

부산지역 주요 농산물경작지의 농약오염 실태조사연구

윤호철[†] · 박지현 · 차경숙 · 박은희 · 윤종배 · 김병준 · 박선희 · 박준영 · 이진열 · 강정미 · 빈재훈
농산물검사소 반여지소

Monitoring the Residual Pesticide Levels of Soil and Water from the Main Agricultural Area in Busan

Ho-Cheol Yun[†], Jee-Hyeon Park, Kyung-Suk Cha, Eun-Hee Park, Jong-Bae Youn,
Byung-Jun Kim, Sun-Hee Park, Jun-Young Park, Jin-Youl Lee, Jung-Mi Kang and Jae-Hun Bin
Banyeo Branch Office of Agricultural Products Inspection

Abstract

This study was carried out to monitor the pesticide residues of agricultural soil and water of the Gangseo district in Busan. Agricultural soil and water samples from paddy field, upland, and orchard were analyzed monthly by GC/MSD and GC. In total soil samples, endosulfan was detected in the highest frequency with the average residual level of 0.686 mg/kg. Methidathion, pendimethalin and tefluthrin were detected in 8 times of frequency with the average residual levels of 0.829 mg/kg, 0.134 mg/kg and 0.007 mg/kg, respectively. Hexaconazole and DDE were detected in 5 times of frequency with the average residual levels of 0.289 mg/kg and 0.005 mg/kg, respectively. Besides, isoprothiolane, flutolanil, fenitrothion, alachlor, chlorfenapyr, ethoprophos, diphenylamine, phenthoate, bifenthrin, parathion-methyl, quintozone and diazinon were detected in sequence of the frequency with the average residual levels of 0.008 mg/kg, 0.096 mg/kg, 0.360 mg/kg, 0.023 mg/kg, 0.023 mg/kg, 0.397 mg/kg, 0.004 mg/kg, 0.017 mg/kg, 0.008 mg/kg, 0.004 mg/kg, 0.001 mg/kg and 0.011 mg/kg, respectively. According to the cultivation types of soil, in paddy field, endosulfan, hexaconazole, flutolanil, chlorfenapyr and methidathion were detected in sequence of the frequency. In upland A, endosulfan, tefluthrin, methidathion, fenitrothion, isoprothiolane, diphenylamine and pendimethalin were detected in sequence of the frequency. In upland B, endosulfan, pendimethalin, DDE, alachlor, isoprothiolane, ethoprophos, methidathion, phenthoate, bifenthrin, parathion-methyl and quintozone were detected in sequence of the frequency. In the orchard soil, endosulfan and diazinon were detected in sequence of the frequency.

The results of water samples analyses showed the aspects of little residual level. In only agricultural water samples around paddy field, isoprothiolane and alachlor were detected in the average residual levels of 0.003 mg/L and 0.002 mg/L, respectively.

Key Words : Pesticide, Agricultural soil, Agricultural water

서 론

현대 농업에 있어서 농약은 병해충 및 잡초로부터 농작물을 보호하는 필수적인 농자재로서 농산물의 품질 향상과

노동력의 절감에 기여할 뿐만 아니라 농산물의 생산비 절감에 중요한 역할을 담당한다. 하지만, 최근 건강에 대한 관심고조와 농약의 인체 독성이 알려짐에 따라 농산물의 안전성 확보 차원에서 농약 사용 규제가 강화되고 있고,

[†] Corresponding author. E-mail:lanceiot@korea.kr
Tel:+82-51-666-6855, Fax:+82-51-666-6857

독성이 낮고 잔류량이 적은 환경친화적 농약에 대한 관심이 증대되고 있다.

실제로 우리나라를 비롯한 많은 나라에서는 농산물의 농약잔류량을 줄여야 한다는 인식하에, 대상작물, 농약별 사용시기, 사용량 및 사용횟수 등에 관한 농약안전사용기준을 정하여 농산물의 생산단계에서 농약의 사용방법과 사용량을 규제하고 있으며, 시중에 유통 중인 농산물에 대해서는 잔류농약허용기준을 설정하여 관리하고 있다¹⁻⁴⁾.

우리나라의 경우 생산단계인 농가포장 내 (on-the-farm)에서는 재배관리 지도를 맡고 있는 농촌진흥청에서, 농작물 수확 후 시장출하단계 (farmer's gate)는 농산물품질관리원에서, 시장에서의 유통단계 (basket level)는 식품의약품안전청 및 시도 보건환경연구원에서 각각 업무를 분담하여 관장하고 있고, 매년 지속적인 잔류농약 모니터링과 감시사업을 통하여 농산물 안전성 확보에 주력하고 있다. 그러나 농산물의 생산에는 아직까지도 많은 양의 농약이 사용되고 있다. 농약의 연간사용량은 1998년 10.4 kg/ha, 2000년 12.4 kg/ha, 2002년 12.8 kg/ha, 2004년 13.0 kg/ha로 해마다 증가추세에 있다⁵⁾. 수도용농약은 벼재배면적의 감소와 농약 방제횟수의 축소로 감소추세에 있으나, 원예·과수용농약은 시설원에 등으로 연중 재배가 가능하여 단위면적당 농약사용량이 증가한 것에 기인한다.

