한국토양비료학회지 제 39권 6호
Korean J. Soil Sci. Fert. Vol. 39, No. 6, 403-408 (2006)

연구보문

퇴화염토지 논에서 팽화왕겨 퇴비시용이 토양이화학성에 미치는 영향

류철현* · 양창휴 · 김택겸 · 유진희 · 김병수 · 김재덕 · 정광용

호남농업연구소

The Effect of Popped Rice Hulls Compost Application on Soil Chemical and Physical Properties in Fluvio-marine Plain Paddy Soils

Chul-Hyun Yoo*, Chang-Hyu Yang, Taek-Kyum Kim, Jin-Hee Ryu, Byung-Su Kim, Jae-Duk Kim and Kwang-Yong Jung

Honam Agricultural Research Institute, RDA, Iksan 570-080, Korea

Fluvio-marine paddy soils in Korea consist of high silt content and have the hardpan located below 20~30 cm from surface soil. This properties cause poor rice rhizosphere conditions such as low permeability and porosity, high bulk density and hardness. The aims of this study was to investigate the effect of popped rice hulls compost(PRHC) on soil fertility changes in the Fluvio-marine plain paddy soils. Total nitrogen content and nitrogen mineralization rate of PRHC were 1.17 and 33.5, respectively, and its C/N ratio was 35.4. Application of PRHC increased the content of organic matter and exchangeable potassium and improved the bulk density and porosity. The content of NH_4-N in soil was high in the PRHC plot until maximum tillering stage. An uptake amount of fertilized nitrogen was greater in standard fertilization plot at early growth stage, however, it was greater more in PRHC plots at the ripening period than in standard fertilization plot . Among the PRHC treated plots, uptake amount was the greatest in 50% PRHC plot during the all growth period. Nitrogen efficiencies were higher in PRHC plot during the all growth period. Rice yields in all PRHC plots were lower than in standard fertilization, however, the yield of 40% PRHC plot was similar with that of standard.

Key words : Popped rice hull compost(PRHC), Fluvio-marine paddy soil, Soil chemical and physical properties, Organic fertilizer

서 언

우리나라의 하해혼성충적층(퇴화염토지: 구간척지) 논토양은 전국 논 면적의 25% 이상인 293천 ha에 (ASI, 1992)이르며 대부분이 내륙평탄지나 해안평탄지에 분포하고 있다. 그 특성은 미사함량이 많고 작토층 아래 20~30 cm 두께의 경반층이 존재하여 투수성, 용적밀도, 공극률, 경도 등 벼의 근권 환경이 불량하다(Cho et al., 1979). 이러한 불량환경을 형성시키는 경반층의 생성 원인은 생성학적인 면과 인위적인 면으로 구분할 수 있다. 생성학적으로는 토성이 미사질양토 내지 미사질식양토이면서 배수가 약간불량 내지 불량한 토양인 대부분의 구간척지 논토양에서 벼 재배시 작토층의 환원이 진행됨에 따라 철이나 고토가 하층으로 이동하는데 이때 미사나 점토도 같이 이동하여 집적됨으로써 경반층이 형성된다. 한편 인위적으로 생기는 경반층은 볏짚이나 보릿짚 등의 유기물을 시용하지 않은 경우, 매년 10 cm 정도로 천경을 하는 경우, 그리고 과습조건에서 트랙터와 같은 대형농기계로 로터리와 경운작업에 의한 작토층의 답압 등의 원인에 의하여 형성되고 있다(Takisima et al., 1969). 이러한 경반층의 생성은 작물의 근권 환경을 불량하게 하여 작물의 생산성에 불리한 영향을 미친다. 호남평야지의 하해혼성충적층 논토양은 우리나라 벼 재배면적의 51.2%, 보리 재배면적의 71.8%를 차지하는 (MAF, 2001) 농업지대로써 이 중 경반층 형성에 따른 심경 또는 심토파쇄를 해야할 대상면적은 약 55.8% (212.8천 ha)나 이르며(ASI, 1992) 이는 전국 논의 33.0%를 점유하고 있어 이에 대한 물리성 개량 대책은 필수적이다.

