

연구논문

PAA(Polyaspartic Acid) 함유 복합비료가 벼 생육 및 벼 재배 논에서의 메탄 발생에 미치는 영향 연구

주옥정 · 이종형 · 최병열 · 원태진 · 조광래 · 서재순 · 김영순 · 박인태

경기도농업기술원 작물개발과

(2013년 11월 1일 접수, 2013년 11월 26일 승인)

Effects of PAA (Polyaspartic Acid) Contained Complex Fertilizer on Rice Growth and CH₄ emission from Rice Cultivation

Okjung Ju · Jeong-hyung Lee · Byoung-Rourl Choi · Tae-Jin Won · Kwang-Rae Cho ·
Jae-Sun Seo · Young-sun Kim · In-tae Park

Crop Research and Development division, Gyeonggi-do Agricultural Research and Extension Services

(Manuscript received 1 November 2013; accepted 26 November 2013)

Abstract

This study was carried out to investigate the effects of the complex fertilizers containing polyaspartic acid (PAA) on growth and CH₄ emission in rice field and optimum application rate of the fertilizer compared to the standard recommended application rate (control). The PAA-containing complex fertilizers (PCF) were applied at 55, 65 and 75% levels of standard recommended application rate (control). The application rate of PAA in the plot of every PCF treatment was 150g ai/10a. The PCF was applied as a basal dressing without topdressing at tillering stage. The growth parameters of rice and its nitrogen use efficiency treated with PCF at a 65 to 75% level were not different compared with those of control, and the rice yield was also not significantly different between PCF at a 65 to 75% level and control during 2 years(2010~2011) field experiment. And the NH₄-N content in soil was not affected by 65% to 75% level of PCF treatment. Considering overall research results such as rice yield and growth parameters PCF is not significantly different with the control and the optimum application rate of the PCF as a basal fertilization was determined to be 65~75% of the standard application rate based on the result in rice cultivation. Moreover, CH₄ emission rate was significantly reduced by PCF treatments, showing 216 kg and 229 kg CH₄/ha at 65% and 75% PCF treatment level, respectively, compared to 266 kg CH₄/ha of the control.

Keywords : Polyaspartic acid(PAA), Chemical fertilizer, Rice, CH₄ emission, Greenhouse gas

I. 서론

국내의 화학비료 사용량은 성분량 기준으로 2000년 382 kg/ha에서 2008년 311 kg/ha, 2011년 249 kg/ha으로 감소추세에 있다(한국비료공업협회, 2012). 그러나 경제협력개발기구(OECD)에서 공표하는 농업환경지표에 따르면 주요 선진국의 단위면적(1 ha) 당 화학비료 사용량(2001년~2003년 평균)은 한국 423 kg/ha으로 영국 338 kg/ha, 프랑스 227 kg/ha, 일본 305 kg/ha에 비해 높은편이며, 농경지에 투입되는 질소분량에서 농작물 생산 등을 통해 반출되는 질소양분을 제외한 양분을 농경지 면적으로 나눈 질소수지는 우리나라가 1 ha당 231 kg으로 OECD 국가 평균 73 kg(2002~2004년 평균)의 3배를 넘는다. 또한, 세계경제포럼이 2005년 발표한 환경지속성지수도 우리나라가 비료부문에 146개국 중 138위로 낮은 순위를 차지하고 있다. 이에 농림수산식품부에서는 저탄소녹색성장기본법에 의거, 온실가스 배출량 감축을 위해 화학비료 사용절감을 기후변화 대응 기본계획으로 수립하여 242 kg/ha(2010년)에서 220 kg/ha(2013년)로 화학비료 사용량을 줄일 계획이며, 이 후 매년 3%씩 절감할 예정이며, 온실가스 감축목표를 2020년까지 35% 설정하여 발표한 바 있다(농림수산식품부, 2011).

비료의 주요 성분 중 하나인 질소는 온실가스인 아산화질소 및 메탄 발생에 영향을 미치며 이들 온실가스가 지구온난화에 미치는 영향은 단위체적당 이산화탄소에 비해 메탄은 21배, 아산화질소는 310배이다(IPCC, 2007). 농업부문의 온실가스 배출량은 지구 전체 온실가스 배출량의 10~14%를 차지하며, 농업부문에 배출되는 메탄 배출량이 전체 메탄 발생량 중 40%로 농업이 가장 큰 배출원으로 평가되고 있다(농촌진흥청, 2010). 메탄의 생성기작은 메탄 생성균의 기질이 되는 유기물, 토양의 산화환원전위, 토양온도, 토양의 물리적 성질, 작부되는 식물 등에 의해 영향을 받는다고 알려져 있으며(Minami, 1993; Lindau *et al.*, 1991), 유기물이나 무기질 비료의 사용량 및 벼 품종에 따라서도 큰 차이가 있다(Neue and Sass, 1994).

