한국토양비료학회지 제 39권 6호
Korean J. Soil Sci. Fert. Vol. 39, No. 6, 334-338 (2006)

연구보문

벼 담수표면 직파재배시 진단시비와 심토파쇄가 토양이화학성 및 벼 생육에 미치는 영향

류철현* · 유진희 · 양창휴 · 김택겸 · 강승원[1] · 김재덕 · 정광용

호남농업연구소, [1]작물과학원

Influence of Diagnostic Fertilization and Subsoil Breaking on Soil physico-chemical Properties in Direct Seeding of Rice on Flooded Paddy Surface

Chul-Hyun Yoo*, Jin-Hee Ryu, Chang-Hyu Yang, Taek-Kyum Kim, Seung-Weon Kang[1], Jae-Duk Kim and Kwang-Yong Jung

Honam Agricultual Research Institute, NICS, RDA, Iksan 570-080, Korea
[1]National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857, Korea

This study was conducted to evaluate the effect of improvement of soil physical properties such as deep plowing, subsoil breaking and diagnostic fertilization on the yield of rice and nitrogen-use efficiency in direct seeding on flooded paddy surface of rice. The effects of deep plowing, subsoil breaking and diagnostic application of N, P, K fertilizers, Latex coated urea(LCU), compost, silicate were investigated. The soil physical properties, such as bulk density, hardness and porosity were improved and the content of organic matter and available SiO_2 were also increased by deep plowing and subsoil breaking. The amount of NH_4-N in soil was highly increased by diagnostic fertilization and deep plowing at 5th leaf stage. The nitrogen-use efficiency was the highest at the diagnostic application of LCU 70% applied as basal dressing with subsoil breaking. The yield of rice increased by 8% under the diagnostic application of LCU 70% applied as basal dressing with subsoil breaking compared with the conventional application.

Key words : Direct seeding, Flooded paddy surface, Diagnostic fertilization, Deep plowing, Nitrogen-use efficiency

서 언

우리나라의 화학비료 시용량은 1984년에 약 76만 Mg이었으나 1990년에는 약 99만 Mg까지 증가하였고 1996년에는 약 78만 Mg으로 감소하였으나 여전히 많은 화학비료를 사용하고 있는 실정이다(Yang et al., 1999). 작물의 생산성을 향상시키기 위하여 비료의 사용은 필수적이나 수량 증대를 위해 과다사용되어 농경지와 수질 등을 오염시켜 농업환경의 질을 악화시키고 있다. 또한 시비는 작물의 생산성 향상에 크게 기여한 것은 사실이나 1970년대부터 증수를 위해 과다투여 시용된 점은 부인할 수 없다.

이와 같이 작물의 영양원으로 비료시용은 필수적이나 농업의 환경을 보전하기 위해서는 작물별 적정시용이 필요한데 기본적으로 토양과 작물특성에 맞도록 시비법이 개선되어야 한다. 최근 우리나라에서는 벼 재배에서 질소이용률을 향상시키기 위해 완효성비료와 같은 질소비료의 형태개선, 토양개량, 시비방법개선 등을 추진하고 있는데 질소이용률은 벼 재배양식에 따라 다르며 특히 비종, 시용량, 시비방법, 물관리, 품종 그리고 토양과 기상 등에 따라 상이한 것으로 보고되고 있다. 더구나 호남지방 논의 72%인 배수가 약간불량 내지 불량한 평야지 논은 토성이 미사질양토와 미사질식양토의 하해혼성충적층을 모재로 하고 있어 건답직파재배 보다 담수표면직파나 무논골뿌림재배가 적합한 면적이 많다(NHAES, 1993). 특히 담수표면직파재배는 기계이앙재배 보다 본답기간이 길고 처음부터 담수상태로 유지되기 때문에 토양의 환원이 진전되어 탈질에 의한 비료유실이 쉽고 벼 뿌리가 3.3 ㎝ 깊이까지의 작토층 표면에 약 80%가 분포되어 있어(Takita et al., 1983) 질소비료의 과다시용은 도복의 우려가 크다. 특히 호남평야지 논토양은 구 간

