

# 제주 옥수수에서 열대거세미나방 비래 세대 및 후세대의 피해양상 특성

허진우 · 김수빈 · 김동순<sup>1\*</sup>

제주대학교 생명자원과학대학(SARI), <sup>1</sup>제주대학교 아열대생명과학연구소

## Migratory and Subsequent Generation-related Damage Patterns of *Spodoptera frugiperda* in Corn Plants in Jeju, South Korea

Jinwoo Heo, Subin Kim and Dong-soon Kim<sup>1\*</sup>

Majors in Plant Resource Sciences & Environment, College of Applied Life Science, SARI, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

<sup>1</sup>The Research Institute for Subtropical Agriculture and Biotechnology, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

**ABSTRACT:** The fall armyworm (FAW), *Spodoptera frugiperda* (Smith), is a notorious invasive migratory pest native to the tropics that has recently invaded South Korea with subsequent damage to cornfields. This study was conducted to evaluate the damage patterns on corn plants caused by the migratory and subsequent generations of FAW. The early migrant generation-related infestation rates reached an average of 13.2%, ranging from a minimum of 4.3% ('Allog-i') to a maximum of 33.0% ('Chodang'), depending on the corn cultivar. The proportion of FAW larvae-infested corn plants, in which the FAW survived until the pupal stage was 19.3%. The subsequent FAW generation caused considerable damage to the ears, resulting in 60% of ears with damaged kernels. This damage was markedly different from the nearly negligible damage caused by the migratory generation. The FAW larval dispersion was the most dynamic during the second instar stage and occurred along the same cornrow in line. In addition, we discuss the development of corn plant damage patterns caused by FAW. In summary, the results of the present study would provide useful basic information for the damage analysis of this pest for future studies.

**Key words:** Fall armyworm, Invasive pests, Dispersion of larvae, Infestation rate, Corn growth stage

**조 록:** 열대거세미나방(*Spodoptera frugiperda*)은 열대성 비래해충으로서 우리나라에서도 최근 비래하여 피해가 발견되고 있다. 본 연구는 열대 거세미나방 비래 세대와 후세대의 옥수수에 대한 피해양상을 파악하고자 수행하였다. 옥수수 품종별 열대거세미나방 비래 세대에 의한 피해주율은 적게는 4.3% (알록이옥수수)에서 많게는 33.0% (초당옥수수)로 다양하였으며, 전체 평균 피해주율은 13.2% 이었다. 열대거세미나방에 피해를 받은 옥수수 중에서 최종 번데기까지 이르는 데에 성공한 주의 비율은 19.3% 이었다. 비래 후세대가 암이삭에 미치는 피해는 비래세대에서 거의 무시할 수준으로 확인된 것과는 달리 높게 나타났으며, 종자까지 피해받은 암이삭의 비율은 60%가 되었다. 유충의 분산은 2령기에 가장 활발 하였으며, 한 이랑을 따라서 일렬로 일어났다. 기타 열대거세미나방의 피해발달과 본결과와의 활용방안에 대하여 고찰하였다.

**검색어:** 열대거세미나방, 침입해충, 유충분산, 감염률, 옥수수 발육단계

열대거세미나방(the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* Smith)은 전 세계적으로 농작물에 심각한 피해를 입히는 해충으로(FAO/CABI, 2019), 기주식물의 범위가 매우 넓어 42과 186종의 식물을 가해하는 것으로 알려져 있다(Casmuz Augusto, 2010). 옥수수는 이중 가장 피해가 심한 작물이며, 옥수수 외에

도 경제적으로 중요한 벼, 사탕수수, 수수, 비트, 토마토, 감자, 면화, 목초 등 다양한 작물들의 피해가 보고되어 있다(Day et al., 2017). 아메리카 대륙에서 열대거세미나방에 의한 옥수수 수량손실 자료를 살펴보면 온두라스 40%(Wyckhuys and O'Neil, 2006), 아르헨티나 72%(Murúa et al., 2006)로 알려져 있고, 세계적으로 옥수수 피해는 최소 2,481.70백만불에서 최대 6,187.30백만불로 추정되고 있다(Day et al., 2017; Reviewed in Kebede and Shimalis, 2019).

\*Corresponding author: dongsoonkim@jejunu.ac.kr

Received March 9 2021; Revised April 23 2021

Accepted May 13 2021

이 해충은 원래 열대지역 원산이나 뛰어난 이동능력 때문에 온대지역에서도 다양한 작물들이 피해의 위협을 받고 있다. 성충은 수백 킬로미터를 비행하여 이동이 가능하며, 봄에서 가을까지 미국 텍사스와 플로리다에서 북쪽으로 캐나다 퀘벡과 온타리오까지 1,700 km를 이동하는 것으로 보고되었다(Mitchell et al., 1991; Westbrook et al., 2016). 열대거세미나방은 겨울철 기온이 9.9°C 이하인 지역에서는 영구적인 정착이 어렵지만 (Luginbill, 1928), 온대지역에서도 계절초기 비래하여 확산되는 경우 막대한 양의 경제적 피해를 유발할 수 있다. 우리나라에서도 2019년 처음 제주에서 발견되었고 전북과 경남 등 여러 지역에서 피해가 확인되었다(Lee et al., 2020).

