

배추에 살포된 몇 가지 농약제제에 따른 성분의 휘산과 비산

이자영 · 한일근 · 이상윤 · 여익현 · 이서래*
(주)풀무원 기술연구소 · 한국과학기술한림원*

Drift and Volatilization of Some Pesticides Sprayed on Chinese Cabbages

Jayoung Lee, Ilkeun Han, Sangyun Lee, Ikhyun Yeo, Su-Rae Lee¹⁾

(R & D Center, Pulmuone Co.,Ltd., Yeonhi-dong 15-1, Seodaemun-ku, Seoul 120-110;

¹⁾The Korean Academy of Science and Technology, Seoul 135-703, Korea)

Abstract : In order to investigate the drift of pesticides sprayed on Chinese cabbage, 7 pesticides chlorpyrifos, EPN, pirimiphos-methyl, phenthoate, tetradifon, dicofol and bifenthrin were applied in two sets of field tests. The pesticide residues were quantified by multiple-residue analysis, in which the recovery rate was 78-92% and standard deviation was $\pm 0.68-3.52\%$. It was found that most of the tested pesticides were spread by drift to neighbouring area and brought about the contamination of the unsprayed crops. The extent of drift varied depending upon the pesticide, distance and wind direction. The mean residue levels on unsprayed crops were 0.66% at 3 meter distance, 0.10% at 6 m distance and 0.05% at 9 m distance from the applied area and the maximum level was 1.83% of the residue on sprayed crops.

서 론

우리나라의 농약사용량은 1970년까지는 2kg/ha 이하이었으나 그 이후에는 매년 20%씩 증가하여 최근에는 13kg/ha 수준에 이르고 있다. 이는 집약농업(集約農業)을 위해 농약을 많이 사용하는 나라로 알려진 일본, 이태리, 이스라엘의 소비 수준에 근접하는 것으로 나타났다.^{1,2)} 농약이 많이 사용되기 시작한 1970년대 이후 1980년대 중반 까지만 해도 농약은 생산성 향상이라는 명제 아래 큰 규제 없이 사용되어져 왔으나 그에 따른 농산물, 토양, 수질, 대기의 오염 등 식품 및 환경오염이 새로운 문제로 대두되었다.

과다한 농약사용으로 인한 환경오염이 대두되면서 환경보전법에 근거한 농작물중 농약잔류 허용기준이 1981년부터 설정되기 시작하였다. 한편 보건사회부에서는 식품위생법에 근거하여 1989년 9월부터 17종 농약, 28종 농산물에 대하여 잔류허용기준이 설정되었고, 그 후 수 차례에 걸친 기준 추가작업을 거쳐 현재는 202종 농약, 80여 농산물에 대하여 잔류허용기준이 설정되어 있다.^{3,4)} 또한 농약의 과다사용으로 인한 토양오염등 환경오염 문제와 사회 경제적인 발전에 따른 고품질 및 위생적이고 안

전한 식품을 선호하는 소비자들의 욕구가 맞물려 유기농법에 의한 농작물재배가 활성화되기 시작하였고 유기농법을 이용한 농작물 재배가 증가하고 있는 추세이다. 그러나 국가의 식량정책상 농업의 주요 목표는 식량증산을 수반하는 생산성 향상에 있는 것이 사실이며 유기농업산지의 확장 속도는 빠르지 않은것이 국내의 현실이다.

우리나라에서 유기농법으로 농산물을 생산하기 시작한 것은 1970년대말 부터였으며, 정농회(1976년 설립), 한국유기농업협회(1978년 설립) 등 유기농업 생산자들의 모임이 결성되기 시작하였다.⁵⁾ 또한 최근에는 민우회와 같이 유기농산물 생산자와 소비자를 직접 연결시켜주는 단체도 활동하는 등 유기농업이 활성화 되고 있는 추세이다. 그리고 농림부 산하 농산물검사소에서는 유기농업에 적합한 지역에만 한해서 실사와 검증을 거친후 유기농산물 인증을 부여하는 제도를 도입하여 실시하고 있다. 그러나 일부 유기농산물에서도 농약이 검출되고 있다는 것이 소비자단체를 통해 사회적 문제로 까지 제기되고 있어 일부 소비자들은 유기농산물에 대한 불신감을 가지게되었다. 이에 반하여 유기농업 종사자들의 대부분은 농약을 전혀 사용하지 않았다고 주장하고 있어 사용하지도 않은 농약이 농산물에서 어떻게 검출될 수 있는지 의문이 생길수 밖에 없다.

