

施肥 後 水管理 方法이 窒素의 動態 및 利用效率에 미치는 影響***

李 泮 雨* · 明 乙 在* · 崔 官 鎬**

Effect of Water Management after Fertilizer Application on Fate and Efficiency of Applied Nitrogen***

Byun Woo Lee*, Eul Jae Myung* and Goan Ho Choi**

ABSTRACT : The fate and use efficiency of applied nitrogen were evaluated in a pot experiment with different fertilizers and water management practices during 30days after fertilizer application. N-P-K compound fertilizers, 13-10-11(F-1) for upland crop use and 15-10-10(F-3) for rice crop use, and mixed fertilizer, 21-17-17(F-2) for basal dressing in rice were used. Fertilizers corresponding to 1.8g N were mixed thoroughly with the whole volume of sandy loam soil in a pot. The pots were flooded upto 3cm above soil surface for 0(0dF), 10(10dF), 20(20dF), and 30(30dF) days after fertilizer application and all the treatments were flooded continuously from 30 days after fertilizer application. During the flooding period water percolation rate was adjusted to 2.5mm/day. Rice seedlings were transplanted 40 days after fertilizer application.

The pH of infiltrated water increased with increasing duration of flooding. The pH of F-2 was higher than those of F-1 and F-3 between which there were no differences. The applied nitrogen remained 23% in F-1, 29% in F-2, and 29.1% in F-3, and 45.0% in 0dF, 26.6% in 10dF, 24.8% in 20dF, and 20.3% in 30dF as inorganic nitrogen at 63 days after fertilizer application. Nitrogen losses by leaching amounted to 51.3%, 32.1% and 48.1% of applied nitrogen in F-1, F-2 and F-3, respectively. Nitrogen leaching losses increased with increasing duration of flooding, amounting to 25.7%, 29.8%, 32.7%, and 35.8% in 0dF, 10dF, 20dF and 30dF, respectively. Gaseous loss of applied nitrogen was greatest in F-2, followed by F-1 and F-3. Total loss of nitrogen due to gaseous volatilization and leaching was greatest in F-1, followed by F-2 and F-3, and were greater in the treatments with longer flooding after fertilizer application. Nitrogen recovery by rice shoot until 72 days after transplanting were 23.2%, 24.7% and 27.4% of applied nitrogen in F-1, F-2 and F-3, respectively and 34.1%, 25.5%, 21.1%, and 21.2% in 0dF, 10dF, 20dF and 30dF, respectively.

Key words : Water management, Fertilizer, Nitrogen loss, Nitrogen recovery, Leaching loss, Gaseous loss, Rice

* 서울대학교 농생대 농학과(Depart. of Agronomy, College of Agri. and Life Sci., SNU., Suwon 441-744, Korea)

** 경기화학공업주식회사(Kyeonggi Chemical Industrial Co. LTD, Buchon 422-080, Korea)

*** 본 연구는 경기화학공업주식회사의 연구비 지원에 의해 이루어진 것임.

('94. 11. 24. 接受)

벼 재배에서 질소질비료는 移秧前, 分蘖期, 幼穗形成期, 수전기에 시비하게 되는데, 논 토양에施用된 질소는 작물이 흡수하고, 미생물이 不動化시키며 나머지는 揮散, 溶脫, 脫窒, 토양에의 고정, 빗물에 의한 洗脫 등에 의해 손실되게 된다. 따라서施用된 질소의 이용효율은 토양의 물리화학적 특성과 비료의施用방법,施用시기, 비료의 형태 등에 따라 다르다(6,11,25,30).

요소가 토양에施用되면 Urease의 작용에 의하여 암모니아태질소로 加水分解되며, 이때 생성된 NH_4^+ 는 식물이나 미생물에 흡수되거나 휘산, 용탈에 의해 손실되며, 또한 질산화 작용에 의해 NO_3^- 로 산화되어 식물에 의해 흡수되거나 용탈, 탈질 작용에 의해 손실되기 때문에 실제 작물이施用질소를 흡수하는 비율은 30-70%에 불과하다(6,22,25,30). 물에 용해된 尿素 自體는 토양과 약하게 吸着이 되기 때문에 그 자체로도 용탈이 되는데(2,3,21,23,24) 용탈정도는 NH_4^+ 와 NO_3^- 의 중간정도인 것으로 알려져 있다³⁾. 또한 NH_4^+ 는 토양에 흡착이 잘되지만 浸透率이 높고 排水가 잘되며 CEC가 낮은 토양에서는 암모니아가스로 휘산되는 비율이 높고(5,6,25,28), 그 자체로 용탈되는 비율도 매우 높다(2,5,12,13,16,21,23). 한편 湛水狀態인 논에서는 암모니아태질소가 질산화되는 양은 적고(3,5,18,21,23) 탈질에 의해 손실되는 양은 보고자에 따라 다르나(4,6,15,17,26,30) 대체로 1%정도에 불과하여 큰 문제는 되지 않는다(4,6). 그러나 건답상태에서 시비하게 되면 암모니아태 질소가 질산태질소로 변환되고, 이것이 담수와 동시에 용탈되거나 토양이 환원되면서 탈질되는 양은 매우 많을 것이라고 발상 상태에서 연구한 결과들(14,18,29)로부터 推論할 수 있으나 이에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 다만 이양전 基肥는 畚層施肥하는 것이 表層施肥하는 것보다 질소의 손실량이 적고, 물을 빼고 전층시비하는 것이 담수상태로 전층시비하는 것보다 암모니아로 휘산되는 비율이 매우 적으므로(5,6,7,8,25,28,30), 분얼비를 표층 시비하지 말고 기비로 전층시비하는 것이 더 유리하다고 하였다⁶⁾. 그러나 이양 20일전부터 시비한 후 발상상태와 논상태로 둔 후 이양하고 재배하였을 때 수량은 논상태로 유지한 것이 발상태보다 많았고, 이양직전에 논상태에 시비하는 것이 가장 많았다는 보고도 있다²⁰⁾.

