韓應昆誌 46(2): 251~259 (2007)
Korean J. Appl. Entomol.

배추나비고치벌(*Cotesia glomerata*)에 대한 저독성 약제 및 잔류독성

최병렬* · 이시우 · 박형만
농업과학기술원 농업생물부 농업해충과

Selection of Low Toxic Pesticides and Residual Toxicity to *Cotesia glomerata*

Byeong-Ryeol Choi*, Si-Woo Lee and Hyung-Man Park
Applied Entomology Division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Research and Technology, Suwon, Korea

ABSTRACT : For the development of integrated pest management system by harmonizing biological and chemical control, some experiments were carried out to select low toxic pesticides against natural enemies, and their residual toxicity were evaluated. Leaf dipping method, body dipping method, and diet treatment method were set up for the toxicity evaluation against *Cotesia glomerata* adults. We had tested 46 different pesticides (31 insecticides, 11 fungicides, 4 herbicides) at recommending concentration commonly used to control diamond back moth, disease and up-land weeds in chinese cabbage field. Twenty three insecticides, eleven fungicides, and four herbicides were shown to be low toxic to *C. glomerata* adults in the treatment of body dipping. After insecticide spraying at recommending dose on the chinese cabbage, we examined residual effect of insecticides by introducing natural enemies on different days. Safety interval for the introduction of *C. glomerata* adults was established according to the residual toxicity of pesticides. Safe insecticides for the introduction of *C. glomerata* adults at one day after treatment (DAT) were thiacloprid, acephate, chlorfenapyr, clothianidin and at 3 DAT were imidacloprid, deltamethrin, thiamethoxam, dimethylvinphos, emamectin benzoate.

KEY WORDS : *Cotesia glomerata*, Low toxic, Pesticide, Insecticide, Fungicide, Herbicide

초 록 : 고랭지배추 재배지에 발생하는 나방류 해충의 방제에 생물적방제와 화학적방제의 조화로운 이용을 위하여, 배추 재배 시 사용되는 약제 중 배추좀나방의 천적인 배추나비고치벌(*Cotesia glomerata*)에 대해 저독성을 보이는 약제를 선발하고 잔류독성을 평가하였다. 배추나비고치벌에 대한 저독성 약제 선발 방법으로 먹이처리법(Diet treatment method), 잎침지처리법(Leaf dipping method) 및 충체침지처리법(Body dipping method)을 확립하였다. 배추에 등록되어 있는 주요 살충제 31종을 추천농도로 희석한 후 배추나비고치벌 성충을 충체침지처리한 결과 22종이 저독성 약제로 선발되었으며, 배추에 등록된 살균제 및 제초제 15종은 배추나비고치벌 성충에 모두 독성이 낮았다. 배추에 13종의 살충제를 처리하여 일수별로 배추나비고치벌 성충에 대한 잔류독성을 평가한 결과, 약제처리 1일후에 방사해도 안전한 약제는 thiacloprid, acephate, chlorfenapyr, clothianidin의 4종이었으며, 3일후에 방사가 가능한 약제는 imidacloprid, deltamethrin, thiamethoxam, dimethylvinphos, emamectin benzoate이었다.

검색어 : *Cotesia glomerata*, 저독성, 농약, 살충제, 살균제, 제초제

*Corresponding author. E-mail: brchoi@rda.go.kr

고랭지 배추에 발생하는 해충은 진딧물, 배추좀나방, 도둑나방, 배추흰나비, 배추벼룩잎벌레 등으로 그 중 피해가 가장 심한 배추좀나방은 나비목 집나방과에 속하는 아주 작은 해충으로 일부 농가에서는 낙하산벌레라고 부르기도 하는데, 배추, 무, 양배추 등 주로 십자화과 작물을 가해한다(RDA, 2002). 배추좀나방은 필리핀, 태국 등 동남아시아 지역의 열대지방에서부터 캐나다 북부의 고위도 한대 지방까지 광범위하게 분포하는 세계적인 해충이다. 우리나라에서 이 해충이 문제되기 시작한 것은 1980년대 중반부터이며 초기에는 일부 도시근교의 채소재배단지에서 발생하기 시작하였다(RDA, 1999, 2002).

배추좀나방의 발생 면적 증가와 더불어 피해가 늘어남에 따라 이를 방제하기 위해 사용되는 농약사용량도 점차적으로 증가되어 환경오염, 농산물의 농약잔류문제 등 농약사용에서 오는 부작용의 증가로 인해 농약 사용량의 절감이 절실히 요구되고 있는 실정이며, 특히 십자화과 채소류의 재배가 단지화되고 연작되면서 채소의 해충방제를 위한 약제의 집중살포로 천적이 감소하고 배추좀나방같이 세대기간이 짧은 채소 해충의 연중발생으로(9~12세대) 약제에 대한 저항성이 빠르게 발달되어 약제방제 효과가 떨어져 방제에 어려움이 많은 실정이다(Miyata, 1989; Saito *et al.*, 1995, 1996).

