

유기농자재와 *Bacillus thuringiensis*의 혼합처리에 의한 파밤나방의 방제효과

한지희* · 윤지혜 · 손수진 · 김정준 · 이상엽

농촌진흥청 국립농업과학원 농업미생물과

Combination effects of Organic Materials and *Bacillus thuringiensis* on *Spodoptera exigua*

Ji Hee Han*, Jihye Yoon, Sujin Son, Jeong Jun Kim and SangYeob Lee

Agricultural Microbiology Division, National Academy of Agricultural Science, RDA,
Jeonju, 565-851, Republic of Korea.

(Received on September 11, 2015. Revised on September 30, 2015. Accepted on November 2, 2015)

Abstract This study is conducted to investigate control efficacy of mixture of plant extracts which has been reported to control pest and *Bacillus thuringiensis* or alone. Control efficacy of 0.025% matrine or mixture of 0.016% matrine and BT (5×10^4 cfu) against 3rd instar larvae of beet armyworm were best as 98.7% and 93.3%. Treatment of mixture of 0.01% matrine and BT (5×10^4 cfu) showed the mortality of 69.3%. In the case of neem, when the mixture of 0.1% neem and BT was applied to larvae of *S. exigua*, their mortality was 50.0% and weight of larvae were significantly different compare with control and only neem treatment. Therefore For effective control reducing population of beet armyworm and possibility to develop resistance against BT and eco-friendly agents, mixture of 0.016% Matrine and BT (5×10^4 cfu) could be used.

Key words Matrine, Neem, Insecticidal activity, *Bacillus thuringiensis*, Beet armyworm, *Spodoptera exigua*

서 론

파를 가해하는 대표적인 난방제 해충인 파밤나방(*Spodoptera exigua*)은 채소, 화훼, 과수 뿐 아니라 전작물, 특작물 등 거의 모든 농업작물을 가해하여 많은 경제적 손실을 유발하는 광식성 해충이다(Goh et al., 1991). 고온성 해충인 파밤나방은 열대 및 아열대, 온대지역에 주로 분포하며 우리나라에서는 1년에 4-5회 발생한다. 남부지방의 경우 6월 초에서 11월말까지 발생하는데 9월 중순이 발생 최성기로 시설재배지가 늘어난 2000년 이후에는 시기와 지역을 불문하고 연중 발생하여 피해를 주고 있다(Kang et al., 2008).

파밤나방 방제를 위해 주로 유기인계, 카바메이트계, 피레트로이드계 등의 화학 살충제가 사용되고 있지만 파밤나방 유충 3령기 이후에는 유기합성 살충제에 대한 약제 저항성

획득으로 방제에 어려움이 있다(Meinke and Ware, 1978). 파밤나방을 친환경적으로 방제하기 위하여 곤충병원성 세균, 바이러스, 선충, 합성 성페로몬 등을 이용한 방제법이 시도되고 있다(Kim et al., 1995; Choi et al., 1996a; Bae et al., 2007). 그 중 곤충병원 세균인 *Bacillus thuringiensis* (BT)가 가장 많이 이용되고 있는데 국내에는 8종의 BT를 이용한 미생물제가 등록, 이용되고 있다. 그러나 BT제의 우수한 살충효과에도 불구하고 BT의 반복적인 살포로 인한 저항성 획득으로 살충효율이 떨어져 방제에 어려움을 겪고 있는 실정이다(McGaughey, 1985). BT에 대한 저항성 발현을 지연시킬 수 있는 방법으로 다른 기작으로 작용하는 살충제를 교호처리하거나 윤작과 동시에 혼합 살충제를 사용함으로써 저항성을 지연시키는 방법이 있다(Singh et al., 2007). 또한 BT와 함께 사용할 수 있는 친환경살충제로 국내에 유기농작물 병, 해충관리용 자재로 등록된 천연식물추출물을 고려해 볼 수 있다.

*Corresponding author
E-mail: bijouhee@korea.kr

넝오일은 넝나무(*Azadirachta indica*)의 추출물에서 나온 azadirachtin을 주성분으로 하는 살충제로 친환경 해충방제를 위한 효과적인 자재로 이용되고 있다. Azadirachtin은 해충의 섭식을 저해하고 성장을 억제, 조절하며 탈피를 방지하는 등의 작용을 한다(Koul and Wahab, 2004; Schmutter, 1990; Isman, 1999).

