

갈색거저리 유충 생산을 위한 효율적인 사육조건 확립

김시현[†] · 김종철[†] · 이세진 · 김재수*

전북대학교 농업생명과학대학 농생물학과

Establishment of Optimal Rearing Conditions for the Production of *Tenebrio molitor* Larvae

Sihyeon Kim[†], Jong Cheol Kim[†], Se Jin Lee and Jae Su Kim*

Department of Agricultural Biology, College of Agriculture & Life Sciences, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

ABSTRACT: *Tenebrio molitor* larvae contain large amounts of proteins, lipids and other functional materials, enabling this insect to be used as an edible food source in animal feeds and for industrialization. Although many efforts have been made to set up mass rearing systems, few studies have been conducted to establish optimal rearing conditions for the production of high quality *T. molitor* larvae. Herein we investigated 1) the effects of additional diets on the survival and fecundity of the insect, 2) the relationship between oviposition period and the uniformity of larval size, 3) the effects of rearing density and temperature on insect development, and 4) the storage stability of eggs and pupae at low temperatures given possible temporary production discontinuation. The addition of carrot and zucchini to the traditional wheat bran diet significantly increased the survival and fecundity rate of adult *T. molitor*. Of the three different oviposition sampling periods (3, 7, and 14 days) used to investigate the uniformity of the hatched larvae in each treatment, the period of 3 and 7 days provided higher uniformity than the 14 days oviposition period. Larval development was faster at 30°C than at 20, 25, and 35°C. Interestingly, oviposition rates were highest at 20°C but showed much slower larval development and lower uniformity at 30°C. Regarding the effect of larval rearing densities (1, 10, 20, 30, 40, and 50 larvae per 90 mm diam. dish), larval weight was significantly reduced at higher rearing densities, but larval longevity and length were not influenced by rearing density. The 30 larvae/dish is suggested to be a reasonable density to be applied to mass production systems. When kept at 4°C, *T. molitor* eggs showed a significant reduction in hatching rate; however, when stored under the same conditions, pupae emergence rates remained high until 10 weeks, suggesting that storage at low temperatures is more suitable for the pupal stage than the egg stage. Our findings suggest that an increase in *T. molitor* adult survival and fecundity rates and a uniformity of hatched larval development can be achieved with the following recommendations: a combination diet (including wheat bran), a 7-day oviposition period; a larvae-rearing temperature of 30°C, a rearing density of 30 larvae/dish, and the storage of pupal stages at low temperatures in the case of rearing discontinuation. This study serves as a strong foundation for the successful mass production of high quality *T. molitor* larvae.

Key words: insect development, low temperature storage, oviposition, *Tenebrio molitor*, uniformity

초록: 사료용 곤충 중에서 갈색거저리 유충은 사료용 및 산업용 등으로 이용되고 있지만, 효율적인 유충 확보를 위한 대량사육 연구는 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 갈색거저리 성충의 산란율 증가를 위한 밀기울+추가 사료 조건 별 산란율 비교, 산란 기간과 유충 크기의 균일성, 사육 밀도와 온도에 따른 발육 양상, 알과 번데기의 저온 보관 안정성을 검토하였다. 기본 사료인 밀기울에 당근과 애호박을 추가로 처리한 결과, 성충의 산란수와 생존율을 증가시킬 수 있었다. 성충의 산란 기간을 3일과 7일 동안 각각 달리한 결과, 14일 동안 산란을 받은 처리구에 비해 높은 유충 크기의 균일성을 확보할 수 있었다. 갈색거저리 유충의 발육은 20, 25, 30, 35°C 조건 중에서 30°C에서 가장 빨랐으며, 20°C에서는 산란수는 많았지만, 상대적으로 느린 생육 특성을 보였고, 자연 치사율이 증가하여 일정한 크기의 유충 확보가 용이하지 않았다. 사육용기에 갈색거저리 유충을 1, 10, 20, 30, 40, 50마리 밀도로 사육한 결과, 밀도가 증가함에 따라 유충의 생존율과 길이 생육에는 유의성 있는 영향을 주지 않았지만, 무게 생장은 감소하였다. 사육 밀도를 30마리(/직경 90 mm 용기) 이하로 유지하는 것이 가장 효율적이며, 30마리 이상으로 유지할 경우 개체의

*Corresponding author: jskim10@jbnu.ac.kr

Received July 21 2016; Revised November 1 2016

Accepted November 3 2016

[†]These two authors contributed equally to this work.

발육이 늦어지는 결과를 확인하였다. 갈색거저리의 알과 번데기를 4°C에 보관하였을 때, 알은 9시간, 번데기는 10주 이상 보관하면 부화율과 우화율이 급격히 감소하는 결과를 보여, 보관 층대는 알보다는 번데기가 더 적합하였다. 본 연구를 바탕으로, 갈색거저리 성충의 생존율과 산란율을 높이기 위한 추가 식물체 사료의 공급이 필요하며, 고품질의 균일한 층체 확보를 위해 산란을 7일 이상 받지 않을 것을 추천하고, 30°C 근처의 사육온도에서 30마리/90 mm 용기 이하의 사육 밀도를 유지할 필요가 있으며, 저장 보관 과정에서 알보다는 번데기 형태로 보관하는 것이 적합하다. 본 연구의 결과는 효율적인 갈색거저리 유충의 대량 확보를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

검색어: 갈색거저리, 곤충 발육, 균일성, 산란, 저온 보관

전 세계 곤충산업 시장은 2007년 11조원으로 그 규모가 꾸준히 성장하고 있으며 2020년까지 약 38조원으로 그 규모가 늘어날 것으로 전망되고 있다. 이에 따라 사료, 의약, 애완, 천적, 화분매개용 등 다양한 분야로 시장이 확대 되고 있으며, 우리나라 곤충산업 시장은 2009년 1,570억원의 시장 규모로 성장하였다. 특히 산업화된 곤충 분야 중 사료 및 식·의약품 곤충 시장은 2009년부터 시장이 확대되어, 귀뚜라미, 동애등에 외 갈색거저리가 주요 산업화 곤충으로 개발되고 있다(Choi et al., 2011).

