

## 온도가 열대거세미나방 산란에 미치는 영향 및 옥수수 포장에서의 산란 특성

문형철\*, 최민경, 장수지, 이장호, 김주희, 전형권

전라북도농업기술원 농업환경과

### Effect of temperature on oviposition of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and ovipositional characteristics in corn fields

Hyung Cheol Moon\*, Min Kyung Choi, Su Ji Jang, Jang Ho Lee, Ju Hee Kim and Hyong Gwon Chon

Agricultural Environment Division, Jeonbuk Agricultural Research and Extension Services, Iksan 54591, Republic of Korea

#### \*Corresponding author

Hyung Cheol Moon

Tel. 063-290-6271

E-mail. hch0808@korea.kr

Received: 1 September 2022

Revised: 13 September 2022

Revision accepted: 14 September 2022

**Abstract:** The effect of five different constant temperatures (18, 21, 24, 27, and 30±1°C) and a photoperiod of 14:10 (L:D) h on the reproduction parameters of *Spodoptera frugiperda* was studied. The longevity of adult female *S. frugiperda* decreased with increasing temperature (22.4 days at 21°C and 13.9 days at 30°C) but not at 18°C. The pre-oviposition period and oviposition period was the shortest at 30°C compared to the other temperatures. The total fecundity egg count was 887.4, 1,246.4, 1,348.9, 1,154.9, and 1,034.2 at 18, 21, 24, 27 and 30°C, respectively, during its life span. The survival rate of female *S. frugiperda* decreased rapidly after 13 days at 18°C, after 14 days at 21°C, after 15 days at 27°C, and after 9 days at 24°C, and 30°C. On the third day after the start of oviposition, 50% of the total fecundity was accomplished. In corn fields at less than the 10-leaf stage, the distribution of *S. frugiperda* egg masses was observed in the middle and lower plant regions, corresponding to 46.8% and 41.4% of the total egg masses, respectively. Egg masses were mostly found on the underside of the leaf blade (abaxial) of corn (66.7%). After releasing *S. frugiperda* adults on May 12, May 17, May 25, and May 30, the number of eggs per egg mass was 89.9, 88.5, 126.6, and 127.9, respectively. Egg masses of the subsequent generations of *S. frugiperda* were observed from late June, and the number of eggs per egg mass was 155.8 in late June, 270.7 in early July, and 303.5 in mid-July.

**Keywords:** *Spodoptera frugiperda*, temperature, ovipositional characteristics, egg mass

## 서 론

원산지가 아메리카 대륙의 열대 및 아열대 지역인 열대 거세미나방 (*Spodoptera frugiperda*) (나비목: 밤나방과)은

장거리 이동 능력, 높은 번식력과 적응력 등으로 빠르게 확산하여 적절한 환경에서 작물생산에 심각한 피해를 줄 수 있다 (Goergen *et al.* 2016). 성충은 장거리 이동을 통하여 빠르게 새로운 지역으로 확산할 수 있어 (Zhou *et al.* 2021),

2016년에 아프리카로 전파된 이후 (Goergen *et al.* 2016) 2018년에 40개국으로 발생하였다. 아시아 지역에서는 2018년 인도에서 처음 보고된 이후 예멘, 방글라데시, 태국, 미얀마, 중국, 일본 등으로 빠르게 확산되었다 (Prasanna *et al.* 2021). 대한민국에서는 2019년 6월 13일 제주도 옥수수 포장에서 처음 발견되었으며 이후 전남북, 경남 등의 옥수수 포장에서 발생하였다 (Lee *et al.* 2020). 열대거세미나방은 광식성 해충으로 76과 353종의 식물을 가해하는데, 벼과 (Poaceae), 국화과 (Asteraceae), 콩과 (Fabaceae)의 주요 해충이다 (Montezano *et al.* 2018). 또한, 기주식물에 따라 옥수수, 목화, 수수를 선호하는 옥수수 계통 (corn strain)과 벼와 다양한 목초를 선호하는 벼 계통 (rice strain)으로 구분된다 (Dumas *et al.* 2015). 이 해충은 주로 옥수수 등에 피해를 많이 주는데 영양생장기에는 주로 정단부 잎과 신초 등을 갉아먹어 생육을 저해하고, 생식생장기에는 수술과 옥수수 열매 등을 가해하여 생산량을 감소시킨다 (Prasanna *et al.* 2021). 열대거세미나방에 의하여 옥수수 수량이 아프리카 대륙의 가나와 잠비아에서는 각각 45%와 40% (Day *et al.* 2017), 에디오피아와 케냐에서 각각 32%와 47% (Kumela *et al.* 2018), 짐바브웨에서는 12% 정도 (Baudron *et al.* 2019) 감소되는 것으로 보고되었다. 대한민국에서도 비래세대 열대거세미나방에 의한 옥수수 피해는 19.3%, 비래 후세대에 의하여 종실까지 피해받은 암이삭의 비율은 60%로 보고되었다 (Heo *et al.* 2021).