최근에는 이러한 농약사용의 부작용을 최소화하기 위해 생물적 방제기술을 적극 도입하여 사용하고 있는데, 현재 우리나라에서는 배추나비고치벌을 이용한 배추좀나방의 방제법이 활발히 연구되고 있다. 그러나 천적을 이용한 생물적 방제법으로만 해충의 발생밀도를 억제하기에는 많은 어려움이 있기 때문에 병해충을 효율적으로 방제하기 위해서는 생물적 방제와 화학적 방제를 상호보완적으로 사용하는 해충관리기술(Integrated Pest Management) 개발이 필요하게 되었다(Greathead, 1995). 이를 반영하듯 최근에는 해충 방제를 위해 농약과 천적의 조화로운 사용을 위한 시스템 개발에 상당한 관심을 가지고 있으며, 농약과 천적의 이용 시스템 중 가장 중요한 부분의 하나는 해충을 방제하기위해 투입되는 천적에 대해 안전한 농약을 선발하는 것이다.

따라서 본시험은 농약절감과 천적보호에 의한 생물적 방제의 효율성을 높여 농약의 사용량을 줄임으로써 농약이 환경에 미치는 부작용을 최소화하는 것을 목표로 고랭지 배추 주요해충인 배추좀나방의 유충기생성 천적인 배추나비고치벌 성충에 대해 저독성 약제를 선발하고, 약제처리 후 잔류독성 평가에 의한 천적 안전방사시기를 설정하고자 하였다.

재료 및 방법

천적에 대한 저독성약제 선발

가. 실험 천적

실험에 사용한 배추좀나방은 2005년 강원도 태백에서 채집된 야외계통으로 실내에서 농약에 노출시키지 않고 누대 사육하였으며, 배추나비고치벌(*Cotesia glomerata*)은 고랭지농업연구소에서 사육 및 증식한 용태의 천적을 아크릴케이지(20 cm × 15 cm × 20 cm)에 넣고 우화하여 나오는 성충을 사용하여 약제처리를 하였고, 먹이로는 꿀을 공급하였다. 실험실 조건은 온도 22-25℃, 광주기 16L : 8D, 상대습도 50-60%로 하였다.

나. 실험 약제

본 실험에 사용한 약제는 배추에 등록된 살충제, 살균제, 제초제이었으며, 사용 농약 수는 제품 기준으로 총 46종이었다. 저독성약제 선발 시 약제 영향 정도는 국제생물적방제기구(IOBC)에서 설정한 기준에 따라 실내시험에서 4단계로 나누어 ① 치사율이 <30%는 영향이 없음, ② 31-80%는 약간 영향이 있고, ③ 81-99%는 영향이 많고, ④ >99%는 악영향이 있는 것으로 평가하였다(Battlett *et al.*, 1994; Hassan *et al.*, 1985).

다. 생물검정법

1) 충체침지법

충체침지처리법은 고치벌 성충 30마리를 CO_2로 10초간 마취하고 망사(10×10 cm)로 싸서 소정농도로 희석된 약액에(200 ml 비이커)에 10초간 침지하고, 티슈를 이용하여 습기를 제거하였다. 처리된 성충은 붓으로 10마리씩 샤레(Φ 9 cm 샤레에 1% 아가를 넣고 그 위에 배추잎을 넣음)에 옮겨주고 먹이로 꿀을 뚜껑에 발라주었다. 처리된 페트리디쉬는 25±1℃, 상대습도 65±5%, 광주기 16 : 8 (L : D)로 조절된 항온실 내에 96시간동안 보관하면서 24시간, 48시간, 72시간, 96시간 후의 사충수를 조사하였다. 모든 실험은 3반복으로 수행하였으며 반복 당 30마리의 고치벌 성충을 사용하였다. 독성 평가 및 분류는 IOBC 설정기준에 따라 하였다. 반수치사농도는 Probit 분석법으로 구하였으며 SAS (SAS Institute, 2001) 프로그램을 이용하였다.

2) 잎침지법

잎침지법은 FAO (1982)에서 고안한 방법을 약간 변형하여 사용하였다. 약제의 살포 없이 온실에서 재배한 배추잎을 둥글게 잘라서(지름 9 cm) 소정농도로 희석된 약액이 들어있는 200 ml 비이커에 30초 간 침지한 후 약 30분 동안 흡후드에서 음건하였다. 무처리는 증류수에 동일한 방법으로 처리하였다. 음건한 잎은 agar 1%가 들어있는 페트리디쉬(Φ 9 cm)에 넣고 고치벌 성충을 10마리씩 접종하고 먹이로 뚜껑에 꿀을 발라주었다. 처리된 페트리디쉬는 25±1℃, 상대습도 65±5%, 광주기 16 : 8 (L : D)로 조절된 항온실 내에 96시간동안 보관하면서 24시간, 48시간, 72시간, 96시간 후의 살충율을 조사하였다. 모든 실험은 충체침지법과 같이 3반복으로 수행하였으며 반복 당 30마리의 고치벌 성충을 사용하였고 독성 평가 및 분류는 IOBC 설정기준에 따라 하였다. 자료 분석은 충체침지법과 동일하게 수행하였다.

3) 약액식이혼입법

10% 설탕물에 농약을 소정농도로 희석하고 솜에 희석된 약액을 묻혀 agar 1%가 들어있는 페트리디쉬(Φ 9 cm)에 넣고 고치벌 성충을 10마리씩 접종하였다. 처리된 페트리디쉬는 25±1℃, 상대습도 65±5%, 광주기 16 : 8 (L : D)로 조정된 항온실 내에 4일 동안 보관하면서 24시간, 48시간, 72시간, 96시간 후의 살충율을 조사하였다. 실험은 3반복으로 수행하였으며 농도 당 30마리의 고치벌 성충을 사용하였다. 자료 분석은 충체침지법과 동일하게 수행하였다.