농약의 안전관리에 있어 농산물에 존재하는 잔류농약 관리도 중요하지만, 농산물 생산 환경중에 노출되고 축적되는 농약환경오염 관리도 중요하다고 할 수 있다. 농약은 농산물에 잔류하여 직접적인 농약 중독의 위해성을 나타내며, 토양, 수질 등 농업환경에 잔류하여 생태계에 영향을 미치고, 농약저항성 병해충 및 잡초의 출현 등의 문제를 야기시킬 수 있다. 그러나 농산물 생산 기반환경인 농경지나 농업용수에 관한 잔류농약 실태조사는 비교적 관심을 받지 못하여 농업환경에 대한 체계적인 조사연구가 이루어지지 못했고, 잔류성이 길다고 밝혀진 유기염소계 농약위주로 간헐적으로 조사되었다⁶⁾. 1995년 이후 농촌진흥청 산하 농업과학기술원에서 본격적으로 농경지 토양에 대한 잔류농약 실태조사가 수행되어오고 있으나, 전국 농경지면적 및 연간 농약사용량과 대비하여 축적된 자료는 아직까지 미흡한 실정이다.

이에 본 연구에서는 부산의 주요 농산물 생산단지인 강서지구의 농경지와 농업용수를 대상으로 농업환경 중의 농약잔류 실태를 조사하여, 농업환경보전과 안전농산물 생산을 위한 기초자료를 제공함과 동시에 농산물 생산 농가의

농약안전사용을 유도하고 농약환경오염에 관한 경각심을 고취하고자 하였다.

재료 및 방법

조사장소 및 시료의 채취

부산광역시 강서구 일원의 농경지 4곳을 선정하여 환경부고시 『토양오염공정시험방법』에 준하여 토양시료 4종 (논토양 1종, 밭토양 2종, 과수원 토양 1종)을 채취하고, 수질시료로 농경지 주변의 관개수 (4종)와 하천유입수 (1종)를 채취하였다. 각각의 시료는 2008년 1월부터 12월까지 월별로 채취하여 잔류농약분석을 실시하였다.

시약

시료의 전처리에 사용한 acetonitrile, acetone, n-hexane 및 dichloromethane 용매는 Merck (Germany)사의 GC분석용 시약을 사용하였고, 무수 Na_2SO_4 , NaCl , NH_4Cl 은 Merck (Germany)사의 분석용 시약을 사용하였다. 정제 칼럼은 Waters (Ireland)사의 florasil Sep-Pak cartridges를 사용하였다.

농약표준품

농약표준품은 식품의약품안전청으로부터 분양받은 표준원액을 사용하였고, 표준용액은 각각의 농약표준원액에 acetone, n-hexane 및 acetonitrile 로 희석하여 분석기기 검출 적정 농도로 맞추어 사용하였다.

농약 분석대상 항목은 2008년 현재 부산광역시 보건환경연구원 농산물검사소에서 농산물의 잔류농약분석 항목에 적용하는 160항목의 농약성분을 대상으로 하였다 (Table 1).

시료의 전처리 및 기기분석

시료의 잔류농약분석을 위한 전처리는 환경부고시 『골프장농약잔류량시험방법』에 준하였고 (Fig. 1), 가스크래마토그래피 질량분석기, GC/MSD (6890N/5973MSD, Agilent Technologies, USA)로 농약성분의 잔류여부를 확인한 후, 전자포획검출기 및 질소·인 검출기가 부착된 GC-ECD, GC-NPD (6890N, Agilent Technologies, USA)로 정량하였다. 기기분석조건은 Table 2 와 같다.

