

Bacillus thuringiensis 제품의 농도 및 혼합 조건에 따른 나방류 방제 효과

김정준^{1*} · 홍 쭈^{1,2} · 한지희¹ · 이상엽¹ · 박홍현³ · 이상계³¹농촌진흥청 국립농업과학원 농업미생물과, ²중국 안휘농업대학, ³농촌진흥청 국립농업과학원 작물보호과

(Received on November 1, 2012. Revised on November 21, 2012. Accepted on December 4, 2012)

Control Effects of different Concentrations and Mixtures of the commercial *Bacillus thuringiensis* Products against Moths

Jeong Jun Kim^{1*}, Hong Zhu¹, Ji Hee Han¹, Sangyeob Lee¹, Hong-Hyun Park² and Sang Guei Lee²¹Agricultural Microbiology Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Republic of Korea²Key Laboratory of Microbial Control, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, People's Republic of China³Crop Protection Division, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Republic of Korea

Abstract Beet armyworm (*Spodoptera exigua*), diamondback moth (*Plutella xylostella*) and tobacco cutworm (*S. litura*) are insect pests causing damage in many economically important vegetables in Korea. *Bacillus thuringiensis*, commonly known as Bt, has been available as an alternative insecticide for many years. Five commercial Bt products and the mixtures evaluate the control efficacy against three kinds of moths. These commercial Bt products had high control efficacy against 2nd instar of diamondback moth, but didn't show high mortality against beet armyworm and tobacco cutworm. Mixtures of Bt products didn't have synergistic effects to the tested moths. Also application of twice and four times the recommended concentration didn't improve the control effects against the tested three species of moths.

Key words *Bacillus thuringiensis*, Beet armyworm, Biological control, Diamondback moth, Tobacco cutworm

국내 친환경 농산물 재배 면적과 친환경 농산물 매출은 정부의 지속적인 친환경 농업 정책으로 매년 증가하여, 친환경 농산물 시장은 2015년 5조원 이상으로 성장하고 2020년 전체 농산물 시장의 20%를 차지할 것으로 예측되고 있다(김과 김, 2009). 친환경 농산물 생산 증가를 위해서는 작물 생산 중 발생하는 병해충에 대한 환경 친화적인 방제가 중요한 요소 중 하나이다. 정부에서는 2013년까지 병해충 방제에 사용되는 합성농약의 사용량을 2004년 기준 40% 감축하고자 목표를 세웠으며(김과 김, 2009), 이를 위한 중요한 대체제로 생물농약이 그 역할을 수행할 것으로 기대하고 있으며, 해충방제를 위해서는 천적 곤충과 미생물 살충제가 유력한 대안으로 연구되고 있다.

해충방제를 위해 사용되는 미생물 살충제 중 가장 많이 이용되고 있는 것 중 하나가 곤충병원성 세균 *Bacillus thuringiensis*를 이용한 Bt제이다. *Bacillus thuringiensis*는 성장 과정 중 내생포자와 함께 내독소 단백질을 형성하는데, 이 내독소 단백질 결정체가 해충을 방제하는 것으로 보고되어 있다(Tanada and Kaya, 1993). 곤충에 의해 섭취된 살충성 단백질은 곤충 중장의 분해효소에 의해 활성독소로 분해되어 중장세포막의 수용체와 결합하여 장 세포를 손상 하므로 곤충의 패혈증을 유도하여 치사에 이르게 한다(Gill et al., 1992). 독소 단백질의 구조와 특성은 생산 균주에 따라 다르나 일반적으로 형태에 따라 크게 다섯 종류(Cry I, II, III, IV, V)로 분류하고 있으며, 각 독소의 유전적 차이에 의한 특성에 따라 치사 가능 해충이 다른 특이성을 가지고 있다(Crickmore et al., 1998). 따라서 Bt제는 방제 가능 기주 범위가 좁아 한 가지 Bt제로 한 포장에서 발생하는 다양한 해충을 방제하기 어려운 단점이 있다(Bravo et al, 2011).

