

유약호르몬 유사체인 피리프로キシ펜 제제의 배추좀나방(*Plutella xylostella*) 면역 억제 효과와 이를 이용한 *Bacillus thuringiensis* 살충력 제고 기술

김근섭 · 김용균*

안동대학교 생명자원과학과

(2009년 4월 4일 접수, 2009년 4월 23일 수리)

Enhanced Insecticidal Activity of *Bacillus thuringiensis* against the Diamondback Moth, *Plutella xylostella*, Using an Immunosuppressive Effect of Juvenile Hormone Analogue, Pyriproxyfen, Formulation

Geun Seob Kim and Yonggyun Kim*

Department of Bioresource Sciences, Andong National University, Andong 760-749, Korea

Abstract

Juvenile hormone (JH) is an insect hormone mediating immature metamorphosis and adult reproduction. It also mediates immune responses to suppress hemocyte behavior, which is, however, activated by ecdysteroid. This study investigated an effect of a commercial pyriproxyfen (a JH agonist) formulation on a cellular immune response of the diamondback moth, *Plutella xylostella*, and analysed its mixture with *Bacillus thuringiensis* (Bt) in insecticidal potency. The commercial pyriproxyfen formulation significantly suppressed hemocyte-spreading behavior at low doses as did in pyriproxyfen technical grade. When the commercial pyriproxyfen formulation was mixed with Bt, Bt toxicity was significantly increased against *P. xylostella* larvae in laboratory. The mixture effect was then confirmed in field cultivating cabbage infested with *P. xylostella* larvae. The mixture showed a significantly enhanced mortality and reduced effective lethal time, compared to only Bt treatment.

Key words *Plutella xylostella*, pyriproxyfen, *Bacillus thuringiensis*, juvenile hormone, integrated biological control

서 론

선천성 면역방어기작을 통해 곤충은 미생물과 기생자와 같은 외부 침입자들을 효과적으로 방어하고 있다(Ratcliffe 등, 1985). 이러한 곤충 면역반응은 세포성 및 체액성 면역으로 나뉜다. 세포성 면역은 혈구세포에 의해 일어나는 반응으로 침입자의 크기와 숫자에 따라서 식균작용, 소낭형성, 피막

형성과 같은 반응으로 나누어지고, 체액성 면역은 대부분 항균 단백질의 작용에 의해 이루어진다(Gillespie 등, 1997). 혈구세포의 종류는 일반적으로 과립혈구, 부정형혈구, 편도혈구, 소구형혈구, 응고혈구로 나눌 수 있다(Lackie, 1988). 그 중, 과립혈구와 부정형혈구는 곤충의 세포성 면역인 식균 작용에 있어서 대표적 혈구세포이다(Ehlers 등, 1992).

곤충이 가지고 있는 세포성 면역은 충체내 생리기작을 조절하는 내분비 요인들에 의해 증개되어 진다(Gillespie 등, 1997). 현재까지 잘 알려진 면역 증개자로는 아이코사노이드

*연락처 : Tel. +82-54-820-5638, Fax. +82-54-820-6320
E-mail: hosanna@andong.ac.kr

류(Stanley-Samuels, 1994), 바이오아민류(Baines 등, 1992), 지질동원호르몬(Goldsworthy 등, 2003)이 있고, 유약호르몬(juvenile hormone: JH)과 탈피호르몬(20-hydroxyecdysone) 또한 곤충의 면역 반응을 조절하는 것으로 알려져 있다(Franssens 등, 2006). 그 중, JH은 거저리 과에 속하는 갈색 거저리(*Tenebrio molitor*)에 혈강주사 했을 때 혈구세포의 피막형성 반응을 억제시키는 것으로 조사되었다(Rantala 등, 2003). 피리프록시펜은 유약호르몬 유사체로서 곤충의 변태와 생식생리 작용을 교란하는 것으로 밝혀졌다(Kim 등, 1999; Kawada 등, 2006). 또한, 피리프록시펜은 누에(*Bombyx mori*)에서 용화과정을 억제시켜 미화용을 유발시키는 것으로 알려졌다(Monconduit and Mauchamp, 1998; Kim 등, 2004). 피리프록시펜은 또한 세포성 면역 작용에 교란을 주어, 파밤나방(*Spodoptera exigua*)의 식균작용을 억제시키는 것으로 판단되었다(Nalini 등, 2007). 면역력 저하는 토양미생물제제인 *Bacillus thuringiensis*(Bt)에 대한 감수성을 저하시킨다고 알려졌다(Kwon과 Kim, 2007).