딱정벌레목(Coleoptera) 거저리과에 속하는 갈색거저리(*Tenebrio molitor* L.)는 저장 곡물을 가해하는 해충으로 알려져 왔으나(Lemos et al., 2011), 최근 곡물에 대한 관리 조건과 방제 수준이 높아지면서 해충으로 거의 인식되지 않게 되었다(Koo et al., 2013). 또한 갈색거저리는 단백질과 지방이 풍부하며 아미노산, 불포화지방산, 무기질을 포함하고 있어 동물 사료용, 식용 및 산업용 등 다양한 방면으로 활용되고 있으며, 사육으로 인해 발생하는 지구 온난화 지수와 토양 이용도는 닭, 돼지, 소 등 가축을 사육하는 것보다 낮게 발생되기 때문에 차세대 단백질원으로 동물 사료와 인류의 대체식량으로 활용될 수 있다(Oonincx, 2012; Megido et al., 2013).

갈색거저리는 다른 곤충의 사육에도 용이하여 포식 곤충인 침노린재과의 기주(Jiraphon and Tasanee, 2001; Zanuncio et al., 2001)와 솔수염하늘소의 천적인 개미침벌의 인공증식용 기주(Dai et al., 2005; Yang et al., 2005; Hong et al., 2008)로 활용되고 있으며, 갈색거저리 유충을 이용하여 곤충병원성 진균의 분리에도 이용되고 있다(Vänninen, 1996).

현재 갈색거저리는 성페로몬(Happ and Wheeler, 1969), 일처다부의 교미 습성(Drnevich et al., 2001), 산란과 수명(Park et al., 2012), 발육 특성(Kim et al., 2015), 성충 수명에 따른 부화율(Tracey, 1958) 및 산소 농도에 따른 생존률(Greenberg and Amos, 1996) 등 생리·생식에 관한 연구와 면역 기능과 체색이 수명 및 산란수에 미치는 영향(Barnes and Siva-Jothy, 2000; Armitage et al., 2003), 사육 비용을 절감하기 위한 버섯 폐배지 등 대체 먹이를 이용하는 연구(Kim et al., 2014), 동결 건조된 갈색거저리 유충의 제조공정 표준화에 따른 자가 규격 및 유통

기한에 대한 연구(Chung et al., 2014) 등 대량생산에 관한 연구가 보고 되었다.

이와 같이 최근 갈색거저리를 다양한 용도로 대량으로 이용하기 때문에, 이를 대량 생산하는 기술이 필요로 하며, 이에 따르는 많은 연구들이 진행되어 왔다. 하지만, 효율적으로 갈색거저리를 사육하기 위해 온도에 따른 산란 및 생육의 안정성에 대한 연구와 유충을 특정 크기로 균일하게 사육하여 효율적으로 이용하는 방법에 대한 연구가 미흡하다.

본 연구에서는 갈색거저리를 효율적으로 생산하고자, 먹이에 따른 성충의 생육과 산란율, 산란 기간에 따른 유충 크기의 균일성 및 온도에 따른 개체의 발육 양상을 조사하였으며, 알과 번데기의 저온 보관 안정성을 평가하여 최종적으로 갈색거저리의 최적 사육 조건을 확립하고자 하였다.

재료 및 방법

대상 곤충

갈색거저리는 농촌진흥청 농업과학원에서 분양을 받았으며, 밀기울이 사육용기의 1/3정도 들어간 플라스틱 상자(40 × 30 × 30 cm)에서 사육되었다. 사육 중 발생한 번데기는 새로운 플라스틱 상자로 옮겨주었으며, 수분과 영양분을 추가로 공급하기 위하여 3일 간격으로 배춧잎을 제공하였다. 사육은 온도 27 ± 2°C, 상대습도 33 ± 2%, 광주기 L:D = 16:8의 실내 조건에서 진행되었다.

추가 먹이에 따른 생육 양상

밀기울을 기본 영양원(Kim et al., 2014)으로 하여 추가 먹이에 따른 생육 양상을 평가하기 위하여, 우화 후 10일 이내의 교미 중인 암수 성충 5쌍을 선발하여 실험을 진행하였다. 갈색거저리 성충은 6g의 밀기울이 들어간 Breeding dish (90 × 45 cm)에 넣어 주었으며, 각 Breeding dish에 감자, 당근, 무, 배춧잎, 오이, 호박을 직경 4 cm 두께 0.3 cm의 크기로 잘라 3일 간격으로 제공하였다. 대조구는 밀기울만 제공하고 추가적인 먹이는

제공하지 않았다. 모든 실험은 온도 $27 \pm 2^\circ\text{C}$, 습도 $33 \pm 2\%$, 광주기 L:D = 16:8의 실내 조건에서 2반복으로 진행되었다. 성충의 생충율은 3주 동안 매일 관찰되었으며, 산란수는 1주 간격으로 부화된 유충의 개체수로 확인되었다.

산란 간격에 따른 생육 균일성 비교

산란 간격에 따른 유충의 생육 양상을 검토하기 위하여, 우화 후 10일 이내의 고미 중인 암수 성충 5쌍을 선발하였으며, 각 성충은 6g의 밀기울이 들어간 Breeding dish (90 × 45 cm)에 넣어 주었다. 성충은 밀기울이 포함된 새로운 breeding dish로 3, 7, 14일 간격으로 산란하도록 한 후 옮겨 주었다. 균일한 크기의 총체 확보를 위한 산란 구간 간격은 일반적인 갈색거저리 유충의 산란율과 대량 사육 과정에서 발생하는 노동력의 투입 상황(어느 정도 주기로 고미 중인 성충을 다른 새로운 케이지로 옮겨 주어야 하는지의 관점)을 고려하여 3, 7, 14일로 임의로 선정하였다. 산란 구간을 7일 이후 14일로 설정한 것은 실제 갈색거저리 생산자 측면에서 1주일과 2주일 중에서 어느 기간이 곤충 사료를 갈아 주는 데 더 효율적인가를 비교하고, 추후 대량 사육 매뉴얼의 작성 특성상 쉽게 생산자들을 교육할 수 있는 부분을 감안하여 설정하였다. 수분과 영양분을 공급하기 위하여 3일 간격으로 10 × 10 cm 크기의 배춧잎이 제공되었으며 모든 실험은 $27 \pm 2^\circ\text{C}$, 상대습도 $33 \pm 2\%$, 광주기 L:D = 16:8의 실내 조건에서 3반복으로 진행되었다. 산란기간은 총 6주 동안 진행하였고, 10주 후 유충의 개체수와 크기를 확인하였다. 부화한 유충은 길이를 기준으로 한 4그룹($1 \text{ cm} < x$, $1 \text{ cm} \leq x \leq 1.5 \text{ cm}$, $1.5 \text{ cm} \leq x \leq 2 \text{ cm}$, $x \geq 2 \text{ cm}$)으로 크기를 분류하였다.

