

수도재배에서 유입수의 농도와 시비량의 변화에 의한 질소, 인의 Mass Balance

Mass balance of the phosphorus and nitrogen in variable input
concentration and fertilization in cropping rice

황 하 선* · 윤 춘 경 (건국대)
Hwang, Ha Sun · Yoon, Chun Gyeng

Abstract

This study were conducted to evaluate the mass balance of phosphorus and nitrogen with cropping in experimental pot where the mass of input concentration, and fertilization were variable. Four treatments include CSWNF, TWCF, SWHF and SWNF. And these cases were compared to the control case of tap water irrigation with conventional fertilization (CONTROL). Fertilization were following conventional fertilization , N : P : K = 11kg : 7kg : 8kg. Input water loading was CSWNF (N:48.7g ,P:3.6g), TWCF(7.8g, 0.6g), SWHF(38.8g ,2.9g), TWNF(38.8g, 2.9g) and CONTROL(0g ,0g)

The result is nitrogen decrease rate; TWCF(19.2%), SWHF(14.9%), CSWNF(9.2%) and SWCF(5.6%). phosphorous decrease rate ; TWCF (10%), SWHF(3.7%), SWCF(0.9%) and CSWNF(0.3%).

I. 서 론

최근 하천 및 저수지의 수질오염에 관한 관심이 고조되면서 화학비료를 시비하는 농업활동으로 인한 농경지에서의 영양물질의 유출에 대한 인식이 달라지고 있다. 화학비료를 사용하는 근대 농업에서 농경지는 호수, 하천 등의 수역에서의 수질오염원이기도 하지만, 수질 정화의 기능적 측면도 있는데, 안¹⁾ 등은 축산폐수가 유입되는 논 생태계에서 논의 순기능을 연구한 바가 있다.

농경지에서의 영양물질의 이동은 유입과 배출로 나누어진다. 유입은 퇴비와 비료의 시비 등으로 인한 인위적인 유입과 관개수, 강수, 강하진, 토양 미생물에 의한 질소 고정 등 자연적인 유입으로 나누어지며, 배출은 수확물과 식물 잔재물 등의 인위적인 배출과 논물의 표면 유출, 지하 침투, 질소의 휘산과 탈질작용 등의 자연적 배출이 있다.²⁾ 김³⁾ 등은 농경지에서 시비조건을 달리하는 시험구를 대상으로 하여 관개기 동안의 단위논에서의 질소와 인의 농도 및 부하 특성을 연구하였고, 김⁴⁾ 등은 관개 기간 중 용수 배수 논 표면수 및 침투수 등의 수질과 유량

등을 조사하여 광역논에서의 수질변화의 특성 및 유량과 오염부하량의 관계를 규명하였다.

그러나 논은 유역의 토지이용, 수문현상 및 오염배출 형태에 따른 영향이 클 뿐 아니라 물 관리가 일정하지 못하여 많은 연구자들이 논에서의 수문기작과 영양물질의 유출에 관한 연구에 있어 많은 어려움을 겪고 있다.

이에 본 연구는 유입수의 농도와 시비량 및 배출을 통제한 시험구를 대상으로 벼의 생육기간 전후의 질소와 인의 mass balance를 측정하여 현실적으로 어려움을 겪고 있는 논에서의 질소와 인의 이동에 관한 기초 자료 제공과 유입수의 농도와 시비량의 변화에 대한 질소 인의 분포를 규명하고자 한다.

