

영농기간 지하침투수에 의한 미사질양토 논의 화학성분 손실량

한강완 · 조재영 · 손재권¹⁾

Losses of Chemical Components by Infiltration Water during the Rice Cultivation at Silt Loam Paddy soil

Kang-Wan Han, Jae-Young Cho and Jae-Gwon Son¹⁾(Department of Agricultural Chemistry, Chonbuk National University, Chonju, 561-756, ¹⁾Department of Agricultural Engineering, Chonbuk National University, Chonju, 561-756)

ABSTRACT : Changes of chemical component and losses of chemical fertilizer by infiltration water from 0.5ha of paddy field in Chinan area of Chonbuk province during the rice cultivation were investigated. The infiltration water samples were collected in a ceramic porous cup which was buried at the 30, 50, 70, 90cm of soil depth. pH of infiltration water ranged 6.64~7.90 and EC showed 324~647 μ S/cm. The content of total-N, NH₄-N and NO₃-N were 0.58~14.59, 0.05~4.25, and 0.15~7.71mg/L respectively. The content of total-P and ortho-P were 0.009~0.077mg/L and 0~0.029mg/L. The content of Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ and K⁺ showed 0.88~4.78, 0.22~1.04, 0.17~0.98, and 0.84~3.19mg/L. These all at the first transplanting are higher than that of other periods. The content of SO₄²⁻ showed 3.92~18.72mg/L and decreased with a soil depth. However Cl⁻ of infiltration water ranged 9.03~19.97mg/L and no difference with a soil depth. When infiltrated 2,416.5m³ of an infiltration water from 0.5ha of paddy field during the rice cultivation, losses of chemical components were 20.34kg/ha of total-N, 3.54kg/ha of NH₄-N, 10.44kg/ha of NO₃-N, 0.16kg/ha of total-P and 0.028kg/ha of ortho-P. Also Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, SO₄²⁻ and Cl⁻ were lost 10.24, 2.84, 2.84, 7.22, 50.04 and 62.20kg/ha respectively. There were lost by infiltration water 9.35% of nitrogen, 0.59% of phosphorous and 22.79% of potassium in applied chemical fertilizer.

서 론

집약농업에서 질소질비료의 과다시비가 지하수중 질산태 질소의 농도를 상승시키게 되고 그 결과 호수와 연못, 하천의 부영양화를 유발하며 농도가 높은 경우 음용수중 질산태질소의 농도를 상승시켜 가축이나 인체에 위해성을 가져올 수 있는 것으로 알려지고 있다^{1,2,3)}.

지하수에서 검출되는 질산태질소의 대부분이 경작지 토양에서 용탈된 질소원으로부터 유래하며²⁾, 질산태질소의 용탈은 강우세기가 클 때와 집약농업에서 그 함량이 증가한다고 알려져 있다³⁾. 질산태질소와 같은 음이온의 용탈을 감소 또는 지연시킬 수 있는 방안을 모색하기 위해 폴리메

틸렌과 염소를 조합시킨 disk를 이용하여 subsurface barrier의 효과를 조사한 결과 barrier를 설치하지 않은 조건보다 설치하였을 때 50% 이상의 질산염 용출을 지연시킬 수 있었다고 보고되어 있다⁴⁾. 작물의 질소효율을 최대한으로 하기 위해서는 다양한 작부체계에서 질산태질소의 용탈 특성을 규명하는 것이 중요하다고 강조하였으며, 중질소로 표지된 질소원으로부터 용탈된 질산태질소는 15% 수준이라고 보고하였다⁵⁾. 지하수오염의 주요 인자는 화학비료 사용으로 인하여 생성되는 질산태질소에 의한 것이며^{6,7)}, 오염된 지하수가 하천, 호수와 연못에 유출될 경우 폐쇄성 수역에서 부영양화의 원인이 된다고 하였으며⁸⁾, 이를 최소화하기 위해서는 농경지에서 강우-유출 과정중 질소원 유

출에 관한 조절이 중요하다고 보고하였다. 최근 들어 증질을 이용하여 지하수에서 검출되는 질산태질소의 발생원을 찾기 위한 연구가 진행되고 있는데 $\delta^{15}N$ 값 이용법과 토지이용 대비법을 이용하여 지하수중 질산태질소의 유래 부하량을 추정한 결과⁹⁾ 宮古島 전체에서 검출되는 지하수중 질산태질소는 화학비료, 축산폐기물, 생활배수 및 토양질소에서 각각 40.4, 16.4, 27.0 및 16.3%의 비율로 유래한다고 보고하였다.

