

*Bacillus thuringiensis*와 고삼추출물 혼합처리에 의한 파밤나방 방제효과*

한지희*** · 김윤지** · 정혜주** · 김정준** · 이상엽** · 김다연** · 안성호**

Combination Effects of *Bacillus thuringiensis* and Sophora Extract on *Spodoptera exigua*

Han, Ji-Hee · Kim, Yoon-Ji · Jeong, Hye-Ju · Kim, Jeong-Jun ·
Lee, Sang-Yeob · Kim, Dayeon · Ahn, Seong-Ho

This study was conducted to identify the insecticidal effect of a mixture of sophora extract and *Bacillus thuringiensis* against *Spodoptera exigua* on potted chinese cabbage in both laboratory and plastic house condition. In laboratory condition, mortality of larvae by BT (1×10^5 , 1×10^6 , 1×10^7 cfu ml⁻¹) alone was 27.5%, 51.3% and 92.5%, respectively, which was depend upon concentration of BT. Control efficacy of the mixture of BT and sophora extract was 98.8%, 88.8% and 91.3% which was higher than BT treatment only. The mixture of sophora and lower BT concentration was showed more increase of control efficacy. Anti-feedant effect by BT was depend on concentration of BT. At field experiment, the mixture of BT and sophora extract appeared higher mortality (72.2%, 67.8%, 61.1%) than BT treatment only (14.4%, 26.7%, 66.7%) similar with laboratory experiment. The mixture was less affected by environmental condition at field than BT only. Therefore, for effective control of beet armyworm without possibility to develop resistance against BT at farm, treatment of the mixture of sophora extract (0.033%) and BT (1×10^5 cfu ml⁻¹) would be considered more effective than BT treatment only.

Key words : *bacillus thuringiensis*, *beet armyworm*, *insecticidal activity*, *sophora*,
spodoptera exigua

* 본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 연구과제(PJ01004903)에 의해 수행되었습니다.

** 농촌진흥청 국립농업과학원

*** Corresponding author, 농촌진흥청 국립농업과학원, +82-63-238-3052(bijouhee@korea.kr)

I. 서 론

통계청의 보고에 따르면 우리나라 친환경 채소류의 생산량은 2000년 25,470 ton에서 2009년 1,030,0875 ton으로 큰 폭으로 증가하였으나 저농약 농산물 신규인증이 폐지된 2010년 이후 지속적으로 감소하여 2015년의 친환경 채소류의 생산량은 149,883 ton으로 2009년 생산량의 1.45%로 급감하였다(Kim, 2015). 이러한 친환경 생산량의 감소는 저농약 농산물 생산 농가가 무농약, 유기재배로 전환하기보다 관행재배로 전환한 탓이라고 해석되어졌다(Kim, 2015). 이러한 저농약 농산물 생산 농가의 관행 또는 GAP 재배로의 전환은 농약을 대체할 친환경유기농자재(이하 “유기농자재”)의 부재로 인한 것으로 생각되어진다. 2016년 현재 등록된 병해충 관리용 유기농자재는 총 1398개이며 이 중 해충 관리용은 273개(19.5%)이다. 하지만 이들 유기농자재의 성능 표기가 명확하지 않는 탓에 친환경 농가에서 유기농자재를 선택하고 사용하는데 어려움이 있다. 또한 등록된 천연식물보호제(2015년 12월 기준)도 작물병 방제용 21종, 해충방제용 13종에 불과한 실정이다(RDA, 2015).

친환경농산물 인증면적이 13.8천 ha로 전국 인증면적의 27.7%를 차지하고 있는 전남지역의 쌈채류 친환경 재배농가에서 조사에 따르면, 봄 작기 기준 작물병 방제 횟수는 무방제(57.1%), 1~2회 방제(약 24%), 5회 이상 방제(약 20%) 순이었으나 해충방제 횟수는 10회 이상이 가장 많은 것으로 조사되었다(Lim et al., 2007). 가공과정 없이 신선한 상태로 소비되어 친환경 재배가 필수적인 쌈채의 경우 병보다 해충을 방제하는 것에 어려움이 큰 것이다. 이렇듯 친환경 농산물 생산의 증대를 위해서는 해충을 친환경적으로 방제하기 위한 수단에 대한 연구가 필요하다.

