

영농기 필지논의 근역 영양물질 농도 변화 및 침투손실량

Changes of Nutrient Concentrations in Root Zone of a Paddy Plot and Nutrient losses via Infiltration during the Rice Cultivation Period

윤 광 식*, 조 재 영**, 최 진 규**
Yoon, Kwang-Sik, Cho, Jae-Young, Choi, Jin-Kyu,

손 재 권**, 한 국 현***, 김 영 주****, 최 진 용*****
Son, Jae-Gwon, Han, Kuk-Heon, Kim, Young-Joo Choi, Jin-Yong

Abstract

Changes of concentrations and losses of nutrient via infiltration from paddy plot during rice cultivation were monitored. The infiltrated water samples were collected in a ceramic porous cup which was buried at the depth of 30, 50, 70, and 90cm beneath the soil surface. The relationship between nitrogen and phosphorous concentrations surface flooding water and those in the infiltrated water were investigated.. The nitrate-N concentrations within infiltrated water were generally higher than those in surface flooding water. Ortho-P concentrations in infiltrated water were also higher than those observed in flooding water. The observed losses of total-N, ammonia-N, and nitrate-N via infiltration were between 8.98-11.90 kg/ha, 1.26-1.72 kg/ha, and 5.94-7.60 kg/ha during rice paddy cultivation. Meanwhile, the infiltrated total-P losses ranged between 0.036-0.048 kg/ha during the two cropping period.

I. 서 론

최근 화학비료의 보급과 그 사용량 증대로 인해 작물에 흡수되지 않고 용탈된 질산성질소가 일으키는 수질오염문제 즉, 질산성질소에 의한 지하수 오염과 하천·호수와 연못 등으로의 질소유출이 매우 중요한 환경문제로 대두되고 있다 (Kuroda and Tabuchi, 1996). 지하수에서 검출되는 대부분의 질산성질소가 경작농경지로부터 용탈된 질소원으로 부터 유래하

며, 질산성질소의 용탈은 강우강도가 클 때와 집약농업에서 그 함량이 증가하는 것으로 알려져 있다 (Rossi et al., 1991; Rosswall and Keith, 1984). 질산성질소는 혈액 내부에서 산소공급을 방해하는 물질로 유아들에게 청아증후군 (靑兒症候群, blue baby syndrome)으로 불리는 methemoglobinemia 병을 일으키는 물질로 알려져 있다 (Comly, 1945; Terence, 1975). 또한 질산성질소의 과량섭취는 아질산성질소와 함께 위 속에서 발암성물질인

* 전남대학교 농과대학(농업과학기술연구소)

** 전북대학교 농과대학(농업과학기술연구소)

*** 전남대학교 대학원

**** 전북대학교 대학원

***** Purdue Univ. Post-Doc

키워드 : 논, 침투수 수질, 질소, 인, 침투손실량

nitrosamine의 형성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다 (US National Research Council, 1978).

질산성질소에 의한 지하수 오염은 1960년대 미국 일리노이주 주변 우물에서 다량의 질산성 질소가 검출되어 수질기준을 넘어버린 사례가 최초이며, 그 원인은 질소비료 사용량의 증가에 의한 것이라고 하였다 (Behnke, 1975). 1970년대부터 질산성질소에 의한 지하수오염이 사회문제화 되어 미국, 캐나다, 동구를 포함한 대부분의 유럽 각지, 소련 및 중국에서 많은 연구가 진행되었는데, 농경지에서의 과다시비와 질산성질소의 용탈이 질산성질소에 의한 지하수오염을 가속화 시킬 수 있다는 결론에 도달하게 되었다 (Priddle et al., 1989; Kolenbrander, 1972; Briling, 1985).

일본에서도 오기나와와 구마모토 등에서 질산성질소에 의한 지하수오염이 보고되었다 (宮古島地下水水質保全對策協議會, 1990; 植木, 1986). 오기나와 지역 宮古島에서의 지하수오염의 주 요인은 사탕수수에 대한 시비와 생활배수의 과도한 토양처리에 의한 것으로, 관정수중 질산성질소 농도가 23년간 약 4배 정도 상승하였으며 지금도 여전히 수도원수의 질산성질소 농도의 증가가 나타나고 있다고 보고되고 있다. 구마모토 지역에서의 지하수오염의 주요 요인은 퇴적층 토양의 지력을 높이기 위한 과도한 퇴비의 사용, 뽕나무 밭이나 차밭에 대한 화학비료의 과다사용, 축산분뇨의 관리 허술, 생활하수의 지하침투라는 복합적 요인에 의한 것으로 최고농도 44.4 mg/L, 최저농도 0.31 mg/L, 평균치 10.9 mg/L 로 전체의 40.1%의 관정수에 있어 수도수질 기준치를 초과하고 있다.

한편, 오염된 지하수가 하천·호수와 연못에 유출된 경우, 폐쇄성수역 부영양화의 원인이 되기도 한다. 이것은 농경지에서의 질소유출과 밀접한 관계를 갖고 있는 문제이다. 농경지에서는 강우의 대부분이 일단은 지하에 침투하고 나서 유출되는 것으로 알려지고 있는데, 폐쇄

성수역 부영양화 문제의 원인이나 대책을 생각하는데 있어 지하수유출·중간유출의 오염특성을 해명하는 것은 매우 중요한 연구과제가 될 것이다 (Kuroda and Tabuchi, 1996). 최종대 등(2001)은 강원도 지역의 조사 결과 질소의 경우 지하수 수질과 인근하천의 수질과는 밀접한 관계가 있다고 보고한 바 있다.

