한국환경농학회지 제20권 제4호(2001)
Korean Journal of Environmental Agriculture
Vol. 20, No. 4, pp. 218~224

육묘상자와 본답에 전층시비한 완효성 질소비료가 벼의 생육과 수량에 미치는 영향

이석순* · 이동욱
영남대학교 자연자원대학 생물자원학부

(2001년 9월 11일 접수, 2001년 10월 8일 수리)

Growth and Yield of Rice Affected by Slow Release Nitrogen Fertilizer Mixed with Soil in Seedling Box and Incorporated into Paddy Soil

Suk-Soon Lee* and Dong-Wook Lee (School of Biological Resources, College of Natural Resources, Yeungnam University, Kyongsan 712-749, Korea)

Abstract : To find out the optimum level of slow release N fertilizers (MS 10, MS S10, LCU 80, and LCU 100), total amount of nitrogen required throughout the growing season were applied in the seedling box or incorporated into paddy soil. Four levels of the slow release N fertilizers (0, 6, 9 and 12 kg N/10 a) were mixed with commercial rice nursery bed soil. N release rate and electrical conductivity(EC) of the slow release fertilizers were greater in the order of MS 10 > LCU 80 ≒ LCU 100 > MS S10 and higher as temperature increased. No seedlings were emerged in all MS 10 plots. The seedling emergence rate of LCU 80 and LCU 100 decreased as the N level increased and seedlings were wilted severely on the 13th day after sowing at 9 and 12 kg N/10 a. In MS S10 plots the emergence rate was higher than 80% at all N levels and seedling growth was normal until 30 days after sowing. Yield of rice was similar between seedling box application and soil incorporation in paddy of MS S10. Yield of rice among the 6, 9, 12 kg N/10 a of MS S10 and conventional 12 kg N/10 a of urea split application was similar, but it was significantly higher compared with no N plot. Fertilizer N recovery of MS S10 decreased as fertilizer level increased and it was significantly higher compared with conventional urea split application.

Key words : slow release N fertilizer, N releasing rate, EC, rice, N recovery, yield

서 론

논에서 벼를 재배할 때 질소비료를 전량 기비로만 시용하면 분시하는 노력을 줄일 수 있다. 그러나 속효성이기 때문에 곧 질소성분이 물에 녹아 침투수와 함께 유실되는 양이 많고[1,2] 유실된 질소는 지하수를 오염시키며[3], 식물체의 질소흡수를 조장하여 도열병 발생[4]과 도복의 위험이 많아진다[5]. 이러한 전량기비의 단점을 보완하기 위하여 일반적으로 질소비료를 기비-분얼비-수비-실비를 각각 50-20-20-10%의 비율로 분시하고 있다[2]. 그러나 질소비료의 50%를 기비로 시용하여도 이앙 직후에는 벼가 어려서 질소를 많이 흡수하지 않으므로 침투수와 함께 지하수로 유실될 가능성이 크며, 추비로 시용할 때는 NH_3로 휘산되거나 산화층에서 NO_3^-로 변한 질소는 환원층으로 이동된 후 탈질되므로 질소성분의 손실이 생기고[1,2], 탈질과정에서 발생한 N_2O는 온실가스로 작용하여 지구온난화의 원인이 되기도 한다[6]. 이와 같이 질소를 분시하여도 여러 가지 방향으로 질소가 유실되어 질소비료의 이용률은 대체로 30~40%에 지나지 않는다[7]. 따라서 질소의 이용률을 높이고 유실량을 줄여 벼 생산비를 감소시키며, 환경을 보전할 수 있는 질소시비방법의 개발이 필요하다.

질소의 유실을 줄이기 위하여 벼가 생장함에 따라 필요한 질소를 흡수할 수 있도록 서서히 분해되는 완효성 비료가 개발되어 국내에서 생산되는 latex coated urea (LCU)와 일본에서 수입되는 Meister (MS) 10 등이 이용되고 있다. 이들 완효성 비료는 단일비료 혹은 인산, 칼리와 복합비료를 만들어 보급되기도 하며, 논을 정지할 때 전량을 기비로 시용하여 전층시비하거나 이앙할 때 기계로 측조시비한다. 이 때 질소의 이용률은 속효성 질소비료를 분시하는 것보다 질소이용률이 약 10~20% 정도 높고, 또 시용할 때 소요되는 노동력을 줄일 수 있다[7]. 그러나 질소비료를 뿌리 근처에 시용하지 않기 때문에 흡수되기 전에 침투수에 의하여 유실될 가능성이 있으며, 본답의 넓은 면적에 시용하는 노력이 필

*연락저자:
Tel : +82-53-810-2914 Fax : +82-53-816-2814
E-mail : sslee@ynucc.yeungnam.ac.kr

요하거나 측조시비의 경우 새로운 살포장치가 필요하다.

