

원격감지 성페로몬트랩을 이용한 멸강나방(*Mythimna separata*) 성충 예찰

정진교* · 서보윤¹ · 조점래¹ · 김용²국립식량과학원, ¹국립농업과학원, ²(주)디지털솔루션

Monitoring of *Mythimna separata* Adults by Using a Remote-sensing Sex Pheromone Trap

Jin Kyo Jung*, Bo Yoon Seo¹, Jum Rae Cho¹ and Yong Kim²

Crop Environment Research Division, National Institute of Crop Science, RDA

¹Crop Protection Division, National Academy of Agricultural Science, RDA²Digital solution Ltd.

ABSTRACT: We designed and evaluated a remote-sensing sex pheromone trap for real-time monitoring of *Mythimna separata* (Lepidoptera: Noctuidae), a migratory insect in Korea. The system consisted of a modified cone-trap with a sex pheromone lure, a sensing module based on light interruption, a signal transmission module based on code division multiple access, a main electronic board for system control, a power supply based on a solar collector, a stainless steel-pole supporting the system, and a signal collection and display system based on an internet web page. The ratio (>92%) of the actual number of insects to the signal number in the remote-sensing trap was improved by sensing only within a limited period at night on the basis of the insect's circadian rhythm, control of signal sensitivity on the basis of sensing software programming, 1-h interval for signal transmission, and adjustment of the signal transmission program. The signal occurrence pattern in the remote-sensing trap was conclusively similar (correlation coefficient, >0.98) to the actual pattern of adult occurrence in the trap. The result indicated that the remote-sensing trap based on the attraction of the sex pheromone lure for *M. separata* has a promising potential for practical use. Occurrence of *M. separata* adults was observed several times in 2011 and 2012, and the peaks were sharp.

Key words: *Mythimna separata*, Forecast, Sex pheromone trap, Remote-monitoring, Circadian rhythm

초 록: 비래해충인 멸강나방 성충의 발생을 실시간으로 예찰하기 위하여, 성페로몬 트랩에 원격감지장치를 설치한 트랩의 운용 효율성을 검증하였다. 원격감지트랩은 콘트랩 기반에 곤충의 유입을 광차단으로 감지하는 센서부, 신호전송부, 태양열기반의 전력공급부, 트랩 지지대, 웹페이지 기반의 자료수집부로 구성되었다. 연구과정에서 멸강나방 수컷 성충의 밤 시간대 포획의 일일주기성을 이용한 신호감지 시간대 축소, 신호발생 프로그램 조절, 1시간 간격의 전송간격, 신호전송 프로그램 변형 등을 통해 포획 나방수와 감지신호 발생 수의 격차를 줄여 최종적으로 신호 정확도를 92% 이상으로 개선하였다. 또한 실제 멸강나방 성충의 발생양상과 원격감지트랩에서의 신호 발생양상의 상관계수가 0.98 이상으로 원격감지트랩에서의 신호 발생이 멸강나방 발생 양상을 정확하게 반영하는 것으로 나타났다. 2011~2012년 멸강나방은 연중 여러 번 발생하는 것이 관찰되었는데, 모두 짧은 기간 동안 발생되어 가파른 피크가 특징이었다.

검색어: 멸강나방, 예찰, 성페로몬트랩, 원격감지, 일일주기성

멸강나방(*Mythimna separata*)은 유충이 주로 벼과 작물에

피해를 주는 해충이다. 멸강나방 알과 유충, 번데기가 겨울동안 경기 지방에서 생존하지 못하였고(Choi and Cho, 1976), 중국에서 1월 평균기온이 약 0°C 이상으로 북위 약 33도선의 남쪽 지역에서 월동이 가능하다는 보고(Li et al., 1964) 및 일본에서 1월 평균 기온이 4°C가 넘는 따뜻한 남쪽 일부 지역에서만 월

*Corresponding author: jungjk@korea.kr

Received September 2 2013; Revised October 15 2013

Accepted October 18 2013

동이 가능하다(Hirai, 1995)는 보고들에 기초하여 국내 대부분의 지역에서 월동하지 않는다고 추정된다. 따라서 매년 국내의 멸강나방 발생은 해외로부터 유입된 개체군에 의해 비롯되는 것으로, 판단해 왔는데, 1987년부터 1991년까지 전국의 유인 등 트랩에 의한 국내 발생자료와 당시의 기상자료를 해석한 결과로부터 구체적으로는 중국에서 비래되는 것으로 추정하고 있다(Lee and Uhm, 1995).

