

# 인공사료로 사육한 뒷흰가는줄무늬밤나방(*Mythimna loreyi*) (밤나방과)의 발육과 생식 특성

김은영 · 김이현 · 정진교\*

국립식량과학원 재배환경과

## Developmental and Reproductive Characteristics of *Mythimna loreyi* (Noctuidae) Reared on Artificial Diets

Eun Young Kim, I Hyeon Kim and Jin Kyo Jung\*

Crop Cultivation and Environment Research Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Korea

**ABSTRACT:** The two previously developed artificial diets (N4 and N6) used for rearing *Spodoptera frugiperda* (Noctuidae) larvae, were selected as highly-fit ones for rearing *Mythimna loreyi* larvae. Almost all biological characteristics were not significantly different between the colonies reared on the two diets at 25°C and 15:9 h (light:dark) photoperiod. The developmental periods were 4.9–5.2 days for eggs, and 22.3–23.2 days for larvae. The pupal period and weight were different between the sexes in each diet colony. The pupal periods in females and males showed 12.6–12.8 days and 14.1–14.5 days, respectively. The pupal weights were ca. 345 mg for females and ca. 380 mg for males. The pupation and emergence rates were ca. 91–94%, and ca. 91–95%, respectively, without significant differences between the two colonies. The pre-oviposition and oviposition periods were 3.4 days and 4.7–4.8 days, respectively. The adult longevity was 8.2 days in females and 10.3–12.4 days in males. Total offsprings produced were found to be 724–847 larvae on an average with ca. 1,400 maximum larvae. In the life table analysis, the intrinsic rates of increases (0.1181 for N4 and 0.1253 for N6) were not significantly different between the two colonies. Individual differences in the larval instar number 5 and 6 were found within a diet colony. The ratios of 5-instar larvae were ca. 22% in N4 colony and ca. 7% in N6 colony. The larval period of 6-instar larvae was longer than that of 5-instar larvae. Width of head capsule in larvae varied from ca. 309 µm for 1st instar to ca. 3,065 µm for 6th instar. Body lengths measured from ca. 2.0 mm for 1st instar to ca. 29.1 mm for 6th instar. Larvae of *M. loreyi* and *M. separata* were found at the same time in a maize field during June and July, 2020.

**Key words:** *Mythimna loreyi*, Artificial diet, Development, Reproduction, Larval instar number

**조 록:** 열대저세미나방(*Spodoptera frugiperda*)(밤나방과) 유충 사육을 위해 이전에 개발된 두 인공사료(N4와 N6)가 뒷흰가는줄무늬밤나방(*Mythimna loreyi*)(밤나방과) 사육에도 적합하였다. 실험실 조건(25°C, 15:9 h(명:암) 광주기)에서 알기간은 4.9–5.2일, 유충기간은 22.3–23.2일로 두 사료 집단 사이에 큰 차이가 없었다. 한 사료 집단 내에서 번데기 기간은 암컷이 약 12.6–12.8일, 수컷이 14.1–14.5일이었고, 번데기 무게는 암컷이 약 345 mg, 수컷이 약 380 mg로, 암수 사이에 유의한 차이를 보였다. 유충의 용화율과 용의 우화율은 각각 91–94%와 91–95%로 두 사료집단 사이의 유의한 차이를 보이지 않았다. 성충 산란전 기간은 3.4일, 산란기간은 약 4.7–4.8일 이었다. 성충 수명은 암컷이 8.2일, 수컷이 10.3–12.4일로 수컷의 수명이 길었다. 암컷당 부화한 총 자손 수는 724–847마리였고, 최대 약 1,400마리였다. 생명표 분석에서 개체군 내적자연증가율(N4 집단 0.1181, N6 집단 0.1253)은 두 사료집단 사이에 유의한 차이가 없었다. 한 사료집단 내에서 유충 영기가 5령 혹은 6령까지 발육하는 개체변이가 발견되었다. N4 사료집단의 5령 개체 비율(약 22%)은 N6 사료집단의 5령 개체비율(약 7%)보다 높았다. 6령 개체들의 평균 유충기간이 5령 개체들보다 더 길었다. 유충의 영기별 두께는 1령의 약 308 µm부터 6령의 약 3,065 µm까지, 몸길이는 1령의 약 2.0 mm부터 6령의 약 29.1 mm까지 측정되었다. 2020년 6–7월 중에 옥수수 포장에서 뒷흰가는줄무늬밤나방 유충이 동속종인 멸강나방(*M. separata*) 유충과 함께 발견되었다.

**검색어:** 뒷흰가는줄무늬밤나방, 인공사료, 발육, 생식, 유충 영기수

\*Corresponding author: [jungjk@korea.kr](mailto:jungjk@korea.kr)

Received April 5 2022; Revised June 2 2022

Accepted June 17 2022

뿔흰가는줄무늬밤나방(*Mythimna loreyi*)(나비목: 밤나방과)은 벼(*Oryza sativa*)와 옥수수(*Zea mays*), 수수(*Sorghum bicolor*), 사탕수수(*Saccharum* sp.), 수단그라스(*Sorghum × drummondii*), 이탈리아 라이그라스(*Lolium multiflorum*) 등의 벼과(Poaceae) 작물 잎을 주로 가해하는 해충으로 알려져 있다(El-Sherif, 1972; Hirai and Santa, 1983; Guo et al., 2003; Gözüaçık, 2016; Huang et al., 2018; Kim et al., 2020). 이 곤충은 아시아, 유럽, 아프리카, 호주 등 구대륙 대부분에서 발견되고 있고(CABI website, N.D.), 국내에서는 1982년 수원 지역에서 채집된 성충으로 처음 기록되었다(Ahn et al., 1994). 이후 이 곤충에 대한 국내 연구는 전혀 없었는데, 2019년 국내로의 침입이 예상되었던 열대 거세미나방(*Spodoptera frugiperda*)(밤나방과)(Lee et al., 2020) 성충을 성페로몬트랩을 이용하여 탐지하던 중 뿔흰가는줄무늬 밤나방 상당수가 같은 트랩에 5월부터 11월까지 포획되는 것이 발견되었다(Jung et al., 2020b; Seo et al., 2020a). 이는 뿔흰가는줄무늬밤나방의 성페로몬 구성성분인 (Z)-9-tetradecenyl acetate와 (Z)-7-dodecenyl acetate 혹은 (Z)-11-hexadecenyl acetate (Takahashi et al., 1983; Ho et al., 2002)가 열대 거세미나방 성페로몬 성분 일부와 동일하기 때문으로 추정되었다(Jung et al., 2020b). 같은 해 9월 중하순에 수원지역의 생식생장이 거의 완료된 옥수수에서 뿔흰가는줄무늬밤나방 노숙 유충이 채집되었고(Jung et al., 2020b), 2020년 6-7월에 같은 지역에서 어린 옥수수를 가해하는 유충이 채집되면서(Table 9), 국내에서 식물체 가해가 처음 확인되었다. 뿔흰가는줄무늬 밤나방의 월동에 관해서는, 일본 히로시마현 후쿠시마시(34°31'N 133°23'E)에서 겨울철(11월~3월)에 옥수수과 수수 엽초 안쪽에서 4-6령 유충들을 발견한 것을 토대로 이 곤충이 유충으로 월동할 것으로 추정된 보고(Hirai and Santa, 1983)가 있고, 중국 허난성 뤼허시(33°42'N 113°58'E)에서 월동실험에 실패한 것을 근거로 그 지역에서 월동이 불가능할 것으로 추정된 보고(Guo et al., 2003) 및 북위 22-24°에 걸쳐있는 중국 광시성에서 12-2월 중에 월동중인 유충과 번데기를 발견한 보고(Huang et al., 2018)가 있다. 국내에서의 월동 여부는 아직 밝혀지지 않았다. 한편, 국내 최북단 서쪽 끝 지역인 백령도에서 2020년 6월 초순, 하루 안에 성페로몬트랩에의 성충 포획 수가 급격하게 증가한 결과(Jung, J.K., unpublished observation)에 근거하여 월동 여부와는 별개로 매년 장거리 비행을 통해 국내로 침입할 수 있다고 추정되고 있다. 이와 관련하여 뿔흰가는줄무늬밤나방 성충이 유럽에서 장거리 이동 곤충으로 알려져 있고(Sparks et al., 2007), 장거리 이동성 해충으로 증명된 같은 속의 멸강나방(*M. separata*)(Li et al., 1964)의 비행능력(실험실 조건에서 약 27 km/12시간)(Jiang et al., 2000)과 유사하게 12시간 동안 약

32 km를 비행할 수 있는 비행력을 갖고 있어 장거리 비행을 할 것으로 추정된 보고(Qin et al., 2018)가 있다.

