

## 감광제에 의한 원예작물중 잔류농약의 인위적 경감

이재구\* · 권정욱 · 안기창 · 박주형 · 이준수 · 박정욱

충북대학교 농과대학 농화학과

**요 약 :** 원예작물중 농약잔류물을 인위적으로 경감시키기 위하여 몇몇 감광제 (photosensitizer, PS)의 활성을 조사하였다. 살균제 iprodione, bitertanol, chlorothalonil, myclobutanil, 및 dichlofluanid를 사과와 오이에 살포한 후 선발된 감광제를 살포하고, 살포 후 0, 1, 3, 7, 15일에 시료를 채취하여 그 잔류량을 분석하였다. 감광제로는 PS-1 (방향족 ketone), PS-2 (방향족 amine), PS-3 (quinone), PS-4 (무기화합물), PS-5 (유기산염) 및 PS-6 (반도체 광촉매)이 선발되었다. 사과에 살포된 iprodione의 경우 감광제 PS-1을 처리한 후 15일에 그 잔류량은 대조구의 74%로 감소하였고, bitertanol은 감광제 PS-1를 처리한 후 15일에 그 잔류량은 대조구의 78%로 감소하였으며, chlorothalonil의 경우 감광제 PS-1과 PS-2를 처리한 후 1일에 그 잔류량은 각각 대조구의 56과 54%로 감소하였다. 한편 오이에 살포된 iprodione의 경우 감광제 PS-1과 PS-2를 처리한 후 3일에 그 잔류량은 각각 대조구의 44와 67%로 감소하였고, myclobutanil의 경우 감광제 PS-6을 처리한 후 15일에 그 잔류량은 대조구의 45%로 감소하였으며, dichlofluanid의 경우 감광제 PS-1를 처리한 후 3일에 그 잔류량은 대조구의 44%로 감소하였다. 결과로 미루어 볼 때 방향성 ketone인 감광제 PS-1은 사과와 오이에 잔류하는 농약잔류물의 광분해에 그 효과가 탁월하였다.(1999년 6월 22일 접수, 1999년 7월 22일 수리)

Key words : photosensitizer, pesticide residue, fungicide, photodegradation.

### 서 론

병해충 및 잡초방제 목적으로 살포되는 농약은 토양과 수확기에 있는 농작물의 표면 또는 내부에 잔류하여 토양환경 오염은 물론 농산물의 질을 저하시키고 그러한 농산물을 섭취함으로써 소비자의 건강을 해칠 수 있다. 그러므로 감광제를 사용함으로써 농산물에 잔류하는 농약의 함량을 인위적으로 감소시키는 연구는 중요하다고 여겨진다. 이러한 감광제를 이용한 연구가 국외에서는 많이 이루어 지고 있으나(Ivie와 Casida, 1970; Miller와 Narang, 1970; Ivie와 Casida, 1971a; Ivie와 Casida, 1971b; Larson 등, 1991; Pandit 등, 1995) 국내에서는 극히 드문 실정이다.

유기감광제는 많은 광화학적 반응을 가속화하는데 유용하다. Miller와 Narang(1970)는 몇몇 감광제에 의한 DDT의 광분해를 보고하였고, Ivie와 Casida(1970; 1971a)는 식물체 잎에서 rotenone에 의한 dieldrin과 다른 cyclodiene 살충제 잔류물의 광변환과 28종의 감광작용을 갖는 물질 및 몇몇 농약에 대하여 silica gel chromatoplate상에서 그들의 활성을 보고하였다.

또한 Larson 등(1991)은 triazine계 농약의 ferric ion에 의한 광분해의 촉진을 보고하였고, Pandit 등(1995)은 titanium dioxide의 존재하에서 pendimethalin의 광촉매적 분해를 보고하였다. Iprodione(3-(3,5-dichlorophenyl)-N-isopropyl-2,4-dioximidazolidine-1-carboxamide)은 dicarboximide계 살균제로 사과의 점무늬낙엽병 예방 및 치료에 사용되고 수용해도는 13 mg/l (20°C)로 매우 낮다(Tomlin, 1994).

