

벼 건답직파재배에서 물관리와 벗짚 및 퇴비가 메탄배출에 미치는 영향

高知延* · 姜恒遠* · 朴慶培*

Effects of Water Management Rice Straw and Compost on Methane Emission in Dry Seeded Rice

Jee-Yeon Ko*, Hang-Won Kang* and Kyong-Bae Park*

ABSTRACT

Investgated in relation to Methane emission on dry seeded rice culture was flooding and intermittent irrigation and application time of rice straw in clayey soil. Negative peaks of the methane emission before 3 leaves stage which were never seen in the transplanting cultivation was found and the highest peak was come out at the heading stage. Total amount of emitted methane was lower about 40% than that of the transplanted.

Methane emission decreased about 19% by intermittent irrigation. Compost and NPK application reduced methane about 70% and 80% in comparisn with rice straw. Rice straw application one month before sowing reduced methane emission than the application just before sowing.

Key words : Paddy, Methane, Dry seeded rice, Organic matters, Water management, Rice straw.

서 언

안정되어 있던 자연생태계에 인간의 활동이 가해지면서 여러 환경문제가 야기되고 특히 최근 대기내 미세기체에 의한 기후변화에 관심이 고조되고 있다. CO_2 , CFC_s, CH_4 , N_2O , O_3 등의 미세기체들은 지표로부터 열복사에 강한 흡수능을 가져 대기의 온도를 상승시키는데 이중 메탄가스는 대기내 약 1.7ppmV으로서(윤 등 1993), 주요한 온실가스인 이산화탄소에 비하여 미량으로 존재하지만 1mol 증가에 따른 온실효과의 크기는 10~100배로 그 기여도가 15%에 해당할 뿐 아니라 현 대기내 존재량의 5~30%가 벼가 재배되는 논토양에서 발생되므로(Minami 1993) 농업생태계에

끼치는 영향이 매우 크다

메탄은 혐기성 미생물인 메탄생성균에 의한 유기물의 최종분해산물이므로 논토양에서 발생하는 메탄의 생성작용은 메탄생성균의 기질이 되는 유기물, 토양의 산화환원전위, 토양온도, 토양의 물리적 성질, 작부되는 식물등에 의해 영향을 받는다고 알려져 있다 (Minami 1993). Yagi와 Minami는 논토양에서 유기물이 메탄배출에 미치는 영향을 연구한 바 약 6~9ton/ha의 벗짚을 사용한 경우 NPK 구에 비해 1.8~3.5배의 메탄이 증가되었다고 하였고 OECD는 토양의 형태적 분류에 따른 메탄 발생양상 연구에 있어서 논토양의 메탄발생량은 Entisol, Histosols, Alfisols, Vertisols, Mollisols의 순이었다고 보고하였으며

*嶺南農業試驗場(National Yeongnam Agricultural Experimental Station, RDA, Milyang 627-130, Korea)

Ponnamperuma 등은 메탄생성이 유도되는 토양의 산화환원전위를 -250~300mV 범위이라고 규정하였다.

현재 우리나라 논토양에서 발생되는 메탄가스의 배출양상에 관하여서는 신과 이 등에 의해 보고된 바 있으나 모두 이양재배로 수행하였으며 초기 토양의 비담수 기간이 긴 건답직파재배에서의 메탄배출에 관한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 건답직파재배에 따른 메탄가스 배출양상을 구명하고 건답직파재배에서 물관리 및 유기물시용의 변화가 메탄가스 배출량에 미치는 영향을 조사하여 메탄가스를 저감시킬 수 있는 재배법을 확립하고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

본 시험에 사용된 공시토양은 영남농업시험장내 있는 식질계 적황색토인 화동통 담토양이며 토양의 화학성은 표1과 같다.

화남벼를 공시품종으로 하여 5월 8일에 건답직파하고 비료시용량은 N-P₂O₅-K₂O=150-70-110kg/ha로 하였으며, 비료분시방법, 제초제살포 및 농약살포등의 재배법은 영남농업시험장 벼 표준재배법에 준하였다. 재배기간중 유기물과 물관리 방법을 달리하여 메탄가스 배출량을 조사하고자 유기물 처리로는 파종직전에 퇴비 10000kg/ha, 벗짚 5000kg/ha을 시용하였고,

물관리방법으로서는 상시담수 및 간단관개 처리하였다. 또한 벗짚의 시용시기가 메탄생성에 미치는 영향을 구명하고자 파종한달전과 파종직전시용 처리를 하여 경운작업을 하였다. 시용한 유기물의 화학성은 표2와 같다.