배추나비고치벌 성충에 대한 잔류독성 평가

배추나비고치벌 성충에 대한 살충제의 잔류독성을 평가하기 위하여 실내 예비실험에서 선발된 살충제를 사용하였다. 배추는 4월 초순에 온실에 정식하고 15일이 경과된 후 선발된 약제를 추천농도로 희석하여 식물체위에 분무기를 이용하여 약액이 흘러내릴 정도로 충분하게 살포하였다. 약제처리 후 각각 1, 3, 7, 14, 18, 23일에 잎을 잘라 0.1% 아가가 들어 있는 콤펙트샤레(Φ 9 cm × H 4.5 cm)에 넣고 그 위에 먹이로 꿀을 바른 후 고치벌 성충을 각 샤레당 10마리씩 접종하였다. 처리 후 1, 2, 3일에 사충율을 조사하였으며 실험은 3반복으로 수행하였다. 조사된 사충율은 보정사충율(Abbott, 1925)로 환산하여 30% 이하의 사충율을 보이는 시기를 안전방사시기로 설정 하였다.

결과 및 고찰

천적에 대한 저독성 약제 선발

배추나비고치벌 성충에 대한 실험살충제의 반수치사농도로 독성을 평가, 비교한 결과는 Table 1과 같다. 식이법에 의한 각 약제의 배추나비고치벌에 대한 반수치사농도는 chlorpyrifos WP (0.8 ppm), emamectin benzoate EC (1.2 ppm), spinosad SC (2.2 ppm), diazinon EC (3.4 ppm), prothiofos EC (17.3 ppm), ethofenprox EC (25.3 ppm), furathiocarb EC (30.8 ppm), alphathrin EC (60.0 ppm) 순으로 높았으며, 잎침지법에서는 emamectin benzoate EC (1.0 ppm), chlorpyrifos WP (1.3 ppm), diazinon EC (2.3 ppm), spinosad SC (5.5 ppm) prothiofos EC (50.2 ppm), ethofenprox EC (52.2 ppm), alphathrin EC (184.7 ppm), furathiocarb EC (311.9 ppm)이었다. 충체침지처리에서는 emamectin benzoate, spinosad 유기인계인 chlor-

Table 1. Comparison of insecticide toxicity to *Cotesia glomerata*

Insecticide	Food treatment		Leaf dipping		Body dipping	
	LC_{50} (ppm)	Slope±SE	LC_{50} (ppm)	Slope±SE	LC_{50} (ppm)	Slope±SE
Chlorpyrifos WP	0.8	3.9±0.9	1.3	3.0±0.8	15.5	2.0±0.4
Diazinon EC	3.4	3.3±0.8	2.3	4.8±0.1	12.9	3.7±0.9
Prothiofos EC	17.3	5.7±0.2	50.2	4.6±1.0	267.6	3.9±0.8
Furathiocarb EC	30.8	2.1±0.5	311.9	2.9±0.6	184.4	3.9±0.8
Alphathrin EC	60.0	2.5±0.6	184.7	2.7±1.0	205.7	5.7±1.1
Ethofenprox EC	25.3	2.2±0.3	52.2	2.6±0.5	155.9	2.7±0.6
Emamectin benzoate EC	1.2	1.1±0.2	1.0	2.0±0.5	1.1	1.9±0.4
Spinosad SC	2.2	3.1±0.6	5.5	1.2±0.3	4.4	2.8±0.8

※ Mortality: 48 hours after treatment.

pyrifos가 낮은 반수치사농도를 보였다. 3가지 생물검정법으로 배추나비고치벌에 평가한 각 약제의 독성은 유기인계와 emamectin benzoate EC, spinosad SC이 높은 독성을 보인반면, 피레스로이드계인 alphathrin EC, ethofenprox EC와 카바메이트계인 furathiocarb EC는 낮은 독성을 보였다. 동일약제의 처리방법간 독성을 비교하였을 경우에는 식이법(food treatment method)>잎침지처리법(leaf dipping method)>충체침지처리(body dipping method) 순으로 높았다. 약제식이혼입법이 높은 독성을 나타낸 것은 처리한 살충제의 작용특성은 상이하여도 고치벌 성충이 약제가 혼합된 꿀물을 흡즙한 후, 장내 소화중독에 의한 치사작용에 대한 감수성이 피부 침투에 의한 영향보다 훨씬 높은 것으로 판단되며, 잎침지처리와 충체침지처리간 비교시 잎침지처리에서 치사율이 높은 것은 침지된 잎에 잔류되어 있는 농약에 노출되거나, 일부 식물체내로 이행되어 있는 약액을 흡즙하므로서 치사율이 더 높게 나타나는 것으로 추측된다.