*Corresponding author

Tel: +82-31-290-8483, 82-10-5262-2682, Fax: +82-31-290-8488
E-mail: jjkim66@korea.kr

Bt 포자와 독소 또는 독소만으로 구성된 Bt제는 2006년을 기준으로 국외에 361 제품이 보고되어 있다(Lacey and Kaya, 2007). 국내 미생물 살충제 개발은 2000년 6월 “미생물 농약의 등록기준과 방법”이 고시된 이후 본격화 되어, 2003년 *B. thuringiensis* subsp. *aizawai*를 기반으로 한 솔빛채[®]가 국내 최초의 미생물 살충제로 등록되었으며, 2008년 12월 기준으로 국내에 등록된 미생물 살충제는 14품목으로 이중 8개 품목이 *B. thuringiensis*를 이용한 Bt제이다(김과 김, 2009). 이 중 국내 판매중인 3종류의 Bt제(*Bt aizawai* SC, WP, and *Bt krustaki* WP)는 파밤나방 유충(김 등, 2008b)에, 그리고 *Bt aizawai*를 이용한 한 제품은 담배거세미나방 유충에 낮은 살충율을 보였다(김 등, 2008a). 또한, 국내 여러 지역에서 채집된 배추좀나방 지역 계통에서 특정 Bt제에 대해 저항성을 보였다(김 등, 2010). Hajek (2004)은 Bt에 대한 저항성 발현을 억제하는 방안으로 동일한 처리에 여러 독소를 포함하거나 고농도의 독소를 살포할 것을 제안하였다. 따라서, 본 연구에서는 친환경 농산물 생산에서 많은 영향을 미치는 나방류 해충의 환경 친화적 방제 방법을 모색하기 위해 국내 시판 중인 Bt제의 농도 증가 또는 혼합이 주요 나방류 해충 방제에 미치는 효과를 평가하였다.

본 연구에 사용된 파밤나방과 담배거세미나방은 국립농업과학원에서 인공사료를 이용하여 누대사육중인 곤충을 이용하였으며, 배추좀나방은 유채 유묘를 이용하여 사육중인 곤충을 이용하였다. 각 유충은 온도 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 광주기 16:8 h (L:D), 상대습도 $60 \pm 5\%$ 의 인공사육실에서 사육하였다. 파밤나방과 담배거세미나방 성충은 10% 설탕물이 공급된 산란 케이지에서 유산지에 산란을 유도하였고, 배추좀나방 성충은 플라스틱 케이지에 10% 설탕물과 유채싹을 공급하여 산란을 유도하였다.

국내에 미생물 농약으로 등록된 13개 품목의 미생물 살충제 중 2009년 5월 시장에서 구입이 가능한 5품목의 Bt제를 구입하여 상온에 보관하면서 실험에 사용하였다. 구매한 품목 중 3품목은 *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* 균을 이용한 제품으로 배추좀나방, 파밤나방, 담배거세미나방 등의 방제를 위해 등록 돼 있고, 본 실험에서는 제품 A, B, E로 표기하였다. *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki*를 이용한 2 제품은 배추좀나방, 목화바둑명나방 등의 방제를 위해 등록 돼 있으며 본 연구에서는 제품 C와 D로 표기 하였다.

생물검정을 위해 구입된 Bt제를 멸균수를 이용하여 각 제품의 제조사의 권장 사용 농도, 권장사용농도의 2배, 4배 용액을 조제하였다. 배추좀나방에 대한 생물검정을 위해 각 농도의 Bt 용액 0.2 mL를 먹이로 공급되는 직경 0.5 cm 정도 유채 잎에 떨어뜨려 말린 후 배추좀나방 2령 유충에 공급하였다. 유충 1마리 당 공급된 5개의 잎 중 한 잎 만이 Bt가 접촉된 잎이었다. 파밤나방과 담배거세미나방의 생물검정을 위해서는 Bt 용액 0.2 mL를 $2 \times 0.5 \times 0.5$ cm의 인공사

료에 접촉한 후 Bt용액이 마르면 각 2령 유충이 들어 있는 직경 5 cm의 페트리디쉬에 먹이로 공급하고 살충율을 조사하였다. 각 유충의 살충율은 급성 독성효과 조사를 위해 처리 2일 동안 살충율을 조사하였다. 살충 효과 실험 결과는 SAS의 PROC GLM (SAS Institute, 2010)을 이용하여 ANOVA분석을 실시하였다.

