

어젠다코드	1 - 1 - 2		구 분	완결	
기술분야코드	V1	기술유형코드	E01	작목구분코드	CR-01-CR11
과제종류	공동연구		세세부사업	농업분야 기후변화대응기술 개발	
연구과제 및 세부과제			수행기간	과제책임자 및 세부책임자	
국가 고유 온실가스 배출계수의 품질관리 연구			'13	국립농업과학원	김건엽
1) 감자, 배추밭에서 아산화질소 배출계수 자료 구축 및 등록			'13	옥수수연구소	서영호
색인용어	아산화질소, 배출계수, 감자, 배추				

## ABSTRACT

The level of nitrous oxide (N<sub>2</sub>O), a long-lived greenhouse gas, in atmosphere has increased mainly due to anthropogenic source, especially application of nitrogen fertilizers. Quantifying N<sub>2</sub>O emission from agricultural field is essential to develop national inventories of greenhouse gases (GHGs) emission. The objective of the study was to develop emission factor to estimate direct N<sub>2</sub>O emission from agricultural field by measuring N<sub>2</sub>O emissions from potato (*Solanum tuberosum*) and Chinese cabbage (*Brassica campestris* L.) cultivation land from 2010 to 2012. Emission factor of N<sub>2</sub>O calculated from accumulated N<sub>2</sub>O emission, nitrogen fertilization rate, and background N<sub>2</sub>O emission was 0.0056 kg N<sub>2</sub>O-N kg<sup>-1</sup> N for Chinese cabbage grown in spring, 0.0058 kg N<sub>2</sub>O-N kg<sup>-1</sup> N for Chinese cabbage grown in fall, and 0.0049 kg N<sub>2</sub>O-N kg<sup>-1</sup> N for potato.

### 1. 연구목표

대기의 아산화질소(N<sub>2</sub>O) 수준은 매년 0.2~0.3% 높아지고 있다(Saggar 등, 2009). 즉, 1700년대 이전에는 285 ppbv(Stauffer와 Neftel, 1988)였으나, 1998년에는 314 ppbv(IPCC, 2001)로 증가하였다. Park 등(2012)이 1940년부터 2005년까지의 아산화질소의 동위이성체 조성의 변화 양상과 계절적 순환 현상을 살펴본 결과, 대기의 아산화질소 농도 증가는 주로 질소질 비료의 사용량이 증가한 데 있다고 결론지었다. Gu 등(2009)은 자연 상태의 아산화질소 26~30%는 농경지로부터 배출되는 것으로 추정하였다. 아산화질소의 지구 온난화 잠재력은 100년 기준으로 이산화탄소와 비교하여 약 300배 높다(IPCC, 2007).

농경지에 질소질 비료와 가축분뇨 퇴액을 주었을 때, 토양 미생물이 질산화 과정과 탈질 과정을 일으키는 동안 아산화질소가 발생된다(Freney, 1997; Singh와 Tyagi, 2009). 질산화 과정은 무기질 비료와 퇴비에 들어있는 암모니아가 호기 조건에서 질산으로 산화되는 반응이며, 탈질 과정은 질산이 혐기 조건에서 아산화질소나 질소 가스로 환원되는 반응이다.

농경지에서의 아산화질소 발생량은 질소 시비량, 토양 유기물 함량, 토양 산도, 토성, 작물의 종류, 양분원의 종류 등에 따라 다르다(Stehfest, 2008).

우리나라는 아산화질소의 국가 고유 배출계수가 설정되어 있지 않으므로, 기후변화에 관한 정부 간 회의(Intergovernmental Panel for Climate Change; IPCC)에서 설정한 기본값으로 아산화질소의 발생량을 추정하고 있다. IPCC에서 설정한 기본 계수는 농경지에 준 질소의 0.0125 kg N<sub>2</sub>O-N kg<sup>-1</sup> N(1996년 가이드라인)에서 0.01 kg N<sub>2</sub>O-N kg<sup>-1</sup> N(2006년 가이드라인)로 바뀌었다(IPCC, 2006). 즉, 농경지에 뿌린 무기질 비료나 가축분 퇴액비의 질소가 운데 휘산되지 않고 남은 부분의 1%가 아산화질소로 직접 대기로 배출된다는 것이다.

