

복숭아 과수원에서 측정된 강우에 의한 질소와 인의 지표면 유실

정종배* · 김민경¹ · 김복진¹

대구대학교 자연자원대학 생명환경학부 농화학전공,
¹영남대학교 자연자원대학 생물자원학부 식물자원과학전공

초 록 : 농업유역에서 영양원소들은 시비 후 강우에 의해 지표 유출이 생기면 용해되거나 토사에 흡착된 상태로 하천에 유입되어 부영양화의 주요한 요인이 되고 있다. 농경지로부터의 영양염류 유실 정도를 평가하기 위해 경북 영천군 임고천 유역의 대표적 영농형태인 과수원 토양에 14.3×24.8 m 면적의 유출 시험포를 설치하고 1999년 3월부터 11월 사이에 발생한 26개의 강우 사상에 대하여 지표 유출수량과 토양 유실량을 측정하였으며 이들과 함께 발생하는 질소와 인의 유실량을 조사하였다. 시험 포장에는 화학비료와 혼합유박비료로 질소와 인이 각각 172, 46 kg/ha씩 처리되었다. 조사 기간 동안 발생한 총 표면 유출수량은 421.5 m³/ha이었고 토양 유실량은 1,989 kg/ha이었다. 유출수중의 T-N, NO₃-N, NH₄-N, T-P 및 PO₄-P의 농도는 각각 4.7~171.0, 0.1~188.0, 0.13~3.36, 0.58~4.99 및 0.05~3.71 mg/l 범위였다. 강우에 의해 지표면으로 유실된 총 질소량은 16.39 kg/ha였으며 이중 질산태 질소와 암모늄태 질소가 각각 75%와 3%를 차지하였다. 인의 유실량은 총 1.04 kg/ha였으며 이 중에서 이온형태의 인이 47%였으며 토사와 함께 유실되는 인은 27% 정도였다. 질소와 인의 총 유실량은 각각 총 시비량의 9.5% 및 2.3%였다. (2000년 3월 7일 접수, 2000년 5월 23일 수리)

서 론

농경지에서 발생하는 비점원 오염은 비료, 농약, 퇴비 등의 시용에 주로 기인하는데, 지표 유거수와 지하 침투수를 통하여 하천 등으로 유입되며, 특히 강우에 의한 토양의 침식도 중요한 부분을 차지하는 것으로 알려져 있다.¹⁾ 농업지대 소하천에서는 중금속이나 유해 유기화합물보다는 영양염류의 오염이 주로 문제가 되는데,^{2,3)} 우리 나라는 전 국토 면적의 67%가 경사지 12% 이상에 분포하고 있어 여름철 집중 강우 시에 지표면 유거수에 의한 막대한 수자원 손실과 함께 토양 침식이 발생하며 이에 동반하여 영양염류의 유실이 일어난다.⁴⁾

대부분의 경우 농경지에서 배출되는 영양염류의 양은 시비 직후 비가 와서 지표 유거가 발생할 때 크게 나타나고, 강우와 관계로 인하여 지하로 침투된 영양염류가 기저 유거수와 함께 하천으로 부하 된다. 요소나 암모늄 형태로 농경지에 사용된 질소는 대부분 질산으로 변환되어 토양 내에서 유동성을 가지므로 지표면 유거수나 지하 침투수와 함께 쉽게 이동되며, 인의 경우에는 토양 내에서 유동성이 작기 때문에 주로 토양 입자에 흡착된 상태로 하천으로 이동하게 된다. 특히 질소와 인이 하천의 부영양화를 유발하는 주된 영양원소로 알려져 있는데,⁵⁾ 질소의 경우 0.3 mg/l 수준에서 이미 조류 발생이 가능하며,⁶⁾ 인은 0.035~0.08 mg/l 이상에서 수질의 부영양화가 촉진되는 것으로 밝혀져 있다.⁷⁾ 낙동강의 지천이며 사과를 위주로 한 과수원이 집단적으로 형성되어 있는 경북 영천군의 임고천에서 조사된 수질을 보면 연중 무기태 질소는 0.47~19.94 mg/l, 총 인은 0~0.21 mg/l 범위로 나타났으며,⁸⁾ 이러한 오염 수준은 위에서 언급한 부영양화 유발 수준을 훨씬 상회하며 실제 대부분

의 농업지대 소하천들이 상당한 부영양화의 단계에 와 있는 것으로 조사되고 있다.⁹⁾ 농경지로부터의 영양염류 유실 외에도 오수처리 시설이 없는 소규모의 축산 농가의 증가와 생활하수의 유입 등으로 인하여 우리 나라 농업지대 소하천의 부영양화 현상은 가중되고 있다.