본 연구는 실제 농민이 경작하는 상태에서 수도재배기간 동안 침투수중 각종 화학성분의 시기별 함량변화와 침투수에 의한 비료성분의 손실량을 계산하여 논토양에 시비되는 화학비료의 효율증대 및 농업환경관리의 기초자료를 얻고자 수행하였다.

재료 및 방법

시험포장

본 실험에 사용된 시험포장은 1995년 5월에 경지정리사업이 완료된 전라북도 진안군 마령면 평지리에 위치하고 있으며 축산폐수, 가정하수 및 산업폐수로부터 영향을 받지 않은 전형적인 수도작 농업지대이다. 시험포장 구획은 장변 100m와 단변 50m로서 면적은 5000m²이다. 본 시험포장의 토양(지산토)은 미사질양토(Silt Loam ; SiL)로서 논토양의 이화학적 특성은 Table 1과 같다. 또한 논바닥 형태는 작물 재배시기별로 약간 다르고 특히 객토, 논갈이, 바닥정리 등 여러 가지 요인에 의하여 변하기 때문에 균일한 수평면으로 볼 수 없다. 본 연구에서는 시험포장 구획내 논바닥의 불규칙 상태를 조사하기 위하여 장·단변이 100m×50m인 필지를 10m 간격의 방안망으로 구성하고 그 지점에 대하여 1997년 5월 10일에 수준측량을 실시하였는데 그 결과, 시험포장의 66개 지점에 대한 상대적 바닥표고는 최소 298.240m, 최대 298.381m로 평균 298.340m이었으며, 표준오차 0.0036m, 그리고 표준편차는 0.0287m로 나타났다.

Table 1. Physical and chemical properties of the soil used in the experiment

Chemical properties		Particle size fraction composition(%)	
Organic matter(%)	2.15	Sandy	29.5
pH(1:5H ₂ O)	5.81	Silt	55.3
CEC(cmol/kg)	10.54	Clay	15.2
Total-N(mg/kg)	927.30		
Total-P(mg/kg)	259.30		
Exchangeable cations(cmol/kg)			
Ca ⁺⁺	4.35		
Mg ⁺⁺	3.02		
Mg ⁺	0.15		
Na ⁺	0.45		
K ⁺			

강우량 측정

강우강도의 변화에 따라 지하로 침투되는 침투수량의 영향이 빠르게 나타나게 된다. 이러한 점을 고려하여 보다 정확한 강우량을 측정하기 위하여 시험포장에 인접한 용수로변에 일일우량계를 설치하여 강우량을 측정하였다. 우량계는 Analog식 일일기록 자기우량계로서 1997년 5월 1일부터 측정을 시작하여 1997년 9월 30일까지 강우량을 측정하였다.

시험포장의 운영

시험포장은 1997년 5월 13일에 논갈이를 하고 담수를 시킨 후 5월 26일에 재식거리 15×30cm, 1주당 3본씩 기계이앙(벼품종 : 화선찰벼)을 실시하였으며, 9월 29일에 수확하였다.

비료시비 현황은 1997년 5월 22일에 기비로 요소비료 80kg, 복합비료 80kg을 시비하였으며, 6월 13일에 분얼비료 요소비료 80kg을, 7월 28일에 수비로 요소비료 40kg을 시비하였다.

시험포장에는 각종 화학성분의 이동을 측정하기 위하여 Ceramic porous cup(IRROMETER, USA)을 시험포장의 4지점에 30, 50, 70, 90cm 깊이로 매설한 다음 내부를 진공상태로 조정하였다.