밀도에 따른 개체군 생육 비교

밀기울(3g)이 포함된 petri dish (90 × 15 mm)에 5 mm 크기의 갈색거저리 유충을 각 1, 10, 20, 30, 40, 50마리씩 넣어주었으며, 수분과 영양분을 공급하기 위하여 3일 간격으로 10 × 10 cm 크기의 배춧잎이 제공하였다. 2주 간격으로 갈색거저리 유충의 생충수, 길이 및 무게를 측정하였다. 모든 실험은 $27 \pm 2^\circ\text{C}$, 상대습도 $33 \pm 2\%$, 광주기 L:D = 16:8의 실내 조건에서 3반복으로 진행되었다.

온도에 따른 생육 비교

우화 5일 이내의 암수 성충 5쌍을 밀기울이 포함된 breeding dish에 넣어 주었으며, 각 breeding dish는 20, 25, 30, 35°C 조

건으로 유지되면서, 갈색거저리의 산란 기간 및 생육 기간을 조사하였다. 2주 동안 산란을 받은 후, 성충은 breeding dish에서 제거되었으며, 2주 간격으로 16주 동안 갈색거저리 유충의 개체수, 길이 및 무게를 조사하였다. 높은 산란수와 생육속도를 보인 온도를 선발하여 2차 실험을 진행하였다. 우화 5일 이내의 암수 성충 5쌍이 들어있는 breeding dish를 20, 30°C 조건으로 2주 동안 산란을 받은 후, 20°C 산란 처리구는 각각 20°C와 30°C 2가지 조건으로 나누어 유충의 발육 양상을 조사하였으며, 30°C 산란 처리구는 계속 30°C 조건에서 유지되면서 유충의 발육을 확인하였다. 모든 실험은 수분과 영양분을 공급하기 위하여 3일 간격으로 10 × 10 cm 크기의 배춧잎이 제공되었으며 상대습도 $33 \pm 2\%$, 광주기 L:D = 16:8의 실내 조건으로 진행되었다. 실험은 3반복으로 진행되었다.

충태별 저온 보관 안정성

충태별 저온 보관 안정성을 확인하기 위하여, 알과 번데기를 이용하여 실험을 진행하였다. 알의 보관 안정성 실험에서는 우화 10일 이내의 갈색거저리 성충 2쌍을 2g의 밀기울이 포함된 petri dish에서 3일 동안 산란을 받은 알을 사용하였다. 3일 동안 산란 받은 알의 수를 확인한 후, 각각 4°C에서 3, 6, 9, 12, 15, 18일 동안 보관하였다. 그 후, 1주 간격으로 유충의 생육을 조사하였다. 번데기의 저온 보관 안정성 실험에서는, 우화 3일 이내의 번데기 10마리를 사용하였으며 각각 4°C에서 2, 4, 6, 8, 10, 12주 동안 보관 후 성충으로의 우화율을 조사하였다. 4°C 보관 이후, 모든 처리는 $27 \pm 2^\circ\text{C}$, 상대습도 $33 \pm 2\%$, 광주기 L:D = 16:8의 실내 조건에서 유지되었으며, 무처리는 실온에서 보관하여 비교하였다. 모든 실험은 3반복으로 진행되었다.

통계분석

먹이 종류에 따른 생육양상, 적정 개체군 밀도, 온도에 따른 갈색거저리 유충의 생육양상은 요인분석(ANOVA)과 Tukey's HSD test로 처리 평균간 유의성 차이를 검정하였다. 유의성은 $\alpha = 0.05$ 에서 검정하였으며 분석 결과는 평균 ± 표준편차로 표기하였다(SPSS, 2009).

결과

먹이에 따른 생육양상

먹이에 따른 갈색거저리 성충의 생육 양상과 산란 능력을 확

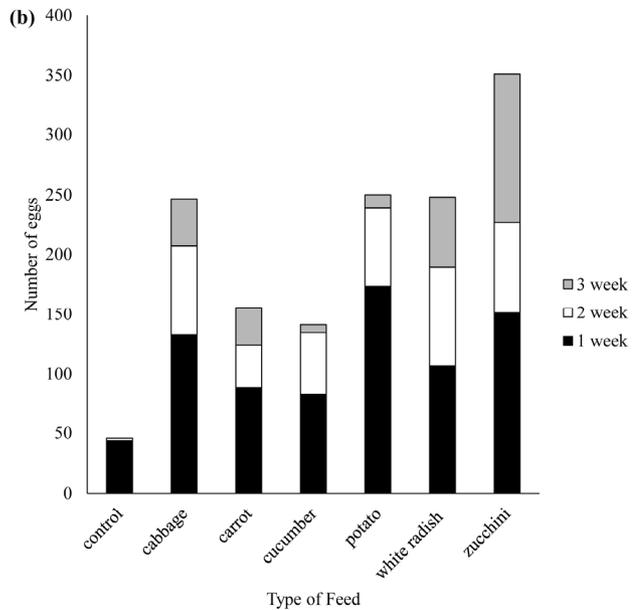
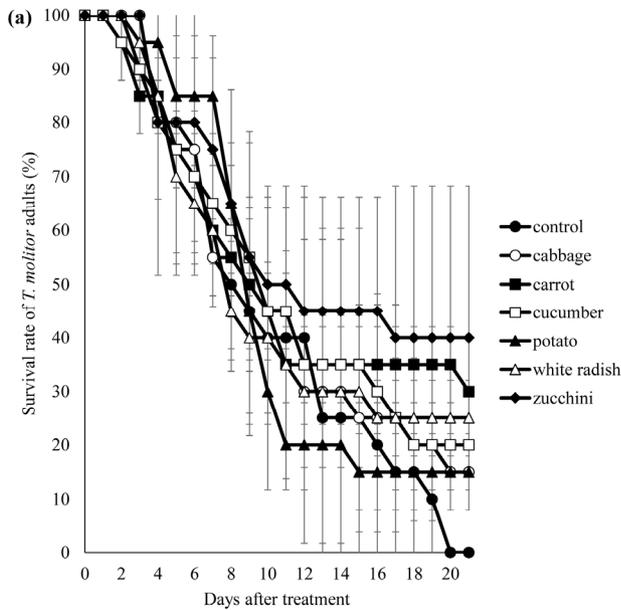


Fig. 1. The effect of diet and supplementation of various agricultural by-products on *Tenebrio molitor*; (a) larvae survival rate and (b) number of eggs laid. *SE = standard error.

