

Environmental Behavior of Fenarimol, Chlorothalonil, and Ethoprophos in Agroforestry Field

Eun-Hyeok Kim · Ki-Young Cho · Jae-Young Cho*

산림농업지대에서 fenarimol, chlorothalonil 그리고 ethoprophos의 행방

김은혁 · 조기영 · 조재영*

Received: 1 June 2014 / Accepted: 11 July 2014 / Published Online: 31 December 2014
© The Korean Society for Applied Biological Chemistry 2014

Abstract Fate of fenarimol, chlorothalonil, and ethoprophos sprayed to control disease and pest was studied in a agroforest culture field of Jangsu-gun, Jeollabuk-do, Korea. Concentrations of fenarimol, chlorothalonil, and ethoprophos in runoff water ranged mostly to 0.2 mg/L at the first rainfall-runoff event. And then was rapidly decreased than detection limit at 60 days after the application. The fenarimol and chlorothalonil residue in soil was dissipated to below detection limit at 30 days after the application. But ethoprophos was decreased to below detection limit at 135 days after the application. The concentrations of experimental pesticides were highly detected in agroforest culture field than in open culture field. It is assumed that experimental pesticides were strongly adsorbed by organic matter such as fulvic acid and humic acid

Keywords agroforest · chlorothalonil · ethoprophos · fenarimol · pesticide · rainfall-runoff

서론

산림농업(agroforestry)은 관행농업의 환경에 대한 부정적인 영향을 최소화하고, 산림의 저수익성을 보완하기 위해 1970년대 중반부터 열대 및 아열대 개발도상국에서 시작되었다. 우리나라가 해당되는 온대지역에서의 임간재배를 포함한 산림농업은 경제성 작물 생산뿐만 아니라 토양침식 방지 등 생태적인 면을 고려한 환경친화적 농업 방식에 관점을 두고 진행해 왔다(Brady 등, 2006). 산림농장(Forest farming), 임간방목(Silvo pasture), 방풍림(Wind break), 그리고 임간직렬재배(Alley cropping) 등이 우리나라와 유사한 북미, 일본, 호주 및 뉴질랜드 등에서 이루어지고 있는 온대지역 산림농업의 형태이다.

산림이 전 국토의 약 65%를 차지하는 우리나라에서 산림농업은 토지 이용의 효율성을 높이고, 우수한 품질의 농작물을 생산할 수 있는 형태로서 미래 토지공급적인 측면에서 높은 경쟁력을 갖추고 있다. 지금까지 산림농업에 대한 연구는 산림농업의 실태와 경제성 분석을 중심으로 이루어져 왔다(Yoo 등, 2004). 산림농업에서 발생하는 병해충은 수목에서 유래된 것들이 많고, 작물의 생산성 유지를 위해 불가피하게 합성농약을 처리하여 방제하는 경우가 많다(Sonwa 등, 2002). 일반 농경지에서 농약의 환경중 행방에 관한 연구는 다수 이루어졌으나(Kim 등, 2002; Lee 등, 2004; Nakano 등, 2004; Kim 등, 2005), 산림농경지에 투입된 합성농약의 행방과 주변 생태계에 끼치는 영향평가와 관련된 연구는 거의 수행되지 않은 상태이다.

본 연구에서는 산림단기소득작물로 재배면적이 급증하고 있는 오미자(五味子)를 산림농업지에 재배하는 과정중 처리된 3종의 농약에 대한 토양잔류실태, 작물체로의 이행 그리고 강우-유출사상 중 유출을 통한 인근 수권 생태계에 끼치는 영향을 평가하였다. 본 연구결과는 산림농업에서 안전농산물을 생산하기 위한 병해충종합관리(Integrated pest management) 기법의 개발과 산림농업이 인근 환경생태계에 끼치는 영향을 평가하는데 기본적인 데이터로 활용될 수 있을 것이다.

E.-H. Kim · K.-Y. Cho · 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.

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 ₂ 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 ⁺ /kg)	8.6	9.1			

OFC: Open field culture; AFC: Agroforest culture; Cited in Cho (2014).