그런데 최근 농촌노동력의 부족으로 노동력을 효과적으로 이용하기 위하여 이양 2-3일 전에 시비하던 기비를 農閑期인 이양 1개월전에 시비한

후 경운하는 방법이 많은 농가에서 실시되고 있고, 또 분얼비, 이삭거름과 알거름을 省略하고 緩效性肥料을 기비로 전량시비하려는 방법이 시도되고 있으나 시비방법, 관개방법 그리고 논토양의 관리 방법에 대한 검토 없이 실시되고 있어 이에 대한 검증과 알맞은 비료의 개발이 요구되고 있다. 이러한 관점에서 시비후 이양하기 전까지 1개월간의 물관리 방법에 따른 窒素의 動態 및 벼에 의한 利用效率를 肥種別로 검토하여 효과적인 施肥管理法를 摸索하고자 실시하였다.

材料 및 方法

본 연구는 서울대학교 농업생명과학대학 실험농장내 비닐하우스에서 1994년 3월 1일부터 5월 3일까지 실시하였는데 이 기간 동안 平均氣溫은 16.6℃로 수원지방 이양적이던 5월 20일을 전후한 63일(4.21-6.24)간 평균기온보다 0.9℃ 높았다.

실험은 1/5000a 와그너 포트에서 실시하였는데 사양토(표 1) 2.5kg(오븐 건조기준)에 3종의 複合肥料과 용과린, 염화加里로 $N-P_2O_5-K_2O$ 가 포트당 1.8-1.46-1.52g이 되도록 넣고 잘 섞은 다음 無湛水 및 湛水處理를 하였다. 포트바닥에는 끝을 숨으로 막은 비닐호스(8mm×50cm)를 깔고 모래를 넣은 다음 그 위에 土木用纖維를 덮고 시비한 토양을 넣었다. 비닐호스는 포트 위로 1cm정도 나오도록 하였고, 이 호스를 통하여 담수처리한 시기에 포트 바닥으로 침투되는 浸透水를 주사기를 이용하여 매일 採取하였다.

시험에 이용한 肥種은 無肥(F-0), 複肥露積인 13-10-11(F-1), 水稻基肥用複合肥料인 21-17-17(F-2), 벼복합비료인 15-10-10(F-3)이었는데, F-2는 비료3요소를 配合한 비료이고, F-1, F-3는 비료 3요소를 한 粒子로 만든 化成肥料였다. 물관리 방법은 비료와 토양을 잘 섞은 후 30일간 매주 1.5mm(이기간 平均 降雨量)만을 비닐호스로 주입하고 방치한 다음, 담수 하는 경우(0dF), 10일 담수처리한 다음 20일간 방치하고 담수한 경우(10dF), 20일 담수처리 한 다음 10일간 방치하고 담수한 경우(20dF), 계속 담수처리한 경우(30dF) 등 4처리를 하였으며, 침투수의 채취량은 浸透率 이 1일당 2.5mm인 50ml였고, 포트의 水深이 3cm로 일정하도록 매일 灌溉하였다. 관개수는 수도물을 이용하였는데 窒素成分은 檢出되지 않았으나

Table 1. Physical and chemical properties of soil used for experiment

T-N	O.M.	pH(1:5)		Exchangeable Cation			CEC	Particle size dist.(%)		
		H ₂ O	KCl	Ca	Mg	K		Sand	Silt	Clay
(%)	(%)			meq./100g						
0.114	1.36	5.69	4.72	3.70	0.78	0.48	7.0	53.0	33.8	13.2

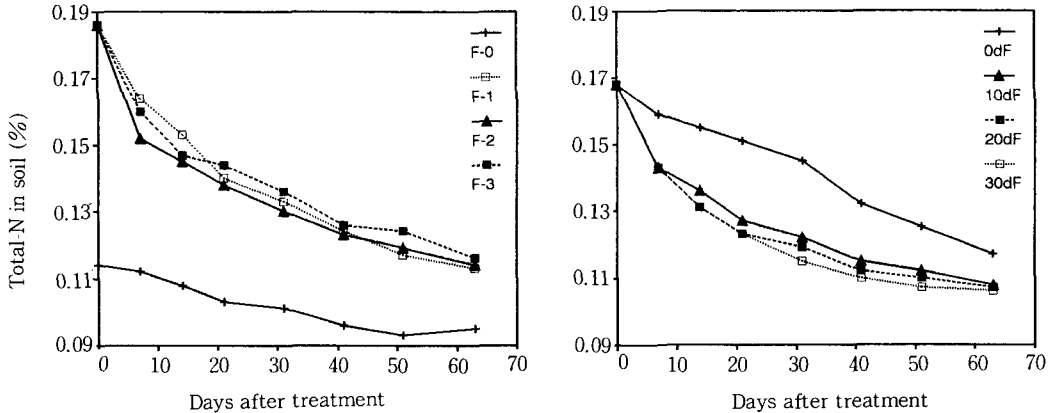


Fig. 1. Time-course changes in total nitrogen in soil. 0dF, 10dF, 20dF, and 30dF MEANS 0, 10, 20, and 30days flooding after fertilizer application, respectively.

F-1: 13-10-11 compound fertilizers for upland crop use, F-2: 21-17-17 mixed fertilizer for basal dressing in rice, F-3:15-10-10 for rice crop use.

pH 는 7.6으로 알칼리성이었다.

토양의 전질소 및 무기태질소를 定量하기 위하여 처리 후 7, 14, 21, 31, 41, 51, 63일째 되는 날에 처리당 3반복(3포트)으로 60cm³의 토양을 토양 채취기(2cm)로 채취하였다. 또한 채취한 침투수는 각각의 기간 동안 냉장보관하면서 모은 후 pH와 용탈된 질소량을 정량하였다. 토양의 전질소 함량과 치환성 무기태질소, 침투수의 무기태질소는 세미마이크로 켈달법으로 정량하였으며, 토양의 치환성 무기태질소는 2N KCl용액으로 침출하여 정량하였다.

질소의 이용효율에 관한 실험은 30일간 물관리 방법과 동일하게 처리하면서 침투수를 채취하였고, 그 후에는 모든 처리에 담수한 다음 관개만 하였으며 처리 41일째에 동진벼 10일묘를 포트당 3주씩 이양한 다음 분얼의 경시적인 변화를 조사하였고, 이양 42일, 56일, 72일 후에 각각 1주씩 채취하여 건물중과 전질소 함량을 정량하여 벼의 窒素吸收量を 계산하였다. 자료는 비중을 주구, 물관리 방법을 세구로 하는 분할구배치법에 의하여 분석

하였다.

