

열대거세미나방 유충 사육을 위한 반합성 인공사료

정진교* · 김은영 · 김이현 · 안정준¹ · 이관석² · 서보윤²

국립식량과학원 재배환경과, ¹국립원예특작과학원 온난화대응농업연구소, ²국립농업과학원 작물보호과

Meridic Diets for Rearing of *Spodoptera frugiperda* Larvae

Jin Kyo Jung*, Eun Young Kim, I Hyeon Kim, Jeong Joon Ahn¹, Gwan-Seok Lee² and Bo Yoon Seo²

Crop Cultivation and Environment Research Division, National Institute of Crop Science, Suwon 16616, Korea

¹Research Institute of Climate Change and Agriculture, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Jeju 63240, Korea

²Crop Protection Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

ABSTRACT: Two meridic diets, N4 and N6, containing pinto bean, wheat germ, soybean, whole milk and sucrose as main nutrients were developed for rearing *Spodoptera frugiperda* (Noctuidae) larvae. Six larval instars were observed when neonate larvae were individually raised on these diets in small petri-dishes ($\varnothing 50 \times 10$ mm, 19.6 cm^3) at 25°C and 15:9 h (light:dark) photoperiod. The average pupation rate of 97.8% on the N4 diet was significantly higher than the rate of 85.6% on N6 diet. The emergence rates were 92.0% on N4 diet and 93.5% on N6 diet, with a non-significant difference. The larval periods were 17.9 and 17.7 days for females, and 18.7 and 18.5 days for males, for N4 and N6 diets, respectively, with non-significant differences between diets and sexes. The pupal periods on both diets were identical (11.1 days for females and 12.8 days for males), despite differences between sexes. The pupal weights of both sexes on N4 diet were identical with a value of 257 mg, whereas those on N6 diet were 256 and 263 mg for females and males, respectively, with a non-significant difference. The longevity of female adults that emerged on N6 diet was 13.8 days and longer than 8.6 days on N4 diet. The pre-oviposition periods were 5.0 and 4.2 days on the N4 and N6 diets, respectively, with a non-significant difference, however, the oviposition period of 6.5 days on N6 diet was longer than the period of 3.9 days on N4 diet. The effective fecundity on N6 diet was 1,392 eggs (maximum 1,776) and was higher than that of 942 eggs (maximum 1,694) on N4 diet, with a non-significant difference. The egg hatching rates on N4 and N6 diets were 79.2 and 79.8%, and egg periods were 3.0 and 2.9 days, respectively, with non-significant differences.

Key words: *Spodoptera frugiperda*, Artificial diet, Development, Reproduction

조 록: 열대거세미나방(*Spodoptera frugiperda*)(밤나방과) 유충을 사육하기 위해 강낭콩과 맥아, 콩, 전지분유, 설탕을 주 영양분으로 구성된 두 종류(N4와 N6)의 반합성 인공사료를 개발하였다. 25°C 와 광주기 15:9 h(명:암) 조건으로 페트리접시(지름 50×10 mm, 19.6 cm^3) 안에서 1령 유충을 각 사료로 개체별로 사육하였을 때, 6령 유충까지 관찰되었다. 용화율은 N4에서 평균 97.8%로 N6의 85.6%에 비해 유의하게 높았다. 번데기의 우화율은 각각 92.0과 93.5%로 유의한 차이는 없었다. 암컷 유충의 발육기간은 N4에서 17.9일, N6에서 17.7일이었고 수컷은 N4에서 18.7일, N6에서 18.5일이었는데, 사료 및 암수 사이에 차이는 없었다. 번데기 기간은 암컷이 11.1일, 수컷은 12.8일로 각 사료에서 동일하였는데, 암수 사이에는 유의한 차이가 있었다. 번데기 무게는 N4에서 257 mg로 암수가 동일하였고 N6 사료에서는 암컷이 256 mg, 수컷이 263 mg 이었는데, 사료 및 암수 사이에 차이는 없었다. 각 사료로 자란 암컷 성충의 수명은 N4에서 8.6일에 비해 N6가 13.8일로 길었다. 산란전 기간은 N4에서 5.0일, N6에서 4.2일로 차이는 없었다. 산란기간은 N6사료에서 6.5일로 N4의 3.9일 보다 유의하게 길었다. 암컷당 유효 산란수는 N6에서 1,392개(최대 1,776개)로 N4사료에서의 942개(최대 1,694개)보다 많았으나, 사료 사이에 유의한 차이는 나타나지 않았다. N4와 N6 각각에서 알의 부화율은 79.2%와 79.8%이었고, 알 기간은 3.0일과 2.9일이었는데, 사료 사이에 유의한 차이는 없었다.

