

흰점박이꽃무지 유충의 발육에 적합한 베리류톱밥 발효기간에 관한 연구

임주락* · 이상식 · 이은진 · 김웅 · 최창학

전라북도농업기술원 잠사곤충시험장

Study on the Suitable Fermentation Period of Berry Sawdust for the Development of *Protaetia brevitarsis* Larva

Ju-Rak Lim*, Sang-sik Lee, Eun-Jin Lee, Woong Kim and Chang-hak Choi

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

ABSTRACT: After examining the temperature change in berry sawdust during the fermentation period and the developmental characteristics of *Protaetia brevitarsis* larvae according to the fermentation period, it was found that the fermentation speed was faster than with oak sawdust and a fermentation period of 50-70 days was the most suitable for larval growth. During the fermentation period, the temperature change in sawdust was quickly fermented as berry sawdust passed a high temperature of more than 60°C in the early stages of fermentation compared to fermentation speed of oak sawdust, and stabilized within 60 days. In individual breeding, the total growth period of *P. brevitarsis* larvae by fermentation period was the longest at 104.8 days after fermentation for 30 days, which was a significant difference. There was no difference in the growth period between 50 and 90 days of fermentation. Oak sawdust tended to be the same as berry sawdust, but the larval development period was approximately 30 days. The developmental period by larval stage differed greatly between berries and oak sawdust. The weight of larvae according to the fermentation period of sawdust was the lowest after 90 days of fermentation, with a long fermentation period for both berry and oak sawdust, and there was no difference in the 30-70 days fermentation periods. The survival rate was more than 95% in individual breeding, and there was no difference among the fermentation periods. However, in group breeding, the survival rate was lower than that of individual breeding and was lowest at 90 days of fermentation. In group breeding, the ratio of larvae weighing ≥ 2.5 g, which is the standard for shipment, was 85% after 30-70 days of fermentation of berry sawdust, but was lower at 70% after 90 days of fermentation, which was a significant difference. The survival rate with oak sawdust showed the same trend, which was approximately 10% lower than that with sawdust. In addition, the larvae from the berry sawdust weighed > 2.5 g in 40-60 days, while it took 75-105 days with oak-fermented sawdust.

Key words: *Protaetia brevitarsis*, Berry sawdust, Oak sawdust, Fermentation period, Development characteristic

초록: 베리류톱밥 발효기간중 톱밥내 온도변화와 발효기간에 따른 흰점박이꽃무지 유충의 발육특성을 조사한 결과 참나무톱밥에 비해 발효속도가 빠르고, 발효기간 50~70일이 유충 발육에 가장 적합하였다. 발효기간중 톱밥내 온도변화는 발효초기에 베리류톱밥이 참나무톱밥이 40°C 이하로 경과한데 반하여 베리류톱밥은 60°C 이상 고온으로 경과되면서 빠르게 발효가 되었고, 60일 이내에 안정화 되었다. 개체사육에서 발효기간별 흰점박이꽃무지 유충의 총 발육기간은 베리류톱밥은 30일간 발효에서 104.8일로 가장 길고, 유의차가 인정되었으며, 50~90일 발효는 90일 정도로 차이가 없었다. 참나무톱밥도 베리류톱밥과 마찬가지로 경향이나, 유충 발육기간이 30일정도 길었다. 유충 령기별 발육기간은 베리류톱밥과 참나무톱밥에서 차이가 컸고, 유의차가 인정되었다. 톱밥 발효기간에 따른 유충 무게는 베리류톱밥과 참나무톱밥 모두 발효기간이 긴 90일 발효에서 가장 가볍고, 발효기간 30~70일 발효에서는 차이가 없었다. 생존율은 개체사육에서는 95% 이상으로 발효기간에 따른 차이는 없었으나, 집단사육에서는 개체사육보다 생존율이 낮고, 발효기간 90일에서 가장 낮았다. 집단사육에서 출하기준인 2.5 g 이상 유충 비율은 베리류톱밥 발효기간 30~70일까지는 85% 정도로 차이가 없었지만, 발효기간 90일에서는 70%로 낮고, 유의차가 인정되었다. 참나무톱밥도 마찬가지로 경향이며, 베리류톱밥에 비해 10%정도 낮았다. 또한, 베리류톱밥은 40~60일이면 유충의 무게가 2.5 g 이상이 되었고, 참나무 발효톱밥은 75~105일이 걸렸다.

검색어: 흰점박이꽃무지, 베리류톱밥, 참나무톱밥, 발효기간, 발육특성

*Corresponding author: gocnd0617@korea.kr

Received May 20 2023; Revised August 15 2023

Accepted August 23 2023

2017년 식용곤충 사육 선도 농가의 현황 조사 결과(Song et al., 2017) 흰점박이꽃무지 출하 전까지의 유충 사육 기간과 종령 유충 무게 등이 농가들 사이에 차이를 보였으며, 각 농가에서는 흰점박이꽃무지 생산성을 높이기 위해 먹이원인 참나무 톱밥에 여러가지 부재료를 첨가하여 사용하고 있다고 하였다.

흰점박이꽃무지 유충은 통상 굼벵이라고 잘 알려져 있으며, 민간요법에서 간 질환을 치료한다고 하여 한방에서 사용되는 곤충 약재이다. 한의학에서는 단순히 곤충의 식용으로써 단백질 복합체 등 성분 외에도 이들의 서식처, 먹이, 생리활성에서 유래된 약리성을 중요시 여기고 있다(Han, 2003).

특히, 흰점박이꽃무지 사육과정에서 사료비가 전체 생산비의 32%를 차지하고 있을 정도여서(Lee et al., 2018), 생산비 절감을 위한 적절한 먹이원과 표준화된 발효방법 등이 요구되고 있다.

