

논토양 유형별 토양검정에 기초한 질소 적정 시비량

최용조 · 이영한* · 이성태 · 강진호¹⁾

경상남도농업기술원, ¹⁾경상대학교 농업생명과학대학
(2005년 10월 31일 접수, 2006년 3월 24일 수리)

Optimum Nitrogen Fertilization Based on Soil Testing for Rice Cultivation in Different Paddy Soils

Yong-Jo Choi, Young-Han Lee*, Seong-Tae Lee, and Jin-Ho Kang¹⁾ (Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services, Jinju 660-360, Korea, ¹⁾Division of Applied Life Science, Gyeongsang National Univ., Jinju 660-701, Korea)

ABSTRACT: Environment friendly agriculture is nowadays a major trend to sustain balanced agricultural ecosystem, keeping its productivity. This study was conducted to determine the optimum levels of nitrogen (N) application for improving rice productivity and reducing N loss through N application based on soil diagnosis. Four levels of N were applied with 0, 50, 100 and 150% of recommended levels by soil testing in 4 different paddy soils (i.e. normal, sandy, ill-drained and immature soils). Across N treatments, the greatest grain yield was observed in sandy soil and the lowest in ill-drained soil. The grain yield tended to decrease with increasing N application from 50% to 150% of recommended levels, except ill-drained soil. To ensure maximum yield, the optimum levels of N application were estimated at 120 kg, 153 kg and 173 kg ha⁻¹ in normal, immature and sandy soil, respectively.

Key Words: Rice, Nitrogen, Soil testing, Soil type

서론

우리 나라 농경지는 1910년 大工原이 미국생산지 162지점과 1919년 豊永이 일반경작지 127지점의 산도를 검정하기 시작한 이후, 1930년대 들어서야 토양의 여러 가지 화학적 특성에 관한 조사가 체계적으로 이루어지게 되었다. 토양검정에 의한 시비추천 방법은 여러 연구자들에 의하여 제안되었는데^{1,2)}, 1970년부터 4년간 3요소 시비량 구명을 위한 시험에서 토양검정에 의한 인산과 칼륨질비료의 적정시비량을 계산할 수 있게 되었다^{2,3)}. 그러나 이러한 연구결과는 토양검정치와 시비량간의 관계를 추적하지 않아 후속 연구자들은 토양분석 결과로부터 적정 시비량을 추정하고자 하였다. 그러한 연구 중에서 박⁴⁾은 질소 시비량 추정을 위한 지표는 토양의 유효규산 및 유기물 함량비와 토양의 치환성 염기비이며, 유효규산 대 유기물함량비의 적정치는 80정도라고 하였다. 또한 시비량 및 시비법에 대해서는 농업기후대를 8개

권역으로 구분함과 아울러 토양 유형 및 토양급지별로 시비량을 추천한 바 있으며, 규산질 비료사용, 객토, 심경 등으로 토양을 개량하면 화학비료의 증시가 필요하며 시비의 효율면에서 적정시비 공식이 필요하다고 하였다⁵⁻⁷⁾.

벼는 질소비료의 사용량이 증가할수록 분얼수, 엽면적, 이삭수, 영회수가 증가되어 수량이 증가하나, 질소량이 지나치게 많을 경우 병원균이 침입하고, 도장되며, 줄기의 세포벽 구성물질의 생성이 억제되어 도복으로 인한 수량감소와 품질저하가 문제된다⁸⁻¹⁰⁾. 벼가 흡수한 질소 중 60~70%가 토양 중에서 공급된다 할지라도 외부에서 공급되는 질소성분에 주로 의존하기 때문에 시비질소의 효율증진과 합리적인 유기물 사용방법에 관한 연구에 집중 되어왔다^{6-8,11)}. 질소 시비량에 있어 Ponnampereuma¹²⁾는 토양 전질소, Sharawat¹³⁾는 토양 전질소와 토양 유기물과의 관계식을 조합하여 단위인에서 목표수량을 위한 질소소요량 추정함수식을 제시하였다. 질소 시비 효율을 논하는데 있어서 질소 시비량과 함께 고려되어야 할 요인으로는 시비방법인데 이 등⁹⁾은 최적 수량을 위한 효과적인 질소비료 분시방법은 기비 50%, 분얼비 20%, 수비 20%, 실비 10%라고 하였고, 문 등¹⁴⁾은 보통답과 미숙답의

