

비티제를 이용한 포도 ‘캠벨얼리’ 유기과수원 포도들명나방 방제효과*

송명규**** · 박재성** · 이석호** · 이재웅** · 김승덕** · 최원호** · 김길하*** · 박종호****

Control Efficacy of *Bacillus thuringiensis* against *Herpetogramma luctuosalis* on ‘Campbell Early’ Organic Vineyard

Song, Myung-Kyu · Park, Jae-Seong · Lee, Seok-Ho · Lee, Jae-Wung ·
Kim, Seung-Duck · Choi, Won-Ho · Kim, Kyl-Ha · Park, Jong-Ho

The experiment of grape leafroller (*Herpetogramma luctuosalis*) was carried out at Okcheon area from 2007 to 2009 and 2015. The grape leafroller had been occurred at a campbell early’ organic vineyard in Okcheon. It’s larva was rolling the leaf of grape and ate the leaf. So the leaf of grape decreased. In organic vineyards, adult grape leafroller’ generation rate per year showed the first peak in mid-June, the second peak in early -August and the third in mid-September. The larva showed the first peak in early July and the second peak in late August-early September. The grape leaf roller had three generations per year. And it took 60.9 ± 1.09 days from egg to adult in growth chamber (VS-91G09M-1300) which the relative humidity conditions was $60 \pm 10\%$, temperature $25 \pm 2^\circ\text{C}$ and photoperiod 16L:8D (The egg : 12 ± 0 days, larvae : 22.2 ± 0.22 days, pupa : 10.6 ± 0.75 days and adult : 16.1 ± 0.45 days). It was conducted to find out the effect of microbial pesticide treatments to control *H. luctuosalis*. The 4 microbial pesticides (*Bacillus thuringiensis*) were treated twice on the grape leaves in June 11 and 21 at an organic vineyard in Okcheon. On 10 days after last treatment, the control value of all microbial pesticides were more than 95%. When the dates of spraying to the grape leaves were on May 22, June 12 and July 2 each, the effects of microbial pesticide were 73.9%, 93.5% and 43.6% respectively. As a result, it was effective that Bt was

* 본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업 유기과수 품질 향상 및 문제 병해충 관리 기술 개발(과제번호 : PJ010829)의 지원에 의해 이루어진 것임.

** 충청북도농업기술원 포도연구소

*** 충북대학교 농업생명과학대학

**** 국립농업과학원 유기농업과

***** Corresponding author, 충청북도농업기술원 포도연구소(sinbaat@korea.kr)

sprayed to grape leaves on mid and late June for controlling the *H. luctuosalis* in organic vineyard. And microbial pesticide Bt was thought to be useful to control the grape leafroller in organic vineyard.

Key words : *Bt*, control effect, grape leafroller, organic, vineyard

I. 서 론

잎말이나방과(Tortricidae Family)는 전 세계적으로 원예작물에 경제적 피해를 입히는 해충으로, 애벌레가 잎 끝을 말아 그 속에서 천적을 피하고 잎을 갉아먹는다(Meijerman and Ulenberg, 2000). 애벌레 개체가 많아지면 과실에 구멍을 내 과실을 썩게 하는 피해를 입히므로(CABI, 2009), 농림축산검역본부에서는 관리해충으로 지정하여 Tortricidae Family의 유입을 통제하고 있다(Animal and Plant Quarantine Agency, 2016).

국의 포도원에서 피해를 주는 잎말이나방은 Tortricidae Family이나, 국내에서 발생하는 잎말이나방은 포도들명나방(*Herpetogramma luctuosalis* Guenée, 1854)으로, 포충나방과(Crambidae Family)에 속하며, 한국, 일본, 중국, 러시아, 네팔, 인도, 대만, 보르네오에서 발생이 보고되었다(Species, 2000, 2013). 포도들명나방(*H. luctuosalis*) 성충은 몸길이가 12~13 mm, 날개편 길이가 31 mm 정도이고, 체색은 짙은 황색이며, 앞날개에는 그물모양의 선무늬가 규칙적이다. 유충이 다 자라면 길이가 30 mm에 이르고 머리는 흑갈색이며, 몸은 담녹색으로 행동이 매우 민첩하다. 다 자란 유충은 번데기가 되기 직전 몸 색깔이 붉은색으로 변한다. 번데기는 길이가 12 mm 정도이고 갈색이다(Kim et al., 2007).