Bitertanol(1-(biphenyl-4-yloxy)-3,3-dimethyl-1-(1H-1,2,4-triazol-1-yl)butan-2-ol)은 azole계 살균제로 사과의 부란병 예방 및 치료에 사용되며 수용해도는 2.9 mg/L로 매우 낮다(Tomlin, 1994). 또한 광범위한 pH에서 매우 안정하여 25°C에서 반감기가 1년 이상이다(Tomlin, 1994). Chlorothalonil (tetrachloroisophthalonitrile)은 사과의 탄저병과 점무늬낙엽병 방제용 비침투성 살균제이며 수용액과 결정상태에서 자외선에 안정하다(Tomlin, 1994). Myclobutanil (2-p-chlorophenyl-2-(1H-1,2,4-triazol-1-ylmethyl)hexanenitrile)은 azole계 살균제로 오이의 흰가루병의 예방 및 방제에 사용되며 수용해도는 142 mg/L(25°C)이다(Tomlin, 1994). Dichlofluanid (N-dichlorofluoromethylthio-N',N'-dime-thyl-N-phenylsulfamide)는 오

\*연락처

이의 노균병과 잣빛곰팡이병 방제용으로 사용되며 광에는 비교적 민감하고 수용해도는 1.3 mg/L로 낮다 (Tomlin, 1994). 상기의 살균제들은 현재 국내에서 많이 사용되고 있으며 수확된 농산물 중에 고농도로 잔류될 가능성이 있다.

따라서 본 연구의 목적은 자연계에 존재하거나 합성 화합물 중에서 감광작용 및 광 축매작용이 있는 화합물을 선별하여 수확기에 임박한 농작물에 살포함으로써 농약잔류물을 인위적으로 경감시켜 보다 안전한 농산물을 소비자에게 공급하고자 함에 있다.

## 재료 및 방법

### 시험농약 및 시험작물

포장시험을 위하여 iprodione은 로브랄<sup>®</sup>, bitertanol은 바이코<sup>®</sup>, chlorothalonil은 다코닐<sup>®</sup>, myclobutanil은 시스텐<sup>®</sup>, dichlofluanid는 유파렌<sup>®</sup>을 살포하였고, 표준품의 순도는 각각 98.6, 95.4, 99.7, 98.2 및 90.0%이었으며, 구조식은 그림 1에서 보는 바와 같다.

시험작물로는 사과와 오이를 사용하였고 과수원과 포장에서 직접 상기 농약들을 살포하였다.

### 시험농약의 광흡수 spectra

시험농약의 최대 광흡수파장과 몰흡광계수를 측정

하기 위하여 각 농약을  $10^{-3}$  M의 농도로 조제 (iprodione, bitertanol 및 dichlofluanid는 methanol에, chlorothalonil과 myclobutanil은 n-hexane에 용해)하고 이를 직경 1 cm의 quartz cell에 넣어 uv/vis spectrophotometer(U-2000, HITACHI, Japan)를 이용하여  $\lambda_{max}$ 를 측정하고 측정된 흡광도로부터  $\epsilon_{max}$ 를 산출하였다.

### 감광제/광축매 (이하 감광제, PS라 부름) 선별시험

자연계에 천연적으로 존재하는 화합물과 합성된 유기 및 무기화합물중에서 감광작용이 있을 것으로 예상되는 약 40여종을 선별하고, 그 중에서 예비실험을 통하여 특히 두드러진 효과를 보인 6종을 선별하였으며 그 중 각 농약에 대하여 3종의 감광제를 선택하여 포장시험시 살포하였다.

선발방법은 2 mm체를 통과시킨 모래를 6N HCl로 세척하여 토양유기물을 비롯한 모든 불순물을 완전히 제거한 후 이 모래 20 g을 50 mL 비이커에 넣고 2 mg의 시험농약과 100 ppm의 감광제를 첨가한 후 잘 혼합하여 자연광 (평균 39,000 Lux)하에서 9시간 노출시켰다. 이 시료를 적당한 유기용매로 추출하여 GLC-NPD로 분석하였으며, 그 분석결과를 대조구와 비교하여 광분해 촉진효과가 큰 감광제를 선별하였다.

