

EPN 저항성 배추좀나방에 대한 IGR계 약제 Bistrifluron의 살충활성과 세 가지 협력제에 의한 살충활성 증진 효과

주유리 · 양정오 · 윤창만 · 김길하*

충북대학교 농업생명환경대학 식물의학과

(2009년 2월 28일 접수, 2009년 3월 11일 수리)

Insecticidal Activities and Synergism of Bistrifluron Against EPN-Resistant Strain of Diamondback Moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae)

You-Lee Joo, Jeong-Oh Yang, Changmann Yoon and Gil-Hah Kim*

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

Abstract

EPN-resistant diamondback moth were tested the developmental characteristics, longevity, fecundity and synergistic effect with synergists when treated with the bistrifluron, an inhibitor of chitin synthesis. Inhibition rate of egg hatch was below at the recommended concentration (50 ppm) to the EPN-resistant strain than EPN-non selected strain, however, mortality within 24 hr after hatching was showed as 50-60%. They did not show the difference between two strains. Mortality of larval instars were showed effective to two strains with no difference. Inhibition rate of emergence did not show any effect when treated with pupae. Moreover, they did not affect to the longevity and fecundity. When bistrifluron was treated at 50 ppm to the adult, however, longevity and fecundity was decreased with no difference between two strains. Bistrifluron to the EPN-resistant strain showed synergistic effect as high as 137.7 and 73.1 folds with synergist such as PBO (microsomal oxidase inhibitor) and polyoxin B (chitin synthetase inhibitor), respectively.

Key words diamondback moth, EPN-resistant, bistrifluron, chitin synthesis inhibitor, synergist

서 론

배추좀나방(*Plutella xylostella*)은 집나방과(Yponomeutidae)에 속하는 나비목(Lepidoptera) 해충으로, 전세계적으로 광범위하게 분포하며 배추, 무, 양배추 등 십자화과 채소에 가장 많은 피해를 주는 해충이다. 또 연간 발생세대수가 많고 1세대 기간이 20~25일 정도로 발육속도가 빠르고 포장 내에서 알, 애벌레, 번데기, 성충이 동시에 발생한다(Kim *et al.*, 1990).

배추좀나방의 유전적인 순응성은 포장에 적용하는 거의 모든 약제에 대하여 저항성을 발달시킬 수 있다(Sarfraz *et al.*, 2006). 따라서 채소재배지에서는 배추좀나방 방제를 위하여 자주 약제를 살포하기 때문에 약제에 대한 저항성이 쉽게 발달하게 된다(Cho and Lee, 1994; Furlong and Wright, 1994). 약제의 종류에 상관없이 이 해충은 유기인계(Sun *et al.*, 1978), 카바메이트계(Noppun *et al.*, 1984), 합성피레스로이드계(Liu *et al.*, 1982; Kim *et al.*, 1990) 뿐만 아니라 IGR (Insect Growth Regulator)계 약제(Peng *et al.*, 1988)와 미생물 농약인 BT제(Mohan and Gujar, 2000)에서도 저항성인 야외 개체군이 보고되었다(Tabashnik *et al.*, 1990;

*연락처 : Tel. +82-43-261-2555, Fax. +82-43-271-4414

E-mail: khkim@chungbuk.ac.kr

Song, 1991). 이러한 저항성이 최근에는 교차저항성과 복합 저항성도 나타나고 있다(Kim *et al.*, 1990; Choi *et al.*, 2004; Joia *et al.*, 1996).

따라서 이러한 살충제저항성이 발현된 배추좀나방을 방제하기 위하여 1) 기존 살충제에 대한 저항성 발현정도를 알아야 하며, 2) 발현된 살충제 저항성이 다른 살충제와 교차저항성을 어느 정도 보이는가, 3) 단제 약제에 도태시킨 계통에 다른 살충제가 살충활성을 효율적으로 나타내는가 4) 협력제의 사용시 저항성을 낮추는 협력효과가 있는가를 살펴보고야 할 것이다. 따라서 본 실험에서는 유기인계 살충제로 발달시킨 배추좀나방의 저항성이 다른 살충제, 특히 IGR계 살충제의 살충활성에 어떻게 영향을 주는지 알아보고자 하였다.