재료 및 방법

시험포장. 임상(林床) 및 지황(地況) 분석을 기반으로 전라북도 장수군 천천면 비룡리 중산간지대를 실험 대상으로 선정하였다 (Kim 등, 2011). 산림농업 시험포장 조성시 울폐도(crown density)를 90% 수준으로 조성하여 일반 농경지 시험포장과 산림농업 시험포장간에 광조건과 기상차이가 거의 발생하지 않도록 하였다. 2010년도 4월에 시험포장을 조성한 후 2012년도 4월부터 10월까지 모니터링을 수행하였다. 시험포장의 크기는 15×40 m로서 총 600 m²의 시험구를 처리구별로 3반복으로 조성하였다. **시험포장 토양 특성.** 농촌진흥청 한국토양정보시스템(<http://asis.rda.go.kr>)에 의하면, 산림농업 시험포장의 토양은 송산통(松山統; Songsan series)으로, 사양질계 암쇄토(coarse loamy, mesic family of Typic Dystrudepts)에 속한다. 표토는 암황갈색의 잔자갈이 있는 사양토이며, 심토는 황갈색의 잔자갈이 있는 사양토이다. 기층은 황갈색이나 갈황색의 자갈이 있는 풍화모질물의 사양토나 양질사토이다. 토양의 모재는 흑운모, 화강편마암 혹은 편암과 같은 변성암의 잔적층으로서 구릉지나 산악지에 분포한다. 또한 배수등급이 매우 양호하고 경사도가 14-30%에 위치하고 있다. 일반 농경지 시험포장의 토양은 안룡통(安龍統; Anryong series)으로, 식양질계 적황색토(fine loamy, mesic family of Typic Hapludalfs)에 속한다. 표토는 암갈색의 자갈이 있는 양토이고, 심토는 암황갈색의 자갈이 있는 양토이며 기층

Table 2 Conditions of gas chromatography for quantitative analysis of pesticides

Pesticide condition	Fenarimol	Chlorothalonil	Ethoprophos
Detector	ECD	ECD	NPD
Oven temp.	230°C	230°C	240°C
Inlet temp.	250°C	250°C	270°C
Detector temp.	270°C	270°C	280°C
Column	DB-5 (30 m×0.25 mm×0.25 μm)		
	Flow rate: 1 mL/min		
Retention time	9.274 min	3.640 min	5.759 min

은 암황갈색의 자갈이 많은 양토이다. 토양의 모재는 산성암 및 중성암이며 산록경사지에 분포한다. 또한 배수등급이 양호하고 경사도가 7-15%에 위치하고 있다. 시험토양의 주요 물리화학적 특성은 Table 1에 제시되어 있다.

농약처리. 연구지역의 특성상 산림지역과 생태계 보호차원에서 제초제는 처리하지 않고 수작업으로 제초작업을 하였다. 오미자 재배시 병해충 방제를 위해 품목고시된 3종의 농약(에토프로포스, 웨나리몰과 클로로탈로닐) 가운데 에토프로포스는 4월 15일에 1회 처리하였고, 웨나리몰과 클로로탈로닐은 5월 20일, 6월 28일 그리고 8월 4일 총 3회 기준량 처리하였다. 에토프로포스(ethoprophos, 모캡[®])는 거세미나방, 구근선충, 뿌리혹선충 방제를 위한 디티오유기인계 살충제로서 적정 사용량은 6 kg/10a이며, 안전사용 기준은 과중전까지 1회만 처리하여야 한다. 웨나리몰(fenarimol, 웨나리[®])은 잣빛곰팡이병, 점무늬병 방제를 위한 피리미딘계열 살균제로서 적정 사용량은 6.7 mL/20 L이며 안전사용 기준은 수확전 7일까지 4회이내 처리를 하여야 한다. 클로로탈로닐(chlorothalonil, 오티바오티[®])은 흰가루병, 잣빛곰팡이병, 점무늬병, 탄저병 방제를 위한 유기염소계+아닐로피리미딘계열의 살균제로서 적정사용량은 20 mL/20 L이며, 안전사용 기준은 수확 14일전까지 5회 이내 사용하여야 한다.