비티(*Bacillus thuringiensis*) 균주는 곤충병원성세균으로 전 세계적으로 중요한 생물농약으로 개발되어 사용하고 있다. 비티는 그람 양성균의 포자를 형성하는 세균으로 살충성 결정체인 내독소단백질을 생성하여 나비목과 파리목 및 딱정벌레목의 곤충에 대해 병원성을 나타낸다(Aronson et al., 1986, Schnepf et al., 1998; Pigott and Ellar, 2007). 비티의 살충기작은 크게 세 가지 단계로 나누어지는데, 첫 번째 단계는 곤충에게 섭취된 내독소단백질이 장내의 알칼리성 pH에 의해 용해되는 과정이며, 두 번째 단계는 용해된 불활성형의 내독소단백질이 트립신과 같은 장내 소화효소에 의해 활성화되는 과정이다. 마지막 세 번째 단계에서는 내독소단백질이 중장 내의 위식막을 통과하여 수용체(캐드헤린, alkaline phosphatase, minopeptidase N, ABCC 수용체)와 특이적 결합을 통해 중장의 미세융모막에 구멍을 형성하여 중장세포의 병변을 유발시킨다(Broderick et al., 2006; Park et al., 2014). 중장세포의 파괴는 pH와 이온농도와 같은 항상성 파괴와 더불어, 내장에 존재하는 다양한 장내 미생물들과 비티들이 혈강으로 침입하여 패혈증으로 대상곤충을 치사시킨다(Schnepf et al., 1998; Broderick et al., 2006). 특히, 활성화된 내독소단백질과 캐드헤린의 결합은 단위체의 내독소

단백질을 중합체의 내독소단백질로의 구조적 변화를 거쳐 증장 내 구멍 형성(pore formation)을 보다 용이하게 한다(Bravo et al., 2004; 2011). 또 다른 독성작용으로는 독소단백질이 캐드헤린에 결합하면 세포내 신호전달과정을 통해 증장세포의 세포사멸을 유발시켜 살충기작을 발휘할 수 있다(Zhang et al., 2005). 이런 기주 특이성으로 인해 나비목을 제외한 유용 곤충, 조류, 인간 등에게 피해가 없이 사용이 가능하다. 비티제를 뿌린 잎을 잎말이나방이 먹은 후 몇 시간 이내에 먹는 것을 멈춘 후 며칠 내로 죽게 된다. 미국 캘리포니아에서 피해를 주는 Tortricidae Family의 잎말이나방 유충은 길이가 1/2 inch 이하일 때 비티제를 1회 이상 살포해야 효과적으로 방제가 된다. 가정이나 유기재배를 하는 장식나무, 포도, 일부 과일과 너트나무 등에 비티제가 사용되고 있다(W. J. Bentley, 2010).

2015년 포도 재배면적은 15,397 ha로 매년 감소되는 경향인데 비해 포도 친환경 재배 인증농가(유기, 무농약)는 2007년 112농가(77.3 ha)에서 2015년 556농가(371 ha)로 증가하는 경향이다(KOSIS). 이렇게 친환경포도 재배가 증가함에 따라 관행재배를 하면서 문제가 되지 않았던 해충이 문제화가 되고 있어 기존과 다른 포도해충 관리 방법이 필요하게 되었다.

본 연구에서는 캠벨얼리를 재배하는 유기 포도 농가에서 포도들명나방 피해를 줄이기 위해 포도들명나방의 발생 패턴과 생물적 특성을 조사하고 생물농약인 비티를 이용한 포도들명나방 방제효과를 구멍코자 시험을 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 포도원에서 포도들명나방 연중 발생 모니터링

2007년부터 2009년까지 5월~10월 동안 충청북도 옥천군 군서면(36°16'N 127°30'E)의 간이 비가림 시설에 부직포로 토양 피복을 하는 5~6년생 ‘캠벨얼리’ 유기재배 포도원(3,457 m², 사양토, 자가 퇴비 시용)에 BL램프 포충 트랩을 4개를 설치하여 해 질 무렵부터 2시간 동안 가동하였고, 채집 곤충이 부패되는 것을 막기 위해 트랩망 안에 신문지를 구겨서 넣었다. 10일 간격으로 채집된 곤충을 실험실로 가져온 뒤 포도들명나방 성충만 따로 분류하여 조사하였다. 또한 포도원에서 3주의 포도나무에서 10가지씩을 지정하여 가지 당 10잎에 대해 포도잎을 말고 그 안에서 서식하는 유충을 눈으로 확인하여 피해엽율을 조사하였다. Fig. 1과 Fig. 2에서와 같이 재배기간 중 월 별 10일 간격으로 평균온도와 강수량을 기록하였다.

