

## 국내에서 이른 봄 출현하는 검거세미밤나방 성충집단의 기원 추정: 페놀로지 모형을 통한 접근

최소리, 허진우, 김수빈, 좌명은, 신용균, 김동순\*

제주대학교 생명자원과학대학 식물자원환경전공

(2022년 09월 26일 접수; 2022년 12월 16일 수정; 2023년 03월 06일 수락)

## Estimation of the Source Adult Population for *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae) Appearing in Early Spring in Korea: An Approach with Phenology Modeling

Sori Choi, Jinwoo Heo, Subin Kim, Myeongeun Jwa, Yonggyun Shin, Dong-Soon Kim\*

Majors in Plant Resource Sciences & Environment, College of Applied Life Science, SARI,

Jeju National University, Jeju 63243, Republic of Korea

(Received September 26, 2022; Revised December 16, 2022; Accepted March 06, 2023)

### ABSTRACT

The black cutworm, *Agrotis ipsilon* (Hufnagel), is an important crop pest worldwide that feeds more than 80 plant species including cabbage, potato, maize, wheat and bean, and this moth is a typical pest attacking underground parts of crops. It has been known in farm booklets that the larvae of *A. ipsilon* overwinter in the soil in Korea, but no definitive data exist yet. This study was conducted to evaluate that the specific appearance time of *A. ipsilon* observed actually in the field could be explained when we assumed that this pest overwinters in a form of larvae or pupae. Degree day-based phenology models were applied for tracking forward or backward to find the predicted developmental stage which developed at a specific stage found in the field. As a result of the analysis, it was confirmed that an initial population could be established in a group that does not overwinter as larvae or pupae in Korea. In other words, the appearance of adults in early March to April could not be explained by the presence of domestic overwintering populations. Populations that overwinter as larvae or pupae in Korea were able to emerge as adults in June to July at the earliest. Therefore, the group of adults appearing in early spring is highly likely to be a population that migrated from outside Korea. Taken together, it was estimated that the colony of *A. ipsilon* in Korea would be formed by a mixture of a migrant population through long-distance migration and a overwintering population.

**Key words:** Black cutworm, Forecasting model, Degree days, Long-distance migration, Lower threshold temperature



\* Corresponding Author : Dong-soon Kim  
(dongsoonkim@jejunu.ac.kr)

## I. 서 론

검거세미밤나방(나비목: 밤나방과)은 배추, 감자, 옥수수, 밀, 콩 등 작물을 포함하여 80종 이상의 농작물을 가해하는 중요한 해충으로 특히 작물의 지하부를 가해하는 대표적 해충이다(CABI, 2021). 보통 1령에서 3령까지는 작물의 지상부를 가해하지만, 4령부터는 지하부로 이동하여 은신하면서 지하부 줄기를 절단하면서 가해한다. 유충 한 마리가 땅속에서 굴을 뚫고 이동하면서 최대 옥수수 4주(株)를 가해할 수 있는 것으로 알려져 있다(Purdue University, 2009). 따라서 지상부 피해는 미미하지만 4령이 출현하는 지하부 발생시기에는 심각한 경제적 피해를 유발할 수 있다(Gholson and Showers, 1979; Showers *et al.*, 1983; Showers, 1997; Mushtaq *et al.*, 2021). 인도에서 옥수수의 30~40% 손실이 나타나고 피해가 심한 경우 90%의 손실이 유발되었다(Reviewed in Mushtaq *et al.*, 2021). 또한 옥수수 생육초기 단계에서 유충밀도가 이랑 1미터 당 1개체일 때 27%의 피해가 나타났다고(Showers *et al.*, 1983).

국내에서 검거세미밤나방은 1919년 유아등에 채집되었다는 최초 발생기록이 있고, 1925년 솟나방 등과 같이 조사된 23종에 포함되어 있으며(Reviewed in Kim *et al.*, 1980), 수원지역에서는 연 2~3회 발생한다고 보고되었다(Kim *et al.*, 1980). 앞서 기술한 외국의 사례와는 달리 국내에서는 옥수수보다는 배추에서 피해가 더 나타나는 것으로 보인다. 즉, 배추에서 콩보다 발육기간이 10일 정도 짧은 등 배추는 검거세미밤나방이 선호하는 작물로 알려져 있다(Kim, 1991). 실제 관행 재배에서 거세미나방류 피해는 배추에서 10.2%로 참깨 8.5%, 고추 6.7%, 감자 5.2%, 옥수수 3.0%보다 높게 나타났다고(Kim and Kim, 1981).

검거세미밤나방의 월동과 관련하여 아르헨티나에서는 번데기로 월동하는 것으로 알려져 있다(Patruele, 1988). 미국의 경우 중부 캔자스(Kansas) 지역에서는 유충 상태로도 월동하는 것으로 알려져 있으며(Walkden, 1950), 정확한 발육단계는 잘 알려져 있지 않다. 미국에서 월동이 가능한 지역에서는 번데기 상태로 월동하는 것으로도 알려져 있으나 따뜻한 플로리다에서는 겨울철에도 유충이 발견된다고 하였다(Capinera, 2006).

검거세미밤나방은 휴면상태로 월동에 들어가는 것이 아니기 때문에(Matsuura and Miyashita, 1978; Beck, 1986) 겨울철 온도는 분포한계에 직접적 영향을 미친다. Druzhelynova(1976)이 고온단일 조건에서 암컷

성충의 성적성숙이 지연되는 일종의 하면과 관련된 휴면증상을 보고한 바는 있으나, 지금까지 월동과 관련된 알, 유충, 번데기 및 성충의 휴면형은 보고된 바 없다(Story and Keaster, 1982). 미국에서 월동한계는 테네시(Tennessee)주로서 그 이상 북쪽에서는 월동 생존이 불가능한 것으로 보고되었다(Capinera, 2006). 중국에서는 1월 평균온도 0~4°C를 월동한계 구역으로 취급하고 있다(Zeng *et al.*, 2020). 그러나 겨울철 온도가 낮은 북위도 지역에서도 검거세미밤나방 피해가 나타나는데, 이것은 이 해충의 장거리 이주에 기인하는 것으로 알려져 있다.