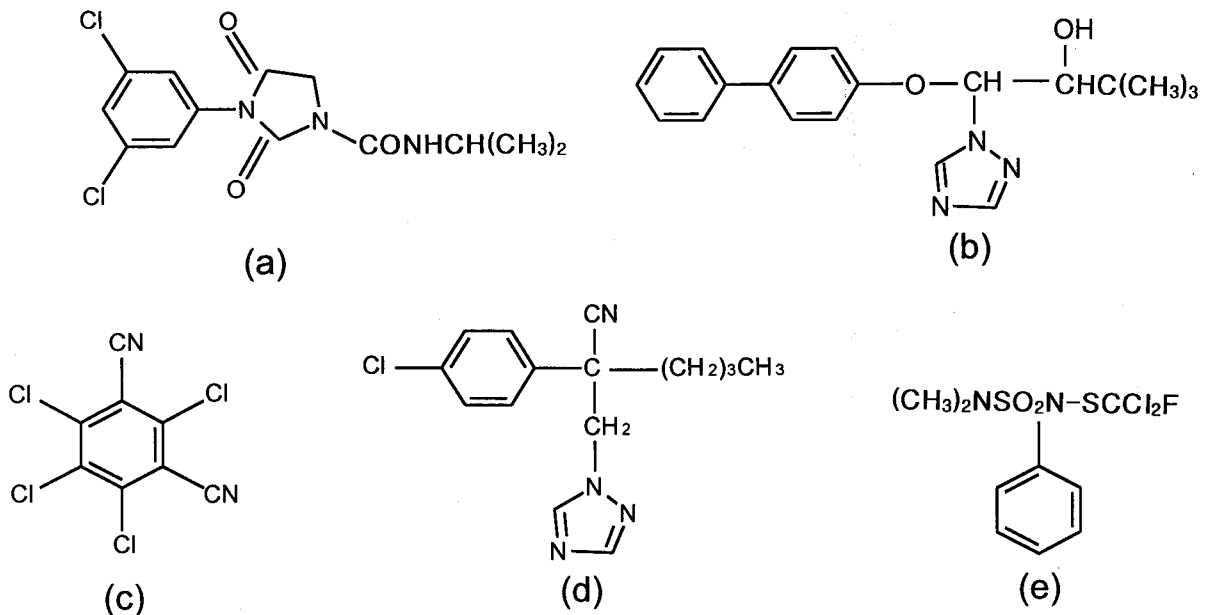


Fig. 1. Structural formulas of the fungicides used; iprodione(a), bitertanol(b), chlorothalonil(c), myclobutanil(d), and dichlofluanid(e).

**작물에 대한 감광제의 효과시험**

**시험농약 및 감광제 처리**

사과의 경우 시험농약으로 iprodione은 로브랄®, bitertanol은 바이코®, chlorothalonil은 다코닐®을 관행법에 따라 2일 간격으로 2회 살포하였고 오이의 경우에는 iprodione은 로브랄®, myclobutanil은 시스템®, dichlofluanid는 유파렌®을 관행법에 따라 2일 간격으로 3회 살포한 후 살포 1일 후에 각 농약별로 선정된 3종의 감광제를 약액이 충분히 흐르도록 살포하였고 대조구에는 동량의 증류수를 살포하였으며, 감광제 처리 후 0, 1, 3, 7, 15일에 시료를 채취하여 그 잔류량을 분석하고 그 결과로부터 감광제의 효과를 검정하였다.