국내에서 멸강나방 예찰은 1987년 전국 농업기술센터의 병해충 예찰포에 전기식 유인등을 설치하여 시작되었고(Lee and Uhm, 1995), 그 후 멸강나방 성유인제가 검토된 후(Uhm et al., 2006), 2004년부터 현재까지 유인등과 성페로몬트랩 두 종류로 예찰하고 있다(국가농작물병해충관리시스템, National Crop Pest Management System, <http://npms.rda.go.kr/npms/>). 성페로몬트랩을 이용할 때는 성적 성숙기에 있는 해충의 성충 밀도를 탐지할 수 있는데, 종특이성을 갖고 발생 초기를 정확하게 탐지할 수 있는 장점이 있어, 탐지 결과는 다음 세대 유충의 발육시점을 예측하여 방제시점을 결정하는데 유용하게 사용된다(Howse et al., 1998). 실험실에서 사육한 멸강나방의 성충은 약 3~4일의 산란전 기간을 갖고 교미 후 바로 산란하기 시작하는데(Kanda and Naito, 1979; Ko et al., 2003), 비행하는 개체군은 암컷의 대부분이 비행 전에 난소가 발육되어 있지 않거나 교미를 하지 않은 상태이고, 비행 후에 성숙한 난소를 갖고 교미율이 높은 특징이 있다(Jiang and Luo, 2005). 또 수컷도 비행하기 전보다 비행 후에 성페로몬에 대한 반응성이 더 높다(Jiang et al., 2011). 따라서 성페로몬트랩을 이용하여 비래한 멸강나방 성충의 발생 시기를 탐지하는 것은 성충의 산란시기와 다음 세대의 알 부화 및 유충 발육 시기를 추정하는데 도움이 된다고 할 수 있다.

성페로몬트랩에 의한 대상 해충의 발생 밀도 조사에는 적어도 수일 간격으로 트랩을 방문하여 트랩에 포획된 종과 그 수를 직접 육안으로 확인하여야 하는 노동력이 필요하다. 이에 노동력을 적게 들이면서 성충 발생시기를 정확하게 알 수 있는 수단으로, 성페로몬트랩을 사용하면서 해충 발생을 자동으로 탐지할 수 있는 트랩들이 고안되어 왔다. 예로 빨나방과의 목화다래나방(*Pectinophora gossypiella*) (Schouest and Miller, 1994)과 독나방과의 매미나방(*Lymantria dispar*) (Tobin et al., 2009)의 발생 예찰에 자동화된 트랩이 사용되었고, 국내에서도 사과원의 복숭아순나방(*Grapholita molesta*)의 발생 예찰에 적용되고 있다(Kim et al., 2011). 이 시도들은 미끼에 유인된 나방류 성충들이 트랩의 포획통 안으로 들어가는 수를 자동으로 계수하여, 수집된 자료를 실시간으로 원격 전송하는 방식이다. 본 연구에서는 비래하는 해충인 멸강나방을 대상으로 이전의 연구

들과 유사하게 성페로몬트랩 기반의 원격탐지트랩을 구상·제조하여 포장에 실제 적용하여 보았다. 2010년부터 약 3년간에 걸쳐 시행착오를 거치면서 원격감지트랩에서 멸강나방 성충 발생신호의 유의성과 그때 수집된 멸강나방 발생 양상 자료에 대한 해석을 시도하였다.

재료 및 방법

유인미끼

트랩에 설치되는 멸강나방 성충 유인을 위한 미끼로 사용한 성유인제는 대만에서의 보고(Lin et al., 1982)와 국내에서 검토된 결과(Uhm et al., 2006)에 따라 구성 화합물인(Z)-11-hexadecenal, (Z)-11-hexadecenyl acetate, (Z)-11-hexadecenol을 98% 이상의 순도를 갖는 시약으로 구입(Chemtech, the Netherlands)하여, 5:5:0.1의 비율로 섞어 제조하였다. 성페로몬 방출제로는 슬리브형의 흰색 고무마개(8~9 mm) (Chemglass, USA)를 사용하였는데, 헥산에 녹인 성페로몬 1 mg과 향산화제인 butylated hydroxytoluene (Sigma, USA) 1 mg을 고무마개에 흡수시켜 야외 설치 전까지 냉동실에 보관하였다. 설치된 미끼는 1개월마다 새 것으로 교체하였다.

예찰트랩 형태와 설치 위치

원격감지트랩은 국내 사과원에서 복숭아순나방에 대해 시도되었던 트랩 구성(Kim et al., 2011)을 참고로 하여 (주)디지털솔루션(Digital Solution, Korea)에 의뢰하여 2010년도 처음 제작하였고, 다음 해 부터는 일부 구성 부품들이 갱신되었다. 트랩 내용은 포획통 입구에 곤충의 출입을 감지하는 센서, 감지된 신호를 전송하는 전송모듈, 이 자료를 저장하고 전송 과정을 통제하는 중앙통제장치와 구동에너지인 전력을 공급하는 태양전지부로 구성하였다(Fig. 1, 2). 센서는 photo interrupter를 사용하였는데, 적외선 방출과 수신부 사이에 성충이 지나가면서 광신호가 차단될 때 신호를 발생시키는 방식이었다. 센서가 장착되어 성충 포획에 사용한 트랩은 콘트랩(Greenagrotech, Korea)을 변형하여 곤충 포획용으로 장치되는 윗부분 원통을 검정색 플라스틱으로 만들어진 고깔트랩(Gaia, Korea)으로 대체하였다. 고깔 트랩 안쪽에 별도로 파란색 LED등을 설치하였다. 신호 전송방식은 이동전화기에서 사용하는 코드분할다중접속(Code Division Multiple Access)을 이용하였는데, (주)KT를 신호전송 중개사로 하였다. 신호는 30분 간격으로 저장하고, 이를 1시간 간격으로 합하여 1시간 간격으로 전송하는 방식을 사