국내에도 2019년 이후 매년 열대거세미나방이 비래함에 따라 Seo *et al.* (2020)은 성페로몬을 이용한 성충 예찰 효과를 분석하였고, Jung *et al.* (2020b)은 수원 지역에서 성페로몬 트랩을 이용한 연중 밀도변동자료와 온도에 따른 발육과 생식 모델, 국내 유충 발생시기 등을 고려하여 연중 4회 성충이 발생할 수 있을 것으로 추정하였으며, Moon *et al.* (2022)은 열대거세미나방의 온도별 발육 특성을 보고하였고, Cho *et al.* (2022)은 열대거세미나방 기생봉을 발견하여 생물적 특성을 보고하였다. 온도는 곤충의 발생시기, 발생 밀도, 분포, 행동, 생존, 발육, 계절적 출현 등에 영향을 미치는 중요한 비생물학적 요소이다 (Zhu *et al.* 2018; Huang *et al.* 2021). 곤충의 번식률에 대한 온도의 영향은 산란 전, 산란 및 산란 후의 기간, 수명, 암컷 산란력 등으로 결정될 수 있다 (Kim and Lee 2003). 최적 온도보다 낮거나 높은 온도는 곤충의 개체수 성장에 대한 기후 변화의 영향을 예측하는데 사용할 수 있고 환경 요인 중 온도는 곤충의 번식 능

력의 핵심 요인이므로 항온조건에서 열대거세미나방의 산란 전, 산란, 산란 후 기간 및 번식률에 관한 연구는 매우 중요하다 (Sarkar *et al.* 2021). 온도에 따른 발육과 산란 정보는 해충의 종합적 방제 전략 수립과 계절적 밀도 변동을 예측하기 위하여 필수적인 정보이며, 특히, 산란과 관련된 단위 모델 개발을 통한 산란 예측모델의 구축은 한 세대에서 다음 세대로 개체군이 전이될 때, 정량적, 정성적 변화를 추정할 수 있는 유용한 도구가 될 수 있다 (Park *et al.* 2017).

따라서 본 연구에서는 온도조건이 열대거세미나방의 산란에 미치는 온도의 영향과 옥수수 포장에서 산란 특성을 조사한 결과를 보고하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 시험곤충 사육

열대거세미나방은 2021년 전북 지역 옥수수 포장에서 발생하고 있는 유충을 채집하여 전라북도농업기술원 곤충 사육실 (25±2°C, L:D=14:10)에서 인공사료를 이용하여 사육하면서 본 연구의 재료로 이용하였다. 유충 사육에 이용한 인공사료는 ARC-RSA diet (Prasanna *et al.* 2018)를 기본으로 하여 조제하였고, 냉장 보관하며 작은 조각으로 잘라서 공급하였다.

### 2. 온도별 성충의 수명, 산란 기간 및 산란 수 조사

온도에 따른 열대거세미나방의 수명과 산란 수를 조사하기 위하여 인공사료를 이용하여 유충을 18, 21, 24, 27 및 30±1°C의 항온기 (60±5% RH, 14L:10D)에서 사육한 후 각각의 온도에서 우화한 24시간 이내의 암수 1쌍을 각각 투명한 폴리스티렌 사각 사육 용기 (72×72×200 mm) (SPL Life sciences, Korea)에 넣고, 사육용기 안쪽 벽에 산란하도록 하였다. 매일 오전 중에 사육 용기를 교체하였으며, 산란 유무, 성충 사망 여부를 관찰하여 성충의 수명 및 산란 기간을 산출하였다. 성충의 먹이로 10% 꿀물과 증류수를 탈지면에 적서 공급해 주었다. 열대거세미나방은 알을 2~3층의 난괴 형태로 산란함에 따라 정확한 산란 수를 확인하기 어려워 부화한 유충수와 미부화 알 수를 계수하여 산란 수로 결정하였다. 부화 유충 계수는 부화 당일 오전 중에 실시하였으며, 동종포식에 의한 영향이 없도록 매일 제거하였다.

### 3. 옥수수 포장에서의 산란 부위 조사

옥수수 포장에서 열대거세미나방의 산란 부위를 조사하기 위하여 5~6엽기인 옥수수(재식거리 40×100 cm)가 식재된 포장에서 망실(길이 3m, 폭 3m, 높이 2m) 6개를 설치한 후, 각 망실에 우화 1일된 암수 성충 3쌍을 접종한 후 산란 시작일부터 7일 동안 산란 부위와 위치를 매일 확인하고 옥수수 잎에 피해가 없도록 난괴를 제거하였다.

### 4. 성충 방사 시기 및 후세대 성충 난괴의 알 수 조사

성충 방사 시기에 따른 난괴당 알 수와 후세대 성충의 난괴당 알 수를 확인하기 위하여 2021년 전북농업기술원 포장에 망실(길이 3m, 폭 3m, 높이 2m, 600 mesh) 12개를 설치하고, 옥수수를 3줄씩(재식거리 40×100 cm) 식재하였다. 열대거세미나방 성충 방사 시기를 5~6엽기의 옥수수 생육단계로 일정하게 유지하기 위하여 정식시기를 조절하였다. 열대거세미나방 주 비래시기로 생각되는 5월 중·하순 시기인 2021년 5월 12일, 5월 17일, 5월 25일, 5월 30일에 우화 1일째인 암수 3쌍을 각각의 망실에 방사하고, 산란 시작일부터 5~6일 동안 산란된 난괴를 매일 수거하여 사육실(25±2°C, L:D=14:10)에서 부화한 유충의 수를 계수하여 난괴당 알 수로 결정하였다. 포장 방사 이전에 교미를 방지하기 위하여 열대거세미나방 번데기를 원형사육통(φ 10×8 cm)에 1마리씩 넣고 사육하며 우화 후 방사하였다. 후세대 성충의 난괴당 알 수는 각 망실에서 우화한 성충의 산란 여부를 매일 확인 후 산란 시작일부터 5~6일간 매일 수거하여 조사하였다.