인한 결과(Fig. 1), 먹이를 제공하지 않은 무처리구에서는 20일 차에 모든 성충이 치사 되었다. 1주차에는 43.5마리가 산란을 하였으나, 2주차에서는 2마리 정도만 산란을 하였고, 이후 산란은 확인되지 않았다. 당근과 애호박을 먹이로 제공한 처리구에서는 3주차에서도 30% 이상의 성충의 생충율을 보였으며, 다른 처리구에 비해 유의한 차이를 보였다($F_{6,154} = 51.13, p < 0.001$). 또한, 애호박을 제공한 처리구에서의 산란수는 351개로 다른 처리구에 비해 많은 수의 알이 확인되었다. 하지만 무처리구를 제외한 다른 처리구 간의 큰 차이는 없었다($F_{6,21} = 46.44, p < 0.005$).

산란 간격에 따른 산란수와 유충의 크기 균일성

갈색거저리 성충을 3, 7, 14일 간격으로 산란 받은 처리구에서 총 개체수 중 보다 큰 개체는 각각 56.0, 52.6, 44.9%의 비율로 확인되었으며, 각 처리구별 평균 총 산란수는 1011, 899, 619개로 확인되었다(Fig. 2). 산란 간격이 좁을수록 갈색거저리 유충의 크기는 일정하였으며, 산란수가 높은 것을 확인하였다.

밀도에 따른 개체군 생육 비교

갈색거저리 유충을 밀도에 따른 생육양상을 확인한 결과, 밀도가 높아질수록 유충의 개체수 변화(Fig. 3 (a))는 12주차 확인 결과, 1 (12주차 평균 생존 개체수: 0.7), 10 (8.3), 20 (13.7), 30 (22.7), 40 (26.0), 50 (37.0)마리 처리구 모두 개체가 감소하였고, 처리 간의 유의적인 차이가 확인되지 않았다($F_{5,84} = 1.448, p < 0.5$). 또한 12주간 갈색거저리 유충을 사육한 후, 유충의 길이를 측정하여 초기 길이인 5 mm와 비교하였다(Fig. 3 (b)). 그 결과, 1 (평균 15.3 mm, 초기 길이 5 mm의 3배), 10 (14.5 mm, 2.9배), 20 (13.3 mm, 2.7배), 30 (12.0 mm, 2.4배), 40 (11.8 mm, 2.4배), 50 (10.9 mm, 2.2배)마리 처리구 순으로 길이가 감소하였지만, 처리 간의 큰 차이가 보이지 않아 개체의 밀도가 유충의 길이 성장에는 큰 영향을 주지 않은 것으로 확인되었다($F_{5,84} = 0.452, p = 0.85$). 하지만 유충의 무게를 측정하여 초기 유충의 무게와 비교하였을 때(Fig. 3 (c)), 1 (초기 평균

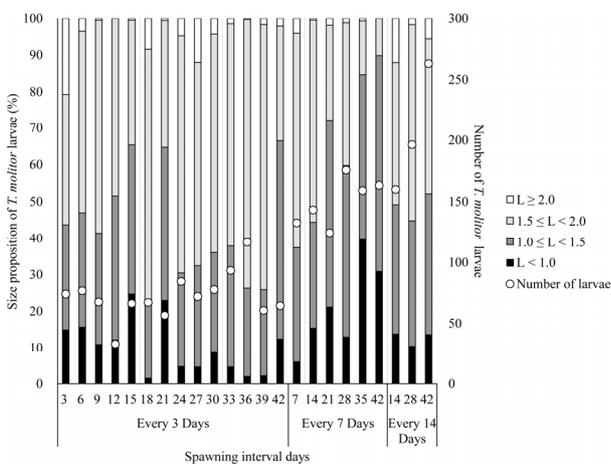


Fig. 2. The uniformity of *Tenebrio molitor* larvae size according to spawning interval. *SE = standard error.

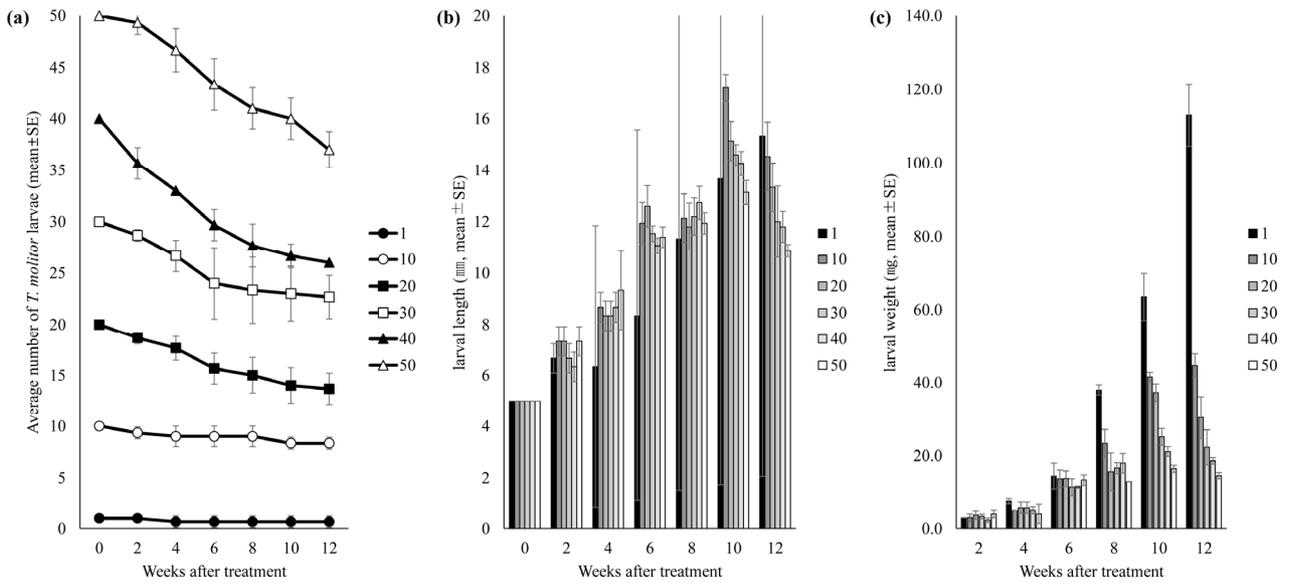


Fig. 3. The effect of rearing densities (larvae per 90 mm diam. dish) on *Tenebrio molitor* larvae; (a) survival rate, (b) average larval length, and (c) average larval weight. *SE = standard error.