시료채취 및 분석방법

침투수는 1997년 5월 1일 Ceramic porous cup을 매설한 다음 5월 15일부터 9월 30일까지 매 2주마다 ceramic porous cup이 매설된 4지점에서 syringe를 이용하여 채취한 다음 혼합하여 분석시료로 사용하였다. 시료보관 및 분석은 환경처의 수질오염공정시험법¹⁰⁾에 기준하였다.

pH와 EC(electrical conductivity)는 현장에서 기기(Orion Model 840)를 이용하여 직접 측정하였으며, 전질소와 암모니아태질소는 시료 100mL를 취하여 각각 환원중류-킬달법과 중화적정법으로, 총인산은 시료 100mL를 취하여 25mL로 농축한 다음 ascorbic acid reduction법으로 분석하였다. 양이온(Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺)은 시료 250mL에 진한 질산 5mL를 넣고 분해한 다음 50mL로 농축하여 원자흡수분광광도계(Perkin Elmer 2380)를 이용하여 분석하였으며, 음이온(NO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻)은 0.45μm 이하의 유리섬유여지(GF/C)를 사용하여 여과한 다음 이온크로마토그래피(Sykam 4260, Germany)를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

강우현황

1997년 5월 1일부터 1998년 4월 30일까지 12개월 동안 조사 대상지역에 내린 강우량과 강우특성을 조사한 결과는

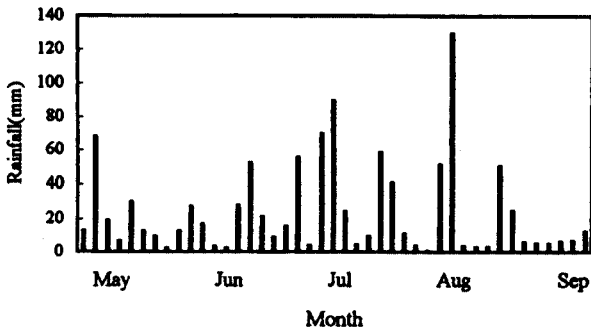


Fig. 1. Distribution of rainfall

다음과 같다(Fig. 1).

1997년 5월 상순에는 남쪽을 지나는 기압골의 영향을 받아 뇌전을 동반한 소나기 현상이 가끔 있었으며, 5월 한달 동안 강우량은 175mm로 예년의 181%의 강우량을 나타내었다. 장마는 6월 20일에 시작하여 7월 18일에 종료되었는데, 약 28일로서 예년의 29일과 비슷한 경향이였다. 수도권 영농시기로 논에서 물의 유·출입이 많은 6, 7, 8월에 내린 강우량은 887.1mm였고 강우일수는 약 40일이였다. 9월과 10월 2개월 동안의 강우량은 36.1mm로 예년의 60% 수준을 유지한 반면, 11월, 12월과 1월은 162.8mm로 예년 강우량의 150% 이상을 나타내었다. 1998년 1월부터 3월까지의 약 75mm의 강우량을 나타내었으며, 4월부터 엘니뇨의 영향으로 동아시아지역 상층 기압골이 약화되고 북태평양 고기압이 비정상적으로 일찍 발달하여 비교적 많은 강우량을 기록하였다. 4월 한달 동안의 강우량은 178.2mm로 예년의

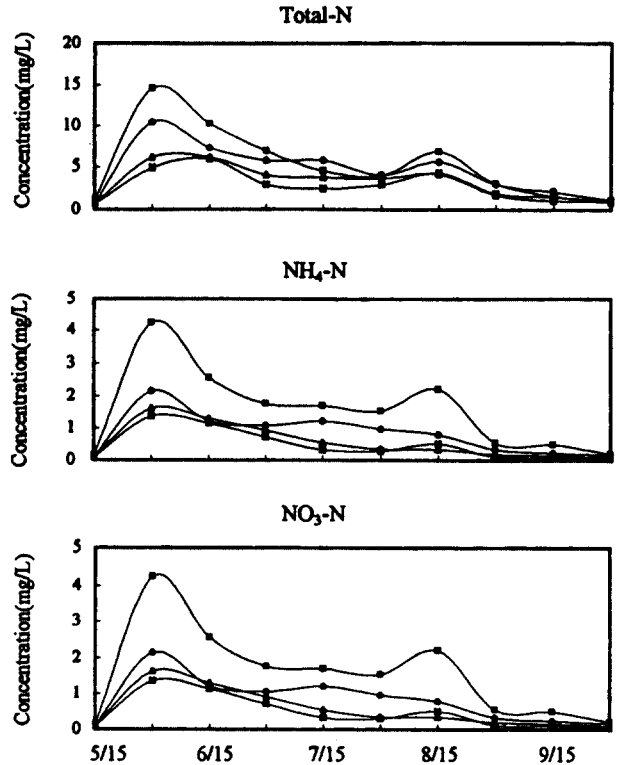


Fig.3. Monthly variation of total-N, NH₄-N and NO₃-N in infiltration water (■, 30cm; ◆, 50cm; ▲, 70cm; ×, 90cm)