Ahn et al. (1994)의 종 동정 기록에 근거하여 국내에서 뿔흰가는줄무늬밤나방이 과거부터 발생되어 왔었다고 추정되고 있으나, 최근까지 이 해충의 위험성이 인식될 정도의 피해는 나타나지 않았던 것으로 보인다. 여기에는 멸강나방 유충과 혼재하여 발생하면서 두 종간 외부 형태 구분이 쉽지 않아(Table 9; Kim et al., 2020), 피해 우점종이 정확하게 확인되지 않았을 가능성도 있다. 뿔흰가는줄무늬밤나방은 수원 지방에서 연중 4세대 발생할 것으로 추정되었고(Jung et al., 2020b) 비래 가능성이 있어, 침입 밀도와 국내에서의 개체군 증가 수준에 따라 특정 시기에 벼과작물에 큰 피해를 입힐 수 있는 해충으로 등장할 수도 있다. 이에 이 해충의 위험도를 평가할 수 있는 기초 생물 특성과 개체군 변동 예측, 성충 탐지수단 개발 등의 연구를 위해 실험곤충 공급 목적으로 실내에서 대량 사육할 수 있는 기술이 요구된다(Cohen, 2015). 실내 사육기술에는 세대를 거듭하여 사육이 가능한 인공 사료와 전 발육태를 효율적으로 관리할 인공사육법에 대한 정보가 필요하다.

뿔흰가는줄무늬밤나방 먹이식물로 옥수수의 신선한 잎을 잘라 유충에 제공하면서 여러 온도조건에서 발육과 생식 특성을 연구한 결과가 일본 개체군(Hirai and Santa, 1983)과 이집트 개체군(El-Sherif, 1972) 및 중국 개체군(Qin et al., 2017)에서 보고되었다. 인공사료에 대해서는 일본에서 미성숙태와 성충의 발육특성을 검토하면서 사료를 개발한 보고가 있다(Hirai and Santa, 1983).

본 연구는 뿔흰가는줄무늬밤나방의 인공사육법 개발과 기초 생물정보를 수집할 목적으로 수행되었다. 열대 거세미나방의 인공사료를 개발하는 과정(Jung et al., 2020a)에서 검토된 사료들을 이용하여 발육과 생식특성을 조사하면서 뿔흰가는줄무늬밤나방에 적합한 사료를 선발하였고, 그 결과를 앞의 선행연구 결과들과 비교하였다. 덧붙여 유충 영기별 두폭과 몸길이 및 2020년 옥수수 포장에서 유충을 조사한 결과를 기술하였다.

## 재료 및 방법

### 실험곤충과 인공사육법

2019년 9월 중하순에 경기도 수원시 소재의 국립식량과학원 중부작물부(37°16'N 126°59'E) 온실 내 생식생장이 거의 완료된 옥수수에서 뿔흰가는줄무늬밤나방 노숙유충 3마리를 채집하였다. 이 유충들을 실내에서 옥수수 잎으로 사육하여 암컷

성충 1마리를 얻었다. 비슷한 시기에 열대거세미나방 성페로몬 트랩에 포획된 뒷흰가는줄무늬밤나방 수컷 성충(Jung et al., 2020b)들을 실내로 들여와 앞의 암컷과 짝짓기 시킨 후 다음 세대(G1 세대) 알을 얻었고, 열대거세미나방 사료로 개발하던 사료들(Jung et al., 2020a)로 유충을 사육하며 실내 실험집단을 형성하였다.

알에서 부화한 유충(G1 세대)은 뚜껑에 철망(200 mesh)을 댄 공기구멍(지름 115 mm)이 있는 직사각 플라스틱통(가로 232 mm, 세로 165 mm, 높이 95 mm)에 여러 인공사료를 같이 넣고 집단으로 사육하였다. 이후 전용 상태로 전환된 유충들은 골라 옮겨 놓은 다른 용기에서 혹은 유충 사육통 안에 접어붙여 둔 키친타올 안에서 용화하게 하였다. 번데기는 수거하여 성충 산란용 투명 아크릴상자(가로 260 mm, 세로 310 mm, 높이 310 mm)에 넣고 우화 및 교미시켰다. 성충 먹이로는 10% 설탕물과 증류수를 삼각플라스크에 넣어 솜마개를 통해 공급하였다. 알이 좁은 틈 사이에 길게 알몸치로 산란하는 습성을 이용하여, 두 겹 키친타올을 산란상자 안쪽 천장에 매달아 두 겹 키친타올 사이에 산란하게 유도하여 알을 얻었다. 실내 유지집단은 곤충 사육실[15:9 h (light:dark) photoperiod, 25 ± 2°C, 50 ± 10% RH]에서 사육하였다.

## 발육 및 생식 특성 조사

본 연구에서 검토된 뒷흰가는줄무늬밤나방 유충 인공사료는 시판되는 사료(F9772, Frontier Agricultural Science, Newark, USA)(C 사료)와 열대거세미나방 인공사료 개발과정에서 시도된 사료들(Jung et al., 2020a) 중 N2, N4, N6 사료였으며, 사료들의 제조법은 Jung et al. (2020a)을 따랐다.

첫 번째로 4종류 인공사료(C, N2, N4, N6)를 각각 이용하여 G2 세대 유충을 개체별로 사육하면서 유충과 번데기의 발육특성과 성충의 생식 특성을 검토하였다. 사료별로 두 종류의 사육 용기로 사육하였는데, 사육용기 하나는 소형 플라스틱 사육컵(부피 26 mL)(Frontier Agricultural Science, Newark, USA)이고 다른 것은 플라스틱 페트리접시(지름 50 mm, 높이 10 mm, 부피 19.6 mL)였다. N6 사료는 페트리접시만을 이용하였다. 용화일, 우화일을 조사하여 용화율과 우화율 및 최종생존율을 계산하였다. 이때 사료별로 처리한 유충들을 무작위로 나누어 3개의 반복집단을 만들었고, 각 집단의 생존율을 반복값으로 하여 평균생존율을 구했다. 번데기 무게는 우화 후 24시간 이내에 측정하였고, 생식공의 위치로 암, 수를 구분하였다. 이 과정에서 우화한 개체들만으로 암수별 번데기 무게와 유충 및 번데기 기간을 구했다. 이 자료는 전체 개체수를 반복으로 하였다.

교미실험을 위해 각 사료에서 같은 날 우화한 암수 1쌍을 플라스틱 사각통(가로 63 mm, 세로 63 mm, 높이 98 mm, 부피 370 mL)(SPL Life sciences, Phoccheon, Korea)에 넣고, 10% 설탕물과 증류수를 공급하면서 사망할 때까지 사육하였다. 키친타올을 사각통 안쪽 벽에 붙여 산란하도록 하였고, 산란된 키친 타올은 매일 교체하였다. 수거한 키친타올을 페트리접시에 넣어 사육하면서 부화한 유충 수와 미부화한 알 수를 조사하였다. 이를 토대로 교미율, 일별 산란수, 산란전 기간, 산란기간, 부화율, 알 기간을 계산하였다. 부화율과 알 기간은 각 교미쌍별로 평균값을 계산한 후, 다시 이들의 평균값을 계산하였다. 모든 실험은 광주조건 15:9 h (명:암), 온도 25 ± 1°C 및 상대습도 60 ± 5% 조건의 인큐베이터(Dasol, Hwaseong, Korea)에서 진행하였다.

두 번째로 위의 실험에서 선발된 N4와 N6 사료의 뒷흰가는 줄무늬밤나방 발육 및 생식 적합성 비교 실험을 진행하였다. 먼저 각 사료로 사육된 G3 세대 집단에서 당일 우화한 성충들의 쌍을 만들어 자체 제작한 교미통(지름 105 mm, 높이 165 mm, 부피 1,380 mL)에 넣은 후 10% 설탕물과 증류수를 공급하며 첫 번째 실험과 동일한 방법으로 성충의 생식 특성을 조사하였다. 생식 특성 조사 실험 과정에서 얻은 각 성충의 자손인 G4 세대 알에서 부화한 유충 일부를 개체별로 페트리접시를 이용하여 사육하며 발육 특성을 조사하였다. 조사 내용은 위의 4종류 사료 실험과 동일하였고, 유충 발육에서 허물을 벗은 날을 기준으로 유충 영기를 구분하여 영기별 생존율과 발육기간을 구했다. G4 세대 성충의 생식특성은 조사하지 않았다. 실험 환경조건은 앞의 실험과 동일하였다.

## 생명표 작성

N4와 N6 사료가 뒷흰가는줄무늬밤나방의 생식 적응도에 미치는 영향을 비교하기 위해, G4 세대 미성숙태의 발육기간 및 생존율과 G3 세대 성충의 성충 수명과 자손 생성수를 이용하여 생명표를 작성하였다. 생명표 작성은 Jandric et al. (2010), Birch (1948), Southwood and Henderson (2000)을 참고하여 Seo et al. (2020b)에 기술된 방법에 따라 세대증가율( $R_0$ ), 평균 세대기간( $T$ ), 내적자연증가율( $r_m$ ), 기간증가율( $\lambda$ ) 및 개체군 배가기간( $DT$ )을 계산하였다. 이 때 성충의 성비는 임의로 0.5로 설정하였다. 알과 유충, 용의 발육기간과 사망률 자료는 평균값을 이용하여 모든 성충에 공통적으로 적용하였다. 성충은 자손을 생산한 교미쌍 자료만 이용하였다. 성충 개체별로 생명표를 작성하였는데, 미성숙태의 생존율에 성비를 곱해 성충 생존기간 동안의 연령별 생존율( $l_x$ )을 작성하였다. 이  $l_x$ 값을 관찰된 연령별로 생산한 자손수( $b_x$ )에 곱하고( $l_x b_x$ ) 이들 값들을

합쳐 개체별 세대증가율( $R_0$ )을 얻었다. 연령별로 아래 Euler 공식(a는 연령)에서 구해진 값들을 합해 1에 근접(소수점 10자리 까지 계산)하도록 하여 내적자연증가율( $r_m$ )을 얻었다.

$$\sum_{a=0}^{death} [e^{(-r_m \times a)} lxbx] = 1 \text{ [Euler equation]}$$

평균세대기간(T)은  $\text{Log}_e(R_0)$ 를  $r_m$ 으로 나누어 구했다. 기간증가율( $\lambda$ )은  $e^{r_m}$ 으로 구했고, 개체군 배가기간(DT)은  $\text{Log}_e(2)$ 을  $r_m$ 으로 나누어 구했다.

