

뽕나무발효톱밥을 이용한 흰점박이꽃무지(딱정벌레목: 꽃무지과) 유충 사육에서 적정 사육밀도 및 저온처리 조건

임주락* · 문형철 · 박나영 · 이상식 · 김웅 · 최창학 · 김희준

전라북도농업기술원 잠사곤충시험장

Optimal Larval Density and Low Temperature Storage Conditions for Rearing of *Protaetia brevitarsis* (Coleoptera: Cetoniidae) using a Fermented Mulberry Sawdust-base Diet

Ju-Rak Lim*, Hyung-Cheol Moon, Na-Young Park, Sang-Sik Lee, Woong Kim, Chang-Hak Choi and Hee-Jun Kim

Sericulture and Entomology Experiment Station, Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services, Buan 56339, Korea

ABSTRACT: We raised the white-spotted flower chafer, *Protaetia brevitarsis seoulensis*, from the larvae stage using a fermented mulberry sawdust-base diet at 25°C and 16:8 h light:dark photoperiod. First, we determined the optimal density of the neonate larvae to be introduced into a rearing box (543 × 363 × 188 mm). The survival rates of the larvae were higher than 80% at 90 days after rearing at 100-175 larval densities but reduced by more than 10% at 200 larval density. The larval weights at 100 to 150 larval densities were similar; however, the weights at 175 and 200 larval densities were lower than those at 100 larval densities, indicating that the rate of weight gain increased under lower density. Based on these results, we inferred that 100-150 larvae was the optimal density. Second, we investigated the storage conditions of the last instar larvae under low temperatures. Four weight groups (1.8-2.0, 2.0-2.3, 2.3-2.5, and 2.5 g) of larvae were stored at 4, 8, and 10°C, respectively. All the larvae at 4°C died 70 days after storage, whereas 80% of the larvae survived at 8°C 70 days after storage, indicating that high larval weight was associated with high survival rates. The adults that emerged from larvae with more than 2.3 g and stored for up to 50 days at 4°C laid few eggs. However, the adults that emerged from all larval weight groups stored for 70 days at 8°C and 10°C laid several eggs successfully. Based on these results, we inferred that the last instar larvae with more than 2.3 g could be stored for 30-50 days at 8°C.

Key words: *Protaetia brevitarsis*, Fermented mulberry sawdust-base diet, Rearing density, Low temperature storage condition

초 록: 흰점박이꽃무지(*Protaetia brevitarsis seoulensis*) 유충을 사육상자(가로 543 × 세로 363 × 높이 188 mm) 안에서 뽕나무 발효톱밥 기반 사료를 이용하여 집단으로 사육할 때(25°C, 16:8 L:D), 투입될 수 있는 갯 부화한 유충의 밀도를 검토하였다. 100-175마리 투입구는 90일후 생존율이 80% 이상으로 사육밀도 사이에 차이가 없었다. 그러나 200마리 밀도에서는 생존율이 약 10% 이상 감소하였다. 100-150마리 밀도에서 유충 평균 무게는 처리 밀도 사이에 유의한 차이가 없었으나, 175마리와 200마리 밀도에서는 100마리 밀도에 비해 유충 무게가 유의하게 낮았다. 사육밀도가 낮을수록 유충 무게가 더 빨리 증가하였다. 이상의 결과를 종합하여 100-150마리가 처음 투입밀도로 적절하다고 판단하였다. 두 번째 실험으로, 종령 유충을 저온에 보관하는 조건을 검토하였다. 종령 유충을 4개의 무게 집단(1.8-2.0, 2.0-2.3, 2.3-2.5, 2.5 g 이상)으로 구분하여 4, 8, 10°C에 보관하였을 때, 4°C에서는 70일 보관된 유충들은 무게에 관계없이 모두 사망하였다. 그러나 8°C에서는 70일 보관집단에서 약 80%의 유충이 생존하였다. 보관하는 유충의 무게가 무거울수록 생존율이 높았다. 4°C 보관에서는 무게가 2.3 g 이상인 유충을 50일까지 보관한 후 우화한 성충들만 적은 수의 산란을 하였다. 8°C와 10°C 처리에서는 유충 무게에 관계 없이 모두 산란을 하였다. 이상의 결과로부터 무게가 2.3 g 이상인 흰점박이꽃무지 종령 유충을 8°C에서 30-50일 범위에서 저장할 수 있다고 판단하였다.

검색어: 흰점박이꽃무지, 뽕나무 발효톱밥 사료, 사육밀도, 저온저장조건

*Corresponding author: gocnd0617@korea.kr

Received April 11 2022; Revised August 29 2022

Accepted October 18 2022

우리나라는 2010년 2월 4일 ‘곤충산업의 육성 및 지원에 관한 법률(제100195호)’을 제정하고, 곤충을 일반식품원료로 등록하면서 식용곤충의 생산 및 상품화를 위한 제도적 기반을 구축하였다. 이를 계기로 곤충산업이 발달하면서 곤충의 대량 사육이 전국적으로 이루어지고 있다. 현재 우리나라에는 오래전부터 식·약용으로 사용되어 온 누에나방(*Bombyx mori*)의 유충과 번데기, 백강잠(백강균 *Beauveria bassiana*에 감염된 누에나방 유충), 버메뚜기(*Oxya chinensis sinuosa*)와 최근 식품의약품안전처에 식품으로 등록된 쌍별귀뚜라미(*Gryllus bimaculatus*) (2016년 3월), 갈색거저리(*Tenebrio molitor*) 유충 (2016년 3월), 장수풍뎅이(*Allomyrina dichotoma*) 유충(2016년 12월), 흰점박이꽃무지(*Protaetia brevitarsis seulensis*) 유충(2016년 12월) 등 총 8종의 곤충이 일반식품으로 등록되어 있다(식품의약품안전처 ‘식품의 기준 및 규격’ 고시 제2022-48호, 2022. 06.30.).

