

가축분퇴비 및 토양개량제 처리가 온난화 가스 배출에 미치는 영향

이경보* · 김종구 · 신용광¹⁾ · 이덕배¹⁾ · 이상복 · 김재덕

작물과학원 호남농업연구소, ¹⁾농업과학기술원
(2005년 4월 1일 접수, 2005년 5월 23일 수리)

Effects of Livestock Compost and Soil Conditioner Application on Greenhouse Gases Emission in Paddy Soil

Kyeong-Bo Lee*, Jong-Gu Kim, Yong-Kwang Shin¹⁾, Deog-Bae Lee¹⁾, Sang-Bok Lee, and Jae-Duk Kim (Honam Agricultural Research Institute, NICS RDA, Iksan 570-080, Korea, ¹⁾National Institute of Agricultural Science Technology, RDA, Suwon 441-707, Korea)

ABSTRACT: To find out reducing way of methane emission from a paddy field monitoring on the greenhouse gases emissions were carried out in the paddy soil with livestock compost and soil conditioner.

The seasonal variations of methane emission were high at 36 days and 86 days after rice transplanting, on the other hand those of nitrous oxide emission were high at 64 days after that day. Methane emission by cow compost application, pig compost application and chicken compost application were 331, 282 and 294 kg ha⁻¹, respectively. Otherwise, nitrous oxide emissions by cow compost application, pig compost application and chicken compost application were 1.60, 1.78 and 1.78 kg ha⁻¹ respectively. The total emission rate of greenhouse gases equivalent to CO₂ emission rate (GWP) was 7,447 kg ha⁻¹ in cow compost application, 6,474 kg ha⁻¹ in pig compost application and 6,726 kg ha⁻¹ in chicken compost application.

Methane emission by Ca, SiO₂ and artificial zeolite application were 373, 264, 239 kg ha⁻¹, respectively. The total emission rate of greenhouse gases equivalent to CO₂ emission rate (GWP) was 8,295 kg ha⁻¹ in Ca application, 5,978 kg ha⁻¹ in SiO₂ application and 5,447 kg ha⁻¹ in artificial zeolite application.

Key Words: Greenhouse gases, Livestock compost, Soil Conditioner, Paddy soil

서 언

지구온난화(Global Warming)는 대기 중에 있는 온실가스가 지표로부터 방출되는 장파인 적외선을 흡수하여 지구가 더워지는 현상으로 이로 인하여 사막화, 해수면 상승, 생태계 변화 등의 부정적 효과가 유발 된다. 온실가스(Greenhouse Gases, GHG)란 지구온난화 현상을 유발하는 가스로서 CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, SF₆ 등을 지칭하며, 가스별로 지구온난화에 기여하는 정도를 나타내는 지구온난화지수(Global Warming Potential)는 CO₂를 1로 보았을 때, CH₄가 21, N₂O가 310, HFCs가 1,300, PFCs가 7,000, SF₆가 23,900이다. 현 상태로 온실가스가 증가한다면 지구의 평균 기온은 2100년까지 0.8°C ~ 3.5°C 상승하며, 해수면은 2100년까지 50 cm 상승할 것으로 예상하고 있으며, 이러한 기후변화는

기상이변, 강수량 변화, 해수면 상승 등을 초래하여 식량공급, 수자원공급, 인간의 건강 등 생태계와 사회경제적 분야에 돌이킬 수 없는 영향을 미칠 수도 있다¹⁾.

담수된 논 토양은 대기로부터 산소공급이 원활 하지 않기 때문에 토양내 유기물은 혐기적 분해과정을 거치면서 발토양에서 잘 생성되지 않는 여러 미량 가스들이 방출된다. 이들 가스는 methane, ammonia, hydrogen sulfide, mercaptans, dimethyl sulfide 등인데 methane은 H₂ + CO₂ 또는 acetate를 기질로하여 편성 혐기성 조건하에서 메탄 생성균에 의해 생성되며, 생성된 메탄은 CO₂로 산화되거나 대기로 배출된다^{2,3)}. 농업부문에서 배출되는 온실가스 가운데 온난화잠재력이 가장 큰 N₂O는 농경지에 사용된 질소질 화학비료나 가축 분뇨중 질소에서 배출된다. N₂O는 토양 중에서 탈질과 질화 작용에 의하여 자연적으로 생성되며, 아질산염이나 질산염이 환원되어 기체 상태인 N₂가 되거나 산화된 질소로 될 때 발생한다. 농경지에 질소질 비료를 사용하였을 때 N₂O 발생에 영향을 주는 중요한 조건으로는 산소가 존재하는 토양 중에

