

잎브로콜리에서 배추좀나방 요방제 수준 설정

최선우 · 임주락 · 김주희 · 이공준 · 문영훈 · 정성수 · 이기권*

전라북도농업기술원

Economic Threshold for the Diamondback Moth (*Plutella xylostella* L., Lepidoptera: Plutellidae) on Leaf Broccoli (*Brassica oleracea* var. *botrytis italiana*)

Seon Wu Choi, Ju Rak Lim, Ju-Hee Kim, Gong-Jun Lee, Young-Hun Moon, Seong-Soo Cheong and Gi-Kwon Lee*

Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services, Iksan 570-704, Korea

ABSTRACT: This study was conducted to estimate the economic injury level (EIL) to leaf broccoli (leaf vegetable) by the diamondback moth (*Plutella xylostella* L.) in 2007 and obtain basic data for pest management. To investigate the relationship between initial density of diamondback moth larvae and broccoli leaf yield, experimental plots with five treatments (0, 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 larvae per plant) as initial density were established. We inoculated larvae on cheesecloth covering to survey changes in larval density. When grown for consumption, leaves of broccoli are harvested in periods. High levels of larvae were associated with significant reductions in leaf yield. There were 0%, 15%, 35%, 42%, 44% yield reductions due to a density of 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 diamond back moth larvae per plant, respectively, 25 days after larva inoculation. The regression equation used to predict leaf yield based on the number of initial larvae per plant was $y = 1636 - 394x$ ($R^2 = 0.79^{***}$). EIL of the diamondback moth on leaf broccoli was 2~3 larvae per 10 plants for a damage level of 5%. The economic threshold was 1~2 larvae per 10 plants. Thus, diamondback moth management should be initiated when 1~2 larvae appear on 10 plants.

Key words: Leaf broccoli, Economic injury threshold, Diamondback moth

초 록: 잎브로콜리에 심각한 피해를 주는 배추좀나방의 적절한 방제시기 설정을 위한 기초자료로 이용하기 위하여 유충접종밀도와 잎브로콜리 피해량의 관계를 분석하여 경제적피해허용수준과 요방제 수준을 설정한 결과는 다음과 같다. 배추좀나방 3~4령 유충을 주당 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 마리를 5월 24일에 접종하고, 6월 1일, 6월 9일, 6월 18일에 발생밀도와 엽수량을 조사한 결과, 초기 접종밀도가 증가할수록 배추좀나방의 발생 밀도는 증가하였고 시간이 경과할수록 엽수량은 감소하였다. 이를 토대로 배추좀나방의 접종밀도와 수량감소율을 회귀식을 이용하여 분석한 결과 $y=1636-394x$ ($R^2=0.79^{***}$)로 추정되었다. 잎브로콜리에서 5% 피해를을 경제적 피해한도로 볼 때 배추좀나방의 경제적피해허용수준은 10 주당 2~3마리이고, 요방제 수준은 10주당 1-2마리 수준으로 추정된다.

검색어: 잎브로콜리, 경제적피해허용수준, 배추좀나방

배추좀나방(*Plutella xylostella* L.)은 배추, 무, 케일 등의 채소뿐만 아니라 화훼인 스토크를 포함한 십자화과 식물만 폭식하여 경제적으로 큰 손실을 일으키는 중요한 해충으로 세계적으로 널리 분포하는 것으로 알려져 있다(Chung et al., 1989).

국내에서는 1980년대에 국부적으로 발생하였으나 현재는 전국적으로 채소 재배지에서 상습적으로 발생하여 심각한 피해를 주는 해충이다. 이 해충은 국내에서 모든 태로 월동이 가능한 것으로 알려져 있다(Kim and Lee 1991; Park et al., 1993). 전라북도에서도 낮은 밀도이지만 1~2월에 무가온하우스에서 발견되고 있다. 제주도에서 2월에도 발생하며, 국내에서 연중 10세대 이상 발생한다고 보고되었다(Kim and Lee, 1991; Park