**작물중의 농약잔류물 분석**

**사과중 iprodione, bitertanol 및 chlorothalonil 잔류량 분석**

세절하여 마쇄한 사과시료 20 g (bitertanol은 30 g)에 acetone 90 mL을 가한 후 10분간 초음파 추출하였다. 이어 흡인여과하고 약 20 ml 까지 농축한 후 여기에 50 mL의 acetone을 가한 후 sonication하고 50 mL의 응고액 (NH<sub>4</sub>Cl 10 g + 85% phosphoric acid 20 mL + 물 780 mL)을 가하였다. 이 상태로 30분간 정치시킨 후 Celite 545를 이용하여 여과하고 잔사를 수세하여 이전의 여액과 합하였다. 이 여액을 분액여두로 옮긴 후 여기에 포화식염수 50 mL, 물 100 mL 및 methylene chloride 50 mL을 가한 후 세계 진탕하고 정치시킨 후 두 층이 분리되면 methylene chloride 층을 받고 다시 methylene chloride 50 mL을 가한 후 분배추출하고 앞의 것과 합쳐 건고 될 때까지 농축하였다. 이를 acetone에 재용해하여 GLC-NPD로 분석하였다

**오이중 iprodione, dichlofluanid 및 myclobutanil 잔류량 분석**

세절하여 마쇄한 오이시료 30 g에 acetone 90 mL을 가한 후 10분간 초음파 추출하였다. 이어 흡인여과하고 약 20 mL 까지 농축한 후 여기에 10 mL의 acetone을 가한 후 sonication하고 5 mL의 응고액 (NH<sub>4</sub>Cl 10 g + 85% phosphoric acid 20 mL + 물 780 mL)을 가하였다. 이 상태로 30분간 정치시킨 후 Celite 545를 이용하여 여과하고 잔사를 수세하여 이전의 여액과 합하였다. 이 여액을 분액여두로 옮긴 후 여기에 포화식염수 50 mL, 물 100 mL 및

methylene chloride 50 mL을 가한 후 세계 진탕하고 정치시킨 후 두 층이 분리되면 methylene chloride층을 받고 다시 methylene chloride 50 mL을 가한 후 분배추출하고 앞의 것과 합하여 건고될 때 까지 농축하였다. 이를 acetone에 재용해하여 GLC-NPD로 분석하였다

**회수율 시험**

상기의 살균제를 작물별로 각각 1.0 ppm과 0.5 ppm 수준으로 처리하여 각각의 잔류분석법에 따라 분석하여 회수율을 구하였다.

**결과 및 고찰**

**시험농약의 광흡수 spectra**

Iprodione, bitertanol, chlorothalonil, myclobutanil 및 dichlofluanid의 최대흡수파장 ( $\lambda_{max}$ )과 최대 몰흡광계수 ( $\epsilon_{max}$ )는 표 1에서 보는 바와 같다. Chlorothalonil을 제외한 모든 농약에서 최대흡수파장은 234~241 nm로 태양광 영역 (>290 nm)에서는 광흡수가 일어나지 않기 때문에 직접적인 광분해는 어렵다(Zepp 등, 1981). 또한 흡광강도와 전위형태의 유용한 지표인 최대 몰흡광계수는 각각  $2.7 \times 10^3$ ,  $1.6 \times 10^3$ ,  $2.7 \times 10^3$ ,  $2.7 \times 10^3$  및  $2.7 \times 10^3$ 로 모두 낮은 흡수강도 영역에 속했다.

**Table 1. Light-absorption characteristics of the chemicals as determined by a uv/vis spectrophotometer**

Chemical	Solvent	Conc. (M)	$\lambda_{max}$ (nm)	$\epsilon_{max}$
Iprodione	Methanol	$10^{-3}$	236.5	$2.7 \times 10^3$
Bitertanol	Methanol	$10^{-3}$	240.5	$1.6 \times 10^3$
Chlorothalonil	n-Hexane	$10^{-3}$	324.0	$2.7 \times 10^3$
Myclobutanil	n-Hexane	$10^{-3}$	241.0	$2.7 \times 10^3$
Dichlofluanid	Methanol	$10^{-3}$	234.0	$2.7 \times 10^3$

**감광제 선발시험**

모래를 이용한 예비실험에서 감광제 PS-1 (방향족 ketone), PS-2 (방향족 amine), PS-3 (quinone), PS-4 (무기화합물), PS-5 (유기산염) 및 PS-6 (반도체 광촉매)이 선발되었으며, 농약별로 선발된 감광제의 효과는 표 2에서 보는 바와 같다. PS-1이 거의 모든 농약에 대하여 가장 높은 분해율을 보였으며, PS-2와 PS-6 역시 분해 촉진효과를 보였다.