벼는 재배면적이 넓고 시비량이 많아 비료사용량 감축 잠재력이 많다. 이에 농경지에서 유래되는 온실가스를 감축시키며 비료사용량을 줄일 수 있는 방법으로는 시비효율 증진비료 개발, 작물 및 품종별 시비법 개발, 시비법 개선, 경운방법 개선, 관개법 개선 등의 연구가 진행되고 있다(이충근 외, 2010; 이기상·김완진, 2009; 나홍식 외, 2012). 특히, 식물의 무기원소 흡수를 조장할 수 있는 킬레이팅 수단으로서 몇몇 유기산, 저중합체(Oligomers)등의 이용에 관한 연구도 수행되고 있다(서장선 등, 2008; 이호진 등, 2013; 최중명·이기환, 2004).

아미노산의 일종인 폴리아스파르트산(PAA : Poly aspartic acid)은 이온결합능력을 응용하여 수처리제나 세제 빌더로 많이 사용하고 있으나 일부에서 PAA가 혼합된 비료를 농작물에 사용하면 시비절감, 생육증진, 수량증대, 뿌리 발달을 촉진시키는 등 친환경소재로서 검토된 바 있다(국내특허 제10-080186호, 2008; 독일특허 제10008738호, 2001; 최병열 등, 2010; 원태진 등, 2010).

비료요구도가 적으며 도복에 약한 고시히카리 품종은 2010년 경기도 총 재배면적의 6.7%인 6,426ha로 추정며(72%) 다음으로 재배면적이 많으며, 경기도지사 인증 G+ 라이스 단지 및 친환경농업 단지에 주로 재배되고 있다. 그러나 고시히카리 단지내에서의 화학비료는 토양검정 결과에 의한 맞춤형비료를 관행적으로 사용하고 있어 도복의 우려가 높다. 따라서 고시히카리에 적합한 전용 복합비료의 개발이 요구되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 벼 재배 논에서의 화학비료 절감과 온실가스 배출 경감효과를 검토하고자 생분해성 친환경 고분자물질인 폴리아스파르트산(PAA : Polyaspartic acid)이 함유된 비료를 고시히카리 전용 복합비료로 개발하여 2년 동안(2010년~2011년) 포장시험을 수행하였다.

II. 재료 및 방법

본 연구는 벼 재배 시 PAA가 함유된 비료에 대해 시비수준별 벼 생육 및 벼 재배 논에서의 메탄 배출량의 변화를 검토하고자, 경기도 화성시 기산동에 위

Table 1. Physio-chemical properties of paddy soils before the experiment in 2010, 2011.

Year	pH (1:5)	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex.cations(cmol/kg)				CEC (cmol/kg)	Av.SiO ₂ (mg/kg)
				K	Ca	Mg	Na		
2010	6.2	16	65	0.30	5.4	1.3	0.3	12.3	108
2011	6.5	19	25	0.30	7.3	1.5	0.5	12.3	178
Mean of Gyeonggi-do	5.7	24	84	0.30	4.7	1.3	0.3	10.5	118

Table 2. Gas chromatographic analysis conditions for CH₄ measurement

Detector		FID
Column	Packing material	Porapack N(80/100)
	Materials	Stainless steel
	O.D. × length	1/8" × 2 m
Carrier gas		N ₂
Flow rate		30mL/min
Temperature	Column	70°C
	Injector	120°C
Retention time		1.68 min

치한 경기도농업기술원 논포장에서 재배시험을 수행하였다. 시험포장은 지산토로 2011년 경기도 논토양의 평균에 비해 유기물과 유효인산 함량이 다소 낮은 토양이었다(Table 1).