배추좀나방과 배추나비고치벌간 선택독성을 비교한 결과(Table 2), 배추좀나방 방제약제인 indoxacarb, diazinon, ethofenprox의 선택독성 비는 각각 0.03, 0.005, 0.2로 천적에 대한 상대 독성이 높았으며, spinosad와 prothiofos의 선택독성은 각각 2.6으로 천적에 대한 상대 독성이 낮았다. 살충제에 대한 종간 감수성 차이는 생물의 종류에 따라서만 다른 것이 아니고 같은 종 내에서도 달라지는 경우도 있는데 이는 농약과 곤충의 접촉, 충체 내 투과흡수, 충체 내 대사(활성화, 해독, 배설 등), 충체 내 이동 및 축적, 작용점에서의 반응 등의 차이 때문인 것으로 알려져 있다(Welling and Paterson, 1985).

Spinosad와 prothiofos 등은 천적보다 배추좀나방에 독성이 더 높았으나 배추나비고치벌에 대한 반수치사농도는 추천농도보다 훨씬 낮아 천적이 이들 약제에 노출될 경우 피해가 많을 것으로 판단된다. 이와 같이 곤충의 종류에 따라 독성 발현이 다른 것을 이용하여 해충에는 강한 독성을 발현하면서 천적에는 독성이 낮은 약제를 선발하여 해충방제에 이용함으로써, 해충은 효율적으로 방제하고 천적은 보호하여 농업생태계의 균형을 유지함으로써 배추에 발생하는 해충을 종합적으로 방제가 가능할 것으로 생각된다.

배추에 등록된 31종의 살충제를 추천농도로 희석하여 배추나비고치벌 성충을 침지처리하여 독성을 평가한 결과는 Table 3과 같다. 국제생물적방제기구(IOBC)의 기준(Hassan *et al.*, 1985)에 따라 100% 이상의 살충률을 해로움(4등급), 81-99%을 보통독성(3등급), 31-80%을 약간독성(2등급), 30%이하를 저독성약제(1등급)로 분류한 결과, 직접접촉에 의한 치사효과를 평가할 수 있는 충체침지처리에서 30% 이하의 독성(1등급)을 보이는 약제는 유기인계 농약인 acephate WP과 카바메이트계인 furathiocarb EC, methomyl SL, 피레스로드이계인 alphathrin EC, cypermethrin EC, deltamethrin EC, esfenvalerate EC, fenvalerate EC, tralomethrin EC, bifenthrin WP, 네오니코티노이드계인 acetamiprid WP, clothianidin WP, thiacloprid SC, thiamethoxam WG, 생물농약인 BT aizawai WG, BT WP, 곤충생장조정제(IGR)인 flufenoxuron DC, lufenuron EC, methoxyfenozide SC, tebufenozide SC, teflubenzuron EC와 chlorfenapyr SC, dinotefuran WG 등 23종이었다. 31-80% (2등급)을 보이는 약제는 피레스로이드계인 ethofenprox EC와 유기인계인 prothiofos EC 이었으며, 81-99% (3등급)을 보이는 약제는 emamectin benzoate EC, spinosad SC이었다. 그리고 100% (4등급)의 치사율을 보이는 약제는 chlorpyrifos-methyl EC, chlorpyrifos WP, diazinon EC, indoxacarb SC이었다.

배추나비고치벌에 처리한 유기인계농약(acephate, chlor-

Table 2. Selective toxicity of insecticides between *Plutella xylostella* and *Cotesia glomerata*

Insecticide	Rec. Cons. (ppm)	*Plutella xylostella* (A)		*C. glomerata* (B)		ST[a] (B/A)
		LC_{50} (ppm)	Slope±SE	LC_{50} (ppm)	Slope±SE	
Indoxacarb SC	50	51.3	1.3±0.4	1.6	2.0±0.5	0.03
Diazinon EC	340	442.2	1.1±0.4	2.3	4.9±1.0	0.005
Ethofenprox EC	200	317.9	1.4±0.3	52.2	2.6±0.5	0.2
Spinosad SC	25	2.1	0.5±0.1	5.5	1.2±0.3	2.6
Prothiofos EC	500	19.3	0.9±0.2	50.2	4.6±1.0	2.6

[a] ST: Selective toxicity

* 1<ST: Toxicity shown higher pest then natural enemy
ST=0: Same toxicity to pest and natural enemy
1>ST: Toxicity shown higher natural enemy then pest

Table 3. Classification of low toxic insecticides on mortality of *Cotesia glomerata* adult by body dipping method (Lab. test)