온실가스의 국가 고유 배출계수는 그 나라의 토양, 기후, 농법 등을 반영하므로, IPCC의 기본 계수보다 그 나라의 배출량을 불확도를 줄이고 보다 정확하게 추정할 수 있다. 많은 선진국들이 아산화질소의 국가 고유 배출계수를 설정하였다. 일본은 질소가 주어진 밭(차나무 제외)에서는 0.0062 kg N<sub>2</sub>O-N kg<sup>-1</sup> N(Akiyama 등, 2006), 스웨덴은 0.01~0.015 kg N<sub>2</sub>O-N kg<sup>-1</sup> N(Swedish Environmental Protection Agency, 2006), 네덜란드는 무기질 비료는 0.01 kg N<sub>2</sub>O-N kg<sup>-1</sup> N, 가축 분뇨는 0.02 kg N<sub>2</sub>O-N kg<sup>-1</sup> N(Netherlands Environmental Assessment Agency, 2006), 호주는 건기에 관개된 밭에서는 0.003 kg N<sub>2</sub>O-N kg<sup>-1</sup> N, 원예 작물은 0.021 kg N<sub>2</sub>O-N kg<sup>-1</sup> N(Australian Greenhouse Office, 2006)로 설정하였다.

질소 시비량, 토양 유기물 함량, 토양 산도, 토성, 작물 종류, 양분원의 종류 등이 농경지에서의 아산화질소의 배출량에 영향을 미친다(Stehfest, 2008). Kim 등(2008)은 고추 재배지에서의 아산화질소 배출에 영향을 미치는 요인으로는 식양토에서는 무기태 질소(51%), 토양 온도(26%), 토양 수분함량(23%)이었으며, 사양토에서는 토양 수분함량(39%), 토양 온도(36%), 무기태 질소(24%) 순이었다고 하였다. 또한 사양토에서의 아산화질소 배출량은 식양토에 비해 74~82% 적었고, 토양 수분장력이 -50 kPa일 때가 -30 kPa인 경우보다 13~40% 적었다고 하였다. 한편 Shin 등(2003)은 콩 작기중 아산화질소 배출량은 3.0~4.7 kg N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>라고 하였는데, Kim 등(2010)에 따르면 콩 재배지에서의 아산화질소 배출에 영향을 미치는 요인은 무기태 질소 (66%), 토양 수분 (19%), 토양 온도 (15%) 순이었다.

이 연구는 감자와 배추에 대하여 농경지에서의 아산화질소 발생량을 추정하기 위한 국가 고유 배출계수를 설정하기 위하여 수행하였으며, 2010년부터 2012년까지 국내 3개 지역에서 이루어진 실험의 결과를 정리하였다.

## 2. 재료 및 방법

경기지역(수원), 강원지역(춘천), 충청지역(예산), 제주지역에서 감자(*Solanum tuberosum*)와 배추(*Brassica campestris* L.)를 2010년부터 2012년까지 3년간 재배하면서, 포장에서 온실가스 시료를 채취하여 분석하였다. 배추는 봄과 가을, 1년에 2번 재배하였고, 감자는 한 번 재배하였다. 비료 사용량은 각 작물의 표준 시비량을 기준으로 하였는데, 배추의 표준 시비량은 10a당 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O = 32-7.8-19.8 kg이고, 감자는 13.7-3.3-11.4 kg이다. 표준시비법에 따라 감자는 모두 밑거름으로 사용하였다. 배추는 밑거름과 웃거름으로 나누어 주었는데, 질소의 52%를 밑거름으로 하고, 나머지 48%는 2회에 나누어 웃거름으로 주었다.