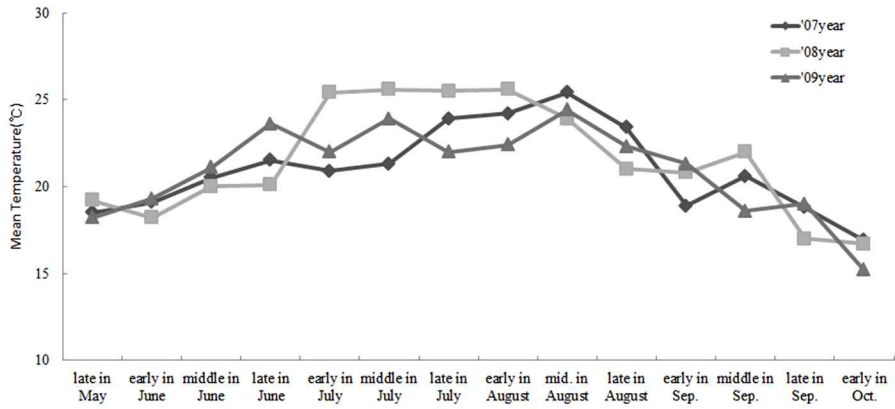


Fig. 1. The mean temperatures from 2007 to 2009 at Okcheon in Chungbuk province.

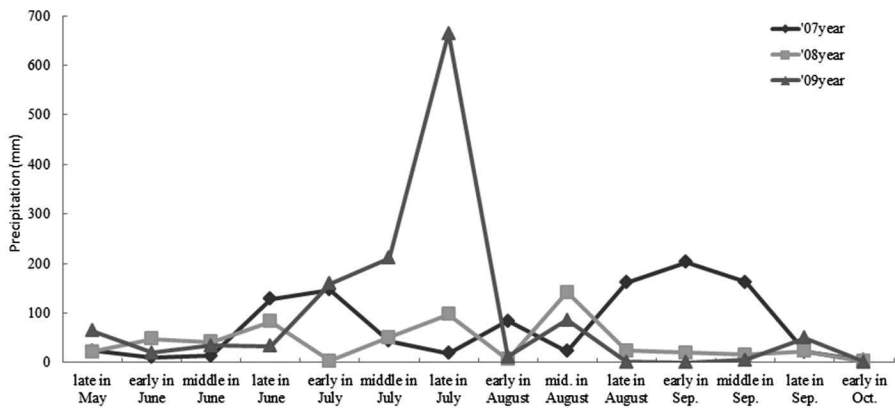


Fig. 2. The precipitations from 2007 to 2009 at Okcheon in Chungbuk province.

2. 포도들명나방 사육 및 영별 생육기간 조사

본 연구에 이용한 시험곤충인 포도들명나방은 포도재배 농가에서 성충을 채집하여 포도 연구소 곤충사육실에서 누대 사육하였다. 곤충사육은 25±2°C의 온도, 광주기 16L (Light) : 8D (Dark), 상대습도 60±10% 조건의 Growth chamber (VS-91G09M-1300)에서 이루어졌다. 포도 배양묘의 잎을 먹이로 공급하여 사육하였다. 암수 한 쌍씩을 Insect Breeding Dish (100 ×40 mm, ventilation hole size 40 mm)에 Filter paper를 깔고 포도잎을 같이 넣은 뒤 현미경으로 산란 여부를 관찰하였다. 부화 후 1령 유충은 1마리씩 먹이와 함께 Insect Breeding Dish에 나누어 넣고 Growth chamber에서 사육하면서 매일 관찰하였다.

3. 포도원에서 비티제의 살충력 검정

충청북도 옥천군 군서면(36°16'N 127°30'E) 간이비가림 시설의 유기재배 포도원에 Table 1과 같이 국내에 시판되는 비티제 4종을 '07년 6월 11일, 21일, 2회 경엽 살포한 후 7월 2일 반복당 100엽의 피해엽율을 조사하였다. 비티제를 이용한 방제적기를 설정하기 위해 2015년 5월~10월 충청북도 옥천군 청성면(36°19'N 127°45'E) 포도원에 '15년 5월 22일, 6월 12일, 7월 2일에 추천량을 살포한 후 반복당 100엽에 대한 피해엽율과, 피해엽 안의 살아있는 유충 수를 조사하였다.

