Korean Journal of Environmental Agriculture

Korean J Environ Agric. 2017;36(3):211-216. Korean
Published online 2017 September 26. https://doi.org/10.5338/KJEA.2017.36.3.23

Online ISSN: 2233-4173
Print ISSN: 1225-3537

Research Article

Open Access

국내 논토양 및 밭토양 중 농약유래 잔류성유기오염물질의 노출량 평가

임성진[1†], 오영탁[1†], 노진호[1], 김승용[2], 주형곤[1], 이민호[1], 윤효인[1], 최근형[1], 류송희[1], 박병준[1*]

[1]농촌진흥청 국립농업과학원 화학물질안전과, [2]전북대학교 농업생명과학대학 생물환경화학과

Exposure Assessment of Pesticide-Originated Persistent Organic Pollutants in Paddy and Upland Soils in Korea

Sung-Jin Lim[1†], Young-Tak Oh[1†], Jin-Ho Ro[1], Seung-Yong Kim[2], Hyeong-Gon Joo[1], Min-Ho Lee[1], Hyo-In Yoon[1], Geun-Hyoung Choi[1], Song-Hee Ryu[1] and Byung-Jun Park[1*] ([1]Chemical Safety Division, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea, [2]Department of Bioenvironmental Chemistry, College of Agricuitur & Life Sciences, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea)

Received: 3 July 2017/ Revised: 12 September 2017/ Accepted: 19 September 2017

ORCID
Sung-Jin Lim
http://orcid.org/0000-0002-4671-1954

Byung-Jun Park
http://orcid.org/0000-0003-4675-891X

Abstract

BACKGROUND: This study was conducted to investigate residual organochlorine pesticides (ROCPs) in agricultural soils and crops. Agricultural soil samples and crop samples were collected from 93 cities and counties.

METHODS AND RESULTS: Extraction and clean-up for the quantitative analysis of ROCPs were conducted by the modified quick, easy, cheap, effective, rugged, and safe (QuEChERS) method. Recovery and limit of detection (LOD) of ROCPs in agriculturalsoils and crops were 76.5-103.0 and 75.2-93.2%, 0.01-0.08 and 0.10-0.15 μg/kg, respectively. Detected ROCPs in agricultural soils were α-endosulfan, β-endosulfan, and endosulfan sulfate, the residue were 2.0-12.0, 1.2-53.1, and 2.2-329.8 μg/kg, respectively. But these pesticides in all green perilla leaf and green pepper samples were not detected.

CONCLUSION: These results showed that ROCPs residues in agricultural soils were not as high as crop safety threatening.

Key words: Agricultural soils, Monitoring, Organochlorine pesticides, Persistent organic pollutants

†These authors contributed equally to this work.
*Corresponding author: Byung-Jun Park
Phone: +63-238-3238; Fax: +82-63-238-3837;
E-mail: bjpark@korea.kr

서 론

현대 농업에 있어서 농약은 농산물의 안정한 생산에 그 중요성이 있으나, 유기염소계 농약류는 잔류성이 길고 작물로의 이동성이 구명되어 전세계적으로 이들의 사용 및 관리에 관심을 가지고 있다(Boards *et al.*, 2011, Kim *et al.*, 2014; Park *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2015; Lim *et al.*, 2016). 잔류성유기염소계 농약류는 잔류성유기오염물질(persistent organic pollutants, POPs) 중 염소를 함유하고 있는 농약으로 국내에서 제조 및 사용이 금지된 물질이다(Lim *et al.*, 2016). 우리나라에서는 이들 중 aldrin, dieldrin, endrin, dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT), endosulfan, heptachlor, hexachlorobenzene (HCB), α-hexachlorocyclohexane (HCH), β-HCH, pentachlorobenzene (PCB) 및 toxaphene 11종이 살충제로서 사용되었고, 식품의약품안전처(Ministry of Food and Drug Safety, MFDS)는 농산물 중 aldrin과 dieldrin의 합으로 0.01-0.1, endrin 0.01-0.05, endosulfan 0.05-0.2, DDT 0.05-0.2, heptachlor 0.01-0.02 mg/kg으로 잔류허용기준을 설정하여 이들을 관리하고 있다(Korea Food Code, 2016; Lim *et al.*, 2016).

