

논 경운방법에 따른 비영농기 질소·인 오염부하

Runoff Loading of Nutrient from Paddy Fields According to Tillage Practices during Non-Cropping Season

윤 광 식(전남대)·최 진 규·구 자 웅·손 재 권·조 재 영*(전북대)

Yoon, Kwang Sik · Choi, Jin Kyu · Son, Jae Gwon · Goo, Ja Woong · Cho, Jae Young

Abstract

Runoff, sediments and nutrient losses were studied under different patterns of paddy field management: (1) fall and spring plowing (PL); (2) fall plowing for half of plot and spring plowing (SPL); (3) no-till for fall and spring plowing (NPL) during the non-cropping period in the southern Korea. Sediment losses from PL plot were 25% more than those from NPL plot. There was significant difference in nutrient losses via runoff water and sediment according to plowing practice ($P < 0.01$). Losses of total-N, ammonia-N, nitrate-N, total-P from NPL plot were larger than PL and SPL plots during study period. Sediment and total-P losses from SPL plot were close to those of PL plot.

I. 서론

논에서 영양물질의 유출부하량은 강우량, 토양특성, 비료사용량 및 시비방법, 논토양 관리 형태에 따라 많은 차이를 나타낼 수 있는 것으로 알려져 있는데, 국내에서 이루어진 논에서의 유출수에 의한 오염부하 연구는 그 대부분이 벼 재배기간을 대상으로 연구가 이루어져 왔으며 (Kim and Cho, 1995; Shin and Kwun, 1990) 1년 중 나머지 그 2/3를 점유하는 비영농기간에 대한 연구는 거의 이루어지지 않은 상태이다. 본 연구는 비영농기간 동안 논토양 관리형태에 따른 논으로부터 영양물질의 유출부하량을 산정하고자 하였다. 이를 위하여 농업이외의 오염원이 비교적 적은 전라북도 진안군 마령면 평지리 일대 15,000m²의 논을 시험포장으로 선정하여 비영농기간 동안 경운, 반경운, 비경운의 상태로 논을 관리하였을 때 논에서 유출되는 유출수 중 질소와 인의 농도변화와 유출부하량을 조사하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시험포장

본 실험에 사용된 시험포장은 전라북도 진안군 마령면 평지리에 위치하고 있으며, 축산폐수, 가정하수 및 산업폐수로부터 영향을 받지 않은 수도작 농업지대이다. 본 조사에서 비영농기간은 10월부터 다음해 4월까지로 하였으며, 연구기간은 1997년 10월 1일부터 1998년 4월 30

일까지 (1차년도)와 1998년 10월 1일부터 1999년 4월 30일까지 (2차년도)로 하였다. 시험포장 구획은 장변 100 m와 단변 50 m로서 면적이 5,000 m²인 3개의 시험구를 수확 후 경운, 반경운, 비경운상태로 논을 관리하였다. 경운 시험구는 97년 9월 29일에 수확 후 벧짚을 전랑 논에 살포한 다음 10월 5일에 경운을 실시한 다음 비영농기간 동안 경운상태에서 논 관리를 하다가 98년 4월 25일에 2차 경운을 실시하였다. 반경운 시험구는 수확 후 벧짚을 전랑 논에 살포한 다음 97년 10월 5일에 논 의 1/2 만을 경운한 반경운 상태에서 비영농기간 동안 논 관리를 한 다음 1998년 3월 20일에 1차 경운, 4월 25일에 2차 경운을 실시하였다. 비경운 시험구는 97년 9월 29일에 수확 후 벧짚을 전랑 논에 살포하고 비경운 상태로 두었다가 1998년 3월 20일에 1차 경운을 한 다음, 4월 25일에 2차 경운을 실시하였다. 2차년도 같은 경운관리를 실시하였다.

