

꽃매미 알 기생천적인 꽃매미벼룩좀벌의 대량사육기술: 산누에나방과 꽃매미 알 활용 방법

서미자 · 김정환 · 서보운 · 박창규 · 최병렬 · 김광호 · 지창우 · 조점래*

농촌진흥청 국립농업과학원 농산물안전성부 작물보호과

Mass-rearing Techniques of *Anastatus orientalis* (Hymenoptera: Eupelmidae), as the Egg-parasitoid of *Lycorma delicatula* (Hemiptera: Fulgoridae): An Using Method of *Antheraea pernyi* (Lepidoptera: Saturniidae) and *L. delicatula* Eggs in Laboratory

Meeja Seo, Jeong Hwan Kim, Bo Yoon Seo, Changgyu Park, Byeong Ryeol Choi, Kwang Ho Kim, Chang Woo Ji and Jum Rae Cho*

Crop Protection Division, Dept. of Agro-food Safety and Crop protection, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

ABSTRACT: Eggs, immature eggs, and pupae of 8 different insects (*Halyomopha halys*, *Riptortus pedestris*, *Lymantria dispar*, *Antheraea yamamai*, *Verlarifictorus* spp., *Antheraea pernyi*, and *Musca domestica*) including *Lycorma delicatula* were used to select the alternative host for laboratory mass rearing of *A. orientalis*. Except *L. delicatula*'s eggs and immature eggs of *A. pernyi*, other 7 tested insects were not parasitized by *A. orientalis*. *A. pernyi* was reared with oak tree leaves and its cocoons were harvested on mid-July and early October. On 4 or 5 days after emergence, only female adults showing swollen abdomen were collected and stored at 1~5 °C. We could get 150~200 eggs per one female by dissecting the female's abdomen. For examining the possibility for laboratory mass rearing of *A. orientalis* with *A. pernyi*'s immature eggs, developmental periods from egg to pupa between the two different hosts were compared. Developmental periods were 36.1 days on immature eggs of *A. pernyi* and 36.8 days on an original host's eggs, respectively. The number of parasitized eggs by *A. orientalis*' female for 24 h was 3.4 on immature eggs of *A. pernyi* and 4.2 on an original host's eggs, respectively. However, there were no significant statistical differences in developmental period and parasitization between the two hosts. By supplying honeyed water to newly emerged female parasitoids, it was able to maximize their longevities up to 64.3 days after emergence. Therefore, our results support potential for laboratory mass-rearing of *A. orientalis* using *A. pernyi*'s immature eggs as an alternative host.

Key words: *Antheraea pernyi*, *Lycorma delicatula*, Mass-rearing, Egg parasitoid, Biological control

초록: 꽃매미벼룩좀벌(*Anastatus orientalis*)을 실내에서 대량사육 할 수 있는 대체기주를 선발하기 위하여 꽃매미와 썩덩나무노린재(*Halyomopha halys*), 툽다리개미허리노린재(*Riptortus pedestris*), 매미나방(*Lymantria dispar*), 참나무산누에나방(*Antheraea yamamai*), 귀뚜라미(*Verlarifictorus* spp.), 집파리(*Musca domestica*), 산누에나방(*Antheraea pernyi*) 총 8 종의 알 또는 번데기를 이용하여 검토하였다. 그 결과 꽃매미 알과 산누에나방의 미성숙 알에서는 꽃매미벼룩좀벌의 산란과 우화가 확인되었으나 그 밖에 종의 알과 번데기에서는 산란을 확인할 수 없었다. 대체기주로 선발된 산누에나방은 참나무 잎으로 사육하였으며, 7월과 10월 상순에 번데기를 수확하여 우화 후 4~5일경에 복부가 불룩한 산란 직전의 암컷 성충만을 선발하여 1~5 °C 냉장고에 보관하였으며, 저온에 보관했던 암컷의 복부를 절개하여, 암컷 한 마리당 150~200개의 알을 얻었다. 꽃매미 알과 산누에나방의 미성숙 알에서 꽃매미벼룩좀벌의 발육기간은 각각 평균 36.8일과 36.1일이었으며, 24시간동안 암컷 한 마리가 산란한 알의 수는 각각 평균 4.2개와 3.4개로 통계적으로는 유의한 차이가 없었다. 한편, 꽃매미벼룩좀벌 암컷 성충의 수명은 벌꿀을 먹이로 제공 하였을 때, 평균 64.3일까지 생존하는 것으로 확인되었다. 산누에나방의 미성숙 알을 대량으로 확보하고 벌꿀을 먹이로 제공하면 꽃매미벼룩좀벌을 실내에서 대량사육 하는 것이 가능하고 야외방사를 통해 꽃매미의 생물적 방제에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

