

벼 乾畚直播 栽培에서 基肥窒素의 土層間 分布와 溶脫

韓 相 準* · 李 浩 鎮*

Distribution and Leaching of Basal Nitrogen in Direct Seeding Rice on Dry Paddy

Sang Jun Han* and Ho Jin Lee*

ABSTRACT: Urea, which is the major nitrogenous fertilizer used in Korea, has been used inefficiently in direct-seeding on dry soil by farmers.

This study was conducted to investigate changes in concentrations of basal N within soil layers and its loss during early stage of rice growth. Urea fertilizer was applied in the rates of 7, 5.25, 3.5, 1.75, 0kg-N/10a under direct-seeded rice in dry paddy soil. The concentrations of ammonium and nitrate were determined in soil samples with different depths during period from seeding to the 3rd leaf stage. Furthermore, N leaching was measured in lysimeter designed with pot in greenhouse.

NH₄⁺ and NO₃⁻ adsorption by soil increased with increasing concentration of added urea and decreased as deeper in soil layers. NH₄⁺ concentration reached its peak at 7 days after urea application(DAA) and disappeared almostly at 14 DAA. NO₃⁻ reached its peak at 10 DAA and decreased slowly until 14 DAA. NO₃⁻ N leaching started next day after urea application and completed until 11 DAA. We concluded that most of basal N applied to direct-seeded paddy was lost by leaching and not useful for rice plant which was in stage of germination. It is urgent need to develop new nitrogen application method for direct-seeding rice on dry soil.

Key words: Ammonium, Distribution, Rice, Leaching, Direct seeding, Dry paddy, Nitrate, Soil, Fertilizer application, Change.

緒 言

최근 재배면적이 늘고 있는 직파재배에서 아직 까지 施肥法의 표준이 확립되어 있지는 않다. 그래서 재배농민에 따라서는 다양한 시비법이 시도 되고 있지만 대부분의 농민은 이앙재배의 질소시비법에 준한 기비중심이 보편적이다. 벼직파에 관한 몇 건의 연구보고서에서 질소시비 추천 모델들이 보고되고 있다.

토양에는 鑛物, 生物 및 大氣로 부터 由來하는 많은 양의 질소가 존재한다. 환경적 측면에서 보면 토양 질소는 다량의 질소가 부적당한 장소에 부적당한 형태로 존재하는 것이 문제가 된다. 또한 이것은 農業收支面에서도 적잖은 손실이 아닐 수 없다. 따라서 시비를 통해 공급된 질소 화합물들이 토양의 조건에 따라 토양에서 어떻게 행동하며 또 이들이 어떤 형태로 토양으로 부터 주위의 환경으로 이동하는가를 定量的으로 밝히는 것은 중요한 연구과제이다. 토양단층내 질소의 행동에 관한 정량적인 정보는 植物營養 및 농업수지 그리

*서울대학교 농업생명과학대학(Coll. of Agric. & Life Sci., Seoul Nat'l Univ., Suwon 441-744, Korea)

〈'97. 9. 1 接受〉

고 환경오염의 측면에서 유용한 자료가 될 수 있다.

현재 농민들이 가장 많이 사용하는 질소질 비료는 尿素로서, 토양 표면에 사용되면 요소분해효소인 urease의 작용에 의해 加水分解되고 생성된 암모니아태 질소는 그대로 또는 질산화 작용에 의하여 산화되어 질산태 질소의 형태로 식물에 吸收 이용된다.^{3,6,7)} 한편 토양의 조건에 따라서 요소의 분해산물인 암모니아태 질소는 기체로서 휘산되기도 하고, 질산태 질소는 下向 이동하는 물과 함께 용탈되거나 탈질작용에 의하여 손실되기도 하므로 논에 시용한 요소의 비 흡수이용률은 30~40% 정도에 불과한 것으로 알려져 있다.^{2,5)}

