

토양검정에 의한 논토양 유형별 질소시비량 결정

문영훈* · 권영립 · 안병구 · 이진호¹ · 최동철

전라북도농업기술원, ¹전북대학교 생물환경화학과
(2009년 9월 3일 접수, 2010년 1월 19일 수리)

Determination of Nitrogen Fertilizer Recommendation Rates Estimated by Soil-Testing for Different Types of Paddy Soils

Young-Hun Moon*, Young-Rip Kwon, Byung-Koo Ahn, Jin-Ho Lee¹ and Dong-Chil Choi(Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services, Iksan 570-704, Korea ¹Department of Bioenvironmental Chemistry, Chonbuk National University, Jeonbuk 561-757, Korea)

To improve the existing nitrogen recommendation method based on chemical properties of soils and to establish new recommendation rates of nitrogen fertilizer due to different types of soils, the application rates of nitrogen fertilizer were examined in different soils of 12 experimental rice paddy fields. The application rates of nitrogen fertilizer estimated by soil-testing were higher than the rates of nitrogen standard recommendation that has been used. The application rates for minimum rice productivity ranged from a low of 168 kg/10a in sandy soil to a high of 315 kg/10a in saline soil. Amounts of nitrogen absorption in rice were proportional to the application amounts of nitrogen fertilizer in soils. Nitrogen use efficiency was the highest, 36.7%, in immatured paddy field and it was inversely proportional to the application amounts of nitrogen. the rice tasty value was the highest in the soils without nitrogen application, and also it was the lowest in the saline soils with or without nitrogen application. As comparing with the nitrogen application rates obtained by the existing nitrogen recommendation method, optimal nitrogen application rates estimated by the standardization of nitrogen application efficiency rate, environmental index, and rice quality were 1.0 fold in the well adapted soil and sandy soil fields, 0.92 fold in the immatured soil field, and 0.83 fold in the saline soil field.

Key Words: Fertilizer application, Rice, Soil testing, Soil type

서 론

과거 우리나라 농업은 농경지의 비옥도 증진과 작물의 생산성 향상을 위하여 고투입 농법이 이루어져 왔으나 1990년대에 들어서면서 환경친화적이고 지속가능한 농법에 관심을 가지게 되었다(Choi, 2006). 친환경농업을 육성하기 위하여 사군 농업기술센터 종합검정실을 통하여 토양검정을 실시하고 그 결과에 따라 필지별 토양의 양분상태와 작물특성에 알맞은 시비처방을 하고 있다.

현재 작물별 시비처방을 위해서 토양산도, 전기전도도, 유기물 함량, 유효인산, 치환성 양이온, 유효규산, 양이온 치환

용량 등 토양의 화학적 특성만 고려하여 시비처방을 하고 있으며 토성, 배수등급 등 토양물리성과 기후, 지형 등 작물생육에 영향을 미치는 다른 요인들은 대부분 고려하고 있지 않는 문제점을 가지고 있다.

농경지 토양유형별 구분은 1964년부터 1990년까지 실시한 정밀토양조사결과 밝혀진 결과를 토대로 토양특성이 약간 다르나 토양환경과 토양관리의 유사성이 있어 동일한 토양관리를 해도 작물생육에 큰 영향을 미치지 않는 토양을 한데 묶어서 동일한 유형으로 분류한 것이다. 이와 같이 다양한 토양에 대하여 토양관리의 유사성을 고려하여 논과 밭토양 각각 6개의 토양유형으로 구분하였는데, 논토양은 보통답, 사질답, 습답, 미숙답, 염해답, 특이산성답으로 구분된다(Jun, 2005).