본 연구는 피리프록시펜 제형을 이용하여, 이 화합물의 배추좀나방(*Plutella xylostella*)에 대한 면역력 저하 효과를 확인하였다. 또한 피리프록시펜 제형을 Bt와 혼합 처리하여 Bt 단독 처리에 비해 살충력이 증가하는지를 실내와 야외에서 각각 분석하였다.

재료 및 방법

시험곤충

배추좀나방은 안동시 송천동 일대에서 경작되는 배추에서 채집하였다. 유충은 실내조건(25°C, 16:8 (L:D)h)에서 배추잎을 먹이로 약 7년간 누대 사하였다. 성충은 10% 설탕물을 먹이로 공급하였다.

시험약제

피리프록시펜 제형[상표명: 신기루(유제), 유효성분 함량 10%, (주)동방아그로 제품, 서울, 한국]은 시판제품을 구입하여 사용하였다. 피리프록시펜 원제(phenoxypyridyloxy(R,S)-2-(2-pyridyloxy)propyl ether, 순도 98%)는 동방아그로에서 제공받았다. *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki*(Bt)는 (주)고려바이오(화성, 한국)에서 공급받았으며, 제제는 32,000 IU/mg 세균 및 포자와 독소를 포함하였다.

혈림프 추출

항응고완충용액은 L-cysteine.HCl(Sigma, St. Louis, MO,

USA)을 Tris 완충용액에 첨가하여 조제하였다. Tris 완충 용액은 50 mM Tris HCl, 100 mM dextrose, 5 mM KCl, 2.5 mM MgCl₂ 50 mM NaCl의 농도로 만들었고, 사용직전에 5 ml 당 4 mg의 L-cysteine.HCl을 첨가하였다. 혈림프는 배추좀나방 4령충을 70% 에탄올로 표면살균 후 멸균된 칼로홍부 다리를 절단하면서 흘러나오는 혈림프를 얼음위에 놓여진 멸균된 파라필름 위에서 모았다. 배추좀나방 5마리의 혈림프에 50 μ l 항응고완충용액을 첨가하여 혈구활착분석에 사용하였다.

혈구 활착 분석

상기에 기술된 항응고완충용액에 들어있는 혈구시료 49 μ l에 1 μ l의 피리프록시펜 제형 또는 피리프록시펜 원제를 혼합하여 상온에서 20분간 반응시켰다. 혈구활착은 400배 배율의 도립 위상차현미경(SZ-4045, Olympus, Japan)으로 관찰하였다. 혈구 활착은 세포의 주변에 나타나는 허족 성장 유무에 따라 혈구 활착을 판정하였다. 대조구에는 멸균된 완충용액 1 μ l를 반응시켰다.

실내생물검정

배추좀나방 3령충을 대상으로 생물검정을 실시하였다. Bt 제제 5 ppm에 배추잎(가로 × 세로: 1 × 1 cm)을 1 분간 침지시킨 후 건조시켜 시험유충에 24 시간 섭식 처리하였다. 피리프록시펜 제형을 충체에 1 μ l를 국부처리 하였다. 처리 반복 당 10마리 유충을 이용하였고, 각 처리는 3반복 실시하였다. 처리된 유충은 25°C에서 사육되었으며 처리 3일 후 반복별 생존수를 확인하였다.

포장검정

안동시 송천동의 비닐하우스에서 재배 되는 배추밭에 실내에서 사육한 배추좀나방 3~4령 유충을 각 포기당 70~80마리를 접종하고 3시간 후 전수조사를 하였다. 전수 조사 시 배추 포기당 약 50마리 이상의 배추좀나방 유충의 존재를 확인하였다. 각 처리구당 4~5 포기의 배추가 선정되었으며, 3반복 실시하였다. Bt(500 ppm)와 피리프록시펜 제형(1,000 ppm)을 혼합 또는 단독으로 처리한 200 μ l를 살포하였다. 처리 후, 3일 후, 7일 후 생존수를 확인하여 약제 처리 전 밀도와 비교하여 살충율을 측정하였다.