요소를 시용할 때 논을 갈아 토양속에 섞어주면 빠르게 가수분해되어 암모니아태 질소의 형태로 토양에 흡착됨으로 쉽게 손실되지 않는 것으로 알려져 있다.^{9,12)} 그러나 우리나라의 비의 이양시기와 같은 낮은 온도에서는 다량 시용된 요소의 일부분이 미처 분해되지 못하고 湛水狀態에서의 포장용수 및 건답상태에서의 집중호우 등에 의해 많은 양이 유출 또는 용탈수와 함께 흘러 나갈 수 있고, 또 산화 환원층의 존재하에서는 질산태 질소로 전환된 후 용탈될 가능성도 있다.^{4,10,11,13)}

최근 연구 보고된 자료에 의하면 대부분의 농가에서 직파재배에서는 移秧栽培보다 전 생육기간 사용되는 질소질 비료의 양이 20~30kg-N/ha 정도 많은 것으로 나타났다. 한편 基肥의 비중은 이양의 50%에서 30% 정도로 낮아진 것으로 나타났다지만 3엽기와 5엽기에 50% 정도를 사용하는 것으로 보고되었다.

본 연구에서는 직파재배시 논에 시용된 요소비료가 수질생태계로 유출되어 환경오염원이 되는

것을 방지하고 질소비료의 비 이용효율을 높여 시비량 절감 효과를 얻고자 질소비료의 손실이 가장 우려되는 基肥를 여러 수준으로 節肥처리하여 토층별 분포상태를 추적하고 그 효과를 평가하였다.

材料 및 方法

本 實驗은 서울대학교 농업생명과학대학 부속 농장 답작포장에서 1995년에 수행하였다. 공시품종으로 一般系(Japonica)인 화성벼를 이용하였고, 乾畚直播의 일반적인 재배방법에 의해 이루어졌다. 건답직파의 경우 아직까지 확실히 권장되는 시비법이 마련되지 않은 관계로 移秧栽培의 일반적인 시비량인 N : P : K=140 : 80 : 90 (kg/ha)에 준하여 처리하였다. 한편 본 실험에 사용된 공시토양은 砂質性 토양으로 토심이 깊어 질수록 모래의 양이 많아 물빠짐이 심했다.

실험구는 34.4m²(8m×4.3m)의 크기로, 트랙터에 의한 경운 설토 후 독을 만들어 처리구간 물의 이동이 없도록 구분하였다.

1. 乾畚直播區의 窒素 基肥處理

건답직파구는 5월 17일 碎土된 토양에 기비를 시용하고 충분히 섞어 作土層 전체에 걸쳐 분포되도록 하였다. 미리 준비된 종자는 스포탁 2000배 희석용액에 1일간 沈漬 후 조파한 후 종자가 수분을 충분히 흡수할 수 있도록 하기 위하여 포장에 물이 고일 정도까지 관개를 하였다.

건답직파재배의 경우 아직 권장되는 시비량은 없으나 대부분의 경우 질소 비료(요소기준) 전 체량에 대해 20~30% 정도를 기비로 시용하는

Table 1. Amount of N fertilizer treatment in transplanting and direct seeding on dry soil

Treatment (kg-Basal-N/ha)	Basal N application (kg/ha)	Top dressing(kg/ha)			Total (kg/ha)
		1st*	2nd	3rd	
T1	70	42	14	14	140
T2	52.5	42	14	14	122.5
T3	35	42	14	14	105
T4	17.5	42	14	14	87.5
T5	0	42	14	14	70

*1st top dressing was applied at June 13, 2nd at Aug. 27 and 3rd at Sep. 15.

것으로 알려져 있다. 그러나 본 실험에서는 관행의 移秧栽培에 준하여 시비를 하였고, 그 처리수준은 표 1과 같다. 추비는 1차로 3엽기(6월 13일), 2차는 출수기(8월 27일), 3차로 등숙기때 사용하였다. 이 후의 모든 재배는 농촌진흥청 수도 표준재배법에 준하였다.

