

## Runoff Characteristics of Nutrients from Agroforest Culture Field

Eun-Hyeok Kim · Jae-Young Cho\*

### 산림농업지대에서 식물영양물질의 유출특성

김은혁 · 조재영\*

Received: 25 May 2014 / Accepted: 7 July 2014 / Published Online: 31 December 2014  
© The Korean Society for Applied Biological Chemistry 2014

**Abstract** Sediment and nutrient loading caused by the forest to conversion of agricultural lands have led to the deterioration in near water ecosystem. This study was carried out to examine the effects of agroforest culture field and open field culture field on water quality and runoff loading of nutrient. The runoff loading of Tot-N and Tot-P in agroforest culture field were similar to open field culture field. The runoff loading of total suspended solids (TSS) in agroforest culture field and open field culture field were  $2,721 \text{ kg} \pm 196/10\text{a}$  and  $420 \pm 29 \text{ kg}/10\text{a}$  in 2011 and  $696 \text{ kg} \pm 59/10\text{a}$  and  $463 \pm 36 \text{ kg}/10\text{a}$  in 2012, respectively. Our investigation showed that the runoff loading of TSS from agroforest culture field decreased when soil cover and soil stabilization increased. Therefore, protect facility of soil erosion for early alteration of agricultural lands are needed to minimize the soil erosion from agroforest culture field.

**Keywords** agroforestry · nutrient · rainfall-runoff · runoff loading

### 서론

우리나라는 생산성 위주의 집약농업을 수행하는 과정에서 시설 재배지 염류집적, 노지재배지 양분 과다집적과 농약잔류, 중금속 오염 그리고 농지의 타용도 전환 등으로 환경친화형 우량농지의 확대가 한계에 봉착해 있는 실정이다. 농경지 확대와 우수안전 농산물의 생산을 위한 돌파구로 대두된 것이 산림농업(agroforestry)이다. 우리나라의 산림농업은 임간재배의 형태로 1999년부터 시작되었으며, 대부분 임간에 장뇌삼 및 표고를 재배하는 형태, 또는 벌채지에 산채류를 재배하는 형태를 이루다가 최근 들어 재배작물의 종류가 다양화되고 있는 추세이다.

우리나라의 산림은 대부분 경사도가 높은 산악지형에 위치하여 강우-유출시 지표유출수를 통한 토사 및 식물영양물질의 유출에 대해 취약하다. 최근 산림농업의 활성화 추세에 따른 산림의 농경지화가 가속화되고 있는데, 산림농업지대로부터 유출된 식물영양물질들은 수중생태계 교란 및 정수 장애 뿐만 아니라 인근 수권생태계의 부영양화 유발까지도 초래할 수 있는 것으로 알려지고 있다(Park 등, 2005; Kim과 Jung, 2007; Kim 등, 2008b; Park 등, 2009). 실제로, 2006년 소양호로 유입된 토사는 식수난을 일으키거나 미관을 해치는 단순 탁수의 발생 원인이었을 뿐 아니라, 인의 수송을 통해 부영양화를 유발하고 수생태계 전반을 교란한 것으로 보고되었다(Kim과 Jung, 2007).

산림농업에서 추구하는 최종 목표는 육상 농업생태계의 물질순환 원리에 기초하여 환경과 생태를 조화한 경제적인 토지이용 시스템의 구축과 관련되어 있다. 향후 산림의 농경지로의 전환과 기후변화에 따른 극한 강우사상의 발생이 더욱 증가할 것으로 예상됨에도 불구하고, 산림농업지대에 시비된 무기질비료와 유기질비료 등 식물영양성분의 물질순환 및 강우-유출에 따른 유출부하량과 환경영향평가에 대한 연구가 거의 수행되지 않은 상태이다. 이에 본 연구에서는 최근 산림소득작물로 재배면적이 급증하고 있는 오미자를 대상으로 일반 농경지와 산림농업지에 시비된 식물영양성분의 행방과 유출부하량을 비교 평가하여 환경친화형 산림농업시스템을 정착하는데 필요한 기초자료를 제공하고자 하였다.