영농활동에 의한 하천 오염 부하량의 증가 추세에 비추어 볼 때 농업지대 소하천의 오염 실태 파악과 소규모 유역에서 특정 영농활동이 생성하는 환경 오염 부하량을 파악하는 일은 이들 영농활동으로부터 생성되는 하천의 오염을 최소화시키고 농업 환경과 하천 수질의 건전성을 확보하는데 매우 필요한 조치가 될 것이다. 그러나 농업지대 소유역 규모에서 농업 비점오염원에 의한 하천의 오염에 대한 체계적인 연구는 아직 부족한 실정이다. 축산폐수나 생활하수의 경우는 그 관리나 처리가 비교적 용이하나 농경지에 사용된 화학비료나 퇴비의 유실에 따른 영양염류의 배출은 그 관리가 매우 어려우며 영양염류의 부하량은 강우 특성, 지형, 토양의 성질, 식생, 시비량 또는 토양 관리 방법 등의 영향을 받는다. 따라서 다양한 형태의 농경지에 대하여 영양염류 배출 정도를 파악하고 효과적인 관리 대책을 마련하는 일은 농업지대 하천 부영양화를 막는데 있어 매우 시급한 과제이다.

본 연구에서는 영농활동이 하천 수질에 미치는 영향을 파악하는 연구의 일부로 이루어졌으며 화학비료를 사용한 경사지 과수원 토양에서 자연 강우에 의한 지표 유출수량과 토양 유실량을 측정하였고 이와 함께 하천으로 부하 되는 질소와 인의 양을 조사하였다.

재료 및 방법

경북 영천군 임고면에 위치한 낙동강 지천의 하나인 임고천 유역은 사과, 복숭아 등 과수재배가 집단적으로 이루어지고 있

찾는말 : 부영양화, 유거수, 인, 질소, 토양침식
*연락처 : Tel : 82-53-850-6755; Fax : 82-53-850-6709
E-mail : jbchung@biho.taegu.ac.kr

Table 1. Initial physical and chemical properties of the peach orchard soil

Soil depth cm	pH	Org. C %	T-N %	Av. P mg/kg	CEC	Extractable cations				Texture
						Ca	Mg	K	Na	
0~10	4.97	0.51	0.10	21.26	9.02	2.61	2.01	1.11	2.92	Loam
10~20	5.26	0.47	0.09	16.31	9.54	2.85	2.18	1.06	2.18	

Table 2. Fertilizer applications in the peach orchard during the studied season

Date	Commercial Fertilizer*		Compost†		Total	
	N	P	N	P	N	P
9/March	54	16	37	7	91	23
25/April	45	13	-	-	45	13
23/May	36	10	-	-	36	10
Total	135	39	37	7	172	46

*15-10-12 of N-P₂O₅-K₂O.

†Sesame cake(50%) + Cotton cake(30%) + Rice barn cake(20%).