2. 窒素 溶脫量 測定

포장조건에서 溶脫水에 포함된 질소의 함량을 측정하기가 용이하지 않으므로 실내에서 포트실험으로 대항하였다. 와그너 포트(1/2,000a)의 바닥 5cm에는 자갈과 모래를 넣고 그 위에 토목용 섬유(부직포)를 덮은 후 포장과 동일한 토양을 25cm 깊이로 담았다. 토양을 포장 조건과 흡사하게 만들기 위해 1개월간 담수상태로 유지하였다. 시비처리는 앞에서의 포장조건과 동일하게 하였으며, 시비 후 손으로 뒤섞어 포트 전체에 고루 퍼지게 하였다. 미리 육묘된 어린묘(엽령 2.5)를 이양한 후 감수심을 20mm/day로 하여 담수심을 항상 4cm로 유지하였다. 담수상태의 실내포트 하부 배출구를 통하여 용탈수를 채취하였다가 포함된 질소의 양을 분석하였다.

3. 土壤 試料 採取

건답직파구에서 사용된 요소의 토양내 동태를 조사하기 위하여 시비 당일부터 6월 13일까지 2~3일 간격으로 토양심도별로(0~10cm, 10~20cm, 20~30cm, 40~50cm) 직경 50mm의 토양채취기를 이용해 시료를 채취하였다. 토양 시료들을 0°C의 저온 저장고에서 보관하였다가 분석에 사용하였다.

4. 試料 分析

채취한 토양의 암모니아 농도는 indophenol blue 법¹⁾, 질산의 농도는 copperized cadmium법²⁾에 의하여 조사되었고, 토양수에 포함된 질소의 농도는 RQ flex(E. Merk 제조)를 이용하여 조사하였다.

結果 및 考察

1. NH₄⁺-N 농도

그림 1은 시비처리 후 토양의 NH₄-N의 농도를 토양 층위별로 나타낸 것이다. 각 처리구간 NH₄-N의 농도는 거의 비슷하게 증가하다 감소

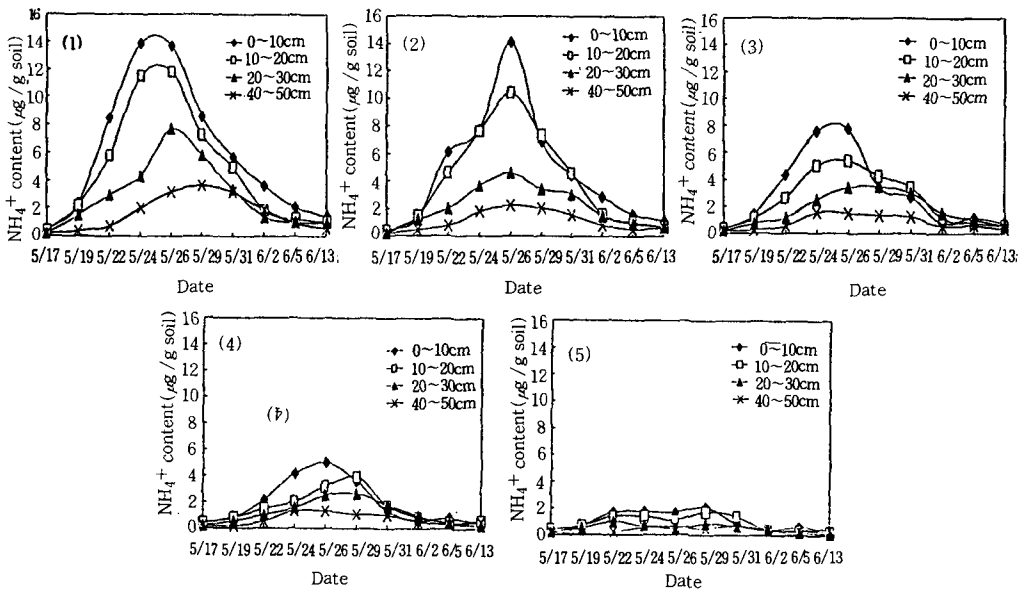


Fig. 1. Changes of NH₄⁺ content in soil layers under direct seeding on dry soil. ; (1) T1 (70kg-N/ha) (2) T2(52.5kg-N/ha) (3) T3(35kg-N/ha) (4) T4(17.5kg-N/ha) (5) T5(0kg-N/ha) basal-N application.