토양, 유출수 및 오미자 생체 시료채취. 시험포장에 처리된 농약의 토양잔류량을 조사하기 위해 1회 농약처리 당일(9월 20일)부터 수확일(9월 20일)까지 15일 간격으로 총 9회 시료를 채취하였다. 유

Table 3 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	2012.06.30	70.5	41.2	26.9	0.58	0.38
2	2012.07.05-07.06	92.0	63.3	38.4	0.69	0.41
3	2012.07.11	49.0	16.5	11.2	0.34	0.22
4	2012.07.13-07.15	195.0	126.9	110.6	0.65	0.56
5	2012.07.18-07.19	82.0	65.4	52.2	0.80	0.63
6	2012.08.13	127.5	69.9	26.9	0.55	0.21
7	2012.08.16	55.0	36.4	14.8	0.66	0.26
8	2012.08.22-08.24	114.5	85.7	63.3	0.75	0.55
9	2012.08.28	94.5	63.2	52.4	0.67	0.55
10	2012.08.30	67.0	36.8	26.3	0.55	0.39
11	2012.09.04-09.05	108.0	45.9	33.3	0.43	0.30
12	2012.09.07-09.08	72.5	39.9	15.4	0.55	0.21
13	2012.09.16-09.17	171.5	114.2	90.2	0.67	0.52
14	2012.10.22	32.0	10.9	5.9	0.34	0.18

OFC: Open field culture; AFC: Agroforest culture; Cited in Cho (2014).

출수 시료는 매 강우-유출 사상이 발생할 때마다 4리터씩 총 14회 채취하여 분석에 이용하였다. 오미자 작물체로의 처리된 농약의 이행 및 잔류 정도를 조사하기 위해 수확일에 각 처리구별로 오미자 생채(fresh fruit)를 채취하여 냉동보관하면서 분석시료로 이용하였다.

분석대상 농약 검량선 작성. 조사대상 3종의 농약인 fenarimol, chlorothalonil 그리고 ethoprophos의 표준물질은 Dr. Ehrenstorfer Co. (Germany)에서 구입하여 사용하였다. 각 표준물질을 1,000 ppm 수준으로 acetone에 용해하여 표준용액을 조제한 후 표준용액으로부터 fenarimol 0.1, 0.5, 1.0, 2.0, 및 5.0 ppm, chlorothalonil과 ethoprophos은 0.05, 0.1, 0.5, 1.0, 및 5.0 ppm 수준으로 희석하고 Table 2의 조건에서 gas chromatography (Agilnet 6890 series, USA)를 사용하여 분석하여 검량선을 작성하였다.

시료의 추출·정제. 유출수는 4 L, 토양 및 오미자 생채 시료는 각각 20 g을 취하여 70% 아세톤 100 mL를 첨가한 후 homogenizer를 이용하여 10분간 200 rpm으로 추출하였다. 추출액은 고형 잔류물을 제거하기 위해 celite를 사용하여 흡입 여과하고 여액을 분액여두로 옮겨 dichloromethane과 petroleum ether 각 100 mL씩 넣어 10분간 진탕하였다(2회 반복). 유기층을 포화 NaCl 용액 100 mL로 세척하고 무수황산나트륨을 통과시켜 여과하고 감압건고 후 florisil 10 g이 충전된 유리 column에 상기 용액을 옮겨 hexane : dichloromethane (1:1, v/v) 30 mL, ether : hexane (9:1, v/v) 30 mL acetone : dichloromethane (1:9, v/v) 30 mL로 용출시켰다. 용출액을 취합하여 감압건고 후 acetone 5 mL로 용해하고 이중 1 µL를 GC에 주입하여 chromatogram상의 peak area를 표준검량선과 비교하여 fenarimol, chlorothalinol, 및 ethoprophos의 잔류량을 산출하였다.

회수율. 유출수는 4 L, 토양 및 오미자 생채 무처리 시료 각각 20 g에 fenarimol, chlorothalinol, 및 ethoprophos 표준용액을 0.1 및 0.2 ppm 수준으로 처리한 후 상기 분석법에 따라 회수율 시험을 실시하였다. 수질시료 중 fenarimol, chlorothalinol, 및 ethoprophos의 회수율은 각각 78.9-92.2, 80.4-91.9, 및 79.9-87.5% 범위였으며, 토양중 회수율은 89.9-97.8, 87.3-96.9%, 그리고 77.8-98.5%를 마지막으로 오미자 생채중 회수율은 각각 91.1-96.1, 85.9-94.6, 및 78.4-95.9% 범위였으며, 검출한계는 각각 0.025, 0.0125, 및 0.0125 ppm로 나타났다.

