

벼 재배 시 유기질비료의 질소 밀거름 대체량 평가

김명숙^{a†}, 김석철^b, 박성진^a, 이창훈^a

Evaluation of Replacement Ratio of Organic Fertilizers for Basal Application of Nitrogen Fertilizer in Pot Cultivation of Rice

Myung-Sook Kim^{a†}, Seok-Cheol, Kim^b, Seong-Jin Park^a, and Chang-Hoon Lee^a

(Received: Sep. 4, 2018 / Revised: Dec. 18, 2018 / Accepted: Dec. 19, 2018)

ABSTRACT: The objective of this study was investigated the effect of organic fertilizer(OF) application on the grain yield, protein content, and soil chemical properties in rice cultivation to evaluate the replacement ratio of OF based on basal fertilization of inorganic(nitrogen) fertilizer, In case of soil 1 with optimum range of organic matter for rice growth, the grain yield of rice in 70% and 100% treatments of OF were higher than the other treatments. In soil 2 with higher than the optimum range of soil organic matter, the grain yield of rice of NPK, 30%, 70%, 100%, and 300% treatments of OF showed no significant difference. When the protein criteria of rice quality was below 7%, the treatment of 30%, 70%, and 100% using OF in soil 1 were satisfied with protein criteria of rice. In case of soil 1, ammonium nitrogen content, electrical conductivity, and the organic matter in 30%, 70%, 100%, 300% treatments of OF showed similar tendency to NPK treatment. These results suggested that the substitution ratio of OF 70~100% could be appropriate to increase the yield and commercial quality for rice.

Keywords: Mixed organic fertilizer, Mixed oil cake, Organic compound, Nitrogen use efficiency, Replacement ratio of organic fertilizer.

초 록: 논 조건의 포트규모에서 유기질 비료로 화학비료 밀거름량을 대체하기 위해 벼의 정조수량, 쌀 품질 기준인 단백질 함량, 토양 화학적 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 벼 생산에 적정인 유기물함량을 지닌 토양 1에서 벼의 생산량은 다른 처리구보다 70 %, 100 %에서 높았다. 벼 생산에 적정보다 높은 유기물함량을 지닌 토양 2에서 벼의 생산량은 NPK, 유기질비료 30%, 70%, 100%, 300%에서 차이가 없었다. 쌀 품질에 대한 단백질 기준이 7 % 이하를 적용할 때 유기질비료 3종(혼합유기질비료, 혼합유박, 유기복합)의 처리구 중에서 70 %, 100 % 처리구가 쌀 품질의 단백질 기준에 적합하였다. 유기질비료 30 %, 70 %, 100 %, 300 % 처리에서 유기물 함량, 암모늄태 질소 및 전기전도도는 NPK 처리와 유사한 경향을 보였다. 이러한 결과로부터 표준 질소 밀거름 시용량의 70 ~ 100 % 수준으로 유기질 비료 3종에 대해 투입하는 것이 농경지의 적절한 양분을 유지하고 쌀의 수확량과 품질을 유지하는 좋은 방법이라 판단된다.

주제어: 혼합유기질, 혼합유박, 유기복합, 질소이용효율, 유기질비료의 대체량

^a 국립농업과학원 토양비료과 농업연구사 (Soil researcher, Soil & Fertilizer Management Division, National Institute of Agricultural Science, Rural Development Administration)

^b 경기도농업기술원 원장 (Director, Gyeonggi Provincial Agricultural Research & Extension Services)

† Corresponding author(e-mail: msk74@korea.kr)

1. 서론

국내에서 유통되는 유기질비료의 비중은 혼합유기질, 혼합유합, 유기복합으로 구성되어 있다. 가축분퇴비에 비해 시중 구입가격이 약 2.5~3배 비싼 편으로 친환경농업 또는 고속득 작물재배 농가들이 사용하고 있는 실정이다. 정부의 화학비료 사용량 감축 정책에 따라 유기질비료의 사용량도 2017년까지 매년 꾸준히 증가하여 왔다¹⁾. 2015년부터 2017년까지 유통되는 유기질비료의 질소 평균함량은 4.9%²⁾로 가축분퇴비에 비해 1~3배 정도 높았으며, 유기질비료의 질소성분은 유기태 형태로서 미생물의 분해작용으로 서서히 방출하는 완효적인 특성을 지닌다³⁾.