### 5. 통계분석

온도와 산란 수는 SAS 9.1 프로그램을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였고 평균간 비교는 Tukey 검정을 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 온도별 성충수명, 산란 기간 및 산란 수

온도에 따른 열대거세미나방 성충의 수명과 산란 기간은 Table 1과 같다. 암컷 성충의 수명은 18°C에서 19.2일, 21°C에서 22.4일, 24°C에서 20.4일, 27°C에서 19.0일 및 30°C에서 13.9일이었으며 ( $df=4$ ,  $F=5.66$ ,  $p=0.0121$ ), 수컷 성충 수명은 18°C에서 17.1일, 21°C에서 24.0일, 24°C에서 23.7일, 27°C에서 18.2일 및 30°C에서 14.6일이었으며 ( $df=4$ ,  $F=7.21$ ,  $p=0.0053$ ). 암컷과 수컷 수명은 모두 21°C에서 30°C까지 온도가 높을수록 짧아졌다. Schlemmer *et al.* (2018)은 18, 22, 26, 30 및 32°C에서 암컷 수명이 각각 16.6일, 11.8일, 11.0일, 8.3일 및 4.5일이라고 보고하였으며, Sarkar *et al.* (2021)은 18, 22, 26, 30 및 32°C에서 암컷 수명이 각각 12.46일, 11.11일, 11.0일, 9.51일 및 7.14일로 본 조사 결과에 비해 온도에 따라 3~11일 정도 짧았다. 반면 Barfield and Ashley (1987)는 21, 25 및 30°C에서 각각 16.8~20.5일, 14.5~19.0일 11.9~12.9일이라고 보고하여 본 조사 결과와 비슷하였다. 성충 수명은 유충의 먹이 종류에 따라 변화하는데, 옥수수, 밀, 콩, 토마토, 면화를 유충 먹이로 하여 사육한 암컷 성충의 수명은 각각 7.5~16.21일,

**Table 1.** Adult longevity (mean±SE) and ovipositional periods (mean±SE) of *Spodoptera frugiperda* at five different constant temperatures

Temp. (°C)	n <sup>1</sup>	Pre-ovipositional period (days)	Ovipositional period (days)	Post-ovipositional period (days)	Longevity of adults (days)	
					Female	Male
18	13	5.2±1.52ab <sup>2</sup>	10.5±3.91a	3.5±4.03a	19.2±6.35a	17.1±9.30bc
21	27	4.9±1.80ab	11.0±3.55a	6.6±5.64a	22.4±7.07a	24.0±5.41a
24	13	5.2±2.35a	10.7±3.47a	4.5±3.45a	20.4±5.73ab	23.7±6.93ab
27	12	5.3±2.38a	8.9±1.83a	5.1±5.07a	19.0±4.02ab	18.2±8.08abc
30	22	3.5±1.41b	5.7±2.22b	4.6±3.49a	13.9±4.43b	14.6±5.01c

<sup>1</sup>No. of individuals tested.

<sup>2</sup>Values followed by the same letter within a column are not significantly different ( $p>0.05$ ).

13.01일, 9.33~11.4일, 9.24~13.04일 및 16.22일이었으며 (Wang *et al.* 2020; He *et al.* 2021b; Wu *et al.* 2021), 인공사료의 조성성분에 따른 암컷 성충의 수명은 8.6~16.6일로 다양하였다 (Pencoe and Martin 1982; Jung *et al.* 2020a; He *et al.* 2021a). 또한, 열대거세미나방 유충이 섭식한 기주식물의 생육단계에 따라 성충 수명이 달라진다 (Barfield and Ashley 1987; He *et al.* 2021a).

암컷 성충의 산란 전 기간은 30°C에서 3.5일로 가장 짧았으나 18~27°C에서는 4.9~5.3일로 비슷하였다 ( $df=4$ ,  $F=4.12$ ,  $p=0.0316$ ). Wu *et al.* (2021)과 Jung *et al.* (2020a)은 25°C에서 각각 3.37~6.09일과 4.2~5.0일로 보고하였으며, Schlemmer *et al.* (2018)은 18~32°C에서 열대거세미나방의 산란 전 기간은 3.3~5.9일로 짧아 우화 직후 성적 성숙과 교미가 이루어지는 것을 의미한다고 하였다. 성충 수명이 다른 연구 결과보다 더 길었던 본 조사 결과에서도 산란 전 기간이 짧은 것으로 판단되었다. 산란 기간은 30°C에서 5.7일로 온도가 높아질수록 짧아지는 경향이 나 18~27°C 범위에서 8.9~11.0일로 온도 간 유의성은 없었다 ( $df=4$ ,  $F=15.48$ ,  $p=0.0003$ ). Wu *et al.* (2021)과 Jung *et al.* (2020a)은 25°C에서 산란 기간이 각각 3.17~4.47일과 3.9~6.5일, Schlemmer *et al.* (2018)은 18~32°C에서 열대거세미나방의 산란 기간은 2.4~8.0일이라고 보고하여 본 조사 결과보다 짧았다. He *et al.* (2021a)은 25°C에서 인공사료, 옥수수, 수수 및 밀에서 열대거세미나방 유충을 사육 후 얻은 암컷의 산란 기간이 각각 7.2일, 5.1~7.9일, 7.0일 및 6.4일로 유충 시기에 먹은 사료 및 기주식물에 따라 산란 기간이 달라진다고 하였다. 산란 후 기간은 18°C에서 3.5일로 가장 짧았으나 온도에 따른 유의성은 없었다 ( $df=4$ ,  $F=1.71$ ,  $p=0.2239$ ).