지금까지 쌀의 품질기준은 외형적인 품위 위주로 등급을 분류하였지만, 식미가 좋고, 우수한 쌀의 품질에 영향을 미치

*연락처:

Tel: +82-63-290-6082 Fax: +82-63-290-6198
E-mail: moon0149@korea.kr

는 인자는 질소시비량이 품종 다음으로 중요하다고 볼 수 있다(Eom, 2005; Ahn and Kim, 1996). 질소질비료 과다사용은 도복과 병해충 발생을 조장하며, 완전미율이 낮아지고, 단백질함량이 높아져 식미를 저하시키는 요인이 된다(Park et al., 2004). 따라서 우리나라에서 질소시비 추천은 최소량의 질소를 투입하여 수량을 적정 수준으로 유지하고 고품질의 쌀을 생산하는데 목표를 두고 있다. 현행 추천 방법은 작물 특성에 맞는 유효양분의 요구도와 토양검정에 의한 토양 중 유효 양분함량을 감안하여 시비량을 결정하고 있다(NIST, 2006). 현재 벼에 대한 질소시비량 결정은 토양 중 유효규산과 유기물함량을 토대로 해서 수행하고 있는데(Lee et al., 1988) 기상상태, 지대 및 토성에 따라서 보다 세분화된 질소시비량을 추천하기도 한다(Song et al., 2006).

따라서 본 시험은 전라북도 논토양 유형별 특성을 고려하여 벼 재배에 적합한 질소시비기준을 재설정하기 위하여 전북지역 분포면적을 고려하여 논 유형별로 면적이 많은 보통답, 사질답, 미숙답, 염해답을 대상으로 실시하였다.

재료 및 방법

본 연구는 논토양 유형별로 벼에 대한 적정 질소량을 산출하기 위해 보통답(익산 2, 김제 1), 사질답(원주 3), 미숙답(익산 1, 김제 3), 염해답(부안 3) 등 4지역 12개 장소에서 수행하였다. 시험품종은 남평벼였고, 지역별로 4월 중순에 파종하여, 5월 중순에 중묘를 기계이앙 하였다. 시험전 유형별 토양화학성의 평균함량은 Table 1과 같다. pH는 적정 수준이지만, 유기물은 보통답을 제외하고 적정수준보다 낮았고, 유효인산은 미숙답에서 적정수준보다 낮았다. 치환성 K, Ca 및 Mg은 사질답에서 기준보다 낮았고, 유효규산은 보통답과 사질답에서 낮은 수준을 보였다.

각 토양유형별 처리내용은 질소는 무처리, 토양검정시비량의 0.5, 1.0, 1.5배를 처리하였으며, 인산과 칼리는 토양검정 시비량을 사용하였고, 시험구는 난피법 5반복으로 배치하였다. 처리 후후에 채취한 토양은 풍건세토로 만들어 분석용 시료

로 이용하였고, 분석방법은 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법(NIST, 2000)에 준하여 실시하였다. 즉, 토양유기물은 Tyurin법으로, 유효인산은 Lancaster법으로 분석하였으며, 치환성 양이온은 1 M Ammonium acetate로 추출하고 ICP(GBC Integra)로 측정하였다. 유효규산은 1 N-NaOAc (pH 4.0)용액을 이용하여 분석하였다. 식물체는 40 mesh로 분쇄한 시료 0.5 g에 진한 H₂SO₄ 1 ml와 50 %의 HClO₄ 10 ml를 가하여 분해한 후 여과하여 N, P, K, Ca, Mg, 및 Si 등을 조사하였는데, T-N은 Indophenol-blue법, 인산은 Vanadate법, K, Ca, Mg는 ICP로 측정하였고, Si는 분해잔 사물을 600°C의 전기로에서 6시간 동안 태워 중량법으로 규산함량을 정량하였다. 기계적 식미치는 분석시료용 쌀 33 g을 취반용 셀에 넣은 후 80°C의 수조에서 10분간 취반 후 5분간 뜸을 들이고 도요식미계(Toyo MB90A)로 측정하였다.

질소시비량 산출은 시비효율지수와 환경부하지수를 표준화하여 시비량을 산출하였는데, 시비효율지수는 시비된 질소 성분이 작물에 이용되는 효율을 100분율로 나타낸 값으로 산출식은 “시비효율지수 = (처리구 질소비료이용률/검정시비구 질소비료이용률) × 100”를 이용하였고, 환경부하지수는 무비구를 100으로 하여 시비된 양분 중 환경부하로 작용하는 양을 나타낸 값으로 산출식은 “환경부하지수 = 100 - (질소시비량-질소흡수량)”으로 계산하였다. 처리간의 통계적인 분석은 SAS 프로그램(SAS institute)을 사용하여 Duncan 검정 및 회귀분석을 수행하였다.

