

전국 논토양과 시설하우스 토양 중 잔류농약 모니터링과 노출성 평가

박병준*

농촌진흥청 국립농업과학원

Pesticide Residue Monitoring and Environmental Exposure Assessment in Paddy Field Soil and Greenhouse Soils

Byung-Jun Park*

National Institute of Agricultural Science & Technology, RDA, Suwon 441-707, Korea

Abstract

To investigate an amount of pesticide residue in rice paddy field soils and greenhouse soil, this monitoring was carried out pesticide detection frequency and concentrations collected samples from 150 rice paddy field soils and 152 greenhouse soils of nationwide in the year of 2007, and 2008, respectively. The detection limit of pesticides of this experiment were ranged 0.001~0.005 ppm. In 2007, One hundred fifty samples were collected from rice paddy field soils in April and monitored for 120 wide-used pesticides. A total of 11 pesticides were detected four fungicides, four insecticides and three herbicides in paddy field soils. high concentration levels of pesticide detected levels were 0.84 ppm as herbicide oxadiazon, 0.81 ppm as fungicide isoprothiolane and 0.50 ppm as insecticide buprofezin. The detection frequencies range were 0~19.3%, and the frequency was 2.7% as isoprothiolane and 19.3% as oxadiazon in paddy field soils. In 2008, One hundred fifty two samples were collected from greenhouse soils in April and monitored for 120 wide-used pesticides. A total of 29 pesticides were detected six fungicides, sixteen insecticides and seven herbicides in greenhouse soils. high concentration levels of pesticide detected levels were 5.09 ppm as insecticide chlorfenapyr, 2.57 ppm as fungicide chlorthalonil and 0.72 ppm as herbicide oxadiazon. The detection frequencies range were 0~38.8%, and high frequencies were 38.8% as insecticide endosulfan, 13.2% as oxadiazon, 10.5% as fungicide hexaconazole and 7.2% as isoprothiolane in greenhouse soils. Total endosulfan and oxadiazon were showed high detection frequency of 38.8% and 13.2%, respectively.

Key words Pesticide, Monitoring, Paddy field soil, Greenhouse soil

서 론

농약은 인축과 환경생물에 독성을 갖는 물질로써 주로 농경지 등의 개방계 지역에 살포되므로 대부분 농경지 토양에 잔류되어 분해되거나 강우와 배수 등에 의해 비의도적으로 비살포지역에 유출, 침투되어 오염원으로 비표적 생물계에

영향을 미친다(Ralf 등 2001; Norbert 등 2005). 이러한 부작용을 최소화하기 위해 농약에 대한 작물과 환경 중 잔류성에 대한 연구 및 평가방법이 체계적으로 연구되고 있으며, 농약 관리의 차원으로 살포후의 행적과 수계와 농경지에 대한 모니터링이 지속적으로 수행되고 있다. 살포되는 농약은 작물체에 부착되는 것을 제외하면 일부는 대기 중으로 비산되기도 하나 거의 대부분이 토양에 투하된다. 특히 입제 농약의 경우는 토양에 직접 처리됨으로써 표토는 이들 농약과 직접

*연락처 : Tel. +82-31-290-0527, Fax. +82-31-290-0506

E-mail: bjpark@rda.go.kr

접촉되는 주요장소인 동시에 분해 장소가 된다(Deuel 등 1978; Imai 등 1984; Lynton 등 1996).

토양 중 농약의 행적은 환경요인에 의하여 크게 영향을 받지만 농약의 종류, 사용방법 및 사용량, 살포시기 등에 따라 서로 이동양상은 다르게 나타나게 된다. 토양에 유입된 농약은 산화, 가수분해, 미생물의 활동, 증발, 식물체로서의 흡수, 이행, 하층으로의 용탈 등 여러 가지 과정을 밟아 결국 소실되지만(Chen 등 1978; Nicholls 등 1988; 정 등 1990; 박 등 2006) 화합물의 구조, 조성 및 이화학적 성질에 따라 잔류하는 기간은 성분별 상당히 큰 차이가 있다(Lichtenstein 등 1968; 문 등 1990; 김 등 1994). 따라서 각각의 작물 재배지별, 토양 내에 잔존하는 잔류농약 성분과 잔류량을 파악하는 것은 안전농산물생산에 중요한 부분을 차지한다.

농촌진흥청에서는 1995년부터 2006년까지 친환경육성법에 의해 토양정점 조사를 4년 1주기로 논토양, 시설재배지토양, 밭토양, 과원토양에 대하여 잔류농약분석을 실시하여 결과를 보고한 바 있다(이 등 2008).