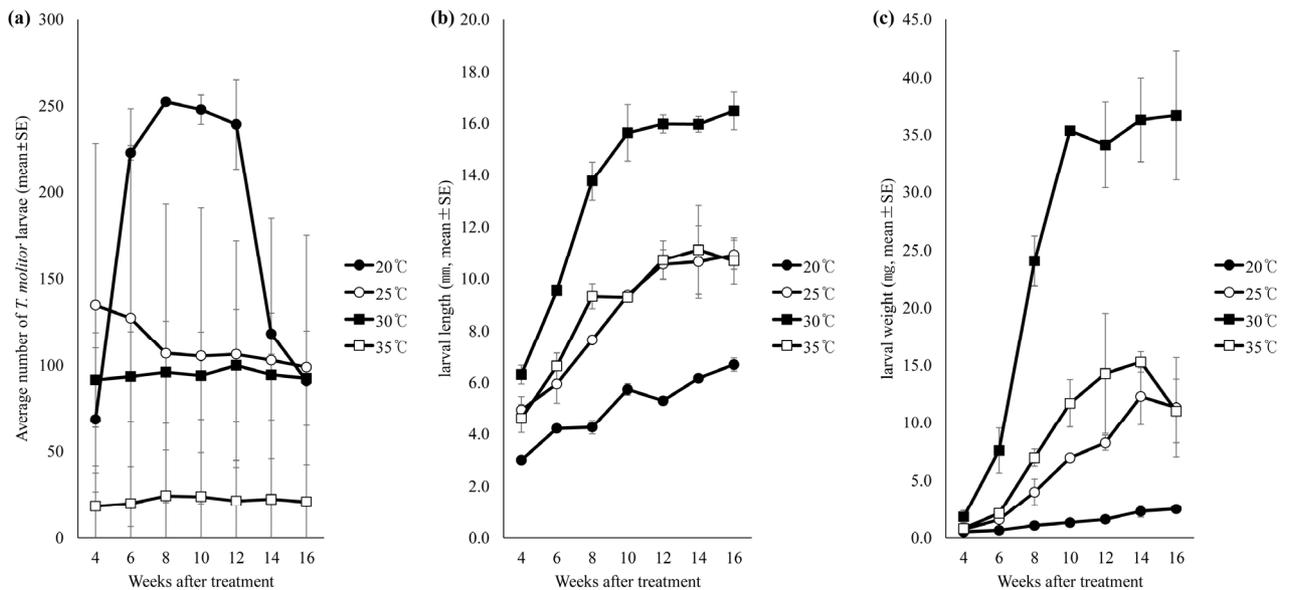


Fig. 4. The effect of different rearing temperatures (°C) on *Tenebrio molitor*; (a) adult survival rate, (b) average larval length, and (c) average larval weight. *SE = standard error.

무게: 3.0 mg, 12주차 평균 무게: 113.0 mg, 초기 무게의 37.7 배), 10 (3.0 mg, 44.7 mg, 14.8배), 20 (3.7 mg, 30.3 mg, 8.3배), 40 (2.3 mg, 18.6 mg, 8.0배), 30 (3.3 mg, 22.3 mg, 6.7배), 50 (4.0 mg, 14.6 mg, 3.7배)마리 처리구 순으로 무게가 감소되었고, 1마리 처리구가 무게가 가장 컸고, 10마리, 20마리 순으로 무게가 컸으며, 30, 40, 50마리 처리구 사이에서는 큰 차이를 보이지 않았다($F_{5,84} = 3.622, p < 0.005$).

온도에 따른 생육 비교

갈색거저리 성충을 20, 25, 30, 35°C 조건으로 2주 동안 사육한 결과, 20°C 조건에서는 95%, 25°C와 30°C 조건에서는 85%, 35°C 조건에서는 35%의 생충율이 확인되었다. 35°C 조건에서 산란된 개체수는 21마리로 가장 적었으며, 20°C 조건에서는 산란된 개체수가 최고 253마리로 확인되었으나, 12주차 이후에 급격히 감소하여 16주차에서는 91마리가 확인되었다. 25, 30°C

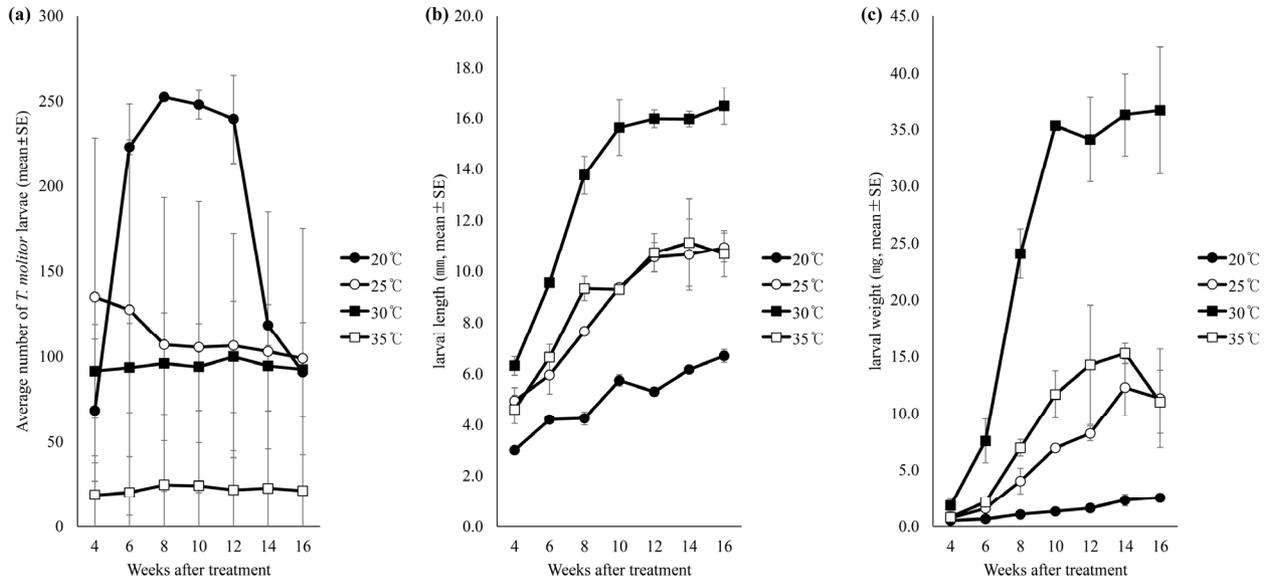


Fig. 5. The effect of variation in rearing temperatures ($^{\circ}\text{C}$) on *Tenebrio molitor*; (a) adult survival rate, (b) average larval length, and (c) average larval weight. *SE = standard error.