흰점박이꽃무지 실내사육에서 주로 사용되는 먹이원은 참나무 발효톱밥인데, 일반적으로 참나무 생톱밥을 구입해서 밀기울, 쌀겨, 대두박 등과 발효촉진제로 미생물제와 같은 부재료를 혼합하여 수분함량이 60% 이상 되도록 가해주고, 20 kg 포대에 담아 90일간 발효시켜 사용한다. 발효 기간동안 톱밥이 골고루 발효가 될 수 있도록 약 20일 간격으로 사료배합기를 이용하여 수분을 보충해주면서 섞어주기를 3회정도 실시하므로써 충분히 발효를 시키고, 흰점박이꽃무지 먹이로 활용하고 있다(Lim et al., 2022a).

베리류를 이용한 흰점박이꽃무지의 대체사료에 대한 연구는 뽕나무발효톱밥(Moon et al., 2018; Lim et al., 2022b)과 베리류박(Lim et al., 2022c), 베리류발효톱밥(Lim et al., 2022a) 등이 보고되었지만, 이들을 이용한 흰점박이꽃무지 발육특성에 대해서만 보고되어 있을 뿐이고, 발효방법은 참나무톱밥 발효방법과 같은 방식으로 사용되었으며, 흰점박이꽃무지 사육에 적합한 발효방법에 대해서는 보고되어 있지 않다.

발효는 호기성 미생물에 의해 유기물이 분해되고 안정화되는 과정으로 발효가 진행되면 세균이 방출하는 대사열로 인해 퇴비더미의 온도가 높아지면서 발생하는 세균에 의해 빠르게 분해되고, 후기에는 방선균과 균류가 우점하면서 고온이 유지되는 동안 고온성 미생물에 의하여 lignocellulose 등 난분해성 물질의 분해율은 높아진다고 보고되었다(Chung et al., 1999; Finstein et al., 1983; Bagstam, 1978; Iiyama et al., 1997; Lacey, 1973).

또한, 톱밥 발효과정에서 톱밥내 미생물의 활발한 대사활동과 높은 발열로 인한 수분의 소모와 pH가 낮아지고, 톱밥에 있던 여러 영양분과 미네랄은 미생물에 의해 재생산되어 이로인 영양분으로 바뀌고, 톱밥 종류에 따른 함유성분과 발효온도에

따라, 발효 초기에는 톱밥 내에서 증온성 미생물이 이용하기 쉬운 수용성 탄소원과 질소원 그리고 미네랄 등을 이용하여 증식하게 되고, 온도가 높아짐에 따라 고온성 미생물들이 가용 탄소원을 사용하여 생장하는 것으로 보고되었다(Koo et al., 2014).

한편 생톱밥에서는 미생물생장에 불리한 기체가 발생하고, 신속하게 생장하는 미생물이 이용하기 쉬운 탄수화물이 노출되어 잡균의 오염이 쉽다. 또한, 날카로운 톱밥 알갱이는 흰점박이꽃무지 유충의 상처를 유발할 수 있다. 이에 비하여 발효톱밥에서는 가스가 휘산되고, 급속히 자라는 미생물들이 톱밥내 단순한 화합물을 이용하고 고갈시키므로(Koo et al., 2014), 흰점박이꽃무지 유충이 자라기에 유리하게 될 수 있다. 실제로 발효톱밥은 생톱밥에 비해 버섯 균사의 초기 활착 및 생장속도를 빠르게 하여 생산을 높이고(Oh et al., 2004), 가축사료의 질(Kim et al., 2011)이나 돼지고기의 육질(Lee et al., 1999)을 개선하는데에도 응용이 가능하다고 보고되어 있다.

따라서, 톱밥 종류에 따른 발효기작이 다를 것으로 여겨지며, 발효정도에 따라 흰점박이꽃무지 유충의 발육이 달라질 것으로 예상되기 때문에 참나무톱밥과 베리류톱밥 발효기간에 따른 흰점박이꽃무지 발육특성을 구명하고, 베리류톱밥의 안전하고 표준화된 사육방향을 제시해 줄 필요가 있어 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

실험곤충

흰점박이꽃무지는 전북 장수군 사육 농가에서 2019년 4월 성충을 구입하여 전북농업기술원 잠사곤충시험장 사육실(25±1°C, RH 50~60%)에서 베리류 발효톱밥이 담긴 20 L 플라스틱박스(543 × 363 × 188 mm)에 120마리(암:수=2:1) 정도 넣고 사육하며, 산란을 받아 부화된 유충을 실험에 이용하였다.

성충먹이로는 시중에서 판매되는 바나나 열매를 구입하여 2~3일 간격으로 교체하여 공급하면서 성충 수명이 다 할때까지 일주일 간격으로 산란을 받을 수 있도록 하였다. 산란된 알은 별도로 보관하면서 부화를 유도하였고, 부화된 유충의 밀도를 조절하여 실험을 실시하였다.

톱밥 발효방법 및 발효기간에 따른 온도변화 측정

베리류톱밥은 전북지역에서 재배되는 뽕나무, 복분자, 블루베리의 전정가지를 2020년 1년 동안 수집하여 잔가지 파쇄기(DY13-838, 동양공업)와 분쇄기(MC10SS5-F, 성장기계)를 이

용하여 분쇄를 하고, 4 mm 스텐채망을 이용하여 4 mm 이하의 크기로 톱밥을 만들어 20 kg 포대에 담아 상온 창고에 보관하였다. 참나무톱밥은 전북 장수군 흰점박이꽃무지 사육농가가 강원도에서 구입한 생톱밥을 구입하여 사용하였다.

베리류톱밥 발효는 제조된 각각의 톱밥과 부재료를 배합기에 넣고 골고루 섞이도록 혼합하여 발효시켰다. 베리류톱밥은 뽕나무와 블루베리, 복분자 각각의 톱밥을 2:2:1 비율로 섞어주고, 부재료는 톱밥 30 kg에 밀기울 3 kg, 설탕 0.5 kg, 미생물제(EM) 300 ml 비율로 첨가하여 수분함량이 70~80% 정도 될 수 있도록 가수하면서 혼합하였다. 참나무톱밥 역시 같은 비율로 부재료를 첨가하여 혼합하였다. 톱밥 혼합은 톱밥배합기(DDK-802MA; 대동테크)를 이용하였다.