농림식품부 조사에 의하면, 국내에서 흰점박이꽃무지 사육 농가는 2020년 현재 1,242개로 전국 곤충사육농가 2,706개의 45.9%로 가장 많은 비율을 차지하고 있다(MAFRA, 2020). 이는 흰점박이꽃무지 유충 건조 체중의 58%가 단백질로 일반 식품(난류 8.5~14.4%, 육류 15.2~34.7%, 어류 10.4~47.7%)에 비해 상대적으로 높아 고단백질 식품 소재(Chung et al., 2013)로 이용될 가능성이 높기 때문으로 추정된다.

2017년 식용곤충 사육 선도 농가의 현황 조사 결과(Song et al., 2017a) 식용곤충 종별로 출하 전까지의 유충 사육 기간과 종령 유충 무게 등이 농가 사이에 차이를 보였으며, 각 농가에서는 생산확대를 위한 접근방법으로 여러 가지 첨가물들을 혼합하는 등 먹이원 개발에 많은 노력을 기울이고 있었다. 이는 식용곤충의 표준화된 안전사육 관리기술 개발을 위한 국내 곤충 사육환경의 기초기반 자료를 확보하고, 안전하고 표준화된 사육방향을 제시해 줄 필요가 있음을 의미한다.

흰점박이꽃무지 실내사육 특성에 대해서는 주로 참나무 발효톱밥 연구가 이루어졌다. Park et al. (1994)은 실내에서 25°C, 65% R.H., 16L:8D의 조건에서 참나무 발효톱밥으로 누대 사육한 결과, 한 세대 경과 일수가 120~150일 정도이고, 각 충태별 기간은 알 10일, 유충 55일, 번데기 30일, 성충 45일이며, 암컷 한 마리당 평균 산란수는 68~78개이며, 각 충태별 크기, 무게 및 유충의 두께에 대해 보고하였다. Choi et al. (2020b)은 또한, 월동 유충의 산란 특성조사에서 저온저장(월동)한 유충을 성충으로 우화시켜 7주간의 평균 산란 경향은 산란 초기인 2-3주 사이와 5-6주 사이에 많은 산란을 하는 것으로 나타났고, 동면한 유충을 성충으로 우화시켜 7주 동안 측정된 누적 산란수는 전반적으로 산란 전기가 짧고, 시간에 비례하여 산란이 증가한다고 하였다. Kim et al. (2013)은 흰점박이꽃무지 유충 사육

밀도 시험 결과 1, 2령 유충은 고밀도 사육에서도 사망률이 낮았고, 3령 유충은 120마리 밀도까지는 높은 생존율을 보였던 반면 150마리의 밀도에서 폐사율이 5.1%로 높았던 결과를 제시하였다. 400 × 570 × 180 mm 사육상자에 톱밥량 30 L에서 갓 부화한 유충 120마리를 키우는 것이 경제성과 생산성을 높이는 적정 사육밀도라고 하였다. 또한, 유충 저온저장 온도 실험에서 0°C와 3°C에서는 모든 개체가 사망하였고, 5°C와 8°C에서는 약 120일 이상 저장하여 대부분의 개체가 생존한 결과를 바탕으로 적정 저장온도가 5~8°C라고 하면서 제품 출하시기를 약 4개월 정도 연장할 수 있다고 보고하였다.

흰점박이꽃무지의 대체사료에 대한 연구는 참나무 발효톱밥 대체 먹이원 또는 첨가제로 한약재 부산물(Kim et al., 2019), 표고버섯과 새송이버섯 수확후 배지(Lee et al., 2018), 비지박(Song et al., 2017b), 콩비지(Choi et al., 2020a), 발효 알로에(Kang, et al., 2012), 뽕나무발효톱밥(Moon et al., 2018; Lim et al., 2022), 산양삼(Choi et al., 2019) 등을 이용하는 연구가 이루어졌다.

뽕나무(*Morus alba*) 가지의 영양성분은 조단백질 함량 4.5%, 조지방 3.1%, 조지방 1.5%로(Kim, 2012), 조단백질 함량이 1.36%로 낮은 참나무류(Kim et al., 2015)에 비하여 뽕나무 가지가 흰점박이꽃무지의 단백질 제공면에서 유용할 것으로 예상된다. 뽕나무 발효톱밥으로 흰점박이꽃무지 유충을 사육하면서 발육 및 산란 특성이 보고되었는데(Moon et al., 2018), 사육 밀도에 따른 발육 및 산란 특성과 저온처리 조건에 따른 발육 특성 등에 대해서는 보고되어 있지 않다. 따라서, 이 사료를 이용한 구체적인 사육 기술을 더 개발할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 뽕나무 발효톱밥을 이용한 흰점박이꽃무지 사육기술을 개선하기 위해 적정 사육밀도와 흰점박이꽃무지의 생산 시기를 조절할 수 있는 저온처리 조건을 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

실험곤충 및 사료

흰점박이꽃무지는 전북 장수군 사육 농가에서 저온처리를 거쳐 우화한 성충을 2019년 4월과 2020년 5월에 각각 구입하여 전북농업기술원 잠사곤충시험장 사육실(25±1°C, RH 50~60%)에서 뽕나무발효톱밥이 담긴 20 l 플라스틱박스(543 × 363 × 188 mm)(동일 곤충을 농가에서 사육할 때 보통 사용하는 것)에 120마리(암:수 2:1) 정도 넣고 사육하며 다음 세대의 실험용 집단을 만들었다. 성충먹이로는 시중에서 판매되는 바나나 열