유기질비료에 관한 연구는 작물의 양분공급원으로서 화학비료의 밀거름 대체량 설정⁴⁾, 토양 및 수질 환경에 미치는 영향^{4,6)}, 논토양에 투입하는 적절한 시기, 그리고 미생물 활성⁷⁾ 등에 관하여 이루어졌다. 혼합유기질비료를 토양검정 질소량을 기준으로 논에 투입하고 벼를 재배하였을 때 화학비료 사용량을 100% 대체할 수 있다고 하였고⁴⁾, 혼합유박을 보통답과 사질답에 표준비료 밀거름 사용량(N 5.5 kg 10a⁻¹)에 대해 70% 대체가 가능하며, 벼의 질소 이용율과 쌀 수량, 그리고 품질특성인 완전미 비율이 증가하였다고 하였다⁵⁾. 혼합유기질비료의 시용한 후 수확기에 채취한 논토양의 pH, 토양유기물, 유효인산 함량은 화학비료(NPK) 처리구와 유사하게 나타났고, 치환성 칼륨 함량은 약간 감소하는 경향이었다고 하였다⁴⁾. 벼 재배기간 중에 혼합유기질비료가 수질환경에 미치는 영향을 평가하였는데, 논 표면수에서 NH₄-N 함량은 이양 후 10일부터 50일까지 급격히 증가하다가 그 이후에 감소하는 경향이었고, 이 기간에는 수질 오염을 예방하는 차원에서 배수하지 않을 것을 추천하였다⁴⁾. 혼합유박을 논에 사용하는 적절한 시기는 이

양 전 10~15일이 좋으며, 질소이용율이 가장 높은 표준비료 밀거름 질소 대체율은 70%가 적당하다고 발표하였다⁶⁾. 유박을 시용한 논토양에서 미생물밀도는 유기물 분해균, 아조티박터 및 암모니아산화균, 질산환원균, 탈질균 등이 화학비료(NPK) 시용구보다 증가하였고, 미생물의 다양성 지수는 혼합유박이 화학비료 표준 시용구보다 높았다고 하였다. 지금까지의 연구를 살펴볼 때 유기질비료 중에 유기복합비료에 대한 연구는 부족한 편이고, 유기질비료의 3종(혼합유박, 혼합유기질, 유기복합)을 토양유기물 수준이 다른 토양특성을 감안하여 화학비료 밀거름량의 대체율을 연구한 결과는 미흡한 편이다.

따라서, 토양특성(유기물)이 다양한 논토양에 유기질비료(혼합유박, 혼합유기질, 유기복합)의 투입 수준별로 처리하여 작물수량, 미질, 토양 화학적 특성에 대한 영향을 검토하였고, 벼 재배 시 유기질비료의 적정한 밀거름 대체비율을 평가하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시험토양 및 유기질비료 특성

공시토양은 토양유기물 함량에 따라 질소의 작물 공급력이 달라지기 때문에 토양유기물 적정범위⁹⁾에 속한 토양 1과 적정범위보다 높은 토양 2를 선정하였고, 이들의 토양 화학적 특성은 Table 1과 같다. 유기질비료의 3개 비중인 혼합유기질(MO), 혼합유박(MC), 유기복합(OC)을 각각 1점씩 선정하였고, 유기질비료 중 혼합유기질과 혼합유박의 T-N, T-P₂O₅, T-K₂O의 함량은 4.0-2.0-1.0%, 유기복합은 3.8-2.5-1.7%인 것을 사용하였다. 그리고 혼합유기질, 혼합유박, 유기복합의 C/N비는 각각 6.6, 9.1, 9.3이었다.

Table 1. Chemical Properties of Soils Under Study

Soil	pH (1:5H ₂ O)	OM	Avail. P ₂ O ₅	Ca	K	Mg	Avail. SiO ₂
		g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹		cmol _c kg ⁻¹		mg kg ⁻¹
Soil 1	6.5	22	172	9.6	0.5	1.7	180
Soil 2	5.4	32	122	7.8	0.5	1.7	172
Optimum range for rice cultivation	5.5~6.5	20~30	80~120	5.0~6.0	0.20~0.30	1.5~2.0	over 157