톱밥 발효는 배합된 톱밥을 다시 20 kg 포대에 담아 발효실(3 × 3 × 4 m)에서 5월부터 8월까지 90일간 발효를 시켰다. 실험에 사용된 밀기울과 설탕은 시중에서 판매되는 제품을 구입하였고, 미생물은 전북 부안군 농업기술센터에서 보급하는 EM제(유산균 12종과 효모균 1종으로 구성된 복합미생물 배양제; 서진바이오)를 활용하였다. 발효 시작 후 톱밥을 고르게 발효시키기 위하여 발효기간 중 20일 간격으로 가수 및 혼합(섞어주기)을 톱밥배합기를 이용하여 발효시작후 20일째, 40일째, 60일째 3회 실시하였다.

발효실과 톱밥내 온도 변화를 측정하기 위하여 발효실은 유리대 온도계를 벽 중앙에 3개를 걸어두고 측정하였으며, 베리류톱밥과 참나무톱밥의 톱밥내(20 cm 깊이) 온도 변화 측정을 위해 지중온도계(TTC-100)를 적재된 톱밥 포대의 중간부위에 3개씩 꽂아두었다. 온도 측정은 2일 간격으로 각각의 온도를 관찰하여 기록하였다.

개체사육에서 톱밥 발효기간에 따른 흰점박이꽃무지 발육 특성

베리류톱밥 발효기간이 흰점박이꽃무지 발육특성에 미치는 영향을 조사하기 위해 발효기간 중 각각 30일, 50일, 70일, 90일째에 베리류톱밥을 꺼내어 일주일간 상온에 두어 충분히 가스를 배출하고, 각각 흰점박이꽃무지 유충의 먹이로 공급하면서 톱밥 발효기간에 따른 발육 특성을 조사하였으며, 참나무톱밥을 대조로 하였다.

유충 사육은 페트리디쉬($\phi 100 \times 40$ mm)에 발효톱밥을 각각 2/3 정도 채운 후 부화후 1일째인 유충을 1마리씩 넣고 사육실 선반에 처리별로 30마리씩 3반복으로 배치하고 개체 사육하였다.

발육 특성은 각각의 유충의 령기별 발육기간과 평균 무게,

생존율을 조사하였다. 조사방법은 2~3일에 한 번씩 유충 령기와 무게를 조사하였으며, 동시에 생존 여부를 확인하였다. 유충 령기는 유충 두폭의 크기를 측정하여 구분하였다.

집단사육에서 발효기간에 따른 2.5 g 이상 유충 비율 및 생존율

톱밥 발효기간이 흰점박이꽃무지 생산에 미치는 영향을 분석하기 위하여 개체사육과는 별도로 유충의 집단사육을 실시하였다. 톱밥 발효기간은 개체사육과 동일하게 30일부터 50일, 70일, 90일 4처리로 하여 발효기간별 2.5 g 이상 유충의 비율과 생존율을 조사하였다.

집단사육은 20 L 리빙박스(플라스틱박스; 543 mm × 363 mm × 188 mm)를 사용하였고, 발효톱밥을 각각 2/3 정도 채운 후 갖 부화한 유충을 리빙박스 20 L 당 100마리씩 넣어 3반복으로 사육하였다.

2.5 g 이상 유충의 비율은 사육 시작 후 30일째부터 15일 간격으로 120일까지 리빙박스당 2.5 g 이상 유충의 수를 조사하여 백분율로 환산하였다. 조사방법은 15일 간격으로 2.5 g 이상 유충수를 조사하고, 다시 리빙박스에 담아 계속 사육하면서 2.5 g 이상 유충수를 조사하여 누적비율로 환산하였다. 생존율은 120일째에 최종 생존 여부를 확인하였다.

통계처리

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

결과

톱밥 발효 및 발효기간에 따른 온도변화

베리류톱밥 발효를 위한 부재료 혼합비율은 기존에 참나무 톱밥 발효에 사용되는 농촌진흥청과 흰점박이꽃무지 사육농가 3개소의 혼합비율을 참고하여 Table 1과 같이 설정하였다. 톱밥 발효에 첨가되는 부재료는 농가마다 달라서 가급적 농촌진흥청의 혼합비율을 참고하였고, 쌀겨 대신에 밀기울을 사용하였다.

농가에서는 쌀겨보다는 밀기울을 선호하였고, 설탕 대신에 당밀을 선호하였으며, 단백질 영양분으로 대두박을 첨가하는

경향이였다. 이는 톱밥만으로는 미생물이 성장하기에 적합하지 못하기 때문이며, 발효가 잘 되기 위해서는 유기질소원과 단백질이 필요하고, 톱밥의 입자크기와 별채시기와 같은 원목의 상태 또한 중요하다(Shim, 2002).

베리류톱밥의 발효상태를 분석하기 위해 발효기간에 따른 발효실내 온도변화와 톱밥 내부의 온도 변화를 측정된 결과(Fig. 1) 발효초기에 발효실에 비해 톱밥 내부의 온도가 높게 형성되고, 발효가 잘되는 것으로 나타났다.

베리류톱밥은 발효 초기에 60°C까지 올라갔고, 이후 감소하다가 20일째 1차 가수와 혼합한 후에 다시 약간 온도가 높게 나타났다다가 낮아지고, 40일째 2차가수 이후에는 발효실 온도보다 약간 높게 유지되면서 큰 차이가 없었다.

반면, 참나무톱밥은 발효 초기에 40°C이상 온도가 높게 경과되었으나, 베리류톱밥보다는 낮게 경과되었고, 20일째 1차 가수와 혼합한 후에는 베리류톱밥보다 온도가 높게 경과되었으며, 40일째 가수와 혼합한 후에 온도가 약간 올랐다가 낮아지고, 60일째 3차 가수와 혼합한 후에는 베리류톱밥보다 온도가 높게 경과되지만, 76일차 이후 발효실과 베리류톱밥 온도와 차이가 거의 없었다.