매를 구입하여 2~3일 간격으로 교체하여 공급하면서 일주일 간격으로 체로 걸러서 성충을 분리하고, 같은 크기의 통에 걸러진 산란된 알과 뽕나무발효톱밥을 담아 두고, 성충은 새로운 뽕나무발효톱밥이 담긴 20 l 플라스틱박스 (543 × 363 × 188 mm)에 담아 다시 수명이 다 할때까지 일주일 간격으로 산란을 받을 수 있도록 하였다. 산란된 알은 별도로 보관하면서 부화를 유도하였다. 갓 부화한 유충을 얻기 위해 산란통에서 매일 부화한 유충을 붓으로 골라내어 실험에 사용하였으며, 암수 성충을 2:1로 산란통에 넣은 후 산란을 가장 많이 하는 6주~8주 사이에 산란된 알을 부화시켜 실험에 사용하였다. 참고로 일반 흰점박이꽃무지 사육농가에서는 일주일 간격으로 산란받은 통을 성충만 분리하여 그대로 사육실로 옮겨 3주 정도 부화시키고, 부화된 유충의 밀도를 조절하여 사육을 실시하며, 판매용의 말령유충을 수확하는데, 산란용 성충을 생산하기 위해 별도의 말령유충을 10°C 저온창고에 30~40일 정도 보관한 후에 꺼내어 성충으로 우화시킨다. 대부분의 경우 세대별로 말령 유충을 저온 처리하며, 1년에 3~4회 정도 산란 및 사육작업을 한다.

뽕나무 발효톱밥은 전북지역에서 재배되는 뽕나무의 전정가지를 수집하여 잔가지 파쇄기와 분쇄기를 이용하여 분쇄하고, 4 mm 채망을 이용하여 4 mm 이하의 크기로 톱밥을 만들었고, 이 톱밥 30 kg에 밀기울 3 kg, 설탕 0.5 kg, 미생물제(EM) 300 ml를 첨가하여 90일간 발효시켜 사용하였다.

부화 유충의 밀도별 사육

사육실에서 유지하던 흰점박이꽃무지에서 갓 부화한 유충(부화 1일째)을 임의로 골라 뽕나무 발효톱밥 사료가 채워진 사육상자(사육실 집단 유지와 동일한 크기)에 100, 125, 150, 175, 200마리를 각각 투입하였다. 사육밀도당 3반복으로 처리하였다. 사육 시작 후 30, 60, 90일째에 각 상자에 들어있는 유충의 수를 조사하고 무게를 측정하였다. 조사 후 유충들은 다시 사육상자 안에 투입하여 계속 사육하였다. 각 조사일의 유충수와 개체별 무게로 생존율과 유충의 평균 무게를 산출하였다. 별도로 각 조사일에 무게가 2.5 g 이상인 유충의 수를 세어 처음 처리한 밀도에 대한 비율을 산출하였다. 시험은 온도 25±1°C, 상대습도 60%로 설정된 항온항습기가 설치된 사육실(3 × 3 m²)에서 실시하였으며, 일장은 16:8시간(명:암)으로 조절하였다.

말령 유충의 저온처리

사육실 집단으로부터 3령(말령) 유충을 임의로 골라 무게가 1.8~2.0 g, 2.01~2.3 g, 2.31~2.5 g, 2.5 g 이상인 4개의 집단으로

구분하였다. 각 집단별로 100마리씩을 분변토가 섞인 뽕나무 발효톱밥 사료(사육하던 사료에 새로운 사료를 혼합)를 2/3 채운 사육상자에 투입하였다. 투입된 상자를 2019년도에는 4°C와 8°C 저온저장고에 30일, 50일, 70일 보관하는 처리를 하였다. 각 처리는 모두 3반복으로 처리하였다. 2020년에는 새로 구입한 성충으로 산란을 받아 사육한 3령 유충을 동일한 방식으로 8°C와 10°C에 저온처리를 하였다. 각 처리는 3반복을 두었다. 저온 처리기간 후에는 25°C 사육실로 다시 옮겨 우화할 때까지 두었다.

2019년 실험에서는 저온처리 기간이 종료된 후 생존 유충수를 세어 유충 생존율을 산출하였고, 이후 사육에서 번데기방울 형성한 개체수를 세어 용화율을 산출하였다. 다시 성충으로 우화한 개체수를 세어 최종우화율을 산출하였다. 이어 각각의 처리에서 갓우화한(1일째) 성충 암수 한쌍을 뽕나무발효톱밥을 1/3 정도 채운 페트리디쉬(φ120 × 80 mm)에 넣고, 인큐베이터(25±1°C, 16:8 h(명:암))에서 사육하며 7일 간격으로 산란수를 조사하였다. 각 처리별로 10쌍씩 교미시켰으며, 이중 산란한 교미쌍의 산란수 자료를 이용하여 각 처리에서의 총산란수 평균값을 산출하였다. 단 4°C 처리에서는 우화 성충수가 부족하여 1~5쌍을 교미시켰다. 2020년 8°C와 10°C 처리에서는 저온처리 후 유충 생존율과 용화율 및 우화율은 조사하지 않았고, 2019년과 같은 방식으로 각 처리별로 10쌍씩 교미시켜 산란수를 조사하였다. 교미쌍에는 먹이로 바나나 열매를 제공하였다.

통계처리

실험에서 얻어진 결과는 PASW Statistics 18(SPSS Inc., Chicago, US) 프로그램을 이용하여 일원분산분석한 후 5% 유의 수준에서 T-test와 Duncan 다중검정을 실시하여 처리 평균 간 차이를 검정하였다.