식물유래 살충제로 가장 성공적으로 이용되는 제충국추출물에는 pyrethrin I, II, cinerin I, II, jasmolin I, II의 6가지 유효 살충성분(terpenoid esters, pyrethrin)이 존재하는데 그 중 가장 활성이 우수한 pyrethrin 1은 해충을 빠르게 기절(knock down) 시키거나 일시적으로 마비를 일으키는 작용을 한다(Kim et al., 2010). 이러한 pyrethrin의 효과는 다양한 보조제에 의해 효과가 증대되기도 한다(Matsumura 1985). 니코틴은 *Nicotiana*속의 몇 가지 구성 성분이 되며 살충제로서 이용되고 있다.

본 연구는 과밤나방을 방제하기 위한 친환경 방제 수단으로 BT를 사용함에 있어 저항성의 발현을 지연시키기 위한 BT혼합 살충제 제조를 위한 친환경자재를 선발하고 살충활성을 조사하기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

본 실험에 사용된 과밤나방 유충은 국립농업과학원 농업 미생물과 실험실에서 누대 사육한 개체를 사용하였다. 과밤나방 유충은 Petri dish (90 × 15 mm)에서 인공사료(bioserve, mixing direction #F9219B)를 공급하여 누대 사육하였다. 번데기는 다른 상자(지름 120 × 높이 80 mm)로 옮겨서 성충으로 우화하도록 하였고, 우화한 성충은 10% 설탕물을 먹이로 주고 산란을 유도하였다. 곤충의 사육 조건은 25 ± 2°C, 광주조건 16L : 8D, 상대습도 70 ± 5%로 유지하였다.

기존에 해충방제 효과가 있는 것으로 알려진 유기농자재 중에서 넝(azadirachtin 0.75%), 고삼(matrine 1%), 제충국제(pyrethrin 5%), 데리스(rotenone 0.05%), 담배잎추출물(nicotine 2.2%)을 시중에서 원재를 구입(그린포커스)하여 실험에 사용하였다. 각 유기농자재의 처리 농도는 넝은 200~2000배(0.5~0.025%, v/v), 고삼은 200~10000배(0.5~0.01%, v/v), 제충국, 데리스, 담배잎추출물은 500~2000배(0.5~0.025%, v/v) 희석하여 준비하였다. BT는 충남대학교에서 분양받은 *Bacillus thuringiensis* CAB566균주를 이용하였고 NA배지

Table 1. Mortality of 3rd instar larvae of *Spodoptera exigua* 6 days after treatment of different concentrations of organic material and *Bacillus thuringiensis*

	Concentration of BT	Mortality (%)		
		Treatment (w/v, %) of organic material		
		0.025	0.05	0.1
Matrine	0	98.7 ± 1.3 a	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a
	5.E+04	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a
	5.E+05	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a
	5.E+06	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a	100.0 ± 0.0 a
Derris	0	6.7 ± 4.2 de	3.3 ± 3.3 e	6.7 ± 6.7 de
	5.E+04	3.3 ± 3.3 e	0.0 ± 0.0 e	3.3 ± 3.3 e
	5.E+05	0.0 ± 0.0 e	6.7 ± 6.7 de	0.0 ± 0.0 e
	5.E+06	3.3 ± 3.3 e	3.3 ± 3.3 e	0.0 ± 0.0 e
Neem	0	0.0 ± 0.0 e	3.3 ± 3.3 e	6.7 ± 4.2 de
	5.E+04	13.3 ± 8.4 de	13.3 ± 8.4 de	36.7 ± 9.5 c
	5.E+05	13.3 ± 9.9 de	10.0 ± 4.5 de	46.7 ± 8.4 bc
	5.E+06	13.3 ± 4.2 de	20.0 ± 10.3 d	50.0 ± 6.8 b
Pyrethrin	0	10.0 ± 4.5 de	0.0 ± 0.0 e	10.0 ± 4.5 de
	5.E+04	0.0 ± 0.0 e	0.0 ± 0.0 e	3.3 ± 3.3 e
	5.E+05	6.7 ± 4.2 de	3.3 ± 3.3 e	6.7 ± 6.7 de
	5.E+06	0.0 ± 0.0 e	0.0 ± 0.0 e	0.0 ± 0.0 e
Nicotine	0	10.0 ± 6.8 de	0.0 ± 0.0 e	3.3 ± 3.3 e
	5.E+04	6.7 ± 4.2 de	0.0 ± 0.0 e	0.0 ± 0.0 e
	5.E+05	6.7 ± 4.2 de	0.0 ± 0.0 e	3.3 ± 3.3 e
	5.E+06	13.3 ± 4.2 de	6.7 ± 4.2 de	6.7 ± 4.2 de

Means within the same column followed by the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test ($P > 0.05$).