국내에서는 현재 열대거세미나방이 유입되어 처음 피해가 나타나고 있는 단계로써 노지조건에서 정량적인 피해발생에 대한 정보가 거의 없는 실정이다. 비래개체군과 후세대의 정착과 피해를 파악할 수 있다면 방제대책 및 향후 방제계획 수립에 도움이 될 것이다. 또한 합리적인 밀도 변동 관리 대책을 수립하기 위해서는 보다 많은 포장발생과 피해 자료의 축적이 필요하다고 생각된다. 따라서 본 연구에서는 야외 옥수수 포장에서 비래 개체군 및 후세대의 피해양상 및 유충의 분산과 생존관련 자료를 보고하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 옥수수 포장의 조성

열대거세미나방 피해 시험은 제주시 아라동 제주대학교 실습농장에 소규모 옥수수 포장(30 m × 13 m)을 조성하여 수행하였다(보충자료 Supp. I, Fig. S1, available online). 총 6가지 옥수수 품종(초당옥수수, 찰옥4호옥수수, 미백2호찰옥수수, 미흑찰옥수수, 오색옥수수, 알록이찰옥수수)을 재식하였는데(품종별 면적 13 m × 5 m, 이랑사이 130 cm, 포기사이 30 ~ 40 cm), 열대거세미나방이 비래하였을 때 생육단계가 각기 다른 기주들을 선택할 수 있도록 모든 품종은 파종시기를 두 시기로 달리하여 파종하였다.

2020년 4월 21일 포트(50구)에 배양토(농우바이오, 상토2호)를 넣어 파종하고 육묘하였고, 5월 4일 포장에 이틀 어린 묘(3엽기 초기)를 각 품종당 두 줄씩 정식하였다. 두 번째는 동일 날에 직접 품종 당 2줄씩 파종하였다. 최초로 열대거세미나방 발생이 확인된 6월 1일에는 각각 3 ~ 4엽기와 7 ~ 8엽기의 옥수수가 2줄 간격으로 혼식된 농장이 조성되어 시험 수행이 가능하였다.

## 비래세대 피해조사

### 피해 및 생존율 조사

열대거세미나방 유충은 옥수수의 운생체(잎집, whorl)의 내부로 파고들어가며 섭식하므로, 잎이 펼쳐질 때에는 잎 위에 가로 1열로 규칙적으로 배열된 원형 섭식흔이 나타난다(보충자료 Supp. III, Fig. S2). 조명나방의 경우도 피해양상이 열대거세미나방과 유사하나 수술 형성기에 옥수수의 수술이 위치한 정단부로 파고들면서 잎 위에 불규칙적인 원형 섭식흔을 남기기 때문에(Supp. III, Fig. S10) 열대거세미나방의 피해와 구분할 수 있었다. 옥수수를 정식한 다음부터 열대거세미나방 유충 발생을 조사하였으며 첫 유충발생이 확인된 6월 1일 2 ~ 3령이 혼재한 상태였다. 정식 이후부터 옥수수 품종 및 생육단계별 열대거세미나방의 섭식흔을 조사하였다.

2020년 6월 23일에 대부분의 유충이 번데기 상태가 되어 발육을 완료하였기 때문에 옥수수 각 식물체별 최종 피해정도를 조사하였다. 피해 정도의 경우 열대거세미나방 피해가 4번째 잎 이내 범위에서 규칙적 원형 섭식흔으로 나타나는 경우를 경미한 피해로 취급하였다. 반면, 잎에 나타나는 피해가 경미한 피해 이상으로, 원형 섭식흔이 이어져 부정형이 되거나 수술에도 피해가 나타나는 경우는 심각한 피해로 간주하였다. 피해등급의 판정에 대한 자세한 방법은 보충자료에 제시하였다(Supp. III). 경미한 피해의 경우 전기 유충기(1 ~ 3령)까지 생존한 개체의 피해로 간주하였고, 심각한 피해는 후기 유충기(4 ~ 6령)까지 생존한 것으로 가정하였다. 즉, 열대거세미나방은 부화초기 또는 이후 분산하여 이동하는 습성은 있으나(동종포식의 회피), 적어도 선점한 한 개체는 옥수수 운생체 내부로 숨어들어가 계속 섭식하기 때문에 유충이 후기까지 생존한 경우 심한 피해가 나타난다(Capinera, 2017; FAO/CABI, 2019).

옥수수 인근 토양에서 번데기가 발견되는 경우 유충의 전 발육단계가 생존한 것으로 판단하였다. 예비조사 결과를 토대로 번데기 조사는 옥수수 줄기를 중심으로 반경 20 cm × 깊이 10 cm 범위 토양을 대상으로 실시하였다.