*연락처:

Tel: +82-55-771-6413 Fax: +82-55-771-6419
E-mail: lyh2011@hanmail.net

경우 표층시비에 비하여 전층시비 또는 심층시비를 하면 벼 생육 후기까지 질소공급이 가능하므로 기비 70%, 수비 30%로서 분시 횟수를 줄일 수 있다고 하였다.

한편 질소 시비와 작물재배에서 가장 큰 관심의 대상이 될 수 있는 수량과의 관계로서, 박 등⁹⁾은 벼 생육은 토양과 외부에서 공급되는 시비에서 유래되고 토양으로부터 공급되는 질소 공급력의 지표는 무질소 상태에서의 수량이라고 제안하면서 무질소구 수량과 질소 시비구 수량과는 유의한 직선 또는 곡선적인 함수관계가 성립된다고 하였다. 이러한 연구 결과와 더불어 이 등¹⁵⁾은 최다수량을 내기 위한 질소의 최적시비량은 품종에 따라 139~280 kg ha⁻¹ 범위로서 질소 표준시비량인 110 kg ha⁻¹ 시비시 질소의 이용효율은 12.2~50.0%로 토양조건, 비료의 종류, 시비방법, 시비시기 및 기상조건 등에 따라 영향을 받는 것으로 보고하였다. 벼의 수량은 토양 유형의 영향을 많이 받으며¹⁶⁻¹⁸⁾ 토양 유형 및 토양통이 동일하더라도 생산성이 높은 것과 낮은 것이 있을 수 있다. 이것은 표토의 유효양분의 차이에 기인된다고 하였다¹⁸⁾. 특히, 질소와 규산 흡수는 각각 토양의 유기물과 유효 규산에 의해, 칼륨 흡수는 토양의 치환성 칼슘과 치환성 마그네슘에 대한 치환성 칼륨비에 의하여 크게 영향을 받는다^{4,7)}. 따라서 환경오염을 유발하지 않고 질소비료의 이용효율을 높이기 위하여는 앞에서 열거한 제요건을 종합적으로 고려한 벼 재배 및 관리방법이 강구되어야 할 것이다. 본 연구는 논토양 유형별 토

양 검정에 의한 질소 적정시비량을 산출하고자 수행하였다.

재료 및 방법

논토양 유형별 토양검정에 의한 질소 적정시비량을 산출하고자 서부경남을 중심으로 보통답(의령), 사질답(합천), 습답(함양), 미숙답(하동)으로 나누어 일미벼를 2000년 6월 5일 35일 묘로 기계이양하였다. 질소 시비 처리는 표준시비량인 ha당 110 kg을 기준으로 시험전 토양검증에 따른 추천시비량으로 환산하여 완전무비, 토양검정치 기준 50%, 토양검정치 기준 100%, 토양검정치 기준 150% 4처리 난괴법 3반복으로 배치하여 시험을 실시하였다. 인산 및 칼리질 비료는 성분량으로 50, 60 kg ha⁻¹을 각각 시용하였으며 이양전 시험포장의 토양 특성은 Table 1과 같다. 시험에 이용된 포장 중에서 보통답은 유기통으로 P₂O₅ 함량이 231 mg kg⁻¹으로서 다른 유형에 비하여 높았고, 사질답은 석계통으로 유기물 함량이 높은 반면, Mg 함량은 상대적으로 낮았다. 그러나 습답은 유기물과 P₂O₅ 함량이 낮았으며, 미숙답은 SiO₂ 함량이 상대적으로 높은 편이었다.