*연락처:

Tel: +82-63-840-2262 Fax: +82-63-840-2118
E-mail: lee1214@rda.go.kr

*Pseudomonas*속과 같은 타급영양 세균에 의한 탈질작용이 대표적이다. 호기성 세균에 의한 탈질작용은 토양 중에서 일어나는 생물학적 과정인데 이 생물학적 과정에 영향을 주는 요인은 자연적인 것과 인위적인 것으로 나누어진다⁴⁾. 장래 농업에 있어서 온실가스 배출은 인구증가와 더불어 증가될 전망이다. Duxbury와 Mosier⁵⁾에 따르면 CO₂ 배출량은 농업 활동, 경지이용, 삼림 등을 감안할 때 감소될 전망이다. CH₄와 N₂O는 증가될 것이라고 보고하였다.

논으로부터의 온난화가스 발생량 추정은 1980년대 논에서의 실측치를 기본으로 하여 추정이 이루어졌지만 유기물 사용, 물관리, 시비 등 온난화가스 발생량에 큰 영향을 주는 인위적 변동요인의 영향들에 대해서는 명확하지 않은 점이 많이 남아있다. 따라서 본 연구는 농경지에 가축분퇴비, 토양개량제 등이 사용되었을 때 온난화가스 배출 양상을 구명하고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

가축분 퇴비 사용에 따른 온실가스 배출 양상

시험 토양은 호남농업연구소 시험 포장인 미사질양토로서 미사함량이 74.8%, 모래함량이 9.2%, 그리고 유기물 함량은 28.2 g kg⁻¹, 유효인산이 107 g kg⁻¹로 그 이화학적 특성은 Table 1과 같고, 시험기간은 2년 동안 실시하였다.

사용된 가축분 퇴비는 돈분톱밥퇴비, 계분톱밥퇴비, 우분톱밥퇴비로서 돈분톱밥퇴비중 전질소 함량은 1.51%, 전탄소 함량은 29.6%로 C/N비는 19.6이었고, 계분톱밥퇴비의 전질소 함량은 0.92%, 전탄소함량이 33.7%로 C/N비가 36.6이었으며, 우분톱밥퇴비의 전질소 함량은 0.79%, 전탄소 함량이 43.1%로 C/N비가 54.5이었다. 그 화학적 특성은 Table 2와 같으며, 각 성분 분석은 토양화학분석법⁶⁾에 준하여 분석하였다.

가축분 퇴비의 사용량은 질소무기화를 고려하여 질소 30% 대체량(돈분톱밥퇴비 4,980 kg ha⁻¹, 계분톱밥퇴비 7,250 kg ha⁻¹, 우분톱밥퇴비 38,460 kg ha⁻¹)을 기비로 사용하였다. 벼 재배는 5월 1일에서 3일 사이에 파종하여 5월 28에서 5월 30

일 사이에 재식거리 15×30 cm로 이앙하였으며, 대조구의 시비량은 N : P₂O₅ : K₂O = 110 : 45 : 57 kg ha⁻¹를 요소, 용성인비, 염화칼리로 각각 사용하였다.

토양개량제 사용시 온실가스 배출양상

사용된 토양개량제는 인공제올라이트, 규산(SiO₂ 28%), 소석회(CaO 65%)로 사용량은 각각 2,000 kg ha⁻¹을 이앙 10일전에 사용한 후 경운하였다. 벼 재배는 동진벼를 5월 1일에서 3일 사이에 파종하여 5월 28에서 5월 30일 사이에 재식거리 15×30 cm로 이앙하였으며, 시비량은 N : P₂O₅ : K₂O = 110 : 45 : 57 kg ha⁻¹를 요소, 용성인비, 염화칼리로 각각 사용하였다. 시험구는 난괴법 3반복으로 배치하였으며, 시험기간은 2년(2000~2001) 동안 실시하였다.

