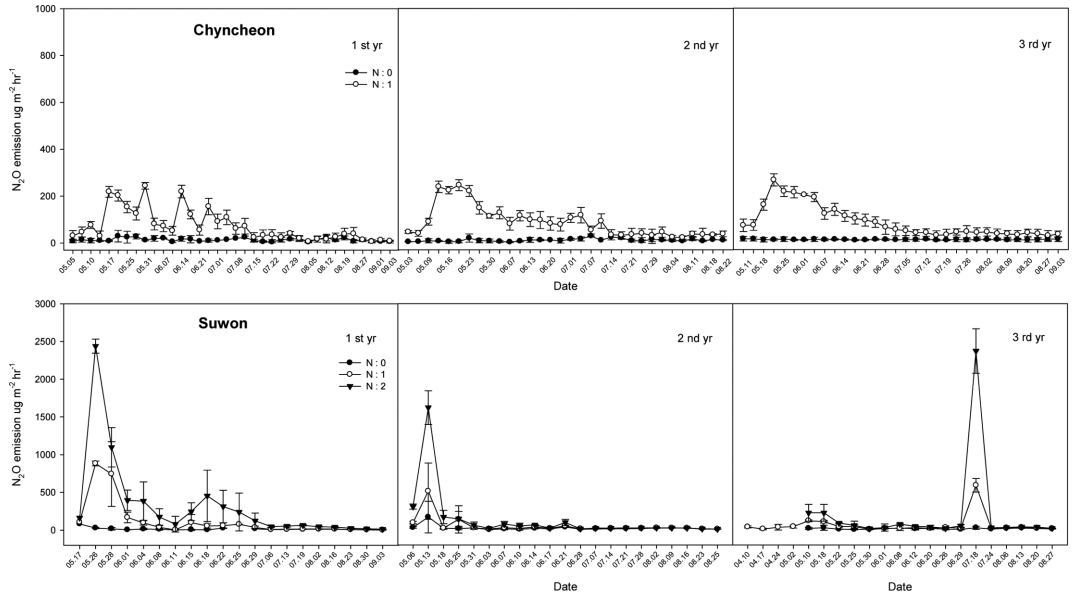

Fig. 2. N_2O emission patterns in Chinese cabbage (spring season) soils located at 2 different sites treated by N fertilizer levels.

Table 3. Comparison of climate condition and yield properties in upland soils located at 2 different sites during Chinese cabbage (spring season) cultivation

Parameter	Investigation site	
	Chuncheon	Suwon
1st year		
Mean air temperature (°C)	20.4	20.5
Mean soil temperature (°C)	22.8	23.8
Mean soil water contents (vol. %)	29.5	34.2
Precipitation (mm)	169.5	240.8
Sun shine hour (hour)	437.7	421.8
yield (ton/ha)	47.5	49.6
2nd year		
Mean air temperature (°C)	20.8	20.7
Mean soil temperature (°C)	23.4	23.7
Mean soil water contents (vol. %)	31.4	32.8
Precipitation (mm)	221.1	255.7
Sun shine hour (hour)	411.8	399.5
yield (ton/ha)	55.0	54.3
3rd year		
Mean air temperature (°C)	20.9	20.1
Mean soil temperature (°C)	23.7	22.4
Mean soil water contents (vol. %)	31.8	24.3
Precipitation (mm)	193.7	167.8
Sun shine hour (hour)	464.1	479.8
yield (ton/ha)	38.1	47.7

기후 차이에 관계없이 토양수분과 밀접한 관계가 있다고 하였다. 그리고 Sozanska *et al.*(2002)은 토양수분에서 액상과 기상 부분을 고려한 WFPS (Water Filled Pore Space)가 80~85%에서 N_2O 배출이 최대가 되다고 하였다. 이와 관련하여 Kim *et al.*(2014)은 고추재배에서 토성과 관계없이 토양수분 함량의 변화 추이에 따라 N_2O 배출량도 같은 양상을 보였고, 토양수분과 토양온도의 N_2O 배출에 대한 기여율은 식양토에서 토양수분이 47.7%, 토양온도가 6.2% 그리고 사양토에서는 토양수분이 66.0%, 토양온도가 21.7%로 토양수분의 영향이 상대적으로 크다고 하였다.