한편 최근 일본에서는 시용 직후에는 분해가 되지 않고, 30일 후부터 서서히 분해되는 Meister (MS) S10과 MS S15 등이 못자리용으로 개발되어 있다[6]. 이들 비료는 본답에는 질소비료를 전혀 시용하지 않고, 벼 재배에 필요한 질소비료의 전량을 벼 육묘상자에 상토와 혼합하면 육묘기간에는 비료가 녹지 않기 때문에 모에는 비료장해 없이 본답으로 비료를 옮겨 갈 수 있다. 그러면 본답에서 질소를 벼 뿌리 가까운 곳에 시용하므로 질소의 유실을 최소화하여 질소이용률이 83%까지 높아지므로[6,8] 속효성 질소비료를 분시하는 것과 비교하면 질소 시비량은 약 1/2, 시비하는데 필요한 노동력은 1/3 이하로 현저히 줄일 수 있을 뿐 아니라 질소 유실에 의한 환경오염도 크게 줄일 수 있다. 이러한 MS S10과 MS S15을 육묘상자에 시비하고, 본답에 이앙하여 시험한 연구는 일본에서는 다수 보고되었지만[6,8] 국내에서는 연구가 극히 적다[9,10].

그래서 본 연구에서는 못자리용으로 개발된 MS S10, 본답의 기비용으로 개발된 MS 10, LCU 80과 LCU 100의 온도별 질소용출율과 못자리에서 일어날 수 있는 염류장해를 예측하기 위하여 비료용액의 전기전도도 변화를 조사하였고, 또 이들 비료를 육묘상자에 시용하여 비료의 용출과 모 생육과의 관계를 구명하였다. 최종적으로 질소의 전량을 육묘상자에 시용할 수 있는 완효성 비료를 선택하여 본답에서 벼의 생육, 수량, 질소이용률 등을 검토하여 육묘상자에 시용할 수 있는 완효성 질소비료의 알맞은 시용량을 연구하였다.

재료 및 방법

본 시험은 2000년 경북 경산의 영남대학교 실험농장에서 실시하였으며 공시품종은 '일미벼' 이었다.

본 시험에 사용한 완효성 질소비료는 요소에 polyolefin을 피복한 MS 10, MS S10, 그리고 요소에 수지 (樹脂)를 피복하여 제조한 LCU 80과 LCU 100이었으며, 질소함량은 모두 40%이다. MS 10은 시용 직후부터 질소가 서서히 용출되며, MS S10은 못자리용으로 개발된 제품으로 시용 직후에는 질소성분이 거의 용출되지 않지만 약 30일 후부터 서서히 용출되어 두 비료 모두 시용 후 100일까지는 성분의 약 80%가 용출되는 조절형 비료이다[8]. LCU 80과 LCU 100은 입상 요소에 규산염 (sodium silicate)을 피복하여 표면을 균일하게 한 다음 PVC계인 latex로 다시 피복한 제품으로 시용 직후부터 각각 80일 및 100일까지 질소의 약 80%가 용출되는 특성을 갖고 있다.

이들 완효성 질소비료의 질소용출율과 전기전도도를 측정하기 위하여 공시비료를 각각 5 g씩 망사 주머니에 싸서 500 mL 플라스틱병에 넣고, 증류수 200 mL를 가한 후 마개를 막았다. 그리고 각각 15.0, 22.5, 30.0℃의 항온기에서 각각 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30일간 비료를 용출시킨 후 그 비료용액을 Whatman 여지 #42로 여과하였다. 여과한 비료용액의 전기전도도 (electrical conductivity, EC)는 EC meter (Mettler-Toledo MC126 Conductivity Meter)로 측정하였고, 질소는 micro Kjeldahl, 인산은 비색법, 칼리는 유도결합프라즈마 (ICP, Perkin Elmer)를 이용하여 flame emission 방법으로 측정하였다.