E.-H. Kim · J.-Y. Cho  
Department of Bio-environmental Chemistry, Chonbuk National University,  
Jeonju 561-756, Republic of Korea

\*Corresponding author (J.-Y. Cho: soilcosmos@jbnu.ac.kr)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 재료 및 방법

**시험포장.** 오미자 작물의 산림농업 적지를 선정하기 위해 전라북도내 주요 임야를 대상으로 작물재배 특성, 기후조건 및 입상분석을 수행한 후 전라북도 장수군 천천면 비룡리 산림지대에서 연구를 수행하였다(Kim 등, 2011). 산림농업 시험구(North latitude: 35°67'76", East longitude: 127°47'77") 조성시 울폐도를 90% 수준으로 조성하여 일반 농경지 포장(North latitude: 35°67'73", East longitude: 127°47'73")과 기상조건에 차이가 나타나지 않도록 하였다(산림농업 시험구와 일반농경지 시험구이격거리 490 m). 본 연구대상 작물인 오미자는 목본형 다년생 줄기식물로 식재후 2년차부터 수확이 가능하다. 2010년도 4월에 시험포장을 조성한 후 2011년도 4월부터 10월까지 그리고 2012년도 4월부터 10월까지 2년 동안 모니터링을 수행하였다. 시험포장의 크기는 15m×40m로서 총 600 m<sup>2</sup>의 시험구를 처리구별로 3반복으로 조성하였다.

**실험토양.** 농촌진흥청 한국토양정보시스템(<http://asis.rda.go.kr>)에 의하면, 본 연구에 사용된 산림농업 시험구 토양은 송산통(松山統; Songsan series; coarse loamy, mesic family of Typic Dystrudepts)으로 사양질계 암쇄토에 속한다. 일반 농경지 토양은 안룡통(安龍統; Anryong series; fine loamy, mesic family of Typic Hapludalfs)으로 식양질계 적황색토에 속한다. 시험토양의 주요 물리화학적 특성은 Table 1에 제시되어 있다.

**영농현황.** 2011년 4월 6일에 시험포장에 퇴비를 2톤/10a 수준으로 처리하였다. 4월 9일에 농촌진흥청 추천 오미자 시비량(10-5-6 kg/10a)의 60%를 기비로 처리하였다. 오미자 재배를 하면서 수시로 줄기유인을 하였으며, 6월 16일에 추비 40%를 시비하였다. 연구지역의 특성상 산림지역과 생태계 보호차원에서 제조제는 처리하지 않고 수작업으로 제조작업을 하였다. 살충제와 살균제는 안전사용 기준에 준수하여 총 3회 처리하였다. 2012년도 영농현황도 2011년도와 동일하게 수행하였다.

**유량 측정.** 본 연구에서 대상으로 하고 있는 오미자는 수분요구량이 그다지 높지 않은 작물이다. 따라서, 본 연구기간 동안 인위적인 관개활동을 하지 않고 자연강우에 의한 작물재배를 수행하였다. 시험포장에서 유출량을 측정하기 위해 1,000리터 용량의 원통형 플라스틱통을 시험포장의 하단 부분에 각 작물별로 3개씩 매설하였다. 이 플라스틱통에는 직경 100 cm의 stilling well을 부착하여 수위를 관측할 수 있도록 하였으며, 강우-유출사상이 발생시 bucketting을 실시하여 유출수량을 산정하였다. 실질적으로 본 연구기간 동안 강우-유출사상이 발생시 시험포장 인근 관리인이 직접 시험포장에서 유출전과 유출후 수질시료 채취와 유출수량을 기록하여 연구에 활용하였다. 유출수는 강우-유출이 발생 전과 발생 후에 시험포장의 플라스틱통에서 폴리에틸렌용기(4 L)에 채수하여 4°C 이하의 온도로 보관하면서 분석시료로 사용하였다.