접 수 : 2006. 9. 13 수 리 : 2006. 11. 27
*연락저자 : Phone: +82638402271,
E-mail: ych1950@rda.go.kr

척지토양으로 심토에 경반층을 형성하여 수직배수가 불량하고 볏짚등의 유기물시용 회피와 대형농기계에 의한 답압에 의해 작토층이 점점 얕아지고 있어 주기적으로 심경 또는 심토파쇄를 하지 않으면 지속적인 쌀 생산에 문제가 있을 것으로 생각된다. 따라서 본 연구는 호남평야지의 대표토양인 전북통에서 벼 담수직파재배시 토양물리성 개선 및 토양진단시비가 벼 수량에 미치는 영향을 구명하여 쌀 안정생산을 위한 환경보전형 시비기술을 확립하고자 수행한 시험결과를 보고하는 바이다.

재료 및 방법

본 연구는 2년간 (1999 2000) 호남농업시험장 수도재배 포장인 전북통(Jeonbug series, fine silty, mixed, nonacid, mesic family of Fluvaquentic Endoaquepts)에서 파종양식을 담수표면직파로 하여 시험을 수행하였으며 연도별 시험전 토양의 화학적 특성은 Table 1과 같다.

파종은 동안벼를 prochloraz유제 2,000배액에 24시간 침지 소독한 후 침종하여 2 3 mm 최아시킨 후 5월 8일에 10 a당 4 kg을 손으로 산파하고 출아 직후에 입모수를 조사한 후 m^2당 100개로 보정하였다. 시비방법은 Table 2에서와 같이 관행은 N-P_2O_5-K_2O = 110-45-57 kg ha^{-1}으로 하여 질소는 요소로 기비-분얼비-수비를 40-30-30%, 인산은 용성인비를 전량기비로 시용하였으며, 칼리는 염화가리로 기비-수비 = 70-30% 로 분시하였다.

진단시비는 농촌진흥청 진단시비처방(RDA, 1999)에 준하여 Table 1의 시험전 토양분석치를 계산하여 연도별 Table 2와 같이 시용하였고 그외 규산은 130 ppm으로 조절한 양을, 퇴비는 돈분발효 톱밥퇴비로 ha당 4,800 kg을 시용하였고 완효성비료(LCU; 18-12-13%)는 질소기준으로 진단시비량의 70%를 기비로 전량 전층시비(Yoo et al., 1998) 하였다.

심경은 파종 20일전에 트랙터로 16 18 cm 깊이로 경운하였고, 심토파쇄는 트랙터 부착형 진동식 심토파쇄기(Kawabe Model Sub-30s50)를 이용하여 깊이 30 cm 폭 50 cm 간격으로 파쇄하였으며 2년차에는 심경과 심토파쇄의 효과 잔효기간이 2년이상이므로 (Jo et al., 1983; Chang et al., 1988) 심경과 심토파쇄를 생략하였고 그 외 재배관리는 표준재배법에 준하

Table 1. Chemical properties of the soil before experiment.

Treatments	pH	OM†	Available P_2O_5	Available SiO_2	Exchangeable Cation			CEC‡	Total N
					K	Ca	Mg		
		g kg^{-1}	----- mg kg^{-1} -----		---------- cmol$_c$ kg^{-1} ----------				g kg^{-1}
Before experiment	6.5	23.5	106	73	0.14	5.7	3.0	13.3	0.12
Conventional	6.2	21.1	110	71	0.37	5.9	3.4	10.9	0.12
Diagnostic fertilization(DF)	6.2	21.5	118	73	0.51	5.9	3.8	11.6	0.12
DF+Compost+Silicate	6.2	22.8	106	125	0.55	6.4	4.4	11.8	0.14
LCU 70% of DF+Deep plowing	6.4	22.8	105	98	0.46	7.4	3.9	10.0	0.10
LCU 70% of DF+Subsoil breaking	6.1	21.5	96	105	0.37	6.2	3.1	9.0	0.13
No fertilization of N	6.2	22.8	107	70	0.38	6.0	3.0	12.2	0.12

† Organic matter
‡ Cation exchange capacity

Table 2. The amount of fertilizer recommended by soil testing on years.