는 지역이다. 본 연구에서는 임고천면으로부터 약 10 m 거리에 위치한 경사도가 13%이며 면적이 14.3×24.8 m(약 107평) 규모인 복숭아 과수원을 단일 유출 시험포로 만들어 이용하였다. 조사에 이용된 과수원은 1996년에 5~6년생 과수를 옮겨 심어 조성되었으며, 관행적인 관리가 이루어져왔다. 과수원의 토양은 충적토인 반호통(fine loamy, mesic, Dystric Fluventic Eutrochrepts)이었으며, 토양의 물리화학적 성질은 Table 1에 나타내었는데, 토양의 분석은 우리 나라 농촌진흥청 및 미국토양학회 표준분석법에 따랐다.^{9,10} 토양의 pH는 1:5 H₂O 현탁액 중에서 glass electrode로 측정하였고, 유기탄소 함량은 Walkley-Black 방법으로, 총질소는 Kjeldahl법으로, 유효인의 함량은 Bray No. 1법으로, 양이온 치환용량은 1-N ammonium acetate를 이용하여 토양을 NH₄⁺로 포화시킨 후 Kjeldahl 종류 장치에서 NH₄⁺를 직접 정량하여 측정하였고, 치환성양이온은 1-N ammonium acetate로 침출하여 ICP(Liberty Series II, Varian, Australia)로 분석하였다. 토성은 micropipette법으로 측정하였다.¹¹ 시비를 비롯한 과수원의 관리는 직접 농가에서 수행하였으며, 조사기간동안 경운은 하지 않았고 제초 작업은 필요에 따라 수시로 이루어졌으며, 따라서 과수원 토양 표면은 대부분의 조사기간동안 생초 또는 건조로 피복된 상태로 유지되었다. 3월부터 5월 사이에 화학비료(제2종 복비, 15-10-12)를 이용하여 3요소 시비가 이루어졌으며, 3월에는 화학비료와 함께 혼합유박(깻묵 50%, 면실박 30%, 미강박 20%)이 사용되었는데 자세한 시비 내역은 Table 2에 나타내었다.

1999년 3월부터 11월 사이에 유거수가 발생되는 강우 사상을 대상으로 질소와 인의 지표면 유실을 조사하였다. 시험포장 경사면 최하단부에 유거수 수집구를 설치하여 시험 포장에서 발생하는 모든 표면 유거수가 이곳으로 모이게 하였다. 강우량은 시험포에 자기우량계를 설치하여 측정하였고, 유출수량은 간이유량계를 이용하여 측정하였다. 강우사상별로 발생한 총 유거수는 대형 플라스틱 탱크에 수집하였으며, 균질하게 혼합한 후 분석용 시료를 5 l 플라스틱 용기에 채취한 후 4°C 이하에

서 보관하며 신속히 분석하였다. 수집된 유거수 중에서 2 mm 이상의 입자는 체로 여과하여 제거하고 분석에 사용하였다.

토사를 포함한 전체 시료중의 총 질소와 총 인을 분석하였는데, 총 질소는 Kjeldahl법으로 정량 하였으며,¹² 총 인은 질산으로 분해한 후 vanadomolybdate법으로 발색시켜 spectrophotometer(HP8452A, Hewlett Packard, USA)로 정량 하였다.¹³ 전체 시료 일정량을 0.45- μ m filter에 통과시켜 토사를 분리하였으며 여액 중의 이온형태의 질소와 인을 정량 하였는데, NH₄-N과 NO₃-N은 ion chromatography(DX-100 ion chromatograph, Dionex Corp., USA)로 분석하였으며 PO₄-P는 molybdate blue법으로 발색시켜 spectrophotometer(HP8452A, Hewlett Packard, USA)로 정량 하였다. 분리한 토사는 110°C에서 건조시켜 정량 하였으며, 토사에 함유된 총 질소와 총 인은 전체 시료의 분석에 이용된 방법과 동일한 방법으로 분석 정량 하였다. 질소와 인의 유실량은 유거수량 또는 토사량에 각 형태별 질소와 인의 농도를 곱하여 산정하였다.

결과 및 고찰

임고천은 금호강 상류 지천중의 하나로 그 유역은 약 80%가 산림지대이며 나머지중 소규모 주거지를 제외하면 과수원을 포함한 밭이 62%, 논이 38%를 차지하는 소규모 농업유역이다. 임고천의 중·상류에는 농업외의 산업은 전혀 없으며 하천변을 따라서 사과를 중심으로 한 과수농사가 집단적으로 이루어지고 있다. 전형적인 농업유역을 흐르는 임고천의 수질은 질소와 인의 함량을 기준으로 평가하였을 때 이미 부영양화상태에 있는 것으로 판단된다.⁸ 과다한 질소와 인의 함량은 결국 농경지로부터 유입된 것으로 판단되며 이를 제어하기 위해서는 농경지에 대한 시비관리와 강우에 의한 영양염류의 유실을 최소화함으로써 가능할 것이다.