우리나라의 유기농업형태는 대부분 일반관행농법 농가와 혼재되어 있으며 간혹 좁은 길 하나를 사이에 두고 유기농업과 일반농업이 동시에 진행되고 있기도 하다. 또한 멀리 떨어져 있는 경우라도 농업용수를 함께 사용하는 것이 보통이므로 국내 유기농산물은 항상 농약에 오염될 수 있는 가능성이 있다. 그러나 농업용수의 공동사용만으로 유기농산물에 농약이 오염되어 검출되기는 어렵다는 것이 일반적인 견해이다. 따라서 저자 등은 유기농산물에 미량의 농약이 잔류하게 되는 원인을 농가모니터링과 예비실험을 통해 조사해본 결과 인접한 일반농가에서 사용하고 있는 농약에 의한 오염이 가장 큰 영향을 미칠 것으로 예상하였으며 이러한 현상을 보다 자세히 검증하기위하여 본 실험을 진행하였다.

일반적으로 작물 재배시 농약을 살포하게 되면 일부는 작물체에 부착하고 일부는 토양에 떨어지며 나머지는 비산한 다음 인접한 지역의 농작물이나 토양에 떨어지는 것으로 보고되고 있다.⁶⁾ 또한 작물체나 토양에 떨어진 농약중 일부는 다시 온도, 바람 등의 영향으로 휘발된 후 주변의 다른 작물체나 토양으로 비산하여 떨어지게 되는데 이를 휘산이라고 한다. 유기농산물이 농약에 오염되는 것은 농약살포시 비산과 휘산의 작용이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 보인다.

본 실험에서는 2차례의 재배, 농약살포, 잔류량분석을 통해서 살포된 농약이 어느정도의 거리까지, 얼마만큼의 량이 휘산되는지를 정량적으로 검증하였다.

본 실험에서 농약잔류분석에는 다성분 분석법을

이용하였으며 이는 유기염소계, 유기인계, 피레스로이드계 등 70여종의 농약을 동시에 분석하는데 매우 유용하다. 이 실험결과는 유기농산물의 농약잔류허용기준치 설정과 그 시행에 도움이 되었으면 하는 바람이다.

재료 및 방법

채소의 재배

본 실험을 위한 재배작물로 배추를 선정하였으며 이는 타 작물에 비해 엽면적이 넓어 비산 휘산의 영향에 보다 효과적이기 때문이다. 김장용 결구배추(1차실험)와 계절배추(2차실험)의 재배는 경기도 남양주 일영에 소재한 농가의 노지포장에서 시행하였으며, 농약살포 당시의 생육상태는 1~2주 내로 수확이 가능한 3kg 내외의 것으로서 1차실험은 1996년 10월에, 2차실험은 1997년 5월에 수행하였다. 재배지의 총면적은 1차 실험시 약 120평(396m²), 2차 실험시 약 133평(441m²)이었다.

농약의 살포

실험에 이용된 농약은 서울 종로5가 농약상에서 구입, 사용하였다. 농약은 유기인계, 유기염소계, 피레스로이드계 이었으며 살포 농약에 대한 일반적인 사항은 표1과 같다. 농약의 살포는 96농약사용지침서⁷⁾에서 권장하는 방법에 따라 살포하였으며 살포 시기는 배추 수확 10일전 오후 2시경으로 하였다. 이는 관행적으로 실시되고 있는 농약 살포시간에 맞춘 것이다.

농약은 등걸이식 20l들이 재래식 분무기를 사용하여 바람을 등진 상태에서 농약 살포 구간의 끝부

표 1. 배추 재배시 살포된 농약의 특성

구 분	1차실험시 살포농약				2차실험시 살포농약			
	Chlorpyrifos	Bifenthrin	EPN	Pirimiphos-methyl	Dicifol	EPN	Tetradifon	Phenthoate
일반명								
제조사	미성농약	미성농약	미성농약	영일화학	한농	미성농약	동방아그로	한국삼공
상품명	그로포	타스타	이피엔	피리포	디코폴	이피엔	테디온	엘산
계 통	유기인계	피레스계	유기인계	유기인계	염소계	유기인계	염소계	유기인계
제 형	수화제	수화제	유제	유제	유제	유제	유제	유제
권장사용량*	5g	0.4g	9ml	10ml	8.4ml	9ml	1.6ml	8g
사용횟수, 회	3-6	4-5	2-6	4-5	2-4	2-6	2-6	3-6
토양반감기, 일	20	62	20	38	140	20	55	4
적용병해충	나방약	응애약	나방약	나방약	응애약	나방약	응애약	나방약
사용약량**	0.17g	0.013g	3.3ml	3.3ml	0.28ml	3.3ml	0.053ml	0.27g