2.2. 처리내용 및 벼 재배 개요

처리구는 Table 2와 같이 질소 무시용구(PK), 표준 시비량(N-P₂O₅-K= 9.0-4.5-5.7 kg ha⁻¹)을 사용한 NPK, 유기질비료의 3개 비중인 혼합유기질(MO), 혼합유박(MC), 유기복합(OC)을 각각 1점씩을 화학비료(N) 밀거름 표준사용량⁹⁾ 기준으로 30%(MO30+N70, MC30+N70, OC30+N70), 70%(MO70+N30, MC70+N30, OC70+N30), 100%(MO100, MC100, OC100), 300% (MO300, MC300, OC300), 600%(MO600, MC600, OC600) 해당량을 처리하여 총 7수준의 3반복으로 실험하였고, 유기질 비료로 공급되지 못하는 인산 및 칼리 성분은 화학비료로 보충하였다. 시험구 배치는 완전임의배치법으로, 비가림 하우스에서 1/2000a 포트에 토양 10 kg을 충전하고 유기질비료와 토양을 혼합한 후 5일이 경과한 후(7월 3일)에 벼(품종: 삼광)을 1포트당 3주씩 이양하였으며, 10월 25일에 수확하였다. 공시토양의 시료채취는 유기질 비료를 처리하기 전과

벼를 재배한 수확기에, 식물체 시료는 수확기에 채취하여 총질소 함량을 분석하였다.

2.3. 토양 및 식물체 분석

pH와 전기전도도(EC)는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 추출하여 측정하였고, 토양유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법으로 720 nm에서, 유효규산은 1 M NaOAc (pH 4.0)용액으로 추출하여 700 nm에서 비색계 (U-3000, Hitachi)로 측정하였다¹⁵⁾. 치환성 양이온은 1 M NH₄OAc (pH 7.0) 완충용액으로 추출하여 유도결합 플라즈마 발광광도계 (ICP-OES, GBC)으로 측정하였고, NH₄-N 함량은 2M KCl로 추출하여 원소자동분석기(Bran+Luebbe, DE/QUATTRO)로 측정하였다. 벼는 건조 후 분쇄한 시료를 0.5 g 칭량하고 conc. H₂SO₄을 10 mL와 50%의 HClO₄ 10 mL를 가하여 분쇄한 후 여과하여 T-N은 킬달증류방법으로 측정하였다¹⁰⁾. 벼 알곡의 단백질 함량은 킬달증류법으로

Table 2. Application Rate of Organic Fertilizer and Inorganic Fertilizer by Treatments

Treatment	Basal dressing				1st dressing	2st top dressing	
	Nitrogen of organic fertilizer	Inorganic fertilizer			Inorganic fertilizer		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	N	K ₂ O
		----- kg 10a ⁻¹ -----					
PK	0	0	4.5	4.0	0	2.0	1.7
NPK	0	4.5	4.5	4.0	2.0	2.0	1.7
MO30%+N70	1.4	3.2	3.8	3.7	2.0	2.0	1.7
MO70%+N30	3.2	1.4	2.9	3.2	2.0	2.0	1.7
MO100	4.5	0	2.3	2.9	2.0	2.0	1.7
MO300	13.5	0	0	0.6	0	0	0
MO600	27.0	0	0	0	0	0	0
MC30%+N70	1.4	3.2	3.8	3.7	2.0	2.0	1.7
MC70%+N30	3.2	1.4	2.9	3.2	2.0	2.0	1.7
MC100	4.5	0	2.3	2.9	2.0	2.0	1.7
MC300	13.5	0	0	0.6	0	0	0
MC600	27.0	0	0	0	0	0	0
OC30%+N70	1.4	3.2	3.8	3.6	2.0	2.0	1.7
OC70%+N30	3.2	1.4	2.8	3.2	2.0	2.0	1.7
OC100	4.5	0	2.1	2.8	2.0	2.0	1.7
OC300	13.5	0	0.0	0.4	0	0	0
OC600	27.0	0	0.0	0.0	0	0	0

MO: mixed organic fertilizer, MC: mixed oil cake, OC: organic compound

분석하여 얻은 분석치에 단백질 함량 환산계수(100/16)을 곱하여 계산하였다. 그리고 처리별 벼의 질소 이용율은 다음과 같은 식을 이용하여 산출하였다¹¹⁾.

질소 이용율(%)

$$= \frac{N\text{시비구 } N\text{흡수량} - N\text{무시용구 } N\text{흡수량}}{N\text{시비구의 } N\text{시비량}}$$

2.4. 유기질비료 분석

비료의 총질소, 총인산, 총칼리, 총탄소 함량은 비료 품질검사 방법 및 시료채취기준¹²⁾에 따라 총질소는 황산 분해 후 킬달중류법으로 분석하였으며, 인산과 칼리 전량은 마이크로웨이브로 산 가수분해 후 ICP(GBC, Integra XL, Australia)로 각각 측정하였다¹²⁾. 총탄소 함량은 CN(Elementa, Vario MAX CN)분석기를 이용하여 측정하였다.