**시료채취 및 분석.** 토양시료는 매 1개월에 1회씩 유기물층을 걷어내고 표층으로부터 10 cm 깊이까지 토양채취기를 이용하여 채취하였고, 유출수 시료는 매 강우-유출사상이 발생할 때마다 채취하였다. 채취한 토양시료는 풍건 후 2 mm 체를 통과시킨 후 시료로 사용하였다. 토양분석은 토양화학분석법(NIAST, 2000)에 기준하였다. 토양 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 희석한 현탁액에서 pH meter (TOA HM-20S)로 측정하였으며, 유기물은 Walkley-black법, 총질소는 Kjeldahl법, 유효인산은 Lancaster법, 토성은 미국농무성법에 기준하여 분석하였다. 수질

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

Item	Chemical properties		Particle size fraction (%)		
	OFC	AFC	OFC	AFC	
Organic matter (%)	2.59	4.12	Sand	31.2	41.3
pH (1:5H <sub>2</sub> O)	5.68	5.92	Silt	56.9	49.2
Total-N (mg/kg)	921.4	856.1	Clay	11.9	9.5
Total-P (mg/kg)	336.2	193.5			
CEC (cmol <sup>+</sup> /kg)	8.6	9.1			

OFC: Open field culture; AFC: Agroforest culture.

시료중 총질소는 켈달중류법, 총인은 Brucine법, 그리고 부유물질은 0.45 μm 유리섬유여지를 이용한 여과법으로 수행하였다.

## 결과 및 고찰

**강우-유출 사상.** 2011년 4월부터 10월까지 7개월 동안 시험포장에서 강우-유출사상이 총 15회 발생하였고, 2012년 4월부터 10월까지 강우-유출사상이 14회 발생하였다(Table 2). 시기별로는 집중호우기인 7월과 8월에 대부분의 강우-유출사상이 발생하였는데 이 같은 결과는 Shin 등(2008)의 결과와 유사한 경향이었다. 일반 농경지 시험구보다 산림농업 시험구에서 유출량이 더 높게 나타났으며, 유출계수의 경우에도 산림농업 시험구에서 더 높게 나타났다. 유출계수가 높다는 것은 그만큼 유출수량이 많다는 의미이고, 결론적으로 토사의 유출, 식물양분의 손실 그리고 표토의 침식이 더 크게 나타날 것으로 예상된다. 일반 농경지 시험구는 비교적 평탄지에 위치하고 있으나, 산림농업 시험구는 경사도가 5% 수준을 유지하고 있어 비교적 강우-유출량이 높게 나타난 것으로 추정된다. 따라서 산림농업을 위한 농경지 조성시 유실감수성을 고려한 테라스 및 승수로 등 토양유실 방지 대책이 고려되어야 할 것으로 판단된다.

**강우-유출수중 화학성분의 변화.** 연구기간 동안 강우-유출 사상별 유출수를 대상으로 질소, 인산, 부유물질 그리고 화학적산소 요구량 COD 변화를 조사한 결과는 다음과 같다(Fig. 1). 2011년도에는 부유물질의 농도가 일반 농경지 시험구 보다 산림농업 시험구에서 훨씬 높게 나타났다. 그러나, 2012년도에는 일반 농경지 시험구와 산림농업 시험구간에 유의성있는 차이가 나타나지 않았다. 이 같은 결과는 시험포장 조성 초기에 산림농업 시험구에서 토양교란과 함께 경사도가 높았기 때문에 나타난 결과이며, 점진적으로 토양구조의 안정화가 이루어지고 식생의 회복이 이루어지면서 토사유출량에 차이가 감소하였기 때문인 것으로 평가된다. 총질소, 총인 그리고 COD의 농도도 부유물질 SS와 유사한 경향을 나타내었는데 처리구간 유의성있는 차이는 나타나지 않았다. 일반 농경지 구역과 산림농업 구역의 하천수질을 조사한 결과, 총질소는 두 구역간에 차이가 나타나지 않은 반면, 총인은 일반 농경지 구역보다 산림농업 구역에서 더 높게 나타났는데 이 같은 결과는 산림구역으로부터 입자상 유기물질의 유출량이 높았기 때문이라고 보고되어 있다(Shin 등, 2008).