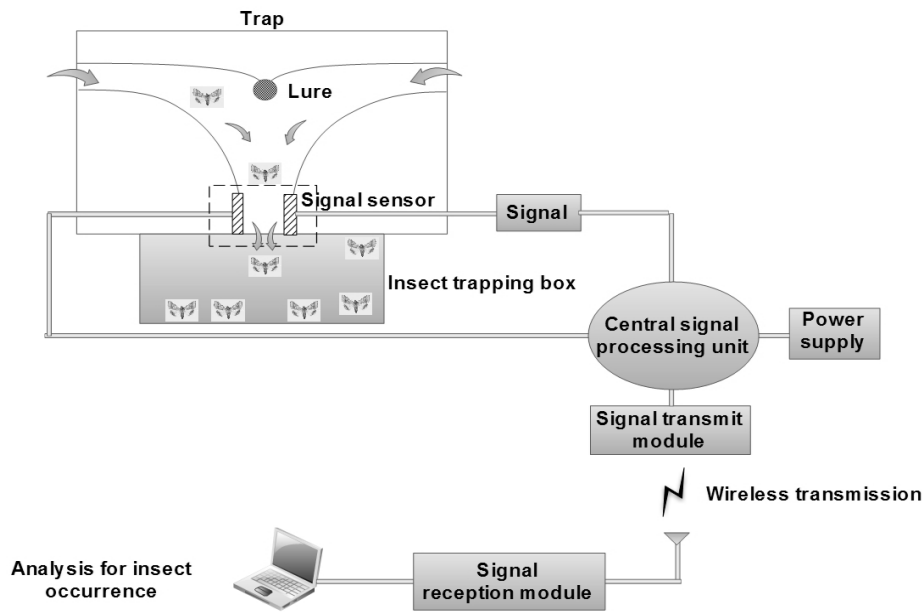


Fig. 1. Schematic diagram of the remote-sensing trap.



Fig. 2. Remote-sensing sex pheromone trap for capturing *M. separata* adults (left: complete set, center: control unit and power, right: webpage for the signal output).

용하였다. 전송된 신호는 서버에서 받아 저장하고 분류하여 웹 페이지(Fig. 2 right)에서 1시간 간격 및 이들을 묶어 1일 간격으로 전송결과를 구현하였는데, 이는 (주)디지털솔루션에 의뢰하여 구동하였다. 전력 공급부 중 축전지는 12V 납축전기를 사용하였고, 충전은 태양열판을 이용하였다. 이들 부속들을 지탱하는 부분인 지지대는 (주)가이아(Gaia, Korea)에 주문하여 스테인리스 철재로 제작하였다. 한편 원격감지트랩이 설치된 같은 지점에 멸강나방 포획용의 콘트랩을 따로 설치하여 포획량을 원격트랩에서의 결과와 비교하였다.

트랩들은 경기도 화성시 봉담읍 동화리 목초지(37°13'N 126°57'E)와 충청남도 서산시 운산면 거성리 목초지(36°45'N 126°32'E), 홍성군 홍동면 구정리 목초지(36°33'N 126°42'E)에 설치되었다. 원격감지트랩은 세 곳에 각각 1개씩 설치되었고, 콘트랩은 2011년과 2012년에 화성에만 3개씩 약 30m 간격

으로 설치되었다.

트랩 육안조사

1~8일 간격으로 원격감지트랩과 콘트랩들을 육안으로 조사하였고 포획된 곤충들은 기록 후 바로 제거되었다. 자료는 조사 간격으로 나누어 일단위로 환산하였고, 콘트랩이 3개 설치된 화성의 것은 다시 평균자료로 산출하였다.

통계 분석

하루 중 신호발생 시간대 분석에서 2011년 6월 초순 성충 포획이 집중되던 시기, 대부분 신호가 발생된 18시부터 다음날 07시 까지 시간별 신호 수를 퍼센트 비율로 바꾸고, 하루를 한 반복

으로 6월 3일부터 6월 6일까지 4일간 결과를 평균하여 시간대 별 평균값들을 Duncan 다중검정으로 비교하였다. 2012년 멸강나방 발생 모습은 전체 조사기간 동안 육안 조사 시점에서의 조사 수와 매일의 신호 발생 수를 각각 누적한 값들을 SAS 프로그램(SAS version 9.2)을 이용하여 상관분석하였다.

직선형 온도 의존 발육모델

몇 개의 항온조건에서 멸강나방 발육 기간이 조사된 두 지역의 기존 자료(Ko et al., 2003; Li et al., 1990)를 인용하여 알부터 성충 우화까지의 발육기간의 역수를 취해 발육률을 구하였고, 온도와 발육률 사이에 관계를 직선회귀식(Campbell et al., 1974)으로 작성하였다. 이 식에서 발육률이 0이 될 때 발육영점 온도를 구하였고, 회귀식 기울기의 역수를 취해 발육완성을 위한 유효적산온도를 구하였다. 야외 발생시기에서 적용은 관찰 지역에서 발생피크일을 기준으로 순방향 혹은 역방향을 취하여 발육영점온도 이상의 온도들을 합하여 유효적산온도에 도달하는 시기까지를 추정하였고, 이때의 온도 자료는 2011년과 2012년 수원과 서산에서의 기상청 24시간 기온 관측 자료 (<http://www.kma.go.kr/>)로부터 매일 평균값을 구하여 이용하였다.