본 연구는 실제 농민이 경작하는 상태에서 수도재배기간 동안 논물, 논토양 및 지하침투수중 각종 화학성분의 시기별 함량변화와 지하침투수에 의한 비료성분의 손실량을 계산하여 논토양에 시비되는 화학비료의 효율증대 및 농업환경관리의 기초자료를 얻고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시험포장

본 연구에 사용된 시험포장은 전라북도 진안군 마령면 평지리에 위치하고 있으며, 장 구획은 장변 100 m와 단변 50 m로서 면적은 5,000 m²이다. 시험기간은 1999년 5월 1일부터 10월 30일까지와 2000년 5월 1일부터 10월 30일까지로 하였다. 본 시험포장의 논토양은 지산통 (Jisan series)으로 논토양의 이화학적 특성은 Table 1에 나타나 있다. 시험포장에 설치된 시설로는 강수량 측정을 위한 우량계 1조, 관개수 유입량 측정을 위한 유량계 1조, 논에서 유출수량 측정을 위한 자기수위계 및 웨어시설 1조, 논에서 지하로 이동하는 영양물질의 양을 측정하기 위하여 간이 침투계와 토양용액 채취기 (IRROMETER, USA) 4조를 30, 50, 70, 90 cm의 깊이로 매설한 다음 내부를 진공상태로 유지하며 침투수 시료를 채취하였다.

2. 영농 현황

시험포장은 1차년도인 1999년의 경우 2000

년 5월 23일에 논갈이를 하고 담수를 시킨 후, 5월 25일에 재식거리 15 × 30 cm, 1주당 3본씩 기계이앙을 실시하였다. 2차년도에는 2000년 5월 22일에 논갈이를 하고 담수를 시킨 후, 6월 2일에 재식거리 15 × 30 cm, 1주당 3본씩 기계이앙을 실시하였다. 시험포장의 재배품종은 화선찰벼이다. 시험포장에서의 시비현황 및 영농활동과 관련된 내용은 Table 2에 나타내었다. 본 연구기간의 화학비료 시비량은 1차년도인 1999년의 경우 5월 22일에 모내기 기

비로 7.6 kg N/10a, 29 kg P₂O₅/10a 그리고 29 kg K₂O/10a를 전층시비 하였으며, 6월 15일에 분얼비로 2.8 kg N/10a을, 7월 30일에 수비로 1.8 kg N/10a을 각각 표층시비하였다. 2차년도에는 5월 20일에 모내기 기비로 8.4 kg N/10a, 3.1 kg P₂O₅/10a 그리고 3.1 kg K₂O/10a를 전층시비 하였으며, 6월 14일에 분얼비로 2.8 kg N/10a을, 7월 23일에 수비로 2.8 kg N/10 a을 각각 표층시비하였다.

Table 1. Physical and chemical properties of the test plot soil

Chemical properties		Particle size fraction(%)	
Organic matter(%)	2.15	Sand	29.5
pH(1:5)	5.81	Silt	55.3
Total-N(mg/kg)	856.47	Clay	15.2
Total-P(mg/kg)	246.34		
CEC(cmol ⁺ /kg)	10.54		
Exchangeable cations(cmol ⁺ /kg)			
Ca	4.35		
Mg	3.02		
Na	0.15		
K	0.45		

Table 2. Record of fertilization and agricultural practices

Date	Agricultural activity	Fertilization
Year 1 (1999)		
May 22	plowing and basal fertilization	76 kg N ha ⁻¹ , 29 kg P ₂₀₅ ha ⁻¹
May 23	puddling	
May 25	rice transplanting (15×30 cm, three seedlings)	
Jun 15	tillering fertilization	28 kg N ha ⁻¹
Jul 30	panicle fertilization	18 kg N ha ⁻¹
Oct 02	harvest	
Year 2 (2000)		
Mar 22	spring plowing	
May 20	plowing and basal fertilization	84 kg N ha ⁻¹ , 31 kg P ₂₀₅ ha ⁻¹
May 28	puddling	
Jun 02	rice transplanting (15×30 cm, three seedlings)	
Jun 14	tillering fertilization	28 kg N ha ⁻¹
Jul 23	panicle fertilization	28 kg N ha ⁻¹
Oct 10	harvest	

3. 시료채취 및 분석방법

논에서 지하침투 과정을 통한 질소와 인산의 지하로의 이동과정을 조사하기 위하여 논물시료, 침투수 시료 및 논토양 시료를 매 2주마다 주기적으로 채취하여 분석하였다. 논물 시료는 매 2주마다 시험포장의 3곳에서 채취한 다음 균일하게 혼합하여 4 °C 이하의 온도로 보관하면서 분석시료로 사용하였다. 침투수는 토양용액 채취관이 매설된 4지점에서 시료추출기를 이용하여 채취한 다음 혼합하여 4 °C 이하의 온도로 보관하면서 분석시료로 사용하였다. 토양시료는 시험포장의 4지점에서 표토 1 cm 정도를 제거한 다음 채취하여 풍건후 2 mm 체를 통과시켜 분석시료로 사용하였다.