Table 3에서 시험지역과 연차별 배추 수량을 보면, 강수량과 기온 등 재배환경의차이로 다소간 차이를 보이는것으로 나타났다. 특히, 2년차인 2012년 봄 배추 수량은 두지역 모두에서 높았으나, N_2O 배출 특성과는 관련성이 없는것으로 나타났다. Fig. 3은 2010년부터 2012년 까지 배추재배기간의 질소비료 시용량과 N_2O 배출과의 관계를 나타낸 것이다. 질소비료 시용량이 많을 수록 N_2O 배출량이 증가하였고, 질소비료 시용량과 N_2O 배출량 관련성은 0.998***로서 높은 상관관계를 보였다.

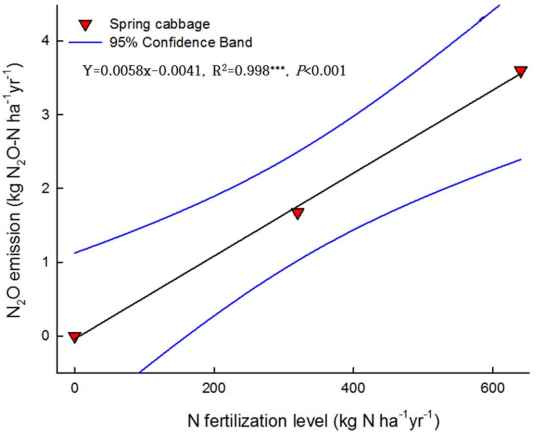

Fig. 3. Relationships between the averaged N_2O emissions and nitrogen fertilizer application rates during Chinese cabbage (spring season) cultivation in upland soils located at 2 different sites from 2010 to 2012.

2개 지역의 평균 N_2O 배출계수는 0.0056kg N_2O-N/kg N으로 평가되어 IPCC default 값인 2006 가이드라인의 0.01kg N_2O-N/kg N과 1996 가이드라인의 0.0125kg N_2O-N/kg N 보다 34.9~75.5%가 낮게 나타났다(Table 4). 이때 조사 자료의 평균 오차범위(error range)는 0.00306~0.00814kg N_2O-N/kg N 안에 분포하였으며, 95% 신뢰구간에서 평가한 불확도는 45.4% 이었다. IPCC default 값은 Bouwman (1996)과 Mosier(1998)의 보고에 의하면 대부분이 유럽과 미국의 목초지와 밭 토양의 NH_4^+와 NO_3^- 함량 자료를

Table 4. Comparison of N_2O emission (N kg ha^{-1} yr^{-1}) and average N_2O emission factor in upland soils located at 2 different sites during Chinese cabbage (spring season) cultivation treated by N fertilizer levels

N fertilizer	N_2O emission	Average N_2O emission factor	Average error range*
kg ha^{-1}	N_2O kg ha^{-1} yr^{-1}	Kg N_2O-N/kg N	Kg N_2O-N/kg N
320	1.59	0.0056	0.00306~0.00814
640	3.22		

Note) *Error range within 95% confidence intervals.

참고하였고 아시아에서는 유일하게 일본 밭 토양 자료를 활용하여 0.0125와 0.01kg Kg N_2O-N/kg N을 결정한 것으로 알려져있다. 그리고 대부분의 목초지가 밭토양보다 많은 질소비료 시용량이 요구되기 때문에 N_2O 배출계수 값이 높은 것으로 판단된다.

적 요

우리나라 밭토양에서 국가고유의 온실가스 배출계수를 개발하기 위하여 2010년부터 2012년까지 봄 배추를 대상으로 재배기간 동안에 N_2O를 포집분석한 결과는 다음과 같다. 봄 배추 밭에서의 N_2O 배출량은 정식 후 생육초기인 1개월 정도까지 높게 유지되다가 감소하는 경향을 보였다. 또한 생육초기에 수원지역의 N_2O 배출량이 춘천지역보다 높았는데, 이는 수원의 강수량이 상대적으로 높은데 기인한다고 볼수 있다. 질소비료 시용량이 많을수록 N_2O 배출량이 증가하는 경향을 보였으며, 회귀분석한 결과를 보면 99.8%의 상관성이 보였다. 본 연구에서 3년 동안의 봄 배추 재배기간 중 N_2O 배출량을 분석하여 산정한 국가고유 N_2O 배출계수는 0.0056kg Kg N_2O-N/kg N이였다. 이러한 연구결과는 국가고유 N_2O 배출계수를 등록과 더불어 국가 온실가스 배출량 산정에 적용하여 국가 및 지자체의 온실가스 배출량 감축에도 기여할 것이다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술연구개발사업(과제번호: PJ009980)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

Arone, J.A., and P.J. Bohlen, 1998: Stimulated N_2O flux from intact grassland monoliths after two growing seasons under elevated atmospheric CO_2. *Oecologia* **116**, 331-335.