160%를 나타내었으며, 강우일수는 7일이였다.

조사지역에 내린 강우량은 영농기간 1,095.6mm, 비영농기간 414.6mm로 1년간 총강우량은 1,510.2mm였으며, 이는 우리 나라 연평균 강우량 1,274mm에 비하여 많은 강우량을 나타내었다.

침투수중 화학성분의 시기별 함량변화

영농기간인 1997년 5월부터 9월까지 시험포장에 30, 50, 70, 90cm 간격으로 매설된 ceramic porous cup으로 이동한 침투수중 화학성분의 시기별 함량변화를 조사한 결과는 다음과 같다.

pH는 6.64~7.90의 범위로 평균 7.34 그리고 EC는 324~647 μ S/cm의 범위로 평균 408.4 μ S/cm를 나타내었다 (Fig. 2). pH와 EC 모두 기비 시비후 10일경인 6월 초순에 가장 높았다가 완만하게 감소하는 경향이였다.

전질소의 함량은 0.58~14.59mg/L의 범위로 평균 3.75mg/L, 암모니아태질소는 0.05~4.25mg/L의 범위로 평균 0.78mg/L 그리고 질산태질소는 0.15~7.71mg/L의 범위로 평균 2.29mg/L를 나타내었다(Fig. 3). 질소원의 경우 지표면으로부터 거리가 멀어질수록 농도가 감소하는 경향이였으며, 이양초기에 가장 높게 나타났다. 비 재배기간 동안 ceramic porous cup을 이용하여 질산태질소와 암모니아

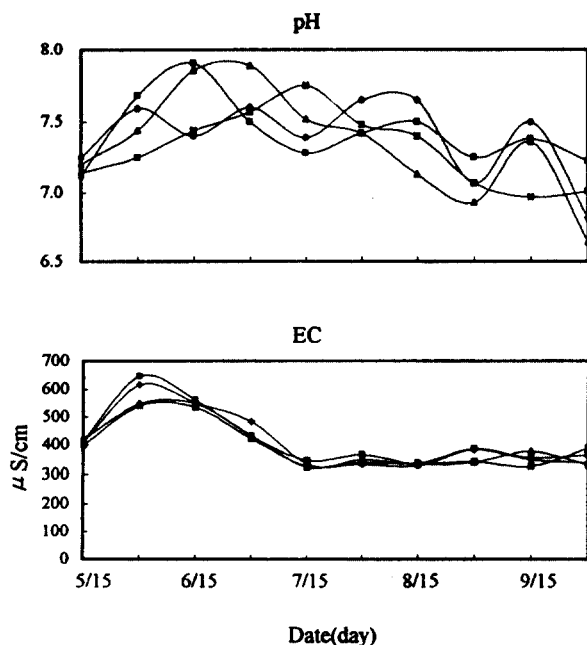


Fig.2. Monthly variation of pH and EC in infiltration water (■, 30cm; ◆, 50cm; ▲, 70cm; ×, 90cm)