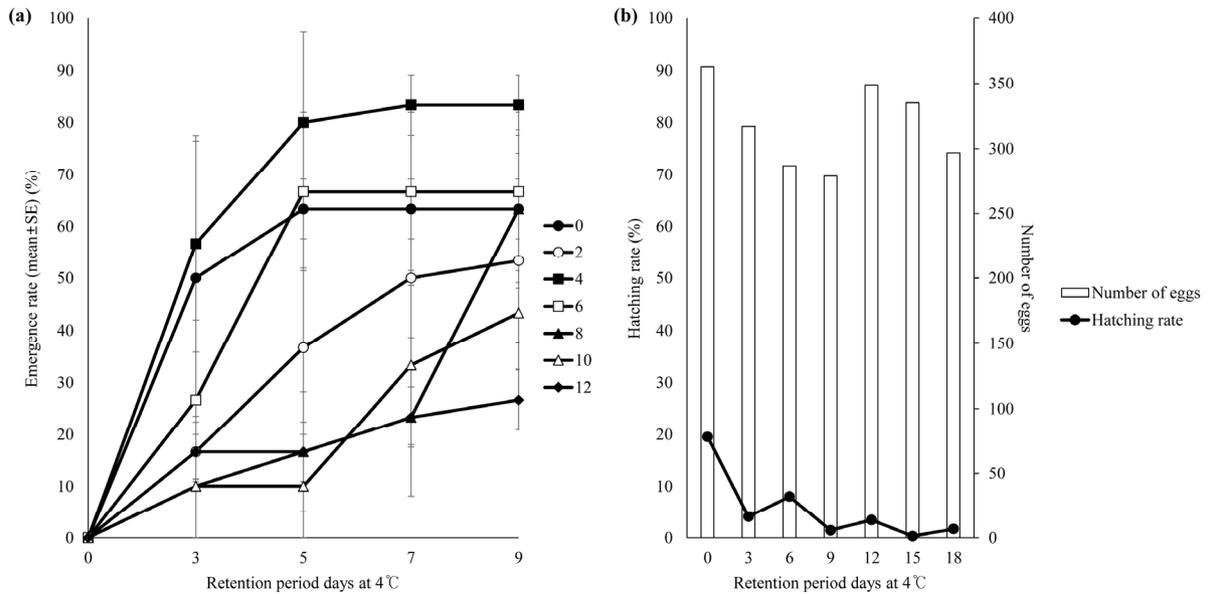


Fig. 6. The stability of *Tenebrio molitor* pupae and egg under low temperature (4°C) storage conditions; (a) the emergence rate of the pupae and (b) the egg hatching rate. *SE = standard error.

조건에서는 개체수가 각각 99, 92마리로 확인되었고 두 처리구 간의 유의적인 차이가 확인되지 않았다(Fig. 4 (a)) ($F_{3,28} = 23.992, p < 0.001$). 각 온도조건에서 16주차의 갈색겨저리 유충의 평균 길이를 확인한 결과, 20°C 조건에서 평균 길이는 6.7 mm로 가장 작았으며, 30°C 조건에서 평균 길이가 16.5 mm로 가장 크게 증가하였다. 25°C 와 35°C 조건에서 평균 길이는 각각 10.9 mm와 10.7 mm으로 두 처리구간의 유의한 차이는 보이지 않았다(Fig. 4 (b)) ($F_{3,28} = 16.365, p < 0.001$). 평균 무게를

16주차에 확인한 결과 30 (평균 무게: 36.7 mg), 25 (11.3 mg), 35 (11.0 mg), 20 (2.5 mg) 순으로 크기가 감소하였고 각 처리구 간의 유의한 차이를 확인하였다(Fig. 4 (c)) ($F_{3,28} = 88.280, p < 0.001$).

본 실험의 결과를 바탕으로 2차 실험을 진행한 결과, 20°C 조건에서 산란을 받은 후 30°C 조건에서 사육을 진행한 결과, 20°C 조건에서 산란과 유충 사육 진행하였을 때보다 개체의 감소 비율이 적었으며, 30°C 조건에서 산란과 유충 사육 진행하

였을 때보다 많은 개체수가 확인되었다(Fig. 5 (a)) ($F_{2,30} = 71.23, p < 0.005$). 평균 길이(Fig. 5 (b)) ($F_{2,30} = 197.475, p < 0.001$)와 무게(Fig. 5 (c)) ($F_{2,30} = 155.623, p < 0.001$)는 20°C 조건에서 사육한 갈색거저리 처리구 보다는 빠른 생육속도를 보였으나, 30°C 조건에서 사육한 처리구보다 낮은 생육속도를 보였다.

총태별 저온 보관 안정성

갈색거저리의 번데기를 4°C 저온에서 보관 후 우화율을 확인한 결과(Fig. 6 (a)), 8주 이하로 저온 보관 후 상온에서 9일간 유지하였을 때 50% 이상의 우화율이 확인되었다. 하지만, 10주 이상 저온에 노출되었을 때 전체적인 우화율은 45% 미만이었다($F_{6,70} = 31.085, p < 0.001$). 갈색거저리의 알을 4°C 저온에서 보관 후 부화율을 확인한 결과(Fig. 6 (b)), 무처리구의 부화율은 19.6%였으며, 저온처리구의 부화율은 3-8%였다. 알은 저온에 노출되었을 때 부화율이 낮아지는 것을 확인하였다. 하지만 처리구간의 유의한 차이는 확인할 수 없었다($F_{6,7} = 38.06, p < 0.1$).

고찰

밀기울을 기본 사료로 하고, 추가 먹이에 따른 갈색거저리 성충의 생육 안정성과 산란율에 대한 실험 결과, 당근과 애호박의 처리구의 성충의 생존율은 다른 처리구에 비해 높게 나타났으며, 이에 따라 산란수도 높게 나타났다. 추가 먹이를 제공하지 않은 처리구와 다른 처리구와 비교했을 때, 성충의 생존율과 산란수가 낮아지는 현상을 나타냈다. 이는 추가 먹이의 공급 유무가 갈색거저리 성충의 생육과 생식에 큰 영향을 주는 것으로 볼 수 있다. 또한 추가 먹이의 종류가 성충의 생존율에 영향을 미치는 것으로 보였으며, 먹이의 영양성분에 대한 차이를 농촌진흥청의 식품성분표(Cho et al., 2011)로 비교하였을 때, 당근과 애호박이 다른 먹이에 비해 비타민 A와 칼슘이 풍부한 것으로 확인되었다. 하지만, 현재까지 비타민 A와 칼슘이 갈색거저리 생육에 어떠한 영향을 미치는지에 관한 연구는 수행되지 않았지만, 향후 이와 관련된 연구를 통하여 효율적인 영양성분을 공급하여 갈색거저리의 생육을 향상시킬 수 있을 것이다.