**Table 2. Effect of the selected photosensitizers on the accelerated photolysis of the five pesticide chemicals as expressed by percentage in relation to the initial amount 100**

Chemical	PS-1	PS-2	PS-3	PS-4	PS-5	PS-6
Iprodione	41 <sup>a)</sup>	16	12	7	15	16
Bitertanol	27	12	14	20	11	16
Chlorothalonil	59	52	34	20	36	41
Myclobutanil	24	3	23	13	2	18
Dichlofluanid	22	28	5	6	8	12

<sup>a)</sup>Figures represent degradation rates in relation to the initial amount 100.

#### 회수율

각 작물에서 시험농약의 분석법에 의한 회수율은 표 3에서 보는 바와 같이 91~106%로 양호하였다.

#### 각 작물의 잔류농약에 대한 감광제의 효과

작물시험기간 (1997년 9~10월)중 기온은 14~18℃였으며, 광도는 평균 오전 10시 경에는 39,000 Lux, 오후 1시 경에는 44,000 Lux, 오후 4시 경에는 25,000 Lux이었다.

사과 및 오이에 살포된 iprodione 잔류량의 감광제에 의한 경감효과는 그림 2와 3에서 보는 바와 같이 각각 PS-1 처리구에서 처리후 15일에 감광제를 처리하지 않은 무처리구의 74%로 감소하였고, 역시 PS-1 처리구에서 처리후 3일에 무처리구의 44%로 감소하였다. Iprodione은 산에서는 비교적 안정하지만 알칼리에서는 분해가 일어나 pH 7에서는 반감기가 1~7일이며, pH 9에서는 1시간 이하로 알려져 있다. 또한

수용액에서는 자외선에 의해 분해되고 가수분해와 재배열 반응에 의하여 광범위한 대사작용을 받으며, 밀, 딸기, 시금치, 벼 및 땅콩에서 빠르게 분해되고 토양과 수중에서는 이산화탄소를 형성하면서 빠르게 대사된다(Tomlin, 1994). Villedieu 등(1995)은 micellar media에서 dicarboximide 살균제 (procymidone, iprodione, vinclozolin, chlozolinat)의 가수분해에 대한 반응 속도론과 메커니즘을 보고한 바 수용액에서 dicarboximide ring의 개열에 의해 acid 형태로 변한다고 하였다. 또한 Schwack 등(1995)은 dicarboximide 살균제중에서 vinclozolin의 식물표면에서의 광 화학 반응을 연구하기 위하여 식물의 cuticle 환경을 모방하는 다양한 유기용매에서의 모델시험( $\lambda > 280$  nm)을 수행한바 용매의 종류에 따라 대사물질이 달랐으며, 그 대사물질은 photoaddition, photodehalogenation 및 substitution 등에 의하여 형성된다고 하였다.

사과에 살포된 bitertanol 잔류량의 감광제에 의한 경감효과는 그림 4에서 보는 바와 같이 처리구간에 큰 차이는 없었지만 그 중 방향족 ketone계 감광제인 PS-1 처리구에서 처리후 15일에 무처리구의 78%로 감소하였다. Bitertanol은 pH 4, 7 및 9 (25℃)에서 1년 이상 안정하고, 수중에서의 직접적인 광분해는 비록 그 범위는 좁지만 전반적인 분해에 기여하며, 토양중에서의 분해는 비교적 빠르고 대부분의 분해산물은 이산화탄소이다(Tomlin, 1994). PS-1은 용액중의 몇몇 chlorinated cyclodiene 살충제를 자외선에 노출시켰을 때 photoisomer로의 전환을 가속화하는 화합물로 알려져 있다.