Bouwman, A.F., 1996: Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **46**, 53-70.

Clayton, H., I.P. Mctagart, J. Parker, L. Swan, and K.A. Smith, 1997: Nitrous oxide emissions from fertilised grassland : A 2-year study of the effects of N fertiliser form and environmental conditions. *Biology and Fertility of Soils* **25**, 252-260.

Conen, F., K.E. Dobbie, and K.A. Smith, 2000: Predicting N_2O emissions from agricultural land through related soil parameters. *Global Change Biology* **6**, 417-426.

Dobbie, K.E., I.P. Mctagart, and K.A. Smith, 1999: Nitrous oxide emissions from intensive agricultural systems: variations between crop and seasons; key driving variables; and mean emission factors. *Journal of Geophysical Research* **104**, 26891-26899.

Firestone, M.K. and E.A. Davidson, 1989: Microbiological basis of NO and N_2O production and consumption in soil. In: Andreae, M.O., Schimel, D.S. (Eds.), *Exchange of Trace Gases between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere*, 17-21.

Freney, J.R., 1997: Emission of nitrous oxide from soils used for agriculture. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **49**(1-3), 1-6.

Frolking, S.E., A.R. Mosier, and D.S. Ojima, 1998: Comparison of N_2O 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. *Biology and Fertility of Soils* **30**, 33-40.

Hellebrand, H.J., V. Scholz, and J. Kern, 2008: Fertilizer induced nitrous oxide missions during energy crop cultivation on loamy sand soils. *Atmospheric Environment* **42**, 8403-8411.

Hutchinson, G.L., and G.P. Livingston. 1993. *Use of chamber systems to measure trace gas fluxes. Agricultural ecosystem effects on trace gases and global climate change.* American society of Agronomy **55**, 63-78.

IPCC, 1996: *Revised IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*: Reference Manual, revised in 1996, IPCC.

IPCC, 2006: *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 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. *Environmental Pollution* **83**, 95-111.

Kim, G.Y., B.H. Song, K.A. Roh, S.Y. Hong, B.G. Ko, K.M. Shim, and K.H So, 2008: 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 Journal of Soil Science and Fertilizer* **41**(6), 399-407.

Kim, G.Y., K.H. So, H.C. Jeong, K.M. Shim, S.B. Lee, and D.B. Lee, 2010: Evaluation of N_2O Emissions with Changes of Soil Temperature, Soil Water Content and Mineral N in Red Pepper and Soybean Field. *Korean Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* **43**(6), 880-885.

Kim, G.Y., H.C. Jeong, Y.K. Son, S.Y. Kim, J.S. Lee and P.J. Kim, 2014: Effect of soil Water Potential on methane and Nitrous Oxide Emissions in Upland soil during Red Pepper

Cultivation. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry* **57**, 15-22.

Mahmood, T., R. Ali, K.A. Malik, and S.R.A. Shamsi, 1998: Nitrous oxide emissions from an irrigated sandy-clay loam cropped to maize and wheat. *Biology and Fertility of Soils* **27**, 189-196.

Minami, K., 1997: Mitigation of nitrous oxide emissions from fertilized soils. In: *Proceedings from IGAC Symposium*, Nagoya, Japan.

Mosier A., C. Kroeze, C. Nevison, O. Oenema, S. Seitzinger, and O. van Cleemput, 1998: Closing the global N_2O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **52**(2), 225-248.

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 N_2 and N_2O production from nitrification and denitrification. *Global Biogeochemical Cycles* **10**, 401-412.

RDA(Rural Development Administration), 2010: *Fertilizer recommendation standards for various crops*, Sanglok-sa, 58-59.

Singh, S.N. and L. Tyagi, 2009: Nitrous oxide: Sources, sinks and mitigation strategies. In Sheldon A. I., Barnhart E. P. (eds.): *Nitrous oxide emissions research progress*. Nova Science Publishers, Inc., New York, 127-150.

Sozanska, M., U. Skiba, and S. Metcalfe, 2002: Developing an inventory of N_2O emissions from British Soils. *Atmospheric Environment* **36**, 987-998.

SRI (Statistical Research Institute), 2011: A *study on uncertainty calculator of activity data-National GHGs emission statistics*, 110-172 (in Korea).

Warneck, P., 2000: *Chemistry of the Natural Atmosphere*. 2nd edition, Academic Press, New York, 511-574.

Yagi, K., 1991. Emission of biogenic gas compounds from soil ecosystem and effect of global environment. 2. Methane emission from paddy fields. *Soil and Fertilizer*. Japan **62**(5), 556-562.