결과 및 고찰

무인에찰트랩의 포획 효율성

원격감지트랩의 포획효율성은 약 3년간의 시행착오를 거쳐 개선되었고, 본 연구에서 최종 조사한 2012년 세 지역에 설치된 무인트랩에서 발생된 신호 수 대비 포획된 멸강나방 수가 차지하는 비율은 92% 이상이었다(Table 1). 이 결과로 트랩 포획의 대상인 멸강나방에 의해 발생된 신호가 전체 그 트랩에서 발생된 신호의 대부분을 차지한 것으로 추정하였다. 원격감지트랩에 멸강나방 이외에 포획된 곤충종 중 미끼에 유인되어 신호 발생을 유발시켰을 것으로 추정되었던 종들에는 같은 밤나방과의 메밀거세미밤나방(*Trachea atriplicis*), 쌍띠밤나방(*Mythimna turca*)과 포충나방과의 회양목명나방(*Glyphodes perspectalis*)이 확인되었다. 이들 종은 자신들의 페로몬 성분에 본 연구에서 사용한 멸강나방 성유인제를 구성하는 3가지 화합물 중 동일한 화합물을 적어도 1가지 이상을 사용하는 것으로 추정되고 있다(Kawazu et al., 2007; Subchev, 1992; Subchev et al., 1986). 그러나 이들 종이 본 연구의 원격감지트랩에 많이 포획되지 않아 발생신호에 크게 영향 주지 않은 것은 곤충 페로몬의 종특이성

Table 1. Ratio of the number of *M. separata* adults to total signal number in the remote-sensing traps, in 2012

Trap location	Signal No.	Ratio(%) of <i>M. separata</i> No.
Hwaseong	19	94.7
Seosan	320	98.8
Hongseong	77	92.2

Table 2. Comparison between a cone trap and a remote-sensing trap for the number of *M. separata* adults caught in Hwaseong

Year	Trap type	
	Cone trap ¹	Remote trap
2011	47.0	111
2012	10.3	18

¹Three cone traps were installed, and the mean number of trap results was indicated.

이 구성 성분의 조성에 의해서 크게 영향을 받는 것이 한 이유로 추정되었고(Howse et al., 1998), 또는 해당 종이 트랩 설치점 주변에서 많이 발생되지 않을 수도 있다는 것이 다른 이유로 여겨졌다.

한편 원격감지트랩에 포획되는 멸강나방의 성충 수는 근처에 설치된 콘트랩 보다 많았다(Table 2). 본 연구의 원격감지트랩에서 유인된 곤충을 포획하는 부분은 콘트랩의 원통부분을 고갈트랩으로 바꾸어진 변형된 모습이었는데, 이 결과는 이러한 형태의 트랩 변형이 멸강나방의 성충 포획에 부정적인 영향을 미치지 않았다는 것을 나타내었다.

포획시간대 특이성

서산에 설치된 원격감지트랩에 2011년 6월 초순 멸강나방이 대량 포획된 시기에 시간별로 신호 수를 분석한 결과, 멸강나방은 하루 중 대체적으로 일정 시간대에 집중적으로 포획되는 양상을 보였다(Fig. 3A). 저녁부터 새벽 시간까지 포획량은 시간 간에 유의한 차이가 났으며($F_{12,51}=4.75, p<0.0001$), 가장 포획량이 많았던 시간대는 0~2시 사이로 나타났다(Fig. 3B). 멸강나방은 성충 우화 후 4일째 교미가 가장 활발한데, 교미 행동은 밤시간에 주로 관찰되어 새벽 1~2시 사이에 피크에 달한다는 보고(Kanda and Naito, 1979)가 있어, 본 연구에서 수컷이 성페로몬에 반응하는 시간과 거의 일치하는 것을 알 수 있었다. 원격감지트랩에는 이 결과를 이용하여 이후부터는 하루 중 신호가 감지되는 시간을 밤시간으로 제한하였다.