*해당농약의 유효성분약량으로서 물 20l에 희석하여 300평에 살포

**실험에 이용된 농약의 유효성분약량으로서 물 10l에 희석하여 10평에 살포하였으며, 이는 살포면적 대비 농약사용지침서에 권하는 약량과 일치한다.

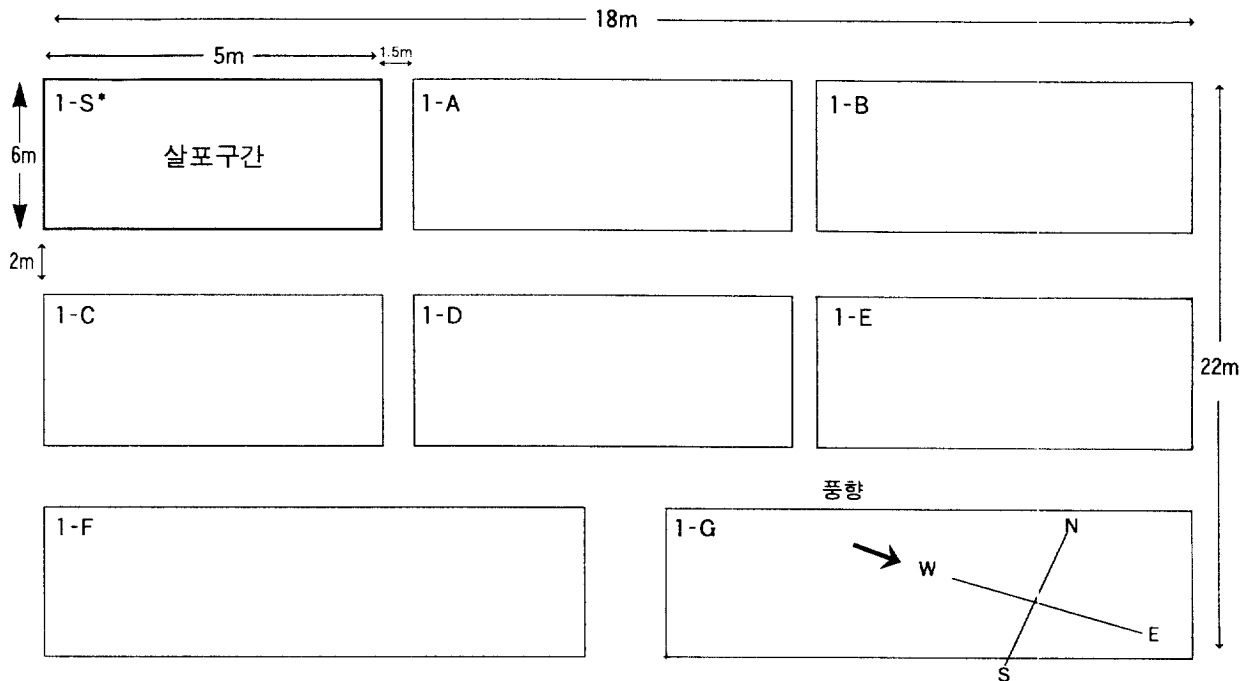


그림 1. 제1차 포장실험지의 농약살포 및 시료채취구간

*1-S는 살포구간이며 그밖의 구간은 잔류분석용 시료채취구간임.

시료는 살포구간의 끝에서(진한선)우측으로 6m, 하측으로 4m간격으로 채취하였음.

분부터 고르게 살포하였으며, 살포시간은 약 30분이 소요되었다. 분무기 노즐의 위치는 작물 상단에서 약 30~40cm위로 하였다.

1차실험시 농약살포는 포장실험지의 바람이 불어 오는 경계선 일정구간에 살포하여 농약살포구간으

로부터 비 살포구간으로 비산되도록 설정하였고 2차 실험시에는 풍향에 관계없이 포장실험지의 정중앙 일정구역에 농약을 살포하여 농약의 비산과 살포후 순수 휘산에 의한 현상을 관찰하였다. 각 실험에 이용된 포장의 구조 및 살포구간, 시료채취구간은 그림 1, 2와 같다.