Table 1. The list of Bio insecticide and treatment method

Treatment	Concentration	Dilute concentration	Method (Date of treatment)	Date of investigation
<i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. <i>aizawai</i> NT0423 WP	1.0×10 ⁹ cfu/g	5.0×10 ⁵ cfu/g	Spray to leaf	10 days after treatment
<i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. <i>aizawai</i> NT0423 SC	1.0×10 ⁸ cfu/g	2.0×10 ⁵ cfu/g	('07. 6. 21)	('07. 7. 2)
<i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. <i>aizawai</i> GB413 SC	1.0×10 ⁷ cfu/ml	2.5×10 ⁴ cfu/ml	('08. 6. 12)	('08. 6. 22)
<i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>kurstaki</i> WP	16 BIU/kg	16 BIU/ton		
No treatment	-	-		

4. 통계분석

포장에서 비티제의 살충효과에 대한 생물검정 결과는 일원분산분석으로 통계 분석하였다. 각 평균 간의 유의차는 Duncan의 다중검정(Duncan's Multiple Range Test)으로 비교하였고, 5%의 유의 수준으로 평가하였다. 모든 통계분석은 SAS 9.1 (SAS Institute, 2003)을 이용하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 유기포도원에서 포도들명나방의 발생생태

2007년부터 2009년까지 유기포도원에서 포도들명나방 성충 발생량은 Fig. 3과 같이 매년

비슷한 경향을 보였는데, 6월 중순 1차 피크, 8월 상순에 2차 피크, 9월 중순에 3차 피크를 보였다. 2009년 잎을 말고 그 안에서 섭식을 하는 유충을 조사한 결과, Fig. 4와 같이 7월 상순에서 1차 피크를 보였고, 8월 하순~9월 상순에 2차 피크를 보였다. 10월 상순에는 남아 있는 피해엽 안이 비어 있어, 유충들이 월동에 들어간 것으로 판단된다. 월동유충은 포도잎을 포개어 실로 단단히 붙인 뒤 낙엽으로 떨어져 토양에서 월동하는데, 본 조사에서도 유충이 포도원의 비닐이나 부직포를 맡아 놓은 안에서 월동하는 것이 관찰되었다.

Fig. 5와 같이 알, 유충, 번데기, 성충의 발생생태를 보였으며, 겨울철에 월동을 위해 지방을 축적한 형태의 월동유충이 되었다. 월동 유충은 5월에 활동을 시작하여 6월에 성충이 되고 알을 낳아 유충이 되어 7월 말에 성충이 되는데, 이 시기에는 성충이 포도원에서는 잘 발견이 되지 않았다. 8월부터는 2차 유충 피해가 발생하는데, 포도원 내부뿐 아니라 인근 산에서 날아온 성충들이 피해를 주는 것으로 보였다(Fig. 4). 9월 중순 포도원에 성충이 나타나 알을 낳았고 이 유충들은 10월 경 월동에 들어갔다. 따라서 유기포도원에서 포도들명나방은 연중 3세대가 발생되었고 7월 상순과 9월 상순에 가장 피해가 심했다. 미국 캘리포니아의 과실 및 조경수에 문제가 되는 *Archips argyrospila* (Fruittree leafroller)는 알로 월동하며, 1년에 1세대를 경과하는데 반해(W. J. Bentley, 2010), *Herpetogramma luctuosalis* (포도들명나방)은 3세대를 지내기 때문에 방제시기를 잘 정하는 것이 방제효율을 높일 수 있다.

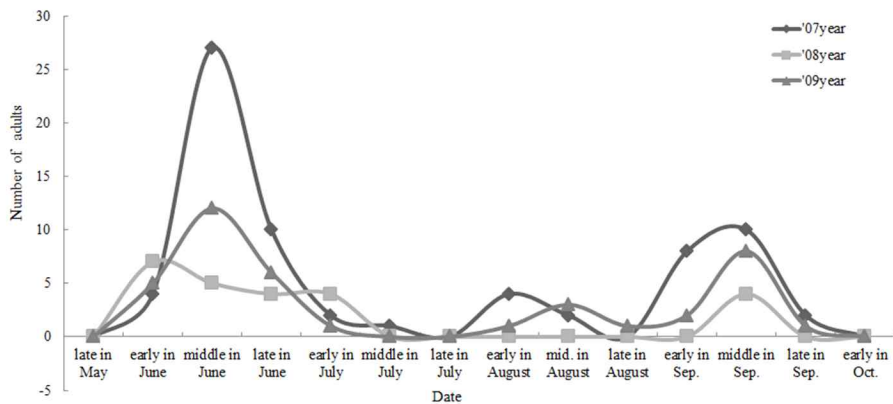


Fig. 3. The curve of arrested *Herpetogramma luctuosalis* (Adult) with light traps in the organic vineyard from 2007 to 2009 at Okcheon in Chungbuk province.