미국 연구에서 검거세미밤나방은 봄철 바람(북쪽으로 흐르는 바람)의 도움을 받아 2~4일 내에 북쪽으로 1,000km 이동할 수 있는 것으로 밝혀졌다(Capinera, 2006). 중국의 경우 검거세미밤나방은 아열대지역에서 월동후 번식하여 북쪽으로 이동하며 기후변화로 장거리 비산거리가 708km까지 확대된 것으로 추정되었다(Zeng *et al.*, 2020). 이렇게 국외에서는 검거세미밤나방이 전형적인 비래성 해충으로 취급되고 있으며, 봄철 갑자기 나타나서 피해를 주다가 사라지는 등 비이상적 발생현상이 나타난다고 하고 있다(CABI, 2021).

국내에서는 비래해충에 대한 언급이 없으며 토착해충으로 인식되고 있다(Kim *et al.*, 1980). 과거 1966년 대관령 지방에서 검거세미밤나방 생태를 조사한 결과 유충 및 번데기로 월동하였으며(4월 상순 조사), 5월 상순부터 성충이 나타나기 시작하여 1화기 최성기는 6월 하순, 2화기 8월 하순에 형성되어 연 2회 발생하는 것으로 조사되었다(Choi *et al.*, 1968). 하지만 외국에서 보고된 검거세미밤나방의 휴면 및 월동생태 그리고 겨울철 월동한계온도 등으로 볼 때 겨울철 온도가 수시로 영하로 떨어지는 수원 또는 대관령과 같은 지역에서 월동 개체군의 존재에 대한 많은 의구심이 제기된다. 따라서 본 연구는 검거세미밤나방 발육 적산온도 예측 모형을 이용하여 이 해충이 유충 또는 번데기로 월동한다고 가정했을 때 포장에서 관측되는 실제 성충 등 특정 발육단계의 발생시기를 설명할 수 있는지 평가하였다. 이 포장 비교분석 평가를 토대로 월동 및 비래 가능성에 대하여 고찰하였다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 발육단계별 온량상수의 결정

검거세미밤나방 각 발육단계의 완료에 필요한 적산

온도를 공통 발육영점온도를 적용하여 추정하였다. 공통발육영점온도는 Luckmann *et al.*(1976)이 제시한 10.4°C를 적용하였다. 기존 발육기간 자료(Luckmann *et al.*, 1976; Appendix Table A1)를 이용하여 각 발육단계 완료에 필요한 적산온도(K, thermal constant)는 다음의 식으로 계산하였다(Lin *et al.*, 1954):

$$K = d_i (T_i - T_b)$$

여기서,  $T_i$  : 실험온도,  $d_i$  :  $i$ -번째 실험온도에서 평균발육기간, 그리고  $T_b$  : 공통발육영점온도 10.4°C이다. 검거세미밤나방 유충의 종령은 보통 6령이지만 종종 7령까지 경과한다(Reese *et al.*, 1972; Luckmann *et al.*, 1976; Mustu *et al.*, 2021). 따라서 유충이 7령까지 경과하는 경우 6령과 합하여 종령으로 취급하였다. 최종적으로 각 온도에서 추정된 값의 평균값으로 발육단계별 온량상수를 결정하였으며 Appendix Table A2와 같았다(Lee *et al.*, 2023). 참고로 산란전기간 완료에 필요한 온량상수는 27°C에서 산란전기간 2.9일(Levine *et al.*, 1982)을 반영하여 48DD를 제시하였다.

**2.2. 포장비교 자료의 수집**

적산온도 모형결과를 실측치와 비교하기 위하여 성

충유살 및 유충발생 자료를 수집하였다. 기존 보고된 유아등 및 페로몬 트랩 조사결과에서 얻은 성충 첫 포획 시기는 Table 1과 같다.

2021년에는 포장에서 직접 조사한 자료를 모형 분석에 이용하였다. 제주시 대정읍 상모리(1440번지) 유아등(흑색등 15W)을 설치하고(2021년 5월 20일) 1주일 간격으로 조사하였으며, 성충의 첫 포획은 6월 8일이었다. 제주도 한림지역 옥수수에서 유충을 비정기적으로 조사하였으며, 5월 13일 채집한 유충은 두푼의 크기(Kiyoku and Tsukuda, 1968) 또는 실내사육을 통하여 탈피여부를 기준으로 결정한 결과 3령과 6령 유충으로 확인되었다. 이 자료도 포장비교에 이용하였다 (Table 1).

**2.3. 기존모형 및 온량상수의 포장적용**

**2.3.1. 기존 미주리 IPM Black Cutworm 모형 포장평가(적산온도 125DD 시기 4~5령 출현)**

Story *et al.*(1984)은 미국에서 포장 유충조사 자료를 토대로 Luckmann *et al.*(1976)이 제시한 발육기간으로 추정한 적산온도를 적용했을 때 125DD 도달 시기(1월 1일부터 누적, Sine 곡선법)에 작물 지하부 줄기의 절단피해를 유발할 수 있는 4~5령이 존재(Story *et*

**Table 1.** Field data sets for the phenology tracking of *Agrotis ipsilon*, obtained from previous reports or newly collected in this study