Table 1. List of pesticides categorized by use type for multiresidue analysis

Use type	Pesticides
Fungicide (50)	captafol, captan, carboxin, chinomethionat, chlorothalonil, cyproconazole, cyprodinil, dichlofluanid, dicloran, diethofencarb, diphenylamine, fenamidone, fenarimol, fenbuconazole, fenoxanil, fluazinam, fludioxonil, flusilazole, flusulfamide, flutolanil, folpet, fthalide, hexaconazole, imazalil, iprobenfos, iprodione, iprovalicarb, isoprothiolane, kresoxim-methyl, mepanipyrim, mepronil, metalaxyl, metconazole, myclobutanil, nuarimol, oxadixyl, penconazole, probenazole, prochloraz, procymidone, pyrazophos, quintozene, tolclofos-methyl, tolylfluanid, triadimefon, triadimenol, tricyclazole, triflumizole, vinclozolin, zoxamide
Insecticide (76)	acrinathrin, aldrin, anilofos, azinphos-methyl, $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ -BHC, bifenthrin, bromopropylate, cadusafos, carbophenothion, chlorfenapyr, chlorfenvinphos, chlorobenzilate, chlorpyrifos, chlorpyrifos-methyl, DDT, diazinon, dichlorvos, dicofol, dieldrin, dimethoate, dimethylvinphos, disulfoton, edifenphos, endosulfan(α, β ,sulfate), endrin, EPN, ethion, ethoprophos, etoxazole, etrimfos, fenamiphos, fenazaquin, fenitrothion, fenoxycarb, fenpropathrin, fenthion, fenvalerate, fipronil, flupyrazofos, furathiocarb, heptachlor, isazofos, isofenphos, malathion, mecarbam, methidathion, methoxychlor, mevinphos, omethoate, parathion, parathion-methyl, permethrin, phenthoate, phosalone, phosmet, phosphamidon, phoxim, pirimicarb, pirimiphos-ethyl, pirimiphos-methyl, profenofos, prothiofos, pyraclofos, pyridaben, pyridaphenthion, pyrimidifen, spirodiclofen, tebufenpyrad, tebupirimfos, tefluthrin, terbufos, tetradifon, thiometon, triazamate, triazophos, vamidothion
Herbicide (31)	acetochlor, alachlor, bromacil, butachlor, diclofop-methyl, dimepiperate, dimethenamid, diphenamid, dithiopyr, diuron, ethalfuralin, indanofan, mefenacet, metobromuron, metolachlor, metribuzin, molinate, oxadiazon, oxyfluorfen, pendimethalin, pretilachlor, prometryn, propanil, propisochlor, pyriminobac-methyl, simazine, terbutryn, terbutylazine, thiazopyr, thiobencarb, trifluralin
Nematicide	fosthiazate
Microbiocide	nitrapyrin
Plant growth regulator	paclobutrazol

Table 2. Operating conditions of instruments for residual pesticides analysis

	GC/MSD	GC-ECD/NPD
	Agilent 6890N GC/5973i MSD	Agilent 6890N GC
Column	HP-5MS (30m×0.25mm×0.25 μ m)	HP-5 (30m×0.25mm×0.25 μ m)
Oven temp.	120 $^{\circ}$ C(1min) \rightarrow 5 $^{\circ}$ C/min \rightarrow 200 $^{\circ}$ C(3min) \rightarrow 3 $^{\circ}$ C/min \rightarrow 250 $^{\circ}$ C(5min) \rightarrow 290 $^{\circ}$ C(5min)	120 $^{\circ}$ C(1min) \rightarrow 5 $^{\circ}$ C/min \rightarrow 200 $^{\circ}$ C(3min) \rightarrow 3 $^{\circ}$ C/min \rightarrow 250 $^{\circ}$ C(5min) \rightarrow 290 $^{\circ}$ C(5min)
Injector (Inlet) temp.	250 $^{\circ}$ C	260 $^{\circ}$ C
Detector (Aux) temp.	Source : 230 $^{\circ}$ C Quad. : 150 $^{\circ}$ C	ECD : 280 $^{\circ}$ C NPD : 325 $^{\circ}$ C

