

이화명나방(나비목: 포충나방과) 유충 사육을 위한 인공사료

정진교* · 김이현 · 김은영 · 서보윤¹ · 문윤희²

국립식량과학원 재배환경과, ¹국립농업과학원 작물보호과, ²국립원예특작과학원 약용작물과

An Artificial Diet for Rearing of *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Crambidae) Larvae

Jin Kyo Jung*, I Hyeon Kim, Eun Young Kim, Bo Yoon Seo¹ and Youn-Ho Moon²

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

¹Crop Protection Division, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

²Herbal Crop Research Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, Eumseong 27709, Korea

ABSTRACT: An artificial diet containing wheat germ, soybean, corn, yeast, sucrose, casein, cholesterol, β -sitosterol, and dry *Miscanthus sacchariflorus* stem powder was developed for rearing *Chilo suppressalis* (Crambidae) larvae. Neonate larvae were individually raised on the diet till adult emergence at 25°C and 15:9 h light:dark photoperiod. In the results, the pupation and the emergence rates were 82.2% and 98.6%, respectively. The mean developmental periods of female and male larvae were 34.6 days and 31.0 days, respectively, whereas the pupal periods of female and male were 8.9 days and 9.7 days, respectively. Those periods were significantly different between genders. The mean pupal weights of female and male were 75.0 mg and 57.0 mg, respectively, with significant difference.

Key words: *Chilo suppressalis*, artificial diet, developmental period, pupal weight

조 록: 벼 해충인 이화명나방(*Chilo suppressalis*)(포충나방과) 유충을 사육하기 위해 맥아, 콩, 옥수수, 효모, 설탕, 카세인, 콜레스테롤, 베타시토스테롤, 거대역새 건조 가루를 주 영양성분으로 구성한 인공사료를 개발하였다. 25°C와 광주기 15:9 시간 명:암 조건에서 갓부화 1령 유충을 개체별로 성충 우화 때까지 사육하였을 때, 용화율이 82.2%, 우화율이 98.6%였다. 유충 발육기간은 암컷이 평균 34.6일, 수컷이 31.0일이었고, 번데기 기간은 암컷이 8.9일, 수컷이 9.7일로 성별 간에 유의한 차이가 있었다. 번데기 무게는 암컷이 평균 75.0 mg, 수컷이 57.0 mg으로 암컷이 통계적으로 유의하게 무거웠다.

검색어: 이화명나방, 인공사료, 발육기간, 번데기 무게

이화명나방(*Chilo suppressalis*)(나비목: 포충나방과)은 벼의 줄기 속에서 가해하는 습성이 있고 피해를 받은 식물체는 줄기와 이삭이 말라 죽는다. 국내에는 1960년대 후반까지 벼(Poales: Poaceae)에서 가장 중요한 해충이었으나, 1969년을 기점으로 밀도가 크게 감소하였다. 1980년 후반에 약간의 밀도 증가가 있었고, 이후 다시 피해가 거의 나타나지 않았던 해충이다(Song et al., 1982; Park and Hyun, 1990; Lee and Park, 1991; Lee, 1999). 그런데, 2010년부터 2013년에 걸쳐 전북 군산과 의

산의 벼 재배포장에서 심한 피해가 발생하였고(Baek, C.H., unpublished observation), 유사한 시기에 군산 인근을 포함한 전남북 지역의 물억새(*Miscanthus sacchariflorus*)(Poales: Poaceae) 재배지에서 이화명나방에 의한 피해가 발생하였다(An et al., 2014; Yu et al., 2016).

이에 당시 발생한 이화명나방의 월동 특성과 연중 발생 시기를 밝힐 목적으로 2012년 9월과 2013년 3월 사이 수차례에 걸쳐 전남북 지역의 벼 포장과 물억새 포장에서 월동중인 유충을 채집하였다. 이때 유충 먹이로 제공할 인공사료를 개발할 필요성이 있었고, Han et al. (2012)에서 보고된 조성을 참고하여 짧은 시간 안에 몇 차례 조성을 변형하면서 개발하였다. 그 사료

*Corresponding author: jungjk@korea.kr

Received November 19 2021; Revised November 25 2021

Accepted November 26 2021

를 이용하여 비휴면태의 이화명나방 유충을 사육한 결과를 간단하게 보고한다.