최근 Lim *et al.* (2016)의 시설재배지 토양 및 재배작물에서의 잔류성유기염소계 농약류 모니터링 조사에 따르면 이들의 제조 및 사용이 금지된 이후에도 시설재배지 토양에서 dieldrin, β-endosulfan 및 endosulfan sulfate이 꾸준히 검출되고 있다. 하지만 이들 결과는 시설재배지(63,815 ha, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs,

MAFRA, 2015)에 국한된 모니터링 결과로 우리나라 전역의 농경지 토양(1,643,599 ha(논 895,739 ha, 밭 747,860 ha), Korean Statistical Information Service, KOSIS, 2016) 및 작물 중 잔류성유기염소계 농약의 잔류양상을 파악함에는 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 우리나라 8도 93개시·군으로부터 농경지 토양 및 작물을 채취하여 이들에서의 잔류성유기염소계농약류의 잔류양상을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

시약 및 표준품

잔류성유기염소계 농약 표준품 aldrin (99.0% purity), 2,4-dichlorodiphenyldichloroethane (DDD, 99.5% purity), 4,4-DDD (99% purity), 2,4-dichlorodiphenyldichloroethylene (DDE, 97.0% purity), 4,4-DDE (98.5% purity), 2,4-dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT, 98.0% purity), 4,4-DDT (98.0% purity), dieldrin (98.3% purity), endrin (99.0% purity), α-endosulfan (97.0% purity), β-endosulfan (99.5% purity), endosulfan sulfate (98.5% purity), heptachlor (98.5% purity), heptachlor epoxide (98.5% purity), hexachlorobenzene (HCB, 99.5% purity), α-hexachlorocyclohexane (α-HCH, 98% purity), β-HCH (97.7% purity), γ-HCH (99.0% purity) 및 δ-HCH (98.5% purity)는 Dr. Ehrenstorfer GmbH (Ausburg, Germany)에서 구입하였다. 잔류성유기염소계 농약류 분석을 위한 전처리과정에 사용된 acetonitrile과 dichloromethane은 Tedia (Ohio, USA), activated carbon, magnesium sulfate, sodium chloride 및 sodium citrate는 Sigma-Aldrich (Saint Louis, USA), Q-sep® quick, easy, cheap, effective, rugged, and safe (QuEChERS) dispersive solid phase extraction (dSPE) tube (150 mg magnesium sulfate, 50 mg primary secondary amine, 50 mg C_{18}, 2 mL)는 Restek (Pennsylvania, USA)으로부터 구입하여 사용하였다.

시료채취 및 시료조제

본 연구에서는 농경지 토양 및 작물을 조사대상으로 하였다. 농경지 토양은 강원도 등 제주도를 제외한 8도 93시·군에서 논토양과 밭토양을 각각 182점과 185점을 채취하였고, 작물시료는 잔류성유기염소계 농약이 50 μg/kg 이상으로 검출된 논토양과 밭토양에서 재배된 작물만을 대상으로 17점을 채취하였다(Table 1).