검색어: 열대거세미나방, 인공사료, 발육, 생식

*Corresponding author: jungjk@korea.kr

Received July 4 2020; Revised August 9 2020

Accepted August 20 2020

열대거세미나방(*Spodoptera frugiperda*)(나비목: 밤나방과)은 광식성으로 76과(family) 350 여종(species)의 식물을 가해하며, 벼과(Poaceae)와 국화과(Asteraceae), 콩과(Fabaceae)의

주요 해충이다(Montezano et al., 2018). 이 곤충은 원래 아메리카 대륙이 서식처였으나, 최근 몇 년 사이에 아프리카와 아시아 대륙으로 전파된 후, 국내에는 2019년 첫 침입이 확인되었다(Goergen et al., 2016; Li et al., 2020; Lee et al., 2020). 수원 지방에도 2019년 7월 말 성페로몬트랩에 포획되는 것이 확인되었고, 옥수수 포장에서 8월 말에 유충이 확인되었다(Jung et al., 2020). 열대거세미나방은 국내에서 월동하기 어려울 것으로 예상되나, 매년 새롭게 침입한 이후 세대 증식이 가능할 것으로 추정되어(Jung et al., 2020), 침입 이후의 개체군 증식 정도에 따라 옥수수를 비롯한 여러 작물에 피해를 줄 것으로 예상된다. 따라서 이후 국내에서 기주식물에 대한 피해 해석, 해충 방제제 개발, 유충 천적 개발, 예찰수단 개발 및 개체군 밀도 변동 예측 등의 여러 방향의 피해억제에 관련한 연구가 진행될 것으로 생각된다. 이러한 연구가 원활하게 진행되기 위해서는 실험곤충을 지속적으로 공급할 수 있는 체계가 갖추어져 있어야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 열대거세미나방을 실내에서 사육할 먹이로 열대거세미나방 혹은 다른 밤나방과 사료에 관한 몇 보고(Hirai, 1976; Garcia et al., 2006; Villegas-Mendoza and Rosas-García, 2013; Pinto et al., 2019) 등을 참고하여, 구매했던 수 있는 재료들을 이용하여 몇 가지 인공사료 조성표를 작성하였고, 제조된 각 사료를 먹인 집단의 발육 및 생식특성, 생명표 비교를 통해 사료로서의 적합성을 판정한 결과를 보고한다.

재료 및 방법

실험곤충 및 사육 용기

실험곤충은 2019년 8월 29일 수원시 소재의 국립식량과학원 중부작물부 시험포장(37°16'N 126°59'E)에 있는 영양생장 단계인 옥수수 앞에서 1령 상태로 채집하였다. 채집한 유충을 우선 밤나방과 곤충종 범용으로 시판되는 일반 사료(F9772, Frontier Agricultural Science, Newark, USA)(이하 C 사료)를 먹이거나 본 연구에서 제작한 N2 사료를 먹이면서 세대를 유지하였다. 알에서 부화한 유충은 뚜껑에 직경 5 cm의 스테인리스 철망(200 mesh)이 5개 있는 플라스틱 통(232 × 165 × 95 mm)에서 사육하다가, 3령으로 탈피한 이후에는 개체별로 사육하였다. 개체사육 용기로 플라스틱 사육컵(밀면 지름 30 mm, 윗면 지름 40 mm, 높이 40 mm, 부피 약 26 cm³, Frontier Agricultural Science, Newark, USA)이나 플라스틱 페트리접시(50 × 10 mm, 부피 약 19.6 cm³)(SPL Life Sciences, Pocheon, Korea)를 사용하였는데, 이 두 형태의 용기로 사육한 결과를 비교하였다. 성충에는 10% 설탕물과 증류수를 제공하였다. 우화

한 성충을 투명 아크릴상자(26 × 31 × 31 cm)에 넣고 상자 윗면은 아크릴판 대신 스테인레스 철망(눈 크기 4 × 4 mm)으로 만들어 그 위에 산란용 투명 필름(두께 170 um)을 얹어 암컷 성충이 안에서 필름 면에 산란하도록 하였다. 유충과 성충 모두 광조건 15:9 h(명:암), 온도 25 ± 2°C 및 상대습도 50 ± 10% 환경에서 사육하였다.

반합성 인공사료 제조

본 연구에서 제조한 세 종류의 열대거세미나방 인공사료 조성을 Table 1에 제시하였다. 이 중 N2 사료는 Garcia et al. (2006)이 보고한 조성에서 콩기울(soy bran) 대신 콩가루를 사용한 것이고, N4와 N6 사료는 개발과정에서 N2 사료를 변형하여 완성하였다. 한편, 기존에 보고된 사료로 밤나방과 곤충종 범용의 일반사료(F9772, Frontier Agricultural Science, Newark, USA)인 C 사료(본 연구에서의 표기)와 팔나방(*Matumuraeses phaseoli*)(잎말이나방과)의 인공사료(Heo et al., 2009)인 MP 사료가 비교되었다. 별도로 Villegas-Mendoza and Rosas-García (2013)의 열대거세미나방 유충 사료를 참조하여 만든 다른 사료와 조명나방(*Ostrinia furnacalis*)(포충나방과) 사료(Jung et al., 2005)도 유충 사육에 적용시켜 보았으나 두 사료 모두에서 높은 사망률을 보여 더 이상 검토하지 않았다. 사료는 물에 한천을 넣고 끓이고, 믹서에 한천용액과 나머지 다른 재료를 같이 넣고 골고루 혼합하여 제조하였고, 적당한 용기에 넣어 식히면서 굳힌 후 냉장고에 보관하였고, 필요할 때 꺼내어 작은 조각으로 잘라서 유충에게 공급하였다.