Bistrifluron은 2000년도 (주)동부한농에서 개발된 곤충생장조절제(IGR=Insect Growth Regulator)로서 작용 기작이 유기합성살충제와는 달리 곤충에만 존재하는 키틴의 생합성을 억제하고 해충의 생장과 탈피를 저해하여 살충효과를 나타내는 저독성 살충제이다(Kim *et al.*, 2000). IGR계 약제는 처리 후 빠르게 분해되어 환경에 잔류성이 낮고(Staal, 1975), 일반적으로 적용 대상외 천적이나, 인축에 대한 독성이 낮은 것으로 알려져 있다(Staal, 1975; Oberlander *et al.*, 1997).

본 연구는 EPN저항성 배추좀나방에 대한 bistrifluron의 발육단계별 살충효과와 번데기 및 성충 처리 시 산란전기간, 성충수명, 난소발육, 산란수 그리고 부화율을 조사하였다. 또한 저항성을 낮추기 위하여 협력제(piperonyl butoxide, triphenyl phosphate, polyoxin B)를 첨가하여 협력효과를 비교하였다.

재료 및 방법

실험곤충

약제 감수성계통 배추좀나방은 1999년 한국화학연구원에서 분양받아 살충제에 대한 노출없이 충북대학교 식물의학과 곤충독성학실험실 내에서 누대 사육하며 실험에 사용하였다. 저항성계통은 2005년 10월 충북 괴산군에서 채집한 배추좀나방 3령유충기에 유기인계 살충제인 EPN을 일주일 주기로 20~30% 살충률을 나타내는 농도수준에서 3년간 살포하여

저항성계통을 선발하였다. EPN저항성계통 배추좀나방은 감수성계통에 비하여 약 321배의 저항성이 발달한 저항성 계통을 이용하였다(Table 1). 두 계통은 온실에서 재배하는 배추 유묘를 공급하였고, 아크릴 상자(30 × 30 × 30 cm)에 넣어서 사육하였다. 실내 사육조건은 온도 25~28℃, 광주기 16L:8D, 습도 50~60%로 유지하였다.

시험약제

도태약제로 사용한 EPN(*O*-ethyl *O*-4-nitrophenyl phenylphosphonothioate; 45% 유제)과 IGR약제인 bistrifluron ({1-[2-chloro-3,5-bis(trifluoromethyl)phenyl]-3-(2,6-difluorobenzoyl)urea}; 10% 유제)은 시판되고 있는 제품을 사용하였다. 협력제로 사용한 piperonyl butoxide(PBO, 90%)와 triphenyl phosphate(TPP, 98%)는 Sigma-Aldrich(St. Louis, MO, USA), 그리고 polyoxin B(10% 수화제)는 시판되고 있는 제품을 사용하였다.

발육단계별 조사

알에 대한 살충활성

사육용 아크릴상자 내에서 배추좀나방 성충을 넣고 배추 유묘에 24시간 동안 산란을 받은 후 배추잎을 각 농도별(100, 50, 10, 1 ppm) 소정 약액에 30초간 침지한 후 상온에서 건조시켰다. 건조한 잎은 습도조절을 위해 물에 적신 면솜과 필터 페이퍼를 깔 디쉬(10×4 cm)에 방치하면서 알은 약 처리 후 부화억제율과 부화후 24시간 내 살충율을 조사하였다.

유충에 대한 살충활성

약제 처리한 잎을 먹이로 공급하기 위하여 시험약액에 배추 잎을 직경 3 cm의 엽편으로 잘라 30초간 침적한 후 상온에서 충분히 건조시킨 후 플라스틱 페트리디쉬(직경 3×1 cm)에 넣고 EPN에 감수성과 저항성계통인 배추좀나방 1, 3, 5령 유충을 각각 10마리 이상씩 접종하였다. 이들에 대한 다음단계의 탈피시 각각의 반수치사농도(LC₅₀)와 상대독성을 조사하였다. 시험은 모두 3반복으로 실시하였다.