조사유역에서 1999년 3월부터 11월까지 총 강우량은 1,339 mm로 측정되었고, 영천 측후소에서 측정된 1999년 총 강우량

Table 3. Monthly distribution of rainfall, runoff and soil loss in the peach orchard in 1999

Month	Rainfall mm	Runoff m ³ /ha	Runoff ratio* %	Soil loss kg/ha
March	60.0	28.3	4.7	72.3
April	57.5	14.4	2.5	39.1
May	136.0	23.8	1.8	39.0
June	190.5	32.3	1.7	79.9
July	115.5	29.5	2.6	618.4
August	294.0	34.4	1.2	350.1
September	431.5	253.8	5.9	789.0
October	32.0	4.2	1.3	1.6
November	21.5	0.8	0.4	0.1
Total	1,338.5	421.5	3.1	1,989.5

*Runoff ratio : Runoff/Rainfall.

은 1,418 mm였는데, 이 지역의 지난 10년간의 평균 연강우량 1,108 mm를 훨씬 상회하였다. 월별 강우 횟수와 강우량 분포는 5월부터 9월 사이에 집중되는 전형적인 우리 나라의 강우 형태였다. Table 3에 유거수가 발생한 강우사상을 대상으로 조사한 강우량, 유거수 및 토사 유실량을 나타내었다. 유거수가 발생한 강우 횟수는 총 26회였다. 유거수 발생량은 강우량이 많은 시기에 많았으며 특히 9월 중순 이후 8일간 강도가 높은 강우가 지속되면서 많은 유거수가 발생하였다. 총 강우량에 대한 유거수량으로 표시된 runoff ratio는 4.7% 이하로 나타났는데, 이러한 적은 양의 유거수 발생은 조사된 강우 사상 사이에 상당한 건조기간이 지속되어 토양의 수분 흡수력이 높았던 것과 투수성이 비교적 높은 시험포장의 토양 구조, 그리고 잡초의 피복에 기인한 것으로 판단되었다. 또한 유거수와 함께 유실되는 토사의 양은 총 1,989 kg/ha였으며 높은 강도의 강우가 수 차례 집중된 7월부터 9월 사이에 상대적으로 많이 발생하였다.

유거수 중의 질소와 인의 함량을 조사한 결과는 Table 4에 나타내었다. 질소의 경우 질산태 질소의 함량이 높았으며 특히 시비시기에는 총 질소 함량의 대부분을 질산태 질소가 차지하

였다. 질산태 질소에 비하여 암모늄태 질소는 소량이었고 시비 관리가 끝난 8월 이후에는 이온형태의 질소 함량이 낮아 총 질소의 대부분이 유기물 형태 또는 토사에 흡착된 형태인 것으로 나타났다. 1997년 임고천의 하천수 중에서 조사된 총 질소, 질산태 질소 및 암모늄태 질소 함량이 각각 1.2~22.3, 0.4~17.6, 0.1~2.4 mg/l인 것을 고려할 때 조사된 유거수 중의 각 형태별 질소 함량이 훨씬 높은 것으로 나타났다.⁸⁾ 유거수 중의 질산태 질소 농도의 경우 호소에서 수생식물의 성장을 촉진시킬 수 있는 제한농도로 제시되고 있는 0.3 mg/l를 훨씬 초과하는 수준이었다.^{6,14)}

유거수 중의 총 인의 농도는 토사의 유실이 많았던 7월부터 9월에 높았으며 이온형태의 인 농도 또한 이 시기에 높았는데 월별 농도 변화는 질소에 비하여 훨씬 작았다. 이러한 결과는 물론 인의 시비량이 질소에 비하여 낮으며 토양에 흡착이 잘되는 특성에 기인하는 것으로 볼 수 있을 것이다. 조사기간 동안의 총 인과 이온형태 인의 평균 농도는 각각 2.30 및 1.08 mg/l 수준으로 임고천 하천수에서 조사된 인의 수준에 비하여 훨씬 높았다.⁸⁾ 앞서 언급한 질소의 경우와 마찬가지로 이러한 수준의 인의 농도 역시 하천이나 호소의 부영양화를 유발할 수 있는 한계 수준으로 알려져 있는 0.035~0.08 mg/l을 훨씬 초과하는 농도이다.⁷⁾

유거수 중의 질소와 인의 농도가 이들 유거수가 직접 유입되는 하천수 중의 질소와 인의 농도에 비하여 훨씬 높다는 것은 결국 하천 주변의 농경지에서 발생하는 유거수가 이들 영양원소의 하천 부하에 중요한 요인이 되고있다는 결론에 이르게 한다.