하는 경향을 보였다. 70kg-N/ha의 수준으로
 기비를 처리한 경우(그림 1의 (1)) 토양의 각 층
 위마다 시비처리 후 1주일 경까지 NH₄-N의 농도
 는 계속 증가하다 시비 후 10일을 전후로 하여 감
 소하는 형태로 나타났다. 토심이 깊어질수록 그
 양은 크게 줄고 있으나 무처리구(그림 1의 (5))
 에 비하면 토양 하층에도 많은 양의 암모니아 형
 태의 질소가 존재함을 볼 수 있었다.

이것은 시비 및 파종 후 포장에 관개한 관개수
 에 의해 표층(약 15cm 이내)에 분포하고 있던 요
 소가 점차 하향이동하는 토양수와 함께 지하로 스
 며 들어간 것으로 보인다. 이앙재배의 경우는 씨
 레질을 통해 포장에 굳어져 경반층이 생성되고 관
 개수의 하향이동이 크게 지연되나 건답과 같은 경
 우는 移秧栽培의 경우와는 다르게 포장의 관개수
 가 초기에 대부분 하향이동하게 되고, 더구나 본
 실험이 실행된 포장과 같은 사양토는 그 정도가
 특히 더 심했는데, 이로 인해 많은 양의 요소가 초
 기에 지하 30cm 이하의 하층으로 이동했을 가능
 성을 보여주고 있다. 포장상태에서 암모니아태 질
 소는 거의 이동하지 못하는 것으로 알려져 있는
 점을 감안한다면 이렇게 하향이동한 대부분의 암
 모니아태 질소는 질산태 질소로 전환되거나 탈질

되어 손실될 가능성을 높게 된다.

기비를 75%(52.5kg-N/ha), 50%(35kg-N
 /ha), 25%(17.5kg-N/ha)로 절비처리한 구
 에서의 토양중 NH₄-N의 농도는 그 경향에서
 70kg-N/ha의 수준으로 기비를 처리한 구에서
 와 비슷하며, 농도에서 최고치에 달하는 시기도
 거의 유사하였다. 특이할 만한 것은 6월 13일경
 (엽령 : 3엽기) 관개를 하고 추비를 사용했는데
 그 때의 토양중 암모니아태 질소의 농도가 기비처
 리 이전의 수준으로 낮아진 것이다. 즉 시비된 질
 소질 비료중 대부분이 어린 식물체가 흡수하기 이
 전에 이미 상당량 손실됐을 가능성을 보여주고 있
 다.

2. NO₃⁻-N 농도

그림 2는 기비처리 이후부터 최초 추비처리 이
 전까지 토양의 NO₃-N의 농도를 층위별로 조사한
 것이다.

NO₃-N의 농도는 앞에서의 NH₄-N의 농도변화
 와는 조금 다른 경향을 보였다. 시비처리 후
 NH₄-N의 농도가 1주일에서 10일 경에 최고치에
 달한 반면 NO₃-N의 농도는 10일 이후에나 최고치
 에 달했고, 그 후에도 NH₄-N에서와 같이 빠