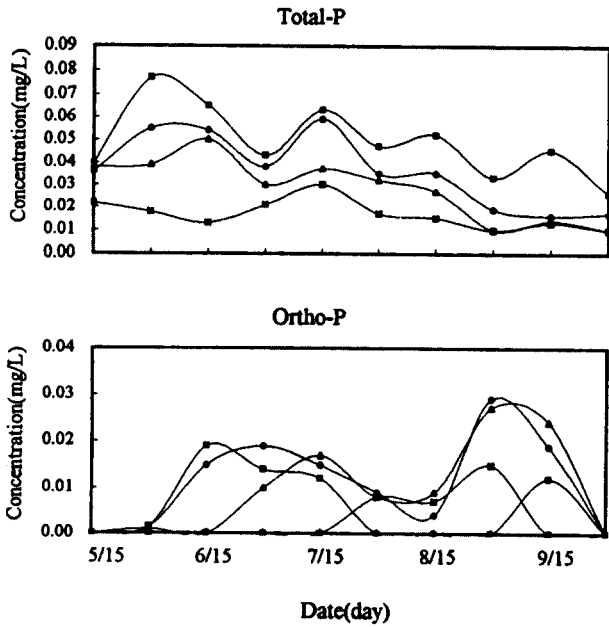


Fig.4. Monthly variation of total-P and ortho-P in infiltration water (■, 30cm; ◆, 50cm; ▲, 70cm; ×, 90cm)

태질소의 용탈량을 조사한 결과, 암모니아태질소의 경우 이양초기에 농도변화가 크게 나타난 반면, 질산태질소는 0.1~0.5mg/L로 일정하게 나타났다고 하였다¹³⁾. 본 조사결과와 비교시 시기별 농도변화에서 차이를 보이고 있는데 조사지역의 토양특성, 강우조건, 비료시비량 및 눈물관리 등이 서로 다르기 때문에 나타난 결과로 생각된다.

전인산의 함량은 0.009~0.077mg/L의 범위로 평균 0.032mg/L, 가용성인산은 0~0.029mg/L의 범위로 평균 0.0067mg/L를 나타내었다(Fig. 4). 이들 함량은 지표면으로부터 거리가 멀어질수록 감소하는 경향이었으며, 이양초기에 30cm 지점에서 높게 나타난 것을 제외하고 시기별로 큰 차이를 나타내지 않았다. 이양후 30cm 부근에서 그 농도가 일시적으로 높게 나타난 것은 시비된 인산질비료의 일부가 가용화되었거나 토양수에 의한 확산 또는 삼투작용의 영향을 받았기 때문인 것으로 생각된다.

양이온성분의 함량은 Ca⁺⁺의 경우 0.88~4.78mg/L의 범위로 평균 2.04mg/L를, Mg⁺⁺는 0.22~1.04mg/L의 범위로 평균 0.56mg/L, Na⁺는 0.17~0.98 mg/L의 범위로 평균 0.57mg/L 그리고 K⁺는 0.84~3.19mg/L의 범위로 평균 1.50mg/L를 나타내었다(Fig. 5). 특히 K⁺의 경우 시비효과로 인하여 이양초기에 높게 나타났다가 점차 감소하는 경향이었으며, 지표면으로부터 거리가 멀어질수록 그 함량이 감소하는 경향이였다.

음이온성분의 함량은 SO₄²⁻의 경우 3.92~18.72mg/L의 범위로 평균 9.70mg/L, 그리고 Cl⁻는 9.03~19.97mg/L의 범위로 평균 12.79mg/L를 나타내었다(Fig. 6). SO₄²⁻이온