II. 재료 및 방법

작물재배시설

작물재배시설은 Fig. 1과 같이 길이 110cm×폭 90cm×높이 70cm의 표면적이 약 1m²인 타원형 합성수지 용기를 실험포트로 사용하였다. 1999년 5월 24일 공시품종 일품 벼를 1주 1본씩 포트 당 19개체씩 대조구 1개와 처리구 4개에 각각 3반복으로 처리하여 총 15개 포트에 이양 하였으며, 재배시설전경은 Photo 1과 같다. 본 연구에서는 건국대학교 교내에 설치하여 실험운영중인 ‘인공습지를 이용한 소규모 오폐수처리시설’의 처리수를 관개용수로 사용하였다. 처리구 조건은 ①오수처리수를 연속관개하고 시비하지 않은 처리구(CSWNF), ②오수처리수를 관개하고 관개재배법에 의해 시비한 경우(SWCF), ③오수처리수를 관개하고 관행재배법의 절반에 해당하는 시비를 한 경우(SWHF), ④오수처리수를 희석하여 관개하고, 관행재배법에 의해 시비한 경우(TWCF), ⑤수돗물을 관개용수로 사용하고 관행재배법에 의해 시비

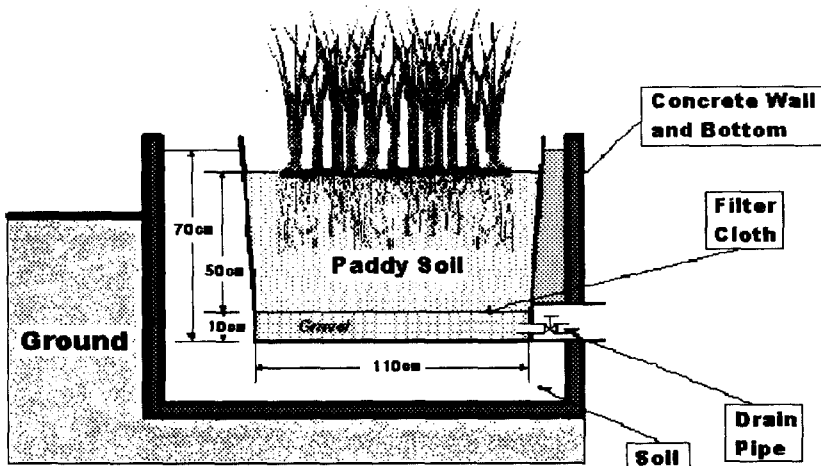


Fig. 1 Section of experiment pot for rice cultivation

한 경우(CONTROL)의 5가지로 구분하였다. 이 중 TWCF는 오수처리수의 농도에 관계없이 일정하게 5배로 희석하여 관개하였다.

분석방법

각 처리구의 관개기간은 1999년 6월 16일부터 8월 23일까지였고, CSWNF는 강우기를 제외하고 매일 10ℓ씩 총 540ℓ를 관개하였으며, 다른 처리구는 포트의 물 상태를 조절하면서 재배기간 동안 총 430ℓ를 관개하였다. 일반적으로 관개용수는 10a당 500kl~2,000kl가 필요한데 이를 본 실험시설의 표면적인 1m²으로 환산하면, 500ℓ~2,000ℓ에 해당하는 양으로, 강우의 양을 고려할 때 적정범위가 공급되었다고 생각된다. 관개용수의 수질은 관개기간인 6월 14일부터 8월 23일까지 일주일 단위로 총 10회에 걸쳐 습지에 의한 오수처리수의 T-N과 T-P농도를 Standard Methods⁵⁾에 의해 일주일 단위로 측정하여 평균농도를 구하였고, T-N과 T-P의 평균농도는 각각 90.2mg/L, 6.7mg/L 이었으며, 총 관개수량을 곱하여 평균유입량을 산출하였다. 중간 낙수기에는 일시적인 관개중지로 인해 측정에서 제외하였다.



Photo 1 Experiment plant for rice cultivation

시비량은 관행재배법에 의해 10a당 N : P : K = 11kg : 7kg : 8kg을 재배면적을 고려하여 시비하였으며 각 처리구는 처리형태에 따라 대조구를 기준으로 비율별로 시비하였다.