검색어: 산누에나방, 꽃매미, 대량사육, 알기생벌, 생물적 방제

*Corresponding author: jrcho82@korea.kr

Received August 7 2018; Revised August 24 2018

Accepted September 15 2018

꽃매미(*Lycorma delicatula*)는 Lantern fly라 불리는 노린재목 꽃매미과에 속하는 국내 주요 돌발 해충이다(Han et al., 2008). 꽃매미는 2004년 충북 천안에서 발견된 후 발생지역이 계속 늘어나 서울, 경기, 충북, 전북, 경북을 포함해 국내 전역에 급속도로 확산되고 있다(KFRI, 2007; Han et al., 2008; Choi et al., 2012). 꽃매미는 포도, 사과, 배 등 과수류와 가죽나무, 참죽나무 등 수목류의 수액을 빨아먹어 감로배설에 의한 과실의 그을음병과 수세를 약하게 하는 피해를 준다(Jung et al., 2017). 꽃매미 방제 방법으로 농약을 이용한 화학적 방제, 가죽나무 등을 이용한 트랩식물 방제, 끈끈이트랩이나 천적을 이용한 물리적, 생물적 방제 등이 있다(Choi et al., 2012; Park et al., 2009; Shin et al., 2010). 최근에는 산림과 농경지를 동시에 화학적 방제를 하고 있으나, 과실 또는 수목류에 잔류농약 문제가 상존하고 있다. 따라서 농약잔류문제 해결과 생태계의 보전을 위해 생태계 내 천적을 정착시켜 매년 영속적으로 꽃매미 밀도를 억제시킬 고전적 생물적 방제가 필요할 것으로 판단된다. 우리나라에서도 과거에 사과면충좀벌과 루비붉은강충좀벌을 도입하여 생물적 방제가 성공한 사례가 있었다(Jeon et al., 2003; Kim et al., 1979). Choi et al. (2012)와 Choi et al. (2014)이 국내에서 식하는 꽃매미 토착천적에 대하여 탐색한 결과, 조류(참새, 까치 등), 양서류(청개구리 등), 곤충류(사마귀, 파리매, 다리무늬침노린재, 꺾적침노린재 등), 거미류 등이 발견되었다. 다리무늬침노린재의 경우 꽃매미 약충에 대한 포식력이 낮아 천적으로 활용가능성이 미약할 것으로 보고하였다(Choi et al., 2012). 한편, Choi et al. (2014)은 원산지 천적 도입을 위해 중국에서 꽃매미의 천적을 조사한 결과, 꽃매미벼룩좀벌(*A. orientalis*)의 꽃매미 난기생물이 지역에 따라 33.3~69.0%에 이르고 약충기생벌인 *Dryinus ircoroae*가 약 43%의 기생률을 보이고 있다고 보고하였다. 또한 중국에서 꽃매미 알에 대한 꽃매미벼룩좀벌(*A. orientalis*)의 기생율이 약 80%에 이르는 것으로 보고되어 있다(Xiao, 1992; Zhang, 1993).

벼룩좀벌류 가운데 한국곤충 총 목록에 등재되어 있는 종은 흰발목벼룩좀벌(*Anastatus albitarsis*), 벼룩좀벌(*A. bifasciatus*), 송충살이벼룩좀벌(*A. dendrolini*), 짧은날개벼룩좀벌(*A. gastropachea*), 짙시나방벼룩좀벌(*A. japonicus*), 순나방벼룩좀벌(*Eupelmus formosae*), 노랑꼬리벼룩좀벌(*E. urozonus*) 등 7종이 있다(Paek et al., 2011). 그러나, 이러한 벼룩좀벌들이 꽃매미 알에 기생했다는 증거나 보고는 아직 확인되지 않고 있다. 따라서 중국에 서식하는 알기생 천적인 꽃매미벼룩좀벌(*A. orientalis*)을 2011년 중국의 산림과학연구원에서 도입하여 국내 꽃매미 생물적 방제용 천적으로 활용 가능 여부를 확인하고, 대체기주를 이용한 꽃매미벼룩좀벌 대량 사육기술을 보고하고자 한다.