해충을 친환경적으로 방제하기 위하여 곤충병원성 세균, 바이러스, 선충, 합성 성페로몬 등을 이용한 방제법이 연구되고 있다(Kim et al., 1995; Choi et al., 1996; Bae et al., 2007). 이 중 곤충병원성세균인 *Bacillus thuringiensis* (BT)는 내생포자를 형성하면서 내독소(delta-endotoxin)로 이루어진 살충성 결정단백질을 생성한다. 이 살충성 단백질이 해충의 중장에 도달하여 중장의 효소에 의해 분해, 활성화되어 중장세포의 수용체와 결합, 폐혈증을 유발하여 해충을 죽이게 된다. BT의 살충성 단백질은 나비목, 파리목, 딱정벌레목 뿐 아니라 최근에는 벌목, 매미목, 메뚜기목, 털이목 곤충에도 병원성을 나타내는 것으로 알려졌다(Lawrence et al., 2010). 이러한 넓은 기주 범위와 우수한 살충력 때문에 이를 이용한 미생물 살충제가 전 세계 미생물 살충제 시장 중 약 75%를 차지할 정도로 많이 사용되고 있지만 반복적으로 처리했을 때 저항성이 발생할 수 있어 지속적인 이용에 한계가 있다(Olson, 2015). BT의 저항성을 지연시키는 방법으로 다른 기작으로 작용하는 살충제를 교호처리하거나 혼용하는 방법이 있다(Singh et al., 2007). BT와 함께 사용할 수 있는 친환경 살충제로는 님추출물, 고삼추출물 등 식물유래 살충제를 들 수 있다. BT와 식물추출물인 님제, 고삼제를 혼합하여 배추의 주요 해충인 좁은가슴잎벌레와 배추흰나비, 배추좀나방에 처리하였을 때 단독처

리보다 높은 방제효과를 나타냈으며(Kim et al., 2013), BT와 님오일 혼합제는 배추좀나방의 산란, 부화율, 용화율, 우화율 등에도 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다(Cho et al., 2009). 이와 같이 우수한 효과를 나타내는 BT와 식물추출물 혼합제에 대한 연구는 일부에서만 진행되고 있으며 대부분의 연구가 실내 실험에 그치고 있어, 농가에서의 이용을 위해서는 포장 방제효과에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

본 연구에서는 선행 연구(Han et al., 2015)의 실내 leaf disc를 이용한 방법으로 선발한 BT+고삼추출물 혼합제가 포장에서도 높은 방제효과를 나타내는지 알아보기 위하여 파밤나방이 접종된 배추에 BT와 BT+고삼추출물 혼합제를 처리한 뒤 파밤나방에 대한 살충효과를 조사하였다.

II. 재료 및 방법

1. 해충의 사육

본 실험에 사용된 파밤나방 유충은 국립농업과학원 농업미생물과 실험실에서 누대 사육한 개체를 사용하였다. 파밤나방 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, 광조건 16L:8D, 상대습도 70±5%로 유지하였다.

2. 생물검정

고삼추출물(matrine 1%)은 시중에서 원재를 구입(그린포커스)하여 실험에 사용하였다. 고삼추출물은 멸균수로 3000배(0.033%, v/v) 희석하여 생물검정에 사용하였다. BT는 충남대학교에서 분양받은 *Bacillus thuringiensis* CAB566균주를 냉동조건으로 보관하면서 필요시 배양하여 생물검정에 이용하였다. 생물검정용 BT 균주는 TSA 배지에 접종하여 27°C에서 4-7일 동안 배양 후 집균하여 $1 \times 10^5 \sim 10^7$ cfu mL⁻¹의 농도로 준비하였다. 고삼추출물과 BT 배양액은 배추에 접종하기 직전에 1:1로 혼합하여 살포하였다.