### 통계분석

옥수수 품종 및 발육단계(3 ~ 4엽기 vs. 7 ~ 8엽기)에 따른 초기 비래 개체군의 피해 비교는 유충에 감염된 옥수수의 빈도수 자료를 이용하여  $\chi^2$ -검정을 실시하여 발육단계(2)와 감염여부(2)에 따른 교차빈도분포를 바탕으로 검정하였다.

## 비래 후세대에 의한 피해조사

### 시험포장 조성

동일한 옥수수농장에서 비래후세대에 의해 발생하는 피해를 조사하기 위하여 초기 비래로 유충의 정착이 확인된 6월 16일 농장 일부에 망실 6개를 설치하였다(Supp. I, Fig. S1). 망실은 길이 6 m, 폭 2 m, 높이 2 m의 직육면체로 프레임을 조형하고 600 mesh 망을 씌웠다. 각 망실 안에는 두 줄의 옥수수가 재식되었으며 2곳은 찰옥4호, 2곳은 알록이찰옥수수, 나머지 2곳은 두 품종이 한 줄씩 혼식되어 있었다.

### 유충의 분산특성 조사 실험

6월 23일 조사시 유충 피해가 나타나지 않은 망실(보충자료 Supp. I, Fig. S1)을 어린 유충의 확산 특성을 조사하는 데에 이용하였다(6번 망실, 재식품종 알록이찰옥수수). 7월 10일에 난괴에서 갓 부화한 유충 무리(n=150)를 망실 내부의 2열 중 한 쪽, 총 11주 중 7번째 주의 하위 6번째 잎에 접종하였다.

유충의 분산 조사는 7월 11일, 13일, 15일, 18일, 19일, 21일, 23일, 25일, 26일에 육안 조사를 실시하였다. 유충에 직접적인 외부 자극을 피하기 위하여 줄기와 옥수수 암술 내부를 제외한 외부 잎, 줄기를 육안으로 조사하였다. 유충이 망실 외벽 천이나 망실 자재에 매달려 있는 경우 발견된 위치로부터 가까운 기주식물에 있는 것으로 간주하였다. 유충의 분산과 관련된 영기 추정 은 온도센서(HOBO MX2301, Onset Computer Corporation, MA, USA)를 설치하여 얻은 온도자료를 이용하여 적산온도를 산출하여 비교하였다(보충자료 Supp. II, Table S1). 유충이 존재하지

않고 탈피 흔적과 피해증상만 남아 있는 경우는 번데기가 되기 위하여 토양으로 이동했거나 사망한 것으로 간주하였다.

8월 3일에 해당 망실의 토양 깊이 10 cm 이내에서 발견된 번데기와 옥수수 위치를 직경 2 cm의 원형 플라스틱으로 표기하여 파노라마 사진을 촬영하였다. 이 사진을 이미지 분석 프로그램(Adobe Photoshop CS5, Adpobe Systems Incorporated)을 이용하여 각 식물체 중심으로부터 번데기가 발견된 거리 및 접종원으로부터의 이동주수에 따른 분포도를 작성하였다.

### 자연발생 후세대에 의한 피해조사

피해가 확인된 망실 중 두 곳의 옥수수를 채취하여 피해주율을 조사하였고, 그 중 일부를 임의로 선택하여(n=35) 각 주당 암이삭 피해율을 조사하였다. 피해를 받은 옥수수의 경우 열대 거세미나방의 개체 밀도와 침입 가해부위를 암이삭 수염, 옥수수 상, 중, 하부로 구분하여 기록하였다(보충자료 Supp. III, Fig. S6-S8, S11, online available). 옥수수 종실 피해로 인한 수량감소는 피해면적을 산출하여 비율(%)을 계산하였다. 열대거세미나방 유충이 용화를 위해 식물체를 이탈하는 과정에서 사망하는 경우를 감안하여 피해증상을 기준으로 열대거세미나방과 조명나방에 의한 피해를 구분하여 기록하였다(보충자료 Supp. III, online available).

## 결과

### 비래 세대에 의한 피해특성.

비래 초기 세대 열대거세미나방에 의한 옥수수 품종별 피해

**Table 1.** Corn cultivar- and development stage-related comparison of corn plants infested by *Spodoptera frugiperda* larvae in a small corn field in Jeju, South Korea

Cultivar	Corn stage in 3-4 leaf			Corn stage in 7-8 leaf			Total (% infested)
	n	No. infested	% infested	n	No. infested	% infested	
Osaeg	42	1	2.4	40	5* <sup>1</sup>	12.5	7.3
Mibaek 2ho	35	3	8.6	41	1ns	2.4	5.3
Chodang	45	10	22.2	49	21*	42.9	33.0
Miheug	26	3	11.5	50	8ns	16	14.5
Chal-og 4ho	56	0	0	43	15**	34.9	15.2
Allog-i	43	4	9.3	51	0ns	0	4.3
Mean		3.5	9.0		8.3	18.1	13.2
Sum	247	21		274	50**		

<sup>1</sup> $\chi^2$ -test between two corn stages in the number of infested plants in each cultivar: ns = not significant, \* = significant at  $P = 0.05$ , and \*\* = significant at  $P = 0.01$ .