기타. 본 연구는 산림농업지대에서 산림단기소득작물 재배시 작물양분종합관리기법(INM, integrated nutrient management)과 병해충종합관리기법(integrated pest management)을 개발하기 위해 수행한 연구과제로서 동일한 시험포장에서 동일기간 동안에 이루어졌다. 연구목적과 연구결과를 감안하여 작물양분종합관리기법(Cho, 2014)에 대한 연구결과를 먼저 보고하고, 급변에 병해충종합관리기법에 대한 연구결과를 정리해서 보고하는 바 시험포장, 시험토양, 영농현황 및 강우-유출사상 등 재료 및 방법이 상당 부분 중복되었음을 미리 밝혀두는 바이다.

결과 및 고찰

강우-유출 사상. 2012년 4월부터 10월까지 강우-유출사상이 총 14회 발생하였다(Table 3). 보다 자세한 시기별 강우-유출 특성은 Cho (2014)에 자세히 제시되어 있다. 간략히 언급하면, 일반 농경지 시험구보다 산림농업 시험구에서 유출량이 더 적게 나타났으며, 유출계수의 경우에도 산림농업 시험구에서 더 낮게

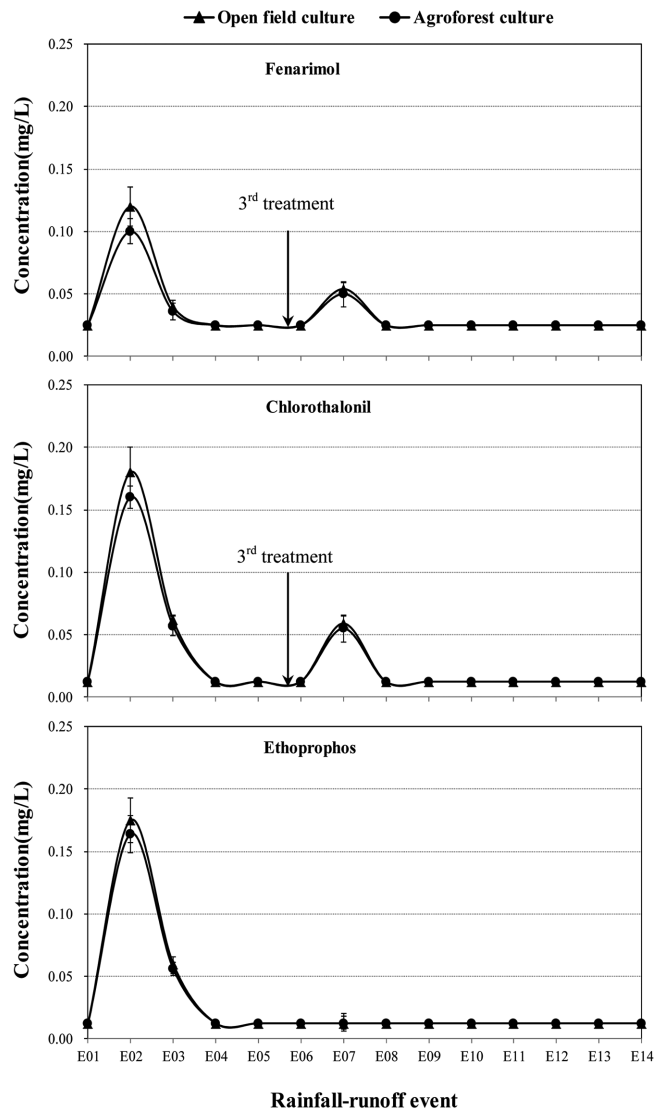


Fig. 1 Detection of fenarimol, chlorothalonil, and ethoprophos in runoff water.

나타났다. 유출계수가 높다는 것은 그만큼 유출수량이 많다는 의미이고, 토사의 유출과 농약과 같은 합성유기오염물질의 유출이 더 크게 발생할 수 있음을 의미한다. 산림농업 시험구는 약 5°의 경사도가 있어 강우에 의한 유출수량이 더 많이 발생할 것으로 추정할 수 있지만, 산림농업 시험구는 퇴적된 낙엽으로 인한 유기물층이 강우 타격에너지를 저감시킴에 따라 유출계수가 낮게 나타난 것으로 판단된다.