온실가스 연구에서 일반적으로 쓰이고 있는 챔버법을 이용하여 아산화질소의 시료를 채취하였으며(Kim 등, 2006; Kim 등, 2008; Saggarr 등, 2009; Kim 등, 2010; Seo 등, 2012; Yang 등, 2012a; Yang 등, 2012b), 시료 채취 간격은 주 2회였다. Parkin (2008)의 연구 결과에 따르면, 1-4일 간격으로 시료를 채취하는 경우 아산화질소 누적 배출량의 정확도는 10% 이내였으며, 3-7일 간격인 경우에는 14% 이내였다. 아산화질소의 분석은 전자포획검출기(ECD)를 장착한 가스크로마토그래프(Varian GC 450, USA)를 이용하였다(Seo 등, 2012). 다음 식을 이용하여 아산화질소의 배출량을 계산하였다(Shin 등, 2003; Kim 등, 2008; Kim 등, 2010; Seo 등, 2012).

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

여기에서 F는 아산화질소 배출량 ( $\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )이며,  $\rho$ 는 아산화질소의 밀도인  $1.96 \text{ mg m}^{-3}$ 이고, V와 A는 각각 챔버의 체적 ( $\text{m}^3$ )과 면적 ( $\text{m}^2$ )이며,  $\Delta c \cdot \Delta t^{-1}$ 는 챔버 내에서의 시간당 아산화질소 농도의 평균 증가량이고, T는 챔버내 평균 온도 ( $^{\circ}\text{C}$ )에 273을 더한 값이다. Parkin 등 (2012)에 따르면, 챔버법을 이용한 온실가스 측정에서 직선 회귀 방법이 검출 한계가 낮고 분석 정도와 시료 채취 시간에 대한 민감도가 낮았다.

각 작물의 아산화질소 누적 발생량에서 무비구의 아산화질소 발생량을 뺀 다음에 질소 시용량으로 나누어 배출계수를 계산하였다. 봄배추는 경기지역과 강원지역의 자료를 이용하였고, 가을배추는 경기지역, 강원지역, 충청지역의 자료를, 감자는 강원지역과 제주지역의 자료를 이용하여 배출계수를 구하였다. 불확도는 질소 시비량에 따른 아산화질소 배출량의 변화로부터 회귀식을 산출하여 95% 신뢰구간을 통하여 평가하였다. 통계 처리는 SAS (ver. 9.2, SAS, Cary, NC) 프로그램을 이용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

봄배추에 대한 아산화질소 배출계수는 경기지역과 강원지역에서의 2010년부터 2012년까지의 아산화질소의 배출량과 배출계수를 이용하여 산정하였으며, 이를 각각 표 1과 2에 나타내었다. 무비는 질소질 비료인 요소를 사용하지 않았으며, 표준시비는 배추의 질소 표준시비량인 10a당 32kg을 주었으며, 배양시비는 표준시비량의 2배인 10a당 64kg을 사용하였다. 질소 비료를 처리하지 않은 무비구에서의 아산화질소 배출량은  $0.17 \sim 0.45 \text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1}$ 을 나타내어, 일본의  $0.65 \text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1}$ (Akiyama 등, 2006), 중국의  $1.06 \text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1}$ (Gu 등, 2009), 그리고 Bouwman (1996)이 제시한  $1.0 \text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1}$ 보다 낮은 수준이었다. 무비구의 아산화질소 배출량은 토양 성질, 기후, 시험 이전 시비량 등 여러 요인의 영향을 받는다. 강원지역에서의 무비구의 아산화질소 배출량이 경기지역보다 낮은 이유는 온도가 낮기 때문으로 사료된다. Cantarel 등(2011)은 온도의 증가에 따라 아산화질소 배출량이 유의하게 증가함을 보고하였으며, Kim 등(2008)은 콩 밭에서의 아산화질소 배출량에 대한 온도의 기여도는 15%라고 하였다.