상자 육묘시 완효성 질소비료의 한계시비량 시험에서는 상자당 상토 3 L와 각각의 완효성 질소비료를 각각 0, 600, 900, 1200 g N (10 a당 25상자를 이앙하면 질소 시용량이 각각 0, 6, 9, 12 kg/10 a에 상당하는 양)을 고르게 혼합하였다. 파종은 1일간 침종하고, 25℃에서 2일간 최아시킨 종자를 2001년 4월 23일에 상자당 160 g으로 실시하였다. 그리고 온실에서 3일간 출아시킨 후 육묘상자를 보온 절충못자리에 치상하였으며, 시험구 배치는 난괴법 3반복으로 실시하였다. 완효성 질소비료의 본답실험은 출아 및 모의 생육에 장해가 없었던 MS S10만을 이용하였다. 비료시용방법은 생육에 필요한 전 질소량을 MS S10으로서 육묘상자에 시비하였고, 본답에는 질소를 시비하지 않은 처리와 같은 양의 질소를 육묘상자 대신 본답에 전량기비로 시비한 처리를 두었다. 육묘상자는 산파용, 상토는 시판되는 수도용 상토를 이용하였다. 상토 3 L와 상자당 MS S10을 각각 0, 600, 900, 1200 g N을 고르게 혼합하였다. 이 때 본답의 시비량을 보면 육묘상자에 MS S10을 시용한 처리구와 무질소구에는 질소를 시용하지 않았고, P_2O_5-K_2O는 각각 7-8 kg/10 a 수준으로 전량 기비로 시용하였다. 그리고, 육묘상자에 MS S10을 시용하지 않은 관행의 요소분시구에는 N-P_2O_5-K_2O를 각각 12-7-8 kg/10 a 수준으로 시용하였는데 본답의 질소는 기비-분얼비-수비-실비를 각각 50-20-20-10, 칼리는 기비-수비를 각각 70-30의 비율로 분시하였고, 인산은 전량을 기비로 시용하였다.

이앙은 6월 7일에 30×14 cm의 간격으로 6조식 승용이앙기를 이용하였다. 시험설계는 비료 시용방법을 주구로 하고, 시비량을 세구로 한 분할구 시험으로, 난괴법 4반복으로 배치하였다.

식물체의 질소함량은 micro-Kjeldahl법으로 분석하였고 시비질소의 이용률은 질소시용구의 질소흡수량에서 무질소구의 질소흡수량을 뺀 것을 질소시용량으로 나눈 값에 100을 곱하여 구하였다. 엽면적지수는 출수기에 5주를 취하여 모든 엽면적을 LI-3000 Portable Area Meter (LI-COR)로 측정한 후 땅 면적으로 나누어 계산하였다. 엽색도는 출수기에 지엽 바로 아래 잎의 엽신을 대상으로 조사하였는데 본답에서 SPAD-502 Chlorophyll Meter (MINOLTA)로 측정하였다. 그 외 벼 수량 및 수량구성요소 등의 조사는 농촌진흥청 농사시험연구 조사기준에 준하였다.

결과 및 고찰

완효성 질소비료의 용출율 및 전기전도도

공시된 완효성 질소비료의 온도별 수중 질소용출율을 보면 Table 1과 같다. MS 10, LCU 80, LCU 100의 질소는 온도가 높을수록 용출율이 높았으며 시간이 경과할수록 용출율이 계속 증가하였다.

Table 1. Nitrogen releasing rate of MS 10, MS S10, LCU 80 and LCU 100 in water at 15.0, 22.5 and 30.0℃ (Unit : %)

Days of dissolution	15.0℃				22.5℃				30.0℃			
	MS 10	MS S10	LCU 80	LCU 100	MS 10	MS S10	LCU 80	LCU 100	MS 10	MS S10	LCU 80	LCU 100
1	1.7	1.4	0.8	1.5	2.4	1.5	2.5	2.9	2.1	2.0	3.1	2.9
3	2.8	1.7	2.0	1.9	3.9	1.3	2.7	2.9	5.3	2.3	2.8	3.7
5	3.1	1.7	2.8	2.9	6.4	2.0	2.5	3.3	7.8	2.4	4.2	4.2
7	7.6	1.7	2.2	3.1	6.6	1.7	3.6	3.7	11.2	2.4	5.3	5.1
10	7.3	1.4	3.4	3.5	9.1	2.8	3.9	4.4	13.8	2.5	4.9	7.0
15	9.8	1.7	4.2	3.9	13.7	2.8	6.6	7.1	22.2	2.8	9.5	8.9
20	11.4	1.7	4.8	5.0	17.6	2.5	10.1	10.4	34.2	2.8	18.9	19.4
25	12.4	1.7	5.0	5.1	22.8	2.9	12.5	12.9	38.2	5.0	23.3	25.6
30	16.2	2.0	6.2	6.8	25.1	3.4	16.1	17.0	43.4	15.1	32.9	36.4

어느 온도에서나 MS 10의 용출율이 LCU 80과 LCU 100보다 높았으며, LCU 80과 LCU 100간에는 수치적으로는 LCU 100이 LCU 80보다 다소 높은 경향이나 큰 차이는 없었다. 그러나 MS S10은 15.0와 22.5℃에서 30일간에 질소가 거의 용출되지 않았고, 30℃에서는 25일까지 조금씩 용출되다가 25일 이후에는 갑자기 용출되어 30일에는 약 15%가 용출되었다.

