

## 국내 지역별 채집계통 및 감수성계통 배추좀나방에 대한 *Bacillus thuringiensis* 제품의 생물활성 비교

김영림<sup>1</sup> · 조민수<sup>1</sup> · 오세문<sup>1</sup> · 김성우<sup>1</sup> · 윤영남 · 유용만\*

충남대학교 농업생명과학대학 응용생물학과, <sup>1</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 농자재평가과

(2010년 3월 29일 접수, 2010년 4월 12일 수리)

### Resistance and Susceptibility of Diamondback Moth, *Plutella xylostella* Strains Collected from Different Region in Korea to *Bacillus thuringiensis*

Young-Rim Kim<sup>1</sup>, Min-Su Cho<sup>1</sup>, Se-Mun Oh<sup>1</sup>, Sung-woo Kim<sup>1</sup>, Young-Nam Youn and Yong-Man Yu\*

Dept. Applied Biology, College of Agriculture and Life Science, Chungnam National University, Daejeon 305-764,

<sup>1</sup>Pesticide Safety Evaluation Division, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Suwon 441-707, Korea

#### Abstract

Six populations of the diamondback moth, *Plutella xylostella*, were collected from the different national areas for resistance and reared in laboratory for two sensitive population. These populations of *P. xylostella* were examined the developed resistance against commercial products of *Bacillus thuringiensis*. There were 3 products with *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* including Tyuneup<sup>®</sup>, Thuricide<sup>®</sup> and Geumulmang<sup>®</sup> and 2 products with *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* including Tobagi<sup>®</sup> and Scorpion<sup>®</sup>. The sensitive population of diamondback moths were provided from National Academy of Agricultural Science (NP) and Highland Agriculture Research Center (GR population) and field populations were caught from 6 different national areas. Resistance against Tyuneup<sup>®</sup> was developed 4.8 and 2.5 times in SP and HS compared with GR population of diamondback moth, respectively. In case of Geumulmang<sup>®</sup>, it was developed 9.9 and 6.8 times in SP and NM population compared with NP population, respectively. Otherwise, Tobagi<sup>®</sup> was showed higher resistance in HS than any other population compared with GR population, however, Scorpion<sup>®</sup> that is a same strain with Tobagi<sup>®</sup>, was showed only double resistance to SP population. It was supposed that the development of resistance to *B. thuringiensis* might be caused by the continuous application of the specific commercial product at the specific area. So, we need to use the commercial products of *B. thuringiensis* in rotation with different *B. thuringiensis* strains. In the other hand, when HS population with highest resistance were reared in laboratory, their resistance ratio was rapidly dropped to 1.1 times at second generation. We have to examined the resistance mechanism of the diamondback moth to *B. thuringiensis* strains.

**Key words** BT commercial product, Diamondback moth, Resistance, Bioassay, *Bacillus thuringiensis*

#### 서 론

\*연락처 : Tel. +82-42-821-5763, Fax. +82-42-823-8679

E-mail: ymyu@cnu.ac.kr

배추좀나방은(*Plutella xylostella* L.) 배추, 양배추, 케일,

순무, 겨자, 꽃양배추 등 주로 십자화과작물과 기타 광엽식물에 발생하여 많은 피해를 주는 나비목(Lepidoptera) 집나방과(Yponomeutoidea)에 속하는 해충이다. 전 세계적으로 광범위하게 분포하고 있으며 80개국 이상에서 피해가 보고된 바 있는 중요한 농업해충으로서 방제대상이다. 또한 이 해충의 방제를 위하여 전 세계적으로 매년 10억 달러의 방제비용을 지불하는 것으로 보고하고 있다(Talekar, 1993).

배추좀나방은 년중 여러 세대에 걸쳐 발생하는 생활환을 가지고 있으며, 농작물 재배 시기에는 알, 유충, 번데기 그리고 성충으로 혼재하여 발생하면서 작물에 피해를 입히는 것으로 알려져있다. 또한 개체수가 많고 세대기간이 짧아 농약 등으로 방제가 매우 어려운 난방제 해충의 하나로 잘 알려져 있다. 특히 대부분의 화학농약은 성충이나 유충에 대한 방제효과가 높은 반면, 알과 번데기의 시기에는 낮은 방제가를 나타낸다. 우리나라에서 배추좀나방의 연 발생세대수는 10~11회이고, 알에서 우화까지 1세대 소요기간은 7, 8월에는 11~18일간, 6, 9월에는 19~23일간, 4, 5, 10월에는 28~34일간, 기타 기간에는 50~100일이 경과하는 것으로 조사되었다(김 과 이, 1991). 이처럼 배추좀나방의 세대기간을 이해하는 것은 저항성 발달을 예측하고 저항성 관리 프로그램 내에서 적절한 살충제 교호살포시점을 제안하는 데 있어서 중요한 기초 자료로 제공된다.

배추좀나방의 살충제에 대한 저항성의 역사는 1952년 인도네시아의 DDT 에서부터 시작되어(Ankersmit, 1953), 1981년 Pyrethroids, Organophosphates, Carbamates, Chlorinated hydrocarbon 등을 포함한 다양한 계통 36종 이상 살충 제에 대한 저항성의 발달이 보고되었고(Miyata et al, 1986), 1990년에는 Abamectin, Benzophenyl urea 등 다양한 계통에 대한 저항성이 보고되었다(Sun, 1992). 최근 새로 개발된 살충제인 Spinosad, Indoxacab, Emamection benzoate 등에도 저항성발달이 보고되었다(Zhao et al., 2006). 특히 최근 친환경 농산물의 생산을 위하여 많이 사용되는 미생물농약으로서 *Bacillus thuringiensis*(이하 Bt)에 대해서도 저항성 유발이 보고되고 있다(Tabashnik et al., 1990).

미생물살충제로서의 대표적인 Bt는 세포에서 포자로 변화되는 시기에 생산하는 독소가 살충제로서의 역할을 하는 것이다. 그 기작은 포자 증식시 Bt중에 따라 다른 Crystalline (Cry) 독소 단백질 inclusion을 생성하는데, 곤충은 농작물에 살포된 이 Bt crystal를 섭취하여 중장의 강한 알칼리성과 단백질 분해효소로 protoxins의 형태로 변화 되고 이 독소는 곤충의 중장세포막의 표피세포를 파괴하여 결국은 곤충을 죽게 한다(Alejandra et al., 2007).

현재 세계적으로 발견되어 보고된 Bt는 혈청학적인 분류 방법에 따라 63아종이 분리 보고되었다(Thiery and Frachon, 1997). 그 중에서 상업화하여 판매되는 대부분의 배추좀나방 방제용 Bt제는 *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki*, *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* 그리고 *B. thuringiensis* subsp. *tennebrions* 균주 등 3 아종으로 부터 유래된 포자와 Crystal의 혼합액이 대부분이다. 우리나라에서도 1960년대부터 주로 친환경적인 방제방법으로 농작물을 생산하는 농가에서는 Bt제를 성공적으로 사용하여 왔다. 우리나라에서 상업화된 미생물농약 제품은 *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* 종류가 3 품목 그리고 *B. thuringiensis* subsp. *aizawai*가 5품목으로 등록되어 판매되고 있다.