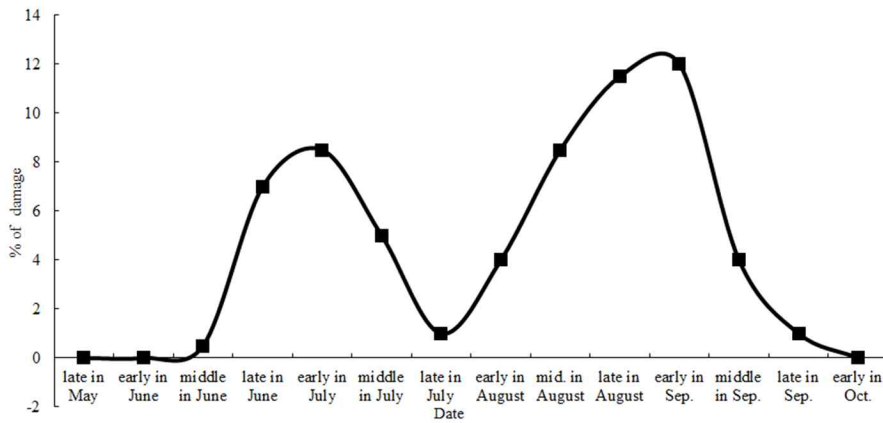


Fig. 4. The percents of damage with *Herpetogramma luctuosalis* (Larva) which was rolling and eating the leaf in the organic vineyard in 2009 at Okcheon in Chungbuk province.

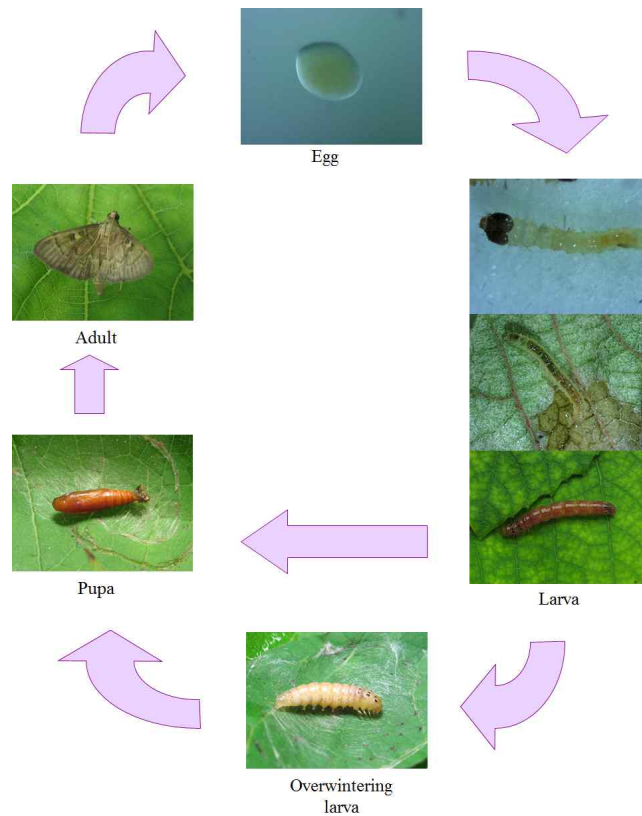


Fig. 5. Stages of *Herpetogramma luctuosalis* : Overwintering larva became pupa and adult in May, and after more 2 cycles, *H. luctuosalis* turned the overwintering larva in October.

2. 포도들명나방 영별 생육기간

25±2°C의 온도, 광주기 16L:8D, 상대습도 60±10%의 조건의 Growth chamber (VS-91G09M-1300)에서 포도들명나방 알부터 성충까지의 생육기간은 60.9±1.09일이 소요되었다. 알은 12±0일, 유충은 22.2±0.22일, 번데기는 10.6±0.75일, 성충은 16.1±0.45일로 조사되었다(Fig. 6). 1세대는 약 2개월이 소요되었고, 야외에서는 5월~10월간 3세대를 경과하는 것으로 판단되었다. 이러한 특성은 향후 지구 온난화 등 기후변화에 따라 세대수가 증가하여 결국 농작물에 피해를 줄 수 있다는 가능성을 내포하고 있다(Kang et al., 2016).