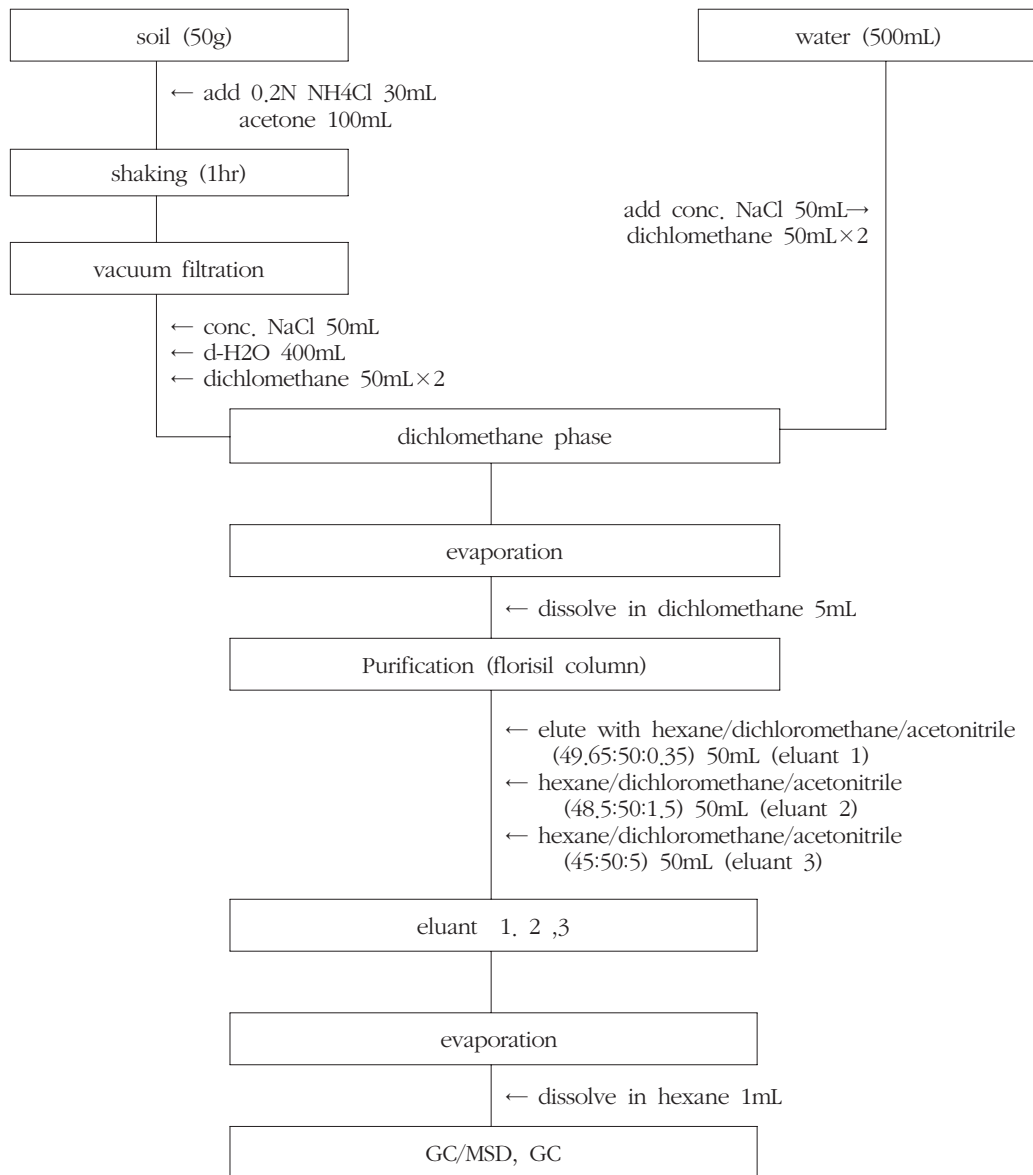


Fig. 1. A scheme for multiresidue analysis of pesticides.

결 과

논토양의 잔류농약 분석

논토양에서는 총 5종의 농약성분이 검출되었다(Table 3). Endosulfan 은 1월부터 12월까지 12회의 분석결과 중, 7회의 검출빈도로 가장 많이 검출되었으며, 평균 0.219 mg/kg 농도의 검출량을 보였다. Hexaconazole 은 5회의 검출빈도를 보였으며, 평균 0.289 mg/kg 의 검출량을 나타내었다. 그 외 성분으로는 flutolanil 3회, 평균

0.096 mg/kg, chlorfenapyr 2회, 평균 0.023 mg/kg, methidathion 2회, 평균 1.427 mg/kg 의 검출량을 각각 나타내었다.

농약성분은 11월에 5종, 12월에 4종으로 다른 달에 비하여 많은 성분이 검출되었는데, 이것은 벼를 수확한 후, 경작지에 다시 대파를 재배함으로써 농약을 살포하였기 때문으로 생각된다. 벼의 최대 생육기인 8월에는 3종의 농약성분이 검출되었고, 이양전 4월과 수확기인 9월에는 농약성분이 검출되지 않았다. 그 외의 시기는 1종의 성분이 검출되었다.

Table 3. Monthly residual level of pesticides in soil samples

	Month					
	1	2	3	4	5	6
Paddy field	Endosulfan (0,087)*	Endosulfan (0,177)	Endosulfan (0,174)	nd**	Endosulfan (0,094)	Hexaconazole (0,011)
Upland A	Endosulfan (0,244)	Endosulfan (0,222)	Endosulfan (0,337)	Endosulfan (0,260)	Endosulfan (0,197)	Endosulfan (0,178)
		Isoprothiolane (0,011)	Diphenylamine (0,004)	Tefluthrin (0,003)	Tefluthrin (0,002)	Tefluthrin (0,002)
Upland B	Endosulfan (0,813) Isoprothiolane (0,009) Alachlor (0,010)	Endosulfan (0,029)	Endosulfan (1,317)	Endosulfan (0,637)	Endosulfan (0,735)	Endosulfan (0,894)
			Isoprothiolane (0,003)	Ethoprophos (0,581)	Ethoprophos (0,212)	Pendimethalin (0,036)
			p,p'-DDE (0,009)	Alachlor (0,005)	Alachlor (0,053)	Parathion-methyl (0,004)
				Pendimethalin (0,700)	Pendimethalin (0,151)	Quintozene (0,001)
				Phenthoate (0,017)	Isoprothiolane (0,010)	
Orchard	Endosulfan (3,740)	nd	nd	nd	Endosulfan (8,625)	nd
					Diazinon (0,011)	

* ; (concentration) mg/kg, nd** ; not detected

(Continued)