한편 벼는 지력 의존도가 높은 작물로서 벼가 흡수

접 수 : 2006. 9. 25 수 리 : 2006. 11. 8
*연락저자 : Phone: +82638402271,
E-mail: ych1950@rda.go.kr

하는 60 70%가 지력질소에 유래하므로 지력질소의 다소는 토양생산력을 결정하는 중요한 요인이라 할 수 있다(Ikata, 1997). 호남지역 논토양 중 지력질소인 유기물함량은 '95년에 23 g kg^{-1}에서 '99년은 21 g kg^{-1}로, 유효인산함량은 123 mg kg^{-1}에서 102 mg kg^{-1}로 점차 감소되고 있다(NHAES, 1995, NIAST, 1999)). 이와 같은 원인은 부산물인 볏짚 등의 유기물 자원이 토양으로 환원되지 못하고 있다. 볏짚의 경우 사료로 이용되기도 하고 보릿짚의 경우 트랙터의 로터리 작업불편과 기계이앙시 뜬묘 발생의 이유로 인한 소각 및 제거하는 농가가 증가되어 토양으로 환원되는 유기물은 벼 및 보리의 그루터기에 불과하여 이로 인한 지력의 감소와 함께 쌀 생산의 불안정과 양질미 생산에 불리한 것으로 판단된다.

현재 국내에서 양질의 부산물퇴비 생산량은 1997년도에 1,427천 Mg에서 2001년도에는 1,824천 Mg로 증가하고 있으나(RDA, 2002) 그 효과는 확실하지 않고 이용도도 한정되어 있다. 특히 수도작에서는 거의 시용되지 않고 있어 이들 퇴비와 화학비료대체 이용기술에 대한 연구가 필요하다고 생각된다. 따라서 본 연구는 부산물퇴비와 화학비료 혼용에 따른 토양의 이화학성 변화에 미치는 영향을 구명하여 지속적인 쌀 안정생산기술을 확립하고자 함에 있다.

재료 및 방법

본 시험은 벼 재배시 팽화왕겨에 의한 화학비료 대체 시험을 2년간(2002 2003) 호남농업연구소 수도재배 포장인 전북통(Jeonbug series, fine silty, mixed, nonacid, mesic family of Fluvaquentic Endoaquepts)에서 실시하였다. 사용된 팽화왕겨퇴비의 화학성은 Table 1과 같다.

공시품종은 동진 1호로 하였으며, 35일간 육묘한 중묘를 5월 24일 5월 26일에 주당 6본씩 m^2당 26주를 기계이앙 하였다. 공시 팽화왕겨퇴비는 혼합퇴비가 아닌 한 종류의 퇴비를 전문적으로 제조 판매하는 부안 계화농협에서 구입하여 사용하였다. 처리내용 및 시비량은 질소비료 시비량을 기준으로 하여 퇴비를 시비하였으며, 처리구는 ①표준시비 ②팽화왕겨퇴비 30% 질소대체+수비요소 40% ③팽화왕겨퇴비 40% 질소대체+수비요소 30% ④팽화왕겨퇴비 50%질소대체+수비요소 20% ⑤질소무시용구를 두어 단구제 3 반복으로 조사 · 분석하였다(Table 2). 팽화왕겨퇴비에 의한 질소대체량은 공시퇴비를 실내 항온조건(25℃)에서 약 18주 실시하여 누적질소무기화율(X_1)을 구한 후 질소대체 퇴비시용량(X_2)을 산출하였다(식 1, 2). 산출된 팽화왕겨 시용량을 기비로 시용하였으며 전층시비를 행하였다.

표준시비량은(N-P_2O_5-K_2O) = 11-4.5-5.7 kg $10a^{-1}$로 하여 질소는 요소로 기비-분얼비-수비＝50-30-20%, 인산은 4.5 kg $10a^{-1}$를 용성인비로 전량기비 시용하였고, 칼리는 5.7 kg $10a^{-1}$를 염화칼리로 기비 70%, 수비 30%로 분시하였으며, 수비 30%는 출수 20일 전에 시용하였다.