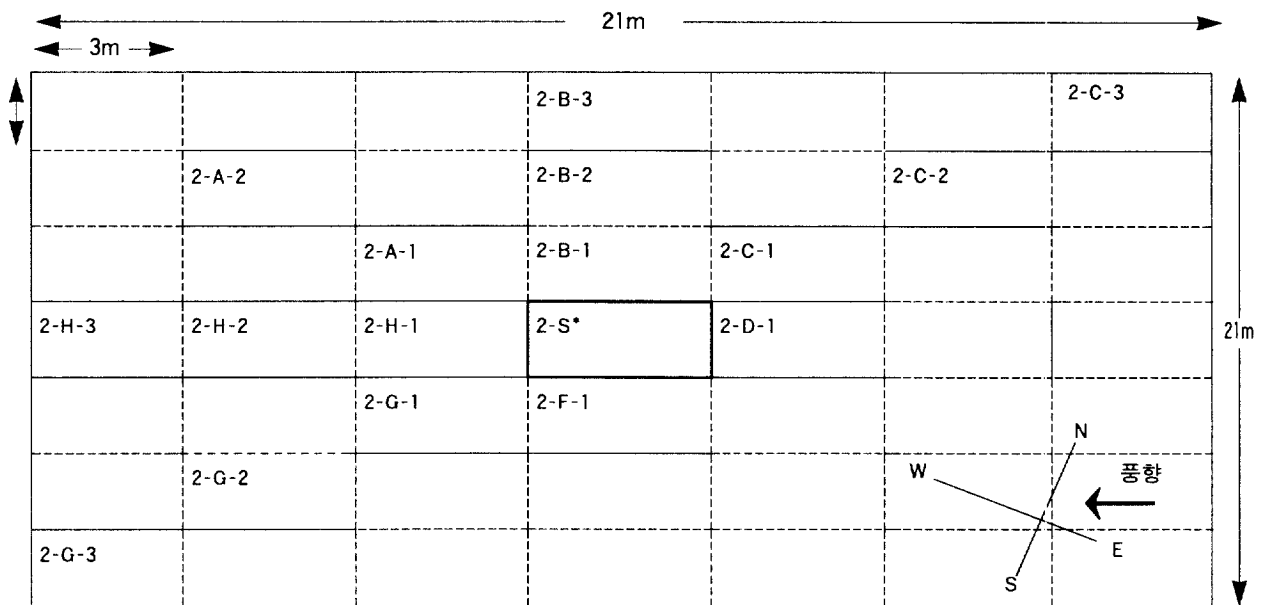


그림 2. 제2차 포장실험지의 농약살포 및 시료채취구간

*2-S는 살포구간이며 그밖의 구간은 잔류분석용 시료채취구간임.

시료는 살포구간의 끝에서(진한선) 상·하, 좌·우로 3m간격으로 채취하였음.

포장실험 기간중의 기상측정

살포된 농약의 비산 및 휘산에 중요하게 작용하는 인자는 기온, 풍속 그리고 풍향이다. 농약 살포시 비산은 풍속과 풍향의 영향이 크고 휘산에는 온도가 중요한 작용을 한다. 온도와 풍속의 측정은 디지털풍속계(Prova AVM-03, Taiwan)를, 습도는 휴대용 습도계(Haar-synth, Germany)를 이용하였다. 재배기간중의 강우량은 비가 내린 시간과 정도를 기록하고 기상정보센터의 자료를 활용하였다. 1, 2차 포장실험기간 동안의 전반적인 기상상태는 표 2와 같다와 같다.

표 2. 포장실험기간중 기상상태

구 분	1차실험		2차실험	
	농약살포시	재배기간중	농약살포시	재배기간중
날씨	맑음		맑음	
기온(℃)	22.0	18.0~22.0	25.0	24.0~26.0
습도(%)	60	60~70	60	60~70
풍속(m/sec)	2.5~3.5		1.2~1.5	
풍향	서풍		동북풍	
강우량(ml)	0	15	0	5

시료 채취

농약 살포후 농약잔류분석에 이용된 시료의 채취는 1차실험에서는 농약살포 구간으로부터 6m 간격으로, 2차실험에서는 3m 간격으로 행하였다. 본 실험은 농약살포구간으로 부터 비살포구간으로 휘산된 농약의 잔류량을 측정하는 실험이므로 시료채취 구역의 배추 4포기에서 외피 4장씩을 채취하여 균질화한 다음 분석시료로 사용하였다. 시료채취 시기는 농약살포전, 농약살포 1시간 후 그리고 농약살포 6일 후로 하였다.

분석기기 및 시약

잔류 농약 분석에는 8000 series gas chromatograph(Fision Instrument Co., Italia)에 MD 800 mass(Masslab Co., England)가 direct interface로 연결된 GC-MS를 사용하였고 시료의 주입은 AS 800 autosampler(Fision Instrument Co., Italia)를 이용하여 splitless mode로 분석하였다. GC column은 HP PAS-1701 column(30m×0.25mm×0.25µm; Hewlett Packard Co., USA)을 사용하였으며, 시료의 전처리 과정에 사용된 모든 용매는 pesticide grade(J.T.Baker Co., USA)를 사용하였고 농약표준품은 순도 94~98% 이상인 Dr. Ehrenstorfer 사(Germany) 제품을 사용하였다. 그외 anhydrous sodium sulfate, sodium chloride 등의 시약은 모두 Sigma사(USA)의 제품을 사용하였다.

잔류량 분석절차

계통이 다른 4종의 농약을 분석하기 위하여 다성분 분석법을 이용하였다. 이미 알려진 분석방법^{8,9)}을 토대로 적절히 조합하여 만든 본 분석방법은 포장 실험에서 이용된 농약성분을 포함한 유기염소계, 유기인계, 피레스로이드계 등 약 70여종의 농약을 동시에 분석할 수 있는 방법으로서 1회의 전처리와 1회의 기기측정으로 분석이 완료된다. 현재까지 알려진 대부분의 다성분 분석법이 1회의 전처리와 분석대상 성분의 계통이나 특성에 따라 수회의 기기분석과정을 거쳐야 하는 것과 비교할 때 이 분석방법은 보다 신속하게 다종의 농약을 분석할 수 있다는 점에서 유리하다.