**시험포장에 처리된 식물영양성분의 토양잔류 특성.** 시험포장은 2010년도에 조성되어 2010년도와 2011년도 2회에 걸쳐 퇴비와 무기질비료가 표준시비량 처리되었다.

**Table 2** Hydrological conditions observed runoff loading from the open field culture and agroforest culture field by rainfall-runoff

Event No.	Rainfall-Runoff event (Year. Month. Date)	Rainfall (mm)	Runoff (mm)		Runoff coefficient	
			OFC	AFC	OFC	AFC
1	2011.04.07	23.5	8.3	11.5	0.35	0.49
2	2011.04.22	26.5	11.4	13.4	0.43	0.51
3	2011.04.26	49.5	31.1	36.5	0.63	0.74
4	2011.04.30	18.5	12.5	15.8	0.68	0.85
5	2011.05.10-05.11	150.3	96.3	114.3	0.64	0.76
6	2011.06.22-06.26	160.0	84.2	96.6	0.53	0.60
7	2011.07.09-07.10	268.0	169.8	175.8	0.63	0.66
8	2011.07.12	23.0	11.5	12.4	0.50	0.54
9	2011.07.26	57.0	19.6	19.9	0.34	0.35
10	2011.07.28	28.5	15.2	15.8	0.53	0.55
11	2011.08.01	20.0	10.5	14.4	0.53	0.72
12	2011.08.07-08.11	354.0	212.2	256.6	0.60	0.72
13	2011.08.20	24.5	9.6	11.4	0.39	0.47
14	2011.08.29	24.5	11.4	12.5	0.47	0.51
15	2011.10.22	26.5	6.8	11.7	0.26	0.44
		1,254.3*	710.4*	818.6*	0.50**	0.60**
1	2012.06.30	70.5	41.2	46.9	0.58	0.67
2	2012.07.05-07.06	92.0	63.3	58.4	0.69	0.63
3	2012.07.11	49.0	16.5	21.2	0.34	0.43
4	2012.07.13-07.15	195.0	126.9	130.6	0.65	0.67
5	2012.07.18-07.19	82.0	65.4	62.2	0.80	0.76
6	2012.08.13	127.5	69.9	76.9	0.55	0.60
7	2012.08.16	55.0	36.4	34.8	0.66	0.63
8	2012.08.22-08.24	114.5	85.7	83.3	0.75	0.73
9	2012.08.28	94.5	63.2	66.4	0.67	0.70
10	2012.08.30	67.0	36.8	36.3	0.55	0.54
11	2012.09.04-09.05	108.0	45.9	46.3	0.43	0.43
12	2012.09.07-09.08	72.5	39.9	45.4	0.55	0.63
13	2012.09.16-09.17	171.5	114.2	120.2	0.67	0.70
14	2012.10.22	32.0	10.9	15.9	0.34	0.50
		1,331.0*	816.2*	844.8*	0.59**	0.62**

\*: Sum, \*\*: Average.

주요 식물영양물질인 총질소와 유효인산을 대상으로 함량 변화를 조사한 결과, 총질소와 유효인산 모두 일반 농경지 시험구가 산림농업 시험구보다 약간 높게 나타났다. 이같은 경향은 일반 농경지 시험구에서는 다년간 영농활동이 이루어져 총질소와 유효인산 등 식물영양물질의 집적이 이루어진 반면에, 산림농업 시험구는 신규로 조성되어 식물영양물질의 집적이 거의 이루어지지 않았기 때문인 것으로 추정된다 특히, 유효인산의 토양중 농도는 일반 농경지 시험구가 산림농업 시험구보다 약 2 배 이상 높게 나타났는데 이는 일반 농경지 시험구에 다년간 처리된 인산의 토양중 특이흡착 또는 불용화/산용화로 인한 토양내 고정량이 높았기 때문인 것으로 평가된다. 두 시험구 모두 퇴비 및 무기질비료의 기비 처리후 토양중 총질소와 유효인산의 함량이 증가하였다가 강우-유출 사상의 증가로 인해 점진적으로 총질소와 유효인산의 함량이 감소하는 것으로 나타났다 (Fig. 2).