온도별로 이들 완효성비료의 수중 전기전도도 (EC)의 변화를 Table 2에서 보면 어느 완효성 질소비료나 15℃에서는 22.5 및 30℃에서 보다 EC가 낮았으나 22.5와 30.0℃간에는 큰 차이가 없었다. 비료간에는 어느 온도에서나 MS 10 > LCU 80 ≒ LCU 100 > MS S10의 순으로 EC가 높았으며, EC가 크게 변하지 않았던 15℃의 MS S10을 제외하면 모든 완효성 질소비료의 EC는 시간이 경과할수록 높아졌다.

상자 육묘시 완효성 질소비료의 한계시비량

벼의 전 생육기간에 필요한 질소의 양을 완효성 질소비료로서 모두 육묘상자에 시용하였을 때 파종 후 13일째 입모율, 초장, 엽수, 건물중 및 질소 함량은 비료종류와 시비량간에 교호작용이 있어 각 비료종류의 질소수준별 평균치를 비교해 보면 Table 3과 같다.

MS 10 시용구에서는 어느 질소수준에서나 출아가 되지 않았다. 그리고 MS S10과 LCU 시용구에서 입모율과 초장을 보면 MS S10에서는 질소시비량간에 유의한 차이가 없었지만 LCU 80과 LCU 100에서는 질소시비량이 증가할수록 입모율과 초장이 현저히 감소하였다. 반면 생존한 모의 엽수와 건물중은 질소시비량간에 유의한 차이가 없었다.

식물체 내 질소 흡수량을 보면 MS S10에서는 질소시비량이 증가할수록 질소 함량이 증가하였으나 어느 수준에서나 모의 비료장해는 없었다. 그러나 LCU 80과 LCU 100에서는 무비구보다는 완효성 질소 시비구에서 질소 함량이 더 높았으며, 시비량이 증가할수록 비료의 장해가 증가하여 질소 6 kg/10 a에서도 비료장해가 일어나 시들었다. 그리고 질소 9 kg/10 a 이상에서는 비료의 장해가 더욱 심하게 일어나서 질소 흡수율도 오히려 낮아지는 경향이었고 모의 초장도 감소되었다.

Table 2. Changes in electrical conductivity of MS 10, MS S10, LCU 80 and LCU 100 in water at 15.0, 22.5 and 30.0℃ (Unit : ds/m)

Days of dissolution	15.0℃				22.5℃				30.0℃			
	MS 10	MS S10	LCU 80	LCU 100	MS 10	MS S10	LCU 80	LCU 100	MS 10	MS S10	LCU 80	LCU 100
1	0.22	0.02	0.20	0.28	0.51	0.05	0.48	0.39	0.56	0.15	0.61	0.41
3	0.29	0.05	0.14	0.29	0.49	0.10	0.52	0.41	0.71	0.19	0.56	0.51
5	0.40	0.02	0.25	0.35	0.47	0.11	0.42	0.44	0.77	0.26	0.65	0.60
7	0.45	0.02	0.25	0.32	0.56	0.09	0.55	0.49	0.92	0.35	0.66	0.58
10	0.43	0.03	0.27	0.40	0.76	0.25	0.50	0.43	0.94	0.44	0.62	0.65
15	0.55	0.09	0.29	0.48	0.94	0.23	0.47	0.63	1.05	0.39	0.72	0.62
20	0.74	0.09	0.30	0.45	0.93	0.36	0.49	0.65	1.09	0.50	0.73	0.67
25	0.80	0.07	0.41	0.49	0.97	0.39	0.53	0.70	1.16	0.50	0.71	0.71
30	0.76	0.06	0.42	0.49	1.06	0.45	0.67	0.75	1.12	0.54	0.85	0.77

Table 3. Emergence rate, plant height, the number of leaves, dry weight, N concentration, and seedling damages of 13 days old seedlings grown in seedling box at the different N levels of MS 10, MS S10, LCU 80, and LCU 100

Slow release fertilizer	Nitrogen level (kg/10a)	Emergence rate (%)	Plant height (cm)	No. of leaves	Dry Wt. (g/100 plant)	Nitrogen (%)	Damage (1-5)[2]
MS 10	0	90.5 a[1]	12.5 a	2.2 ns	1.64 ns	2.94 d	1
	6	0.0 f	-	-	-	-	-
	9	0.0 f	-	-	-	-	-
	12	0.0 f	-	-	-	-	-
MS S10	0	90.5 a	12.5 a	2.2	1.64	2.94 d	1
	6	88.1 ab	13.1 a	2.0	1.82	3.07 cd	1
	9	87.3 abc	11.8 a	2.1	1.87	3.47 bcd	1
	12	84.4 abc	12.2 a	2.3	1.65	3.51 abc	1
							1
LCU 80	0	90.5 a	12.5 a	2.2	1.64	2.94 d	1
	6	80.1 c	9.7 b	2.3	1.61	3.93 a	2
	9	70.2 d	5.2 d	2.1	1.57	3.64 ab	3
	12	62.5 d	4.6 d	2.1	1.53	3.44 bc	4
LCU 100	0	90.5 a	12.5 a	2.2	1.64	2.94 d	1
	6	81.1 bc	7.7 c	2.1	1.59	3.94 a	2
	9	68.0 d	5.3 d	2.0	1.55	3.63 ab	4
	12	52.2 e	4.1 d	2.1	1.46	3.53 abc	4