통계분석

SigmaPlot(Systat Software, Inc., Point Richmond, CA,

USA) 프로그램을 사용하여 평균 ± 표준편차 값을 도식화하였다. 혈구세포 활착능력 시험과 모든 살충효과 시험 결과는 백분율 자료로서 arsine 변환 후 SAS의 PROC GLM(SAS Institute, 1989)을 이용하여 ANOVA 분석 후 처리 평균간 비교를 수행하였다.

결 과

피리프록시펜의 혈구 활착 억제 능력

피리프록시펜 원제(2 ppm)와 피리프록시펜 제형(20 ppm)이 처리된 과립혈구, 부정형혈구는 무치리에 비해 활착력이 감소하는 것($F = 64.03$; $df = 2,6$; $P < 0.0001$)을 관찰할 수 있었다(Fig. 1A). 대조구가 70.7%의 활착율을 나타내는데 비해 피리프록시펜 원제와 피리프록시펜 제형이 처리된 과립혈구와 부정형 혈구세포는 각각 42.4%와 43.0%의 활착율을 보였다(Fig. 1B). 이는 피리프록시펜이 유약호르몬과

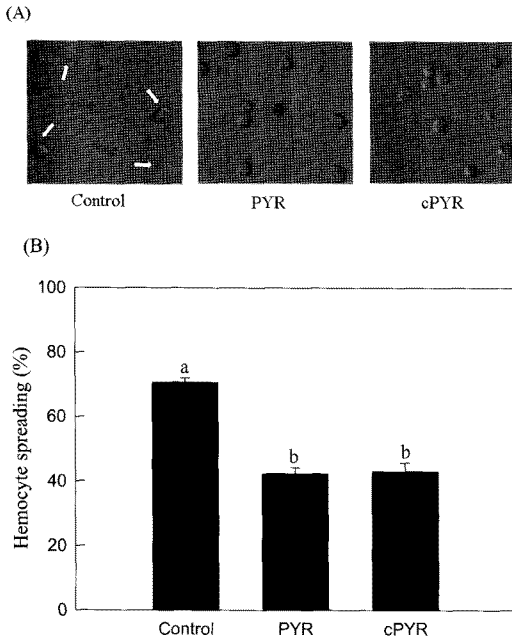


Fig. 1. Immunosuppressive effect of pyriproxyfen ('PYR') on hemocyte spreading of *Plutella xylostella*. Hemocyte suspension was incubated with 2 ppm of PYR or 20 ppm of commercial PYR formulation ('cPYR') for 20 min at 25°C. (A) Spread hemocytes were denoted by arrows. (B) Hemocyte spreading was scored by counting 50-100 hemocytes per measurement. Each treatment was independently replicated three times. Different letters above error bars indicate significant difference at Type I error = 0.05 (LSD test).

유사한 생리적 기능을 발휘하여(Kim 등, 2008) 세포성면역에 중요한 역할을 하는 두 혈구세포의 활착능력을 감소시켜 배추좀나방 유충의 세포성면역력을 감소시키는 것이라고 판단된다.

피리프록시펜 제형의 Bt 살충력 상승효과(실내검정)

배추좀나방 3령충을 대상으로 피리프록시펜 제형(10 ppm)과 Bt (5 ppm) 혼합처리하는 Bt의 단독처리 보다 높은 살충력($F = 17.92$; $df = 3,8$; $P = 0.0007$)을 나타냈다(Fig. 2). 반면 피리프록시펜 제형 단독으로는 살충력을 나타내지 않았다. 즉, 본 결과는 Bt와 상용 피리프록시펜 제형의 상호 살충력 상승효과 가능성을 보여주었다.

피리프록시펜 제형의 Bt 살충력 상승효과(포장검정)

실내검정 결과를 토대로 포장검정을 실시하였다. 배추좀나방을 대상으로 약제를 처리한 후 3일과 7일째 조사하였을 때, Bt(500 ppm)의 단독처리 보다 피리프록시펜 제형(1,000 ppm)과 Bt를 혼합처리 했을 때 상대적으로 높은 살충력($F = 42.69$; $df = 7,16$; $P < 0.0001$)을 나타냈다(Fig. 3). Bt의 단독처리에서 3일 후, 7일 후 살충율은 각각 74.8%, 84.4%인 반면, 상용 피리프록시펜 제형과 Bt를 혼합 처리 했을 때, 각각 89.9%와 95.0%의 높은 살충율을 나타냈다. 반면 실내