논물과 침투수를 포함한 수질시료의 분석은 수질공정시험법(환경처, 1993)에 기준하였다. pH와 EC는 현장에서 기기(Orion Model 840)를 이용하여 직접 측정하였으며, 총질소와 암모니아성질소는 수질시료 100 mL를 취하여 각각 환원증류-킬달법과 중화적정법으로 분석하였다. 총인은 수질시료 100 mL를 취하여 25 mL로 농축한 다음 ascorbic acid reduction법에 기준하여 분석하였다. 질산성질소는 0.45 μm 이하의 유리섬유여지(GF/C)를 사용하여 여과한 다음 이온크로마토그래피(Sykam 4260, Germany)를 이용하여 분석하였다. 논토양 시료의 분석은 토양화학분석법(농촌진흥청, 1983)에 기준하였다. 토양 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 희석한 현탁액

에서 pH meter (TOA HM-20S)로 측정하였으며, 유기물은 walkley-black법, 총인은 vanado-molybdate법, 유효인산은 bray No. 2법으로 분석하였다. 질산성질소는 brucine법, 암모니아성질소와 총질소는 kjel-dahl법으로 측정하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 강수량과 침투수량

1999년 5월 1일부터 2000년 9월 30일까지 시험기간 동안 조사 대상지역에 내린 강수량과 강우 특성을 조사한 결과는 다음과 같다. 장마는 6월 20일에 시작하여 7월 20일에 종료되었는데, 약 30일로서 예년의 29일과 비슷한 경향이였다. 수도권 영농시기로 논에서 물의 유·출입이 많은 6, 7, 8월에 내린 강수량은 1999년의 경우 620 mm, 2000년의 경우 1,172 mm로 나타났다. 본 조사기간 동안의 강우특성은 9월에 약 233~302 mm의 강수량이 기록되었다는 점이다. 9월 중 강수량은 1990년부터 1996년까지의 예년 강수량의 약 200%를 나타내었다. 1999년과 2000년 영농기간 동안의 강수량은 각각 1,030, 1,214 mm를 나타내어 예년 강수량보다 높은 수준이었다(Fig. 1). 영농기간 동안의 총침투수량을 산정한 결과, 1999년 310 mm(5월 1일 ~ 9월 30일), 2000년 234 mm(5월 21일 ~ 9월 30일)로 나타났다(Fig. 2).

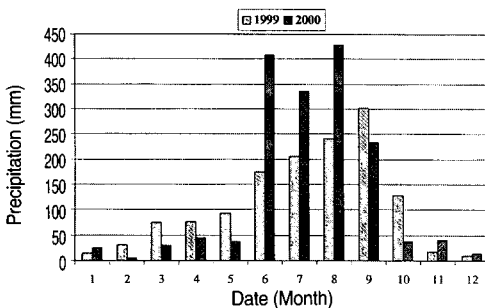


Fig. 1. Monthly precipitation

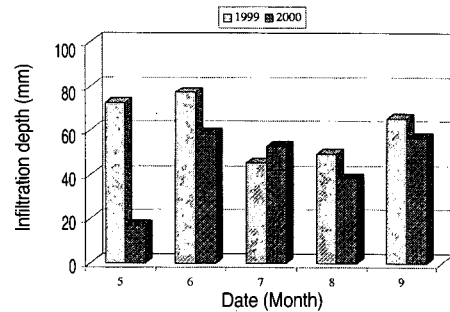


Fig. 2. Monthly infiltration

2. 논물 중 화학성분의 농도변화

수도작 영농시기인 1999년 5월 1일부터 9월 30일까지와 2000년 5월 1일부터 9월 30일까지 평균적으로 매 2주 간격으로 논물중에 존재하는 화학성분의 시기별 농도변화를 조사한 결과는 다음과 같다 (Fig. 3, 4, 5, 6, 7).

논물 중 총질소의 농도는 0.53~15.9 mg/L의 범위로 평균 4.61 mg/L를 나타내었다. 1999년도의 경우 총질소의 평균농도가 6.9 mg/L인 반면 2000년도에는 3.23 mg/L를 나타내었다. 암모니아성질소의 농도는 0.24~11.69 mg/L의 범위로 평균 3.12 mg/L를 나타내었으며, 질산성질소의 농도는 0.05~8.65 mg/L의 범위로 평균 1.09 mg/L를 나타내었다. 질소원의 농도는 비료시비 시기에 증가하였다가 강우에 의한 지표유출 및 작물의 영양물질 흡수량이 증가하면서 점차 감소하는 경향이었다.

논물 중에 존재하는 무기성질소의 비율은 암모니아성질소가 약 65%, 질산성질소가 약 30%를 나타내고 있었다. 이는 논에 시비된 요소비료가 시비후 1주일 정도 경과하면서 요소가수분해효소의 영향으로 암모니아성질소로 전환된 다음 지속적으로 환원상태를 유지하여 질산성질소로의 전환되는 양이 적었기 때문인 것으로 생각된다. 이렇게 암모니아성질소로 존재하는 무기성질소의 일부는 중간낙수기 동안에 일부 산화과정을 거쳐 질산성질소로 전환되는 것으로 나타났다. 시기별로도 1999년의 무기성질소 농도가 2000년 보다 2배 이상 높게 나타났는데 이는 시험포장에 내린 강우-유출 특성, 강우성분, 관개수의 질에 의해 크게 영향을 받기 때문인 것으로 생각된다. 1999년과 2000년도에 조사된 강수의 총질소의 평균농도는 각각 2.8 mg/L과 0.9 mg/L 이었고 관개수의 총질소 평균농도는 각각 6.4 mg/L와 2.3 mg/L 이었다. 1999년의 강수와 관개수 농도가 2000년의 경우보다 높았음을 알 수 있

다. 이와 같이 논물 중 화학성분의 변화에 가장 큰 영향을 미치는 인자가 화학비료의 시비량인데 본 연구에서 1999년과 2000년도의 화학비료 시비량은 큰 차이가 없었음에도 불구하고 이와 같이 논물 중 화학성분의 농도가 큰 차이를 보이는 것은 전술한 요인에 의해 크게 영향을 받았기 때문인 것으로 생각된다.