시험 포장에서 발생한 유거수 및 토사량과 이들 중의 질소 및 인의 농도로부터 계산된 각 영양원소의 형태별 월별 유실량은 Table 5와 6에 나타내었다. 질소의 총 유실량은 16.4 kg/ha였으며 이중 질산태 질소가 75%를 차지하였으며 암모늄태 질소는 3% 정도였다. 특히 시비관리가 이루어지고 토양 중의 잔류 질소 함량이 높은 시기인 4월부터 7월 사이에는 총 질소 유실량 중의 질산태 질소 비율이 85~95%로 더욱 높았는데, 시용된 화학비료중의 질소가 질산태 질소로 산화되어 토양에 흡

Table 4. Monthly mean concentrations of nutrients in runoff from the peach orchard in 1999

Month	Total-N*	NO ₃ -N*	mg/l		
			NH ₄ -N*	Total-P*	PO ₄ -P*
March	38.8(26.9~61.1)†	19.9(6.8~36.8)	0.77(0.63~0.86)	1.96(1.78~2.06)	0.53(0.05~0.80)
April	69.3(4.7~133.9)	63.4(1.2~125.5)	0.64(0.13~0.85)	1.72(1.25~2.19)	0.64(0.58~0.70)
May	66.8(10.7~171.0)	55.2(2.2~159.4)	2.47(1.58~3.19)	1.43(1.14~1.61)	1.25(0.95~1.48)
June	91.9(16.9~166.9)	80.4(1.2~148.9)	2.10(0.26~3.36)	1.28(1.03~1.84)	0.86(0.61~1.28)
July	142.5(90.6~201.3)	131.2(70.4~188.0)	3.11(3.03~3.20)	4.22(3.81~4.99)	1.95(0.15~3.71)
August	18.2(10.2~27.8)	3.4(0.1~8.8)	0.86(0.45~1.70)	2.42(0.58~4.18)	1.60(0.08~3.19)
September	15.3(5.5~25.4)	1.9(0.6~6.8)	1.42(0.54~2.32)	2.83(1.38~3.56)	1.18(0.10~2.03)
October‡	157	0.7	2.91	1.96	0.74
November‡	10.3	0.4	0.49	2.86	0.99
Average	54.8	7.11	1.64	2.20	1.15

*Total nitrogen and total phosphorus were measured using whole runoff sample including sediments, and ionic forms of nitrogen and phosphorus were measured in the solution filtered through 45- μ m filter.

†Values in () are minimum and maximum concentrations.

‡There was only one runoff event in October and November.

Table 5. Monthly discharges of nitrogen and phosphorus with runoff from the peach orchard in 1999

Month	Total-N	NO ₃ -N	g/ha		
			NH ₄ -N	Total-P	PO ₄ -P
March	1,116.1	563.7	21.5	55.2	14.5
April	617.6	543.9	12.8	19.8	9.1
May	3,235.1	2,951.8	69.1	36.5	32.9
June	4,886.7	4,592.1	81.4	105.5	29.8
July	3,623.2	3,116.2	92.1	184.7	46.7
August	654.4	249.3	19.6	107.4	93.2
September	2,181.3	269.1	196.9	515.9	259.5
October	68.0	2.8	12.5	8.2	3.1
November	8.5	2.8	0.3	2.6	0.9
Total	16,390.9	12,291.8	506.2	1,035.8	489.7

Table 6. Monthly average concentrations of total nitrogen and phosphorus in sediments and their discharges with sediments from the peach orchard in 1999

Month	Concentrations		Discharges	
	Total-N	Total-P	Total-N	Total-P
	mg/kg	mg/kg	g/ha	g/ha
March	2,300	163.0	49.9	3.4
April	1,200	137.5	52.1	3.2
May	2,100	271.0	94.9	12.5
June	2,900	166.9	179.9	13.0
July	1,100	136.1	611.6	90.1
August	900	139.9	200.9	47.7
September	800	144.3	708.2	103.8
October	1,400	89.9	2.3	0.2
November	1,000	20.1	-	-
Total		1,899.8	273.9	