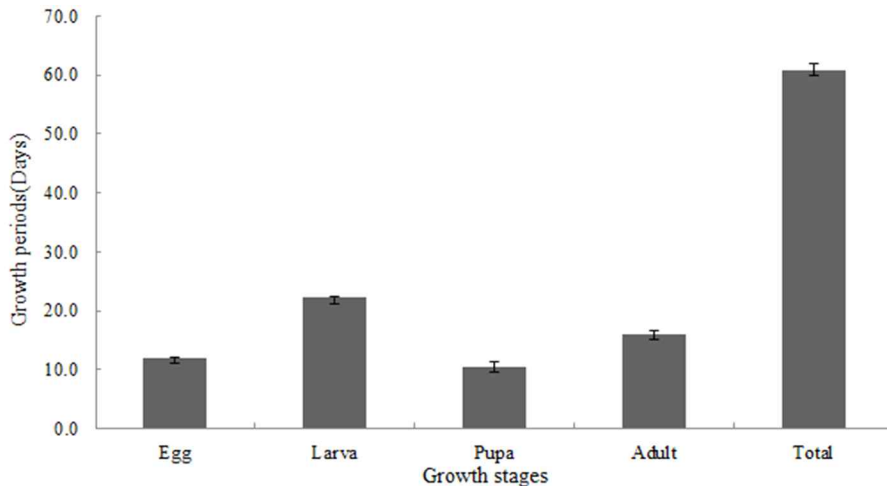


Fig. 6. Developmental periods of each stage of *Herpetogramma luctuosalis* at 25±2°C and 16:8 (L:D) hrs.

3. 포도들명나방 방제효과

포도들명나방 방제효과는 Table 2와 같이, 방제약제 4종에서 모두 방제가 95% 이상의 효과를 보였고, 이 때 무처리구의 피해엽율은 평균 15.0%로 약효 검정에 유효하였는데 Fig. 7과 같이 비티제에 의해 유충이 죽어 미라 형태로 관찰되기도 하였다. 2015년에 *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* NT0423 WP를 1,000배로 희석해서 살포시기를 달리 하여 5월 22일, 6월 12일에 약제를 살포하고 7월 2일에 조사한 결과, 73.9%, 93.5%의 방제가를 보였다. 또한 같은 약제를 유충이 있을 만 상태인 7월 2일에 살포하고 7월 12일에 조사한 결과, 43.6%의 방제가를 보였다. 비티제의 독소단백질은 곤충 체내에 들어가 살충효과를 나타내는데, 살포 후 자외선, 온도, pH 등 환경 조건에 따라 독소단백질이 변형, 손실, 분해되는 경우가 발생한다(Kil et al., 2007). 따라서 5월 하순에 살포한 비티제는 적기에 살포한 경우보다 살충력이

감소한 것으로 보여진다. 포도들명나방은 잎을 말고 그 안에 숨어 있는데 동력분무기로 살포하였을 경우 안으로 약제가 들어가지 않아 살충력이 매우 낮아진 것으로 판단되었다. 유기포도원에서 비티제를 이용해 포도들명나방을 방제하기 위해서는 포도잎을 말기 전인 6월 중·하순에 살포해야 효과적이었고, 나방류 방제를 위한 비티제의 활용은 유용할 것으로 생각되었다. 북미지역의 잎말이나방은 *Archips argyrospila* (Fruittree leafroller), *Choristoneura rosaceana* (Obliquebanded leafroller), *Platynota stultana* (Omnivorous leafroller), *Argyrotaenia franciscana* (Orange tortrix), *Pandemis pyrusana* (Apple pandemis), *Epiphyas postvittana* {Light brown apple moth (LBAM)}이 보고되었는데 과실 및 조경수에 잎을 말고 잎을 가해하고 어린 과실을 가해해 기형과를 만든다는 피해가 보고되었다(W. J. Bentley, 2010). 국내 포도원에서 발생하는 포도들명나방은 포도잎을 말고 그 안에서 포도잎을 갉아 먹어 포도의 광합성효율을 떨어뜨려 포도 수량과 품질 및 수세에 영향을 미칠 것으로 보이나 포도농가에서 포도품질을 위해 알숙기를 함으로써 수량을 조절하는 바람에 그 차이를 조사하지 못하였다. 따라서 추후 피해량 조사가 요구된다.