結果 및 考察

1. 침투수의 pH

요소비료의 생리적 반응은 中性이지만 토양에 시비하면 가수분해되어 탄산암모늄염으로 변한 후 암모니아태질소로 변하는데 이때 가수분해되는 부근의 pH가 上昇하여 질소의 揮散을 촉진한다(6,8,9,19,25,28). 토양용액의 pH가 상승하면 암모니아가스로 변하는 속도가 빨라져 휘산에 의한 손실이 증가하게 되나 우리나라의 토양은 대부분 산성토양으로 큰 문제가 되지는 않을 것으로 생각된다(10,25).

표 2는 시비와 담수처리를 시작한 다음부터 채취한 침투수의 pH를 시기별로 나타낸 것이다. 전체적으로 pH가 매우 높은 데 이것은 관개수로 이용한 수도물의 pH가 7.6으로 그에 따른 영향으로 생각된다. 시비하지 않은 토양에 담수후 채취한 침투수의 pH는 담수기간이 길수록 상승하였으며 시비한 경우에도 비중에 관계없이 상승하였다. 침투

Table 2. Time course change in pH of infiltrated water and soil as affected by fertilizers and water management

Treatment	Days after treatment									
	Infiltrated water							Soil(KCl 1:5)		
	7	14	21	31	41	51	63	0	63	
Non-Fert.	7.12	7.43	7.66	7.33	7.48	7.88	8.19	4.7	5.44	
F-1	6.94	7.83	8.02	7.93	7.80	8.00	8.27	4.7	5.52	
F-2	7.50	8.09	8.38	8.15	8.05	8.24	8.34	4.7	5.30	
F-3	7.48	8.07	7.94	7.97	7.73	8.05	8.23	4.7	5.26	
0dF	-	-	-	-	7.40	7.68	8.08	4.7	5.59	
10dF	7.26	7.88	-	-	7.73	8.01	8.18	4.7	5.33	
20dF	7.26	7.84	8.10	-	7.93	8.18	8.40	4.7	5.34	
30dF	7.26	7.84	8.00	7.85	8.08	8.30	8.41	4.7	5.27	

* Abbreviations are the same as in Fig. 1

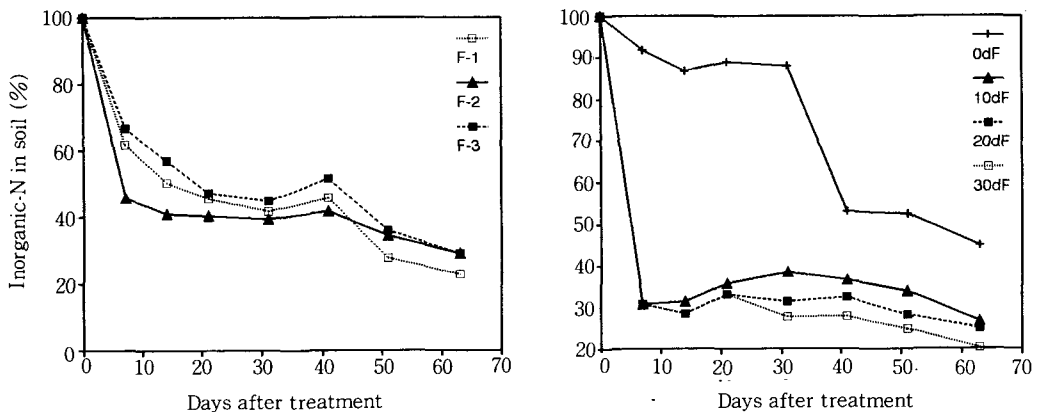


Fig. 2. Time-course changes in the ratio of soil inorganic($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) nitrogen to applied nitrogen. Abbreviations are same as in Fig. 1.

수의 pH는 비종간 다른 樣相을 보였는데 무비보다는 모두 높았고, 수도기비용복합비료인 F-2가 매 時期에 가장 높았으며 F-1과 F-2간에는 큰 차이가 없었으나 F-3비료가 다소 낮은 경향이였다. 토양의 pH는 처리 63일 후에 측정된 결과 F-1비료는 무비보다 더 높아졌으나 F-2와 F-3비료는 현저히 낮아졌다. 한편 물관리방법에 따른 침투수의 pH는 모든 처리에 灌水를 시작한 처리 41일 후부터 담수처리기간이 길수록 높았으며, 무담수처리의 경우에도 담수시작과 동시에 pH가 상승하기 시작하여 담수처리를 한 경우와 비슷한 경향을 보였다. 반면 처리 63일 후 측정된 토양의 pH는 담수기간이 길수록 낮아서 무담수처리를 한 경우가

가장 높았다. 그런데 10dF와 20dF 처리간의 토양 pH는 차이가 없었다.

2. 土壤의 全窒素

토양의 전질소는 시용한 질소와 토양중에 이미 존재하는 질소의 합으로 식물체가 이용가능한 窒素形態뿐만 아니라 微生物에 의해 不動化된 것과 有機態로 존재하는 질소이다. 그림 1은 토양중에 남아 있는 전질소의 경시적인 변화를 나타낸 것이다. 비종간의 차이를 보면 복비노적(F-1)은 물에 비교적 쉽게 溶解되었으나 초기 감소량은 오히려 적었고, 그 이후에도 지속적으로 감소하여 처리 51일부터는 가장 적었다. 수도기비용복합비료(F-2)