Year	City	Stage	State of stage	Date	Collection method	Crop	Data source
1979	Suwon	Adults	First catch	5 June	Light trap		Kim <i>et al.</i> , 1980
2015	Jeju	Adults	First catch	25 March	Pheromone trap	Various vegetables	NICS, 2018
2015	Wonju	Adults	First catch	15 April	Pheromone trap	Various vegetables	NICS, 2018
2015	Milyang	Adults	First catch	25 March	Pheromone trap	Various vegetables	NICS, 2018
2016	Jeju	Adults	First catch	15 July	Pheromone trap	Various vegetables	NICS, 2018
2016	Wonju	Adults	First catch	5 April	Pheromone trap	Various vegetables	NICS, 2018
2016	Milyang	Adults	First catch	25 March	Pheromone trap	Various vegetables	NICS, 2018
2016	Cheonan	Adults	First catch	5 April	Pheromone trap	Various vegetables	NICS, 2018
2017	Jeju	Adults	First catch	5 May	Pheromone trap	Various vegetables	NICS, 2018
2017	Wonju	Adults	First catch	15 May	Pheromone trap	Various vegetables	NICS, 2018
2017	Milyang	Adults	First catch	25 March	Pheromone trap	Various vegetables	NICS, 2018
2017	Cheonan	Adults	First catch	25 March	Pheromone trap	Various vegetables	NICS, 2018
2021	Jeju	Adults	First catch	8 June	Light trap	Cornfield	This study
2021	Jeju	Larvae	Last instar(6th)	13 May	Visual observation	Cornfield	This study
2021	Jeju	Larvae	Third instar	13 May	Visual observation	Cornfield	This study
2021	Donghae	Larvae	Last instar(6th)	26 May	Visual observation	Cornfield	This study

al., 1984)하는 것으로 보고하였다(이하 ‘절단섭식형 유충발생기’). 이 모형은 미주리대학 IPM 사이트에서 온라인 모형으로 제공되고 있다(<http://agebb.missouri.edu/weather/reports/bcforecast.htm>).

1월 1일부터 개시하여 적산온도가 125DD (사인곡 선법)되는 시기 4~5령의 다양한 유충집단이 있다고 가정하고, 해당집단의 성충 우화일까지 적산온도를 적용하여 실제 포장 관측치와 비교하였다. 즉 유충집단을 4령 초기, 4령 중기, 5령 초기, 5령 중기 그리고 6령 초기 집단으로 구성하였으며, 각 집단이 성충으로 우화하기 위하여 필요한 적산온도는 Appendix Table A3와 같았다. 중기집단의 경우는 적산온도 계산시 해당 영기 온량상수의 1/2만을 반영하였다.

또한 성충출현시기를 기준으로 역으로 발육단계를 추적하여 적산온도 125DD(또는 평균온도법 100DD)에 출현하는 4~5령 유충 발육단계와 일치하는지 평가하였다.

### 2.3.2. 온량상수 이용 발육단계의 발달 포장평가

앞에서 추정된 검거세미밤나방의 온량상수를 이용하여 야외에서 발견된 특정 발육단계를 기준으로 전방 또는 역으로 각 발육단계의 출현 시기를 추적하였다 (Appendix Fig. A1).

역추적의 경우는 “우리나라에서 검거세미밤나방은 유충상태로 월동한다”는 귀무가설 하에 발육단계 발달을 평가하였다. 따라서 특정 발육단계 발견일 또는 첫 성충포획 날짜를 기준으로 역추적을 실시하여 유충으로 월동 가능한지 분석하였다. 전방추적의 경우는 포장에서 발견된 특정 발육단계에서 성충우화까지 추적하여 포장자료와 비교함으로써 온량상수가 적정하게 추정되었는지 평가되었다.

또한 포장 관측자료(Table 1)에서 3~4월에 성충이 출현하였으므로 번데기로 월동한다고(미국 근거논문: Walkden, 1960; Capinera, 2006) 가정하고(휴면타파 완료 가정), 번데기의 온량상수 229DD를 이용하여 성충출현시기와 비교하였다.

### 2.3.3. 포장 적산온도 계산

기상자료는 기상청(<https://www.weather.go.kr/w/index.do>)에서 제공하는 각 지역 기상대의 대기온도 자료를 이용하였으며, 최고 및 최저온도를 이용한 사인곡선법(Higley *et al.*, 1986)에 기반하여 Zalom *et al.*(1983)이 제시한 수식을 이용 MS 엑셀로 직접 적산온도를

계산하였다. 검거세미밤나방은 4령부터 번데기 기간은 토양에서 생활하며, 유충은 2.5~5cm에서 발견되고(OCI, 2009; Purdue University, 2009) 2~10cm 깊이 토양에서 번데기로 된다(CABI, 2021). 기상청 자료에서 토양온도를 이용할 수 없었기 때문에 “대기온도+0.8°C”로 토양온도를 보정하여 사용하였다(4령~번데기 단계적용). 이 보정값은 토양에서 월동하는 해충의 우화시기 예측에서 가장 작은 편차를 나타내는 것으로 나타났다(Unpublished data).

본 연구에서는 집단의 발육단계 전이를 다루는 것이 아니었기 때문에 각 발육단계(성충 초발일포함)의 출현은 이전 발육단계까지의 완료에 필요한 적산온도가 완료되는 날로 가정하였다.