2.5. 통계 분석

모든 데이터는 SAS 프로그램 (v. 9.2)으로 통계분석을 하였다. 논토양에서 벼를 재배 시 유기질비료의 화학비료 밀거름 사용 대체량과 토양화학성 변화 효과를 검정하고자 ANOVA 분석을 실시하였고, Duncan's multiple test로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유기질비료의 화학비료(질소) 밀거름 대체량 평가

토양 1, 2에서 NPK, 유기질비료 3종의 화학비료(질소) 밀거름 대체량과 정조수량을 비교하여 분석하였다(Fig. 1). 우선, 토양 1(유기물 함량이 적정)에 혼합 유기질비료(MO)를 투입한 경우, MO30+N70, MO70+

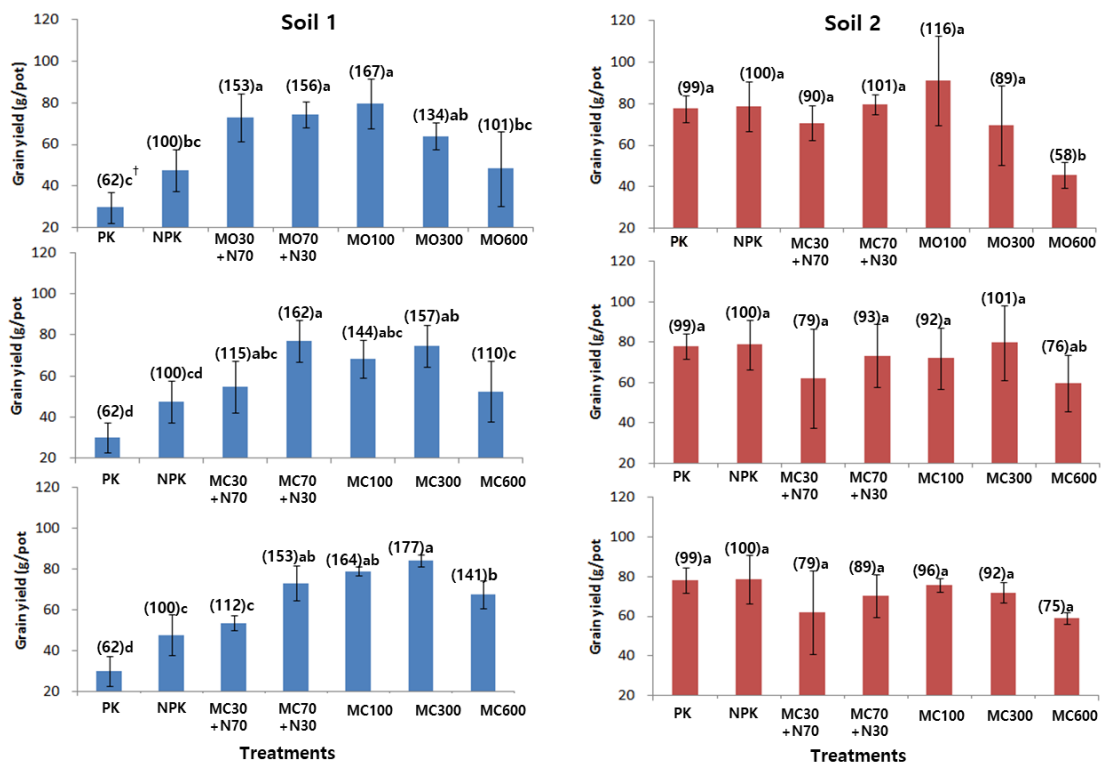


Fig. 1. Comparison of rice grain yield according to replacement ratio of mixed organic fertilizer(n=1), mixed oil cake(n=1), and organic compound(n=1) based on basal amount of inorganic(nitrogen) fertilizer in two soils with different organic matter content. () mean relative grain yield of other treatments to NPK treatment. †Numbers with same letter are not significantly different(Duncan's multiple test, $p < 0.05$).

N30, MO100 처리구들 간에 통계적으로 유의한 차이는 없었으나, 이들 처리구와 NPK, MO600 처리구와는 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 혼합유박(MC)을 처리한 경우에 MC70+N30, MC100, MC300 처리구간에 정조수량에 대한 통계적 차이는 없었으나, 이들 처리구와 NPK, MC600 처리구간에 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 유기복합비료(OC)를 투입한 경우에는 혼합유박과 유사한 경향을 나타냈다.