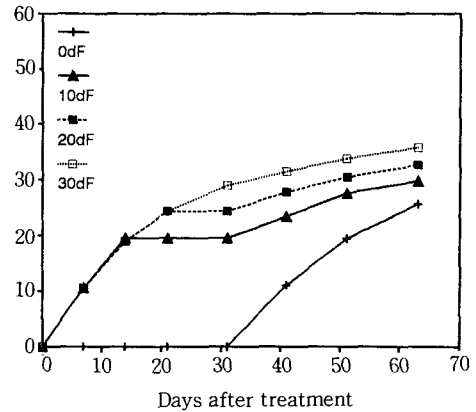
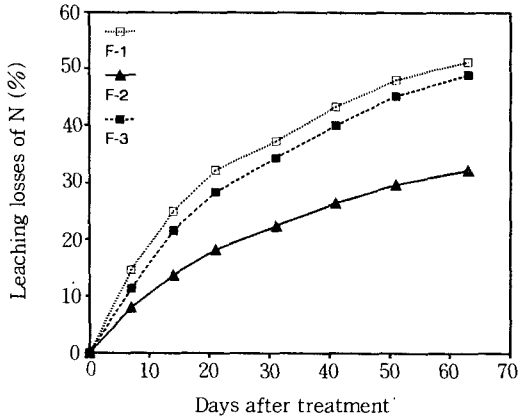


Fig. 3. Time-course changes in the ratio leaching losses of nitrogen to applied nitrogen. Abbreviations are the same as in Fig. 2.

는 처리시작후 7일동안 급격히 감소하였으나 그 후 완만히 감소하였고, 벼복합비료는 7일간에는 비교적 빨리 감소하였으나 그 후 완만히 감소하여 처리후 21일 경부터는 가장 높은 수준을 유지하였다. 한편 물관리 방법에 따른 전질소함량의 경시적변화를 보면 네 처리 모두 담수를 시작한 초기에 전질소함량이 급격히 감소하였으며, 담수처리기간이 길수록 낮았고, 30일간 무담수상태로 방치한 경우가 가장 높게 유지되었다.

3. 토양의 무기태질소

토양중 2N KCl에 치환된 무기태질소의 시용질소에 대한 비율, 즉 무기태 질소의 殘存比率을 나타낸 것이 그림 2이다. 공시토양의 無機態窒素含量($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$)은 45ppm이었다. 복합비료 시용 1주일 후 토양에 남아 있는 무기태질소의 시용질소에 대한 비율은 F-3비료가 가장 높았고, F-2비료가 가장 낮았으며, F-2비료는 처리 후 7일과 31일사이에는 거의 감소하지 않았고 담수를 시작한 다음에는 약간 증가한 후 감소하였다. 한편 F-1과 F-3비료는 처리 후 31일까지 지속적으로 감소하였고, 모든 처리에 灌水를 시작함과 동시에 증가한 후 급속히 감소하여 처리 63일 후 무기태질소의 잔존비율은 F-2가 23%로 가장 낮았고 F-2는 29%, F-3는 29.1%로 서로간에 차이가 없었다. 시험적후 무기태 질소의 잔존율이 낮아진 것은 요소 비료가 가수분해된 다음 암모니아로 휘산되고 일부는 미생물에 의해 부동화되고 또한 요소자체나 암모니아태질소가 침투수에 의해 용탈되었기 때문으로 생각된다^{5,16,17,27,28}. 특히 초기에 F-2비료가 다

른 비료보다 더 낮은 것은 배합한 요소의 가수분해가 빨리 일어나 용탈, 휘산 및 미생물에 의한 부동화가 더 빨리 진행되었기 때문으로 판단된다.

한편 물관리 방법에 따른 무기태질소의 잔존비율은 담수처리기간이 길수록 낮아져 계속 담수처리한 경우가 가장 낮았으며, 담수처리 7일 후에는 시비질소의 1/3만이 무기태질소로 존재하였다. 한편 담수기간에 따라서는 다른 양상을 보이고 있는데 10dF처리의 경우 처리후 14일까지는 감소하는 경향이나 그 후 31일까지는 오히려 증가하였고, 담수처리 후에는 다시 감소하였는데 20dF와 30dF의 경우에는 처리후 21일까지는 다소 증가하는 경향이나 그 후에는 계속 감소하였으며 감소정도는 30dF가 더 커서 처리 63일 후에 10dF는 26.6%, 20dF는 24.8%, 30dF는 20.3%가 남아 있었다. 한편 무담수 처리기간에는 완만히 감소하여 90% 이상 토양에 남아 있었으나 灌水를 시작한 후 10일만에 급속히 감소하고 그 후에는 완만히 감소하여 처리 63일후에도 담수처리한 경우보다 매우 높은 45.0%나 남아 있었다. 이같은 결과로 볼 때 시비후 灌水는 尿素를 급속히 용해 및 가수분해시켜^{6,22} 침투수와 함께 용탈되거나 암모니아가스로서 휘산되는 비율을 높게 하는 것으로 생각된다. 따라서 이양전에 시비한 후에는 무담수상태로 관리하는 것이 식물이 이용하는 무기태질소의 함량이 높아 더 유리한 물관리방법으로 판단된다. 그러나 밭의 경우 요소는 낮은 온도에서도 암모니아태질소로 변하고¹⁰ 바로 질산태질소로 변환되기 때문에 비가 오거나 灌溉를 하게 되면 溶脫에 의한 손실량이 많고^{14,29}, 그후 환원상태로 되면 탈질되는 비

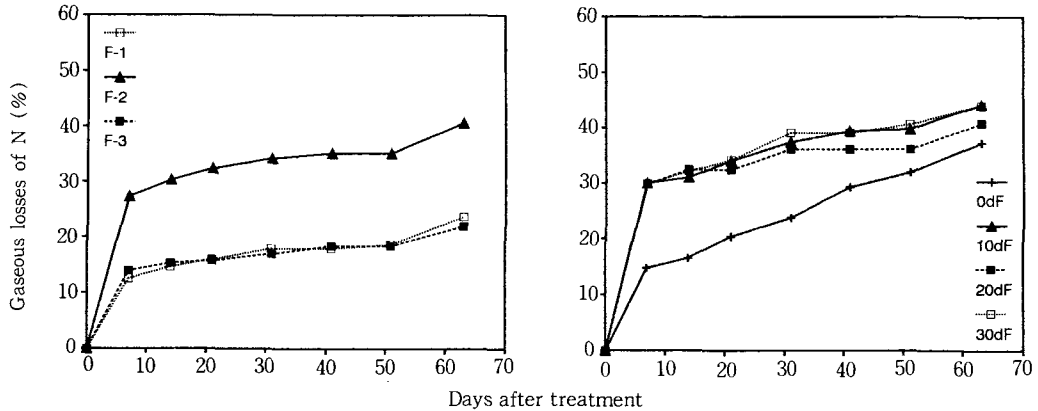


Fig. 4. Time-course changes in the ratio of gaseous losses of nitrogen to applied nitrogen. Abbreviations are the same as in Fig. 1.