생물 검정을 위해 포트에서 한 달간 재배한 배추에 파밤나방 3령 유충을 주당 10마리씩 접종하였다. BT 또는 고삼+BT 혼합물을 살포한 뒤 실온에서 건조한 후 아크릴박스에 넣어 25±2°C 유지하며 매일 사충수를 관찰하였다. 대조구로 증류수를 살포하였다. BT 또는 고삼+BT 혼합물 처리에 의한 섭식 저해 효과 검정을 위해 처리 6일 후에는 살아있는 유충의 무게를 측정하였다. 생물검정은 3회 수행되었으며 매 실험마다 포트에 심겨진 배추 3주를 이

용하였다.

야외 포장에서 BT 또는 혼합물에 의한 파밤나방 방제효과 검정은 2016년 5월 24일에서 6월 10일 사이에 전북 완주군 이서면 국립농업과학원 시험포장의 비닐하우스에서 실시하였다. 실내 실험과 같은 방법으로 처리한 배추를 곤충사육용 텐트에 옮겨 8일간 이틀마다 사충수를 조사하고, 섭식 저해 효과 검정을 위해 실험 종료 후 살아있는 유충의 무게를 측정하였다.

각 처리간의 차이를 비교하기 위하여 PROC GLM (SAS Institute, version 9.2)을 이용하여 분석하였다. 분석은 각 반복을 종합하여 분석하였으며, 처리간의 차이는 Duncan의 다중비교를 이용하여 분석하였다. 반수치사시간(median lethal time: LT50)은 probit법(SAS Institute, version 9.2)을 이용하여 산출되었다.

Ⅲ. 결 과

1. 처리제의 살충효과

BT 단독 또는 BT+고삼추출물 혼합제를 파밤나방이 접종된 실내 포트에 살포한 결과, BT를 농도별($10^5 \sim 10^7$ cfu mL⁻¹) 단독처리 할 경우 처리 6일 후 살충율은 27.5±2.5%, 51.3±6.3%, 92.5±2.5%이었으며, BT+고삼추출물 혼합제($10^5 \sim 10^7$ cfu mL⁻¹+0.033%)를 처리했을 경우 살충율은 98.8±1.3%, 88.8±7.3%, 91.3±3.6%로 BT 단독처리보다 혼합제의 살충효과가 우수하게 나타났다(F=88.85, df=6, 16, P<0.0001)(Fig. 1). BT 단독처리에서는 BT의 농도가 높을수록 살충효과가 우수한 반면 BT+고삼추출물 혼합제의 경우 혼합된 BT의 농도가 낮을수록 살충율이 높게 나타났다. 이러한 결과는 leaf disc 실험결과와 유사하였는데 BT+고삼추출물 혼합제(최종농도 0.016% matrine+BT $5 \times 10^4 \sim 10^6$ cfu mL⁻¹)를 배추의 leaf disc에 처리하였을 때의 살충율은 93.3%~86.7%로 BT 농도가 낮을수록 살충효과가 우수하였다(Han et al., 2015).

2. 처리제의 체중변화효과

BT 처리에 의한 파밤나방 유충의 체중변화를 측정한 결과 BT+고삼추출물 혼합제 처리 유충의 체중은 43.2 mg, 23.9 mg, 14.7 mg으로 혼합제에 포함된 BT의 농도가 높을수록 유충의 체중이 낮은 것으로 조사되었다(F=18.41, df=6, 91, P<0.0001)(Fig. 2). 이러한 경향은 BT+고삼추출물 혼합제 처리구뿐 아니라 BT 단독처리에서도 유사하게 나타났는데 BT 농도별 단독처리구의 처리 6일 후 파밤나방 유충의 체중은 35.8 mg, 26.0 mg, 9.3 mg이었다. 결과적으로 파밤나방 유충의 체중변화는 BT 처리에 의한 것임을 확인할 수 있었다.

