

농약 사용 저감화를 위한 환경 친화적인 파밤나방(*Spodoptera exigua*)의 방제

김대용 · 백승경 · 김진수 · 최수연 · 박 찬 · 김태환 · 진나영 · 정선영 · 윤영남 · 유용만*

충남대학교 농업생명과학대학 응용생물학과

Environment-Friendly Control of Beet Armyworm, *Spodoptera exigua* (Noctuidae: Lepidoptera) to Reduce Insecticide Use

Da Yong Jin, Seung Kyung Paek, Jin Su Kim, Su Yeon Choi, Chan Park, Tae Hwan Kim, Na Young Jin, Sun Young Jung, Young Nam Youn and Yong Man Yu*

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

ABSTRACT : For the environment-friendly control of beet armyworm, *Spodoptera exigua*, in spring onion fields, we have examined an alternative application method. Twenty-five insecticides registered for spring onion were tested for control effect against the beet armyworm in the laboratory, then the best 9 chemical and a single biological insecticides were selected and compared with 2 new isolates of *Bacillus thuringiensis* in a polyvinyl house. After that, 4 chemical and 3 *B. thuringiensis* treatments were used in the field for the control of beet armyworm in the spring onion. Two application methods are used: one is triple treatments with the same chemical and the other is alternative application with different chemicals and *B. thuringiensis* for 7 days intervals. Indoxacarb WP - chlorfluazuron EC - *B.t.* var. *kurstaki* CAB141 and indoxacarb WP - methoxyfenozide + spinosad SC - Chlorfluazuron EC - *B.t.* var. *aizawai* CAB109, *B.t.* var. *kurstaki* CAB141 showed greater than 78% mortality of beet armyworm larvae and greater than 43% damage decrease in spring onions infested by beet armyworm. These results showed that alternative applications had higher control effect than any other applications. It was suggested that alternative applications with microbial biological agents such as *B. thuringiensis* might minimize the development of insecticide resistance and might be used as the environment-friendly control of the beet armyworm.

KEY WORDS : *Spodoptera exigua*, Insecticide, *Bacillus thuringiensis*, Alternative application, Control effect, Spring onion

초 록 : 파밭에서 발생하는 파밤나방을 친환경적으로 방제하기 위하여 농약저감화 방법중의 하나인 교호방제법을 검토하였다. 파밤나방에 등록되어 있는 살충제 가운데서 시판중인 25개 품목을 구입하여 실내실험에서 약효가 우수한 9종을 선발하여 비닐하우스내의 소포장 시험을 통해 화학 살충제 4종을 선발하였으며, 본 실험실에서 선발한 3종의 BT제의 교호처리를 포장시험에 적용하였다. 처리방법은 같은 약제를 1주일 간격으로 3회 처리한 단일처리와 BT제를 포함하여 서로 다른 약제를 1회씩 3종류를 1주일 간격으로 교호처리 하였다. 그 결과 화학농약과 미생물 농약을 처리한 Indoxacarb WP - Chlorfluazuron EC - *B.t.* var. *kurstaki* CAB141과 Indoxacarb WP - Methoxyfenozide + spinosad SC - Chlorfluazuron EC - *B.t.* var. *aizawai* CAB109, *B.t.* var. *kurstaki* CAB141의 3합이 평균 살충율 78% 이상을 나타냈다. 따라서 단일처리의 방제가보다 10% 이상 높았으며 평균피해감소율이 43% 이상에 달하여 단일처리한 조합보다 10% 높은 효과를 나타냈다. 이와 같은 결과는, 동일한 약제 살포에 의한

*Corresponding author. E-mail: ymyu@cnu.ac.kr

저항성발달을 최소화하고, 천연물이나 미생물을 이용한 생물농약을 교호처리함으로써 화학농약의 살포 횟수를 감소시켜 친환경적으로 파밤나방을 방제할 수 있을 것으로 사료된다.

검색어 : 파밤나방, 살충제, *Bacillus thuringiensis*, 교호처리, 방제효과, 파

파는 우리 민족의 음식문화에 없어서는 안 될 중요한 채소로서 조미료 또는 생채로 널리 사용되고 있다. 하지만 근 20년 동안 다양한 병해충의 발생으로 인한 피해로 수확량이 감소하고 있다. 파 잎을 가해하는 해충은 점차 많아져, 1991년의 9종(Ahn *et al.*, 1991)에서 1992년에는 13종(Goh *et al.*, 1992)으로, 1998년에는 20여종(Ahn *et al.*, 1998)으로 증가하였는데, 그 중 파밤나방, 파굴파리, 파좀나방, 파총채벌레 등은 방제 대상 주요 해충으로 이들을 효과적으로 방제할 수 있는 방제방법이 전무하거나 대상해충의 기존 화학적 방제 인자에 대한 저항성 문제로 새로운 방제약제의 선별이나 새로운 방제 방법자체가 요구되고 있는 실정이다. 특히 파밤나방은 중부 지방의 파 재배지에서 발생량은 그리 많지 않으나 남부해안지의 파 주산단지를 중심으로 대량 발생하고 있으며(Goh *et al.*, 1991), 한 여름에 파밤나방의 밀도가 높아서 피해가 심할 경우 품질 및 수확량에 영향을 미치게 되므로 고품질의 안전한 파를 대량으로 생산하기 위해서는 합리적인 해충 방제기술의 개발이 매우 중요하다(Choi *et al.*, 2004).

