

배추좀나방에 대한 Indoxacarb의 작용특성 및 기작

최유미 · 안기수¹ · 황인천² · 김길하*

충북대학교 농업생명환경대학 식물의학과, ¹충북농업기술원, ²경농중앙연구소

Property and Mode of Action of Indoxacarb against Diamondback Moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae)

Yu-Mi Choi, Ki-Su Ahn¹, In-Cheon Hwang² and Gil-Hah Kim*

Dept. of Plant Medicine, College of Agriculture, Life and Environment Sciences, Chungbuk National University, Cheongju, 361-763, Republic of Korea

¹Chungbuk Agricultural Research & Extension Service, Cheongwon, Chungbuk, 363-880, Republic of Korea

²Kyung-Nong Centural Research Institute Co. Ltd, Kyong-Ju, 780-110, Republic of Korea

ABSTRACT : Insecticidal activity, systemic and residual effects, and effects on enzyme activities (esterase, acetylcholinesterase, glutathione *S*-transferase) of indoxcarb were evaluated against *Plutella xylostella*. The insecticide was very effective against larvae of *P. xylostella*. Also, indoxcarb showed only residual effect to *P. xylostella* when applied to vegetable leaves. It inhibited acetylcholinesterase activity, but didn't do esterase and glutathione *S*-transferase activities.

KEY WORDS : *Plutella xylostella*, Indoxacarb, Insecticidal activity, Systemic effect, Residual effect, Acetylcholinesterase, Esterase, Glutathione *S*-transferase

초 록 : 배추좀나방의 발육단계별 indoxacarb의 살충활성, 침투이행성 및 잔효성을 조사하였고, esterase, acetylcholinesterase, glutathione *S*-transferase 등의 효소활성에 미치는 영향을 검토하였다. 배추좀나방 유충에 대해서 높은 살충효과를 나타내었으나, 알과 번데기에 대해서는 살충율이 10% 이하이었다. 엽면침투이행성과 근부침투이행성의 효과는 없었으며, 잔효성은 10일째까지 80%의 살충효과를 유지하였다. Indoxacarb는 esterase와 glutathione *S*-transferase의 활성은 저해하지 않았지만 acetylcholinesterase의 활성을 저해하였다.

검색어 : 배추좀나방, Indoxacarb, 살충활성, 침투효과, 잔효성, Acetylcholinesterase, Esterase, Glutathione *S*-transferase

배추좀나방(*Plutella xylostella*)은 배추, 무, 양배추, 케일과 같은 십자화과 작물에 많은 피해를 주고 있는 세계적인 해충으로 80 개국 이상에서 그 피해가 보고된 바 있으며(Talekar and Griggs, 1986), 방제수단으로는 주로 화학적 방제법에 의존하여 세계적으로 연간 10억불 이상의 방제비용이 든다(Talekar and Shelton, 1993). 배추좀나방은 연간 9-12세대의 많은 발생세대

수로 인해 살충제를 남용함으로써 BT제(Mohan, 2000)를 포함한 거의 대부분의 살충제에 대해서 저항성을 발달하였을 뿐만 아니라, 교차저항성과 복합저항성을 나타내게 되었다(Joia *et al.*, 1996). Ninsin (2004)은 일본에서 배추좀나방의 방제에 사용되고 있는 네오니코티노이드계 살충제인 acetamidrid는 cartap과 phenthoate에 대해서 교차저항성을 나타낸다고 보고하였다. 국

*Corresponding author. E-mail: khkim@chungbuk.ac.kr

내에서는 90년대에 들어 피레스로이드계, BT제, 유기 인제와 카바메이트계 살충제에 대해서 저항성이 보고 되었다(Cho *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2003). 이와 같은 기존의 살충제에 대한 배추좀나방의 저항성 발달로 방제가 어려운 실정이므로 새로운 살충제의 탐색이 불가피하게 되었다.