메탄시료 채취방법은 윗뚜껑을 여닫을 수 있는 60×60×100(cm) 크기의 밀폐식 아크릴 chamber를 사용하여 뚜껑이 열린 상태의 chamber내 메탄과 밀폐후 일정시간동안 발생된 메탄을 syringe로 3반복 채취한 후 아래식에 의해 메탄배출량을 환산하였다. 시료의 채취는 토양교란에 의한 메탄배출을 막기위해 chamber 설치 3일후인 5월 18일부터 시작하여 수확기인 10월 5일까지 주 1회 오전 10시에 채취하였다.

$$\text{Flux} = \rho \times V / A \times \Delta C / \Delta t \times 273 / 273 + T^{\circ}\text{C}$$

ρ : 메탄의 밀도 V: 체적 (m³)

A: 면적 (m²)

ΔC : 밀폐전후의 메탄농도변화(ppmV)

Δt : 시간 (hr) T: Chamber내 평균온도

메탄의 분석은 HP사의 Gas chromatography 5890 Series II (FIDetector, Alltech사의 porapack N stainless Column)를 이용하였으며 시료의 휘발로 인한 오차를 줄이기 위해 시료채취당일 분석하였다.

Table 1. Chemical properties of soil used in the experiment

Soil depth (cm)	pH (1:5)	OM (%)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Av. SiO ₂ (mg/kg)	EX..cations(cmol ⁺ /kg)	
					Ca	K
0-15	5.7	2.9	93	107	3.5	0.5
15-30	6.0	2.8	89	105	3.6	0.3

Table 2. Chemical properties of soil used in the experiment (%)

organic mater	T-C	T-N	C/N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Rice straw	36.6	0.53	69.0	0.22	1.81	0.46	0.17
Compost	27.8	1.31	22.7	0.69	1.50	0.19	0.21

결과 및 고찰

1. 유기물원별 메탄가스 배출양상

메탄배출의 주요인자로 알려진 유기물원에 의한 차이를 알아보기 위하여 물관리방법을 상시담수로 하고 벗짚, 퇴비 및 유기물 무시용(NPK구)으로 유기물원을 달리 처리하였을 때의 메탄배출양상은 그림1과 같다.

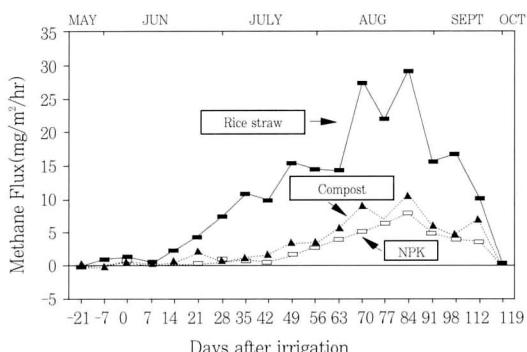


Fig. 1. Variations of methane emission rate with different treatments by organic materials.

모든 처리의 메탄배출량은 기온의 상승과 벼 생육의 진전에 따라 점증되는 경향을 보였으며 특히 벗짚시용구는 담수후 35일(분열기, 7월 13일), 49일(유수형성기, 7월 27일), 70일(출수기, 8월 17일)에 작은 Peak 가 나타났고 담수후 84일(등숙기, 8월 31일)에는 모든 구에서 최대 Peak를 보였다.

이러한 배출양상은 이앙재배시 벗짚시용구에서 재배 초기 최대배출량이 나타났다는 신의 보고나 분열후기(6월말) 뚜렷한 배출Peak를 보고한 Yagi, Watanabe의 보고와는 상이하였는데 이는 재배양식간의 토양환원 조장시기의 차이로 이앙재배시의 시용벗짚의 환원적 분해가 건답직파에서는 산화적 분해로 전환되었기 때문이라 생각된다. 모든 처리에서 나타나는 생육후기의 높은 Peak는 이앙재배와 유사한 경향이며 뿌리의 삼출물이나 사멸한 식물체의 뿌리에서 유래한 탄소가 원인이라고 Neue는 보고한 바 있다.