표 1. 경기지역(수원) 봄배추 아산화질소 배출량 및 배출계수

		무 비	표준시비	배량시비
2010	배출량(kg N <sub>2</sub> O-N/ha)	0.412	1.742	4.584
	배출계수(kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)		0.0046	0.0072
2011	배출량(kg N <sub>2</sub> O-N/ha)	0.451	1.029	2.496
	배출계수(kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)		0.0020	0.0035
2012	배출량(kg N <sub>2</sub> O-N/ha)	0.307	1.729	5.668
	배출계수(kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)		0.0049	0.0092

표 2. 강원지역(춘천) 봄배추 아산화질소 배출량 및 배출계수

		무 비	표준시비
2010	배출량(kg N <sub>2</sub> O-N/ha)	0.269	1.437
	배출계수(kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)		0.0040
2011	배출량(kg N <sub>2</sub> O-N/ha)	0.168	1.528
	배출계수(kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)		0.0047
2012	배출량(kg N <sub>2</sub> O-N/ha)	0.226	1.514
	배출계수(kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)		0.0044

이로부터 질소 시비량에 대한 아산화질소 배출량을 계산할 수 있다. 표준시비량에서의 아산화질소의 연간 배출량은 1.59 kg N<sub>2</sub>O-N/ha였고, 배량시비량에서는 3.22 kg N<sub>2</sub>O-N/ha였다. 질소 시비량과 아산화질소 배출량 사이의 기울기가 봄배추에 대한 아산화질소 배출계수이다(그림 1). 즉, 봄배추의 배출계수는 0.0056 kg N<sub>2</sub>O-N/ N kg으로, IPCC의 기준값인 0.01 kg N<sub>2</sub>O-N/ N kg보다 낮았다. 95% 신뢰구간은 ±0.00254 kg N<sub>2</sub>O-N/ N kg였으며, 불확도는 45.4%였다.

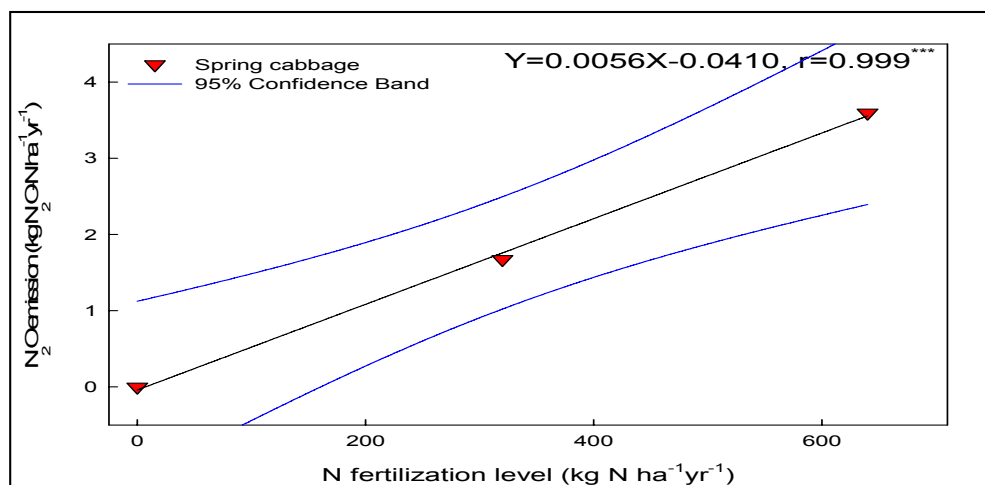


그림 1. 봄배추에 대한 질소 시비량과 아산화질소 배출량의 관계

가을배추는 경기지역, 강원지역, 충청지역의 자료를 이용하였으며, 각각 표 3~표 5에 나타내었다. 표준시비와 배량시비는 봄배추에서와 같으며, 반량시비는 표준시비량의 50%인 10a 당 16kg의 질소를 시비하였다.