### 유충의 두폭과 몸길이 조사

N6 사료를 이용해 실내에서 누대사육하던(10세대 이상 경과) 유충을 각 영기별로 나이를 구분하지 않고 약 30마리씩 임의로 골라내었다. 이들 유충을  $-20^\circ\text{C}$  냉동실에 2시간 이상 얼린 후, 실체현미경(Leica, Wetzlar, Germany)에서 Leica Application Suite X 프로그램으로 두폭을 측정하였고, 실체현미경과 디지털 버어니어캘리퍼를 이용하여 몸길이를 측정하였다.

### 야외에서 유충 채집 및 피해 조사

2020년 6월과 7월 사이에 수원(광평옥, 사일리지용 옥수수)과 연천(품종 미확인, 찰옥수수)의 옥수수 포장에서 옥수수 잎에 피해를 주는 유충을 채집하였다. 6월 26일에는 600주 이상을 계획하여 조사하였으나, 다른 날 조사는 피해 받은 주만을 선택하여 관찰하였다. 채집된 유충은 실내로 들여와 옥수수 잎을 먹이면서 성충으로 우화할 때까지 두었고, 우화한 성충으로 종을 확인하였다.

### 통계 처리

처리별 평균값들 서열 평가는 SAS/STAT의 PROC TTEST 프로그램으로 *t*-test를, PROC GLM 프로그램으로 Tukey 검정으로 각각 95% 신뢰수준에서 분석하여 수행하였다(SAS Ver. 9.4)(SAS Institute Inc., Cary, USA)].

각 사료에서 우화한 성충의 생식 실험에서 교미율은 모두 SAS/STAT의 PROC FREQ 프로그램으로 95% 신뢰수준에서 카이제곱 검정을 이용하여 사료 사이에 유의한 차이가 있는지 검정하였다(SAS Ver. 9.4)(SAS Institute Inc., Cary, USA)].

## 결과

### 네 종류 인공사료에서의 G2 세대의 발육과 생식 특성

용화율은 페트리접시에서 N6 사료로 사육한 집단이 약 87%로 가장 높았고, 사육컵의 N4 사료집단이 51%로 가장 낮았다( $F_{6,14} = 9.17, P = 0.0003$ )(Table 1). 번데기 생존율은 79~100% 사이로 처리 사이에 유의한 차이는 없었다( $F_{6,14} = 1.47, P = 0.2591$ ). 최종생존율은 페트리접시에서 사육한 N4와 N6 집단에서 80% 이상으로 가장 높았고, 사육컵의 N4 사료집단이 가장 낮았다( $F_{6,14} = 4.73, P = 0.0078$ ). 암컷 유충 기간은 사육컵에서 사육한 N4 집단이 약 21일로 가장 짧았고, 사육컵의 N2 사료집단이 34일로 가장 길었다( $F_{6,90} = 13.30, P < 0.0001$ ). 수컷 유충 기간은 페트리접시의 N2와 N6 집단과 사육컵에서 사육한 N4 집단이 23~25일로 가장 짧았고, 사육컵의 N2 사료집단이 약 33일로 가장 길었다( $F_{6,113} = 11.66, P < 0.0001$ ). 암컷 번데기 무게는 페트리접시의 C와 N6 사료집단이 311~329 mg으로 가장 무거웠고, 페트리접시의 N2 사료집단이 약 189 mg으로 가장 가벼웠다( $F_{6,90} = 7.90, P < 0.0001$ ), 수컷 무게는 모든 용기에서 C 사료집단과 페트리접시의 N6 사료집단이 340~375 mg으로 가장 무거웠고, 두 사육용기의 N2 사료집단이 247~248 mg으로 가장 가벼웠다( $F_{6,113} = 14.20, P < 0.0001$ ).

C와 N2, N4 사료별로 두 종류의 유충 사육용기에 따른 발육 특성을 비교하였을 때, N4 사료로 페트리접시에서 사육한 집단의 용화율과 최종생존율이 사육컵 사육집단보다 유의하게 높았다. N2 사료로 사육한 집단에서는 암수 유충 기간이 페트리접시에서 사육한 집단에서 유의하게 짧았다. 그 외의 특성들에서는 모두 두 사육용기 사이에 유의한 차이가 없었다.

한 사료 내에서 암수 사이의 발육기간을 비교하였을 때, 모든 사료에서 수컷의 번데기 기간이 암컷보다 유의하게 길었다(분산 분석값 생략). 번데기 무게는 C 사료집단에서 암컷이 수컷보다 가벼웠으나 다른 사료에서는 모두 유의한 차이가 나지 않았다.

각 인공사료로 키워 우화한 성충 교미쌍에서 C 집단의 교미율은 71.4%로 다른 세 가지 인공사료에 비해 유의하게 높았다( $\chi^2 = 14.4, df = 3, p = 0.0024$ )(Table 2). 성공적으로 후대를 생성한 교미쌍의 자료만을 비교했을 때, N2 사료집단의 암컷 수명이 10.7일로 가장 길었고, N6 집단은 6.5일로 가장 짧았다( $F_{3,8} = 5.17, P = 0.0281$ ). 그 외 수컷 수명( $F_{3,8} = 0.46, P = 0.7158$ ), 암컷의 산란 전 기간( $F_{3,8} = 1.11, P = 0.4016$ )과 산란기간( $F_{3,8} = 0.25, P = 0.8562$ ), 암컷당 생성된 자손수( $F_{3,8} = 0.27, P = 0.8440$ ), 알 부화율( $F_{3,8} = 0.25, P = 0.8614$ ), 알 기간( $F_{3,8} = 0.76, P = 0.5477$ )은 사료들 사이에서 유의한 차이는 나타나지 않았다.

**Table 1.** The survival rates, developmental period, and pupal weights of *Mythimna loreyi* larvae reared on the four different artificial diets

Diet type <sup>1)</sup>	Rearing container <sup>2)</sup>	No. treated	Survival rate (%)			Sex	No. analyzed	Developmental period (days)		Pupal weight (mg)
			Larva	Pupa	Larva-pupa			Larva	Pupa	
C	Cup	86	64.0 ± 1.7bcd	80.1 ± 12.4	51.3 ± 8.4ab	♀	23	28.0 ± 2.7ab	12.5 ± 0.9abc,*	296.7 ± 59.3abc,*
						♂	21	27.5 ± 3.1AB	14.0 ± 0.6BC	346.2 ± 43.0A
	Petri-dish	29	55.6 ± 13.9cd	91.7 ± 14.4	52.2 ± 19.5ab	♀	7	28.6 ± 3.6abc	13.1 ± 0.7a,*	310.7 ± 37.3a
						♂	8	28.3 ± 2.7AB	14.8 ± 0.7AB	339.8 ± 31.1A
N2	Cup	88	77.2 ± 10.6abc	78.6 ± 8.8	61.3 ± 14.6ab	♀	24	33.5 ± 7.0a	12.2 ± 0.8bc,*	220.1 ± 67.2bc
						♂	30	33.4 ± 7.8A	13.5 ± 0.8CD	246.9 ± 69.2C
	Petri-dish	30	56.7 ± 5.8cd	93.3 ± 11.5	53.3 ± 11.5ab	♀	5	26.0 ± 4.2bc	12.8 ± 0.8ab,*	189.0 ± 70.9c
						♂	11	25.2 ± 5.5B	14.1 ± 1.1ABC	247.6 ± 74.9C
N4	Cup	88	51.2 ± 7.0d	87.4 ± 9.5	45.6 ± 3.8b,*	♀	17	21.4 ± 1.1c	11.5 ± 0.7c,*	279.8 ± 48.2abc
						♂	24	22.7 ± 5.0B	13.0 ± 0.8D	289.4 ± 51.4BC
	Petri-dish	29	83.0 ± 5.1ab	100.0 ± 0.0	83.0 ± 5.1a	♀	12	26.8 ± 6.7abc	12.8 ± 0.9ab,*	282.5 ± 50.5abc
						♂	12	26.8 ± 4.5AB	14.9 ± 0.7A	323.7 ± 51.2AB
N6	Petri-dish	30	86.7 ± 5.8a	92.6 ± 12.8	80.0 ± 10.0a	♀	10	22.5 ± 1.4bc	12.7 ± 1.3 ab,*	329.4 ± 54.2a
						♂	14	23.1 ± 1.2B	14.1 ± 0.4ABC	375.4 ± 36.7A

Field-collected adults belonged to the G0 generation. Newly-hatched larvae collected from the laboratory colony (G2 generation), were supplied with all of four diets together. Experiments were conducted in an incubator under environment condition of 25°C, 15:9 h (light:dark) photoperiod, and 60% relative humidity. Results are expressed as mean ± standard deviation. <sup>1)</sup>C diet is a commercial diet (F9772, Frontier Agricultural Science, Newark, USA). N2, N4 and N6 are the diets designed for rearing *Spodoptera frugiperda* larvae (Jung et al., 2020a). <sup>2)</sup>The dimensions of the cup are 30 mm in the diameter of the basal plane, 40 mm in the diameter of the top plane, 40 mm in height, and 26 mL in volume. The dimensions of the petri-dish are 50 mm in diameter, 10 mm in height, and 19.6 mL in volume. Different letters (lowercase letters for females, and uppercase letters for males) indicate significant difference among the means analyzed by the Tukey's test at  $\alpha = 0.05$ . Statistical differences between females and males in a treatment were analyzed using the *t*-test, and its significance is indicated with asterisk (\*). Only traits with significant differences are indicated.