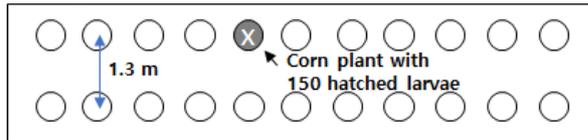
주율은 적게는 4.3 ~ 33.0%로 다양하였으며 전체 평균은 13.2% 이었다(Table 1). 피해율이 가장 높았던 초당(94주 중 31주 감염)과 두 번째인 찰옥4호(99주 중 15주 감염) 간 피해율의 차이

가 있는지 빈도 분석결과 통계적으로 유의하게 차이가 있었다 ( $\chi^2 = 7.49$ ;  $df = 1$ ;  $P < 0.01$ ). 옥수수 생육단계별(3 ~ 4엽기와 7 ~ 8엽기) 피해율은 오색( $\chi^2 = 4.77$ ;  $df = 1$ ;  $P < 0.05$ ), 초당( $\chi^2 =$

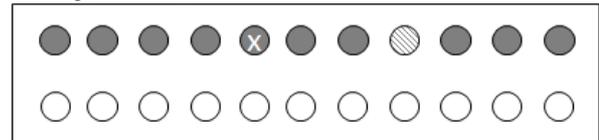
**Table 2.** Field condition damage class-based changes in the number of corn plants infested by *Spodoptera frugiperda* in Jeju, South Korea

Stage class	Osaeg	Mibaek 2ho	Chodang	Miheug	Chal-og 4ho	Allog-i	Total	Proportion (%)
No. corn plants examined	82	76	95	76	36	28	393	
Corns infested with larvae	23	17	57	19	14	10	140	35.6
Lightly damaged (Dead in early larvae)	15	11	25	3	3	3	60	42.9
Severely damaged (Dead in late larvae)	8	6	16	12	7	4	53	37.9
Corns found with pupae	0	0	16	4	4	3	27	19.3
% infested corn plants	28.0	22.4	60.0	25.0	38.9	35.7		

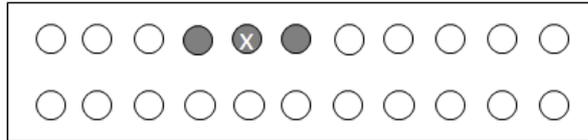
10 July, 12 DD, 1.3 instar



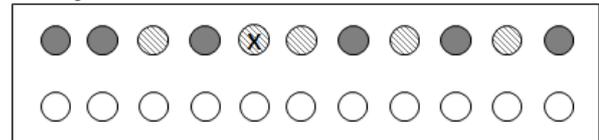
19 July, 100 DD, 4.2 instar



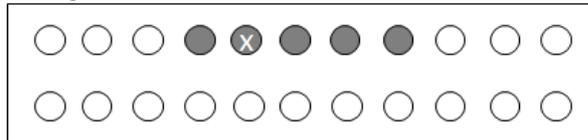
11 July, 22 DD, 1.5 instar



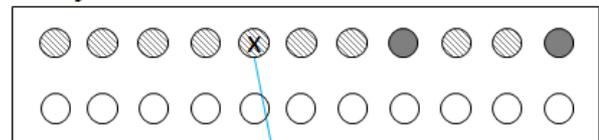
23 July, 149 DD, 5.7



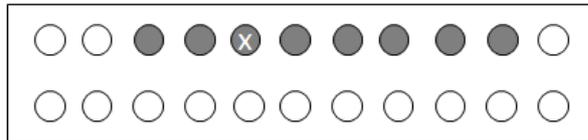
13 July, 45 DD, 2.1 instar



26 July, 175 DD, 6.4

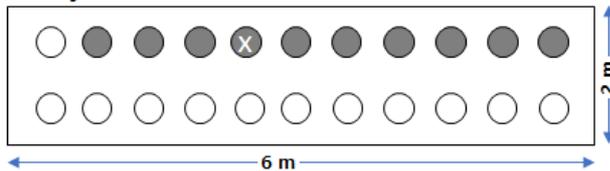


15 July, 60 DD, 2.6 instar



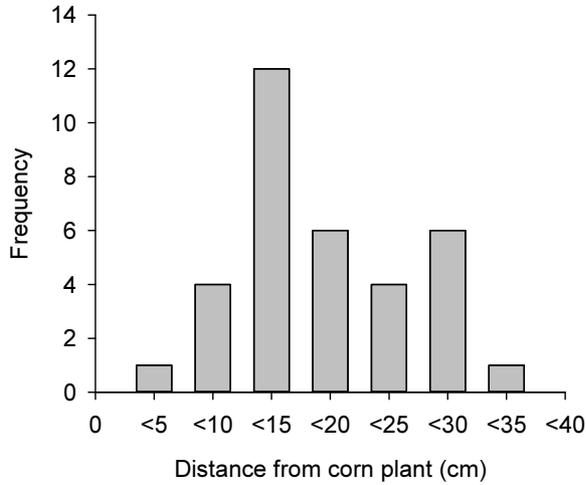
The position of pupae found in soil (★), examined on 3 Aug.