이는 베리류톱밥이 참나무톱밥에 비해 초기에 발효가 빠르

게 일어나고, 1차 가수와 혼합 이후에는 발효가 비교적 적게 이루어지는 것으로 추측이 가능하며, 참나무톱밥은 2차 가수와 혼합 이후에 발효가 다시 일어나고, 3차 가수와 혼합 이후에 안정되는 것으로 유추해 볼 수 있다.

표고 재배에 이용되는 참나무 톱밥의 발효과정에서 물리화학적 특성변화를 알기 위하여 참나무 톱밥 33 ton을 적재하고, 46일 동안 기간별, 깊이별로 변화를 조사한 결과(Koo et al., 2014), 톱밥의 온도는 표면 20 cm 깊이는 환경에 따라 민감하게 변하는데 비하여, 40~100 cm 깊이에서는 점진적으로 변하여 적재 12일 만에 최고온도 58.9°C에 도달하였고, 150 cm 깊이에서는 24일 만에 최고온도에 도달하였다고 하여 본 연구의 참나무톱밥 온도변화와 약간 다르다.

이는 본 연구에서는 톱밥을 포대에 담아 발효를 하였고, 적재량도 많지 않았기 때문에 생각되며, 참나무톱밥에서 1차 발효후 온도가 높게 경과되는 것과 최고 온도에 도달하는 시기로 보아 유사한 결과로 판단되지만, 베리류톱밥의 온도변화는 매우 다른 양상을 보이고 있음을 알 수 있다.

일반적으로 참나무톱밥 발효는 농가에서 대량으로 발효시킬 때 본 실험 결과보다 온도 변화가 높게 경과 되는 것으로 알려져 있으나, 실험에 필요한 양 만큼 소량으로 발효를 실시하였

Table 1. The mixing ratio of additive material in berries mixed sawdust

Content	Contained quantity					
	Sawdust (kg)	Bran (kg)	Rice bran (kg)	Sugar (kg)	Microorganism (ml)	Soybean Meal (kg)
RDA	30	-	1.5	0.5	300	-
farm A	120	18	-	1.25	1000	8
farm B	150	15	-	treacle 8 L	1250	15
farm C	225	30	10	treacle 1.5 L	yeast 2 teaspoon	7.5
Setting	30	4	-	0.5	300	-

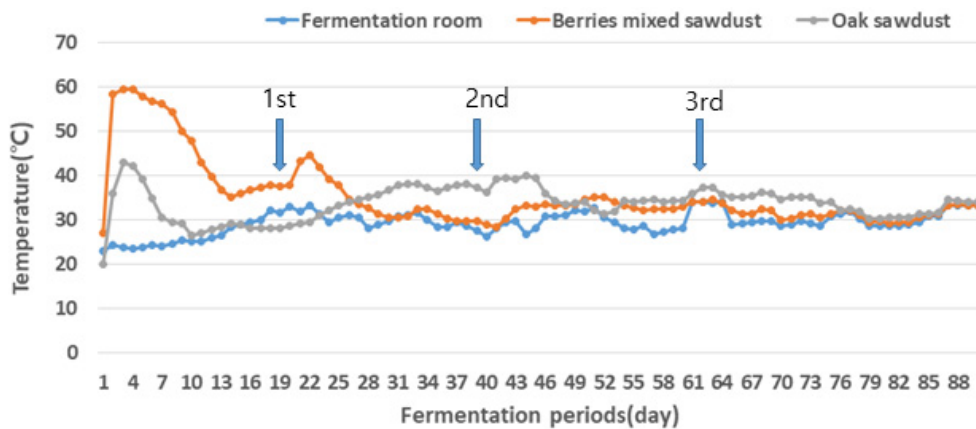


Fig. 1. Temperature changes in fermentation rooms and sawdust by fermentation (*1st, 2nd, 3rd : Additional moisture and mix sawdust).

기 때문에 발효공간에 따른 차이가 클 것으로 판단되고, 톱밥의 종류에 따라 성분함량의 차이도 발효과정에 영향을 미칠 것으로 사료된다. 또한, 발효기간중 3회정도 수분을 가하고 섞어주는데, 이는 톱밥내 미생물의 활발한 대사활동과 높은 발열로 인하여 수분소모가 있기 때문(Ha et al., 2008)으로 발효과정에 변수로 작용할 것으로 여겨진다.

따라서, 대량으로 발효를 실시할 경우에는 본 실험과 다른 결과가 나타날 수 있으나, 충분한 발효가 이루어지기 위해서는 발효공간 뿐만 아니라, 톱밥의 물리화학적 특성, 발효시기 등에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다. 다만, 발효실 온도와 톱밥종류별 온도변화를 고려해보면 베리류톱밥이 참나무톱밥에 비해 발효속도가 빠른 것은 분명한 것으로 여겨진다.

개체사육에서 톱밥 발효기간에 따른 흰점박이꽃무지 발육 특성

개체사육에서 톱밥 발효기간에 따른 흰점박이꽃무지 유충 발육기간 조사결과(Table 2) 베리류톱밥을 이용한 흰점박이꽃무지 개체사육에서 베리류톱밥의 발효기간별 유충 총 발육기간은 30일 발효에서 104.8일로 가장 길었고, 50일 발효는 90일, 70일 발효는 86.7일, 90일 발효는 89.6일로 발효기간 50일부터 90일은 총 발육기간에 차이가 없어 발효기간 30일만 유의차가 인정되었다.

참나무톱밥에서도 마찬가지로 경향으로 30일 발효부터 각각 137.6일, 122.9일, 113.7일, 116.2일로 30일 발효를 제외하고, 나머지는 총 발육기간에 큰 차이가 없었다. 그러나, 참나무톱밥에 비해 베리류톱밥에서 총 발육기간이 30일 이상 짧은 경향으로 이는 베리류 톱밥의 발효속도가 빨랐기 때문으로 추정된다.