Insecticide	Corrected mortality (%)				Category
	1DAT	2DAT	3DAT	4DAT	
Acephate WP	0	1.1±0.9	1.1±0.9	0	1
Acetamiprid WP	0	0	0	0.1±0.1	1
Alphathrin EC	1.0±0.9	2.2±0.9	1.2±0.8	0.1±0.1	1
BT aizawai WG	1.1±0.9	1.1±0.9	2.3±1.8	1.0±0.	1
BT WP	5.9±0.9	7.0±1.7	6.1±1.3	5.4±0.8	1
Chlorfenapyr SC	10.9±2.6	21.9±10.3	23.2±10.1	23.2±10.1	1
Clothianidin WP	3.2±1.5	3.2±1.5	5.4±0.9	6.6±3.2	1
Cypermethrin EC	1.1±0.9	3.6±1.6	5.9±2.5	5.3±2.6	1
Deltamethrin EC	3.1±2.6	3.1±2.6	3.1±2.6	6.7±4.1	1
Dinotefuran WG	7.0±1.5	7.0±1.5	6.0±2.3	7.6±3.1	1
Esfenvalerate EC	2.2±0.9	3.3±0.1	2.3±0.8	0.2±0.1	1
Fenvalerate EC	4.2±2.3	4.2±2.3	5.5±0.9	4.6±0.7	1
Flufenoxuron DC	3.2±0.1	4.2±0.8	7.5±0.8	7.7±2.4	1
Furathiocarb EC	15.9±6.5	19.2±5.3	21.4±5.7	21.1±5.3	1
Lufenuron EC	0	1.1±0.9	0.1±0.1	3.7±1.8	1
Methomyl SL	4.5±0.9	4.5±0.9	4.6±0.8	2.4±1.0	1
Methoxyfenozide SC	2.2±0.9	2.2±0.9	2.2±0.9	2.3±1.8	1
Tebufenozide SC	2.1±0.9	2.1±0.9	5.3±0.8	7.4±3.1	1
Teflubenzuron EC	0	1.1±0.9	1.3±0.9	3.6±1.8	1
Thiacloprid SC	0	2.2±0.9	2.3±0.8	4.8±0.9	1
Thiamethoxam WG	1.1±0.9	4.3±0.9	3.4±0.1	9.1±1.7	1
Tralomethrin EC	1.1±0.9	1.1±0.9	2.2±0.8	6.7±3.2	1
Bifenthrin WP	3.0±0.1	3.0±0.1	2.0±0.8	1.0±0.8	1
Ethofenprox EC	61.3±7.8	61.3±7.8	61.9±8.6	60.8±8.3	2
Prothiofos EC	50.2±7.5	55.7±9.6	58.4±11.0	58.7±10.2	2
Emamectin benzoate EC	94.9±4.2	94.9±4.2	95.0±4.3	95.0±4.3	3
Spinosad SC	82.7±8.7	82.7±8.7	85.2±9.9	86.2±9.0	3
Chlorpyrifos -methyl EC	100	100	100	100	4
Chlorpyrifos WP	100	100	100	100	4
Diazinon EC	100	100	100	100	4
Indoxacarb SC	100	100	100	100	4
Control	0	0	1.1±0.9	4.3±1.0	-

* DC: dispersible concentrate, EC: emulsifiable concentrate, EW: emulsion in water, SC: suspension concentrate, SG: water soluble granule, SL: soluble concentrate, WG: water dispersible granule, WP: wettable powder

** Four evaluation categories (IOBC)

① harmless (mortality, 0~30%), ② slightly harmful (mortality, 30~80%),

③ Moderately harmful (mortality, 80~99%), ④ Harmful (mortality, 99~100%)

pyrifos-methyl, chlorpyrifos, diazinon)중에서는 acephate만 저독성을 보였는데 이는 Feng and Wang (1984)의 같은 속(*Cotesia* spp.)인 푸루텔고치벌 실험에서도 유사한 경향을 보였으며, 익충에 대한 잔류독성도 짧아(Tomlin, 2006) 기존 유기인계 농약중에서는 포장에서 천적과 농약을 상호보완적으로 사용할 수 있는 약제로 평가되었다. 또한 실험에 사용한 피레스로이드계 농약은 ethofenprox를 제외하고 배추나비고치벌에 대해 저독성을 보였는데 Kao and Tzeng (1992)의 푸루텔고치벌에 대한 실험에서도 같은 경향을 보여 피레스로이드계 농약의 안전성을

확인하였다. 최근 배추재배지에 사용량이 증가되고 있는 네오니코티노이드계(acetamiprid WP, clothianidin WP, thiacloprid SC, thiamethoxam WG) 농약은 배추나비고치벌 성충에 대해 저독성이었으나, 일반적으로 흡즙 특성을 보이는 포식성천적(애꽃노린재)에 대한 치사율은 높다고 보고되고 있어(Ahn *et al.*, 2004) 사용상 주의가 필요하다. 친환경농업 지역에 많이 사용되고 있는 미생물농약인 비티수화제는 배추나비고치벌 성충에 대해 독성이 낮았는데(Chilcutt and Tabashink 1999), Kao and Tzeng (1992)은 *Cotesia* 속의 기생봉에 대한 독성 평가에서도 독성이 없는 것으로 평가하였다. 일부 보고(Uematsu and Yamashita, 1999)에서는 비티수화제는 *Cotesia* 성충에 대해 독성은 없었으나, 약제처리 후 기생율이 낮아진다고 하였는데 이는 포장상태에서는 푸르텔고치벌과 기생봉에 대해 기주의 년령, 밀도 여러가지 환경요소에 의해 영향을 받기때문이라고 하였고, Loganathan *et al.* (2001)은 비록 Bt 살충제들은 일반적으로 푸루텔고치벌에 부작용을 보이지 않는다고 보고하였는데, 그들의 실험중에 약제를 살포한 곳보다 살포하지 않은곳에서 기생율은 높았지만 이는 약제처리한곳에서 배추좀나방의 밀도가 낮았기 때문이라고 하였다(Liu and Sparks, 1999).