*Corresponding author: lkikwon01@korea.kr

Received July 17 2013; Revised July 14 2014

Accepted January 25 2015

et al., 1993). 이 해충은 연 10세대 이상 발생하는 해충으로 발육기간이 짧아 밀도증식이 빠르기 때문에 약제방제횟수가 많아짐에 따라 약제 저항성이 빨리 발달하여 방제가 어려운 해충으로 알려져 있고, 이에 대한 방제수단으로 주로 화학적 방제법에 의존하여 세계적으로 연간 40~50억불 이상의 경제적 비용이 발생한다(Furlong et al., 2013). 배추좀나방에 대한 광범위하게 사용되어온 살충제들은 각국에서 저항성을 발생시켰으며 (Shelton et al., 2000), Pyrethroids 등을 포함한 다양한 계통 36종 이상 살충제에 대한 저항성의 발달이 보고되었다. 그 후 Spinosad, Indoxacab 등 새로이 개발된 살충제에도 갖은 약제 저항성이 발달되었다(Zhao et al., 2006). 국내에서도 약제가 남용되고 있으며, 강원도 배추경작지에서 발생하는 배추좀나방이 일부 유기인계 및 카바메이트계 살충제에 대하여 저항성이 나타나고 있어(Cho et al., 2001) 이로 인해 경영비 과다 및 농약 잔류 문제가 대두되고 있다. 친환경적인 방제제로 알려진 *Bacillus thuringiensis*(Bt제)에 대한 약제저항성도 해충 중 처음으로 보고되었다(Tabashnik et al., 1990; Tabashnik, 1994). Bt제에 저항성이 발현될 경우, 여러 세대 동안 Bt제를 사용하지 않아야 저항성으로부터 회복된다(Bruce et al., 1994). 이는 배추좀나방 방제를 위하여 보다 체계적인 방제 기법 확립이 요구됨을 말한다.

우리나라는 예로부터 채소를 즐겨 먹어온 민족으로서 엽채류 등에 대한 선호도가 높다. 쌈채류의 일부는 십자화과 식물이 포함되어 있으며, 이들의 재배포장에서 배추흰나비, 배추좀나방 등의 해충 발생이 심하여 갖은 약제방제가 요구된다. 이에 십자화과 엽채류인 잎브로콜리(*Brassica oleracea* var. *botrytis italiana*)에 피해를 주는 배추좀나방에 대한 요방제수준을 설정하여 쌈채용 십자화과 작물인 적채, 케일 등에도 적용할 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 본 실험은 쌈채류로 많이 재배되고 있는 잎브로콜리에 피해가 심한 배추좀나방의 종합관리기술 개발을 위해 배추좀나방 유충 접종밀도와 잎브로콜리 피해량과의 관계를 분석하여 요방제 수준을 설정하고자 수행하였다.

재료 및 방법

시험포장 및 시험재료

시험포장은 전라북도농업기술원(전북 익산) 원내에 위치한 비가림하우스에서 2007년에 수행하였다. 시험을 위하여 잎브로콜리 품종으로 “토스카나, 아시아 종묘”를 선택하였다. 4월 28일에 반복구당 폭 150 cm 두둑에 20 m × 15 cm 간격으로 4~5엽기 묘묘를 77주 정식하였다. 관수는 점적호스를 비닐피복

전에 열 사이마다 설치하여 충분하고 고르게 수분이 유지되어 식물체간 수량오차를 줄이고자 하였고, 5~7일 간격으로 관수하였다. 재배기간 중 수량에 영향을 미치는 병과 해충은 발생하지 않았으며, 진딧물 발생을 억제하고자 진딧물 발생 초기에 진딧목파리를 1회 방사하였다. 집중한 배추좀나방은 2006년 가을 원내 포장에서 수집하였다. 겨울 동안 사육실(25°C, L:D = 16:8)에서 유채를 먹이로 누대사육한 후 집중 2세대 전부터 잎브로콜리를 먹이로 제공하였다.

배추좀나방 접종

배추좀나방 성충의 유입을 막고 집중한 배추좀나방의 밀도 변화를 조사하기 위하여 정식 전에 망사케이지(2 × 1.5 × 2 m, 120 mesh)를 설치하였다. 정식 후 24일째인 5월 18일에 첫수확을 하였고, 5월 24일에 2차 수확한 후에 곧바로 접종하였다. 배추좀나방 유충 3~4령을 주당 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 마리 기준으로 잎브로콜리 잎에 가는 붓을 이용하여 올려 놓았다. 1주당 5~10 마리씩을 기준으로 하여 주당 밀도를 산정하여 접종하였다. 반복구에 정식된 77주에 대하여, 0.5마리/1주처리구는 총 38마리, 1.0마리/1주처리구는 총 77마리, 1.5마리/1주처리구는 총 116마리, 2.0마리/1주처리구는 총 154마리를 접종하였다. 시험구는 완전임의배치법에 따라 3반복으로 처리하여 분석하였다.