Treatments	N		P_2O_5		K_2O		Sillicate (Practical amount)		Compost (PMSC‡)	
	1999	2000	1999	2000	1999	2000	1999	2000	1999	2000
	---------- kg ha^{-1} ----------									
Conventional	110	110	45	45	57	57	0	0	0	0
Diagnostic fertilization(DF)	112	115	30	30	122	30	0	0	0	0
DF+Compost+Silicate	112	128	30	30	122	30	2,170	190	4,800	4,800
LCU 70% of DF+Deep plowing	78	84	52	56	57(66)†	61	2,170	1,216	4,800	4,800
LCU 70% of DF+Subsoil breaking	78	87	52	58	57(66)†	63	2,170	950	4,800	4,800
No fertilization of N	0	0	45	45	57	57	2,170	760	0	0

† Amount of supplementary single fertilizer
‡ PMSC : Pig manure sawdust compost

였다.

토양의 NH_4-N분석은 미량확산분석법(SNMMC, 1975), 시비질소 유래의 토양중 NH_4-N은 질소시비구 토양 NH_4-N에서 질소무시용구 토양 NH_4-N를 뺀값으로 계산하였다. 그리고 토양 및 식물체의 T-N함량은 Kjeldahl법으로 분석하였고, 시비 질소흡수량은 질소시비구의 질소흡수량에서 질소무시용구의 질소흡수량을 뺀값을 나타내었으며, 질소이용률은 〔(질소시용구 질소흡수량 - 무질소구 질소흡수량)/질소시용량〕 × 100으로, N시비효율은 (질소시용구 수량 - 무질소구 수량)/질소시용량으로 산출하였고, 벼 생육 및 수량조사는 농촌진흥청 농사시험연구조사기준(RDA, 1995)에 의하였다.

결과 및 고찰

토양 이화학성의 변화 토양물리성 개선과 진단시비에 의한 담수표면 직파재배 2년후 토양의 물리적 특성은 Table 3과 같다.

작토의 용적밀도는 관행구 1.25 g cm^{-3}에 비하여 진단시비+심경 및 심토파쇄 처리가 큰 차이를 보이지 않았으나 심토에 있어서는 1.32 g cm^{-3}로 현저히 낮아졌다. 경도에서도 작토보다 심토에서 낮아졌으며 특히 심토파쇄구에서 가장 낮았다. 공극률은 관행에 비하여 심경구는 심토에서, 심토파쇄는 작토, 심토 모두에서 높아졌고 3상 중 기상률도 관행에 비하여 심경과 심토파쇄구의 심토에서 높은 결과를 보였다.

진단시비와 토양물리성 개선에 따른 2년간 시험후 토양의 화학성 변화는 Table 4와 같이 토양산도는 뚜렷한 차이는 보이지 않았고 유기물함량은 관행 21.0 g kg^{-1}에 비하여 진단시비구(DF)를 제외하고 23.2 26.4 g kg^{-1}으로 증가되었다. 유효규산함량은 관행 68 mg kg^{-1}에 비하여 모든 진단시비구에서 증가되었는데 진단시비(퇴비+규산)구에서 가장 높게 나타났다. 한편 치환성양이온중 칼리함량은 관행에 비하여 진단시비구와 심경처리구에서 높게 나타나는 경향이었으나 석회와 고토 함량은 큰 차이가 없었다.