Indoxacarb(methyl(4a*S*)-7-chloro-2, 5-dihydro-2[[methoxycarbonyl][4-(trifluoro methoxy)phenyl]amino]carbonyl]ideno[1, 2-*e*][1, 3, 4]oxadiazine-4 α (3H) (carboxylate)는 oxadiazine계에 속하는 살충제로서 유기인제, 카바메이트계, 피레스로이드계 살충제에 대해서 저항성이 발달된 해충의 방제를 위해 최초로 상업화된 pyrazoline type의 살충제이다(McCann *et al.*, 2001; Tomlin, 2003). Indoxacarb는 이러한 해충에 대해서 뛰어난 살충활성을 나타내고 방제대상이 아닌 생물체에 대해서는 낮은 독성을 나타내며, 환경에 안전한 화합물로 알려져 있다(Tomlin, 2003; Bostanian *et al.*, 2004). 또한 채소류, 나무 열매, 포도, 목화, 옥수수 및 기타 작물을 가해하는 나비목 해충에 대해서 광범위한 살충활성을 나타내는 신규 경엽 처리 살충제이다(Harder *et al.*, 1996; Olszak and Pluciennik, 1998; Sullivan *et al.*, 1999). 꽃노린재류의 일종인 *Orius insidiosus*와 콜레마니진디벌(*Aphidius colemani*)과 같은 천적에 대해서는 낮은 독성을 나타내어, IPM에도 적용이 가능한 살충제이다(Noubar, 2004). 일부 나비목 해충에 대한 indoxacarb의 작용기작은 sodium channel blocking *N*-decarbomethoxylated metabolite로 알려져 있으며, sodium channel은 피레스로이드계, DDT, isobutylamides, dihydropyrazole계와 같은 다양한 신경독성 살충제가 작용하는 중요 부위로 알려져 있다(Narahashi *et al.*, 1995).

본 연구는 채소류에 문제가 되고 있는 배추좀나방에 대한 indoxacarb의 발육단계별 살충활성, 잔효성 및 침투이행성을 조사하고, 살충작용에 미치는 효소활성 저해효(esterase, AChE, GST)을 구하여 작용기작을 검토하였다.

재료 및 방법

시험곤충

배추좀나방은 2002년 8월 충북 단양의 양배추밭에서 채집하여 실내에서 배추유묘를 공급하면서 아크릴

cage (30.0 × 30.0 × 30.0 cm)에 사육하였고, 3세대 이내의 개체를 실험에 사용하였다. 실내 사육조건은 25-28, 16L:8D, RH 50-60%이었다.

시험약제 및 시약

살충제의 작용특성실험에 사용된 살충제는 indoxacarb 10% (WP), chlorpyrifos-methyl 25% (EC), flupyrzofos 10% (EC), pyraclofos 25% (WP)로 시중에서 구입하여 사용하였다. 작용기작 실험에 사용된 살충제는 원제로서 indoxacarb (52.7%)와 chlorpyrifos-methyl (93%)를 사용하였다.

효소활성분석에 사용된 시약은 α -naphthyl acetate (α -NA), fast blue RR salt, 5,5'-dithiobis-(2-nitrobenzoic acid) (DTNB), acetylcholine iodide (AChI), glutathione (GSH), 1-chloro-2, 4-dinitrobenzene (CDNB)은 Sigma에서 구입하여 사용하였다.

발육단계별 살충율 조사

시험 살충제를 추천농도로 희석하여 약액에 배추좀나방의 알과 번데기를 30초간 직접 침지한 후 1일간 격으로 5일까지 부화억제율과 우화억제율을 조사하였다. 유충에 대한 살충활성은 LC₅₀값을 구할 수 있는 5-6단계의 농도로 희석한 약액에 배추잎절편(직경 5 cm)을 30초간 침지한 후, 후드 내에서 충분히 음건시켜 1회용 페트리디쉬(5.5 × 2 cm)에 여과지(Φ 5.5 cm, Watman No. 2)를 깔고 음건시킨 배추잎을 올린 후, 배추좀나방 1, 3, 4령 유충을 10마리씩 접종하였다. 약액 처리 24, 48시간 후에 살충율을 조사하였으며, 실험은 3반복으로 수행하였다.