식물체분석은 1999년 10월 25일에 각 포트 별로 3개체씩 3반복으로 채취하였으며, 잎, 줄기, 뿌리, 종실 등 기관별로 나누어 60℃에서 일주일간 건조 후 분쇄하여 TN과 TP를 측정하였다. 3개체에서 분석된 T-N과 T-P를 이용하여 포트 별로 식물체 전체에 포함된 T-N과 T-P를 산출하였다.

토양시료는 이앙하기 전과 수확 후에, 각 포트별로 임의의 3지점을 선정하여 표토층을 제거한 후 지하 20cm지점에서 채취하여 혼합하였다. 채취한 토양시료를 일주일간 풍건시킨 후 2mm체를 통과시켜 Methods of Soil Analysis⁶⁾에 따라 TN과 TP를 분석하였으며, 이 값에 토양의 부피와 비중으로부터 계산한 토양 무게를 곱하여 토양 중에 함유된 TN과 TP를 산출하였다. 유기물에 의한 오차를 최대한 줄이기 위해 토양시료의 채취 및 전처리 과정에서 식물체의 잔해를 완전히 배제시켰다.

는 토양 내에서의 영양물질수지는 input과 output으로 구분하였다. 즉, 관개용수와 시비에 의해 공급된 질소와 인, 그리고 이앙하기 전 토양에 함유된 질소와 인을 input으로, 수확 후의 토양과 식물체에 포함된 질소와 인을 output으로 구분하여 비교하였다.

III. 결과 및 고찰

질소의 mass balance

는 포트 내에서의 질소의 mass balance를 요약하면 Table 1과 같다. CONTROL은 재배기간 동안 생육이 부진한 관계로 관개재배법에 의한 시비량보다 30%(3.3g) 추가 시비를 하였다. 유입수에 의한 질소 유입량은 유입수의 평균농도 90.2mg/L와 총 관개수량을 곱하여 산출하였다. SWHF와 SWCF의 총 관개수량은 430ℓ로서 관개에 의해 유입된 총 질소는 38.8g이었고, CSWNF는 540ℓ를 관개하여 48.7g의 질소가 유입되었다. 그리고 TWCF는 오수처리수를 일정하게 5배 희석하여 관개하였으므로 재배기간 동안 총 7.8g의 질소가 관개수에 의해 공급되었다. 반면 CONTROL은 수돗물을 관개용수로 사용하였기 때문에 관개에 의한 질소 공급은 없는 것으로 가정하였다.

재배 전후의 토양 내 질소함량의 변화를 살펴보면, CSWNF와 SWCF는 재배 후에 증가한 반면, CONTROL을 비롯한 TWCF와 SWHF는 감소한 것으로 나타났다. 토양 내 질소함량이 증가한 처리구가 있는 반면 감소한 처리구가 생긴 이유를 비교하자면 Table 1에서 보는 바와 같이 시비 및 관개수에 의한 질소 유입량이 절반정도 차이가 나기 때문이다. 이러한 경향으로 미루어본다면 SWHF도 수확 후 토양 내 질소가 증가해야 될 것으로 판단 된다.

질소의 input과 output을 비교해보면 가장 큰 차이를 보인 처리구는 TWCF로서 19.2%가 감소하였고, 그 다음이 14.9%가 감소한 SWHF이며 차이가 가장 적은 처리구는 SWCF로 나타났다. 이런 input과 output의 차이는 질소형태의 변화에 따른 질소의 제거로 볼 수 있다. 벼는 화분과 식물로서 줄기의 통기조직을 통해 산소를 뿌리로 전달하여 뿌리 주변은 호기성 상태가 되지만 그 이하에는 상대적으로 혐기성 상태가 된다. 이러한 조건하에서 수중에 존재하는 NH_4^+ 이온이 뿌리 주변에 공생하는 호기성 미생물에 의한 질산화작용(nitrification)으로 NO_3^- 로 산화된 후, 기존의 NO_3^- 이온과 함께 심토층의 혐기성 상태에서 탈질작용(denitrification)을 받아 N_2 가스로 환원되어 대기 중으로 방출됨으로서 결과적으로 질소가 제거된 것으로 추측되며 소량이긴 하지만 암모니아 가스의 휘산도 있었을 것으로 생각된다. 그리고 강우시 실험포트내 관개수의 overflow 및 배수로 인한 질소의 용탈과 미생물에 의한 질소성분의 흡수이용을 생각해 볼 수 있으나, 이에 의한 질소제거량은 많지 않을 것으로 판단된다.