온실가스 시료채취와 분석

온실가스 flux를 조사하기 위해 신 등⁷⁾이 고안한 簡易閉鎖靜態 chamber법을 이용하였으며, 설치된 chamber는 밑면적이 0.36 m²(0.6×0.6 m)이고 높이가 1 m가 되도록 투명한 polyacrylic plastic의 소재로 제작하였다

시료채취는 syringe을 이용하여 주 1회씩 오전 9시부터 12시 사이에 실시하였다. 시료 채취시 시료채취를 시작할 때와 시료채취가 끝날 때의 chamber내 기온 및 지온을 기록하고 chamber내의 유효체적은 물 높이에 따라 변하므로 시료채취 때마다 유효높이를 기록하였다. 온실가스 분석조건은 Table 3과 같다.

온실가스 배출량은 단위 시간내 단위면적당 배출하는 양으로 나타냈다. 온실가스 배출량을 계산하기 위해서 chamber내 온실가스 농도의 변화, 기온의 변화, 시료채취 시간, 유효높이 등을 기준으로 다음 식에 따라 Flux(F=mg m⁻² h⁻¹)을 계산하였다⁸⁾.

$$F = \rho \times V / A \times \Delta c / \Delta t \times 273 / T \quad \text{또는} \quad F = \rho \times h \times \Delta c / \Delta t \times 273 / T$$

ρ : 밀도를 고려한 변환 계수($\rho_{CH_4}=0.714$, $\rho_{N_2O}=1.25$)
 A : 포집장치의 바닥면적(m²), V : 포집장치내 공기의 체적(m³)

Table 1. Physico-Chemical properties of soil before the experiment

Particle size dis. (%)			pH (1:5)	T-N (g kg ⁻¹)	O.M (g kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. Cation (cmol kg ⁻¹)		
Sand	Silt	Clay					K	Ca	Mg
9.2	74.8	16.0	6.1	1.91	28.2	107	0.3	7.1	2.9

Table 2. Chemical properties of livestock compost

Livestock compost	T-N (%)	T-C (%)	C/N	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)
Pig sawdust manure	1.51	29.6	19.6	1.21	1.13
Chicken sawdust manure	0.92	33.7	36.6	1.94	1.16
Cow sawdust manure	0.79	43.1	54.5	1.21	1.32

Table 3. Gas chromatographic analysis conditions for CH₄ and N₂O measurement

Detector	ECD, FID	
Column	Packing material	Porapak Q (80/100 mesh)
	Materials	Stainless steel
	O.D.×length	1/8"×3 m
Carrier gas	N ₂	
Flow rate	30 ml/min	
Temperature	Injector	150°C
	Column	60°C
	Detector	125°C
Retention time	CH ₄ , N ₂ O	2.04, 3.77 min

h : 포집장치내 유효높이(논물로부터의 높이, m)
 $\Delta c/\Delta t$: 단위시간당 농도의 변화, T : 포집장치내 평균기온(T=273K)

결과 및 고찰

가축분 퇴비 시용에 따른 온실가스 배출 양상

Table 4는 가축분퇴비 시용시 CH₄ flux를 시기별로 나타낸 것이다. 벼 이앙 15일 이후의 처리별 CH₄ flux는 3.2~6.8 mg m⁻² h⁻¹ 이었으나 벼 이앙후 36일에는 16.1~20.5 mg m⁻² h⁻¹로 전생육 시기중 가장 높았다. 이후 CH₄ flux는 감소하였다가 출수기에 CH₄ flux는 다시 증가하는 경향이 있었다. 가축분 처리구와 볏짚 시용구를 비교해 볼때 CH₄ flux는 볏짚 시용구에서 높았으며, 가축분 처리구중 우분퇴비구에서 높았다. 담수된 토양에 유기물을 시용하면 토양 환원조

장과 탄소원의 공급으로 CH₄ 생성 및 배출이 증가되는데 쉽게 무기화 될 수 있는 탄소함량을 기준으로 할 때 볏짚 또는 녹비시용은 CH₄ 배출이 많고 퇴비와 같은 부식화 물질은 CH₄ 배출이 적었다^{9,11)}. 이와 같은 결과로 볼 때 볏짚과 가축분 퇴비구의 CH₄ flux차이는 C/N율에 기인된 것이며, 계분 및 돈분 퇴비는 낮은 C/N율 때문에 CH₄ 배출이 적었던 것으로 생각된다.

Table 5는 가축분 퇴비 시용시 시기별 N₂O 배출 양상을 나타낸 것이다. 농업부문에서 배출되는 온실가스 가운데 온난화잠재력이 큰 N₂O는 농경지에 시용된 질소질 화학비료나 가축분뇨 시용에 의해 주로 배출되는데 벼 이앙 15일에 N₂O 배출량이 많았다.