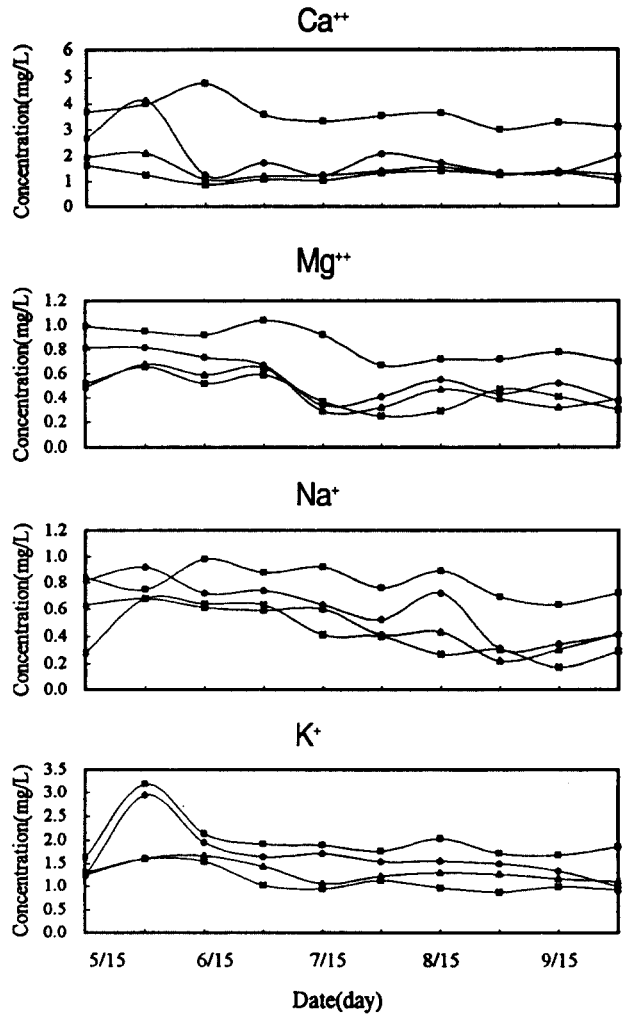


Fig.5. Monthly variation of Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ and K⁺ in infiltration water (■, 30cm; ◆, 50cm; ▲, 70cm; ×, 90cm)

과 Cl⁻ 이온은 이양초기 보다는 7월 중·하순경에 그 함량이 높게 나타나는 경향이였다.

침투수에 의한 화학성분의 침투손실량

영농기간인 1997년 5월부터 9월까지 시험포장에 매설된 ceramic porous cup으로 이동한 화학성분의 침투손실량을 조사한 결과는 다음과 같다.

본 조사에서는 직접 침투수량을 실측하지 못한 관계로 농업진흥공사¹²⁾에서 조사한 본 시험포장과 동일한 미사질양토의 침투수량을 적용하였는데 침투수량을 5, 6월의 경우 3.9mm/day, 7월은 3.7mm/day, 8월은 2.9mm/day, 9월은 평균 4.4mm/day를 적용하여 침투손실량을 산출하였다. 1997년 5월 1일부터 1997년 9월 30일까지 시험포장 0.5ha에서의 총침투수량은 483.3mm로 나타났다.

Ceramic porous cup 매설깊이별(30, 50, 70, 90cm)로 화학성분의 농도가 차이를 나타내지 않은 관계로 화학성분의

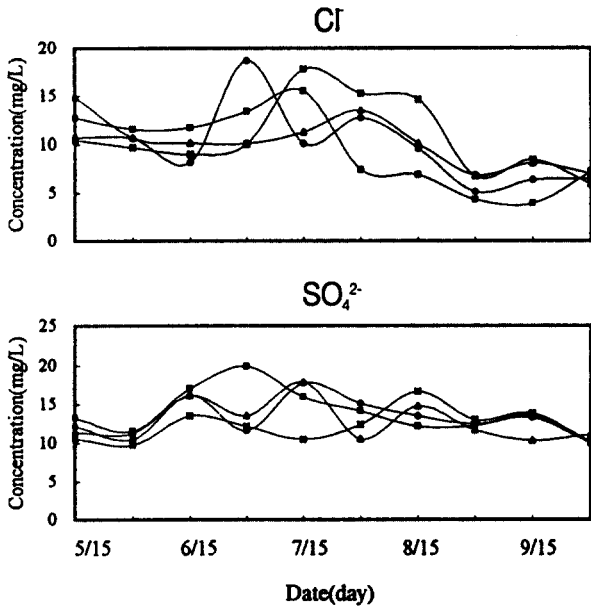


Fig. 6. Monthly variation of Cl and SO_4^{2-} in infiltration water
(■, 30cm; ◆, 50cm; ▲, 70cm; ×, 90cm)

평균농도를 침투수량에 곱하여 침투손실량을 산정하였다.

영양물질의 침투손실량은 전질소의 경우 20.34kg/ha로 월별로는 6월에 가장 높게 나타났다. 이는 5월말 영농을 위한 기비 시비후 논물중 전질소 함량이 크게 증가하였기 때문인 것으로 생각된다. 암모니아태질소와 질산태질소의 침투손실량은 각각 3.54kg/ha, 10.44kg/ha로 나타났으며, 질산태질소가 암모니아태질소보다 약 3배정도 더 높게 나타났다. 전인산의 침투손실량은 0.16kg/ha 그리고 가용성 인산은 0.028kg/ha로 나타났으며, 월별로는 5월과 6월에 가장 높게 나타났다. 國松¹³⁾이 일본 농림통계의 자료를 인용하여 논에서 침투손실량을 조사한 결과, 전질소는 11.34kg/ha/yr 그리고 전인산은 0.194kg/ha/yr로 나타났다. 본 조사결과와 國松¹³⁾의 결과를 비교시 전질소 침투손실량이 본 조사에서 2배 정도 높게 나타났고, 전인산은 유사한 수준이었다.