[1] Means within a column for a given factor followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by Duncan's New Multiple Range Test (DNMRT).

[2] Visual damages of seedlings (1-5): 1 normal, 5 severe wilting.

[3] Emergence rate was analysed after arcsin transformation.

이상의 결과를 보면 MS 10은 질소의 용출율이 빠르고 (Table 1), EC가 높아 (Table 2) 질소 6 kg/10 a에서도 종자가 출아하지 않아 논에 시용할 전량의 질소를 육묘상자에 시용할 수 없었다. 그러나 MS S10은 30일간 15-30℃ 범위의 온도에서는 질소의 용출이 극히 적고 (Table 1), EC도 크게 증가하지 않았으며 (Table 2), 질소를 12 kg/10 a까지 시용하여도 종자의 발아와 모의 생육에 지장이 없이 질소의 전량을 육묘상자에 시용할 수 있었다 (Table 3). 그러나 30℃에서 30일째에 EC가 급격히 증가하므로 육묘기간이 많이 연장되고, 기온이 30℃ 이상으로 극히 높아질 때에 장해를 받을 가능성도 있으나 우리 나라 기상조건으로 보아 큰 문제가 없을 것 같다. 그러나 LCU 80과 LCU 100은 모두 질소의 온도가 높아질수록 용출율 (Table 1)과 EC (Table 2)가 증가하였고, 육묘시험에서도 질소시비량이 증가할수록 입모율이 현저히 떨어지고, 초장이 현저히 단축되며, 파종 후 9일째에 시들기 시작하여 13일째는 6, 9 및 12 kg N/10 a에서 모두 비료의 장해가 나타났으며 (Table 3), Lee와 Lee도 비슷한 결과를 보고하였다[9]. 육묘상자에 완효성 질소비료를 시용할 때 질소의 이용률이 기비와 3회분시할 때보다 높다고 하더라도 6 kg N/10 a 이하의 질소시비량으로는 추비하지 않고 정상적으로 벼를 재배할 수 없다. 따라서 LCU를 육묘상자에 이용하기 위해서는 초기에 용출율을 지연시킬 수 있는 방안이 검토되어야 할 것 같다. LCU 100은 LCU 80보다 질소의 용출이 다소 늦어 모의 장해를 유발하는 한계 시비량이 더 높을 것으로 예상하였지만 질소의 용출율(Table 1)과 EC (Table 2)의 변화의 차이도 거의 없었고, 모의 생육에 미치는 영향도 비슷하여 (Table 3) 현재 생산되고 있는 LCU 80과 LCU 100은 전량을 육묘상자에 시용하기에는 알맞지 않았다.

완효성 질소비료의 본답에서의 적정시비량

질소용출율과 상자육묘시 완효성 질소비료의 한계시비량 시험결과, 질소 용출이 빠르고, 육묘상자에서 비료장해가 심하여 출아 및 모 생육이 불량한 MS 10, LCU 80 및 LCU 100을 제외한 MS S10을 이용하여 육묘상자와 본답에서 전층시비 할 때의 적정 질소시비 수준을 검토하고 이를 관행의 요소 분시와 비교하였다.

출수기, 엽면적지수, 엽색도, 수장 및 간장

엽면적지수, 엽색도, 수장은 시비방법과 시비량간에 상호작용이 없어 시비방법간 혹은 시비량간의 평균치를 비교해 보면 Table 4와 같다. 시비방법간에는 출수기, 엽면적지수, 엽색도는 차이가 없었고, 수장은 육묘상자 시비구가 본답에서 전층시비한 것보다 길었다.

Table 4. Leaf area index(LAI), chlorophyll(SPAD), and panicle length of rice grown at different applying methods and N levels of MS S10

Applying method		Heading date	LAI	SPAD	Panicle length (cm)
Soil incorporation in paddy		26 Aug.	4.5 ns	35.4 ns	18.9 b
Mixed with bed soil in seedling box		26 Aug.	4.6	35.6	19.6 a
N level (kg/10a)	0	27 Aug.	3.0 b[1)]	31.7 b	19.0 ns
	6	26 Aug.	4.9 a	35.8 a	19.4
	9	26 Aug.	5.1 a	36.9 a	19.5
	12	26 Aug.	5.1 a	37.0 a	19.3
	12(urea)[2)]	26 Aug.	4.9 a	36.3 a	19.0

[1)] Means within a column for a given factor followed by same letter are not significantly different at the 5% level by DNMRT.