논물 중 총인의 농도는 0.002~0.266 mg/L의 범위로 평균 0.092 mg/L를 나타내었으며, 가용성 인은 조사기간 동안 검출한계 미만이었다. 총인의 농도는 기비 시비후에 일시적으로 증가하였다가 점차 감소하는 경향이었다. 시비된 인산질비료의 상당량이 빠른 시일내에 토양중에 흡착되거나 여러 가지 토양조건에 의하여 불용화되어 그 농도변화가 적게 나타난 것으로 생각된다. 위에서 언급한 질소의 연차별 농도변화와 동일하게 인의 경우에도 1999년과 2000년도의 화학비료 시비량이 큰 차이를 보이지 않고 있음에도 불구하고 총인의 평균농도는 1999년의 경우 0.191 mg/L, 2000년에는 0.032 mg/L로 큰 차이를 보이고 있다. 1999년과 2000년도에 조사된 강수의 총인의 평균농도는 0.03 mg/L과 0.01 mg/L 이었고 관개수 총인 평균농도는 0.10 mg/L와 0.06 mg/L이었다. 질소원의 경우 화학비료, 강우, 관개수를 통하여 다량으로 공급되는 반면, 인산원은 화학비료와 관개수를 통하여 대부분 유입되고 있는 것으로 알려지고 있다. 따라서 화학비료의 시비량이 큰 차이가 없는 상태에서 이와 같이 6배 이상의 차이를 나타내는 것은 강수와 관개수질의 영향을 받고 있는 것으로 추정된다.

3. 침투수 중 화학성분의 농도변화

시험포장에 30, 50, 70, 90 cm 간격으로 매설된 토양용액 채취관으로 이동한 침투수중 화학성분의 시기별 농도변화를 조사한 결과는 다음과 같다 (Fig. 3, 4, 5, 6, 7).

총질소의 농도는 1999년의 경우 2.07~13.71 mg/L의 범위로 평균 4.87 mg/L를, 2000년에는 2.10~13.78 mg/L의 범위로 평균 4.92 mg/L를 나타내었다. 각 토양깊이별 평균농도는 30 cm에서 6.43 mg/L, 50 cm에서 5.39 mg/L, 70 cm에서 3.92 mg/L 그리고 90 cm에서 3.86 mg/L를 나타내어 지표면으로부터 거리가 멀어질수록 점차 그 농도가 감소하는 경향이였다.

암모니아성질소는 1999년의 경우 0.10~4.10 mg/L의 범위로 평균 0.99 mg/L를, 2000년에는 0.02~4.12 mg/L의 범위로 평균 0.92 mg/L를 나타내었다. 각 토양깊이별 평균농도는 30 cm에서 1.79 mg/L, 50 cm에서 0.92 mg/L, 70 cm에서 0.61 mg/L 그리고 90 cm에서 0.51 mg/L를 나타내었으며, 토양깊이별 농도변화는 총질소와 같은 경향을 나타내었다.

그리고 질산성질소는 1999년의 경우 1.17~8.57 mg/L의 범위로 평균 3.50 mg/L를, 2000년에는 1.15~8.48 mg/L의 범위로 평균 3.46 mg/L를 나타내었다. 각 토양 깊이별 평균농도는 30 cm에서 4.26 mg/L, 50 cm에서 3.90 mg/L, 70 cm에서 3.04 mg/L 그리고 90 cm에서 2.73 mg/L를 나타내었으며, 토양깊이별 농도변화는 총질소와 같은 경향을 나타내었다.

무기성질소 가운데 질산성질소가 차지하는 비율은 총질소의 약 70%를, 암모니아성질소는 약 20%를 차지하고 있었다. 이는 토양이 음하전을 띠고 있는 관계로 음하전을 띠는 질산성질소의 경우 상호반발력 때문에 특이적으로 결합되는 소량의 질산성질소를 제외하고는 모두가 토양내에서 무기화되거나 지하로의 이동을 통해 손실되고 있음을 알려주고 있는 지표가 되며, 암모니아성질소의 경우 대부분이 토양입자에 흡착되고, 일부만이 토양내에서 지하로 이동되고 있음을 나타내고 있다.

이와 허 (1995)에 의하면 벼 재배기간 동안

토양용액 채취관을 이용하여 질산성질소와 암모니아성질소의 용탈량을 조사한 결과, 암모니아성질소의 경우 이양초기에 농도변화가 크게 나타난 반면, 질산성질소는 0.1~0.5 mg/L로 일정하게 나타났다고 하였다. 본 조사결과와 비교시 시기별 농도변화에서 차이를 보이고 있는데 조사지역의 토양특성, 강우조건, 비료 시비량 및 논물관리 등이 서로 다르기 때문에 나타난 결과로 생각된다. 토양으로부터 질산성질소의 하향 이동은 주로 토양수분의 동수경사형성에 따른 대류이동(convective transport)에 의하여 진행되므로 강우량이 질산성질소의 용탈에 가장 크게 관여하는 요인으로 알려져 있다. 일반적으로 토양으로부터 양분의 용탈은 지상부에서의 증발산량에 비하여 강우량이 많을 때 일어나며, 질산성질소의 용탈은 강우량과 양의 상관을 갖고서 용탈된다고 알려져 있다(윤과 유, 1994).