처리내용은 표준시비 N 100%(Control; N-P₂O₅-K₂O=7.5-4.5-5.7 kg/10a)을 대조로 무질소(N0; N-P₂O₅-K₂O = 0-4.5-5.7 kg/10a), 표준시비 N 55% 해당량 PAA 복비(N55; N-P₂O₅-K₂O = 4.1-3.4-4.7 kg/10a), 표준시비 N 65% 해당량 PAA 복비(N65; N-P₂O₅-K₂O = 4.9-3.4-4.7 kg/10a) 및 표준시비 N 75% 해당량 PAA 복비(N75; N-P₂O₅-K₂O=5.6-3.4-4.7 kg/10a) 등 5처리를 두었다. 표준시비(대조구)의 분시비율(기비:분얼비:수비)은 질소(요소)는 3회 분시(56:22:22)하였고, 인산(용과린)은 전량기비, 칼리(염화加里)는 2회 분시(70:0:30)하였다. 개발된 전용복비는 기비에 분얼비가 포함된 비료로 질소 78%, 인산 100%, 칼리 70%를 함유하고 있으며, 수비는 질소(요소)와 칼리(염화加里)를 각각 22%, 30% 분시하였다. 시험품종은 고시히카리로 2010년, 2011년 공히 5월 17일에 중묘를 30×14 cm 재식거리로 기계 이양하였으며, 기타 재배관리는 경기도농업기술원 벼 표준 재배법(2011)에 준 하였다.

토양과 벼 식물체 분석은 토양 및 식물체 분석법

(국립농업과학원, 2000)에 의거 토양분석용 시료는 오가를 이용 토양을 채취한 후 음건하여 2 mm 체를 통과시킨 것을 사용하였다. 토양 pH는 초차전극법에 의거 pH meter(ATI orion 370)로 측정하였으며, 유기물(OM)은 Tyurin법, 유효인산(Av.P₂O₅)은 Lancaster법으로 분석하였다. 토양의 치환성 양이온(Exchangeable cations)은 1N-NH₄OAC(pH 7.0) 완충용액으로 침출하여 유도결합플라즈마 발광광도계(GBC, Integra XMP)로 정량하였다. 식물체의 T-N 성분은 건시료 5g을 습식분해(H₂SO₄ : HClO₄ : 증류수=1 : 9 : 4, v/v/v) 하여 Kjeldahl법으로 분석하였다. 벼 생육 및 수량조사는 농사시험연구 조사기준(농촌진흥청, 1995)에 준하여 조사하였다.

쌀품질과 관련된 형질로서 완전미율은 RN-500(Kett, Japan), 단백질 함량은 AN-700(Kett, Japan), 식미치는 쌀을 일정한 조건에서 호화시켜 밥알 표면의 보수막 특성을 근적외선으로 측정하여 밥맛을 간접 측정하는 미도메타(MA-30A, Japan)을 이용하여 분석하였다.

메탄 채취용 챔버는 Acryl로 제작된 가로, 세로, 높이가 각각 60 cm, 60 cm, 120 cm 이었으며 챔버 내에는 묘가 정확히 3분씩 8주가 식재되도록 조절하였다. 메탄시료는 주 2회, 매회 오전 10시 30분부터

11시까지 Mininert valve가 장착된 60ml Polypropylene syringe로 채취하였다. 채취방법은 챔버의 윗 뚜껑을 닫자마자 1차로 채취하고 다시 30분경과 후 2차로 채취하였다. 그리고 시료 채취시 마다 온도와 눈물로부터 챔버 상단까지의 유효높이를 조사하였다. 메탄분석은 6개 포트 가스 채취 밸브(6 port gas sampling valve)가 장착된 GC-FID(450GC, Varian)로 분석하였으며, 컬럼은 porapak N(80/100 mesh)이 충전된 1/8" × 2 m 의 stainless steel tubing column 이었고 운반기체(carrier gas)는 N₂로 유속을 분당 30 ml로 조절하였다(Table 2).

III. 결과 및 고찰

1. 벼 식물체 질소함량 및 질소 흡수량 변화

개발된 PAA 함유 복합비료의 벼 생육 및 논에서의 메탄 발생량에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 질소 표준시비 0%, 55%, 65%, 75% 해당량을 전용복비 처리하여 2년 동안(2010~2011년) 벼 재배 시험을 하였다. 처리에 따른 벼 식물체의 질소함량과 질소흡수량을 생육단계별로 살펴보고자 이앙 후(DAT; Days after transplanting) 15일, 30일, 60일로 살

펴 본 결과는 Table 3과 같다. 이앙 후 15일에서 벼 식물체의 질소함량은 대조구와 전용복비 N 65% 이상 시용구간에 95% 신뢰수준에서 유의한 차이를 보이지 않았으며, 질소를 무시용한 N0 처리에서는 대조구와 유의한 차이를 나타냈다. 이앙 후 30일과 60일의 경우에는 각 처리별 대조구와 통계적으로 유의차를 보이지 않았다. 벼 식물체에 의한 질소흡수량도 질소함량과 같은 경향으로서 PAA 전용복비 처리에 의한 통계적인 유의차가 없었다.