에 접종하여 27°C에서 4-7일 동안 배양 후 집균하여 $1 \times 10^5 \sim 10^7$ cfu의 농도로 준비하였다. 식물추출물과 BT배양액은 인공사료에 접종하기 직전에 1:1로 혼합하여 접종 하였다.

생물활성 검정을 위해 3령 파밤나방 유충 5마리씩을 Petri dish (90 × 15 mm)에 투입하고 1g의 인공사료에 친환경자재 또는 BT 혼합액 100 µl (혼합제의 농도는 최종 농도로 표시)를 접종하고 실온에서 1시간 동안 건조한 후 먹이로 공급하였다. 1g의 인공사료를 모두 섭취한 후에는 무처리 인공사료를 공급하였다. 대조구로 증류수를 접종한 인공사료를 공급하였다. $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 6일간 유지하며 매일 사충수를 관찰하였으며 처리 6일 후에는 살아있는 유충의 무게를 측정하였다. 생물검정은 3회 수행되었으며 매 실험마다 3개의 Petri dish를 반복으로 실험하였다.

각 처리간의 차이를 비교하기 위하여 SAS Institute, version 9.2 (Statistical Analysis System)의 PROC GLM을 이용하여 분석하였다. 분석은 각 반복을 종합하여 분석하였으며, 처리간의 차이는 Duncan의 다중비교를 이용하여 분석하였다. 반수치사시간(median lethal time : LT_{50})은 probit법(SAS Institute, version 9.2)을 이용하여 산출되었다.

결 과

파밤나방 유충에 대한 유기농자재 Matrine, Neem, Pyrethrin,

Nicotine, Derris 단독 또는 BT 혼합제의 처리 농도별 살충효과를 시험한 결과, Matrine 처리구의 경우 0.025% 이상의 단독 처리만으로 $98.7 \pm 1.3 \sim 100.0 \pm 0.0\%$ 의 우수한 살충율을 나타냈으며 모든 농도의 BT혼합 처리구에서도 100% 살충율을 나타내었다(Table 1). Derris와 Pyrethrin, Nicotine 처리구는 단독, BT혼합제 모두 10.0~3.3%의 낮은 살충율을 나타냈다. Neem 처리구의 경우 0.1~0.025%의 농도로 단독

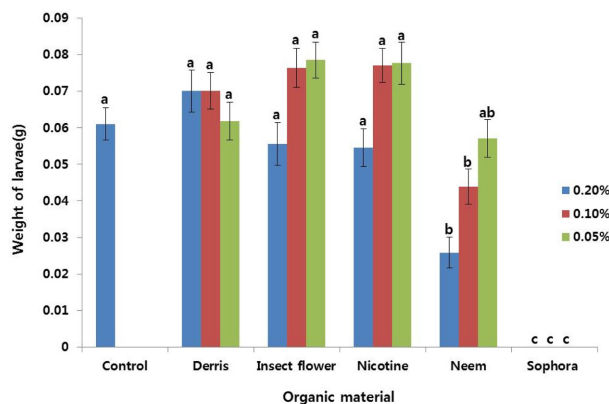


Fig. 1. Antifeedant effect of organic materials against larvae of *Spodoptera exigua*. Weight of alive larvae were measured at 6 days after treatment. Means above the column followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test ($P > 0.05$).