2. 측정시설

시험포장에 설치된 시설로는 우량계 1조 그리고 자기수위계 및 웨어시설 1조를 각각 설치하였다. 우량계는 아날로그식 일일기록 자기우량계로서 시험포장에 인접한 용수로변에 설치하였으며, 1997년 10월 1일부터 1999년 4월 30일까지 강우량 자료를 수집하였다. 웨어(weir)는 유출량을 측정하기 위한 것으로 시험포장의 하류지점에 설치하였다. 이 웨어에는 직경 40cm의 stilling well을 부착하여 내부에 자기수위계를 설치하였으며, 1997년 10월 1일부터 1999년 4월 30일까지 수위를 측정하였다.

3. 시료채취 및 분석방법

유출수는 매 유출이 발생할 때마다 2시간 간격으로 시험포장의 웨어유출구에서 폴리에틸렌 용기(2L)에 채수하여 4℃ 이하의 온도로 보관하면서 분석시료로 사용하였다. 유출수중에 함유된 유출토사 시료는 논웨어 유출구에 직접 고무호스를 연결하여 특수제작한 200L 용량의 플라스틱 용기에 유출수가 통과도록 하였다. 유출수를 3일동안 정치시킨 후 침강한 토사를 채취하여 풍건시킨 다음 2 mm체를 통과시켜 분석시료로 사용하였다. 유출수 시료의 분석은 수질공정 시험법(환경처, 1993)에 기준하였다. 유출토사와 논토양 시료의 분석은 토양화학분석법 (농촌진흥청, 1983)에 기준하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 강우량과 유출수량

강우량과 유출수량에 대한 데이터는 Table 1에 나타나 있다. 1997년과 1998년의 연구기간 동안에 강우량은 큰 차이를 나타내지 않았다. 1997년과 1998년의 연구기간 동안의 강우량은 각각 368 mm와 323 mm를 나타내었다. 연구 1차년도의 무경운, 반경운, 경운 시험구에서 유출수량은 각각 260 mm, 203 mm 그리고 177 mm를 나타내었으며, 2차년도에는 각각 190 mm, 169 mm 그리고 162 mm를 나타내었다. 무경운의 경우가 경운과 반경운의 경우보다 유출능이 큼을 알 수 있었다. 경운에 의해 표면 저류량이 증가하고 macropore 등이 생겨 침투능이 증가하여 유출이 작게되는 것으로 사료되었다.

2. 유출수중 토사농도의 변화

유출수중에서 검출되는 총부유물질의 농도를 조사한 결과 경운 > 반경운 > 비경운 시험구

의 순으로 나타났다. 비경운 시험구의 경우는 가을부터 초봄까지 거의 대부분이 60-100 mg L¹를 나타내다가 1차 경운을 수행한 3월 20 이후부터 500-600 mg L¹로 급격히 상승하는 경향이었다. 반경운 시험구의 경우 1차 경운을 수행한 10월 초부터 약 400-500 mg L¹의 수준에서 잦은 유출로 인하여 점차 감소하다가 2차 경운을 시작한 이듬해 3월 20일경부터 다시 상승하여 500- 600 mg L¹를 나타내었다. 또한 경운 시험구의 경우, 경운을 수행한 10월 초부터 650-700 mg L¹의 수준을 나타내다가 점차 감소하는 경향이었는데 4월 25일경 모내기를 위한 경운 후 다시 증가하는 경향이었다. 유출수중에 함유된 총부유물질을 토사의 양으로 환산한 결과, 비영농기간 평균적으로 비경운 시험구 834 kg ha¹, 반경운 시험구 1,016 kg ha¹ 그리고 경운 시험구의 경우 1,098 kg ha¹를 나타내었다. 비경운의 경우 유출량이 커짐에도 불구하고 토사손실이 경운과 반경운의 경우보다 작음이 조사되었다.