율이 많다¹⁰⁾고 하였으나 본 실험에서는 질산태 질소로 변환된 비율도 낮고, 용탈되는 양도 적은 것으로 나타나 이에 대해서는 좀더 연구가 필요하리라 생각된다.

4. 窒素의 溶脫

사용된 요소는 토양에 흡착이 잘 안되며 기온이 10℃일때는 1~2주, 30℃에서는 2~3일이면 가수분해되어 탄산암모늄으로 변환되고, 토양수분이 포장용수량 이내일 때 가장 잘 이루어지고, 이로 인해 비료 주변 토양의 pH는 일시적으로上昇하게 된다^{2,19,24,25)}. 사양토 토양이나 CEC가 낮고 침투율이 높은 토양에서는 요소의 형태로 용탈되기도 하

며, 토양에 흡착이 안된 암모니아태 질소도 그대로 용탈되기도 한다^{12,13,23,25)}. 산화상태인 발의 경우 사용한 요소는 암모니아태로 가수분해된 다음 산화되어 질산태질소로 변하며, 관개를 하거나 비가 오게 되면 질산태 질소로 용탈된다^{5,14,29)}. 그림 3은 침투수에 의해 용탈된 무기태 질소의 사용질소에 대한 비율을 累積적으로 나타낸 그림이다. 비종별로 용탈된 무기태 질소의 비율을 보면 F-1비료의 용탈손실률이 처리직후부터 가장 컸고, F-3는 F-1과 비슷한 경향을 보였다. F-2비료는 두 비료보다 용탈비율이 적었고 시일이 경과할수록 그 차이는 커졌다. 처리 후 63일까지 용탈손실량은 F-1은 51.3%, F-2는 32.1%, F-3는 48.1%에 달하였다.

Table 3. Budget of applied-N at 112days after treatment(71days after transplanting) by fertilizers and water management methods(WMM)

Treatment [@]		Applied -N	Shoot dry wt.	Shoot N uptake	Total-N loss	Gaseous loss	Leaching loss
(mgN/pot)							
Fert.	Non	0	1.3	19.1	255.9	245.8	10.1
	F-1	1800	16.5	417.2	1257.8	704.0	553.8
	F-2	1800	16.0	445.2	1104.8	767.2	337.6
	F-3	1800	17.5	493.8	931.2	419.1	512.1
WMM	0dF	1350	15.1	460.1	564.9	564.9	0.0
	10dF	1350	14.0	344.6	905.4	631.1	274.3
	20dF	1350	11.3	284.4	1115.6	774.8	340.8
	30dF	1350	11.1	286.2	1088.8	685.7	403.1

@ Abbreviations are the same as in Fig.1.

* Gaseous loss = Total-N loss - Leaching loss

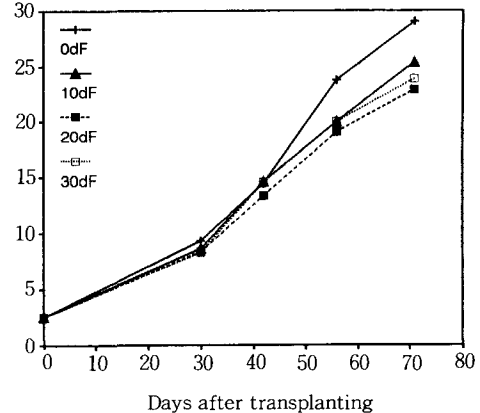
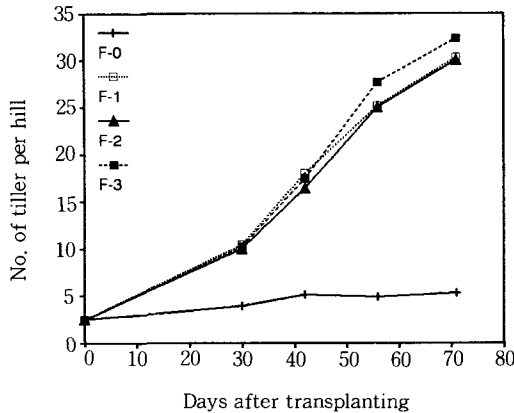


Fig. 5. Time-course changes in number of tillers per hill as affected by fertilizers and water management. Abbreviations are the same as in Fig. 1.

물관리 방법에 따른 용탈된 질소의 비율은 담수처리 후 21일간 급격히 증가한 후 완만히 증가하였고, 담수기간이 길수록 용탈에 의한 손실율이 높아져 처리 후 63일까지 10dF, 20dF, 30dF에서 각각 29.8, 32.7, 35.8%였고, 무담수처리의 경우에는 담수를 개시한 직후부터 담수처리를 한 경우보다는 다소 높은 비율로 침투수에 의해 용탈되었으나 처리 후 63일까지 25.7%가 용탈되었다. 따라서 무담수 상태에서는 질산태 질소로 산화되는 것은 많지 않고 탈질로 손실되는 양도 많지 않은 것으로 판단된다⁴⁾. 그러나 밭의 경우 요소로 사용한 질소는 가수분해되고 산화되어 질산태 질소로 용탈손실량이 매우 많은 것으로 보고되고 있는데 본 연구에서 용탈손실된 질소는 대부분 암모니아태 질소 온도가 낮고³⁾, 토양의 양이온 置換 容量이 낮아서 요소가 가수분해되기 전에 용탈된 것과 암모니아태 질소가 토양에 흡착되지 못한 것들이 그대로 침투수로 용탈된 것으로 판단된다^{2,16,24)}. 류 등²⁴⁾은 요소로 사용된 질소는 담수초기에는 요소의 형태로 그대로 용탈되는 비율이 26.9%나 되고 나머지는 암모니아태질소로 용탈된다고 하였고, 류등²³⁾도 담수상태에 요소로 사용한 경우 질산태 질소는 검출되지 않았고 대부분 암모니아태질소로 용탈된다고 보고한 바 있다.