접종수준에 따른 배추좀나방 밀도 변화 및 잎브로콜리 엽수량 조사

접종 후 7~9일 간격으로 잎브로콜리를 수확하였다. 접종밀도에 따른 나방유충의 피해정도를 조사하였다. 배추좀나방의 밀도는 수확시에 수확하는 잎과 남아있는 잎을 분리하여 유충과 번데기, 우화 흔적을 조사하여 더하였다. 수확하는 잎에 대해서는 유충 피해가 있는 잎은 상품성이 없는 잎으로 판단하여 유충 가해흔의 유무에 따른 건전엽과 피해엽으로 나누어 수량 조사를 실시하였다. 수확하는 잎은 유충의 피해가 작은 구멍이 하나만 있어도 상품성이 없는 잎으로 판단하여 제외하였다. 잎의 크기가 10 cm 이상이 되면 수확하였다. 처리구간 접종 밀도에 따른 건전주 수의 변화도 조사하였다.

요방제수준 및 경제적피해허용수준 설정

배추좀나방 유충의 접종밀도가 잎브로콜리 엽 수확량에 미치는 영향을 회귀식을 이용하여 분석하여 경제적피해허용수준은 수량감소율 5%로 요방제수준은 경제적피해허용수준의 80%

로 설정하였다(Kiritani, 1980; Pedigo et al., 1986). 초기 접종 수준에 따른 엽 수량 감소율에 따른 소득을 산출하였다. 배추좀나방 유충의 접종밀도에 따른 잎브로콜리 엽 수량에 대하여 Tukey's HSD test로 평균간 유의차를 분석하였고, 접종밀도와 수량감소율과의 관계는 일반선형회귀분석을 실시하여 구하였다(R program, 2014).

결과 및 고찰

배추좀나방 유충을 5월 24일 접종한 이후 접종초기 밀도에 따른 시기별 배추좀나방 발생밀도를 조사한 결과, 6월 1일부터 6월 9일, 6월 18일 까지 발생량이 증가하였으며 무접종구에서는 발생되지 않았다. 접종 후 8일에는 대부분의 유충과 번데기가 관찰되었다. 일부는 우화된 탈피각이 관찰되어 성충으로 탈피하였음을 확인할 수 있었다. Chung et al.(1989)은 배추좀나방이 1세대가 발육하는 기간이 20℃에서는 29일, 25℃에서 15일이 필요하다고 하였다. 5월 24일부터 6월 9일까지 평균온도는 21.2℃였으며, 비가림하우스의 온도는 일상적으로 외부평균온도보다 높게 나타나므로 25℃의 발육기간과 비교하였을 때 1세대가 진행되기에 충분한 시간이다. 6월 9일에는 성충 발생을 확인할 수 있었으며, 이 시기는 산란이 진행되는 기간으로 판단된다. 6월 18일에 유충의 밀도가 급격하게 증가하였다. 본 조사 결과, 접종 후 25일에는 접종 유충수가 증가할수록 발생유충수도 증가하였다(Fig. 1).

접종밀도에 따른 건전주의 변화를 조사하였다. 그 결과 접종 후 8일째 0.5마리 접종구의 건전주율은 80%였다. 접종마리수가

가 증가할수록 건전주율은 감소하여 2마리 접종구에서 58.4%로 가장 낮게 나타났다. 이는 유충이 접종된 주와 유충이 주변에 있는 주로 이동하여 가해한 주가 포함된 것으로 보인다. 배추좀나방은 알을 1개씩 점점이 산란하거나 2-3개씩 뭉쳐 산란하기도 하므로, 처리구내의 대부분의 잎브로콜리 주에 산란이 이루어진 것으로 보인다. 배추좀나방 유충은 앞에서 토한 실을 타고 매달려 이동하므로, 주변 작물로 이동이 가능하다. 6월 9일 조사에서도 이와 비슷한 경향을 보였다. 6월 18일 조사에서는 0.5마리 접종구에서 7.0%로 낮게 나타났으며, 보다 높은 접종구에서는 모든 주에서 배추좀나방이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 접종후 26일째에는 초기 발생접종밀도가 주당 0.5마리였음에도 불구하고, 1세대가 경과하는 동안에 모든 처리구에서 90% 이상의 주에서 피해가 나타나 배추좀나방의 빠른 번식 특성을 확인할 수 있었다(Fig. 2).