착되지 못한 상태로 잔류하다가 유거수와 함께 이 시기에 집중적으로 유실되는 것으로 판단된다. 8년생 복숭아 과수원에 대한 질소 기준 시비량은 토양의 비옥도에 따라 49-77 kg/ha인데, 시험포장에 사용된 총 질소량을 보면(Table 2) 평균 기준 시비량의 약 3배 정도에 해당되며 이러한 과다시비 또한 토양 중의 잔류 질소량을 높임과 동시에 유실의 주요 원인이 될 수 있을 것이다. 유실된 토사 중의 총 질소 함량을 보면 평균 0.15%였으며 전체적으로 시비시기에 높았다. 토사와 함께 유실된 질소는 약 1.9 kg/ha로 시험포장에서 유실된 질소 총량의 약 11.6%였다. 따라서 대부분의 질소 유실은 질산태 질소를 중심으로 한 가용성 질소 형태로 유실되는 것으로 나타났다. 유실된 질소량을 시험포장에 사용된 질소량에 비교하면 화학비료로 사용된 질소의 12%, 또는 유기질 비료를 포함한 총질소 사용량의 9.5%가 유실되는 것으로 나타났다.

인의 총 유실량은 1.04 kg/ha였으며 이중 이온형태의 인이 47%를 차지하였다. 토사와 함께 유실된 인은 약 26% 정도였고 질소에 비해 토사에 의해 유실되는 인의 비율이 2.3 배 정도 높았다. 일반적으로 토양에 대한 인의 강한 흡착력을 고려할 때 농경지에서 강우에 의한 인의 유실은 대부분 토사에 흡착된 상태로 일어나는 것으로 알려져 있다.^{15,16)} 본 연구의 결과에서는 토사에 의한 유실보다 이온 형태의 인이 주 유실 형태

로 나타났다. 이러한 현상은 본 연구에 이용된 과수원 포장은 무경운 상태로 관리되었고 시험기간중 대부분잡초로 피복되어 있었기 때문에 토양 유실이 적었던 것과 토양 중에 가용성 인의 함량이 높았기 때문일 것으로 판단된다. 토양 유실량이 많을수록 전체 인 유실량 중에서 토사와 함께 유실되는 인의 양이 많아진다는 사실은 이미 잘 알려져 있다.¹⁵⁾ 조사기간 동안 과수원 표층 토양에서 유효인의 함량이 100~590 mg/kg 정도의 범위로 높게 측정되었는데, 이는 이온형태 인의 유실이 가능하리라는 추측의 근거가 될 수 있을 것이다. Schreiber¹⁷⁾의 연구 결과에서도 토양 중의 수용성 인 함량과 강우에 의한 가용성 인의 유실 사이에는 유의성 높은 정의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 또한 과다 시비 등으로 토양 중의 인산 함량이 높을수록 농경지에서의 인의 유실이 커지며,¹⁸⁾ 지속적인 비료의 사용으로 토양 중 인의 흡착포화도가 일정 수준 이상일 때 가용성 인으로의 유실이 증가할 수 있는 것으로 알려져 있다.¹⁹⁾ 월별로 보면 질소와 마찬가지로 시비관리가 이루어지고 토양 중의 잔류 인 함량이 높은 시기에 유실량이 많았다. 특히 시비와 과수원 관리가 이미 끝난 시기인 9월에 이온형태의 인과 총 인의 유실량이 가장 많았는데, 강우량이 많고 특히 유거수량과 토사의 유실이 많음에 따라 토사와 함께 유실되는 인이 많음과 동시에 토양에 약하게 흡착되어 잔류하던 인의 일부가 탈착되어 가용성 인으로 측정되었기 때문인 것으로 판단된다. 유실된 인의 양을 시험포장에 대한 인의 사용량과 비교하면 화학비료로 사용된 인의 2.7%, 또는 유기질 비료를 포함한 총 인 사용량의 2.3%가 유실되는 것으로 나타났다.