결과 및 고찰

토양검정에 의한 3요소의 시비량을 논토양 유형별로 평균한 성적은 Table 2와 같다. 토양검정에 의한 질소시비량은 유기물함량과 규산함량에 의해서 달라진다. 질소비료 시비량은 보통답 112, 사질답 109, 미숙답 138, 염해답이 226 kg/10a 으로 우리나라 질소표준 권장량 110 kg/10a량보다 많은 것은 나타났고, 이는 시험전 토양의 규산함량이 기준량보다 높았기 때문인 것으로 판단된다. 인산시비량은 논토양

Table 1. Physico-chemical properties of soils before experiment

Soil types	pH (1:5)	OM (g/kg)	T-N (%)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch.(cmol ₍₊₎ /kg)			Av.SiO ₂ (mg/kg)	Clay (%)
					K	Ca	Mg		
Normal(3)	6.0	27	0.13	121	0.33	5.4	1.6	141	22.9
Sandy(3)	5.9	22	0.11	182	0.27	4.3	1.0	92	10.6
Immatured(3)	6.0	20	0.07	47	0.43	6.0	2.0	187	31.9
Saline(3)	6.1	12	0.08	104	0.95	4.6	4.7	180	19.5
Standard*	5.5	25		80	0.25	5.0	1.5	157	
	~	~		~	~	~	~	~	-
	6.5	30		120	0.30	6.0	2.0	180	

(): No. of experimental sites

*Fertilizer application recommendation for crops(NIAST, 2006)

Table 2. Application rates of nitrogen, phosphate and potassium fertilizers based on soil testing (kg/ 10a)

Soil types	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Normal(3)	112	45	52
Sandy(3)	109	33	50
Immatured(3)	138	58	47
Saline(3)	226	44	34

() : No. of experimental sites

Table 3. Rice yield by nitrogen fertilizer rates based on soil testing

Soil types	Yield(Mg/10a)				Maximum yield (Mg/10a)	N rates for maximum yield (kg/10a)
	N 0	N 0.5	N 1.0	N 1.5		
Normal(Index)	5.27a [†] (79)	6.00a (90)	6.66b (100)	7.04a (106)	7.08	174
Sandy(Index)	5.08b (80)	5.68c (89)	6.37c (100)	6.70b (105)	6.72	168
Immatured(Index)	4.50d (65)	5.86b (85)	6.90a (100)	7.13c (103)	7.31	197
Saline(Index)	4.71c (71)	5.70c (86)	6.66b (100)	6.82b (102)	6.92	315

[†]Mean separation in columns by Duncan's Multiple Range Test at 5% level.

유형별로 33~58 kg/10a이었고 평균 시비량은 우리나라 인산표준시비량과 같은 45 kg/10a이었다. 토양검정에 의한 칼리 사용량은 CEC에 의해서 달라지는데, 논토양 유형별로 34~52 kg/10a로 우리나라 표준시비량에 비해서 낮게 나타났다.