침투수중 총인의 농도는 0.01~0.075 mg/L의 범위로 평균 0.034 mg/L, 가용성인은 0~0.026 mg/L의 범위로 평균 0.008 mg/L를 나타내었다. 이들 인산원의 농도는 1999년과 2000년에 거의 차이가 나타나지 않았으며, 토양 깊이별로도 유의성 있는 차이를 나타내지 않았다. 일부 이양초기에 30 cm 지점에서 높게 나타난 것을 제외하고 시기별로도 큰 차이를 나타내지 않았다. 이양후 30 cm 부근에서 그 농도가 일시적으로 높게 나타난 것은 시비된 인산질비료의 일부가 가용화 되었거나 토양수에 의한 확산 또는 삼투작용의 영향을 받았기 때문인 것으로 생각된다.

4. 논물과 침투수 중 화학성분의 상호관계

논물 중 총질소의 농도는 2000년의 경우 이양초기에는 토양깊이 30 cm와 유사하다가 지속적인 강우-유출과 작물체로의 영양물질 흡수와 함께 감소하여 침투수보다 더 낮게 나타나는 경향을 나타내고 있었다 <Fig. 3>. 일반

적으로 논에서의 수분이동은 강우가 내리거나 관개수가 공급될 경우 먼저 침투과정이 일어난 다음에 지표유출이 발생하는 것으로 알려져 있다. 따라서 이양초기에 논에 시비된 화학비료 가운데 질소성분이 먼저 지하이동을 하기 때문에 시기가 경과할수록 지하침투수층 질소의 농도가 더 높게 나타난 것으로 생각된다.

질산성질소의 경우, 논물중에 검출되는 농도는 상당히 낮은 수준이다 <Fig 4>. 앞에서 언급한 바와 같이 질산성질소는 음전하를 띠고 있는 관계로 토양내에 흡착되지 않고 지하로 이동하는 양이 상당히 많은 것으로 알려져 있다. 그림에서 보는 바와 같이 토양 깊이별로 큰 차이를 나타내지 않고 있는데 이는 질산성질소

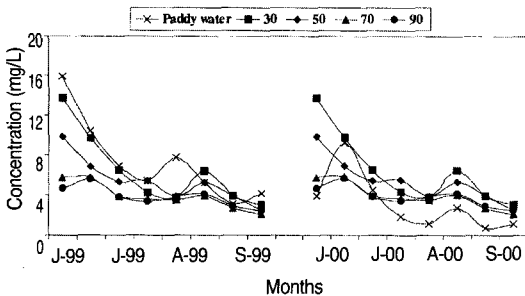


Fig. 3. Variation of T-N concentrations in paddy water and infiltrated water with respect to soil depth (cm) in 1999 and 2000

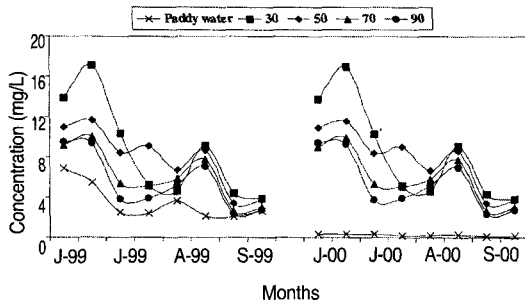


Fig. 4. Variation of Nitrate-N concentrations in paddy water and infiltrated water with respect to soil depth (cm) in 1999 and 2000

가 토양내에서 흡착되지 않고 지하로 이동되는 양이 많음을 나타내 주는 지표로 생각된다. 따라서 논에서의 질산성질소 이동을 평가할 때 논물의 농도만을 가지고 논의하기에 무리가 있을 것으로 생각된다.

암모니아성질소는 질산성질소와 정반대의 경향을 나타내고 있다 <Fig. 5>. 논에 시비된 요소는 시비후 1주일 이내에 요소가수분해효소의 영향으로 암모니아성질소로 전환되는데 그들 대부분이 논물중에 그대로 함유되어 있다. 암모니아성질소는 양전하를 띠고 있기 때문에 토양의 음전하와 흡착반응이 이루어져 지하로 이동하는 양이 감소한다. 암모니아성질소의 경우에도 질산성질소와 마찬가지로 논에서의 이동량을 평가할 때 논물중의 농도만 가지고 논의하기에는 다소 무리가 있을 것으로 생각된다.

논물중에서 검출되는 총인의 화학비료 시비의 영향은 비교적 일정하게 나타나고 있다 <Fig. 6>. 특별히 1999년의 경우 총인의 농도가 0.2 mg/L의 수준이었으나 2000년도에는 0.1 mg/L 이하의 농도를 나타내고 있었다. 논물과 침투수중 총인의 농도를 비교해 본 결과, 1999년에는 논물중의 농도가 침투수보다 훨씬 높게 나타났으나, 2000년에는 침투수 중 농도보다 훨씬 낮게 나타나고 있었다. 이 부분에 대해서는 추후 보완실험을 통하여 상호 연관성을 조사하여야 할 것으로 생각된다.