Table 1. Sampling sites and numbers for monitoring of residual organochlorine pesticides

Region	Paddy soil	Upland soil	Crop
Jeonnam	35	35	2
Jeonbuk	17	17	4
Gyeongnam	26	25	3
Gyeongbuk	28	28	-
Chungnam	20	20	3
Chungbuk	18	18	-
Gyeonggi	16	14	1
Kangwon	22	28	4
Total	182	185	17

농경지 토양 및 작물시료는 2016년 4월부터 9월까지 6개월에 걸쳐 채취하였다. 토양 시료는 토양시료채취기를 이용하여 10개지점에서 10 cm 깊이로 각각 100-200 g을 채취하여 혼화하고, 이로부터 약 500 g을 취하여 음건한 다음 2 mm 토양체를 통과시켜 분석 시료로 사용하였다(Lim *et al.*, 2016a, 2016b, and 2016c). 작물시료는 Lim *et al.* (2016)의 방법에 따라 10개 지점에서 각각 100-200 g을 채취한 다음 약 1 kg을 믹서기로 분쇄·혼화한 다음 분석시료로 사용하였다.

분석법의 유효성 검증

농경지 토양 및 작물 중 잔류성유기염소계 농약 잔류량 분석을 위한 분석법의 유효성은 Lim *et al.* (2016)의 방법에 따라 검량선의 직선성, 회수율 시험, 검출한계(limits of detection, LOD) 및 상대표준편차(relative standard deviation, RSD)로 검증하였다. 검량선의 직선성은 Lim *et al.* (2016)의 방법에 따라 2개의 group (Group I (10 성분): α-HCH, β-HCH, γ-HCH, δ-HCH, α-endosulfan, β

Table 2. Analytical conditions for residual organochlorine pesticides

Items	Analytical conditions			
Column	RTX-5MS (30 m×250 μm, 0.25 μm, Restek, Pennsylvania, USA)			
Carrier gas	N2 (1.5 mL/min)			
Injection volume	1 mL			
Injection mode	Splitless			
Inlet temperature	250℃			
Detector temperature	300℃			
Oven temperature	Stage	Rate (℃/min)	Temperature (℃)	Hold time (min)
	Initial	-	60	2
	Ramp 1	20	130	3
	Ramp 2	1.5	210	4
	Ramp 3	10	240	3

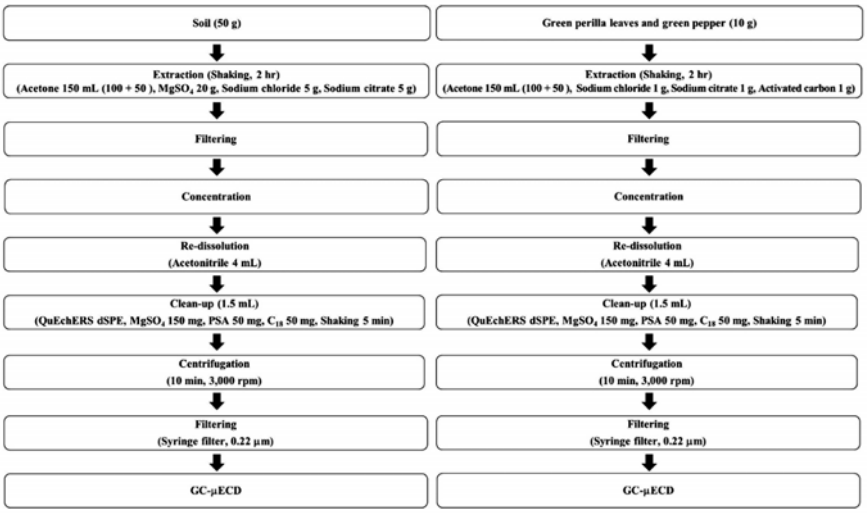

Fig. 1. Flow chart for analysis of residual organochlorine pesticides in soil (left) and crops (right).