유기합성 농약 사용에 따른 살충제 저항성의 발달이 문제 되어온 반면 생물농약인 Bt의 경우 새로운 작용기작과 높은 선택성 등으로 최초 상업화 이후 약 20년간 저항성과 관련된 내용은 보고되지 않았다. 그러나 1985년 저곡해충인 *Plodia interpunctella*에서 Bt저항성과 관련된 내용이 보고되기 시작하였다(McGaughey, 1985). 그후 배추좀나방에 대한 *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki*의 저항성이 Hawaii, Florida, New York, Philippines, Malaysia 등의 야외실재화가 채소작물에서 발견되었으며(Ferre et al., 1991, Tabashnik et al., 1990, 1992). 일본의 온실개체에서도 나타나는 것으로 보고되었다(Tanaka and Kimura, 1991). 뿐만 아니라 말레이시아(Verkerk and Wright, 1997), 중앙아메리카(Perez and Shelton, 1997), 멕시코에 걸쳐서 보고되었다(Diaz-Gomez et al., 1994, 2000). 최근 전세계적으로 배추좀나방이 Bt에 대해 높은 저항성이 관찰된다는 보고서가 점차 증가되고 있는 실정이다. Dipel®(*B. thuringiensis* subsp. *kurstaki*)에 대한 하와이 개체는 30배의 높은 저항성수준을 보여주었고(Tabashnik, et al., 1990) 실험실 선발에서도 1,000배 이상 급속한 저항성이 발달이 나타난다고 보고하였다(Tabashnik et al., 1994). 플로리다 야외개체에서는 *B. thuringiensis* subsp. *aizawai*(Javelin®)에 대해 1,500배 이상의 저항성을 보고되었다(Tang et al., 1996). 멕시코에서는 배추좀나방의 Bt제에 대한 저항성발달의 위험성을 Ibarra(1993)와 Diaz-Gomez (1992)가 보고하였는데, 이들 연구는 야외집단에서의 Bt에 대한 저항성유전자의 존재를 제시함과 동시에 Bt 저항성 발달의 위험성을 예견하였다. 또한 이러한 저항성발달의문제점을 해결하기 위하여서는 기본적으로 Bt에 대한 곤충 감수성 초기 조사가 선행되어야 함과 집단 감도 변화가능성을 모니터링 하기 위한 기준을 세우는 것이 필수적임을 제시하였다. 이는 저항성 관리를 효과적으로 실현하고 장기간 효과 있는

제품사용을 보장하기 위한 제품사용 전략에 이용될 수 있기 때문이다. 한편, 지난 40여년 동안 국내 해충방제를 위해 사용해온 미생물 농약인 Bt제도 유기합성농약과 같은 저항성 관련 문제점들이 점차 보고되고 있다. 이는 아직도 저항성 발달 문제점에 대한 판매상들이 지식 부족과 사용자인 농업인들의 연속사용이 저항성발달을 촉진시킨 요인이라 할 수 있다. 국내 십자화과 작물의 주요 해충인 배추좀나방에 대한 Bt제 저항성에 관한 보고에 따르면 평창군 개체군에서 41배의 저항성이 나타난 것으로 보고 되었으며(송, 1991), 유기합성 살충제에 대한 지역별 약제저항성에 관한보고(이 등, 1993) 이후로 배추좀나방에 대한 저항성에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구는 우리나라에서 상업화된 Bt제품 중 가장 많이 사용되는 *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki*을 주성분인 3제품과 *B. thuringiensis* subsp. *aizawai*계통의 2제품 등 5제품군에 대해 배추좀나방의 감수성계통과 배추 주 재배지의 야외 집단개체군 계통에 대한 생물활성을 확인하고 방제 및 저항성 관리 자료로 활용하고자 시도되었다.

## 재료 및 방법

### 공시약제

본 시험에서 사용된 약제는 국내에 등록되어 시중에 판매되는 미생물살충제로 *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* 계통인 Tyuneup® [입상수화제, (주)경농], Thuricide® [수화제, 바이엘크롭사이언스(주)] 그리고 Geumulmang® [수화제, (주)동부하이텍] 의 3개 제품이며, *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* 계통으로는 Tobagi® [수화제, (주)동부하이텍] 와 Scorpion® [입상수화제, (주)영일케미컬] 등 2개 제품을 사용하였다(Table 1).

### 공시곤충

생물시험에 사용된 공시곤충은 실험실에서 누대 사육한

배추좀나방 *Plutella xylostella*의 감수성개체군과 야외에서 채집한 계통의 곤충을 사용하였다. 실험에 사용한 감수성 개체군은 경기도 수원에 위치한 농촌진흥청 농업과학기술원 농약평가과 개체군(이하 NP)과 강원도 평창에 위치한 고령지 농업연구센터에서 10년 이상 누대사육한(이하 GR)을 이용하였다. 야외개체군은 십자화과 식물이 대단위로 재배되는 지역에서 채집하여 사용하였다. 채집 장소로서는 경북 봉화군 석포면 석포리 개체군(이하 SP), 강원도 횡성군 안흥면 소사리 개체군(이하 HS), 충청북도 보은군 삼승면 내막리 개체군(이하 NM), 강원도 횡성군 둔내면 현천리 개체군(이하 DR), 강원도 홍천군 내면 자운리 개체군(이하 HC), 경기도 화성시 봉담읍 동화리의 온실개체군(이하 HW) 등 6개소의 장소에서 채집하여 실험실에서 각각 분리하여 사육하였다. 우화한 성충은 아크릴케이지 내에서 배추 잎에 알을 받아 사육한 F1세대를 이용하여 실험을 실시하였으며, 모든 실험은 온도 25±2℃, 광주조건 16L:8D, 상대습도 50~60%의 조건에서 수행하였다.

### 저항성발달 및 감수 개체 유도

저항성발달 정도를 검토하기 위하여 감수성인 NP계통의 배추좀나방을 누대사육하면서 적정량의 *B. thuringiensis* 균주를 처리하였다. 저항성 유도를 위하여 NP계통의 배추좀나방 2~3령 유충에 *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* (Tyuneup®, 64BIU/kg) 약제를 LC<sub>20~30</sub> 농도가 되도록 희석액을 만들어서 배추잎을 침지 음건한 후 단일 반복노출 방법으로 수행하였다. 약제처리하는 F1세대부터 F9세대까지 사육하면서 각 세대마다 생물검정을 하였다.

한편 야외에서 채집한 저항성 개체군을 실내 계대사육하면서 저항성 지속 여부를 검토하였다. 야외 개체군 SH의 저항성 발달 정도를 검토하기위해서 시중에 판매중인 Tyuneup® (*B. thuringiensis* subsp. *kurstaki*)과 Tobagi®(*B. thuringiensis* subsp. *aizawai*) 2제품을 구입하여 검정을 실시하였다. 채집한 야외개체군은 실내에서 서로 오염되지 않도록 격리

**Table 1.** List of microbial insecticides used in this study and number of colony on the NA medium

<i>B. thuringiensis</i> products	Formulation	Trade name	Active Ingredient	Number of Colony (cfu/ml)
<i>B. thuringiensis</i> subsp. <i>kurstaki</i>	Wettable granule (WG)	Tyuneup®	potency 64BIU/kg	6.3×10 <sup>9</sup>
	Wettable powder (WP)	Thuricide®	potency 16BIU/kg	5.3×10 <sup>9</sup>
	Wettable powder (WP)	Geumulmang®	potency 16BIU/kg	6.4×10 <sup>9</sup>
<i>B. thuringiensis</i> subsp. <i>aizawai</i>	Wettable powder (WP)	Tobagi®	NT0423 (1×10 <sup>9</sup> cfu/g)	4.4×10 <sup>9</sup>
	Wettable granule (WG)	Scorpion®	potency 35,000 DBMU/mg	4.9×10 <sup>9</sup>

사육하였다.