벼의 생육과 수량은 농촌진흥청 농사시험연구조사기준¹⁹⁾에 준하여 분석하였다. 토양 시료의 채취와 분석은 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법²⁰⁾에 준하여 pH 및 EC는 초자전극법, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법으로 분광광도계(Genesis, Spectronic Ins., Rochester, USA)를 이용하여

Table 1. Chemical properties of four different paddy soils used in this study

Soil type	Soil series	pH (1:5)	OM (g kg ⁻¹)	P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. Cat. (cmol kg ⁻¹)			CEC (cmol kg ⁻¹)	Av.SiO ₂ (mg kg ⁻¹)
					K	Ca	Mg		
Normal (Uryong)	YuB	5.7	2.9	231	0.58	4.6	1.0	13.5	152
Sandy (Hapchon)	Se	5.6	4.3	148	0.19	3.9	0.7	18.4	105
Ill-drained (Hamyang)	Hh	5.8	2.5	42	0.19	4.4	1.0	11.2	218
Immature (Hadong)	TkC	6.2	3.3	51	0.57	6.1	1.4	11.2	270

Table 2. The change of average temperature, cumulative and amount of rainfall sunshine hours during rice growing season

Region	June		July			August			September			Oct.	
	Middle	Late	Early	Middle	Late	Early	Middle	Late	Early	Middle	Late	Early	
Temperature (°C)	Uryong	22.6	23.0	25.8	26.8	27.0	26.2	26.9	26.2	23.4	18.7	19.5	18.0
	Hapchon	23.1	22.8	25.6	26.3	25.9	25.4	26.5	25.2	22.5	18.4	18.8	17.5
	Hamyang	22.7	22.4	25.4	25.7	26.0	25.2	26.0	24.8	22.1	17.8	18.2	17.1
	Hadong	22.7	22.5	25.0	27.0	26.7	26.1	27.2	26.6	23.5	19.1	19.7	18.7
Cumulative sunshine hours (hrs)	Uryong	6.7	2.2	5.2	5.4	6.2	4.8	5.4	5.0	4.6	4.8	4.5	7.1
	Hapchon	6.3	2.2	5.7	3.6	4.3	-	-	-	-	-	-	-
	Hamyang	6.9	2.3	5.6	4.3	6.7	-	-	-	-	-	-	-
	Hadong	8.2	2.1	5.5	6.3	7.7	-	-	-	-	-	-	-
Amount of rainfall (mm)	Uryong	1.2	10.9	35.4	30.2	30.6	28.0	13.5	44.4	9.7	46.1	0.2	5.4
	Hapchon	6.4	10.0	36.8	51.4	23.0	83	22.0	32.4	8.8	39.3	0.8	6.5
	Hamyang	15.7	13.1	51.7	40.5	29.4	29.9	14.4	48.4	8.1	60.7	0.0	3.3
	Hadong	3.0	14.7	38.8	52.0	40.9	79.0	45.4	42.8	19.2	59.5	5.7	7.8

비색정량하였다. 치환성 양이온은 1N-NH₄OAc 용액으로 침출한 후 Atomic absorption spectrophotometer(Anaylst 300, Perkin-Elmer, Norwalk, USA)를 사용하여 분석하였고, 암모니아태 질소함량은 Kjeldahl법으로 분석하였다.

시험기간 중의 기온과 일조시간 및 강우량은 Table 2와 같다.

결과 및 고찰

토양 유형에 따른 질소 비료의 사용량 차이에 따른 수량 및 수량구성요소의 변화는 Table 3과 같았다. 주당수수는 사질답에서 가장 많았고 보통답, 미숙답, 습답의 순으로 감소하였다. 사질답에서는 주당수수가 평균 18.6~21.6개로 시비량에 따른 차이는 없었다. 그러나 미숙답에서 주당수수는 무비구가 11.7개인 반면, 1.5배 시용구에서는 18.1개로 54% 증가되어 미숙답은 질소 시비량에 매우 민감한 것으로 조사되었다. 수당입수는 토양 유형별로 차이가 없었으나, 주당 수수는 질소 시비량이 증가될수록 증가하는 반면, 등숙률 및 천립중은 오히려 감소하는 경향을 보였다. 등숙률은 모든 처리구에서 매우 낮은 수치를 보였는데 이것은 Table 2와 같이 9월 중순의 강우와 저온에 기인된 것으로 판단되었다.