## III. 결 과

### 3.1. 기존 미주리 IPM Black Cutworm 모형 포장 평가

1월 1일부터 적산온도가 125DD 되는 시기 4~5령의 다양한 유충상태가 있다고 가정하고(4령 초기, 4령 중기, 5령 초기, 5령 중기 그리고 6령 초기), 이 가정한 각 유충 발육상태에서 성충 우화일까지 추정한 결과 Table 2와 같았다. 수원지역에서 추정한 성충 우화일은 실제 관측일보다 훨씬 늦게 예측되었다. 특히 검거세미 밤나방 성충이 3~4월 첫 포획되었던 연도의 경우 예측일은 두 달 이상 늦게 나타나기도 하였다. 즉, 예를 들어 2015년 제주에서 3월 25일 첫 성충이 실제 포획되었는데, 4령 초기 유충집단의 예측된 성충우화일은 6월 2일이었다. 6령 초기를 가정하더라도 5월 24일 성충우화가 예측되므로, 실제 조사된 3월 25일보다는 예측값은 매우 지연되었다. 2015과 2016년 원주 및 밀양, 2016년 천안, 2017년 밀양과 천안 등은 3~4월 첫 성충 포획이 확인되었던 경우는 모두 이런 결과가 나타났다. 특이하게도 제주지역에서 2016년과 2021년 성충 첫 포획이 늦게 관측되었으며, 따라서 예측일은 실측일보다 훨씬 빨랐다. 전체적으로 성충 첫 우화 관측일과 각 유충집단에서 예측한 우화일까지 평균 차이는 가정한 유충집단 즉 4령 초기 집단 52.5일, 4령 중기 51.2일, 5령 초기 49.9일, 5령 중기 48.5일로 편차가 매우 컸다. 적산온도 125DD 시기에 유충이 6령 초기 상태에 도달하였다고 가정하더라도 편차는 34.6일로 매우 차이가 있었다.

번데기 상태로 월동한다고 가정하고 적산온도를 이

**Table 2.** Predicted first adult emergence date of *Agrotis ipsilon* from each larval stage assumed at 125 DD (sine wave method) or overwintered pupae in Korea

Year	City	Observed	Predicted from each larval instar state					Overwintered pupae
			Early 4th	Mid 4th	Early 5th	Mid 5th	Early 6th	
1979	Suwon	05-Jun	21-Jun	19-Jun	18-Jun	16-Jun	13-Jun	18-May
2015	Jeju	25-Mar	02-Jun	31-May	29-May	26-May	24-May	25-Apr
2015	Wonju	15-Apr	07-Jun	05-Jun	03-Jun	01-Jun	30-May	03-May
2015	Milyang	25-Mar	05-Jun	03-Jun	01-Jun	30-May	28-May	02-May
2016	Jeju	15-Jul	29-May	27-May	25-May	23-May	20-May	18-Apr
2016	Wonju	05-Apr	06-Jun	04-Jun	02-Jun	31-May	29-May	01-May
2016	Milyang	25-Mar	02-Jun	01-Jun	30-May	28-May	26-May	26-Apr
2016	Cheonan	05-Apr	11-Jun	09-Jun	07-Jun	05-Jun	02-Jun	13-May
2017	Jeju	05-May	01-Jun	30-May	28-May	25-May	23-May	26-Apr
2017	Wonju	15-May	15-Jun	13-Jun	10-Jun	08-Jun	05-Jun	13-May
2017	Milyang	25-Mar	03-Jun	01-Jun	31-May	29-May	27-May	08-May
2017	Cheonan	25-Mar	17-Jun	16-Jun	13-Jun	11-Jun	08-Jun	09-May
2021	Jeju	08-Jun	24-May	22-May	19-May	16-May	14-May	08-Apr
Average difference (days)			52.5	51.2	49.9	48.5	46.8	34.6

\* Difference: Observed - Predicted date in absolute values.

용 성충으로 우화까지 예측한 결과 실제 관측된 첫 성충 포획일과 차이가 크게 나타났다(Table 2). 대략적으로 볼 때, 만약 번데기로 월동한다면 제주지역에서 2021년 4월 상순, 2016년 4월 중순, 2015과 2017년 4월 하순, 밀양, 천안 및 원주 지역은 5월 상중순, 수원 은 5월 중순 성충으로 우화가 가능하였다. 이 예측된 우화시기는 3~4월에 성충이 트랩에 포획된 연도와 비교할 때 훨씬 늦게 나타났다. 다만, 5월에 첫 성충이 포획되었던 2017년 제주와 원주 자료에서 각각 편차가 9일과 2일로 작았다. 전체적으로 평균 34.6일의 편차가 발생하였다.

### 3.2. 포장 발견 주요 발육단계의 발달평가

**첫 성충 포획일의 추적.** 수원에서 1979년 성충 첫 유아등 포획일(6월 5일)에서 역으로 추적했을 때 번데기 첫 출현일은 5월 11로 예측되었다. 그러나 온도가 낮아 1월 초에도 6령(종령) 상태로 있는 것으로 추정되었고, 해당연도에 알부터 5령 유충 단계의 출현은 불가능하였다(Table 3 Failed).

제주에서 2017년 성충 첫 포획일 5월 5일 기준으로 번데기 첫 출현일은 3월 30로 예측되었고, 겨울동안 6령 상태(종령)로 있었던 것으로 추정되었다. 해당연도

는 온도가 낮아 5월 5일 성충기준 역으로 알부터 5령 유충 단계의 출현은 불가능한 것으로 나타났다.

2017년 원주에서 성충 첫 포획일 5월 15일 기준으로 역추적했을 때 번데기는 4월 7일 출현이 가능하였으나 5령에서 알은 출현이 불가능한 것으로 예측되었다.

제주에서 2021년 유아등에 첫 포획된 날(6월 8일)부터 역으로 영기발달을 추적했을 때, 번데기 5월 19일 그리고 6령(종령)은 5월 6일 출현한 것으로 예측되었다. 이 유충발생은 산란이 3월 중순 일어난 경우 출현이 가능하였다.