2. 토양 NH₄-N 및 표면수 중 NO₃-N 함량 변화

토양 중 NH₄-N 함량은 이앙 후 시기가 경과될수록 감소하는 경향이였다. 이앙 후 15일에 대조구와 전용복비 N 55%, N 65% 해당량 복비구간에는 대등하였으나, 전용복비 N 75% 시용구에서 높은 수준이었다. 그 후 이앙 후 30일에는 전용복비 모든 처리구에서 NH₄-N 함량이 대조구에 비해 낮은 수준을 보였으며, 이앙 후 60일에서는 처리간에 통계적으로 유의성 있는 차이가 없었다. 표면수 중 NO₃-N 함량은 이앙 후 15일에는 토양 중의 NH₄-N 함량과 같은 경향이었고, 이앙 후 30일 이후부터는 처리간 차이가 없었다(Table 4).

Table 3. Nitrogen absorption changes of rice plant at different days after transplanting

Treatment	T-N content(%)			Amount of N absorbed by rice plant(kg/10a)		
	15 DAT	30 DAT	60 DAT	15 DAT	30 DAT	60 DAT
Control	2.85ab*	1.90a*	1.42a*	0.57a*	1.85a*	7.13a*
N0	2.57c*	1.84a*	1.13a*	0.47a*	1.56a*	4.62a*
N55	2.70bc*	2.28a*	1.37a*	0.50a*	2.11a*	6.51a*
N65	2.85ab*	2.12a*	1.26a*	0.57a*	2.34a*	6.84a*
N75	2.95a*	2.29a*	1.33a*	0.63a*	2.69a*	6.49a*

* Means with the same letters in a column are not significantly different at the 0.05 probability

Table 4. NH₄-N concentration in soil and NO₃-N concentration in surface water at different days after transplanting

Treatments	NH ₄ -N conc.(mg/kg)			NO ₃ -N conc.(mg/L)		
	15 DAT	30 DAT	60 DAT	15 DAT	30 DAT	60 DAT
Control	22.4b*	14.9a*	3.1a*	0.38ab*	0.32a*	0.40a*
N0	19.7c*	9.7c*	2.8a*	0.25b*	0.22a*	0.05a*
N55	21.8b*	9.4c*	2.6a*	0.38ab*	0.15a*	0.15a*
N65	22.1b*	11.0b*	4.3a*	0.42ab*	0.18a*	0.26a*
N75	25.3a*	11.6b*	3.0a*	0.58a*	0.43a*	0.22a*

* Means with the same letters in a column are not significantly different at the 0.05 probability

Table 5. Plant height and tiller number per hill according to different fertilizing level at different days after transplant(DAT)

Treatment	Plant height(cm)		Tiller number per hill	
	30 DAT	60 DAT	30 DAT	60 DAT
Control	40.4a*	81.8a*	25.7a*	22.5ab*
N0	37.0c*	76.1b*	19.5b*	17.8c*
N55	38.0bc*	79.0b*	21.9b*	19.9bc*
N65	39.6ab*	81.9a*	26.9a*	23.3a*
N75	40.2a*	80.8a*	25.8a*	22.3ab*

* Means with the same letters in a column are not significantly different at the 0.05 probability

Table 6. Total methane emission during cultivation in paddy field affected by application level of PAA contained fertilizer

Treatment	Control	N0	N55	N65	N75
kg CH ₄ /ha	266	181	228	216	229
Index	100	68	86	81	86

Table 7. Yield components and yield of rice changes affected by different treatment

Treatment	Panicle number per hill	1000 grain weight(g)	No. of grain per panicle	Ripened grain rate(%)	Milled rice yield(kg/10a)	Index of milled rice yield
Control	17.3	21.5	68.0	92.3	440	100
N0	14.0	21.9	61.2	92.7	330	75
N55	15.7	21.7	65.7	93.1	403	91
N65	17.3	21.3	69.8	93.9	425	97
N75	17.3	21.7	67.9	92.0	458	104

3. 벼 생육

PAA 함유 비료 질소 처리수준에 따른 벼 생육 조사결과는 Table 5와 같다. 이앙 후 30일 초장은 대조구 40.4 cm에 비해 무질소(N0)와 N 55% 이하 처리(N55)에서 37.0, 38.0 cm로 다소 작았으나 전용복비 N 65%와 N 75% 복비 사용구는 각각 39.6 cm, 40.2 cm로 비슷하였고, 이앙 후 60일도 같은 경향이 있었다. 분얼수도 초장과 같은 경향으로 대조구와 표준시비 N 65%, 75% 처리간 비슷하였다.