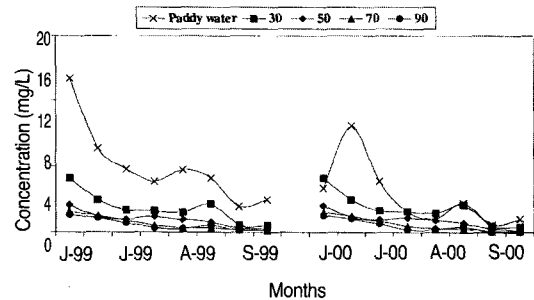


Fig. 5. Variation of Ammonia-N concentrations in paddy water and infiltrated water with respect to soil depth (cm) in 1999 and 2000

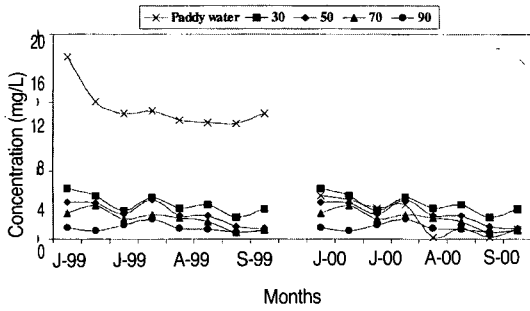


Fig. 6. Variation of T-P concentrations in paddy water and infiltrated water with respect to soil depth (cm) in 1999 and 2000

가용성인은 논물중에서는 거의 대부분이 검출한계 미만으로 나타났는데 지하침투수에서는 상당량이 검출되고 있다. 논에 시비된 인산 질비료의 대부분이 토양과 흡착반응이 일어나 이동성이 작은 것으로 알려져 있다. 이렇게 논 물에서는 거의 검출되지 않았던 가용성인이 지하침투수중에서 검출되는 배경에는 지하로 이동하면서 지속적으로 토양공기와 접촉, 확산 현상에 의해 난용성의 인산염의 일부가 가용화 되어 나타난 현상으로 생각된다 <Fig. 7>.

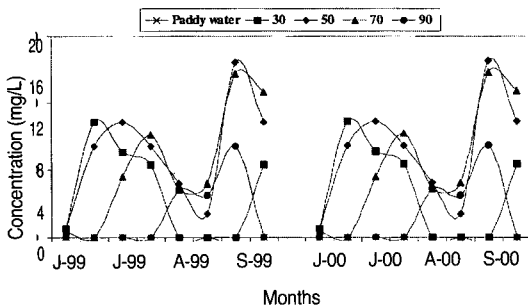


Fig. 7. Variation of Ortho-P concentrations in paddy water and infiltrated water with respect to soil depth (cm) in 1999 and 2000

5. 논토양 중 화학성분의 함량변화

1999년 5월 1일부터 2000년 9월 30일까지

영농기간을 대상으로 매 2주 간격으로 논토양에 존재하는 화학성분의 시기별 함량변화를 조사한 결과는 Fig. 9 및 Fig. 10 과 같다.

총질소의 함량은 891.8 ~ 1360.5 mg/kg의 범위로 평균 1,116.4 mg/kg, 암모니아성질소는 21.4~ 57.9 mg/kg의 범위로 평균 34.5 mg/kg 그리고 질산성질소는 17.3 ~ 114.3 mg/kg의 범위로 평균 73.1 mg/kg을 나타내었다 <Fig. 8>. 토양내 질소성분은 암모니아성 질소 함량이 높게 나타났다 (김과 유, 1991). 질소원은 시기별로 이양초기에 증가하였다가 강우에 의한 유출 및 침투 그리고 작물의 영양 물질 흡수량이 증가하면서 서서히 감소하는 경향이였다.

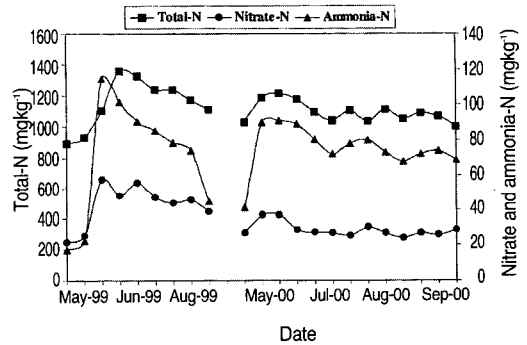


Fig. 8. Variation of Total-N, Nitrate-N and Ammonia-N concentrations in the paddy soil in 1999 and 2000

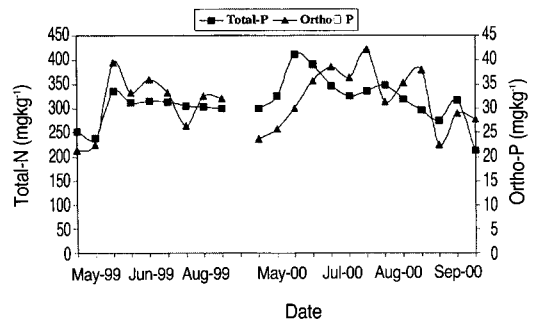


Fig. 9. Variation of Total-P and Ortho-P concentrations in the paddy soil in 1999 and 2000

총인의 함량은 213.5 ~ 411.8 mg/kg의 범위로 평균 313.3 mg/kg 그리고 가용성인은 21.3 ~ 42.2 mg/kg의 범위로 평균 31.5 mg/kg을 나타내었다 <Fig. 9>. 우리 나라 논 토양중 인산은 Fe와 결합된 형태의 인산이 많이 존재하며, 환원성 Fe-P를 포함하면 Fe와 결합된 인산이 전체의 50%를 넘어 토양내에서 이동성이 작은 것으로 알려져 있다. 본 조사에서도 인산의 경우 시비 후에 약간 증가하였을 뿐 큰 변화 없이 일정하게 유지되었다.