곤충의 큐티클 형성을 저해하거나, 유충 및 약충의 탈피 촉진 및 억제에 의한 치사작용을 일으키는 약제인 IGR 농약(Degheele, 1990)은 본 실험에서는 치사율이 낮은 저독성 농약으로 평가되었으나, Haseeb and Amano (2002)는 IGR (chlorfluazuron, flufenoxuron, teflubenzuron) 농약을 살포 후 고치벌의 기생율이 감소되는 현상을 보고하였는데 이는 IGR 농약이 포장에서 농약에 노출된 먹이를 섭취한 기생봉 성충의 난형성과 기주인 유충에 산란한 알의 성장에 영향을 미쳐서 발생되는 현상으로 추측된다 하였다. 따라서 고치벌 성충이 출현하는 시기에는 주변 십자화과에 농약살포를 피하여 천적보호 전략이 필요한 것으로 생각된다. Indoxacarb는 노린재목 포식성 천적(*Geocoris* spp., *Orius* spp., and *Nabis* spp.), 벌목의 기생봉(*Aphidius* sp., *Cotesia* sp., *Bracon* spp., *Microplitis* spp., *Trichogramma* sp.), 거미, 포식성응애, 무당벌레 등에 대해 독성이 낮다고 보고하였으나(Anonymous, 1998, Ruberson and Tillman, 1999), 배추나비고치벌에 대해서는 독성이 높게 나타났다. Spinosad는 배추나비고치벌에 대한 독성은 높았는데 푸루텔고치벌 및 벌목에 대한 독성 평가에서도 유사한 경향을 보였으며(Pietrantonio and Benedict, 1999), Tillman (2002)은 익충에 대해 직접접촉 및 잔류독성에 의해 높은 독성을 보인다고 보고하고 있어 천적 투입시 사용에 제한되어야 할 농약으로 판단된다.

배추에 등록되어 있는 살균제 11종과 제초제 4종을 배추나비고치벌에 처리 한 후 독성을 조사한 결과(Table 4),

Table 4. Classification of low toxic fungicides and herbicides on mortality of *Microplitis* sp. adult by body dipping method (Lab. test).

Insecticide	Corrected mortality (%)			
	1DAT	2DAT	3DAT	4DAT
Oxolinic acid WP	0	0	0	0
Metalaxyl-M · mancozeb WP	0	0	0	0
Metasyldong WP	0	0	0	0
Cyazofamid SC	0	0	3.3±2.8	3.3±2.8
Zoxamide · cymoxanil WP	0	0	0	0
Fosetyl-Al WP	0	0	3.3±2.8	3.3±2.8
Nongyongcin WP	0	0	3.3±2.8	3.3±2.8
Validamycin-A SL	0	0	0	0
Dimethomorph · copper oxychloride WP	0	0	0	0
Streptomycin · chlorothalonil WP	0	0	0	0
Pyrimethanil · chlorothalonil SC	0	0	0	0
Pendi EC	0	0	0	0
Sethoxydim EC	0	0	0	0
Tilin EC	0	0	0	0
Phamid WP	0	0	0	0
Control	0	0	0	0

* Body dipping method,

** Mortality (%): 48 hours after treatment

노균병 방제약제인 dimethomorph · copper oxychloride WP, metalaxyl-M · mancozeb WP, metasyldong WP, cyazofamid SC, zoxamide · cymoxanil WP, copper WP, fosetyl-Al WP 등 7종, 세균성썩음병 방제약제인 nong-yongcin WP, validamycin-A SL, streptomycin · chloro-thalonil WP, oxolinic acid WP, 무사마귀병 방제약제인 pyrimethanil · chlorothalonil SC 등 처리한 모든 약제는 배추나비고치벌에 대해 저독성을 보였다. 배추에 등록된 제초제인 sethoxydim EC, trilin EC, phamid WP, pendi EC도 저독성을 보였다.

배추나비고치벌에 대한 잔류독성

배추에 등록된 13종의 약제를 경엽살포 후 배추나비고치벌 성충의 안전방사시기를 설정한 결과는 Table 5와 같다. 약제처리 후 1일에 배추나비고치벌 성충을 방사하여도 안전한 약제는 thiacloprid SC, acephate WP, chlorfenapyr SC, clothianidin SC이었으며, 3일에 안전한 약제는 imidacloprid WP, deltamethrin EC, thiamethoxam WG, dimethylvinphos EC, emamectin benzoate EC이었다. 7일 이상 경과되어야 안전한 약제는 diazinon EC, prothiofos EC이었으며, 약제처리 후 14일에 안전한 약제는 spinosad SC, chlorpyrifos EC이었다. 네오니코티노이드계 농약 중 thiacloprid, clothianidin은 식물체 분무 후 1일차에 천적을 노출 시킬 경우 독성이 낮게 나타났으나, 동일계통인 imidacloprid와 thiamethoxam은 약제처리 후 1일차에는 높은 독성을 보였다. 하지만 3일차의 잔류독성 평가에서는 저독성을 보였다. 이계통의 농약은 수용성이 높아 식물체에 분무하거나 관주하였을 경우 식물체내로 이행이 잘되며 또한 잔류기간이 30일 이상 유지되는 경향을 보이는데(Choi *et al.*, 2001), 본 실험에서 짧은 잔류독성을 보이는 것은 살포된 약액이 배추체내로 이행됨에 따라 배추 표면에서의 접촉독성이 낮아진 것에 의한 것으로 추측된다. 하지만 노지에서 약액을 살포 후 이행되어 있는 식물체의 화밀(nectar)을 흡즙하였을 경우 배추나비고치벌의 치사 가능성은 높은 것으로 생각된다(Haseeb *et al.*, 2000). 일반적으로 피레스로이드계 농약은 포장에서는 5일 이하의 짧은 반감기를 보이는데(Willis and McDowell, 1987) 본 실험에서도 시험된 피레스로이드계 농약 대부분은 짧은 잔류독성을 보여 생물적 방제에서 천적 투입 전 사용할 수 있는 약제로 판단된다. Chlorfenapyr와 emamectin benzoate는 엽육에 빠르게 이행되나, 자외선에 노출될 경우 분해가 잘 되는 특성을 보이는데(Lasta and Dybas, 1991) 본 실험에서 약제처리 후 3일차에는 치사율이 30% 이하로 보여 잔류독성이 짧은 특성을 보였다. 본 실험에 사용된 유기인계 농약(prothiofos, chlorpyrifos)은 약제처리 후 14일경에 치사율이 각각 0, 18%로 잔류독성이 긴 특성을 보여 사용 시 천적의 밀도가 낮은 시기에