잔효성 시험

파종 5주된 배추에 추천농도로 희석한 약액을 분무하고 온실에서 관리하였다. 약액 처리 3, 7, 10, 14일 후에 1회용 페트리디쉬(5.5 × 2 cm)에 여과지를 깔고 배추잎 절편(직경 5 cm)을 올린 후, 배추좀나방 3령 유충을 10마리씩 접종하였다. 접종 24, 48시간 후에 살충율을 조사하였으며, 실험은 3반복으로 수행하였다.

침투이행성 시험

엽면침투이행성 시험은 파종 5주된 배추 유묘의 한 쪽 잎에 추천농도로 희석한 약액을 분무 처리하였다.

24시간후 무처리잎의 절편(직경 5 cm)을 1회용 페트리디쉬(5.5×2 cm)에 여과지를 깔고 올린 후, 배추좀나방 3령 유충을 10마리씩 접종하였다. 접종 24, 48시간 후에 살충율을 조사하였다.

근부침투이행성 시험은 약액을 토양에 처리하고 24시간 후 배추잎절편(직경 5 cm)을 1회용 페트리디쉬(5.5×2 cm)에 여과지를 깔고 올린 후, 배추좀나방 3령 유충을 10마리씩 접종하였다. 접종 24, 48시간 후에 살충율을 조사하였다.

효소활성 저해시험

Esterase (EST) 활성 측정 : Van Asperen (1962)의 방법에 준하였다. 얼음 속에서 배추좀나방 4령 유충을 0.1 M Tris-HCl (pH 7.0) 완충용액과 함께 microcentrifuge tube (2 mL)에 넣고 마쇄하여 4°C에서 14,000 rpm으로 45분 동안 원심분리한 후, 상층액을 효소원으로 사용하였다. Esterase의 활성 측정 방법은 cuvette에 0.1 M Tris-HCl (pH 7.0) 완충용액 2.1 mL, 효소액 300 µL, 기질로서 α -naphthyl acetate (α -NA) 300 µL을 넣고 30의 water bath에서 5, 10, 15, 20분간 incubation 하였고, 0.1% SDS (sodium dodecyl sulfate)와 1% fast blue RR salt를 넣어 반응을 중지시킨 후, 600 nm에서 spectrophotometer를 이용하여 20초 간격으로 10분 동안 흡광도를 측정하였다. Esterase 저해 시험에 사용된 살충제는 아세톤에 희석 후 최종농도가 10^{-8} , 10^{-7} , 10^{-6} , 10^{-5} , 10^{-4} M 농도가 되도록 하였다. 이때 이용한 완충용액은 1.9 mL이며, 300 µL의 효소액과 α -NA 300 µL를 넣은 후, 각 농도의 살충제를 처리하여 5분간 incubation 후에 흡광도를 측정, 저해율을 구하였다.

Acetylcholinesterase(AChE) 활성 측정 : Ellman *et al.* (1961)의 방법에 준하였다. 얼음 속에서 배추좀나방 4령 유충을 0.1 M Tris-HCl (pH 7.0) 완충용액과 함께 microcentrifuge tube (2 mL)에 넣고 마쇄하여 4°C에서 14,000 rpm으로 45분 동안 원심분리한 후, 상층액을 효소원으로 사용하였다. AChE의 활성 측정방법은 cuvette에 1.3 mL 0.1 M Tris-HCl (pH 7.0) 완충용액과 600 µL의 0.5 mM 5, 5'-dithiobis-(2-nitro benzoic acid) (DTNB), 300 µL의 효소액과 600 µL의 5 mM acetylcholine iodide를 첨가하여 30°C의 water bath에서 5분간 incubation 시킨 후, 405 nm에서 spectrophotometer를 이용하여 20초 간격으로 10분 동안 흡광도를 측정

