

ORIGINAL ARTICLE

식용곤충 갈색거저리의 장기저장 및 생육 조절 연구

김찬옥 · 지상민 · 장규동 · 김소윤 · 송정훈*

국립농업과학원 농업생물부 곤충양잠산업과

Long-Term Storage and Growth Control of the Edible Mealworm Species, *Tenebrio molitor* Linnaeus

Chan-Ouk Kim, Sangmin Ji, Gyu-Dong Chang, So-Yun Kim, Jeong-Hun Song*

Industrial Insect and Sericulture Division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Korea

Abstract

We introduce a method for preserving yellow mealworm (*Tenebrio molitor* Linnaeus) larvae for an extended period and show that a high percentage of larvae can survive in good health under low-temperature storage conditions combined with specific diapause termination conditions. Our study revealed that we can regulate important development stages such as pupation, emergence, and larval duration by adjusting these termination conditions. When storing larvae aged 6-8 weeks for 140 days, the storage temperature can be varied based on our goals, giving us control over yellow mealworm production to meet specific demands. To produce adult beetles, storing larvae at 15 °C with wheat bran and ending diapause at 30 °C resulted in 90% pupation rate, with 60% becoming adults in 21 days. If our aim is larvae production, storing them at 10-12 °C with wheat bran and ending diapause at 25-30 °C allows the larvae to reach a suitable weight for processing. This straightforward approach ensures long-term storage of yellow mealworm larvae and provides a practical way to control their development, allowing efficient mass production tailored to market demands.

Key words : *Tenebrio molitor*, Low-temperature storage, Diapause termination temperature

1. 서 론

유엔에 따르면, 2050년까지 세계 인구는 약 100억 명에 달할 것으로 예측하고 있다(UN, 2019). 이는 전 세계적으로 급증하는 인구에 대한 식량 공급 유지에 관한 중요한 과제를 제기하고 있다(McMichael, 2001). 특히, 단백질이 풍부한 식품에 대한 수요가 증가하고 있는데, 이에 대응하기 위해 곤충을 식품 및 사료로 이용하는 대체 단백질에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

이미 1975년 이후부터 곤충을 대체 단백질로써 활용하는 노력이 있었으며, 현재는 이 분야에 대한 연구가 더욱 확장되고 있다(Meyer-Rochow, 1975; Oonincx et al., 2010; Van Huis and Oonincx, 2017).

식용곤충 중에서는 갈색거저리(*Tenebrio molitor* Linnaeus)가 가장 널리 연구되었고, 유럽, 중국 및 한국에서 식품원료로 승인받았으며(Rumbos and Athanassiou, 2021), 식품 및 사료 산업에서 매우 유망한 곤충종으로 평가되고 있다(Van Huis and Tomberlin, 2017). 또한,

Received 9 January, 2024; Revised 18 January, 2024;

Accepted 19 January, 2024

*Corresponding author : Jeong-Hun Song, Industrial Insect and Sericulture Division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju, 55365, Korea
Phone : +82-63-238-2956
E-mail : jeonghuns@korea.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

갈색거저리는 다른 곤충에 비해 상대적으로 쉽게 사육할 수 있고 식품으로서의 안전성도 입증되었다(Van Huis and Tomberlin, 2017). 특히, 건조한 환경에서도 성장이 용이하며, 다른 동물 및 식물 단백질 자원과 비교했을 때 토지 이용률과 온실가스의 배출량도 적다(Oonincx and De Boer, 2012; Van Huis, 2013; Koutsos et al., 2019).