	Month					
	7	8	9	10	11	12
Paddy field	Hexaconazole (0,038)	Endosulfan (0,553)	nd	Hexaconazole (0,203)	Endosulfan (0,310)	Endosulfan (0,138)
		Chlorfenapyr (0,002)			Methidathion (1,933)	Methidathion (0,920)
Upland A	Endosulfan (0,115)	Endosulfan (0,141)	Endosulfan (0,103)	Endosulfan (0,134)	Endosulfan (0,139)	Endosulfan (0,078)
			Fenitrothion (1,035)	Tefluthrin (0,003)	Tefluthrin (0,019)	Tefluthrin (0,005)
			Methidathion (0,864)	Fenitrothion (0,017)	Fenitrothion (0,028)	Methidathion (0,413)
				Methidathion (0,818)	Methidathion (0,938)	
Upland B	Endosulfan (1,021) Pendimethalin (0,031) p,p'-DDE (0,005)	Endosulfan (0,634) Pendimethalin (0,104)	Endosulfan (0,497)	Endosulfan (0,434)	Endosulfan (0,092)	Endosulfan (0,068)
			Chlorfenapyr (0,003)	Pendimethalin (0,016)	Pendimethalin (0,016)	Pendimethalin (0,021)
				p,p'-DDE (0,003)	Methidathion (0,532)	Methidathion (0,213)
Orchard	nd	nd	Endosulfan (0,095)	nd	nd	nd

용도별 분류로는 Table 4에 보여지듯이, 살충제로서 endosulfan, methidathion, chlorfenapyr 3종의 성분이 검출되었고, 살균제로서 flutolanil, hexaconazole 2종의 성분이 검출되었다.

밭토양의 잔류농약 분석

이번 조사는 강서지구의 대파산지를 중심으로 이루어져, 밭토양의 경우, 2곳의 대파밭을 조사대상으로 하였다. 첫 번째 시료채취 지점에서 약 2 km 정도 떨어진 대파밭을 두 번째 조사대상지점으로 하여 시료를 채취하였다. 분석 결과는 Table 3과 같다.

첫 번째 대파밭 (대파밭A) 에서는 총 7종의 농약성분이 검출되었다. Endosulfan 은 매달 검출되었고, 평균 0.179 mg/kg 의 검출량을 나타내었다. Tefluthrin은 8회의 검출빈도와 평균 0.007 mg/kg 의 검출량을 보였다. Methidathion 은 4회 검출되었고, 평균 0.758 mg/kg 의 검출량을 나타내었다. Fenitrothion 은 3회의 검출빈도와 평균 0.360 mg/kg, 그 외 isoprothiolane, diphenylamine, pendimethalin 이 1회 검출되었고, 각각 0.011 mg/kg, 0.004 mg/kg, 0.065 mg/kg 의 검출량을 보였다.

두 번째 대파밭 (대파밭B) 에서는 총 12종의 농약성분이 검출되어 다른 조사지점보다 월등히 많은 성분 검출 결과를 보였다. 검출빈도 순으로 보면, endosulfan 이 매달 검출되어 12회로 가장 많았고, 평균 0.578 mg/kg 의 검출량을 나타내었다. Pendimethalin 이 8회, 평균 0.134 mg/kg, p,p'-DDE

가 5회, 평균 0.005의 mg/kg, alachlor 3회, 평균 0.023 mg/kg, isoprothiolane 3회, 평균 0.007 mg/kg, ethoprophos 2회, 평균 0.397 mg/kg, methidathion 2회, 평균 0.373 mg/kg 의 검출량을 보였다. Phenthoate, bifenthrin, parathion-methyl, chlorfenapyr, quintozone 은 1회의 검출빈도를 보였고, 각각 0.017 mg/kg, 0.008 mg/kg, 0.004 mg/kg, 0.003 mg/kg, 0.001 mg/kg 의 검출량을 보였다.

대파밭A는 10월과 11월에 각각 4종의 농약이 검출되어 가장 많은 성분이 검출되었다. 2월, 3월, 9월, 12월에는 3종의 농약성분이 검출되었고, 4월에 2종, 1월, 7월, 8월에 1종의 농약성분이 검출되었다. 대파밭B는 4월과 5월에 6종의 농약성분이 검출되었고, 6월, 10월, 11월에 4종, 1월, 3월, 7월, 12월에 3종의 농약성분이 검출되었다. 8월과 9월에는 2종의 농약성분이 검출되었고, 2월에는 1종의 농약성분이 검출되었다.

농약성분의 용도별로는 대파밭A는 살충제로서 endosulfan, tefluthrin, fenitrothion, methidathion 의 4종이 검출되었고, 살균제로서 isoprothiolane, diphenylamine 의 2종, 제초제로서 pendimethalin 1종이 검출되었다. 대파밭B는 살충제로서 endosulfan, ethoprophos, phenthoate, parathion-methyl, chlorfenapyr, methidathion, bifenthrin 의 7종, 살균제로서 isoprothiolane, quintozone 의 2종, 제초제로서 alachlor, pendimethalin 의 2종이 각각 검출되었다. 그 외 살충제로 쓰이는 p,p'-DDT의 분해산물인 p,p'-DDE 성분도 검출되었다 (Table 4).