Table 1. Resistance ratio of resistance (R) and susceptible (S) strains of *P. xylostella* against EPN

Strain	n	LC ₅₀ (ppm) (95% CL ^{a)}	Slope ± SD	RR ^{b)}
R	155	565.49 (417.40~725.83)	1.62 ± 0.55	321.3
S	183	1.76 (0.87~2.99)	0.74 ± 7.55	1.0

a) 95% confidence limits

b) Resistance ratio : LC₅₀ value of resistant strain/LC₅₀ value of susceptible strain.

번데기에 약제 처리 시 산란전기, 성충수명 및 산란수에 미치는 영향

용화된 지 24시간 이내의 번데기를 거즈(5×5 cm)에 쌓아 해당 농도의 약액(50, 10, 1 ppm)에 30초간 침지시킨 다음 필터 페이퍼에 올려놓고 상온에서 완전히 건조 시킨 후 약액이 건조된 번데기를 현미경을 통해 암컷과 수컷을 구분하여 따로 분리하여 아크릴 케이지에 놓아두었다. 성충이 되는 기간을 기록하고 암컷과 수컷을 각각 한 쌍씩 준비해 놓은 8×10 cm 크기의 유산지를 삼면을 테이프로 붙인 뒤 충을 접종한 후에 남은 한 면을 클립으로 밀봉하였다. 성충의 먹이로는 sucrose 10%용액을 솜에 적셔서 공급하고, 그 안에 충을 접종하였다. 접종 후 산란전기, 성충수명 및 산란수를 조사하였다. 실험은 농도당 20쌍씩 3반복으로 수행하였다.

성충에 약제처리 시 산란전기, 성충수명 및 산란수에 미치는 영향

용화된 번데기를 암컷과 수컷으로 분리하여 아크릴 케이지에 놓아두었다. 용화된 지 24시간 이내의 성충에 해당 농도의 약제를 스프레이 하는데, 이 때 위쪽과 바닥이 모두 뚫린 플라스틱 컵에 망사를 씌워 충에 약액이 골고루 충분히 묻도록 하였다. 약액에 젖은 충이 완전히 건조된 후 암컷과 수컷, 한 쌍씩 준비해 놓은 유산지에 접종하였다. 접종 후 산란전기, 성충수명, 산란수를 조사하였다. 실험은 농도당 20쌍씩 3반복으로 수행하였다.

협력효과

IGR계 약제인 bistrifluron을 협력제인 PBO(piperonyl

butoxide), TPP(triphenyl phosphate), polyoxin B 등과 각각 1:5(v:v)로 된 용액으로 만들어 배추잎을 약 30초간 침지한 후 배추좀나방 3령충을 접종하고 bistrifluron과의 협력효과를 검정하였다. 실험은 농도당 20마리씩 3반복으로 수행하였다.

데이터 분석

살충효과 비교는 Finney(1971)의 probit분석법으로 반수 치사농도(LC₅₀)를 구하여 분석하였다. 또 산란전기, 성충수명, 산란수 및 차세대의 부화율에 대한 결과는 SAS를 이용하여 Tukey's Studentized Range Test로 비교하였다(SAS institute, 2003).

결과 및 고찰

알에 대한 살충효과

EPN에 저항성·감수성 계통별 배추좀나방의 알에 대한 bistrifluron의 살란효과는 Table 2와 같다. 배추좀나방 알에 대한 bistrifluron의 부화억제율은 100 ppm으로 처리시 저항성계통과 감수성계통에서 각각 85.7, 93.2%였고, 추천농도인 50 ppm에서 각각 40.6, 82.9%로 계통간에 큰 차이는 없었다. 또 정상으로 부화된 유충의 24h이내의 살충율은 50 ppm에서 56.3, 58.6%로 사망률이 높지 않았으며 계통 간에도 차이가 없었다.

일반적으로 IGR계 약제들은 부화율에는 영향을 주지 않고 부화후 24시간 이내 살충율에 영향을 주는 것으로 알려져

Table 2. Effect of bistrifluron on the hatching rate against the R and S strains of *P. xylostella*

Strain	Conc. (ppm)	n	% Inhibition of egg hatch ^{a)}	Mortality (%) within 24 hr after hatching
R	100	152	85.7 ± 7.4 ab ^{b)}	71.4 b
	50	170	40.6 ± 2.3 e	56.3 c
	10	157	36.4 ± 4.6 e	51.0 cd
	1	142	16.0 ± 0.6 f	46.5 d
	Control	125	0.0 ± 0.0 g	3.2 f
S	100	255	93.2 ± 1.8 a	89.6 a
	50	170	82.9 ± 1.1 bc	58.6 c
	10	134	74.6 ± 2.5 c	50.0 cd
	1	106	53.7 ± 3.3 d	26.5 d
	Control	112	10.7 ± 1.9 f	4.0 f

^{a)} Eggs oviposited within 24h were used.