국내에 시판되고 있는 5종류의 Bt제 각각을 추천농도의 4배까지 증가하여 처리 하였을 때, 5제품 모두 배추좀나방 2령 유충에 대해서는 추천농도와 그 이상의 농도에서 처리 2일 후 약 100%의 살충율을 보였는데, *Bt krustaki*를 이용한 C, D 제품과 *Bt aizawai*를 이용한 E 제품에서 농도 증가에 따른 살충율 증진 효과를 보였다(PROC GLM: 추천농도, $F = 73.63$, $P < 0.0001$; 추천농도 2배액, $F = 47.68$, $P < 0.0001$; 추천농도 4배액, $F = 206.62$, $P < 0.0001$) (Fig. 1). 파밤나방 (Fig. 2)과 담배거세미나방 (Fig. 3)에 대한 살충율은 추천농도 뿐만 아니라 추천농도의 4배 증가 농도에서도 처리 2일 후 35% 이하로 낮게 나타났는데, 처리 농도 증가에 따른 살충증진 효과는 없었다(PROC GLM: 파밤나방: 추천농도,

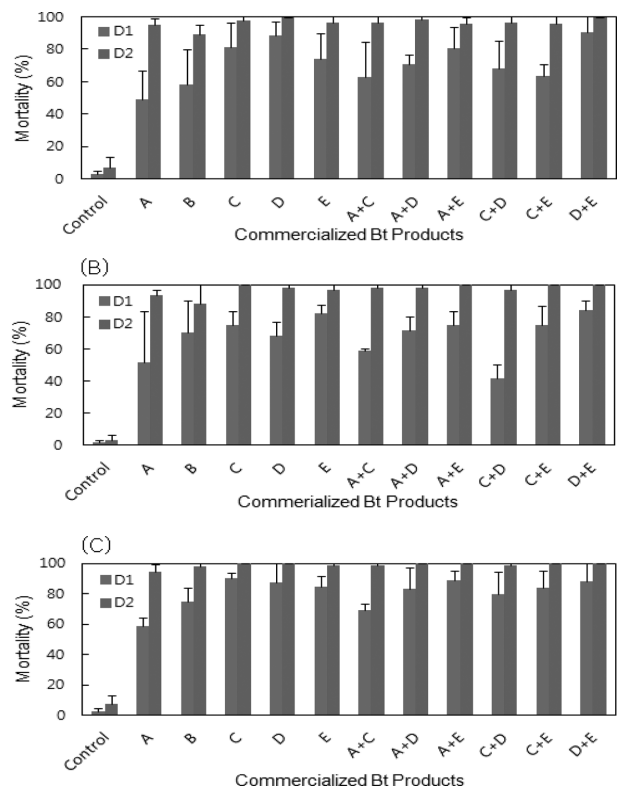


Fig. 1. Mortality of 2nd instar of diamondback moth (*Plutella xylostella*) 1 (D1) and 2 (D2) days after applying the Bt suspension of different concentrations of 5 commercial Bt products and the Bt mixture. (A, B and E based on *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai*, C and D based on *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki*). (A): Recommended concentration, B: Twice the recommended concentration, C: Four times the recommended concentration).

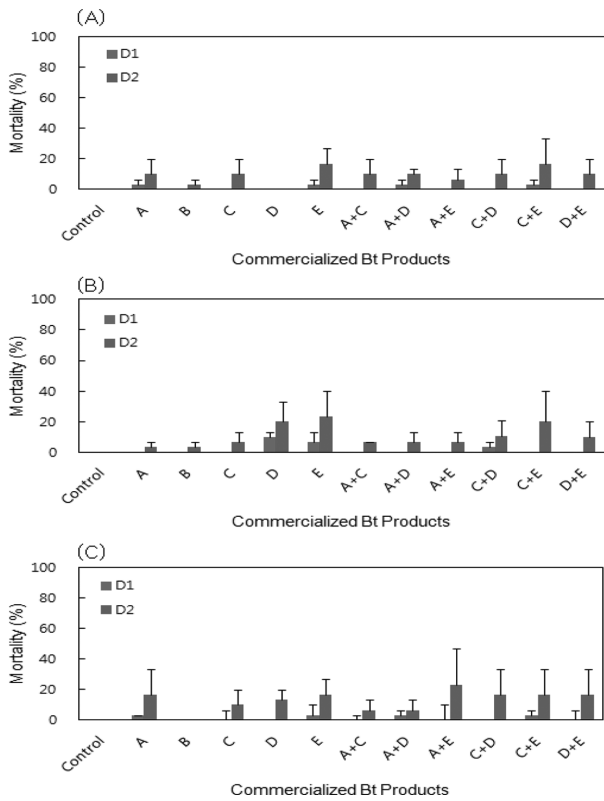


Fig. 2. Mortality of 2nd instar of beet armyworm (*Spodoptera exigua*) 1 (D1) and 2 (D2) days after applying the Bt suspension of different concentrations of 5 commercial Bt products and the Bt mixture. (A, B and E based on *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai*, C and D based on *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki*). (A: Recommended concentration, B: Twice the recommended concentration, C: Four times the recommended concentration).