또한 모내기 후인 6월 10일경부터 모든 처리구에 개구리밥이 관찰되었는데, TWCF는 다른 처리구에 비해 약 2 배정도 많았고 CONTROL은 아주 소량이 발견되었다. 이 기간까지 3회에 걸쳐 개구리밥을 제거해 주었는데, 개구리밥은 수처리에 적용되는 식물로서 수중에 존재하는 질소성분을 흡수하여 성장 및 번식에 이용한다. 결과적으로 개구리밥의 제거는 영양물질의 손실로 볼 수 있는데, 본 연구에서는 개구리밥을 수거하여 분석하지 못하였기 때문에 개구리밥에 의한 질소제거량을 알 수 없었다. 처리구 TWCF의 감소율이 다른 처리구에 비해 2배 가량 높은 것은 무엇보다 개구리밥의 biomass가 기타 처리구보다 많았다는 점을 들 수 있으며 그 외의 요인에 의한 각 처리구별 질소제거량은 비슷할 것으로 판단된다.

처리구 SWHF를 제외한 TWCF와 CONTROL에서 수확 후 토양 내 질소가 감소한 이유는 위에서 언급한 질소제거 메카니즘의 복합적 작용으로 인해 제거된 질소의 양이 시비와 관개수를 통해 공급된 양보다 많아 토양내 질소가 수중으로 용출되었기 때문인 것으로 추측된다. 반대로 토양 내 질소가 증가한 처리구에서는 시비와 관개에 의해 공급된 질소량이 제거량을 초

과하여 잉여 질소가 토양에 축적된 것으로 판단된다.

유입량의 변화에도 불구하고 input중 벼가 이용하는 질소의 양은 Table 1에서 보는 바와 같이 SWCF가 1.5g, SWHF가 1.3g, CSWNF가 1.2g, TWCF와 CONTROL이 1.0g 순이다. 이 값은 CONTROL과 비교해서 큰 차이가 나지 않는다는 것은 유입수의 농도와 시비량에 관계없이 벼가 가질 수 있는 biomass는 한계가 있다는 것을 알 수 있다. 그리고, 실제 농지배수의 적용에서 영양물질의 input 중 대부분은 유출(표면, 침투)된다는 것을 시사한다

Table 1 Mass balance of nitrogen in paddy soil (unit : g)

Treatment	Input				Output			Decrease Rate(%)
	Fertilizer	Irrigation	Soil	Total	Plant	Soil	Total	
CSWNF	0	48.7	395.3	444.0	1.2	402.1	403.2	9.2
TWCF	11	7.8	485.7	504.5	1.0	406.6	407.7	19.2
SWHF	5.5	38.8	395.3	439.6	1.3	372.7	374.0	14.9
SWCF	11	38.8	406.6	456.4	1.5	429.2	430.7	5.6
CONTROL	14.3	0.0	384.0	398.3	1.0	372.7	373.7	6.2

인의 mass balance

논 토양 내에서의 인의 mass balance는 Table 2와 같으며, 관개에 의한 인의 총 유입량은 처리구 CSWNF의 경우 3.6g이었고 SWHF와 SWCF는 2.9g이었다.

수확 전후의 토양 내 인의 함량을 살펴보면, 질소의 경우와는 다른 결과를 나타냈다. 즉, TWCF와 CONTROL에서 인의 감소량이 가장 많았고 SWCF는 약간 증가하였지만, CSWNF와 함께 큰 차이를 보이지 않았다.