**Table 2.** The reproductive traits (mean ± standard deviation) of *Mythimna loreyi* adults (G2 generation) emerged from larvae reared on the four different diets

Diet type	No. of adult pairs treated	Mating <sup>1)</sup> rate (%)	Longevity (days)		Pre-oviposition period (days)	Oviposition period (days)	Egg hatching rate (%)	Fecundity (No. of viable eggs per female)	Egg period (days)
			Female	Male					
C	7	71.4	7.2 ± 1.3ab (6~9)	11.6 ± 4.7 (4~17)	3.4 ± 0.5 (3~4)	3.6 ± 1.1 (2~5)	78.0 ± 33.2 (19.4~99.5)	687 ± 469 (37~1,294)	5.3 ± 1.0 (4.6~7.0)
N2	7	42.9	10.7 ± 1.5a (9~12)	8.7 ± 4.0 (5~13)	5.3 ± 3.2 (3~9)	3.3 ± 3.2 (3~9)	76.7 ± 39.6 (31.0~99.7)	593 ± 523 (9~1,020)	5.3 ± 0.4 (4.3~4.9)
N4	5	40.0	7.0 ± 0.0ab	12.0 ± 4.2 (9~15)	3.0 ± 0.0	4.5 ± 0.7 (4~5)	93.9 ± 2.4 (92.2~95.7)	878 ± 36 (852~903)	4.6 ± 0.4 (4.3~4.9)
N6	5	40.0	6.5 ± 2.1b (5~8)	8.5 ± 4.9 (5~12)	3.5 ± 0.7 (3~4)	3.5 ± 0.7 (3~4)	95.3 ± 4.4 (92.2~98.4)	516 ± 39 (488~543)	4.5 ± 0.7 (4.0~5.0)

Adults (0-day old) emerged from the G2 generation (Table 1) were used in the experiment at 25°C. A pair of adults was introduced into a mating cage (63 × 63 mm in length and breadth, 98 mm in height), and then supplied with 10% sucrose solution and distilled water. The minimum and maximum values are indicated in parentheses. Mating rates were compared among four different diet types by the  $\chi^2$  test at  $\alpha = 0.05$ . Other traits were compared by the Tukey's test, and different letters indicate significant difference among means at  $\alpha = 0.05$ . Statistical differences of adult longevity between females and males in a treatment were analyzed using the *t*-test. Only traits with significant difference are indicated with different lowercase letters. <sup>1)</sup>Mating rates were significantly different among treatments.

### N4와 N6 사료에서 G3과 G4 세대의 발육과 생식특성

N4와 N6 사료 집단에서 얻은 G3 세대 성충들의 교미율은 55~58%로 두 집단 사이에 유의한 차이가 나타나지 않았다( $\chi^2 = 0.0965$ ,  $df = 1$ ,  $P = 0.7561$ )(Table 3). 암컷의 수명(8.2일;  $t = -0.08$ ,  $P = 0.9336$ )과 수컷 수명(10.3~12.4일;  $t = 1.73$ ,  $P = 0.0924$ )도 각각 사료 집단 사이에 유의한 차이는 없었다. 두 사료 집단별로 암컷 수명은 수컷에 비해 유의하게 짧았다(N4  $t = -4.11$ ,  $P = 0.0005$ ; N6  $t = -2.43$ ,  $P = 0.0220$ ). 산란전 기간은 두 사료에서 3.4일로 동일하였고( $t = -0.12$ ,  $P = 0.9091$ ), 산란기간은 4.7~4.8일로 두 사료 사이에 유의한 차이가 없었다( $t = 0.07$ ,  $P = 0.9447$ ). 이들 성충이 낳은 G4세대 알의 부화율은 N6 집단에서 약 96%로 N4 집단의 약 74%에 비해 유의하게 높았다( $t = -3.05$ ,  $P = 0.0073$ ). 부화한 총 알 수는 724~847개로 사료 집단 사이에 유의한 차이가 나지 않았다( $t = -0.74$ ,  $P = 0.4672$ ). 알 기간은 N6집단에서 약 5.2일로, N4 집단의 4.9일에 비해 유의하게 길었다( $t = -3.03$ ,  $P = 0.0047$ ).

위에서 얻은 G4 세대 유충을 부모세대와 같은 사료로 연속하여 사육하였을 때, 용화율은 91~94%( $t = 0.62$ ,  $P = 0.5692$ ), 우화율은 91~95%( $t = 0.56$ ,  $P = 0.6034$ ), 최종생존율은 82~89%( $t = 0.98$ ,  $P = 0.3820$ )로 사료 집단 사이에 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 4). 암컷 유충 발육기간은 22.8~23.2일로 사료 사이에 유의한 차이가 나지 않았으나( $t = -0.95$ ,  $P = 0.3459$ ), 수컷 유충기간은 N4 사료 집단이 22.3일로 N6 사료집단의 23.2일보다 유의하게 짧았다( $t = -3.15$ ,  $P = 0.0024$ ). 수컷 번데기 기간은 N6 사료 집단이 14.5일로 N4 사료 집단(14.1일)보다 유의하게 길었다( $t = -2.37$ ,  $P = 0.0216$ ). 암컷 번데기 기간은 차이가 나지 않았다( $t = -1.30$ ,  $P = 0.1964$ ). 번데기 무게는 암수 모두 사료집단 사이에는 유의한 차이가 없었다(암컷  $t = -0.14$ ,  $P = 0.8866$ ; 수컷  $t = -0.45$ ,  $P = 0.6519$ ).

한 사료집단 내에서, 유충 기간의 암수 차이는 나타나지 않았다(N4  $t = 1.08$ ,  $P = 0.2826$ ; N6  $t = -0.01$ ,  $P = 0.9916$ )(Table 4). 수컷 번데기 기간은 암컷보다 유의하게 길었다(N4  $t = -12.21$ ,  $P < 0.0001$ ; N6  $t = -14.00$ ,  $P < 0.0001$ ). 수컷 번데기 무게는 암

**Table 3.** The reproductive traits (mean  $\pm$  standard deviation) of G3 generation adults of *Mythimna loreyi* emerged from larvae reared on the two selected diets

Diet type	No. of adult pairs treated	Mating rate (%)	Longevity (days)		Pre-oviposition period (days)	Oviposition period (days)	Egg hatching rate (%)	Fecundity (No. of viable eggs per female)	Egg period (days)
			Female	Male					
N4	31	54.8	8.2 $\pm$ 1.4* (4~10)	12.4 $\pm$ 3.9 (3~18)	3.4 $\pm$ 1.0 (3~7)	4.8 $\pm$ 2.0 (1~7)	74.3 $\pm$ 27.9b (12.8~100.0)	724 $\pm$ 385 (115~1,399)	4.9 $\pm$ 0.3b (4.0~5.3)
N6	31	58.1	8.2 $\pm$ 1.8* (4~10)	10.3 $\pm$ 3.1 (5~15)	3.4 $\pm$ 0.9 (3~6)	4.7 $\pm$ 1.6 (1~7)	95.6 $\pm$ 4.1a (83.5~100.0)	847 $\pm$ 282 (321~1,212)	5.2 $\pm$ 0.3a (4.9~6.2)

A pair of adults was introduced into a mating cage (105 mm in diameter, 165 mm in height), and supplied with 10% sucrose solution and distilled water. The minimum and maximum values are indicated in parentheses. Significant difference in trait between the two diets are compared by the  $\chi^2$  test for mating rate and using the t-test for the rest of the traits at  $\alpha = 0.05$ . Significant differences of longevity between females and males in a treatments were analyzed by the t-test, and indicated with asterisk (\*). Only traits with significant difference are indicated.