처리별 메탄배출량에 있어서는 벗짚시용구가 NPK

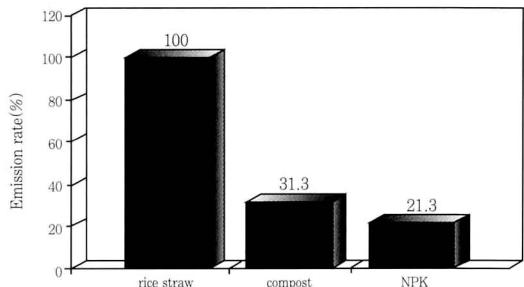


Fig. 2. Effects of organic maters on the mitigation of methane emission.

및 퇴비시용구에 비해 생육전기간에 걸쳐 월등히 많았으나 퇴비시용구와 NPK구간에는 큰 차이를 보이지 않았다. 이러한 벗짚시용이 메탄배출에 미치는 영향을 그림2에서 보면 전생육기간동안 발생된 벗짚시용구의 메탄발생량에 비하여 퇴비시용구는 약 70%, NPK시용구는 약 80% 저감된 수준이었다(그림 2).

이러한 경향은 유기물원으로서 벗짚의 시용이 메탄생성균의 탄소원으로 이용되었을 뿐 아니라 벗짚이 협기적으로 분해되면서 타 처리에 비해 토양환원상태가 조장되었기 때문에 메탄발생량이 가장 많았고, 퇴비는 이미 이분해성 물질들이 분해된 상태의 유기물원으로서 토양환원에 큰 영향을 주지 못하여 유기물을 사용하지 않은 NPK와 같이 메탄발생량이 적었던 것으로 생각된다.

2. 물관리방법별 메탄발생양상

논의 물관리는 토양의 산화환원 반응에 직접적인 영향을 미치기 때문에 현 재배방법중 메탄발생량을 조절 할 수 있는 용이한 인자로 알려져 있다(윤등 1993). 따라서 건답직파재배시 벗짚시용구에서의 상시담수와 간단관개처리가 메탄발생량에 미치는 영향을 조사한 결과는(그림2). 상시담수와 간단관개 처리 모두 생육 초기의 메탄발생량이 미미하고 처리간 차이가 없었지만 생육후기로 갈수록 간단관개에 비해 상시담수의 메탄발생량이 증가하는 경향을 보였다.

이는 간단관개에 비해 상시담수처리가 토양환원을 조장하여 유기물의 협기적 분해가 활발해진 결과로 생

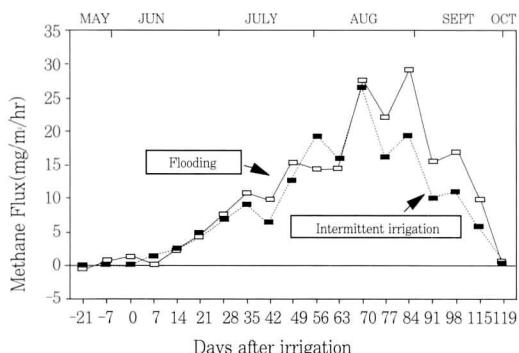


Fig. 3. Methane emissions depending on water management in paddy field applied rice straw.

각된다. 또한 간단관개시 담수후 42일(7월 20일), 77일(8월 24일), 91일(9월 14일)에 메탄배출량이 급격히 감소하였던 것은 낙수에 의해 토양환원상태가 산화상태로 바뀜에 따라 메탄이 이산화탄소등의 산화물로 전환되었기 때문으로 보인다

그림3은 물관리 방법에 따른 벼 생육전기간 동안의 메탄배출 저감효과를 나타낸 것으로 간단관개처리가 상시담수에 비해 약 19%정도 메탄발생이 억제되었다. 이러한 저감효과는 이양재배시 간단관개가 상시담수에 비해 10~37%정도 저감되었다고 한 Erda의 보고치와 유사하였으나 신등의 34~37%, Sass등의 88%보다는 낮은 경향을 보였다. 이와 같이 간단관개처리 효과의 심한변이는 조사한 지역의 토양특성이 물관리별 메탄발생량에 영향을 미치기 때문이라 생각되며 본 시험의 간단관개 저감효과가 타 보고치보다 낮았던 것은