본 연구는 최근 많이 사용하는 농약에 대해 우리나라 농경지 토양 중 농약잔류 실태를 파악하고 농업환경보존과 안전한 농

산물 생산을 유도할 목적으로 전국 주요 논토양과 시설재배지 토양의 농약잔류 파악과 환경위해성을 평가하고자 조사하였다.

재료 및 방법

농약의 표준용액 조제와 시약

표준 용액 조제는 작물별 사용토록 등록된 농약 중 분석이 가능하고 잔류가능성이 있는 농약을 선정하고 기기분석 가능성, 추출, 각각 성분별 retention time을 확인한 후 조합하여 표준용액농도와 표준용액 혼합조합을 만들었다.

사용된 용매 hexane, acetone, dichloromethane, acetonitrile, sodium sulfate anhydrous 등은 모두 잔류분석용으로 사용하였고, sodium chloride는 증류수에 포화시킨 후 포화 용액을 dichloromethane으로 세척하여 불순물을 제거한 후 분석에 이용하였다. 정제용 florisil은 Sigma Co.(USA) 60~100 mesh를 130℃에서 24시간 활성화시켜 사용하였다.

토양 중 조사농약의 회수율 및 검출한계

풍건토양 50g에 acetone에 녹인 10 ppm 표준품 혼합액 1

Table 1. Number of sampling site by provinces and year for pesticide monitoring in agricultural field

Soil	Gyeonggi	Gangwon	Chungbuk	Chungnam	Jeonbuk	Jeonnam	Gyeongbuk	Gyeongnam	Total
Paddy field (2007)	16	9	14	22	22	24	21	22	150
Greenhouse (2008)	7	-	22	30	16	16	20	41	152

Table 2. Monitored pesticides at agricultural cultivation field soil

	Pesticide
Fungicide (36)	carpropamid, chlorothalonil, dichlofluanid dietofencarb, diniconazole, edifenphos, etridiazole, fenarimol, ferimzone, fluoromide, flusilazole flutolanil, fthalide, exaconazole, hexaflumuron, iprobenfos, iprodione, isazofos, isoprothiolane, mepronil, myclobutanil, napropamid, nuarimol, oxadixyl, oxadiazone, penconazole, pencycuron, probenazole, prochloraz, procymidone, prodiamidone, pyrazophos, tebuconazole, triadimefon, tricyclazole, vinclozolin
Insecticid (63)	acrinathrin, amitraz, azinphos-methyl, benfuracarb, bifenthrin, buprofezin, carbofuran, carbosulfan, chlorfenapyr, chlorpyrifos, chlorpyrifos-me, cypermethrin, deltamethrin, diazinon, dimethoate, dimethylvinfos, EPN, esfenvalerate, ethoprophos, fenitrothion, fenobucarb, fenothiocarb, fenoxycarb, fenpropathrin, fenthion, fenvalerate, fipronil, flucythrinate, fluvalinate, fonofos, fosthiazate, furathiocarb, hexaflumuron, isazofos, isofenphos, isoprocarb, malathion, mecarbam, metamidophos, methidathion, metolcarb, monocrotophos, parathion, phenthoate, phorate, phosalone, phosmet, phosphamidon, pirimicarb, pirimiphos-methyl, profenofos, pyraclofos, pyridaben, pyridaphenthion, zeta, tebufenpyrad, terbufos, tetradifon, tralomethrin, triazamate, triazophos, cypermethrin, DDT, BHC
Herbicide (31)	alachlor, bifenox, butachlor, chlormethoxyfen, chlornitrofen, dichlobenil, dimepiperate, dimethametryn, dithiopyr, esprocarb, ethalfluralin, fenclorim, hexazinon, mefenacet, metabenthiarazon, metobromuron, molinate, napropamid, oxadiazone, pendimethalin, piperophos, pretilachlor, prodiamidone, prometryn, propanil, pyributicarb, simazine, simetryn, terbutylazine, thiobencarb, triflualin

Table 3. Detection limit of monitored pesticides at agricultural cultivation field soil