-endosulfan, endosulfan sulfate, endrin, 4,4-DDE 및 2,4-DDT, Group II (9성분): aldrin, dieldrin, HCB, heptachlor, heptachlorepoxide, 2,4-DDD, 2,4-DDE, 4,4-DDD 및 4,4-DDT) 으로 나누어 1-5,000 μg/L 수준에서 분석한 다음 검량선을 작성한 후 확인하였다(Table 2). 또한 잔류성유기염소계 농약 19종 각 성분의 LOD는 S/N (signal to noise ratio) 비가 3.3이 되는 농도로 하여 다음의 식으로부터 산출하였다.

$$\text{LOD (mg/kg)} = \frac{\text{최소검출량 (ng)}\times\text{최종재용해량 (mL)}}{\text{기기주입량 (μL)}\times\text{시료량 (g)}}$$

회수율 시험은 Group I과 Group II 각각의 혼합표준용액을 토양과 작물에 각각 4와 20 μg/kg, 10과 50 μg/L 수준으로 처리한 다음 Fig. 1의 방법에 따라 3반복으로 실시하였고, 각각의 성분 피크면적을 개별 검량선에 대입하여 산출한 농도와 첨가농도의 비로부터 회수율을 구하였다. 분석기기의 실험실 내 정밀성 시험은 5회 반복하여 실시하였으며 그 결과를 RSD로 나타냈다.

시료 중 잔류성유기염소계 농약 분석

토양 중 잔류성유기염소계 농약의 잔류량은 Lim *et al.* (2016)의 다소 변형된 QuEChERS 방법에 따라 확인하였다. 토양(50 g)에 magnesium sulfate 20 g, sodium chloride 5 g 및 sodium citrate 5 g을 첨가한 다음 acetone 150 (100+50) mL를 가하여 2회에 걸쳐 진탕(2 hr) 추출하였다. Acetone추출액을 감압 여과한 다음 40℃에서 감압농축(IKA RV 10 Digital, Staufen, Germany)하고, acetonitrile 4 mL를 가하여 재 용해하였다. 이 중 1.5 mL를 취하여 magnesium sulfate 150 mg, primary secondary amine (PSA) 50 mg 및 C_{18} 50 mg을 포함한 2 mL 용량의 QuEChERS dSPE tube에 넣고 Vortex mixer (VM-10, DAIHAN, Daejeon, Korea)를 이용하여 5분간 진탕한 다음 10분(3,000 rpm)간 원심분리(Combi 514R, Hanil, Incheon, Korea)하고, 상등액을 syringe filter (0.22 μm)로 여과한 후 gas chromatography (GC, Agilent Technologies, Santa Clara, USA)-micro electron capture detector (μECD)로 분석하였다(Fig. 1, Table 2).

잔류성유기염소계 농약류는 POPs로 지정되어 제조 및 사용이 금지되어 있으므로 이들의 작물 중 잔류량은 농경지 토양을 분석한 후 토양 중에서 검출된 잔류성유기염소계 농약만을 대상으로 다소 변형된 QuEChERS 방법에 따라 확인하였다. 들깻잎 및 풋고추 10 g에 sodium chloride 1 g, sodium citrate 1 g 및 활성탄(activiated carbon) 1 g을 첨가하고, acetone 150 (100+50) mL를 가하여 2회에 걸쳐 진탕(2 hr) 추출한 다음 여과하였다. 여액을 합한 후 40℃에서 감압농축(IKA RV 10 Digital, Staufen, Germany)하고, acetonitrile 4 mL를 가하여 재 용해한 다음 1.5 mL를 취하여 magnesium sulfate 150 mg, PSA 50 mg 및 C_{18} 50 mg을 포함한 2 mL 용량의QuEChERS dSPE tube에 넣고, Vortex mixer를 이용하여 5분간 진탕하였다. 이를 원심분리(10 min, 3,000 rpm)한 후 상등액을 syringe filter (0.22 μm)로 여과하고, GC-μECD로 분석하였다(Fig. 1, Table 2). 또한 GC-μECD 분석에서 확인된 농경지 토양 및 작물 중 잔류성유기염소계 농약성분에 대해서는 GC-mass spectrometry (MS) (Agilent Technologies, Santa Clara, USA)를 사용하여 동일성분임을 재확인하였다.