1, 2월 및 12월의 유실량은 조사에 포함되지 않았으나 이 기간의 강우량이 비교적 적었으며 유거수가 발생할 수 있는 강우 사상이 거의 없었던 것을 감안 할 때, 3월부터 11월 사이에 측정된 질소와 인의 유실을 연간 유실량으로 간주할 수 있을 것이다. 이러한 질소와 인의 유실은 농업적 측면에서 보면 비교적 적은 손실이라고 볼 수도 있을 것이다. 그러나 인의 경우 특히 매우 낮은 농도 범위에서도 하천의 부영양화를 유발할 수 있으므로 본 연구에서 측정된 농경지에서의 영양염류 유실은 심각한 환경 문제를 초래할 수 있는 수준으로 판단된다. 또한 강우량 중에서 지표면 유출수량이 비교적 적었음에도 불구하고 유거수를 통하여 상당량의 질소와 인이 유실되었으며 토양으로 스며든 강우량 중에서 많은 양이 복거수 형태로 하천으로 유입될 수 있다는 사실을 고려한다면, 하천에 인접한 농경지로부터의 영양염류의 하천 부하량은 지표면으로의 유실량만으로 측정된 값보다 훨씬 클 것으로 예상된다. 실제로 Linde 등²⁰⁾은 본 연구의 결과와 같이 강우량에 비해 유거수 발생율이 비교적 낮은 잔디 포장에서 지하로 용탈되는 질소와 인이 지표면 유실량보다 많다고 하였다.

과수원 유거수 중의 질소나 인의 농도가 인접 하천수 중의 농도에 비하여 훨씬 높은 것을 고려하면 농경지에서의 질소와 인의 유실이 하천의 부영양화에 지대한 영향을 미치는 것으로 결론 지을 수 있을 것이다. 농경지에서의 강우에 의한 영양염류의 유실은 시비량, 경운 정도, 투수성, 토양피복상태, 경사, 강우량과 형태 등의 다양한 요인에 의해 결정되는데, 유실량을 최소화하기 위해서는 이들 요인의 영향에 대한 구체적인 검토

가 이루어져야 할 것이다. 특히 월별 유거수 중의 영양염류의 농도와 유실량 등을 고려하면 시비시기와 토양중의 잔류 영양염류량이 결국 유실량과 매우 밀접한 관계를 갖는 것으로 나타났다. 따라서 농경지로부터의 영양염류의 유실을 줄여나가기 위해서는 시비량의 조절이나 시비방법의 개선 등이 우선적으로 고려되어야 할 것으로 보이며 유거수의 발생을 줄일 수 있는 농경지 관리체계의 구축 또한 적극 검토되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단 '98 과학기술기초중점연구지원(과제번호:1998-024-G00029)으로 수행되었음.