결과

사육밀도에 따른 발육특성

뽕나무 발효톱밥을 먹이로 한 흰점박이꽃무지 유충의 사육 밀도별 생존율은 사육 후 90일까지 100~175마리 밀도에서 생존율이 약 80~90%로 처리밀도 사이에 차이가 없었다. 200마리 처리구에서는 사육후 30일째 생존율이 80.7%, 60일째 75.2%, 90일째 70.7%로 175마리 이하의 밀도 처리구들의 동일 조사일 생존율보다 10% 이상 크게 감소하였다(Fig. 1). 유충 무게는 모든 처리에서 사육 시작 후 30일째에 평균 0.6 g 이하였는데,

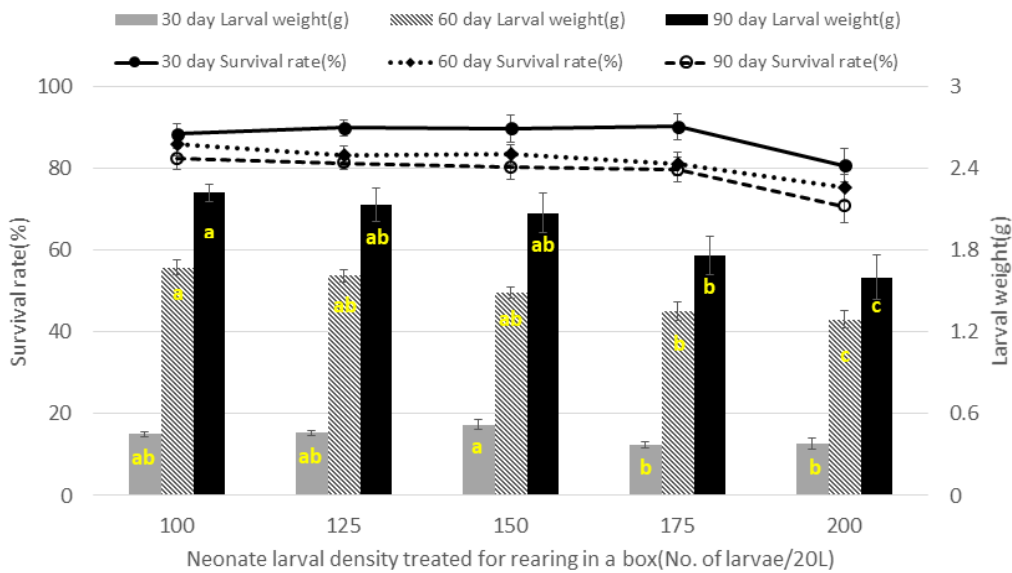


Fig. 1. Survival rates and weights of *Protactia brevitarsis* larvae raised at different densities using a fermented mulberry sawdust-base diet under an environmental condition of 25°C and 16:8 h (light:dark) photoperiod. Neonate larvae were introduced into a rearing box (543 x 363 x 188 mm, 20 liter) filled with the diet and replicated thrice. Different letters on the bars in a check date indicate significant difference among larval weights under different densities according to Duncan's multiple range test at $\alpha = 0.05$. Statistical analyses were not conducted for survival rates.

Table 1. Percentages of *Protactia brevitarsis* larvae with over 2.5 g weight raised at different rearing densities of neonate larvae using a fermented mulberry sawdust-base diet

Rearing density (No. of larvae/a 20 L box)	Rearing period		
	30 days	60 days	90 days
100	0	15.7±3.3 a	66.6±6.2 a
125	0	1.2±0.5 b	22.0±3.6 b
150	0	0.4±0.5 b	18.0±2.4 bc
175	0	0.0±0.0 b	11.1±0.8 c
200	0	0.8±0.5 b	8.0±3.3 c

*Different letters in a column indicate significant difference according to Duncan's multiple range test.

100-150마리 밀도에서는 밀도 사이에 유의한 차이가 없었고, 175마리와 200마리 밀도는 유의하게 무게가 작았다. 사육후 60 일째에는 전체 처리밀도에서 유충 무게가 평균 1.2~1.8 g 사이 였는데, 30일째와 마찬가지로 175마리와 200마리 밀도에서 무게가 각각 유의하게 감소하였다. 90일째에는 무게가 1.5~2.2 g 사이에 형성되었는데 밀도 처리 사이의 차이는 30일과 60일과 동일한 현상을 보였다(Fig. 1).

한편, 무게가 2.5 g 이상 되는 유충은 30일째 조사에서는 발견되지 않았다. 60일째에는 100마리 밀도 처리구에서 투입된 유충수의 16%가 2.5 g 이상이었던 반면, 그 이상의 밀도 처리구 들에서는 그 비율이 유의하게 낮았다. 90일째에는 100마리 밀도 처리에서 약 67%의 유충이 나타났고, 그 이상의 사육밀도에서는 밀도가 높을수록 급격하게 낮아졌다(Table 1).

3령 유충 저온처리에 따른 발육 및 산란 특성

흰점박이꽃무지 3령 유충을 무게별로 여러 저온 조건과 저장기간을 달리하여 처리한 결과, 8°C 보관에서는 저장무게 사이 및 저장 기간 사이에 유의한 차이없이 생존율 78% 이상으로 높았다. 4°C에서는 저장하는 유충의 무게가 가벼울수록, 저장 기간이 길수록 생존율이 떨어지는 경향으로 2.3 g 이하의 유충은 30일 저장에서 생존율이 50% 이하로 2.3 g 이상의 유충 생존율(70% 이상) 보다 유의하게 낮았다. 무게가 2.3 g 이상인 유충은 50일 보관에 생존율이 50% 이하로 낮아졌고, 70일 보관 처리에서는 모두 사망하였다(Table 2).