재료 및 방법

실험곤충과 인공사육법

이화명나방은 2012년과 9월부터 2013년 3월 사이의 겨울 동안 전라남도 무안군과 화순군의 물억새의 한 품종인 거대억새(*M. sacchariflorus* cv. Goedae 1) 포장에서 거대억새 줄기와 전라북도 군산의 벼 포장에서 벼 밑동에서 월동하는 유충을 몇 번에 걸쳐 채집하였다. 채집한 유충들을 곤충사육실(temperature $25 \pm 2^\circ\text{C}$, photoperiod 15:9 h = light:dark, relative humidity $60 \pm 10\%$)에서 가온하거나 야외에서 사육하여 우화한 성충들이 교미하여 산란한 알로부터 실험집단을 얻었다. 이때 지역과 기주식물에 따른 개체군을 구분하지 않고 모두 합하여 사육하였다. 이후 본 연구의 인공사료를 이용하여 유충 발육특성을 조사하기 전까지는 개선중인 조성들 및 최종 조성으로 만들어진

사료를 이용하여 비휴면태 실험실 집단을 유지하였다.

유충은 곤충사육실에서 구멍이 없는 원형 플라스틱 용기(100 mm in diameter \times 40 mm in height)(SPL Life Sciences, Pocheon, Korea) 안에서 20~30마리씩 인공사료를 이용하여 집단으로 사육하였다. 번데기는 수거하여 성충 산란용의 투명 아크릴상자(26 \times 31 \times 31 cm)에 옮겼다. 거기서 우화한 성충들에는 삼각플라스크에 넣은 10% 설탕물과 증류수를 같이 공급하면서 교미하도록 하였다. 성충 산란상자 안쪽 면에 단면 골판지(15 \times 5 cm)를 붙여 성충 산란처로 공급하였고, 골판지 골 사이에 산란된 알뭉치를 수거하여 실험에 이용하였다.

인공사료 제조

본 연구에서 개발된 인공사료는 Han et al. (2012)에서 제시된 조성을 기반으로 하여 몇 번의 개선을 거쳐 결정된 것이다 (Table 1). Han et al. (2012)의 조성에는 줄[Zizania latifolia (Griseb.) (syn. *Z. caduciflora*)](Poales: Poaceae)의 신선한 줄기로 만든 가루가 포함되어었는데, 본 연구에서는 줄 가루 대신에

Table 1. The composition of artificial diet used for rearing of *Chilo suppressalis* larvae in this study

Ingredients	Unit	Composition ¹⁾
Wheat germ powder (Frontier Agriculture Sciences, Newark, USA)	g	55
Soybean seed powder (Frontier Agriculture Sciences)	g	45
Yeast powder (Frontier Agriculture Sciences)	g	30
Corn seed powder (Frontier Agriculture Sciences)	g	30
Casein (FUJIFILM Wako Chemical Corporation, Miyazaki, Japan)	g	15
Sucrose (Samyang Corporation, Seoul, Korea)	g	15
<i>Miscanthus sacchariflorus</i> stem powder (Self-made, dried)	g	90
Cellulose (Frontier Agriculture Sciences)	g	10
Ascorbic acid (Duksan Pure Chemicals, Ansan, Korea)	g	6.0
Cholesterol powder (FUJIFILM Wako Chemical Corporation)	g	0.5
β -Sitosterol (75% β -Sitosterol, 10% campesterol) (Acros Organics, Geel, Belgium)	g	0.5
Choline chloride (Bio-serv, Flemington, USA)	g	0.5
Wesson's salt mixture (Bio-Serv)	g	0.3
Vitamin B mixture (the composition reported in Han et al., 2012)	g	0.05
Sorbic acid (Junsei Chemical Co., Tokyo, Japan)	g	1.5
Methyl-p-hydroxybenzoate (Sigma-Aldrich, St. Louis, USA)	g	3.0
Formalin 40% solution (Daejung Chemicals & Metals, Siheung, Korea)	mL	1.5
Aureomycin (Bioserv)	g	1.0
Agar (Duksan Pure Chemicals)	g	32
Distilled water	mL	1,600

¹⁾The composition was modified from Han et al. (2012)'s diet.