18 July, 86 DD, 3.6 instar

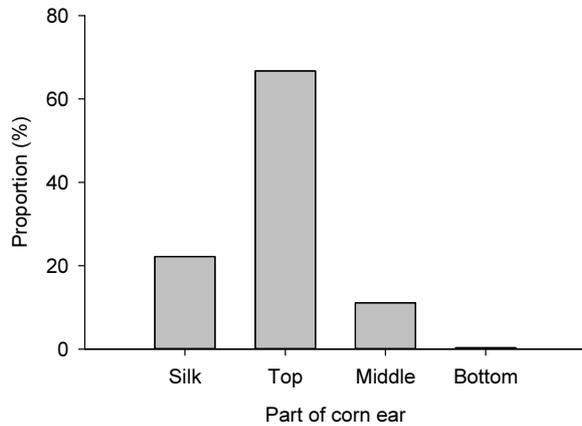


**Fig. 1.** Dispersion of hatched *Spodoptera frugiperda* larvae (single cohort of 150 larvae) in caged corn plants. The solid circles indicate the corn plants where the larvae were found. The circles with diagonal patterns indicate the corn plants without larvae but with damage symptoms. The degree-days based on 12.2°C are provided on each date with the physiological age of *S. frugiperda* larval instars and pupae. That is, 1.4 instar indicates the physiological age of the first instar with the completion of 40% for the first instar. The signs "6.C" and "P.2" indicate the completion of the sixth instar and the 20% completion of the pupal stage, respectively.

5.50;  $df = 1$ ;  $P < 0.05$ ), 찰옥4호( $\chi^2 = 25.82$ ;  $df = 1$ ;  $P < 0.01$ )과 같이 품종과 상관없이 7~8엽기 통계적으로 유의하게 높았다



**Fig. 2.** Frequency distribution of the distance between the position of the *Spodoptera frugiperda* pupae and the nearest corn plants.



**Fig. 3.** Proportion (%) of each corn ear part damaged by *Spodoptera frugiperda*.

( $\chi^2 = 10.48$ ;  $df = 1$ ;  $P < 0.01$ ).

열대거세미나방 유충이 발견된 옥수수를 추적 조사하여 피해도와 유충이 생존해 있는 옥수수 주의 비율을 추정한 결과는 Table 2와 같다. 총 조사주수 393주 중 140주에서 피해가 확인되어 피해주율은 35.6% 이었다. 초당옥수수의 피해주율은 60.0%로 가장 높았으며, 미백2호는 22.4%로 시험 품종 중 가장 낮은 피해주율을 보였다. 초기 정착한 140주에서 어린 유충기 모두 사망한 옥수수의 비율(피해 “경” 기준)은 42.9%, 후기 유충기 사망한 비율은 37.9%로 추정되었다. 최종 발견된 번데기를 기준으로 추정했을 때 까지 초기 정착한 유충 개체군이 번데기까지 완료된 옥수수의 비율은 19.3%가 되었다.

### 비래 후세대에 의한 피해특성

갓 부화한 유충 150마리를 망실 내 옥수수 1주에 접종하고 분산과정을 조사한 결과, 열대거세미나방 유충은 이랑(재식거리 약 30~40 cm)을 따라 분산 이동하는 특성을 보였다. 약 130 cm 떨어진 인접 이랑에는 전혀 발견되지 않았다. 2령 유충(적산온도를 이용하여 추정)에서 가장 많은 확산이 일어났으며, 4령으로 추정되는 시기에는 망실내 한 열의 11주 모두에서 유충이 발견되었다(Fig. 1, 19 July). 5령 후기에는 유충이 발견되지 않는 옥수수의 비율이 증가하기 시작하였다.

토양 속에서 총 34개의 번데기가 발견되어 접종한 부화유충의 22.7%가 생존한 것으로 나타났으며, 옥수수 1주당 평균 3.1개의 번데기가 발견되었다. 망실내에서 번데기가 발견된 위치로부터 옥수수까지의 최단거리의 평균은 16.6 cm 이었으며, Fig. 2와 같은 분포를 나타냈다. 반경 20 cm 이내에 약 68%의 번데기가 발견되었으며, 가장 멀리서 발견된 것은 32 cm 이었다.

망실내에서 후세대를 자연 발생시킨 후 조사한 암이삭 피해는 Fig. 3과 Table 3과 같다. 전체 표본 중 80%의 암이삭이 열대거세미나방에 의한 피해를 받았으며(Table 3), 암이삭 수염을

**Table 3.** Distribution pattern of corn ear damage caused by *Spodoptera frugiperda* larvae

Damaged part <sup>1</sup>	Infested ears	Larvae found		% damaged area on kernel
		No. larvae per ear	Maximum	
Silk	7	0.0	0	-
Top of ear	18	1.3	4.0	8.9
Middle of ear	3	1.0	1.0	12.7
Bottom of ear	0	0	0	-
Sum or mean	28	1.3		9.4

The number of samples were 35 corn ears.