누적질소 무기화율 (X_1) = 부산물퇴비질소(T-N) 성분량(g/kg)×부산물퇴비 N무기화율(%)/100 --------------------------- 식(1)

질소대체 퇴비시용량 (X_2),kg/10a) = 10a당 질소대체량(g/kg)/X_1 ---------- 식(2)

토양 및 식물체의 총질소는 Kjeldahl법으로 분석하였고, 일반성분 분석은 토양화학분석법(NIAST, 2000)에 준하였다. 볏짚과 곡실의 시비질소 흡수량은 건물중×재식거리×T-N함량으로 계산하여 질소시용구에서 질소무시용구를 감하여 산출하였다. 토양물리성 중 토양 3상, 공극률 및 용적밀도는 Core법, 토양경도는 SR-2형 토양관입저항기(CSPPMM, 1982)로 측정하였다. 토양물리성 및 화학성은 2003년도 벼 수확 후 토양을 분석하였으며 NH_4-N의 경우는 벼의 생육 시기별로 토양을 채취하여 분석하였다.

결과 및 고찰

토양물리성 변화 벼 재배시 화학비료 대체를 위한 팽화왕겨퇴비를 2년 동안 시용한 후 각 처리별로 조사한 토양물리성은 Table 3과 같다. 작토심은 표준시비에 비해 모두 깊어졌으며 그 정도는 팽화왕겨퇴비 시용량이 증가할수록 깊어졌다. 이와 같이 팽화왕겨퇴비 시용은 최근 대형농기계 사용으로 인한 작토의 천층화 및 토양 경도의 증가 등의 토양 물리성의 악화를 방지하고, 작토심의 증가와 양분의 유효도의 저하를 다소 방지할 수 있으리라 생각된다. 아울러 C/N율이 높은 팽화왕겨 및 톱밥을 부재료로 사용한 부산물퇴비를 시용할 경우 난분해성 유기질입자가 토

Table. 1 The composition of popped rice hull compost.

T-C	T-N	Na_2O	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	C/N
----	----	----	---- % ----	----	----	----	
41.4	1.17	0.11	0.62	0.65	0.17	0.20	35.4

Table 2. Application amounts of chemical fertilizer and popped rice hull compost in each treatment.

Item	Treatment	Basal	Tillering stage	Panicle formation stage
		------------------------------------ kg ha^{-1}	------------------------------------	
N	Standard	55	33	22
	Compost nitrogen 30% + Urea 40%†	PRHC‡ 8400(N 33)	0	44
	Compost nitrogen 40% + Urea 30%	PRHC 11,200(N 44)	0	33
	Compost nitrogen 50% + Urea 20%	PRHC 13,990(N 55)	0	22
	Without nitrogen	0	0	0
P_2O_5	Standard	30	0	0
	Compost nitrogen 30% + Urea 40%	PRHC (P2O5 52.1) + 30	0	0
	Compost nitrogen 40% + Urea 30%	PRHC(P2O5 69.4) + 30	0	0
	Compost nitrogen 50% + Urea 20%	PRHC(P2O5 86.7) + 30	0	0
	Without nitrogen	30	0	0
K_2O	Standard	21	0	9
	Compost nitrogen 30% + Urea 40%	PRHC(K2O 54.6) + 21	0	9
	Compost nitrogen 40% + Urea 30%	PRHC(K2O 72.8) + 21	0	9
	Compost nitrogen 50% + Urea 20%	PRHC(K2O 90.9) + 21	0	9
	Without nitrogen	21	0	9

†Compost nitrogen was only used at basal fertilization and urea was used at tillering and panicle initiation stage
‡ PRHC ; Popped rice hull compost (Total nitrogen : 1.17%, Nitrogen mineralization rate : 33.5%)

양입자와 혼합되므로 대형농기계 사용으로 인한 토양 다짐 현상에 있어서 스프링과 같은 역할을 하므로 토양물리성이 불량한 미사질양토 내지 미사질식양토의 하해혼성충적층의 논토양에서 시용효과가 클 것으로 생각된다.