발육 및 생식 관찰

C 사료 혹은 N2 사료를 같이 주면서 무작위로 키우던 실험실 집단 중 알에서 갓 부화한 유충을 각 인공사료를 넣어둔 사육용기에 넣고 광조건 15:9 h(명:암), 온도 25 ± 1°C 및 상대습도 60 ± 5% 환경의 인큐베이터(Dasol, Hwaseong, Korea)에서 개체별로 사육하였다. 유충 개체사육 용기는 C, N2 및 N4 사료 실험에서는 앞서 언급한 사육컵과 페트리접시를 각각 사용하였고, MP와 N6 사료를 이용한 실험에서는 페트리접시만을 이용하였다. 용화일과 우화일, 번데기 무게, 각 발육태별 생존수를 기록하였다. 성충으로 우화한 후 날개무늬 차이로 성별을 구분하였다. 사료별로 30 혹은 90마리를 처리하였다.

위 N2와 N4 및 N6 사료로 페트리접시에서 사육한 유충들에 대해서는 같은 실험에서 영기별 탈피일을 기록하였다.

별도로 28 ± 1°C 조건에서 갓 부화한 유충을 N2와 N4 사료로

Table 1. The composition of artificial diets used in this study for rearing of *Spodoptera frugiperda* larvae

Ingredients	Unit	Diet types ¹		
		N2	N4	N6
Pinto bean powder (Frontier Agriculture Sciences, Newark, USA)	g	75		20
Wheat germ (Frontier Agriculture Sciences)	g	60	60	60
Soybean meal (Frontier Agriculture Sciences)	g	30	50	50
Whole milk powder (Seoul Dairy Cooperative, Seoul, Korea)	g	30	10	20
Yeast (Frontier Agriculture Sciences)	g	37.5		
Sucrose (Samyang Corporation, Seoul, Korea)	g		10	10
Cellulose (Frontier Agriculture Sciences)	g		5	5
Ascorbic acid (Duksan Pure Chemicals, Ansan, Korea)	g	3.6	5	7
Vitamin mixture (Seoul Vet Pharma Co., Seoul, Korea)	g	5	5	5
Wesson's salt mixture (Bio-Serv, Flemington, USA)	g		5	5
Sorbic acid (Junsei Chemical Co., Tokyo, Japan)	g	1.8	2	2
Methyl- <i>p</i> -hydroxybenzoate (Sigma-Aldrich, St. Louis, USA)	g	3	3	4
Formalin (Daejung Chemicals & Metals, Siheung, Korea) 10% solution	mL	3.6		
Florfenicol (80 g/kg) (Seoul Vet Pharma Co.)	g	0.2		0.2
Agar (Duksan Pure Chemicals)	g	23	20	23
Distilled water	mL	1,400	900	1,100

¹N2 diet was modified from Garcia et al. (2006), in which soybean bran was substituted with soybean meal in this study. N4 and N6 diets were modified from the N2 diet.

사육컵에서 90마리씩 개체별로 사육하였고 용화일과 우화일, 번데기 무게, 각 발육태별 사망일, 성충의 성별을 기록하였다.

25°C 조건에서 N4와 N6 사료로 사육하여 우화한 성충들에 대해서는 같은 날 갓 우화한 성충 한 쌍을 투명한 폴리스티렌 상자(72 × 72 × 100 mm) (SPL Life Sciences, Pocheon, Korea) 에 넣고 4 mL 유리 바이알에 넣은 증류수와 10% 설탕물을 제공하면서 성충이 사망할 때까지 상자 안쪽 벽에 산란하도록 하였다. 상자에 산란이 관찰되면 산란일을 기록하고 새로운 상자로 교체하였다. 산란된 상자는 부화할 때까지 두어, 부화일과 부화한 유충 수, 부화하지 않은 알 수를 기록하였다. 사료별로 10쌍씩 처리하였고, 산란과 알 발육 모두 유충 발육실험에 사용한 같은 25°C 조건의 인큐베이터에서 실험하였다.

유충 집단사육

유충 집단사육용 용기로 뚜껑에 스테인리스 철망(200 mesh) 을 붙인 직육면체 플라스틱 통(232 × 165 × 95 mm)을 준비하여, 그 안에 N2 사료 250 g을 조각으로 잘라 넣고 갓 부화한 유충 50마리를 사육하거나, 사료 500 g을 넣고 갓 부화한 유충 100마리를 사육하여 용화할 때까지 사육하였다. 유충이 용화

할 때까지 먹이는 보충하지 않았고, 번데기는 꺼낸 후 우화 여부를 관찰하였다. 두 처리는 한 반복으로 실험이 수행되었다.

자료 분석

25°C에서 5종의 사료를 이용하여 유충을 사육한 결과는 사료 종류와 사육용기를 구분하지 않고 여러 발육 지표들에 대해서 평균들 사이의 유의한 차이를 비교하였다. 용화율과 우화율, 그리고 우화까지 성공한 개체들에 대해서 암수 성별로 유충 및 번데기 기간과 번데기 무게를 비교하였다. 각 자료는 일원분산 분석을 실시한 후에 평균 사이에 유의한 차이가 있는 처리구는 95% 유의수준에서 Tukey 검정으로 비교하여 유의성을 표시하였다. 유의한 차이가 나지 않는 처리구는 표시하지 않았다. 유충 및 번데기 기간과 번데기 무게에 대해서는 암컷과 수컷 간에 차이를 t-test로 비교하였다. 28°C에서 N2와 N4 사료로 사육컵에서 유충을 사육한 결과 - 용화율, 우화율, 유충 기간, 번데기 기간과 무게 - 는 사료 사이의 평균값을 t-test로 비교하였다.