6. 침투수를 통한 영양물질의 침투손실량

영농기간인 1999년 5월부터 9월까지와 2000년 5월부터 9월까지 시험포장에 매설된 토양용액 채취관으로 이동한 화학성분의 침투손실량을 조사한 결과는 Fig. 10 및 11과 같다

본 연구에 사용된 0.5 ha의 논 시험포장에서 영농기간동안 침투유출된 영양물질의 양은 다음과 같다. 1999년도의 경우, 암모니아성질소 1.72 kg/ha, 질산성질소 7.6 kg/ha, 총질소 11.9 kg/ha 그리고 총인 0.048 kg/ha로 나타났으며, 2000년도에는 암모니아성질소 1.26 kg/ha, 질산성질소 5.94 kg/ha, 총질소 8.98 kg/ha 그리고 총인 0.036 kg/ha로 나타났다. 2000년도를 기준으로 월별로 질소와 인산의 침투유출부하량을 비교한 결과, 기비시비후 5월 하순과 6월 사이에 암모니아성질소 0.64 kg/ha, 질산성질소 2.58 kg/ha, 총질소 3.68 kg/ha 그리고 총인 0.12 kg/ha로 나타났다.

시기별 암모니아성질소와 질산성질소의 침투유출부하량은 5월 하순과 6월 사이에 전체 양의 50% 정도가 침투유출된 것으로 나타났다. 또한 총질소 가운데 암모니아성질소의 손실량은 20% 미만이고 거의 대부분이 질산성질소의 형태로 침투유출 손실이 발생한 것으로 나타났다. 이와 같이 5월 하순과 6월 사이에 다량의 침투유출 손실이 발생한 것은 침투수중

영양물질의 농도가 높고, 이 기간이 논에서 논물의 담수심이 높게 유지되었기 때문인 것으로 생각된다.

國松 (1985)이 일본 농림통계의 자료를 인용하여 논에서 침투손실량을 조사한 결과, 총질소는 11.34 kg/ha 그리고 총인은 0.194 kg/ha로 나타났다. 또한 국내에서 이 등 (1990)이 경기도 화성군 일대 논을 대상으로 시비형태 및 시비량에 따른 영양물질의 침투손실량을 조사한 결과 전층시비의 경우 총질소 6.75 ~ 9.82 kg/ha, 총인 0.13 ~ 0.19 kg/ha, 표층시비의 경우 총질소 6.07 ~ 8.51 kg/ha, 총인 0.07 ~ 0.12 kg/ha에 해당하는 양이 손실되었으며, 시비방법에 따라 영양물질의 침투손실량에 차이가 나타날 수 있다고 하였다. 신과 권 (1990)에 의하면 사질식양토 논에서 침투에 의한 영양물질의 손실량은 총질소 7.54 kg/ha, 그리고 총인 2.06 kg/ha로 나타났다고 보고되어 있다.

본 조사에서의 연구결과는 질소의 경우 기존에 보고된 결과와 거의 유사한 결과를 나타내었으나 인산의 경우는 훨씬 더 작게 나타났다. 이는 조사지역의 비료시비량, 비료시비 형태, 비료시비 시기, 강우조건, 기후, 토양특성 및 영농형태가 서로 상이하여 나타난 결과로 생각된다.

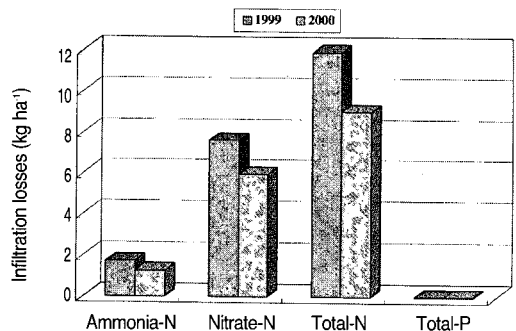


Fig. 10. Losses of Ammonia-N, Nitrate-N, Total-N, and Total-P via infiltration during rice cultivation period in 1999 and 2000

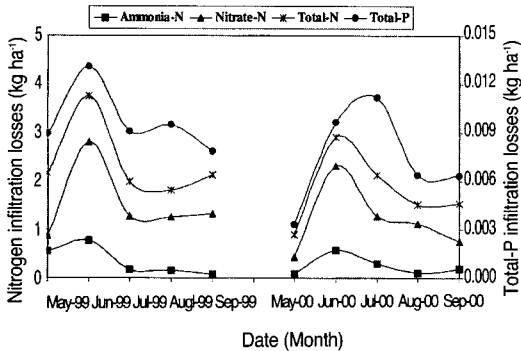


Fig. 11. Temporal variation of losses of nitrogen and phosphorous constituents.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 실제 농민이 경작하는 상태에서 수도재배기간 동안 눈물, 농토양 및 지하침투수중 각종 화학성분의 시기별 함량변화와 지하침투수에 의한 비료성분의 손실량을 계산하였다.