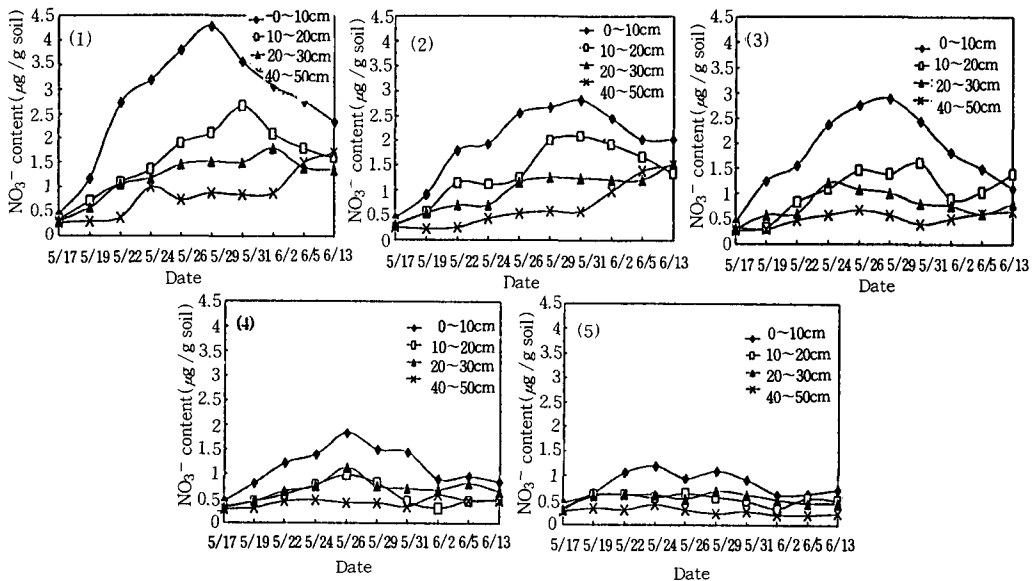


Fig. 2. Changes of NO₃⁻ content in soil layers under direct seeding on dry soil. (1) T1 (70kg-N/ha) (2) T2(52.5kg-N/ha) (3) T3(35kg-N/ha) (4) T4(17.5kg-N/ha) (5) T5(0kg-N/ha) basal-N application.

르게 감소하지 않았다. 한편 70kg-N/10a 수준의 기비처리구와 75%, 50%, 25%로 절비 처리한 구에는 그 농도에 있어서 처리구간에 뚜렷한 차이가 있었으나 3엽기경 추비를 시용한 시기에서는 모두 비슷한 정도로 존재하였다. 그러나 NH₄-N의 경우와는 다르게 6월 13일 경에도 상당량의 NO₃-N이 존재하며, 그 양은 70kg-N/10a > 75% > 50% > 25%의 순으로 나타났다. 암모니아태 질소와 질산태 질소의 최고 농도가 2~3일 경의 차이를 보이는 것은 기비로 처리한 요소가 암모니아태 질소로 전환된 후 토양에서 다시 질산태 질소로 전환되는 기간으로 보여지며, 그 진행은 그림 1과 그림 2에서 나타난 것처럼 6월 13일 경에 거의 완성되는 것으로 나타났다.

토양 층위별로 보면 0~10cm의 표층에는 시비 후 13일을 전후로 최고치에 달하나, 추비 시용 당일인 6월 13일 경에는 토양깊이 간에 존재하는 질산태 질소의 농도 차이가 뚜렷하지 않았으며 무비구에 비해서는 약 3배 정도의 양이 잔존하고 있었다.

그러나, 본 실험에서는 조사되지 못했지만, 조사된 자료로 보아 6월 13일 추비를 시용하기 전 포장에 관한 관개수에 의해 잔존하는 많은 양의 질산태 질소가 추가적으로 용탈될 가능성이 있다.

3 용탈수에 포함된 질소의 농도

포장상태에서 포장수의 하향이동과 함께 하향 이동하는 질산태 질소의 양을 정량적으로 조사하기가 쉽지 않아, 그와 비슷한 조건의 토양으로 침류계(Lysimeter)를 제작하여 8월 말과 9월 초에 두 차례에 걸쳐 3반복으로 온실에서 용탈수에 포

함된 질산태 질소의 농도를 조사하였다. 실험기간 동안의 평균온도는 25~30℃/18~23℃(day/night)로 다소 높은 편이었으며 상대습도는 70~85%였다. 본 실험을 위하여 포트는 1개월 전에 미리 만들어져 담수상태로 유지하였고 시비와 함께 표면 썩레질을 하였다. 담수상태에서 감수심은 조사하는 위치마다 심한 변이가 있었으나 평균 감수심인 20mm을 기준으로 매일 그에 상당하는 토양수를 채취하였고, 토양수에 존재하는 질산태 질소의 양을 조사한 결과가 그림 3이다.

담수상태에서 전충시비 후 2일째부터 침출수에서 질산태 질소 농도가 급증하여 약 14일 이후에는 시비된 요소의 대부분이 질산태 질소의 형태로 용탈되는 것을 볼 수 있었다. 반면 암모니아태 질소의 양은 거의 측정할 수 없었는데 이는 오랜 담수기간(1개월 이상) 동안에 포트 내의 토양이 산화-환원층으로 완전한 구분이 이루어져 있고, 산화층에 있는 대부분의 요소는 온실의 높은 온도와 안정된 담수 상태에서 쉽게 가수분해되고 또한 쉽게 질산화되어 하향 이동하기 때문이라고 여겨진다. 더구나 침류계의 바닥에 설치한 토목용 섬유가 음전하를 하고 있어서 상대적으로 양전하를 띠고 있는 암모니아는 그 곳을 통과하기가 어려웠을 것으로 생각된다.