열대거세미나방은 조사한 모든 온도에서 산란이 가능하였다 (Table 2). 평균 총산란 수는 24°C에서 1,348개로 다른 온도보다 많았고, 18°C에서 897개로 가장 적었다 ( $df=4$ ,  $F=29.14$ ,  $p<0.0001$ ). Schlemmer *et al.* (2018)은 18, 22, 25, 30 및 32°C에서 총산란 수는 각각 716.7개, 972.2개, 641.2개, 493.2개 및 224.4개라고 보고하여 본 연구의 결과보다 적었다. 그러나 Barfield and Ashley (1987)는 21, 25 및 30°C에서 각각 1,510~1,929개, 2,019~2,080개 및 890~1,337개, Milano *et al.* (2008)은 15, 20, 25, 30 및 35°C에서 각각 761개, 1,500개, 1,571개, 1,327개 및 443개라고 보고하여 본 연구의 결과보다 많았다. 이런 다른 결과는 유충의 기주식물,

**Table 2.** Adult fecundity (mean  $\pm$  SE) of *Spodoptera frugiperda* at five different constant temperatures. Values in parentheses indicated the range of the data

Temp. (°C)	$n^1$	Total number of eggs laid	Hatching rate (%)
18	13	887.4 $\pm$ 349.8 <sup>d2</sup> (521-1,410)	87.3 $\pm$ 7.08 <sup>b</sup>
21	27	1,246.4 $\pm$ 229.4 <sup>ab</sup> (730-1,688)	92.6 $\pm$ 6.96 <sup>ab</sup>
24	13	1,348.9 $\pm$ 326.9 <sup>a</sup> (932-1,870)	93.5 $\pm$ 4.86 <sup>a</sup>
27	12	1,154.9 $\pm$ 411.7 <sup>bc</sup> (522-1,820)	92.1 $\pm$ 8.63 <sup>ab</sup>
30	22	1,034.2 $\pm$ 291.9 <sup>cd</sup> (589-1,625)	89.0 $\pm$ 4.76 <sup>ab</sup>

<sup>1</sup>No. of individuals tested.

<sup>2</sup>Values followed by the same letter within a column are not significantly different ( $p>0.05$ ).

작물 생육단계, 인공사료 성분 및 사육온도 등에 따라 연구자마다 열대거세미나방의 총산란 수가 다양하게 보고되어 (Pencoe and Martin 1982; Pinto *et al.* 2019; Jung *et al.* 2020a; Wang *et al.* 2020; He *et al.* 2021a, 2021b; Sarkar *et al.* 2021; Wu *et al.* 2021), 각기 다른 시험조건에 따른 차이로 생각되었다. Schlemmer *et al.* (2018)은 22°C에서 총산란 수가 972.2개로 가장 많았다고 보고하여 본 조사 결과보다 낮은 온도에서 산란이 많았다. 그러나 Milano *et al.* (2008)은 25°C에서 다른 시험온도보다 총산란 수가 많다고 하였고, Barfield and Ashley (1987)도 다른 시험온도보다 25°C에서 총산란 수가 많아 최적 산란 온도는 25°C 부근이라고 하여, 24°C에서 총산란 수가 가장 많았던 본 연구의 결과와 같은 경향으로 최적 산란 온도는 25°C 전후로 판단되었다. 온도별 열대거세미나방의 일일 생존율을 조사한 결과 (Fig. 1), 18°C에서 13일 이후, 21°C에서 14일 이후, 27°C에서 15일 이후 및 24°C와 30°C에서는 9일 이후 급속하게 감소하였다. 일일 산란 수는 18~27°C에서는 우화 후 5~10일 사이, 30°C에서는 4~8일 사이에 많았으며, 산란 시작 후 3일째에 전체 산란의 50%가 이루어졌고, 18~24°C에서는 산란 시작 후 7일째, 27~30°C에서는 5일째에 전체 산란의 90%가 완료되었다 (Fig. 2). Pinto *et al.* (2019)은 일일 산란 수가 3~5일, 7~11일 사이에 많다고 보고하여 본 조사 결과와 비슷하였다.

부화율은 21~24°C에서 92.1~93.5%로 비슷하였으나

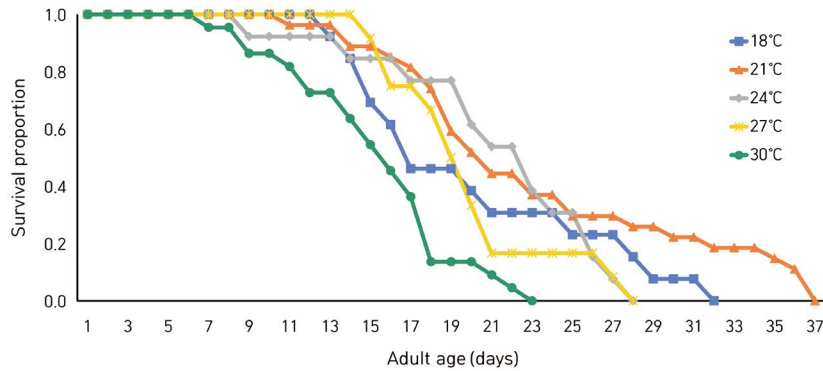


Fig. 1. Age-specific proportional survival of *Spodoptera frugiperda* at five different constant temperatures.