한국에서는 2019년 1월 15일에 '곤충산업 육성 및 지원에 관한 법률'(NLIC, 2019)이 제정되어, 곤충산업 육성을 위한 제1차부터 제3차 5년 계획이 실행되고 있다(MAFRA, 2021). 이로써 곤충산업은 급속한 성장을 이루었으며, 2022년 기준으로 2,860개의 곤충 농장이 운영되고 있다(MAFRA, 2023). 특히, 갈색거저리는 한국에서 식품 및 의약용으로 사육되는 곤충 중 높은 비율을 차지하고 있다(RDA, 2020). 또한, 필수 아미노산, 불포화 지방산, 미네랄 및 비타민 함량이 높은 것으로 알려져 의약 및 영양 분야에서 활용되고 있다(Ghosh et al., 2017). 최근 연구에 따르면 갈색거저리 유충 분말이 포함된 환자식은 수술 후 암 환자의 영양 상태를 향상하는데 효과적이라 보고되었으며(Kim et al., 2016b), 근감소 억제 효과도 확인되었다(Choi et al., 2023). 이에 따라 갈색거저리의 식품 보충제로의 수요가 증가할 것으로 예상되므로 대규모 생산을 위한 효율적인 사육 및 장기저장 기술 등을 개발하는 것이 중요하다. 그러나 수요에 맞춰 생산량을 조절할 수 있는 장기저장 기술이 확립되지 않아 농가에서는 노동력과 비용이 낭비되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 이러한 문제점을 해소하고 농가에서 갈색거저리 유충의 생산 및 출고를 적절히 유지할 수 있도록 하는 장기저장 이용 기술을 개발하는 것이다.

2. 재료 및 방법

2.1. 장기저장 온도 및 먹이원 조건

본 실험에 사용한 갈색거저리는 국립농업과학원 곤충사육실에서 온도는 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 습도는 RH $60 \pm 5\%$, 광조건은 16L:8D 조건으로 사육되었다. 갈색거저리의 성장을 멈추고 휴지기에서 장기간 저장할 수 있는 최적의 조건을 확인하기 위하여, 부화 후 42 내지 56일 차의 갈색거저리 유충(20-40 mg)을 다양한 저온 조건에서 실험을 수행하였다. 대조군은 적정 사육온도로 알려진 25°C 로 설정하였고, 실험군은 각각 5°C , 10°C , 12°C , 15°C 저온 조건에서 사육하였으며 습도는 RH $40 \pm 5\%$ 로 동일하게 유지했다. 모든 처리군은 30마리씩 페트리접시(60 x 15 mm)에 개별 사육하였으며, 각 온도 조건에서 먹이원으로 밀기울 공급 여부를 달리하고 이에 따른 영향도 확인하였다. 밀기울 공급 처리군은 밀기울을 0.1 g씩 최초 1회 공급하였다.

2.2. 휴지타파 온도 조건

장기저장 동안 생존에 성공하더라도 휴지타파 시 개체가 사멸할 수 있어, 최적의 휴지타파 조건을 확인하기 위한 실험을 수행하였다. 10°C 내지 15°C 조건에서 밀기울을 공급하면서 140일 동안 생존한 개체들을 대상으로 휴지타파를 수행하였고, 각 실험군에서 10마리 유충을 임의로 선발하여 실시하였다. 휴지타파를 위한 온도는 18°C , 25°C , 30°C 조건으로 달리하였고, 매주 무게를 측정하였다. 상기 2.1에서 실시한 밀기울 공급 사육 처리군에 휴지타파 온도 조건을 부여하고 각 조건에서 번데기가 최초로 나타난 시점을 기록하였다.

2.3. 통계분석

모든 데이터는 기술통계분석(Descriptive analysis)을 실시하여 평균±표준편차(Mean±Standard Deviation)를 구하였고, 이에 대한 유의성 검정은 다음과 같이 분석하였다. 첫 번째로 갈색거저리의 먹이원(밀기울) 공급 여

Table 1. Comparison of the survival rates of *Tenebrio molitor* under different temperature treatments based on feeding regimens

feeding regimens	long-term storage temperature				
	5°C	10°C	12°C	15°C	25°C
feeding	60%	100%	97%	100%	96.6
fasting	47%	66.6%	76.6%	100%	0%
<i>p</i> -value ¹⁾	ns	**	*	ns	**

¹⁾*p*-value by independent *t*-test, ***p* < 0.01, **p* < 0.05, ^{ns}not significance

Table 2. Comparison of pupation rates under low-temperature storage treatments according to diapause termination temperature treatments

diapause termination temperature	long-term storage temperature					
	10℃		12℃		15℃	
	first pupal emergence (days)	pupation rate (%)	first pupal emergence (days)	pupation rate (%)	first pupal emergence (days)	pupation rate (%)
18℃	56	60	42	20	21	40
25℃	28	10	21	20	14	20
30℃	35	30	28	10	14 21	60 90