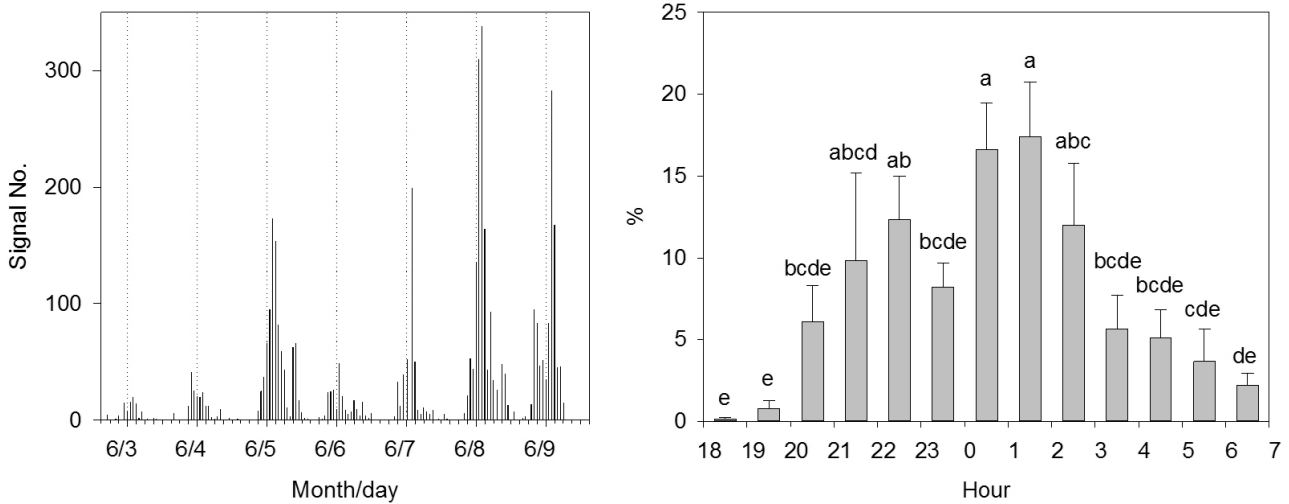


Fig. 3. Circadian rhythm of the capture signal for *M. separata* in the sex pheromone trap. The signal numbers were collected from 18 h to 7 h during June 3 to June 6, 2011. In B, the hourly number data were transformed into percentage data at each day. The means (4 replicates) of ratios were compared among hours using Duncan's multiple range test at $\alpha = 0.05$.

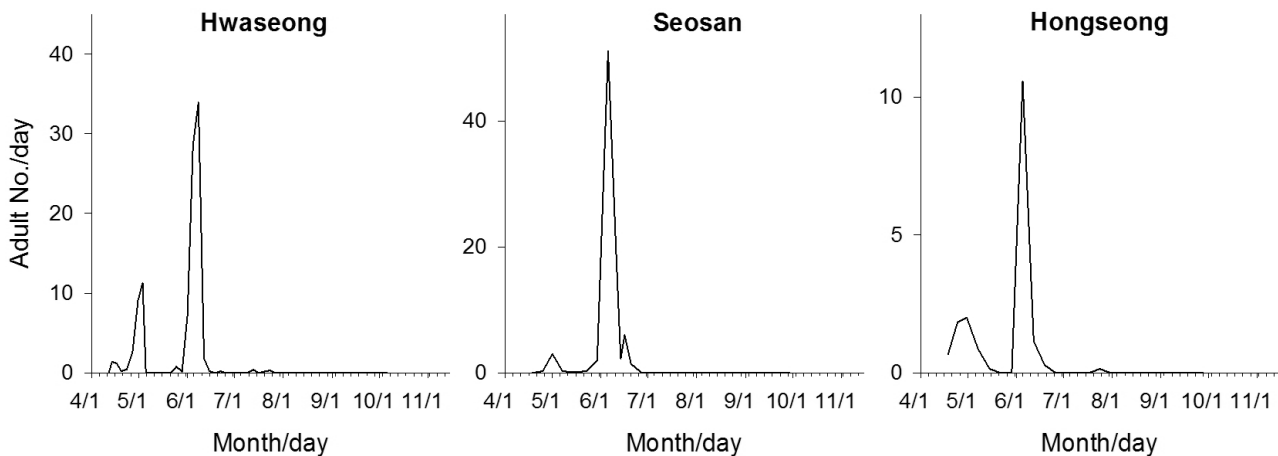


Fig. 4. Adult occurrence patterns for *M. separata* observed in the remote-sensing sex pheromone traps in three grass fields, in 2011. Actual data for adult number observed at intervals of a few days were used in the drawings.

멸강나방 발생 시기와 양상

2011년 설치된 원격감지트랩에서 며칠 간격으로 육안으로 직접 확인한 멸강나방은 4월 중순과 하순에 약간 발생하였고, 6월 초순에 발생량이 현저히 많았다(Fig. 4). 그 후 7월 중순에 다시 약간의 발생량이 확인되었다. 2012년에는 4월 하순에 적은 수의 발생이 있었고, 5월 하순~6월 초순, 8월 하순~9월 초순에 걸쳐서는 상대적으로 많은 수의 멸강나방 발생이 관찰되었다(Fig. 5). 또 9월~10월 사이에 상대적으로 발생량이 많은 경우가 적어도 2번 관찰되었다. 2012년 실제 발생양상과 원격감지트랩의 신호 발생양상과의 상관계수는 0.98 이상으로, 원격감지트랩에서의 신호 양상은 멸강나방의 실제 발생 양상이 고도

의 정의 상관으로 유의하게 반영된 것으로 판단되었다(Table 3).

이상에서 멸강나방 원격감지트랩 운용에서 필요한 요소들이 검토되었는데, 가장 중요한 고려사항은 해충밀도 변동을 충분히 반영할 수 있을 만큼 발생신호가 정확하여야 하는 것이다. 즉, 트랩에 포획되는 대상해충의 실제 수와 발생 신호 수가 근접하여야 하는 것이고, 이 신호 수의 변동이 일반트랩으로 관찰되는 것처럼 대상곤충의 발생 양상을 정확하게 반영하여야 한다는 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 성페로몬 유인제를 사용하는 종특이성으로 그 요건을 충족하였다. 결과에서 언급한 바와 같이 비록 유인량은 작았으나 다른 종의 나방류가 유인되는 문제점이 드러났고, 이는 멸강나방 유인을 위해 보다 종특이적인 성질을 갖는 유인제를 개발하여야 하는 필요성을 나타냈다.