토양 2에서 혼합유기질비료(MO)를 투입한 경우에 정조수량은 NPK, MO30+N70, MO70+N30, MO100, MO300 처리구들 간에 통계적으로 차이는 없었고, 이와 유사한 경향이 혼합유박과 유기복합비료에서도 나타났다. 토양 중에 유기물 함량은 논토양에서 작물의 질소 공급력에 영향을 주는 큰 인자로서, 토양 유기물이 적정범위인 토양은 유기질비료의 투입량 수준별 처리가 작물 정조 수량 차이에 영향을 주었지만, 토양유기물함량이 적정범위보다 높을 경우에 유기질 비료의 투입량 수준별 처리는 작물의 정조 수량에 크게 영향을 주지 못했다. 이러한 사실로 볼 때 유기질비료 3종의 화학비료(N) 밀거름 대체율은 유기물 함량이 적정범위일 경우에 70~300%까지 대체가 가능하고, 적정범위보다 높은 경우에 30~300%까지 가능하다고 판단된다. 이러한 연구는 논외 보통답과 사질답에서 벼의 표준시용량(11 kg/10a)의 70% 해당량을 혼합유박으로 투입할 경우에 벼의 질소이용율은 향상된 연구와 유사하게 나타났다⁴⁻⁵⁾.

그리고, 토양 2에서 유기질비료(혼합유기질, 혼합유박, 유기복합)를 화학비료(질소) 밀거름량의 600%로 처리한 구에서는 정조 수량이 24~42%정도 감소하는 경향을 나타냈고, 유기질비료의 과다하게 투입할 경우에 비료의 분해로 생성된 고농도 가스가 벼의 생육을 억제했다고 추정한다.

토양 1, 2에서 재배한 벼의 정조 중에 포함된 총질소 및 단백질 함량을 처리구들간에 비교해 보았다(Table 3). 토양 1에서 NPK, 혼합유기질(MO), 혼합유박(MC)의 30%(MO30+N70, MC30+N70), 70%(MO70+N30, MC70+N30), 100%(MO100, MC100) 처리구들 간에 총질소 함량은 통계적 차이가 없었으나, 이들 처리구와 혼합유기질(MO)과 혼합유박(MC)의 300%(MO300, MC300), 600%(MO600, MC600) 처리구와는 통계적으

로 유의한 차이가 있었다. 유기복합비료(OC)의 경우에 30%(OC30+N70), 70%(OC70+N30), 100%(OC100), 300%(OC300) 처리구간에 총질소 함량은 통계적 차이가 없었으나, 이들 처리구와 600% 처리구와는 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다. 토양 2에서 혼합유기질비료(MO)의 경우에 30%(MO30+N70), 70%(MO70+N30), 100%(MO100) 처리구들 간에 총질소 함량은 통계적으로 차이는 없었으나, 이들 처리구와 혼합유기질비료의 600%(MO 600%) 처리구와는 통계적으로 유의한 차이가 있었으며, 이와 유사한 경향이 유기복합 비료에서도 나타났다. 혼합유박비료(MC)의 경우에 30%(MC30+N70), 70%(MC70+N30) 처리구들 간에 총질소 함량은 통계적 차이가 없었으나, 이들 처리구와 NPK, 혼합유박 600%(MC600) 처리구와는 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다.

벼의 미질 특성인 단백질 함량을 7% 미만을 적정기준으로 하였을 때 토양 1에서 혼합유기질, 유기복합은 밀거름 대체량은 30~100%, 혼합유박은 30~70%까지 대체가 가능하며, 토양 2에서는 혼합유기질, 혼합유박, 유기복합비료의 처리구에서는 단백질 함량이 7% 이상으로 미질 특성에 적정하지 않은 것으로 나타났다.