토양경도는 표준시비에 비하여 팽화왕겨 시용으로 낮아졌으며 그 효과는 표토보다 심토에서 더 효율이 좋았다. 특히 팽화왕겨퇴비 50%를 기비로 시용한 구에서 가장 좋은 효과를 나타내었다. 유기물 시용이 토양 물리성 개선에 효과가 있음을 많은 연구자들이 보고하고 있다. Yoo et al.(1998)의 연구에 따르면 볏짚과 볏짚퇴비를 장기연용 할 경우 용적밀도가 낮아지고 그 정도는 볏짚시용구에서 효과적이었으며 토양의 3상비 중 고상률이 낮아지고 액상율과 기상율의 비는 증가되었으며 볏짚 퇴비시용구에서 액상률, 볏짚시용구에서 기상률이 크게 증가하였다고 보고하였다. 그리고 답토양에서 유기물을 장기연용 할 경우 퇴비보다는 볏짚의 효과가 크다는 보고가 있다(Oh, 1983). 토양의 경도가 16 mm(3.49 kg cm^{-2})이상이면 개량기술 대책이 있어야 하고 21 mm(7.32 kg cm^{-2})이상이면 근본적인 개량대책이 필요하다고 보고되어졌으며(Takisima et al., 1969), 우리나라의 하해혼성충적층 논의 작토층 하부(12 30 cm)에는 23 25 mm의 경도를 나타내기 때문에(Cho et al., 1979) 이에 대한 개량대책이 필요한 실정으로 오래전부터 하해혼성충적층 논토양의 토양물리성 개량을 위하여 심경, 유기물 시용 그리고 배수개선 등이 주요 쟁점사항으로 대두되어 왔다. 따라서 토양경도의 감소뿐만 아니라 용적

Table 3. The change of physical properties by application of PRHC in fluvio-marine plain paddy soil.

Treatment	Surface soil depth	Hardness	Bulk density	Porosity	Three phases		
					Solid	Liquid	Gaseous
	cm	mm	g cm^{-3}	--------------------------------	-------------------------------- %	--------------------------------	
Standard Fertilzation	12.5	15.5 (21.9)	1.10 (1.38)	58.4 (48.1)	41.6 (51.9)	43.5 (44.4)	14.9 (3.7)
PRHC 30%+ Urea 40%	14.9	13.8 (20.5)	1.15 (1.29)	56.8 (47.4)	43.2 (52.6)	38.0 (40.3)	18.8 (7.1)
PRHC 40%+ Urea 30%	15.8	13.9 (20.3)	1.09 (1.22)	58.8 (54.0)	41.2 (46.0)	43.0 (45.7)	15.8 (8.3)
PRHC 50%+ Urea 20%	16.2	13.2 (20.2)	1.02 (1.22)	61.4 (50.1)	38.6 (49.9)	39.3 (45.7)	22.1 (4.4)

( ) : Subsoil

밀도와 고상률이 낮아지고 공극률이 증가하는 등 팽화왕겨퇴비에 의한 화학비료 대체시 토양물리성 개선효과가 뚜렷하므로 팽화왕겨의 시용이 논토양 개량의 대안 중 하나로 볼 수 있다.