부에 따른 온도 조건별 생존율 비교를 위해 독립표본 *t*-검정(Independent sample *t*-test)을 실시하였다. 두 번째로 휴지타파 온도 조건에 따른 저온 저장온도별 번데기화 비교와 저온 저장온도별 휴지타파 온도에 따른 유충 무게 비교는 일원배치 분산분석(One-way ANOVA)을 활용하였고, 집단에 따라 유의적인 차이가 있는 경우, 집단 간 차이를 살펴보기 위해 Tukey의 다중비교 방법을 사후검정으로 수행하였다. 모든 분석은 IBM SPSS Statistics (Ver. 27.0) 프로그램을 이용하였으며, 분석결과는 $\alpha=0.05$ 수준에서 통계적으로 유의한 것으로 간주하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 온도 및 먹이원 유무에 따른 갈색거저리 장기저장 조건 확인

먹이원(밀기울) 공급 여부에 따른 각 온도 조건에서의 갈색거저리 생존율은 Table 1과 같다. 일반적인 적정 사육온도인 25℃에서는(Ribeiro et al., 2018) 생존이 잘 유지되지만, 평균 63일 후에 모두 번데기가 되어 유충 상태의 휴지기를 유지하며 장기간 저장하는 목적을 달성할 수 없었다. 하지만, 10 내지 15℃의 저온 조건을 유지하고 밀기울을 공급한 실험군에서는 높은 생존율을 보이면서 번데기가 되지 않고 유충 상태의 휴지기를 유지하며 장기간 저장될 수 있음을 확인하였다. 특히 상기 저온 조건에서 갈색거저리 유충은 약 140일 동안 장기저장이 가능하였다. 보통 갈색거저리 유충은 부화 후 보통 25±3℃에서 약 90일의 발육기간을 거치는데(RDA, 2017), 본 연구에서 사용한 유충은 부화 후 42 내지 56일이 지난 상태이므로 이 상태에서

140일 이상을 저장할 수 있는 것이다. 반면 저온 조건 중 5℃ 조건에서 사육한 실험군에서는 밀기울을 미공급 시에는 50% 이하의 낮은 생존율을 나타내었고 밀기울을 공급하더라도 60%의 생존율을 나타내 장기저장에 부적절한 조건임을 확인하였다. 농촌진흥청에서 발간한 산업곤충 사육기준 및 규격(RDA, 2017)에 따르면 갈색거저리의 장기저장은 5℃ 이하 온도에서 발육이 중지되므로 냉장창고에 보관할 수 있다고 언급되었지만, 본 연구에서 5℃ 조건은 먹이 공급 여부를 떠나서 낮은 생존율을 보였다. 상기 결과를 통해 6 내지 8령의 갈색거저리 유충을 휴지기 상태로 장기저장하기 위한 최적 조건은 10 내지 15℃의 저온 조건 및 밀기울 공급 조건임을 확인하였다.

3.2. 휴지타파 조건 확인

10 내지 15℃ 조건에서 밀기울을 공급하여 140일 동안 생존한 사육 실험군에 휴지타파 온도 조건을 부여하고 각 조건에서 개체의 번데기가 최초로 나타난 시점을 Table 2에 나타내었다. 15℃에서 저온 저장되고 밀기울을 공급한 모든 군은 18, 25, 30℃의 휴지타파 온도에서 각각 21일, 14일, 14일 만에 번데기가 확인되었다. 특히 30℃ 조건에서는 2주차에 약 60%의 개체가 번데기가 되었고, 3주차에는 90%가 번데기가 되어 가장 우수한 번데기 생산능력을 보였으며, 상기 조건에서 60% 정도가 성충이 되었다. 실제로, 갈색거저리 유충의 발육은 30℃에서 가장 빠른 경향이 있는 것으로 보고되었다(Koo et al., 2013; Kim et al., 2015; Kim et al., 2016a). 반면 12℃ 조건에서 저온 저장 및 밀기울을 공급한 실험군에서는 25℃ 휴지타파 조건에서만 3주 이내에 번데기가 확인되었고, 10℃ 조건에서 저온