**강우-유출에 의한 화학성분의 유출부하량.** 2011년도 총부유물질의 유출부하량은 산림농업 시험구에서 2,721 kg±196/10a, 일반 농경지 시험구에서 420±29 kg/10a로 나타났다. 2012년도의 경

우에도, 산림농업 시험구에서 696 kg±59/10a, 일반 농경지 시험구에서 463±36 kg/10a로 나타나 처리구간에 유의성있는 차이가 나타났다(Fig. 3). Ahn (2009)은 기존의 보전적인 산림(8.4–8.9 ton/km<sup>2</sup>/year)을 유지할 때보다 산림농업의 시행(21.1 ton/km<sup>2</sup>/year)에 따라 최소 2-3배 토사유실량이 증가할 수 있다고 보고 하였다. 유사하게 Kim 등(2008a)도 산림농업 시행에 따라 약 2 배 이상의 토사유실량이 증가할 수 있으며, 산림농업 농경지(고랭지 밭)로부터 토사유출 원단위를 13 ton/10a/yr으로 평가하였다. 본 연구에서는 산림농업을 위한 농경지 기반 조성 초기단계에서는 총부유물질 유실량이 3-4배 정도 급격히 증가하였다가 토양구조가 안정화되면서 감소하는 경향이였다. 본 연구는 오미자 식재후 2년차(2011년)와 3년차(2012년)에 진행된 실험결과로서, 2011년도에 산림농업 시험구에서 총부유물질의 유출부하량이 높게 나타난 것은 시험포장 조성 초기에 식생으로 인한 토양피복이 정상적으로 이루어지지 않았을 뿐만 아니라 시험포장 조성과정에서 토양구조가 불안정화되어 상당히 많은 양의 토사유출이 발생한 것으로 나타났다. 2011년도 총질소의 유출부하량은 산림농업 시험구에서 6.7 kg±1.0/10a, 일반 농경지 시험