표 3. 경기지역(수원) 가을배추 아산화질소 배출량 및 배출계수

		무 비	표준시비	배량시비
2010	배출량(kg N <sub>2</sub> O-N/ha)	0.407	0.790	1.806
	배출계수(kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)		0.0013	0.0024
2011	배출량(kg N <sub>2</sub> O-N/ha)	0.322	0.873	1.221
	배출계수(kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)		0.0019	0.0015
2012	배출량(kg N <sub>2</sub> O-N/ha)	0.286	0.553	0.883
	배출계수(kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)		0.0009	0.0010

표 4. 강원지역(춘천) 가을배추 아산화질소 배출량 및 배출계수

		무 비	표준시비
2010	배출량(kg N <sub>2</sub> O-N/ha)	0.156	0.751
	배출계수(kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)		0.0020
2011	배출량(kg N <sub>2</sub> O-N/ha)	0.168	1.205
	배출계수(kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)		0.0036
2012	배출량(kg N <sub>2</sub> O-N/ha)	0.152	1.213
	배출계수(kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)		0.0036

표 5. 충청지역(예산) 가을배추 아산화질소 배출량 및 배출계수

		무 비	반량시비	표준시비	배량시비
2010	배출량(kg N <sub>2</sub> O-N/ha)	0.542	1.107	3.900	7.757
	배출계수(kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)		0.0039	0.0115	0.0124
2011	배출량(kg N <sub>2</sub> O-N/ha)	0.452	0.839	1.227	2.218
	배출계수(kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)		0.0027	0.0027	0.0030
2012	배출량(kg N <sub>2</sub> O-N/ha)	0.443	1.132	1.836	6.684
	배출계수(kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)		0.0047	0.0048	0.0107

반량시비에서의 아산화질소의 연간 배출량은 0.692 kg N<sub>2</sub>O-N/ha였고, 표준시비량에서는 1.537 kg N<sub>2</sub>O-N/ha, 배량시비량에서는 3.226 kg N<sub>2</sub>O-N/ha였다. 질소 시비량과 아산화질소 배출량 사이의 기울기인 아산화질소 배출계수는 0.0058 kg N<sub>2</sub>O-N/ N kg으로, IPCC의 기준 값인 0.01 kg N<sub>2</sub>O-N/ N kg보다 낮았다(그림 2). 95% 신뢰구간은 ±0.00172 kg N<sub>2</sub>O-N/ N kg였으며, 불확도는 29.7%였다.

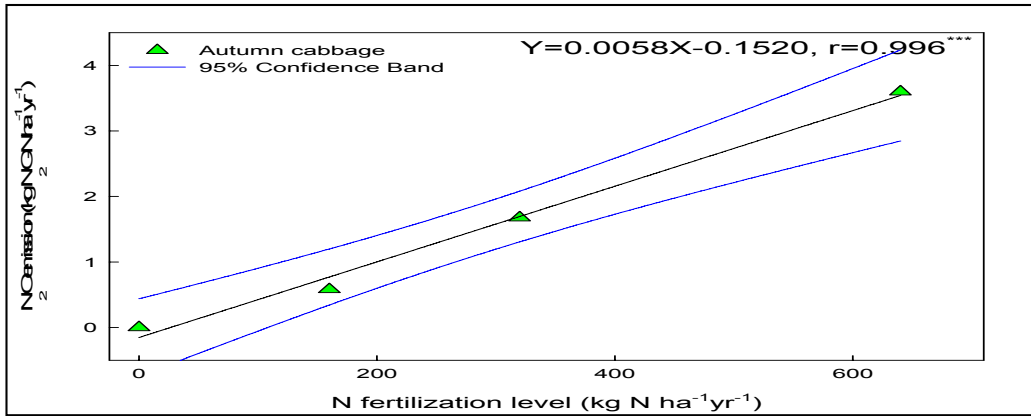


그림 2. 가을배추에 대한 질소 시비량과 아산화질소 배출량의 관계

감자는 강원지역과 제주지역의 자료를 이용하였으며, 각각 표 6과 표 7에 나타내었다. 감자의 질소 표준시비량인 10a당 13.7kg을 기준으로 하였다.