재료 및 방법

실험곤충

꽃매미벼룩좀벌은 2011년 중국의 산림과학연구원에서 국내에 발생한 꽃매미의 생물적 방제용 천적으로 도입하여, 농촌진흥청 국립농업과학원 농산물안전성부 작물보호과 사육실에서 사육중인 개체를 실험에 이용하였다. 경기도 화성시 송산면 포도재배지(37.0°N, 126.8°E) 포도나무에 산란한 꽃매미 알을 채집하여 온도 25 ± 1°C, 상대습도 50~65%, 광주기 14L : 10D 조건에서 꽃매미벼룩좀벌의 기주로 이용하였다. 꽃매미 알은 꽃매미벼룩좀벌의 기주로 사용하기 전에 3~4°C 저장고에 보관하였다.

꽃매미벼룩좀벌 대량사육을 위한 대체기주 선발

꽃매미벼룩좀벌을 실내에서 대량으로 사육할 수 있는 대체기주를 선발하기 위하여 비교적 산란이 용이할 것으로 판단되는 크기가 큰 썩덩나무노린재(*Halyompha halys* Halyha), 톱다리개미허리노린재(*Riptortus pedestris* Fabricius), 매미나방(*Lymantria dispar* Linne), 참나무산누에나방(*Antheraea yamamai* Guérin-Méneville) 및 귀뚜라미(*Verlarifictorus* spp.)의 알, 집파리(*Musca domestica* Linne.) 번데기, 산누에나방(*Antheraea pernyi* Guérin-Méneville) 알과 산누에나방 미성숙 알에 대해 검토하였다(Table 1). 야외에서 채집한 꽃매미 알을 포함하여 총 8종의 기주 후보(각 기주당 알의 갯수는 30~60개)와 함께 우화 3일차인 벼룩좀벌 성충 암컷 5마리와 수컷 3마리를 직경 90 mm 페트리디쉬에 접종하여 온도 25 ± 1°C, 상대습도 60~70%, 광주기 16L : 8D의 조건하에서 꽃매미벼룩좀벌의 기생여부를 조사하였다. 접종 후 7일이 경과한 날로부터 매일 알의 발육상황과 꽃매미벼룩좀벌의 발생여부를 관찰하였다. 실험에 이용된 7종의 대체기주 후보 중, 꽃매미벼룩좀벌의 기생이 확인된 산누에나방 미성숙 알을 대체기주로 선발하여 원 기주인 꽃매미 알에서의 발육기간과 수명, 산란수를 비교하였다.

산누에나방 사육 및 산누에나방의 미성숙 알 확보방법

대체기주로 선발한 산누에나방을 사육하기 위해 5년 이상 된 굴참나무(*Quercus variabilis* Blume) 잎을 이용하였으며, 산누에나방은 국립농업과학원 잠사양봉소재과에서 분양을 받아 알에서 부화한 유충을 굴참나무에 접종하여 사육하였다. 1화기 5월 중순부터 7월 중순까지, 2화기 7월 하순부터 10월 상순까

Table 1. Eggs and pupae used for selecting alternative host insects for laboratory mass rearing of *A. orientalis*