하였다. AChE에 대한 저해시험에 사용된 살충제는 아세톤에 희석하여 최종 농도가 10^{-8} , 10^{-7} , 10^{-6} , 10^{-5} , 10^{-4} M 농도가 되도록 완충용액 1.3 mL를 넣고 600 µL의 0.5 mM DTNB, 300 µL의 효소액과 600 µL의 5 mM acetylcholine iodide 그리고 각 농도의 살충제 200 µL를 처리하여 5분간 incubation 후에 흡광도를 측정하여 저해율을 구하였다.

Glutathione S-transferase (GST) 활성측정 : Habig *et al.* (1974)의 방법에 준하였다. 얼음 속에서 배추좀나방 4령 유충을 500 µL 0.1 M Tris-HCl (pH 7.0) 완충용액과 함께 microcentrifuge tube (2 mL)에 넣고 마쇄하여 4°C에서 14,000 rpm으로 45분 동안 원심분리한 후, 상층액을 효소원으로 사용하였다. GST의 활성 측정 방법은 cuvette에 0.1 M Tris-HCl (pH 7.0) 완충용액 2.1 mL, 효소액 300 µL, 10 mM glutathione (GSH)을 넣고 30°C의 water bath에서 5분간 incubation 시킨 후, 1 mM 1-chloro-2, 4-dinitrobenzene (CDNB)를 넣은 후 340 nm에서 spectrophotometer를 이용하여 20초 간격으로 10분 동안 흡광도를 측정하였다. Glutathione S-transferase 저해 시험에 사용된 살충제는 아세톤에 희석하여 최종농도가 10^{-8} , 10^{-7} , 10^{-6} , 10^{-5} , 10^{-4} M 농도가 되도록 1.9 mM의 완충용액을 넣고 300 µL의 효소액과 200 µL의 살충제, 기질로 300 µL의 CDNB와 GSH를 처리하여 흡광도를 측정, 이를 바탕으로 저해율을 구하였다.

통계분석

살충활성과 침투효과의 결과는 Abbott's (1925) 공식에 의해 보정살충율을 구하였으며, Tukey's studentized range test (SAS Institute, 1991)로 비교하였다.

결과 및 고찰

발육단계별 약제 감수성

Indoxacarb는 배추좀나방 1령과 3령 유충에 대해서 살충활성이 매우 높았는데 1, 3, 4령 유충의 LC₅₀ 값은 각각 0.17, 0.28, 2.89 ppm이었다(Table 1). 1령충의 LC₅₀ 값으로 비교하였을 때 3령충은 1.6배, 4령충은 17배로 발육단계가 진행될수록 약제에 대한 내성이 증가함을 알 수 있었다. 한편 이 약제는 알과 번데기에 대해서는 효과가 낮았다(Table 2). 살충제의 독성에

영향을 미치는 요인에는 발육단계, 성충수명, 영양조건, 생식조건을 들 수 있는데(Brattsten and Metcalf, 1973), Kim *et al.* (1998)은 flupyrazofos에 대한 배추좀나방 유충의 내성비(LC₅₀값으로 비교)는 1령충에 대해서 2령충은 5.1배, 3령충은 8.5배, 4령충은 16.6배로 영기가 진행됨에 따라 크게 증대하여, 본 연구의 결과와 비슷한 경향을 나타내었다.