관개용수에 의한 인의 양보다는 시비량에 의존하는 TWCF와 CONTROL은 큰 감소량을 보였다. 특히 TWCF는 질소의 경우와 마찬가지로 개구리밥의 제거로 인한 손실량의 원인으로 큰 감소율을 보인 이유중의 하나라고 생각된다.

벼에 의해 흡수된 인의 양은 SWCF가 3.8g이고, SWHF가 2.8g, TWCF가 2.2g 순이다. SWCF를 제외하고는 CONTROL(2.2g)과 비슷한 값을 나타내었다. 벼가 흡수한 인의 양은 시비량과 유입수의 농도에 따라 조금의 변화는 있지만, 2-3g정도이다.

Table2 Mass balance of phosphorous in paddy soil (unit : g)

Treatment	Input				Output			Decrease Rate(%)
	Fertilizer	Irrigation	Soil	Total	Plant	Soil	Total	
CSWNF	0	3.6	534.0	537.6	2.2	534.1	536.3	0.3
TWCF	7	0.6	599.3	606.9	2.4	543.8	546.2	10.0
SWHF	3.5	2.9	559.6	566.0	2.8	542.2	545.0	3.7
SWCF	7	2.9	558.1	568.0	3.8	559.4	563.2	0.9
CONTROL	7	0.0	567.7	574.7	2.2	515.1	517.3	10.0

IV. 요약 및 결론

본 연구는 벼의 생육기간 전후의 질소와 인의 mass balance를 측정하여 논에서의 질소와 인의 이동에 관한 기초자료를 제공하기 위하여 유입수의 농도와 시비량을 조절하여 수도재배 실험을 하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 질소의 input과 output을 비교해보면 가장 큰 차이를 보인 처리구는 TWCF로서 19.2%가 감소하였고, 그 다음이 14.9%가 감소한 SWHF이며, 차이가 가장 적은 처리구는 SWCF로 나타났다. 인은 TWCF와 CONTROL에서 크게 감소하였고, SWCF는 약간 증가하였으며, SWHF는 CSWNF와 함께 큰 차이를 보이지 않았다.
2. 영양물질의 input중 식물체가 흡수한 양은 질소가 1-1.5g, 인이 2.2-3.8g으로, 질소에 비해 인의 양이 상대적으로 크다.
3. 이상의 결과로 볼 때 수도 재배시 관개기간 동안의 영양물질의 이동은 질소는 작물에 의한 흡수량 보다는 배수형태의 유출량이 많고, 인은 질소와 비교해 상대적으로 적은 양이 유출된다고 생각된다. 영양물질의 mass balance는 질소는 작물의 흡수와 토양 내 축적, 배수 등의 유출 뿐 아니라, 탈질화에 의한 질소의 손실 암모니아의 휘산 등 여러 요인이 작용 할 수 있는 반면에, 인은 식물체의 흡수와 토양 내 축적, 배수 등이 주 요인으로 질소보다는 상대적으로 간단하다.

V. 참고문헌

1. 안윤수, 강기영, 김세근, 노기안, 박무언, 1998, 빗물에 의해 축산폐수가 유입되는 논 생태계에서 영양물질 순환에 미치는 토양과 식생의 영향평가, 한국토양비료학회지, 31(2), pp. 162-169.
2. 하천오염 모델의 해석 농경지의 물질수지 pp. 52.
3. 이종진, 김진수, 오승영, 1999, 단위논에서의 질소, 인 및 COD의 수질 특성, 1999년도 한국농공학회 학술발표회 발표논문집 pp. 670-675.
4. 김진수, 오승영, 김규성, 1998, 광역논에서의 질소와 인의 오염부하량 특성, 1998년도 한국농공학회 학술발표회 발표논문집 pp. 527-532.
5. American Public Health Association. (1995). Standard Methods for the Water and Wastewater Examination, 19th ed., Washington, D.C.
6. American Society of Agronomy, and Soil Science Society of America. (1992). Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and microbial Properties, 2nd ed., Madison, Wisconsin.