표 6. 강원지역(춘천) 감자 아산화질소 배출량 및 배출계수

		무비구	표준시비
2010	배출량(kg N <sub>2</sub> O-N/ha)	0.570	1.145
	배출계수(kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)		0.0046
2011	배출량(kg N <sub>2</sub> O-N/ha)	0.432	1.285
	배출계수(kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)		0.0068
2012	배출량(kg N <sub>2</sub> O-N/ha)	0.381	0.957
	배출계수(kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)		0.0046

표 7. 제주지역 감자 아산화질소 배출량 및 배출계수

		무비구	표준시비	배량시비
2010	배출량(kg N <sub>2</sub> O-N/ha)	0.575	1.653	3.517
	배출계수(kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)		0.0066	0.0090
2011	배출량(kg N <sub>2</sub> O-N/ha)	0.045	0.333	0.715
	배출계수(kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)		0.0018	0.0020
2012	배출량(kg N <sub>2</sub> O-N/ha)	0.492	1.731	3.700
	배출계수(kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)		0.0076	0.0098

표준시비량에서의 연간 아산화질소 배출량은 0.611 kg N<sub>2</sub>O-N/ha였으며, 질소 시비량과 아산화질소 배출량 사이의 기울기인 아산화질소 배출계수는 0.0049 kg N<sub>2</sub>O-N/ N kg으로, IPCC의 기준값인 0.01 kg N<sub>2</sub>O-N/ N kg보다 낮았다(그림 3).

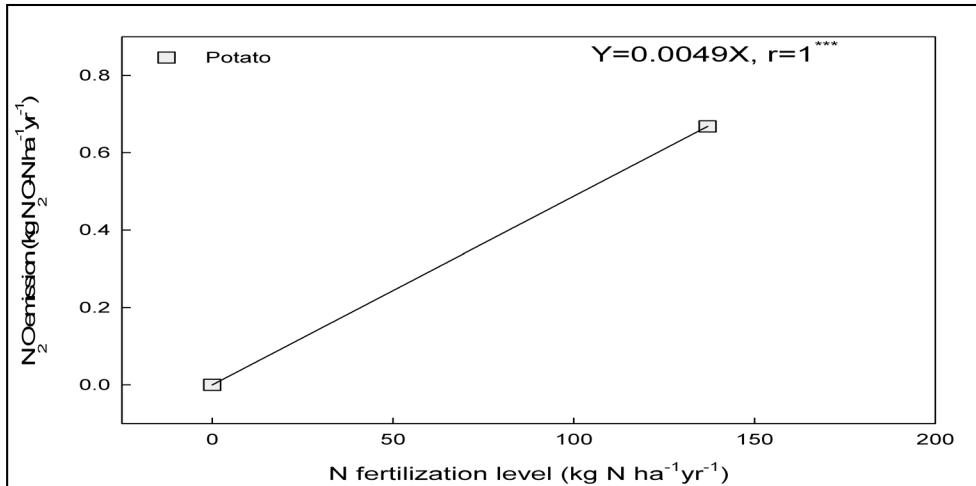


그림 3. 감자에 대한 질소 시비량과 아산화질소 배출량의 관계

다른 작물의 아산화질소 배출계수를 살펴보면, 콩(제주 화산회토 토양)은  $0.0202 \text{ kg N}_2\text{O-N kg}^{-1} \text{ N}$  (Yang 등, 2012a), 당근(제주 화산회토 토양)  $0.0025 \text{ kg N}_2\text{O-N kg}^{-1} \text{ N}$  (Yang 등, 2012b)이라고 보고된 바 있다. 일본에서는 배수가 잘 되는 밭에서는  $0.0032 \text{ kg N}_2\text{O-N kg}^{-1} \text{ N}$ , 배수가 불량한 밭은  $0.0140 \text{ kg N}_2\text{O-N kg}^{-1} \text{ N}$ 인 것을 고려하여, 밭작물에 대한 국가 고유 아산화질소 배출계수로  $0.0062 \pm 0.0045 \text{ kg N}_2\text{O-N kg}^{-1} \text{ N}$ 를 사용하고 있다(Akiyama 등, 2006). 다만 차나무는  $0.0282 \pm 0.0180 \text{ kg N}_2\text{O-N kg}^{-1} \text{ N}$ 로 따로 정하였다(Akiyama 등, 2006). 우리나라에서도 작물별로 배출계수를 따로 하는 것보다는 밭작물을 일괄적으로 정하되, 매우 특이한 배출 양상을 보이는 작목만을 따로 정하는 것이 좋으리라 사료된다. 물론 아산화질소 배출량은 토양의 성질, 기상 등 환경 요인, 재배 관리 등 여러 요인의 영향을 받는다는 점을 고려하여야 한다.