저온 저장 후 다시 25°C에서 사육한 유충의 용화율에서 2 g 이하의 유충들의 용화율은 68% 이하로 각 저장기간 처리에서

더 무거운 유충들에 비해 유의하게 낮았다. 저장 기간 사이에 용화율은 크게 차이는 나지 않았다. 4°C 보관에서는 30일 보관

처리에서 용화율이 10~52%였고, 50일 보관에서는 4.4~39%로 더 낮은 편이었다. 두 온도 모두 저장 기간별로 유충 무게가 무

Table 2. Survival rates (%) of the last instar larvae of *Protaetia brevitarsis* of different weights treated with two low temperatures at different periods

Larval weight (g) group	Treated temperatures and periods					
	8°C			4°C		
	30 days	50 days	70 days	30 days	50 days	70 days
Larval survival at the final date of storage (%)						
1.8 - 2.0	80.4±7.5 a	80.0±11.1 a	78.2±6.0 a	40.0±8.0 b	14.4±4.5 c	0
2.01 - 2.3	87.7±8.1 a	85.7±9.7 a	84.6±8.6 a	49.7±9.7 b	31.7±5.7 b	0
2.31 - 2.5	92.6±6.8 a	89.2±8.1 a	83.0±7.5 a	76.7±6.7 a	50.0±8.9 a	0
above 2.5	93.1±6.9 a	88.6±8.0 a	81.5±5.9 a	72.9±6.2 a	45.2±5.0 a	0
Pupation rate (%)						
1.8 - 2.0	67.9±4.6 b	55.7±4.0 b	64.0±6.0 b	10.0±5.0 c	4.4±2.5 d	0
2.01 - 2.3	85.4±4.5 ab	77.1±5.2 ab	80.8±3.5 a	28.6±4.9 bc	11.7±4.0 c	0
2.31 - 2.5	78.1±7.9 ab	81.4±6.0 ab	73.3±7.0 ab	33.3±5.0 b	18.3±6.0 b	0
above 2.5	87.0±4.0 a	82.9±3.6 a	77.5±4.5 ab	51.8±7.4 a	38.6±4.2 a	0
Final adult emergence (%)						
1.8 - 2.0	29.2±4.5 c	41.0±5.6 b	20.6±4.2 b	5.0±1.7 c	1.1±1.0 c	-
2.01 - 2.3	56.3±6.5 b	40.5±5.1 b	18.2±7.1 b	13.5±3.8 bc	3.3±2.5 b	-
2.31 - 2.5	51.7±4.7 b	60.7±5.1 ab	39.1±4.6 ab	16.7±6.7 b	6.7±3.8 ab	-
above 2.5	85.2±2.9 a	63.6±6.7 a	46.7±7.1 a	43.8±5.1 a	7.4±3.5 a	-

*Experiments were conducted in 2019. The last instar larvae, which were reared at 25°C, were isolated and divided into four weight groups and then treated with low temperatures at different periods. Three replicates were prepared for each treatment, and 100 larvae were used for each replicate. The larvae were transferred to 25°C treatment condition after the low temperature treatment. Different letters indicate significant difference among different larval weight groups at different temperature and storage period according to Duncan's multiple range test at $\alpha = 0.05$.

Table 3. Total fecundities of *Protaetia brevitarsis* adults that emerged from third instar larvae under low temperature treatments (2019 experiment)

Weight of larvae (g)	Number of eggs by storage temperature and periods					
	8°C			4°C		
	30 days	50 days	70 days	30 days	50 days	70 days
1.8~2.0	46.3±9.9 b (6/10) ¹⁾	61.5± 6.4 b (7/10)	65.0±24.0 b (5/10)	- ²⁾ (0/1)	- (0/0)	- (0/0)
2.01~2.3	88.3±26.2 a (6/10)	96.5±29.6 a (7/10)	84.0±24.0 a (7/10)	- (0/2)	- (0/1)	- (0/0)
2.31~2.5	95.0±29.6 a (7/10)	85.0± 8.5 a (8/10)	84.2±10.2 a (8/10)	11.0 (1/5)	8.0 (1/5)	- (0/0)
Over 2.5	88.7±13.3 a (8/10)	86.8±24.6 a (8/10)	66.6±29.4 b (6/10)	7.4±5.7 (2/5)	11.0 (1/5)	- (0/0)

¹⁾ Number of pairs oviposited/No. of mating pairs in parenthesis.

²⁾ Not oviposited.

Adults that emerged (Table 2) were mated at 25°C and 16:8 h light:dark. Different letters in a column indicate significant difference according to Duncan's multiple range test.

Table 4. Total fecundities of *Protaetia brevitarsis* adults that emerged from third instar larvae under low temperature treatments (2020 experiment)

Weight of larvae (g)	Number of eggs by storage temperature and periods					
	8°C			10°C		
	30 days	50 days	70 days	30 days	50 days	70 days
1.8~2.0	118±43.4 a (8/10) ¹⁾	162±34.9 a (6/10)	150±53.3 a (7/10)	134±55.3 a (8/10)	171±37.7 a (6/10)	149±43.8 a (6/10)
2.01~2.3	148±60.6 a (8/10)	149±38.2 a (8/10)	148±35.5 a (7/10)	138±46.2 a (9/10)	166±40.0 a (8/10)	144±24.3 a (7/10)
2.31~2.5	169±40.1 a (10/10)	155±32.5 a (8/10)	183±46.7 a (7/10)	155±26.6 a (10/10)	163±44.1 a (10/10)	174±31.5 a (8/10)
Over 2.5	156±45.1 a (8/10)	158±50.8 a (10/10)	169±54.1 a (9/10)	168±59.7 a (9/10)	177±47.9 a (7/10)	166±54.2 a (10/10)

¹⁾ Number of pairs oviposited/No. of mating pairs in parenthesis.