[2)] Split application of urea.

출수기를 보면 무질소구에서보다는 질소시비구에서 1일이 빨랐는데 이것은 질소가 극도로 부족하면 영양생장이 억제되어 출수가 늦어지는 현상 때문으로 생각된다. 그리고 엽면적지수와 엽색도는 모두 무질소구보다는 모든 질소시비구가 더 컸으나 질소시비구간에는 차이가 없었다. 수장은 무질소구와 질소비구간에도 차이가 없었다.

간장은 시비방법과 시비량간에 교호작용이 있어 같은 시비방법 내에서 시비량간에 간장을 비교해 보면 Table 5와 같다. 어느 시비방법에서나 무비구는 모든 질소시용구보다 간장이 짧았고, 질소시비량간에는 시비방법에 따라 다소 차이가 있었다. 즉 본답에 전층시비하였을 때는 MS S10의 질소수준간에, 또 관행의 요소 12 kg N/10 a의 분시구간에 큰 차이가 없었으나 육묘상자에 MS S10을 시용하였을 때는 9 kg N/10 a까지는 간장이 다소 길어지는 경향이었으며, 모든 MS S10 시용구는 요소 12 kg N/10 a 시용구보다 간장이 더 컸다. MS S10을 본답에 전층시비하였을 때는 육묘상자에 시비하였을 때보다는 다소 더 많은 질소의 유실이 예상되므로 요소 12 kg N/10 a과 간장의 차이가 없었지만 육묘상자에 MS S10을 시용한 경우에는 질소의 유실량이 적어 절간신장기에 더 많은 질소를 공급하여 간장이 관행의 요소 12 kg N/10 a 분시구보다 간장이 더 큰 것으로 생각된다. 간장이 큰 것은 도복저항성이 약해질 가능성이 있기 때문에 육묘상자에 MS S10을 이용할 때는 시비량의 조절과 도복저항성을 높일 수 있는 방안도 검토하여야 할 것으로 생각된다.

수량 및 수량구성요소

Table 5. Culm length at different applying methods and N levels of MS S10 (Unit : cm)

N level (kg/10a)	Soil incorporation in paddy	Mixed with bed soil in seedling box
0	60.2 e	58.0 e[1)]
6	65.8 cd	67.7 abc
9	66.0 bcd	70.3 a
12	66.5 bcd	69.4 ab
12(urea)[2)]	66.1 bcd	63.4 d

[1)] Means within a column followed by same letter are not significantly different at the 5% level by DNMRT.

[2)] Split application of urea.

Table 6. Yield and yield components of rice grown at different applying methods and N levels of MS S10

Applying method		No. of panicles/ hill	No. of spikelets/ panicle	% ripened grains	1,000 grain Wt. (g)	Yield in brown rice (kg/10a)
Soil incorporation in paddy		17.1 ns[1)]	75.0 b	74.0 ns	19.7 ns	459 ns
Mixed with bed soil in seedling box		17.3	84.3 a	75.6	19.3	476
N level (kg/10a)	0	12.9 b	70.6 ns	87.5 a	20.6 a	337 b
	6	17.7 a	79.8	74.9 b	19.3 b	473 a
	9	19.1 a	83.0	68.6 b	18.9 b	514 a
	12	18.7 a	81.3	71.4 b	18.6 b	512 a
	12(urea)[2)]	17.7 a	83.4	71.8 b	20.1 a	501 a

[1)] Means within a column followed by same letter are not significantly different at the 5% level by DNMRT.

[2)] Split application of urea.

분산분석의 결과 MS S10의 시비방법과 시비량에 따른 벼의 수량 및 수량구성요소는 시비방법간에는 수당영화수, 시비량간에는 주당이삭수, 등숙율, 천립중, 수량은 차이가 있었지만 모든 형질에서 시비방법과 시비량간에 상호작용이 없었다. 그래서 시비방법간, 그리고 시비량간에 수량 및 수량구성요소를 비교해 보면 Table 6과 같다.

시비방법간에 수량구성요소를 비교해 보면 육묘상자에 MS S10을 시용한 것이 본답에 기비로 전층시비한 것보다 수당영화수가 많았는데 이것은 육묘상자에 질소를 시용한 것이 유실이 적어 유수형성기까지 더 많은 질소가 공급되었기 때문으로 보인다.