강우-유출사상에 따른 유출수중 농약 검출. 총 14회의 강우-유출 사상별로 유출수를 대상으로 조사대상 농약의 검출농도를 조사한 결과, 농약살포후 초기 유출수에서만 미량으로 농약성분이 검출되었을 뿐 그 외의 유출수에서는 검출한계미만 수준으로 농약성분이 검출되었다(Fig. 1). 산림농업지대에서 농약의 유출에 대한 선행 연구사례가 전무하기에 일반 농경지에서 농약의 유출특성과 부하량을 비교검토 하였다. Nakano 등(2004)이 일본 Kasumigaura 호수로 유입되는 유역내 논에서 9종의 농약의 유출특성을 조사한 결과, 처리된 농약의 8.2-22.0%가 유출손실되

Table 4 Soil residue of fenarimol in open field and agroforest field

Soil	Date replication	06/05	06/20	07/05	07/20	08/05	08/20	09/05	09/20
Open field culture	1	0.03±0.01	<D.L.	0.03±0.01	<D.L.	0.15±0.03	<D.L.	<D.L.	<D.L.
	2	0.04±0.02	<D.L.	0.05±0.01	<D.L.	0.16±0.04	<D.L.	<D.L.	<D.L.
	3	0.03±0.02	<D.L.	0.05±0.01	<D.L.	0.18±0.04	<D.L.	<D.L.	<D.L.
	Mean	0.03±0.02	<D.L.	0.04±0.01	<D.L.	0.16±0.04	<D.L.	<D.L.	<D.L.
Agroforest culture	1	0.11±0.05	<D.L.	0.11±0.02	<D.L.	0.54±0.06	<D.L.	<D.L.	<D.L.
	2	0.10±0.03	<D.L.	0.13±0.06	<D.L.	0.48±0.11	<D.L.	<D.L.	<D.L.
	3	0.11±0.03	<D.L.	0.13±0.04	<D.L.	0.47±0.08	<D.L.	<D.L.	<D.L.
	Mean	0.11±0.06	<D.L.	0.12±0.04	<D.L.	0.50±0.11	<D.L.	<D.L.	<D.L.

*D.L. (detection limit): 0.025 ppm.

Table 5 Soil residue of chlorothalonil in open field and agroforest field

Soil	Date replication	06/05	06/20	07/05	07/20	08/05	08/20	09/05	09/20
Open field culture	1	0.10±0.03	<D.L.	0.10±0.01	<D.L.	0.61±0.08	0.05±0.01	<D.L.	<D.L.
	2	0.13±0.02	<D.L.	0.11±0.02	<D.L.	0.63±0.04	0.04±0.01	<D.L.	<D.L.
	3	0.12±0.02	<D.L.	0.11±0.01	<D.L.	0.59±0.08	0.05±0.01	<D.L.	<D.L.
	Mean	0.12±0.02	<D.L.	0.11±0.01	<D.L.	0.61±0.06	0.05±0.01	<D.L.	<D.L.
Agroforest culture	1	0.11±0.03	<D.L.	0.15±0.05	<D.L.	0.94±0.12	0.89±0.03	<D.L.	<D.L.
	2	0.10±0.01	<D.L.	0.14±0.04	<D.L.	0.97±0.10	0.85±0.09	<D.L.	<D.L.
	3	0.11±0.02	<D.L.	0.14±0.04	<D.L.	0.95±0.10	0.83±0.08	<D.L.	<D.L.
	Mean	0.11±0.02	<D.L.	0.14±0.04	<D.L.	0.95±0.10	0.86±0.07	<D.L.	<D.L.

*D.L. (detection limit): 0.0125 ppm.