5. 窒素의 揮散과 脫窒

논에서 尿素로 사용한 질소는 암모니아로 휘산되는 양이 매우 많은데, 시용시기, 시비방법, 土壤溫度, pH, CEC, 암모니움농도, 토양수분함량, 風速, 비료의 형태 등에 따라 다르다^{1,5,6,10,25)}. 이때 암

모니아 가스로 손실되는 비율은 대개 3-60%에 이른다고 보고되고 있다^{6,9,19,26,28)}. 한편 탈질에 의한 손실율은 연구자에 따라 매우 다른데^{5,15,26,30)}, 논에서는 1%도 채 안된다고 보고되고 있다^{4,25)}.

그림 4는 각 기간 동안 전질소의 감소량에서 침투수에 의해 용탈된 질소량을 뺀 것을 대기중으로 휘산되거나 탈질된 것으로 假定하고¹⁾ 이들의 시비질소에 대한 비율을 누적적으로 나타낸 것이다. 시비질소에 대한 손실비율만을 구하기 위하여 무비구에서 손실된 것을 제하고 계산하였다. 비중에 따라 대기중으로 손실된 비율을 보면 모든 비료가 담수직후 7일간에 기체로 손실된 비율이 컸으며 그 이후에는 모든 비료가 낮은 비율로 손실되는 것으로 나타났다. 처리 후 63일간 시용질소에 대한 가스로 손실된 비율은 F-1은 23.8%, F-2는 40.6%, F-3는 21.9%로 F-2비료의 손실율이 매우 높았다. 이와 같이 F-2비료의 손실율이 큰 것은 관개수의 pH가 7.6으로 매우 높고, 담수기간이 길수록 pH가 더 높아져서 암모니아의 휘산이 더 많이 일어난 것으로 판단된다^{12,13,25)}. 물관리 방법에 따른 氣體로 損失된 比率을 보면 담수처리한 경우, 담수처리 직후 7일 이내에 기체에 의한 손실이 매우 컸고 그 후 증가율은 크지 않았으며, 20일 담수처리시는 40.8%로 10일처리의 44.2%, 계속담수처리시는 44.1%보다 손실률이 적은 경향이였다. 무담수 처리의 경우에도 처리 7일간 손실율이 가장 컸고, 그 후에는 담수처리구보다 더 높은 비율로 지속적으로 손실되었으나^{28,29)} 담수처리한 것보다는 손실율이 낮은 37.3%였으며 담수 개시후에는 약간 손실율이 증가하는 경향이였으나 큰 차이는 없었다. 가

스로 손실되는 비율은 灌水深에 따라서도 다른데^{4,8,26)}, 전층시비 후 담수하지 않은 경우 휘산율은 11%정도이며, 5cm로 담수하면 42%정도가 휘산으로 손실되었고, 암모니아 휘산량이 최대인 수분함량은 포화직전의 토양에서 발생하며 초기수분함량이 많을수록 휘산량이 많아서, 담수표면에 사용하면 7일간에 28-30%나 휘산되므로⁵⁾ 건답상태에서 시비하고 全層施肥하는 것이 손실을 줄일 수 있다는 보고^{6,7)}도 있다. 따라서 시비하는 시기에 요소의 분해시기를 늦추는 것이 암모니아로 휘산되는 양을 줄일 수 있을 것으로 생각된다^{6,30)}.

6. 分藥數

肥種과 물관리 방법에 따른 벼의 生長效果를 파악하기 위하여 30일간은 물관리 방법과 同一하게 관리를 하고 그후에는 灌溉만 하면서 동진벼를 이앙하여 분얼의 경시적인 변화를 나타낸 것이 그림 6이다. 이앙 후 42일까지는 비종간에 차이가 없었으나 이앙후 56일부터는 F-3가 다른 두비료의 분얼수보다 많았고 F-1과 F-2비료와는 차이가 없었다. 물관리 방법간에는 무담수처리의 경우에 담수 처리한 경우보다 더 많았는데 이앙 56일부터는 그 차이가 뚜렷하였다. 한편 담수기간별로는 큰 차이를 보이지 않았으나 20일담수처리의 경우 다소 적은 경향으로 질소의 총 손실량과 비슷한 경향이였다. 그런데 이러한 결과는 시비후 발상태와 논상태로 이앙전 20일부터 이앙직전까지 관리하고 이앙한 후 수량을 비교해 본 결과 이앙직전 논상태에서 시비한 경우 수량이 가장 많았고, 이앙 20일 전 시비후 발상태로 관리한 경우 가장 수량이 적어서 이앙 직전 논상태에서 시비하는 것이 가장 유리하다는 보고²⁰⁾와는 상반된다. 또한 지금까지 많은 경우 발상태로 관리한 후 관개하면 질산태 질소로 용탈되어 담수 상태로 방치한 경우보다 질소 손실이 더 많다는 보고^{14,25)}와도 相反된다. 그러나 본 실험에서는 無灌水處理의 경우 土壤水分이 16.7%로 포장용수량의 42%정도에 지나지 않아 요소의 가수분해가 다소 遲延되어 암모니아의 휘산이 줄어든 것으로 판단되며²⁹⁾, 특히 화성복합비료인 F-1과 F-3비료는 더 늦어져 암모니아로 휘산된 것 뿐 아니라 질산태질소로 변환된 것도 적어 탈질된 것이 그리 많지 않았기 때문으로 판단된다. 더구나 砂壤土이면서 CEC가 낮아 침투수를 채취한 양이 많을수록 溶脫된 질소의 양이 증가하여 무담수처리에서 殘存 無機態窒素量이 많았기 때

문에 분얼수가 더 증가한 것으로 생각된다.