Table 3. Comparison of larval weight based on diapause termination temperature treatments at different low storage temperature treatments

low-temperature storage (°C)	diapause termination temperature (°C)	larval weight (mg)					
		7 days	<i>p</i> -value ²⁾	14 days	<i>p</i> -value	21 days	<i>p</i> -value
10	18	51.5±12.0 ^{1)a}		58.7±16.5 ^a		78.9±20.1	
	25	60.4±19.1 ^{ab}	*	85.7±20.8 ^b	**	114.2±23.3	**
	30	72.7±17.2 ^b		89.7±17.5 ^b		106.8±19.1	
12	18	84.0±17.6		102.3±15.3 ^a		113.8±18.5 ^a	
	25	93.9±11.9	ns	124.4±11.7 ^a	**	147.1±20.7 ^a	**
	30	89.2±21.1		100.8±13.7 ^b		116.8±16.8 ^b	
15	18	128.3±11.6		143.1±15.8 ^{ab}		155.1±23.6	
	25	119.5±11.6	ns	134.5±16.5 ^a	*	143.9±18.7	ns ⁴⁾
	30	124.9±17.2		163.5±14.9 ^b		- ³⁾	

¹⁾Means ± Standard Deviation, ²⁾*p*-value by one-way ANOVA, ³⁾all develop into adults, ⁴⁾*p*-value by independent *t*-test,

***p* < 0.01, **p* < 0.05, ns not significance

^{a-b}Different letters in the bars indicate significant differences among treatments according to one-way ANOVA followed by a Tukey's post hoc test.

Table 4. Comparison of larval weight after diapause termination based on storage temperature

low-temperature storage (°C)	larval weight (mg)					
	7 days	<i>p</i> -value ²⁾	14 days	<i>p</i> -value	21 days	<i>p</i> -value
10	61.5±18.1 ^{1)a}		78.0±22.6 ^a		100.0±25.4 ^a	
12	89.0±17.0 ^b	**	108.9±17.1 ^b	**	124.6±23.3 ^b	**
15	124.2±13.6 ^c		142.8±17.9 ^c		150.4±21.5 ^c	

¹⁾Means ± Standard Deviation, ²⁾*p*-value by one-way ANOVA

***p* < 0.01, **p* < 0.05

^{a-c}Different letters in the bars indicate significant differences among treatments according to one-way ANOVA followed by a Tukey's post hoc test.

저장 및 밀기울을 공급한 실험군에서는 모든 휴지타파 조건에서 최소 28일에 이르기 전에는 변태기가 확인되지 않아 유충의 상태가 가장 오래 유지되는 것을 확인하였다. 한편 밀기울을 공급하지 않고 저온 저장한 실험군에서는 살아남은 개체들도 본 휴지타파 실험에서 밀기울을 다시 공급하고 온도조건을 달리하여 사육하였음에도 모두 폐사하거나 정상적으로 성장하지 않아, 저온 조건에서 장기저장하는 동안 밀기울 공급이 필수적임을 확인하였다.

휴지기 타파 조건에서 7일에서 21일 차까지 각 유충의 무게를 각각의 조건별로 비교하고, 그 결과를 일원배치 분산분석을 통해 비교하였다. 그 결과 모든 휴지타파

조건에서 유충의 무게는 저온 저장 온도 10°C < 12°C < 15°C 순으로 높은 것을 확인하였다(Table 4). 또한, 10 내지 12°C 저온 저장 조건 후 25 또는 30°C로 휴지타파하면 각 저장 조건에 따라 21일 또는 14일 안에 생산에 적합한 유충의 무게를 얻을 수 있다(Table 3).

위와 같은 결과를 통해, 주로 식용이나 사육용으로 유충이 활용되는 갈색거저리를 적절한 저온 조건을 부가하여 휴지기 유충 상태를 140일 동안 장기간 유지할 수 있음을 확인하였고, 적절한 휴지타파 온도 조건의 부여를 통해 변태기화 시점을 조절할 수 있음을 확인하였다. 예컨대 농가에서는 갈색거저리 유충을 본 연구의 저온 저장온도인 10 내지 15°C에서 140일 이상 휴지기 상태