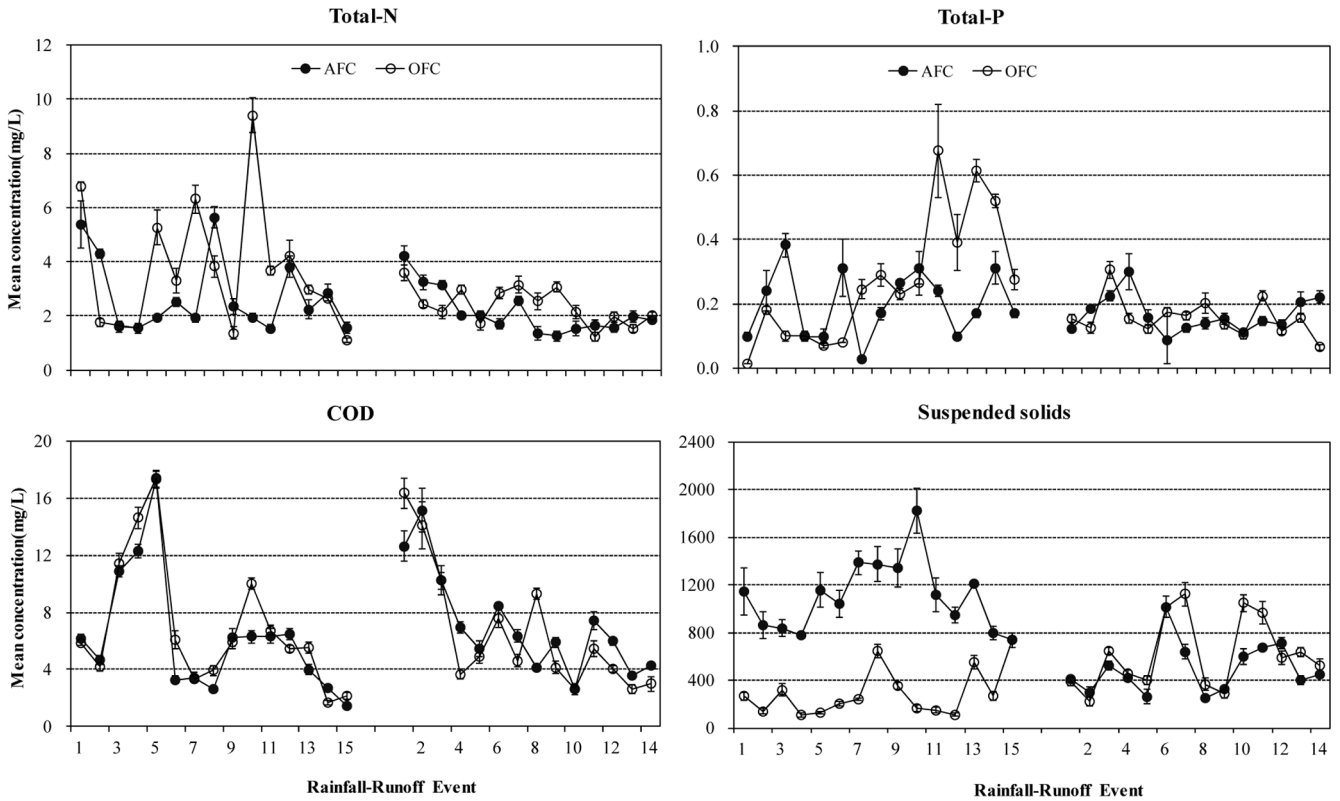


Fig. 1 Changes of concentration of total-N, total-P, COD, and suspended solids in runoff water. AFC: agroforestry cultivation, OFC: open field cultivation.

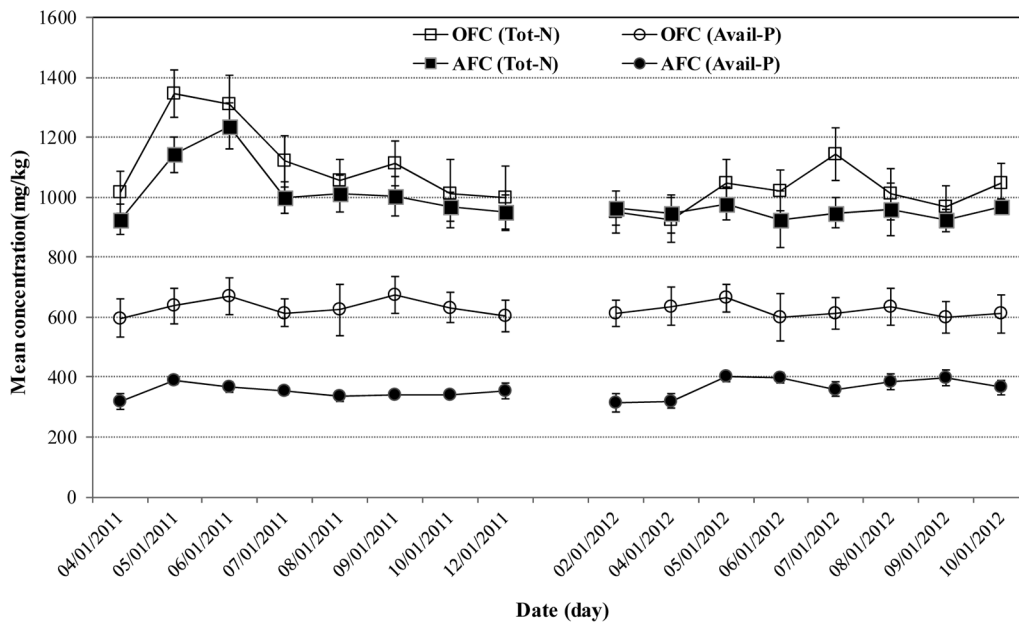


Fig. 2 Changes of concentration of total-N and total-P in open field culture and agroforestry soil.