### 생물검정

국내에서 시판되는 5종류의 미생물농약인 *B. thuringiensis* 제품에 대해 활성생균수의 확인은 NA배지를 사용하는 평판 배지법을 이용하여 균수를 측정하였다. 생물검정에서 각각의 *B. thuringiensis* 균주는 권장사용 농도로 희석하여 준비된 배추 잎을 침지하고 음전한 후 배추좀나방의 2~3령 유충을 20마리씩 접종하였으며 72시간 후 사충수를 조사하였다. 야외 개체군 6개 지역을 각각 채집하여 F<sub>1</sub>세대를 시험에 사용하였고, 각 개체별 시험 유충수는 농도별로 50마리씩 총 250마리씩 시험을 실시하였다. 자료분석은 약제별로 각각 5개 농도에 대하여 생물검정 후 사충수를 조사하여 사충율을 구하였고, Probit분석으로 LC<sub>50</sub>치를 계산하였다.

### 결과 및 고찰

국내의 배추좀나방에 등록되어 시판되고 있는 미생물농약에 대한 생물활성을 정확히 알아 보기위하여 우선 포장용기 라벨에 기록된 품질 규격을 조사하였다. 미생물농약의 활성은 현장의 해충방제의 역할에 매우 중요하기 때문이다. 비록 동일한 균주, 배양조건, 시간 등의 조건을 갖추고 있더라도 형성되는 독소단백질의 질적인 차이가 유발될 수 있기 때문에 정확한 품질관리를 필요하게 한다(Shelton, 1993; 길 등, 2007). 따라서 시험에 사용된 5개 제품의 균수는 Table 1에서 볼 수 있듯이 포장지 라벨에 표시되어 있는 품질규격의 균수와 동일한 수의 Bt(cfu/ml)균수가 조사되어 시험균주로서

의 역가에 미칠 영향은 없을 것으로 판단된다.

먼저 화학농약이나 생물농약에 노출되지 않고 실험실에서 10여 년간 누대사육해온 감수성 개체군에서의 Bt에 대한 저항성 발달정도를 조사하였다. 또한 국내의 주요 배추좀나방 발생지역으로부터 야외 개체군을 채집하여 저항성 발달정도를 검토하였다. Bt 제품은 국내외적으로 3종류의 아종의 균주가 시판되고 있으며 이에 저항성에 대하여 보고되고 있는 것은 *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* 와 *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* 등 2종류로서 주로 나비목의 배추좀나방에 관련된 것들이다. 따라서 국내에서 시판되는 5종류의 제품중에서 *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* 계통으로는 Tyuneup<sup>®</sup>, Thuricide<sup>®</sup>, Geunulmang<sup>®</sup> 등 3제품으로서 동일한 계통일지라도 Tyuneup<sup>®</sup>은 (주) 경농이 생산 판매하고, Thuricide<sup>®</sup>은 바이엘 제품 그리고 Geunulmang<sup>®</sup>은 (주) 동부하이텍 제품을 사용했다. 그러나 동일한 아종이라도 균주의 계통에 따라서 독소단백질을 생산하는 유전자가 다르며 생물활성에서도 약간의 차이를 나타낸다고 보고되었다(Dilawari et al., 1996). 상품화되어 있는 *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* HD-1균주는 Cry1Aa, Cry1Ab, Cry1Ac, Cry2A와 Cry2B로 표현되는 5개의 유전자를 갖고 있다. 또 다른 균주인 HD-73은 독소단백질을 하나의 유전자로 표현한다. 반면에 *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* 계통으로서 Tobagi<sup>®</sup>는 (주) 동부하이텍의 제품으로 국내토양에서 순수 분리한 NT0423균주를 사용했고(김 등, 1993), Scorpion<sup>®</sup>은 같은 *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* 균주이지만 외국에서 수입하여 제조한 제품이다. *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* HD-137 균주는 Cry1Aa, Cry1Ab, Cry1C, 그리고 Cry1B의 유전자를 소유한다(Dila-

Table 2. Toxicity ratio of *P. xylostella* population against *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* product Tyuneup<sup>®</sup>

Insect Populations <sup>1)</sup>		LC <sub>50</sub> (μg/ml)	LC <sub>50</sub> (cfu/ml)	Slope	Fiducial limits	RR <sup>2)</sup>
SP	NP	1.21	7.62 × 10 <sup>3</sup>	1.25 ± 0.10	6.4×10 <sup>3</sup> -9.5×10 <sup>3</sup>	2.1
	GR	0.59	3.71 × 10 <sup>3</sup>	1.48 ± 0.11	4.0×10 <sup>3</sup> -4.7×10 <sup>3</sup>	1.0
FP	HS	1.48	1.36 × 10 <sup>4</sup>	1.68 ± 0.21	1.0×10 <sup>4</sup> -1.8×10 <sup>4</sup>	2.5
	SP	2.82	1.76 × 10 <sup>4</sup>	1.20 ± 0.17	1.2×10 <sup>4</sup> -2.7×10 <sup>4</sup>	4.8
	NM	0.70	4.41 × 10 <sup>3</sup>	1.67 ± 0.19	3.2×10 <sup>3</sup> -6.3×10 <sup>3</sup>	1.2
	DR	1.1	6.9 × 10 <sup>3</sup>	1.41 ± 0.30	2.5×10 <sup>3</sup> -1.2×10 <sup>4</sup>	1.9
	HC	0.39	2.4 × 10 <sup>3</sup>	0.65 ± 0.17	5.0×10 <sup>2</sup> -6.6×10 <sup>3</sup>	0.7
	HW	0.38	2.3 × 10 <sup>3</sup>	1.27 ± 0.26	9.5×10 <sup>2</sup> -5.2×10 <sup>3</sup>	0.6

<sup>1)</sup>SP: Susceptible population in laboratory; FP: Population collected from field; NP: Population in National Academy of Agricultural Science Laboratory; GR: Highland Agriculture Research Center Population; SP: Population from Suckpori, Gyeongbuk; HS: Population from Sosari, Gangwon; NM: Population from Naemakri, Chungbuk; DR: Population from Hyunjeari, Gangwon; HC: Population from Jawoonri, Gangwon; HW: Population from Dongwhari, Gyeonggi.

<sup>2)</sup>Resistance ratio=LC<sub>50</sub> of field population/LC<sub>50</sub> of the susceptible population (GR population).

wari et al., 1996). 이와 같이 시판되는 상품이 동일한 아종으로 나타나지만 회사에서 특허균주로 상품을 생산하기 때문에 균주가 만들어내는 독소단백질의 유전자가 다를 수밖에 없다고 판단된다. 또한 배추좀나방에 대한 생물활성에 있어 *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki*와 *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* 균주들에 의해 차이를 나타낸다고 설명하고 있다(Shelton et al., 1993).