Table 2. Mortality and median lethal time (LT_{50}) of larvae of *Spodoptera exigua* 6 days after treatments of different concentrations of Matrine and *Bacillus thuringiensis*

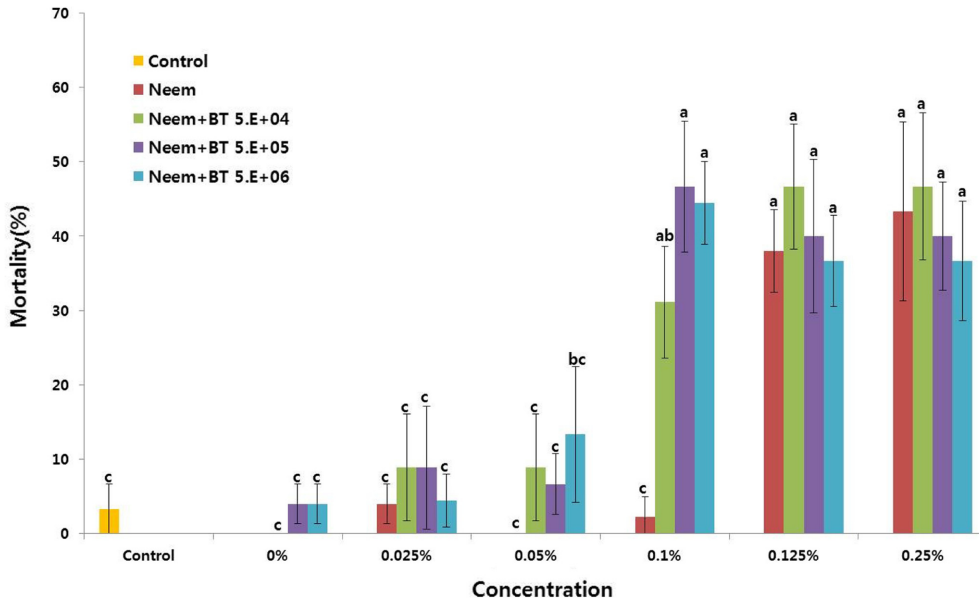
Treatment (w/v)	Mortality (%)	LT_{50} (days)	
Control	0.0 ± 0.0 g	-	
Matrine only	0.020%	89.3 ± 5.8 ab	
	0.025%	98.7 ± 1.3 a	
	0.03%	100.0 ± 0.0 a	
	0.05%	100.0 ± 0.0 a	
	0.1%	100.0 ± 0.0 a	
	0.2%	100.0 ± 0.0 a	
	0.01%+BT 5.E+04	69.3 ± 7.8 de	5.27
0.01%+BT 5.E+05	69.3 ± 8.4 de	5.52	
0.01%+BT 5.E+06	69.3 ± 8.5 e	5.7	
A mixture of Matrine and BT	0.0125%+BT 5.E+04	80.0 ± 5.2 abcd	3.46
	0.0125%+BT 5.E+05	88.0 ± 3.8 abc	3.63
	0.0125%+BT 5.E+06	72.0 ± 6.7 bcde	4.43
	0.016%+BT 5.E+04	93.3 ± 3.7 a	2.87
	0.016%+BT 5.E+05	97.3 ± 1.8 a	2.43
	0.016%+BT 5.E+06	86.7 ± 5.0 abc	3.63
	0.025%+BT 5.E+04	100.0 ± 0.0 a	2.32
0.025%+BT 5.E+05	100.0 ± 0.0 a	2.34	
0.025%+BT 5.E+06	100.0 ± 0.0 a	2.35	

Means within the same column followed by the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test ($P > 0.05$).

처리하였을 때의 살충율은 6.7~0.0%로 낮았으나 BT ($5 \times 10^4 \sim 10^6$ cfu) 혼합 처리구의 경우 살충율이 36.7 ± 9.5 , 46.7 ± 8.4 , $50.0 \pm 6.8\%$ 로 살충효과가 증대되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 Neem처리에 의한 섭식저해 효과도 확인할 수 있었는데 처리농도가 증가함에 따라 섭식저해 효과도 우수하였다(Fig. 1).