건담직파 포장상태에서 시비 질소성분이 40~50cm 깊이의 하층토양으로 이동하여 존재하는 암모니아의 농도와 질산의 농도를 추정하여 본 것이 그림 4와 그림 5다.

작토층 아래의 토양층에 존재하는 암모니아태 질소가 질산태로 전환되어 모두 용탈된다고 가정하면 그림 4에서와 같이 70kg-N/ha의 수준으로 기비를 시용한 경우 17.5kg-N/ha(25%)로 시비한 처리구에 비해 2배 이상이 용탈될 위험성이 있다. 또한 그림 5에서처럼 질산태 질소도 70kg-N/ha의 수준으로 기비를 시용한 처리구에 비해 무려 2배 이상의 양이 존재했음을 알 수 있다.

질산태 질소는 수용성으로 이양구와 달리 썩레질을 하지 않은 건담포장은 경반층이 발달되지 않아, 많은 양이 토양의 하부로 중력수와 함께 이

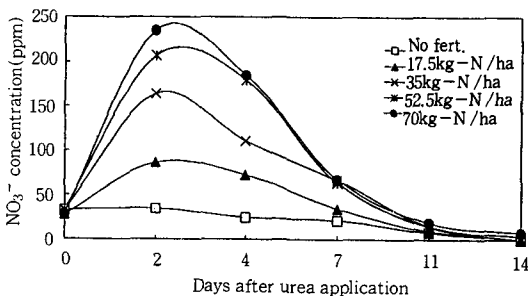


Fig. 3. Changes in NO₃⁻ concentration in leaching water.

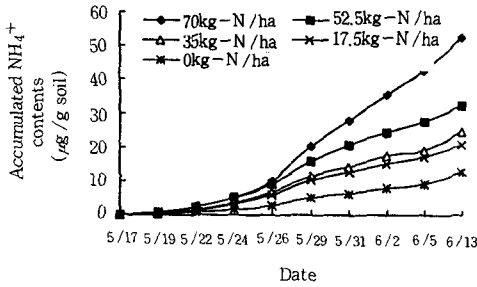


Fig. 4. Changes of accumulated ammonium contents at 40~50cm soil depth with different basal application level under direct seeding on dry soil.

동할 가능성이 높아진다. 따라서 토양수가 상부로 이동하지 않는 한 이러한 질소의 대부분은 비가 이용하기 어려울 뿐더러 관개를 하는 시기에는 거의 대부분 토양수에 의해 하부로 용탈될 위험성이 있다.

우리 나라와 같이 생육초기의 온도가 낮은 경우는 요소가 미처 암모니아태로 전환되기 이전에 포장에 관개한 토양수에 의해 용탈될 위험은 더욱 높을 것으로 생각된다.

본 연구의 결과로 미루어 볼 때 건답직파시 파종 후 발아 출현에 소요되는 기간이 2주 이상이 소요되므로 기비로 사용된 질소는 유식물에 거의 이용되지 못하고 작토층 아래로 용탈되거나 후일에 토양에 이용될 수 없는 형태로 존재하게 될 것이다. 따라서 건답직파시 기비로 질소사용하는 것은 별 의미가 없으며 소량 시비나 추비로 전용하는 것이 필요하다.

摘 要

본 실험은 건답직파재배에서 전체 시비량의 50%를 차지하는 기비의 양을 줄이므로 인해 나타나는 토양내 질소의 농도변화를 알아보기 위하여 기비의 사용량을 이앙재배의 일반적인 시비량인 70kg-N/10a에 대해 75%, 50%, 25%, 무시용구로 하여 각각의 토양 내의 암모니아태 질소, 질

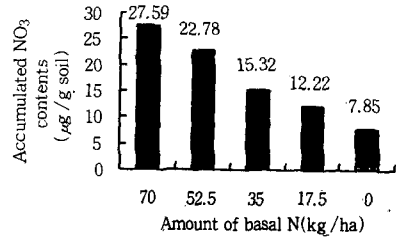


Fig. 5. Comparison of accumulated NO₃⁻ contents in 40~50cm soil depth with different application level under direct seeding on dry soil at June 13.