Pesticide	Detection limit (ppm)
bifenox, chlomethoxyfen, chlorfenapyr, chlorothalonil, diazinon, dichlobenil, dimethylvinphos, endosulfan, ethalfluralin, isoprothiolane, procymidone, pyraclofos	0.001
bprofezin, btachlor, clorpyrifos, cloronitrofen, cprodinil, eltamethrin, dmethoate, dniconazole, eifenphos, fnarimol, fipronil, fuazinam, hxaconazole, irobenfos, iazofos, mecarbam, methamidophos, metolcarb, myclobutanil, oxadiazon, penconazole, phosalone, piperophos, prothiofos, pyributicarb, terbufos, tetradifon, triadimefon, vinclozolin	0.002
acrinathrin, alachlor, bifenthrin, bromopropylate, ethoprophos, fenitrothion, fenobucarb, fenthion, furathiocarb, isoprocab, malathion, methidathion, oxadixyl, parathion, pendimethalin, phenthoate, phosmet, phosphamidon, profenofos, prometryn, pyrazophos, thiobencarb	0.003
bitertanol, cadusafos, capropamid, dichlofluanid, dimethametryn, dimethomorph, EPN, esfenvalerate, fenazaquin, fenothiocarb, fenpropathrin, fludioxonil, fluoromide, folfet, fonofos, Iprodione, mefenacet, metabenthiuron, molinate, monocrotophos, napropamid, nuarimol, quinalphos, trifluralin	0.004
carbofuran, carbosulfan, cypermethrin, diethofencarb, dimepiperate, esprocarb, fenbuconazole, flucythrinate, flutolanil, fluvalinate, metalaxyl, metolachlor, ofurace, pretilachlor, pyridaben, pyridaphenthion, tebuconazole, tebufenpyrad, tolclofos-methyl, tolyfluanid, tralomethrin, triadimenol, triazophos	0.005

mL를 가하여 용매를 날아가도록 후드 상태에 방치한 1시간 후 0.2N Ammonium chloride 용액 30 mL를 가하여 토양을 팽윤 시킨 다음 acetone 100 mL를 가하여 2시간 동안 진탕추출 하였다. 추출물을 흡인 여과하고 acetone 50 mL 정도로 토양 잔사 및 용기를 씻어 여과액과 합하였다. 추출여액에 포화 식염수 50 mL, 증류수 500 mL를 가한 후 dichloromethane 100 mL(50 mL×2회)로 추출한 후 sodium sulfate anhydrous 층을 통과시켜 수분제거 후 유기용매층을 감압농축하여 hexane 10 mL로 재용해하여 정제 과정에 사용하였다. 분배추출액 중 5 mL를 취하여 활성 florasil을 이용한 정제 방법에 따라 정제 후 수집된 용출분획을 감압 농축, 재용해 후 회수율을 구한 결과 분석 대상성분은 70~110%이었다. 또한 농약을 전혀 사용하지 않은 토양에 표준품을 처리하여 분석한 분석대상 농약의 검출한계는 0.001~0.005ppm수준이었다(Table 2, 3).

시료채취 및 조제

토양시료는 논토양('07), 시설재배지토양('08)을 3월부터 4월말까지 현장에서 시료를 채취하였고 시료채취 내역은 Table 1과 같다. 채취방법은 토양시료채취기로 상층부 벼짚등 유기물을 제거하고 10 cm 깊이로 10~15개 지점에서 채취하였다. 0.5~1 kg 정도의 채취토양은 잘 섞어 음건한 후 분쇄하고 20 mesh체를 통과시켜 분석용 시료로 하였다.

추출 및 정제 및 기기분석

토양시료 50g을 칭량하여 30 mL의 0.2N NH₄Cl 수용액을

가하고 30분간 정치 후 100 mL의 Acetone을 가하여 2시간 동안 진탕, 추출, 감압여과하고 잔사를 50 mL의 acetone으로 씻어 두 여액을 합하였다. 여액을 separatory funnel에 옮겨 포화 NaCl 50 mL, dichloromethane 50 mL를 넣고 3분간 격렬하게 흔든 후 정치하여 dichloromethane층을 분리하였고 위의 과정을 반복 추출하였다. Dichloromethane층은 Anhydrous sodium sulfate을 통과시켜 40℃에서 감압 농축한 뒤 잔류물을 n-hexane 10 mL로 정용하여 정제시료로 하였다.

정제는 컬럼크로마토그래피법을 이용하였다. 직경 1 cm의 pyrex glass column 하단부를 탈지면으로 막고 130℃에서 24시간 동안 활성화시킨 florasil 10 g을 가하여 충전하고 그 위에 무수 Na₂SO₄를 1.5 cm높이로 깔고 n-hexane 50 mL를 흘려보낸 다음 hexane에 녹인 시료액을 loading 한 후 아래와 같이 6단계로 용매의 극성을 증가시켜가면서 분획별로 50 mL 용출시켜 40℃에서 감압농축 후 n-hexane 5 mL로 재용해하여 GLC로 분석하였다(Table 4).