^{b)} In a column, means followed by the same letters are not significantly different at $P=0.05$ by Tukey's Studentized Rang Test (SAS Institute, 2003).

있다(Ahn *et al.*, 1992; Kim *et al.*, 2007; Yoon *et al.*, 2007). 목화바둑명나방은 chlorfulazuron과 bistrifluron이 90% 이상의 부화율을 보였지만 24시간 이내의 부화후 살충율은 100%를 나타내었다(Kim *et al.*, 2007). 버즘나무방패벌레에서도 bistrifluron이 알에는 영향이 거의 없고 부화한 유충에 영향을 주는 것으로 나타났다(Yoon *et al.*, 2007). 이와는 상반된 결과로서 톱다리개미허리노린재에서는 diflubenzuron이 알에 대해 살란효과를 갖는 것으로 보고되었다(Ahn *et al.*, 1992). 이러한 차이에 대해 아직까지 알려진 바는 없지만 bistrifluron 등의 약제는 곤충에 따라 다른 선택독성을 나타내어 결과가 다르게 나타난 것으로 생각된다.

유충에 대한 살충효과

배추좀나방의 감수성 및 저항성 계통에 대한 유충의 발육 단계별 반수치사농도(LC₅₀) 조사결과는 Table 3과 같다. 영기별 살충효과는 감수성과 비교하여 1, 3, 5령충일 때 반수치사농도(LC₅₀)가 점차 증가하였으나 감수성계통과 저항성 계통의 저항성비는 1, 3, 5령충일 때 각각 1.6, 1.8, 1.3배로 큰 차이가 없었다.

일반적으로 영기가 진행되면서 약제에 대하여 감수성이 낮아진다(Ahn *et al.*, 1992). Butter *et al.*(2003)은 왕담배나방 유충에 lufenuron처리시 영기별 감수성이 발육단계가 진행됨에 따라 낮아지는 결과를 보고하였다. 이는 체중의 증가와 함께 약제침투력의 감소, 생리, 생화학적 변화 등에 기인하여 약제에 대한 감수성이 낮아지는 것으로 알려져 있다(Ahn *et al.*, 1992). 본 실험에서 bistrifluron이 감수성계통

유충과 EPN에 저항성계통 유충간에 1.3~1.8배의 낮은 교차 저항성을 나타내었다. 이는 EPN과 bistrifluron이 다른 계통의 화합물로 그 작용기작이 서로 상이하여 유기인계 약제에 저항성이 발달한 배추좀나방에 bistrifluron이 효과적인 것으로 생각되며 대체약제로 이용이 가능할 것으로 판단된다.

번데기에 약제 처리 시 산란전기간, 성충수명 및 산란수에 미치는 영향

번데기 단계에 약제 처리 후 우화율, 산란전기간, 성충수명 그리고 산란수에 대한 조사결과는 Table 4와 같다. EPN 저항성과 감수성의 배추좀나방의 번데기는 bistrifluron의 농도(50, 10, 1 ppm)에 상관없이 산란전기간이 각각 2.3~3.0, 2.6~2.8 일 정도였으며, 성충수명도 각각 17.0~18.8일과 16.4~19.3일로 나타났다. 산란수에 있어서도 154.2~184.4, 142.5~162.6 개로 저항성이 산란수가 더 많았으나 유의성은 없었다.

Kim *et al.*(2007)은 bistrifluron을 목화바둑명나방의 번데기에 처리시 50과 10 ppm에서 정상으로 우화하지 못하였다고 보고한바 있으나 본 실험 결과에서는 bistrifluron을 배추좀나방 번데기에 처리시 우화율, 성충수명 및 산란수에 영향이 적은 것으로 나타났다. 이는 bistrifluron이 곤충의 종류에 따라 독성이 다르기 때문인 것으로 생각된다.