#### 4. 적 요

국가 고유의 온실가스 배출계수를 설정하는 것은 온실가스 배출량에 대한 국가 보고서를 작성하는 데에만 필요한 것이 아니라, 장차 온실가스 배출량을 줄이는 데에도 매우 귀중하다. 아산화질소의 배출은 주로 농경지에서 일어나므로, 농경지에서의 아산화질소의 국가 고유 배출계수의 설정은 시급하다. 수원, 춘천, 예산, 제주 등 우리나라 4개 지역에서 2010년부터 2012년까지 3년간 감자와 배추를 재배하면서 발생한 아산화질소를 채취하여 분석하였다. 질소 시용량과 아산화질소 누적 발생량, 무비구에서의 아산화질소 발생량 등을 고려하여 배출계수를 계산하였다. 불확도는 질소 시비량에 따른 아산화질소 배출량의 변화로부터 회귀식을 산출하여 95% 신뢰구간을 통하여 평가하였다. 그 결과 봄배추의 배출계수는  $0.0056 \text{ kg N}_2\text{O-N kg}^{-1} \text{ N}$ , 가을배추는  $0.0058 \text{ kg N}_2\text{O-N kg}^{-1} \text{ N}$ , 감자는  $0.0049 \text{ kg N}_2\text{O-N kg}^{-1} \text{ N}$ 였으며, 불확도는 봄배추 45.4%, 가을배추 29.7%였다.

## 5. 인용문헌

- Akiyama, H., Yagi, K, and X. Yan. 2006. Estimations of emission factors for fertilizer-induced direct N<sub>2</sub>O emissions from agricultural soils in Japan : Summary of available data. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 52:774-787.
- Australian Greenhouse Office. 2006. National Inventory Report 2004. Vol. 1. Australian Greenhouse Office. Canberra.
- Bouwman, A.F. 1996. Direct emissions of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 46:53-70.
- Bouwman, A.F., L.J.M. Boumans, and N.H. Batjes. 2002. Emissions of N<sub>2</sub>O and NO from fertilized fields: Summary of available measurement data. *Global Biogeochem. Cycles.* 16:1058-1070.
- Cantarel, A.A.M., J.M.G. Bloor, N. Deltro, and J.F. Soussana. 2011. Effects of climate change drivers on nitrous oxide fluxes in an upland temperate grassland. *Ecosystems.* 14:223-233.
- Freney, J.R. 1997. Emission of nitrous oxide form soils used for agriculture. *Nutrient Cycling Agroecosystem.* 49:1-6.
- Gu, J., X. Zheng, and W. Zhang. 2009. Background nitrous oxide emissions from croplands in China in the year 2000. *Plant Soil.* 320:307-320.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. Third Assessment Report. Working Group I. Cambridge University Press. Cambridge.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Vol. 4. Agriculture, forestry and other land use. Eggleston H. S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. (eds.) Hayama, Japan, 682p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Climate Change 2007. Mitigation of climate change : Contribution of working group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Metz B., Davidson O., Bosch P., Dave R., Meyer L. (eds) Cambridge University Press, New York.
- Kim, G.Y., B.H. Song, B.K. Hyun, K.M. Shim, J.T. Lee, J.S. Lee, W.I. Kim, and J.D. Shin. 2006. Predicting N<sub>2</sub>O emission from upland cultivated with pepper through related soil parameters. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 39:253-258.
- 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 greenhouse 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.* 41:399-407.