자연상태에서 유충 발육기간은 약 3개월이라는 보고(Park et

al., 1994)로 볼 때 약간 길어지기는 하였으나, 베리류발효톱밥 종류에 따른 흰점박이꽃무지 발육특성 연구결과(Lim et al., 2022b)에서 뽕나무톱밥은 157.3일, 복분자톱밥은 130.3일, 블루베리톱밥은 140일이라는 보고보다는 짧은 경향이였다. 또한, 참나무발효톱밥의 유충 발육기간은 부화후 67일, 70일 등 보고자에 따라 차이가 많이 나타난다(Song et al., 2017; Kwon, 2009, Kim et al., 2002). 이는 사육환경이나 톱밥의 부숙정도 등에 의한 차이로 사료되나, 추후 자세한 검토가 필요할 것으로 보인다.

유충 령기별 발육기간은 베리류톱밥에서 1령과 2령은 발효기간에 따른 차이가 없으나, 3령은 발효기간 30일에서 발육기간이 82.8일로 길고 유의차가 인정되었으나, 나머지는 63~67일로 유의차가 없었다. 참나무톱밥에서는 1령은 50일 발효에서 가장 짧고, 유의차가 인정되었으나, 2령은 70일이 가장 길고 유의차가 인정되었으며, 3령은 30일 발효에서 유의차가 인정되어 발효기간에 따라 령기별로 차이가 많이 나타났다.

또한, 베리류톱밥에서 참나무톱밥에 비하여 1령은 2~6일정도, 2령은 6~9일정도, 3령은 13~27일정도 짧아지는 경향으로 Lim et al. (2022b)의 결과와 유사하며, 베리류톱밥이 참나무톱밥에 비해 비교적 빠르게 완숙 발효되었기 때문이라는 견해와 일치한다.

따라서, 개체사육에서 톱밥발효기간에 따른 유충 총 발육기간은 발효기간이 가장 짧은 30일 발효기간을 제외하고 흰점박이꽃무지 생산에 적합할 것으로 생각된다. 다만, 유충의 령기별 발육기간은 발효기간에 따라 베리류톱밥과 참나무톱밥의 발육기간에 차이가 있고, 령기별로도 차이가 나타나기 때문에 톱밥의 물리화학적 특성에 따른 령기별 발육특성에 대한 자세한 분석이 필요할 것으로 보인다.

개체사육에서 톱밥 발효기간에 따른 흰점박이꽃무지 유충

Table 2. Developmental period of *Prothetia brevitarsis* larva by fermentation period with mixed berry sawdust and oak sawdust

Fermentation period (day)	Developmental period of larva (day)				
	1 st	2 nd	3 rd	Total	
Berries mixed sawdust	30	8.8±0.73 a	13.2±2.07 a	82.8±11.60 b	104.8 b
	50	9.6±0.17 a	13.1±0.23 a	67.3±12.66 ab	90.0 ab
	70	9.3±0.47 a	14.0±1.20 a	63.4±7.45 a	86.7 a
	90	9.7±0.79 a	12.9±2.44 a	67.0±20.33 ab	89.6 ab
Oak sawdust	30	11.6±0.67 b	20.0±4.72 ab	105.9±6.55 b	137.6 b
	50	8.9±1.61 a	19.7±3.51 a	94.2±8.71 ab	122.9 ab
	70	12.2±1.91 bc	23.2±1.01 b	78.3±7.25 a	113.7 a
	90	16.0±1.95 c	19.8±3.92 a	80.4±11.91 a	116.2 a

* Different letters in a column indicate different significance by the Duncan's multiple range test.

Table 3. Larval weight and survival rates of *Prothetia brevitarsis* by fermentation period with mixed berry sawdust and oak sawdust

Fermentation period (day)	Larva weight(g)			Survival rate (%)	
	1st	2nd	3rd		
Berry mixed sawdust	30	0.08±0.004 a	0.6±0.17 a	2.9±0.83 a	97.8±1.92 a
	50	0.08±0.002 a	0.6±0.15 a	2.4±0.21 b	100±0.00 a
	70	0.08±0.19 a	0.5±0.02 b	2.1±0.34 bc	90.0±17.32 a
	90	0.06±0.014 b	0.5±0.03 b	2.0±0.07 c	95.6±5.09 a
Oak sawdust	30	0.07±0.009 a	0.4±0.04 a	2.4±1.23 a	97.8±3.85 a
	50	0.07±0.016 a	0.4±0.02 a	2.3±0.54 ab	98.9±1.92 a
	70	0.07±0.008 a	0.4±0.06 a	2.0±0.26 b	97.8±3.85 a
	90	0.05±0.036 b	0.3±0.28 b	1.9±0.63 b	100±0.00 a

* DMRT 5%.

무게 조사결과(Table 3) 베리류톱밥의 발효기간별 유충 령기별 평균무게는 1령은 90일 발효가 0.06 g으로 가장 작았고, 유의차가 인정되었으며, 나머지는 0.08 g으로 차이가 없었다. 2령은 30일과 50일 발효에서 0.6 g이었고, 70일과 90일 발효는 0.5 g으로 유의차가 인정되었다. 3령은 30일 발효에서 2.9 g으로 가장 무거웠고, 발효기간이 길수록 가벼워지는 경향이었다.

참나무톱밥으로 사육한 유충 각 령기별 무게는 1~2령은 발효기간 90일에서 무게가 가볍고, 유의차가 인정되었고, 3령은 발효기간 70일과 90일 발효에서 유의차가 인정되었으며, 1~3령 모두 베리류톱밥에 비해 무게가 가벼운 경향이었다.

생존율은 베리류톱밥과 참나무톱밥 모두 90% 이상으로 좋았고, 유의차는 인정되지 않았다.

이상에서 발효기간이 길수록 흰점박이꽃무지 유충의 무게는 감소하는 경향으로 생산성이나, 경제적인 측면에서 발효기간이 짧을수록 효과적임을 알 수 있으나, 30일 발효는 표 2에서 발육기간이 길어 경제성이 떨어지고, 발효기간이 긴 90일 발효는 무게가 감소하므로 톱밥 발효기간은 베리류톱밥과 참나무톱밥 모두 50일에서 70일 사이가 적합한 것으로 추정이 가능하다.