Table 6 Soil residue of ethoprophos in open field and agroforest field

Soil	Date replication	05/20	06/05	06/20	07/05	07/20	08/05	08/20	09/05
Open field culture	1	1.15±0.08	0.02±0.01	0.08±0.02	0.08±0.01	0.07±0.02	<D.L.	<D.L.	<D.L.
	2	1.14±0.02	0.03±0.01	0.10±0.04	0.10±0.02	0.09±0.01	<D.L.	<D.L.	<D.L.
	3	1.14±0.15	0.02±0.01	0.08±0.02	0.08±0.02	0.06±0.01	<D.L.	<D.L.	<D.L.
	Mean	1.14±0.07	0.02±0.01	0.09±0.01	0.09±0.02	0.07±0.01	<D.L.	<D.L.	<D.L.
Agroforest culture	1	1.30±0.05	1.17±0.18	0.10±0.03	0.15±0.04	0.13±0.05	0.02±0.01	0.02±0.01	<D.L.
	2	1.32±0.05	1.23±0.09	0.09±0.03	0.14±0.02	0.14±0.05	0.04±0.01	0.02±0.01	<D.L.
	3	1.25±0.05	1.25±0.11	1.10±0.02	0.16±0.03	0.10±0.02	0.04±0.01	0.03±0.01	<D.L.
	Mean	1.29±0.05	1.22±0.13	0.43±0.02	0.15±0.03	0.12±0.04	0.03±0.01	0.03±0.01	<D.L.

*D.L. (detection limit): 0.0125 ppm.

는 것으로 나타났다. 농약의 유출은 농약 자체의 용해도 보다는 옥탄올-물 분배계수에 더 영향을 받는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 처리된 3종의 농약성분별로 유출수중 검출농도가 큰 차이를 나타내지 않았으며, 수계 유입시 어류독성에 그다지 영향을 끼치지 않는 수준으로 나타났다.

시험포장에 처리된 농약의 토양잔류 특성. 시험포장에 처리된 fenarimol과 chlorothalonil의 토양잔류량은 농약 1회 처리 후 2주째인 6월 5일에 미량으로 검출되었다가 6월 20일경에는 검출한계 미만으로 나타났다. 그리고 농약 2회 처리(6월 28일)후 1주째인 7월 4일경에는 극미량으로 검출되었다가 7월 20일경에는 검출한계 미만으로 나타났다. 농약 3회 처리(8월 4일) 다음 날인 8월 5일 미량으로 검출되었다가 처리후 2주째부터 검출한계 미만으로 조사되었다. Fenarimol보다는 chlorothalonil의 토양잔류량이 약간 더 높게 나타났는데 이는 농약의 물리화학적 특성 차이 때문인 것으로 판단된다(Tables 4 and 5). 4월 15일에 1회만 처리된 ethoprophos는 일반농경지 토양에서는 처리후 약

100일째 극미량으로 검출된 다음 그 이후부터는 검출한계미만으로 나타났다. 반면에 산림농업 토양에서는 처리후 약 135일째까지 극미량으로 검출된 다음 그 이후부터 검출한계미만으로 나타났다(Table 6). 일반 농경지 보다 산림농업재배지에서 토양중 잔류량이 더 높게 나타난 것은 100% 수광조건인 일반 농경지에 비해 90% 율폐도를 가진 산림농업 재배지에서 광분해도가 더 낮았던 점 그리고 농약성분이 산림농업지에서 비교적 풍부한 fulvic acid와 humic acid와의 흡착량이 더 많았기 때문으로 추정된다(Lee 등, 1998). Kim 등(2002)이 비이온성 토양살충제 ethoprophos의 토양흡착성에 따른 용탈 잠재성을 평가한 결과, Freundlich 흡착계수(K)는 0.35-0.95로 나타났으며, K_{oc} 에 의한 이동성 분류체계에 의하면 mobile capacity가 높은 것으로 나타났다. 산림농업지대에서 오미자를 재배하면서 처리된 3종의 농약 모두 토양중 잔류량과 이동량이 낮은 것으로 평가되어 농약으로 인한 환경생태계 위해성은 그다지 높지 않은 것으로 나타났다.

Table 7 Fresh fruit residue of fenarimol, chlorothalinal, and ethoprophos in *Schizandra chinensis* B.