<sup>1</sup>See Supp. III (available online) : Top of ear (Fig. S7), Middle of ear (Fig. S8), and Bottom of ear (Fig. S11).

가해하는 경우 종자에 피해가 나타나지 않았기 때문에 실제 종실 피해율은 60%가 되었다. 옥수수 식물체 상단부(Top) 피해율이 가장 높았으며(Fig. 3), 최대 4마리의 유충이 발견되었다. 옥수수 종실에 피해를 받은 면적은 평균 9.4%가 되었다.

## 고찰

열대거세미나방은 기주식물의 선호도에 따라 옥수수 선호형과 목초(벼) 선호형 등 두 유전자형이 존재하는 것으로 보고되었는데(Nagoshi et al., 2017), 국내에 비래한 계통은 옥수수 선호형으로 추정된다(Lee et al., 2020). 초기 비래 개체군에서 태어난 유충은 옥수수 생육단계별로 볼 때 7~8엽기에 유의하게 많이 발견되었다. 처음 포장에서 2~3령의 유충이 발견되었기 때문에 역으로 산란부터 발육기간을 추적하면 7~8엽기 보다 훨씬 이전의 옥수수 발육단계에 산란이 일어났고, 따라서 압컷성충은 7~8엽기 보다 더 어린 옥수수를 산란처로 선택했을 것이다. 처음 조사시 3~4엽기 상태이었던 옥수수에서 유충이 적게 발견되었던 이유는 성충이 산란하던 시점에는 이들 옥수수가 너무 어려서 산란이 기피되었을지도 모른다. 열대거세미나방이 주로 정착하는 옥수수 생육단계는 3엽기(V3)였다는 외국의 사례들(FAO/CABI, 2019)은 이런 해석을 뒷받침하고 있다. 또한 열대거세미나방 유충의 섭식량은 옥수수 영양생장 초기 단계에서 영양생장 후기 보다 24% 낮은 것으로 알려져 있다(Barfield and Ashley, 1987). 다만, 옥수수의 발육단계에 따른 열대거세미나방의 산란 선호성은 향후 정량적인 연구를 통하여 더 구명되어야 할 것이다.

열대거세미나방이 처음 정착한 옥수수 중에서 최종 19.3%에서 번데기가 발견되었는데, 이것으로 초기 정착 개체군의 상대적인 발육 성공율을 추정할 수 있을 것으로 생각된다. 옥수수 피해 정도로 추정할 어린 유충기 사망한 옥수수 주의 비율은 42.9%로 높았다. 실제 초기에는 주당 1마리 이상이 정착했을 것이므로 어린 유충의 사망률은 훨씬 높은 것으로 추정된다. 노숙 유충기까지 생존한 것으로 추정되는 옥수수 주의 비율이 37.9%로 실제 옥수수 수량에 영향을 미칠 수 있는 피해로 생각할 수 있다.

옥수수 암이삭에 대한 직접적 피해는 비래 정착 개체군의 경우 포장 전체에서 2~3개 정도 보일만큼 미미하였다. 옥수수에서 열대거세미나방에 의한 수량 피해는 옥수수의 영양생장단계에 따라 크게 다르게 나타나는데, 초기(VE~V6, 즉 발아후~6엽기)에는 피해가 적고, 후기(V7~VT, 즉 7엽기~이삭출현기)에는 피해가 가장 많은 것으로 알려져 있다(Marenco et al., 1992). 옥수수 생육후기에 열대거세미나방 유충이 주당 0.2~

0.8마리일 경우에 5~29%의 수량이 감소했다는 선행연구도 있다(Marenco et al., 1992). 초기 비래 번식 개체군은 암이삭이 발달하는 시기 이전에 번데기가 되기 때문에 암이삭 피해는 적었던 것으로 생각된다. 물론 비래 개체군에 의한 암이삭의 피해 정도는 지역별 옥수수 작형에 따라 달라질 수 있으므로 이 부분에 대한 검토가 필요해 보인다. 비래 후세대에 의한 옥수수의 피해는 암이삭에 집중되어 나타났으며 종실까지 피해를 받은 비율은 60%로 매우 높았다. 따라서 2기작 옥수수를 재배하는 경우 후속 세대에 의하여 암이삭 피해는 크게 증가할 것으로 생각된다.