**제주 한림 2021년 5월 13일 6령 유충의 추적.** 제주 한림에서 5월 13일 채집한 유충은 추가 탈피 없이 용화되어(5월 21일, 상온조건) 성충으로 우화하였다. 채집 당시 6령 유충 중기 상태였다고 가정할 때 성충은 6월 7일 우화할 수 있는 것으로 예측되었으며 실제 첫 성충 유아등 포획일 6월 8일과 비슷하였다(Table 3). 유충의 영기발달을 역으로 추적했을 때 4월 28일 1령 유충이 출현하였으며 3월 중순 알이 출현한 것으로 예측되었다.

**제주 한림 2021년 5월 13일 3령 유충의 추적.** 제주 한림에서 5월 13일 발견된 3령 유충(중기 가정)은 6월 21일 성충으로 우화가 가능하였으며, 4월 23일 알이 출현한 경우 가능하였다.

**Table 3.** Predicted first appearance date of stages tracked backward or forward at the observed stage of *Agrotis ipsilon* in the field

Year	City	Observed		Stage tracked backward								Forward to adult	
		Stage	Date	Pupae	6 <sup>th</sup>	5 <sup>th</sup>	4 <sup>th</sup>	3 <sup>rd</sup>	2 <sup>nd</sup>	1 <sup>st</sup>	Eggs		
1979	Suwon	First catch	5 June	11-May	1-Jan	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	N/A
2017	Jeju	First catch	5 May	30-Mar	1-Jan	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	N/A
2017	Wonju	First catch	15 May	7-Apr	1-Jan	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	Failed	N/A
2021	Jeju	First catch	8 June	19-May	6-May	28-Apr	23-Apr	17-Apr	9-Apr	29-Mar	16-Mar	16-Mar	N/A
2021	Jeju	6 <sup>th</sup> instar (mid-6 <sup>th</sup> )	13 May	N/A	N/A	27-Apr	23-Apr	17-Apr	8-Apr	28-Mar	14-Mar	14-Mar	7 June
2021	Jeju	3 <sup>rd</sup> instar (mid)	13 May	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	8-May	29-Apr	23-Apr	23-Apr	21 June
2021	Dong-hae	6 <sup>th</sup> instar (mid-6 <sup>th</sup> )	26 May	N/A	N/A	6-May	24-Apr	14-Apr	26-Mar	1-Jan	Failed	Failed	26 June

N/A = Not applicable.

**동해 2021년 5월 26일 6령 유충의 추적.** 동해 채집 유충집단은 추가 탈피없이 성충으로 우화하였으며, 따라서 6령에서 영기발달을 역으로 추정했을 때 5월 6일 5령이 나타났고 3월 26일 2령이 출현한 것으로 예측되었다. 그러나 온도가 낮아 알의 출현은 불가능하였다 (Table 3).

#### IV. 고 찰

검거세미밤나방 유충은 주로 지상부에서 가하다가 4령기부터 지하부로 이동하여 줄기를 절단하는 피해를 유발하기 때문에 4령 유충의 출현 시기를 예측하는 것은 방제작업에서 중요한 정보가 될 수 있다. 이런 이유로 미국 미주리 IPM 웹모형은 125DD 4-5령 유충 출현(Story *et al.*, 1984)을 기준으로 정보를 생산하여 전파하고 있다. 그러나 우리나라에서 관측된 검거세미밤나방 출현시기와 이 예측모형 결과는 전혀 맞지 않았다. 두 지역 검거세미밤나방 개체군간 어떤 발생생태의 차이가 있는지 향후 구명이 필요하다고 판단된다.

앞에서 언급한 바와 같이 본 연구의 목적 중 하나는 “우리나라에서 검거세미밤나방은 유충상태로 월동한다”는 귀무가설을 검정하고자 하는 것이었다. 성충의 첫 발생자료를 이용하여 비교했을 때 13개 관측자료 중 9개 지역자료(2015년과 2016년 모든 지역, 2017년 밀양과 천안)는 유충으로 월동할 수 없다는 것을 증명하고 있다고 판단된다. 뿐만 아니라 번데기로 월동한다고 가정하더라도 성충의 출현은 실제 관측일보다 훨씬

늦게 예측되었다(3~4월 성충 포획연도 참조). 이 결과는 우리나라에서 검거세미밤나방은 유충이나 번데기로 월동하지 않는 집단에서 초기 개체군이 수립될 수 있다는 것을 나타낸다.

물론 유충으로 월동하는 가능성도 존재하는데, 1979년 수원, 2017년 제주와 원주 등 3개 성충 포획자료로 역추적하는 경우 6령 유충 상태로 월동한 것으로 추정되었다. 그리고 실제로 제주와 동해에서 5월 중하순 6령 유충이 발견되었고, 동해에서는 4월 하순 4령 상태가 가능했기 때문에 유충으로 월동한 집단이 있다는 것도 인정된다. 즉, 제주 개체의 경우 3월 중순 알에서 발달이 가능하였지만, 동해 집단의 경우는 알이 출현할 수 없는 상황이라 유충만이 월동집단으로 가능하였다.

봄철 3~4월 일찍 포획된 성충은 유충이나 번데기의 국내 월동집단에서 우화한 것으로 설명이 불가능하였다. 따라서 외국에서 비래한 개체이거나 성충으로 월동한 개체 중 어느 하나로 추정된다. 그러나 현재까지 성충 월동에 대한 근거자료는 찾기 어려우며 아직 보고된 바 없고(Walkden, 1950; Patruale, 1988; Capinera, 2006), 추운 지역에서는 어떤 발육단계이든 월동이 불가능한 것으로 알려져 있다. 실제 일본에서 검거세미밤나방이 갑자기 나타났고(Fuse, 1973), 월동실험 결과 각 단계 모두 내한성이 약하여 일본 북부 추운 지역에서는 월동이 불가능한 것으로 결론지었다(Chiba and Hasegawa, 1972). 중국에서 검거세미밤나방은 아열대 지역에서 월동후 북쪽으로 이주하는 것으로 알려져 있는데, Zeng *et al.*(2020)은 1월 평균온도를 기준으로

