

토양 중 잔류농약의 채소류 흡수 및 이행

박상원* · 류지혁 · 오경석 · 박병준 · 김상수 · 전경미 · 권혜영 · 홍수명 · 문병철 · 최 훈¹

농촌진흥청 국립농업과학원 농산물안전성부 화학물질안전과, ¹원광대학교 생명자원과학대학 식품환경학부

Uptake and Translocation of the Soil Residual Pesticides into the Vegetable Crop

Sang-Won Park*, Ji-Hyock Yoo, Kyeong-Seok Oh, Byung-Jun Park, Sang-Su Kim, Kyong-Mi Chon, Hyeoung Kwon, Su-Myoung Hong, Byeong-Chul Moon and Hoon Choi¹

Chemical Safety Division, Department of Agro-food Safety and Crop Protection, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

¹Division of Food & Environmental Sciences, College of Life Science and Natural Resources, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea

(Received on July 3, 2017. Revised on September 15, 2017. Accepted on September 21, 2017)

Abstract This study was conducted to estimate the uptake and translocation of the soil residual pesticides into crops for evaluating the influence of pesticides to the environment. The representative pesticides including endosulfan, chlorfenapyr, chlorpyrifos, ethoprophos, isoprothiolane, procymidone and fthalide were applied to Chinese cabbages, spinaches, lettuces, radishes, potatoes, carrots, cucumbers, red peppers, egg plants and tomatoes. In pot experiments for leafy vegetables, the uptake ratio of residual pesticides of leafy vegetables were in the following order: ethoprophos > chlorpyrifos ≥ endosulfan > fthalide in the loam soil, and ethoprophos > endosulfan ≥ chlorpyrifos > fthalide in the sandy loam soil. In open field experiments for root vegetables, it was observed that the half-life of residues was prolonged with the following orders as chlorfenapyr (13 days) < procymidone (20 days) < isoprothiolane (25 days) < endosulfan (45 days) in the loam soil, and chlorfenapyr (16 days) < procymidone (23 days) < isoprothiolane (30 days) < endosulfan (65 days) in the sandy loam soil, respectively. In vinyl mulching tests for fruit vegetables, the half-life of residues was prolonged with the following orders as chlorfenapyr (25 days) < isoprothiolane (40 days) < procymidone (50 days) < endosulfan (100 days) in the loam soil. The adsorption of the residual pesticides in soil to crops was in the following order Chinese cabbage > spinach > lettuce in leaf vegetables, carrot > potato ≥ radish in root vegetables, and cucumber > red pepper > egg plant > tomato in fruit vegetables. In the case of endosulfan application, additional caution is required since the residual amount in vegetables might be exceeded with the maximum residue limit (MRL).

Key words Pesticide, residual, soil, translocation. uptake

서 론

농약은 먹거리의 안정적 생산을 위해 필수 불가결하게 사용되는 물질이나 일부 독성을 가지고 있어서 사용에 따른 부정적 영향을 최소화하고 안전한 농약사용을 위해 안전사용기준과 잔류허용기준을 설정하여 관리되고 있다. 우리나라

리의 ha당 농약 사용량은 2011년 13.5 kg을 정점으로 지속적으로 감소하여 2014년 11.3 kg의 소비량을 나타냈다(e-National Indicator System, 2016).

작물에 살포된 농약은 일부 작물체 표면에 부착되고 대부분은 토양 표면으로 떨어져 토양 내에 잔류하게 되며 그 중 일부는 작물체 뿌리를 통해 흡수되어 경엽부 및 과실로 이동하게 된다(Harris, 1972; Lee et al., 2012). 식물체의 농약 농도와 재배된 토양 중 농약 농도와의 비인 생물농축계수

*Corresponding author
E-mail: swpark@korea.kr

(BCF)는 옥탄올-물 분배계수(Kow)와 가장 관계가 깊다고 알려져 있으며(Travis and Arms, 1988), 토양 중의 초기 농도로부터 작물체 각 부분의 농도를 추정하는 방법이 제안되기도 하였다(Ryan, 1988).

농촌진흥청 농업과학기술원에서 토양환경변동조사사업의 일환으로 농경지 토양중 농약 잔류량을 조사한 결과 2000년도 전국 주요 시설재배지에서 endosulfan, procymidone의 검출빈도가 50, 65%이었으며(Lee et al., 2000), 열무, 배추, 무, 당근에 대하여 흡수 이행 정도를 구명하여 수확농산물의 잔류농약 안전성을 확보할 수 있는 토양 중 잔류 한계농도를 검토 하고자 하였다(Park et al., 2004). 서울 강남지역 시설재배지에서 endosulfan, procymidone, diazinon 및 metalaxy 등이 검출되었고 참나물을 재배한 결과 endosulfan 이행률이 35.3%를 보였으며(Choi et al., 2011), 토양에 잔류된 농약이 후작물로 흡수 이행되어 수확물에서 잔류량에 영향을 미칠 수 있다는 연구결과가 지속적으로 보고되고 있다(Kim et al., 2014; Jeon et al., 2014; Hwang et al., 2014). 또한 국립농산물품질관리원의 국내 인삼재배지 토양 중 잔류농약 실태조사 결과에 따르면 endosulfan, chlorpyrifos 처럼 등록이 취소되어 판매 및 사용이 금지된 농약이 지속적으로 검출되어 2010~2012년간 인삼의 4~6%에서 잔류농약 부적합이 발생하였다(NAQS, 2010; 2011; 2012).

Endosulfan, chlorpyrifos 등 등록취소 등으로 판매 및 사용이 금지된 농약이 잔류허용기준을 초과하여 부적합 성분으로 검출되고 있는 농약들은 토양 잔류 및 후작물 재배에 대한 특별한 관심이 필요하다. 그리하여 일부 연구자들이 다양한 연구를 통해 토양 중 농약 잔류허용기준 설정의 당위성을 주장하였지만(Park et al., 1982; Suh et al., 1982;

Lee et al., 1983; Lee et al., 1984; Lee et al., 1996) 현재까지도 우리나라에서는 토양중 농약 잔류허용기준이 설정된 바 없다.

이에 본 연구는 토양 중 잔류농약 모니터링 결과 높은 검출빈도 및 검출농도를 나타낸 농약 chlorfenapyr, endosulfan, isoprothiolane, procymidone, chlorpyrifos, ethoprophos 및 fthalide 등을 처리하여 엽채류(배추, 시금치, 상추), 근채류(감자, 무, 당근) 및 과채류(고추, 가지, 토마토, 오이)에 흡수·이행된 농약에 의한 잔류허용기준(maximum residue limit, MRL) 초과 가능성을 검토하고자 하였다.

재료 및 방법

시험토양

엽채류 및 근채류에 대한 토양 잔류농약의 흡수·이행 시험은 수원시 권선구 서둔동 소재 서울대학교 농업생명과학대학 부속 실습농장에서, 과채류에 대한 시험은 수원시 권선구 평동 소재 농가포장에서 수행하였으며 각 토양의 이화학적 특성은 Table 1과 같았다. 토양의 이화학적 성질은 서울대학교 농생명과학공동기기원(NICEM)와 국립농업과학원 토양비료과에 의뢰하여 분석을 실시하였다(Table 1).