Table 5. Safety introduction time of *Cotesia glomerata* on chinese cabbage treated by insecticides in green house

Insecticide	Corrected mortality (%)[a]					
	1DAT	3DAT	7DAT	14DAT	18DAT	23DAT
Thiacloprid SC	0	0	0	0	0	0
Acephate WP	3.7±3.0	0	0	0	0	0
Chlorfenapyr SC	0	0	0	0	0	0
Clothianidin SC	3.3±2.8	0	0	0	0	0
Imidacloprid WP	100	0	0	0	0	0
Deltamethrin EC	100	0	0	0	0	0
Thiamethoxam WG	100	0	0	0	0	0
Dimethylvinphos EC	100	0	0	0	0	0
Emamectin benzoate EC	100	3.3±2.8	0	0	0	0
Diazinon EC	100	100	3.3±2.8	0	0	0
Prothiofos EC	100	100	73.3±12.1	0	0	0
Spinosad SC	89.6±4.8	66.7±2.7	40.0±9.6	3.3±2.7	20.0±9.6	6.7±5.5
Chlorpyrifos EC	100	100	100	18±3.5	0	0
Control	3.3±2.8	0	0	0	0	0

[a] Mortality after application

선별적으로 사용해야 할 것으로 판단된다. Spinosad는 벌목 천적에 대해 독성이 높고 잔류독성도 긴 특성을 보였는데 Pietrantonio and Benedict (1999)이 평가한 푸루텔 고치벌 및 벌목에 대한 독성평가와 Tillman (2002)의 익충에 대한 직접접촉 및 잔류독성 평가에서도 높은 독성을 보여 본 실험과도 유사한 경향을 보였다.

고령지 배추 재배중에는 배추좀나방, 복숭아혹진딧물, 도둑나방 등 여러종류의 해충이 발생하여 피해를 주고 있다. 천적을 이용하여 방제하고 있는 방제대상 해충 외에 다른 해충의 밀도가 증가하면 약제를 이용하여 밀도를 낮추어야 하는데 사용하는 농약의 잔류독성에 의해 방사한 천적이 피해를 입어 천적에 의한 방제효과가 낮거나, 천적이 배추에 정착하는데 많은 시일이 걸리는 경우가 많다. 따라서 배추에 등록된 약제의 잔류독성 평가에 따라 농약 사용 후 천적 투입시기를 조절함으로써 천적에 미치는 영향을 최소화 시켜 천적에 의한 생물적 방제기술을 보다 실용성 있게 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

Literature Cited

Abbott, W. S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol. 18: 265-276.

Ahn K.S., K.Y. Lee, H.J. Kang, S.K. Park and G.H. Kim. 2004. Toxicity of pesticides to minute pirate bug, *Orius strigicollis* Poppius (Hemiptera: Anthocoridae), a predator of thrips. Korean J. of Appl. Entomol. 43(3): 257-262.

Anonymous, 1998. Avaunt™, insect control agent. pp. 1-7. *In* Tech. Bull. H-79164. eds. by Du Pont, Wilmington.

Battlett, K.L., N. Grandy, E.G. Harrison, S. Hasan and P. Oomen. 1994. Guidance document on regulatory testing procedures for pesticides with non-target arthropods. 51pp. SETAC-Europe.

Chilcutt, C.F. and B.E. Tabashnik. 1999. Effects of *Bacillus thuringiensis* on adults of *Cotesia plutellae* (Hymenoptera: Braconidae), a parasitoid of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). Biocontrol Sci. & Technol. 9: 435-440.

Choi B.R., S.W. Lee, Y.H. Song and Y.B. Ihm. 2001. Residual effect of imidacloprid on *Niapawata lugens* (Homoptera: Delphacidae). Korean J. Appl. Entomol. 40(1): 83-88.

Degheele, D. 1990. Chitin synthesis inhibitors: Effects on cuticle and components. pp. 377-388. *In* Pesticides and Alternatives eds. by Casida, J. Amsterdam.

FAO. 1982. Methods for adult aphids, *In* recommended methods for measurement of pest resistance to pesticides. FAO Pl. Prod. and Prot. Paper. 21: 103-106.

Feng, H.T. and T.C. Wang. 1984. Selectivity of insecticide to *Plutella xylostella* (L.) and *Apanteles plutellae* Kurdj. Plant Prot. Bull. 26: 275-284.