Adults that emerged from 3rd instar larvae under 8°C and 10°C temperature conditions were mated at 25°C and 16:8 h light:dark. Different letters in a column indicate significant difference according to Duncan's multiple range test.

거울수록 용화율이 높은 경향이였다(Table 2).

최종 성충우화율은 8°C 보관에서도 저장 기간이 길수록 낮아지는 경향으로, 70일 보관된 것들은 모든 유충 무게 집단의 우화율이 50% 이하였다. 4°C 처리에서의 30일과 50일 보관된 유충의 우화율은 모두 50% 이하였다(Table 2).

8°C에 저장 처리 기간 모두에서 저장할 때 무게가 2.0 g 이하의 유충에서 우화한 성충의 산란수는 무게가 더 무거운 유충으로부터 우화한 성충들의 산란수 보다 유의하게 적었다. 무게가 더 무거운 3집단 사이에서는 유의한 차이가 나지 않았다. 4°C 처리에서는 2.31 g 이상의 유충에서 우화한 성충들만이 산란하였고, 8°C 경우보다 더 적게 산란하였다(Table 3).

한편, 2020년도에 유충 생존율과 용화율 조사를 하지 않고 8°C와 10°C에 처리된 집단에서는 우화한 성충의 산란수는 두 온도 모두 저장된 유충의 무게 사이에 유의한 차이가 없었다 (Table 4).

고찰

본 연구에서 흰점박이꽃무지의 갓 부화한 유충을 본 연구의 사육상자에서 뽕나무 발효톱밥 사료를 제공하면서 사육하였을 때, 100~175마리 사육에서는 생존율이 유사하였으나, 175마리 이상부터는 같은 사육기간 동안 유충 무게가 감소한 결과에 근거하여, 사육밀도는 100-150마리[즉 단위부피(리터, liter) 당 5~7.5마리]가 적당하다고 판단되었다.

흰점박이꽃무지 유충 사육밀도에 관한 Kim et al. (2013)의 연구에서는 발효톱밥(주재료 미기록)을 30 l를 채운 사육상자

(400 × 570 × 180 mm)에 유충을 영기별로 투입하여 1명과 2명은 150마리 밀도까지 약 100%, 3명은 120마리 밀도까지 약 100% 및 150마리에서 약 95%였던 3명 생존율(용화율 추정) 결과를 종합하여, 해당 사육상자에서 120마리(4마리/liter) 유충을 사육하는 것이 적절하다고 제시하였다. 또 Kwon et al. (2010)은 밀도 실험을 통해 뽕나무/뱃집/왕겨 혼합발효톱밥 사료를 채운 플라스틱상자(300 × 460 × 190 mm, 약 26.2 liter)에 100마리 유충(약 7.6마리/liter)을 사육하는 것(1개월 후 생존율 약 87%)이 적절하다고 제시하였다. 이 두 선행연구 결과는 본 연구의 밀도보다 상대적으로 낮거나 유사한 사육밀도에서 각각의 사육기간에 따라 본 연구 보다 더 높거나 유사한 생존율을 제시하였다. 즉, 본 연구의 사육밀도 처리에서의 생존율이 두 선행연구의 결과와 유사하거나 그보다 낮았는데, 이는 본 연구에서 발육기간 중 주기적인 조사로 인한 스트레스가 생존율을 낮추는 요인으로 작용했기 때문으로 짐작되었다.

2022년 현재 전북지역의 흰점박이꽃무지 생산농가의 사육 현황(Lim, J.-R., unpublished observation)을 참고하면, 대부분의 농가는 참나무 발효톱밥을 자체 제작하여 사용하는데, 그 제조 방법은 참나무톱밥을 구입해서 밀기울, 쌀겨, 미생물제 등 부재료를 혼합하여 수분을 80% 이상 더해주면서 배합기를 이용하여 혼합한다. 혼합된 톱밥을 20 kg 포대에 담아서 밀폐된 공간(발효실)에 쌓아두고, 90일간 발효를 시킨다. 발효 기간동안 톱밥이 골고루 발효가 될 수 있도록 약 20일 간격으로 사료 배합기를 이용하여 수분을 보충해주고 섞어주기를 2회 실시하므로써 최종 3차 발효를 통해 충분히 발효를 시키고, 흰점박이꽃무지 먹이로 활용한다. 사육방법으로는 이 발효톱밥을 본 연

구와 거의 동일한 사육용기(20 liter)에 담아 부화 유충 150~180 마리(7.5-9.0마리/liter)를 투입하여 사육한다. 사육실 온습도 정도에 따라 약 60~100일 후 번데기가 1~2마리 정도 형성될 때 유충을 수확한다. 이 때 유충 생존율은 80~90% 정도 되며, 수확시 선별기를 이용하여 유충무게 2.5 g 이상 되는 유충을 선별하고, 그 이하 무게의 유충은 따로 모아 더 사육을 한다. 한편, Song et al. (2017a)가 전국에서 조사한 흰점박이꽃무지 사육농가 현황은 농가들은 약 72 liter 사육상자에 200-700마리(2.8-9.7/liter) 수준에서 사육하는 것으로 파악되었다. 본 연구에서 제시한 적정 사육 밀도는 일반 농가의 사육밀도 범위안에 있는데, 그 범위 안에서 상대적으로 낮은 밀도의 사육이 더 유리하다는 결과를 제시하였다. 한편, Song et al. (2017a)는 농가 상황을 종합하여 사육온도가 낮고 사육밀도가 작으며 사육기간이 긴 경우 유충 무게가 크다고 분석하였는데, 본 연구의 결과에서도 낮은 밀도에서 유충 무게가 더 빨리 증가하는 결과를 보여 필요에 따라 관련된 사육조건들을 설정하여 유충 발육속도와 무게를 조절할 수 있을 것으로 생각되었다. 그러나 발육에 관련한 다른 요인들에 대한 객관적인 연구 결과들은 더 요구된다. 특히 사육자에 따라 여러 크기의 사육상자를 사용하고 있는 만큼, 사육상자 내 유충의 공간분포와 같은 행동양식도 조사되어야 한다. 이에 더해 먹이의 종류와 질, 발효방법과 수분함량, 오염 등의 문제도 자세한 검토가 필요하다.