축분퇴비구의 N₂O 배출양상은 계분퇴비구와 돈분퇴비구에 비하여 우분퇴비구에서 높은 경향이였다. 시기별 N₂O flux는 벼 생육초기에 높았으며 이앙 30일 이후부터는 감소

Table 4. Seasonal change of methane flux with different livestock compost in paddy field (Unit : mg m⁻² hr⁻¹)

Composst	Days after rice transplanting														
	7	15	23	29	36	43	51	57	64	71	86	93	100	108	115
HSM*	2.1	5.8	10.7	12.3	20.5	6.5	7.9	2.1	5.5	8.6	15.2	6.5	11.5	8.7	7.7
PSM	3.3	3.2	10.5	10.1	16.1	7.4	8.0	2.0	9.2	10.6	20.1	9.1	10.0	7.0	9.6
CSM	4.3	6.9	13.0	18.9	20.3	6.8	7.5	0.7	11.8	13.2	16.2	8.9	10.1	10.4	8.8
RS	3.9	6.8	11.4	14.6	19.0	7.8	8.8	1.0	9.6	9.2	16.7	12.1	11.8	11.7	9.9

* HSM: Chicken sawdust manure, PSM: Pig sawdust manure, CSM: Cow sawdust manure, RS: Rice straw.

Table 5. Seasonal change of N₂O flux different with livestock compost in paddy field (Unit : μg m⁻² hr⁻¹)

Compost	Days after rice transplanting														
	7	15	23	29	36	43	51	57	64	71	86	93	100	108	115
HSM*	-	98.6	58.2	18.0	22.5	45.7	-	28.6	149.4	33.9	41.4	46.8	54.2	69.8	20.3
PSM	-	78.4	109.8	36.0	33.8	49.5	17.3	2.2	165.0	40.7	64.9	54.2	47.5	92.3	60.8
CSM	-	132.2	40.3	42.8	27.0	33.1	5.2	-	145.0	40.7	63.3	27.1	64.9	85.5	51.8
RS	42.9	98.6	33.6	54.0	29.3	28.4	6.8	-	129.3	15.8	38.4	46.8	22.6	76.5	33.8

* HSM: Chicken sawdust manure, PSM: Pig sawdust manure, CSM: Cow sawdust manure, RS: Rice straw.

하였다가 이양후 64일에 가장 높은 peak를 보였다.

Table 6은 처리별 온실가스 배출량과 지구온난화 지수(GWP : Global Warming Potential)를 나타낸 표이다. 축분퇴비 시용에 따른 CH₄ 배출량은 우분퇴비 처리구가 331 kg ha⁻¹로 가장 많았으며, 돈분퇴비 시용구는 282 kg ha⁻¹, 계분퇴비 시용구는 294 kg ha⁻¹이었다. 아산화질소 배출량은 계분퇴비 시용구가 1.78 kg ha⁻¹, 돈분퇴비 시용구가 1.78 kg ha⁻¹, 우분퇴비 시용구가 1.60 kg ha⁻¹이었다. 반면에 볏짚을 사용한 처리구의 아산화질소 배출량은 1.44 kg ha⁻¹이었다. Tsuruta¹²⁾는 질소시비 N₂O배출량 시험에서 N₂O배출량은 시비질소의 약 0.5~2.3% 범위 이었다고 보고하였는데 본 시험에서의 N₂O배출량은 사용된 질소의 약 1.5% 수준이었다.

온실가스는 화합물이 가지고 있는 구조상 종류별로 열축적 능력에 차이가 있고, 이로 인해 온실효과를 일으키는 잠재력이 달라진다. 이를 지구온난화지수(GWP)라 하며 CO₂를 1로 기준할 때 CH₄ 21, N₂O 310으로 산출된다¹⁾. 처리별 지구온난화지수는 우분퇴비 처리구가 7,447 kg ha⁻¹로 가장 많았으며, 돈분퇴비 시용구는 6,474 kg ha⁻¹, 계분퇴비 시용구는 6,726 kg ha⁻¹ 그리고 볏짚시용구는 6,956 kg ha⁻¹이었다.