거대역새 가루를 포함시켰다. 거대역새 가루는 국립식량과학원 바이오에너지작물연구소로부터 2월에 지상부를 절단하여 수확한 거대역새 줄기를 5 cm 길이로 잘라 햇볕에 건조하고 이를 분쇄하여 3 mm 체에 걸러진 가루로 공급받았고, 이를 다시 분쇄기로 갈아 1 mm 체에 걸러진 가루를 125°C에서 30분간 고압 멸균하여 사용하였다. 그 외 Han et al. (2012)의 조성에 없는 다른 성분으로는 맥아 가루와 옥수수 가루, 섬유소(cellulose), 베타시토스테롤이 추가되었다. 한천가루를 물에 끓여서 믹서에 넣고 나머지 다른 재료를 같이 넣고 골고루 혼합하여 제조하였다. 적당한 용기에 넣어 식히면서 굳힌 후 냉장고에 보관하였고, 필요할 때 꺼내어 작은 조각으로 잘라서 유충에게 공급하였다. 인공사료에 포함된 비타민 B군 혼합물은 Han et al. (2012)에서 제시된 조성으로 제조하였다.

유충 발육 실험과 자료 처리

실험실 집단 중 알에서 갓 부화한 유충을 원형 플라스틱 사육용기(50 mm in diameter × 10 mm in height)(SPL Life Sciences, Pocheon, Korea)에 넣고 인큐베이터(온도 25 ± 1°C, 광주기 15L:9D, 상대습도 60 ± 5%)(Dasol, Hwaseong, Korea)에 인공사료를 넣고 개체별로 사육하였다. 유충은 90마리를 처리하였고, 용화일과 우화일을 기록하고, 용화 후에는 1일 이내에 번데기 무게를 측정하였다. 암컷과 수컷은 번데기 생식공의 위치로 구분하였다.

처리된 갓부화 유충들이 번데기가 된 비율과 용화한 수에 대해 성충으로 우화한 비율로 용화율과 우화율을 구했다. 암컷과 수컷의 유충과 번데기 발육기간 및 번데기 무게를 비교하였다. 통계 처리는 SAS 시스템(9.4판)(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)에서 SAS/STAT (14.2판)의 PROC GLM 프로그램으로 일원분산분석 후에 95% 신뢰수준에서 *t* 검정으로 비교하였다.

결과 및 고찰

갓 부화한 이화명나방 유충을 25°C, 15:9 h = 명:암 환경조건에서 본 연구에서 개발된 인공사료로 개체별로 사육하였을 때, 용화율은 약 82%, 번데기의 우화율은 약 99%로 높게 나타났다. 유충 발육기간은 평균 약 33일이었는데, 암컷이 수컷보다 유의하게 길었다($F_{1,71} = 5.7, P = 0.0195$)(Table 2). 번데기 기간은 평균 약 9일이었는데, 암컷이 수컷보다 유의하게 짧았다($F_{1,71} = 16.2, P = 0.0001$). 부화부터 우화까지의 기간은 평균 42일이었고 암수 사이에는 차이가 나타나지 않았다($F_{1,71} = 2.9, P = 0.0915$). 번데기 무게는 평균 약 66 mg이었는데 암컷이 수

컷보다 유의하게 무거웠다($F_{1,71} = 43.6, P < 0.0001$).

Kamano (1971)는 이화명나방 유충의 영양 요구도와 인공사료 성분에 관한 연구에서, ① 이화명나방 유충 성장에 단백질 원으로 카세인이 유용하게 이용될 수 있고 19개 아미노산이 이를 대체할 수 있다. ② 탄수화물원으로는 포도당과 설탕이 유충 성장과 섭식에 유용하게 사용될 수 있고, 비영양성분인 섬유소 첨가로 유충 무게와 용화율을 증가시킬 수 있다. ③ 지질원으로 콩기름과 비타민 A 기름이 알의 부화율을 증가시킬 수 있고, 콜레스테롤과 베타시토스테롤은 거의 동등한 효율로 유충 성장에 긍정적 영향을 미친다. ④ 비타민 B군에서 inositol과 비타민 C는 유충 성장에 필수 요소이다. ⑤ 무기염류와 염화콜린(choline chloride)의 첨가도 유충 성장과 생식에 긍정적 영향을 미친다. ⑥ 단일화합물들로 구성된 인공사료에 기주식물인 벼나 보리의 잎과 줄기를 잘게 썰어 첨가하거나, 이들 식물체의 추출물을 첨가하면 개선된 사료가치를 얻을 수 있다. 또 신선한 식물체 대신 밀기울이나, 맥아, 쌀겨, 클로렐라(chlorella), 효모 가루를 대신 사용할 수도 있다고 제시하였다. 국내에서도 Kamano (1971)에서 언급된 성분들을 이용하여 이화명나방 유충 인공사료를 제조한 적이 있으나(Chung et al., 1979), 사료가치가 충분히 검증되지는 않았고, 국내 다른 연구에서 사용된 적이 없었다.