토양화학성 변화 팽화왕겨퇴비를 2년간 시용한 후 토양화학성 변화를 보면 Table 4와 같았다. pH는 표준시비에 비하여 팽화왕겨퇴비 시비에서 낮아졌으며 그 정도는 팽화왕겨퇴비 대체 시용량과 반비례하였다. 이와 같이 팽화왕겨퇴비 시용시 pH가 낮아지는 것은 퇴비의 분해시 생성되는 유기산 생성에 의한 현상으로 생각된다(Shin et al., 1975). 유기물 함량은 표준시비에 비해 팽화왕겨퇴비 시비구에서 증가하였으며 특히 40%시용구에서 가장 많이 증가하였다. 유효인산함량과 규산함량도 팽화왕겨퇴비 시용구에서 표준시비에 비해 모두 증가하였으며 퇴비 시용량이 많을수록 증가정도가 컸다. 이와 같이 유효 인산과 규산함량의 점진적 증가는 팽화왕겨퇴비 중 포함된 인산, 규산함량 등의 양분이(Kwun et a.l, 1984) 집적되었기 때문으로 생각된다. 칼륨, 칼슘 마그네슘 등의 토양 중 치환성 염기 함량은 증가하였고 그 정도는 팽화왕겨퇴비 시용량이 많을수록 증가하였다. 여러 유기물 시용 연구에 따르면 식토와 사질습답에서의 유기물시용은 토양 중 치환성염기 함량을 감소시켰고(Oh, 1966), 세사양토, 미사질양토 및 식양토에서는 치환성 염기가 증가한 것으로 보고(Shin et al., 1975; Yamane et al., 1970)되었다. 이로 볼 때 치환성 염기의 증감은 토양모재 등 토양환경에 따라 상이함을 알 수 있으며 본 연구에서 행하여진 전북통의 토성은 미사질 양토로써 이전 보고와 같이 팽화왕겨퇴비의 처리에 의해 치환성 염기가 증가하였다. 양이온치환용량도 표준시비에 비해 팽화왕겨퇴비의 시용에서 증가되었으며, 양이온치환용양의 증가는 유기물 함량의 증가에 의한 것으로 생각된다. Yamashita(1967)는 퇴비의 연용에 의한 양이온치환용량의 증대는 대부분이 유기물함량의 증가에 의존하고 있다고 하였으며, 권 등, 여러 학자들(Shin et al., 1975; Yamane et al., 1970)은 퇴비시용시 볏짚시용보다 근소하게 증가함을 보고하였으며, Oh(1978)는 양이온치환용량은 부식함량이 1% 증가에 따라 약 2.3 $cmol_c\ kg^{-1}$ 증가한다고 보고하였다. 이러한 결과들을 볼 때 하해혼성충적층의 논토양의 지력증진을 위해서는 부산물퇴비 등의 유기질 비료의 시용이 매우 중요함을 알 수 있다.

토양 중 NH_4-N의 용출양상 주요 생육시기별 토양 중 NH_4-N 용출양상은 Figure 1과 같았다. 팽화왕겨퇴비를 기비로 시용하였을 때 유효분얼종지기와 최고분얼기에는 표준시비에 비하여 NH_4-N 용출함량이 낮았다. 이것은 팽화왕겨퇴비의 높은 C/N율로 인하여 유기물 분해 미생물들이 이를 분해하기 위해 토양 중 질소를 흡수 이용함으로써 유리된 NH_4-N이 감소하였기 때문으로 생각된다. 그러나 유수형성기 이후부터는 표준시비에 비하여 NH_4-N 함량이 점차 증가하기

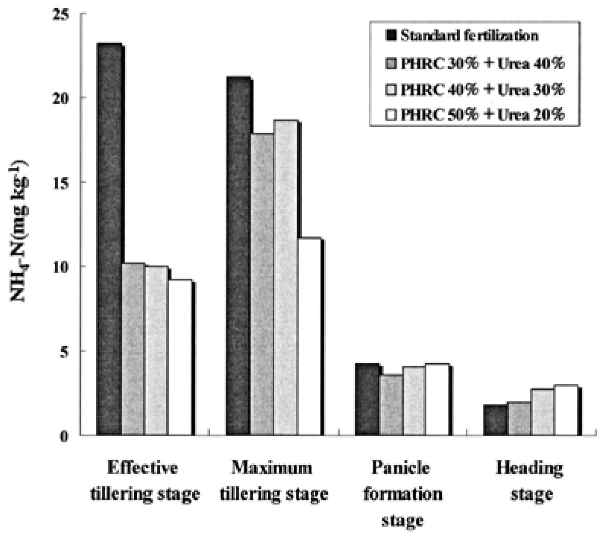

Fig. 1. The changes of eluted NH_4-N content in soil at growth stages.