Table 2. Insecticidal effect of *Bacillus thuringiensis* against *Herpetogramma luctuosalis* in the organic vineyard in 2007 at Okcheon in Chungbuk province

Treatment	Dilute concentration	Ratio of leaf damage (%)	Control value (%)
<i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. <i>aizawai</i> NT0423 WP	5.0×10^5 cfu/g	0.3	97.8 a ^b
<i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. <i>aizawai</i> NT0423 SC	2.0×10^5 cfu/g	0.0	100.0 a
<i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. <i>aizawai</i> GB413 SC	2.5×10^4 cfu/ml	0.3	97.8 a
<i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>kurstaki</i> WP	16 BIU/ton	0.7	95.6 a
No treatment	-	15.0	-

^b 5% DMRT

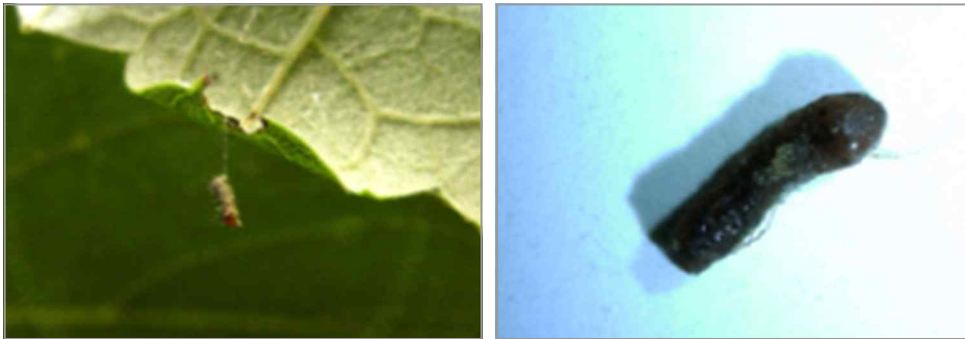


Fig. 7. Dead shape of *Herpetogramma luctuosalis* after *Bacillus thuringiensis* treated.

Table 3. Insecticidal effect of *Bacillus thuringiensis* subsp. *aizawai* NT0423 WP against *Herpetogramma luctuosalis* in the organic vineyard in several dates 2015 at Okcheon in Chungbuk province

Date of treatment	Date of investigation	Ratio of leaf damage (%)	Ratio of live insect (%)	Control value (%)
May 22	July 2	4.0	-	73.9b
June 12	July 2	1.0	-	93.5a ^b
No treatment	July 2	15.3	-	-
July 2	July 12	10.0	64	43.6c
No treatment	July 12	17.3	113	-

^b 5% DMRT

IV. 적 요

포도 캠벨얼리 유기포도원에서 포도들명나방(*Herpetogramma luctuosalis*)의 발생상태를 조사하여 효율적인 방제시기를 결정하고자 시험을 수행하였다. Fig. 3의 포도들명나방 성충 발생량과 Fig. 1, Fig. 2의 평균기온과 강수량을 비교하였을 때 간이비가림 시설이어서 발생량과 강수량과의 상관관계는 적어보이고, 온도와 발생량은 비슷한 경향을 보였다. Fig. 3과 같이 포도들명나방 성충은 6월 중순 1차 피크, 8월 상순에 2차 피크, 9월 중순에 3차 피크를 보였다. 성충이 나타난 후 20일 경에 포도잎을 마는 피해가 보이기 시작했다. 25°C에서 알 기간이 12일, 유충은 22일로 조사되었는데, 6월 포도원에서 성충이 알을 낳고 잎을 말기까지 20일 정도 소요될 것으로 판단되었다. 비티제는 유충이 섭식을 하고 며칠간의 잠복기간을 거쳐 비티독소의 장과열과 비티균의 증식으로 유충을 죽이므로, 포도들명나방 유충이 비티제를 섭식할 수 있도록 포도잎을 말기 전에 살포해야 효과를 볼 수 있었다. 7월 상순 잎을 만 상태에서 살충력은 43.6%로 매우 낮아졌고, 이른 시기에 살포하였을 경우에도 환경에 따른 분해 등이 발생해 효과가 감소되었다. 따라서 비티제를 이용해 유기포도원에서 효율적으로 포도들명나방을 방제하기 위해서는, 포도잎을 말기 전인 6월 중·하순에 살포해야 한다. 이에 유기포도원에서 나방류 피해를 예방하기 위해서는 비티제의 활용이 유용할 것으로 생각되었다.