Host species	Source	Target stage	Parasitism
썩덩나무노린재 <i>Halyomorpha halys</i>	국립농업과학원 해충전적 사육실	Egg	-
톱다리개미허리노린재 <i>Riptortus pedestris</i>	국립농업과학원 해충전적 사육실	Egg	-
매미나방 알 <i>Lymantria dispar</i>	국립농업과학원 해충전적 사육실	Egg	-
참나무산누에나방 <i>Antheraea yamamai</i>	강원도 홍천군 밤나무 재배단지	Egg	-
참나무산누에나방 <i>Antheraea yamamai</i>	강원도 홍천군 밤나무 재배단지	Immature egg	-
귀뚜라미 <i>Verlarifictorus</i> spp.	국립농업과학원 해충전적 사육실	Egg	-
집파리번데기 <i>Musca domestica</i>	국립농업과학원 해충전적 사육실	Pupa	-
산누에나방 <i>Antheraea pernyi</i>	국립농업과학원 시험포장	Egg	-
산누에나방 <i>Antheraea pernyi</i>	국립농업과학원 시험포장	Immature egg	○
꽃매미 <i>Lycorma delicatula</i>	경기 화성시 송산면 포도재배단지	Egg	○

지 연간 2회 사육을 통해 산누에나방 고치를 확보하였다. 산누에나방이 고치에서 우화하면 암컷만을 선발하여 1~5℃ 저장조에 보관하였다. 저온에 저장된 암컷을 꺼내어 복부를 절개한 후 미성숙 알을 꺼내어 흐르는 물에 세척하고 건조시켜 알을 확보한 후 사용할 때까지 1~5℃에 보관하였다. 필요 시 꺼내어 알을 카드에 부착하거나 플라스틱 페트리디쉬(직경 90 mm)에 펼쳐 놓아 꽃매미벼룩좀벌 산란을 위한 기주로 사용하였다.

산누에나방 미성숙 알을 이용한 꽃매미벼룩좀벌 발육특성

대체기주인 산누에나방 미성숙 알을 이용하여 꽃매미벼룩좀벌을 온도 25 ± 1℃, 상대습도 60~75%, 광주기 16L : 8D의 조건에서 사육하였다. 투명아크릴케이지(50 × 40 × 30 cm)에 산누에나방 미성숙 알을 부착한 알카드(약 200~300개 알) 또는 알을 펼쳐놓은 페트리디쉬(직경 90 mm)를 케이지 바닥 중앙에 놓고 꽃매미벼룩좀벌 성충 약 50~100마리를 방사한 후 48시간 노출시켜 산란을 유도하였다. 이후 알카드와 페트리디쉬의 산누에나방 미성숙 알은 꽃매미벼룩좀벌이 우화될 때까지 동일한 실험조건하에서 육안으로 확인하여 알에서부터 성충으로 우화할 때까지의 발육기간을 조사하였다. 이 때, 기생된 산누에나방 미성숙 알 100개 정도를 직경 90 mm 페트리디쉬에 넣고

온도 25 ± 1℃, 상대습도 60~75%, 광주기 16L : 8D 조건의 생장상에 넣어 처리 25일 이후부터 우화여부를 확인하였다. 갓 우화한 꽃매미벼룩좀벌 성충은 위의 발육기간 조사 실험과 동일한 실험환경 조건하에서 직경 50 mm 플라스틱 페트리디쉬(뚜껑 가운데에 직경 13 mm 환기구)에 산누에나방 미성숙 알과 함께 먹이로 벌꿀, 증류수를 각각 탈지면에 흐르지 않을 정도로 적셔 제공하면서 수명을 조사하였다. 벌꿀과 증류수는 2~3일 간격으로 교체하였으며, 산란기주이면서 먹이인 산누에나방 미성숙 알은 2일 간격으로 교체하였다. 각각 처리별로 20~25마리의 꽃매미벼룩좀벌 성충 암컷을 이용하였다.

꽃매미 알을 이용한 꽃매미벼룩좀벌의 발육특성

원 기주인 꽃매미 알을 이용한 꽃매미벼룩좀벌의 발육기간 및 수명을 조사하기 위해 앞서 언급한 대체기주의 사육조건과 동일하게 수행하였다. 경기도 화성시 송산면 포도재배지 포도 나무에서 채집한 꽃매미 알은 3~4℃에 보관하였고, 꽃매미벼룩좀벌을 접종하기 전에 기생을 용이하게 하기 위해 꽃매미 알 표면에 붙어있는 왁스를 붓으로 제거하고 접종하였다. 우화 당일, 암컷 한 마리와 수컷 두 마리를 투명 아크릴케이지(50 × 40 × 30 cm)에 넣고 48시간동안 노출시켰다. 노출 후, 기생된 알은

성충으로 우화하기 전까지 동일한 실험조건하에서 육안으로 생존을 확인하며 알에서 번데기까지의 기간과 성충의 수명을 조사하였다. 갓 우화한 성충을 아크릴케이지에 넣고, 꽃매미 알과 함께 먹이로 벌꿀, 증류수를 각각 탈지면에 적셔 제공하며, 수명을 조사하였다. 벌꿀과 증류수는 2~3일 간격으로 교체하였으며, 꽃매미 알은 2일 간격으로 교체하였다.