- Kim, G.Y., K.H. So, H.C. Jeong, K.M. Shim, S.B. Lee, and D.B. Lee. 2010. Assessment of greenhouse gases emissions using global warming potential in upland soil during pepper cultivation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:886-891.
- Netherlands Environmental Assessment Agency. 2006. Greenhouse Gas Emissions in the Netherlands 1990-2004: National Inventory Report 2006. Netherlands Environmental Assessment Agency. Bilthoven.
- Park, S., P. Croteau, K.A. Boering, D.M. Etheridge, D. Ferretti, P.J. Fraser, K.R. Kim, P.B. Krummel, R.L. Langenfelds, T.D. van Ommen, L.P. Steele, and C.M. Trudinger. 2012. Trends and seasonal cycles in the isotopic composition of nitrous oxide since 1940. *Nature Geosci.* 5:261-265.
- Parkin, T.B. 2008. Effect of sampling frequency on estimates of cumulative nitrous oxide emissions. *J. Environ. Qual.* 37:1390-1395.
- Parkin, T.B., R.T. Venterea, and S.K. Hargreaves. 2012. Calculating the detection limits of chamber-based soil greenhouse gas flux measurements. *J. Environ. Qual.* 41:705-715.
- Saggar, S., J. Luo, D.L. Giltrap, and M. Maddena. 2009. Nitrous oxide emissions from temperate grasslands: Processes, measurements, modelling and mitigation. In Sheldon A. I., Barnhart E. P. (eds.): Nitrous oxide emissions research progress. Nova Science Publishers, Inc., New York, pp. 1-66.
- Seo, Y.H., S.W. Kim, S.C. Choi, B.C. Jeong, and Y.S. Jung. 2012. Nitrous oxide emission from livestock compost applied arable land in Gangwon-do. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45:25-29.
- Shin, Y.K., J.W. Ahn, M.H. Koh, and J.C. Shim. 2003. Emissions of greenhouse gases from upland rice and soybean. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36:256-262.
- 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, pp. 127-150.
- Stauffer, B.R. and A. Neftel. 1988. What we have learnt from the ice cores about the atmospheric changes in the concentrations of nitrous oxide, hydrogen peroxide and other trace species. In *The Changing Atmosphere*. Edited by R. FS and I. ISA. John Wiley & Sons Ltd. Chichester.
- Stehfest, E. 2008. Modelling of Global Crop Production and Resulting N<sub>2</sub>O Emissions. VDM Verlag Dr. Müller, Saarbrücken, Germany.
- Swedish Environmental Protection Agency. 2006. Sweden's National Inventory Report 2006. Swedish Environmental Protection Agency. Bromma.
- Thornton, F.C. and R.J. Valente. 1996. Soil emissions of nitric oxide and nitrous oxide from no-till corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:1127-1133.

- Yang, S.H., H.J. Kang, S.C. Lee, H.J. Oh, and G.Y. Kim. 2012a. 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 soybean cultivation. Korean J. Soil Sci. Fert. 45:451-458.
- Yang, S.H., H.J. Kang, S.C. Lee, H.J. Oh, and G.Y. Kim. 2012b. 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. Korean J. Soil Sci. Fert. 45:459-465.
- Yang, S.H., H.J. Kang, S.C. Lee, H.J. Oh, and G.Y. Kim. 2012c. 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. Korean J. Soil Sci. Fert. 45:544-550.

## 6. 연구결과 활용

연도(연차)	활용구분	제 목
2013(1년)	논 문	강원도 고추, 배추, 감자 밭에서의 아산화질소 배출(비SCI)
	정책제안	아산화질소 강원도 밭작물 배출량 산정시 국가고유 배출계수 활용(자체)

## 7. 연구원 편성

구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도
					'13
과제책임자	국립농업과학원	농업연구사	김건엽	과제 총괄	○
1세부책임자	옥수수연구소	"	서영호	주관 수행	○
공동연구자	"	농업연구관	김경희	시험연구 수행 자문	○
"	원예연구과	농업연구사	장은하	통계분석 지원	○
"	옥수수연구소	"	박종열	"	○
"	"	기계운영주사보	용우식	조사업무 지원	○