일반적으로 질소 시비효과는 시비구 최고 수량에서 무비구 수량을 감한 것으로 추정하는데, 토양 유형과 시비량 차이에 따른 백미수량은 사질답에서 ha당 평균 5.74 Mg으로 가

장 높았고, 보통답, 미숙답, 습답 순으로 감소하였다. 이는 조 등²¹⁾이 보고한 다수확을 위한 토양조건과도 일치하였으나 시비량간에는 50% 감비시 보통답 수량은 5.57, 사질답은 6.00, 미숙답은 6.68 Mg ha⁻¹으로 각 토양 유형별 가장 높은 수량을 보였다. 따라서 관행적인 시비기준 보다 토양 중 질소 잔존률을 고려한 새로운 시비기준을 설정하는 것이 아주 시급한 것으로 판단된다.

이러한 결과에 따라 각 유형별 예상되는 최고 수량과 질소 시비량과의 관계는 Figure 1에서 제시한 바와 같으며 회귀식을 이용하여 토양 유형별 최적 질소 시비량을 계산하여 보면 보통답 시비량은 118, 사질답은 170, 미숙답은 153 kg

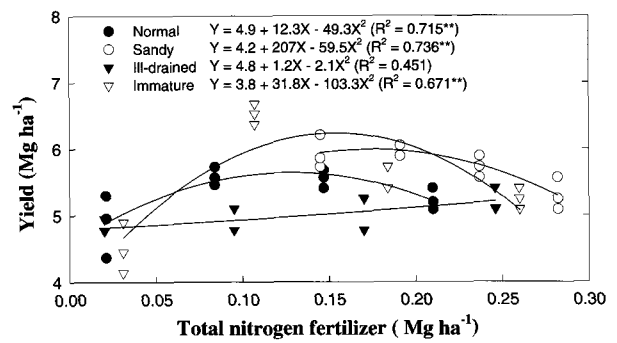


Fig. 1. Relation between total nitrogen application and yield of four different paddy soils.

Table 3. Comparison of yield components and yield to different soil types of paddy field

Soil type	N label [†]	Culm length (cm)	Spike per hill	Grain per spike	Ripening ratio (%)	1,000 grain wt. (g)	Yield (Mg ha ⁻¹)
	(%)						
Normal	0	105	16.4	82.1	57.1	23.2	5.41a [‡]
	50	110	16.2	85.1	60.7	20.3	5.57a
	100	120	19.7	100.3	48.4	21.1	5.46a
	150	114	18.7	85.7	50.9	19.8	5.30a
Sandy	0	95	20.8	76.3	61.2	22.5	5.93b
	50	100	19.7	82.9	63.7	21.7	6.00b
	100	98	18.6	93.3	58.2	21.9	5.73b
	150	105	21.6	78.1	59.0	20.1	5.30a
Ill-drained	0	89	12.9	79.5	53.2	22.1	4.83a
	50	96	16.4	83.8	58.0	22.0	4.89a
	100	92	15.7	74.8	51.5	20.1	5.10a
	150	96	15.9	79.7	57.2	20.5	5.20a
Immature	0	86	11.7	71.2	79.9	25.1	4.51a
	50	105	15.6	86.9	59.0	22.1	6.68c
	100	113	16.2	98.5	46.7	19.9	5.62b
	150	118	18.1	86.2	55.5	19.6	5.25b

[†]Nitrogen fertilization (%) based on soil testing.

[‡]Values having the same letter within each paddy field are not significantly different at 5% probability.

ha⁻¹에 해당되었다. 그러나 습답은 토양 검정량의 1.5배까지 증가시켰으나 수량의 증가가 미미하여 최적의 질소 시비량을 산출할 수 없었다.