시비질소의 토양 중 NH_4-N 용출양상 벼 주요 생육시기별 시비질소의 2년간 시험결과 NH_4-N의 용출 양상은 Fig. 1과 같다. 시비질소의 토양중 NH_4-N 발현양상은 모든 처리구에서 유효분얼한계기까지 높게 나타났으며, NH_4-N의 최고 발현 시기도 유효분얼한계기였다.

특히 이 시기에 진단시비(퇴비+규산)구와 심경구에서 시비질소의 NH_4-N함량이 높게 나타났다. 또한 완효성비료+심경, 심토파쇄구는 관행에 비하여 성숙기까지 NH_4-N 용출이 높게 나타났다.

Table 3. Physical properties of soil after experiment.

Treatments	Hardness	Bulk density	Porosity	Three phase(%)		
				Solid	Liquid	Gaseous
	kg cm^{-2}	g cm^{-3}	%			
Conventional	0.56	1.247	53.5	46.5	46.2	7.3
	(2.98)	(1.511)	(43.5)	(56.5)	(38.8)	(4.7)
Deep plowing	0.96	1.317	50.8	49.2	46.0	4.8
	(1.48)	(1.319)	(50.8)	(49.2)	(45.2)	(5.6)
Subsoil breaking	0.70	1.218	54.6	45.4	46.8	7.8
	(1.38)	(1.309)	(51.1)	(48.9)	(45.0)	(6.1)

† Surface soil : 0~15 cm

‡ Subsoil : 15~30 cm

Table 4. Chemical properties of soil after experiment.

Treatments	pH	OM	Available P_2O_5	Available SiO_2	Exchangeable Cation			CEC	Total N
					K	Ca	Mg		
		g kg^{-1}	----- mg kg^{-1} -----		---------- $cmol_c$ kg^{-1} ----------				g kg^{-1}
Conventional	6.2	21.0	100	68	0.34	6.7	3.3	11.6	0.13
Diagnostic fertilization(DF)	6.1	21.4	95	94	0.42	6.4	3.5	12.2	0.14
DF+Compost+Silicate	6.2	23.2	102	120	0.42	6.9	3.8	12.4	0.14
LCU 70% of DF+Deep plowing	6.3	23.6	96	106	0.38	7.0	3.3	11.6	0.12
LCU 70% of DF+Subsoil breaking	6.2	26.4	88	108	0.34	6.7	3.0	11.3	0.14
No fertilization of N	6.2	20.6	90	111	0.34	6.5	3.0	12.1	0.12

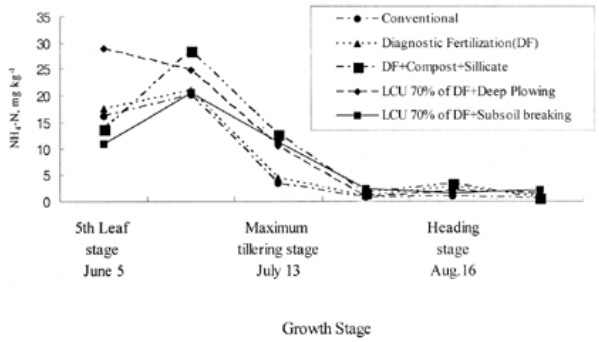

Fig. 1. The changes of NH_4-N contents in soil in rice growth stage.

시비질소의 흡수량 및 이용율 주요 생육시기별 벼 식물체의 시비질소 흡수량은 Table 5에서와 같이 유효분얼한계기부터 성숙기까지 모든 처리구에서 증가하였고 관행에 비하여 진단시비구는 생육 초기부터 흡수량이 많았는데 그 정도는 LCU 70%+심토파쇄구에서 가장 컸다. 성숙기 시비질소의 흡수량을 보면 관행 35.3 kg ha^{-1}에 비하여 진단시비구 모두에서 질소 흡수량이 많았는데 특히 LCU 70%+심경, LCU 70%+심토파쇄구에서 12.1 16.1 kg ha^{-1} 의 질소를 흡수하였다.