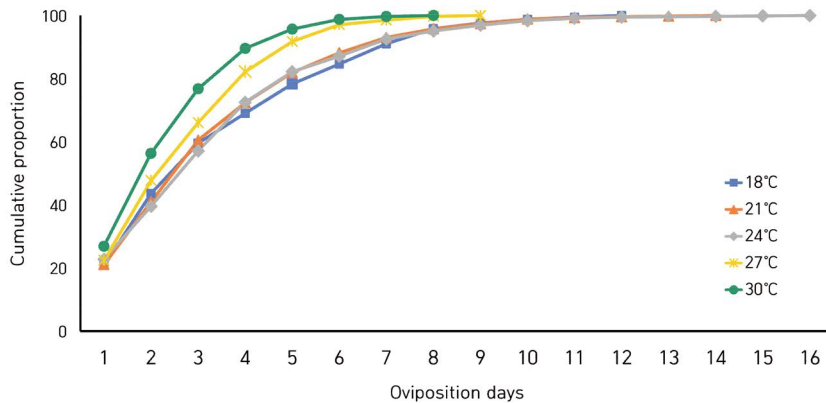


Fig. 2. The cumulative fecundity proportion of *Spodoptera frugiperda* at five different constant temperatures.

18°C와 30°C에서 각각 87.3%, 89.0%로 낮은 경향이었다 ( $df=4$ ,  $F=4.67$ ,  $p=0.0219$ ). Wang *et al.* (2020)은 25~30°C 온도 조건에서 옥수수 등 유충 먹이를 달리하여 사육 후 산란된 알의 부화율이 83.5~95.9%라고 보고하여 본 결과와 비슷하거나 약간 높았다.

## 2. 옥수수에서의 산란 부위

열대거세미나방 성충이 10엽기 이하의 옥수수에 산란한 위치를 확인한 결과(Fig. 3), 산란된 난괴는 총 111개였는데, 지면에서 4번째 잎에 25.2%가 산란되어 가장 선호하였고, 1번째 잎에 15.3%, 5번째 잎에 14.4% 및 3번째 잎(13.5%) 순으로 산란하였다. 또한, 지면으로부터 1~3엽을 하위엽, 4~6엽을 중위엽 및 7~8엽을 상위엽으로 구분하였을 때 하위엽에 41.4%, 중위엽에 46.8% 및 상위엽에 11.7% 산란하여 중위엽을 더 선호하는 경향이였다. Beserra *et al.*

(2002)은 포장조사 결과 열대거세미나방 성충이 4~6엽기 옥수수에서는 하위엽에 60.4%, 8~10엽기에는 중·상위엽에 73.5%, 12~14엽기에는 중위엽에 61.4%가 산란되어 생육단계에 따라 산란이 많은 부위가 변화한다고 하였고, Pitre *et al.* (1983)은 열대거세미나방 성충이 옥수수에서는 4~9엽, 수수에서는 3~9엽에 더 많이 산란하였으며, Ribeiro *et al.* (2014)은 옥수수 1~8엽기 동안 중위엽에서 산란이 집중되었다고 보고하여, 본 조사 결과와 비슷하였다.

열대거세미나방의 산란 부위를 조사한 결과(Fig. 4), 잎 뒷면에 66.7%가 산란되었으며, 잎 앞면에는 21.3%, 줄기에는 12.1%로 대부분 잎 뒷면에 산란하였다. Kasige *et al.* (2022)은 실내에서 누대사육한 선충을 옥수수에 방사한 결과 잎 뒷면에 산란하는 비율이 66.1%였으며, Ribeiro *et al.* (2014)은 옥수수 포장에서 열대거세미나방의 잎 뒷면에 산란하는 비율이 94.8%라고 하여 본 조사와 비슷한 경향을 보였다. 열대거세미나방은 부화하는 유충의 충분한 먹이를

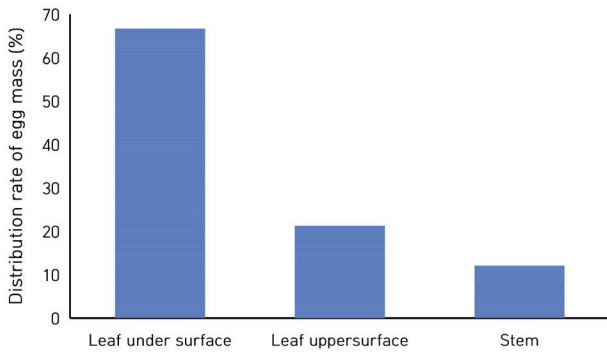


Fig. 3. Vertical distribution of *Spodoptera frugiperda* egg masses in a corn plant.