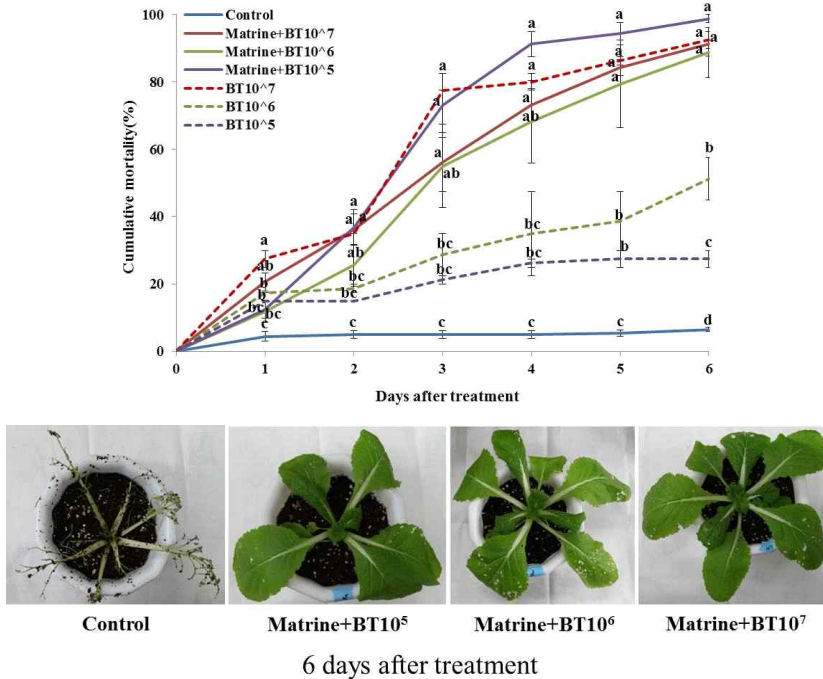


Fig. 1. Insecticidal effects (A) of a mixture of BT and sophora extract (matrine) against 3rd instar larvae of *Spodoptera exigua* and leaf damage (B) 6 days after treatment at potted Chinese cabbage in laboratory.

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

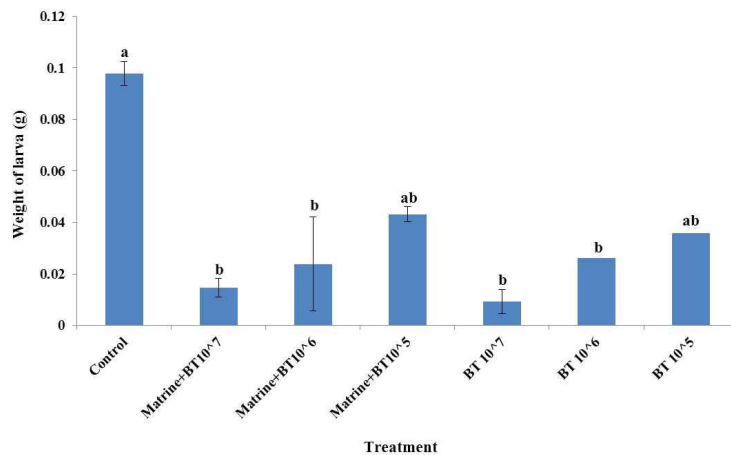


Fig. 2. Antifeedant effect of a mixture of BT and matrine against 3rd instar larvae of *Spodoptera exigua* 6 days after treatment at potted Chinese cabbage in laboratory.

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 ($P>0.05$).

3. 처리제의 방제효과

BT+고삼추출물 혼합제 또는 BT 단독처리의 포장에서의 파밤나방 방제효과는 BT를 농도별($10^5 \sim 10^7$ cfu mL^{-1})로 단독처리할 경우 처리 8일 후 살충율은 $14.4 \pm 4.4\%$, $26.7 \pm 3.3\%$, $66.7 \pm 10.2\%$ 이었으며 BT+고삼추출물 혼합제($10^5 \sim 10^7$ cfu mL^{-1} +0.033%)를 처리했을 경우 살충율은 $72.2 \pm 19.7\%$, $67.8 \pm 18.9\%$, $61.1 \pm 14.2\%$ 로 BT 단독처리보다 혼합제의 살충효과가 우수하게 나타났으며($F=5.20$, $df= 6, 14$, $P<0.0052$)(Fig. 3.) 실내실험과 마찬가지로 혼합제에 포함된 BT 농도가 낮을수록 방제효과가 우수하였다.