- (1) C₁; dichloromethane : n-hexane (50/50, v/v) 50 mL
- (2) C₂; dichloromethane : n-hexane : acetonitrile (50/49.35/0.65) 50 mL
- (3) C₃; dichloromethane : n-hexane : acetonitrile (50/48.5/1.5) 50 mL
- (4) C₄; dichloromethane : n-hexane : acetonitrile (50/45/5) 50 mL
- (5) C₅; dichloromethane : acetonitrile (50/50) 50 mL
- (6) C₆; acetonitrile 50 mL

Table 4. GLC operating parameters for the analysis of pesticide

Instrument	: HP 6890
Detector	: Nitrogen Phosphorus Detector (NPD, ECD)
Column	: HP-5, Capillary 30.0 m × 320 μ m (i.d) × 0.25 μ m (film thickness)
Temperature	: Column oven ; 60°C (2min) - 5/min → 120°C-15/min → 270°C (15min) Injection port ; 250°C Detector ; 280°C
Gas flow rate	: Carrier N ₂ ; 1.3 mL/min Hydrogen ; 3.7 mL/min Air ; 60 mL/min Make-up N ₂ ; 3.7 mL/min

결과 및 고찰

논토양 중 잔류농약 검출량

전국 주요 논토양에서 채취한 토양시료 150점에 대한 잔류농약 분석결과는 표 5에서 보는 바와 같이 분석대상 중 11종 농약이 검출되었으나, 그 밖의 약제는 검출되지 않았다. 또한 검출된 약제의 검출빈도는 0.7~19.3%이었으며, oxadiazone 이 19.3%로 가장 높았고, hexaconazole이 8.0%로 다음으로 높았는데, 이는 농약사용량이 기타 다른 농약의 사용량에 비해 많았고, 토양 중 반감기도 oxadiazone 31~91일, hexaconazole 13~15일 isoprothiolane이 27~28일, butachlor는 24~27일로 비교적 반감기가 길기 때문인 것으로 추정된다.

2003년에 1999년과 동일한 지역 또는 인근지역에서 150점을 채취하여 잔류농약을 조사한 결과와 비교하면 1999년도에 14종 농약성분에 비하여 낮았고 2003년에는 살균제 iprobenfos, isoprothiolane, hexaconazole 등 3종과 살충제 endosulfan,

pyridafenthion 등 2종과 제초제 butachlor와 oxadiazone 등 2종이 검출되었으나(이 등 2008), 2007년에는 표 5와 와 같이 살균제는 capropamid와 penconazole 성분이 새롭게 검출되었으나 지속적으로 검출되던 iprobenfos 성분이 검출되지 않았다. 또한 살충제 mecabam등 4종, 제초제 pendimethalin도 새롭게 검출되었다. 제초제의 경우 예전에는 butachlor 성분이 oxadiazone 성분보다 검출빈도가 높았으나 2007년에는 oxadiazone이 butachlor보다 훨씬 검출빈도와 검출량이 높게 검출되는 추세이다. 이는 이앙전처리제가 butachlor보다 oxadiazone 이 함유된 옥사디아존 유제를 많이 살포하기 때문이다. 또한 제초의 경우 '99년도의 6종 성분검출에 비해 butachlor 등 3성분만이 검출된 바 이는 단위면적당 사용량이 낮은 설풀닐우레아 계통의 약제 증가에 따른 것으로 생각되며, 농약의 성분은 재배방법, 살포시기, 기상상태 등 여러 요인에 의해 잔류성이 달라 4년 전과 다른 큰 차를 보인 것으로 추정된다.