원산지가 동남아시아인 파밤나방(*Spodoptera exigua* (Hübner))은 현재 열대, 아열대, 온대지방에 널리 분포하고 있을 뿐만 아니라(Mochida and Okada, 1974), 기주 범위가 광범위하여 채소, 화훼, 과수, 전작물, 특용작물 등 거의 모든 식물을 가해하는 잡식성 해충으로 보고되어 있으며, 한국에서만 기주식물이 52종에 달하고(Goh *et al.*, 1991), 세계적으로는 40과 200여종을 가해하는 것으로 알려져 있다(Minamikawa, 1937; Mochida and Okada, 1974). 우리나라에서는 1986년에 전남 진도에서 피해가 확인된 이후(Goh *et al.*, 1993a, b; Park *et al.*, 1991), 1988년부터 전국적으로 대량 발생하여 피해가 심각한데다(Ahn *et al.*, 1989), 또한 최근의 기온상승과 시설재배지의 확대로 발생세대수가 증가하고 내한성기 작으로 월동 가능성이 증폭되어 해마다 발생이 증가되고 있는 상황이다(Kim and Kim, 1997). 따라서 이 해충의 방제는 화학 살충제 외에 별다른 뚜렷한 방제방법이

알려져 있지 않았고 약제에 대한 감수성 저하 및 생태적 특성 때문에 방제가 어려운 난방제 해충으로 알려져 있다(Aldosari *et al.*, 1996; Choi *et al.*, 1996b; Kim and Kim, 1997). 더욱이 파 포장에서 어린 유충은 잎 속에 구멍을 뚫고 들어가서 가해함으로 약제에 노출될 기회가 적은데다가 파 잎 표면이 큐틴으로 덮여있어 약액이 잎에 잘 침착되지 못하고 흘러내림으로서 다른 식물에서 보다 방제가 훨씬 어려운 실정이다. 뿐만 아니라 파밤나방 유충은 3령기 이후에는 유기합성 살충제에 대한 높은 저항성 출현으로 방제가 어려운데(Meinke and Ware, 1978), 생물농약인 *Bacillus thuringiensis*에 대해서도 저항성이 문제가 되고 있다(MacIntosh *et al.*, 1990). 한편, 최근 우리나라에서는 친환경 농업의 점진적인 종합재배 면적의 증가와 더불어 파밤나방의 발생이 증가되고 있어 그에 대한 친환경적인 방제 방법의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 파밤나방의 생물적 방제의 시도는 곤충병원성 핵다각체바이러스, 선충 그리고 합성 성페로몬을 사용하여 시도되고 있다(Goh *et al.*, 1991; Kim *et al.*, 1995; Choi *et al.*, 1996a; Han *et al.*, 1999; Bae *et al.*, 2007).

파밤나방의 화학적 방제를 위해 국내에 등록된 농약은 50여종이나 되지만, Kang *et al.*(2008)의 연구결과 외에는 실제 파 포장에서 종합적이고 효과적인 약제 처리방법이 명시되지 않은 현실에서 파밤나방의 발생으로 인한 피해는 심각해질 것으로 사료된다. Choi *et al.*(1996b)는 우수한 약제라 하더라도 사용량과 횟수가 많아지면 자연 해충에 대한 도태압이 높아져 저항성 해충의 발생은 필연적이라는 연구 결과와 해충방제를 위한 약제의 사용은 살충력과 작용특성에 대한 정확한 정보를 토대로 하여야 한다고 보고하였다.

따라서 본 연구는 파밤나방의 방제를 위하여 농약의 사용횟수를 줄여 농약사용을 절감하여 생태계를 보호하고 친환경적으로 방제할 수 있는 종합적 방제방법을 개발하기 위하여 실험실, 비닐하우스와 농가 파 포장에서의 방제효과를 시험하였다. 파밤나방에 대한 살충효

과가 좋아 선발된 9종의 살충제와 미생물농약인 3종의 BT제를 단일처리방법과 교호처리의 방법을 통하여 최적의 방제방법을 검토하였다.

재료 및 방법

약제선발

파밭에 발생하는 파밤나방의 방제를 위하여 국내에 등록된 58개 상품 중 25개를 시중에서 구입하여 실내 실험에 사용하였다. 실내실험을 통해 살충효과가 우수한 신경저해제 5종과 곤충생장조절제 4종을 선발하여 본 실험에 사용했으며, 미생물살충제로 국내토양에서 선발한 *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* CAB109, *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* CAB141와 시판중인 BT제를 이용하였다.

비닐하우스시험

시험은 대전시 유성구에 위치한 충남대학교 농업생명과학대학의 부속농장의 비닐하우스에서 수행되었다. 시

험에 사용된 품종은 흑금성으로 시장에서 구입하여 정식하고 인공사료로 사육한 파밤나방 2령 유충을 시험구당 80마리씩 접종하고 2일간 비닐하우스의 환경에 적응시킨 후 약제처리하였다. 약제 살포 당시의 유충의 생존율은 67~88%인 유충은 3령 및 일부 4령으로 조사되었다.

실내실험에서 파밤나방에 약효가 우수하게 나타난 9종의 약제를 선발하여 비닐하우스시험에 이용하였다 (Table. 1). 모든 시험은 2반복 실시하였고 물로 처리한 것을 대조로 하였다.

포장시험

파밤나방의 농가 포장에서 효과적인 새로운 방제방법을 모색하기 위하여 2008년 8월 중순부터 9월 초순까지 전남 진도군 군내면 녹진리 파재배단지의 농가에서 약제방제시험을 수행하였다. 파의 품종은 흑금성이었고 당시 파밤나방은 알, 번데기 및 성충을 비롯하여 각 발육단계가 혼재되어 있는 상태로 시험하였다.