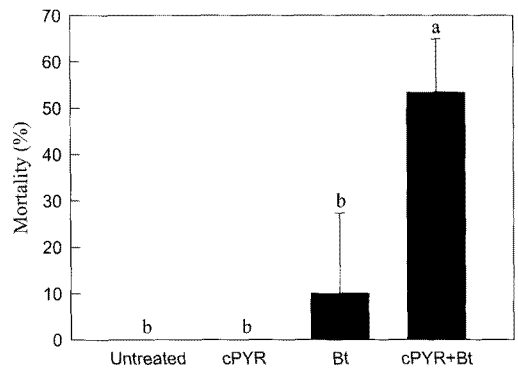


Fig. 2. A laboratory test: an enhanced pathogenicity of *Bacillus thuringiensis* ('Bt', 5 ppm) against 4th instar larvae of *Plutella xylostella* by mixing with 10 ppm of a commercial pyriproxyfen formulation ('cPYR'). Mortality was estimated 3 days after treatment. Each measurement consists of 10 larvae. Each treatment was replicated three times. Different letters above error bars indicate significant difference at Type I error = 0.05 (LSD test).

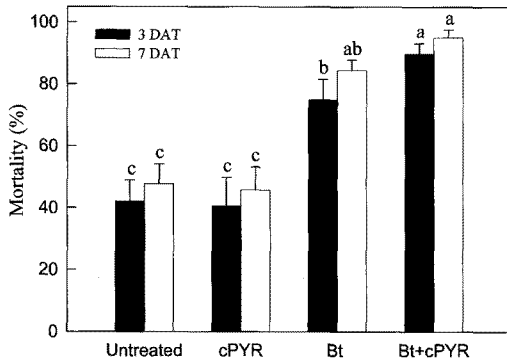


Fig. 3. A field test: an enhanced pathogenicity of *Bacillus thuringiensis* ('Bt', 500 ppm) against *Plutella xylostella* larvae by mixing with 1,000 ppm of a commercial pyriproxyfen formulation ('cPYR'). Mortality was estimated 3 or 7 days after treatment ('DAT'). Each measurement consisted of \approx 50 larvae. Each treatment was replicated three times. Different letters above error bars indicate significant difference at Type I error = 0.05 (LSD test).

검정과 마찬가지로 피리프록시펜 제형의 단독처리는 무처리와 유의차가 없었다. 이러한 결과는 피리프록시펜 제형을 Bt에 첨가하면 단독 Bt 처리에 비해 배추좀나방에 대한 살충율을 제고시키고 또한 살충 효과에 미치는 시간도 단축시킬 수 있는 효과를 갖는 것으로 제시하고 있다.

고 찰

생물농약 Bt제는 미생물제제로 다양한 작물을 가해하는 나비목을 대상으로 사용되고 있다. 경구로 체내에 들어간 Bt제는 이들이 갖는 내독소에 의해 독성이 나타나게 된다. 즉 중장의 알칼리 환경에서 용해된 내독소는 다시 단백질 분해에 의해 활성화되고 중장의 미세용모의 세포막소낭(brush-border membrane vesicle)에 존재하는 수용체에 결합하게 된다(Hoffman 등, 1988; Zhang 등, 2005; Wang 등, 2007). 이는 세포막 구멍을 형성하고 이후 중장마비(Gill 등, 1992; Pigot과 Ellar, 2007) 및 세포치사(Zhang 등, 2008)로 이어지게 된다. 이러한 중장세포 와해를 통해 *B. thuringiensis* 세균이 혈구로 침입하게 되고 패혈증을 유발하여 궁극적 곤충 치사를 초래하게 한다(Broderick 등, 2006).