결과 및 고찰

검량선, 회수율 및 정량한계

본 연구의 시험대상 잔류성유기염소계 농약 19종의 머무름 시간은 Table 2의 기기분석 조건에서 Group I의 경우 α-HCH 25.49, β-HCH 28.46, γ-HCH 28.85, δ-HCH

31.64, α-endosulfan 48.80, 4,4-DDE 52.60, endrin 54.09, β-endosulfan 55.26, 2,4-DDT 57.47 및 endosulfan sulfate 60.26분, Group II의 경우 HCB 26.13, heptachlor 36.49, aldrin 40.17, heptachlorepoxide 45.38, 2,4-DDE 48.81, dieldrin 51.80, 2,4-DDD 53.38, 4,4-DDD 57.29 및 4,4-DDT 61.47분 이었고, 1-5,000 μg/L의 농도범위에서 작성한 이들의 검량선 직선성은 결정계수(R^2)가 ≥0.9989으로 모두 양호한 결과를 나타냈다(Fig. 2).

잔류성유기염소계 농약의 토양에서의 회수율 시험은 각각 4와 20 μg/kg 수준에서 수행하였다. 잔류성유기염소계 농약의 토양 중 회수율과 RSD는 각각 76.5-103.0%와 1.5-4.4%범위로 나타났고, 또한 이들의 LOD는 0.01-0.08 μg/kg 범위이었다(Fig 2, Table 3). 들깻잎 및 고추에서의 회수율 시험은 조사대상 19종 잔류성유기염소계 농약 중 토양 중에서 검출된 α-endosulfan, β-endosulfan 및 endosulfan sulfate만을 대상으로 시행하였고, 두 작물에서 이들의 회수율과 RSD는 각각 75.2-93.2%와 2.4-5.2% 범위이었으며, LOD는 각각 0.15, 0.10 및 0.15 μg/kg이었다(Fig. 2, Table 4). 이상의

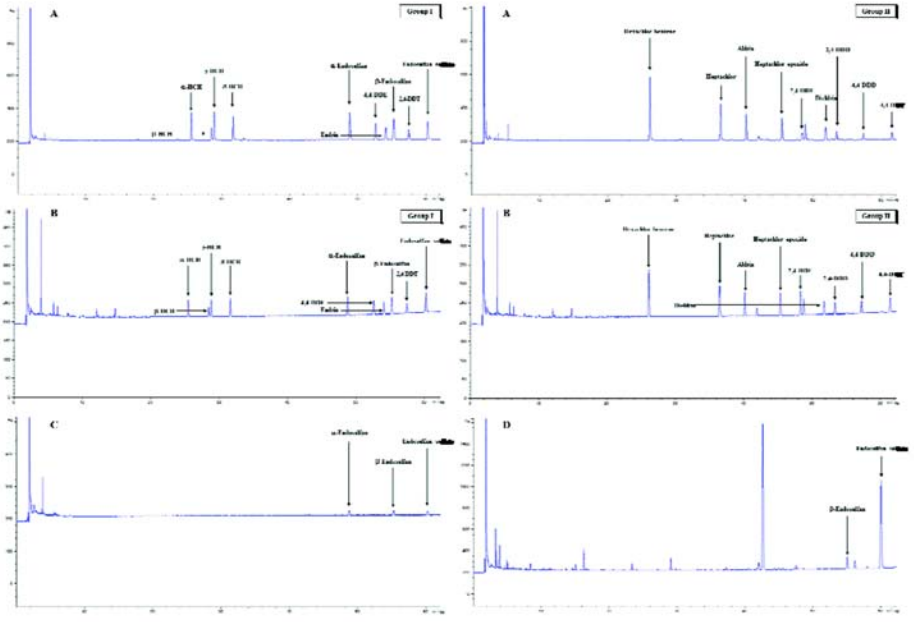

Fig. 2. Representative standard (A), soil recovery (B), crop recovery (C), and soil sample chromatogram (D) of residual organochlorine pesticides.