본 연구의 인공사료에는 포도당과 기름을 제외하고 단일성분으로서 앞의 Kamano (1971)에 거론된 화합물들이 첨가되어 있고, 종합영양원인 식물성분으로 Han et al. (2012)에서 이용된 콩가루와 효모 가루에 더해 다른 영양원인 맥아와 옥수수 가루 및 섭식자극제의 기능도 할 수 있다고 추정되는 거대역새 가루가 첨가되었다.

본 연구에서는 인공사료로 키운 유충에 대해 발육 특성을 산출한 것 이외에, 생식 자료와 성분 구성비의 차이에 따른 검증, 다른 사료와의 비교, 세대를 거듭한 특성 자료들을 산출하지 않았기 때문에, 개발한 인공사료의 사료가치를 정확하게 평가할 수는 없다. 단, 유충 발육 결과에 대해서는 다른 보고들과 간접적으로 비교할 수 있는데, Han et al. (2012)이 27°C (16: 8 시간 명:암)에서 유충 발육기간이 인공사료에서 약 33일, 신선한 벼 줄기에서 약 35일, 신선한 줄에서는 약 27일로 보고한 것에 비해, 25°C 조건의 본 연구의 유충 발육기간은 거의 같거나 짧았다. 또 본 연구의 유충 기간은 Tsumuki et al. (1994)이 25°C (14: 10 시간 명:암)에서 벼 유묘로 키운 유충 기간인 약 30일에 비해 긴 편이었고, Shamakhi et al. (2018)이 26°C (16: 8 시간 명:암)에서 벼 유묘로 키운 유충 기간인 약 41일 보다 짧았다. 또 Han et al. (2012)의 번데기 무게가 세 종류의 먹이에서 60~70 mg 수준으로 본 연구의 번데기 무게와 유사하였다. 따라서 두

Table 2. Survival rates, developmental periods and pupal weights (ranges in parentheses) of *Chilo suppressalis* larvae raised on the artificial diet developed in this study.

No. of larvae treated	Pupation rate (%)	Emergence rate (%) ¹⁾	Sex	No. analyzed	Developmental periods (days)			Pupal weights (mg)
					Larva	Pupa	Larva-pupa	
90	82.2	98.6	Both	73	32.7 ± 6.7	9.3 ± 1.0	42.0 ± 7.0	65.8 ± 15.4
			Female	34	34.6 ± 7.0 a (25 ~ 52)	8.9 ± 0.8 b (7 ~ 11)	43.5 ± 7.4 (34 ~ 62)	75.9 ± 15.5 a (44 ~ 113)
			Male	39	31.0 ± 6.1 b (24 ~ 48)	9.7 ± 1.0 a (8 ~ 14)	40.0 ± 6.5 (33 ~ 62)	57.0 ± 8.3 b (38 ~ 75)

¹⁾Emergence rate was calculated as the percentage of the number of pupae that emerged to adults.

The environmental condition for rearing is 25 ± 1°C, 15:9 h light:dark photoperiod and relative humidity 60±10%. Results are expressed as mean ± standard deviation. Statistics: Means between sexes are compared by the *t* test at 95% confidence level after one-way ANOVA, and those significant differences are indicated with different small letters. Values without significant differences are not indicated.

특성의 비교 결과로 본 연구의 사료가 유충 발육에 적절한 영양 원을 공급한 것으로 추정되었다. Kamano (1971)와 Chung et al. (1979)의 자료들은 사육 기간 중 온도를 달리하였고, 산출한 사료 가치 척도가 본 연구의 것과 많이 달라 적절한 비교는 할 수 없었다.