25°C에서 N2와 N4, N6 사료로 페트리접시에서 사육하였을 때, 우화에 성공한 유충들을 대상으로 각 유충 영기간과 생존율을 Tukey 검정으로 비교하였다.

N4와 N6 사료에서 우화한 성충을 대상으로 한 산란실험의 결과에서 교미율을 χ 제곱검정으로 사료 사이에 비교하였고, 후대를 생성한 교미쌍에 대해서만 성충 수명과 산란전 기간, 산란기간, 생식력(암컷 한 마리당 부화한 알 수), 알 부화율, 알 기간을 t-test로 비교하였다.

N4와 N6 사료로 25°C에서 처리한 실험에서 유충 발육 실험에서의 미성숙태 발육기간과 생존율, 산란 실험에서 알 기간과 부화율, 성충 수명, 자손 생성수 자료를 이용하여 생명표를 작성하였다. 생명표 작성은 Birch (1948)와 Southwood and Henderson (2000) 및 Seo et al. (2020)에 기술된 방법에 따라 세대 증가율, 평균세대기간, 내적자연증가율, 기간증가율 및 개체군 배가기간을 산출하였다. 이 때 성비는 임의로 0.5로 설정하였다. 알과 유충-용의 발육기간과 사망률 자료는 평균값을 이용하여 성충에 적용하였다. 전체 교미쌍을 갖고 작성한 생명표와

후대를 생성한 교미쌍에서 산출한 자료로 작성된 생명표를 각각 만들어 사료 사이에 비교하였다.

결과

발육과 생식

갯 부화한 열대거세미나방 유충을 25°C 조건에서 C와 N2, N4 사료를 이용하여 사육하였을 때, 사육컵을 이용한 경우에 용화율이 유의하게 낮았다. 반면에 페트리접시에서 사육한 다섯 종류의 사료에서는 용화율이 상대적으로 높았는데, 그중 C, N2 및 N4 사료에서 가장 높았고, 다음으로 N6 사료였는데, 다섯 사료 모두 용화율이 85% 이상이었다(Table 2). 번데기 생존율은 사료와 사육용기 종류에 관계없이 77% 이상으로 처리 사

Table 2. The survival rates, developmental periods and pupal weights of *Spodoptera frugiperda* reared on the five different artificial diets at 25°C

Diet types	Rearing container types ³	No. of larvae treated	Pupation rate (%)	Emergence rate (%)	Sex	No. of larvae analyzed	Larval period (days)	Pupal period (days)	Pupal weight (mg)
C ¹	Cup	90	36.7 ± 6.7 bc	82.1 ± 8.4	♀	12	21.6 ± 2.6 a	10.8 ± 0.9 bc,*	204 ± 34 bc
					♂	15	22.5 ± 2.2 AB	12.0 ± 0.9 C	216 ± 25 B
	Petri-dish	30	90.0 ± 10.0 a	77.2 ± 11.8	♀	10	19.8 ± 1.9 b	11.5 ± 0.5 ab	218 ± 21 b
					♂	11	20.7 ± 3.7 BC	11.8 ± 0.6 C	221 ± 23 B
MP ²	Petri-dish	30	93.3 ± 5.8 a	89.3 ± 0.6	♀	11	22.8 ± 1.9 a	10.5 ± 1.2 c,*	183 ± 21 c,*
					♂	14	23.0 ± 1.4 A	12.5 ± 0.9 ABC	217 ± 18 B
N2	Cup	90	26.7 ± 5.8 c	88.9 ± 11.1	♀	11	18.5 ± 1.1 bc	12.1 ± 1.4 a,*	259 ± 25 a
					♂	10	19.3 ± 0.5 CD	13.2 ± 0.4 A	264 ± 14 A
	Petri-dish	90	85.6 ± 1.9 a	94.8 ± 4.5	♀	34	18.6 ± 1.2 bc	11.5 ± 0.7 ab,*	268 ± 25 a
					♂	39	19.2 ± 1.4 CD	12.5 ± 0.7 ABC	267 ± 22 A
N4	Cup	90	44.4 ± 5.1 b	97.4 ± 4.4	♀	16	17.5 ± 1.3 c	11.2 ± 0.9 abc,*	180 ± 26 c
					♂	23	18.3 ± 1.7 D	12.4 ± 0.7 BC	191 ± 29 C
	Petri-dish	90	97.8 ± 3.8 a	92.0 ± 4.1	♀	40	17.9 ± 1.7 c	11.1 ± 0.8 bc,*	257 ± 26 a
					♂	40	18.7 ± 2.2 CD	12.8 ± 0.8 AB	257 ± 24 A
N6	Petri-dish	90	85.6 ± 5.1 b	93.5 ± 4.4	♀	39	17.7 ± 1.3 c	11.1 ± 0.7 bc,*	256 ± 34 a
					♂	33	18.5 ± 2.3 D	12.8 ± 0.4 AB	263 ± 26 A

Results are expressed as mean ± standard deviation.

¹C diet is a commercial diet for rearing lepidopteran insects (F9772, Frontier Agricultural Science, Newark, USA).

²MP diet is a diet developed for rearing *Matsumuraeses phaseoli* (Lepidoptera: Tortricidae) (Heo et al., 2009).