시험약제

토양 잔류농약의 흡수·이행 시험에 처리한 농약은 해당 작물에 약제의 등록 여부 및 토양 중 잔류농약 모니터링 결과 검출빈도와 검출농도가 높은 약제를 고려하여 선정하였다(Lee et al., 2000). 시험에 사용된 농약의 이화학적 성질은 Table 2와 같다.

Table 1. Physicochemical properties of the soils for field study

Texture (USDA) ¹⁾	Soil particle distribution (%)			pH	O.M. ²⁾ (%)	CEC ³⁾ (me/100 g)
	Sand	Silt	Clay			
Clay loam	37.2	32.6	30.2	6.40	1.74	13.7
Sandy clay loam (a)	55.3	18.2	26.5	5.99	1.27	11.0
Sandy clay loam (b)	65.1	23.6	11.3	5.50	1.54	8.0

1) Soil Taxonomy (USDA, 1975); 2) Organic matter; 3) Cation Exchange Capacity

Table 2. Physicochemical properties of the pesticides used

Pesticides	Log Kow*	Water solubility (ppm)	ADI (µg/kg)	Half life (days)
Chlorfenapyr	4.83	insoluble	-	0.88 (in air) 4.8~7.5 (in H ₂ O)
Chlorpyrifos	4.70	1.4	10	10~40
Endosulfan	4.74~4.79	0.32~0.33	6	23~29
Ethoprophos	4.59	700	0.3	4~17
Fthalide	3.01	2.5	-	5~32
Isoprothiolane	3.30	54	-	76
Procymidone	3.14	4.5	100	11~26

* Sources: The Pesticide Manual (CABI, 15 ed., 2011)

시험작물

모든 시험작물은 우리나라에서의 재배면적과 소비량을 고려하여 선정하였다(농림수산식품부 2008; 보건복지부 2008). 엽채류는 배추(신춘1호), 시금치(포잡), 상추(청치마) 시판 종자를 구매하여 모판에 파종 후 5-6매의 묘로 키운 뒤 이식을 하였다. 근채류는 감자(수미), 무(백옥무), 당근(선홍봄 5촌) 종자 및 종서를 구매하여 노지에 직접 파종하여 재배하였다. 한편 과채류는 고추(마니파), 가지(흑진주), 토마토(풍생), 오이(흑중호박-혼화백다다기) 5-6엽의 플러그묘를 구매하여 노지피복 재배를 하였다.

재배방법 및 시료채취

엽채류 포트 시험

토양(양토, 사양토a)을 음건하여 4 mm 체로 친 뒤 질소-인산-칼리를 10-6-12 kg/10a 수준으로 혼합하였으며 붕소를 1.5 kg/10a 시비하여 배추의 생육에 지장이 없도록 하였다. 질소는 10 kg/10a을 생육 중에 3회에 걸쳐 추가로 분시하였다. 농약은 시판제품을 구매하였고 안전사용기준을 고려하되 토양중 ethoprophos, chlorpyrifos, endosulfan 및 fthalide의 잔류농도가 다양하도록 혼합처리 후 포트(1/1000a)에 넣고 1일간 방치하여 안정화 시켰으며, 사전에 키운 본엽 3-5매 묘를 포트에 이식하여 3반복 난괴법으로 배치하여 시험을 수행하였다. 또한 농약을 토양에 혼합 처리 후 30일간 충분히 숙성(ageing)시킨 뒤 작물을 이식하여 동일한 시험을 수행하였다. 작물의 생육기간을 고려하여 이식 후 30, 45, 60일차에 토양 및 작물을 채취하여 잔류량 및 흡수량을 조사하였다.

근채류 노지 무피복 시험

노지에 설치된 라이시메타 토양(양토, 사양토a)을 1차 경운한 뒤 기비로 질소-인산-칼리를 10-12-12 kg/10a 수준으로 살포하고 로터리 작업을 수행하였다. 작물재배 중에 질소 7 kg/10a을 3회에 걸쳐 추가로 분시 하였다. 농약은 시판제품을 구매하여 토양 1 kg에 잘 혼합하고 시험포장에 골고루 살포 후 경운기로 로터리 작업을 3회씩 실시하여 농약이 작토층에 골고루 퍼져 토양중 procymidone, isoprothiolane, chlorfenapyr 및 endosulfan의 처리 농도가 5, 10 15, 및 20 mg/kg이 되도록 하였다. 약제 처리 1일후 45 cm 폭의 이랑과 30 cm 깊이로 골을 만들고 종자 및 종서를 파종하였다. 시험구는 3반복 난괴법으로 배치하여 시험을 수행하였다. 작물의 생육기간을 고려하여 이식후 0, 15, 30, 60, 90일차에 토양 및 작물을 채취하였으며 잔류량 및 흡수량을 조사하였다.

과채류 노지 피복 시험

농가 포장(사양토b)을 1차 경운한 후 기비로 질소-인산-칼

리를 12-17-17 kg/10a 수준으로 살포하고 로터리 작업을 수행하였다. 작물재배 중에 질소 9 kg/10a을 3회에 걸쳐 추가로 분시 하였다. 농약은 시판제품을 구매하여 토양 1 kg에 잘 혼합하고 시험포장에 골고루 살포 후 경운기로 로터리 작업을 3회씩 실시하여 농약이 작토층에 골고루 퍼져 토양중 procymidone, isoprothiolane, chlorfenapyr 및 endosulfan의 처리 농도가 5, 10 15, 및 20 mg/kg이 되도록 하였다. 정지작업 후 폭 90 cm의 백색비닐로 피복하고 45 cm × 60 cm 재식거리로 모종을 이식 재배하였다. 시험구의 배치는 3반복 난괴법으로 배치하여 시험을 수행하였다. 작물의 생육기간을 고려하여 이식 후 토양 및 작물을 채취하였으며 잔류량 및 흡수량을 조사하였다.

잔류농약분석

식물체

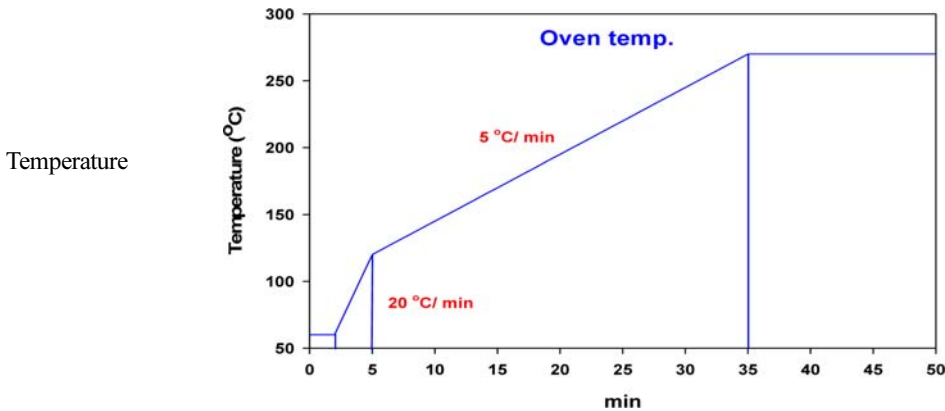
식물체 20 g에 아세톤 100 mL를 넣은 후 고속분쇄기(Ace homogenizer, Nihonseiki Kaisha Ltd., Japan)를 이용하여 10,000 rpm 조건에서 5분간 균일하게 마쇄한 다음 Whatman No 2. 여과지 2장이 깔린 뷔흐너 깔때기(Bchner funnel)에 0.5 cm 두께로 celite-545를 습식 충전하여 감압 여과하였다. 시료를 40°C 이하에서 감압 농축 후 남은 여액을 증류수 450 mL, 포화 식염수 50 mL를 가한 1 L 분액여두로 옮긴 후 dichloromethane 50 mL를 가하여 10분간 진탕기로 격렬하게 진탕 후 정치하였다. Dichloromethane 층을 2회 분배하여 합친 후 40°C 이하에서 감압 농축하여 건조시켜 *n*-hexane 10 mL에 용해하였다. 활성화시킨 florisil 5 g을 유리 컬럼에 *n*-hexane으로 습식 충전 후 시료액을 주입하여 정제된 용출액을 감압 농축한 후 *n*-hexane 5 mL로 재용해하여 Table 3과 같은 조건으로 기기 분석하였다.