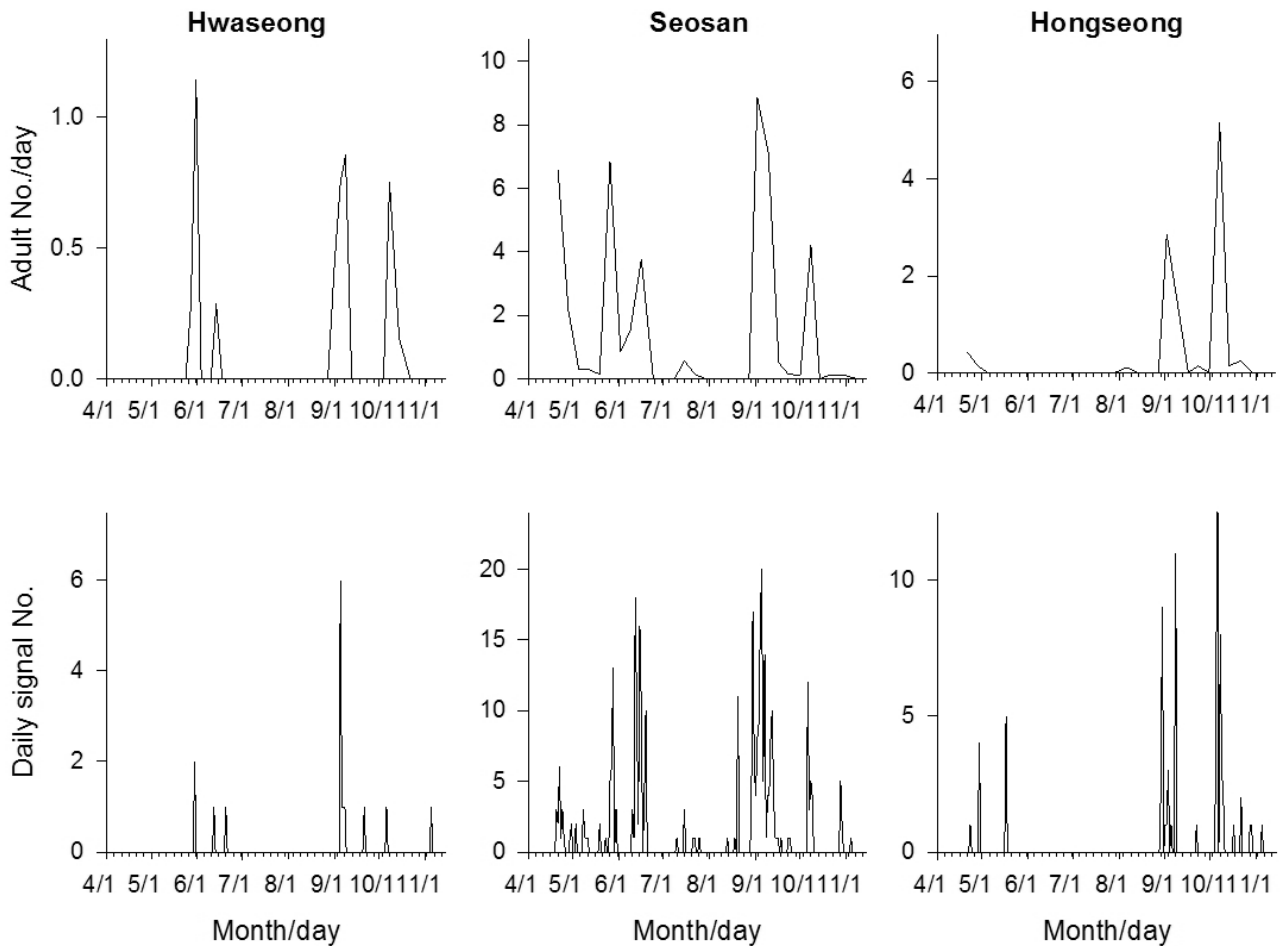


Fig. 5. Occurrence patterns of *M. separata* adults (above) and signals (below) in the remote-sensing trap, in 2012.

Table 3. Correlation coefficients between cumulative ratios of the signal number of the remote-sensing trap and the actual number of *M. separata*, in 2012

Trap location	Correlation coefficient
Hwaseong	0.98 (<0.0001)
Seosan	0.99 (<0.0001)
Hongseong	0.99 (<0.0001)

다음으로, 포획 용이성을 위해 콘트랩을 사용하였는데, 신호가 발생하는 과정에서 감지프로그램을 운용하여 감도를 조절할 수 있게 하고 포획통 내에 LED등을 설치하여 포획통 안으로 성충 유입을 유도하여 계수과정에서 오류를 줄였다. 이는 본 연구에서 검토되지 못했던 트랩에 대한 성충의 행동이 관여된 부분들인데, 향후 표준화를 위해 정량화할 수 있는 연구가 더 필요할 것으로 생각되었다. 또 다른 중요한 부분은 전력 공급과 신호 전송의 안정성이다. 트랩 구동에 필요한 전력 공급은 태양열을 이용한 축전 과정을 통해 이뤄지나 흐린 날이 지속되어 축전

지가 방전되는 문제가 드러났다. 또 CDMA를 통한 신호 전송에 있어서 환경에 따라 신호 전송이 끊기는 경우들이 나타났다. 이와 같은 문제는 전기·전자 기술이 담당하는 부분의 기술적 개선이 요구되는 부분이다. 이와 같은 결함들이 있으나, 본 연구의 결과는 포획수와 신호수의 근접성(Table 1)과 발생 양상의 고도의 상관성(Table 3)으로 판단할 때, 현재의 기술로 멸강나방의 성충 발생 원격감지 트랩을 운용할 수 있을 것으로 여겨진다.