포장에서의 파밤나방 유충의 체중 역시 실내 포트실험과 유사한 경향을 보였다. BT+고삼추출물 혼합제를 처리하였을 때 유충의 체중은 105.6 ± 11.9 mg, 57.0 ± 7.9 mg, 30.9 ± 4.9 mg 이었고 BT 농도별 단독처리구의 경우 101 ± 7.5 mg, 65.6 ± 6.9 mg, 25.6 ± 3.6 mg이었다.

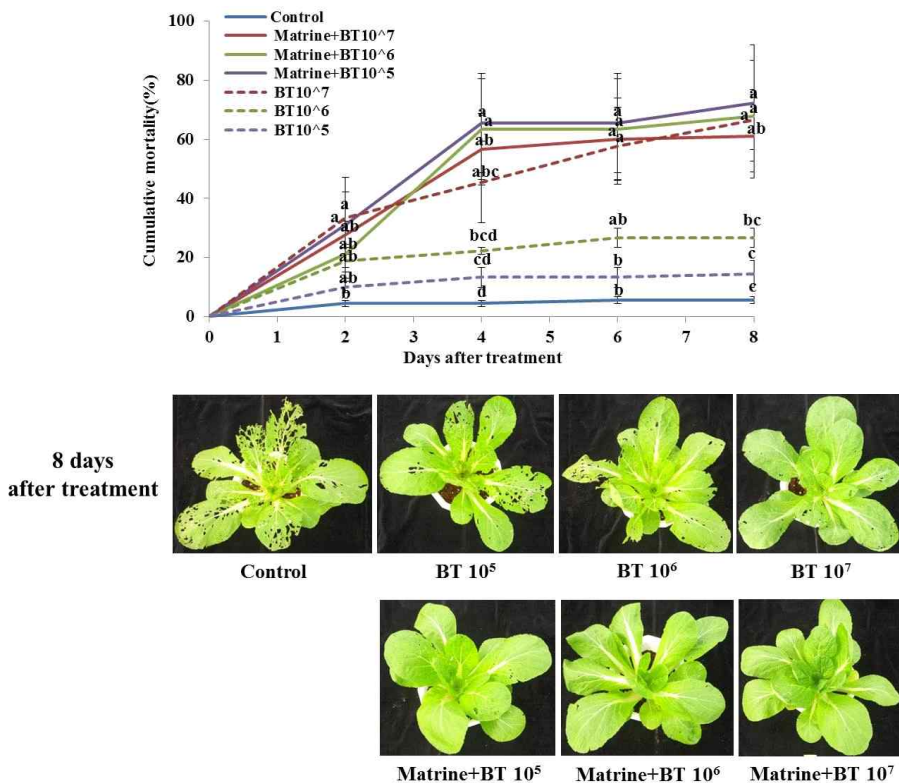


Fig. 3. Insecticidal effects (A) of a mixture of BT and sophora extract (matrine) against 3rd instar larvae of *Spodoptera exigua* and leaf damage (B) 6 days after treatment at potted Chinese cabbage in plastic greenhouse.

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

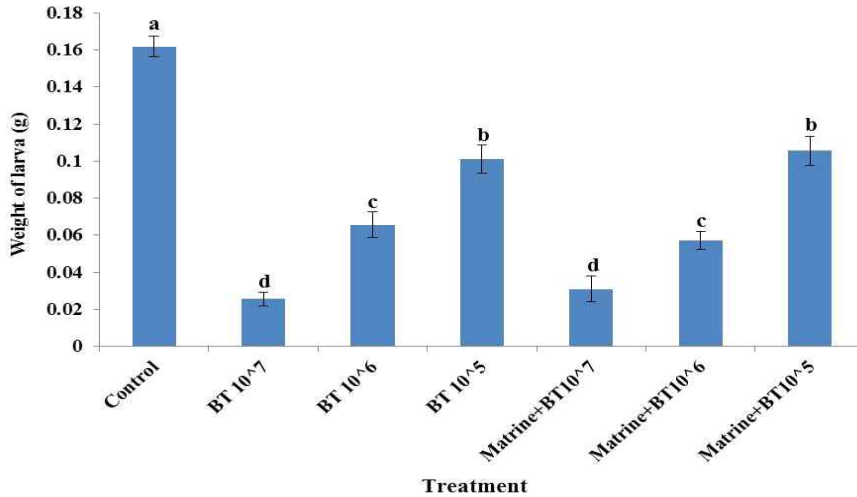


Fig. 4. Antifeedant effect of mixture of BT and matrine against 3rd instar larvae of *Spodoptera exigua* 8 days after treatment at field.