구에서  $9.3 \pm 1.1$  kg/10a를, 2012년도에는 산림농업 시험구에서  $3.6 \text{ kg} \pm 0.3/10a$ , 일반 농경지 시험구에서  $4.2 \pm 0.6$  kg/10a로 나타나 일반 농경지 시험구에서 약간 더 높았지만, 통계학적으로 유의성이 나타나지는 않았다. 2011년도 총인의 유출부하량은 산

림농업 시험구에서  $0.7 \text{ kg} \pm 0.2/10a$ , 일반 농경지 시험구에서  $1.1 \pm 0.2$  kg/10a를, 2012년도에는 산림농업 시험구에서  $0.6 \text{ kg} \pm 0.2/10a$ , 일반 농경지 시험구에서  $0.9 \pm 0.3$  kg/10a로 나타나 일반 농경지 시험구에서 약간 더 높았지만, 통계학적으로 유의성이 나

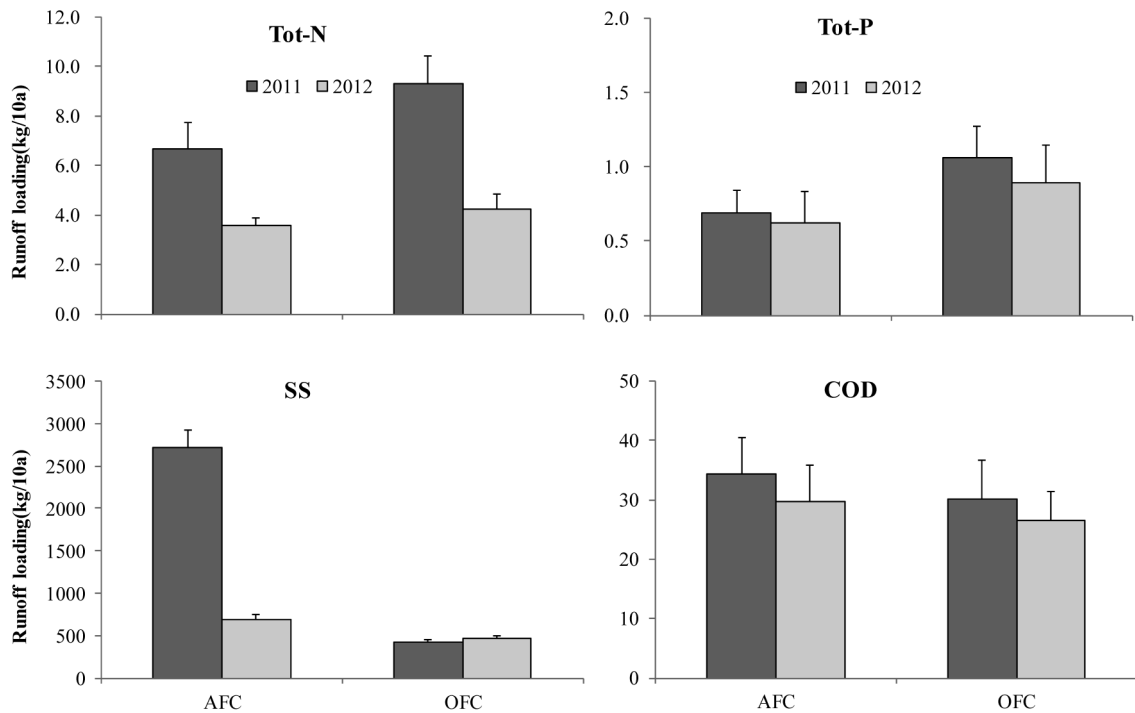


Fig. 3 Runoff loading of total-N, total-P, COD, and suspended solids by rainfall-runoff in open field culture and agroforestry field.