이 약제를 사용하는 데 큰 제약점 가운데 하나는 해충의 저항성 발현이다. 여러 나비목 해충들은 실내(Ferré와 Van Rie, 2002), 야외(Kirsch와 Schmutterer, 1988; Tabashnik

등, 1990) 또는 수확후 저장고(McGaughey, 1985) 등에서 Bt제에 과도하게 노출된 경우 이러한 약제 저항성이 발현되었다. Bt제의 침입 경로 및 활성화 경로 가운데 어느 하나도 큰 제약점으로 작용한다면 이 곤충은 Bt제에 대한 저항성을 보유할 수 있어 보인다. Bt 내독소에 대한 저항성은 주로 중장 세포막 수용체의 돌연변이에 기인된다(Van Rie 등, 1990; Pigot과 Ellar, 2007). 또한 중장 내강에서 Bt 독소의 용해를 막는 응고반응(Ma 등, 2005a), pH 변화 및 정상적 단백질 분해반응의 변경(Ma 등, 2005b) 등이 수용체 변화와 더불어 추가적 저항성 요인으로 알려지고 있다. 여기에 곤충 면역 능력 또한 Bt 저항성을 발현시키는 데 한 인자로서 밝혀지고 있다(Rahman 등, 2004, 2007).

본 연구는 Bt 감수성 저하를 유발하는 곤충의 면역력을 대상으로 이를 억제하여 Bt의 살충력을 제고하려는 데 목적을 두었다. 유약호르몬의 유사체인 피리프록시펜은 유약호르몬이 사슬형의 세스퀴테르펜 화합구조인 반면, 방향성 구조인 페록시페닐 구조를 갖지만 유충 변태 억제 또는 성충의 생식 촉진 등의 유약호르몬과 유사한 효과를 나타냈다(김 등, 2004). 탈피호르몬이 곤충의 세포성 면역 반응을 촉진시키는 반면 유약호르몬이 이를 낮추는 효과가 있다고 알려졌다(Clark 등, 2005). Nalini 등(2007)은 피리프록시펜이 파밤나방(*Spodoptera exigua*)의 혈구세포 활착을 억제시키는 효과를 증명하였다. 본 연구는 피리프록시펜의 원제와 상품화된 제형 모두가 배추좀나방의 혈구 활착 행동을 뚜렷하게 억제시키는 것을 증명하였다. 원제와 제제와의 차이점은 약량에서 약 10배가량 차이가 있었는데, 이는 제제 내 원제의 함량이 10%라는 점에서 이해된다. 실내 노출 시험에서 피리프록시펜 처리에 따라 면역력이 떨어진 배추좀나방에 대해서 Bt제를 처리한 결과 뚜렷한 살충력 제고를 나타내 Bt의 활성화에 곤충의 면역작용이 저항성 인자로서 작용할 수 있음을 나타냈다. 야외 노출 시험에서는 이들 혼합처리가 Bt의 배추좀나방에 대한 방제가 물론이고 유효 살충 효과(약 90%)에 미치는 시간을 단축시켜 이들 혼합제의 실효성을 입증하였다. 본 연구는 곤충의 면역와 Bt의 활성화 사이에 뚜렷한 상관성을 보여주고 있지만, Bt에 저항성인 *Trichoplusia ni*의 경우에는 상반된 결과를 나타내고 있어(Ericsson 등, 2009) 이들 사이에 정확한 관계성은 보다 여러 사례를 분석한 후에 일반화된 결론에 이를 수 있어 보인다.

결론적으로, 본 연구는 배추좀나방의 과립혈구와 부정형 혈구세포 활착능력을 감소시켜 면역력을 저하시키는 효과를 지닌 유약호르몬 유사체 피리프록시펜 제형을 Bt와 혼합 처리하여 대상해충을 종합적 생물방제 개념으로 보다 효과적으

로 방제할 수 있다는 것을 입증하였다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 단기핵심기술사업으로부터 지원받아 수행되었다. 연구기간 동안 김근섭은 교육부 2단계 BK21 사업에서 지원받았다.