Weight of alive larvae were measured at 8 days after treatment. Means above the column followed by the same letter are not significantly different using Duncan's multiple range test ($P>0.05$).

IV. 고 찰

우리나라에서 1년에 4~5세대 번식하는 과밤나방의 한 세대는 약 26~32일 정도이며 성충 1마리가 약 300~600개의 알을 낳으며 약 10~12일의 유충기간 동안 작물을 갉아먹어 경제적 손실을 일으킨다. 과밤나방의 기주식물은 세계적으로 40과 200여종이 알려져 있으며 우리나라에도 약 52종의 기주식물이 보고되었다(Kim et al., 2009). 중국에서의 조사 결과에 따르면 1993년부터 2003년까지 10년간 8000 hm² 이상의 면적이 과밤나방에 의해 피해를 입었으며 이로 인해 연평균 30%의 양파생산량이 감소된 것으로 조사되었다(Wang et al., 2014). 배추의 경우 정식 초기의 과밤나방에 의한 피해가 배추의 수량에 큰 영향을 미치는데 정식 5일째에 배추 주당 4마리의 과밤나방만 접종되어도 8일 후 피해엽율이 63.2%에 달하는 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2009). 이렇듯 다양한 작물에 피해를 입히는 과밤나방은 유기합성 살충제에도 저항성을 가져 방제가 힘들다. 또한 친환경 방제를 위해 이용할 수 있는 국내 등록된 미생물농약인 BT의 경우 과밤나방 노령 유충에는 방제효과가 떨어져 다양한 생육단계의 유충, 번데기 성충이 동시에 혼재하고 있는 농가에서 과밤나방을 방제하기가 더욱 힘든 실정이다.

과밤나방을 효과적으로 방제하기 위한 친환경적 방제 수단으로 BT와 선충을 혼용(살충율: 33.3%~100%)하거나 핵다각체바이러스(SeNPV, 살충율: 70% 이상)를 이용하였을 때

BT (살충율 : 10% 이하) 단독처리보다 방제 효과가 우수한 것을 확인할 수 있었다(Park et al., 2015). 또한 BT의 살충활성을 강화시켜주고 기주범위를 증가시킬 수 있는 방법으로 protease inhibitor인 tannic acid (40 mM)를 혼용(살충율 : 83.9%, 89.4%, 66.8%)하였을 때 파밤나방에 대한 방제효과가 BT 단독처리(살충율 : 61.8%, 80.4%, 47.3%)보다 증대되는 것으로 조사되었다(Jin et al., 2009). 농가 포장에서 온도, 자외선 등 처리환경에 영향을 많이 받는 BT와 같은 미생물의 안정적 작용과 살충활성 증대를 위해서 기작이 다른 첨가제를 혼용하는 방법이 고려될 수 있다. 본 연구 결과에서도 배추를 이용한 실내 포트 검정뿐 아니라 포장 검정에서 식물추출물인 고삼을 BT와 혼용함(살충율 : $72.2 \pm 19.7\%$, $67.8 \pm 18.9\%$, $61.1 \pm 14.2\%$)으로 BT를 단독처리했을 때(살충율 : $14.4 \pm 4.4\%$, $26.7 \pm 3.3\%$, $66.7 \pm 10.2\%$)보다 파밤나방을 효과적으로 방제할 수 있었다.