토양물리성 개선과 진단시비에 의한 각 처리간 생육시기별 질소이용률은 Table 6과 같으며 성숙기의 질소이용률은 진단시비(LCU 70%)+심경, 심토파쇄구에서 관행에 비하여 26.8, 30.4%씩 높게 나타나 속효성비료의 진단시비 보다는 완효성비료의 진단시비가 질소이용면이나 생육면에서 유리할 것으로 생각되었다.

생육 및 수량의 변화 벼 담수표면직파시 진단시비 및 토양물리성 개선에 따른 생육 및 수량은 Table 7과 같다.

간장은 관행에 비하여 진단시비구에서 모두 길었고 수장은 진단시비(LCU 70%)+심경, 심토파쇄구에서 짧아지는 경향이었다. 쌀수량은 관행에 비하여 진단시비(LCU 70%)+심경, 심토파쇄구에서 4 8%의 증수효과를 보였다. 이는 Table 5, 6에서와 같이 질소의 흡수량과 이용효율이 높았을 뿐만아니라 m^2당 립수가 많고 등숙비율이 높았던 데도 그 원인이 있었다.

이상의 결과를 종합해볼때 벼 담수표면직파시 진단시비에 의해서도 관행(표준시비)과 같은 수준의 수량을 얻을 수 있고 여기에 규산 130 ppm 조절량과 퇴비시용으로 2% 증수효과를 나타냈다. 즉 토양검정을 통하여 비료를 적절히 가감하여 사용하여도 안정 수량을 꾀할 수 있었다.

또한 속효성비료의 시비처방보다는 완효성비료를 진단시비량의 30%를 감비하여 시용한 후 심경과 심토파쇄 처리로 토양물리성을 개선시킨다면 쌀생산의 증수와 동시에 안정성을 기할 수 있을 것으로 생각되었다.

Table 5. The uptake amount of fertilized nitrogen in rice growth stage.

Treatments	Critical effective tillering stage (6/27)	Maximum tillering stage (7/13)	Panicle forming stage (7/27)	Heading stage (8/16)	Ripening period		
					Rice straw	Grain	Total
	kg ha^{-1}						
Conventional	9.0	10.6	16.4	28.6	13.5	21.8	35.3
Diagnostic fertilization(DF)	10.2	11.8	17.8	30.4	18.2	20.9	39.1
DF+Compost+Silicate	10.0	11.0	18.0	31.0	17.5	26.0	43.5
LCU 70% of DF+Deep plowing	9.4	14.6	17.2	20.8	13.0	34.4	47.4
LCU 70% of DF+Subsoil breaking	14.9	19.4	21.5	26.0	17.6	33.8	51.4

Table 6. Fertilizer N use efficiency in direct seeding of rice.

Treatments	Critical effective tillering stage (6/27)	Maximum tillering stage (7/13)	Panicle forming stage (7/27)	Heading stage (8/16)	Ripening period		
					Rice straw	Grain	Total
	%						
Conventional	11.8	13.8	21.2	26.1	12.2	19.8	32.0
Diagnostic fertilization(DF)	12.9	14.8	22.3	26.8	16.0	18.6	34.6
DF+Compost+Silicate	12.0	13.3	21.5	26.0	14.4	22.1	36.5
LCU 70% of DF+Deep plowing	11.6	18.1	21.4	21.2	16.2	42.6	58.8
LCU 70% of DF+Subsoil breaking	18.1	23.6	26.1	26.0	20.9	41.4	62.4

Table 7. Rice yield and yield components in direct seeding of rice.