Table 3. Recovery, LOD, and RSD of residual organochlorine pesticides in soil

Pesticides	Recovery (%)		LOD	RSD (%)	
	4 μg/kg	20 μg/kg	(μg/kg)	4 μg/kg	20 μg/kg
Group I					
α-HCH	88.6±2.4	90.4±2.8	0.05	2.7	3.1
β-HCH	98.4±3.0	102.4±2.4	0.07	3.0	2.3
γ-HCH	90.2±3.2	95.4±1.8	0.04	3.5	1.9
δ-HCH	88.2±2.2	84.3±2.6	0.04	2.5	3.1
α-Endosulfan	90.4±2.8	103.0±1.6	0.03	3.1	1.6
β-Endosulfan	100.3±2.2	102.3±3.2	0.02	2.2	3.1
Endosulfan sulfate	98.2±2.4	95.4±2.8	0.03	2.4	2.9
Endrin	90.4±1.4	94.4±2.6	0.03	1.5	2.8
4,4-DDE	96.4±2.6	94.6±3.0	0.03	2.7	3.2
2,4-DDT	88.4±2.2	92.4±2.4	0.04	2.5	2.6
Group II					
Aldrin	96.4±3.4	90.5±1.8	0.03	3.5	2.0
Dieldrin	86.4±2.4	88.6±2.2	0.03	2.8	2.5
HCB	76.5±3.4	82.6±1.8	0.02	4.4	2.2
Heptachlor	80.4±2.8	84.8±2.4	0.01	3.5	2.8
Heptachlorepoxide	88.2±2.2	83.6±3.4	0.03	2.5	4.1
2,4-DDD	92.7±3.0	83.7±2.8	0.03	3.2	3.3
2,4-DDE	84.8±2.2	79.6±1.6	0.03	2.6	2.0
4,4-DDD	82.4±2.5	86.4±3.2	0.08	3.0	3.7
4,4-DDT	90.4±2.4	80.4±2.0	0.03	2.7	2.5

Table 4. Recovery, LOD, and RSD of residual organochlorine pesticides in green pepper and green perilla leaves

Crops	Pesticides	Recovery (%)		LOD (μg/kg)	RSD (%)	
		10 μg/kg	20 μg/kg		10 μg/kg	20 μg/kg
Green perilla leaves	α-Endosulfan	83.8±3.2	77.5±2.4	0.15	2.4	3.2
	β-Endosulfan	93.2±3.2	79.8±2.6	0.10	4.2	3.7
	Endosulfan sulfate	84.2±3.8	87.2±3.2	0.15	3.3	5.2
Green pepper	α-Endosulfan	91.6±2.8	85.4±3.8	0.15	2.5	4.4
	β-Endosulfan	78.5±3.2	75.2±2.4	0.10	2.8	3.6
	Endosulfan sulfate	80.6±2.2	85.2±3.6	0.15	4.8	3.6

Table 5. Residues of residual organochlorine pesticides in paddy and upland soil

Soil type	Pesticides	Detection range (μg/kg)	Detection number (Frequency, %)
Paddy	α-Endosulfan	2.3-12.0	3 (1.6)
	β-Endosulfan	1.5-53.1	9 (4.9)
	Endosulfan sulfate	2.2-167.7	29 (15.9)
Upland	α-Endosulfan	2.0-10.0	4 (2.2)
	β-Endosulfan	1.2-50.3	25 (13.5)
	Endosulfan sulfate	2.2-329.8	79 (42.7)

토양, 들깻잎, 고추에서의 회수율 및 RSD 결과는 농촌진흥청에서 권장하는 회수율 70-120%, RSD 10% 이내의 조건을 만족하였다(RDA, 2011).