Table 7. Nitrogen uptake and the efficiency of fertilizer nitrogen of MS S10

N level (kg/10a)	Soil incorporation in paddy				Mixed with bed soil in seedling box			
	N uptake (kg/10a)			Fertilizer N efficiency (%)	N uptake (kg/10a)			Fertilizer N efficiency (%)
	Panicle	Straw	Total		Panicle	Straw	Total	
0	5.4 b[1)]	3.2 c	8.6 c	-	5.6 b	3.2 b	8.7 c	-
6	7.2 a	5.0 b	12.3 b	61.7 a	7.7 a	5.1 a	12.8 b	66.7 a
9	7.9 a	5.7 a	13.6 a	55.8 a	8.4 a	5.8 a	14.2 a	60.1 ab
12	8.0 a	5.8 a	13.8 a	43.3 b	8.5 a	5.8 a	14.2 a	45.3 bc
12(urea)[2)]	7.4 a	5.8 a	13.2 ab	37.8 b	8.0 a	5.4 a	13.4 ab	38.9 c

[1)] Means within a column followed by same letter are not significantly different at the 5% level by DNMRT.

[2)] Split application of urea.

그러나 다른 수량구성요소는 시비방법간에 차이가 없었다.

시비량간에 수량구성요소를 비교해 보면 수당영화수는 모든 처리간에 차이가 없었다. 그러나 주당이삭수, 등숙율, 천립중 및 수량은 무질소구보다는 MS S10 시용구가 높았으나 MS S10의 시비량과 관행의 요소 12 kg N/10 a 간에는 차이가 없었다. 특히 관행의 요소분시구에서 등숙율이 높았던 것은 MS S10 시용구에서는 출수기에 질소가 거의 소진되어 가는 시기이지만 요소 분시구에서는 출수기에 알거름을 시용하므로서 등숙율이 향상된 것으로 생각된다.

시비수준별로 수량을 보면 6, 9, 12 kg N/10 a의 MS S10구에서는 통계적으로는 차이가 없었지만 수치적으로는 6 kg N/10 a구에서 9 및 12 kg N/10 a보다 약 7.9% 감소하였다. Lee와 Lee도 MS S10을 육묘상자에 시용할 때 9 kg N/10 a에서 6 kg N/10 a보다 수량이 높다고 보고[9]하여 MS S10을 육묘상자에 시비할 때 적정 시비량은 6~9 kg N/10 a 사이가 될 것으로 보인다. 그러면 관행의 질소 12 kg N/10 a에 비하여 수량감소 없이 질소를 30~50% 감비할 수 있을 것으로 보인다. Park은 Meister 15는 질소시비량을 관행시비량보다 30% 감비하여도 수량감소가 적다고 한 보고[11]와 결과가 비슷하였다.

질소흡수량 및 질소이용률

수확 후 지상부의 질소흡수량 및 시비질소 이용률을 보면 Table 7과 같다. 전층시비구에서 MS S10의 시비량이 증가할수록 이삭 및 짚의 질소흡수량이 증가하였고, 요소 12 kg N/10 a 을 분시한 관행구에서는 MS S10 6 및 9 kg N/10 a 시비구의 중간이었다. 전층시비구에서의 질소이용률은 MS S10 시용구에서 43.3~61.7%로서 MS S10의 시비량이 증가할수록 감소하였지만 MS S10 6 및 9 kg N/10 a에서는 통계적으로 유의차가 나지 않았고, 요소 관행시용구의 37.8%보다 훨씬 높았다. 육묘상자 전량시용구에서 MS S10의 질소흡수량은 전층시비구의 질소흡수량과 비슷한 경향이었으나 그 양은 조금 많았다. 질소이용률은 45.3~66.7%로서 요소 관행시용구의 38.9%보다 훨씬 높았고 전층시비구의 MS S10의 질소이용률보다도 조금 높았다. 요소 분시의 경우 질소이용률이 기비 32.8%, 추비 50%이고, 또 완효성비료를 본답에 기비로 시용할 때 질소비료 이용률이 61.5%라고 한 Ueno et al.의 보고[12]와 비슷하였다. 그러나 완효성 질소비료를 육묘상자에 전량 시비하면 이앙 후에도 벼의 근권에 시용되고, 벼의 요구도에 맞추어 질소를 공급할 수 있으므로 유실량을 줄여 질소이용률이 83%된다고 한 Shoji의 보고[6]와 Meister와 같은 완효성 비료는 벼 생육후기에 식물체내 질소함량을 높이는 특성이 있고 질소이용률은 속효성비료의 2배라고 한 Wada의 보고[13]보다는 질소이용률이 낮아 이에 대한 검토가 필요하다.