Table 5. Number of pesticide detections, detection frequency, and concentrations observed in samples collected at the paddy field soils in the year 2007

	Pesticide	Detection frequency (%)	Range of concentration (ppm)
Fungicide (4)	Capropamid	0.7	0.037
	Isoprothiolane	2.7	0.074~0.810
	Hexaconazole	8.0	0.005~0.034
	Penconazole	0.7	0.07
Insecticide (4)	Buprofezin	2.0	0.027~0.500
	Mecabam	0.7	0.023
	Methidathion	1.4	0.005
	Pyracllofos	0.7	0.005
Herbicide (3)	Butachlor	1.3	0.035~0.158
	Oxadiazone	19.3	0.001~0.836
	Pendimethalin	0.7	0.037

Table 6. Number of pesticide detections, detection frequency, and concentrations observed in samples collected at the plastic house soils in the year 2008

	Pesticide	Detection frequency (%)	Range of concentration (ppm)
Fungicide (6)	Hexaconazole	10.5	0.006~0.051
	Isoprothiolane	7.2	0.009~0.208
	Probenazole	2.6	0.005~0.031
	Tolclofos-Me	1.3	0.278~0.670
	Metalaxyl	2.6	0.013~0.173
	Procymidon	1.3	0.014~0.104
Insecticide (16)	Cadusafos	4.6	0.001~0.360
	Chlorthalonil	4.0	0.011~2.565
	Diazinon	1.3	0.091~0.010
	Dimethyvimfos	0.7	0.011
	Endosulfan	38.8	0.003~0.155
	Fipronil	1.3	0.003~0.148
	Parathion	4	0.001~0.022
	Prothiofos	2.4	0.005~0.028
	Tetradifon	4.6	0.004~0.104
	Buprofezin	0.7	0.062
	Chlorfenapyr	4.6	0.021~5.087
	Chloropyrifos-Me	1.3	0.001~0.001
	Chloropyrifos	5.2	0.001~0.027
	Fenitrothion	3.2	0.001~0.027
	Phosphamidon	1.3	0.004~0.303
	Prothiofos	0.7	0.005
Herbicide (7)	Alachlor	0.7	0.058
	Butachlor	1.3	0.009~0.017
	Metalachlor	2.6	0.003~0.169
	Pendimethalin	0.7	0.068
	Oxadiazon	13.2	0.001~0.715
	Esprocarb	1.3	0.002~0.003
	Narpopamid	4.0	0.002~0.017

시설재배지 토양 중 잔류농약 검출량

전국 주요 시설재배지 토양 152점을 작물별 시료를 채취하여 토양 중 잔류농약을 분석한 결과는 표 6에서 보는 바와 같이 분석대상 140 성분 중 살균제 6종, 살충제 16종 과 제초제 7종 등 총 29종 농약이 검출되었으나 그 밖의 111종 농약은 전혀 검출되지 않았다. 검출된 약제의 검출빈도는 0.7~38.8% 수준이었으며, 그중에서도 토양살충제인 endosulfan과 흰가루병과 검은별무늬병 방제약제인 hexaconazole이 38.8%, 10.5%로의 각각 검출빈도를 보였다. 2000, 2004년 동일지역 또는 인근지역에서 채취한 시료에 endosulfan의 검출빈도는 2000, 2004, 2008년에 65.3%, 21.3%, 38.8%의 각각 검

출빈도를 보였으며 검출량도 2000년 최고 2.93 ppm에서 2008년에는 0.16 ppm으로 낮아져 2004년부터 endosulfan 성분은 식용작물을 재배하는 경작지에 사용을 금해 이전에 사용한 성분이 계속해서 검출되고 있는 것으로 추정된다(이 등 2008). 또한 검출되는 성분이 β -endosulfan과 endosulfan sulfate 성분이 주로 검출되었다. Hexaconazole의 검출빈도는 2000, 2004, 2008년에 7.1%, 4.0%, 10.5%의 각각 검출빈도를 보였으며 년도별 최고검출량은 각각 0.06 ppm, 0.04 ppm와 0.05 ppm 수준으로 흰가루병 방제등 원예작물에 점차적으로 적용추가되어 사용량이 점차 증대되기 때문에 검출빈도가 연속적으로 유지되거나 증가되는 추세이다. 논, 밭이나 과수재

배지보다 시설하우스 토양에서 농약성분의 검출이 높은 것은 시설재배특성상 작물의 생육기간이 짧아 재배작물이 자주 변환되고 또한 온도와 습도가 높아 작물의 각종 병해의 발생이 많아져 이들 병해충 방제를 위해 자주 약제를 살포하기 때문인 것으로 추정되며, 살포된 농약은 하우스 내에서 자외선 등이 일부 차단되므로 광분해가 더디게 일어나 잔류지속성이 길어지기 때문이다. 동일지역의 대비에서 딸기, 고추, 오이, 토마토의 잣빛곰팡병 등을 방제하는 procymidone은 2000년과 2004년에 50.0%와 9.3%의 검출빈도를 보였으나 2008년에는 1.3%로 검출되어 점차 감소되는 추세이다.