경남지방 논토양에서의 생육시기별 질소 시비에 따른 pH 변화는 Figure 2A와 같다. 보통답, 습답, 미숙답은 출수기까지 계속 낮아졌던 반면, 사질답에서는 이앙 14일후에 높아졌다가 그 이후 낮아지는 특성을 보였다. 한편 출수기 이후에 보통답, 습답, 미숙답에서는 다소 높아졌으나, 사질답에서는 오히려 낮아지는 경향이였다. 질소 시비 수준에 따른 토양의 pH 변화도 동일한 토양 유형에서는 비슷한 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 유기물 사용량의 차이와 미생물에 의하여 유기물이 분해되는 과정에서 발생하는 유기산의 생성과 관련이 있는 것으로 추정되었다.

경남지역 논토양의 유형별 질소 시비에 따른 유기물 함량은 Figure 2B와 같다. 습답은 토성이 식질이고 배수불량 등에 의한 유기물의 분해가 억제됨으로서 타 토양 유형에 비하여 생육시기가 경과되어도 감소비율이 낮은 것으로 나타났다. 한편 사질답에서 유기물 함량이 높은 것은 토양 물리성을 개선함으로써 투수성을 감소시키고 과잉 양분 보유력을 증대

시켜 수량을 증대시키고자 다량의 퇴비를 공급한데 기인된 것으로 판단되었다.

경남지역 논토양의 유형별 질소 시비에 따른 $K/\sqrt{(Ca+Mg)}$ 의 변화는 Figure 3A와 같다. 본 시험에서 미숙답에서의 비율은 0.2~0.3으로 비교적 높았으며, 습답은 0.1 이하로서 우리나라 평균치와 비교하여 낮은 수준이었다. 그리고 논토양 유형별 질소 사용량에 따른 염기포화비는 일정한 경향을 보이지 않았을 뿐만 아니라 미숙답의 무비구를 제외하고는 질소 시비량에 따른 차이는 없는 것으로 조사되었다. 정 등²²⁾은 우리나라 논토양의 평균 염기포화비는 0.092라고 하였다. 그러나 박 등⁶⁾은 현미 1,000 kg을 생산하려면 염기포화비가 0.328은 되어야 한다고 하였으나 수량과 염기포화비는 항상 정 상관을 나타내는 것은 아니라 Ca와 Mg의 상대적 비율이 오히려 중요하다고 하였다. 경남지역 논토양의 유형별 질소 시비량에 따른 규산 함량과 유기물의 비율의 변화는 Figure 3B와 같다. 두 함량간 비율은 시험 시작 직전 미숙답에서 8.2로 높게 나타났던 반면, 보통답은 4.3, 사질답은 3.6으로 매우 낮게 나타나 규산 부족현상을 보였다. 박 등⁶⁾은 논토양 질소 시비량을 추정하기 위한 지표는 토양의 유효규산과 유기