토양개량제 시용에 따른 온실가스 배출 양상

Table 7은 토양개량제 시용시 CH₄ flux를 시기별로 나타낸 것이다. 벼 이양 7일 이후의 CH₄ flux는 1.1~1.5 mg m⁻² h⁻¹로 처리별 차이가 없었으나 이양후 16일부터는 석회처리구에서 높았다. 시기별 CH₄ flux는 비슷한 경향이었으나 인공제올라이트 처리구에서 낮았다. 토양개량제 처리별 출수기인

이양후 86일의 CH₄ flux는 15.5~20.74 mg m⁻² h⁻¹로 다른 시기에 비하여 높았는데 이는 노화된 뿌리의 분해에 의한 영향으로 해석되며 등숙기의 CH₄ flux는 낮아지는 경향이였다.

한편 볏짚을 사용한 처리구의 CH₄ flux는 유수형성기인 이양 36일경에 19.0 mg m⁻² h⁻¹을 나타냈으며, 그 이후 감소하다가 출수기인 이양후 86일경에 16.7 mg m⁻² h⁻¹로 높은 peak를 보였다. 일반적으로 볏짚을 가을에 사용하고 경운하였을 때 CH₄ flux는 낮아지는데 Vermoesen 등¹³⁾은 수용성 탄소와 CH₄ 생성과는 밀접한 관련이 있다고 지적하였다. Lee 등¹⁴⁾은 유기물 시용시기에 따라 CH₄ 배출이 차이가 있다고 보고하였으며, Shiga 등¹⁵⁾은 가을에 논토양에 볏짚이 사용됐을 때 작물이 재배되지 않은 시기(11월~5월)에 볏짚 내의 35~55%의 탄소가 분해된다고 보고하였다.

담수토양의 벼재배지에서의 CH₄ 생성은 환원상태하에서 이루어지며 CH₄ 생성균은 혐기성 세균으로 산화환원 전위가 -250 mV에서 CH₄을 왕성하게 생성시키는 것으로 알려져 있다¹⁶⁾. Fig. 1은 토양개량제 시용시 벼 재배기간 동안 토양 Eh 변화를 나타낸 것으로서 석회 및 규산처리구에 비하여 인공제올라이트 처리구에서 토양 Eh가 높았다. 이는 미세공극이 많은 인공제올라이트가 처리됨으로서 토양물리성을 개선시켜 토양내 산소공급이 커짐으로서 토양 Eh에 영향을 미친 것으로 생각된다. 석회 및 규산처리구는 6월 29일경 토양의 산화환원 전위가 -200 mV 이하로 떨어졌으며 중간낙수 이후 토양의 산화환원 전위가 높아졌다. 시기별 Eh 변화는 석회처리구, 규산처리구 인공제올라이트 처리구 순으로 낮았으며 시기별 CH₄ flux(Table 7)와 Eh변화를 비교해볼 때 CH₄ 배

Table 6. Assesment of GWP with different livestock compost in paddy field

Compost	CH ₄ (kg ha ⁻¹)	N ₂ O (kg ha ⁻¹)	GWP (kg ha ⁻¹)
CSM*	331	1.60	7,447
PSM	282	1.78	6,474
HSM	294	1.78	6,726
RS	310	1.44	6,956

* HSM: Chicken sawdust manure, PSM: Pig sawdust manure, CSM: Cow sawdust manure, RS: Rice straw.

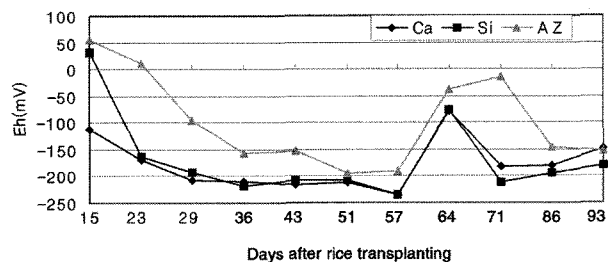


Fig. 1. Change of soil Eh with different soil conditioner in paddy field.

* Ca: Calcium hydroxide, Si: Silicate, AZ: Artificial zeolite.

Table 7. Seasonal change of CH₄ flux different with soil conditioner in paddy field (Unit : mg m⁻² hr⁻¹)

SC*	Days after rice transplanting														
	7	15	23	29	36	43	51	57	64	71	86	93	100	108	115
Ca	1.4	10.1	13.1	23.6	37.0	8.3	13.8	2.9	7.9	13.6	20.7	11.9	13.1	13.6	9.2
Si	1.1	3.5	10.9	13.8	20.7	7.7	8.3	1.6	4.0	11.3	14.5	8.4	11.9	8.5	5.2
AZ	1.5	7.5	11.9	13.4	12.7	6.8	9.2	1.6	9.2	10.0	15.5	11.2	11.9	8.0	8.2
RS	3.9	6.8	11.4	14.6	19.0	7.8	8.8	1.0	9.6	9.2	16.7	12.1	11.8	11.7	9.9

* SC: Soil conditioner, Ca: Calcium hydroxide, Si: Silicate, AZ: Artificial zeolite, RS: Rice straw.