Cultivation	Compounds	Residue (ppm)			
		1	2	3	Mean
Open field culture	Fenarimol	<0.0250	<0.0250	<0.0250	<0.0250
	Chlorothalonil	<0.0125	<0.0125	<0.0125	<0.0125
	Ethoprophos	<0.0125	<0.0125	<0.0125	<0.0125
Agroforest culture	Fenarimol	<0.0250	<0.0250	<0.0250	<0.0250
	Chlorothalonil	<0.0125	<0.0125	<0.0125	<0.0125
	Ethoprophos	<0.0125	<0.0125	<0.0125	<0.0125

시험포장에 처리된 농약의 작물체로의 이행 특성. 수확한 오미자 생체를 대상으로 fenarimol, chlorothalinal, 및 ethoprophos의 오미자 작물에 대한 잔류 정도를 조사한 결과, 조사대상 3종의 농약 모두 검출한계 미만으로 검출되었다(Table 7). 비침투성 살균제인 chlorothalonil 처리후 21일째에 과일의 과피와 과육 등 부위별 잔류량을 조사한 결과, 과육에서는 모든 시험구에서 검출한계 미만으로 검출되었으며(Lee 등, 2004), Kim 등(2005)이 수확후 단감을 대상으로 fenarimol의 잔류량을 조사한 결과, 잔류량은 0.016-0.020 ppm으로 잔류허용기준량(fenarimol: 0.1 ppm)보다 낮게 나타났다. 일반 농경지 재배지와 산림농업 재배지간에 작물의 농약 잔류량이 차이를 나타내지 않은 것으로 조사되었다.

초 록

본 연구에서는 최근 산림소득작물로 재배면적이 급증하고 있는 오미자를 대상으로 일반 농경지와 산림농업지에 살포된 3종의 농약을 대상으로 행방을 비교 평가하였다. 농약살포후 초기 유출수에서만 미량으로 농약성분이 검출되었을 뿐 그 외의 유출수에서는 검출한계미만 수준으로 농약성분이 검출되었다. 토양중 fenarimol과 chlorothalonil은 처리후 30일째부터 검출한계 미만으로 나타났으나, ethoprophos는 처리후 135일째부터 검출한계 미만으로 나타났다. 수확한 오미자 생체를 대상으로 fenarimol, chlorothalinal, 및 ethoprophos의 오미자 작물에 대한 잔류 정도를 조사한 결과, 조사대상 3종의 농약 모두 검출한계 미만으로 검출되었다. 일반 농경지 보다 산림농업재배지에서 토양중 잔류량이 더 높게 나타난 것은 100% 수광조건인 일반 농경지에 비해 90% 율폐도를 가진 산림농업 재배지에서 광분해도가 더 낮았던 점 그리고 농약성분이 산림농업지에서 비교적 풍부한 fulvic acid와 humic acid와의 흡착량이 더 많았기 때문으로 추정된다.

Keywords 강우-유출 · 농약 · 산림농업 · 오미자

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

References

Brady JA, Wallender WW, Werner I, Fard BM, Zalom FG, Oliver MN et al. (2006) Pesticide runoff from orchard floors in Davis, California, USA. *Agric Ecosyst Environ* **115**, 56–68.

Cho JY (2014) Runoff characteristics of nutrients from agroforest culture field. *J Appl Biol Chem* (in submitted).

Kim CS, Lee BM, Ihm YB, and Choi JH (2002) Leaching potential of butachlor, ethoprophos, iprobenfos, isoprothiolane and procymidone in soils as affected by adsorption characteristics. *Korean J Pestic Sci* **4**, 309–19.

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 YS, Choo HY, Park CG, and Lee DW (2005) Analysis of pesticide residues on sweet persimmon harvested from systemized orchards for exporting to USA. *Korean J Pestic Sci* **9**, 166–72.

Lee HD, Kyung KS, Kwon HY, Ihm YB, Kim JB, Park SS et al. (2004) Residue characteristics of hexaconazole and chlorothalonil in several fruits. *Korean J Pestic Sci* **8**, 107–11.

Lee SJ, Kim BH, and Kim JE (1998) Characteristics of adsorption-desorption of herbicide paraquat in soils. *Korean J Pestic Sci* **2**, 70–8.

Nakano Y, Miyazaki A, Yoshida T, and Ono K (2004) A study on pesticide runoff from paddy fields to a river in rural region. *Water Res* **38**, 3017–22.

Sonwa DJ, Coulibaly O, Adesina AA, Weise SF, and Tchataat M (2002) Integrated pest management in cocoa agroforests in southern Cameroon. *Integr Pest Manage Rev* **7**, 191–9.

Yoo BI, Sung KC, Seo JW, and Jeon JH (2004) A status and analysis of agroforestry in Korea. *J For Sci* **67**, 125–38.