Table 1
Hydrological conditions at the observations of runoff loading from paddy field during a non-irrigation period

Event No.	Date	Rainfall (mm)	Runoff water (mm)			Initial abstract (mm)			Previous rainfall (mm)	Days of drought
			U ^a	S ^b	P ^c	U ^a	S ^b	P ^c		
1-01	13-Nov-97	56.7	44.0	32.7	22.7	11.0	18.4	29.0	2.4	43
1-02	18-Nov-97	11.5	6.6	1.0	1.0	3.0	6.9	8.0	56.7	2
1-03	26-Nov-97	18.8	12.5	5.6	3.6	4.2	11.4	11.6	16.9	3
1-04	30-Nov-97	24.5	19.0	13.2	12.0	3.4	6.9	9.1	18.8	3
1-05	08-Dec-97	41.1	29.1	19.6	11.0	8.9	19.0	26.4	24.5	7
1-06	21-Feb-98	16.5	2.6	3.8	1.0	11.2	11.2	17.3	47.8	71
1-07	21-Mar-98	34.5	22.0	15.0	15.0	10.3	15.4	17.0	27.7	23
1-08	03-Apr-98	40.5	34.7	32.2	31.9	4.3	4.9	5.9	41.6	10
1-09	07-Apr-98	20.0	13.0	13.0	13.0	4.3	5.0	5.2	40.5	3
1-10	14-Apr-98	57.3	47.0	42.7	40.2	4.7	5.5	3.6	27.6	5
1-11	25-Apr-98	34.5	29.0	24.5	26.0	3.0	7.4	6.0	65.7	8
		355.9 [*]	259.5 [*]	203.3 [*]	177.4 [*]	6.1 ^{**}	10.2 ^{**}	12.6 ^{**}		
2-01	13-Oct-98	43.0	31.2	25.0	19.0	10.5	17.0	22.4	43.2	15
2-02	31-Oct-98	11.2	2.5	2.0	2.2	5.0	7.0	6.0	45.5	16
2-03	05-Nov-98	16.9	7.2	6.0	6.0	3.7	5.0	5.9	11.2	4
2-04	11-Nov-98	18.8	11.0	9.5	9.0	6.0	6.9	8.3	16.9	4
2-05	16-Nov-98	61.4	44.1	42.5	41.5	15.0	20.0	23.0	18.8	4
2-06	25-Nov-99	12.0	5.6	5.0	5.0	3.8	5.9	4.7	61.4	6
2-07	15-Mar-99	43.0	23.2	19.8	20.0	19.2	22.8	23.0	36.4	103
2-08	02-Apr-99	11.2	2.5	2.0	2.0	7.0	7.2	10.5	43.0	17
2-09	07-Apr-99	16.9	7.2	6.0	6.0	6.2	7.8	10.5	11.2	4
2-10	13-Apr-99	18.8	11.0	11.0	11.0	12.0	12.0	14.5	16.9	4
2-11	18-Apr-99	61.4	44.1	40.5	41.0	14.3	13.9	16.9	18.8	4
		314.6	189.6	169.3	162.7	9.3 ^{**}	11.2 ^{**}	13.2 ^{**}		

^a un-plowing, ^b semi-plowing, ^c plowing, ^{*} sub total, ^{**} sub average.

3. 유출수중 영양물질의 농도변화

비경운 시험구의 경우 전질소의 농도는 3.37-4.89 mg L¹의 범위로 평균 3.81 mg L¹, 암모니아태질소는 1.58-2.68 mg L¹의 범위로 평균 1.98 mg L¹, 그리고 질산태질소는 0.92-1.34 mg L¹의 범위로 평균 1.11 mg L¹를 나타내었다. 반경운 시험구의 경우 전질소의 농도는 3.33-4.91 mg L¹의 범위로 평균 3.91 mg L¹, 암모니아태질소는 1.50-3.00 mg L¹의 범위로 평균 2.08 mg L¹, 그리고 질산태질소는 0.81-1.27 mg L¹의 범위로 평균 1.01 mg L¹를 나타내었다. 경운 시험구의 경우 전질소의 농도는 3.56-5.04 mg L¹의 범위로 평균 4.03 mg L¹, 암모니아태질소는 1.42-3.37 mg L¹의 범위로 평균 2.32 mg L¹, 그리고 질산태질소는 1.00-1.38 mg L¹의 범위로 평균 1.18 mg L¹를 나타내었다. 전인산의 농도는 비경운 시험구의 경우 0.180-0.250 mg L¹의 범위로 평균 0.211 mg L¹를, 반경운 시험구의 경우 0.190-0.237 mg L¹