Table 4는 혼합유기질, 혼합유박, 유기복합비료를 토양에 투입한 후에 토양화학성의 변화를 나타내었다. 토양 1, 2에서 NPK 처리구와 혼합유기질, 혼합유박, 유기복합 비료별로 유기물 함량은 모든 처리구(토양 1의 MO100 제외)에서 유의적인 차이는 없었다. NPK, 혼합유기질(MO), 혼합유박(MC), 유기복합(OC)에 대해서 화학비료(N) 밀거름 대체율 30%(MO30+N70, MC30+N70, OC30+N70), 70%(MO70+N30, MC70+N30, OC70+N30), 100%(MO100, MC100, OC100), 300%(MO300, MC300, OC300) 처리구들간에 NH₄-N 함량은 통계적으로 유의한 차이(13~20 mg kg⁻¹)는 없었고, 이들 처리구와 600%(MO600, MC600, OC600) 처리구간에는 통계적으로 유의한 차이(15~45 mg kg⁻¹)가 있었다. 토양 1에서 혼합유기질, 혼합유박, 유기복합 비종별로 화학비료(N) 밀거름 대체율 30%, 70%, 100%, 300% 처리구들간에 토양의 전기전도도 수치는 0.50~0.68 dSm⁻¹로 유사하게 나타났고, NPK 처리구(0.69 dS m⁻¹), 화학비료(N) 밀거름 대체율 600%(MO 600, MC 600, OC600)

Table 3. Nitrogen and Protein Content for Rice Grain by Substitution Ratio of Mixed Organic Fertilizer(n=1), Mixed Oil Cake(n=1), and Organic Compound(n=1) Based on Basal Application of Inorganic(Nitrogen) Fertilizer in Two Soil with Different Organic Matter Content

Soil type	Treatment	T-N	Protein
		----- % -----	
Soil 1	PK	0.7d [†]	4.6d
	NPK	1.0c	6.0c
	MO30+N70	0.9c	5.5c
	MO70+N30	1.0c	6.4c
	MO100	1.0c	6.1c
	MO300	1.4b	8.7b
	MO600	1.6a	10.1a
	PK	0.7d	4.6d
	NPK	1.0cd	6.0cd
	MC30+N70	1.0cd	6.2cd
	MC70+N30	1.0cd	6.0cd
	MC100	1.0c	6.3c
	MC300	1.3b	8.1b
	MC600	1.7a	10.4a
	PK	0.7d	4.6d
	NPK	1.0cd	6.0cd
	OC30+N70	1.0bcd	6.3bcd
	OC70+N30	1.0cd	6.2cd
	OC100	1.2bc	7.4bc
	OC300	1.3b	8.0b
OC600	1.6a	9.8a	
Soil 2	PK	1.0cd	6.0cd
	NPK	1.0d	6.3d
	MO30+N70	1.2c	7.5c
	MO70+N30	1.2c	7.7d
	MO100	1.2c	7.3d
	MO300	1.4b	9.0g
	MO600	1.7a	10.5a
	PK	1.0cd	6.0cd
	NPK	1.0d	6.3d
	MC30+N70	1.3ab	8.2ab
	MC70+N30	1.2bc	7.4bc
	MC100	1.2c	7.8c
	MC300	1.3bc	8.0bc
	MC600	1.5a	9.3a
	PK	1.0cd	6.0cd
	NPK	1.0d	6.3d
	OC30+N70	1.2bc	7.6bc
	OC70+N30	1.3bc	8.2bc
	OC100	1.2bc	7.4bc
	OC300	1.3b	8.4b
OC600	1.6a	10.1a	

[†]Numbers with the same letter within a column are not significantly differed(Duncan's multiple test, p < 0.05).

Table 4. Chemical Properties of Soils at the Harvest Stage of Rice by Replacement Ratio of Mixed Organic Fertilizer(n=1), Mixed Oil Cake(n=1), and Organic Compound(n=1) Based on Basal Dressing Amount of Inorganic(Nitrogen) Fertilizer in Two Soil with Different Organic Matter Concentration

Soil	Treatment	OM g kg ⁻¹	NH ₄ -N mg kg ⁻¹	Electrical conductivity(EC) dS m ⁻¹
Soil 1	PK	19b [†]	14b	0.69a
	NPK	20ab	15b	0.69a
	MO30+N70	20ab	14b	0.55b
	MO70+N30	22a	15b	0.56b
	MO100	19b	14b	0.53b
	MO300	22a	16b	0.56b
	MO600	22a	37a	0.69a
	NPK	20a	15a	0.69a
	MC30+N70	21a	13a	0.55b
	MC70+N30	22a	14a	0.60b
	MC100	22a	15a	0.61b
	MC300	21a	15a	0.51b
	MC600	21a	27b	0.70a
	NPK	20a	15a	0.69ab
	OC30+N70	21a	16a	0.60bc
	OC70+N30	20a	14a	0.50c
	OC100	21a	15a	0.68ab
	OC300	22a	15a	0.63ab
OC600	21a	15a	0.73a	
Soil 2	PK	31a	17b	0.72b
	NPK	30a	17b	0.76b
	MO30+N70	30a	14b	0.68b
	MO70+N30	30a	18b	0.75b
	MO100	31a	15b	0.72b
	MO300	30a	15b	0.72b
	MO600	32a	45a	0.91a
	NPK	30a	17b	0.76ab
	MC30+N70	30a	20b	0.78ab
	MC70+N30	31a	17b	0.67ab
	MC100	29a	18b	0.68ab
	MC300	30a	16b	0.63b
	MC600	30a	44a	0.86a
	NPK	30a	17b	0.76a
	OC30+N70	29a	17b	0.63b
	OC70+N30	29a	17b	0.35c
	OC100	29a	18b	0.36c
	OC300	28a	17b	0.33c
OC600	29a	30a	0.34c	