>> 인 / 용 / 문 / 헌

- Chen, Y. L. and T. C. Wu (1978) Degradation of herbicide butachlor by soil microes. *J. Pesticide Sci.* 3:411~417,
 Deuel, L. E., F. T. Turner, K. W. Brow, and J. D. Price (1978) Persistence and factors affecting dissipation of molinate under flooded rice culture. *J. Environ. Qual.* 7:373~377.
 Imai, Y. and S. Kuwatsuka (1984) Uptake, translocation, and metabolic fate of the herbicide molinate in plants. *Journal of Pesticide Science.* 9:79~90.
 Lichtenstein, E.P., T.W. Fuhremann, and K.R. Schulz (1968) Effect of sterilizing agents persistence of parathion and

- diazinon in soil and water. *J. Agr. Food Chem.* 16:870~873.
 Lynton W. Baker, Donald L. Fitzell. 1996. Ambient air concentration of pesticides in califonia. *Environ. Sci. Technol.*, 30:1365-1368.
 Nicholls, P. H. (1988) Factors influencing entry of pesticides into soil water. *Pestic. Sci.* 22:123~137.
 Norbert Berenzen, Thomas Kumke, Holger K. Schulz, and Ralf Schulz (2005) Macroinvertebrate community structure in agricultural streams: impact of runoff-related pesticide contamination. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 60:37~46.
 Ralf Schulz (2001) Comparison of spray drift-and runoff-related input of azinphos-methyl and endosulfan from fruit orchards into the Lourens River, South Africa. *Chemosphere.* 45:543~551.
 金澤純 (1994) 農薬と環境科学. 第2刷. 合同出版, pp. 310.
 문영희 1990 담수토양 중에 있어서 살균제 IBP의 분해속도에 미치는 각종 토양환경조건의 영향, *한국환경농학회지* 33(2):133~137.
 박병준, 박현주, 이병무, 임양빈, 최주현, 류갑희 (2005) 논토양 환경 중 제초제 molinate의 잔류성과 분해특성. *한국농약과학회지* 9(1):60~69.
 박병준, 김찬섭, 박경훈, 박현주, 임진재, 최주현, 심재한, 류갑희 (2006) 벼 재배 Lysimeter 환경에서 제초제 ¹⁴C-molinate의 분포 및 이동성 평가. *한국농약과학회지* 10(3):172~182.
 정영호, 박영선 (1990) 농약학. 전국농업기술협회.
 이병무, 박병준, 김찬섭, 박경훈, 김진경, 박상원, 최주현, 권오경 (2008) 농업환경 변동조사사업 완결보고서. 농촌진흥청 149~168.

전국 논토양과 시설하우스 토양 중 잔류농약 모니터링과 노출성 평가

박병준*

농촌진흥청 국립농업과학원

요 약 분석대상 농약의 토양중 잔류분석법에 따른 검출한계는 0.001~0.005 ppm이었으며 2007년에 전국 논 토양 150점에 대한 잔류농약 성분을 분석한 결과 살균제 carpropamid 등 4종, 살충제 buprofezin 등 4종, 제초제는 butachlor 등 3종 농약이 검출 되었다. 검출빈도는 oxadiazon 성분이 19.3%로 가장 높았고 살균제 hexaconazole 성분이 8.0%, isoprothiolane 2.7% 순이었으며 검출된 농도는 oxadiazon 0.836 ppm, isoprothiolane 0.810 ppm과 buprofezin 0.5 ppm수준으로 최고농도를 보였으나 그 밖의 성분은 대체로 잔류수준이 낮게 검출되었다. 2008년에 전국 시설재배지 토양 152점에 대한 잔류농약 성분을 분석한 결과 살균제 hexaconazole 등 6종, 살충제 cardusafos 등 16종, 제초제는 butachlor 등 7종 농약이 검출 되었고 검출빈도는 endosulfan 38.8%로 가장 높았으며, oxadiazon 성분이 13.2%, 살균제 hexaconazole 성분이 10.5%, isoprothiolane 7.2% 순이었다. 잔류농약의 검출된 농도는 chlorfenapyr 5.087 ppm으로 가장 높았으며, chlorthalonil 2.565 ppm, oxadiazon 0.715 ppm, isoprothiolane 0.208 ppm 수준의 농도를 보였으나 그 밖의 성분은 대체로 잔류수준이 낮게 검출되었다.

색인어 잔류농약, 논토양, 하우스 토양, 모니터링, 환경노출