Table 4. The change of chemical properties by application of PRHC in fluvio-marine plain paddy soil.

Treatment	pH	OM	P_2O_5	SiO_2	Ex. Cation			CEC
					K	Ca	Mg	
	1:5	$g\ kg^{-1}$	-------- $mg\ kg^{-1}$ --------		----------------------- $cmol_c\ kg^{-1}$ -----------------------			
Standard Fertilzation	5.8	25.1	74	139	0.26	9.1	3.5	12.3
PRHC 30%+ Urea 40%	5.5	29.5	100	146	0.38	9.2	3.6	12.7
PRHC 40%+ Urea 30%	5.5	31.1	102	150	0.30	8.3	3.5	13.1
PRHC 50%+ Urea 20%	5.7	28.5	104	151	0.34	8.9	3.4	13.1

시작하였으며 그 정도는 팽화왕겨퇴비 시용량에 비례하여 증가하였다. 그러나 생육초기의 토양 중 NH_4-N 함량의 저하를 최소화 하기 위해서는 부산물퇴비 시용시 화학비료와 혼용하여 시용하는 등의 시비기술연구도 필요하다고 생각된다.

시비질소 흡수량과 이용률 팽화왕겨퇴비에 의한 질소비료 대체시 주요 생육시기별 시비질소 흡수량의 변화는 Fig. 2와 같았다. 팽화왕겨퇴비 시용구에서 시비질소의 흡수량은 초기에는 표준 시비에 비해 다소 낮았으나 출수기 이후로는 증가하는 양상을 보였다. 이와 같이 유효분얼종지기부터 유수형성기까지 질소 흡수량이 낮은 이유는 팽화왕겨 퇴비의 높은 C/N율로 인하여 토양 미생물들이 질소기아현상을 유도하였으나 출수기 이후에는 팽화왕겨퇴비의 C/N율이 낮아짐으로써 질소용출량이 증가하여 생육후기의 흡수량이 증가된 것으로 생각된다.

주요생육시기별 질소이용률은 보면 전반적으로 표준시비보다 팽화왕겨퇴비 시용구에서 높았다. 특히, 생육중기인 유수형성기까지는 팽화왕겨 30%시용구에서 가장 높은 이용률을 보였으며, 출수기 이후에는 시용량이 많은 50%시용구에서 가장 높았다. 이와 같이 생육중기까지 팽화왕겨의 시용량이 많은 구에서 질소이용률이 낮은 것은 C/N이 높았기 때문으로 생각되었다.

수량구성 요소 및 수량성 팽화왕겨퇴비에 의한 질소비료 대체시 수량구성요소 및 수량성은 Table 5와 같았다. 간장은 표준시비에 비해 팽화왕겨퇴비 시용에서 짧았으며 수장은 표준시비와 비슷한 길이를 보였다. 그 중에서 팽화왕겨퇴비 40%시용구에서 수장의 길이가 가장 길게 나타났다. ㎡당립수는 표준시비에 비해 팽화왕겨 시용구에서 모두 적게 나타났으나

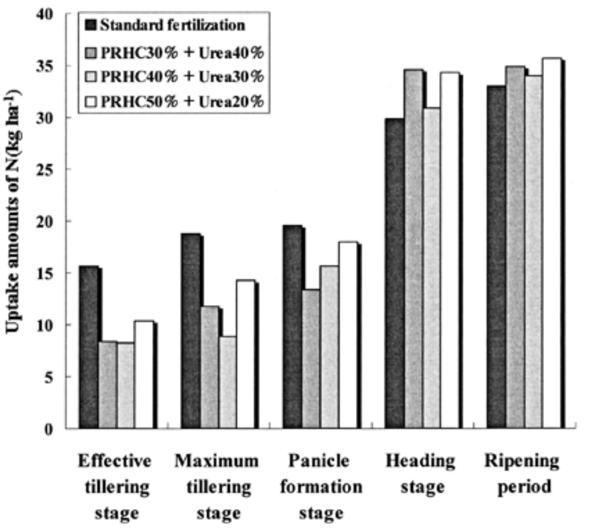

Fig. 2. The uptake amount of nitrogen at growth stages.