또한, 베리류톱밥에서 흰점박이꽃무지 유충의 발육기간이 짧고, 무게가 증가하는 것은 베리류 작물 중 뽕나무, 블루베리, 복분자의 톱밥을 이용한 흰점박이꽃무지 발육특성에서 이미 검증되었고, 참나무톱밥에 비해 발육속도가 빠르고, 발효가 빠르다는 것이 보고 되어 있다(Lim et al., 2022b).

집단사육에서 발효기간에 따른 2.5 g 이상 유충 비율 및 생존율

집단사육에 따른 2.5 g 이상 유충 비율 및 생존율 조사결과 (Table 4) 베리류톱밥을 이용한 흰점박이꽃무지 집단사육에서

출하기준인 2.5 g 이상 유충비율은 30~75일이면 2.5 g 이상이 되었고, 45~60일 사이에 높게 나타났다. 톱밥 발효기간에 따른 2.5 g 이상 총 비율은 각각 84%, 92%, 85%, 70%로 발효기간 30~70일까지는 차이가 없었지만, 발효기간 90일에서는 비율이 약간 떨어지는 경향으로 유의차가 인정되었다.

참나무톱밥으로 사육한 흰점박이꽃무지 2.5 g 이상 유충비율은 75~120일이 걸렸고, 톱밥 발효기간에 따른 총 비율은 76%, 77%, 81%, 63%로 발효기간 70일에서 가장 많았고, 베리류톱밥과 마찬가지로 발효기간 30~70일은 차이가 없었으며, 발효기간 90일에서 유의차가 인정되었다. 또한, 베리류톱밥에 비해 2.5 g 이상 총 비율은 10%정도 낮게 나타났다.

집단사육에서 2.5 g 이상 유충비율은 뽕나무, 복분자, 블루베리 톱밥 모두 참나무톱밥에 비해 30% 이상 많았다는 보고 (Lim et al., 2022b)보다는 적지만 10% 이상 차이가 나는 것으로 보아 유사한 결과로 생각된다.

생존율은 베리류톱밥은 발효기간 70일에서 93%로 가장 좋았고, 나머지는 80% 정도로 낮아 유의차가 인정되었고, 참나무톱밥은 발효기간 90일에서 79%로 가장 낮았고, 나머지는 90% 정도로 높았으며, 유의차가 인정되었다.

그러나, 집단사육에서 생존율은 개체사육에서 발효기간에 따른 생존율 차이는 없었던 것과는 다르게 발효기간이 길었던 90일 발효에서 생존율이 낮은 경향이며, 대부분 80%이상으로 베리류톱밥과 참나무톱밥간에는 차이가 없었지만, 앞에서 개체사육 생존율에 비해서는 10%정도 떨어지는 경향이었다. 이는 개체간의 먹이 또는 공간 경쟁에 의해 발생하는 결과로 추정된다.

또한, 개체사육에서 발효기간 30일에서 발육기간이 길고, 유충무게가 무거웠으며, 발효기간 90일에서는 발육기간이 짧고, 유충무게가 가벼웠던 결과로 볼 때 발효기간이 긴 90일 발

Table 4. Larval weight ≥ 2.5 g and survival rates of *Prothetia brevitarsis* by fermentation period of berries mixed sawdust and oak sawdust

Fermentation period (day)	Larval rate of 2.5 g or more(%) / developmental period								survival rate	
	30 day	45 day	60 day	75 day	90 day	105 day	120 day	Total	(%)	
Berries mixed sawdust	30	10	32	28	13	1	0	0	84 ab	84 b
	50	4	54	25	8	3	0	0	92 a	84 b
	70	14	34	22	10	4	1	0	85 ab	93 a
	90	10	33	15	8	2	2	0	70 b	80 b
Oak sawdust	30	0	1	1	30	25	19	0	76 ab	87 ab
	50	0	1	2	24	20	23	7	77 ab	92 a
	70	0	1	1	15	32	24	8	81 a	89 ab
	90	0	1	5	12	25	10	10	63 b	79 b

* DMRT 5%.

효에서 생존율이 떨어지고, 2.5 g 이상비율이 떨어져 너무 발효 기간이 길어도 출하량이 감소하는 것으로 여겨진다.

따라서, 개체사육에서 발육기간 및 생존율과 집단사육에서 2.5 g 이상 비율 및 생존율을 고려하면, 발효기간이 짧은 30일과 발효기간이 긴 90일보다는 발효기간 50~70일이 안전하다는 결과로 판단이 가능하다.

또한, 베리류톱밥에서는 대부분 부화후 30일에서 60일 사이에서 무게가 2.5 g 이상으로 나타나 참나무톱밥이 75일 이후에 나타나는 것과는 비교가 되었다. 이는 흰점박이꽃무지 유충 집단사육시 2.5 g 이상 유충비율은 베리류 3종류의 발효톱밥 모두 6주에서 8주사이에 60% 이상인 반면 같은 기간에 참나무발효톱밥은 10% 이내였고, 10주가 지나야 2.5 g 이상인 유충의 비율이 높아져, 베리류톱밥에서 참나무톱밥보다 흰점박이꽃무지 유충의 발육 속도가 빠르다는 보고(Lim et al., 2022b)와 유사한 경향이였다.

고찰

본 연구에서 베리류톱밥 발효기간을 달리하여 흰점박이꽃무지의 유충의 발육 특성을 조사한 결과 개체사육에서 발육기간 및 생존율과 집단사육에서 유충무게 2.5 g 이상 비율 및 생존율 등을 고려하면 발효기간은 50~70일 정도가 적당할 것으로 판단되고, 베리류톱밥이 흰점박이꽃무지 먹이원인 참나무톱밥을 대체할 가능성이 높은 것으로 판단되었다.