토양

토양 50 g에 0.2 N NH₄Cl 수용액 30 mL를 가하고 30분간 정치 후 100 mL의 아세톤을 가하여 2시간 동안 진탕한 후 감압 여과하였고 잔사를 50 mL의 아세톤으로 씻어 두 여액을 합하였다. 여액을 용량 1 L의 분액여두에 옮긴 후 포화 NaCl 수용액 50 mL, 증류수 450 mL를 가하고 dichloromethane 50 mL를 추가하여 10분간 격렬하게 진탕하고 정치 후 dichloromethane 층만을 취하여 무수황산나트륨(Na₂SO₄) 층을 통과시켜 탈수시키고, 다시 dichloromethane 50 mL를 가하여 같은 조작을 반복하였다. 탈수시킨 dichloromethane 층은 40°C의 항온수조 상에서 감압 농축하여 건조시킨 후 10 mL의 *n*-hexane로 다시 녹였다. 정제용 컬럼에 활성화시킨 florisil 5 g을 채우고 그 위에 1 g의 무수황산나트륨(Na₂SO₄)을 넣은 후 50 mL의 *n*-hexane을 흘려 세척 한 다음, 용해된 농축 시료를 도입한 뒤 Table 4의 C₁, C₂, C₃, C₄ 및 C₅ 용액을 순차적으로 각각 50 mL씩 혼합액으로 용출시

Table 3. GLC conditions for residue analysis of the pesticides used

Instrument	Hewlet Packard 5890 II with 7673 auto-sampler
Detector	ECD : Chlorfenapyr, Chlorpyrifos, Endosulfan, Ethoprophos, Fthalide, Isoprothiolane, Procymidone NPD : Chlorpyrifos, Ethoprophos
Column	DB-5 (0.25 mm I.d. × 30 m × 0.25 μm film thick)
Injector : 250°C Oven : 60°C (2 min) → 20°C/min → 120°C → 5°C/min → 270°C (15 min) Detector : NPD 270°C, ECD 300°C	



Gas flow	Carrier N ₂ , 1.0 mL/min.
Injection	ECD 1 μL, NPD 2 μL Splitless mode (purge on : 1 min after injection)

Table 4. Solvent composition of eluates for purification of soil extract

Solvent	Solvent composition of eluates (%)			Total Vol. (mL)
	Hexane	Dichloromethane	Acetonitrile	
C1	80	20	0	100
C2	49.65	50	0.35	100
C3	48.5	50	1.5	100
C4	45	50	5	100
C5	0	50	50	100

Table 5. Recoveries and limits of quantitation for the pesticides used

Pesticide	Fortification level (mg/kg)	Limit of detection (mg/kg)	Recovery (%)		
			Clay loam	Sandy clay loam (a)	Sandy clay loam (b)
Chlorfenapyr	1	0.001	95 ± 3.8	96 ± 3.8	97 ± 5.3
Chlorpyrifos		0.002	93 ± 5.8	94 ± 5.6	96 ± 4.2
Endosulfan		0.001	96 ± 3.8	97 ± 3.8	98 ± 5.1
Ethoprophos		0.003	89 ± 5.9	91 ± 5.8	93 ± 5.2
Fthalide		0.001	90 ± 5.6	93 ± 5.7	95 ± 5.4
Isoprothiolane		0.001	91 ± 3.7	93 ± 3.8	94 ± 4.6
Procymidone		0.001	92 ± 3.9	95 ± 4.2	93 ± 5.9

켜 각각 감압 농축하였고 n-hexane 5 mL로 재용해하여 Table 3과 같은 조건으로 기기 분석하였다.

결과 및 고찰

회수율 및 정량한계

본 연구에 이용된 농약의 잔류분석법에 대한 회수율과 검

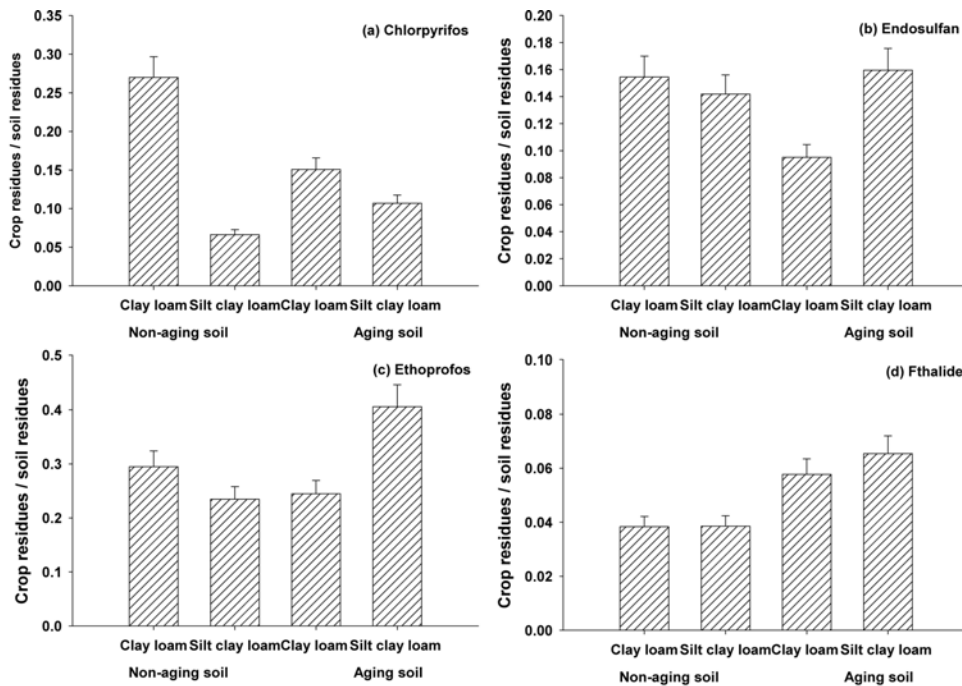


Fig. 1. Comparison of crop residues to soil residues ratio of pesticides in Chinese cabbage.