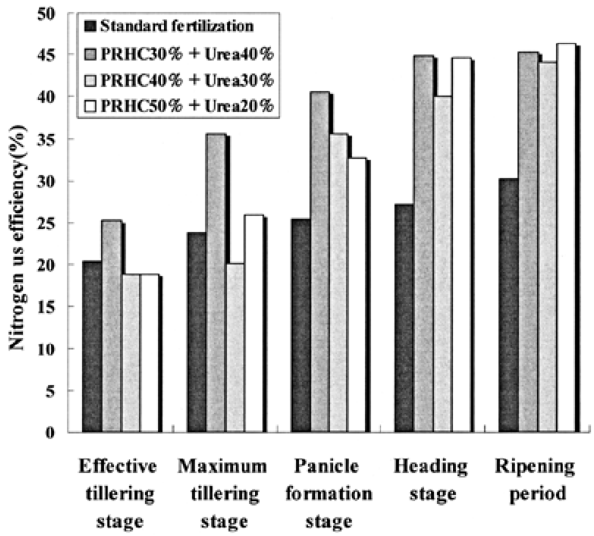

Fig. 3. The degree of nitrogen use efficiency at growth stages.

Table 5. Yield component and rice yield at different treatment.

Treatment	Culm length	Panicle length	Grain number per m^2	Percent ripened grain	1.000-grain weight of brown rice	Milled rice yield	Yield index
	cm		× 1,000	%	g	kg $10a^{-1}$	
Standard	73.6	18.5	31.5	85.2	21.3	508	100
PRHC 30%+ Urea 40%	68.0	18.9	27.6	88.3	21.7	466	92
PRHC 40%+ Urea 30%	67.0	19.3	29.4	87.1	21.0	497	98
PRHC 50%+ Urea 20%	67.8	18.3	29.5	86.3	21.6	472	93
Non Nitrogen	59.2	18.0	15.8	91.9	20.9	271	53
LSD(5%)							45.89
CV(%)							8.67

등숙비율은 팽화왕겨퇴비 시용구에서 약간 높게 나타났다. 현미천립중의 경우 표준시비와 팽화왕겨퇴비 시용구는 비슷한 무게를 나타내었다. 쌀수량은 표준시비에 비해 모든 팽화왕겨퇴비 시용구에서 낮았으나 팽화왕겨퇴비 40%시용구에서는 표준시비와 거의 비슷한 수준의 수량을 보였다. 이와 같이 ㎡당립수가 표준시비에 비해 적음에도 팽화왕겨 40%시용구에서 표준시비와 수량이 비슷하게 나타난 것은 등숙비율이 높았고 현미천립중이 표준시비와 거의 같았기 때문으로 생각된다. 따라서 수량성의 결과로 볼 때 팽화왕겨퇴비를 기비로 화학비료대체시에는 팽화왕겨를 40% 시용하고 수비로 요소 30%를 시용하는 것이 적정 할 것으로 생각되었다.