**Table 4.** The survival rates, developmental periods, and pupal weights in the G4 generation larvae of *Mythimna loreyi* reared on the two selected artificial diets

Diet types	No. treated	survival rate (%)			Sex	No. analyzed	Developmental period (days)		Pupal weight (mg)
		Larva	Pupa	Larva-pupa			Larva	Pupa	
N4	88	94.2 $\pm$ 5.4	94.7 $\pm$ 9.2	89.4 $\pm$ 12.9	♀	45	22.8 $\pm$ 0.5	12.6 $\pm$ 0.3*	344.3 $\pm$ 42.3*
					♂	34	22.3 $\pm$ 1.3b	14.1 $\pm$ 0.6b	376.1 $\pm$ 33.0
N6	89	91.1 $\pm$ 6.9	90.5 $\pm$ 9.0	82.0 $\pm$ 2.3	♀	37	23.2 $\pm$ 0.5	12.8 $\pm$ 0.2*	345.5 $\pm$ 29.8*
					♂	36	23.2 $\pm$ 1.1a	14.5 $\pm$ 0.6a	379.7 $\pm$ 32.5

Larvae were reared in petri-dishes at 25°C and 15:9 h (light:dark) photoperiod. Results are represented as mean  $\pm$  standard deviation. Different letters indicate significant difference among the means using the t-test at  $\alpha = 0.05$ . Statistical differences of larval and pupal periods, and pupal weights between females and males in a treatment were analyzed by the t-test at  $\alpha = 0.05$ , and its significant difference is indicated with asterisk (\*). Only traits with significant difference are indicated.

컷보다 유의하게 무거웠다(N4  $t = -3.63, P = 0.0005$ ; N6  $t = -4.68, P < 0.0001$ ).

유충 영기별 발육기간에서 두 사료 집단 사이에 유의한 차이를 나타낸 영기는 2령과 3령이었다(Table 5). N4 사료 집단의 2령 기간이 암수 구분 없이 2.8일로 N6 집단의 3.3일보다 짧았고 ( $t = -4.75, P < 0.0001$ ), 이 차이는 암수 각각에서도 나타났다 ( $F_{3,148} = 7.70, P < 0.0001$ ). 3령 기간은 암수 구분 없이 N4 사료 집단이 2.9일로 N6 사료 집단의 2.6일보다 길었다( $F_{3,148} = 5.95, P = 0.0007$ ). 그러나 성별로는 암컷에서만 유의한 차이가 나타났다. 각 영기별 생존율은 모든 영기에서 두 집단 사이에 유의한 차이는 보이지 않았다.

한편, 두 사료 모두에서 마지막 유충 영기가 5령 혹은 6령까지 발육하는 집단 내 개체변이가 관찰되었다(Table 5). N4 사료 집단에서는 5령까지 발육한 유충 비율이 약 22%였고, N6 사료

집단은 7%였다.

유충 영기 수가 다른 개체별로 묶어 영기별 발육기간을 비교하였다(Table 6). 전체 유충 기간은 N4 사료집단에서 5령이 말령인 개체에 비해 6령이 말령인 개체들이 약 1.7일 길었으나 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다. N6 사료집단에서는 5령이 말령인 개체에 비해 6령이 말령인 개체들의 전체 유충기간이 약 1.9일 유의하게 길었다( $F_{3,148} = 7.39, P = 0.0001$ ).

한 사료집단 내에서 말령기간은 6.9~7.4일로 영기수가 다른 개체들 사이에 유의한 차이가 없었다( $F_{3,148} = 2.53, P = 0.0591$ ) (Table 6). 영기를 순서대로 전개했을 때, 6령이 말령인 개체들에서 4령 기간이 유의하게 짧았다( $F_{3,148} = 29.20, P < 0.0001$ ). 3-4령 기간의 합도 6령이 말령인 개체들에서 유의하게 짧았다 ( $F_{3,148} = 34.95, P < 0.0001$ ).

마지막으로, N4와 N6 사료로 사육된 집단의 생식 적합성을

**Table 5.** The instar-specific developmental periods, survival rates, and the relative occurrence ratios of final instar (5th or 6th) in *Mythimna loreyi* larvae (G4 generation) reared on the two selected artificial diets

Diet type	No. treated (No. analyzed) <sup>1)</sup>	Larval instar-specific developmental period (days) and survival rate (% in parenthesis)					Ratio (%) of final larval instar and its range (in parenthesis)		
		1st	2nd	3rd	4th	5th or 5-6th	5th	6th	
N4	Both	88	3.2 ± 0.2 (97.8 ± 3.9)	2.8 ± 0.3B (100.0 ± 0.0)	2.9 ± 0.2A (100.0 ± 0.0)	3.3 ± 0.4 (98.8 ± 2.1)	10.4 ± 2.0 (97.5 ± 4.3)	21.9 ± 14.0 (13.3~38.1)	78.1 ± 14.0 (61.9~86.7)
	♀	(45)	3.3 ± 0.5	2.8 ± 0.6 b	3.0 ± 0.5 a	3.3 ± 1.2	10.3 ± 2.3	14.4 ± 4.3	41.3 ± 15.1
	♂	(34)	3.1 ± 0.3	2.7 ± 0.4 b	2.8 ± 0.4 ab	3.1 ± 0.7	10.5 ± 1.6	7.5 ± 10.1	36.8 ± 1.2
N6	Both	89	3.1 ± 0.2 (98.9 ± 1.9)	3.3 ± 0.2A (100.0 ± 0.0)	2.6 ± 0.3B (100.0 ± 0.0)	3.3 ± 0.2 (100.0 ± 0.0)	10.9 ± 1.4 (92.0 ± 5.3)	6.9 ± 6.2 (0.0~12.0)	93.1 ± 6.2 (88.0~100.0)
	♀	(37)	3.1 ± 0.4	3.3 ± 1.1 a	2.6 ± 0.6 b	3.2 ± 0.6	10.9 ± 1.2	2.9 ± 5.0	47.6 ± 11.3
	♂	(36)	3.1 ± 0.3	3.3 ± 0.5 a	2.6 ± 0.5 b	3.4 ± 0.8	10.8 ± 1.5	4.0 ± 6.9	45.5 ± 10.3

The larval periods in Table 4 were further analyzed. <sup>1)</sup>The analyzed number indicates the number of successfully-emerged insects. Results are represented as mean ± standard deviation. Different uppercase letters indicate significant differences among the means of different diets without isolating sexes using the  $t$ -test at  $\alpha = 0.05$ . Different lowercase letters indicate significant differences among the means of different diets in different sexes analyzed by the Tukey's test at  $\alpha = 0.05$ . Only traits with significant differences are indicated.

**Table 6.** The instar-specific developmental periods (mean ± standard deviation) in the insects with different last instars in *Mythimna loreyi* larvae (G4 generation) reared on the two diets

Diet type	Larval instar No.	No. analyzed	Larval instar stages							
			1st	2nd	3rd	4th	5th	Last	3th-4th	Total
N4	5	16	3.19 ± 0.40	2.88 ± 0.50	3.13 ± 0.50a	4.56 ± 1.41a		7.44 ± 1.15	7.69 ± 1.20a	21.19 ± 1.17b
	6	63	3.22 ± 0.46	2.71 ± 0.55	2.84 ± 0.48ab	2.89 ± 0.60b	4.05 ± 1.04	7.13 ± 0.92	5.73 ± 0.79b	22.84 ± 1.84ab
N6	5	5	3.20 ± 0.45	3.00 ± 0.00	3.00 ± 0.00ab	4.80 ± 0.45a		7.40 ± 0.55	7.80 ± 0.45a	21.40 ± 0.55b
	6	68	3.10 ± 0.35	3.31 ± 0.85	2.51 ± 0.53b	3.22 ± 0.64b	4.25 ± 0.66	6.87 ± 0.73	5.76 ± 0.76b	23.29 ± 1.82a

The instar-specific larval periods in Table 5 were analyzed as larvae with different last instars. Different letters indicate significant differences among the means of all larval groups with different larval-instar stages analyzed by the Tukey's test at  $\alpha = 0.05$ . Only traits with significant differences are indicated.

종합적으로 비교하기 위하여 생명표 매개변수를 비교하였다 (Table 7). 세대순증가율( $R_0$ )은 N6 사료 집단이 약 324마리로 N4 집단의 236마리보다 유의하게 높았다( $t = -2.23, P = 0.0330$ ). 평균세대기간(T)은 N6 집단에서 45.6일로 N4 집단의 44.6일보다 유의하게 길었다( $t = -2.91, P = 0.0064$ ). 내적자연증가율( $r_m$ )은 0.1181~0.1253으로 두 집단 사이에서 유의한 차이가 나타나지 않았다( $t = -1.67, P = 0.1089$ ). 기간증가율( $\lambda$ )(1.1255~1.1336)( $t = -1.66, P = 0.1105$ ) 및 개체군 배가기간(DT)(5.6~6.0일)( $t = 1.78, P = 0.0906$ )도 두 사료 사이에 유의한 차이가 나타나지 않았다.

### 유충 영기별 두폭과 몸길이

N6 사료로 약 10세대까지 실내에서 누대사육한 집단에서, 1령부터 6령까지 유충의 평균 두폭은 309~3,065  $\mu\text{m}$ 의 범위가

고, 유충 영기별 평균 몸길이는 2.0~29.1 mm 범위로 측정되었다. 두폭과 몸길이 모두 영기 사이에 뚜렷한 차이가 있었다(두폭  $F_{5,176} = 6992.61, P < 0.0001$ ; 체장  $F_{5,201} = 719.36, P < 0.0001$ ). 두폭으로 계산된 각 영기의 Dyar 계수는 1.43~1.77사이였는데, 3령에서 4령으로 발육하는 과정의 성장률이 가장 컸다. 한 영기 내 두폭의 변이는 6령에서 가장 컸다(Table 8).