꽃매미 알과 산누에나방 미성숙 알에서의 꽃매미벼룩좀벌의 산란수

뚜껑에 직경 40 mm 환기구가 있는 플라스틱 용기(직경 100 mm, 높이 40 mm)에 꽃매미 알과 산누에나방 미성숙 알을 각각 15개씩 넣고 우화 후 7일된 꽃매미벼룩좀벌 암수 한 마리씩 집중하고 하루 동안 산란한 수를 조사하여 기주간 꽃매미벼룩좀벌의 산란선호 차이로 비교하였다. 각각의 기주에 대해 20마리의 암컷 꽃매미벼룩좀벌을 이용하였다(총 20개 용기). 모든 실험환경 조건은 앞서 언급한 기주에 따른 발육기간과 수명 조사 실험과 동일하게 유지하였다.

통계분석

원 기주인 꽃매미 알과 대체기주인 산누에나방 미성숙 알에서의 꽃매미벼룩좀벌 발육기간 차이는 독립표본 T 검정을 통해 분석하였으며, 먹이 공급에 따른 꽃매미벼룩좀벌의 수명은 일원배치분산분석 후 사후검정방법으로 Tukey's HSD (Honest significant difference) test를 5% 유의수준에서 비교하였다. 꽃매미벼룩좀벌의 산란기주 선호성은 두 개의 각기 다른 산란기주에 산란한 알의 평균수를 대응표본 T 검정을 통해 분석하였다. 모든 통계분석은 IBM SPSS Statistics 22를 이용하였다.

결과

꽃매미벼룩좀벌의 실내 대량사육을 위한 대체기주 선발

꽃매미벼룩좀벌의 실내 대량사육을 위한 대체기주를 선발하기 위해 사용한 7종 곤충의 알과 미성숙 알, 번데기는 Table 1에 제시하였다. Fig. 1과 같이 원 기주인 꽃매미 알과 산누에나