F = 0.37, P = 0.9441; 추천농도 2배액, F = 0.55, P = 0.8338; 추천농도 4배액, F = 0.34, P = 0.9574; 담배거세미나방, 추천농도, F = 0.54, P = 0.8557; 추천농도 2배액, F = 0.38, P = 0.9412; 추천농도 4배액, F = 0.25, P = 0.9865). 또한 각 제품을 농도별로 혼합하여 처리한 경우에도 살충증진효과는 아주 미비했다(PROC GLM: 배추좀나방, F = 88.88, Pr > F = 0.0001; 담배거세미나방, F = 0.41, Pr > F = 0.9957; 파밤나방, F = 0.45, Pr > F = 0.9894).

김 등(2008a)은 국내 판매중인 3종류의 Bt제(*Bt aizawai* SC, WP, and *Bt kurstaki* WP)를 파밤나방 유충에 처리 하였을 때 35% 정도의 낮은 살충율을 보고 하였다. 본 연구에 사용한 5제품은 김 등(2008a)의 결과와 유사하게 파밤나방에 대해 낮은 살충율을 보였으며, 처리 농도가 상승하거나 타 제품과 혼합 처리한 경우에도 살충율 상승효과는 보이지 않았다.

한 *Bt aizawai* 균주는 담배거세미나방의 어린 유충에는 높은 살충율을 보였으나 노숙 유충에 대한 살충 효과는 낮았다(김 등, 2008b). 이 균주와 비교 균주로 사용된 국내 시

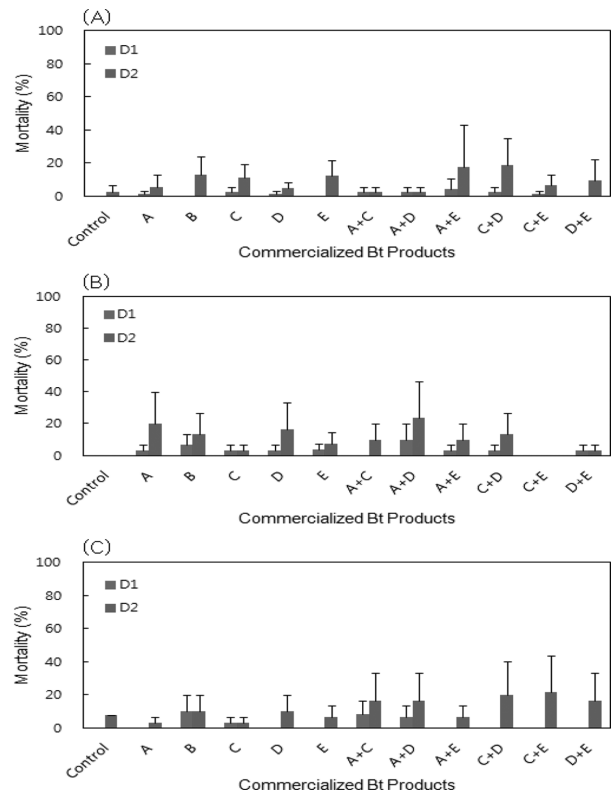


Fig. 3. Mortality of 2nd instar of tobacco cutworm (*Spodoptera litura*) 1 (D1) and 2 (D2) days after applying the Bt suspension of different concentrations of 5 commercial Bt products and the Bt mixture. (A, B and E based on *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai*, C and D based on *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki*). (A: Recommended concentration, B: Twice the recommended concentration, C: Four times the recommended concentration).

판중인 Bt제의 경우, 담배거세미나방에 대한 살충율은 처리 5일 후 까지 30% 미만으로 낮았으나 섭식저해 효과가 있는 것으로 조사되었다(김 등, 2008b). 본 연구에서도 담배거세미나방에 대한 우리나라 등록 Bt제의 살충율은 2령의 어린 유충에도 30% 이하로 낮고, 고농도 또는 제품간 혼합 처리 시 상승 효과는 없었다.