열대거세미나방은 동종포식성이 강하기 때문에 최종적으로 옥수수 한 포기 당 유충밀도는 1~2마리 수준으로 알려져 있다(Capinera, 2017). 이러한 동종포식을 피하기 위하여 어린 유충이 분산하는 것으로 해석되며, 본 연구에서는 한 개의 난괴에서 부화한 유충(150 마리)이 11주까지 분산하여 피해를 줄 수 있는 것으로 나타났다(망실내의 경우). 노지포장에서는 동일한 이랑에서 9주까지 연속하여 피해가 나타나는 것이 관찰되었다(보충자료 Supp. I, Fig. S1, online available). 망실 내 시험에서 인접한 이랑으로 유충의 분산이 일어나지 않았는데, 이것은 이랑 간에 옥수수의 잎 서로 겹쳐 연결되지 않았기 때문으로 보인다. 노지에서 이랑과 이랑사이에서 잎이 서로 겹쳐지지 않았으나, 유충의 분산이 바람의 영향을 받을 수도 있기 때문에(Reviewed in FAO/CABI, 2019; Capinera, 2017) 인접한 이랑을 따라 동시에 나타난 피해주는 동일 난괴로부터 분산한 것일 수도 있다(보충자료 Supp. I, Fig. S1, online available). 유충의 분산은 대부분 2령기 동안 일어난 것으로 조사되었고, 3령기나 4령 발생기에도 새롭게 피해가 나타난 옥수수가 발견되었다. 이런 현상은 3~4령기에 분산했다고 보기 보다는 2령기 때 분산한 개체가 은신하고 있어서 늦게 발견된 것으로 해석하는 것이 더 논리적인 것으로 보인다. 즉, 분산후 유충은 윤생체 속으로 숨어들어가기 때문에(FAO/CABI, 2019; Capinera, 2017) 3~4령으로 자라서 또 다시 분산한다는 것은 이해하기 어렵다.

노지포장에서는 옥수수 1주당 1개 이상의 번데기가 발견되는 경우가 없었으나, 망실에서는 옥수수 1주당 평균 3.3개의 번데기가 발견되었는데, 이것은 옥수수의 암이삭이 생기게 되면서 열대거세미나방 유충이 암이삭을 먹이로 이용할 수 있어서 동종포식율이 낮아졌던 것으로 보인다. 암이삭의 한 부분(즉 상단부 Supp. III, S7)에서 동종포식 없이 최대 4마리가 발견된 경우가 있었는데, 이것은 종실의 영양분(Pannuti et al., 2015)이 원인으로 작용했을 수 있다. 따라서 이럴 경우 주변 토양에서 여러 개의 번데기가 발견될 수 있었을 것이다. 또한 노지에서는 피해주로 부터 20 cm 이내 범위에서 번데기가 발견되었으나, 망실 옥수수에서는 최대 32 cm 거리에서 번데기가 발견

된 것은 옥수수가 성장함에 따라 수관이 넓어졌기 때문인 것으로 생각된다.

열대거세미나방 유충은 암이삭을 뚫고 들어갈 때 수염을 타고 침입하는 유럽조명나방(*Helicoverpa zea*)과는 달리 암이삭 측면 껍질에 구멍을 내고 식입하는 것으로 알려져 있다 (Reviewed in Capinera, 2017). 어린 유충이 수염으로 침입하거나 중간이상 자란 유충이 암이삭 하단부 자루(shank)로 침입한다는 설도 있으나(FAO/CABI, 2019), 본 조사에서는 상단부나 중간부분으로 침입한 것만 관찰되었다. 암이삭 하단부에서 발견된 종은 주로 줄기 속으로 들어가는 조명나방이었다(보충자료 Supp. III, Fig. S11). 열대거세미나방은 처음에는 암이삭 수염에 정착하는 경향이 있으나 수염이 유충의 성장에 적합하지 않고, 솟이삭을 먹기는 하지만 발육에는 적당하지 않은 것으로 알려져 있다(Pannuti et al., 2015). 솟이삭의 피해는 꽃가루 수분을 방해하여 수량에 영향을 미치는 간접적 피해를 주는 것으로 보인다.

서론에서 언급했듯이 옥수수에서 열대거세미나방 피해로 인한 수량손실은 매우 큰 것으로 알려져 있다. 한편, 아프리카 소농규모 대상 조사에서 열대거세미나방 피해율은 32 ~ 48%로 다른 지역(대륙)과 비슷하나 수량 감소율은 실제 11.57%로 낮았다는 것을 근거로 열대거세미나방의 피해가 과대평가되어 있을 수 있다고 주장도 제기되고 있다(Baudron et al., 2019). 본 조사에서 옥수수 재배 초기 일시적인 비재로 35.6% 피해주율이 나타났으며, 그 중 19.3%가 심한 피해를 받았다는 것은 열대거세미나방에 의한 피해 유발 잠재력을 보여주는 것으로 보인다. 실제 암이삭에서 종실부위까지 피해가 60%에 달하였으므로 기존에 보고된 피해 자료가 과대평가된 것 같지는 않다. 미국에서 열대거세미나방의 북방한계 지역은 기존 북위 27° ~ 28°로 보고되었으나(Waddill et al., 1982), 2006 ~ 2016년 플로리다 42개 지점의 기후적합성을 평가한 결과 28° ~ 29°로 북상한 상태로 나타났다(Garcia et al., 2017). 기후변화로 온난화가 지속되고 있기 때문에 우리나라에서도 피해위험이 증가할 것으로 예상되며, 본 결과는 열대거세미나방의 피해조사와 해석 및 향후 연구에 기초를 제공할 수 있을 것이다.

## Acknowledgements

This study was carried out with the partial support of the Agenda Project (PJ01500905), RDA, Republic of Korea. We are grateful to Sustainable Agriculture Research Institute (SARI) in Jeju National University for providing the experimental facilities.