[†]Numbers with the same letter within a column are not significantly differed(Duncan's multiple test, p < 0.05).

보다 낮은 경향이였다. 토양 2에서도 혼합유기질, 혼합유박 비중별로 화학비료(N) 밀거름 대체율 30%(MO30+N70, MC30+N70, OC30+N70), 70%(MO70+N30, MC70+N30, OC70+N30), 100%(MO100, MC100, OC100), 300%(MO300, MC300, OC300) 처리구들 간에 토양전기전도도는 0.33~0.78 dSm⁻¹로 유사한 수준으로 나타났다. 이것으로부터 수확기에 유기질비료의 분해로 생성된 비료의 영양성분은 토양에 잔류하는 양이 적었고, 환경 오염의 가능성은 적었다고 판단한다. 그러나, 벼 이앙 후 40일까지 혼합유기질비료에서 분해로 생성된 NH₄-N성분이 용해되어 표면수의 질소 농도를 높일 수 있기 때문에 수질오염을 예방하는 차원에서 이 시기에 배수하지 않고 벼를 재배할 것을 추천하였다⁴⁾.

3.2. 벼 질소 이용율

수확기에 벼의 처리별 질소 이용율은 Table 5와 같다. 토양 1(OC70+N30 제외)에서 벼의 질소 이용율은 NPK 처리구 39%에 비해 혼합유기질 비료(MO)의 대체비율이 증가할수록 47~94%로 증가하였고, 혼합유박과 유기복합도 유사한 경향이였다. 토양 2(OC100 제외)에서 벼의 질소 이용율은 NPK 처리구(12%)에 비해 유기질 비료(혼합유기질, 혼합유박, 유기복합)의 대체비율이 증가할수록 질소이용율도 29~88%로 증가하였다. 시험포장 조건에서 토양검정 질소량 기준으로 혼합유기질비료를 100%~150% 대체하여 사용한 경우에 벼의 질소 이용율(34.0~41.5%)은 화학비료 처리구(28.4%)보다 높은 수준이었고⁴⁾, 표준 질소 밀거름량 기준으로 혼합유박을 50~100% 대체하는 연구에서 벼의 질소 이용율은 57.2~69.9%로 화학비료 표준시비구(34.2%)보다 높았다고 발표하였다⁵⁾. 본 연구는 포트조건으로서, 포장조건의 질소 이용율보다 높은 수치를 나타냈고, 외부로 질소성분이 유출되는 조건이 없기 때문에 질소 이용율이 높았다고 추정한다. 그리고 토양유기물함량이 적정보다 높은 토양 2에서 벼의 질소 이용율은 유기질비료의 질소 공급력 보다 토양에 존재하는 유기물의 질소 공급력에 영향을 크게 받기 때문에 토양 1보다 낮은 질소 이용율을 보인다고 판단한다.

결론적으로 논토양에 유기질비료의 적정한 밀거

름 대체량은 토양유기물 특성에 따라 벼의 질소흡수량이 달라지기 때문에 토양유기물 수준에 따라 달라져야 하며, 벼에 대한 유기질비료의 투입은 지

Table 5. Nitrogen use Efficiency of Rice by Substitution Ratio of Mixed Organic Fertilizer(n=1), Mixed Oil Cakes(n=1), and Organic Compound(n=1) Based on Basal Application Of Inorganic (Nitrogen) Fertilizer in Two Soils with Different Organic Matter Concentration

Soil	Treatment	Nitrogen use efficiency
		%
Soil 1	NPK	39
	MO30+N70	47
	MO70+N30	71
	MO100	94
	MO300	165
	MO600	233
	MC30+N70	44
	MC70+N30	71
	MC100	68
	MC300	139
	MC600	196
	OC30+N70	105
	OC70+N30	81
	OC100	104
	OC300	153
	OC600	255
Soil 2	NPK	12
	MO30+N70	29
	MO70+N30	38
	MO100	53
	MO300	79
	MO600	88
	MC30+N70	28
	MC70+N30	34
	MC100	42
	MC300	55
	MC600	81
	OC30+N70	20
OC70+N30	31	
OC100	28	
OC300	54	
OC600	80	

력을 유지하고, 작물생육에 필요한 질소를 공급할 수 있기 때문에 무기질비료를 대체하는 유기자원으로서 활용성이 높다고 판단된다.