침투이행성

Indoxacarb를 배추에 처리하여 배추좀나방 3령 유충에 대한 살충효과를 조사한 결과 엽면침투이행성과 근부침투이행성이 없음을 알 수 있었다(Table 2). 대조약제로 사용된 chlorpyrifos-methyl, flupyrazofos, pyraclofos는 추천농도에서 각각 3.3%, 6.7%, 0%의 살충율을 나타내어 엽면침투이행성의 효과는 매우 낮았으며, 근부침투이행성 또한 10%, 3.3%, 0%로 효과가 없거나 낮았다(Table 3). 식물의 잎이나 줄기 또는 뿌리에 처리된 침투이행성 살충제는 식물체 내로 흡수 이

행되어 식물체 각 부위에서 살충활성을 나타내는 장점을 갖고 있으며, 유기인계와 카바메이트계 살충제에서 침투이행 효과가 많이 보고되어 있다(Cheong *et al.*, 2000). 카바메이트계 살충제 중에서 carbofuran은 침투이행성이 뛰어난 약제로 알려져 있으며, 토양에 처리할 경우 토양의 온도, 수분 함량, 토양의 구성비, 토양 내의 교질에 의한 흡착, 토양 내에서의 용탈, 휘발 등의 물리적 요인과 미생물에 의해 분해되어지는 생물적 요인, 광분해에 의한 화학적 요인 등에 의해 효과가 달라질 수 있다(Chun *et al.*, 1986). 이런 과정들에 의해 약제는 그 특성을 상실하기도 하고, 그 활성이 소실되기도 한다. 또한 토양의 성질에 따라 흡착되는 정도가 다르게 나타나는데 토양 중에 다량으로 흡착되는 약제는 약제의 이동폭이 좁고, 반대로 흡착되는 정도가 적은 약제는 토양 내에서의 약제 이동폭이 넓어지게 된다(Bromilow, 1973). 그러나 indoxacarb는 구조상 약제가 처리된 후 침투되어 수관이나 체관계를 따라 각 부위로 이동할 수 있는 이동능력이 약하며, 토양 중에서의 흡착력이 높아 침투이행성의 효과가 낮은 것으로 생각된다.

Table 1. Insecticidal activity of indoxacarb against different instars of *P. xylostella* larvae

Insecticide	Larval instar	LC ₅₀ (ppm)	95% FL ^{a)}	TR ^{b)}
Indoxacarb	1	0.2	0.1-0.2	-
	3	0.3	0.1-0.6	1.6
	4	2.9	2.3-3.5	17.1
Chlorpyrifos-methyl	1	0.9	0.4-7.3	-
	3	2.3	0.6-4.6	2.5
	4	7.7	2.1-13.1	8.3
Flupyrazofos	1	0.1	0.1-0.2	-
	3	0.3	0.2-0.4	3.0
	4	0.3	0.2-0.4	3.3
Pyraclofos	1	3.0	1.7-3.9	-
	3	2.1	1.1-3.3	0.7
	4	9.9	7.4-12.6	3.4

^{a)} 95% Fiducial limits.

^{b)} Tolerance ratio, LC₅₀ (ppm) of 3rd and 4th instar/LC₅₀ (ppm) of 1st instar.

잔효성

배추좀나방 3령 유충에 대한 indoxacarb의 잔효성은 Fig. 1과 같다. 이 약제는 처리후 7일째까지 100%의 높은 살충활성을 나타냈으며, 10일째에는 76%로 효과가 지속되었으나, 14일째에는 32%로 효과가 급격히 떨어지는 것으로 나타났다. 대조약제인 chlorpyrifos-methyl, pyraclofos, flupyrazofos는 처리 10일째부터 20% 이하의 낮은 살충율을 나타내어 indoxacarb에 비해 잔효성이 떨어지는 것을 알 수 있었다. 따라서 이 약제는 처리 후 지속적인 방제효과를 보이기 때문에 사용측면에서 장점이라 할 수 있다.