양이온성분의 침투손실량은 Ca^{++} 10.24kg/ha, Mg^{++} 2.84kg/ha, Na^+ 2.84kg/ha 그리고 K^+ 7.22kg/ha로 나타났으며, $\text{Ca}^{++} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ = \text{Mg}^{++}$ 의 순이었다. 음이온성분의 경우 SO_4^{2-} 50.04kg/ha, Cl⁻ 62.20kg/ha로 나타났으며, Cl⁻ 이온이 SO_4^{2-} 이온 보다 더 지하로의 이동성이 큰 것으로 나타났다. 이 등¹¹⁾이 경기도 화성군 일대 논을 대상으로 시비형태 및 시비량에 따른 영양물질의 침투손실량을 조사한 결과, 전충시비의 경우 전질소 0.675~0.982kg/10a, 전인산 0.013~0.019kg/10a, 표충시비의 경우 전질소 0.607~0.851kg/10a, 전인산 0.007~0.012kg/10a에 해당하는 양이 손실되었으며, 시비방법에 따라 영양물질의 침투손실량에 차이가 나타날 수 있다고 하였다. 신과 권¹⁴⁾에 의하면

사질식양토에서 침투에 의한 영양물질 손실량은 전질소 7.54kg/ha, 그리고 인산 2.06kg/ha로 나타났다고 보고되어 있다.

본 조사에서는 질소의 경우 이 등¹¹⁾과 國松¹³⁾ 그리고 신과 권¹⁴⁾의 결과보다 약 2배 이상 많은 양이 침투로 인하여 손실되었고, 인산의 경우 이 등¹¹⁾과 國松¹³⁾의 결과와는 거의 유사한 수준이었으나 신과 권¹⁴⁾의 결과보다는 훨씬 적은 양이 침투손실된 것으로 나타났다. 이는 조사지역의 비료시비량, 비료시비 형태, 비료시비 시기, 강우조건, 기후, 토양특성 및 영농형태가 서로 상이하어 나타난 결과로 생각된다.

논에 시비된 화학비료의 양을 기준으로 침투에 의한 영양물질 손실률을 계산한 결과, 질소의 경우 시비량의 9.35%, 인산의 경우 시비량의 0.59% 그리고 칼리는 시비량의 22.79%가 손실된 것으로 나타났다.

요 약

전라북도 진안군 마령면 평지리 일대 0.5ha의 논에서 1997년 5월부터 9월까지 시험포장에 30, 50, 70, 90cm 간격으로 매설한 Ceramic porous cup에 침투된 침투수의 시기별 함량변화와 침투수에 의한 비료성분의 침투손실량을 조사한 결과는 다음과 같다.

침투수의 pH는 6.64~7.90, EC는 324~647(S/cm)의 범위로 6월 중순경에 가장 높았다가 서서히 감소하는 경향이 있었다. 전질소, 암모니아태질소 및 질산태질소의 함량은 각각 0.58~14.59mg/L, 0.05~4.25mg/L 그리고 0.15~7.71mg/L의 범위로 기비후 이양초기에 함량이 가장 높았다가 서서히 감소하는 추세였다. 전인산은 0.009~0.077mg/L, 가용성 인산은 0~0.029mg/L의 범위로 지표면으로부터 거리가 멀어질수록 감소하는 경향이 있었다. 양이온성분은 Ca^{++} 0.88~4.78mg/L, Mg^{++} 0.22~1.04mg/L, Na^+ 0.17~0.98mg/L 그리고 K^+ 0.84~3.19mg/L의 범위로 모두 이양초기에 높게 나타났다. 음이온성분의 경우 SO_4^{2-} 는 3.92~18.72mg/L의 범위로 시료 채취깊이에 따라 차이를 보이지 않았으나 Cl⁻ 는 9.03~19.97mg/L의 범위로 거리가 멀어질수록 그 함량이 감소하는 경향을 나타내었다.