Table 2에서 볼 수 있는 것같이 *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* 균주인 Tyuneup®에 대한 야외 개체별 배추좀나방에 대한 생물검정의 결과, 감수성 계통인 GR 개체군에 비교해 석포리 개체군(SP)은 4.8배 그리고 소사리 개체군(HS)은 2.5배의 저항성발달을 보였다. 그러나 다른 지역에서는 *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki*에 대한 저항성 정도에 큰 차이를 나타나지 않았다. 이러한 결과는 조사된 6개의 개체군에서 2곳

의 개체군은 저항성이 발달된 것으로 판단되었다.

동일한 *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* 계통의 Thuricide®에 대한 반응에서는 모든 야외 개체군은 감수성계통 대비하여 같거나 차이가 심하지 않은 2배 정도의 활성반응을 보였다(Table 3). 이러한 현상은 동일균주라도 갖고 있는 균주의 특이성 때문에 Cry 유전자에 따라서 병원성의 차이를 나타내는 것이 일반적이다(Schnepf, 1995). 이렇게 동일 균주에 대하여 방제가의 차이를 나타내는 또 다른 이유로는 여러 가지가 있을 수 있으나 제품의 제형과 배양방법에 따른 차이가 나타날 수 있다(Shelton, 1993; 길 등, 2007). 또한 동일한 지역의 배추좀나방의 경우에도 동일약제에 대한 노출된 횟수에 의해서 차이가 있을 수 있다는 것을 암시한다. 조사된 SP, HS 지역에서는 Tyuneup®이 Thuricide® 보다 연용하여 살포 되었을 것으로 추정할 수 있다.

**Table 3.** Toxicity ratio of *P. xylostella* population against *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* product Thuricide®

Insect Populations <sup>1)</sup>		LC <sub>50</sub> (μg/ml)	LC <sub>50</sub> (cfu/ml)	Slope	Fiducial limits	RR <sup>2)</sup>
SP	NP	4.20	2.22 × 10 <sup>4</sup>	1.34 ± 0.12	1.8×10 <sup>4</sup> -2.7×10 <sup>4</sup>	1.0
	GR	5.96	3.15 × 10 <sup>4</sup>	1.68 ± 0.20	2.5×10 <sup>4</sup> -4.0×10 <sup>4</sup>	1.4
	HS	2.87	1.52 × 10 <sup>4</sup>	1.37 ± 0.15	1.1×10 <sup>4</sup> -1.9×10 <sup>4</sup>	0.7
FP	SP	4.91	2.6 × 10 <sup>4</sup>	1.45 ± 0.21	1.8×10 <sup>4</sup> -3.7×10 <sup>4</sup>	1.2
	NM	7.51	3.98 × 10 <sup>4</sup>	1.26 ± 0.23	2.2×10 <sup>4</sup> -6.6×10 <sup>4</sup>	1.8
	DR	4.20	2.4 × 10 <sup>4</sup>	1.02 ± 0.23	1.1×10 <sup>4</sup> -4.6×10 <sup>4</sup>	1.1
	HC	4.57	1.5 × 10 <sup>3</sup>	0.81 ± 0.19	4.2×10 <sup>2</sup> -3.5×10 <sup>3</sup>	0.1
	HW	0.29	5.4 × 10 <sup>3</sup>	0.58 ± 0.19	8.5×10 <sup>2</sup> -2.2×10 <sup>4</sup>	0.2

<sup>1)</sup>SP: Susceptible population in laboratory; FP: Population collected from field; NP: Population in National Academy of Agricultural Science Laboratory; GR: Highland Agriculture Research Center Population; SP: Population from Suckpori, Gyoungbuk; HS: Population from Sosari, Gangwon; NM: Population from Naemakri, Chungbuk; DR: Population from Hyunjeari, Gangwon; HC: Population from Jawoonri, Gangwon; HW: Population from Dongwhari, Gyounggi.

<sup>2)</sup>Resistance ratio=LC<sub>50</sub> of field population/LC<sub>50</sub> of the susceptible population.

**Table 4.** Toxicity ratio of *P. xylostella* population against *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* product Geumulmang®

Insect Populations <sup>1)</sup>		LC <sub>50</sub> (μg/ml)	LC <sub>50</sub> (cfu/ml)	Slope	Fiducial limits	RR <sup>2)</sup>
SS	NP	0.84	5.37 × 10 <sup>3</sup>	0.76 ± 0.18	1.34×10 <sup>3</sup> -2.07×10 <sup>4</sup>	1.0
	GR	5.76	3.68 × 10 <sup>4</sup>	0.82 ± 0.13	2.06×10 <sup>4</sup> -8.83×10 <sup>4</sup>	6.9
FS	HS	2.85	1.82 × 10 <sup>4</sup>	1.27 ± 0.16	1.28×10 <sup>4</sup> -2.35×10 <sup>4</sup>	3.4
	SP	8.28	5.3 × 10 <sup>4</sup>	0.98 ± 0.20	1.28×10 <sup>4</sup> -2.35×10 <sup>4</sup>	9.9
	NM	5.70	3.64 × 10 <sup>4</sup>	1.15 ± 0.19	2.56×10 <sup>4</sup> -5.20×10 <sup>4</sup>	6.8
	DR	2.92	1.8 × 10 <sup>4</sup>	1.93 ± 0.31	1.1×10 <sup>4</sup> -2.8×10 <sup>4</sup>	3.5
	HC	0.67	4.2 × 10 <sup>3</sup>	0.79 ± 0.18	1.5×10 <sup>3</sup> -1.0×10 <sup>4</sup>	0.8
HW	1.19	7.6 × 10 <sup>3</sup>	1.11 ± 0.20	3.9×10 <sup>3</sup> -1.4×10 <sup>4</sup>	1.4	

<sup>1)</sup>SP: Susceptible population in laboratory; FP: Population collected from field; NP: Population in National Academy of Agricultural Science Laboratory; GR: Highland Agriculture Research Center Population; SP: Population from Suckpori, Gyoungbuk; HS: Population from Sosari, Gangwon; NM: Population from Naemakri, Chungbuk; DR: Population from Hyunjeari, Gangwon; HC: Population from Jawoonri, Gangwon; HW: Population from Dongwhari, Gyounggi.

<sup>2)</sup>Resistance ratio=LC<sub>50</sub> of field population/LC<sub>50</sub> of the susceptible population.

위에서 시험한 동일한 계통의 *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* 균주이지만 생물효과로 나타나는 방제가의 결과에서 차이를 나타내고 있다. 주목할 만한 결과는 감수성계통인 NP계통에 비교하여 가장 높은 석포리 개체군(SP)에서는 약 10배정도의 저항성을 나타나는 것에서 부터 자운리 개체군(HC)과 같이 거의 저항성이 발달하지 않은 개체군을 볼 수 있다(Table 4). 이러한 결과는 동일한 *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* 균주라도 제조상품에 따라서 독성의 활성에 차이가 있다고 보고를 뒷받침하고 있다(Mohan and Gujar, 2001). Shelton et al.(1993) 역시 Bt 제품인 Dipel<sup>®</sup>과 Javelin<sup>®</sup>이 배추좀나방에 대한 LC<sub>50</sub>을 각각 1.84ppm과 2.58ppm이라고 보고한 결과와 본 시험 결과가 유사한 경향치를 나타내고 있다. 동일한 계통의 *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki*균주에 대하여 Tyuneup<sup>®</sup>과 Geumulmang<sup>®</sup>은 소사리 개체군(SP)에 대하여 동일한 수준의 높은 저항성 발달 현상을 보이고 있다. 따라서 Tyuneup<sup>®</sup>과 Geumulmang<sup>®</sup>은 동일 Cry유전자를 포함하였거나 거의 유사한 homology를 가지고 있는 유전자 일 가능성을 암시하고 있다. 다른 한편으로는 이 지역에서 Tyuneup<sup>®</sup>과 Geumulmang<sup>®</sup>의 살포가 많았을 것으로 사료된다.