Table 2. Insecticidal activity of indoxacarb against eggs and pupae of *P. xylostella*

Developmental stage	Insecticide	Recommendeda conc.(ppm)	n ^{a)}	Corrected mortality ^{b)} (% , mean SD)
Egg	Indoxacarb	50	32	6.3±7.1 ^b
	Chlorpyrifos-methyl	500	31	7.6±4.7 ^b
	Flupyrazofos	100	22	9.8±3.5 ^b
	Pyraclofos	350	33	63.6±1.6 ^a
Pupa	Indoxacarb	50	30	10.0±5.0 ^b
	Chlorpyrifos-methyl	500	30	10.0±5.0 ^b
	Flupyrazofos	100	30	3.3±5.8 ^c
	Pyraclofos	350	30	80.0±10.0 ^a

^{a)} Number of insects tested.

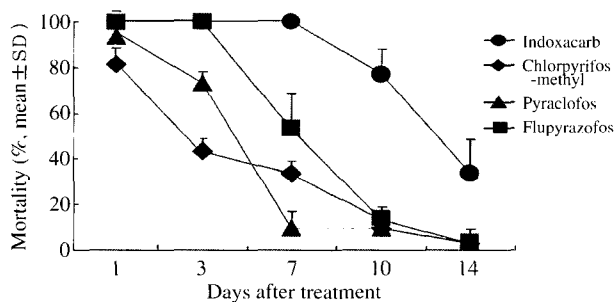
^{b)} Means followed by the same letter are not significantly different at $P=0.05$ by Tukey's studentized range test (SAS Institute, 1991).

Table 3. Systemic effects of indoxacarb against 3rd instar larvae of *P. xylostella*

Insecticide	Recommended conc.(ppm)	n ^{a)}	Corrected mortality ^{b)} (%; mean SD)
Foliar systemic test			
Indoxacarb	50	30	0.0±0.0 c
Chlorpyrifos-methyl	500	30	3.3±5.8 b
Flupyrzofos	100	30	6.7±5.8 a
Pyraclufos	350	30	0.0±0.0 c
Root-uptake systemic test			
Indoxacarb	50	30	0.0±0.0 c
Chlorpyrifos-methyl	500	30	10.0±15.3 a
Flupyrzofos	100	30	3.3±5.8 b
Pyraclufos	350	30	0.0±0.0 c

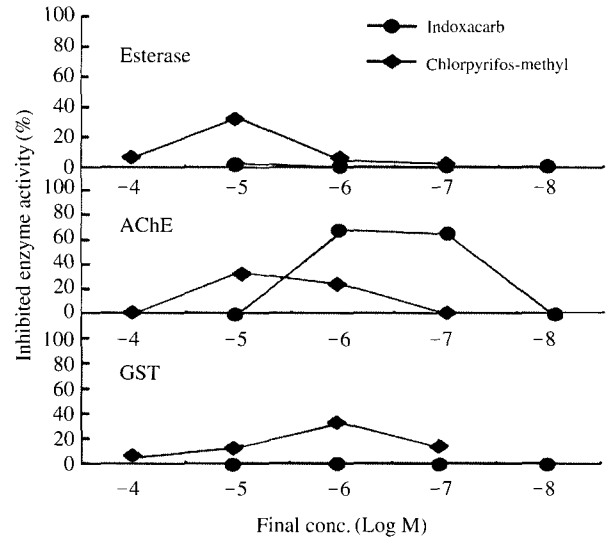
^{a)} Number of insects tested.

^{b)} Means followed by the same letter are not significantly different at $P = 0.05$ by Tukey's studentized range test (SAS Institute, 1991).