³The dimensions of the cup are 30 mm in the diameter of the base plane, 40 mm in the diameter of the top plane, 40 mm in height, and 26 cm³ in volume, whereas the dimensions of the petri-dish are 50 mm in diameter, 10 mm in height, and 19.6 cm³ in volume.

Statistics: Means among treatments are compared by the Tukey's test at 95% confidence level following one-way ANOVA. Larval and pupal periods, and pupal weights are analyzed separately for females and males, and the significant differences are indicated with small and capital letters, respectively. Statistical differences between females and males in a treatment is analyzed by the t-test, and its significance is indicated with asterisk (*). Values without significant differences are not indicated.

이에 유의한 차이가 없었다. 암수간 유충 발육기간 비교에서 모든 사료에서 수컷의 발육기간이 암컷 보다 약간 긴 경향이었으나 그 차이는 통계적으로 유의하지 않았다. 암수 각각 분석에서, 암컷의 경우에는 N2, N4 및 N6 사료에서 사육용기 종류에 관계없이 발육기간이 짧았으며, C와 MP 사료로 사육하였을 때 유의하게 길었다. C 사료에서는 사육컵에서 사육하였을 때보다 페트리접시에서 사육한 경우가 발육기간이 더 짧았다. 수컷의 발육기간도 암컷과 유사하게 N2, N4 및 N6 사료에서 유의하게 짧았다.

번데기 발육기간 비교에서 C 사료를 이용하여 페트리접시 안에서 사육한 경우를 제외하고 다른 사료 모두에서 수컷이 암컷에 비해 발육기간이 유의하게 길었다. 암컷의 경우에는 MP 사료로 페트리접시에서 사육한 경우에 발육기간이 가장 짧았고, 페트리접시에서 C 사료, 두 사육용기에서 N2 사료, 사육컵에서 N4 사료로 키운 경우가 유의하게 길었다. 수컷의 경우에는 사육컵에서 N2 사료에서와 페트리접시에서 N4와 N6 사료

에서 발육기간이 길었고, C 사료에서 발육기간이 짧았다. 번데기 무게 비교에서 암수 차이는 MP 사료에서만 나타났다. 암수 모두 두 사육용기 모두에서의 N2 사료와 페트리접시에서 사육한 N4와 N6 사료에서 무게가 무거웠고, 사육컵에서 N4 사료를 이용한 경우가 가장 가벼웠다.

N2와 N4 및 N6 사료에서 유충 영기는 6령까지 관찰되었고, 2~4령 기간이 짧은 경향이고 6령이 가장 길었다(Table 3). 각 영기는 사료에 따라 일관된 경향을 보이지 않았는데, 예를 들면 1령 기간은 N2 사료에서 가장 짧았고, 5령 기간은 N6 사료에서 가장 짧았다. 각 영기별 생존율은 모든 사료에서 5령까지 100% 혹은 그에 가까웠으며, 6령 기간 중에는 N4 사료에서 유의하게 높았고, 다른 두 사료는 유사하였다.

갓 부화한 유충을 N2와 N4 사료로 28°C 조건에서 사육컵을 이용하여 사육하였을 때, 용화율과 우화율 모두 N4 사료에서 유의하게 높았다(Table 4). 수컷의 유충과 번데기 기간이 N4 사료에서 유의하게 짧았으며, 두 사료 모두에서 번데기 기간에서

Table 3. The developmental periods (days) and survival rates (%) (in parentheses) of larval instars in *Spodoptera frugiperda* larvae reared on the three selected diets in petri-dishes at 25°C

Diet types	No. of larvae treated	No. of larvae analyzed	Larval instars					
			1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
N2	90	73	3.01 ± 0.12 b (100.0 ± 0.0)	2.23 ± 0.43 b (100.0 ± 0.0)	2.21 ± 0.41 (100.0 ± 0.0)	2.36 ± 0.54 a (100.0 ± 0.0)	2.99 ± 0.57 a (100.0 ± 0.0)	6.11 ± 0.66 b (85.6 ± 1.9 B)
N4	90	81	3.11 ± 0.35 ab (100.0 ± 0.0)	2.41 ± 0.57 a (100.0 ± 0.0)	2.26 ± 0.69 (100.0 ± 0.0)	2.11 ± 0.52 b (100.0 ± 0.0)	2.52 ± 0.69 b (98.9 ± 1.9)	6.04 ± 0.80 b (98.9 ± 2.0 A)
N6	90	72	3.15 ± 0.43 a (100.0 ± 0.0)	2.11 ± 0.32 b (100.0 ± 0.0)	2.10 ± 0.30 (100.0 ± 0.0)	1.99 ± 0.27 b (100.0 ± 0.0)	2.24 ± 0.68 c (100.0 ± 0.0)	6.51 ± 0.98 a (85.6 ± 5.1 B)

Results are expressed as mean ± standard deviation.

Statistics: Means among treatments are compared by the Tukey's test at 95% confidence level following one-way ANOVA.