요 약

본 시험은 벼의 전 생육기간에 필요한 질소를 완효성 비료로서 육묘상자에 시용하거나 전량기비로 전층시비할 때 모의 장해나 수량감소 없이 질소이용률을 높이고, 시비노동력을 줄일 수 있는 완효성 비료의 종류와 알맞은 시비량을 찾고자 수행하였다. 완효성 질소비료는 MS 10, MS S10, LCU 80, LCU 100 이었으며, 시용량은 0, 6, 9, 12 kg N/10 a 이었다.

수중 질소용출율과 전기전도도는 MS 10 > LCU 80 ≒ LCU 100 > MS S10 순으로 컸으며, 온도가 높을수록 질소의 용출율이 높았고, EC가 증가하였다. MS 10 시용구에서는 어느 시비량에서나 출아하지 않았고, LCU 80과 LCU 100 처리구에서는 시비량이 증가할수록 입모율이 현저히 저하되었으며, 파종 후 13일에 모가 심하게 시들었다. 모든 MS S10 처리구에서는 입모율이 80% 이상이었고, 파종 후 30일까지 모가 정상적으로 생장하였다.

MS S10을 육묘상자와 본답에 전량기비로 시용하였을 때 벼 수량은 두 시비방법간에 차이가 없었으며, 시비량간에는 6, 9, 12 kg N/10 a과 요소로서 12 kg N/10 a을 4회 분시한 관행시비방법간에 차이가 없었다. MS S10의 질소이용률은 질소시비량이 증가할수록 감소하였으며, MS S10 시용구가 관행의 요소시비구보다 높았다.

감사의 글

본 시험에 연구비를 지원하여 주신 아산사회복지사업재단, 시료로 제공하여 주신 비왕(주) 임준형 사장님과 (株) 朝肥에 진심으로 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. De Detta, S. K. (1987) Advances in soil fertility research and nitrogen fertilizer management for lowland rice. *Efficiency of nitrogen fertilizers for rice*, IRRI, p.27-41.
2. De Datta, S. K., Magnaye, C. P. and Moomaw, J. C. (1968) Efficiency of fertilizer nitrogen(^{15}N-labelled) for flooded rice, Trans. 9th Int. Soil Sci. Congr., Adelaide. Australia, IV, p.67-76.
3. Lee, S. M., Yoo, S. H. and Kim, K. H. (1995) Changes in concentrations of urea-N, NH_4-N and NO_3-N in percolating water during rice growing season, *J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert.* 28(2), 160-164.
4. Bennet, O. L., Mathias, E. L. and Lundlbery, P. E. (1970) Crop responses to no-till management practices on hilly terrain. *Agron. J.* 65, 488-491.
5. Basak, M. N., Sen, and Bhattacheriee, P. K. (1962) Effects of high nitrogen fertilization and lodging on rice yield, *Agron. J.* 54, 477-48.
6. Shoji, S. (1997) New Environment Protecting Agriculture. Seunilsa, (Japanese and translated into Korean by K.B. Park)
7. Kim, S. S. Choi, M. G., Park, K. H., Lee, S. Y., Cho, S. Y. and Cho, D. S. (1996) Effect of band application of slow release fertilizer on rice growth and yield in puddled-soil drill seeding, *Korea J. Crop Sci.* 41(1), 68-76.
8. Yoshihiro, K. (1995) Innovation of fertilizer application by using controlled-release fertilizer. 2. The single application of fertilizer in nursery box to non tillage transplanted rice. *Japan. J. Soil Sci. Fert.* 66(2), 176-181.
9. Lee, S. S. and Lee, D. W. (2001) Growth of seedlings and transplanted rice affected by slow release nitrogen fertilizers mixed with soil in seedling box. *Korea J. Crop Sci.* 43(4), 289-295..
10. Park, K. B. and Kim, M. T. (1995) Effect in the characteristics of infant seedling and the growth of rice plant in paddy field by incorporation with coated urea fertilizer in nursery box soil, *J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert.* 28(1), 83-87.
11. Park, K. B. (1993) Effect of the whole-layer application of slow-release fertilizer on growth and yield of rice, Kor. *J. Crop Sci.* 37(6), 499-505.
12. Ueno, M., Kumagai, K., Sato, J., Inoue, M. and Tanaka, N. (1990) Basal fertilizer application technology utilizing soil nitrogen and coated slow release fertilizer(No. 2), A basal fertilizer application system based on the prediction of soil nitrogen release and the recovery of coated fertilizer, *Agri. and Hort.* 65(11), 46-50.
13. Wada, G., Aragones, R. C. and Ando, H. (1991) Effect of slow release fertilizer (Meister) on the nitrogen uptake and yield of the rice plant in the tropics. *Japan. J. Crop Sci.* 60(1), 101-106.