산태 질소의 처리 후 농도변화를 조사하였고 그 결과는 다음과 같았다.

1. 암모니아태 질소의 농도는 전체 시비량 140kg-N/ha의 50%를 기비로 사용한 처리구에 대해 75%, 50%, 25%, 0%의 수준으로 절비처리한 토양에서 기비의 사용량이 적을수록, 토심이 깊어질수록 낮아졌으며, 기비처리 후 27일이 경과한 후로는 모든 처리구에서 처리 전과 비슷한 양의 농도를 보였다.
2. 질산태 질소의 농도 또한 기비사용량이 적을수록, 토심이 깊어질수록 낮았다. 기비처리 후 27일 후에는 기비를 70kg-N/ha의 수준으로 시비한 토양에서는 기비를 주지 않은 토양보다 5배 정도 많은 양이 잔존하고 있었으며, 나머지 처리구는 처리 전의 농도보다는 다소 높았지만 처리 후 초기보다는 많은 양이 감소하였다.
3. Pot 실험을 통해 담수상태에서의 질산태 질소의 용탈량을 조사한 결과 시비 14일 후에는 질소시비량에 관계없이 거의 모든 양이 용탈되었다. (감수심 ≒ 20mm/일)
4. 40~50cm 깊이의 토양에 존재하는 암모니아의 농도와 질산의 농도를 누적시킨 결과를 통해 시비처리한 비료의 대부분은 중력수와 함께 계속해서 하향이동하는 것으로 보여지며 이들은 대부분 그대로 용탈된 것으로 보여진다.

LITERATURE CITED

1. Bremner J.M and Mulvaney C.S. 1982. Nitrogen-Total. PP. 595-624. In A. L. Page et al. (ed) Methods of soil analysis. Part 2. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
2. DeDatta S.K, Trevitt A.C.F, Freney J.R, Obcemea W.N, Real J.G and Simpson J. R. 1989. Measuring nitrogen losses from lowland rice using bulk aerodynamic and nitrogen-15 balance methods. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 1275-1281.
3. DeLaune R.D and Patrick W.H. Jr. 1970. Urea conversion to ammonia in waterlogged soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34: 603-607.
4. Fenn L.B and Richards. J. 1986. Ammonia loss from surface applied urea-acid products. Fert. Res. 9: 265-275.
5. _____ and Hossner L.R. 1985. Ammonia volatilization from ammonium or ammonium forming nitrogen fertilizers. Adv. Soil Sci. 1: 123-169.
6. Gould W.D, Cook F.D and Webster G.R. 1973. Factors affecting urea hydrolysis in several Alberta soils. Plant Soil 38: 393-401.
7. Hongprayoon C, Lindau C.W, Patrick W. H, Jr. Bouldin D.R and Reddy K.R. 1991. Urea transformations in flooded soil columns: I. Experimental results. Soil Sci. Soc. Am J. 55: 1130-1134.
8. Keeney D.R and Nelson D.W. 1982. Nitrogen-inorganic forms. p. 595-624. In A. L. Page et al. (ed) Methods of soil analysis. Part 2. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
9. Patric W.H and Reddy K.R. 1976. Fate of fertilizer nitrogen in a flooded rice soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 40: 678-681.
10. Patrick W.H, Jr. and Delaune R.D. 1972. Characterization of the oxidized and reduced zones in flooded soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 36: 573-576.
11. Reddy K.R and Patrick W.H, Jr. 1984. Nitrogen transformations and loss in flooded soils and sediments. Crit. Rev. Environ. Control 13: 273-309.
12. Savant N.K, James A.F and McClellan G. H. 1985. Effect of soil submergence on urea hydrolysis. Soil Sci 140: 81-88.
13. Vlek P.L.G and Carter M.C. 1983. The effect of soil environment and fertilizer modifications on the rate of urea hydrolysis. Soil Sci. 136: 56-63.