4. 벼 재배기간 중 메탄 배출량

벼 재배기간(6월 1일~9월 3일) 중 논에서 배출되는 메탄(CH₄)을 Close chamber를 이용하여 주 2회 분석한 결과는 Table 6과 같다. 대조구(control) 266kg CH₄/ha에 비해 전용복비 N 55% 사용구(N55)에서는 228kg CH₄/ha로 14% 저감되었으며, N 65%(N65)와 N 75%(N75) 사용구에서는 각각 메탄 배출량이 216, 229kg CH₄/ha로 19%, 14% 감축되어

PAA가 함유된 전용복비에 의한 메탄배출 경감효과는 14~19%로 나타났으며, 추후 PAA에 의한 비료절감이 메탄배출에 미치는 영향은 향후 검토되어야 할 것으로 판단된다.

5. 수량구성요소, 수량 및 미질

벼의 수량구성요소는 대조구에 비해 표준시비 N 55% 전용복비 사용구(N55)는 수수, 수당립수가 적어 쌀수량이 9% 감소하였으나 N 65%(N65)와 N 75% 사용구(N75)는 각각 425kg/10a, 458kg/10a으로 나타나 대조구 440kg/10a에 비해 큰 차이를 보이지 않았다(Table 7). 단백질 함량과 완전미비율 등 쌀 미질 특성은 대조구와 전용복비 사용구간에 통계적인 유의차가 없었다(Table 8). 따라서 수량, 쌀 품질과 재배안정성 및 논에서의 메탄 발생량 측면을 고려할 때 PAA를 함유한 복합비료 사용수준은 표준시비 N 65~75%에 해당하는 양이 적정하다고 판단된다.

Table 8. Quality of rice changes affected by different treatment

Treatment	Protein content(%)	Perfect rice ratio(%)	TOYO value
Control	6.5	97.4a*	79.2
N0	6.3	90.8b*	78.5
N55	6.4	93.9ab*	78.1
N65	6.4	92.2ab*	79.7
N75	6.4	96.1a*	79.1

* Means with the same letters in a column are not significantly different at the 0.05 probability

Table 9. Yield components and quality of rice in Gimpo and Anseong

Treatment		Panicle number per hill		Milled rice yield and quality of rice		
		30 DAT	60 DAT	Milled rice yield(kg/10a)	Protein content(%)	Perfect rice ratio(%)
Gimpo	control	17.4	24.4	482	6.1	96.7
	N75	16.9	25.9	491	6.0	98.0
Anseong	control	16.2	25.5	511	7.0	98.2
	N75	16.8	24.1	494	7.0	97.3

6. 농가실증시험

고시히카리를 재배하는 농가를 대상으로 2011년에 PAA 함유 개발비료(표준시비 N 75% 전용복비 사용; N75) 농가실증시험을 김포시 양촌읍 누산리와 안성시 공도읍 만정리 2개소에서 수행하였다. 관행 비료시비량은 김포 N-P₂O₅-K₂O=6.5-2.4-2.4 kg/10a, 안성 N-P₂O₅-K₂O=6.2-2.5-3.3 kg/10a 이며, 개발비료시비량은 김포 N-P₂O₅-K₂O=4.5-3.4-3.8 kg/10a, 안성 N-P₂O₅-K₂O=4.7-3.4-4.3 kg/10a 이다. 고시히카리 생육, 수량 및 미질 시험결과는 Table 9와 같다. 김포농가, 안성농가 모두 관행 비료에 비해 질소성분량 기준으로 75% 해당량을 사용한 개발비료처리의 분얼수, 단백질함량, 완전립비율, 수량에서 대등한 경향을 보였다.

고, 초장 및 분얼수 등 생육상향도 같은 경향이 었다.