7. 窒素의 利用效率

사용한 질소의 이용효율을 계산하기 위하여 벼의 지상부가 吸收한 질소의 양, 30일간 침투수에 의해 溶脫된 질소의 양을 정량하였고, 시험토양의 전질소함량과 시용질소의 양을 합한 것에서 실험 끝에 토양 전질소함량을 뺀 것을 總窒素損失量으로 하였으며, 총질소손실량에서 용탈손실량을 뺀 것을 대기중으로 휘산되거나 탈질된 것으로 推定하여 나타낸 것이 표 3이다. 벼의 지상부가 흡수한 질소의 양은 이앙 후 42일, 56일, 71일에 각각 정량한 전질소 함량과 乾物重을 조사하여 구하였다. 이것을 비종별로 비교해 보면 F-3비료가 흡수한 질소량의 시용질소에 대한 비율은 27.4%로 가장 많았고 F-1은 23.2%, F-2는 24.7%였는데, 건물중은 F-2비료가 가장 적었음에도 질소흡수량은 F-1보다 많았는데 그 이유는 F-1의 경우 후기에 벼 지상부 전질소함량이 낮았기 때문이었다. 한편 물관리 방법에 따른 질소 흡수량은 무담수 처리한 경우 34.1%로 가장 많이 흡수하였고, 10dF는 25.5%로 그 다음이었으며 20dF와 30dF에서는 각각 21.1%와 21.2%로 그 차이가 없었다. 總窒素損失量은 질소흡수량과 반대로 F-3 < F-2 < F-1 순으로 적었는데, F-1의 경우 浸透水로 溶脫된 질소의 양이 가장 많았고 대기중으로 손실된 양도 비교적 많았기 때문이며 F-2는 침투수에 의해 용탈된 양은 가장 적었으나 대기중으로 揮散되거나 脫窒된 量이 가장 많았기 때문에 총질소손실량도 많았다. 이것은 F-2비료의 경우 3요소를 配合한 비료로 요소의 가수분해가 빨라 쉽게 암모니아태질소로 변하고 또한 pH를 가장 높게 하여 암모니아로 휘산된 양이 특히 많았던 것으로 생각되며 F-1비료는 화성비료이기는 하나 전작용 복합비료로 담수처리에 의해 쉽게 용해되면서 가수분해되어 그대로 용탈되었기 때문으로 생각된다. 특히 灌溉水로 이용한 수도물의 pH가 7.6이나 되는 알칼리성으로 암모니아로의 휘산을 促進하고 비료의 가수분해 및 담수가 pH를 더욱 상승시켜 손실량이 더 증가한 것으로 판단된다^{6,8,25,26)}. 한편 물관리 방법에 따른 총 손실량은 무담수처리에서 가장 적었고 10일 담수처리가 그 다음이며 20일, 30일 담수 처리시에는 가장 많았으나 두 처리간 차이는 없었다. 그것은 20일 담수처리의 경우 대기중으로 손실된 양이 가장 많았기 때문이며 30일 담수처리의

경우는 대기중으로 손실된 양은 적었으나 용탈된 양이 많았기 때문이었다. De Datta 등^{5,8)}은 전층 시비후 물이 없는 상태가 수심 5cm보다 휘산량이 더 적어 벼에 의한 질소이용율도 증가하였다고 하였으며, Nishio 등¹⁸⁾은 밭과 논상태에서 ¹⁵N평형을 이용한 N의 변환을 조사한 연구에서 이앙 52일째 벼가 흡수한 것은 밭상태가 논상태보다 많았고, 토양중에 남아있는 것은 논상태에서 많았으나 ¹⁵N 손실률은 논상태에서 더 컸다고 보고한 바 있어서 이에 대한 검토가 더 진행되어야 할 것으로 생각된다.

摘 要

移秧 1個月前 시비 후 물관리방법에 따른 窒素의 動態 및 利用效率를 비종별로 검토하고자 복비노적인 13-10-11(F-1), 수도기비용복합비료인 21-17-17(F-2), 벼복합비료인 15-10-10(F-3)를 供示하여, 30일간 無灌水(0dF), 10일 담수한 다음 20일 방치(10dF), 20일 담수한 다음 10일 방치(20dF), 30일 담수(30dF)하는 처리를 하였으며 시비후 30일부터는 모든 처리에 계속 담수를 하는 방법으로 물관리를 하면서 浸透水로 溶脫된 질소량, 토양의 무기태질소량을 定量하였고, 대기중으로 손실된 질소량을 推定하였다. 담수기간 중 관개수의 浸透率은 2.5mm/日로 하였다. 벼의 窒素利用效率는 시비후 40일에 移秧하고 灌水狀態에서 벼를 栽培하여 이앙후 72일에 評價하였다.

1. 침투수의 pH는 灌水期間이 길수록 상승하였으며, F-2에서 가장 높았고, F-1과 F-3간에는 차이가 없었다.
2. F-1의 토양중 전질소함량은 初期에는 완만히 감소하였으나 持續적으로 감소하였고, F-2와 F-3는 초기에 급속히 감소한 후 완만히 감소하였으며, 담수처리기간이 길수록 전질소 함량은 빨리 감소하였다.
3. 시비 63일 후에 토양에 남아 있는 무기태질소의 施用窒素에 대한 비율은 F-1, F-2, F-3에서 각각 23, 29, 29.1%였고, 무담수처리는 45.0%, 10dF, 20dF, 30dF에서는 각각 26.6, 24.8, 20.3%로 담수처리기간이 짧을수록 높았다.
4. 시비후 63일동안 침투수로 溶脫된 질소의 시용질소에 대한 비율은 F-1, F-2, F-3에서 각각 51.3, 32.1, 48.1%였으며, 담수직후 급격히 流失되었고, 0dF, 10dF, 20dF, 30dF에서 각

각 25.7, 29.8, 32.7, 35.8%로 담수기간이 길수록 높았다.

5. 施肥한 다음 벼 이앙 72일후까지 시용질소의 손실량은 F-1>F-2>F-3의 순으로 많았는데, F-1은 침투수에 의한 손실이 가장 많았고 휘산에 의한 손실도 많았으며 F-2는 휘산에 의한 손실이 특히 많았기 때문이었다.
6. 施肥한 다음 벼 이앙 72일후까지 물관리 방법에 따른 시용질소의 손실량은 20dF≥30dF>10dF>0dF의 순으로 많았는데, 20dF는 揮散에 의한 손실이 가장 많았고 침투수에 의한 손실도 많았으며, 30dF는 침투수에 의한 질소의 손실이 가장 많았기 때문이었다.
7. 이앙 후 72일간 벼 지상부에 의한 시용질소이용율은 F-1, F-2, F-3에서 각각 23.2, 24.7, 27.4%였고, 0dF, 10dF, 20dF, 30dF에서는 각각 34.1, 25.5, 21.1, 21.2%로 담수기간이 짧을수록 높았다.