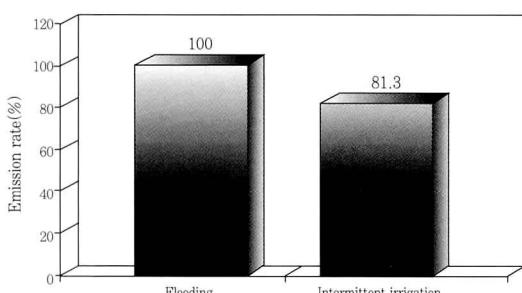


Fig. 4. Effects of water management on the mitigation of methane emission.

본 시험의 재배양식이 다른 시험과는 달리 건답직파재 배였으며 또한 점토함량이 30%가 넘는 미사질 식양토에서 행해진 바 토양배수의 불량으로 간단관개 처리횟수가 적었기 때문에 상대적인 메탄배출 저감효과가 미약하였던 것으로 추정된다.

3. 벗짚의 사용시기에 따른 메탄배출 양상

논토양에서의 벗짚시용은 비옥도 증진에 기여하는 유기물원의 토양 활원 방법이지만 그로인한 메탄가스 발생은 현저히 증가되어 문제시 되고 있으므로(Minami 1993, Neue1994, 신 1995, Yagi 1990) 벗짚시용에 따른 메탄가스의 배출량 증가를 완화하기 위한 방법을 구명하고자 벗짚의 사용시기를 달리하여 그 배출량을 조사하였다.(표 3)

Table 3. Methane emission by different timing of rice straw application

Treatment	Methane emission (g/m ² /day)	
	Just before sowing	1month before sowing
Flooding	0.25	0.16
Intermittent irrigation	0.21	0.12

상시담수구에서 파종직전 벗짚처리의 메탄배출량은 0.25g/m²/day이었고 파종한달전 처리는 0.16g/m²/day로서 파종한달전 처리가 약 36%정도 적었고, 간단관개구에서는 각각 0.21g/m²/day와 0.16g/m²/day의 발생량을 보여 파종한달전 처리에서 약 43%의 저감효과가 있었다. Inubushi는 Pot실험에서 벗짚의 1개월전 및 2개월전 시용처리가 직전시용에 비하여 각각 50%, 63% 메탄배출이 저감되었다고 하였으며, 배출peak의 양상도 벗짚의 직전시용에 비해 느려진다고 보고하였는데 본실험에서도 간단관개 처리시 이와 유사한 결과를 얻었다.

신은 파종직전벗짚시용처리에 비하여 3개월전 처리의 메탄배출량을 상시담수에서 21%, 간단관개에서 25.3% 저감되었다고 보고한 바 본 시험의 결과에 비해 다소 낮은 수치를 보였다. 이러한 경향은 시용벗짚

의 분해정도 및 재배양식의 차이에서 비롯되었을 것으로 사료된다.

4. 건답직파재배 처리별 메탄의 최소, 최고 및 평균 배출량

건답직파재배시 발생하는 처리별 메탄가스의 최소, 최고 및 평균배출량은 표 4와 같다.

Table 4. Methane emission according to different organic matters and water managements in direct seeding culture on dry paddy field

Treatment	Methane emission ($\text{mg/m}^2/\text{day}$)			Total (kg/10a /141days)	
	Max	Min	Av.		
Flooding	NPK	187.7	-12.0	51.8	187.7
	Compost	248.3	-1.8	76.9	248.3
	Rice straw	700.1	-14.3	252.4	700.1
	Av.	428.5	-7.8	136.5	428.5
Intermittent irrigation	NPK	121.2	-7.0	44.5	6.3
	Compost	192.5	-3.3	66.7	9.4
	Rice straw	636.7	-2.6	209.5	29.5
	Av.	331.5	-4.4	110.9	15.6

처리별 메탄가스의 최소배출량은 -1.8~ -12.0의 범위로 이양재배시에는 관찰할 수 없는 마이너스배출치가 파종직후(5월 18일)부터 골사이 관수가 시작되는 3엽기(6월 16일)기간에 나타났는데 이는 담수가 아닌 호기상태의 토양이 오히려 메탄sink로서의 기능을 하였기 때문으로 생각되며, 인도의 다양한 토양에서 메탄배출량을 측정한 Parashar과 비단수의 이탄토에서 측정한 Thurlow등의 토양의 메탄가스흡수보고와 유사하였다. 또한 신은 수확후의 포장에서 메탄의 마이너스배출치를 보고한 바 있다.