### 옥수수 포장에서 유충 밀도와 피해

2020년 6~7월 중 수원과 연천의 옥수수 포장에서 뒷흰가는 줄무늬밤나방 혹은 멸강나방으로 추정된 유충 14마리를 채집하였다(Table 9). 실험실 내 사육으로 6마리가 우화하였는데, 이 중 2마리는 뒷흰가는 줄무늬밤나방, 나머지 4마리는 멸강나방으로 총 2종이 확인되었다. 수원 사료용 옥수수(광평옥) 포장에서 6월 26일 600주 이상의 옥수수를 조사할 때 유충이 발견

**Table 7.** Life table parameters (mean  $\pm$  standard deviation) for *Mythimna loreyi* reared on two selected artificial diets at 25°C

Diet type	No. of fertile adult pairs analyzed	Estimated parameters <sup>1)</sup>				
		$R^0$ (No.)	T (days)	$r_m$	$\lambda$	DT (days)
N4	17	235.6 $\pm$ 125.0b	44.56 $\pm$ 1.08b	0.1181 $\pm$ 0.0162	1.1255 $\pm$ 0.0181	5.99 $\pm$ 0.96
N6	18	323.9 $\pm$ 109.8a	45.61 $\pm$ 1.03a	0.1253 $\pm$ 0.0077	1.1336 $\pm$ 0.0087	5.55 $\pm$ 0.35

<sup>1)</sup> $R^0$  (net reproductive rate per generation); T (mean length of generation);  $r_m$  (intrinsic rate of increase);  $\lambda$  (the finite rate of increase); DT (doubling time). The life tables were constructed using the classical method described in Seo et al. (2020b) and in the text, in which the parameters of life tables of individual adults were constructed and subjected to statistical comparison. Different letters indicate a significant difference between means using the *t*-test at  $\alpha=0.05$ . Only traits with significant differences are indicated.

**Table 8.** Head capsule widths and body lengths of instars of *Mythimna loreyi* larvae reared on N6 artificial diet at 25°C

Larval instar	Head capsule width				Body length	
	No.	Size ( $\mu\text{m}$ )	Coefficient variation (%)	Dyar's growth ratio	No.	Size (mm)
1st	30	309 $\pm$ 3f (292~330)	1.1	-	34	2.0 $\pm$ 0.6f (1.5~3.4)
2nd	30	507 $\pm$ 2e (476~542)	0.4	1.64	35	3.8 $\pm$ 0.8e (2.6~5.4)
3rd	30	810 $\pm$ 13d (726~903)	1.6	1.60	34	8.0 $\pm$ 1.2d (5.6~10.6)
4th	31	1,436 $\pm$ 11c (1,226~1,540)	0.7	1.77	34	11.1 $\pm$ 1.6c (8.5~14.8)
5th	30	2,055 $\pm$ 12b (1,868~2,229)	0.6	1.43	35	19.9 $\pm$ 3.1b (14.3~25.7)
6th	31	3,065 $\pm$ 74a (2,870~3,303)	2.4	1.49	35	29.1 $\pm$ 3.8a (22.9~38.4)

Larvae were randomly collected from the laboratory colony, which passed more than 10 generations. Results are represented as mean  $\pm$  standard deviation. The minimum and maximum values are indicated in parentheses. Different lowercase letters indicate significant differences among means of different larval instars analyzed by the Tukey's test at  $\alpha = 0.05$ . Only traits with significant differences are indicated.



**Table 9.** Larvae of *Mythimna* species collected from maize fields in Suwon(SW) and Yeoncheon(YC), 2020.

Observation date	Area	Plant No. observed	Plant stage	Plant No. damaged	Plant No. with live larvae <sup>3)</sup>	Larval No. collected	Adult No. emerged	
							<i>M. loreyi</i>	<i>M. separata</i>
June 18	SW	- <sup>1)</sup>	PT	1	1	1		1
June 26	SW	613 <sup>2)</sup>	PT S	1 20	0 8	10 <sup>3)</sup>	2	1
June 30	YC	-	PT	1	1	1		
July 2-3	SW	-	VT <sup>4)</sup>	2	2	2		2

<sup>1)</sup>Not counted. <sup>2)</sup>Many plants at the pre-tasseling (PT) stage showed the presence of side shoots at young seedling stages(S), but the number of plants with young seedlings were not counted separately. <sup>3)</sup>Larvae from 3rd to 6th instars were observed, and two larvae were found on a side shoot in two plants. <sup>4)</sup>VT: tasseling stage.

된 곳은 모두 본줄기의 밑에서 나온 결순의 어린 묘였다. 2개 식물체에서 각각 2마리씩 발견된 식물체가 있었고, 나머지는 한 식물체에 한 마리가 발견되었다.

## 고찰

채집된 뒷흰가는줄무늬밤나방 성충(G0 세대)으로부터 얻은 G2 세대 유충에 대해 검정된 4종류 사료의 적합성 비교에서, N2 사료 집단은 N4와 N6 사료집단에 비해 낮은 생존율, 긴 유충 발육기간, 가장 가벼운 번데기 무게, 상대적으로 낮은 알 부화율(G3세대) 등 결과를 토대로, 비교된 사료 중에서 N2 사료가 사료가치가 가장 낮다고 판단되었다. C 사료집단의 발육특성에서는 번데기 무게가 N4와 N6 사료집단들과 유사하였으나, 생존율 및 유충 발육기간이 사료가치가 낮은 N2 사료집단과 유사하여, C 사료도 사료가치로 우월하지 않다고 판단하였다. 그러나 C와 N2 사료의 저평가 특성들이 N4와 N6 사료 집단과 크게 차이가 나지 않았고, 자손수도 다른 두 사료와 유사한 결과를 보여, 두 사료도 짧은 기간 동안 집단 유지를 위해 이용할 수 있을 것으로 판단되었다. N4와 N6 사료집단들은 앞의 두 사료에 비해 상대적으로 높은 생존율과 짧은 유충기간, 큰 번데기 무게를 생산한 것에 근거하여 N4와 N6 사료를 뒷흰가는줄무늬밤나방 누대사육을 위한 사료로 1차 선발하였다.

발육에 적합한 사육용기 선발에서, N2 사료로 키운 페트리 접시 집단이 사육컵 집단에 비해 유충기간이 짧았고, N4 사료에서는 페트리접시 집단이 높은 생존율을 보였던 결과에 근거하여, 뒷흰가는줄무늬밤나방 유충은 페트리접시를 이용하여 사육하는 것이 적절하다고 판단하였다. 그러나 사육컵에서 C와 N2, N4 사료로 키운 집단들도 그 발육과 생식특성의 모든 평가기준들이 뚜렷하게 낮게 평가되지는 않았다. 따라서 사육컵을 사용할 때도 짧은 기간 동안 이 곤충의 집단을 유지하는데

이용할 수 있을 것으로 판단되었다. 이런 결과는 열대거세미나방이 사육컵에서 사육될 경우 페트리접시에서 사육에 비해 발육이 크게 저해된 결과(Jung et al., 2020a)와 달랐다.

N4와 N6 사료로 세대를 연속하여 키운 G3 세대 성충들의 생식특성들은 두 사료 사이에 유의한 차이가 없었다. G4 세대에서는 알의 부화율이 N6 사료집단에서 높았고, 수컷 유충의 발육기간은 N4 집단이 약간 짧았다. 다른 특성들은 두 사료집단 사이에 유사하였다. 두 사료에 대한 사료 적합성을 종합적으로 판단하는데 사용한 생명표 매개변수에서 내적자연증가율이 두 사료집단 사이에 유의하게 차이나지 않았고, 기간증가율이나 개체군 배가기간도 차이가 없었다. 세대기간은 N4 사료집단이 짧게 나타났으나 세대증가율은 N6 사료집단이 커서 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 이상 여러 지표에서 두 사료 집단이 크게 다르지 않은 발육특성을 보인 것에 근거하여, 두 사료 모두 뒷흰가는줄무늬밤나방 사육에 적합하다고 판단하였다.