국내 몇몇 지역에서 채집된 배추좀나방 계통의 Bt제에 대한 저항성 발달 검토 결과, 일부 지역 계통에서 특정 Bt제품에 대해 저항성 발달이 보고되었으나(김 등, 2010), 본 연구에 사용된 배추좀나방 실내 사육 계통은 처리된 Bt 제품에 높은 감수성을 보였다. 이는 국내 발생 배추좀나방의 친환경 방제를 위해서는 동일 Bt제의 연용에 따른 저항성 관리가 필요하다는 것을 보여 주고 있다. Bt에 대한 저항성 발현을 억제하는 방안으로 동일한 처리에 여러 독소를 포함하여 처리하거나 고농도의 독소를 살포하는 것이 제시되었다(Hajek, 2004). 국내 발생 Bt 저항성 배추좀나방의 효율적인 관리를 위해서는 고농도의 단일 Bt제 사용과 Bt제의 혼합 살포도 권장할 만한 대안으로 고려 할 수 있다. 그러나 파밤

나방과 담배거세미나방의 친환경적 방제를 위해서는 곤충 면역 억제제를 선발하여 Bt제와 혼합 살포도 친환경적인 방제의 한 방법이 될 수 있을 것으로 추정된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(PJ006634), 국립농업과학원의 기관고유사업(PJ006848) 및 박사후연구원(Dr. Hong Zhu) 지원사업의 지원에 의해 수행되었습니다.

Literature Cited

- Bravo, A., S. Likitvivatanavong, S. S. Gill and M. Soberon (2011) *Bacillus thuringiensis*: a story of a successful bioinsecticide. *Insect Biochemistry and Molecular Biology* 41:423~431.
- Crickmore, N., D. R. Zeigler, J. Feitelson, E. Schnepf, J. Van Rie, D. Lereclus, J. Baum and D. H. Dean (1998) Revision of the nomenclature for the *Bacillus thuringiensis* pesticidal crystal proteins. *Microbial Molecular Biology Review*. 62:807~813.
- Gill, S. S., E. A. Cowles and P. V. Pietrantonio (1992) The mode of action of *Bacillus thuringiensis* endotoxins. *Annual Review of Entomology*. 37:615~636.
- Hajek, A. (2004) *Natural enemies: An introduction to Biological Control*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Lacey, L. A and H. K. Kaya (2007) *Field manual of techniques in invertebrate pathology: Application and evaluation of pathogens for control of insects and other invertebrate pests*. Springer, The Netherlands.
- Kim, D., J. Kim, M. Kil, S. Paek, S. Choi, D. Jin, Y. Youn, I. Hwang and Y. Yu (2008a) Characterization of new *Bacillus thuringiensis* isolated with bioactivities to tobacco cutworm, *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). *Korean Journal of Applied Entomology*. 47(1):87~93.
- Kim, D., M. Cho, S. Choi, S. Paek, J. Kim, Y. Youn, I. Hwang and Y. Yu (2008b) Selection of crop protectant for friendly environmental control of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). *Korean Journal of Applied Entomology*. 47(1): 87~93.
- Kim, I. S. and I. Kim (2009) Status and future prospects of pest control agents in environmentally-friendly agriculture and importance of their commercialization. *Korean Journal of Environmental Agricultur*. 28(3):301~309.
- Kim, Y., M. Cho, S. Oh, S. Kim, Y. Youn and Y. Yu (2010) Resistance and susceptibility of diamondback moth, *Plutella xylostella* strains collected from different region in Korea to *Bacillus thuringiensis*. *The Korean Journal of Pesticide Science*. 14(2):123~132.
- Tanada, Y. and H. K. Kaya (1993) *Insect Pathology*, Academic Press, San Diego.

● ●

Bacillus thuringiensis 제품의 농도 및 혼합 조건에 따른 나방류 방제 효과

김정준^{1*} · 홍 쭉^{1,2} · 한지희¹ · 이상엽¹ · 박홍현³ · 이상계³

¹농촌진흥청 국립농업과학원 농업미생물과, ²중국 안휘농업대학, ³농촌진흥청 국립농업과학원 작물보호과

요 약 담배거세미나방, 파밤나방, 배추좀나방은 중요 경제 작물의 재배, 수확 시에 해를 입히는 해충들이다. 이들 해충의 방제를 위해 *Bacillus thuringiensis*를 이용한 Bt제는 여러 해 동안 화학 살충제의 대체 방제 수단으로 이용되고 있다. 국내에 시판 중인 미생물 살충제의 방제 효율 증진을 위해 Bt제의 추천 농도 이상과 제품 간 혼합에 따른 효과 평가를 실내 생물검정을 통해 수행하였다. 본 연구에 사용된 5 제품 모두 추천농도에서 배추좀나방 2령 유충에 높은 방제 효과를 보였으나, 파밤나방과 담배거세미나방에는 낮은 살충율을 보였다. 추천농도의 2배액과 4배액 처리 및 Bt 제품들의 혼합 처리에서도 파밤나방과 담배거세미나방에서는 방제 상승 효과는 없었다.

색인어 담배거세미나방, 비티, 배추좀나방, 파밤나방, *Bacillus thuringiensis*

● ●