다음으로 *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki*균주와 결정성 독소단백질 유전자가 다른 *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* 계통의 균주로 만들어진 두 개의 제품으로 시험하였다. 국내 토양에서 분리하여 상품화된 *B. thuringiensis* subsp. *aizawai*로 만들어진 Tobagi<sup>®</sup>를 6개 지역의 다른 배추좀나방 개체군에 처리한 결과 반수치사농도가 0.44~79 ppm로 나타났다. 다른 계통의 *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki*제품군의 0.38~2.82 ppm에 비해 전반적으로 높은 농도에서 활성반응을 나

타냈다. 특히 주목할 만한 결과는 횡성군 소사리 개체군(HS)이 감수성계통인 GR 개체군에 비해 14배의 저항성을 보였고, 석포리 개체군(SP)은 약 3배의 저항성으로 나타났다(Table 5). 반면에 *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* 계통에서와 같이 내막리 개체군(NM), 현천리 개체군(DR), 자운리 개체군(HC) 그리고 동화리 개체군(HW) 등 4곳은 감수성으로 나타났다. 이러한 결과는 이 지역이 Bt제의 투입이 없었거나 제품의 사용이 매우 적었던 것으로 사료된다.

Table 6에서 볼 수 있는 것 같이 Tobagi<sup>®</sup>와 같은 아종으로서 *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* 균주 계통인 Scorpion<sup>®</sup>은 반수치사 농도가 1.32~12.45ppm의 분포를 나타냈고, 같은 아종인 Tobagi<sup>®</sup>에서 감수성 계통에 비해 14배의 저항성을 보인 소사리 개체군(HS)에서 Scorpion<sup>®</sup>은 반대로 감수성 계통보다 더 낮은 감수성을 보여주었다. 또 석포리 개체군(SP)은 약 2배정도의 저항성을 보여주고 있다. 대부분의 다른 지역의 개체군에서도 대체로 실내 사육되어진 개체군 보다 낮은 감수성으로 나타났다. 이는 본 시험 개체군수의 부족으로 정확한 이유에 대하여서는 구명을 확실히 할 수가 없었기 때문에 차후에 보다 정확한 시험을 필요로 한다.

Bt약제에 대한 저항성을 보인 야외개체군에 대해 지속적인 약제에 대한 노출 없이 실험실에서 누대 사육함에 따라서 저항성 발달 정도가 차이가 나는지 혹은 얼마나 지속되는지에 대하여 검토하였다. 먼저 *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* 제품인 Tyuneup<sup>®</sup>에 대해 약 2.5배의 저항성을 보인 소사리 개체군(HS)에 대해 세대 경과별 독성반응을 보면 제 1세대(F<sub>1</sub>)에서 2.5배로 나타났다가 F<sub>2</sub>에서 급격히 감수성으로 전환되었고 F<sub>3</sub>세대 경과시에는 처음보다 약 17배의 감수성을

**Table 5.** Toxicity ratio of *P. xylostella* population against *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* product Tobagi<sup>®</sup>

Insect Populations <sup>1)</sup>		LC <sub>50</sub> (µg/ml)	LC <sub>50</sub> (cfu/ml)	Slope	Fiducial limits	RR <sup>2)</sup>
SS	NP	6.88	3.02 × 10 <sup>4</sup>	1.33 ± 0.14	2.24×10 <sup>4</sup> -3.74×10 <sup>4</sup>	1.2
	GR	5.64	2.48 × 10 <sup>4</sup>	2.31 ± 0.25	2.09×10 <sup>4</sup> -2.92×10 <sup>4</sup>	1.0
FS	HS	79.10	3.48 × 10 <sup>5</sup>	0.61 ± 0.20	1.14×10 <sup>5</sup> -3.73×10 <sup>7</sup>	14.0
	SP	14.4	6.33 × 10 <sup>4</sup>	1.21 ± 0.21	4.49×10 <sup>4</sup> -1.22×10 <sup>5</sup>	2.6
	NM	3.18	1.39 × 10 <sup>4</sup>	1.62 ± 0.20	1.01×10 <sup>4</sup> -1.81×10 <sup>4</sup>	0.6
	DR	1.95	8.5 × 10 <sup>3</sup>	1.38 ± 0.26	3.8×10 <sup>3</sup> -1.4×10 <sup>4</sup>	0.3
	HC	0.44	1.9 × 10 <sup>3</sup>	0.64 ± 0.17	3.9×10 <sup>2</sup> -5.2×10 <sup>3</sup>	0.1
	HW	1.48	6.5 × 10 <sup>3</sup>	0.87 ± 0.20	2.6×10 <sup>3</sup> -1.5×10 <sup>4</sup>	0.3

<sup>1)</sup>SP: Susceptible population in laboratory; FP: Population collected from field; NP: Population in National Academy of Agricultural Science Laboratory; GR: Highland Agriculture Research Center Population; SP: Population from Suckpori, Gyoungbuk; HS: Population from Sosari, Gangwon; NM: Population from Naemakri, Chungbuk; DR: Population from Hyunjeari, Gangwon; HC: Population from Jawoonri, Gangwon; HW: Population from Dongwhari, Gyounggi.

<sup>2)</sup>Resistance ratio=LC<sub>50</sub> of field population/LC<sub>50</sub> of the susceptible population.

**Table 6.** Toxicity ratio of *P. xylostella* population against *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* product Scorpion®

Insect Populations <sup>1)</sup>		LC <sub>50</sub> (μg/ml)	LC <sub>50</sub> (cfu/ml)	Slope	Fiducial limits	RR <sup>2)</sup>
SS	NP	8.82	4.32 × 10 <sup>4</sup>	1.17 ± 0.10	3.48×10 <sup>4</sup> -5.53×10 <sup>4</sup>	1.5
	GR	5.97	2.92 × 10 <sup>4</sup>	1.39 ± 0.17	2.24×10 <sup>4</sup> -3.84×10 <sup>4</sup>	1.0
FS	HS	3.92	1.92 × 10 <sup>4</sup>	0.78 ± 0.12	1.16×10 <sup>4</sup> -2.8×10 <sup>4</sup>	0.7
	SP	12.45	6.1 × 10 <sup>4</sup>	1.19 ± 0.23	4.0×10 <sup>4</sup> -1.0×10 <sup>5</sup>	2.1
	NM	8.75	4.28 × 10 <sup>4</sup>	1.03 ± 0.20	1.29×10 <sup>4</sup> -7.69×10 <sup>4</sup>	1.5
	DR	7.69	3.7 × 10 <sup>4</sup>	1.57 ± 0.28	2.2×10 <sup>4</sup> -5.9×10 <sup>4</sup>	1.3
	HC	1.32	6.4 × 10 <sup>3</sup>	0.47 ± 0.16	1.3×10 <sup>3</sup> -4.9×10 <sup>4</sup>	0.2
	HW	2.07	1.1 × 10 <sup>4</sup>	0.75 ± 0.18	4.2×10 <sup>3</sup> -3.3×10 <sup>4</sup>	0.3

<sup>1)</sup>SP: Susceptible population in laboratory; FP: Population collected from field; NP: Population in National Academy of Agricultural Science Laboratory; GR: Highland Agriculture Research Center Population; SP: Population from Suckpori, Gyoungbuk; HS: Population from Sosari, Gangwon; NM: Population from Naemakri, Chungbuk; DR: Population from Hyunjeari, Gangwon; HC: Population from Jawoonri, Gangwon; HW: Population from Dongwhari, Gyounggi.