조사기간 동안 0.5ha의 논에서 지하로 이동한 총침투수량은 483.3mm로 조사되었다. 전질소, 암모니아태질소 및 질산태질소의 침투손실량은 각각 20.34kg/ha, 3.54kg/ha, 10.44kg/ha로 나타났으며, 질산태질소가 암모니아태질소보다 약 3배 정도 더 높게 나타났다. 전인산은 0.16kg/ha, 가용성인산은 0.028kg/ha로 나타났으며, 침투수를 통하여 시비된 요소비료의 9.35%에 해당하는 질소가 손실되었으며 인산의 경우 시비된 비료성분중 0.59%가 손실된 것으로 나타났다. 양이온성분은 Ca^{++} 10.24kg/ha, Mg^{++}

2.84kg/ha, Na⁺ 2.84kg/ha 그리고 K⁺ 7.22kg/ha로 나타났으며, Ca⁺⁺>K⁺>Na⁺=Mg⁺⁺의 순이었다. 음이온성분은 SO₄²⁻ 50.04kg/ha, Cl⁻ 62.20kg/ha로 나타나 Cl⁻ 이온이 SO₄²⁻ 이온 보다 더 지하로의 이동성이 큰 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. Dietrich Uhlmann and Lothar Paul (1994). Causes and effects of Nitrate saturation in phosphatate deficient water bodies, *Wat. Sci. Tech.*, 30 : 281~288
2. Rossi, N., C. Ciavatta, and L. Vittori antisari (1991). Seasonal pattern of nitrate losses from cultivated soil with subsurface drainage, *Water, Air, and Soil pollution*, 60 : 1~10
3. Rosswall, T. and Keith Paustian (1984). Cycling of nitrogen in modern agricultural systems, *Plant and Soil*, 76 : 3~21
4. Kiuchi, M., R. Horton, and T. C. Kaspar (1994). Leaching characteristics of repacked soil columns as influenced by subsurface flow barriers, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58 : 1212~1218
5. Daniel, V. McCracken, M. Scott Smith, John H. Grove, Charles T. MacKown, and Robert L. Blevins (1994). Nitrate leaching as influenced by cover cropping and nitrogen source, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58 : 1476~1483
6. 稻森悠平, 水落元之, 西村 修, 本尙志 (1994). 土壤浸透法お用いた排水處理と窒素負荷量, *環境と測定技術*, 21(12) : 8~18
7. Naokatsu Sakata, Kazuo Yamamoto, Hideo Nakahara and Takuya Marumoto (1995). Moving of Nitrogen from Coating Fertilizer in Soil, *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.* 66 : 253~258
8. Seiichiro Kuroda and Toshio Tabuchi (1996). Change in Nitrate Nitrogen Concentration and Load of the Springwater, *Trans of JSIDRE.* 181 : 31~38
9. Yasuhiro Nakanishi, Youji Yamamoto, Kwang-Lai Park, Shigeru Kato and Kukuio Kumazawa (1995). Estimation and Verification of Origins of Groundwater Nitrate by Using $\delta^{15}N$ Values, *Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr.* 66 : 544~551
10. 환경처 (1994). 수질오염공정시험법, 동화기술
11. Lee, C. K., K. C. Lee, H. J. Lee, H. I. Rhu, M. H. Lee, S. H. Jun, S. S. Kim, K. H. Kim, S. K. Kim and S. D. Kim (1990). Study on Good Agricultural Practice in the Use of Fertilizer and Agrochemical : the impact of fertilizer on soil and water environment, and its countermeasure. NIER, Vol. 12. 293~310
12. 농업진흥공사 (1982). 농업용수개발시험연구, 390~391
13. 國松孝南 (1985). 農地からのN, P負荷. *環境技術.* 14 : 114~119
14. Shin, Dong-Seok and Soon-Kuk Kwun (1990). The Concentration and Input/Output of Nitrogen and Phosphorus in Paddy Field, *Korean J. Environ. Agric.* Vol. 9(2) : 133~141