배추좀나방 유충 접종밀도에 따른 수확시기별 잎브로콜리 엽수량 특성은 Fig. 3과 같다. 접종후 8일째에는 처리간에 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 접종 16일째인 6월 9일에는 처리간 차이가 나타나기 시작하였다. 이는 우화된 성충의 산란과 부화가 이루어진 시기이기 때문에 배추좀나방 밀도가 증가함에 따라 처리간 차이가 나타난 것으로 보이며, 접종 25일째인 6월 18일에는 무처리와 0.5마리 접종구에서만 일정량 이상의 수확을 기대할 수 있었으며 다른 처리구에서는 건전엽의 수확이 어려웠다.

주당 잎브로콜리의 총엽수량을 구한 결과는 Table 1과 같다. 건전엽과 피해엽을 더한 잎브로콜리의 총엽 무게는 접종밀도간에 차이가 없었다. 그러나, 피해엽 무게는 접종마리수가 증가

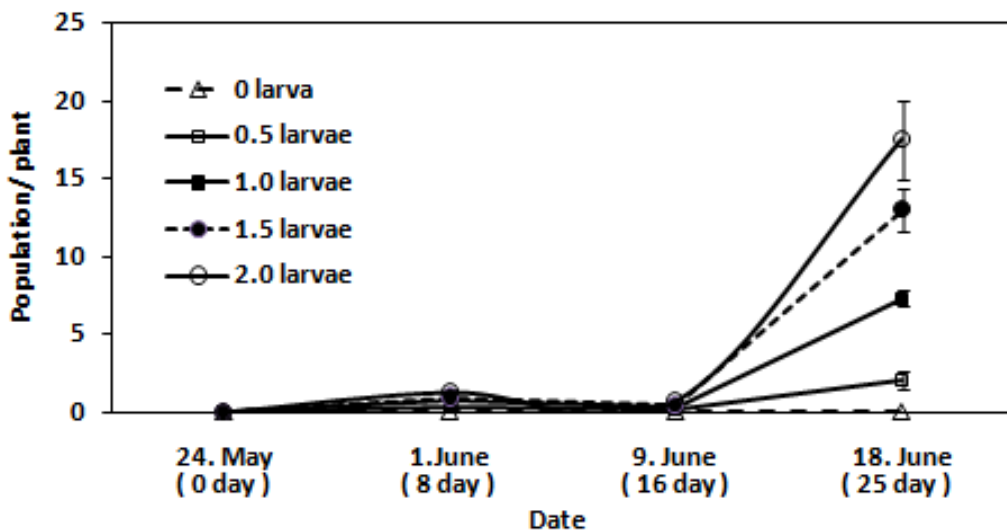
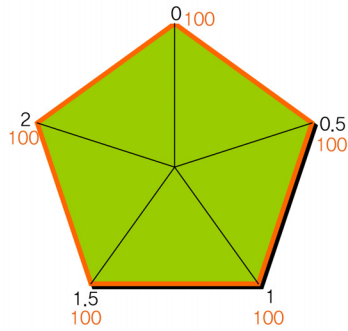
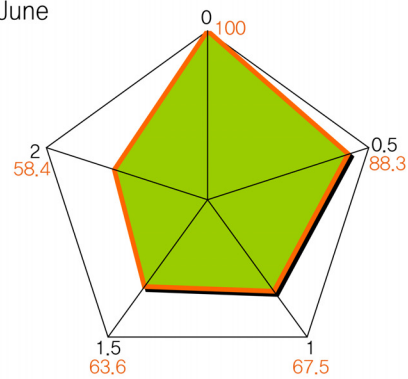


Fig. 1. Changes in the populations of the diamondback moth according to inoculation density: () is day after inoculation.

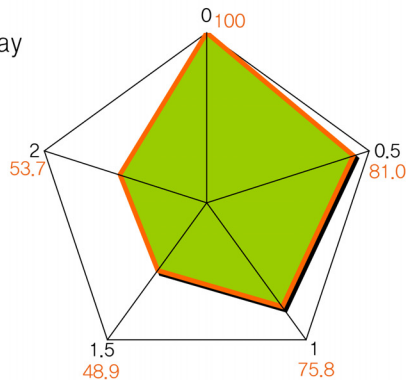
24 May



1 June



9 May



18 June

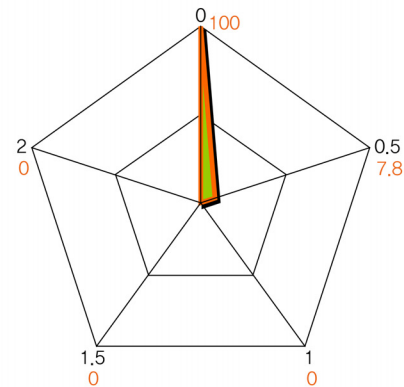


Fig. 2. Healthy plant percentage changes in leaf broccoli (*Brassica oleracea* var. *botrytis italiana*) according to the inoculation density of the diamondback moth.