동충해충의 발육과 생식에 관한 선행연구로 인공사료와 옥수수 잎을 이용하여 25°C (photoperiod 16L:8D)에서 사육한 일본 개체군(Hirai and Santa, 1983)과, 옥수수 잎을 먹이면서 사육한 이집트 개체군(EI-Sherif, 1972)(일일광주기 조건 미제시) 및 중국 개체군(Qin et al., 2017)(14L:10D)에서 보고되었다. Hirai and Santa (1983)의 자료에 있는 유충기간과 전용기간을 합해 본 연구결과와 비교하였다. EI-Sherif (1972)는 실험실에서 이 곤충을 세대를 거듭하여 사육하면서 각 세대의 발육기간에서 우세한 실험실 온도를 환경조건으로 제시했는데, 그 중 25°C로 대표된 자료를 비교하였다. 또 Qin et al. (2017)에서는 25°C에서 실험이 수행되지 않았고, 각 발육단계별로 온도와 발육속도와의 관계가 고도의 유의성을 갖는 선형회귀식으로 제시되었다(산란전 기간은 유의성이 낮았다). 따라서 본 연구에서는 그 식들을 이용하여 25°C 값을 계산하여 비교하였다. 단 문헌에 제시된 유충단계의 선형회귀식은 매개변수에 오류

가 있다고 판단되어 문헌 자료를 이용하여 본 연구에서 따로 작성한  $y = 0.003349x - 0.036676$  식을 이용하였다. 생존율과 총 산란수는 이 보고의 24°C 자료와 비교하였다. 앞의 세 보고에서 옥수수 잎에서 키운 집단의 알기간은 5.4~6.0일로 본 연구의 4.9일보다 약간 길게 제시되었다. 알 부화율은 Qin et al. (2017)에서만 제시되었는데 24°C에서 100%로, 본 연구의 74~96%보다 높았다. 유충기간은 Hirai and Santa (1983)의 보고에서, 인공사료는 약 27일, 옥수수 잎에서는 21.3~25.8일 사이로, 본 연구의 22.3~23.2일보다 약간 짧거나 길었다. 유충 발육기간이 암수 사이에 차이가 없는 것은 Hirai and Santa (1983)의 보고에서도 제시되었다. 유충의 용화율은 Hirai and Santa (1983)의 인공사료에서 68~100%, Qin et al. (2017)의 24°C에서 약 73%로 본 연구의 용화율(90% 이상)과 거의 동등하거나 낮았다. 번데기 무게는 인공사료에서 암수 구분 없이 약 300 mg이, 옥수수 잎에서 암컷이 약 300 mg, 수컷이 약 314 mg으로 제시되었는데(Hirai and Santa, 1983), 본 연구에서 수컷 번데기 무게가 암컷보다 더 무거운 결과와 동일하였고, 암수 모두 본 연구에서의 무게가 앞의 연구보다 더 무거웠다. 번데기기간은 비교된 문헌 자료들에서 11.2~15.6일(암수 포함)로 본 연구의 12.6~14.5일을 포함하였다. Hirai and Santa (1983)에서 잎을 먹인 암컷 번데기 기간이 12.1일, 수컷이 14.0일로 암수 사이에 차이를 나타냈는데, 이는 본 연구의 결과와 동일하였다. 이와 같이 수컷 번데기 기간이 더 긴 특성은, 야외에서 환경 조건에 따라 수컷이 암컷보다 0~수일 더 늦게 우화할 수 있음을 나타낸다. 용의 우화율은 Hirai and Santa (1983)의 인공사료에서 약 70~90%로 제시되었고, Qin et al. (2017)의 옥수수 잎에서 약 91% (24°C)로 제시되어, 본 연구의 결과들보다 낮거나 유사하였다. 암컷 성충의 총 산란수는 Hirai and Santa (1983)는 인공사료 혹은 잎에서 평균 약 840~1,150개(10% 꿀물 제공)를, Qin et al. (2017)은 약 630개(5% 꿀물 제공)를 제시하였는데, 본 연구의 결과(724~847개)에 비해 많거나 적었다. Hirai and Santa (1983)는 성충에 물만 제공하는 경우 산란수가 매우 적고, 꿀물을 주면서 두 번 교미한 경우에 산란수가 더 많다는 결과를 제시하였다.

이상의 검토는 본 연구의 인공사료로 사육된 집단의 발육과 생식 특성 값들이 이전 연구들에서 인공사료나 옥수수 잎으로 사육된 집단들과 거의 유사하다는 것을 보여준다. 이에, 본 연구에서 선발된 두 사료가 뒷흰가는줄무늬밤나방 사육에 적합하다고 결론지었다.

유충의 영기별 발육기간은 본 연구에서만 제시되었다. 2령과 3령의 각 기간, 2령의 암수 각각 및 3령의 암컷 기간이 두 사료 사이에 유의한 차이를 나타낸 결과(Table 5)로부터, 2령과 3령의 발육과정에 두 사료의 영향을 서로 다르게 받았을 것으로

짐작되었다. N6 사료에는 N4 사료에는 없는 pinto bean 종자가 루와 항생제인 florfenicol가 포함되었고, 전지분유와 방부제인 methyl-*p*-hydroxybenzoate 함량이 더 많았다(Jung et al., 2020a). 이중 어떤 요인들이 두 집단 사이에 다른 결과를 초래하게 했는지는 판단할 수 없다. 이런 의문은 앞으로 뒷흰가는줄무늬밤나방 성장에 관여하는 먹이 안의 개별 화합물들에 대한 연구를 통해 해결되어야 할 것으로 생각한다.

본 연구에서 유충 말령이 5령 혹은 6령으로 끝나는 집단 내 개체변이를 제시하였다. 이에 비해 El-Sherif (1972)는 평균 29°C에서 옥수수 잎으로 사육된 유충에서 6개 영기만을 제시하였다. Hirai and Santa (1983)는 옥수수 잎으로 사육한 집단에서는 말령이 6령 혹은 7령(15~25°C에서 50% 이상, 30°C에서 약 18%)인 것을 관찰하여 개체변이를 보고하였으나, 영기수는 본 연구의 결과와 달랐다. Esperk et al. (2007)은 많은 곤충종에서 유충 영기 수의 개체변이가 생기는 현상에 관한 보고들을 정리하였는데, 이런 현상은 번데기에 필요한 한계크기(threshold size)에 도달하지 못한 불리한 환경에 놓인 개체가 유충 탈피 횟수를 늘려 적응하기 위한 과정으로 추정하였다. Nijhout and Callier (2015)는 영기와 영기 사이의 탈피는 이전 영기의 임계무게(critical weight)가 기준으로, 이것이 신장수용기(stretch receptor)와 같은 신경기구를 통해 감지되고, 한 영기 안의 몸 크기 성장을 만족시키지 못하는 기관계의 한정된 크기로 비롯된 산소부족이 임계무게를 결정한다고 하였다. 그러나 마지막 영기로부터 번데기로의 탈피, 즉 번데기는 앞의 임계무게와는 관계없이 마지막 영기의 두폭이나 마지막 영기 중의 유충 몸무게와 같은 한계크기에 의해 결정되는데, 이에 관여하는 메커니즘은 아직 분명하지 않다고 하였다. 따라서 앞의 두 이론에 따르면 본 연구와 Hirai and Santa (1983)의 관찰에서 발견된 유충 영기수의 개체변이는 마지막 유충 영기를 결정하는 한계크기가 감지된 영기가 개체별로 달랐기 때문으로 해석할 수 있다. 또 본 연구에서는 5령과 6령만이 나타난 것은 Hirai and Santa (1983)의 유충들보다 더 이른 영기에서 한계크기를 감지했을 것으로 추정된다. 또 N4 사료 집단에서는 한계크기를 감지한 5령 개체들이 N6 사료집단의 5령 개체들보다 더 많았던 것으로 해석되었다. 선행연구나 본 연구 사이 혹은 본 연구의 사료 사이에서 발생한 유충 영기수와 마지막 영기의 비율 차이는 결국 먹이 질에 의한 차이가 주원인이었던 것으로 짐작되었다. 이런 현상은 야외에서도 한 세대 안에서 영기 개체변이가 생길 가능성이 있을 것으로 추정되었다.

한 사료집단 내에서, 말령(5령 혹은 6령) 기간은 영기수가 다른 집단 사이에 차이가 없었다(Table 6). 또 1령과 2령, 3령의 각 영기간도 영기수가 다른 집단 사이에서 차이가 없었다. 그러나

6령 집단의 4령 영기간은 5령 집단의 4령 영기간에 비해 유의하게 짧았다. 또 3-4령 기간도 6령 집단에서 더 짧았다. N4 사료에서는 전체 유충 발육기간은 영기수가 다른 집단 사이에 통계적으로 유의한 차이가 나지 않았으나, 그 값에서는 6령 집단이 더 길었다. N6 사료에서는 6령 집단의 유충 기간이 5령 집단보다 유의하게 길었다. 따라서 이런 현상은 탈피 횟수가 더 많은 개체들은 중간 유충 영기의 영기간이 상대적으로 짧았고, 탈피 횟수가 늘어나면서 전체 유충기간이 길어진 것으로 해석되었다. 이와 같이 탈피횟수가 더 많은 개체들이 유충 기간이 길어진 결과로는 조명나방(*Ostrinia furnacalis*) (포충나방과)에서도 보고되었다(Jung et al., 2021).

N6사료로 실내에서 10세대 이상 세대를 거듭하여 사육한 유충의 영기별 두폭은 Hirai and Santa (1983)에서 측정된 결과(500~5,130 μm)와 비교하여 모든 영기에서 현저하게 작았던 것으로 나타났다. 이런 차이가 무엇 때문에 비롯된 것인지 현 결과만으로 짐작하기 어렵다. 두폭 측정을 위해 본 연구에서 사용된 개체들은 집단으로 사육되고 있던 개체들에서 선택된 것이었다. 따라서 개체별로 사육된 유충들과 다른 크기를 보일 수 있다. 이와 같이 개체별 혹은 집단으로 사육된 개체들 사이에 발육기간이나 유충 영기수 분포가 다르게 나타나는 것이 보고되기도 하였다(Hirai, 1975; Hirai and Santa, 1983). 또한 야외에서 채집된 개체들과의 비교 자료가 없어 본 연구의 결과가 실제 유충의 특성이라고 단정하기는 아직 어렵다. 그러나 본 연구 결과를 바탕으로 야외에서 채집되는 개체들의 영기를 추정하는데 어느 정도의 기준은 될 것으로 생각된다. 야외에서 발견되는 유충들의 두폭과 변이, 영기 수는 앞으로 자세히 검토되어야 한다.