농경지 토양 중 잔류성유기염소계 농약의 잔류수준

제주도를 제외한 우리나라 전국 8도 93시·군에서 채취한 논토양(182점)과 밭토양(185점)에서는 조사대상 잔류성유기염소계 농약 중 endosulfan류(α-endosulfan, β-endosulfan 및 endosulfan sulfate)만이검출되었다(Table 5). 검출된 α-endosulfan, β-endosulfan 및 endosulfan sulfate 성분에 대해서는 GC-MS를 활용하여 이들의 질량스펙트럼의 대표적 이온분자량(*m/z*) α-endosulfan 195, 239, 241, β-endosulfan 195, 237, 241 및 endosulfan sulfate 272, 274, 387을 확인하여 동일성분임을 재확인하였다. 논토양 중 α-endosulfan, β-endosulfan 및 endosulfan sulfate 검출범위와 검출수는 각각 2.3-12.0, 1.5-53.1 및 2.2-167.7 μg/kg과 3 (1.6%), 9 (4.9%) 및 29 (15.9%)점이었고, 밭토양중 3 성분의 검출범위와 검출수는 각각 2.0-10.0, 1.2-50.3 및 2.2-329.8 μg/kg과 4 (2.2%), 25 (13.5%) 및 79 (42.7%)점이었다(Table 5).

국내 농경지 중 endosulfan 잔류수준은 endosulfan의 사용 및 제조가 금지(2011)된 이후 시설재배지 토양을 대상으로 제한적으로 보고된 바 있다(Lim *et al.*, 2016a, 2016b, and 2016c). 이 보고에 따르면 딸기, 들깨, 참외, 풋고추 및 상추 시설재배지 토양에서 β-endosulfan 0.1-78.7, endosulfan sulfate 0.0-214.7 μg/kg 수준으로 검출되어 본 연구에서의 토양 중 α-endosulfan 2.0-10.0, β-endosulfan 1.2-53.1, endosulfan sulfate 2.2-329.8 μg/kg 수준과 현저한 차이는 없었다.

우리나라 농경지 토양에서 조사대상 잔류성유기염소계 농약 19종 중 endosulfan류(α-endosulfan, β-endosulfan 및 endosulfan sulfate)만이 검출된 것은 endosulfan이 제조 및 사용금지 시기가 다른 농약성분에 비해 현저히 늦은 최근(2011)까지 작물재배를 위해 살포되었기 때문으로 판단되고(Lim *et al.*, 2016), endosulfan의 검출수 및 검출빈도가 논토양에 비해 밭토양에서 높은 것은 endosulfan이 제조 및 사용이 금지되기까지 담배, 배추, 뽕나무 재배시 담배나방, 땅강아지, 거세미나방, 에바구미, 벼룩잎벌레 방제를 위한 원예용 살충제로 등록되어 성분량으로 2009년 216,132 kg, 2010년 232,432 kg, 2011년 162,431 kg이 분제(3%)와 유제(35%)로 꾸준히 밭토양에 살포되었기 때문으로 판단된다(Korea Crop Protection Association, KCPA, Pesticide Yearbook, 2012). 또한 본 연구에서 endosulfan이 원예용 살충제로 등록되어 사용되었음에도 불구하고 논토양에서 검출되는 결과를 나타냈고(Table 5),이는 농약살포 시 인근지역으로의 비산(Lee *et al.*, 1997; Bueno *et al.*, 2017), 농약이 잔류하는 농업용수의 관개(Lee *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2015) 및 우리나라 농업의 논밭전환 재배양식(2002-2011년 논→밭 전환 6,859-29,218 ha, 밭→논 전환 1,656-8,729 ha, KOSIS, 2012)으로부터 기인한 것으로 판단된다.