성충의 산란 기간의 간격에 따른 유충의 크기의 밀도를 비교한 결과, 산란 기간이 짧을수록 유충 크기의 균일성을 확보할 수 있었다. 유충을 일정한 크기로 적정 크기까지 사육할 때, 가장 효율적인 방법으로 산업적인 측면에서 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 본 실험을 통해, 산란 기간이 3, 7일 간격일 때, 유충의 크기가 균일함을 확인할 수 있었다. 이 결과를 통해 산란

기간이 짧은 간격으로 진행될 때 원하는 크기의 개체를 균일하게 얻을 수 있어 효율적인 생산을 할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 산란을 조절하기 위하여 성충을 옮겨주는 기간을 짧게 한다면 인력이 많이 필요하기 때문에 생산에 있어서 비효율적일 것이다. 따라서, 개체수를 많게 하고 개체의 크기를 균일하게 하기 위한 적정 산란 기간을 두고 성충을 옮겨주는 것이 인력과 시간을 절감할 수 있는 방법이라 사료된다. 이를 충족하기 위한 산란 기간의 적정 간격은 7일 이내라고 할 수 있다.

일정 사육 공간 내의 갈색거저리 유충의 밀도에 따른 생육 양상을 관찰한 결과, 개체수의 생존율과 길이 성장에는 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났으나, 개체의 무게는 유충의 밀도가 증가함에 따라 감소됨을 확인할 수 있었다. 본 실험에서는 직경 90 mm의 면적에서 30마리 이하의 유충을 사육할 때, 개체의 생육 안정성이 높은 것으로 확인되었다. 이는 갈색거저리의 사육 중에 개체의 밀도가 높아질수록 생육이 느리게 진행되며, 개체들 간의 카니발리즘(cannibalism)이 나타나는 빈도가 높아지기 때문이라고 할 수 있다(Weaver and McFarlane, 1990). 이러한 이유로 대량 사육을 할 때, 개체의 밀도를 적절한 수준으로 조절하여 사육해야 개체의 손실도 줄어들며, 개체의 생육이 안정적이고 빠르게 진행되어 효율적으로 갈색거저리를 생산할 수 있을 것이다.

최적 산란 온도와 생육온도를 확인한 결과, 20°C에서 가장 많은 산란수를 보였지만 생육이 진행되면서 치사되는 개체가 많이 발생하였고, 산란된 후 유충의 성장 속도가 가장 늦게 진행되었다. 반면, 30°C 조건에서는 산란된 개체가 20°C 조건에서의 1/2 정도였지만 치사되는 개체가 적어 안정적으로 생육이 진행되었으며 성장이 다른 온도에 비해 가장 빠르게 진행되었다. 35°C 조건에서는 초기 개체수도 적고, 성장 속도도 30°C에 비해 늦게 진행되었다. 이 결과는 갈색거저리 유충의 적정 사육 온도가 30°C 전후이기 때문이며, 20°C 이하의 저온이나 30°C 이상의 고온에서 사육할 경우에는 온도로 인해 발육이 저해되고, 치사될 수 있다는 보고(Koo et al., 2013)와 일치한다. 20°C 조건에서는 산란수가 많았고 30°C 조건에서는 생육이 안정되고 빠르다는 결과를 통해, 산란은 20°C에서 진행한 후 생육 시기는 30°C 조건으로 진행한 결과, 초기의 개체수는 20°C 조건과 같이 높았지만, 30°C 조건에서 생육을 진행하여 시간이 지남에 따라 치사되는 개체가 다발생 하였다. 6주차에 30°C 조건에서 산란과 생육을 진행한 개체수와 비슷하였지만 이후 생육이 안정되어 개체수를 유지하였다. 30°C 조건에서 산란과 생육을 진행한 개체와의 평균 길이와 무게를 비교하였을 때 온도를 변화시킨 처리구가 30°C 처리구에 비해 길이 생장이 느리게 진행되었으며, 10주차까지는 무게의 증가도 느리게 진행되었다.

이 결과를 통해, 20°C 이하의 온도에 노출할 경우 적정 온도로 옮겨 사육하여도 일정 기간 동안은 안정성이 낮은 것으로 보이는데, 이는 저온이 갈색거저리에 치명적인 요인으로 작용한다고 할 수 있다.

알과 번데기 상태에서 저온(4°C) 보관할 경우 8.0% 이하의 매우 낮은 부화율을 보였고, 우화율 또한 10시간 이상 노출하였을 때 낮은 것으로 나타났다. 이는 갈색거저리의 알은 12°C 이하의 온도에 노출될 경우 부화가 되지 않으며, 번데기도 20°C 이하의 온도에서 우화율이 매우 낮아진다고 보고되어 있는데 (Kim et al., 2015), 마찬가지로 본 실험에서도 짧은 시간 4°C에 노출되어 알과 번데기 개체의 안정성이 떨어져, 생육 적온으로 옮겨 사육하여도 알의 부화율과 번데기의 우화율이 낮아진 것으로 보인다. 따라서, 갈색거저리 사육에서 개체의 안정성을 확보하기 위해서는 철저한 온도 관리가 필요하며 저온에 노출되지 않는 것이 중요하다고 할 수 있다.

결론적으로, 갈색거저리는 먹이, 온도, 개체밀도에 따라 생육의 안정성 차이를 보였으며, 적정 온도 30°C를 유지해주고 저온에 노출되지 않도록 해줘야 한다. 적절한 개체의 밀도를 유지시켜 개체간의 영향을 최소화시켜 생존 확률을 높이도록 해야 하며, 일정 기간을 두고 밀기를 외의 먹이를 공급하여 수분과 영양분을 공급해야 안정적으로 갈색거저리를 사육할 수 있을 것이다. 이와 같은 사육 조건을 충족시켜주지 못하면 개체의 생육 안정성이 낮아 사육 효율이 낮아지기 때문에, 개체를 확보하는데 어려움을 겪게 될 것이다. 따라서, 적정 사육 조건을 지속적으로 유지시켜주는 것이 필요하며, 균일한 크기의 유충을 확보하기 위해 성충의 산란 기간을 조절한다면 안정적인 대량 사육을 할 수 있을 것이라 사료된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 농업과학기술개발사업(과제번호: PJ011630, 세부과제명: 돌발해충 풀무치의 발생특성 및 방제기술 연구)의 지원으로 수행한 결과(풀무치 병원성 균주를 분리하기 위해 사용된 갈색거저리의 사육조건 확립)입니다.