또한 PS-1은 chloroaniline을 함유하는 benzene 용액을 태양광선 또는 자외선에 노출시켰을 때 광분해를 촉진시켜 산소 부재시에는 3,3',4,4'-tetrachlo-

**Table 3. Recoveries (%) of the spiked chemicals into the crops as determined by the analytical methods**

Crop	Chemical	Recovery	
		0.5 ppm	1.0 ppm
Apple	Iprodione	106.29 ± 6.95 <sup>a)</sup>	95.12 ± 12.20
	Bitertanol	91.05 ± 1.24	91.77 ± 4.72
	Chlorothalonil	101.14 ± 9.78	103.00 ± 12.06
Cucumber	Iprodione	97.97 ± 2.48	96.75 ± 6.74
	Myclobutanil	100.18 ± 0.41	95.59 ± 3.45
	Dichlofluanid	95.86 ± 2.19	96.08 ± 0.08

<sup>a)</sup>Figures represent mean ± standard deviation of triplicates.

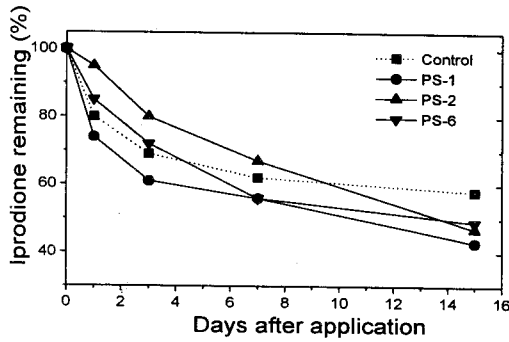


Fig. 2. Effect of the selected PS on the accelerated photolysis of iprodione residues on apple.

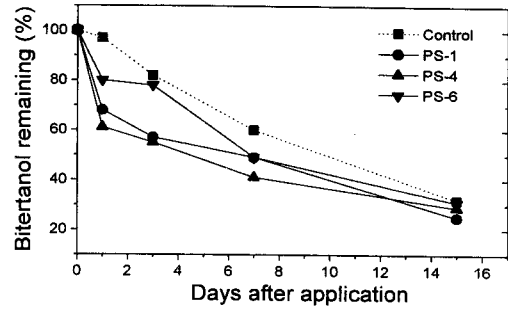


Fig. 4. Effect of the selected PS on the accelerated photolysis of bitertanol residues on apple.

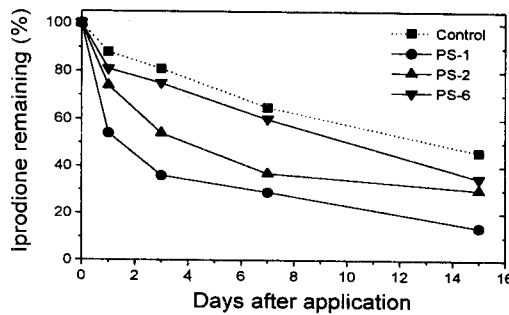


Fig. 3. Effect of the selected PS on the accelerated photolysis of iprodione residues on cucumber.

roazobenzene이, 그리고 산소 존재시에는 3,3',4,4'-tetrachloroazoxybenzene이 형성된다고 하였다 (Lykken, 1972). 이러한 PS-1 보다 약 100배의 활성을 가진 감광제가 rotenone이라고 보고되어 있다(Ivie와 Casida, 1971b). Ivie와 Casida의 보고(1971b)에 따르면 rotenone은 dieldrin을 photodieldrin으로 광화학적 변환을 촉진하는 가장 효과적인 물질이며, dieldrin이 콩에 살포되었을 때 0.3 ppm의 낮은 농도에서도 photodieldrin으로 전환시키는 효과를 보여 주었다.

사과에 살포된 chlorothalonil 잔류량의 감광제에 의한 경감효과는 그림 5에서 보는 바와 같이 PS-1과 PS-2 처리구에서 처리후 1일에 각각 무처리구의 56과 54%로 감소하였다. Chlorothalonil은 상온에서 열에 안정하고 수용액과 결정상태에서 자외선에 안정하다. 그러므로 작물 잔류물의 대부분이 모화합물로서 존재한다(Tomlin, 1994). 감광제 무처리구의 7일차 시료 잔류량이 최초 잔류량의 70%로 비교적 분해가 늦음

을 본 시험에서도 알 수 있었다.