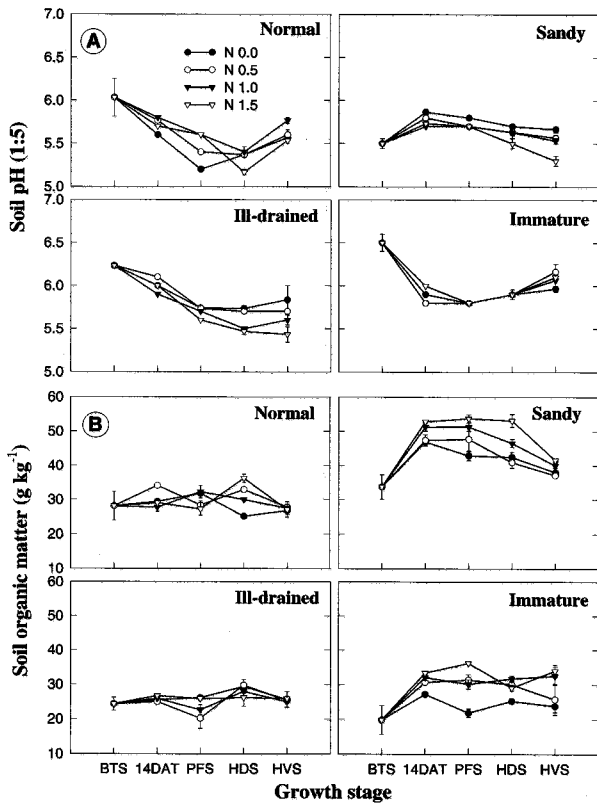


Fig. 2. Changes in pH (A) and organic matter (B) with time in different paddy soils. BTS, before transplanting stage; 14DAT, 14 days after transplanting; PFS, panicle formation stage; HDS, heading stage; HVS, harvesting stage and N 1.0, application of nitrogen 100% by soil analysis.

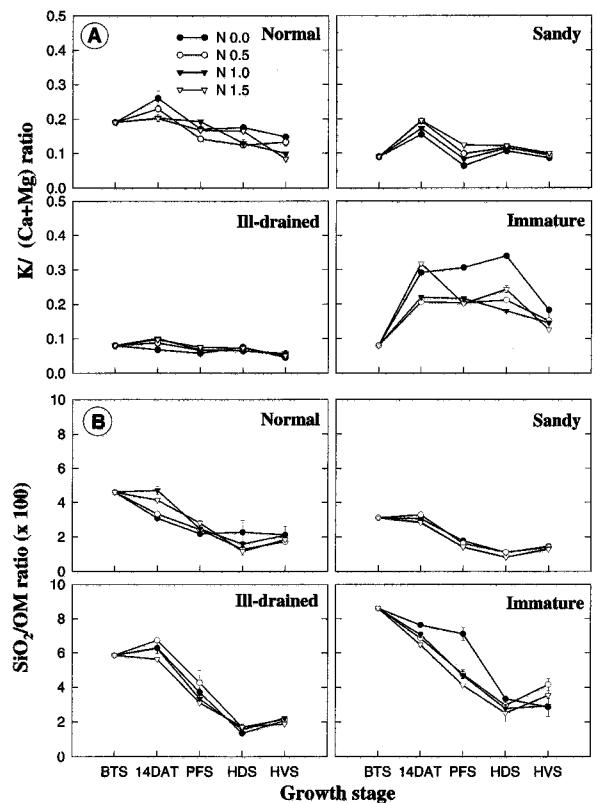


Fig. 3. Changes in $K/\sqrt{(Ca+Mg)}$ (A) and SiO_2/OM ratio (B) with time in different paddy soils. BTS, before transplanting stage; 14DAT, 14days after transplanting; PFS, panicle formation stage; HDS, heading stage; HVS, harvesting stage; N 1.0, application of nitrogen 100% by soil analysis.

물 함량비이며 적정치는 8.0정도라고 보고하였다. 따라서 조사된 토양 유형 모두 시험전의 미숙답을 제외하고는 기준치 이하로서 규산과 유기물의 균형을 이루기 위한 방법이 적극 모색되어야만 할 것이다. 또한 생육시기별로 보면 모든 토양 유형에서 출수기까지 감소되는 경향이였다. 이러한 결과는 규산의 감소량이 유기물 감소량 보다 클 뿐 아니라 출수기 이후 간단관개로 인하여 토양속으로 산소가 풍부하게 공급되기 때문에 유기물의 분해가 촉진한데에 기인한 것으로 판단되었다.

결 론

벼의 생산력과 환경보전을 상호 보완할 수 있는 친환경농업 체계를 구축하는데 필요한 관리기술을 개발하고자 논토양 유형별 토양검정에 따른 질소 적정시비량을 산출하였다.

토양 유형 및 질소 시비량 차이에 따른 벼의 수량을 분석한 결과 토양 유형별 수량은 사질답, 보통답, 미숙답, 습답 순으로 높았고, 질소 시비량간 수량은 기준시비량의 반량, 기준시비량, 기준시비량의 1.5배, 무비순으로 높았으며, 최고수량을 기대할 수 있는 적정 질소 시비량은 ha당 보통답 120, 사질답 173, 미숙답 153 kg으로 나타났다.