시료 20g을 500ml 삼각플라스크에 취한 다음 acetone 100ml와 methanol 50ml를 넣고 마개를 한 후 30분간 진탕(200rpm) 추출하였다. 시료를 정지한 후 상정액을 감압하에서 여과하여 여과액을 300ml 농축플라스크로 옮기고 잔사에 다시 acetone 50ml를 넣어 위와 같이 진탕하여 여과한 후 앞의 여액과 합하였다. 이 여과액을 35℃이하의 수욕중에서 감압 농축한 다음 증류수 100ml와 포화식염수 30ml를 넣어둔 500ml 분액여두로 추출용매인 methylene chloride 50ml를 이용하여 옮겨 넣는다. 그런 다음 심하게 흔들어 섞은 후 methylene chloride층을 농축플라스크로 옮겼다. 이때 무수황산을 넣은 여과지를 이용하여 수분을 제거하였다. 물층에 다시 methylene chloride 50ml를 넣고 위의 과정을 2회 반복하였다. 그런다음 추출, 탈수된 methylene chloride 층을 35℃이하의 수욕중에서 감압 농축하였다.

내경 1.5cm, 길이 40cm의 유리컬럼에 유리솜을 1cm 높이로 넣고 여기에 florisol 10g과 무수 Na₂SO₄ 1g을 n-hexane에 현탁하여 차례로 넣고 n-hexane 50ml를 유출시켰다. 이 유리컬럼에 농축시료를 n-hexane 2-3ml를 이용하여 옮기고 다시 2-3ml의 n-hexane으로 농축플라스크를 씻어 컬럼에 옮겼다. 시료가 florisol에 완전히 스며들때까지 유출시킨 후 6% ethyl ether/petroleum ether 100ml와 15% ethyl ether/petroleum ether 50ml를 이용하여 차례로 용출하여 용출액을 농축플라스크에 받았으며 이때 대부분의 농약이 용출되나 그렇지 못한 성분은 다시 n-hexane:ethyl ether(7:3) 혼합액 100ml, n-hexane:acetone:ethyl acetate(90:5:5) 100ml를 이용하여 용출시켰다. 용출액을 35℃이하의 수욕중에서 감압 농축하여 n-hexane 1-2ml를 이용하여 4ml vial에 옮기고 이를 N₂ gas로 완전히 날려보냈다. 이를 다시 n-hexane 1ml로 정확히 정용하여 0.45µm

표 3. GC/MS의 가동조건

Instrument	: FISON GC 8000 series gas chromatograph(Italia)
Detector	: MASSLAB MD 800 mass(England)
Autosampler	: FISON AS800(Italia)
Colimn	: HP PAS-1701 (30m×0.25mm×0.25µm:Hewlett packard Co., USA)
Temperature	: Injection port 220°C MSD transfer line 200°C, MSD ion source 250°C Oven 60°C(1min)→30°C/min to 120°C→3°C/min to 265°C(20min)
Carrier gas	: Helium
Inlet pressure	: 13 psi
Inection vol.	: 1µl splitless injection

membrance filter를 통과시켜 autosampler용 vial에 옮긴다음 정량분석하였다. GC/MS의 가동조건은 표 3과 같다.

회수율 실험 및 검출한계

다성분 분석법에 따른 각 살포농약의 회수율 실험은 10ppm 농도로 희석한 혼합 표준용액 100µl를 해사(sea sand)와 배추 각 20g에 첨가하여 진탕하면서 1시간 정도 방치한 후, 분석 조건에 따라 시료를 전처리하여 GC/MS로 분석하였다. 이렇게 하여 얻어진 시료중의 각 농약 m/z abundance와 각 농약표준물질 m/z abundance비로 회수율을 구하였다. 회수율실험은 총 6회를 실시하였고 그 결과로부터 표준편차를 구했으며, 각

표 5. 정제컬럼에서 용출용매에 따른 용리농약성분

농약명	용출용매*	농약명	용출용매	농약명	용출용매
alachlor	1 2 3	diazinon	1 2	OPP	1
aldrin	1	dichlobenil	3	parathion	1 2
amitraz	1	dichlofluanid	3	parathion-methyl	1 2 3
azinphos-methyl	4	dieldrin	1	pendimethalin	1
α, β, γ & δ-BHC	1 2	edifenphos	3 4	permethrin	1
bipheyl	1	α-endosulfan	1	phenthoate	1 2 3
captafol	3	β-endosulfan	1 2 3	phorate	1
carbophenothion	1	endrin	1	phosalone	3
chinomethionat	1	EPN	1 2 3	phosmet	3 4
chlorbenzilate	3	ethion	1	pirimicarb	3 4
chlorfenvinphos	4	ethoprophos	1 3 4	pirimiphos-methyl	1 2
chloroprotham	2 3	etrimfos	1 2	procymidone	1 2 3
chlorothalonil	4	fenitrothion	1 2 3	propazite	1 2 3
chlorpyrifos	1	fenthion	1 2	propiconazole	4
chlorpyrifos-methyl	1	fenvalerate	2	quintozene	1
cyfluthrin	1	flucythrinate	1 2 3	simazine	3
cyhalothrin	1 2 3	fluvalinate	1	terbufos	1
cypermethrin	1	folpet	3	tetradifon	1 2
dicofol	1	isoprocarb	1 3	thiobencarb	1 2
DDD	1 2	malathion	1 2 3	thiram	1
DDE	1	methidathion	3 4	triadimefon	3 4
DDT	1	methoprene	1	vinclozolin	1
deltamethrin	1 2	metribuzin	2 3		