Table 4. The survival rates, developmental periods and pupal weights of *Spodoptera frugiperda* reared on two different artificial diets in cups at 28°C

Diet type	Rearing container	No. of larvae treated	Pupation rate (%)	Emergence rate (%)	Sex	No. of larvae analyzed	Larval period (days)	Pupal period (days)	Pupal weight (mg)
N2	Cup	90	36.7 ± 6.7 b	88.1 ± 3.2 b	♀	14	13.6 ± 0.6	8.1 ± 0.7 *	194 ± 29
					♂	15	13.9 ± 0.8 A	9.5 ± 0.7 A	207 ± 30
N4	Cup	90	68.9 ± 3.8 a	95.2 ± 0.3 a	♀	31	13.2 ± 1.0	8.0 ± 0.5 *	189 ± 26
					♂	28	13.1 ± 1.0 B	9.2 ± 0.4 B	199 ± 30

Results are expressed as mean ± standard deviation.

Statistics: Means between treatments are compared by the t-test at 95% confidence level following one-way ANOVA. Larval and pupal periods, and pupal weights are analyzed separately for females and males, and the significant differences are indicated with small and capital letters, respectively. Statistical differences between females and males in a treatment is indicated with asterisk (*). Values without significant differences are not indicated.

Table 5. The reproduction traits (mean \pm standard deviation) of *Spodoptera frugiperda* adults emerged from larvae reared on the two selected diets at 25°C, using petri-dishes

Diet types	No. of adult pairs treated	Mating rate (%) [*]	Longevity (days)		Pre-oviposition period (days)	Oviposition period (days) [*]	Egg hatching rate (%)	Fecundity (No. of eggs hatched per female)	Egg period (days)
			Female [*]	Male					
N4	10	80.0	8.6 \pm 3.8 (3 ~ 15) ¹	14.3 \pm 6.1 (7 ~ 26)	5.0 \pm 2.8 (3 ~ 11)	3.9 \pm 1.7 (1 ~ 7)	79.2 \pm 22.9 (38.9 ~ 99.1)	942 \pm 544 (277 ~ 1,694)	3.0 \pm 0.2 (2.6 ~ 3.2)
N6	10	60.0	13.8 \pm 5.0 (8 ~ 21)	10.8 \pm 4.2 (6 ~ 17)	4.2 \pm 1.6 (3 ~ 7)	6.5 \pm 2.0 (5 ~ 9)	79.8 \pm 7.7 (71.1 ~ 92.5)	1,392 \pm 258 (967 ~ 1,776)	2.9 \pm 0.1 (2.8 ~ 3.1)

¹The minimum and maximum ranges are indicated in parentheses.

Statistics: Mating rates between the two different diet types is compared by the χ^2 test, whereas other traits are compared by the t-test, and only traits with significant differences between diets are indicated with asterisk (*).

암컷과 수컷 사이에 유의한 차이가 나타났다.

N4와 N6 사료로 키운 유충에서 우화된 성충의 생식력을 두 사료 사이에서 비교하였을 때, N2 사료로 키운 성충의 교미율이 N6 사료에서 키운 성충보다 유의하게 높았다(Table 5). 성공적으로 후대를 생성한 교미쌍의 자료만을 갖고 비교하였을 때, N6 사료가 N4 사료에 비해 암컷 수명과 산란 기간이 유의하게 길었으나, 암컷 한 마리의 후대 생산수(생식력)나 알 기간, 부화율에서 두 사료 사이에 유의한 차이는 없었다. 암컷 한 마리당 평균 942 ~ 1,392개의 알을 산란하였고, 최대 1,776개까지 관찰되었다.

집단사육 결과

열대저세미나방 유충을 집단으로 사육한 실험에서, 직육면체통에 인공사료를 250 g 넣고 50마리를 사육한 경우에는 6마리가 용화되었고, 이중 3마리만 우화하였다. 사료를 500 g 제공하고 100마리를 사육한 경우에는 1마리만이 용화하였고, 우화는 하지 못하는 더 높은 사망률을 보였다.

고찰

이제까지 관찰된 열대저세미나방 발육과 생식 특성으로 본 연구에서 개발된 사료들의 효능을 비교하였다. 사육컵으로 사육한 경우는 모두 유충 생존율이 낮아 사육컵이 사육 용기로 적당하지 않은 것으로 나타났다. N4 사료로 유충을 사육하였을 때 번데기 무게는 사육컵 사육의 경우가 페트리접시 보다 유의하게 낮았다. 사육컵은 부피가 약 26 cm³로 페트리접시의 약 20 cm³ 보다 큰데 비해, 밀면적은 사육컵이 7 cm²로 페트리접시의 20 cm² 보다 작다. 따라서 이런 사육컵의 밀바닥 면적 크기가

유충의 활동에 충분하지 않아 생존율을 떨어뜨린 것으로 짐작되나, 정확한 원인은 더 검토할 필요가 있다고 생각된다. 단 Garcia et al. (2006)의 보고에서 유충 사육용기인 유리시험관 (2.5 × 8.5 cm)을 수직으로 세운 경우보다 비스듬하거나 수평으로 눕혔을 때 유충의 발육기간이 더 짧고, 먹이 소비효율과 무게 증가율이 더 높은 결과를 나타낸 것으로 짐작해 볼 때, 열대저세미나방은 유충 활동 공간이 발육에 크게 영향을 줄 가능성이 있을 것으로 판단하였다.