참고문헌

1. Hwang, Y. S. and Hong, C. W. (1982) The Criteria of optimum phosphate fertilizer recommendation based on Phosphate Fertilizer Index (P. F. I) method on upalnd and paddy soils. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 15(4), 226-232.
2. Hong, C. W., Kim, Y. S., and Kim, Y. K. (1973) Short communication : recommendation of P and K fertilizers for crops based on soil testing. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 6(1), 29-31.
3. Lee, C. S., Huh, B. L., Ryu, I. S., Park, C. S., and Ko, M. S. (1982) Determination of the optimum rates of P and K fertilizer application for Tong-il line rices in different paddy soils. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 15(2), 101-109.
4. Park, C. S. 1979. Fertility management of flooded rice soil : A proposal to minimize the biological production potential performance gap of high yielding varieties. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 12(3), 153-167.
5. Murayama, N. 1979. The importance of nitrogen for rice production. Nitrogen and rice. IRRI. 5-23.
6. Park, H., An, S. B., and Hwang, Y. S. (1974) Analysis of productivity in rice plant IV. Soil and

fertilization productivity and fertilization efficiency. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 7(1), 35-42.

7. Park, H. and Shin, C. S. (1973) Mineral nutrition of field-grown rice plant II Recovery of fertilizer nitrogen, phosphorus, and potassium in relation to climatic zone and physical or chemical characteristics of soil profile. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 6(3), 17-25.
8. Lee, C. H., Lee, H. S., Choi, S. L., Shin, W. K., and Lee, Y. S. (1986) Effects of organic matters application with the different levels of nitrogen fertilizer over a 5 year on the soil physico-chemical properties and rice yields. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 19(1), 25-31.
9. Lee, C. S., Hwang, S. W., Park, J. K., and Kim, M. S. (1986) Research on actual conditions of fertilizers applications based on farmers' paddy fields by regions. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 19(4), 315-320.
10. Yoshida, S. 1981. Fundamentals of rice crop science. IRRI. Los Banos, Laguna, Philippines.
11. Surajit, K. D. (1981) Mineral nutrition and fertilizer management of rice. Principles and practices of rice production. 360-395.
12. Ponnámperuma, F. N. 1979. Soil problems in the IRRI farm. IRRI Thursday seminar. The international rice research institute, Los Banos, Philippines.
13. Sharawat, K. A. 1979. Nitrogen transformations in flooded soils. Terminal report, Soil Chemistry Dept. The International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.
14. Moon, J., Um, K. T., and Lee, G. S. (1987) Study on some characteristics of the well adapted paddy soils in Korea. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 20(1), 1-6.
15. Lee, C. S., Shin, C. W., Kwak, H. K., Lee, K. M., Ahn, Y. S., and Park, J. K. (1985) Varietal differences of rice in yield response of nitrogen fertilizer. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 18(2), 208-214.
16. Moon, J., Um, K. T., and Youn, K. H. (1981) Potential productivity and soil morphological characteristics of paddy land. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 14(4), 174-178.
17. Park, C. S. 1983. Chemical factors of soil associated with the prediction model for fertilizer need for flooded rice based on the multi-nutrient factor balance concept. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 16(3), 210-222.

-
18. Shin, Y. H. (1971) The characteristics of the low productive paddy soils and suitability. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 4(1), 95-99.
 19. RDA (1995) Standard of agricultural research.
 20. NIAST (2000) Methods of soil and plant analysis, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
 21. Cho, K. J., Jung, Y. T., and Choi, J. (1984) The effect of soil conditioners on the growth of rice and soil properties of sandy paddy soils. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 17(3), 224-231.
 22. Jung, K. Y., Cho, S. J., and Huh, B. L. (1983) Effect of potassium application on cation uptake by rice plant and leachate in submerged soil. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 16(3), 235-241.
-