引用文獻

1. 安藤豊, 壓子貞雄, 相澤喜美. 1985. 水田土壤中における穂肥窒素の舉動について. 日土肥誌 56(1):53-55.
2. Benson, N. and R.M. Barnette. 1938. Leaching studies with various sources of nitrogen. J. Am. Soc. Agron. 31:44-54.
3. Broadbent, F.E., G.N. Hill, and K.B. Tyler. 1958. Transformations and movement of urea in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 22: 303-307.
4. Brush, P.T. and E.R. Austin. 1988. Direct measurement of dinitrogen and nitrous oxide flux in flooded rice fields. Soil Sci. Soc. Am. J. 52:681-688.
5. De Datta, S.K. 1987. Nitrogen transformation process in relation to improved cultural practices for lowland rice. Plant Soil 100:47-69.
6. De Datta S.K. and R.J. Buresh. 1989. Integrated nitrogen management in irrigated rice. Advances in Soil Science, Vol 10:143-169.
7. De Datta, S.K., W.N. Obcemea, R.Y. Chen, J.C. Calabio, and R.C. Evaggelista. 1987.

- Effect of water depth on nitrogen use efficiency and nitrogen-15 balance in lowland rice. *Agron. J.* 79:210-215.
8. De Datta S.K., A.C.F. Trevitt, J.R. Freney, W.N. Obcemea, J.G. Real, and J.R. Simpson. 1989. Measuring nitrogen losses from lowland rice using bulk aerodynamic and nitrogen-15 balance methods. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:1275-1281.
 9. Fillery I.R.P., J.R. Simpson, and S.K. De Datta. 1984. Influence of field environment and fertilizer management on ammonia loss from flooded rice. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:914-920.
 10. Haynes. R., K.C. Cameron, K.M. Goh, and R.R. Sherlock. 1986. 5. Gaseous losses of nitrogen in "Mineral nitrogen in the plant-soil system". Academic press Inc. p483.
 11. 金浩植, 趙佰顯, 李春寧, 李殷雄, 沈相七, 柳順昊. 1966. 水稻에 대한 窒素質肥料의 效用(1報) 서울대 논문집(B) 17:1-6.
 12. 金光植, 金溶雄. 1983. 논土壤成分의 溶脫에 관한 研究. I. 논 土壤成分의 溶脫에 미치는 加理鹽의 影響. 韓土肥誌 16(1):36-41.
 13. 金光植, 金容雄. 1983. 논 土壤成分의 溶脫에 관한 研究. II. 논 土壤成分의 溶脫에 미치는 無機物의 影響. 韓土肥誌 16(1):162-167.
 14. 金石東. 1988. 尿素 施用條件에 따른 土壤의 窒素有效度變化와 秋播大麥의 窒素吸收 및 生育. 서울대 박사학위 논문 p87.
 15. Kjeldby, M., A.B. Erikson, and L. Holtan-hartwig. 1987. Direct measurement of dinitrogen evolution from soil using nitrogen-15 emission spectrometry. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:1275-1281.
 16. 孟道源, 趙載英, 李東碩. 1968. 窒素肥料의 形態와 施用深度가 窒素의 溶脫吸收 및 水稻 生育收量에 미치는 影響. 韓土肥誌 1(1): 43-60.
 17. Meyer M.L., P.R. Bloom, and J. Grava. 1989. Transformation and losses of applied nitrogen-15 labeled ammonium in a flooded organic soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:79-85.
 18. Nishio T., H. Sekiya, and K. Kogano. 1994. Transformation of fertilizer nitrogen in soil-plant system with special reference to comparison between submerged conditions and upland field conditions. *Soil Sci. Plant Nutr.* 40(1):1-8.
 19. 吳旺根, 吳才燮. 1981. 窒素質肥料가 施用된 湛水土壤에서의 암모니아의 揮散. 韓土肥誌 14(2): 70-75.
 20. 오왕근, 박준규. 1989. 벼다수확을 위한 논토양과 시비. 372-373 가리연구회 p 465.
 21. 朴天緒, 朴俊奎, 金泳燮, 金元出, 孟道源. 1965. 湛水土壤狀態에 施用한 尿素窒素의 行方에 관한 研究. 農試研報 8(1):211-217
 22. Recous S., J.M. Machet, and B. Mary. 1992. The partitioning of fertilizer-N between soil and crop : Comparison of ammonium and nitrate applications. *Plant and Soil* 144:101-111.
 23. 柳寬植, 柳順昊, 宋寬哲. 1991. 灌溉水에 의한 施肥養分의 土壤中 行動에 관한 研究 1. 灌水量에 따른 養分移動. 韓土肥誌 24(2): 102-108.
 24. 柳順昊, 李相謨. 1988. 湛水土壤의 表面에 施用한 尿素의 行動에 관한 研究. 農試論文集 (農業產學協同篇) 31:201-206.
 25. Savant, N.K. and S.K. De Datta. 1982. Nitrogen transformations in wetland rice soils. *Advances in Agronomy Vol. 35* : 241-302.
 26. Simpson, J.R., J.R. Freney, R. Wetselaar, W. A. Muirhead, and R. Leuning. 1984. Transformations and losses of urea nitrogen after application to flooded rice. *Aust. J. Agric. Res.*, 35:189-200.
 27. 鳥山和伸, 石田博. 1987. 土壤溶液モニタ-法による水田土壤中のNH₄-N消失時期의 把握. 日土肥誌 58(6):747-749.
 28. Vlek, P.L.G. and L.T. Crawell. 1979. Effect of nitrogen source and management on ammonia volatilization losses from flooded rice-soil systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 34:352-358.
 29. Volk, G.M. 1966. Efficiency of urea as affected by method of application, soil moisture and lime. *Agron. J.* 58:249-252.
 30. 山室成一. 1986. 表層および全層施肥 NH₄-N と土壤無機化窒素의 有機化, 脫窒および水稻による吸收. 日土肥誌 57(1):13-22.