논토양유형별 질소시비 수준별 정조수량은 Table 3에서 보는 바와 같다. 수량지수는 보통답을 기준으로 했을 때 토양검정 질소시비량 대비 무질소구 79, 토양검정 질소시비량 0.5배구 90, 토양검정 질소시비량 1.5배는 106 이었고, 최고수량은 7.08 Mg/10a이었으며, 회귀분석에 의한 최고수량 생산 시비량은 174 kg/10a이었다. 사질답과 습답에서는 토양검정 질소시비량별로 수량지수는 보통답과 유사한 경향을 보였다. 미숙답에서는 토양검정 질소시비량 대비 무질소가 65로 유형별로 가장 낮은 생산력을 보였고, 토양검정 질소시비량 0.5배 85, 토양검정 질소시비량 1.5배는 103 이었고 최고수량은 7.31 Mg/10a이었으며 회귀분석에 의한 최고수량 생산 시비량은 197 kg/10a이었다. 염해답에서는 토양검정 질소시비량 대비 무질소구 71, 토양검정 질소시비량 0.5배 86, 토양검정 질소시비량 1.5배는 102 이었고 최고수량은 6.92 Mg/10a이었으며 회귀분석에 의한 최고수량 생산 시비량은 315 kg/10a이었다. 그리고 12개 논토양을 평균한 정조지수는 토양검정 질소시비량 대비 무질소구 73, 토양검정 질소시비량 0.5배 88, 토양검정 질소시비량 1.5배는 104이었고 최고수량은 7.01 Mg/10a이었으며 회귀분석에 의한 최고수량 생산 시비량은 214 kg/10a이었다. 유형별 정조지수의 차이는 질소요구도가 큰 시기인 유수분화기에 질소부족으로 생산량이 감소했을 뿐만 아니라 퇴화영양증가, 잎의 노화촉진, 등숙기 광합성 능력 감소로 수량에 차이가 있었다고 볼 수 있다

(Diker and Bausch, 2003; HinzmanM et al., 1986).

식물체 양분흡수량은 수확기 벼의 경엽과 정조를 분리하여 무기성분을 분석한 결과에 정조중과 고중을 각각 곱하여 경엽과 정조의 흡수량을 합한 성적을 지상부의 양분흡수량으로 환산하였고, 그 결과는 Table 4와 같다. 논토양유형별 질소흡수량은 보통답 112.6, 사질답 115.0, 미숙답 112.8, 염해답 151 kg/10a이었으며, Table 2에서 보는 바와 같이 토양검정에 의한 질소시비량이 보통답 112, 사질답 109, 미숙답 138, 염해답 226 kg/10a이었으므로 보통답, 사질답에서는 질소흡수량과 질소시비량이 비슷한 경향을 보였다. 그리고 질소흡수량은 토양유형에 관계없이 질소시비량이 많을수록 높게 나타났다. 사질답에서 질소시비량을 1.0배나 1.5배 처리했을 때 질소, 인산, 및 칼리 흡수량은 같은 수준을 보였고, 규산은 보통답과 사질답에서 1.0배 처리했을 때 가장 높은 흡수율을 보여 보통답이나 사질답에서 질소시비량은 토양검정시비량이 적당한 것으로 나타났다.

지상부의 벼짚과 정조가 질소성분을 흡수하여 이용한 질소이용율은 Table 5와 같다. 토양검정시비량을 기준으로 한 질소이용율은 보통답 35.3, 사질답 34.2, 미숙답 36.7, 염해답 23.7%로 미숙답에서 질소이용율이 가장 높은 반면 염해답에서 가장 낮았으며 질소시비량이 1.5배로 증가 하면 질소이용율은 감소하는 경향을 보였으며, 논유형별로 평균 질소이용율은 32.0% 수준이었다. 염해답과 사질답은 질소를 0.5배와 1.0배 처리했을 때 흡수율은 같았고, 질소시비량이 증가하면 이용율은 감소하였다.

현미와 백미 비율이 91%로 조절된 쌀의 밥맛을 도요식미계로 식미치를 측정된 결과 Table 6과 같다. 먹을 때 느끼는 맛을 식미는 기호성은 절대적인 것이 아니지만, 식미를 검정

Table 4. Nutrient absorption of rice(shoot + grain) by soil types and N application rates (kg/ 10a)