*용매 1:6% ethyl ether/petroleum ether 100ml, 용매 2: 15% ethyl ether/petroleum ether 50ml,
용매 3:n-hexane:ethyl ether(7:3) 100ml, 용매 4: n-hexane:acetone:ethyl acetate(90:5:5) 100ml

이 다성분 분석법 정제과정에는 4가지의 용출용매가 사용되며 용출용매에 따른 용출가능 농약성분표는 위와 같다. 4종의 용출용매중 진하게 표기되어 있는 용매 사용시 해당 농약성분의 용출되는 정도가 우수하였다. 유기염소계 및 유기인계 대부분의 농약이 1,2 용출용매를 사용하였을 때 용출되었고 azinphose-methyl등 몇종의 농약은 3,4 용출용매를 이용하였을 때 효율적으로 용출되었다.

농약표준물질을 단계적으로 희석하면서 GC/MS에 주입하여 검출한계를 구했다.

농약의 휘산에 의한 주변작물에 있어서의 농약 잔류량 분석 결과는 표 6, 7과 같다.

결과 및 고찰

다성분 분석법 및 회수율

본 실험에 이용된 다성분 분석법은 여러계통의 다종 농약을 분석함에 있어서 신속하게 처리할 수 있는 방법으로 매우 유용하다. 포장실험에 이용된 농약의 회수율 및 검출한계는 표 4와 같다. 실험에 이용된 농약들의 회수율은 평균 79~92%로서 비교적 높았으며 재현성 또한 우수하였다. 이들 농약중 tetradifon이 표준편차 ±0.68%로 가장 우수하였고, ±3.52%의 표준편차를 나타낸 dicofol의 재현성이 가장 낮은 것으로 나타났는데 이는 dicofol이 4,4 - dichlorobenzophenone으로 전환되는데 기인하는 것으로 사료된다. 이들 농약의 검출한계는 0.1~0.6ppb였는데 이는 분석시료 20g을 취하여 최종부피 100μ로 정용하였을 때의 검출한계값을 나타낸 것이다.

살포시 농약의 휘산 및 잔류

1,2차 포장실험에서 농약살포시 비산이나 살포된

표 4. 회수율 및 검출한계

(단위: 회수율 %, 검출한계 ppb)

구 분	회수율*	표준편차	검출한계**
Chlorpyrifos	90.8	±1.81	0.1
Bifenthrin	84.9	±2.48	0.6
EPN	86.7	±1.47	0.5
Pirimiphos-methyl	91.9	±1.30	0.1
Dicofol	86.4	±3.52	0.1
Tetradifon	85.7	±0.68	0.5
Phenthoate	78.6	±1.46	0.2

* 회수율: N=6, ** 검출한계 측정시 S/N=5이상

1차실험에서는 농약살포 직후 근접한 대부분의 시료채취구간에서 농약이 검출되었지만 농약살포 6일후에 채취한 시료에서는 대부분 검출되지 않은 반면 2차실험에서는 농약살포 직후 및 농약살포 6일후에 채취한 거의 모든 시료에서 농약이 잔류하고 있는 것으로 나타났다. 이는 1차와 2차 실험결과

표 6. 농약의 비산 및 휘산에 의한 인접작물의 농약잔류분석결과(1차실험), (mg/kg)

구간	시료채취시기	Chlorpyrifos	Bifenthrin	EPN	Pirimiphos-methyl
1-S	농약살포전	0	0	0	0
	농약살포1시간후	5.9060	0.0090	7.7830	3.4020
	농약살포6일후	0.1600	0.0230	0.0920	0.0210
1-A	농약살포전	0	0	0	0
	농약살포1시간후	0.0350	0	0.0390	0.0210
	농약살포6일후	0.0010	0.0006	0	0
1-B	농약살포전	0	0	0	0
	농약살포1시간후	0.0160	0	0.0200	0.0090
	농약살포6일후	0	0	0	0
1-C	농약살포전	0	0	0	0
	농약살포1시간후	0.0100	0	0.0190	0.0090
	농약살포6일후	0.0010	0.0006	0	0.0001
1-D	농약살포전	0	0	0	0
	농약살포1시간후	0.0040	0	0.0100	0.0030
	농약살포6일후	0	0	0	0
1-E	농약살포전	0	0	0	0
	농약살포1시간후	0.0050	0	0.0120	0.0040
	농약살포6일후	0	0	0	0
1-F	농약살포전	0	0	0	0
	농약살포1시간후	0.0010	0	0	0
	농약살포6일후	0	0	0	0
1-G	농약살포전	0	0	0	0
	농약살포1시간후	0.0020	0	0	0.0005
	농약살포6일후	0	0	0	0