**Fig. 1.** Residual effects of indoxacarb against 3rd instar larvae of *P. xylostella* under greenhouse condition.

효소활성 저해시험

배추좀나방 4령 유충의 효소에 대한 indoxacarb의 활성 저해 정도는 Fig. 2와 같다. 농도에 관계없이 esterase와 GST의 활성은 저해하지 않았으나, 10^{-6} 과 10^{-7} M에서 AChE의 활성을 저해하였다. 대조약제인 chlorpyrifos-methyl은 10^{-5} M에서 esterase의 활성을 저해하였으나, AChE와 GST의 활성은 저해하지 않았다. 이러한 결과는 indoxacarb의 대사에 esterase와 GST가 관여하지 않기 때문인 것으로 생각된다. 한편 이 약제는 10^{-6} M과 10^{-5} M 농도에서 대조 약제인 chlorpyrifos-methyl보다 낮은 농도에서 AChE 활성을 강하게 저해하였다. 이 시험에 사용된 배추좀나방은 chlorpyrifos-methyl에서 AChE가 저해되어 어느 정도 저항성을 가지고 있는 개체들로 생각된다. Indoxacarb가 배추좀나방의 AChE를 저해한다는 것은 유기인계에 저항성인 해충의 방제에 이용될 수 있을 가능성을

**Fig. 2.** Inhibition of esterase, acetylcholinesterase (AChE) and glutathione *S*-transferase (GST) activities from *P. xylostella* by indoxacarb and chlorpyrifos-methyl.

시사하고 있다. 이 약제의 작용기작으로 Wing *et al.* (2000)은 곤충의 sodium channel blocker로 작용하여 살충작용을 나타내는 것으로 보고하였으며(Tsurubuchi and Kono, 2003), AChE 활성저해도 중요한 역할을 하는 것으로 생각된다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 indoxacarb는 배추좀나방에 대해서 높은 살충효과와 지속성을 나타내어 우수한 살충제라 생각되며, 배추좀나방의 종합적해충 관리에 적용이 가능할 것으로 생각된다.

Literature Cited

- Abbott, W.S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 18: 265~267.
- Bostanian, N.J., C. Vincent, J.M. Hardman and N. Larocque. 2004. Toxicity of indoxacarb to two species of predacious mites and a predacious Mirid. *Pest Manag. Sci.* 60: 483~486.
- Brattsten, L.B. and R.L. Metcalf. 1973. Age-dependent variations in the response of several species of diptera to insecticidal chemicals. *Pestic. Biochem. Physiol.* 3: 189~198.
- Bromilow, R.H. 1973. Breakdown and fate of oximecarbamate nematocides in crop and soils. *Ann. Appl. Biol.* 75: 473~479.
- Cheong, Y.H., J.O. Kim, J.H. Kim, Y.D. Lee, C.H. Lim and J.H. Hur. 2000. The newest pesticide. *Sigma*. p. 30.
- Cho, J.M., K.J. Kim, S.M. Kim, J.H. Hur and D.S. Han. 2001. Diamondback moth (*Plutella xylostella* L.) resistance to organophosphorus and carbamate insecticides in Kangwon alpine vegetable croplands. *Korean J. Pestic. Sci.* 5: 30~35.
- Chun, J.C., H.S. Ryang, J.C. Kim and B.H. Kang. 1986. Research on herbicide behavior in soil and plants in Korea. *Korean J. Weed Sci.* 6: 149~155.