중국에서 분포지역을 5구역으로 구분하였다. 구역 I은 10°C 이상 남부지역으로 최적 월동지역(1차 월동지역)이다. 구역 II는 4~10°C 준최적 월동지역(2차 월동지역)이다. 구역 III은 0~4°C로 간헐적 월동지역 및 1차 유충 발생지역의 남쪽이 포함된다. 구역 IV는 0~6°C로 1차 유충발생지역의 북부가 포함된다. 마지막으로 구역 V는 -6°C 북부지역으로서 2차 유충 발생지역이다. 이 분포지대 구분으로 볼 때 우리나라에서 제주지역은 준최적 월동지역에 속하고 남부지역은 간헐적 월동지역에 포함될 수 있으나 중북부지역은 월동이 불가능한 지역으로 이해된다. 동해지역은 바다의 영향을 받아 따뜻한 지역이기 때문에 간헐적 월동구역에 속하게 되므로 5월 6령 유충의 발견이 부분적으로 해석될 수 있다. 또한 대관령은 구역 V에 속하기 때문에 유충과 번데기 월동에 대한 기록은 재검토가 필요하다(Choi *et al.*, 1968). 검거세미밤나방은 장거리 이동능력이 뛰어난 해충(Capinera, 2006; Zeng *et al.*, 2020)으로 알려져 있기 때문에 3~4월에 포획되는 집단은 비래 개체군일 가능성이 매우 높다. 그 비래시기는 매우 빨라서 3월에 가능하고, 이 때 산란을 하였다면 2021년 제주에서 발견된 3령 유충, 6령 유충 및 첫 성충출현 시기의 해석이 가능하다. 초기 비래량이 적은 경우는 트랩에 포획이 되지 않아서 그 후세대가 6~7월 늦은 시기에 첫 포획이 일어날 수도 있을 것이다(2016년과 2021년 제주의 경우 참조). 최근 우리나라로 비래하여 옥수수에 피해를 일으키는 열대거세미밤나방(Lee *et al.*, 2020; Heo *et al.*, 2021)처럼 향후 비래여부의 증명을 위한 후속연구가 필요할 것으로 보인다.

본 연구에서 적용한 온량상수는 국내 연구결과가 아닌 외국 Luckmann *et al.*(1976)의 자료를 기반으로 한 것으로 국내 개체군과는 차이가 있을 수 있다. 하지만, 국내 포장상황에서 검거세미밤나방 발생시기를 해석하는데 도움이 되었으며, 향후 더 나은 모형으로 개선하는데 기초를 제공할 수 있을 것으로 보인다. 종합적으로 볼 때 우리나라에서 검거세미밤나방의 초기 개체군의 수립은 다양한 경로로 형성되는 것으로 보인다. 월동유충이 존재하기는 하지만 대부분의 지역에서 초기 개체군 수립은 주로 비래집단으로 형성되는 것으로 추정된다. 제주 및 남쪽 지역, 기타 간헐적 월동구역으로 포함되는 지역은 비래집단과 월동집단이 혼재되어 나타날 것이다. 1979년 수원의 경우는 남쪽에서 번식한 집단이 비래하면서 형성될 수도 있어 국내에서는 계절적 이동도 가능할 것으로 보인다. 작물에 대한 피해

와 연간 개체군 동태 측면에서 비래집단이 우세한지 아니면 월동 유충집단이 더 중요한지 향후 구명해 볼 필요가 있을 것이다.

## 적 요

검거세미밤나방은 배추, 감자, 옥수수 등 중요한 작물을 가해하는 해충으로 특히 지하부를 가해하여 피해가 크며 방제가 어려운 대표적 해충이다. 국내에서는 유충상태로 월동하는 것으로 주요 영농책자에 표기되어 있으나, 아직 확실한 자료가 존재하지 않는다. 본 연구는 검거세미밤나방 발육 적산온도 예찰모형을 이용 발육단계를 추적 또는 역추적하여 검거세미밤나방이 유충 또는 번데기로 월동한다고 가정했을 때 실제 포장에서 관측되는 성충 등 특정 발육단계의 발생시기를 설명할 수 있는지 평가하였다. 분석결과 우리나라에서 유충이나 번데기로 월동하지 않는 집단에서 초기 개체군이 수립될 수 있다는 것이 확인되었다. 즉 3~4월 이른 성충 출현은 국내월동 개체군으로 설명할 수 없었다. 국내 유충이나 번데기로 월동하는 집단이 성충으로 우화하려면 아무리 빨라도 6~7월에 가능하였다. 따라서 이른 봄철 출현하는 성충 집단은 외부에서 비래한 집단일 가능성이 높다. 종합적으로 볼 때 우리나라에서 검거세미밤나방 개체군은 장거리 이동을 통한 이주 개체군과 월동 개체군이 혼재하여 형성되는 것으로 추정되었다.

## 감사의 글

This work was supported by Rural Development Administration (RDA), Republic of Korea. Project No.: PJ016245. We are grateful to Sustainable Agriculture Research Institute (SARI) in Jeju National University for providing the experimental facilities.