약제선발은 약효가 우수하고 유효성분과 계통이 다른 화학약제 4종과 상품화되어 있는 BT 1종 및 실험실에서 분리한 BT 2종(Kim et al., 2006) 등 총 7종의 방제

Table 1. List of insecticides tested against *Spodoptera exigua* on the spring onion in the polyvinyl house

Types	Insecticides (Abbreviation)	A.I. (%)	Dilutions	Groups
Neurotoxin Insecticides (NI)	Indoxacarb WG (Ind WG)	30	6,000	Oxadiazine
	Indoxacarb WP (Ind WP)	10	2,000	Oxadiazine
	Emamectin benzoate EC (Ema EC)	2.15	2,000	Avermectin
	Bifenthrin WP (Bif WP)	2	1,000	Pyrethroid
	Etofenprox EC (Eto EC)	20	1,000	Pyrethroid
Insect Growth Regulators (IGR)	Methoxyfenozide + spinosad SC (Met SC)	10 + 5	2,000	Diacylhydrazine + spinosyn
	Methoxyfenozide WP (Met WP)	4	1,000	Diacylhydrazine
	Chlorfluazuron EC (Chl EC)	5	2,000	Benzoylurea
	Teflubenzuron SC (Tef SC)	5	2,000	Benzoylurea

Table 2. List of insecticides tested against *Spodoptera exigua* in the spring onion field

Types	Insecticides (Abbreviation)	A.I. (%)	Dilutions	Groups
Neurotoxin Insecticides (NI)	Indoxacarb WP (Ind WP)	10	2,000	Oxadiazine
	Emamectin benzoate EC (Ema EC)	2.15	2,000	Avermectin
Insect Growth Regulators (IGR)	Methoxyfenozide + spinosad SC (Met SC)	10 + 5	2,000	Diacylhydrazine + spinosyn
	Chlorfluazuron EC (Chl EC)	5	2,000	Benzoylurea
<i>Bacillus thuringiensis</i> (BT)	<i>B.t.</i> subsp. <i>aizawai</i> NT0423 WP (BT NT0423)	1×10^9 cfu/g	2,000	Bacteria
	<i>B.t.</i> subsp. <i>aizawai</i> CAB109 (BT CAB109)	3×10^7 cfu/ml	15	Bacteria
	<i>B.t.</i> var. <i>kurstaki</i> CAB141 (BT CAB141)	3×10^7 cfu/ml	15	Bacteria

제를 선발하여 포장시험에 적용하였다(Table. 2). 포장 시험에서 모든 처리약제는 농약사용지침서의 안전사용 기준으로 사용하였으며, 실험실에서 분리한 2종의 BT 제는 작물체에 대한 전착효과를 높이기 위해 1,000배의 Tween 80을 섞어서 살포하였다. 약제의 처리는 단일 및 교호처리로 하였으며 1주일 간격으로 세 번에 걸쳐 처리하였다. 조사방법은 처리전과 처리 1주일 후에 매 처리구에서 임의로 30포기를 선택하여 구멍이 뚫린 잎을 피해주로 판정하고 피해주수와 파밤나방 유충수를 조사하였다. 모든 시험은 3반복 실시하였고 물로 처리한 것을 대조로 하였다.

결과 및 고찰

최근 파 재배 농가에서 파밤나방의 발생이 증가하여 약제방제에 대한 어려움이 증가하고 있다. 따라서 본 시험은 우리나라에 등록되어 있는 화학농약의 약제별 감수성을 실험실과 비닐하우스에서 예비실험을 통하여 선발된 약제를 농가포장에 적용시험 하였다. 선발된 약제를 방제방법을 조합하여 화학농약의 살포횟수를 줄이고 환경친화적 측면에서 미생물농약을 방제력에 넣어 동일한 또는 보다 좋은 종합방제방법을 개발하고자 시도하였다.

비닐하우스시험

실험실에서 25개의 농약으로 생물검정을 수행하여 얻은 살충효과가 상대적으로 높은 9종의 약제를 선발하여 비닐하우스에서 시험을 수행하였다.

소포장 시험결과 5종의 신경독성약제의 살충율은 처

리된 약제들간의 차이를 나타내지 않았으며, 약제처리 4일이 경과한 후의 살충율은 86.1~88.8%이었고 7일째의 살충율은 88.5~92.2%로 나타났다(Table 3). 한편, 4종의 곤충생장조절제에 대한 살충율은 현저한 차이를 나타내었는데 Met SC의 경우, 살충율이 약제처리 4일 후의 살충율이 90.3%에서 7일후에는 96.0%로 증가하여 속효성 뿐만 아니라 효과도 좋게 나타났다. 다음에 Met WP은 4일 후의 살충율이 78.1%에서 7일후에는 85.7%로의 증가율을 보였다. 대부분 곤충생장조절제의 살충율이 신경독성약제와 비교하여 4일째 보다 7일째에 6~20%정도 높게 나타났는데, 이는 곤충생장조절제는 해충의 성장 및 발육을 저해하거나(Fisk and Wright, 1992; Park, 1998), 성충에 불임을 유발함으로써(Gordon et al., 1989; Elek and Longstaff, 1994; Howard and Wall, 1995) 신경독성 약제보다 지효성을 나타내기 때문인 것으로 사료된다.

포장시험

농가의 파 포장에서 파밤나방에 효과적인 새로운 방제 방법을 모색하기 위하여 실내실험, 포장시험 및 비닐하우스시험을 통하여 살충율이 상대적으로 높고, 유효성분과 계통이 다른 화학약제 4종과 상품화되어있는 BT 1종, 그리고 실험실에서 선발한 BT 2종 등 총 7종의 방제제를 선발하여 단일처리와 교호처리 시험을 수행하였다.