본 연구에서 흰점박이꽃무지 3령 유충을 무게별로 저온 처리한 결과에서, 저온 처리 후 유충 생존율이 80% 이상, 저온 처리 종료 후 사육에서 용화율이 70% 이상, 우화율이 50% 이상 이면서 다음 세대 생산 산란수가 충분하면 안정적인 저온 처리 조건이라고 임의로 결정하였다. 따라서 이 기준에 따라 유충무게가 2.3 g 이상인 유충을 8°C에 30-50일 보관하는 것이 적당하다고 결정하였다. 10°C에서는 생존율을 조사하지 않아 단정하여 판단하기는 어려우나, 산란수가 8°C와 유사한 것을 근거로 같은 무게의 유충을 같은 기간 동안 10°C에 저장하는 것도 가능할 것으로 추정되었다.

한편, 본 연구처럼 3령 유충을 저온 처리한 Kim et al. (2013)은 0°C와 3°C에서는 모두 사망하였으나, 5°C와 8°C에서 120일 이상의 기간동안 대부분 생존하였다고 보고하였다. 한편, Jang (2011)은 1, 3, 5°C에서 30일과 60일 처리한 3령 유충에서 우화한 성충들이 모두 산란이 가능하였다고 하였다. 이 실험은 3령 유충을 사육온도로부터 저장할 실험온도까지 일주일 간격으로 5°C씩 내리면서 처리한 것이었기 때문에 그 과정 중 3령 유충이 저온에 순화되어 본 연구에서 생존과 산란이 가능하지 않았던 저온에서도 생존하였다고 추정되었다. 흰점박이꽃무지는 3령 유충상태로 월동하는데(Park et al., 1994; Kim and

Kang, 2005), 자연상태에서는 변화하는 온도에 점진적인 순화 과정을 거쳐 영하 온도에서도 내한성을 발휘할 것으로 추정된다. 따라서 위 두 연구결과는 앞으로 저온처리 방법을 더 구체적으로 제시할 필요성을 제기하였다.

저온 저장 실험에 관한 본 연구의 결과에서 2019년 8°C와 2020년 8°C 실험에서 같은 온도임에도 우화한 성충의 산란수가 크게 차이가 났다. 이에 대한 구체적인 원인을 단정하여 제시하기 어렵다. 단 2019년도 실험은 유충의 생존율과 용화율, 우화율 및 무게를 조사하면서 유충과 번데기를 여러번 꺼내고 다시 투입하는 물리적인 스트레스를 준 반면, 2020년 실험은 성충으로 우화한 개체에 대해서만 산란실험을 수행하여 상대적으로 물리적 피해를 덜 주었을 가능성이 있는 것이 하나의 원인으로 짐작된다. 본 연구에서는 저온처리 하지 않은 흰점박이꽃무지에 대한 산란수를 조사하지 않았다. 흰점박이꽃무지 성충의 산란수에 대해서는 저온처리를 하지 않고 Kim and Kang (2005)이 총산란수를 약 152개, Lee (2012)는 45개, Moon et al. (2018)은 83.2개로 보고하였다. 따라서 저온처리된 유충의 본 연구에서의 성충 산란수는 위의 결과와 유사하거나 많아, 저온처리를 경험한 성충의 생식력에 큰 영향을 미치지 않은 것으로 판단되었다. 한편, 흰점박이꽃무지 말령이 저온처리를 받은 개체군과 그런 경험이 없는 개체군에 비해 종족 유지에 더 적합할 것인가에 대해서는 의문이다. 이는 후속 연구를 통해 검토할 예정이다.

이상으로 뽕나무 발효톱밥 기반의 사료로 흰점박이꽃무지 유충을 사육할 때, 사육 적정 밀도와 3령 유충의 저온저장 조건에 대해 검토하였다. 누예를 제외한 식용 곤충 중 흰점박이꽃무지 사육농가가 가장 많고(MAFRA, 2020), 국내에서의 사육기간이 꽤 지났음에도 불구하고, 사육에 필요한 구체적인 요인들을 연구한 과학적인 자료는 적게 발표되었다. 따라서 본 연구의 결과가 일정 정도 해당 곤충의 사육에 필요한 기준을 제공할 수 있을 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 지역특화작목기술개발과제(과제번호: PJ012574)의 지원에 의하여 연구가 수행되었습니다.

저자 직책 & 역할

임주락: 전라북도농업기술원, 연구사; 실험설계 및 논문작성
 문형철: 전라북도농업기술원, 연구사; 실험수행
 박나영: 전라북도농업기술원, 연구사; 실험수행

이상식: 전라북도농업기술원, 연구사; 자료수집 및 분석
김용: 전라북도농업기술원, 연구관; 자료분석 및 검토
최창학: 전라북도농업기술원, 연구관; 자료분석 및 검토
김희준: 전라북도농업기술원, 연구관; 자료분석 및 검토

모든 저자는 원고를 읽고 투고에 동의하였음.