Table 6. The crop residues and soil residues ratios of pesticides classified by crops and estimation on tolerance residue levels in leafy vegetable cultivation soils

Crop	Pesticides	Crop residues / soil residue (%)	Tolerance residues level in soil (mg/kg)	MRL (mg/kg)
Chinese cabbage	Chlorpyrifos	10 ~ 20	5 ~ 10	1
	Endosulfan	10 ~ 20	10 ~ 20	2
	Ethoprophos	25 ~ 30	0.05 ~ 0.08	0.02 (cabbage)
	Fthalide	5 ~ 9	10 ~ 25	1 (rice)
Lettuce	Chlorpyrifos	5 ~ 12	0.5 ~ 2.5	0.1 (cabbage lettuce)
	Endosulfan	5 ~ 10	10 ~ 20	1 (cabbage lettuce)
	Ethoprophos	10 ~ 20	0.10 ~ 0.25	0.02
	Fthalide	3 ~ 8	10 ~ 30	1 (rice)
Spinach	Chlorpyrifos	3 ~ 30	0.05 ~ 0.15	0.01
	Endosulfan	10 ~ 15	5 ~ 10	1
	Ethoprophos	24 ~ 40	0.05 ~ 0.10	0.02 (red pepper leaf)
	Fthalide	4 ~ 6	5 ~ 10	1 (rice)

출한계를 확인하고자 독일의 Dr. Ehrenstorfer社의 표준품을 구매하여 농약을 전혀 사용하지 않은 토양에 처리하고 분석한 결과 회수율은 89~98% 이었고 정량한계는 0.001~0.003 mg/kg 이었다(Table 5). 식물체의 경우는 무처리구에서 채취한 시료에 똑같은 표준품을 다양하게 처리하여 85~125%의 회수율과 0.002~0.005 mg/kg 정량한계를 얻었으나 자료를 제시하지 않았다.

엽채류 포트 시험

시험농약을 양토와 사양토(a)에 혼화 처리 후 배추, 상추 및

시금치를 포트(1/1000a)에서 재배하여 토양 중 잔류농도와 작물체의 잔류농도를 분석하였다(Fig. 1). 양토에서 엽채류의 잔류농약 흡수비는 ethoprophos > chlorpyrifos ≥ endosulfan > fthalide 순으로 낮았으며, 사양토에서는 ethoprophos > endosulfan ≥ chlorpyrifos > fthalide 순이었다. 작물별 토양 중 잔류농약 흡수는 대체로 배추 > 시금치 > 상추 순으로 적었다(Table 6).

해당 작물에 설정된 잔류허용기준(MRL)을 작물/토양 농약 잔류량 비율로 나누어 계산하였을 때 재배 작물이 잔류허용기준을 초과하지 않을 토양 중 농약잔류 농도는 배추의

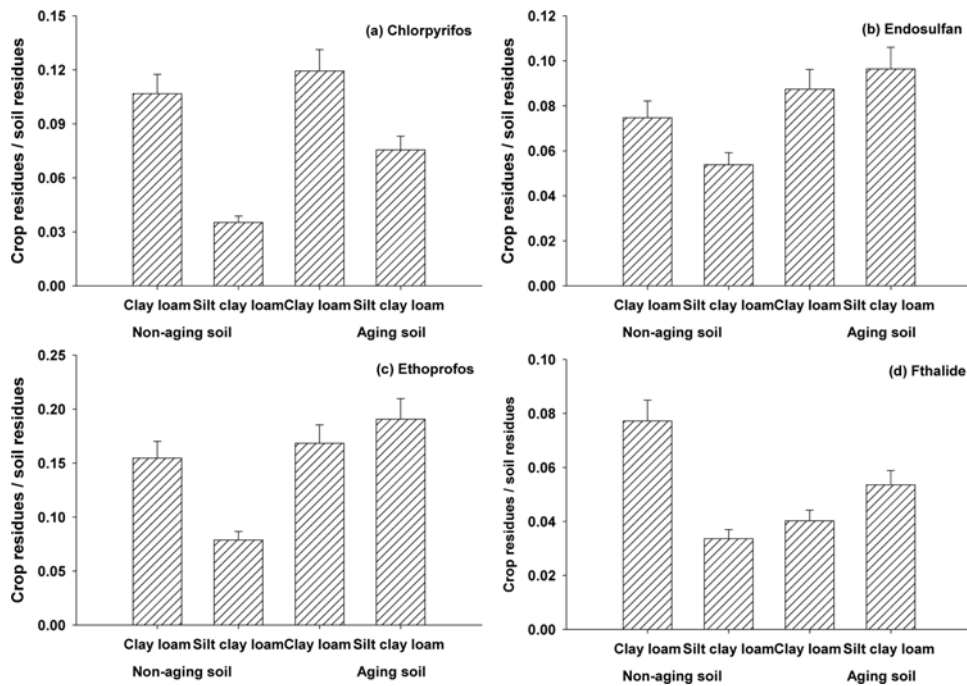


Fig. 2. Comparison of crop residues to soil residues ratio of pesticides in lettuce.

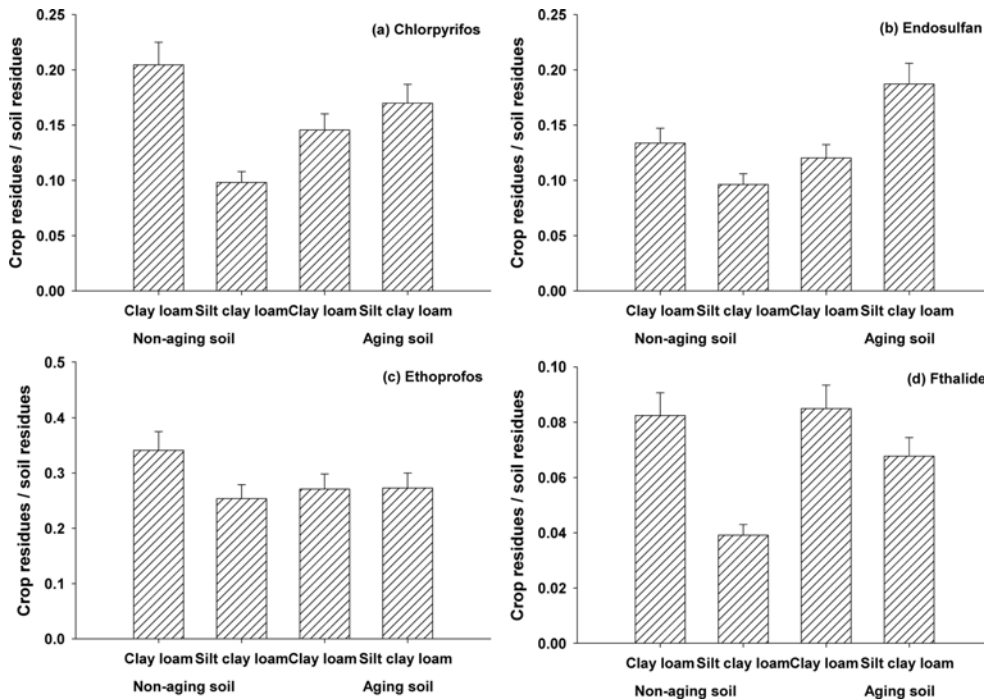


Fig. 3. Comparison of crop residues to soil residues ratio of pesticides in spinach.