Neem+BT혼합제의 살충효과 증대를 위한 적절 농도를 설정하고자 다양한 농도의 Neem+BT혼합제에 대한 파밤나방의 방제효과를 조사하였다(Fig. 2). 0.1% 이상의 Neem농도 처리구의 경우 단독처리보다 BT혼합 처리구에서 높은 살충율을 나타냈으나 두 처리간의 통계적으로 유의한 차이는 0.1% 혼합 처리구에서만 나타났다($F=8.74$, $df=32, 221$,

(A) Mortality



(B) Weight of larvae

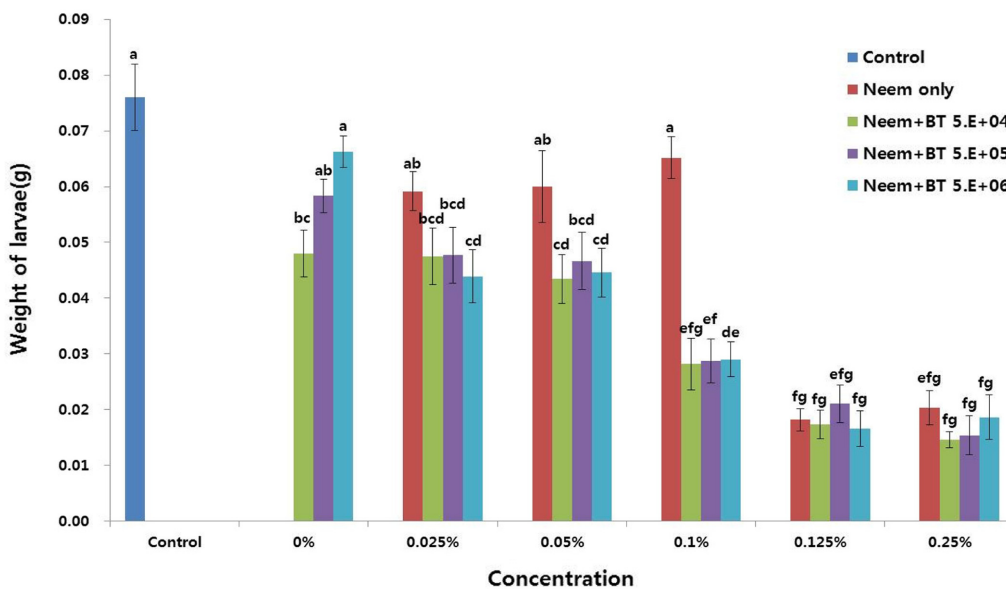


Fig. 2. Mortality of 3rd instar larvae of *Spodoptera exigua* and antifeedant effect 6 days after treatment of different concentrations of Neem and *Bacillus thuringiensis*. Control was treated with distilled water. Means above the column followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test ($P > 0.05$).

$P < 0.0001$). Neem농도가 높아질수록 살충율이 더욱 높아질 것으로 예상하였으나 0.1~0.25% 농도에서는 통계적으로 유의한 살충율의 변화가 없었다. Neem+BT혼합제의 섭식저해 효과 또한 단독처리보다 혼합처리에서 우수하게 나타났으나 ($F=24.12$, $df=27$, 743 , $P < 0.0001$) Neem의 농도가 높아질수록 두 처리 모두 비슷한 저해효과를 나타냈다(Fig. 2).

파밤나방의 효과적인 방제를 위한 Matrine 또는 BT혼합제의 적정 농도를 조사하였다(Table 2). 0.025% Matrine을 단독처리 하였을 때 파밤나방 유충의 살충율은 100%이며 반수치사시간은 2.42일이었다. 0.016% Matrine+BT혼합처리의 살충율은 86.7 ± 5.0 ~ $97.3 \pm 1.8\%$, 반수치사시간 3.63~2.43일로 0.02% Matrine 단독 처리구(살충율 $89.3 \pm 5.8\%$, 반수치사시간 3.12일)보다 살충효과가 우수한 것을 알 수 있었다.

고 찰

파밤나방은 우리나라에서만 기주식물이 52종에 달하고 세계적으로 40과 200여종의 기주식물을 가해하는 것으로 보고되어 있으며 기온상승과 더불어 온실, 비닐하우스 등 시설재배지가 확대됨에 따라 발생세대수가 증가되고 있다(Kim D.Y. et al., 2009). 파밤나방은 포장에서 유충, 번데기 성충이 동시에 혼재하고 있으며 유기합성 살충제 뿐 아니라 미생물농약인 BT약제에 대한 저항성 출현으로 방제가 더욱 어려워지고 있다.