들깻잎 및 고추 중 잔류성유기염소계 농약의 잔류수준

식품의약품안전처(Korea Food Code, 2016)는 농산물 중 endosulfan (α-endosulfan, β-endosuflan 및 endosulfan sulfate의 합)은 고추, 딸기, 배추, 파 등 25 작물로 구분하여 0.05-0.2 mg/kg으로 정하고 있다. 노지재배 들깻잎 및 풋고추 중 잔류성유기염소계 농약류의 잔류수준은 농경지 토양에

서 α-endosulfan, β-endosuflan 및 endosulfan sulfate가 각각 최대 12.0, 53.1 및 329.8 μg/kg 수준으로 검출되었음에도 불구하고 모든 들깻잎 및 풋고추 시료에서 이들은 식품의약품안전처의 잔류허용기준 보다 1/333 보다 낮은 수준인 검출한계(0.15, 0.10 및 0.15 μg/kg)미만으로 검출되었다.

이상의 결과는 우리나라 농경지 토양에서 잔류성유기염소계 농약류 α-endosulfan, β-endosuflan 및 endosulfan sulfate 3종이 낮은 농도로 검출되었으나, 들깻잎 및 고추로 이들 성분이 흡수·이행되지 않는 수준으로 국내 농경지 토양이 농산물 안전성을 위협할 정도로 잔류성유기염소계 농약류에 오염되지 않은 것으로 판단된다.

Notes

The author declare no conflict of interest.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of "Research Program for Agricultural Science & Technology Development (PJ012600, PJ010922, PJ012092, and PJ011435)" and "Postdoctoral Fellowship Program of Chemical Safety Division", National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

Boards, B., Belai, I., & Komives, T. (2011). Theoretical molecular descriptors relevant to the uptake of persistent organic pollutants from soil by zucchini. A QSAR study. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 59(7), 2863-2869.

Bueno, M. R., da Cunha, J. P. A., & de Santana, D. G. (2017). Assessment of spray drift from pesticide applications in soybean crops. Biosystems Engineering, 154, 35-45.

Kim, E. J., Park, Y. M., Park, J. E., & Kim, J. G. (2014). Distribution of new Stockholm convention POPs in soils across South Korea. Science of the Total Envrionment, 476-477, 327-335.

Lee, H. S., Jeon, H. J., Lee, H. S., & Lee, S. E. (2015). Pesticide-originated persistent organic pollutants in agricultural waterways in Chungcheong Province, Korea. Journal of Applied Biological Chemistry, 58(4), 291-294.

Lee, J. H., Park, B. J., Kim, J. K., Kim, W. I., Hong, S. M., Im, G. J., & Hong, M. K. (2011). Risk assessment for aquatic organisms of pesticides detected in water phase of six major rivers in Korea. The Korean Journal of Pesticide Science, 15(1), 48-54.

Lee, J. Y., Han, I. K., Lee, S. Y., Yeo, I. H., & Lee, S. R. (1997). Drift and volatilization of some pesticides sprayed on Chinese cabbage. Korean Journal of Environmental Agriculture, 16(4), 373-381.

Lim, S. J., Oh, Y. T., Ro, J. H., Yang, J. Y., Choi, G. H., Ryu, S. H., Moon, B. C., & Park, B. J. (2016). Investigation of residual pesticides in green perilla (Perillafrutescens var. japonica Hara) greenhouse soil and its leaves. The Korean Journal of Pesticide Science, 20(3), 221-227.

Lim, S. J., Oh, Y. T., Ro, J. H., Yang, J. Y., Choi, G. H., Ryu, S. H., & Park, B. J. (2016). Persistent organic pollutants (POPs) residues in greenhouse soil and strawberry-Organochlorine pesticides. Korean Journal of Environmental Agriculture, 35(1), 6-14.

Lim, S. J., Oh, Y. T., Yang, J. Y., Ro, J. H., Choi, G. H., Ryu, S. H., Moon, B. C., & Park, B. J. (2016). Development of multi-residue analysis and monitoring of persistent organic pollutants (POPs)-Used organochlorine pesticides in Korea. The Korean Journal of Pesticide Science, 20(4), 319-325.

Park, B. J., & Lee, J. H. (2011). Pesticide residue monitoring and environmental exposure in paddy field soils and greenhouse soils. The Korean Journal of Pesticide Science, 15(2), 134-139.