톱밥 발효기간 온도변화 측정 결과 베리류톱밥은 발효 초기에 60°C까지 올라갔고, 이후 감소하다가 20일째 1차 섞어주기 후에 다시 약간 온도가 높게 나타났다가 낮아지고, 40일째 2차 섞어주기 이후에는 발효실 온도 변화와 차이가 없는 것으로 제시되어 베리류톱밥은 60일 이내에 발효가 완료되는 것으로 추

정이 가능하였다.

반면, 참나무톱밥은 발효 초기에 40°C 이상 온도가 높게 경과되었으나, 베리류톱밥보다는 낮게 경과되었고, 20일째 1차 섞어주기 후에는 베리류톱밥보다 온도가 높게 경과되었으며, 40일째 섞어주기 후에 온도가 약간 올랐다가 낮아지고, 60일째 섞어주기 후에는 베리류톱밥보다 온도가 높게 경과되지만, 크게 온도가 높아지지는 않는 것으로 제시되어 60일 이후까지 발효가 진행되는 것으로 판단된다.

따라서, 베리류톱밥이 참나무톱밥에 비해 발효속도가 빠르고, 60일 이내에 발효가 완료되는 것으로 추측이 가능하며, 참나무톱밥은 2차 가수와 혼합 이후에 발효가 계속 진행되며, 3차 섞어주기 이후에 안정되는 것으로 유추해 볼 수 있다.

톱밥발효는 버섯이 자라는데 경쟁관계에 있는 다른 미생물을 억제시키기 위해 처음상태를 변화시키는 과정으로 발효과정 동안 화학적 성질, 물리적 성질, 미생물 변화를 겪게 된다고 한 보고(Shim, 2002)와 미생물 개체군의 성장은 온도에 따라 급속히 증가하다가 최적온도 이상이 되면 성장률은 급격히 떨어진다는 보고(Zwietering et al., 1991; Chung et al., 1999)는 베리류톱밥과 참나무톱밥은 발효과정동안 물리화학적 성질에 의해 차이가 있음을 나타내주는 결과로 보인다.

또한, Koo et al. (2014)는 발효기간동안 수분함량은 점진적으로 감소하였고, pH는 대체로 5.2에서 5.6으로 점진적으로 상승하였으나, 톱밥의 탄소함량은 68~70%로 변화가 적는데 비하여, 질소함량과 인산 함량은 점진적으로 상승하였으며, 톱밥의 물리화학적 특성은 발효기간과 적재 깊이에 따라 변화정도가 다르고, 대부분의 물리-화학적 성질은 발효 동안 점진적으로 변화하였지만, 온도는 기간과 깊이에 따라 다르게 변화했다고 하여 이를 뒷받침해주는 결과이며, 베리류톱밥 발효에 대한 물리화학적 검토가 필요한 것으로 생각된다.

개체사육에서 톱밥 발효기간에 따른 흰점박이꽃무지 발육 특성은 개체사육에서 베리류톱밥의 발효기간별 유충 총 발육 기간은 30일 발효에서 가장 길었고, 50일부터 90일은 총 발육 기간에 차이가 없었으며, 참나무톱밥에서도 마찬가지로 경향으로 제시되었고, 참나무 발효톱밥에 비해 베리류 발효톱밥에서 총 발육기간이 30일 이상 짧은 경향으로 베리류 톱밥의 발효속도가 참나무톱밥의 발효속도보다 빠르다는 것으로 설명된다.

그러나, 유충 령기별 발육기간은 총 발육기간과 마찬가지로 경향이나, 톱밥 종류에 따라 차이가 있었고, 발효기간에 따른 령기별 발육기간에는 약간의 차이가 있어 선호하는 발효정도에 차이가 있을 것으로 추정되어 이후 자세한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

또한, 톱밥 발효기간에 따른 유충 무게는 베리류톱밥과 참나무톱밥 모두 발효기간이 긴 90일 발효에서 가장 가볍고, 발효기간이 짧을수록 무거운 발육기간과는 반대의 결과로 발효기간이 짧은 30일 발효는 발육기간이 길고, 90일 발효에서는 유충 무게가 감소하므로 유충의 발육에 효율적이지 못한 것으로 보이고, 톱밥 발효기간은 50일에서 70일 사이가 적합한 것으로 추정이 가능하게 한다. 또한, 흰점박이꽃무지가 완전발효된 것보다는 발효가 덜 된 것을 선호하는 것으로 추정할 수 있고, 참나무 발효톱밥에 비해 베리류 발효톱밥에서 발육기간이 짧고, 유충의 무게가 증가하는 것으로 보아 참나무 발효톱밥보다는 베리류 발효톱밥이 흰점박이꽃무지 유충의 사육에 더욱 효과적임을 알 수 있다.

집단사육에 따른 흰점박이꽃무지 2.5 g 이상 유충 비율은 베리류톱밥을 이용한 흰점박이꽃무지 집단사육에서 45~60일에서 높았고, 참나무톱밥에서는 75~105일에서 높았으며, 발효기간 30~70일까지는 차이가 없었지만, 발효기간 90일에서는 비율이 약간 떨어지는 경향으로 제시되어 베리류톱밥의 발효속도가 빠르고, 유충 발육에 효과적이거나, 발효기간이 긴 90일 발효에서는 비효율적이라는 것을 유추할 수 있었다.

또한, 집단사육에서 생존율은 개체사육 생존율보다 낮고, 발효기간에 따라 차이가 나타나 집단사육에서 개체간에 경쟁이 이루어졌기 때문으로 판단된다.

이상의 결과에서 발효기간에 따른 흰점박이꽃무지 발육 특성은 발효기간이 짧은 30일 발효에서는 유충의 무게는 더 무거워지지만, 발육기간이 길고, 2.5 g 이상 유충 비율이 떨어지는 경향이며, 반대로 발효기간이 긴 90일 발효에서는 발육기간은 짧지만, 유충의 무게가 가볍고, 집단사육에서 2.5 g 이상 유충 비율이 떨어지는 경향이므로 흰점박이꽃무지 사육에 부적합하여 발효기간은 50~70일이 안전하다는 결과로 판단이 가능하다. 또한, 생산성이나 경제적인 측면에서도 발효기간 50~70일

이 가장 적합한 것으로 판단된다.