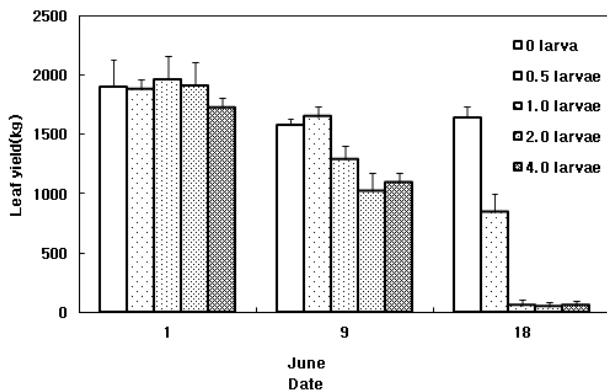


Fig. 3. Leaf yields of leaf broccoli (*Brassica oleracea* var. *botrytis italiana*) according to the harvest period after inoculation.

할수로 무거워졌다. 건전엽율은 주당 0.5마리 접종구에서 85%였으며, 점차 감소하여 2.0마리에서는 56%로 44%의 수량 감소율을 보였다.

본 실험에서 경제적피해허용수준(Economic injury level) 설정은 전체수량의 5% 정도에 준하여 추정하였다(Kiritani, 1980). 배추좀나방 접종밀도(x)와 수량감소율(y)과의 상관관계를 회귀식을 이용하여 분석한 결과 $y = 1636 - 394x$ ($R^2 = 0.79$)의 관

계식을 얻을 수 있었다(Table 2). 회귀식에 의하여 자연감소율을 5%로 볼 때, 쌈채용 잎브로콜리를 가해하는 배추좀나방의 경제적피해허용수준은 10주당 2~3마리로 얻을 수 있었다. 경제적피해수준의 80% 수준의 밀도를 요방제수준으로 설정할 수 있는데(Pedigo et al., 1986), 이에 따르면 요방제수준은 10주당 1~2마리 수준으로 추정된다.

기존의 보고에 의하면 Greene(1972)는 배추에서 요방제수준은 주당 0.1마리라고 하였다. Maltais et al.(1998)은 1995년 배추에서 배추흰나비, 배추좀나방, *Tricoplusia ni*가 발생할 때 주당 0.1마리 발생시 마다 방제하였을 때, 나방유충들이 발생하기는 시작했을 때부터 2주 간격으로 방제하였을 때보다 ha당 9.49 달러의 이익을 얻을 수 있었다고 하였다. Kirby and Slosser(1984)는 양배추에서 80%의 시장성 보이는 수준을 주당 0.3마리로 제시하였다. 본 결과에서는 10주당 1~2마리, 즉 주당 0.1~0.2마리 수준으로 조사되었다. 본 결과는 주기적으로 잎을 수확해 내는 재배형태에서 외엽신장기에 접종하여 배추좀나방 피해량 자료를 기초로 작성되었으며, 쌈채류 잎브로콜리의 방제 계획을 수립하는데 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

Table 1. Total leaf yields of leaf broccoli (*Brassica oleracea* var. *botrytis italiana*) after inoculation

Inoculation density per plant	Damaged leaf yield (g/plant)	Healthy leaf yield (g/plant)	Total leaf yield	Healthy leaf rate (%)
0	0±0	66.4±4.99a ¹⁾	66.4	100
0.5	11.7±2.82	56.7±4.58a	68.5	83
1.0	23.0±7.71	42.9±4.91b	65.9	65
1.5	28.1±1.20	38.6±8.39b	66.7	58
2.0	28.4±3.48	37.1±1.56b	65.6	57

¹⁾Means within a column followed by the same letter are not significantly different ($P < 0.05$; Tukey's HSD test)

Table 2. Economic threshold for the diamondback moth (*Plutella xylostella*) on leaf broccoli (*Brassica oleracea* var. *botrytis italiana*)