Literature Cited

- Armitage, S.A.O., Thompson J.J.W., Rolff, J., Siva-Jothy, M.T., 2003. Examining costs of induced and constitutive immune investment in *Tenebrio molitor*. *J. Evol. Biol.* 16, 1038-1044.
- Barnes, A.I., Siva-Jothy, M.T., 2000. Density-dependent prophylaxis in the meal worm beetle *Tenebrio molitor* L.(Coleoptera: Tenebrionidae): cuticular melanization is an indicator of investment in immunity. *Proc. R. Soc. Lond. B.* 267, 177-182.
- Cho, Y.S., Kim, S.N., Kim, S.Y., Kim, J.B., Park, H.J., Kim, J.H., 2011. Food composition table (8 th eds.). Rural Development Administration. Suwon, Korea.
- Choi, Y.C., Kim, N.J., Park, I.G., Lee, S.B., Hwang, J.S., 2011. New value of insects. RDA Interrobang 4 (in Korean).
- Choi, Y.C., Song, H.S., 2011. Mass rearing and application technique of mealworm, *Tenebrio molitor*, pp 14-22. Applied entomology Division, National Academy of Agricultural Science Press, Korea.
- Chung, M.Y., Lee, J.Y., Lee, J.C., Park, K.S., Jeong, J.P., Hwang, J.S., Goo, T.W., Yun, E.Y., 2014. Establishment of self-specification and shelf-life by standardization of manufacturing process for lyophilized *Tenebrio molitor* larvae. *J. Seric. Entomol. Sci.* 52(1), 73-78.
- Dai, P.L., Xu, Z.Q., Tian, S.P., 2005. The optimal parasitoid-host ratio of rearing *Schleroderma guani* using *Tenebrio molitor*. *Chinese Bull Entomol.* 42(3), 308-311.
- Drnevich, J.M., Papke, R.S., Rauser, C.L., Rutowski, R.L., 2001. Material Benefits from multiple mating in female mealworm beetles(*Tenebrio molitor* L.). *J. Insect Behavior.* 14(2), 215-230.
- Greenberg, S., Amos, A.R., 1996. Effects of chronic hypoxia, normoxia and hyperoxia on larval development in the beetle *Tenebrio molitor*. *J. Insect. Physiol.* 42(11-12), 991-996.
- Happ, G.M., Wheeler, J., 1969. Bioassay, preliminary purification, and effect of age, crowding, and mating on the release of sex pheromone by female *Tenebrio molitor*. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 62(4), 846-851.
- Hong, J.I., Koh, S.H., Chung, Y.J., Shin, S.C., Kim, B.H., Choi, K.S., 2008. Biological characteristics of *Schleroderma harmandi* (Hymenoptera: Bethyridae) parasited on Cerambycid. *Korean J. Appl. Entomol.* 47(2), 133-139.
- Jiraphon, S., Tasanee, J., 2001. Industrial mass rearing of mealworm beetle(*Tenebrio molitor* L.). *Kaen Kaset Khon Kaen Agriculture Journal.* 29(4), 194-200.
- Kim, S.Y., Chung, T.H., Kim, S.H., Song, S.H., Kim, N.J., 2014. Recycling Agricultural Wastes as Feed for Mealworm (*Tenebrio molitor*). *Korean J. Appl. Entomol.* 53(4), 367-373.
- Kim, S.Y., Park, J.B., Lee, Y.B., Yoon, H.J., Lee, K.Y., Kim, N.J., 2015. Growth characteristics of mealworm *Tenebrio molitor*. *J. Seric. Entomol. Sci.* 53(1), 1-5
- Koo, H.Y., Kim S.G., Oh, H.K., Kim J.E., Choi, D.S., Kim, D.I., Kim, I.S., 2013. Temperature-dependent development model of larvae of mealworm beetle, *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 52(4), 387-394.
- Lemos, W.P., Ribeiro, R.C., Ramalho, F.S., Serrao, J.E., Zanuncio, J.C., 2011. The reproductive tract of the males of the zoophytophagous predator *Brontocoris tabidus* (Signoret) (Heteroptera: Pentatomidae) with different diets and ages. *Am. J. Agr. Sci.* 6(1), 12-18.
- Megido, R.C., Sablon, L., Geuens, M., Brostaux, Y., Alabi, T.,

-
- Blecker, C., Drugmand, D., Haubruge, E., Francis, F., 2013. Edible insects acceptance by Belgian consumers: promising attitude for entomophagy development. *J. Sensory. Stud.* 29(1), 14-20.
- Ooninx, D.G.A.B., 2012. Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans-a life cycle assessment. *PLoS. ONE.* 7(12), e51145.
- Park, K.Y., Choi, Y.C., Lee, Y.B., Lee, S.H., Lee, J.S., Kang, S.H., 2012. Fecundity, Life span, Developmental periods and pupal weight of *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae). *J. Seric. Entomol. Sci.* 50(2), 126-132.
- SPSS, 2009. Version 17.0 for Windows, SPSS Inc, Chicago, IL, USA.
- Tracey, S.K.M., 1958. Effects of parental age on the life cycle of the mealworm, *Tenebrio molitor* Linnaeus. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 51(5), 429-432.
- Vänninen, I., 1996. Distribution and occurrence of four entomopathogenic fungi in Finland: Effect of geographical location, habitat type and soil type. *Mycological Research* 100, 93-101.
- Weaver, D. K., McFarlane, J. E., 1990. The effect of larval density on growth and development of *Tenebrio molitor*. *J Insect Physiol.* 36(7), 531-536.
- Yang, W., Xie, Z.H., Zhou, Z.J., Yang, C.P., 2005. The learning behavior of *Scleroderma sichuanensis* Xiao (Hymenoptera: Bethyridae) fed on the fictitious hosts *Tenebrio molitor* L.(Coleoptera: Tenebrionidae). *Acta Entomologica Sinica* 48(5), 731-735.
- Zanuncio, J., Molina-Rugama, A.J., Serrao, J., Pratisoli, D., 2001. Nymphal development and reproduction of *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae) fed with combination of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) pupae and *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) larvae. *Biocont. Sci. Technol.* 11(3), 331-337.