Table 4. Sort of detected pesticides by use types

	Use type		
	Fungicide	Insecticide	Herbicide
Paddy field	Hexaconazole Flutolanil	Endosulfan Methidathion Chlorfenapyr	
Upland A	Isoprothiolane Diphenylamine	Endosulfan Tefluthrin Fenitrothion Methidathion	Pendimethalin
Upland B	Isoprothiolane Quintozone	Endosulfan Ethoprophos Phenthoate Parathion-methyl Chlorfenapyr Bifenthrin Methidathion p,p'-DDE*	Alachlor Pendimethalin
Orchard		Endosulfan Diazinon	

* ; Breakdown product of p,p'-DDT

대과밭 A, B의 분석 결과를 살펴보면, 같은 대과를 재배하는 토양에서도 서로 다른 성분의 농약이 검출되고, 동일한 성분의 경우는 검출량과 검출시기가 서로 상이함을 알 수 있다. 이는 두 토양에서 자라는 대과의 생육 시기의 차이와 경작자의 농약 선호도에 의한 차이로 생각되고, 두 토양의 경작기간의 차이로 인한 농약성분의 토양내 축적도 한 요인으로 생각되어진다.

과수원토양의 잔류농약 분석

과수원토양은 논·밭토양 시료 채취 인근 지역의 야산에서 감나무를 재배하는 과수원을 채취지점으로 정하여 시료를 채취하여 분석하였다 (Table 3). 과수원토양의 결과는 1월과 5월, 9월에 농약성분이 검출되어 다른 채취지점의 분석결과와 달리 농약성분이 간헐적으로 검출되었다. Endosulfan 은 3회의 검출빈도로 가장 많이 검출되었고, 평균 4.153 mg/kg 의 검출량을 보였다. 그 외 diazinon 이 0.011 mg/kg 의 농도로 1회 검출되었다.

과수원토양의 경우, 해충에 의한 피해가 크게 예상되는 바, 모두 살충제 성분이 검출되었고, 농약의 살포량도 과수전체에 살포되기 때문에 논·밭토양보다는 검출량이 많았던 것으로 생각된다. 그리고, 야산의 경사진 곳에 위치하고 있어 강우 등에 의한 농약성분의 유출이 심하여 간헐적인 검출양상을 보인 것으로 생각된다.

수질의 잔류농약 분석

수질시료는 논·밭 및 과수원토양 주변의 관개수와 이들 관개수가 모여 배수장을 통하여 낙동강의 하천으로 방류되는 수질을 채취하여 분석하였다 (Table 5). 수질시료의 분석결과는 전체적으로 미미한 수준으로 조사되었다. 다만, 논 관개수의 경우, 6월과 8월, 9월에 제초제 성분인 alachlor 가 0.002 mg/L, 살균제 성분인 isoprothiolane

이 0.004 mg/L, 0.001 mg/L 의 농도로 각각 검출되었다.

본 연구의 조사지역은 하천의 한 지류가 농업용수로 사용되고, 다시 하천의 큰 지류로 합류되어 흐르는, 끊임없는 수질의 흐름이 일어나는 곳으로 본 결과는 농약성분의 수계로의 이행시 성분이 희석되어 본 실험의 분석기기에서 검출되지 않았다고 판단되며, 안 등⁷⁾은 수계로 들어간 농약의 대부분은 부유입자에 흡착되어 침강한 후 저질층의 유기물에 흡착되므로 수중에 잔존하는 농약성분은 매우 적다고 보고하고 있다. 보다 정확한 수계로의 농약성분 이행정도와 잔류정도를 확인하기 위해서는 수질과 저니토의 조사가 함께 이루어져할 것으로 생각되며, 본 실험에서 사용한 분석장비, 가스크로마토그래피(GC) 외에 액체크로마토그래피(LC) 장비를 이용한 분석도 필요할 것으로 사료된다.

고 찰

토양 중에 검출되는 잔류농약의 수준은 농약 살포 후 잔류량을 분석하는 시기나 토양 상태, 기후 환경 등에 크게 좌우되므로 보통의 경우, 농작물을 수확하고, 다음 작물을 재배하기 직전에 토양을 채취하여 분석한다⁸⁾. 본 연구에서는 어느 정도의 농약 성분이 토양에 노출되고, 축적되는지 알아보고자 실제로 경작 중인 농경지를 대상으로 연간 월별 농약 잔류실태를 조사하였다.

유효성분의 구성에 따라 농약은 유기수은계, 유기염소계, 유기인계, 카바메이트계 등으로 구별되는 바, 심각한 잔류성과 생체축적의 독성을 가진 유기수은계와 대부분의 유기염소계 농약은 사용이 금지되어 있다⁹⁾. 비침투성 농약인 endosulfan은 우리나라와 미국에서 현재 사용되고 있는 유일한 유기염소계 살충제로 대부분의 농가에서 해충방제용으로 광범위하게 사용되고 있다¹⁰⁾.