## Supplementary Information

Supplementary data are available at Korean Journal of Applied Entomology online (<http://www.entomology2.or.kr>).

## 저자 직책 & 역할

허진우 : 제주대, 석과과정; 포장 실험수행  
김수빈 : 제주대, 박사연구원; 포장조사 및 피해자료 분석  
김동순 : 제주대, 교수; 실험설계, 자료분석, 원고작성

모든 저자는 원고를 읽고 투고에 동의하였음.

## Literature Cited

- Barfield, C.S., Ashley, T.R., 1987. Effects of corn phenology and temperature on the life cycle of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Fla. Entomol. 70, 110-116.
- Baudron, F., Zaman-Allah, M.A., Chaipa, I., Chari, N., Chinwada, P., 2019. Understanding the factors influencing fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) damage in African smallholder maize fields and quantifying its impact on yield. A case study in Eastern Zimbabwe. Crop Prot. 120, 141-150.
- Capinera, J.L., 2017. Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae). Publication No. EENY-98, University of Florida, USDA. [http://entnemdept.ufl.edu/creatures/field/fall\\_armyworm.htm](http://entnemdept.ufl.edu/creatures/field/fall_armyworm.htm) (accessed on 20 February, 2021).
- Casmuz Augusto, J.M.L., Socías, M.G., Murúa, M.G., Prieto, S., Medina, S., 2010. Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). J. Ar. Entomol. Soc. 69, 209-231.
- Day, R., Abrahams, P., Bateman, M., Beale, T., Clotey, V., Cock, M., Colmenarez, Y., Corniani, N., Early, R., Godwin, J., Gomez, J., Moreno, P.G., Murphy, S.T., Oppong-Mensah, B., Phiri, N., Pratt, C., Silvestri, S., Witt, A., 2017. Fall armyworm: impacts and implications for Africa. Outlooks on Pest Manag. 28, 196-201.
- FAO/CABI, 2019. Community-based fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) Monitoring, early warning and management. Training of Trainers Manual, First Edition. Digitized by Google. p. 112.
- Garcia, A.G., Godoy, W.A.C., Thomas, J.M.G., Nagoshi, R.N., Meagher, R.L., 2017. Delimiting strategic zones for the development of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) on corn in the State of Florida. J. Econ. Entomol. 111, 120-126.
- Kebede, M., Shimalis, T., 2019. Out-break, distribution and management of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith in Africa:

- The status and prospects. *Am. J. Agric. Res.* 4, 43.
- Lee, G.-S., Seo, B.Y., Lee, J., Kim, H., Song, J.H., Lee, W., 2020. First report of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera, Noctuidae), a new migratory pest in Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 59, 73-78.
- Luginbill, P., 1928. The fall armyworm, USDA Tech. Bull. 34, 1-91.
- Marenco, R.J., Foster, R.E., Sanchez, C.A., 1992. Sweet corn response to fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) damage during vegetative growth. *J. Econ. Entomol.* 85, 1285-1292.
- Mitchell, E.R., McNeil, J.N., Westbrook, J.K., Silvain, J.F., Lalanne-Cassou, B., Chalfant, R.B., Pair, S.D., Waddill, V.H., Sotomayor-Rios, A., Proshold, F.I., 1991. Seasonal periodicity of fall armyworm, (Lepidoptera: Noctuidae) in the Caribbean Basin and northward to Canada. *J. Entomol. Sci.* 26, 39-50.
- Murúa, G., Molina-Ochoa, J., Coviella, C., 2006. Population dynamics of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and its parasitoids in northwestern Argentina. *Fl. Entomol.* 89, 175-182.
- Nagoshi, R.N., Koffi, D., Agboka, K., Tounou, K.A., Banerjee, R., Jurat-Fuentes, J.L., Meagher, R.L. 2017. Comparative molecular analyses of invasive fall armyworm in Togo reveal strong similarities to populations from the eastern United States and the Greater Antilles. *PLoS ONE* 12, e0181982.
- Pannuti, L.E.R., Baldin, E.L.L., Hunt, T.E., Paula-Moraes, S.V., 2015. On-plant larval movement and feeding behavior of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) on reproductive corn stages. *Environ. Entomol.* 45, 192-200.
- Waddill, V.H., Mitchell, E.R., Denton, W.H., Poe, S.L., Schuster, D.J., 1982. Seasonal abundance of fall armyworm and velvetbean caterpillar (Lepidoptera: Noctuidae) at four locations in Florida. *Fla. Entomol.* 65, 350-354.
- Westbrook, J.K., Nagoshi, R.N., Meagher, R.L., Fleischer, S.J., Jairam, S., 2016. Modeling seasonal migration of fall armyworm moths. *Int. J. Biometeorol.* 60, 255-267.
- Wyckhuys, K.A.G., O'Neil, R.J., 2006. Population dynamics of *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae) and associated arthropod natural enemies in Honduran subsistence maize. *Crop Prot.* 25, 1180-1190.