1. 질산태질소의 농도는 눈물에서 보다 침투수의 경우가 농도가 더 높게 나타나는 경향을 나타내고 있었다.
2. 눈물과 침투수중 질산성질소와 암모니아성질소의 농도는 토양내에서 흡착반응 및 대류이동에 의해 상호간에 많은 차이를 나타내고 있었다. 따라서 눈에서의 질산성질소와 암모니아성질소의 이동을 평가할 때 눈물의 농도만으로는 판단하기 어려운 것으로 나타났다.
3. 가용성인은 눈물중에서는 거의 대부분이 불검출로 나타났는데 지하침투수에서는 상당량이 검출되고 있다. 눈물에서는 거의 검출되지 않았던 가용성인이 지하침투수중에서 검출되는 것은 토양입자와 결합된 인의 일부가 지속적으로 토양공기와 접촉하거나 확산현상에 의해 난용성의 인의 일부가 가용화되어 나타난 현상으로

추정된다.

4. 필지논으로부터 영농기간동안 침투유출된 영양물질의 양은 암모니아성질소 1.26 ~ 1.72 kg/ha, 질산성질소 5.94 ~ 7.60 kg/ha, 총질소 8.98 ~ 11.90 kg/ha 그리고 총인 0.036 ~ 0.048 kg/ha로 나타났다. 월별 질소와 인의 침투유출부하량을 비교한 결과, 5월 하순과 6월 사이에 전체 양의 50% 정도가 침투유출된 것으로 나타났다. 또한 총질소 가운데 암모니아성질소의 손실량은 20% 미만이고 거의 대부분이 질산성질소의 형태로 침투유출 손실이 발생한 것으로 나타났다.

이 논문은 1999년도 학술진흥재단의 연구비에 의해 지원되었음 (KRF-99-042-G00002 G1105)

참고문헌

1. 김복영, 조재규, 1995, 벼 재배에서 방류수에 의한 영양염류의 유실, 한국관개배수학회지, 2(2): pp. 150~156
2. 김찬섭, 유순호, 1991, 담수처리가 토양의 인산 흡착 특성에 미치는 영향: 최대흡착량 및 흡착열의 변화, 한국토양비료학회지, 24(2): pp. 109~115.
3. 농업기술연구소, 1983, 토양화학분석법.
4. 신동석, 권순국, 1990, 논에서 질소 및 인의 농도와 유출입, 한국환경농학회지, 9(2): pp. 133~141.
5. 윤순강, 유순호, 1993, 토양중 질산태질소의 행동과 지하수질, 한국환경농학회지, 12(3): pp. 281~297.
6. 이기상, 허일봉, 1995, 벼 재배시 질소양분 행동에 관한 연구, 농사시험연구보고서, pp. 346~349.
7. 이창기, 이길철, 이흥재, 유흥일, 이민효, 김성환, 김성수, 김기현, 김삼권, 김상돈, 1990, 영농화학물질의 적정사용 방안에 관한 연구: 비료를 중심으로, 국립환경연구원보, 11: pp. 293~310.

8. 최중대, 최예환, 이기중, 2001, 강원도 농업소유역의 오염배출특성과 수질관리 방안, 비점오염에 관한 한일국제 심포지엄 발표논문집. pp. 15~21.
9. 환경처, 1993, 수질공정시험법.
10. Behnke, J. 1975, A summary of the biogeochemistry of nitrogen compounds in ground water. *J. Hydrogy.* pp. 27: pp. 155~167.
11. Briling, I. A. 1985, Pollution of groundwater by fertilizer nitrates, *Vodn. Resur.* 4: pp. 101~107
12. Comly, H. H. 1945, Cyanosis in infants caused by nitrates in well water, *J. of American Medical Association.* pp. 112~116.
13. Kolenbrander, G. J. 1972, Does leaching of fertilizer affect the quality of groundwater at the waterworks, *Stikstof*, 15: pp. 8~15.
14. Kuroda, S. and Tabuchi, T. 1996, Change in nitrate nitrogen concentration and load of the springwater: Studies on the characteristics of nitrate outflow from the vegetable upland fields (I), *Trans. of JSIDRE.* 181: pp. 31~38.
15. Priddle, M. W., Jackson, R. E., and Mutch, J. P. 1989, Contamination of the sand-stoned aquifer of Prince Edward Island, Canada by aldicarb and nitrogen residues, *Ground Water Monit. Rev.* 9: pp. 134~140.
16. National Research Council, 1978, *Nitrates: An environmental assessment.* National Academy of Science.
17. Rossi, N., Ciavatta, C., and Vittori, L. 1991, Seasonal pattern of nitrate losses from cultivated soil with subsurface drainage, *Water, Air, and Soil pollution.* 60: pp. 1~10.
18. Rosswall, T. and Keith, P. 1984, Cycling of nitrogen in modern agricultural systems. *Plant and Soil.* 76: pp. 3~21.
19. Terence. A. R. 1975, The microbiological role of nitrate and nitrite, *J. Sci. Fd Agric.* 26: pp. 1755~1760.
20. 宮古島地下水水質保全對策協議會. 1990, 宮古島地下水水質保全調査報告. 224.
21. 國松孝南. 1985. 農地からのN, P負荷. *環境技術.* 14 : pp. 114~119.
22. 植木 聲, 1986, 熊本縣の地下水の硝酸性窒素濃度. *熊本縣衛生公害研究所報.* 16: pp. 25-29.

이 논문은 1999년도 학술진흥재단의 연구비에 의해 지원되었음
(KRF-99-042-G00002 G1105)