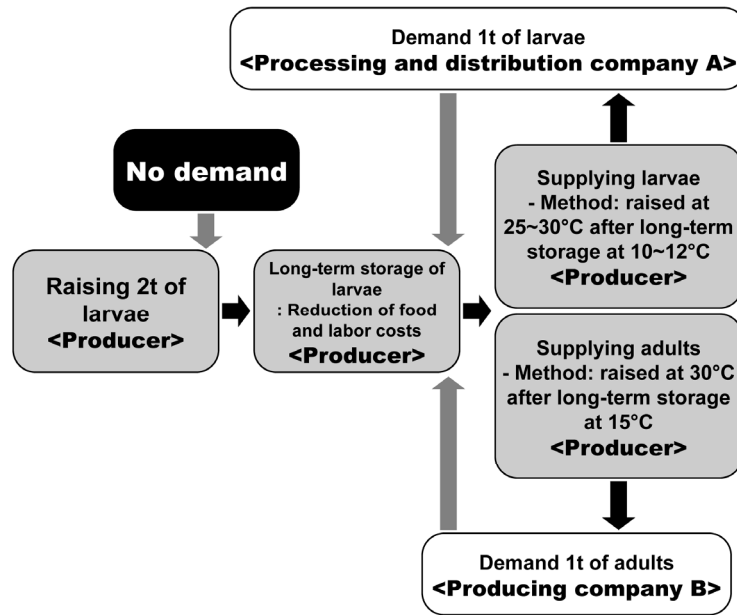


Fig. 1. Schematic diagram of long-term storage and growth control of *Tenebrio molitor* larvae.

로 장기저장 할 수 있으며, 수요자가 유충을 요청하면 10 내지 12℃에서 저온 저장 후 25~30℃에서 사육하여 유충을 제공하고, 성충을 요청하면 15℃에서 저온 저장 후 30℃에서 사육하여 성충을 제공할 수 있다(Fig. 1).

4. 결론

본 연구에서는, 적절한 저온 조건과 휴지타파 온도 조건의 조합이 갈색거저리 유충을 높은 생존율로 장기간 유지하고, 휴지타파 조건의 조절을 통해 유충 유지 및 번데기화를 조절할 수 있음을 확인하였다. 실험 결과를 종합하면, 부화 후 6 내지 8주 차의 갈색거저리 유충을 저온 저장 온도인 10 내지 15℃에서 140일 동안 휴지기 상태로 유지할 수 있음을 확인하였다. 또한, 이러한 조건에서는 휴지타파 온도를 조절하여 유충과 성충의 생산 시점을 조절할 수 있는 것으로 나타났다. 특히, 수요자가 유충을 요청하면 10 내지 12℃에서 저온 저장 후 25 내지 30℃에서 사육하면 약 14~21일 안에 생산에 적합한 유충의 무게를 얻을 수 있고, 반면에 성충을 요청하면 15℃에서 저온 저장 후 30℃에서 사육하면 약 21일 안에 성충을 제공할 수 있다(Fig. 1).

이러한 연구 결과를 토대로, 갈색거저리 사육 농가에서는 갈색거저리 유충을 장기간 휴지기 상태로 저장할 수 있

으며, 수요에 따라 휴지타파 온도 조건을 조절하여 유충 또는 성충의 효율적인 생산이 가능하다. 따라서, 본 연구는 갈색거저리 유충의 지속적이고 효율적인 활용을 위한 새로운 기술적 방법을 제시하였다는 점에서 의의가 있다.

감사의 글

본 연구를 위해 갈색거저리 사육과 실험을 도와주신 송미연 사육사(국립농업과학원 곤충양잠산업과)와 통계분석에 도움을 주신 권용석 연구사(국립농업과학원 식생활영양과)에게 깊이 감사드린다. 본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ01355902)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

Choi, R. Y., Kim, B. S., Ban, E. J., Seo M., Lee, J. H., Kim, I. W., 2023, Mealworm Ethanol Extract Enhances Myogenic Differentiation and Alleviates Dexamethasone-Induced Muscle Atrophy in C2C12 Cells, *life*, 13, 58.
 Ghosh, S., Lee, S. M., Jung, C., Meyer-Rochow, V. B., 2017, Nutritional composition of five commercial edible insects in South Korea, *J. Asia-Pac.*