페트리접시를 이용한 사육에서 사료 종류 사이의 발육을 비교할 때, N2와 N4 및 N6 사료에서 유충 발육기간이 짧으면서 이들 사료 사이에는 유의한 차이가 없었다. 또 이들 3종류의 사료에서 번데기 무게가 다른 두 사료보다 더 커, 이들 사료로부터 섭취한 영양분을 더 효율적으로 대사하였을 것으로 추정되었다. 따라서 이들 3종의 사료가 유충을 사육하는데 무난하게 사용할 수 있을 것으로 결론지었다. 이들 3종의 사료에서 유충 영기는 모두 6령을 경과하였다(Table 3). 그런데 N2 사료는 제조할 때에 굳은 물리적 상태가 고르지 않아 다루기에 불편한 문제점이 나타났다. 또 28°C에서 사육하였을 때 N4 사료에 비해 생존율이 낮아 N2 사료는 적합한 사료 후보에서 제외하였다.

결정된 N4와 N6 두 사료로 사육한 결과를 종합적으로 비교한 생명표 지표값에서, 자손을 생성하지 못한 쌍을 포함한 전체 교미쌍으로 산출된 값들에서는 N4 사료의 집단이 N6 사료 집단에 비해 내적자연증가율과 기간증가율이 더 크고, 세대기간과 개체군 배가기간이 더 짧게 나타나, N4 사료가 사료로서의 가치가 더 높은 지표값을 보였다(Table 6). 그러나 순개체군 증가율은 N6 사료에서 더 커 이 지표만으로는 N6 사료가 우수하였다. 한편 자손을 생성한 교미쌍의 자료만 이용하여 산출된 생명표 값 비교에서는 세대기간을 제외하고 다른 지표값들은 N6 사료로 키운 집단이 우수한 것으로 나타났다. 이와 같이 비교된

Table 6. Life table parameters for *Spodoptera frugiperda* reared on two different artificial diets at 25°C

Compared adult pairs	Diet types	Estimated parameters				
		R_0 (No.)	T (days)	r_m	λ	DT (days)
All mating pairs	N4	248.94	38.38	0.1438	1.1546	4.82
	N6	257.95	39.13	0.1419	1.1525	4.88
Fertile pairs only	N4	300.46	38.30	0.1490	1.1607	4.65
	N6	430.08	39.11	0.1550	1.1677	4.47

Abbreviations: R_0 , net reproductive rate per generation; T, mean length of generation; r_m , intrinsic rate of increase; λ , the finite rate of increase; DT, doubling time.

지표들에서 특정 사료가 뚜렷하게 우수한 결과를 보이지 않아, N4와 N6 사료 모두 열대거세미나방 사육에 적합할 것으로 결론지었다.

본 연구에서의 조건과 같은 25°C에서 한 인공사료를 이용하여 열대거세미나방 유충을 사육한 Pinto et al. (2019)(광주기 12:12 h(명:암))의 결과에서는 유충 발육기간이 15.3일, 인공사료와 옥수수 잎의 두 먹이로 각각 사육한 Ali et al. (1990)(광주기 14:10 h(명:암))의 결과에서는 유충 기간이 15.4~15.5일로 보고되어, 본 연구에서 N4와 N6 사료를 이용하여 사육한 유충의 발육기간 보다 더 짧았다. 따라서 본 연구의 사료의 영양성분 구성이나, 사육용기의 크기, 혹은 사료 공급방식을 개선할 필요성이 있다고 생각되었다.

열대거세미나방 유충을 집단으로 사육한 실험에서 유충들이 서로 잡아먹거나 상처를 입히는 것이 관찰되었는데, 이런 동족포식 행동이 집단사육 동안 사망률을 극단적으로 높인 것으로 추정되었다. 유충 사육을 종료할 때까지 사료는 충분히 남아 있어, 동족 포식 행동이 전적으로 먹이 부족 때문만은 아닌 것으로 추정되었다. 열대거세미나방 유충의 동족포식 특성은 이미 야외에서나 실험실에서 관찰되었던 현상이다(Chapman et al., 1999, 2000). 실내 사육 시 이런 현상을 줄이고자 Da Silva and Parra (2013)는 인공사료 200 mL를 미리 채워둔 사각통(210 × 150 × 40 mm)에서 40마리 유충을 사육하여 약 91%의 생존율로 용화시킬 수 있는 것을 보고하였다. 이 용기의 크기는 본 연구에서 시도된 집단사육 용기보다 작아, 본 연구의 집단사육에서 높은 사망률이 유충 사육용기의 크기 때문은 아닌 것으로 추정되었다. 다른 원인으로는 Da Silva and Parra (2013)의 보고에서는 유충들이 발육하면서 통 전체에 채워진 사료 안으로 들어가 다른 유충들과 접촉할 기회가 더 적었을 것으로 추정된 반면, 본 연구에서는 집단사육용 통에 인공사료를 조각으로 잘라 넣어, 유충들이 자유로이 활동하며 다른 유충들을 공격하였을 가능성이 높았을 것으로 추정되었다. 혹은 본 연구에서 개발한 사료들의 영양분 구성이 균형적이지 않았기 때문에 영양

분 균형 섭취를 위해 동족을 공격하였을 가능성도 추정되었다. 앞으로 동족포식 현상을 줄이기 위해서 행동과 영양성분에 관한 구체적인 연구들이 더 필요할 것으로 본다.