표 7. 농약의 비산 및 휘산에 의한 인접작물의 농약잔류분석결과(2차실험), (mg/kg)

구간	시료채취시기	Dicofol	EPN	Tetradifon	Phenthoate
2-S	농약살포전	0	0	0	0
	농약살포1시간후	13.3384	32.0984	2.7792	35.8600
	농약살포6일후	12.7767	6.9453	2.4214	17.5431
2-A-1	농약살포전	0	0	0	0
	농약살포1시간후	0.0121	0.0009	0.0006	0.0012
	농약살포6일후	0	0.0009	0.0010	0.0007
2-A-2	농약살포전	0	0	0	0
	농약살포1시간후	0	0.0011	0	0.0013
	농약살포6일후	0	0	0	0
2-B-1	농약살포전	0	0	0	0
	농약살포1시간후	0	0.0011	0	0.0037
	농약살포6일후	0	0.0014	0.0010	0.0018
2-B-2	농약살포전	0	0	0	0
	농약살포1시간후	0.0010	0.0138	0.0084	0.0059
	농약살포6일후	0	0.0011	0.0010	0.0009
2-B-C	농약살포전	0	0	0	0
	농약살포1시간후	0	0.0016	0	0.0025
	농약살포6일후	0	0.0007	0.0008	0.0005
2-C-1	농약살포전	0	0	0	0
	농약살포1시간후	0	0.0054	0.0010	0.0118
	농약살포6일후	0.0010	0.0176	0.0161	0.0010
2-C-2	농약살포전	0	0	0	0
	농약살포1시간후	0	0.0016	0	0.0098
	농약살포6일후	0.0010	0.0130	0.0135	0.0140
2-C-3	농약살포전	0	0	0	0
	농약살포1시간후	0	0.0010	0	0.0010
	농약살포6일후	0	0.0017	0.0008	0.0007
2-D-1	농약살포전	0	0	0	0
	농약살포1시간후	0	0.0011	0.0010	0.0038
	농약살포6일후	0	0.0010	0.0008	0.0013
2-F-1	농약살포전	0	0	0	0
	농약살포1시간후	0.0114	0.0021	0.0010	0.0152
	농약살포6일후	0	0.0037	0.0006	0.0011
2-G-1	농약살포전	0	0	0	0
	농약살포1시간후	0.0170	0.0052	0.0008	0.0358
	농약살포6일후	0.0514	0.0056	0.0028	0.0121
2-G-2	농약살포전	0	0	0	0
	농약살포1시간후	0.0057	0.0014	0	0.0049
	농약살포6일후	0	0.0014	0.0010	0.0019
2-G-3	농약살포전	0	0	0	0
	농약살포1시간후	0.0010	0.0027	0.0008	0.0278
	농약살포6일후	0	0	0.0008	0.0012
2-H-1	농약살포전	0	0	0	0
	농약살포1시간후	0.2436	0.0160	0.0171	0.0535
	농약살포6일후	0.0010	0.0029	0.0016	0.0036
2-H-2	농약살포전	0	0	0	0
	농약살포1시간후	0	0.0027	0	0.0088
	농약살포6일후	0.0233	0.0017	0.0011	0.0025
2-H-3	농약살포전	0	0	0	0
	농약살포1시간후	0	0.0016	0	0.0056
	농약살포6일후	0	0.0022	0.0010	0.0025

의 양상이 다르게 나타나기는 했지만 작물 재배중 살포된 농약의 비산 및 휘산으로 인한 주변 작물로의 전이오염(轉移汚染)은 본 실험 결과, 분명히 일어날 수 있음을 확인할 수 있었다. 1차와 2차 실험

결과가 다른점은 1차 포장실험이 10월말 부터 11월 초까지 진행되었던 반면 2차 포장실험은 5월말 부터 6월초까지로 실험시기가 서로 다른 것에 기인한 것으로 생각된다. 즉, 1차 포장실험기간의 기온은

18~20℃였던 반면 2차 포장실험기간의 기온은 24~26℃로 높았기 때문에 1차실험시 주변작물의 농약잔류가 농약살포시 비산에 의한 결과라면 2차실험의 결과는 농약살포시 비산뿐만 아니라 재배기간 중의 휘산에 의한 것으로 판단된다. 아울러 2차 포장실험중 농약살포시의 기온은 24~26℃였는데 이때 지표면의 온도는 30~32℃를 유지했으며, 이것은 살포된 농약의 휘산을 보다 활발하게 하는 중요한 인자로 작용했을 가능성이 높다.

2차실험의 결과로 부터 살포 1시간 후에 시료 채취거리에 따른 농작물 중의 농약잔류량 비율(%)을 계산해본 결과는 표 8과 같다. 농약의 종류에 따라 데이터에 차이가 있기는 하지만 4가지 농약성분의 평균비산거리를 보면 살포지역으로 부터 3m 거리에서는 0.66%, 6m 거리에서는 0.10%, 9m 거리에서는 0.05%의 농약이 비산된 것으로 판단된다. 그리하여 농약을 살포하지 않는다 하더라도 살포된 지역에 근접해 있으면 직접 살포된 농작물에서의 잔류량의 1.83%까지도 오염될 수 있음을 알 수 있었다.