경우 ethoprophos 0.05~0.08 mg/kg, chlorpyrifos 5~10 mg/kg, endosulfan 10~20 mg/kg, fthalide 10~25 mg/kg이었고, 상추는 ethoprophos 0.10~0.25 mg/kg, chlorpyrifos 0.5~2.5 mg/kg, endosulfan 10~20 mg/kg, fthalide 10~30 mg/kg이었다. 또한 시금치의 경우는 ethoprophos 0.05~0.10 mg/kg, chlorpyrifos 0.05~0.15 mg/kg, endosulfan 5~10 mg/kg, fthalide

5~10 mg/kg으로 계산되었다. 즉, 엽채류 배추, 상추 및 시금치 재배시 토양 중 잔류농약 허용농도는 ethoprophos < chlorpyrifos < endosulfan < fthalide 순이었다. 농약 처리 후 숙성되지 않은 토양에 엽채류를 재배하였을 때 일부 농약의 경우 숙성된 토양보다 농약 흡수율이 높게 나타났다(Table 6). 이와 같은 결과로 볼 때 토양 중 잔류농약의 작물체로 흡수

율이 크며 식물의 농약 잔류기준이 낮은 농약은 토양 중 잔류 농약 허용농도가 낮을 수밖에 없으므로 후작물을 재배할 경우에는 주의 할 필요가 있고, 전작물 수확 후 일정한 시간이 경과한 다음 후작물을 재배하는 것이 안전하다고 판단된다.

근채류 노지 시험

근채류 시험은 검출빈도 및 잔류농도가 높은 procymidone, isoprothiolane, chlorfenapyr 및 endosulfan을 대상으로 양토 및 사양토에 혼화처리 후 무, 감자, 당근 등을 노지재배를

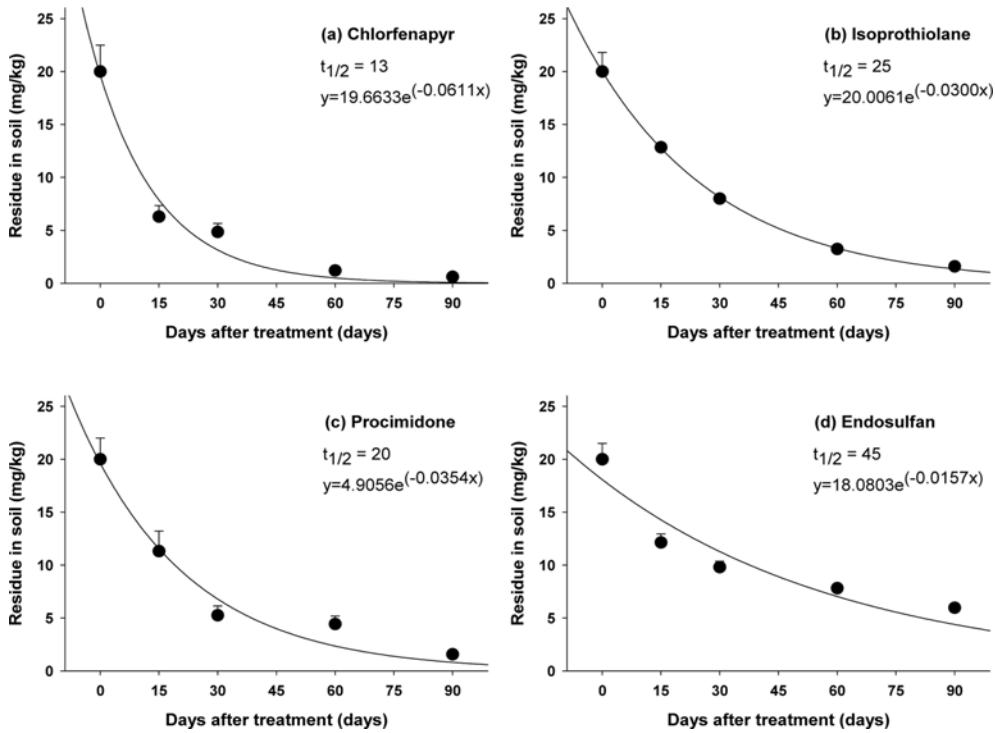


Fig. 4. Changes of residual pesticides in loamy soil at root vegetables field.

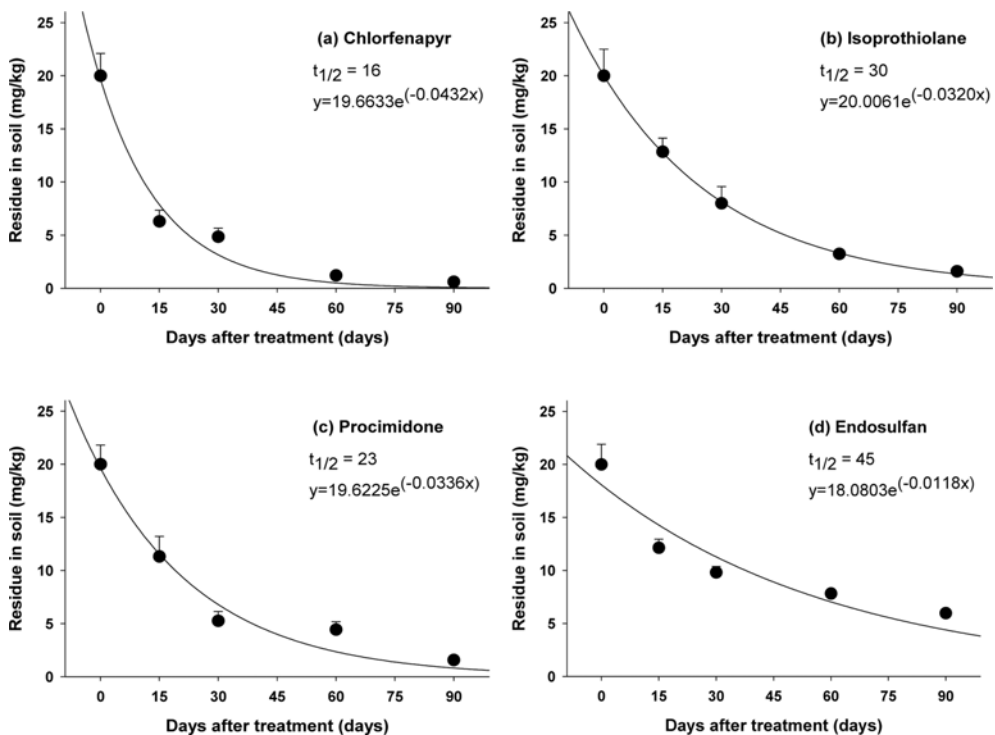


Fig. 5. Changes of residual pesticides in sandy loamy soil at root vegetables field.

하였다. 약제 처리 후 0, 15, 30, 60 및 90일 차에 토양을 채취하여 잔류농약을 분석하여 경시적인 변화와 토양중 반감

기를 계산하였다.