타나지는 않았다. 선행 연구에서(Shin 등, 2008) 일반 농경지 유역과 산림농업 유역을 대상으로 총질소와 총인의 유출부하량을 평가한 결과, 일반 농경지 유역에서 총질소 9.3 kg/10a, 총인 0.3 kg/10a, 산림농업 유역에서 총질소 13.7 kg/10a, 총인 0.3 kg/10a로 나타났는데, 본 연구에서 총질소는 약간 낮은 수준을, 총인은 거의 유사한 수준을 나타내었다. Shin 등(2008)의 연구는 유역(流域) 단위의 연구결과를 제시하고 있는 반면에, 본 연구 결과는 소규모의 plot 시험이기 때문에 두 시험구간에 강우-유출 수문조건, 토지이용형태, 식물영양물질의 투입 및 이용량 등이 서로 상이하기 때문에 나타난 결과로 추정된다. 화학적 산소요구량은 토양 중 유기물 양을 평가하는 간접 지표로 이용될 수 있는데 화학적 산소요구량도 유사하게 일반 농경지 시험구에서 더 높게 나타났다. 강우-유출에 의한 유출계수가 산림농업 시험구에서 더 높게 나타났음에도 불구하고, 일반 농경지 시험구에서 총질소, 총인, 총부유물질 및 COD의 유출부하량이 더 높게 나타난 것은 다년간 영농활동이 이루어져 식물영양물질의 토양내 축적이 상당량 진행되었기 때문인 것으로 추정되었다.

**초 록**

본 연구에서는 최근 산림소득작물로 재배면적이 급증하고 있는 오미자를 대상으로 일반 농경지와 산림농업지에 시비된 식물영양성분의 행방과 유출부하량을 비교 평가하여 환경친화형 산림농업 시스템을 정착하는데 필요한 기초자료를 제공하고자 하였다. 표토 침식 및 식물영양물질의 유출에 더 민감함을 보여주는 지표로 활용되는 유출계수가 일반 농경지 시험구보다 산림농업 시험구에서 더 높게 나타났다. 일반 농경지 시험구와 산림농업 시험구에서 강우-유출에 의한 총질소와 총인의 유출부하량을 평

가한 결과, 산림농업 시험구에서 식물영양성분의 손실로 인한 인근 수권 생태계에 끼치는 영향은 미미할 것으로 나타났다. 그러나, 산림농업을 위한 농경지 조성 초기에 식생으로 인한 토양피복도 부족과 토양구조 불안정으로 인해 상당량의 토사유출이 발생할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서, 산림농업을 위한 농경지 조성 초기 단계에는 토양의 유실감수성을 고려한 테라스 및 승수로 등 토양유실 방지대책이 고려되어야 할 것이다.

**Keywords** 강우-유출 · 산림농업 · 영양물질 · 유출부하

**감사의 글** 본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ008396)의 지원에 의해 수행되었음.

**References**

Ahn YS (2009) Changes in water quality and sediment yield in the forest catchment: A study of the Lake Shirarutoro area in Northern Japan. *Kor J Env Eco* **23**, 569–76.  
 Kim BC and Jung SM (2007) Turbid storm runoff in Lake Soyang and their environmental effect. *J Kor Soc Environ Eng* **29**, 1185–90.  
 Kim CM, Lee EJ, Lee SY, Kim YC, and Kim LH (2008a) Sediment unit loads from developing areas during storms. *Kor Wetlands Soc* **10**, 59–68.  
 Kim HJ, Choi SM, and Lee SH (2011) A GIS-based analysis for suitable site of *Chisandra chinensis* cultivation: Focused on Jangsu county forest. *J Agri Life Sci* **45**, 41–7.  
 Kim JG, Son KH, Lee SW, and Noh JW (2008b) Estimation of suspended sediment load in Imha-Andong watershed using SWAT model. *J Kor Soc Environ Eng* **30**, 1209–17.  
 NIAST (2000) The analysis method of soil and plant. National Institute of Agricultural Science and Technology, Korea.  
 Park JC, Park JW, Shin JK, and Lee HM (2005) Dynamics of high turbid water caused by heavy rain of monsoon and typhoon in a large Korean

- reservoir (Andong reservoir). *Kor J Limnol* **38**, 105–17.
- Park JH, Duan L, Kim BC, Mitchell MJ, and Shibata H (2009) Potential effects of climate change and variability on watershed biogeochemical processes and water quality: A synthesis for Northeast Asia. *Environ Int* **36**, 212–25.
- Shin MS, Choi YH, Kim KC, Seo JY, Park BJ, Lim KJ et al. (2008) Analysis of pollutant load characteristics from agricultural and forest watershed using the LOADEST program. *P Kor Soc Water Environ* 4–5.