Greathead, D.J. 1995. Natural enemies in combination with pesticides for integrated pest management. pp. 183-197. *In* Novel approaches to integrated pest management, eds. by R. Reuveni. 369p. Lewis.

Haseeb, M. and H. Amano. 2002. Effects of contact, oral and persistent toxicity of selected insecticides on *Cotesia plutellae* (Hym., Braconidae), a potential parasitoid of *Plutella xylostella* (Lep., Plutellidae). J. Appl. Entomol. 126: 8-13.

Haseeb, M., H. Amano and H. Nemoto. 2000. Pesticidal effects on mortality and parasitism rates of *Diadegma semiclausum*, a parasitoid of the diamondback moth. Biocontrol. 45: 165-178.

Hassan, S.A., F. Bigler, D. Blaisinger, H. Bogensehutz, J. Brun, P. Chiverton, E. Dicker, M.A. Easterbrook, P.J. Edwards, W.D. Englert, S.I. Firth, P. Hung, C. Inglesfield, F. Klingauf, C. Kuhner, M.S. Ledieu, E. Naton, P.A. Oomen, W.P.J. Overmeer, P. Pleots, J.N. Robonlet, W. Rieckmann, L. Samsoe-Peterson, S.W. Shives, A. Sttaubli, J. Steenson, J.J. Tusset, G. Vanwetsinkel and A.Q. Van Zon. 1985. Standard methods to test the side-effects of pesticide on natural enemies of insects and mites developed by the IOBC/WPRS working group "Pesticides and Beneficial Organisms" Bulletin OEPP/EPPO. 15: 214-255.

Kao, S.S and C.C. Tzeng. 1992. Toxicity of insecticides to *Cotesia plutellae*, a parasitoid of diamondback moth. pp. 287-296. *In* Diamondback moth and other crucifer pests eds. N.S. Talekar. AVRDC Publication No. 92-368. Taiwan.

Lasta, J.A., R.A. Dvbas. 1991. Avermectin, a novel class of compounds: implications for use in arthropod pest control. Annu. Rev. Entomol. 36: 91-117.

Liu, T.X. and A.N. Sparks, Jr. 1999. Efficacies of some selected insecticides on cabbage looper and diamondback moth on cabbage in south Texas. Subtrop. Plant Sci. 51: 54-58.

Loganathan, M., P.C.S. Babu and G. Balasubramanian. 2001. Safety of Spicturin (R) (*Bacillus thuringiensis* var ealleriae) to the larval parasitoid, *Cotesia pluteltae* Kurdj. of *Plutella xylostella* L. on cauliflower. J. Exp. Zool. India. 4: 133-137.

Miyata, T. 1989. Development of resistance to insecticides in the diamondback moth. Current status and countermeasures. Ann. Rep. Soc. Plant Protec. North Japan 40: 1-5.

Pietrantonio, P.V. and J.H. Benedict. 1999. Effect of new cotton insecticide chemistries, tebufenozide, spinosad and chlorfenapyr, on *Orius insidious* and two *Cotesia species*. Southwest. Entomol. 24: 21-29.

RDA. 1999. Disease and insect pest on vegetable, Standard farming-47. 220pp.

RDA. 2002. Cultivation technology of Chinese cabbage, Standard farming-128. 175pp.

Ruberson, J.R. and P.G. Tillman. 1999. Effect of selected insecticides on natural enemies in cotton: laboratory studies. pp. 1210-1213. *In* Proceedings belt wide cotton conferences. eds. by P. Dugger and D. Richter. Orlando, Florida.

Saito, T., T. Miyata, N. Sinchaisri and A. Vattanatangum. 1995. Management of brown planthopper and resistance of diamondback moth. Nagoya University Cooperative Press. Nagoya, Japan.

Saito, T., T. Miyata, N. Sinchaisri, O. Sarnthoy, A. Vattanatangum, W. Rushtapakornchai and P. Keinmeesuke. 1996. Suggested countermeasures for insect resistance to insecticides in Thailand. Resistant Pest Management. 7: 4-5.

SAS Institute. 2001. SAS/STAT User's Guide, Version 8.11. Cary, NC, USA.

Tillman, P.G. 2002. Toxicity of indoxacarb to the tarnished plant bug, *Lygus lineolaris* (Hemiptera: Miridae), and the big-eyed bug, *Geocoris punctipes* (Hemiptera: Lygaeidae). pp. 296-305.

In 1st international symposium on biological control of arthropods. January 14-18, 2002. Honolulu, Hawaii.

Tomlin, C.D.S. 2006. Pesticide Manual. 14th ed. 1350pp. Surrey, UK.

Uematsu, H. and T. Yamashita. 1999. Seasonal occurrence of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) and parasitoids in some commercial cruciferous fields in Miyazaki, Southern Japan. Jap. Appl. Entomol. Zool. 43: 113-121.

Welling, W. and G.D. Paterson. 1985. Toxic dynamics of insecticides. pp. 603-645. *In* comprehensive insect physiology biochemistry and pharmacology V. 12, eds. by. G.A. Kerkut and L.I. Gilbert. Pergamon Press, New York, USA.

Willis, G.H. and L.L. McDowell. 1987. Pesticide persistence on foliage. Rev. Environ. Contam. Toxicol. 100: 23-74.

(Received for publication June 7 2007;
accepted August 18 2007)