의 범위로 평균 0.209 mg L^{-1} 를, 그리고 경운 시험구의 경우 $0.181\text{--}0.244 \text{ mg L}^{-1}$ 의 범위로 평균 0.209 mg L^{-1} 를 나타내었다. 또한 가용성 인산의 경우 최대 0.01 mg L^{-1} 까지 검출되는 경우도 있었으나 거의 대부분의 시료에서 검출되지 않았다. 대체로 경운 시험구의 영양물질 농도가 반경운과 비경운 시험구보다 약간 높은 경향을 보여 주었다. 이는 경운에 따라 미생물 활동에 좋은 환경이 조성되어 토양내 영양물질 무기화가 촉진 된 것으로 사료된다.

4. 경운활동에 따른 논으로부터 영양물질의 유출량

본 연구기간 가운데 비영농기간을 대상으로 질소(유출수+유출토사)의 유출부하량을 계산한 결과 비경운 9.42 kg ha^{-1} , 반경운 8.17 kg ha^{-1} 그리고 경운 7.76 kg ha^{-1} 으로 각각 계산되었다. 한편 인산(유출수 + 유출토사)의 부하량은 비경운 0.64 kg ha^{-1} , 반경운 0.58 kg ha^{-1} 그리고 경운 0.58 kg ha^{-1} 으로 각각 계산되었다. 본 조사결과 비경운시험구로부터 영양물질의 유출량이 반경운 그리고 경운시험구에 비하여 더 높게 나타나는 경향이였다. 영양물질의 농도는 경운시험구에서 가장 높게 나타났으나, 유출수량은 비경운시험구에서 더 높게 나타났기 때문인 것으로 생각된다.

IV. 결 론

본 연구는 비영농기간 동안 논토양을 경운, 반경운, 비경운의 형태로 관리하였을 때 강우-유출에 따른 논에서 질소와 인산의 유출부하량을 비교 검토하였다. 무경운의 경우가 경운과 반경운의 경우보다 유출능이 큼을 알 수 있었다. 유출수중에 함유된 토사의 양은 비영농기간 평균, 비경운 시험구 834 kg ha^{-1} , 반경운 시험구 $1,016 \text{ kg ha}^{-1}$ 그리고 경운 시험구의 경우 $1,098 \text{ kg ha}^{-1}$ 를 나타내었다. 따라서 토사 손실은 비경운의 경우가 반경운과 경운의 경우보다 작음을 알 수 있었다. 비영농기간중 질소(유출수 + 유출토사)의 유출부하량은 비경운 시험구 9.42 kg ha^{-1} , 반경운 시험구 8.17 kg ha^{-1} 그리고 경운 시험구 7.76 kg ha^{-1} 으로 나타났다. 인산 (유출수 + 유출토사)의 부하량은 비경운 시험구 0.64 kg ha^{-1} , 반경운 시험구 0.58 kg ha^{-1} 그리고 경운 시험구 0.58 kg ha^{-1} 으로 나타났다. 본 조사결과 비경운시험구로부터 영양물질의 유출량이 반경운 그리고 경운시험구에 비하여 더 높게 나타나는 경향이였다.

참고문헌

1. 환경처. 1993. 수질오염 공정시험법
2. Jung, Y. S. J. E. Yang, C. S. Park. Y. G. Kwon and Y. K. Joo. 1998. Changes of Stream Water Quality and Loads of N and P from the Agricultural Watershed of the Yulmunchon Tributary of the Buk-Han River Basin. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 31(2):170-176
3. Kim, B. Y. and J. K. Cho. 1995. Nutrient Effluence by the Outflowing Water from the Paddy Field during Rice Growing season. KCID J. 2(2):150-156
4. Park, S. W, S. H. Yoo and M. S. Kang. 1997. Nonpoint Source Pollution Loadings from Land Use on Small Watersheds. J. Korean Soc. Agric. Eng. 39(3):115-127
5. Shin, D. S. and S. K. Kwun. 1990. The Concentration and Input/Output of Nitrogen and Phosphorus in Paddy Fields. Korean J. Environ. Agric. 9(2):133-141.