Table 4에서 볼 수 있는 바와 같이, 단일처리의 살충율을 보면 1차, 2차, 3차 처리에서 모두 현저한 차이를 나타내었다. 그 중 실험실에서 분리선발한 BT CAB109의 약효가 가장 높아 평균 살충율이 75% 이상을 나타내었으며, 1차 처리에서 84.5%의 살충율을 나타내었다. 2차 처리에

Table 3. Mortality of *Spodoptera exigua* against several insecticides in polyvinyl house

Types	Insecticides	No. of tested insects	Mortalities (%)	
			After 4 days	After 7 days
NI	Ind WG	58	88.8 ± 2.4 a	92.2 ± 1.1 a
	Ind WP	54	86.6 ± 2.5 a	90.2 ± 1.6 a
	Ema EC	68	88.5 ± 6.6 a	88.7 ± 9.1 a
	Bif WP	57	86.9 ± 9.2 a	89.3 ± 4.5 a
	Eto EC	69	86.1 ± 3.0 a	88.5 ± 2.5 a
IGR	Met SC	71	90.3 ± 7.5 a	96.0 ± 2.3 a
	Met WP	62	78.1 ± 9.7 ab	85.7 ± 6.6 ab
	Chl EC	68	51.9 ± 6.9 c	71.2 ± 5.2 bc
	Tef SC	63	55.3 ± 6.7 bc	68.0 ± 6.3 c

Table 4. Mortality of *Spodoptera exigua* against 7 insecticides of each 3 repeated applications with 7 day intervals at Jindo-Gun in August, 2008

Types	Insecticide applications	Cumulative mortalities (%)			
		After 1st week	After 2nd week	After 3rd week	Ave.
NI	Ind WP	55.9 ± 5.9 b	74.6 ± 3.7 ab	73.7 ± 7.6 ab	68.1
	Ema EC	69.1 ± 11.2 ab	67.6 ± 10.9 ab	53.1 ± 12.5 bc	63.3
IGR	Met SC	62.9 ± 12.2 b	60.2 ± 10.1 b	53.1 ± 10.4 bc	58.7
	Chl EC	53.2 ± 2.1 b	72.7 ± 5.1 ab	76.6 ± 6.6 a	67.5
	BT NT0423	58.4 ± 12.6 b	62.8 ± 9.3 b	57.5 ± 11.3 abc	59.6
BT	BT CAB109	84.5 ± 9.5 a	82.5 ± 9.7 a	58.9 ± 13.3 abc	75.3
	BT CAB141	61.8 ± 9.9 b	80.4 ± 4.9 a	47.3 ± 14.5 c	63.2

Table 5. Percentage of decrease damage of spring onions infested by *Spodoptera exigua* by 7 insecticides each repeated 3 times at 7 day intervals at Jindo-Gun in August, 2008

Types	Insecticide applications	Cumulative decrease damages (%)			
		After 1st week	After 2nd week	After 3rd week	Ave.
NI	Ind WP	20.7 ± 10.2 abc	22.3 ± 9.0 ab	24.5 ± 9.4 ab	22.5
	Ema EC	41.1 ± 11.7 a	29.4 ± 15.3 a	29.1 ± 15.4 a	33.2
IGR	Met SC	33.7 ± 11.2 ab	28.2 ± 6.6 a	37.7 ± 7.0 a	33.2
	Chl EC	5.5 ± 9.5 c	1.6 ± 2.8 b	1.4 ± 2.4 b	2.8
	BT NT0423	23.0 ± 11.5 abc	17.3 ± 17.3 ab	18.8 ± 20.4 ab	19.7
BT	BT CAB109	26.1 ± 14.4 abc	25.2 ± 13.9 a	26.8 ± 16.1 a	26.0
	BT CAB141	18.3 ± 10.9 bc	3.2 ± 2.8 b	2.8 ± 2.4 b	8.1

서 82.5%의 높은 효과를 보이다가 3차 처리 후에 살충효과가 감소하였다. 또한 살충율이 높은 약제들로는 Ind WP, Chl EC, Ema EC, BT CAB141 등을 들 수 있으며, 평균 살충율이 63% 이상 나타내었다. 나머지 BT NT0423 과 Met SC는 60% 미만의 살충율을 보이고 있어 상대적으로 낮은 약효를 보였다. 특이할 만한 사항으로는 실내실험에서 100%의 살충율을 나타내었고 (Jin *et al.*, 2008), 비닐하우스시험에서 88% 이상의 살충율을 나타내었던 Ema EC와 Met SC는 이번 포장시험에서 각각 63.3%와 58.7%의 낮은 살충율을 보이며 다른 약제들보다 상대적으로 낮은 약효를 보여주었다.

단일처리의 피해감소율도 누차적인 1차, 2차, 3차에서 모두 처리약제간의 현저한 차이를 볼 수 있었다 (Table. 5). Met SC, Ema EC, BT CAB109, Ind WP, BT NT0423 등 5종 약제간의 피해감소율은 현저한 차이는 없었고, 평균피해감소율도 19.7% 이상에 달하였는데, 그중에서 살충율이 상대적으로 낮았던 Met SC와 Ema EC 두 약제의 평균피해감소율이 33% 이상으로 높았다. 여기에서 두 약제는 비록 파밤나방에 대한 살

충율은 높지 못하였지만 파는 상대적으로 적은 피해를 받았다는 것을 의미하는데, 파의 피해는 파밤나방의 절대적 수와 직접적으로 관계되지만 살충율과는 간접적인 관계이기 때문에 이와 같은 결과가 나왔으리라 생각된다. 이와 마찬가지로 Chl EC의 피해감소율이 낮은 원인은 1차와 2차 처리에서 Chl EC 시험구의 해충수가 상대적으로 많아서 이와 같은 결과를 보이고 있는 것으로 생각된다. 파밤나방에 의해서 피해를 받은 구멍 난 파는 파밤나방 유충에 의해서 먹히거나 혹은 피해가 심하여 고사하기 전에는 구멍이 계속 유지되기에 자연히 피해감소율이 낮을 수밖에 없다. 이상과 같은 단일처리는 현재 농가에서 보편적으로 쓰이는 약제처리방법이다. 하지만 파밤나방은 전남지역에서 6월~11월까지 대개 6세대 발생하는데(Goh *et al.*, 1993b; Park *et al.*, 1991) 단일 약제처리로는 방제방법으로는 어려움이 있을 것으로 예상된다. 일반적으로 농가의 경우에 발생이 심한 8월~10월에 파밤나방 위주의 해충방제는 7~10일 간격으로 5~10회 정도 약제를 반복적으로 처리한다.