멸강나방 성충 발생 양상에 의한 비래 시기 분석

2011년과 2012년 원격감지트랩에서 관찰된 국내 멸강나방 발생 양상에서 눈에 보이는 특징은 어느 계절이든 어느 날 갑자기 발생수가 빠르게 증가하고 며칠 안에 발생이 끝나는 현상으로 당시의 성충 발생을 나타내는 곡선이 매우 가파르다는 점이 었다(Fig. 4, 5). 즉 발생기간이 매우 짧은 것을 나타내 멸강나방이 갑자기 외부에서 비래하였을 가능성을 나타내었다. 멸강나

Table 4. Linear development models using temperature-dependent development data previously-reported during the egg to pupal stages for *M. separata*

Linear model	Temperature range (°C)	r ²	Lower threshold (°C)	Complete development (degree day)	Sources of development data
Y = 0.0017X - 0.0123	15~30	0.9910	7.4	602.0	Ko et al. (2003)
Y = 0.0019X - 0.0195	16~28	0.9917	10.4	531.8	Li et al. (1990)

방이 국내에서 월동하지 않는다는 것을 전제로, 알부터 성충까지의 발육에 관한 두 선형발육 모델(Table 4)에서 얻어진 유효 적산온도를 적용하여, 2011년과 2012년의 5월 하순과 6월 초순에 관찰된 성충 발생으로부터 시간을 거슬러 이전 세대의 성충 개체군 발생시기를 추적하면, 이전 세대는 그 해에는 발생되지 않는 것으로 계산되었다. 따라서 두 해 모두 4월~6월초까지 관찰되는 성충 발생은 비래한 것으로 추정되었다. 한편, 5월 하순~6월 초순에 발생한 피크로부터 다음 세대 성충의 발생시기는 7월 초순부터 중하순까지 추정되었으나, 두 해 모두 7월에 발생이 거의 관찰되지 않았다. 따라서 5~6월 대량 비래 개체군들의 다음 세대 개체군은 국내에서 쉽게 발생되지 않았던 것으로 추정되었다. 2012년에는 8월 28일 상륙한 태풍 볼라벤(Bolaven)과 이어 8월 30일 태풍 덴빈(Tembin)이 상륙한 직후 9월 초순 성충 발생이 관찰되었는데, 이때를 기준으로 전 세대 성충 발생은 7월 하순으로 예측되었으나, 당시의 발생피크는 거의 관찰되지 않아, 이 발생피크 역시 비래하였을 가능성이 높았던 것으로 추정되었다. 마찬가지로 10월 초순 성충 발생은 8월 중하순에 발생하였을 전 세대 성충의 자손일 것으로 계산되었지만, 당시의 성충 발생은 거의 관찰되지 않아 10월 발생도 비래하였을 가능성이 있는 것으로 판단되었다. 한편 9월과 10월에 발생한 성충으로부터 다음세대 성충이 발생하는 것은 당시의 기온 상황으로는 불가능한 것으로 판단되었다. 이상의 분석으로부터 4월부터 11월까지 가파른 모양으로 발생하는 성충 피크의 대부분은 비래에 의한 것으로 생각되었다.

지금까지 국내에서 성충 발생자료와 기상분석으로 5~6월 멸강나방의 성충 발생은 비래에 의한 것으로 추정되어 왔고, 이때 개체군의 다음 세대 유충이 국내 멸강나방 피해의 주요 원인으로 분석되어(Lee and Uhm, 1995), 본 연구에서의 추정결과와 유사한 결과를 나타냈다. 국내 멸강나방 비래의 근원지로 생각되는(Lee and Uhm, 1995) 중국에서는 1964년 표지-재포획 방법에 의해 중국 내에서의 장거리 대규모 이동 경로를 분석하였는데, 첫 번째로 3월~4월 중순 겨울 평균기온이 0°C 인 남쪽에서 월동세대 성충이 북쪽(북위 33~36도)의 중국 동부로 이동하여 1세대가 발생하고, 두 번째로 1세대 발생지에서 5월 하순~6월 상순에 일부 집단이 북쪽(북위 39도)으로 이동하고, 다

른 집단은 중국 남쪽이나 남서부로 이동하여 2세대가 발생한다고 하였다(Jiang et al., 2011; Li et al., 1964). 세 번째 이동은 7월 중순~하순에 2세대 발생지역으로부터 남쪽(북위 36~39도)으로 이동하고, 네 번째 이동은 8월 하순~9월 중순에 3세대 발생지역인 중국 동부에서 남쪽(북위 27~32도)이나, 혹은 1월 평균기온이 8도 이상인 더 남쪽 지역으로 이동한다고 하였다. 국내에서 2011년과 2012년 5~6월 발생과 8월말~9월초 발생은 중국에서 각각 2번째와 4번째 이동시기에 해당되는데, 이때의 일부 개체군이 국내로 유입되었을 것으로 추정된다. 그러나 비래 개체군이 국내에서 발육하는 생태가 아직 불분명하고, 비래 시기나 기원지에 관한 상세한 정보가 없는 상태로, 향후 자세한 연구들이 수행되어야 할 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 어젠다 연구과제(PJ008692, PJ008695)를 수행하는 과정에서 얻은 결과를 바탕으로 작성되었다. 또 트랩 설치와 조사에 도움을 주신 서산시농업기술센터, 홍성군농업기술센터, 보령시농업기술센터, 서천군농업기술센터, 국립식량과학원 최준열 박사에게 감사 드린다.