Table 5. Monthly residual level of pesticides in water samples

	Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Paddy field	nd*	nd	nd	nd	nd	Alachlor (0.002)**	nd	Isoprothiolane (0.004)	Isoprothiolane (0.004)	nd	nd	nd
Upland A	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Upland B	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Orchard	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Inflow water to river	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

nd* ; not detected, ** ; (concentration) mg/L

한편, 현재 사용되고 있는 농약의 대부분을 차지하는 유기인계와 카바메이트계는 환경 내에서 쉽게 분해되어 잔류성 문제는 크지 않지만¹¹⁻¹²⁾, 유기인계 농약의 경우, 급성 독성 작용으로 신경장애 등을 유발할 수 있으며¹³⁻¹⁴⁾, 만성적인 노출로 지각능력의 감소 및 기형, 발육부진을 일으킨다고 보고되고 있다¹⁵⁾.

본 실험의 결과는 유기염소계 농약으로 endosulfan 이 가장 많이 검출되었으며, 논·밭·과수원토양에서 폭넓게 검출되었다. 대과밭 B 의 경우, 1973년 국내에서 전면 사용 금지된 유기염소계 농약 p,p'-DDT의 분해산물인 p,p'-DDE가 검출되었는데, DDT의 환경 중 긴 잔류성이 아직까지 지속되고 있다고 할 수 있을 것이다.

유기인계 농약은 5종 (methidathion, fenitrothion, ethoprophos, parathion-methyl, phentoate) 으로 가장 많이 검출되었다.

농약의 잔류성과 함께 최근에는 내분비계 장애물질에 관한 연구가 활발히 진행 중이다. 내분비계 장애물질 (Endocrine disrupter chemicals, EDCs; Endocrine disruptors, EDs) 은 환경 중에 오랫동안 잔류되어 극미량 수준으로도 야생동물이나 인체에 영향을 미쳐 내분비계를 교란시키는 물질로 발생과 생식에 해로운 영향과 암을 유발할 수 있는 것으로 보고되고 있다¹⁶⁻¹⁷⁾. 내분비계장애 추정물질은 국가 또는 기관에 따라 약간씩 차이가 나는데, 식품의약품안전청의 홈페이지에 게시된 바에 의하면 세계 야생보호기금 (WWF)에서는 총 67종을, 미국의 Illinois는 74종을 더욱 세분하여 Known, Probable, Suspect category로 나누어 분류하고, Known category (19종)는 동물과 일부 사람에서 내분비계 장애가 입증된 물질로, Probable (29종) 은 생물과 bio-assay에서 내분비계 장애 작용이 입증된 물질로, Suspect (26종)는 생물에서는 증거가 부족하고 bio-assay에서만 입증된 물질로 설명하고 있다. 일본 국립의약품식품위생연구소에서는 총 142종을 목록에 포함시키고 있다¹⁸⁾. 우리나라는 1998년 이후, WWF의 67종의 화학물질을 우선연구대상으로 하여 관련 연구를 추진하고 있고, 최근에는 일부 물질을 추가하여 연구하고 있다.

본 실험의 결과와 이들 기관들의 내분비계 장애물질 목록과 비교해 보면, WWF 목록 중에서는alachlor, DDE, endosulfan이 포함되었고, 미국 Illinois EPA 목록에는 Known category에 DDE, endosulfan, Probable category에alachlor가 포함되었다. 일본 국립의약품식품위생연구소 목록에는alachlor, DDE, endosulfan, hexaconazole, pendimethalin 이 포함되었다. 토양별로 살펴보면, 논토양에서 endosulfan, hexaconazole, 대과밭 A에서 endosulfan, pendimethalin, 대과밭 B에서 endosulfan,alachlor, DDE, pendimethalin 이 포함되는

것으로 확인되어 광범위하게 사용되는 endosulfan 을 제외하고도 여러 내분비계 장애 추정물질이 토양 중에서 확인되었다.

내분비계장애 추정물질은 내분비계 장애물질로서 아직까지 과학적인 실증작업이 많이 남아있지만, 토양에서 검출된 이들 성분들에 대하여 환경 중의 동태 추적과 생태계 영향 평가에 관한 연구조사가 조속히 진행되어야 할 것으로 사료된다. 한편, 농약을 살포하는 농민의 경우에는 직접적인 노출로 인한 위해도 예상되는 바, 취급상의 주의와 더불어 관계기관의 농약 안전교육 프로그램 등도 필요할 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 농업환경에서 어느 정도의 농약 성분이 노출되고, 축적되는지 알아보려고 부산 강서지구의 농경지와 농업용수를 대상으로 농약잔류 실태를 조사하였다. 2008년 1월부터 12월 까지 매월 토양과 주변 관개수에서 시료를 채취하여 분석한 결과, 논, 밭, 과수원토양, 전체에서 endosulfan이 가장 많은 검출빈도를 보였으며, 평균 0.686 mg/kg 의 검출량을 나타내었다. Methidathion, pendimethalin, tefluthrin 은 8회의 검출빈도와 각각 0.829 mg/kg, 0.134 mg/kg, 0.007 mg/kg 의 평균검출량을 보였다. Hexaconazole, DDE 는 5회의 검출 빈도와 각각 평균 0.289 mg/kg, 0.005 mg/kg 의 농도로 검출되었다. 그 외 isoprothiolane 4회, flutolanil, fenitrothion,alachlor 각 3회, chlorfenapyr, ethoprophos 각 2회, diphenylamine, phentoate, bifenthrin, parathion-methyl, quintozone, diazinon 각 1회 검출되었으며, 평균검출량은 각각 0.008 mg/kg, 0.096 mg/kg, 0.360 mg/kg, 0.023 mg/kg, 0.023 mg/kg, 0.397 mg/kg, 0.004 mg/kg, 0.017 mg/kg, 0.008 mg/kg, 0.004 mg/kg, 0.001 mg/kg, 0.011 mg/kg 이었다. 토양별 결과는 논토양에서는 endosulfan, hexaconazole, flutolanil, chlorfenapyr, methidathion 순의 검출양상을 보였으며, 밭토양 A에서는 endosulfan, tefluthrin, methidathion, fenitrothion, isoprothiolane, diphenylamine, pendimethalin 순, 밭토양 B에서는 endosulfan, pendimethalin, DDE,alachlor, isoprothiolane, ethoprophos, methidathion, phentoate, bifenthrin, parathion-methyl, quintozone 순의 검출양상을 보였다. 과수원토양에서는 endosulfan, diazinon 순이었다. 수질시료는 전체적으로 미미한 잔류양상을 나타내었다. 논토양 관개수에서 isoprothiolane,alachlor가 평균 0.003 mg/L, 0.002 mg/L 검출량을 보였다.