<sup>2)</sup>Resistance ratio=LC<sub>50</sub> of field population/LC<sub>50</sub> of the susceptible population.

**Table 7.** The changes of resistance ratio of *P. xylostella* population against *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* Tyuneup® with the HS population from Sosari, Gangwon

Generation	LC <sub>50</sub> (μg/ml)	LC <sub>50</sub> (cfu/ml)	Slope	Fiducial limits	RR
F <sub>1</sub>	2.17	1.3 × 10 <sup>4</sup>	1.68 ± 0.21	1.0×10 <sup>4</sup> -1.8×10 <sup>4</sup>	2.5
F <sub>2</sub>	0.53	3.2 × 10 <sup>3</sup>	1.47 ± 0.22	2.2×10 <sup>3</sup> -4.7×10 <sup>3</sup>	0.9
F <sub>3</sub>	0.13	7.5 × 10 <sup>2</sup>	0.71 ± 0.16	1.5×10 <sup>2</sup> -1.7×10 <sup>3</sup>	0.2
F <sub>4</sub>	0.77	4.8 × 10 <sup>3</sup>	1.43 ± 0.15	3.5×10 <sup>3</sup> -6.5×10 <sup>3</sup>	1.3
NP <sup>1)</sup>	0.59	3.71 × 10 <sup>3</sup>	1.48 ± 0.11	4.0×10 <sup>3</sup> -4.7×10 <sup>3</sup>	1.0

NP<sup>1)</sup>: Population in National Academy of Agricultural Science Laboratory

\*Resistance ratio=LC<sub>50</sub> of field population/LC<sub>50</sub> of the susceptible population.

**Table 8.** The changes of resistance ratio of *P. xylostella* population against *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* Tobagi® with the HS population from Sosari, Gangwon

Generation	LC <sub>50</sub> (μg/ml)	LC <sub>50</sub> (cfu/ml)	Slope	Fiducial limits	RR
F <sub>1</sub>	79.11	3.48 × 10 <sup>5</sup>	0.61 ± 0.20	1.1×10 <sup>5</sup> -3.7×10 <sup>7</sup>	14.0
F <sub>2</sub>	6.07	2.67 × 10 <sup>4</sup>	1.08 ± 0.18	1.8×10 <sup>4</sup> -3.8×10 <sup>4</sup>	1.1
F <sub>3</sub>	0.67	2.94 × 10 <sup>3</sup>	1.13 ± 0.21	9.2×10 <sup>2</sup> -5.2×10 <sup>3</sup>	0.1
F <sub>4</sub>	6.99	3.07 × 10 <sup>4</sup>	0.96 ± 0.18	2.0×10 <sup>4</sup> -4.8×10 <sup>4</sup>	1.2
NP <sup>1)</sup>	5.64	2.48 × 10 <sup>4</sup>	2.31 ± 0.25	2.09×10 <sup>4</sup> -2.92×10 <sup>4</sup>	1.0

NP<sup>1)</sup>: Population in National Academy of Agricultural Science Laboratory

\*Resistance ratio=LC<sub>50</sub> of field population/LC<sub>50</sub> of the susceptible population.

나타내다가 F<sub>4</sub>세대부터는 다시 F<sub>2</sub>세대와 비슷한 정도를 유지하는 반응이었다(Table 7).

한편, *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* 제품인 Tobagi®에 대한 세대별 경과 반응결과는 Table 8에 나타나 있다. 처음 Tobagi®에 대해 약 14배의 저항성 발달을 보인 소사리 개체군(HS) 계통은 F<sub>2</sub>에서 급격히 감수성을 보여서 1.08로 나타났다. 또한 F<sub>3</sub>세대 경과시에는 처음보다 약117배의 감수성으로 나타나서 저항성의 발달이 Tyuneup®과 매우 유사하게 F<sub>2</sub>

갑작스럽게 감소하는 경향을 보였다. 저항성 변화 수준도 Tyuneup®과 유사하게 F<sub>4</sub>세대에서는 다시 F<sub>2</sub>수준으로 유지됨으로 감수성계통과 비슷한 반응을 보였다. 이러한 현상은 동일한 세대의 배추좀나방에 Bt제를 처리하여 나타나는 결과로서 현장에 해충이 혼재하였을 때는 저항성이 급격하게 감소하는 지에 대하여서는 많은 연구 결과를 필요로 한다. 이는 저항성의 손실이 어떠한 경우에 어떻게 발생하는지를 구명할 필요성이 있다.

**Table 9.** Development of resistance against *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* Tyuneup<sup>®</sup> in sensitive *P. xylostella* population under single selection

Generation	LC <sub>50</sub> (μg/ml)	LC <sub>50</sub> (cfu/ml)	Slope	Fiducial limits	RR*
F <sub>0</sub>	1.21	7.62 × 10 <sup>3</sup>	1.25 ± 0.10	6.4×10 <sup>3</sup> -9.57×10 <sup>3</sup>	1.0
F <sub>6</sub>	4.10	2.58 × 10 <sup>4</sup>	1.80 ± 0.31	1.97×10 <sup>4</sup> -3.60×10 <sup>4</sup>	3.4
F <sub>9</sub>	4.80	2.90 × 10 <sup>4</sup>	2.27 ± 0.37	2.29×10 <sup>4</sup> -3.78×10 <sup>4</sup>	4.0

\*Resistance ratio=LC<sub>50</sub> of field population/LC<sub>50</sub> of the susceptible population.

야외 포장에서 배추좀나방에 Bt균주를 연속하여 노출시켰을 때 저항성이 발달하는 것으로 보고되고 있으나 어느 정도의 농도와 회수인지를 정확히 판단하기가 매우 어려운 실정이다. 이는 현장 농가에서 미생물 농약인 Bt제를 사용함에 있어서 적절한 방제전략이 필요하기 때문이다. Table 9는 감수성개체군을 계속하여 Bt에 노출시켰을 때 배추좀나방에 대한 Bt종 단일반복 노출에 의한 실험실 저항성개체선택으로 저항성 발달의 속도와 그 수준에 대해 알고자 하는 시험결과이다. 감수성계통인 NP 개체군에 5개의 제품 중 가장 효과가 있다고 판단되는 Tyuneup<sup>®</sup>을 선발하여 Bt의 농도가 LC<sub>20-30</sub>로 반복 노출에 의한 세대별 결과는 F<sub>6</sub>세대에서 감수성계통이 약 3.4배의 저항성이 증가됨을 확인했고 F<sub>9</sub>세대에서 약 4배의 저항성을 보이면서 발달속도가 둔화됨을 볼 수 있었다.