이상으로 짧은 기간에 걸쳐 개발한 인공사료의 조성 그 효과 과를 기술하였는데, 본 실험실에서 이 사료를 이용하여 약 3년 간 세대를 유지한 경험이 있어(Jung et al., unpublished observation), 현재의 사료로 어느 기간 동안은 실험군충을 생산할 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 앞으로 본 연구의 인공사료 조성에 기반을 둔 적합한 사료를 개발하기 위해서는 현재 조성을 더 단순화하고, 첨가되는 식물체 원료의 영양 가치에 대해 정확한 평가를 하여야 할 것으로 생각된다.

사 사

거대역새 가루를 제공해 준 국립식량과학원 바이오에너지 작물센터 연구진들에게 감사드린다. 본 연구는 농촌진흥청 어젠다 연구과제(PJ01527801)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 the results, and wrote the manuscript.

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

Kim, E.Y.: National Institute of Crop Science, Researcher; Edited the manuscript.

Seo, B.Y.: National Institute of Agricultural Sciences, Researcher; Collected the insects, conducted rearing, and edited the manuscript.

Moon, Y.-H.: National Horticultural Technological Institute; Researcher; Supplied the plant material.

All authors read and approved the manuscript.

Literature Cited

- An, G.H., Yang, J., Jang, Y.-H., Um, K.R., Kim, S., Cha, Y.-L., Yoon, Y.-M., Moon, Y.-H., Ahn, J.W., Yu, G.-D., 2014. Overwintering pattern of larvae of *Chilo suppressalis* Walker in the bioenergy crop *Miscanthus sacchariflorus* cv. Geodae 1. Korean J. Crop Sci. 59, 369-374.
- Chung, K.H., Ryu, J., Kim, Y.R. Kwon, S.H., 1979. Studies on the artificial rearing of the rice stem borer (*Chilo suppressalis* (Walker)). Korean J. Pl. Prot. 12, 29-32.
- Han, L., Li, S., Liu, P., Peng, Y., Hou, M., 2012. New artificial diet for continuous rearing of *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Crambidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 105, 253-258.
- Kamano, S., 1971. Studies on artificial diet of the rice stem borer, *Chilo suppressalis* Walker. Bull. Natl. Inst. Agric. Sci. (Japan) Ser. C 25, 1-45.
- Lee, J.H., 1999. Development of insect population dynamics and

-
- forecast models: a case of *Chilo suppressalis* (Walker) occurrence in Suwon. Korean J. Appl. Entomol. 38, 231-240.
- Lee, S.C., Park, H.J., 1991. Changes in the occurrence pattern of the striped rice borer, *Chilo suppressalis* Walker, in Korea. Korean J. Appl. Entomol. 30, 249-257.
- Park, C.G., Hyun, J.S., 1990. Studies on the regional characteristics in the occurrence of the rice stem borer, *Chilo suppressalis* Walker in Korea. Korean J. Appl. Entomol. 29, 257-268.
- Shamakhi, L., Zibae, A., Karimi-Malati, A., Hoda, H., 2018. A laboratory study on the modeling of temperature-dependent development and antioxidant system of *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Crambidae). J. Insect Sci. 18(2), 35: 1-11. (<https://doi.org/10.1093/jisesa/iey027>)
- Song, Y.H., Choi, S.Y., Hyun, J.S., 1982. A study on the phenology of the striped rice borer, *Chilo suppressalis* (Walker), in relation to the introduction of new agricultural practices. Korean J. Pl. Prot. 21, 38-48.
- Tsumuki, H., Take, T., Kanehisa, K., Saito, T., Chu, Y.-I., 1994. Effect of temperature on the development and voltinism of the rice stem borer, *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Pyralidae) in Taiwan. Eur. J. Entomol. 91, 477-479.
- Yu, G.-D., Lee, J.-E., Jang, Y.-H., Moon, Y.-H., Cha, Y.-L., Song, Y.-S., Lee, K.-B., 2016. Control effect of insecticides against *Chilo suppressalis* Walker of native *Miscanthus* in Korea. Weed Turf. Sci. 5, 230-235.