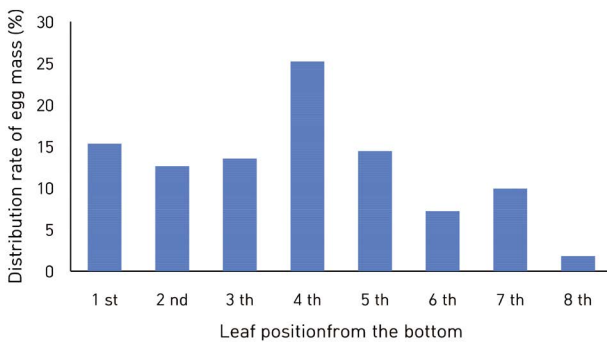


Fig. 4. Distribution of *Spodoptera frugiperda* egg masses in a corn plant.

충분히 확보할 수 있고, 폭우, 바람, 직사광선, 천적 등 알의 생존 위협요소에 대한 노출을 최소화하기 위해 산란 위치를 결정하는데 (Pitre *et al.* 1983; Bessera *et al.* 2002; Ribeiro *et al.* 2014; Kasige *et al.* 2022), 본 조사 결과 또한 옥수수 중간부위가 생육이 활발하고 넓은 잎이 많아 유충 서식 및 알 생존에 적합한 것으로 판단되었다. 열대거세미나방 유충은 옥수수 잎뿐만 아니라 이삭, 수술 및 암술도 가해한다. 따라서 열대거세미나방의 방제관리를 위하여 다양한 옥수수

생육단계에서의 산란 부위에 대한 추가 조사가 필요할 것으로 판단된다.

### 3. 성충 방사 시기 및 후세대 성충의 난괴당 산란 수

옥수수 포장에 성충 방사 시기를 달리한 후 산란된 난괴의 알 수를 조사하였다 (Table 3). 5월 12일과 5월 17일에 방사한 결과 각각 난괴당 산란 수는 89.9개와 88.5개로 차이가 없었고 5월 25일과 5월 30일에 방사한 경우 각각 126.6개와 127.9개로 역시 차이가 없었다 ( $df=3, F=16.49, p=0.0009$ ). 접종 후 세대 성충의 산란은 6월 하순부터 관찰되었는데 6월 하순의 난괴당 알 수는 155.8개, 7월 상순에는 270.7개, 7월 중순에는 303.5개로 온도가 높아지고 옥수수 생육이 진행됨에 따라 난괴당 알 수는 증가하였다 ( $df=2, F=24.29, p=0.0013$ ). 열대거세미나방 난괴당 알 수는 25~330개 정도이며 (Kalyan *et al.* 2020), 옥수수가 생장함에 따라 난괴 크기가 증가하는데, 옥수수 출현 7일 후에는 난괴당 알 수는 80개 정도였으나 50일 후에는 400개 이상이었다 (Andrewa 1988). 따라서, 시험기간 중 익산지역 순별 평균기온은 5월 중순 19.5°C, 5월 하순 18.4°C, 6월 하순 24.2°C, 7월 상순 25.2°C 및 7월 중순 27.9°C로 (weather.rda.go.kr), 열대거세미나방의 난괴당 알 수는 온도가 높아지고 옥수수가 생육함에 따라 증가하는 것으로 판단되었다.

옥수수에 암술과 수술이 생기기 시작하면 이 부위에 유충 발생이 많아져 이후 열매에 큰 피해를 준다 (Labatte 1993). 2021년에 열대거세미나방은 제주도에서 4월 하순에 첫 비래가 관찰되었고, 5월 중에 제주, 경남, 전남 및 전북지역에서 비래가 확인되었다. 비래성충에 의해 산란된 것으로 추정할 수 있는 5월 중순의 난괴당 알 수보다 후세대 성충의 난괴당 알 수가 많아 옥수수 출사기와 산란 수가 많은 후세대기간이 겹칠 경우, 이삭의 피해가 많이 나타날 것으로 판단되었다.

Table 3. Number of eggs per egg mass at different releasing times and subsequent generations of *Spodoptera frugiperda* adults

	Adult releasing time				Subsequent generation		
	May 12	May 17	May 25	May 30	Late June	Early July	Mid-July
No. eggs /egg mass	89.9±55.29b <sup>2</sup> (30) <sup>1</sup>	88.5±44.83b	126.6±80.91a	127.9±63.29a	155.8±97.46b	270.7±187.86a	303.5±137.23a
		(22)	(20)	(27)	(21)	(19)	(6)

<sup>1</sup>No. of individuals tested.

<sup>2</sup>Values followed by the same letter within a column are not significantly different ( $p>0.05$ ).

## 적 요

본 연구에서는 온도에 따른 열대거세미나방의 산란 특성을 조사하였다. 18, 21, 24, 27, 30°C에서 열대거세미나방의 암컷 성충의 수명기간은 각각 19.2일, 22.4일, 20.4일, 19.0일 및 13.9일이었으며, 산란 전 기간은 각각 5.2일, 4.9일, 5.2일, 5.3일 및 3.5일이었고, 총산란 수는 각각 887.4개, 1,246.4개, 1,348.9개, 1,154.9개 및 1,034.2개였다. 온도별 열대거세미나방의 암컷 생존율은 18°C에서 13일 이후, 21°C에서 14일 이후, 27°C에서 15일 이후 및 24°C와 30°C에서는 9일 이후 급속하게 감소하였다. 산란 시작 후 3일째에 전체 산란의 50%가 이루어졌고, 18~24°C에서는 산란 시작 후 7일째, 27~30°C에서는 5일째에 전체 산란의 90%가 완료되었다. 10엽기 이하의 옥수수 포장에서 열대거세미나방 성충은 하위엽에 41.4%, 중위엽에 46.8% 및 상위엽에 11.7%를 산란하였으며, 산란된 난괴의 66.7%가 잎 뒷면에 산란되었다. 열대거세미나방 성충을 5월 12일, 5월 17일, 5월 25일 및 5월 30일에 방사한 결과, 난괴당 알 수는 각각 89.9개, 88.5개, 126.6개 및 127.9개였다. 접종 후 세대 성충의 산란은 6월 하순부터 관찰되었으며, 6월 하순에 산란된 난괴당 알 수는 155.8개, 7월 상순에 270.7개 및 7월 중순에 303.5개였다. 본 연구에서 보고한 열대거세미나방의 산란 특성은 성충 비래 시기에 따른 발생 예측 분석 및 방제 대책을 마련하는 데 활용될 수 있을 것이다.