성충에 약제 처리 시 산란전기간, 산란수 및 수명에 미치는 영향

24시간 이내 성충으로 우화한 배추좀나방에 각 농도별 처리 후 산란전기간, 성충수명 및 산란수를 조사한 결과는 Table 5와 같

Table 3. Susceptibility of larval instars of the R and S strains of *P. xylostella* to bistrifluron

Instar	Strain	n	LC ₅₀ (ppm) (95%CL ^{a)})	Slope±SD	RR ^{b)}	Stage of molting failure
1	R	183	19.64 (14.08~28.98)	1.12 ± 0.13	1.6	into 2nd
	S	175	12.20 (8.57~17.81)	1.02 ± 0.12	1.0	
3	R	155	35.80 (24.42~60.72)	1.12 ± 0.18	1.8	into 4th
	S	149	19.06 (12.94~30.07)	0.99 ± 0.14	1.0	
5	R	160	44.14 (24.86~111.28)	0.71 ± 0.12	1.3	into adult
	S	152	33.94 (25.42~48.83)	1.46 ± 0.19	1.0	

^{a)} 95% confidence limits.

^{b)} Resistance ratio : LC₅₀ value of R strain /LC₅₀ value of S strain.

Table 4. Emergence rate, longevity and fecundity of the R and S strains of *P. xylostella* adults when treated with bistrifluron at the pupae (n=60)

Conc. (ppm)	Strain	Emergence rate (%)	Preoviposition period (Day ± SD)	♀ Longevity (Day ± SD)	Fecundity (No. of eggs)
50	R	91.7 a	3.0 ± 0.8 a ^{a)}	17.0 ± 1.9 a	154.2 ± 30.9 a
	S	85.7 a	3.2 ± 1.1 a	16.4 ± 5.3 a	148.4 ± 10.9 a
10	R	92.3 a	3.0 ± 0.3 a	19.8 ± 1.9 a	168.6 ± 14.3 a
	S	90.9 a	3.0 ± 1.2 a	19.3 ± 2.2 a	142.5 ± 25.3 a
1	R	93.3 a	3.0 ± 1.0 a	18.8 ± 3.8 a	184.4 ± 12.5 a
	S	92.3 a	3.1 ± 0.6 a	18.8 ± 2.9 a	162.6 ± 27.8 a
Control	R	100.0 a	2.5 ± 0.9 a	18.8 ± 2.2 a	192.6 ± 26.5 a
	S	100.0 a	2.6 ± 0.9 a	17.8 ± 1.1 a	165.4 ± 11.3 a

^{a)} Means followed by the same letter are not significantly different at $P=0.05$ by Tukey's Studentized Range Test (SAS Institute, 2003).

Table 5. Preoviposition period, longevity and fecundity of the R and S strains of *P. xylostella* adults treated with bistrifluron (n=60)

Conc. (ppm)	Strain	Preoviposition period (Day ± SD)	♀ Longevity (Day ± SD)	Fecundity (No. of eggs)
50	R	2.3 ± 0.5 a ^{a)}	6.5 ± 1.5 b	67.8 ± 19.9 c
	S	2.8 ± 0.4 a	4.8 ± 1.6 b	40.0 ± 12.8 c
10	R	3.0 ± 0.3 a	19.6 ± 1.7 a	147.4 ± 15.0 ab
	S	2.8 ± 0.4 a	17.8 ± 1.5 a	123.4 ± 29.1 b
1	R	3.0 ± 0.5 a	20.2 ± 1.1 a	168.6 ± 14.3 ab
	S	2.6 ± 0.6 a	18.2 ± 0.4 a	144.0 ± 28.0 b
Control	R	2.3 ± 0.9 a	18.8 ± 2.2 a	192.6 ± 26.5 a
	S	2.6 ± 0.9 a	17.8 ± 1.1 a	165.4 ± 11.3 ab

^{a)} Means followed by the same letter are not significantly different at $P=0.05$ by Tukey's Studentized Range Test (SAS Institute, 2003).