2. 전용복비 N 65%와 75% 해당량 처리구의 토양 중 NH₄-N 함량은 표준시비구와 대등하였다.
3. CH₄ 배출량은 표준시비구 266 kg CH₄/ha에 비해 전용복비 N 65% PAA 시용구에서는 19% , N 75% PAA 복비 시용구에서는 14% 감축되었다.
4. 표준시비구와 쌀수량이 대등한 전용복비의 시용수준은 표준시비의 N 65%, 75% 해당량의 전용복비 처리구이었다.
5. 농가실증 2개소 모두 관행비료와 개발비료(관행 N 75% 해당량)의 생육, 수량 및 미질 조사결과 대등하였다.

IV. 적 요

본 연구는 논토양에서 벼 재배시 PAA(Polyaspartic acid)가 함유된 복합비료의 사용효과를 살펴보고자 2010년부터 2011년까지 고시히카리를 시험품종으로 재배시험하여 벼 생육 및 메탄 배출량으로 검토하였으며, 적정 시용수준을 설정하였다.

1. 벼 식물체중 질소함량은 표준시비구와 전용복비 N 65%, N 75% 해당량 처리구와 대등하였

Acknowledgment

This work was supported by Rural development administration(Project number: PJ009253)

참고문헌

경기도농업기술원, 2011, 일반농경지 토양변동조사. 국내특허 제10-080186호, 2008

- 국립농업과학원, 2000, 토양 및 식물체 분석법.
- 국립농업과학원, 2006, 작물별 시비처방 기준.
- 나홍식, 경태현, 조창우, 김창균, 이승빈, 이현일, 정영상, 2012, 수도용 확산성 정제형 규산질 비료의 개발 및 확산성 실험, 한국토양비료학회 2012년 학술발표회 초록집, 114-115.
- 농림수산식품부, 2011, 보도자료(농림수산식품분야 최초로 기후변화 대응 기본계획 확정)
- 농촌진흥청, 1995, 농사시험연구 조사기준.
- 농촌진흥청, 2010, 우리나라 농경지 온실가스 배출량 평가.
- 독일특허 제10008738호, 2001
- 서장선, 노형준, 권장식, 2008, 논 토양 인산가용화 세균에 대한 개량제 시용효과, 한국토양비료학회지 41(5), 342-347.
- 이기상, 김완진, 2009, 우리나라 비료의 개발과 이용 40년, 한국토양비료학회지 42, 195-211.
- 이호진, 최종명, 장성완, 정석기, 2013, 배지경 포트재배에서 비료용액의 $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ 비율이 고추의 생장 및 수량에 미치는 영향, 한국원예학회 원예과학기술지 31(1), 65-71.
- 이충근, 김준환, 최민규, 광강수, 신진철, 2010, 표준 질소 시비량이 감소된 조건에서 쌀 품질 향상과 노력절감을 위한 질소 시비 방법, 한국작물학회지 55(1), 70-75.
- 원태진, 조광래, 임갑준, 최병열, 김순재, 권오연, 2010, 고추 재배시 PAA(Poly Aspartic Acid) 함유 비료의 양분흡수 특성, 한국토양비료학회 학술발표회 초록집 298.
- 최병열, 조광래, 원태진, 임갑준, 김순재, 권오연, 2010, 옥수수 재배시 PAA(Poly Aspartic Acid) 함유 비료의 양분흡수 특성, 한국토양비료학회 2010년 학술발표회 초록집, 297.
- 최종명, 이기환, 2004, 질소의 시비농도가 오리엔탈 탈 나리 'Casa Blanca'의 생장 및 무기원소 흡수에 미치는 영향, 한국원예학회 원예과학기술지 22(1), 82-88.
- 한국비료공업협회, 2012, 비료연감.
- IPCC, 2007, A report of Working Group 1 of the intergovernmental Panel on Climate Change, Summary for policymakers
- Lindau, C.W., P.K. Bollich, R.D. Delaune, W.H. and V.J. Law., 1991, Effect of urea fertilizer and environmental factors on CH_4 emission from a Louisiana, USA rice field, Plant and Soil 136: 195-203.
- Minami, K., 1993, Methane from rice production, Res. Rep. Div. Environ. Planning 9:243-258.
- Neue, H.U. and R.L.Sass, 1994, Rice Cultivation and Trace Gas Exchange, In R.G. Prinn, ed. Global Atmospheric-Biospheric Chemistry, Plenum Press, New York.