## REFERENCES

- Beck, S. D., 1986: Effects of Photoperiod and thermoperiod on growth of *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae). *Annals of The Entomological Society of America* 79(5), 821-828.
- CABI, 2021: Invasive Species Compendium, *Agrotis ipsilon* (black cutworm). <https://www.cabi.org/isc/datasheet/3801>(2021. 11. 16)

- Capinera, J. L., 2006: Black cutworm, *Agrotis ipsilon* (Hufnagel). University of Florida, Publication Number: EENY-395. [Available from [http://entnemdept.ufl.edu/creatures/veg/black\\_cutworm.htm](http://entnemdept.ufl.edu/creatures/veg/black_cutworm.htm), Latest Revision: December 2018]
- Chiba, T., and T. Hasegawa, 1972: Cold hardiness of *Agrotis ipsilon* Hufnagel and *Agrotis fucosa* Butler. *Annual Report of the Society of Plant Protection of North Japan* **23**, 66-70. (in Japanese with English abstract)
- Choi, J. I., K. R. Kang, E. H. Kang, and J. G. Ahn, 1968: Study on the ecology of cutworm species and field tests of agro-chemicals for their control. *Research Report of Experimental Station of Aline Agriculture*. RDA, Korea, 283-296. (in Korean; The title was translated by the authors)
- Druzhelynbova, T. S., 1976: The effect of temperature and the light factor on the development and behavior of geographical populations of the Y-moth, *Agrotis ipsilon* Rott. *Entomologicheskoe Obozrenie* **55**, 277-285. (in Russian with English abstract)
- Fuse, H., 1973: An observation on the mass flight of the black cutworm moth, *Agrotis ipsilon* Hufnagel. *The Society of Plant Protection of North Japan* **24**, 28-31. (in Japanese with English abstract)
- Gholson, L. E., and W. B. Showers, 1979: Feeding behaviour of black cutworms on seedling corn and organic baits in the green house. *Environmental Entomology* **8**(3), 552-557.
- Heo, J., S. Kim, and D.-S. Kim, 2021: Migratory and subsequent generation-related damage patterns of *Spodoptera frugiperda* in corn plants in Jeju, South Korea. *Korean Journal of Applied Entomology* **60**(2), 221-228.
- Higley, L. G., L. P. Pedigo, and K. R. Ostle, 1986: DEGDAY: a program for calculating degree-days, and assumptions behind the degree-day approach. *Environmental Entomology* **15**(5), 999-1016.
- Kim, H. S., H. S. Kim, and K. M. Choi, 1980: Studies on bionomics and control of cutworms. *Korean Journal of Plant Protection* **19**(4), 244-250. (in Korean with English abstract)
- Kim, H. S., and S. H. Kim, 1981: Survey on the dominant species of cutworms in several localities. *Korean Journal of Plant Protection* **20**(3), 181-182. (in Korean with English abstract)
- Kim, T.-H., 1991: Host preference by the black cutworm and varietal resistance in soybeans. *Research Report of RDA (Agriculture Institutional Cooperation)* **34**, 119-124.
- Kiyoku, M., and R. Tsukuda, 1968: Experiments concerning the utilization of the bean basic semisynthetic media for rearing two species of cutworm, *Agrotis ipsilon* Hufnagel and *A. fucosa* Butler (Lepidoptera, Noctuidae). *Scientific Reports of the Faculty of Agriculture, Okayama University* **31**, 1-10.
- Lee, G.-S., B. Y. Seo, J. Lee, H. Kim, J. H. Song, and W. Lee, 2020: First report of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera, Noctuidae), a new migratory pest in Korea. *Korean Journal of Applied Entomology* **59**(1), 73-78.
- Lee, Y. S., H. A. Lee, G. H. Kim, S. B. Kim, and D. S. Kim, 2023: Temperature-dependent development of *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae) and its stage transition models. *Phytoparasitica* **51**, 199-214. <https://doi.org/10.1007/s12600-023-01049-y>.
- Levine, E., S. L. Clement, L. V. Kaster, A. J. Keaster, W. G. Ruesink, W. B. Showers, and F. T. Turpin, 1982: Black cutworm (*Agrotis ipsilon*) pheromone trapping: a regional research effort. *Bulletin of Entomological Society of America* **28**(2), 139-142.
- Lin, S., A. C. Hudson, and A. G. Richards, 1954: An analysis of threshold temperatures for the development of *Oncopeltus* and *Tribolium* eggs. *Physiological Zoology* **27**(4), 287-310.
- Luckmann, W. H., J. T. Shaw, D. W. Sherrod, and W. G. Ruesink, 1976: Developmental rate of the black Cutworm. *Journal of Economic Entomology* **69**(3), 386-388.
- Matsuura, H., and K. Miyashita, 1978: Response to photoperiod of *Agrotis ipsilon* in relation to overwintering. *Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology* **22**(1), 7-11.
- Mushtaq, A., Z. H. Khan, S. S. Pathania, S. H. Mir, K. Rasool, S. Maqbool, and R. H. Kant, 2021: Larval biology of black cutworm *Agrotis ipsilon* on maize in Kashmir. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* **10**(2), 3382-3388.
- Mustu, M., M. Akturk, G. Akkoyun, and S. Cakir, 2021: Life tables of *Agrotis ipsilon* (Hufnagel) (Lepidoptera: Noctuidae) on different cultivated plants. *Phytoparasitica* **49**, 1-11.
- NICS (National Institute of Crop Science), 2018: Response technology development and monitoring for main pests occurrence due to growing environmental change in food crops. *The Final Report of Agenda Project, No. 1395050075*. Rural