일반적으로 토양 중 잔류농약의 반감기가 길게 되면 상대

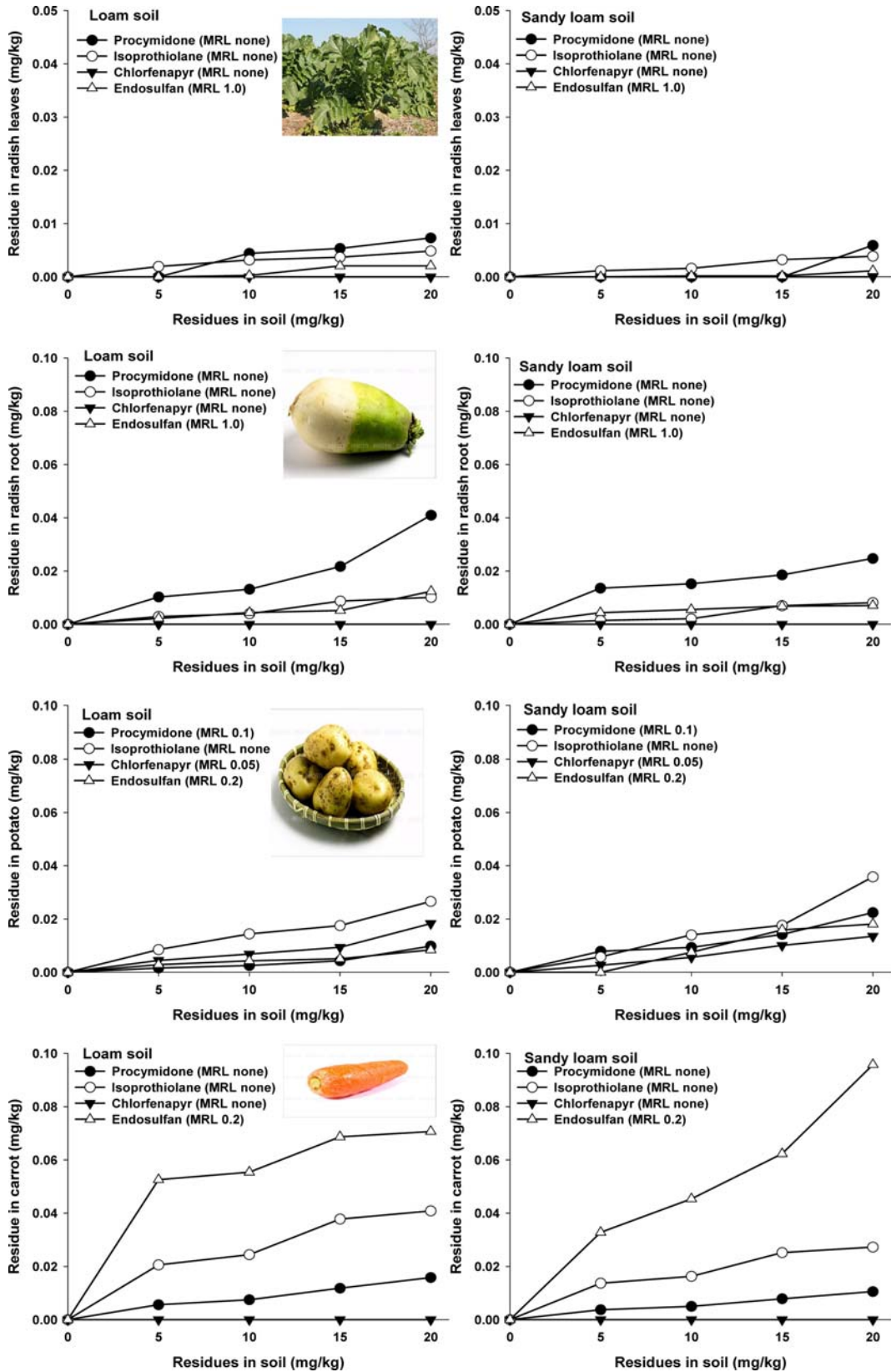


Fig. 6. Pesticides residues in root vegetables at harvesting time. (a) radish leaf, (b) radish, (c) potato, (d) carrot.

적으로 작물체가 잔류농약을 흡수할 확률이 높아진다. 극한 상황을 가정하여 토양 중에 농약을 20 mg/kg으로 처리하였을 때 노지 양토에서 잔류농약의 반감기는 chlorfenapyr (13일) < procymidone (20일) < isoprothiolane (25일) < endosulfan (45일) 순이었으며(Fig. 4), 사양토에서는 chlorfenapyr (16일) < procymidone (23일) < isoprothiolane (30일) < endosulfan (65일) 순으로 나타났다(Fig. 5). 토성별로 반감기를 비교하면 양토 보다 사양토에서 처리 약제들의 잔류농약의 반감기가 다소 길게 나타났다.

무의 경우는 잎과 뿌리를 구분하여 잔류농약을 분석한 결과 잎 중 잔류농약의 함량이 뿌리 보다 낮았다. 이와 같은 결과는 작물 재배기간 중에 토양 잔류농약이 뿌리를 통해 거의 흡수되지 않았으며 흡수된 농약들도 잎으로 이행량이 적었다는 것을 시사한다. 무와 감자의 토양 잔류농약의 흡수·이행량을 살펴보면 양토에서는 무의 농약 잔류량이 사양토에서는 감자의 농약 잔류량 보다 약간 높았지만 전체적으로 흡수 이행된 양이 상호 비슷한 수준으로 나타났다(Fig. 6).

한편, 생육기간이 길고 조직이 단단한 당근은 무 또는 감자에 비하여 상대적으로 많은 잔류농약을 흡수한 것으로 나타났다는데 재배조건에 따라 잔류허용기준을 초과할 가능성이 높은 작물로 판단되므로 유의해야 한다. 특히 endosulfan의 경우 토양 잔류농도에 비례하여 흡수량이 급격히 증가하는 특성을 나타내고 있어 재배환경에 따라 잔류허용기준을 초과하는 경우가 있을 것으로 예상되므로 농경지 토양 중 잔

류농약 모니터링 시 일부 작물도 채취하여 잔류농도를 분석 및 검토해 볼 필요가 있다.

과채류 피복 시험

과채류 시험 역시 토양중 잔류농약 모니터링 결과 검출빈도 및 잔류농도가 높은 procymidone, isoprothiolane, chlorfenapyr 및 endosulfan을 선정하여 사양토에 혼화처리 후 오이, 고추, 가지, 토마토 등을 농가포장에서 피복 재배를 하였다. 약제 처리 후 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 및 120일 차에 토양을 채취하여 잔류농약을 분석하여 경시적인 변화와 토양중 반감기를 조사하였다.

극한 상황을 가정하여 토양 중에 농약을 20 mg/kg으로 처리하였을 때 토양 잔류농약의 반감기가 chlorfenapyr (25일) < isoprothiolane (40일) < procymidone (50일) < endosulfan (100일) 순으로 피복조건에서는 노지조건 보다 토양 잔류농약의 반감기가 길어짐을 알 수 있었다(Fig. 7).

작물별로 시료채취 시기가 달라 공정한 비교는 불가능하지만 대체로 수확기 과채류중 잔류농약은 오이 > 고추 > 가지 > 토마토 순으로 높았다. 또한 토양 중에 시험약제들을 20 mg/kg 수준까지 처리하였을 때 수확기 과채류 중 농약은 잔류허용기준(MRL)의 1/5~1/10 수준이었으나 endosulfan은 과채류에도 흡수·이행이 잘되어 잔류허용기준을 초과할 가능성이 있을 것으로 판단되므로 주의 할 필요가 있다(Fig. 8).