4. 결론

논토양 벼 재배 시 안정적인 수량 확보와 미질특성, 토양양분집적 예방 차원에서 유기질비료의 화학비료(N) 밀거름 대체율을 평가하였고, 토양유기물 함량이 22 g kg^{-1} 으로 적정수준인 경우에 혼합유기질, 혼합유박, 유기복합의 비중에 관계없이 표준비료 질소 밀거름량($\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=4.5\text{-}4.5\text{-}4.0 \text{ kg ha}^{-1}$) 기준으로 70~100%가 가능하였고, 토양유기물 함량이 32 g kg^{-1} 으로 적정수준보다 높은 경우에 혼합유기질, 혼합유박, 유기복합의 비중에 관계없이 표준비료 질소 밀거름량 기준으로 30~600%가 가능하였지만, 미질 기준에 부적합하였다. 그리고 유기질비료의 질소 이용율은 대부분 유기질 비료의 대체비율이 증가할수록 증가하는 경향이였다. 따라서 논토양에서 벼를 재배할 때 화학비료의 밀거름 투입량을 유기질비료로 대체할 경우에 표준비료 밀거름량의 70~100% 해당량을 정식 전에 유기질비료로 투입하고, 나머지 양은 무기질비료로 공급하는 것이 타당하리라 판단한다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ012623012018)의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

1. Ministry of Agriculture, Food, and Rural Affairs. The national third five-year plan for environmental agriculture. (2010).
2. Kim, M. S., Kim, S. C., Yun, S. G., Park, S. J. and Lee, C. H., "Quality characteristics of commercial organic fertilizers circulated", J. of KOWREC, 26(1), pp. 21~28. (2018).
3. Cho, S. H. and Chang, K. W., "Nitrogen mineralization of oil cakes according to changes in temperature, moisture, soil depth and soil texture", J. of KORRA, 15(1), pp. 149~158. (2007).
4. Cho, K. R., Won, T. J., Kang, C. S., Lim, J. W., Park, K. Y., "Effects of mixed organic fertilizer application with rice cultivation on yield and nitrogen use efficiency in paddy field", J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 42(3), pp. 152~159. (2009).
5. Ryu, C. H., Yang, C. H., Kim, B. S. and Park, U. K., "Effect of oil cake fertilizing on rice growth and yields", annual report of National Honam Agricultural Experiment Station, pp. 288~303. (2005).
6. Kang, S. W., Yoo, C. H., Yang, C. H. and Han, S. S., "Effects of rapeseed cake application at panicle initiation stage on rice yield and N-use efficiency in machine transplanting cultivation", J. Korean Soc. Soil Sci. Fert., 35(5), pp. 272~279. (2002).
7. Yang, C. H., Yoo, C. H., Kim, B. S., Park, W. O., Kim J. D. and Jung, K. Y., "Effects of application time and rate of mixed expeller cake on soil environment and rice quality", J. Korean Soc. Soil Sci. Fert., 41(2), pp. 103~111. (2008).
8. Lee, S. B., Kim, B. S., Ryu, C. H. and Yang, C. H., "Study on microbial diversity change of paddy soils by application of organic fertilizer", J. National Honam Agricultural Experiment Station, 3(1), pp. 46~54. (2007).
9. National Institute of Agricultural Science(NAS), Fertilizer Recommendation for crops (3rd revision). (2017).
10. National Institute of Agricultural Science and Technology(NIAST), Methods of soil analysis. NIAST, RDA, Suwon, Korea. (2000).
11. Yun, H. B., Lee, J. S., Lee, Y. J., Kim, R. Y., Song, Y. S., Han, S. G., and Lee, Y. B., "Chinese cabbage growth effected by black vinyl mulching and organic

- fertilizer application in spring season”, J. Korean Soc. Soil Sci. Fert., 44(6), pp. 1107~1111. (2011).
12. Rural Development Administration(RDA), Quality inspection method and sampling standard for fertilizer. (2016).