Table 8. Seasonal change of N₂O flux with different soil conditioner in paddy field(Unit : $\mu\text{g m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)

SC*	Days after rice transplanting														
	7	15	23	29	36	43	51	57	64	71	86	93	100	108	115
Ca	-	91.8	51.5	33.8	47.3	63.9	60.5	57.6	70.2	37.0	39.9	35.4	35.4	42.6	52.9
Si	-	87.4	56.0	22.8	36.9	49.6	30.9	37.2	74.9	50.2	37.1	31.2	31.2	63.3	36.5
AZ	-	78.4	20.2	44.7	71.9	41.8	22.1	57.5	85.7	36.9	53.9	37.3	37.3	40.2	49.1
RS	42.9	98.6	33.6	54.0	29.3	28.4	6.8	-	129.3	15.8	38.4	46.8	22.6	76.5	33.8

* SC: Soil conditioner, Ca: Calcium hydroxide, Si: Silicate, AZ: Artificial zeolite, RS: Rice straw.

Table 9. Assesment of GWP with different soil conditioner in paddy field

Soil conditioner	CH ₄ (kg ha ⁻¹)	N ₂ O (kg ha ⁻¹)	GWP (kg ha ⁻¹)
Ca*	373	1.49	8,295
Si	264	1.40	5,978
AZ	239	1.38	5,447
RS	310	1.44	6,956

* Ca: Calcium hydroxide, Si: Silicate, AZ: Artificial zeolite, RS: Rice straw.

출은 토양 Eh 변화에 따라 크게 좌우되는 경향이였다.

Table 8은 토양개량제 사용시 시기별 N₂O 배출 양상을 나타낸 것이다. 석회시용구의 시기별 N₂O 배출 양상은 벼 이앙초기에 91.8 $\mu\text{g m}^{-2} \text{hr}^{-1}$ 로 가장 높았으며, 그 이후 감소하다가 벼 이앙 64일경에 70.2 $\mu\text{g m}^{-2} \text{hr}^{-1}$ 로 다시 증가하였다. 규산 및 인공제올라이트 시용구의 시기별 N₂O 배출 양상도 석회시용구와 비슷한 경향을 나타냈다.

Table 9는 토양개량제 처리별 온실가스 배출량과 지구온난화 지수(GWP)를 나타낸 표이다. 석회 시용에 따른 CH₄ 배출량은 373 kg ha⁻¹로 다른 처리보다 많았으며, 규산 시용구는 264 kg ha⁻¹, 인공제올라이트 시용구는 239 kg ha⁻¹ 그리고 벗짚 시용구는 310 kg ha⁻¹이었다. 아산화질소 배출량은 석회 시용구가 1.49 kg ha⁻¹, 규산 시용구가 1.40 kg ha⁻¹, 인공제올라이트 시용구가 1.38 kg ha⁻¹이었다. 반면에 벗짚을 시용한 처리구의 N₂O 배출량은 1.44 kg ha⁻¹이었다.

처리별 지구온난화지수(GWP)는 석회 처리구가 8,295 kg ha⁻¹로 가장 많았으며, 규산 시용구는 5,978 kg ha⁻¹, 인공제올라이트 시용구는 5,447 kg ha⁻¹ 그리고 벗짚 시용구는 6,956 kg ha⁻¹이었다.

요 약

논 토양으로부터 발생된 지구온난화 가스의 배출 제어 기술을 구명하기 위하여 논 토양에서 가축분퇴비 및 토양개량제 시용에 따른 온실가스 배출 양상을 검토하였다.