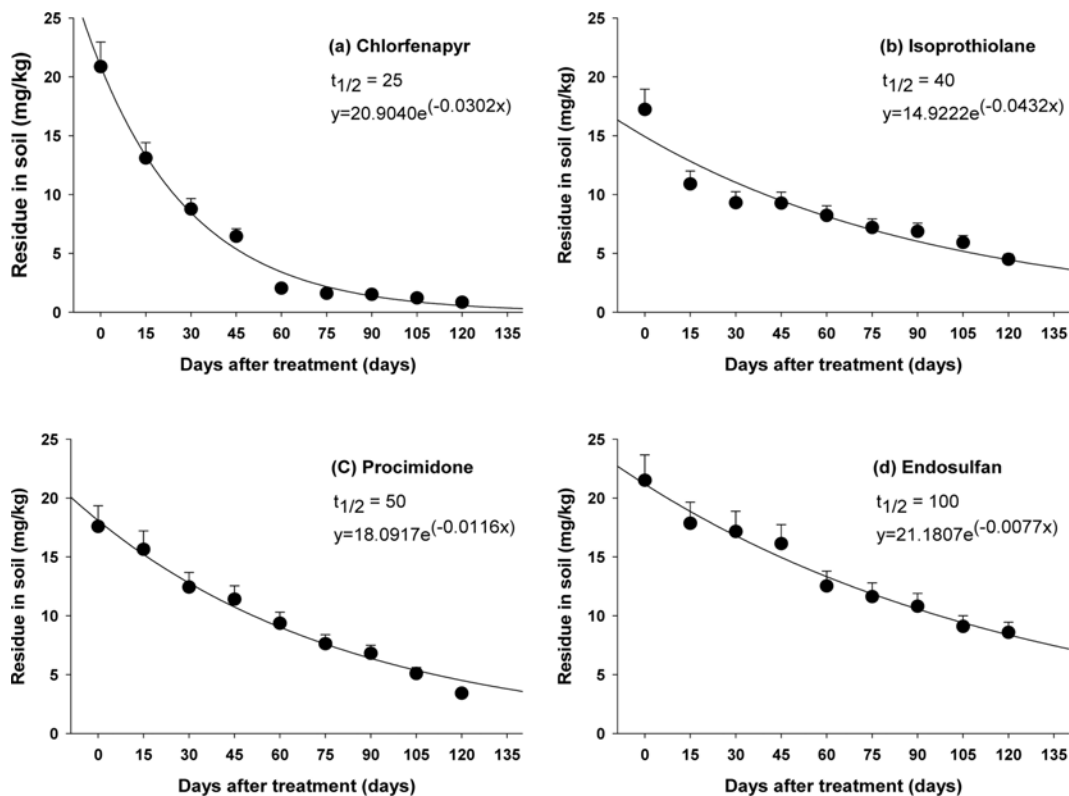


Fig. 7. Changes of residual pesticides in loamy soil at fruit vegetables field.

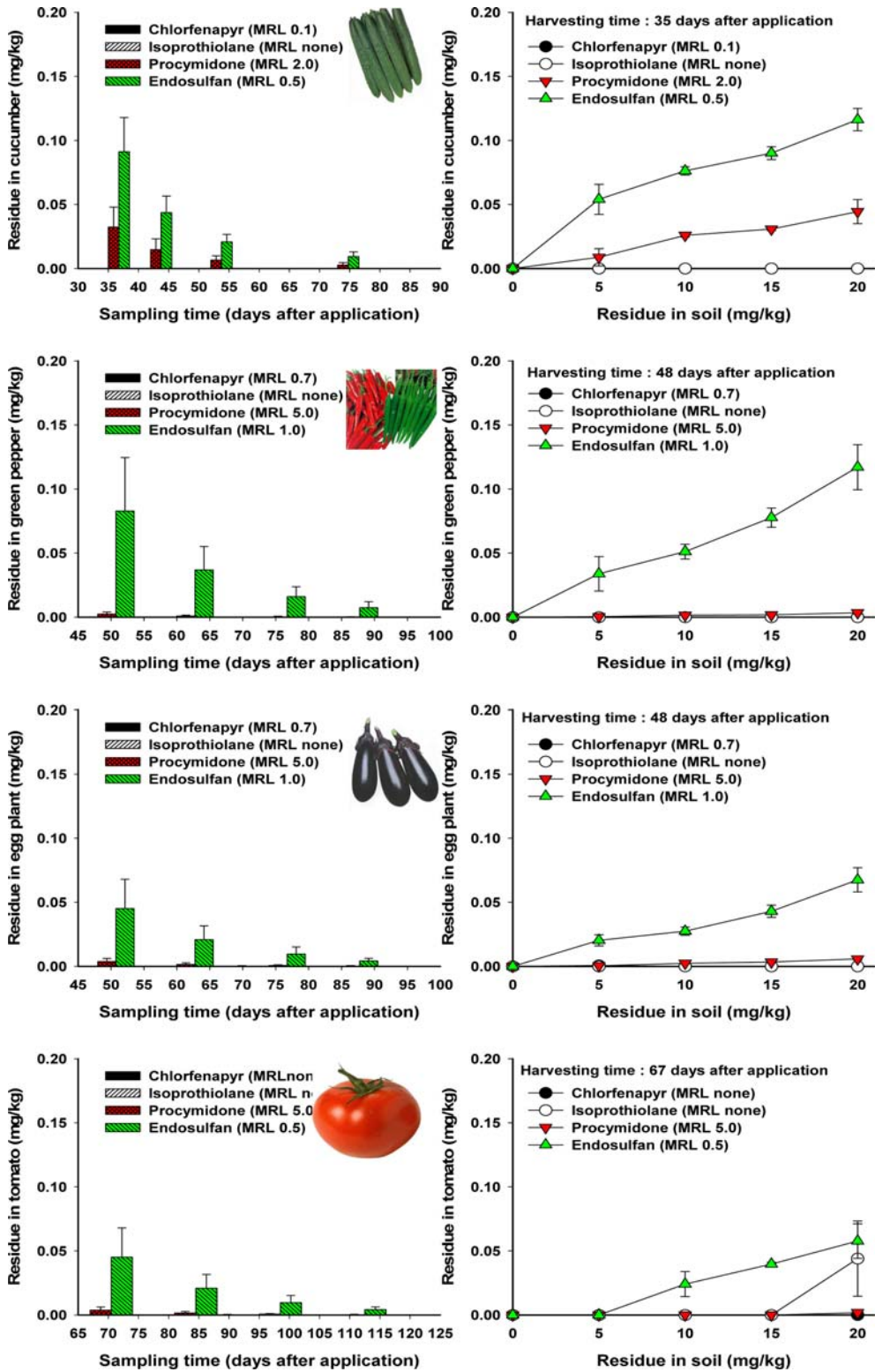


Fig. 8. Pesticides residues in fruit vegetables at harvesting time. (a) cucumber, (b) hot pepper, (c) eggplant, (d) tomato.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ01260)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

Literature Cited

Choi, C. M., D. H. Yook, C. K. Hong, T. R. Kim, Y. S. Hwang, I. S. Hwang, J. H. Kim, M. S. Kim and Y. Z. Chae (2011)