Soil types	N fertilizer rates	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SiO ₂
Normal	N 0	79.5 d [†]	43.9 d	127.5 d	26.5 c	20.0 d	610.7 d
	N 0.5	96.5 c	52.2 c	151.0 c	29.9 b	23.8 c	665.9 c
	N 1.0	112.6 b	61.5 b	180.7 b	37.5 a	27.6 b	771.0 a
	N 1.5	135.7 a	65.8 a	199.5 a	37.7 a	31.2 a	758.9 b
Sandy	N 0	84.2 d	45.7 d	128.1 d	26.3 c	18.3 d	557.2 d
	N 0.5	98.6 c	53.1 c	144.1 c	27.5 c	21.5 c	585.2 c
	N 1.0	115.0 b	58.9 b	162.7 b	31.0 b	25.5 b	632.1 b
	N 1.5	136.7 a	65.7 a	190.4 a	33.6 a	28.8 a	682.6 a
Immatured	N 0	62.2 d	36.7 d	103.4 d	20.7 d	16.6 d	505.5 d
	N 0.5	87.6 c	48.1 c	138.6 c	27.6 c	23.7 c	632.4 c
	N 1.0	112.8 b	54.4 b	170.5 b	32.4 b	28.8 b	732.0 b
	N 1.5	126.0 a	59.6 a	180.7 a	35.2 a	33.2 a	759.0 a
Saline	N 0	96.9 c	41.0 c	80.8 c	27.2 d	19.4 d	652.4 d
	N 0.5	124.5 b	51.9 b	114.3 b	32.3 c	25.6 c	741.7 c
	N 1.0	151.0 a	63.3 a	141.2 a	39.0 b	31.0 b	815.4 a
	N 1.5	155.1 a	63.1 a	145.0 a	42.2 a	34.5 a	782.2 b

[†]Mean separation in columns by Duncan's Multiple Range Test at 5% level.

Table 5. Nitrogen utilization rates of rice plant at the different soil testing N treatments

Soil types	N utilization rates (%)			
	N 0 times	N 0.5 times	N 1.0 times	N 1.5 times
Normal	-	27.9b [†]	35.3ab	30.7a
Sandy	-	24.2c	34.2b	29.4a
Immatured	-	36.8a	36.7a	30.8a
Saline	-	24.4c	23.7c	17.2b

[†]Mean separation in columns by Duncan's Multiple Range Test at 5% level.

Table 6. Palatability score of milled rice at the different soil testing N treatments

N fertilizer rates based on soil testing	Normal	Sandy	Immatured	Saline	Mean(index)
N 0	69.5 a [†]	70.2 a	70.8 a	68.5 a	69.8(105)
N 0.5	66.8 b	66.7 b	67.5 b	62.5 b	66.7(100)
N 1.0	67.5 b	66.7 b	66.8 c	63.0 b	66.9(100)
N 1.5	63.9 c	64.7 c	66.0 c	59.5 c	64.7(97)

[†]Mean separation in columns by Duncan's Multiple Range Test at 5% level.

하는 기계적인 방법도 여러 가지가 있으나, 본 실험에서는 밥의 윤기가 많을수록 밥맛이 좋다는 원리에 근거하여 밥의 윤기를 측정하여 이를 수치화한 방식으로 조사한 결과를 처리별로 보면 무질소구가 69.8로 토양검정 시비량구 66.7 보다 약간 높았고, 토양검정시비량 0.5배는 66.9로 토양검정시비량구와 같은 경향이었고 질소를 1.5배 시용한 구에서는 64.7로 낮은 경향이었는데 도요식미값은 질소를 많이 시용할수록 낮았다. 토양유형별로는 염해답에서 가장 낮았고 나머지 토양유형에서는 비슷한 경향이였다. 송 등(Song et al., 2006.)

의 연구에서도 질소시비수준이 증가하면 완전미 비율 및 Toyo 식미치는 낮아진다고 하였다.

토양유형별 토양검정 질소시비량과 수량, 시비효율, 환경 및 품질과의 관계는 Fig. 1과 같다. 과거에는 벼 재배시 시비 기준은 최고수량을 얻는데 중점을 두었으나 점차 기상과 병해충 발생 등을 감안한 안전 시비량으로 조정하여 시용하여 최근에는 환경에 대한 관심이 높아지고 농업환경보전에 대한 필요성이 요구되면서 친환경적인 저투입 시비기준으로 재조정이 되어 왔다.