따라서 본 시험에서는 이런 문제를 극복하기 위하여

새로운 방제방법인 교호처리방법을 농가포장시험에 이용하였다. 본 시험의 교호처리는 유효성분의 계통, 곤충에 작용하는 독성기작등이 다른 약제를 사용하고 인축이나 환경에 영향을 미치는 화학농약을 최대한 적게 사용하며, 상대적으로 농약잔류에 안전한 천연물 유래의 IGR농약과 미생물농약인 BT를 적절히 이용하는 처리방법을 택하였다.

이러한 교호처리방법을 이용하여 시험한 결과를 보면 누차적인 1차, 2차, 3차 모두에서 약제들간의 현저한 유의차는 없었다(Table. 6). 이는 앞서 단일처리에서 약제들간에 볼 수 있었던 살충율의 현저한 차이와는 상이한 결과이다. 그중에서 Met SC + Chl EC + BT CAB109, Ind WP + Chl EC + BT CAB141, Ind WP + Met SC +

BT CAB141, Ema EC + Met SC + BT CAB109, BT CAB109 + Ema EC + Met SC, BT CAB141 + Ind WP + Met SC, Met SC + Chl EC + BT CAB141 등 7종 약제처리조합의 평균 살충율이 72~80.3%에 달하여 단일처리에서 화학농약 중 최고 약효를 보인 Ind WP의 68.1%보다 높은 살충율을 나타내었다. 이런 결과로부터 다양한 교호처리를 통하면 효과가 상대적으로 낮았던 약제들도 단일처리에서 보다 높은 살충효과를 기대할 수 있다. 교호처리는 단일처리 보다 단순히 약제의 사충효과를 상승시켰을 뿐만 아니라, 해충의 저항성발달을 예방, 또는 지연시킬 수 있을 것으로 사료된다.

교호처리 방법에서 피해감소율을 보면 1차에서는 약제처리간의 유의성 차이가 크게 나타나지 않았지만, 누차적

Table 6. Mortality of *Spodoptera exigua* against 7 insecticides of different alternative applications with 7 day intervals at Jindo-Gun in August, 2008

Insecticides applications			Cumulative mortalities (%)			
1st	2nd	3rd	After 1st week	After 2nd week	After 3rd week	Ave.
Ind WP	Met SC	BT CAB141	74.6 ± 19.7 a	80.6 ± 13.6 a	79.0 ± 18.4 a	78.1
Ind WP	Chl EC	BT CAB141	80.3 ± 7.5 a	79.1 ± 5.9 a	77.8 ± 13.9 a	79.1
Ema EC	Met SC	BT CAB109	67.7 ± 6.7 a	80.4 ± 2.9 a	73.2 ± 10.5 a	73.8
Ema EC	Chl EC	BT CAB109	70.6 ± 7.3 a	68.0 ± 7.5 a	62.0 ± 5.2 a	66.9
Met SC	Chl EC	BT CAB109	82.5 ± 10.0 a	84.8 ± 1.6 a	73.6 ± 3.0 a	80.3
Met SC	Chl EC	BT CAB141	83.8 ± 6.1 a	75.8 ± 10.8 a	56.4 ± 19.8 a	72.0
BT CAB109	Ema EC	Met SC	72.7 ± 14.0 a	80.8 ± 5.7 a	66.1 ± 13.6 a	73.2
BT CAB109	Ema EC	Chl EC	68.4 ± 16.3 a	64.8 ± 15.7 a	53.0 ± 16.7 a	62.1
BT CAB141	Ind WP	Met SC	71.7 ± 7.3 a	71.4 ± 8.6 a	74.4 ± 9.2 a	72.5
BT CAB141	Ind WP	Chl EC	73.6 ± 13.8 a	65.3 ± 7.4 a	46.0 ± 14.5 a	61.6

Table 7. Percentage of decrease damage of spring onions infested by *Spodoptera exigua* with 7 insecticides of different alternative applications with 7 day intervals at Jindo-Gun in August, 2008

Insecticides applications			Damaged reduces (%)			
1st	2nd	3rd	After 1st	After 2nd	After 3rd	Ave.
Ind WP	Met SC	BT CAB141	49.0 ± 14.1 a	39.9 ± 7.6 a	45.8 ± 6.9 a	44.9
Ind WP	Chl EC	BT CAB141	44.9 ± 17.6 a	42.7 ± 3.8 a	42.3 ± 3.9 abc	43.3
Ema EC	Met SC	BT CAB109	31.2 ± 12.5 a	30.5 ± 9.2 ab	47.2 ± 4.3 a	36.3
Ema EC	Chl EC	BT CAB109	43.5 ± 10.6 a	34.8 ± 4.9 ab	34.4 ± 4.9 abcd	37.6
Met SC	Chl EC	BT CAB109	45.6 ± 7.7 a	39.9 ± 7.6 a	43.8 ± 4.7 ab	43.1
Met SC	Chl EC	BT CAB141	40.4 ± 16.9 a	30.8 ± 22.8 ab	32.1 ± 20.2 abcd	34.4
BT CAB109	Ema EC	Met SC	24.9 ± 15.3 a	8.5 ± 10.8 c	22.6 ± 6.0 cd	18.7
BT CAB109	Ema EC	Chl EC	26.1 ± 15.7 a	13.7 ± 11.9 bc	24.2 ± 10.6 bcd	21.3
BT CAB141	Ind WP	Met SC	28.4 ± 20.4 a	10.1 ± 9.1 c	15.4 ± 12.1 d	18.0
BT CAB141	Ind WP	Chl EC	45.9 ± 14.5 a	33.2 ± 13.3 ab	44.1 ± 13.8 ab	41.1