- Entomol., 20, 686-694.
- Kim, S., Kim, J. C., Lee, S. J., Kim, J. S., 2016a, Establishment of optimal rearing conditions for the production of *Tenebrio molitor* larvae, Korean J. Appl. Entomol., 55, 421-429.
- Kim, S. H., Shon, J. Y., Park, J. S., Kim, J. W., Kang, J. H., Yun, E. Y., 2016b, Change in dietary intake and nutritional status using mealworms as hospital meal in postoperative patients, J. Korean Diet. Assoc., 22, 292-309.
- 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, 1-5.
- Koo, H. Y., Kim, S. G., Oh, H. K., Kim, J. E., Choi, D. S., Kim, D. I., Kim, I., 2013, Temperature-dependent development model of larvae of mealworm beetle, *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae), Korean J. Appl. Entomol., 52, 387-394.
- Koutsos, L., McComb, A., Finke, M., 2019, Insect composition and uses in animal feeding applications: a brief review, Ann. Entomol. Soc. Am., 112, 544-551.
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs), 2021, The 3rd Comprehensive plan for insect and sericulture industry promotion, <https://www.mafra.go.kr/home/5248/subview.do?enc=Zm5jdDF8QEB8JTJGYmJzJTJGaG9tZSUyRjc5NSUyRjQ4NzE4MCUyRmFydGNsVmllldy5kbyUzRg%3D%3D>.
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs), 2023, <https://www.data.go.kr/data/15106204/fileData.do>.
- McMichael, A. J., 2001, Impact of climatic and other environmental changes on food production and population health in the coming decades, Proc. Nutr. Soc., 60, 195-201.
- Meyer-Rochow, V. B., 1975, Can insects help to ease the problem of world food shortage? Search, 6, 261-262.
- NLIC (National Law Information Center), 2019, Insect industry promotion and support act, <https://www.law.go.kr/lsSc.do?section=&menuId=1&subMenuId=15&tabMenuId=81&eventGubun=060101&query=%EA%B3%A4%EC%B6%A9%EC%82%B0%EC%97%85#undefined> (accessed on 1 Jan, 2024).
- Oonincx, D. G. A. B., van Itterbeeck, J., Heetkamp, M. J. W., van den Brand, H., van Loon, J. J. A., van Huis, A., Hansen, I. A., 2010, An Exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption, PLoS ONE, 5, e14445.
- Oonincx, D. G. A. B., De Boer, I. J. M., 2012, Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans—a life cycle assessment, PLoS ONE, 7, e51145.
- RDA (Rural Development Administration), 2017, Standards and Specifications for Breeding of Industrial Insects, Rural Development Administration, Wanju, Korea.
- RDA (Rural Development Administration), 2020, The report on the insect industry survey, Rural Development Administration, Wanju, Korea.
- Ribeiro, N., Abelho, M., Costa, R., 2018, A review of the scientific literature for optimal conditions for mass rearing *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae), J. Entomol. Sci., 53, 434-454.
- Rumbos, C. I., Athanassiou, C. G., 2021, 'Insects as food and feed: if you can't beat them, eat them!'—to the magnificent seven and beyond, J. Insect Sci., 21, 1-5.
- UN (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division), 2019, World Population Prospects 2019: Highlights (ST/ESA/SER.A/423). https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf (accessed on 1 Jan, 2024).
- Van Huis, A., 2013, Potential of insects as food and feed in assuring food security, Annu. Rev. Entomol., 58, 563-583.
- Van Huis, A., Oonincx, D. G. A. B., 2017, The environmental sustainability of insects as food and feed. A review, Agron. Sustain. Dev., 37, 1-14.
- Van Huis, A., Tomberlin, J. K., 2017, Insects as food and feed: from production to consumption. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands.
-
- Research Associate. Chan-Ouk Kim
Industrial Insect and Sericulture Division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences
cksdnrmon@naver.com
 - Agricultural Researcher. Sangmin Ji
Industrial Insect and Sericulture Division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences
jeee3ang@korea.kr
 - Research Associate. Gyu-Dong Chang
Industrial Insect and Sericulture Division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences
cgd1123@korea.kr
 - Research Associate. So-Yun Kim
Industrial Insect and Sericulture Division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences
ksy7648@korea.kr
 - Agricultural Researcher. Jeong-Hun Song
Industrial Insect and Sericulture Division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences
jeonghuns@korea.kr