>> 인 / 용 / 문 / 헌

- Baines, D., T. Desantis and R. G. H. Downer (1992) Octopamine and 5 hydroxytryptamine enhance the phagocytic and nodule formation activities of cockroach (*Periplaneta americana*) haemocytes. *J. Insect Physiol.* 38:905~914.
- Broderick, N. A., K. F. Raffa and J. Handelsman (2006) Midgut bacteria required for *Bacillus thuringiensis* insecticidal activity. *Proc Natl. Acad. Sci. USA* 103:15196~15199.
- Clark, K. D., Y. Kim and M. R. Strand (2005) Plasmatocyte sensitivity to plasmatocyte spreading peptide (PSP) fluctuates with the larval molting cycle. *J. Insect Physiol.* 51:587~596.
- Ehlers, D., B. Zosel, W. Mohrig, E. Kauschke and E. Ehlers (1992) Comparison of an *in vivo* and *in vitro* phagocytosis in *Galleria mellonella* L. *Parasitol. Res.* 78:354~359.
- Ericsson, J. D., A. F. Jarmaat, C. Lowenberger and J. H. Myers (2009) Is decreased generalized immunity a cost of Bt resistance in cabbage looper *Trichoplusia ni*? *J. Invertebr. Pathol.* 100:61~67.
- Ferré, J. and J. Van Rie (2002) Biochemistry and genetics of insect resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annu. Rev. Entomol.* 47:501~533.
- Franssens, V., G. Smaghe, G. Simonet, I. Claeys, B. Breugelmans, A. De Loof and J. Vanden Broeck (2006) 20 Hydroxyecdysone and juvenile hormone regulate the laminarin induced nodulation reaction in larvae of the flesh fly, *Neobellieria bullata*. *Dev. Comp. Immunol.* 30:735~740.
- Gill, S. S., E. A. Cowles and P. V. Pietrantonio (1992) The mode of action of *Bacillus thuringiensis* delta-endotoxins. *Annu. Rev. Entomol.* 37:615~636.
- Gillespie, J. P., M. R. Kanost and T. Trenczek (1997) Biological mediators of insect immunity. *Annu. Rev. Entomol.* 42:611~643.
- Goldsworthy, G., L. Mullen, K. Opoku Ware and S. Chandrakant (2003) Interactions between the endocrine and immune systems in locusts. *Physiol. Entomol.* 28:54~61.
- Hoffman, C., H. Vanderbruggen, H. Hofte, J. Van Rie, S. Jansens and H. Van Mellaert (1988) Specificity of *Bacillus thuringiensis* delta-endotoxins is correlated with the presence of high-affinity binding sites in the brush border membrane of target insect midguts. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 85:7844~7848.
- Kawada, H., S. Saita, K. Shimabukuro, M. Hirano, M. Koga, T. Iwashita and M. Takagi (2006) Mosquito larvicidal effectiveness of EcoBio Block S: A novel integrated water purifying concrete block formulation containing insect growth regulator pyriproxyfen. *J. Am. Mosq. Control Assoc.* 22: 451~456.
- Kim, Y., E. D. Davari, V. Sevala and K. G. Davey (1999) Functional binding of a vertebrate hormone, L 3,5,3' triiodothyronine (T₃), on insect follicle cell membranes. *Insect Biochem. Mol. Biol.* 29:943~950.
- Kim, Y., S. Jung and M. Nalini (2008) Antagonistic effect of juvenile hormone on hemocyte-spreading behavior of *Spodoptera exigua* in response to an insect cytokine and its putative membrane action. *J. Insect Physiol.* 54:909~915.
- Kirsh, K. and H. Schmutterer (1988) Low efficacy of a *Bacillus thuringiensis* (Berl) formulation in controlling the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) in the Philippines. *J. Appl. Entomol.* 105:249~255.
- Kwon, S. and Y. Kim (2007) Immunosuppressive action of pyriproxyfen, a juvenile hormone analog, enhances pathogenicity of *Bacillus thuringiensis* subsp. Kurstaki against diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Biol. Control* 42:72~76.
- Lackie, A. M. (1988) Hemocyte behaviour. *Adv. Insect Physiol.* 21:85~178.
- Ma, G., H. Roberts, M. Sarjan, N. Featherstone, J. Lahnstein, R. Akhurst and O. Schmidt (2005a) Is the mature endotoxin Cry1Ac from *Bacillus thuringiensis* inactivated by a coagulation reaction in the gut lumen of resistant *Helicoverpa armigera* larvae? *Insect Biochem. Mol. Biol.* 35:729~739.
- Ma, G., M. Sarjan, C. Preston, S. Asgari and O. Schmidt (2005b) Mechanisms of inducible resistance against *Bacillus thuringiensis* endotoxins in invertebrates. *Insect Sci.* 12:319~330.
- McGaughey, W. H. (1985) Insect resistance to the biological insecticide *Bacillus thuringiensis*. *Science* 229:193~195.
- Monconduit, H. and B. Mauchamp (1998) Effects of ultra doses of fenoxycarb on Juvenile hormone regulated physiological parameters in the silkworm, *Bombyx mori*. *Arch. Insect Biochem. Physiol.* 37:178~189.
- Nalini, M., Y. Lee and Y. Kim (2007) Pyriproxyfen inhibits hemocytic phagocytosis of the beet armyworm, *Spodoptera exigua*. *Kor. J. Pesti. Sci.* 11:164~170.
- Pigott, C. R. and D. J. Ellar (2007) Role of receptors in *Bacillus thuringiensis* crystal toxin activity. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 71:255~281.
- Rantala, M. J., A. Vainikka and R. Kortet (2003) The role of juvenile hormone in immune function and pheromone production trade offs: a test of the immunocompetence handicap principle. *Proc. R. Soc. Lond. B.* 270:2257~2261.