인 2차, 3차에서는 약제처리간의 뚜렷한 유의성 차이를 보였다(Table. 7). 그중에서 Ind WP + Met SC + BT CAB141, Ind WP + Chl EC + BT CAB141, Met SC + Chl EC + BT CAB109, BT CAB141 + Ind WP + Chl EC, Ema EC + Chl EC + BT CAB109, Ema EC + Met SC + BT CAB109, Met SC + Chl EC + BT CAB141 등 7종 약제처리조합의 평균피해감소율이 34.4~44.9%에 달하여 단일처리에서 최고인 33.2% 보다 높은 피해감소율을 나타내었다. 따라서 살충율의 결과와 마찬가지로 다양한 교호처리를 통하면 피해감소율도 단일처리 보다 좋은 효과를 기대할 수 있다.

포장시험에서 3차 방제 후 대부분처리의 살충율이 떨어졌는데 심지어 30%나 떨어진 것도 있다. 이는 단순한 약제문제가 아니라 무처리구의 파가 너무 심한 피해를 받아 대부분 잎이 먹히거나 말라죽어서 해충수가 급격히 감소하여 이를 대조로 구한 살충율은 자연히 낮아졌다.

단일처리 및 교호처리 방법에 의한 파밤나방에 대한 높은 사충효과를 나타내는 조합과 피해감소율이 높은 조합을 선택하여 총 5개로 선발된 조합은 Ind WP + Met SC + BT CAB141, Ind WP + Chl EC + BT CAB141, Ema EC + Met SC + BT CAB109, Met SC + Chl EC + BT CAB109, Met SC + Chl EC + BT CAB141이다. 이러한 조건을 충족시키는 결과는 모두 교호처리였으며, 이는 단일약제 처리보다는 교호 약제 처리가 훨씬 더 효과적인 방제방법임을 확인되었다. 또한 교호처리에서도 먼저 2차례 화학약제(IGR + IGR, 혹은 NI + IGR)처리를 하고, 마지막에 미생물농약(BT) 처리를 한 교호처리의 조합이 우수한 효과를 나타내고 있다. 이것은 IGR 약제가 NI 약제나 BT 약제보다 지효성인 이유로 1차에 BT를 처리한 조합에서 IGR 약제는 모두 3차에 처리되었으므로(Table 6, 7) 이와 같은 결과가 나타나는 것으로 사료된다. 한편 BT CAB109의 경우에는 단일처리에서 평균살충율이 가장 높은 75.3%에 달하였고 평균피해감소율도 비교적 높은 26.0%에 달하여 시험에 사용한 다른 화학약제보다 우수한 방제효과를 나타내었다. BT CAB109의 포장방제효과를 확인하기 위하여 이미 상품화가 된 같은 혈청형인 BT NT0423을 대조로하여 비교시험을 수행한 결과 BT CAB109의 평균살충율과 평균피해감소율이 BT NT0423 보다 각각 15.7%와 6.3%가 높았다.

단일처리의 결과에서 BT CAB109의 평균살충율과 평균피해감소율이 BT CAB141 보다 각각 12.1%와 17.9%

나 더 높았다. BT CAB109균주는 파밤나방에 높은 활성을 보이는 동시에 실내실험에서 담배거세미나방과 배추좀나방에도 높은 활성을 보였다(Kim *et al.*, 2008).

본 포장시험의 단일처리에서 Ema EC의 살충율은 63.3%였지만 Kang *et al.*(2008)의 포장시험에서 결과는 Ema EC의 방제효과가 90.6%에 달하여 본시험의 결과보다 뚜렷하게 높았다. 이는 Kang *et al.*(2008)의 시험이 본시험과 같이 농가의 자연발생 상태에서 성충을 비롯한 각 단계의 유충이 혼재되어 있는 것이 아니라 파밤나방 성충을 방사하여 인위적인 발생으로 시험하여 대체적으로 비슷한 영기의 어린유충들로 개체군을 이루었고 또한 살충율이 아닌 피해율로 방제효과를 산정하였기 때문에 방제효과에서 차이가 나타나는 것으로 사료된다.