쌍떡잎식물 장미목 콩과의 여러해살이 풀인 고삼의 주된 활성 성분은 quinolizidine 유래 heterocyclic 화합물($C_{15}H_{24}N_2O$)인 alkaloid matrine으로 식물추출물이나 화학 살충제와 혼합하여 작물의 병이나 해충방제에 이용되고 있다(Zanardi et al., 2015). Yang의 결과에 따르면 matrine과 oxymatrine을 식물병원균에 처리하였을 때 곰팡이의 포자발아와 균사 생장이 억제되었으며 살균제인 다코닐과 혼용하여 처리하면 항곰팡이 효과가 더욱 증가되는 것으로 조사되었다(Yang et al., 2006). Matrine은 해충에 대해서도 높은 살충효과를 나타내었는데 진딧물 방제를 위해 0.1%의 matrine을 오이와 토마토에 처리하였을 때 98%의 방제효과와 96% 이상의 밀도감소 효과를 나타냈다(Marcic et al., 2012). Matrine은 또한 감귤응애(*Panonychus citri*)에 대해서도 높은 살비효과를 나타내어 90%의 밀도감소를 나타냈다(Zanardi et al., 2015). 이러한 Matrine의 살충활성 외에도 해충에 대한 식이저해효과(Mao and Henderson, 2007)를 강하게 나타내는 것으로 알려져 있으나, 본 연구의 결과에서는 파밤나방에서의 식이저해효과는 matrine에 의한 효과보다 BT에 의한 효과가 강하게 나타났다. BT 단독, BT+고삼추출물 혼합제 처리구의 포장에서의 살충율($72.2 \pm 19.7\%$, $67.8 \pm 18.9\%$, $61.1 \pm 14.2\%$)이 선행연구에서 파밤나방의 인공사료에 처리했을 때(살충율 : $93.3 \pm 3.7\%$, $97.3 \pm 1.8\%$, $86.7 \pm 5.0\%$)와 실내 포트 실험(살충율 : $98.8 \pm 1.3\%$, $88.8 \pm 7.3\%$, $91.3 \pm 3.6\%$)에서 보다 낮아서 작물의 피해가 심할 것으로 예상되었지만 BT에 의한 식이저해 효과 때문에 파밤나방의 섭식이 저해되어 작물의 피해가 심하지 않았다(Han et al., 2015). 결과적으로 포장에서 파밤나방의 효과적인 방제를 위해서는 BT 단독처리보다는 BT와 고삼 혼합처리하여 살충 효율을 높임과 동시에 BT에 의한 섭식저해 작용으로 살아남은 유충의 섭식을 줄임으로써 작물에 대한 피해를 줄일 수 있었다. 포장에서의 효과적인 해충방제를 위하여 미생물과 식물추출물을 혼용함으로써 환경에 영향을 많이 받는 미생물의 단점을 극복하고 안정적인 방제효과를 나타낼 수 있을 것으로 기대된다.

V. 적 요

본 연구는 난방제 해충인 파밤나방을 농가에서 효과적으로 방제하기 위해 *Bacillus thuringiensis*와 고삼추출물 혼합처리에 의한 살충효과를 실내 포트 및 포장 실험을 통해 조사하였다.

실내 포트 실험에서 BT를 농도별(1×10^5 , 1×10^6 , 1×10^7 cfu mL⁻¹)로 처리하였을 때 파밤나방의 살충율은 27.5%, 51.3%, 92.5%로 농도가 높아질수록 살충율이 증가하였다. BT (1×10^5 , 1×10^6 , 1×10^7 cfu mL⁻¹)와 0.033% 고삼추출물 혼합처리구의 살충율은 98.8%, 88.8%, 91.3%로 BT 단독처리보다 BT+고삼추출물 혼합처리구가 높은 살충율을 나타냈으며, 혼합된 BT의 농도가 낮을수록 살충율 증가가 높았다. 각 처리별 파밤나방의 식이저해 효과는 BT의 농도가 높아질수록 우수한 것을 확인하였다. 또한 포장 실험에서도 실내포트 실험과 유사하게 BT 단독처리구(14.4%, 26.7%, 66.7%)보다 고삼추출물 혼합처리구가 높은 살충율(72.2%, 67.8%, 61.1%)을 나타냈으며 식이저해효과 또한 실내실험과 유사한 결과를 나타냈다. 따라서 농가에서 파밤나방을 효과적으로 방제하기 위해서는 BT 단독처리보다 0.033% 고삼과 BT(1×10^5 cfu/ml)를 혼합하여 처리하는 것이 효과적일 것으로 사료된다.