Literature Cited

- Choi, M.-H., Kim, K.-H., Yook, H.-S., 2019. Antioxidant activity and quality evaluation of the larvae of *Protaetia brevitarsis* after feeding with Korean panax ginseng. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 48, 403-409.
- Choi, S.-U., Choi, I.-H., Chung, T.-H., 2020a. Effects of four different feeds on larval weight and survival rate of *Protaetia brevitarsis seulensis*. J. Environ. Sci. Int. 29, 939-941.
- Choi, S.-U., Choi, I.-H., Son, J.-S., Chung, T.-H., 2020b. Investigation of oviposition characteristics of *Protaetia brevitarsis seulensis* (2) - winter larvae - . J. Environ. Sci. Int. 29, 789-792.
- Chung, M.Y., Gwon, E.-Y., Hwang, J.-S., Goo, T.-W., Yun, E.-Y., 2013. Analysis of general composition and harmful material of *Protaetia brevitarsis*. J. Life Sci. 23, 664-668.
- Jang, H.S., 2011. Study on the oviposition of *Protaetia brevitarsis*. MS. Thesis, Kyungpook National University, p. 37.
- Kang, M.G., Kang, C.G., Lee, H.K., Kim, E.K., Kim, J.S., Kwon, O.S., Lee, H.K., Kang, H.J., Kim, C.H., Jang, H.S., 2012. Effects of fermented aloe vera mixed diet on larval growth of *Protaetia brevitarsis seulensis* (Kolbe) (Coleoptera: Cetoniidae) and protective effects of its extract against CCl₄-induced hepatotoxicity in sprague-dawley rats. Entomol. Res. 42, 111-121.
- Kim, H.-G., Kang, K.-H., 2005. Bionomical characteristic of *Protaetia brevitarsis*. Korean J. Entomol. 44, 139-144.
- Kim, J.-Y., Ko, H.-M., Choi, S.-H., Lee, Y.-B., Lee, J.-G., Cho, J.-J., Kwon, H.-C., Cho, G.-S., Cha, G.-J., 2013. Technology for effective fertility/ viability and even distributed quality of *Protaetia brevitarsis seulensis* larva. National R&D Res. Rep. RDA. p. 30.
- Kim, M.-H., Park, J.-W., Kim, M.-J., Park, J.-J., 2019. Effect of herbal medicine by-products on the larval growth of white-spotted flower chafer (*Protaetia brevitarsis seulensis*). Korean J. Environ. Biol. 37, 60-67.
- Kim, S.J., Lee, S.-S., Baek, Y.C., Kim Y.S., Park, M.-J., Ahn, B.J., Cho, S.-T., Choi, D.-H., 2015. Manufacturing and feed value evaluation of wood-based roughage using lumber from thinning of oak and pitch pine. J. Korean Wood Sci. Technol. 43, 851-860.
- Kim, Y.M., 2012. Chemical components and physiological activities of different part from mulberry (*Morus alba*). Food Ind. Nutr. 17, 28-35.
- Kwon, O.-S., Hwang, B.-S., Kwon, C.-R., Choi, K., Kim, D.-H., 2010. A larva of the *Protaetia brevitarsis seulensis* which used a mulberry and a feed production way of an imago. Korean Patent No. 1009371520000 (2010.01.08.). <http://kpat.kipris.or.kr/kpat/searchLogina.do?next=MainSearch#page1> (accessed on 23 August, 2022).
- Lee, S.B., Kim, J.W., Bae, S.M., Hwang, Y.H., Lee, B.J., Hong, K.P., Park, C.G., 2018. Evaluation of spent mushroom substrates as food for white-spotted flower chafer, *Protaetia brevitarsis seulensis* (Coleoptera: Cetoniidae). Korean J. Appl. Entomol. 57, 97-104.
- Lee, Y.S., 2012. Larval survival rate of *Protaetia brevitarsis* in accordance with the different methods of collecting and arranging eggs. MS. Thesis, Kyungbook National University. p. 22.
- Lim, J.-R., Moon, H.-C., Park, N.-Y., Lee, S.-S., Lee, E.-J., Nam, J.-H., Kim, W., Choi, C.-H., Kim, H.-J., 2022. Development and oviposition characteristics of *Protaetia brevitarsis* (Coleoptera: Cetoniidae) fed with fermented sawdust from different berries. Korean J. Appl. Entomol. 61, 377-385.
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs), 2020. Results of the survey on the current status of the insect industry in 2020. <https://www.mafra.go.kr/bbs/mafra/65/327305/artclView.do> (accessed on 3 July, 2022).
- Moon, H.-C., Lim, J.-R., Park, N.-Y., Chon, H.-G., 2018. Development and oviposition characteristics of *Protaetia brevitarsis* (Coleoptera: Cetoniidae) fed fermented mulberry sawdust. Korean J. Appl. Entomol. 57, 373-379.
- Park, H.-Y., Park, S.-S., Oh, H.-W., Kim, J.-I., 1994. General characteristics of the white-spotted flower chafer, *Protaetia brevitarsis* reared in the laboratory. Korean J. Entomol. 24, 1-5.
- Song, M.-H., Han, M.-H., Lee, S., Kim, E.-S., Park, K.-H., Kim W.-T., Choi, J.-Y., 2017a. A field survey on edible insect farms in Korea. J. Life Sci. 27, 702-707.
- Song, M.-H., Han, M.-H., Lee, S.-H., Kim, E.-S., Park, K.-H., Kim W.-T., Choi, J.-Y., 2017b. Growth performance and nutrient composition in the white-spotted flower chafer, *Protaetia brevitarsis* (Coleoptera: Scarabaeidae) fed agricultural by-product, soybean curd cake. J. Life Sci. 27, 1185-1190.