다. 산란전기간은 50, 10, 1 ppm에서 감수성계통에서 3.0~3.2일, 저항성계통에서 3.0일로 무처리구의 2.6~2.8일과 차이가 없었다. IGR계 약제를 단독으로 처리할 경우 bistrifluron과 diflubenzuron은 목화바둑명나방과 톱다리개미허리노린재에 산란전기간을 지연시켰다는 보고가 있으나(Kim *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 1992), 본 실험에서는 배추좀나방에 대하여 산란전기간에는 영향을 주지 않았다. 성충수명은 감수성계통과 저항성계통이 추천농도(50 ppm)로 처리시 각각 4.8, 6.5일로 무처리구의 17.8, 18.8일에 비하여 크게 감소하였으나, 10과 1 ppm에서는 차이를 보이지 않았다. 산란수는 감수성계통과 EPN 저항성계통이 무처리구의 165.4, 192.6개에 비하여 추천농도로 처리시 40.0, 67.8개로 크게 감소하였지만 낮은 농도(10, 1 ppm)로 처리시 통계적인 유의성은 없었다. Kim *et al.*(2007)은 bistrifluron을, Kim *et al.*(1992)은 diflubenzuron을, Abo-Elghar *et al.*(2003)은 hexaflumuron, teflubenzuron,

pyriproxifen를 처리하였을 때 이와 유사한 결과를 보였다고 보고하였다.

협력효과

EPN-저항성계통 배추좀나방 3령충에 bistrifluron과 협력제의 협력효과를 조사한 결과는 Table 6과 같다. Bistrifluron 단독으로 처리하여 얻은 반수치사농도(LC₅₀) 기준으로 각각의 PBO, Polyoxin B를 1:5로 혼합 처리 후 얻은 협력효과는 감수성계통에서 70.6, 211.8배, 저항성계통에서도 137.7, 73.1배의 높은 협력효과를 얻었다. 하지만 TPP는 감수성계통에서 6.2배, 그리고 저항성계통에서 3.3배의 낮은 협력효과를 나타냈다.

협력제인 PBO는 microsomal oxidase(MO), TPP는 esterases를 저해한다고 보고되어 있다(Raffa and Priester, 1985; Bernard and Philogene, 1993). 따라서 EPN-저항성계통은

Table 6. Synergism of bistrifluron by piperonyl butoxide (PBO), triphenyl phosphate (TPP), and polyoxin B in the R and S strains of *P. xylostella*

Mixture Bistrifluron:Synergist (1:5)	S		R	
	LC ₅₀ ppm (95% CL ^{a)})	SR ^{b)}	LC ₅₀ ppm (95% CL)	SR
Bistrifluron: (alone)	19.06	1.0	35.8	1.0
+PBO	0.27	70.6	0.3	137.7
+TPP	3.07	6.2	10.9	3.3
+Polyoxin B	0.09	211.8	0.5	73.1

^{a)} 95% confidence limits

^{b)} Synergistic ratio=LC₅₀ of Insecticide / LC₅₀ of Insecticide + synergist.

MO의 활성으로 저항성이 발달한 것으로 생각되며, PBO가 MO의 활성을 저해함으로써 높은 협력효과를 나타낸 것으로 판단된다.

배추좀나방의 해독활성효소(detoxification enzymes)가 저항성 기작에 미치는 중요성과 살충제 협력제의 저항성 기작에 대한 상승효과에 대한 연구는 이미 많이 증명되어있다(Liu *et al.*, 1984; Hama 1987; Noppun *et al.*, 1989). Liu *et al.* (1984)은 피레스로이드 저항성 배추좀나방에 대한 협력제의 협력작용은 esterase저해제 TBPT, TPP보다 microsomal oxidase 저해제 PBO에 의해서 협력효과가 있음을 보고하여 본 실험과 유사한 결과였다.