파밤나방의 방제가 어려운 것은 최근 들어 파밤나방의 밀도 증가 원인이 다양하기 때문인데(Kim *et al.*, 1995), 대체적으로 약제의 특성과 파밤나방의 생물적 특성 때문인 것으로 보고 있다. 우선 약제의 특성으로 볼 때 대부분 약제는 파밤나방 유충에만 국한되어 효과를 나타내는 경향을 보인다. 하지만 포장에는 유충 이외에 알, 번데기, 성충이 동시에 혼재하고 있으며, 아무리 효과가 좋은 약제라도 유충밖에 방제하지 못한다. 뿐만 아니라 많은 약제들은 환경조건(강우, 자외선, 고온 등)의 영향을 받아 약효발휘를 충분히 할 수 없는 상황이다. 이러한 문제를 해결하자면 유충뿐만 아니라 알과 성충에도 효과적인 약제를 개발해야 하고 환경에 적응력이 강하고 약효를 최대한 발휘할 수 있는 최적의 제형을 개발해야 할 것이다. 또한 파밤나방의 생물학적 특성으로 볼 때 한국에서 1년에 6회까지 발생이 가능한 것도 문제겠지만 (Park *et al.*, 1991), 기주식물이 다양하고 온실과 비닐하우스 등 시설재배지의 확대로 월동 가능성이 증가되었고, 더욱이 약제에 대한 감수성이 낮아 3령기 후에는 유기합성살충제뿐만 아니라 미생물농약인 BT 약제에 대한 저항성 출현으로 방제가 더욱 어려워졌다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 반드시 효과적인 약제를 선발하여 사용해야하고, 유효성분, 약제 계통, 작용 기작이 서로 다른 약제로 교호처리, 혼합처리를 함으로써 될 수록 방제효과 제고로 방제차수를 줄이고, 또한 유아등과 합성 성페로몬을 성충방제에 이용함으로써 저항성 개체군의 발생을 예방하고 억제함으로써 방제효과를 최대한 높여야 할 것이다.

파 포장에서 파밤나방의 방제가 더구나 어려운 것은 파 잎의 특수한 구조, 파 잎의 특수한 물질 때문이라 하

졌다. 우선 파 잎의 구조를 보면 파 잎은 속이 빈 긴 원뿔형으로서 파밤나방의 어린유충들이 잎 속에 구멍 파고 들어가 피신해 있거나 가해함으로써 약제에 노출될 기회가 적어서 방제가 어렵다. 이 문제를 해결하자면 농약을 만들 때 침투이행성 원제를 선발하면 약효를 일정하게 높일 것으로 추정된다. 둘째는 파 잎의 표면에는 큐틴(cutin)이라는 각질로 덮여있는데 약제 살포시 약액이 큐틴으로 인하여 잎 표면에 잘 부착되지 못하고 흘러내림으로서 효과가 떨어진다. 이 문제를 해결하자면 약제의 제형을 만들 때 큐틴에도 잘 전착이 되는 물질을 첨가하여 약액이 잎 표면에 잘 전착이 되면 약효를 지속시킬 수 있을 것으로 추정된다. 셋째는 파 잎은 원뿔형인데다 땅과 수직으로 곧게 서있어 내려다보면 파 잎이 차지하는 면적은 적고 대부분은 토양면적이다. 게다가 파 잎 표면의 큐틴 때문에 일반분무기로 약제를 살포하면 대부분의 약액이 토양에 떨어지고 파 잎에는 얼마 묻지 못하여 효과가 떨어진다. 이 문제를 해결하자면 약제를 살포할 때 정전분무기를 사용하면 약제도 절약하고 토양오염도 줄일 수 있으며 약효도 오래 보존하여 결국 방제효과를 높일 수 있다. 만약 원제, 제형 및 살포분무기 이 3가지 문제가 동시에 해결된다면 파 포장에서 파밤나방의 방제효과는 상당히 높일 수 있을 것으로 사료된다.

본 시험에서 효과가 좋게 나타난 4종의 화학농약은 유효성분, 계통이 다른 약제들이다. 또한 Ind WP를 제외한 Ema EC는 토양박테리아에서 추출한 천연성분의 유도제, Chl EC는 곤충생장조절제, Met SC는 곤충생장조절제와 토양방선균이 발효과정에 생성되는 천연물질의 혼합제로서 포유동물에 상대적으로 안전한 약제들이다. 그리고 BT CAB109균주는 인축이나 환경에 안전한 미생물이다. 이러한 약제들로 해충의 저항성발달을 저해하는 다양한 교호처리의 방법을 통하여 연간 3~5회에 걸쳐 발생하는 난방제 해충인 파밤나방을 파 포장에서 살충율이 70%이상, 피해감소율이 30%이상의 방제효과를 나타낸 것은 주목할 만한 일이다. 따라서 농약의 살포회수를 줄이고 환경 친화적인 방제를 요구하는 현실에 발맞추어 이미 수행한 실내외의 시험결과를 토대로 앞으로 더욱 다양한 교호처리의 방법을 연구할 필요가 있다. 이러한 환경친화적인 방법으로 파밤나방에 효과가 확실한 새로운 약제조합을 많이 연구하여 약제의 살포회수를 줄이고 농약잔류에 안전한 천연물 농약을 많이 추천하여 친환경 농업에 적절히 이용할 수 있는 종합방제방법을 개발해야 할 것이다.

사 사

본 연구는 2008~2010년도 농촌진흥청의 농업미생물 현장실용화 연구비지원에 의하여 수행되었습니다.