Literature Cited

- Campbell, A., Frazer, B.D., Gilbert, N., Gutierrez, A.P., Mackauer, M., 1974. Temperature requirements of some aphids and their parasites. *J. Appl. Ecol.* 11, 431-438.
- Choi, K.-M., Cho, U.-H., 1976. Studies on the factors of occurrence of the oriental armyworm and development of its artificial diet, in: 1975 Research Report, Agricultural Sciences Institute, RDA, Suwon, pp.103-135.
- Hirai, K., 1995. Migration of the oriental armyworm *Mythimna separata* in East Asia in relation to weather and climate. III. Japan, in: Drake, V.A., Gatehouse, A.G. (Eds.), *Insect migration: tracking resources through space and time*. Cambridge, New York, pp.117-130.
- Howse, P., Stevens, I.D.R., Jones, O.T., 1998. *Insect pheromones and their use in pest management*, 1st ed., Chapman & Hall,

- London.
- Jiang, X.-F., Luo, L.-Z., 2005. Comparison of behavioral and physiological characteristics between the emigrant and immigrant populations of the oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker). *Acta Entomol. Sin.* 48, 61-67.
- Jiang, X., Luo, L., Zhang, L., Sappington, T.W., Hu, Y., 2011. Regulation of migration in *Mythimna separata* (Walker) in China: a review integrating environmental, physiological, hormonal, genetic, and molecular factors. *Environ. Entomol.* 40, 516-533.
- Kanda, K., Naito, A., 1979. Behavior of oriental armyworm moth, *Leucania separata* Walker, from emergence to oviposition. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 23, 69-77.
- Kawazu, K., Honda, H., Nakamura, S., Adati, T., 2007. Identification of sex pheromone components of the box tree pyralid, *Glyphodes perspectalis*. *J. Chem. Ecol.* 33, 1978-1985.
- Kim, Y., Jung, S., Kim, Y., Lee, Y., 2011. Real-time monitoring of oriental fruit moth, *Grapholita molesta*, populations using a remote sensing pheromone trap in apple orchards. *J. Asia-Pacific Entomol.* 14, 259-262.
- Ko, H.R., Back, H.W., Kim, G.H., 2003. Effect of temperature on development and reproduction of the rice armyworm, *Pseudaletia separata* Walker (Lepidoptera: Noctuidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 42, 53-56.
- Lee, J.H., Uhm, K.B., 1995. Migration of the oriental armyworm *Mythimna separata* in East Asia in relation to weather and climate. II. Korea, in: Drake, V.A., Gatehouse, A.G. (Eds.), *Insect migration: tracking resources through space and time*. Cambridge, New York, pp.105-116.
- Li, X., Wu, K., Gong, P., 1990. Effects of temperature on population growth and intake of food by the army worm, *Mythimna separata* (Walker). *Journal of Environmental Sciences* 2, 39-44.
- Li, G.B., Wang, H.X., Hu, W.X., 1964. Route of the seasonal migration of the oriental armyworm moth in the eastern part of China as indicated by a three-year result of releasing and recapturing of marked moths. *Acta Phytophylacica Sinica* 3, 101-110.
- Lin, Y.M., Chow, Y.S., Tzeng, H.C., 1982. Field trapping of the diamondback moth *Plutella xylostella* (Linnaeus) and *Pseudaletia separata* Walker using the synthetic sex pheromone of the diamondback moth pest of cruciferous vegetables, Taiwan. *Bull. Inst. Zool. Acad. Sin.* 21, 121-127.
- Schouest, L.P.Jr., Miller, T.A., 1994. Automated pheromone traps show male pink bollworm (Lepidoptera: Gelechiidae) mating response is dependent on weather conditions. *J. Econ. Entomol.* 87, 956-974.
- Subchev, M., 1992. Sex attractant for *Trachea atriplicis* L. (Lepidoptera: Noctuidae) males. *C. R. Acad. Bulg. Sci.*, 45, 121-123.
- Subchev, M.A., Ganev, J.A., Stoilov, I.L., 1986. Noctuid male attractants - cis-11-hexadecenyl compounds alone and in mixtures. *Ekologiya* 18, 33-39.
- Tobin, P.C., Klein, K.T., Leonard, D.S., 2009. Gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) flight behavior and phenology based on field-deployed automated pheromone-baited traps. *Environ. Entomol.* 38, 1555-1562.
- Uhm, K.B., Cho, J.R., Park, C.G., Lee, M., Park, H.H., 2006. Study on the forecasting of moths occurrence using sex pheromone-baited trap, in: 2005 Research Report, National Institute of Agricultural Sciences & Technology, RDA, Suwon, pp.212-232.