참고문헌

1. FDA, Food and drug administration pesticide program : Residue monitoring 2003. FDA/CFSAN, MD, USA (2005)
2. Commission of The european Communitie : Monitoring of pesticidd residues in products of plant origin in the European Union. Norway, Iceland and Liechtenstein 2004. Brussels, EU (2006)
3. Good Sanitation Division and Food Chemistry Division : Pesticide residues in food. Ministry of Health and Welfare, Tokyo, Japan (1999)
4. 이미경, 홍무기, 박건상, 최동미, 임무혁, 이서래 “한국에서 농산물중 농약잔류 허용기준의 설정절차” *Korean J. Food Sci. Technol.* 37, 685-694 (2005)
5. 농림부 : 농약안전사용 실무교육 교재. 농림부, 친환경농업정책과 (2006)
6. 최주현, 이병무, 김찬섭, 박현주, 박병준, 김진배 “우리나라 농경지 토양 중 잔류농약 실태 및 대책” 2002년도 한국농약과학회 추계학술발표대회 논문집 (2002)
7. 안용준, 신진섭, 이해근 “농약, 환경 그리고 인간, 농촌진흥청 심포지움” 농약연구소, 19, p78 (1992)
8. 오병렬 “토양 중 잔류농약의 효과적 경감방안 : 토양 중 잔류농약 미생물이 끊임없이 분해” *생활과 농약*, 3, 26-29 (2006)
9. Rao, D. M. R. and Murty A. S. “Persistence of endosulfan in soils. *J. Agric” Food Chem.*, 28, 1099-1101 (1980)
10. 신재호, 광윤영, 김원찬, 소재현, 신현수, 박종우, 김태화, 김장억, 이인구 “유기염소계 농약 endosulfan을 분해하는 미생물의 분리 및 분해 특성” *Korean J. Environ. Agric.*, 27, 292-297 (2008)
11. Manhan, S. E. : Environmental chemistry (3rd edition), Willard Grant Press, Boston, p168 (1979)
12. Drapper, W. H. and D. G. Grosby "Solar Photo-oxidation of pesticides in dilute hydrogen peroxide" *J. Agric. Food Chem.*, 32, 231-237 (1984)
13. Key, P. B. and M. H. Fulton "Lethal and sublethal effect of clorpyrifos exposure on adult and larval stages of the grass shrimp, Palaemonetes Pugi" *J. Environ. Sci. Health B*, 28, 621-640 (1993)
14. Davi, P. R. and S. W. Davis "Role of beta-napththoflavone in the acute toxicity of chlorpyrifos in channel catfish" *Bull. Envirion. Contam. Toxicol.*, 60, 335-339 (1998)
15. Sanchez-Pena, L. C., B. E. Reyes, L. Lopez-Carrillo, R. Recio, J. Moran-Martinez, M. E. Cebrian and B. Quintanilla-Vega "Organophosphorous pesticide exposure alters sperm chromatin structure in Mexican agricultural workers" *Toxicology and Applied Pharmacology*, 196, 105-113 (2004)
16. 이재봉, 성하정, 정미혜, 이해근 : 농약의 내분비계호르몬 위해성 평가. 농촌진흥청 (2000)
17. 김현우, 박건호, 박진홍, 김화, 김준성, 유국중, 조현선, 강가미, 이명성, 송병훈, 신진섭, 조명행 "환경생물에 대한 내분비교란물질 의심 농약의 영향" *The Korean J. Pesiticide Science*, 7, 188-197 (2003)
18. 류재천 "내분비계 장애물질의 개요와 검색법의 고찰" *한국농약과학회지*, 6, 135-156 (2002)