Literature Cited

- Ahn, S.B., I.S. Kim, M.Y. Lee, D.S. Ku, K.M. Kwon and Y.M. Park. 1998. Investigation of species and distribution on the vegetable insect pests in Korea. Ann. Rep. Agr. Sci. Ins. RDA. 435-912.
- Ahn, S.B., I.S. Kim, W.S. Cho, M.H. Lee and K.M. Choi. 1989. The Occurance of the crop insect pests from Korea in 1988. Korean J. Appl. Entomol. 28(4): 246-253.
- Ahn, S.B., S.B. Lee and W.S. Cho. 1991. Leaf feeding insect pests and their damages on welsh onion and shallot fields in Chonrabukdo and Chonramamdo districts. Res. Rebt. RDA (c.p). 33: 66-73..
- Aldosari, S.A., T.F. Watson, S. Sivasupramaniam and A.A. Osman. 1996. Susceptibility of field populations of beet armyworm (*Lepidoptera: Noctuidae*) to cyfluthrin, methomyl, and profenofos, and selection for resistance to cyfluthrin. J. Econ. Entomol. 89: 1359-1363.
- 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.
- Choi, I.H., Y.S. Jang, G.H. Kim and J.W. Kim. 2004. Control effects of some insecticides on different stages of the stone leek leafminer, *Liriomyza chinensis* Kato (Diptera: Agromyzidae). Korean J. Appl. Entomol. 43(2): 169-173.
- Choi, J.R., W.R. Song, S.Y. Hwang, H.S. Kim and J.O. Lee. 1996b. Age-related susceptibility of *Spodoptera litura* larvae to some insecticides. Korean J. Appl. Entomol. 35(3): 249-253.
- Choi, J.Y., H.S. Kim., B.R. Jin., K.Y. Seol., H.Y. Park and S.K. Kang. 1996a. Pathogenicity and production of *Spodoptera exigua* nuclear polyhedrosis virus. Korean J. Appl. Entomol. 35(3): 228-231.
- Elek, J.A. and B.C. Longstaff. 1994. Effect of chitin-synthesis inhibitors on stored-product beerles. Pestic. Sci. 40(3): 225-230.
- Goh, H.G., J.D. Park, Y.M. Choi, K.M. Choi and I.S. Park. 1991. The host plants of beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner), (*Lepidoptera: Noctuidae*) and its occurrence. Korean J. Appl. Entomol. 30(2): 111-116.
- Goh, H.G., J.S. Choi, K.B. Uhm, K.M. Choi and J.H. Kim. 1992. Leaf feeding insects of welsh onion and shallot, and their species abundance patterns. Korean. J. Appl. Entomol. 31(4): 360-365.
- Goh, H.G., J.S. Choi, K.B. Uhm., K.M. Choi and J.H. Kim. 1993a. Spatial distribution pattern of beet armyworm, *Spodoptera*

- exigua* (Hübner), larvae in the welsh onion Field. Korean J. Appl. Entomol. 32(2): 134-138.
- Goh, H.G., J.S. Choi, K.B. Uhm., K.M. Choi and J.H. Kim. 1993b. Seasonal fluctuation of beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner). Korean J. Appl. Entomol. 32(4): 389-394.
- Gordon, R., T.L. Young, M. Cornect, and D.K. Hong. 1989. Effects of two insect growth regulators on the larval and pupal stages of the *cabbage maggot* (Diptera: Anthomyiidae). J. Econ. Entomol. 82(4): 1040-1045.
- Han, S.C., S.S. Lee and Y.G. Kim. 1999. Pathogenicity and multiplication of entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae* Weiser, on been armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) and tobacco cutworm, *Spodoptera litura* (Fabricius). Korean J. Appl. Entomol. 38(3): 255-260.
- Howard, J. and R. Wall. 1995. The use of teflumuron on sugar-baited targets for auto sterilization of the housefly, *Musca domestica*. Entomol. Exp. Appl. 77(2): 159-165.
- Jin, D.Y., M.S. Cho, S.Y. Choi, S.K. Paek, J.S. Kim, Y.N. Youn, I.C. Hwang, and Y.M. Yu. 2008. Selektion of crop protectant for friendly environmental control of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). Korean J. Appl. Entomol. 47(1): 45-50.
- Kang, E.J., M.G. Kang, M.J. Seo, S.N. Park, C.U. Kim, Y.M. Yu and Y.N. Youn. 2008. Toxicological effects of some insecticides against welsh onion beet armyworm (*Spodoptera exigua*). Korean J. Appl. Entomol. 47(2): 155-162.
- Kim, D.A., J.S. Kim, M.R. Kil, S.K. Paek, S.Y. Choi, D.Y. Jin, Y.N. Youn, I.C. Hwang and Y.M. Yu. 2008. Characterization of New *Bacillus thuringiensis* isolated with bioactivities to tobacco cutworm, *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). Korean J. Appl. Entomol. 47(1): 87-93.
- Kim, D.A., J.S. Kim, M.R. Kil, Y.N. Youn, D.S. Park and Y.M. Yu. 2006. Isolation and activity of insect pathogenic *Bacillus thuringiensis* strain from soil. Korean J. Appl. Entomol. 45(3): 357-362.
- 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.
- Kim, Y. and N. Kim. 1997. Cold hardiness of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Noctuidae: Lepidoptera). Environ Entomol. 26: 1117-1123.
- MacIntosh, S.C., T.B. Stone, S.R. Sims, P.L. Hunst, J.T. Greenplate, P.G. Marrone, F.J. Periak, D.A. Fischhoff and R.L. Fuchs. 1990. Specificity and efficacy of purified *Bacillus thuringiensis* proteins against agronomically important insects. J. Invertebr. Pathol. 56: 258-266.
- Meinke, L.J. and G.W. Ware. 1978. Tolerance of three beet armyworm strains in Arizona to methomyl. J. Econ. Entomol. 71: 645-646.
- Minamikawa, H. 1937. Survey on the tobacco cutworm, *Spodoptera litura* Favrcius. Taiwan Central Res. Inst. Agr. Report. 70: 1-66.
- Mochida, O and T. Okada. 1974. A bibliography of *Spodoptera* spp. (Lepidoptera: Noctuidae). Misc. Bull. Kyushu Nat. Agr. Expt. Sta. 49: 1-110.
- Park, J.D., H.G. Goh., J.H. Lee., W.J. Lee and K.J. Kim. 1991. Flight activity and injury characteristics of beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner), (Lepidoptera: Noctuidae) in southern region of Korea. Korean J. Appl. Entomol. 30(2): 124-129.

(Received for publication June 4 2009;
revised June 19 2009; accepted June 21 2009)