2020년 6-7월 중 옥수수 포장에서 멸강나방과 뒷흰가는줄무늬밤나방이 같은 포장에서 동시에 관찰된 결과는 국내에서 처음으로 제시되었다. 이와 같이 한 작물 포장 안에서 뒷흰가는줄무늬밤나방과 멸강나방과 같은 여러 *Mythimna*속 종들이 같이 발견되는 것은 옥수수나 이탈리아라이그라스, 수수, 벼 등에서 보고되었다(Hirai and Santa, 1983; Huang et al, 2018). 이는 과거 국내에서 멸강나방 유충에 의한 피해로 기록된 자료들에 오류가 있었을 가능성을 배제할 수 없다는 것을 나타냈다.

이상으로 본 연구는 열대저세미나방 사료로 개발된 N4와 N6 사료로 뒷흰가는줄무늬밤나방을 세대를 거듭하여 사육할 수 있다는 결과를 제시하였다. 따라서 두 사료와 함께 본문에서 기술된 인공사육법은 실험곤충 누대 사육방법으로 충분히 이용될 것으로 판단된다. 단, 집단으로 유충을 사육하는 경우, 변태기 기형이 관찰되는 경우가 있다는 관찰결과(Park, C.-G., personal communication)도 있어, 앞으로 집단사육법에 대해 자세히 검토할 필요가 있다. 한편, 본 연구에서 사용된 집단은

한 쌍의 부모로부터 형성된 집단이었기 때문에, 집단 내 유전자 구성이 단순했을 가능성도 있고, 결국 본 연구가 상대적으로 변이가 적은 특성 값을 도출했을 가능성이 있다. 이에 따라 앞으로 야외에서 발견되는 집단의 특성을 본 연구의 결과와 비교하는 경우, 이와 같은 점을 감안하여야 할 것으로 생각된다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 어젠다 연구과제(PJ01503802)를 수행하는 과정에서 얻은 결과를 바탕으로 작성되었다.

## Statements for Authorship Position & Contribution

Kim, E.Y.: National Institute of Crop Science, Researcher; Designed the research, conducted the experiments, analyzed the results, and wrote the manuscript.

Kim, I.H.: National Institute of Crop Science, Researcher; Conducted the experiments.

Jung, J.K.: National Institute of Crop Science, Researcher; Designed the research, and edited the manuscript.

All authors read and approved the manuscript.

## Literature Cited

- Ahn, S.B., Kononenko, V.S., Park, K.T., 1994. New records of Noctuidae (Lepidoptera) from the Korean Peninsula (I). Trifinae. *Ins. Koreana* 11, 26-47.
- Birch, L.C., 1948. The intrinsic rate of natural increase of an insect population. *J. Anim. Ecol.* 17, 15-26.
- CABI website, N.D. *Mythimna loreyi* (maize caterpillar). <https://www.cabi.org/isc/datasheet/35593> (accessed on 1 April, 2022).
- Cohen, A.C., 2015. *Insect diets: science and technology*. 2nd ed., CRC Press, Boca Raton, FL.
- El-Sherif, S.I., 1972. On the biology of *Leucania loreyi* Dup. (Lepidoptera, Noctuidae). *J. Appl. Entomol.* 71, 104-111.
- Esperk, T., Tammaru, T., Nylin, S., 2007. Intraspecific variability in number of larval instars in insects. *J. Econ. Entomol.* 100, 627-645.
- Gözüaçık, C., 2016. The determination of lepidopterous pest species and their distributions, densities, and damages in corn fields of Iğdır province in Turkey. *Iğdır Univ. J. Inst. Sci. & Tech.* 6, 45-52.
- Guo, S.J., Li, S.M., Ma, L.P., Zhuo, X.N., 2003. Study on the biological characteristics and hazard lows of the *Leucania loreyi*. *J.*

- Henan Agric. Sci. 9, 37-39.
- Hirai, K., 1975. The influence of rearing temperature and density on the development of two *Leucania* species, *L. loreyi* Dup. and *L. separata* Walker (Lepidoptera: Noctuidae). Appl. Ent. Zool. 10, 234-237.
- Hirai, K., Santa, H., 1983. Comparative physio-ecological studies on the armyworm, *Pseudaletia separata* Walker and *Leucania loreyi* Duponchel (Lepidoptera: Noctuidae). Bull. Chugoku Agric. Exp. Sta. Ser. E. (Japan) 21, 55-101.
- Ho, H.Y., Tsai, R.S., Hsu, E.L., Chow, Y.S., Kou, R., 2002. Investigation of possible sex pheromone components of female *loreyi* leafworm, *Acantholeucania loreyi* (Duponchel)(Lepidoptera: Noctuidae) in Taiwan. Zool. Stud. 41, 188-193.
- Huang, Q., Jiang, X., Ling, Y., Long, D., Jiang, T., Chen, Y., Fu, C., Huang, S., Wu, B., Li, C., Huang, F., Long, L., 2018. Preliminary investigation on species of armyworms and parasitic natural enemy insects in rice fields in Guangxi. Southwest China J. Agric. Sci. 31, 78-83.
- Jandricic, S.E., Wraight, S.P., Bennett, K.C., Sanderson, J.P., 2010. Developmental times and life table statistics of *Aulacorthum solani* (Hemiptera: Aphididae) at six constant temperatures, with recommendations on the application of temperature-dependent development models. Environ. Entomol. 39, 1631-1642.
- Jiang, X.F., Luo, L.Z., Hu, Y., 2000. Influence of rearing temperature on flight and reproductive capacity of adult oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker). Acta Ecol. Sin. 20, 288-292.
- Jung, J.K., Kim, E.Y., Kim, I.H., Ahn, J.J., Lee, G.-S., Seo, B.Y., 2020a. Meridic diets for rearing of *Spodoptera frugiperda* Larvae. Korean J. Appl. Entomol. 59, 243-250.
- Jung, J.K., Kim, E.Y., Kim, I.H., Seo, B.Y., 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.
- Jung, J.K., Seo, B.Y., Kim, E.Y., 2021. Effects of temperature on survival, development, and reproduction of the non-diapause Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Lepidoptera: Crambidae). Korean J. Appl. Entomol. 60, 449-462.
- Kim, H.J., Choi, N.J., Kim, S.M., Kim, S., Choi, S.Y., Lee, B.C., 2020. Morphological differences between the two species and the occurrence of the *Mythimna separata* and *Mythimna loreyi*, in: Proceeding of 2020 fall conference of Korean Society of Applied Entomology, p. 70.
- 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.
- 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 Sin. 3, 101-110.
- Nijhout, H.F., Callier, V., 2015. Developmental mechanisms of body size and wing-body scaling in insects. Annu. Rev. Entomol. 60, 141-156.
- Qin, J., Zhang, L., Liu, Y., Sappington, T.W., Cheng, Y., Luo, L., Jiang, X., 2017. Population projection and development of the *Mythimna loreyi* (Lepidoptera: Noctuidae) as affected by temperature: application of an age-stage, two-sex life table. J. Econ. Entomol. 110, 1583-1591.
- Qin, J.Y., Liu, Y.Q., Zhang, L., Cheng, Y.X., Sappington, T.W., Jiang, X.F., 2018. Effects of moth age and rearing temperature on the flight performance of the *loreyi* leafworm, *Mythimna loreyi* (Lepidoptera: Noctuidae), in tethered and free flight. J. Econ. Entomol. 111, 1243-1248.
- Seo, B.Y., Jung, J.K., Lee, G.-S., Yang, C.Y., Cho, J., Kim, Y.P., 2020a. Sex pheromone trapping of *Spodoptera frugiperda* (Noctuidae: Lepidoptera) in Korea and the distribution of intraspecies-specific single nucleotide polymorphisms in the cytochrome c oxidase subunit 1 (*COI*). Korean J. Appl. Entomol. 59, 217-231.
- Seo, B.Y., Kim, E.Y., Ahn, J.J., Kim, Y., Kang, S., Jung, J.K., 2020b. Development, reproduction, and life table parameters of the foxglove aphid, *Aulacorthum solani* Kaltenschach (Hemiptera: Aphididae), on soybean at constant temperatures. Insects 11, 296, 1-19.
- Southwood, T.R.E., Henderson, P.A., 2000. Ecological methods, 3rd ed., Blackwell Science Ltd., Oxford.
- Sparks, T.H., Dennis, R.L.H., Croxton, P.J., Cade, M., 2007. Increased migration of Lepidoptera linked to climate change. Eur. J. Entomol. 104, 139-143.
- Takahashi, S., Sato, Y., Kodama, T., 1983. Attractiveness of synthetic sex pheromone to males of the *loreyi* leafworm, *Acantholeucania loreyi* (DUPONCHEL). Appl. Entomol. Zool. 18, 435-437.