References

1. Animal and Plant Quarantine Agency. 2016. Plant Quarantine/ The pest information/ Prohibited Pest, http://www.qia.go.kr/listqiaBing3_2433WebAction.do?type=3&firstname=A&pager.offset=130
2. Aronson, A. I., W. Beckman and P. Dunn. 1986. *Bacillus thuringiensis* and related insect pathogens. Microbil. Rev. 50: 1-24.
3. Bravo, A., I. Gomez, J. Conde, C. Munoz-Garay, J. Sanchez, R. Miranda, M. Zhuang, S. S. Gill, and M. Soberón. 2004. Oligomerization triggers binding of a *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab pre-forming toxin to amino-peptidase N receptor leading to an insertion into membrane microdomains. Biochim Biophys. 1667: 38-44.
4. Bravo, A., S. Likitvivatanavong, S. S. Gill, and M. Soberón. 2011. *Bacillus thuringiensis*: A story of a successful bioinsecticide. Insect Biochem. Mol. Biol. 41: 423-431.
5. Broderick, N. A., K. F. Raffa, and J. Handelsman, 2006. Midgut bacteria required for *Bacillus thuringiensis* insecticidal activity. Proc. Nat'l. Acad. Sci. USA 103: 15196-15199.
6. CABI, 2009. Crop protection compendium. CABI Compendium. <http://www.cabi.org/compendia> (Accessed 2009).
7. Kang, Chan Yeong, Ryu, Tae Hee, Kwon, Hye Ri, Yu, Yong Man, and Youn, Young Nam. 2016. The Ecological Characteristics of the Winter Cherry Bug *Acanthocoris sordidus* (Hemipter) and the Effects of Colony Formation on its Potential as an Insect Pest. Korean J. Appl. Entomol. 55(3): 235-243.
8. Kil, Mi-Ra, Kim, Da-A, Choi, Su-Yeon, Paek, Seung-Kyoung, Kim, Jin-Su, Jin, Da-Yong, Hwang, In-Chon and Yu, Yong-Man. 2007. Characterization of Biopesticides (*Bacillus thuringiensis*) Produced in Korea. The Korean Journal of Pesticide Science, 11(3): 201-209.
9. Kim, Kil Ha, Cha, Jae Sun, Lee, Ki Yeol, Lee, Seok Ho, Song, Myung Kyu, Kim, Young Ho, Lee, Jae Wung, Ahn, Ki Su and Park Jong Han. 2007. Grape Physiological Disorder & Disease and Insect. pp. 74-75.
10. KOSIS (KOREAN Statistical Information Service). Statistical Database/ Agriculture, forestry and fishery/ Agriculture/ Crop Production Survey/ Fruit Production. <http://kosis.kr/eng/statisticsList>.
11. Meijerman, L. and S. A. Ulenberg. 2000. Eurasian Tortricidae: *Eupoecilia ambiguella*. Arthropods of Economic Importance. <http://nlbif.eti.uva.nl/bis/projects.php> (Accessed 5 November 2009).
12. Park, Y., R. M. González-Martínez, G. Navarro-Cerrillo, M. Chakroun, Y. Kim, P. Ziarso,lo,

- J. Blanca, J. Cañizares, J. Ferré, and S. Herrero. 2014. ABCC transporters mediate insect resistance to multiple Bt toxins revealed by bulk segregant analysis. *BMC Biol.* 12: 46.
13. Pigott, C. R. and D. J. Ellar. 2007. Role of receptors in *Bacillus thuringiensis* crystal toxin activity. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 71(2): 255-281.
14. Schnepf, E., N. Crickmore, J. van Rie, D. Lereclus, J. Baum, J. Feitelson, D. R. Zeigler, and D. H. Dean. 1998. *Bacillus thuringiensis* and its pesticidal crystal proteins. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 62: 775-806.
15. Species 2000 & ITIS Catalogue of Life: April 2013.
16. W. J. Bentley, 2010. Leafrollers on Ornamental and Fruit trees. Pest Notes publication 7473.
17. Zhang, X., M. Candas, N. B. Griko, L. Rose-Young, and L. A. Jr. Bulla, 2005. Cytotoxicity of *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab toxin depends on specific binding of the toxin to the cadherin receptor BT-R1 expressed in insect cells. *Cell Death Differ.* 12: 1407-1416.