Inoculation density per plant	Healthy leaf yield		Income (1,000 won)	Income difference (1,000 won)	Relation between yield and inoculation density	Economic threshold (No. of 10 plants)
	g/77plant	Kg/10a				
0	5,116	1,706a ¹⁾	1,973	0		
0.5	4,373	1,458a	1,687	286	$y = 1636 - 394x$ $R^2 = 0.79$	1~2
1.0	3,304	1,101b	1,274	699		
1.5	2,974	991b	1,147	826		
2.0	2,863	954b	1,104	869		

¹⁾Means within a column followed by the same letter are not significantly different ($P < 0.05$; Tukey's HSD test)

*Inoculation date: May 24, Inoculation larva stage : 3 ~ 4stage

*Harvest before inoculation: May 18, May 24

*Harvest after inoculation: June 1, June 9, June 18

*Price: 1,157 won/kg

*Yield and income were calculated by Harvest after inoculation.

Literature Cited

- Bruce, E.T., Finson, N., Groeters, F.R., Moar, W.J., Johnson, M.W., Luo, K., Adang, M.J., 1994. Reversal of resistance to *Bacillus thuringiensis* in *Plutella xylostella*. Proc. Natl. Acad. Sci. 91, 4120-4124.
- Cho, J.M., Kim, K.J., Kim, S.M., Hur, J.H., Han, D.S., 2001. Diamondback moth (*Plutella xylostella* L.) resistance to organophosphorus and carbamate insecticides in Kangwon alpine vegetable croplands. The Korean Journal of Pesticide Science. 5, 30-35.
- Chung, B.K., Park, C.G., Cho, D.J., Shin, W.K., 1989. Influence of temperature on the development, fecundity and longevity of diamondback moth, *Plutella xylostella* L. Res. Rept. RDA(C.P) 31, 30-37.
- Furlong, M.J., Wright, D.J., Dossdall, L.M., 2013. Diamondback moth ecology and management: problems, progress, and prospects. Annu. Rev. Entomol. 58, 517-541.
- Greene, G.L., 1972. Economic damage threshold and spray interval for cabbage looper control on cabbage. J. Econ. Entomol. 65, 205-208.
- Kim, M.H., Lee, S.C., 1991. Bionomics of diamond-back moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) in southern region of Korea. Korean J. Appl. Entomol. 30, 169-173.
- Kirby, R.D., Slosser, J.E., 1984. Composite economic threshold for three lepidopterous pests on cabbage. J. Econ. Entomol. 77, 725-733.
- Kiritani, K., 1980. Integrated insect pest management of rice in Japan. In Proc. international symposium on problems of insect pest management in developing countries. Tropical Agriculture Research Center, Kyoto, Japan, 13-22.
- Maltais, P.M., Nuckle, J.R., Leblanc, P.V., 1998. Economic threshold for three lepidopterous larval pests of fresh-market cabbage in southeastern New Brunswick. J. Econ. Entomol. 91, 699-707.
- Park, T.S., Koh, S.J., Lim, S.O., Hyon, S.W., Song, S.H., 1993. Studies on ecological characteristics of diamondback moth, *Plutella xylostella*, in Cheju island. RDA. J. Agri. Sci. 35, 364-370.
- Pedigo, L.P., Hutchins, S.H., Higley, L.G., 1986. Economic injury levels in theory and practice. Annu. Rev. Entomol. 31, 341-368.
- R program. 3.1.2., 2014. The R Foundation for Statistical Computing.
- Shelton, A.M., Sances, F.V., Hawley, J., Tang, J.D., Boune, M., Jungers, D., Collins, H.L., Farias, J., 2000. Assessment of in-

secticide resistance after the outbreak of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) in California in 1997. *J. Econ. Entomol.* 93, 931-936.

Tabashnik, B.E., Cushing, N.L., Finson, N., Johnson, M.W., 1990.

Field development of resistance to *Bacillus thuringiensis* diamond moth(Lepidoptera: Plutellidae). *J. Econ. Entomol.* 83, 1671-1676.

Tabashnik, B.E., 1994. Evolution of resistance to *Bacillus thuringiensis*.

Annu. Rev. Entomol. 39, 47-79.

Zhao, J.A., Collins, H.L., Li, Y.X., Mau, R. L., Thompson, G.D.,

Hertlein, M., Andalaro, J.T., Boykin, R., Shelton, A.M., 2006.

Monitoring of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) resistance to spinosad, indoxacarb, and emamectin benzoate. *J. Econ. Entomol.* 99, 176-181.