*B. thuringiensis*는 주로 나비목해충을 방제하는데 사용되어왔다. 해충의 섭식으로 기주의 중장으로 침입한 BT의 독소단백질은 중장 내 알칼리 조건에서 용해되고 분해 효소에 의해 활성화된다. 활성화된 독소단백질은 중장의 세포막에 존재하는 수용체와 결합하여 중장세포를 손상시켜 패혈증을 일으켜 해충을 죽게 만드는데 중장 내 수용체와 살충 독소단백질간의 상호작용에 변화가 생겨 BT에 대한 저항성이 발생하는 것이다(Palma et al., 2014). 이러한 BT의 저항성 출현은 화학 살충제와 마찬가지로 유효성분이나 약제의 계통 또는 작용 기작이 서로 다른 약제를 교호, 혼합 처리함으로써 예방, 지연시킬 수 있는 것으로 알려져 있다(Singh et al., 2007).

고삼의 주요성분인 Matrine은 quinolizidine 유래 heterocyclic 화합물($C_{15}H_{24}N_2O$)로 다른 식물추출물이나 화학 살충제와 혼용하여 야채, 과일, 화훼의 흰개미, 진딧물, 멸구, 유충, 곰팡이와 세균병, 선충을 방제하는데 이용되고 있다(Zanardi, 2015). Matrine은 흰개미와 점박이용애의 섭식저해 효과를 증대시킨다고 보고되고 있으며(Mao and Henderson, 2007; Bakr et al., 2012), Hwang의 연구에서 Neem과 혼용하였을 때 벼멸구에 대해서는 약제처리 5일 후 95% 이상, 목화진딧물은 처리 3일째 95% 이상, 오이충채벌레에 대해서는 68.1%

의 살충효과를 나타냈으며 배추좀나방에 대해서도 95%의 높은 살충율을 나타냈다(Hwang et al., 2009). 또한 Matrine 살충제에 의한 도둑나방 유충의 발달저해 효과가 보고되기도 하였다(Zanardi, 2015). 본 연구에서도 Matrine은 0.025% 이상의 농도로 단독처리하거나 0.016% matrine+BT혼합처리 할 경우 $97.3 \pm 1.8\%$ 이상의 우수한 살충율을 나타냈다.

멸구슬나무의 주요 성분으로 limonoid 계열에 속하는 triterpenoid화합물인 azadirachtin은 님오일의 주요 살충성분으로 해충과 선충에 대해 식욕감퇴, 성장억제, 탈피저해, 형태형성 저해, 산란관과피, 알의 부화억제, 호르몬의 균형 파괴 등의 작용으로 해충의 번식을 억제시키는데 이러한 살충 효과는 400여종 이상의 곤충에 영향을 준다고 알려져 있다(Ascher, 1993; Koul and Wahab, 2004). Greenberg (2005)의 연구에서 Neem살충제를 목화 잎에 처리하였을 때 파밤나방의 산란율은 무처리와 2.5-9.3배 차이가 났으며, 1, 3, 5령 유충의 섭식량도 무처리 대비 현저하게 줄어들었다. 또한 파밤나방 알에 대한 살충율도 72-78%로 높게 나타났다. Neem은 파밤나방 뿐 아니라 배추좀나방에 대해서도 섭식저해 효과를 나타내는데 Neem살충제가 처리된 양배추가 배추좀나방에게 공급되면 섭식을 빠르게 멈추고 처리엽으로부터 떨어져나가 피해를 최소화 할 수 있는 것으로 나타났다(Liang et al., 2003). Azadirachtin은 곤충의 중장상피세포의 돌기를 손상시키고 세포를 부풀어 오르게 하여 입방형모양으로 만드는데 이러한 세포의 부종과 공포형성으로 미세용모의 밀도가 낮아지게 된다. 또한 중장의 세포재생에 관여하는 Nidi를 천천히 괴사시켜 세포재생을 감소시키며 독소에 대한 감수성을 결정하는 위식막에 영향을 줘 다른 독소에 대한 감수성을 증가시키게 된다. 또한 trypsin과 elastin과 같은 장내 효소활성에도 영향을 미친다. 이러한 Azadirachtin의 작용이 BT 독소단백질의 해충 장내 수용체로의 접근, 결합에 관여하여 살충활성을 증가시키게 한다(Singh et al., 2007).