우리나라의 십자화과 작물에 피해를 주는 중요한 배추좀나방의 Bt에 대한 약제저항성에 대한 보고가(이 등, 93; 송, 91) 있는 이후로 연구된 결과를 알 수가 없다. 이미 보고된 보고서에서 대관령지역에서 *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* Thuricide<sup>®</sup>에 대한 저항성이 41.3배 이었고, 광주지역 야외 개체군에서 8.1배의 저항성을 나타냈다. 따라서 본 연구는 *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* 3종과 *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* 2종으로 총 상업화된 제품 5종에 대해 지역개체별 저항성 수준을 모니터링한 결과로 *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki*인 Geumulmang<sup>®</sup>에 대해 석포리에서 채집된 개체군은 약 14배의 저항성을 보였고, *B. thuringiensis* subsp. *aizawai*인 Tobagi<sup>®</sup>에 대해 황성군에서 채집된 개체군은 약 10배의 저항성을 나타냈다. *B. thuringiensis* subsp. *aizawai*에 대한 저항성은 아직 우리나라에서는 보고되지 않았으나 말레이시아 야외개체군에서는 16배, 하와이지역의 2개의 개체군에서 약 20배의 저항성이 보고된 바 있다(Verkert and Wright, 1997). 저항성을 보이는 야외개체에 대해 세대를 경과하였을 때 저항성수준의 변화양상을 나타낸 시험결과는 황성군에서 채집된 개체군의 Tyuneup<sup>®</sup>에 대한 저항성 수준의 변화는 Tyuneup<sup>®</sup>에 대해 F<sub>3</sub>세대 경과시 처음 F<sub>1</sub>보다 17배의 감수성을 보였고, Tobagi<sup>®</sup>에 대해서는 F<sub>3</sub>에서 처음보다

약 118배의 감수성을 보였다. 이는 이미 보고된 연구에서 야외수집 저항성계통의 실험실 선발은 더 높은 저항성 수준으로 도달하거나, 선발이 멈춰졌을 때 감수성이 보통은 증가한다(Zhao et al., 2000)라는 연구보고와 일치하는 것이다. 이는 저항성인 야외개체에 대해 동일약제의 살포를 중단할 경우 감수성으로 회복할 수 있음으로 방제와 저항성 관리 전략에서 중요한 기초자료가 될 수 있다. 단일약제의 반복노출에 의한 실험실 저항성발달시험의 세대별 독성반응은 이전의 보고(조 와 이, 1994)에서 Thuricide<sup>®</sup>에 의한 시험이 F<sub>4</sub>에서 약 4.3배로 8세대에서 24배의 저항성발달을 보고되었는데, 이때 선발농도는 LC<sub>70-80</sub>값이었다. 이번 연구의 저항성은 LC<sub>20-30</sub>의 농도로 선발하여 F<sub>6</sub>에서 3.4배이고 F<sub>9</sub>에서 4배의 저항성이 증가함을 확인하였고 또 F<sub>6</sub>세대 이후로는 저항성이 뚜렷하게 증가하지 않음을 볼 수 있었다. 이 결과는 또한 농도에 따른 저항성 발달수준 및 시간에 영향을 미칠 수 있음을 예측할 수 있고, 야외개체 저항성선발에 비해 제한적임을 알 수 있다. 반대로 배추좀나방 실험실개체를 야외에서 반복노출시 *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki*제품에 대한 1,800-6,800배의 저항성을 보임이 보고되었다(Tabashnik et al., 1993).

종합적으로 개체군별 약제반응에서 Tyuneup<sup>®</sup>은 야외개체에서 타 약제보다 높은 활성을 나타냈고 Tobagi<sup>®</sup>는 Bt제 노출이 있었던 야외개체에서 상대적으로 생물활성이 약간 떨어짐을 보였다. 따라서 본 연구 결과로 볼 때 적절한 저항성 관리를 위한 효과 있는 제품사용에는 *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* 약제 중 Geumulmang<sup>®</sup>은 HS, SP, NM의 야외개체군에서 다른 같은 계통의 두 약제인 Tyuneup<sup>®</sup>과 Thuricide<sup>®</sup>보다 3~10배정도의 저항성을 보이고 있다. 또 다른 개체군인 현천리에서 채집된 개체군인 DR에서도 3.5배의 저항성을 보였다. 그러므로 둔내지역에는 Tyuneup<sup>®</sup> 또는 Tobagi<sup>®</sup>의 약제를 사용하는 것이 효과적일 것이다. 한편, *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* 약제 중 Tobagi<sup>®</sup>는 소사리에서 채집된 개체군인 HS에서 14배, 석포리에서 채집된 개체군인 SP에서 3배의 저항성을 보인 반면, 또 다른 약제인 Scorpion<sup>®</sup>은 소사리에서 채집된 개체군HS에서 높은 감수성으로서 이는 저항성



관리프로그램에서 황성지역은 같은 종의 약제인 Scorpion<sup>®</sup>이 매우 효과적인 것이며, 다른 종의 약제로는 Tyuncup<sup>®</sup>이나 Thuricide<sup>®</sup>를 적용하는 것이 효과적으로 나타날 것이다. 모든 약제에 대해 높은 감수성을 보이는 홍천지역에는 특히 *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* 계통 중 Thuricide<sup>®</sup>나 *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* 계통인 Tobagi<sup>®</sup>가 효과적인 방제제일 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 시험연구사업 기본연구비로 수행되었습니다.