- Ellman, G.L., K.D. Coutney, V. Andres, J. and B.C. Featherstone. 1961. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochem. Pharmacol.* 7: 88-95.
- Habig, W.H., M.J. Pabst and W.B. Jakoby. 1974. Glutathione *S*-transferases: The first enzymatic step in mercapturic acid formation. *J. Biol. Chem.* 249: 7130-7139.
- Harder, H.H., S.L. Riley, S.F. McCann and S.N., Irving. 1996. DPX-MP062: a novel, broad-spectrum, environmentally soft insect control compound. Proceeding of the 1996 Brighton Conference, Brighton, UK.
- Joia, B.S., A.S. Udean and R.P. Chawla. 1996. Toxicity of cartap hydrochloride and other insecticides to multi-resistant strains of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) in the Punjab. *Int. Pest Control* 38: 158-1159.
- Kim, G.H., S.J. Moon, Y.D. Chang and K.Y. Cho. 1998. Property of action of new insecticide, flupyrazofos against diamondback moth, *Plutella xylostella*. *Korean J. Pestic. Sci.* 2: 117-125.
- Kim, K.J., S.S. Kim, S.M. Kim and J.H. Hur. 2003. Characteristic of resistance to chlorpyrifos in diamondback moth (*Plutella xylostella* L.). *Korean J. Pestic. Sci.* 7: 288-295.
- McCann, S.F., G.D. Annis, R. Shapiro, D.W. Piotrowski, G.P. Lahm, J.K. Long, K.C. Lee, M.M. Hughes, B.J. Myers, S.M. Griswold, B.M. Reeves, R.W. March, P.L. Sharpe, P. Lowder, W.E. Barnette and K.D. Wing. 2001. The discovery of indoxacarb: oxadiazines as a new class of pyrazoline-type insecticides. *Pest Manag. Sci.* 57: 153-164.
- Mohan, M. and G.T. Gujar. 2000. Susceptibility pattern and development of resistance in the diamondback moth, *Plutella xylostella* L., to *Bacillus thuringiensis* Berl var *kurstaki* in India. *Pest Manag. Sci.* 56: 189-194.
- Narahashi, T., J.M. Frey and K.S. Ginsberg, K. Nagata, M.L. Roy and H. Tatebayashi. 1995. Sodium channels and gammaaminobutyric acid activated channels as target sites of insecticides. In Clark JM (ed): *Molecular Action of Insecticides on Ion Channels*. Washington, DC: American Chemical Society, ACS Symposium Series No. 591, p. 26-43.
- Ninsin, K.D. 2004. Acetamidprid resistance and cross-resistance in the diamondback moth, *Plutella xylostella*. *Pest. Manag. Sci.* 60: 839-841.
- Noubar, J.B. and A. Mohammed. 2004. The contact toxicity of indoxacarb and five other insecticides to *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae) and *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Braconidae), beneficials used in the greenhouse industry. *Pest Manag. Sci.* (in press).
- Olszak, R.W. and Z. Pluciennik. 1998. Preliminary investigations on effectiveness of two modern insecticides in controlling codling moth, plum fruit moth and leaf rollers. Proceedings of the 1998 Brighton Conference, Brighton, UK.
- SAS Institute. 1991. SAS/STAT User's Guide: Statistics, version 6.04. SAS Institute, Cary, N.C., U.S.A.
- Sullivan, M.J., S.G., Turnipseed and D. Robinson. 1999. Insecticidal efficacy against a complex of fall and beet armyworms and soybean looper in south Carolina cotton. Proceedings of the 1999 Beltwide Cotton Conference, p. 1034-1036.
- Talekar, N.S. and A.M. Shelton. 1993. Biology, ecology and management of diamondback moth. *Annu. Rev. Entomol.* 38: 275-301.
- Talekar, N.S. and T.D. Griggs. 1986. Diamondback moth management. Proceedings of the first international workshop, Tainan, Taiwan. 471 pp.
- Tomlin, C.D.S. 2003. The pesticide manual. BCPC. p. 572-573.
- Tsurubuchi, Y. and Y. Kono. 2003. Modulation of sodium channels by the oxadiazine insecticide indoxacarb and its *N*-decarboxymethylated metabolite in rat dorsal root ganglion neurons. *Pest Manag. Sci.* 59: 999-1006.
- Van Asperen, K.J. 1962. A study of housefly esterase by means of sensitive colorimetric method. *J. Insect Pathol.* 8: 401-416.
- Wing, K.D., M. Sacher, Y. Kagaya, Y. Tsurubuchi, L. Mulderig, M. Connair and M. Schnee. 2000. Bioactivation and mode of action of the oxadiazine indoxacarb in insects. *Crop Protection* 19: 537-545.

(Received for publication 15 November 2004;
accepted 15 December 2004)