참고문헌

- Nelson, P. N., Cotsaris, E. and Oades, J. M. (1996) Nitrogen, phosphorus, and organic carbon in streams draining two grazed catchments. *J. Environ. Qual.* **25**, 1221-1229.
- Chung, J. B., Kim, B. J. and Kim, J. K. (1997) Water pollution in some agricultural areas along Nakdong river. *Kor. J. Environ. Agric.* **16**, 187-192.
- Han, K. W., Cho, J. Y. and Kim, S. J. (1997) Effects of farming on soil contamination and water quality in Keum river districts. *Kor. J. Environ. Agric.* **16**, 19-24.
- Jung, Y. S., Yang, J. E., Joo, Y. K., Lee, J. Y., Park, Y. S., Choi, M. H. and Choi, S. C. (1997) Water quality of streams and agricultural wells related to different agricultural practices in small catchments of the Han river basin. *Kor. J. Environ. Agric.* **16**, 199-205.
- Harper, D. (1992) In 'Eutrophication of Freshwaters,' Chapman & Hall, London.
- Sawyer, C. N. (1947) Fertilization of lakes by agricultural and urban drainage. *N. Engl. Water Works Assoc. J.* **61**, 109-127.
- Organization for Economic Co-operation and Development. (1982) Eutrophication of Waters, Monitoring, Assessment, Control. OECD, Paris, France.
- Chung, J. B., Kim, M. K., Kim, B. J. and Park, W. C. (1999) Nitrogen, phosphorus and organic carbon discharges in the Imgo small watershed catchment. *Kor. J. Environ. Agric.* **18**, 70-76.
- Page, A. L. (1982) In 'Method of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties,' 2nd Ed., Agron. Monogr. 9., ASA and SSSA, Madison, WI.
- National Institute of Agricultural Science and Technology. (1988) Method of Soil Chemical Analysis., Sammi Printing Co., Seoul, Korea.
- Miller, W. P. and Miller, D. M. (1987) A micro-pipette method for soil mechanical analysis. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **18**, 1-15.
- Bremner, J. M. and Mulvaney, C. S. (1982) Nitrogen-total, In 'Methods of Soil Analysis,' Page, A. L., 2nd Ed., Agron. Monogr. 9, Part 2, pp. 403-430, ASA and SSSA, Madison, WI.
- Olson, S. R. and Sommers, L. E. (1982) Phosphorus, In 'Methods of Soil Analysis, Part 2,' Page A. L. 2nd Ed., pp. 403-430, Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Vollenweider, R. A. (1968) Scientific Fundamentals of the Eutrophication of Lakes and Flowing Waters, with Particular Reference to Nitrogen and Phosphorus as Factors in eutrophication. Publ. DAS/SAI/6827, OECD, Directorate for Scientific Affairs, Paris, France.
- Sharpley, A. N., Daniel, T. C. and Edwards, D. R. (1993) Phosphorus movement in the landscape. *J. Prod. Agric.* **6**, 492-500.
- Sharpley, A. N., Smith, S. J. and Naney, J. W. (1987) The environmental impact of agricultural nitrogen and phosphorus use. *J. Agric. Food Chem.* **36**, 812-817.
- Schreiber, J. D. (1988) Estimating soluble phosphorus ($PO_4\text{-P}$) in agricultural runoff. *J. Miss. Acad. Sci.* **33**, 1-15.
- Edwards, D. R. and Daniel, T. C. (1993) Effects of poultry litter application rate and rainfall intensity on quality of runoff from fescuegrass plots. *J. Environ. Qual.* **22**, 361-365.
- Lyons, J. B., Gorres, J. H. and Amador, J. A. (1998) Spatial and temporal variability of phosphorus retention in a riparian forest soil. *J. Environ. Qual.* **27**, 895-903.
- Linde, D. T. and Watschke, T. L. (1997) Nutrients and sediment in runoff from creeping bentgrass and perennial ryegrass turfs. *J. Environ. Qual.* **26**, 1248-1254.

Surface Runoff Loss of Nitrogen and Phosphorus from Peach Orchard

Jong-Bae Chung,* Min-Kyeong Kim¹ and Bok-Jin Kim¹(*Dept. Agricultural Chemistry, Taegu University, Kyungsan 712-714, Korea; ¹Dept. Agronomy, Youngnam University, Kyungsan 712-749, Korea*)

Abstract : Nitrogen and P in surface runoff and eroded sediment from cropland areas can contaminate streams and lakes. Runoff losses of N and P were determined in a small field plot (14.3×24.8 m) of peach orchard from March to November in 1999. Nitrogen and P were applied in the rate of 172 and 46 kg/ha using chemical fertilizer and mixed oil cake fertilizer. During the season, in 26 rainfall events, 421.5 m³/ha of runoff including 1,989 kg/ha of soil loss was collected. Concentrations of total-N, NO₃-N, NH₄-N, total-P and PO₄-P in runoff samples were in the range of 4.7~171.0, 0.1~188.0, 0.13~3.36, 0.58~4.99 and 0.05~3.71 mg/l, respectively. Total loss of N was 16.39 kg/ha and 75% of the loss was NO₃-N. Total loss of P was 1.04 kg/ha, and PO₄-P and sediment bound P accounted for 47 and 27% of the total loss, respectively. The losses of N and P were about 9.5 and 2.3% of the applied N and P in the plot, respectively. Although the loss of N or P would be relatively small in agricultural aspect, considering the high concentrations of N and P in runoff, loss of N and P from croplands should be controlled to reduce the eutrophication problem of stream waters.

Key words : eutrophication, nitrogen, phosphorus, runoff, soil loss

*Corresponding author