### CRedit author contribution statement

HC Moon: Conceptualization, Experiment design, Formal analysis, Writing-Original draft preparation, Reviewing, and Editing. MK Choi: Data curation, Formal analysis. SJ Jang: Data curation, Formal analysis. JH Lee: Data curation, Formal analysis. JH Kim: Data curation, Formal analysis. HG Chon: Writing-Reviewing and Editing.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 시험연구사업(PJ01500908)의 지원에 의하여 연구가 수행되었습니다.

## REFERENCES

Andrews K. 1988. Latin American research on *Spodoptera fru-*

*giperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Fla. Entomol. 71:630-653. <https://doi.org/10.2307/3495022>

Barfield CS and TR Ashley. 1987. Effects of corn phenology and temperature on the life cycle of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Fla. Entomol. 70:110-116. <https://doi.org/10.2307/3495097>

Baudron F, MA Zaman-Allah, I Chaipa, N Chari and P Chinwada. 2019. Understanding the factors influencing fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) damage in African small-holder maize fields and quantifying its impact on yield. A case study in Eastern Zimbabwe. Crop Prot. 120:141-150. <https://doi.org/10.1016/cropro.2019.01.028>

Beserra EB, CTDS Dias and JRP Parra. 2002. Distribution and natural parasitism of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) eggs at different phenological stages of corn. Fla. Entomol. 85:588-593. [https://doi.org/10.1653/0015-4040\(2002\)085\[0588:DANPOS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1653/0015-4040(2002)085[0588:DANPOS]2.0.CO;2)

Cho JR, BY Seo, JY Choi, GS Lee, MJ Seo and JH Kim. 2022. First report of *Telenomus remus* Nixon (Scelionidae), an egg parasitoid of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Noctuidae) in Korea and its biological characteristics. Korean J. Environ. Biol. 40:187-198. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2022.40.2.187>

Day R, P Abrahams, M Bateman, T Beale, V Clotey, M Cock, Y Colmenarez, N Corniani, R Early and J Godwin. 2017. Fall armyworm: impacts and implications for Africa. Outlooks Pest Manag. 28:196-201. [https://doi.org/10.1564/v28\\_oct\\_02](https://doi.org/10.1564/v28_oct_02)

Dumas P, F Legeal, C Lemaitre, E Scaon, M Orsucci, K Labadie, S Gimenez, A Clamens, H Henri and F Vavre. 2015. *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) host-plant variants: Two host strains or two distinct species? Genetica 143:305-316. <https://doi.org/10.1007/s10709-015-9829-2>

Goergen G, PL Kumar, SB Sankung, A Togola and M Tamo. 2016. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), a new alien invasive pest in west and central Africa. PLoS One 11:e0165632. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165632>

He LM, TL Wang, YC Chen, SS Ge, KAG Wyckhuys and KM Wu. 2021a. Larval diet affects development and reproduction of East Asian strain of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. J. Integr. Agric. 20:736-744. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62879-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62879-0)

He LM, QI Wu, XW Gao and KM Wu. 2021b. Population life tables for the invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* fed on major oil crops planted in China. J. Integr. Agric. 20:745-754. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63274-9](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63274-9)

Heo JW, SB Kim and DS Kim. 2021. Migratory and subsequent generation-related damage patterns of *Spodoptera frugiperda* in corn plants in Jeju, South Korea. Korean J. Appl. Entomol. 60:221-228. <https://doi.org/10.5656/KSAE.2021>