이상으로 열대거세미나방 유충을 실내에서 지속적으로 사육할 수 있는 인공사료를 개발한 결과를 보고하였는데, 개발된 사료를 이용할 때 유충과 용 생존율이 높아 큰 문제없이 이용이 가능할 것으로 결론을 지었으나, 영양성분 조성 변형이나 사육 용기의 적절한 선택을 통해 유충 발육속도를 더 높이거나, 사육할 때 노동력을 절감하기 위해 집단으로 사육할 수 있는 기술을 개발할 필요성이 있다고 판단된다.

사 사

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

Statements for authorship position & contribution

- Jung, J.K.: National Institute of Crop Science, Researcher; Designed the research, analyzed data, and wrote the manuscript
- Kim, E.Y.: National Institute of Crop Science, Researcher; Conducted rearing experiments
- Kim, I.H.: National Institute of Crop Science, Researcher; Conducted rearing experiments
- Ahn, J.J.: National Institute of Horticultural & Herbal Science, Researcher; Analyzed life tables.
- Lee, G.-S. : National Institute of Agricultural Sciences, Researcher; Identified the first collected insects and validated the data.
- Seo, B.Y.: National Institute of Agricultural Sciences, Re-

searcher; Identified the first collected insects and validated the data.

All authors read and approved the manuscript.

Literature Cited

- Ali, A., Luttrell, R.G., Schneider, J.C., 1990. Effects of temperature and larval diet on development of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 83, 725-733.
- Birch, L.C., 1948. The intrinsic rate of natural increase of an insect population. *J. Anim. Ecol.* 17, 15-26.
- Chapman, J.W., Williams, T., Escribano, A., Caballero, P., Cave, R.D., Goulson, D., 1999. Age-related cannibalism and horizontal transmission of a nuclear polyhedrosis virus in larval *Spodoptera frugiperda*. *Ecol. Entomol.* 24, 268-275.
- Chapman, J.W., Williams, T., Martinez, A.M., Cisneros, J., Caballero, P., Cave, R.D., Goulson, D., 2000. Does cannibalism in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) reduce the risk of predation? *Behav. Ecol. Sociobiol.* 48, 321-327.
- Da Silva, C.S.B., Parra, J.R.P., 2013. New method for rearing *Spodoptera frugiperda* in laboratory shows that larval cannibalism is not obligatory. *Rev. Bras. Entomol.* 57, 347-349.
- Garcia, M.S., Busato, G.R., Bernardi, O., Zotti, M.J., Nörmberg, S.D., Zart, M., Nunes, A.M., 2006. Effect of the position of the rearing container in the food consumption and utilization for *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) and *Helicoverpa zea* (Boddie, 1850) (Lepidoptera: Noctuidae). *R. Bras. Agrobiologia* 12, 173-177.
- Goergen, G., Kumar, P.L., Sankung, S.B., Togola, A., Tamo, M., 2016. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in west and central Africa. *PLoS ONE* 11(10), e0165632. doi:10.1371/journal.pone.0165632.
- Heo, H.J., Son, Y.R., Seo, B.Y., Jung, J.K., Kim, Y., 2009. A molecular marker discriminating the soybean podworm, *Matsucoccus phaseoli* and the podborer, *M. falcana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 48, 547-551.
- Hirai, K., 1976. A simple artificial diet for mass rearing of the armyworm, *Leucania separata* Walker (Lepidoptera: Noctuidae). *Appl. Entomol. Zool.* 11, 278-283.
- Jung, J.K., Kim, E.Y., Kim, I.H., Seo, B.Y., 2020. 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, 97-107.
- Jung, J.K., Park, J.H., Im, D.J., Han, T.M., 2005. Parasitism of *Trichogramma evanescens* and *T. ostriniae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) to eggs of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 44, 43-50.
- 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, X.-J., Wu, M.-F., Ma, J., Gao, B.-Y., Wu, Q.-L., Chen, A.-D., Liu, J., Jiang, Y.-Y., Zhai, B.-P., Early, R., Chapman, J.W., Hu, G., 2020. Prediction of migratory routes of the invasive fall armyworm in eastern China using a trajectory analytical approach. *Pest Manag. Sci.* 76, 454-463.
- Montezano, D.G., Specht, A., Sosa-Gómez, D.R., Roque-Specht, V.F., Sousa-Silva, J.C., Paula-Moraes, S.V., Peterson, J.A., Hunt, T.E., 2018. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *Afr. Entomol.* 26, 286-300.
- Pinto, J.R.L., Torres, A.F., Truzzi, C.C., Vieira, N.F., Vacari, A.M., De Bortoli, S.A., 2019. Artificial corn-based diet for rearing *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Insect Sci.* 19, 2, 1-8. doi: 10.1093/jisesa/iez052.
- Seo, B.Y., Kim, E.Y., Ahn, J.J., Kim, Y., Kang, S., Jung, J.K., 2020. Development, reproduction, and life table parameters of the foxglove aphid, *Aulacorthum solani* Kalténbach (Hemiptera: Aphididae), on soybean at constant temperatures. *Insects* 11, 296, 1-19. doi: 10.3390/insects11050296.
- Southwood, T.R.E., Henderson, P.A., 2000. *Ecological Methods*, 3rd ed. Blackwell Science Ltd., Oxford, UK.
- Villegas-Mendoza, J.M., Rosas-García, N.M., 2013. Visual and gustatory responses of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae to artificial food dyes. *Fla. Entomol.* 96, 1102-1106.