More and Trumble의 연구(1987)에서는 BT (Dipel)와 Neem을 혼용하여 파밤나방에 처리하였을 때 두 제제가 길항작용을 한다고 보고되어 있으나 다른 연구결과에서는 Dipel+Neem혼합제가 담배거세미나방과 콜로라도감자잎벌레의 살충활성을 증가시켰다(Devaki and Krishnayya, 2004; Trisyono and Whalon, 1999). 본 연구의 결과에서도 0.1% Neem+BT 혼합 처리구에서 Neem 단독처리보다 높은 살충율을 나타내었으며 식이저해 효과 또한 뚜렷한 차이를 나타냈다.

그러므로 파밤나방의 방제에 있어서 BT와 유기농자재의 혼합사용은 파밤나방의 밀도를 줄여주며 BT와 유기농자재에 대한 저항성 발달의 가능성을 낮추어 지속적으로 방제할 수 있는 도구가 될 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국립농업과학원의 기관고유사업(PJ01002903)의 지원에 의해 수행되었습니다.

Literature Cited

- Ascher, K. R. S. (1993) Nonconventional insecticidal effects of pesticides available from the neem tree, *Azadirachta indica*. Arch. Insect Biochem. Physiol. 22:433-449.
- Bae, S. D., H. J. Kim, G. H. Lee and S. T. Park (2007) Seasonal occurrence of tobacco cutworm, *Spodoptera litura* Fabricius and beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) using sex pheromone traps at different locations and regions in Yeongnam district. Korean J. Appl. Entomol. 46(1):27-35.
- Bakr, E. M., Z. R. Soliman, M. F. Hassan and S. S. D. Tawadrous (2012) Biological activity of the organic pesticide Baicao No.1 against the red spider mite *Tetranychus urticae* Koch. Acarines 6:35-39.
- Choi, J. Y., H. S. Kim, B. R. Jin, K. Y. Seol, H. Y. Park and S. K. Kang (1996) Pathogenicity and production of *Spodoptera exigua* nuclear polyhedrosis virus. Korean J. Appl. Entomol. 35(3):228-231.
- Devaki, K. and P. V. Krishnaya (2004) Combination effects of three proprietary formulations of B. t. with neem against *Spodoptera litura* (Fab.). Indian J. Plant Prot. 32:34-36.
- Greenberg, S. M., A. T. Showler and T. X. Liu (2005) Effects of neem-based insecticides on beet armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). Insect Sci. 12:17-23.
- Goh, H. G., S. G. Lee, K. M. Choi and J. H. Kim (1991) The larval development of beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hubner), (Lepidoptera; Noctuidae) by the widths of the head capsule. Korean J. Appl. Entomol., 30(1):54-55.
- Hwang, I. C., J. Kim, H. M. Kim, D. I. Kim, S. G. Kim, S. S. Kim and C. Jang (2009) Evaluation of toxicity of plant extract made by neem and matrine against main pests and natural enemies. Korean J. Appl. Entomol. 48(1):87-94.
- Isman, M. B. (1999) Neem and related natural products. In: Hall, F.R., Menn, J.J. (eds.) Method in Biotechnology, vol.5. Biopesticides: Use and Delivery. Humana Press Inc. Totowa, NJ, pp.139-636.
- Kang, E. J., M. G. Kang, M. J. Seo, S. N. Park, C. U. Kim and Y. M. Yu (2008) Toxicological effects of some insecticides against welsh onion beet armyworm (*Spodoptera exigua*). Korean J. Appl. Entomol., 47(2):155-62.
- Kim, D. I., S. G. Kim, S. G. Kim, S. J. Ko, B. R. Kang, D. S. Choi and I. C. Hwang (2010) Characteristics and toxicity of *Chrysanthemum* sp. line by extract part and methods against *Tetranychus urticae*, *Nilaparvata lugens* and *Aphis gossypii*. Korean J Organic Agri. 18(4):573-586.
- Kim, D. Y., S. K. Park, J. S. Kim, S. Y. Choi, C. Park, T. H. Kim, N. Y. Jin, S. Y. Jung, Y. N. Youn and Y. M. Yu (2009) Environment-friendly control of beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Noctuidae : Lepidoptera) to reduce insecticide use. Korean J. Appl. Entomol. 48(2):253-231.
- Kim, K. C., J. D. Park and D. S. Choi (1995) Seasonal occurrence of *Spodoptera exigua* in Chonnam province and a possibility of their control in vinyl house with pheromone traps. Korean J. Appl. Entomol. 34(2):106-111.
- Koul, O. K., J. S. Multani, S. Goomber, W. M. Daniewski and S. Berlozecki (2004) Activity of some non-azadirachtin limonoid from *Azadirachta indica* against lepidopteran larvae. Aust. J. Entomol. 121:245-248.
- Koul, O. and S. Wahab (2004) Neem: today and in the new millenium. 276pp. Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
- Liang, G. M., W. Chen and T. X. Liu (2003) Effects of three neem-based insecticides on diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). Crop Prot. 22: 333-340.
- Mao, L. and G. Henderson (2007) Antifeedant activity and acute and residual toxicity of alkaloids from *Sophora flavescens* (Leguminosae) against *Formosan subterranean* termites (Isoptera: Rhinotermitidae). J. Econ. Entomol. 100: 866-870.
- McGaughey, W. H. (1985) Insect resistance to the biological insecticide *Bacillus thuringiensis*. Sci. 229(4709):193-5.
- Meinke, L. J. and G. W. Ware (1978) Tolerance of three beet armyworm strains in Arizona to methomyl. J. Econ. Entomol. 71:645-646.
- Moar, W. J. and J. T. Trumble (1987) Toxicity, joint action, and mean time of mortality of Dipel 2X, avermectin B1, neem, and *B. thuringiensis* against beet armyworms (Lepidoptera: Noctuidae). J. Econ. Entomol. 80:588-592.
- Palma, L., D. Munoz, C. Berry, J. Murillo and P. Caballero (2014) *Bacillus thuringiensis* toxins : An overview of their biocidal activity. Toxins 6:3296-3325.
- Schmutterer, H. (1990) Properties and potential of natural pesticides from the neem tree. Annu. Rev. Entomol. 345: 271-298.
- Singh, G., P. J. Rup and O. Koul (2007) Acute, sublethal and combination effects of azadirachtin and *Bacillus thuringiensis* toxins on *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera; Noctuidae) larvae. B. Entomol. Res. 97:351-357.
- Trisyono, A. and M. E. Whalon (1999) Toxicity of neem applied alone and in combination with *Bacillus thuringiensis* to Colorado potato beetle. J. Econ. Entomol. 92:1281-1288.
- Zanardi, O. Z., L. D. P. Ribeiro, T. F. Ansante, M. S. Santos, G. P. Bordini, P. T. Yamamoto and J. D. Vendramim (2015) Bioactivity of a matrine-base biopesticide against four pest species of agricultural importance. Crop Prot. 68:160-167.