금후 베리류를 이용한 흰점박이꽃무지 사육기술의 확대 보급을 위해서는 참나무발효톱밥과 비교되는 사육매뉴얼을 작성하고, 베리류톱밥 발효 표준화 기술 개발이 필요하며, 본 연구의 결과가 해당 곤충의 사육에 필요한 기준으로 제공되길 바란다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 지역특화작목기술개발과제(과제번호: PJ012574, PJ016956)의 지원에 의하여 연구가 수행되었습니다.

저자 직책 및 역할

임주락: 전라북도농업기술원 농업연구사; 실험설계 및 논문작성
이상식: 전라북도농업기술원, 농업연구사; 실험수행
이은진: 전라북도농업기술원, 농업연구사; 자료정리 및 실험수행
김용: 전라북도농업기술원, 농업연구관; 자료분석 및 통계분석
최창학: 전라북도농업기술원, 농업연구관; 자료분석 및 검토

모든 저자는 원고를 읽고 투고에 동의하였음.

Literature Cited

- Bagstam, G., 1978. Population changes in microorganisms during composting of spruce-bark. I. Influence of temperature control. *Eur. J. Appl. Microbiol. Biotech.* 5, 315-330.
- Chung, J.-C., Kim, J.-G. Kim, K.-S., Won, H.-J., Park, H.-S., Park, Y.-N., 1999. Microorganisms present in solid waste composting and their ecological role. *J. Kor. Organic Resources Recycling Association.* 7, 81-102.
- Finstein, M.-S., Miller, P.-F., Macgregor, S.-T., Psarianos, K.-M., 1983. Composting ecosystem management for waste treatment. *Bioresource Technol.* 1, 347-353.
- Ha, T.-M., Yoon, S.-M., Ju, Y.-C., Sung, J.-M., 2008. Physical and chemical characteristics of cotton waste substrate according to fermentation conditions for oyster mushroom bed cultivation. *Korean J. Mycology.* 36, 163-171.
- Han, B.-N., 2003. Microbe profile on the fermentation process for the diet of *Protaetia brevitarsis*. MS. Thesis, Chungnam National University, p. 63.
- Iiyama, K., Stone, B.-A., Macauley, B.-J., 1997. Compositional changes in compost during composting and growth of *Agaricus bosporus*. *Appl. Environ. Microbiol.* 63, 1538-1546.
- Kim, C.-H., Lee, J.-S., Go, M.-S., Park, K.-T. 2002. Ecological characteristics of *Protaetia orientalis submarmorea* (Burmeister) (Colop-

- tera: Cetoniidae). Korean J. Appl. Entomol. 41, 43-47.
- Kim, M.-K., Lee, H.-G., Park, J.-A., Kang, S.-K., Choi, Y.-J., 2011. Recycling of fermented sawdust-based oyster mushroom spent substrate as a feed supplement for postweaning calves. Asian-Australasian J. of Animal Sci. 24, 493-499.
- Koo, C.-D., Lee, S.-J., Lee, H.-Y., Park, Y.-W., Lee H.-S., Kim, J.-S., 2014. Changes on physio-chemical properties of oak sawdust during fermentation. J. Kor. Soc. Mushroom Sci. 12, 209-215.
- Kwon, O. 2009. Effect of different diets on larval growth of *Protaetia brevitarsis seulensis* (Kolbe) (Coleoptera: Cetoniidae). Entomol. Res. 39, 152-154.
- Lacey, J., 1973. Actinomycetes in soils, composts and fodders. in: Sykes, G., Skinner, F.A. (Eds.), Actinomycetales: Characteristics and practical Importance, Academic Press, New York, pp. 231-251.
- Lee, J.-I., Ju, S.-T., Park, G.-B., 1999. The effect of fish power oil additive in diet on the fatty acids composition and cholesterol content of pork belly from the pigs fed on the fermented sawdust feds. Korean J. Food Sci. Ani Resour. 19, 127-135.
- 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.
- Lim, J.-R., Moon, H.-C., Park, N.-Y., Lee S.-S., Kim, W., Choi, C.-H., Kim, H.-J., 2022a. Optimal larval density and low temperature storage conditions for rearing of *Protaetia brevitarsis* (Coleoptera: Cetoniidae) using a fermented mulberry sawdust-base diet. Korean J. Appl. Entomol. 61, 555-562.
- 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., 2022b. Development and oviposition characteristics of *Protaetia brevitarsis* (Coleoptera: Cetoniidae) fed with fermented sawdust from different berries. Korean J. Appl. Entomol. 61, 377-385.
- Lim, J.-R., Moon, H.-C., Park, N.-Y., Lee, S.-S., Nam, J.-H., Kim, W., Choi, C.-H., Kim, H.-J., 2022c. Development and oviposition characteristics of *Protaetia brevitarsis* (Coleoptera: Cetoniidae) by additional feeding Korean black raspberry marc and blueberry marc. Int. J. Indust. Entomol. 44, 44-54.
- 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.
- Oh, S.-J., Park, J.-S., Shin, P.-G., Yoo, Y.-B., Jhune, C.-S., 2004. An improved compost using cotton waste and fermented sawdust substrate for cultivation of oyster mushroom. Mycobiology 32, 115-118.
- 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.
- Shim, M.-S., 2002. Composting of sawdust substrate for growing shiitake mushroom (*Lentinus edodes*). Ministry of Agriculture and Forestry, Daejeon., p. 141.
- Song, M.-H., Han, M.-H., Lee, S.-H., Kim, E.-S., Park, K.-H., Lim, W.-T., Choi, J.-Y., 2017. A field survey on edible insect farms in Korea. J. of Life Sci. 27, 702-707.
- Zwietering, M.-H., De Koos, J.-T., Hasenack, B.-E., De witt, J.-c., Van't Riet, K., 1991. Modeling of bacterial growth as a function of temperature. Appl. Environ. Microbiol. 57, 1094-1101.