그러나 식물체에서 아주 적은 양의 대사산물인 4-hydroxy-2,5,6-trichloroisophthalonitrile이 발견되기도 한다(Tomlin, 1994). 감광제 PS-2는 방향족 amine계 화합물로 그 반감기가 매우 짧지만 30분 이내에 활성을 나타낸다고 Ivie와 Casida(1971b)는 보고하였다. 본 실험에서도 PS-2를 처리한 후 1일에 그 잔류량이 현저히 감소하였고 처리후 3, 7, 15일에는 비교적 완만하게 감소하였다.

오이에 살포된 myclobutanil 잔류량의 감광제에 의한 경감효과는 그림 6에서 보는 바와 같다. 반도체 광촉매인 PS-6 처리구에서 처리후 15일에 무처리구의 45%로 감소하였다. Myclobutanil은 수용액중에서 광분해를 받으며, 그 정도는 멸균수에서 222일, 감광제를 첨가한 멸균수에서 0.8일 및 호수의 물에서 25일의 반감기를 갖고 순수한 물보다는 천연수중에서 광분해가 신속하게 이루어진다(Tomlin, 1994)고 하며,

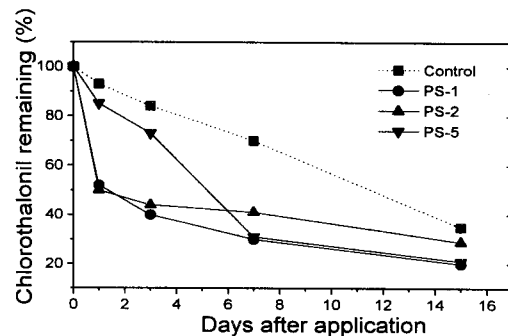


Fig. 5. Effect of the selected PS on the accelerated photolysis of chlorothalonil residues on apple.

본 연구에서도 몇몇 감광제에 의하여 광분해가 촉진됨을 알 수 있었다.

오이에 살포된 dichlofluanid 잔류량의 감광제에 의한 민감효과는 그림 7에서 보는 바와 같이 PS-1 처리구에서 처리후 3일에 무처리구의 44%로 감소하였다. Dichlofluanid는 비교적 광에 민감하기 때문에 (Tomlin, 1994) 본 실험에서도 처리후 15일의 잔류량은 감광제 처리에 관계없이 최초잔류량의 6~16%에 불과하였다.

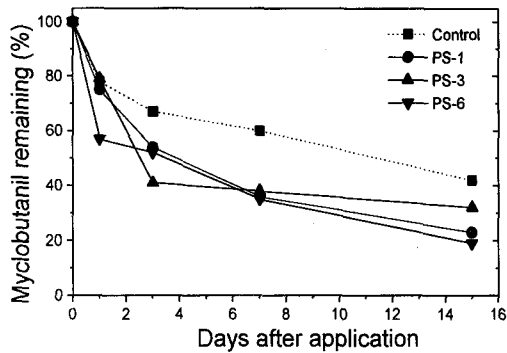


Fig. 6. Effect of the selected PS on the accelerated photolysis of myclobutanil residues on cucumber.

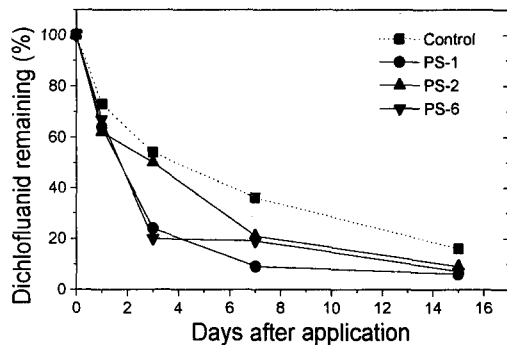


Fig. 7. Effect of the selected PS on the accelerated photolysis of dichlofluanid residues on cucumber.

### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지정 충북대학교 첨단원에 기술개발연구센터의 지원에 의한 것입니다.