[Submitted, September. 27, 2016 ; Revised, November. 13, 2016 ; Accepted, November. 14, 2016]

References

1. 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. Entomo. 46(1): 27-35.
2. Cho, M. S., S. Y. Choi, T. W. Kim, C. Park, D. A. Kim, Y. R. Kim, S. M. Oh, S. W. Kim, Y. N. Youn, and Y. M. Yu. 2009. Insecticidal activity of diamondback moth, *Plutella xylostella* against *Bacillus thuringiensis* and neem oil. Korean J. Pestic. Sci. 13(4): 315-324.
3. 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.
4. Han, J. H., S. S. Yoon, S. J. Son, J. J. Kim, and S. Y. Lee. 2015. Combination effects of organic materials and *Bacillus thuringiensis* on *Spodoptera exigua*. Korean J. Pestic. Sci.

- 19(4): 411-417.
5. Jin, N. Y., S. Y. Jung, C. Park, S. K. Paek, M. J. Seo, Y. N. Youn, and Y. M. Yu. 2009. The synergy effects of mixed treatment with tannic acid and *Bacillus thuringiensis* subsp. *kustaki* KB100 against *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). Korean J. Appl. Entomo. 48(4): 519-526.
 6. 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.
 7. Kim, H. 2015. A System improvement for the Environment-Friendly Agricultural Policy according to the abolition of Low-Pesticide Certification-Focused on the case of fruits. Korean J. of Organic Agric. 23(4): 735-748.
 8. 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.
 9. Kim, M. J., C. K. Shim, Y. K. Kim, H. J. Jee, J. C. Yun, S. J. Hong, J. H. Park, and E. J. Han. 2013. Insecticidal effect of organic materials of BT, neem and matrine alone and its mixture against major insect pests of organic chinese cabbage. Korean J. Pestic. Sci. 17(3): 213-219.
 10. Kim, S. G., D. I. Kim, S. J. Ko, B. R. Kang, H. J. Kim, and K. J. Choi. 2009. Determination of economic injury levels and control thresholds for *Spodoptera exigua* on Chinese cabbage. Korean J. Appl. Entomo. 48(1): 81-86.
 11. Lawerence L. 2010. Insect Control : biological and synthetic agents 247.
 12. Lim, K. H., S. G. Kim, K. J. Choi, D. I. Kim, S. G. Kim, and Y. H. Lee. 2007. Survey of disease and weed control in organic and free-pesticide cultivation of Chunnam Area 'Ssam' Vegetable. Korean J. of Organic Agric. 15(1): 109-121.
 13. 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. Entomo. 100(3): 866-870.
 14. Marcic, D. M. Prijovic, T. Drobnjakovic, I. Medo, P. Peric and S. Milenkovic. 2012. Greenhouse and field evaluation of two biopesticides against *Tetranychus urticae* and *Panonychus ulmi*. Pestic. Phytomed. (Belgrade) 27(4): 313-320.
 15. Olson S. 2015 An analysis of the biopesticide market now and where it is going. Outlooks on Pest Management. 203-206.

16. Park, J. H., S. J. Hong, E. J. Han, C. K. Shim, M. J. Kim, and Y. K. Kim. 2015. Control efficacy of entomopathogenic microagent against *Spodoptera exigua* on organic Chinese cabbage. Korean J. of Organic Agric. 23(4): 797-811.
17. 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.
18. Wang, X. Y., L. H. Zhou, T. Zhong, and G. O. Xu. 2014. Genetic variation, phylogeographic structure of *Spodoptera exigua* in the welsh onion-producing areas of North China. J. Appl. Entomol. 138: 612-622.
19. Yang, X. Y. and B. G. Zhao. 2006. Antifungal activities of matrine and oxymatrine and their synergetic effects with chlorthalonil. J. For. Res. 17(4): 323-325.
20. 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.