## >> 인 / 용 / 문 / 헌

- Alejandra B., S. S. Gill and M. Soberon (2007) Mode of action of *Bacillus thuringiensis* Cry and Cyt toxins and their potential for insect control. *Toxicon*. 49:423~435.
- Ankersmit, G. W. (1953) DDT resistance in *Plutella maculipennis* (Curt.) (Lep.) in Java. *Bull. Entomol. Res.* 44:421~425
- Diaz-Gomez, O. (1992) Susceptibilidad de la palomilla dorso de diamante *Plutella xylostella* a insecticidas organosintéticos y microbiales. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Mexico.
- Diaz-Gomez O., J. C. Rodriguez, A. M. Shelton, T. A. Lagunes and M. R. Bujanos (2000) Susceptibility of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) populations in Mexico to commercial formulations of *Bacillus thuringiensis*. *J. Economic Entomol.* 93:963~970.
- Diaz-Gomez, O., Lagunes-Tejeda, A., H. Sanchez-Arroyo and R. Alatorreras (1994) Susceptibility of *Plutella xylostella* to microbial insecticides. *Southwest. Entomol.* 19:403~408.
- Dilawari, V. K., Khanna, V., Gupta, V. K., H. S. Dhaliwal and G. S. Dhaliwal (1996) Toxicity of *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*  $\delta$ -endotoxin proteins from HD-1 and HD-73 strains against *Plutella xylostella* (L.). *Allelopathy J.* 3:491~496.
- Ferre, J., Real M. D., Van Rie J., S. Jansens and M. Peferoen (1991) Resistance to the *Bacillus thuringiensis* bioinsecticide in a field population of *Plutella xylostella* is due to a change in a midgut membrane receptor. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* 88:5119~5123.
- Ibarra, J. (1993) Desarrollo de resistencia hacia *Bacillus thuringiensis*, In *Memorias del X X V II Congreso Nacional de Entomología*. Entomological Society of Mexico, Cholula, Pue. Mexico. pp. 231~232.
- McGaughey, W. H. (1985) Insect resistance to the biological insecticide *Bacillus thuringiensis*. *Science* 229:193~195.
- Miyata, T., T. Saito and V. Noppun (1986) Studies on the mechanism of diamondback moth resistance of insecticides. In (N. S. Talekar ed.) *Diamond back Moth Management : Proceedings of the First International Workshop*, Avrdc. 347~357.
- Mohan, M., and G. T. Gujar (2001) Toxicity of *Bacillus thuringiensis* strains and commercial formulations to the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.). *Crop Protection.* 20:311-316.
- Perez, C. J. and A. M. Shelton (1997) Resistance of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) to *Bacillus thuringiensis* Berliner in Central America. *J. Econ. Entomol.* 90:87~93.
- Schnepf H. E. (1995) *Bacillus thuringiensis* toxins; regulation, activities and structural diversity. *Curr. Opin. Biotech.* 6: 305~312.
- Shelton, A. M., Robertson, J. L., Tang, J. D., Perez, C., Eigenbrode, S. D., Preisler, H. K., W. T. Wilsey and R. J. Cooley (1993) Resistance of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) to *Bacillus thuringiensis* subspecies in the field. *J. Econ. Entomol.* 86:697~705.
- Sun, C. N. (1992) Insecticide resistance in diamondback moth. In: Talekar, N. S. (Ed.), *Management of Diamondback Moth and Other crucifer pests*. *Proceedings of the Second International Workshop*, Avrdc. Taiwan. pp. 419~426.
- Tabashnik, B. E., Groeters, F. R., N. Finson and M. W. Johnson (1994) Instability of resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Bio-control Science Technol.* 4:419~426.
- Tabashnik, B. E., J. M. Schwartz, N. Finson and M. W. Johnson (1992) Inheritance of resistance to *Bacillus thuringiensis* in diamondback moth (Lepidoptera : Plutellidae). *J. Econ. Entomol.* 85:1046~1055.
- Tabashnik, B. E., 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.
- Tabashnik, N. F., Marshall, W. Johnson and J. M. William (1993) Resistance to toxins from *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* Causes Minimal cross-Resistance to *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* in the Diamondback Moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Appl. Environ. Microbiol.* 1332~1335.
- Talekar, N. S. and A. M. Shelton (1993) Biology, ecology and management of the diamondback moth. *Annu. Rev. Entomol.* 38:275~301.
- Tanaka, H. and Y. Kimura (1991) Resistance to BT formulation in diamondback moth, *Plutella xylostella* L., on watercress. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 35:253-255.
- Tang J. D., Shelton A. M, Van Rie J, de Roeck S, and W. J. Moar (1996) Toxicity of *Bacillus thuringiensis* spore and crystal protein to resistant diamondback moth (*Plutella xylostella*). *Appl. Environ. Microbiol.* 62:564~569.
- Thiery, I. and E. Frachon (1997) Identification, isolation, culture and preservation of entomopathogenic bacteria. In: Lacey, L. A. (Ed.), *Manual of techniques in Insect Pathology*. Academic Press, London, pp. 55~78.

- Verkerk, R. H. J. and D. J. Wright (1997) Field-based studies with the diamondback moth tritrophic system in Cameron Highlands of Malaysia : Implications for pest management. *International J. Pest Management*. 43:27~33.
- Zhao, J. A., H. L. Collins, Y. X., Li, R. F. L., Mau, G. D., Thompson, M., Hertlein, J. T. Andaloro, R. Boykin and A. M. Shelton (2006) Monitoring of diamondback moth (*Lepidoptera* :*Plutellidae*) resistance to spinosad, indoxacarb, and emamectin benzoate. *J. Econ. Entomol.* 99:176~181.
- 김호산, 박현우, 김상현, 유용만, 서숙재 그리고 강석권. (1993) 새로 분리한 *Bacillus thuringiensis* NT0423균주의 내독소 단백질에 대한 이종 특이성. *한농곤지*. 32:426~432.
- 김명화, 이승찬. (1991) 남부지방에서 배추좀나방의 발생생태에 관한 연구. *한농곤지*. 30:169~173.
- 길미라, 김다아, 최수연, 백승경, 김진수, 김대용, 황인천, 유용만. (2007) 국내에서 생산된 *Bacillus thuringiensis* 살충제의 특성. *농약과학회지*. 11:59~66.
- 송승석. (1991) BT제에 대한 배추좀나방의 약제저항성. *한농곤지*. 30:291~293.
- 이승찬, 조영식, 김도익. (1993) 배추좀나방의 독성시험방법비교와 지역별 약제저항성에 관한 연구. *한농곤지*. 32:323~329.
- 조영식, 이승찬. (1994) 단제도태에 의한 배추좀나방의 약제저항성 발달과 교차저항성에 관한 연구. *한농곤지*. 33:242~249.

## 국내 지역별 채집계통 및 감수성계통 배추좀나방에 대한 *Bacillus thuringiensis* 제품의 생물활성 비교

김영림<sup>1</sup> · 조민수<sup>1</sup> · 오세문<sup>1</sup> · 김성우<sup>1</sup> · 윤영남 · 유용만\*

충남대학교 농업생명과학대학 응용생물학과, <sup>1</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 농약평가과

**요 약** 국내 난방제 해충의 하나인 배추좀나방(*Plutella xylostella*)을 방제하기 위하여 사용되어온 상업용 *Bacillus thuringiensis* 제품들을 이용하여 국내 6개 지역에서 채집한 지역계통과 2개의 감수성계통 배추좀나방에 대한 저항성 발달 정도를 검토하였다. 상품화된 *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* 계통인 Tyuneup<sup>®</sup>, Thuricide<sup>®</sup>, Geumulmang<sup>®</sup> 등 3제품과 *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* 계통인 Tobagi<sup>®</sup>, Scorpion<sup>®</sup> 등 2제품을 이용하였다. 공식용으로 사용된 배추좀나방은 계대사육중인 감수성개체군 NP와 GR 2종류이며, 전국의 배추밭에서 채집한 SP, HS, NM, DR, HC, HW개체군 등 6종류를 야외 개체군으로 사용하였다. Tyuneup<sup>®</sup> 제품의 생물검정에서 감수성 계통인 고령지시험장계통의 GR과 비교해 SP 개체군은 4.8배를 그리고 HS 개체군은 2.5배의 저항성발달을 보였다. Geumulmang<sup>®</sup> 제품의 경우에는 감수성계통인 NP 개체군에 비하여 SP 개체군에서 9.9배와 NM 개체군에서 6.8배정도의 저항성을 나타냈다. Tobagi<sup>®</sup>는 HS 개체군에서 GR 개체군에 비해 14배의 저항성을 보여 가장 높게 나타났다. 그러나 동일 계통의 Scorpion<sup>®</sup>은 SP 개체군에 약 2배정도의 저항성을 보여주고 있을 뿐이다. 이러한 결과는 어떤 특정한 *B. thuringiensis* 제품이 특정지역에 집중적으로 계속 사용함으로써 저항성이 발달되는 것으로 판단되며 종류가 다른 *B. thuringiensis* 제품을 교호 살포해야 할 것으로 사료된다. 그러나 Tobagi<sup>®</sup>에 14배의 저항성 발달을 보인 HS 개체군을 실험실에서 동일약제에 연속으로 노출시켰을 때 F<sub>2</sub>세대에서는 급격히 저항성 수치가 떨어져 1.1로 나타나 저항성 기작의 검토가 필요하다.

**색인어** BT제품, 배추좀나방, 저항성, 생물검정, *Bacillus thuringiensis*