04.0.018

- Huang LL, FS Xue, C Chen, X Guo, JJ Tang, L Zhong and HM He. 2021. Effects of temperature on life-history traits of the newly invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in Southeast China. *Ecol. Evol.* 11:5255–5264. <https://doi.org/10.1002/ece3.7413>
- Jung JK, EY Kim, IH Kim, JJ Ahn, GS Lee and BY Seo. 2020a. Meridic diets for rearing of *Spodoptera frugiperda* larvae. *Korean J. Appl. Entomol.* 59:243–250. <https://doi.org/10.5656/KSAE.2020.08.0.035>
- Jung JK, EY Kim, IH Kim and BY Seo. 2020b. Species identification of noctuid potential pests of soybean and maize, and estimation of their annual adult emergence in Suwon, Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 59:93–107. <https://doi.org/10.5656/KSAE.2020.03.0.013>
- Kalyan D, MK Mahla, SR Babu, RK Kalyan and P Swathi. 2020. Biological parameters of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) under laboratory conditions. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 9:2972–2979. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.905.340>
- Kasige RH, CD Dangalle, N Pallewatta and MTMDR Perera. 2022. Egg cluster characteristics of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Sri Lanka under laboratory conditions. *J. Agri. Sci.-Sri Lanka* 17:200–210. <https://doi.org/10.4038/jas.v17i1.9620>
- Kim DS and JH Lee. 2003. Oviposition model of *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae). *Ecol. Model.* 162:145–153. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00402-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00402-7)
- Kumela T, J Simiyu, B Sisay, P Likhayo, E Mendesil, L Gohole and T Tefera. 2018. Farmers' knowledge, perceptions, and management practices of the new invasive pest, fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in Ethiopia and Kenya. *Int. J. Pest Manage.* 65:1–9. <https://doi.org/10.1080/09670874.2017.1423129>
- Labatte JM. 1993. Within-plant distribution of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) larvae on corn during whorl-stage infestation. *Fla. Entomol.* 76:437–447. <https://doi.org/10.2307/3495644>
- Lee GS, BY Seo, JH Lee, HJ Kim, JH Song and WH Lee. 2020. First report of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1979) (Lepidoptera: Noctuidae), a new migratory pest in Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 59:73–78. <https://doi.org/10.5656/KSAE.2020.02.0.006>
- Milano P, E Berti Filho, JRP Parra and FL Consoli. 2008. Influencia da temperatura na frequencia de Copula de anticarsia gemmatalis Hubnere *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Neotrop. Entomol.* 31:49–54. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2008000500005>
- Montezano DG, A Specht, DR Sosa-Gomez, VF Roque-Specht, JC Sousa-Silva, SV Paula-Moraes, JA Peterson and TE Hunt. 2018. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *Afr. Entomol.* 26:286–300. <https://doi.org/10.4001/003.026.0286>
- Moon HC, MK Choi, SJ Jang, JH Lee, JH Kim and HG Chon. 2022. The effect of temperature on the development of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 61:349–356. <https://doi.org/10.5656/KSAE.2022.04.0.023>
- Park CK, HH Park and BY Seo. 2017. Temperature-dependent oviposition model and life table parameters of *Paromius exiguus* (Distant) (Hemiptera: Lygaeidae) growing on rice. *Korean J. Appl. Entomol.* 56:387–394. <https://doi.org/10.5656/KSAE.2017.11.0.032>
- Pencoe NL and PB Martin. 1982. Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) larval development and adult fecundity on five grass hosts. *Environ. Entomol.* 11:720–723. <https://doi.org/10.1093/ee/11.3.720>
- Pitre HN, JE Mulrooney and DB Hogg. 1983. Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) oviposition: crop preferences and egg distribution on plants. *J. Econ. Entomol.* 76:463–466. <https://doi.org/10.1093/jee/76.3.463>
- Pinto JRL, AF Rorres, CC Truzi, NF Vieira, AM Vacari and SA DeBortori. 2019. Artificial corn-based diet for *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Insect Sci.* 19:1–4. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iez052>
- Prasanna BM, JE Huesing, R Eddy and VM Peschke. 2018. Fall Armyworm in Africa: A Guide for Integrated Pest Management. International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). Mexico City, Mexico. p. 120.
- Prasanna BM, JE Huesing, VM Peschke and R Eddy. 2021. Fall Armyworm in Asia: A Guide for Integrated Pest Management. International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). Mexico City, Mexico. p. 172.
- Ribeiro LP, STB Dequech, C Camera, VS Sturza, S Poncio and JD Vendramim. 2014. Vertical and temporal distribution of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) egg masses, parasitized and non-parasitized, on maize plants. *Maydica* 59:315–320.
- Sarkar S, SA More, ND Tamboli, SR Kulkarni and CA Nimbalkar. 2021. Effect of temperature on the reproductive ability of fall armyworm-*Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) under laboratory condition. *J. Pharmacogn. Phytochem.* 10:154–158.
- Schlemmer M. 2018. Effect of temperature on development and reproduction of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). MD dissertation, North-West University. Potchefstroom, South Africa.
- Seo BY, JK Jung, GS Lee, CY Yang, JR Cho and YP Kim. 2020. Sex pheromone trapping of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Korea and distribution of intraspe-



- cies-specific single nucleotide polymorphisms in the cytochrome c oxidase subunit 1 (CO1). Korean J. Appl. Entomol. 59:217–231. <https://doi.org/10.5656/KSAE.2020.070.027>
- Wang WW, PY He, YY Zhang, TX Liu, XF Jing and S Zhang. 2020. The population growth of *Spodoptera frugiperda* on six cash crop species and implications for its occurrence and damage potential in China. Insects 11:639. <https://doi.org/10.3390/insects11090639>
- Wu LH, C Zhou, GY Long, XB Yang, ZY Wei, YJ Liao, H Yang and CX Hu. 2021. Fitness of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* to three solanaceous vegetables. J. Integr. Agric. 20:755–763. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63476-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63476-1)
- Zhou Y, QI Wu, HW Zhang and KM Wu. 2021. Spread of invasive migratory pest *Spodoptera frugiperda* and management practices throughout China. J. Integr. Agric. 20:637–645. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(21\)63621-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(21)63621-3)
- Zhu G, Y Luo, M Xue, H Zhao, NN Xia and X Wang. 2018. Effects of high-temperature stress and heat shock on two root maggots, *Bradysia odoriphaga* and *Bradysia difformis* (Diptera: Sciaridae). J. Asia-Pac. Entomol. 21:106–114. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2017.11.001>