- Development Administration (RDA), 184pp.
- OCI (Ontario Crop IPM), 2009: Black cutworm, Potato. <http://www.omafra.gov.on.ca/IPM/english/potatoes/insects/blackworm.html>(2022. 4. 2)
- Patruelle, M. T. G., 1988: Morphological and biological aspects of *Agrotis ipsilon* (Hufnagel, 1776) (Lepidoptera: Noctuidae). *IDIA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria* (449-452), 57-63.
- Purdue University, 2009: Crop-specific IPM guides: Black cutworm, *Agrotis ipsilon* Hufnagel. Purdue University Field Crops Entomology. <https://extension.entm.purdue.edu/fieldcropsipm/insects/black-cutworms.php>(2021. 5 14)
- Reese, J. C., L. M. English, T. R. Yonke, and M. L. Fairchild, 1972: A method for rearing black cutworms. *Journal of Economic Entomology* **65**(4), 1047-1050.
- Showers, W. B., 1997: Migratory ecology of the black cutworm. *Annual Review of Entomology* **42**(1), 393-425.
- Showers, W. B., L. V. Kaster, and P. G. Mulder, 1983: Com seedling growth stage and black cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) damage. *Environmental Entomology* **12**(1), 241-244.
- Story, R. N., and A. J. Keasler, 1982: Development and evaluation of a larval sampling technique for the black cutworm. *Journal of Economic Entomology* **75**(4), 604-610.
- Story, R. N., A. J. Keaster, W. B. Showers, and J. T. Shaw, 1984: Survey and phenology of cutworms (Lepidoptera: Noctuidae) infesting field corn in the Midwest. *Journal of Economic Entomology* **77**(2), 491-494.
- Walkden, H. H., 1950: Cutworms, armyworms, and related species attacking cereal and forage crops in the central great plains. *The United States Department of Agriculture Circular* **849**, 1-52.
- Zalom, F. G., P. B. Goodell, L. T. Wilson, W. W. Barnett, and W. J. Bentley, 1983: Degree-days, The calculation and use of heat Units in pest management. *University of California Division of Agriculture and Natural Resources, Leaflet* 21373.
- Zeng, J., Y., H. Liu, H. Zhang, J. Liu, Y. Jiang, K. A. G. Wyckhuys, and K. Wu, 2020: Global warming modifies long-distance migration of an agricultural insect pest. *Journal of Pest Science* **93**, 569-581.

### Appendix. Data sets for the calculation of thermal constant and the procedure for back or forward tracking of *Agrotis ipsilon*

**Table A1.** Temperature-dependent development times in days of *Agrotis ipsilon* at constant temperatures (original data from Luckmann *et al.*, 1976)

Temperature (°C)	Eggs	Larval instar							Pupae
		1	2	3	4	5	6	7	
18.3	7.3	6.2	5.4	5.61	5.79	7.15	7.05	11.1	26.6
21.1	4.3	4.9	2.99	3.01	3.6	4.18	12.73		26.02
23.9	4.2	5.4	2.4	2.8	3.21	4.71	3.81	6.04	14.38
26.7	2.5	2.9	2.1	2.2	2.41	3.3	4.59	3.81	13.5
29.4	2.15	3.05	2	2	3.1	2.6	7.41		12.78

**Table A2.** Degree days(DD)for the development completion of each stage (namely thermal constant  $K$ ) of *Agrotis ipsilon* based on a lower threshold temperature of 10.4°C (Lee *et al.*, 2023)

Temperature (°C)	Preoviposition period	Eggs	Larval instar						Pupae
			1	2	3	4	5	6 <sup>1</sup>	
18.3	- <sup>2</sup>	57.7	49.0	42.7	44.3	45.7	56.5	143.4	210.1
21.1	-	46.0	52.4	32.0	32.2	38.5	44.7	136.2	278.4
23.9	-	56.7	72.9	32.4	37.8	43.3	63.6	133.0	194.1
26.7	-	40.8	47.3	34.2	35.9	39.3	53.8	136.9	220.1
29.4	-	40.9	58.0	38.0	38.0	58.9	49.4	140.8	242.8
Mean thermal constant	48	48	56	36	38	45	54	138	229

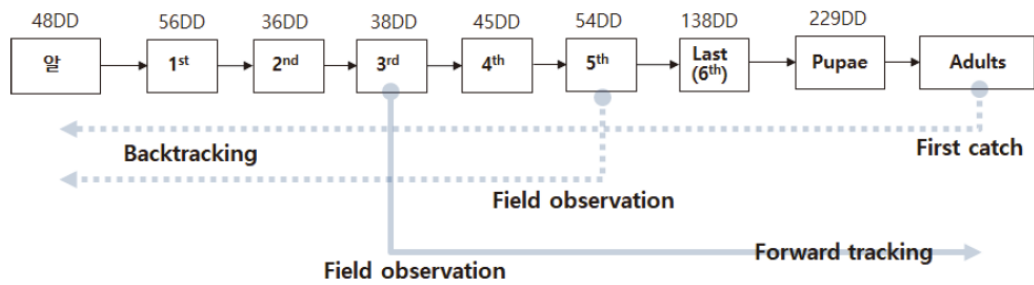
<sup>1</sup>Combined degree-days for 6<sup>th</sup> instar with 7<sup>th</sup> instar.

<sup>2</sup>No data available; 48 DDs are based on 2.9 d of the preoviposition period at 27°C (Levine *et al.*, 1982).

**Table A3.** The degree days (DDs) required by the date of adult emergence of *Agrotis ipsilon* at each assumed larval stage that would occur at 125 DD (lower threshold temperature = 10.4°C)

Assumed Larval stage (Cohort)	Larval instar and DDs for each stage			DDs for Pupae	Total DDs <sup>1</sup>
	4 <sup>th</sup>	5 <sup>th</sup>	6 <sup>th</sup>		
Early 4 <sup>th</sup> instar	45	54	138	229	466
Mid 4 <sup>th</sup> instar	23	54	138	229	444
Early 5 <sup>th</sup> instar		54	138	229	421
Mid 5 <sup>th</sup> instar		28	138	229	395
Early 6 <sup>th</sup> instar			138	229	367

<sup>1</sup>DDs from each assumed larval stage up to adult emergence.



**Fig. A1.** Procedure for back or forward tracking using the thermal constant of *Agrotis ipsilon* to find predicted developmental stages which developed at a specific stage found in the field.