처리별 메탄배출총량은 물관리별로는 상시담수〉간단관개, 유기물별로는 파종직전 벗짚시용〉파종한달전 벗짚시용〉퇴비시용〉NPK시용의 순으로 이양재배시 신이 보고한 결과와 같았으나 배출량은 약 40% 이상 낮은 경향을 보였다. 이는 이양재배시 발생하는 시용 유기물에 의한 담수초기의 큰 배출Peak가 건답직파재배에서는 담토양의 산화상태로 인하여 상쇄되어 배출총량에 영향을 끼친것으로 보인다.

적 요

건답직파재배시 물관리 및 유기물원별, 벗짚의 사용시기를 달리하여 메탄배출량을 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 건답직파재배시 논토양에서 발생하는 메탄가스의 배출양상은 3엽기 이전까지는 마이너스 배출치를 나타내다가 생육의 진전과 기온의 상승에 따라 계속 증가하여 출수기에 최대Peak를 나타내었다.

2. 유기물원별 메탄가스의 배출량은 벗짚 시용구에서 가장 많았으며 퇴비시용은 NPK시용에 비해 크게 증가하지 않았다. 또한 벗짚 시용시기별로는 파종 한달 전 시용함이 파종직전 처리에 비해 약 40%의 메탄배출저감효과를 보았다.

3. 물관리별로는 간단관개가 상시담수에 비해 약 19% 저감되었다.

인용 문헌

- Erda,L., Hongmin,D., Yue,L. 1994 Meyhane emmisions of China : Agricultural sources and Mitigation options. In None- CO_2 Greenhouse Gases. pp405-4101
- Minami, K. 1993 Methane from Rice prodution. Res. Rep. Div. Environ. Planning., 9 : 243-258
- Neue,H.U., Wassman, R., Lantin,R.S., Alberto,M.C., Aduna,J.B. 1994. Climate change and Rice. IRRN 19:3 (September 1994)
- Parashar, D.C., Mitra, A.P., etc. 1994 Methane Budget from Indian Paddy Fields. In CH_4 and N_2O . NIAES Series 2. pp 27-39
- Ponnamperuma, F.N 1972. The chemistry of submerged soils. Advances in Agronomy 24: 29-96.
- Sass,R.L., Fisher,F.M. 1994 CH_4 Emission from Paddy fields in the united states Gulf Coast AREA. In CA_4 and N_2O , NIAES Series2. pp65-77.
- 신용광, 이양수. 1994 논토양 온실가스 저감기술개발. 농업기술연구소 보고서 pp 318-325
- 申容光 1995. 簡易閉鎖靜態 chamber 法에 의한 灌溉 및 有機物 施用이 논土壤의 메탄排出에 미치는 影響에 관한 研究. 全南大 博士學位論文.
- 太伏和之, 村松康彦, 梅林正直. 1994 わら時用時期が 水田からのメタン放出に及ぼす影響. Jap. J. Soil Sci. Plant Nutr., 65:22-26
- Thurlow,M., Kanda, K., Tsuruta, H., Minamini, K. 1995 Methane Uptake by unflooded Paddy soils. Soil Sci. Plant Nutr., 41 : 371-375

- Yagi.K., Minami, K. 1990 Effect of Organic Matter Application on Methane Emission from Some Japanase Paddy Fields. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 36 : 599-610
嶺南農業試驗場 1995 嶺南農業30年史 :271-272
- Yun, SengHo ., JeongNam. I., ByengLyel. L 1993 Greenhouse Gas Emissions and Countermeasures against Climate change in Agriculture Proc. Symp. On Plant Growth and Environment, pp 162-183.
- Watanabe, A., Katoh, K., Kimura, M. 1993 Ettect of Rice Straw Application on CH₄ Emission from Paddy Fields I. Ettect of Weathering of Rice Straw in the Field during Off-Crop Season. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 39 : 701-706