Treatments	Culm length	Grain number per m^2	Percentage of ripeness	1000 grain weight	Rice yield	Yield index
	cm	×1,000	%	g	Mg ha^{-1}	
Conventional	73.8	26.6	82.4	24.3	5.22	100
Diagnostic fertilization(DF)	78.4	26.4	83.5	24.6	5.24	100
DF+Compost+Silicate	79.5	26.8	89.2	24.2	5.34	102
LCU 70% of DF+Deep plowing	78.8	28.4	89.0	23.5	5.44	104
LCU 70% of DF+Subsoil breaking	76.0	29.3	91.8	23.2	5.62	108
No fertilization of N	66.4	19.4	89.2	24.0	3.65	70

적 요

호남평야지 논토양의 대표토양인 전북통에서 벼 담수직파재배시 토양물리성 개선과 진단시비로 쌀 안정생산을 위한 토양관리기술을 확립하고자 관행, 진단시비, 진단시비+퇴비+규산, 진단시비(LCU 70%)+심경, 진단시비(LCU 70%)+심토파쇄, 무질소구 등 6처리를 하여 2년간(1999 2000) 시험한 결과를 요약하면 다음과 같다. 시험후 심토에서 물리성은 관행에 비하여 경도, 용적밀도, 고상이 낮아지고 공극률이 증가되었으며 그 정도는 심토파쇄>심경 순으로 양호하였다. 시험 후 토양의 화학성은 관행에 비하여 진단시비구, 완효성비료(LCU 70%) 시용 및 토양물리성 개선구에서 유기물함량, 규산함량 등이 증가하였다. 시비질소의 토양중 NH_4-N 농도는 5엽기까지는 심경구에서 가장 높게 발현되었으며 관행 대비 LCU 70% 시용구에서 성숙기까지 발현량이 많았다. 시비질소의 흡수량은 관행에 비하여 진단시비(LCU 70%)+심경, 심토파쇄구에서 많았고 질소이용률도 높았다. 쌀수량은 관행(5.22 Mg ha^{-1})대비 진단시비(LCU 70%)+심토파쇄구에서 8%, 진단시비(LCU 70%)+심경구에서 4% 증수되었으며, 증수요인은 m^2당 입수가 많고 등숙률이 높았던 것에 기인한 것으로 사료된다.

인 용 문 헌

Chang, K.S., H.S. Ha, C.H. Lee, B.H. Jeon, and H.S. Lee. 1988. Effects of deep plowing and soil improvements the change of chemical properties of paddy soil. Res. Rept. RDA(S&F). 30:63-69.

Jo, I.S., J.N. Im, T.D. So, S.Y. Lee, and D.U. Choi. 1983. The Effects of soil physical improvement on rice yields at fine textured fluvio-marine paddy field. Korean J. Soil Sci. Fert. 16:92-97.

National Institute of Agricultural Science and Technology(NIAST). 2000. Methods of soil and plant analysis, Suwon, Korea.

National Honam Agricultural Experiment Station(NHAES). 1993. The direction of development and the point at issue, the present condition on rice direct sowing. p. 44, Iksan, Korea

Rural Development Administration(RDA). 1999. Fertilizer recommendation in standard levels for crops, Suwon, Korea.

Rural Development Administration(RDA). 1995. The experimental protocol for agricultural experiments, Suwon, Korea.

Soil-Nutrient Measure Method Committee. 1975. Soil nutrient analysis method. p. 189-190. Yokendo, Japan.

Takita, T., and K. Kinya. 1983. Mean of root thickness selection and Its method in rice breeding for direct seeding. Bull. Nati. Agric. Res. Cent. 1:1-8. Japan.

Yoo, C.H., B.W. Shin, J.H. Jeong, S.W. Kang, S.S. Han, and S.J. Kim. 1998. Effects of application of latex coated urea and temperature difference on rice yield and N-use efficiency of wet-seeding rice. Korean J. Soil Sci. Fert. 31:259-265.

Yang, J.E., K.C. Eom, K.Y. Jung, and S.G. Yun. 1999. Environmental agriculture and fertilizer. Workshop on fertilizer. food. and environment. Korean Society of Soil Science and Fertilizer. p. 51-92.