### 인용문헌

- Ivie, G. W. and J. E. Casida (1970) Enhancement of photoalteration of cyclodiene insecticide chemical residues by rotenone. *Science* 167:1620~1622.
- Ivie, G. W. and J. E. Casida (1971a) Sensitized photodecomposition and photosensitizer activity of pesticide chemicals exposed to sunlight on silica gel chromatoplates. *J. Agric. Food Chem.* 19(3):405~409.
- Ivie, G. W. and J. E. Casida (1971b) Photosensitizers for the accelerated degradation of chlorinated cyclodienes and other insecticide chemicals exposed to sunlight on bean leaves. *J. Agric. Food Chem.* 19(3):410~416.
- Miller, L. L. and R. S. Narang (1970) Induced photolysis of DDT. *Science* 169:368~370.
- Larson, A. L., M. B. Schlauch and K. A. Marley (1991) Ferric ion promoted photodecomposition of triazines. *J. Agric. Food Chem.* 39(11):2057~2062.
- Lykken, L. (1972) Role of photosensitizers in alteration of pesticide residues in sunlight. pp. 449~469. *In Environmental toxicology of pesticides*, Academic Press, New York and London.
- Pandit, G. K., S. Pal and A. K. Das (1995) Photocatalytic degradation of pendimethalin in the presence of titanium dioxide. *J. Agric. Food Chem.* 43:171~174.
- Schwack, W., F. Walker and B. Bourgeois (1995) Fungicides and photochemistry : Photodegradation of the dicarboximide fungicide vinclozolin. *J. Agric. Food Chem.* 43(12):3088~3092.
- Tomlin, C. (1994) *The pesticide manual*. 10th Edition, British Crop Protection Council, U. K.
- Villedieu, J. C., A. de Savignac and J. P. Calmon (1995) Kinetics and mechanisms of hydrolysis of dicarboximide fungicides in micellar media. *J. Agric. Food Chem.* 43(7):1948~1953.
- Zepp, R. G., G. L. Baughman and P. F. Schlotzhauer (1981) Comparison of photochemical behaviour of various humic substances in water : Photosensitized oxygenations. *Chemosphere* 10: 119~126.

---

**Artificial diminution of the residual pesticides on horticultural crops using photosensitizers**

Jae Koo Lee\*, Jeong Wook Kwon, Ki Chang Ahn, Ju Hyoung Park, Jun Su Lee, and Jung Ok Park  
(Department of Agricultural Chemistry, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea)

**Abstract** : Photosensitizing activities of some photosensitizers (PS) for the artificial diminution of pesticide residues on horticultural crops were investigated. Five fungicides, iprodione, bitertanol, chlorothalonil, myclobutanil, and dichlofluanid were sprayed on apple and cucumber, followed by the application of each selected photosensitizer, and the samples were collected 0, 1, 3, 7, 15 days after the photosensitizer application and analyzed for the residual amounts. Of the 40 photosensitizers tested, six selected on the basis of the eliminating effect of pesticide residues were PS-1 (aromatic ketone), PS-2 (aromatic amine), PS-3 (quinone), PS-4 (inorganic compound), PS-5 (organic acid salt), and PS-6 (semiconductor photocatalyst). The residual amount of iprodione after 15 days of the application of PS-1 was 74% of that of the control. For bitertanol, the residual amount after 15 days of the application of PS-1 accounted for 78% of that of the control. The residual amounts of chlorothalonil after 1 day of the application of PS-1 and PS-2 accounted for 56 and 54% of those of the control, respectively. The residual amounts of iprodione on cucumber after 3 days of the application of the photosensitizers PS-1 and PS-2 were 44 and 67% of those of the untreated control, respectively. For myclobutanil, the residual amount after 15 days of the application of PS-6 accounted for 45% of that of the control. In case of dichlofluanid, the residual amount after 3 days of the application of PS-1 accounted for 44% of that of the control. Based on the results, PS-1 turned out to be the most promising photosensitizer for the accelerated photodegradation of the above fungicides on apple and cucumber.

---

\*Corresponding author (Fax : +82-431-271-5921, E-mail : jklee@cbucc.chungbuk.ac.kr)