이와는 달리 polyoxin B는 살균제로서 곰팡이 키틴의 생합성을 저해한다고 알려져 있다(Arakawa, 2008). 곤충도 역시 키틴외벽을 갖고 있기 때문에 benzoylphenyl urea(BPU)계 살충제와 함께 polyoxin B를 처리하였을 경우 상승효과가 있다고 보고하였고(Arakawa, 2008), 본 실험에서도 유사한 결과로 나타났다. 이는 polyoxin B는 키틴 생합성 저해제로서 대사과정의 효소의 역할을 저해하는 것으로 알려진 반면 같은 키틴 생합성 저해제라도 BPU계의 bistrifluron은 표피에서 키틴이 형성되고 축적되는 경로를 방해하는 기작(Hajjar and Casida, 1979)을 갖고 있어서 혼합처리시 상호보완적으로 작용하여 높은 협력작용을 나타낸 것으로 생각된다. 현재로는 협력작용의 원인을 추론할 뿐이며, 금후 명확한 작용기작 연구로 새로운 협력제 개발에 정보를 제공해야할 것이다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 특화작목연구개발과제의 연구비 지원과 교육인적자원부 제2단계 BK21 사업으로 수행되었다.

>> 인 / 용 / 문 / 헌

- Abo-Elghar, G.E., A.E. El-Sheikh, F.M. El-Sayed, H.M. EL-Maghraby and H.M. Ei-zun (2003) Persistence and residual activity of an organophosphate, pirimiphos-methyl, and three IGRs, hexaflumuron, teflubenzuron and pyriproxyfen, against the cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae). *Pest Manag. Sci.* 60:95~102.
- Ahn, Y.J., G.H. Kim and K.Y. Cho (1992) Susceptibility of embryonic and postembryonic developmental stages of *Riptortus clavatus* (Hemiptera: Alydidae) to diflubenzuron. *Korean J. Appl. Entomol.* 31:480~485.
- Arakawa, T. (2008) Synergistic effect of a fungicide containing polyoxin B with insect growth regulators(IGRs) in the killing of common cutworm, *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). *Appl. Entomol. Zool.* 43:167~171.
- Bernard, C.B. and B.J.R. Philogene (1993) Insecticide synergists: role, importance, and perspectives. *J. Toxicol. Environ. Health* 38:199~233.
- Butter, N.S., G. Singh and A.K. Dhawan (2003) Laboratory evaluation of the insect growth regulator lufenuron against *Helicoverpa armigera* on cotton. *Phytoparasitica* 31:200~203.
- Cho, Y.S. and S.C. Lee (1994) Resistance development and cross-resistance of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) by single selection of several insecticides. *Korean J. Appl. Entomol.* 33:242~249.
- Choi, Y.M., K.S. Ahn, I.C. Hwang, and G.H. Kim (2004) Property and mode of action of indoxacarb against diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 43:317~322.
- Finney, D.J. (1971) Probit analysis. Cambridge Univ. Press, Cambridge. England. pp. 333.
- Furlong, M.J. and D.J. Wright (1994) Examination of stability of resistance and cross-resistance patterns to acylurea insect growth regulators in field populations of the diamondback moth, *Plutella xylostella*, from Malaysia. *Pestic. Sci.* 42:

- 315~326.
- Hajjar, N.P. and J.E. Casida (1979) Structure activity relationships of benzoylphenyl ureas as toxicants and chitin synthesis inhibitors in *Oncopeltus fasciatus*. Pestic. Biochem. Physiol. 11:33~45.
- Hama, H. (1987) Development of pyrethroid resistance in the diamondback moth, *Plutella xylostella* Linne (Lepidoptera: Yponomeutidae). Appl. Entomol. Zool. 22:166~175.
- Joia, B.S., A.S. Udeaan 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 38:158~159.
- Kim, G.H., Y.S. Seo, J.H. Lee and K.Y. Cho (1990) Development of fenvalerate resistance in the diamondback moth, *Plutella xylostella* Linne (Lepidoptera: Yponomeutidae) and its cross resistance. Korean J. Appl. Entomol. 29:194~200.
- Kim, G.H., Y.J. Ahn and K.Y. Cho (1992) Effect of diflubenzuron on longevity and reproduction of *Riptortus clavatus* (Hemiptera: Alydidae). J. Econ. Entomol. 85:664~668.
- Kim, K.S., B.J. Chung and H.K. Kim (2000) Proceedings of the British Crop Protection Council Conference - Pest and Diseases 2000, Vol. 1, ed. by K.S. Kim, B.J. Chung and H.K. Kim: The British Crop Protection Council, Farnham, United Kingdom, pp. 41~46.
- Kim M.K., H.Y. Kim, D.K. Seo, C. Yoon and G.H. Kim (2007) Insecticidal properties of bistrifluron, benzoylphenylurea insecticide, against Cotton caterpillar, *Palpita indica* (Lepidoptera: Pyralidae). J. Asia-Pacific Entomol. 10:269~274.
- Liu, M.Y., Y.J. Tzeng and C.N. Sun (1982) Insecticide resistance in the diamondback moth. J. Econ. Entomol. 75:153~155.
- Liu, M.Y., J.S. Chen and C.N. Sun (1984) Synergism of pyrethroids by several compounds in larvae of the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). J. Econ. Entomol. 77:851~856.
- 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.
- Noppun, V., T. Miyata and T. Saito (1984) Decrease in insecticide resistance in the diamondback moth, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae) on release from selection pressure. Appl. Entomol. Zool. 19:531~533.
- Noppun, V., T. Miyata and T. Saito (1989) Cross resistance and synergism in fenvalerate-resistant diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.). J. Pestic. Sci. 14:203~209.
- Oberlander, H., D.L. Silhacek, E. Shaaya and I. Ishaaya (1997) Current status and future perspectives of the use of insect growth regulators for the control of stored product insects. J. Stored prod. Res. 33:1~6.
- Perng, F.S., M.C. Yao, C.F. Hung and C.N. Sun (1988) Teflubenzuron resistance in diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). J. Econ. Entomol. 81:1277~1282.
- Raffa, K.R. and T.M. Priestler (1985) Synergist as research tools and control agents in agriculture. J. Agric. Entomol. 2:27~45.
- Sarfraz, M., L.M. Dossall, and B.A. Keddie (2006) Diamondback moth-host plant interactions: Implication for pest management. Crop Protection 25:625~639.
- SAS institute (2003) SAS, version 8.02. The SAS Institute, Cary, North Carolina, USA.
- Song, S.S. (1991) Resistance of diamondback moth (*Plutella xylostella* L.: Yponomeutidae: Lepidoptera) against *Bacillus thuringiensis* Berliner. Korean J. Appl. Entomol. 30:291~293.
- Sun, C.N., H. Chi and H.T. Feng (1978) Diamondback moth resistance to diazinon and methomyl in Taiwan. J. Econ. Entomol. 71:551~554.
- Staal, G.B. (1975) Insect growth regulators with juvenile hormone activity. Annu. Rev. Entomol. 20:417~460.
- Tabashnik, B.E., N.L. Cushing, N. Finson and M.W. Johnson (1990) Field development of resistance to *Bacillus thuringiensis* in diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). J. Econ. Entomol. 83:1671~1676.
- Yoon, C., J.O. Yang, S.H. Kang and G.H. Kim (2007) Insecticidal properties of bistrifluron against sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* (Hemiptera: Tingidae). J. Pestic. Sci. 33:44~50.

EPN 저항성 배추좀나방에 대한 IGR계 약제 Bistrifluron의 살충활성과 세 가지 협력제에 의한 살충활성 증진 효과

주유리 · 양정오 · 윤창만 · 김길하*

충북대학교 농업생명환경대학 식물외과

요 약 EPN-저항성 배추좀나방에 대한 chitin 생합성저해제인 bistrifluron의 발육단계별 살충활성, 성충수명 및 산란수에 미치는 영향을 조사하였다. 알에 대한 부화억제율은 추천농도(50 ppm)에서 낮았지만, 부화유충의 치사율이 50-60%를 나타내었고, 두 계통간에는 차이가 없었다. 영기별 살충효과는 감수성 계통과 저항성 계통 모두에 효과가 있었다. 하지만 계통간에 차이는 크지 않았다. 번데기에 처리시 우화억제율은 거의 없었으며, 또 성충의 수명과 산란수에도 영향을 미치지 않았다. 성충에 처리했을 때 50 ppm농도에서 성충수명과 산란수는 감소하였지만 두계통간에 차이는 없었다. EPN저항성계통에 대한 bistrifluron과 협력제 piperonyl butoxide(microsomal oxidase inhibitor)와 polyoxin B(chitin synthetase inhibitor)는 각각 137.7배와 73.1배로 높은 협력작용을 나타내었다.

색인어 배추좀나방, EPN 저항성, bistrifluron, 키틴생합성저해제, 협력제