유기농자재와 *Bacillus thuringiensis*의 혼합처리에 의한 파밤나방의 방제효과

한지희* · 윤지혜 · 손수진 · 김정준 · 이상엽

농촌진흥청 국립농업과학원 농업미생물과

요 약 본 연구는 난방제 해충인 파밤나방을 방제하기 위하여 살충효과가 잘 알려진 유기농자재 5종(넙, 고삼, 제충국제, 데리스, 담배잎 추출물)과 이 식물추출물 +*Bacillus thuringiensis* 혼합 처리에 의한 살충효과를 조사하기 위해 수행되었다. 0.025% Matrine 또는 0.016% Matrine + BT (5×10^4 , 10^5 cfu) 혼합처리구의 살충율은 98.7, 93.3, 97.3%로 방제효과가 가장 높게 나타났으며, 가장 낮은 처리농도인 0.01% Matrine + BT (5×10^4 cfu) 혼합처리에서도 69.3%의 살충효과를 보였다. 또한 0.1% Neem + BT (5×10^6 cfu) 혼합처리에 의한 파밤나방 유충의 살충율은 50.0%이었으며 혼합처리에 의한 유충의 체중감소 효과도 우수하였다. 따라서 파밤나방의 밀도를 줄여주며 BT와 유기농자재에 대한 저항성 발달의 가능성을 낮추어 지속적인 방제를 위해 0.016% Matrine + BT (5×10^4 cfu) 로 혼합처리 할 경우 파밤나방을 효과적으로 방제할 수 있을 것으로 사료된다.

색인어 파밤나방, 살충효과, 비티, 넙, 고삼