- Monitoring of residual pesticides in agricultural land from the southern area of Seoul. Korean J. of Pestic. Sci. 15(2):160-165.
- e-National Indicator System (2016) Pesticide and fertilizer use and trends. http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=2422#quick_02. Accessed 1 May 2016.
- Harris, C. R. (1972) Factors influencing the effectiveness of soil insecticides. Ann Rev. Entomol. 17:177-198
- Hwang, J. I., S. O. Jeon, S. H. Lee, S. E. Lee, J. H. Hur, K. R. Kim and J. E. Kim (2014) Distribution patterns of organophosphorous insecticide chlorpyrifos absorbed from soil into cucumber. Korean J. of Pestic. Sci. 18(3):148-155.
- Jeon, S. O., J. I. Hwang, S. H. Lee and J. E. Kim (2014) Uptake of boscalid and chlorfenapyr residues in soil into Korean cabbage. Korean J. of Pestic. Sci. 18(4):314-320.
- Kim, J. Y., H. N. Kim, M. Saravanan, S. J. Heo, H. N. Jeong, J. E. Lim, K. R. Kim and J. H. Hur (2014) Translocation of tolclorfen-methyl from ginseng cultivated soil to ginseng (*Panax ginseng* C. A. Meyer) and residue analysis of various pesticides in ginseng and soil. Korean J. of Pestic. Sci. 18(3):130-140.
- Lee, B. M., C. S. Kim, B. J. Park and J. H. Choi (2000) Survey of pesticide residues in agricultural soil. Annual report of national institute of agricultural sciences. pp 42-45.
- Lee, H. G., Y. D. Lee and Y. H. Shin (1984) Survey on pesticide residues in paddy soil. Annual report of national institute of pesticide research agricultural research. pp 90-94.
- Lee, H. K., Y. D. Lee, Y. S. Park and Y. H. Shin (1983) A survey for pesticide residues in major rivers of Korea. Korean J. Environ. Agric. 2(2):83-89.
- Lee, J. Y., H. H. Noh, K. H. Lee, H. K. Park, J. H. Oh, M. H. Im, C. H. Kwon, J. K. Lee, H. D. Woo, K. S. Kwon and K. S. Kyung (2012) Processing factors of azoxystrobin in processed ginseng products. Korean J. of Pestic. Sci. 16(3): 222-229.
- Lee, S. R., H. K. Lee and J. H. Hur (1996) Information resources for the establishment of tolerance standards on pesticide residues in soils. Korean J. Environ. Agric. 15(1): 128-144.
- Ministry for food, agriculture, forestry and fisheries (2008) Food, agricultural, forestry and fisheries statistical yearbook. pp 76-120.
- Ministry of Health and Welfare (2008) Food & nutrient intakes of Koreans in 2008: Korea National Health and Nutrition Examination Survey. pp 102-157.
- National Agricultural Products Quality Management Service (2010) Annual report on agricultural product safety research and analysis. (not open to the public)
- National Agricultural Products Quality Management Service (2011) Annual report on agricultural product safety research and analysis. (not open to the public)
- National Agricultural Products Quality Management Service (2011) Annual report
- National Agricultural Products Quality Management Service (2012) Annual report on agricultural product safety research and analysis. (not open to the public)
- Park, C. K. and Y. S. Ma (1982) Organochlorine pesticide residues in agricultural soils - 1981. Korean J. Environ. Agric. 1(1):1-13.
- Park, H. J., J. H. Choi, B. J. Park, C. S. Kim, Y. B. Ihm and G. H. Rye (2004) Uptake of endosulfan and procymidone from arable soil by several vegetables I (green house study). Korean J. of Pestic. Sci. 8(4):280-287.
- Ryan, J. A., R. M. Bell, J. M. Davidson and G. A. O'Connor (1988) Plant uptake of non-ionic organic chemicals from soils. Chemosphere. 17(12):2299-2323.
- Suh, Y. T., R. D. Park and J. H. Sim (1982) Levels of organochlorine pesticide residues in the cultivating soils in the suburbs of Gwangju-city, Jeollanam-do. Korean J. Environ. Agric. 1(2):83-88.
- Travis, C. C. and A. D. Arms (1988) Bioconcentration of organics in beef, milk, and vegetation. Environ. Sci. Technol. 22(3):271-274.

토양 중 잔류농약의 채소류 흡수 및 이행

박상원* · 류지혁 · 오경석 · 박병준 · 김상수 · 전경미 · 권혜영 · 홍수명 · 문병철 · 최 훈¹

농촌진흥청 국립농업과학원 농산물안전성부 화학물질안전과, ¹원광대학교 생명자원과학대학 식품환경학부

요 약 토양 중 잔류농약의 작물에 대한 흡수이행 평가 및 잔류허용기준 초과 가능성을 구명하기 위하여 지난 10여 년간 농경지 토양 중 잔류농약 모니터링 결과 검출빈도와 검출농도가 높은 살충제 endosulfan, chlorfenapyr, chlorpyrifos, ethoprophos와 살균제 isoprothiolane, procymidone, fthalide 등 7종을 선발하고, 이들 농약을 토양에 혼화 처리 후 포트 및 포장에서 토양 중 잔류농도의 변화를 조사하였다. 또한 시험약제가 처리된 토양에 엽채류(배추, 상추, 시금치), 근채류(무, 감자, 당근) 및 과채류(오이, 고추, 가지, 토마토) 채소 등을 재배하여 수확기 토양중 잔류농약의 작물체로의 흡수이행 정도를 조사하였다. 포트에서 양토중 엽채류의 잔류농약 흡수비는 ethoprophos > chlorpyrifos ≥ endosulfan > fthalide 순으로 낮았으며, 사양토에서는 ethoprophos > endosulfan ≥ chlorpyrifos > fthalide 순이었다. 작물별 토양 중 잔류농약 흡수는 대체로 배추 > 시금치 > 상추 순으로 적었다. 노지 근채류 채소 재배지 토양중 잔류농약의 반감기는 양토에서 chlorfenapyr (13일) < procymidone (20일) < isoprothiolane (25일) < endosulfan (45일) 순이었으며, 사양토에서는 chlorfenapyr (16일) < procymidone (23일) < isoprothiolane (30일) < endosulfan (65일) 순으로 길게 나타났다. 노지 과채류 채소 비닐 피복재배지 토양중 잔류농약의 반감기는 양토에서 chlorfenapyr (25일) < isoprothiolane (40일) < procymidone (50일) < endosulfan (100일) 순으로 비닐피복 재배시에는 노지재배 보다 반감기가 길어짐을 알 수 있었다. 작물별로 수확기 잔류농약은 오이 > 고추 > 가지 > 토마토 순으로 높았다. 또한, 과채류 채소 재배지 토양에 시험약제들을 20 mg/kg 수준까지 처리하였을 때 수확기 과채류 중 농약은 잔류허용기준 (MRL)의 1/5~1/10 수준이었으나 endosulfan은 과채류에도 흡수·이행이 잘되어 재배조건에 따라 잔류허용기준을 초과할 가능성이 있을 것으로 판단되므로 주의 할 필요가 있다.

색인어 토양, 농약, 잔류, 흡수, 이행