축분퇴비 시용에 따른 CH₄ 배출량은 우분퇴비 처리구가

331 kg ha⁻¹로 가장 많았으며, 돈분퇴비 시용구는 282 kg ha⁻¹, 계분퇴비 시용구는 294 kg ha⁻¹이었다. N₂O 배출량은 계분퇴비 시용구가 1.78 kg ha⁻¹, 돈분퇴비 시용구가 1.78 kg ha⁻¹, 우분퇴비 시용구가 1.60 kg ha⁻¹이었다. 반면에 벗짚을 시용한 처리구의 N₂O 배출량은 1.44 kg ha⁻¹이었다. 지구온난화 지수(global warming potential : GWP)는 우분퇴비 처리구가 7,447 kg ha⁻¹로 가장 많았으며, 돈분퇴비 시용구는 6,474 kg ha⁻¹, 계분퇴비 시용구는 6,726 kg ha⁻¹ 그리고 벗짚시용구는 6,956 kg ha⁻¹이었다.

토양개량제 시용에 의한 온난화 가스 배출시험에서 석회 시용구의 CH₄ 배출량은 다른 처리에 비해 373 kg ha⁻¹로 가장 많았으며, 규산 시용구는 264 kg ha⁻¹, 인공제올라이트 시용구는 239 kg ha⁻¹ 그리고 벗짚 시용구는 310 kg ha⁻¹이었다. N₂O 배출량은 석회 시용구가 1.49 kg ha⁻¹, 규산 시용구가 1.40 kg ha⁻¹, 인공제올라이트 시용구가 1.38 kg ha⁻¹이었다. 지구온난화지수(GWP)는 석회 처리구가 8,295 kg ha⁻¹, 규산 시용구는 5,978 kg ha⁻¹, 인공제올라이트 시용구는 5,447 kg ha⁻¹ 그리고 벗짚 시용구는 6,956 kg ha⁻¹이었다.

참고문헌

1. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change (1995), Draft Summary for Policymakers of The Contribution of Working Group I to The IPCC Second Assessment Report.
2. Mosier, A. R. (1989). Chamber and isotope techniques. In Andreae, M. O. and Schimel, D. S. (ed) Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere, John Wiley and Sons Ltd. p. 175-187.
3. Tans, P.P., Fung, I.Y. and Takahashi. T. (1990) Observational constraints on the global atmospheric carbon dioxide budget. Science. 247:1431-38.
4. Eichner, M.J. (1990) Nitrous oxide emissions from fertilized soils: Summary of available data. J. Env. qual. 19:272-280.
5. Duxbury, J. and Mosier, A.R. (1993) Status and

- issues regarding agricultural emissions of greenhouse gases. In agricultural dimensions of global climate change. eds. T. Drennen and H.M. Kaiser, Chapter 12. St. Lucie Press; Florida.
6. National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAS). (1987) Chemical analysis of soil and plant. ROK: Rural Development Administration.
 7. Sin. Y. K., Lee, Y. S., Yun S. H. and Park. M. E. (1995) A simplified closed static chamber method for measuring methane flux in paddy soils. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert 28(2):183-190.
 8. Denmead, O. T. (1993) Developments in flux measurements of greenhouse gases. J. Agric. Meteorol. 48:543-550.
 9. Cicerone, R. J. and Shetter, R. D. (1981) Sources of atmospheric methane : Measurements in rice paddies and a discussion. J. Geoph. Res. 86:7203-7209.
 10. Sass, R. L., Fisher, F. M., Turner, F. T. and Jund, M. F. (1991) Methane emission from rice fields as influenced by solar radiation, temperature, and straw incorporation. Global Biogeochem. Cycles 5(4):335-350.
 11. Yagi K., and Minami, K. (1991) Emission and production of methane in the paddy fields of Japan. JARQ 25:165-171.
 12. Tsuruta, H. (2001) Emission of nitrous oxide and nitric oxide from Andosols after the application of different forms of nitrogen fertilizers and mitigation options for their emissions. Japan ANIAGS No. 17, 43-51.
 13. Vermoesen, A., Ramon, H. and Cleemput, O. (1991) Composition of the Soil Gases. Permanent gases and hydrocarbons. Pedology 41:119-132.
 14. Lee K. B., Lee, D. B., Uhm. T. K., Kim, J. G., Yoo C. H. and Kim, Y. W. (1997) Influence of different rice varieties on emission of methane in soil and exudation of carbohydrates in rhizosphere. J. of Korean Sci. of Soil Sci. Fer. 30(3):257-264.
 15. Shiga, H., Ohyana, N., Maeda, K. and Suzuki. M. (1985) An evaluation of different organic materials based on their decomposition patterns in paddy soils. Bull Natl. Agric. Res. Cent., 5, 1-19.
 16. Nouchi I. 1994. Mechanisms of methane transport through rice plants. CH₄ and N₂O. 86-104.
-