- Ratcliffe, N. A., A. F. Rowley, S. W. Fitzgerald and C. P. Rhodes (1985) Invertebrate immunity: basic concepts and recent advances. *Intl. J. Cytol.* 97:186~350.
- SAS Institute, Inc. (1989) SAS/STAT user's guide, Release 6.03, Ed. Cary, N.C.
- Stanley-Samuels, D. W. (1994) Assessing the significance of prostaglandins and other eicosanoids in insect physiology. *J. Insect Physiol.* 40:3~11.
- 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.
- Van Rie, J., W. H. McGaughey, D. E. Johnson, B. D. Barnett and H. Van Mellaert (1990) Mechanisms of insect resistance to the microbial insecticide *Bacillus thuringiensis*. *Science* 247:72~74.
- Wang, P., J.-Z. Zhao, A. Rodrico-Simon, W. Kain, A. F. Janmaat, A. M. Shelton, J. Ferre and J. H. Myers (2007) Mechanism of resistance to *Bacillus thuringiensis* toxin Cry1Ac in a greenhouse population of the cabbage looper, *Trichoplusia ni*. *Appl. Environ. Microbiol.* 73:1199~1207.
- Zhang, X., M. Candas, N. B. Griko, L. Rose-Young and L. A. Bulla Jr. (2005) Cytotoxicity of *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab toxin depends on specific binding of the toxin to the cadherin receptor *Bt-R₁* expressed in insect cells. *Cell Death Differ.* 12:1407~1416.
- Zhang, X., N. B. Griko, S. K. Corona and L. A. Bulla Jr. (2008) Enhanced exocytosis of the receptor *Bt-R₁* induced by the Cry1Ab toxin of *Bacillus thuringiensis* directly correlates to the execution of cell death. *Comp. Biochem. Physiol.* 149B: 581~588.
- 김응균 (2004) 경북 북부지역의 양잠산업에 피해를 주고 있는 누에 (*Bombyx mori*) 미화용 기작에 관한 연구. *한응곤지* 43:143~153.

유약호르몬 유사체인 피리프록시펜 제제의 배추좀나방(*Plutella xylostella*) 면역 억제 효과와 이를 이용한 *Bacillus thuringiensis* 살충력 제고 기술

김근섭 · 김응균*

안동대학교 생명자원과학과

요 약 유약호르몬은 변태를 억제하고 성충의 생식작용을 증가하는 곤충호르몬이다. 이 호르몬은 또한 탈피호르몬과 길항적으로 면역반응에도 관여하여 혈구세포 활동을 억제시킨다. 본 실험은 배추좀나방(*Plutella xylostella*)의 세포성 면역반응에 대한 피리프록시펜 제형의 효과와 이를 *Bacillus thuringiensis*(Bt)와 혼합하였을 때의 살충력 제고 효과에 대해 분석하였다. 피리프록시펜 제형은 낮은 농도에서도 혈구세포의 활착능력을 현저히 억제하였다. 피리프록시펜 제형을 배추좀나방 대상으로 실내실험에서 Bt와 혼합하여 섭식처리 한 결과 살충력이 유의성이 있게 증가하였다. 이러한 실내실험 결과 토대로 피리프록시펜 제형과 Bt 혼합제를 배추좀나방이 서식하고 있는 배추포장에 약제처리 했을 때 Bt 단독처리 보다 살충효과를 높이고 살충시간이 효과적으로 줄어드는 것을 보여주었다.

색인어 배추좀나방, 피리프록시펜, 비티, 유약호르몬, 종합생물적방제