적 요

시험에 사용한 팽화왕겨퇴비는 T-N 1.173%, 질소무기화율 33.5%, C/N율 35.4로써 높은 C/N율을 가졌다. 본시험은 전북통의 토양에서 동진 1호를 재배하였으며 2년간 팽화왕겨퇴비를 시용하였다. 팽화왕겨퇴비의 시용은 유기물 및 치환성 칼륨 함량을 증가시켰으며 시용량이 증가할수록 용적밀도 및 공극률이 향상되는 효과를 나타내었다. 토양 중 NH_4-N 용출양상은 최고분얼기 이전까지는 표준시비구에서 높았다. 시비질소 흡수량은 생육초기 표준시비구에서 많았으나 성숙기에는 팽화왕겨퇴비 시용구에서 다소 많았으며, 팽화왕겨퇴비 시용구들 간을 비교해 볼 때 생육전반에 걸쳐 50% 대체구에서 흡수량이 가장 많았다. 질소이용률은 팽화왕겨퇴비 시용구에서 전반적으로 높은 이용률을 보였다. 쌀수량은 표준시비에 비해 모든 팽화왕겨퇴비 시용구에서 낮았으나 팽화왕겨퇴비 40% 시용구에서는 표준시비와 거의 비슷한 수준의 수량을 보였다.

인 용 문 헌

ASI. 1992. Soil introduction of Korea. p.308-610. Agricultural Sciences Institute, RDA, Suwon, Korea.

Cho, I.S., J.N. Im, Y.G. Jo, and J.D. So. 1979. Study on improvement of physical properties in fluvio-marine soil. Report of Agricultural Sciences Instiute p. 175-176.

CSPPMM. 1982. Soil physical property measurement method. Committee of Soil Physical Property Measurement Method. Yang Hyun Dang p.313 316.

Kwun, K.C., J.K. Kim, I.Y. Kim, S.H. Park, and D.S. Jo. 1984. Effects of continuous fertilizations on physical and chemical properties of paddy soil and growth of rice plant. Res. Rept. RDA. 26:67-76.

Iketa A.H. 1997. Rational fertilization management of rice plant by nutrition and soil diagnosis. Agriculture & Horticulture. 72:999.

MAF. 2001. Statistics yearbook of agriculture & forestry. Ministry of Agriculture and Forestry, Gwacheon, Korea.

NHAES. 1995. Study on soil fertility transition of the major arable land. Res & Rept, p.402-405, National Honam Agricultural Science and Technology. Suwon, Korea.

NIAST. 1999. Annual report of the monitoring project on agro-environment quality. p.8-10 National Institue of Agricultrual Science and Technolgy. Suwon, Korea.

NIAST. 2000. Methods of soil and crop plant analysis. National Institue of Agricultrual Science and Technolgy, Suwon, Korea.

Oh, W.K. 1966. Effects of organic materials application on paddy soil physico- chemical properties. Res. Rept. RDA. 9:175-208.

Oh, W.K. 1978. Effects of organic materials on soil chemical properties. Korean J. Soil Sci. Fert. 11:161-173.

Oh, Y.J. 1983. Effects of N.P.K. and organic matters for 15-years successive application on paddy soil properties, plant growth and yield of rice plant. KJCS. 28:431-438.

RDA. 1995. Investigation and standard for agricultural experiment. p.487-510. Rural Development Adminstation, Suwon, Korea.

RDA. 2002. Statistics on rural development enterprise. Rural development adminstration, Suwon, Korea.

Yosihiko, S. 1988. The factors and counterplan of rice yield's decreasing in case of high temperature years - more important recent counterplan on high temperature than that on low temperature, Agriculture & Horticulture. 63:49-53.

Shin, J.S., and Y.H. Shin. 1975. Addition on the physicochemical properties of paddy soil. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 8:19-23.

Takisima, Y., and S. Hirosi. 1969 The studies on the effect of soil compression on the root development and the growth of rice. Annual report of Agricultural technology. B21: 315-328.

Yamane, C.S., and H.H. Matzura. 1970. Change of soil physico-chemical properties after application rice straw. Res. Rept. Chugoku National Agricultural Experiment Station. 5:69-76.

Yamashita, K.H. 1967. Effect of long-term application compost on the humus and physicochemical properties of paddy soil. The report of National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region. 13:113-156.

Yoo, C.H., J.G. Kim, K.H. Park, and S.J. Kim. 1988. Effect of long-term organic matter application on physico-chemical properties in rice paddy soil. 2. The effect of some physical properties of paddy field by the long-term application of rice straw and compost. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 21:373-379.