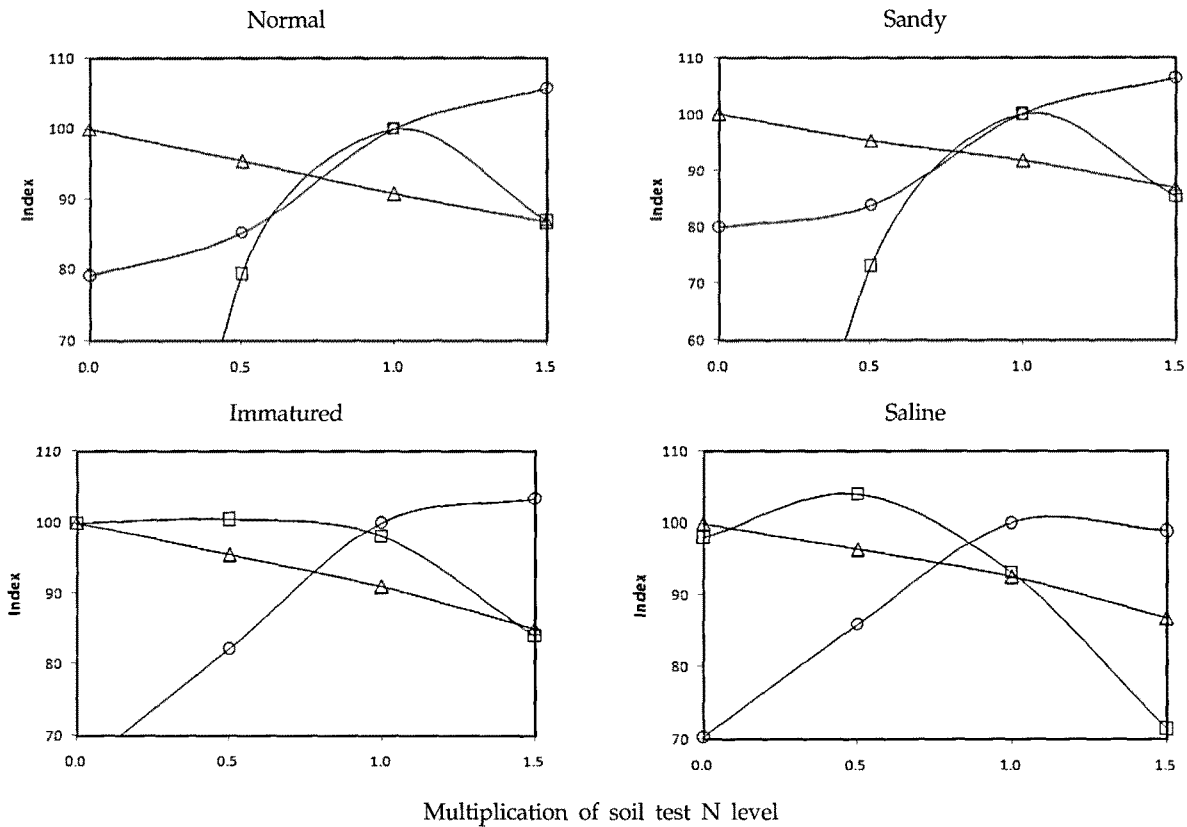


Fig. 1. Relationship among N fertilizer rate based on soil test, rice yield, N fertilization efficiency, and environmental index in the productive soil. ○; Yield index, □; Fertilization efficiency, △; Environmental index.
 ※ Fertilization efficiency index = N efficiency of plots/ N efficiency of soil test N plot * 100
 ※ Environmental index = 100 - (N fertilizer rate - N absorption rate)

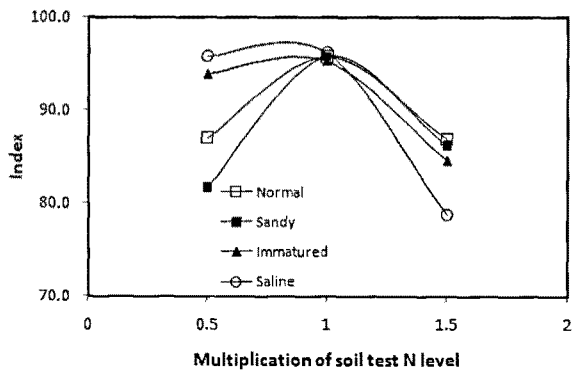


Fig. 2. Optimum N rates in consideration with fertilization efficiency for rice.