표 8. 농약살포시 비산에 의한 인접 농작물의 오염 (2차 포장시험 결과)

농약성분	비산거리에 따른 잔류량 비율(%)					
	3m		6m		9m	
Dicofol	0	-1.826	0	-0.043	0	-0.008
EPN	0.003	-0.050	0.003	-0.043	0.003	-0.084
Tetradifon	0	-0.615	0	-0.302	0	-0.029
Phenthoate	0.003	-0.149	0.004	-0.027	0.003	-0.078
Maximum residue	1.826		0.302		0.084	
Mean. of maxima	0.660		0.104		0.050	

*농약살포 1시간 후 살포지역의 농작물 중 농약잔류량에 대한 인접지역 농작물 중의 잔류량 비율(%)

배추 재배중 살포된 농약의 휘산에 대한 일련의 실험결과에서 알 수 있듯이 농약살포시의 비산이나 살포후 기온 등에 의한 휘산으로 주변작물에 농약이 잔류하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 유기농업 지역과 일반농업지역이 혼재되어 있는 우리나라의 농업환경에 있어서 농약이 사용되지 않은 유기농산물에도 미량의 농약이 잔류할 수 있다는 것을 보여 준다.

외국의 경우 체계적인 유기농업관리로 잘 알려진 미국 오레곤주에서는 유기농산물의 농약잔류 허용기준이 오레곤 인증 유기경작 표준 및 지침서(The Oregon Tilth Certified Organic Standard and Guidelines Handbook)에 수록되어 있으며 part II /

O등급(유기농산물) 영역의 인증을 위한 표준으로 일반농산물 기준의 5%를 넘지않는 수준으로 설정되어 있다. 이는 인접농가나 산림에 사용된 농약으로 인해 부득이 발생할 수 있는 오염을 5% 이내에서 인정, 허용하겠다는 것으로 해석할 수 있다.

최근 국내에서도 농림부 주관으로 농수산물 가공산업 육성 및 품질관리에 관한 법률시행령을 통해 유기농산물에 대한 농약잔류 허용기준을 비롯한 품질기준을 새로이 설정, 시행코자 계획중에 있다. 저자들은 계속적이고 체계적인 휘산관련 포장실험을 통하여 연구결과를 축적함으로써 유기농산물에 대한 농약잔류 허용기준의 설정 및 그 시행에 일조할 수 있기를 기대한다.

요 약

배추 재배시 살포된 농약의 비산 휘산정도를 알아보기 위해 유기인계인 chlorpyrifos, EPN, pirimiphos-methyl, phenthoate, 유기염소계인 tetradifon, dicofol, 피레스로이드계인 bifenthrin 농약을 이용하여 포장실험을 수행하였다. 이들의 잔류량 분석은 다성분 분석법을 이용하였는데 농약성분에 따라 다르나 회수율은 78~92%로 우수하였으며 표준편차도 $\pm 0.68 \sim 3.52\%$ 로서 재현성이 있었다. 농약의 살포량은 농약사용지침서에서 권하는 량으로 하였으며, 1차실험시에는 바람이 불어오는 첫 구간에 농약을 살포하였고, 2차 실험시에는 풍향에 관계없이 정중앙에 살포하고 방사형으로 시료를 채취하였다.

실험결과 살포농약 대부분이 비산이나 휘산으로 인해 인접 작물에 전이 잔류하는 것을 확인하였다. 살포 중 비산되는 양은 농약성분과 풍향, 거리에 따라 달리 나타났으며 살포구간의 농작물 중 농약잔류량에 비하여 비살포구에서의 농작물 중 농약잔류량 비율은 3m거리에서 평균 0.66%, 6m 거리에서 0.10%, 9m 거리에서 0.05%이었고 근접지역에서는 최고 1.83%에 이르렀다.

참 고 문 헌

1. 농약공업협회(1990). 농약연보.
2. 이서래, 이해근, 허장현(1996). 토양중 농약잔류 허용기준 설정을 위한 자료. 한국환경농학회지, 15(1): 128~144.
3. 보건복지부(1996). 식품공전, 한국식품공업협회.
4. 이서래(1993). 식품의 안전성 연구, 이화여대 출판부, 제1장.

5. 정진영(1994). 한국의 유기농업 발전과정(유기농업의 현황 및 발전방향에 관한 심포지움 중) 농촌진흥청 농업기술연구소
6. 福永一夫(1981). 農藥, 白亞書房 제 2장.
7. 농약공업협회(1996). '96 농약사용지침서.
8. 유홍일, 이해근, 김성환(1991). 농약잔류분석방법. 동화기술, p.39~44.
9. 정영호, 송병훈, 최주현, 임진재, 김찬섭, 임양빈(1992). 농약잔류성시험법, 농약연구소.