토양유형별 벼 재배 최적 질소시비량은 Fig. 1에서 산출한 시비효율지수와 환경지수 및 쌀 품질을 표준화하여 계산하였고, 토양유형별로 보통답과 사질답은 토양검정시비량의 1.0배, 미숙답과 염해답은 각각 토양검정시비량의 0.92와 0.83배에서 최적 시비량 수준을 보였다. 이 값을 F값으로 사용하여 시비효율, 환경 및 품질을 고려한 논토양 유형별 질소

시비량은 기존 공식에 F값 곱하여 산출했을 때 환경친화적인 농업을 지속적으로 유지할 수 있을 것으로 판단한다.

요 약

토양화학성을 고려한 기존의 토양검정 시비추천방법을 보완하기 위하여 논토양 유형별 질소시비기준을 설정하기 위하여 12개 벼 시험포장에서 토양유형별 질소검정시비량 시험을 실시하였다.

유형별 토양검정에 의한 질소시비량은 질소표준권장량 보다 많게 환산되었고, 질소수준별 회귀분석에 의한 최소 수량 생산시비량은 염해답에서 315 kg/10a, 사질답에서 168 kg/10a로 최고와 최저시비량을 보였다. 유형별 질소흡수량은 질소시비량과 비례관계였고, 질소이용률은 미숙답에서 36.7%로 가장 높았으며, 질소시비량과 반비례 관계였다. 쌀의 식미치는 논토양 유형에 관계없이 무질소에서 높았고, 유형별로는 염해답에서 가장 낮았다. 시비효율지수와 환경지수 및 쌀 품질을 표준화하여 얻은 최적시비량은 보통답과 사질답에서는 토양검정 시비량의 1.0배, 미숙답과 염해답에서는 각각 0.92와 0.83배 했을 때 최적 시비량 수준을 보였다.

참고문헌

- Ahn, S.T., Kim, D.H. (1996) Effects of application rates on quality of rice. *Inst. Agric. Resour. Res.* 3: 9-16. Dong-A Univ., Korea.
- Choi, D.H. (2006) Application technology of organic agriculture materials. *Int. Org. Symp.* pp. 35-58.
- Diker, K., Bausch, W.C. (2003) Radiometric field measurements of maize for estimating soil and plant nitrogen. *Biosys. Eng.* 86(4): 411-420.
- Eom, K.V. (2005) Measure for improving rice quality with market sale of imported rice. In proceedings of symposium of improving rice quality in Korea. pp. 27-51. National Institute of Crop Science, Rural Development Administration.
- Hinzman, L.D., Bauer, M.E., Daughtry, C.S.T. (1986) Effects of nitrogen fertilization on growth and reflectance characteristics of winter wheat. *Remo. Sens. Environ.* 19: 47-61.
- Jun, H.J. (2005) Nitrogen fertilizer recommendation on different soil management groups based on soil test results. Report of Agro-Environment Science.
- Lee, C.S., Kwak, H.K., Hwang, K.S., Park, J.K. (1988) Estimation for application amount of N fertilizer in mid mountainous paddy soils with special reference to content of organic matter and available silica in soils. *Research Reporters of Rural Development Administration.* 30: 41-47.
- NIST. (2000) Methods of soil and crop plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, Rural Development Administration. Korea.
- NIST. (2006) Fertilizer application recommendation for crops. National Institute of Agricultural Science and Technology, Rural Development Administration. Korea.
- Park, Y.H., Lee, Y., Noh, J.S., Kim, S.C., Lee, K.S. (2004) Integrated nutrition management for rice cultivation. Plant Nutrition Division, Dept. of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.
- Song, Y.S., Lee, K.S., Jung, B.G., Jun, H.J., Kwag, K.S., Yeon, B.Y., and Yoon, Y.S. (2006) Determination of nitrogen application rates with paddy soil types for production of high rice quality. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 39(2): 86-94.