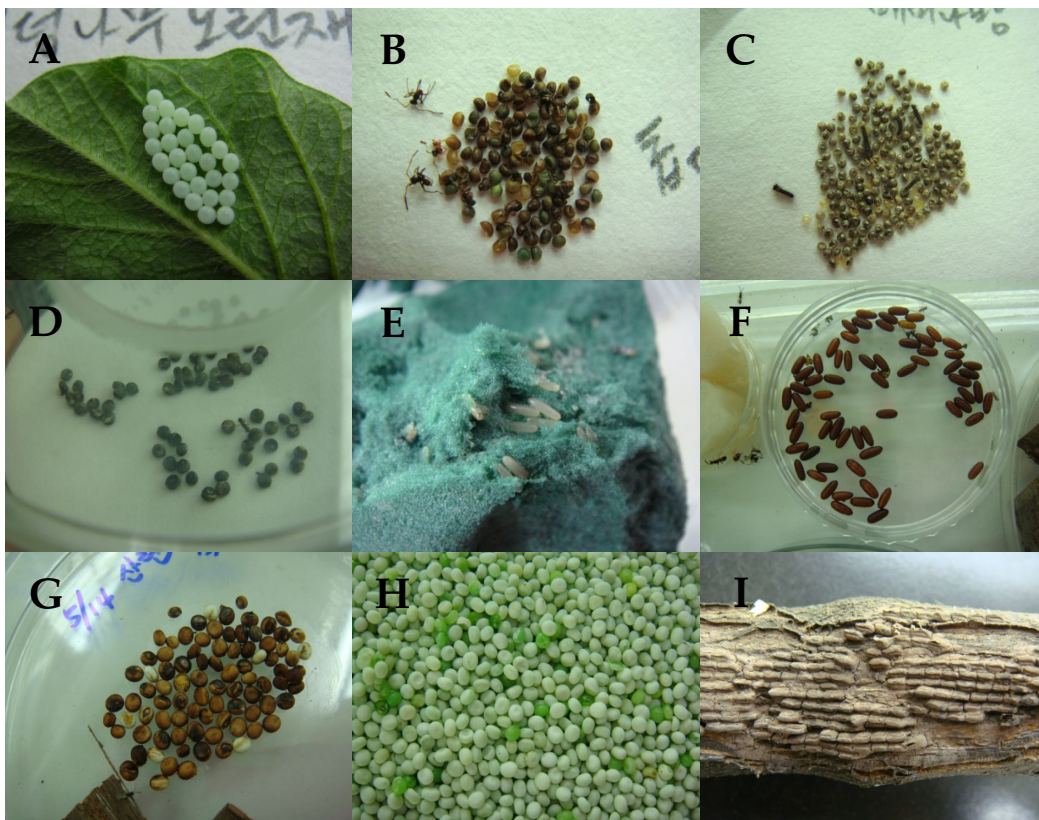


Fig. 1. Eggs and pupae used for selecting alternative host insects for laboratory mass rearing of *A. orientalis*. (A) *Halyompha halys*, (B) *Riptortus pedestris*, (C) *Lymantria dispar*, (D) *Antheraea yamamai*, (E) *Verlarifictorus* spp, (F) *Musca domestica*, (G) *Antheraea pernyi* eggs, (H) *Antheraea pernyi* immature eggs (I) *Lycorma delicatula*.

방의 미성숙 알을 제외한 나머지 종의 알과 번데기에서는 꽃매미벼룩좀벌의 산란과 우화를 확인할 수 없었다.

산누에나방 사육 및 대체기주(산누에나방 미성숙 알) 확보

대체기주로 선발된 산누에나방의 사육방법 및 미성숙 알을 확보하는 방법을 Fig. 2에 나타내었다. 하우스 형태의 철골을 세우고 새들의 침입을 막기 위해 한창사를 씌운 다음, 산누에나방의 사육을 위한 기주로 5년 이상 된 굴참나무(*Q. variabilis*)를 심었다. 지면으로부터 30 cm 올라온 위치에서 원줄기를 잘라내고 뿔나무처럼 가지를 많이 만들어 참나무 잎을 많이 확보될 수 있도록 하였다. 산누에나방이 우화하는 시기는 5월 하순과 7월 중순으로, 우화 후 4~5일 후에 산란을 시작하며, 알은 10일 이내에 부화하였다. 부화 후 2령기 유충 상태로 참나무 잎에 접종하면, 종령 유충기에 잎을 말아 고치를 형성하며, 7월 상순과 10월 상순에 산누에나방 고치를 수확할 수 있었다(Fig. 2A~D).

참나무에서 7월 상순에 수확한 고치는 7월 하순에 우화하여 8월 상순에 산란을 하기 때문에 다시 증식이 가능하였다. 하지

만, 10월 상순에 수확한 고치는 겨울 동안 저온과정을 거쳐 5월 중순에 우화했다. 따라서 7월에 수확한 산누에나방 고치는 사육실(온도 20~25°C, 상대습도 30~60%)에 보관하면 약 10~15일 이후에 성충으로 우화하였다. 우화 후 4~5일경에 암컷은 산란 직전의 상태로 복부가 불룩한 상태가 되며, 이러한 암컷 성충만을 선발하여 1~5°C 냉장고에 보관하였다. 이 때, 영하의 온도에 보관하게 되면 알이 찌그러져 사용할 수가 없게 된다. 필요할 때마다 저온에 보관해 두었던 암컷을 꺼내어 복부를 잘라 물에 담그고, 미세한 칼과 가위를 이용하여 알이 손상되지 않도록 세로로 복부를 절개하여 알을 확보하였다. 보통 암컷 성충 한 마리에서 150~200개의 알을 얻을 수 있었다. 알이 손상되지 않도록 꺼내어 35메쉬(mesh)의 체 위에 올려놓고 흐르는 물에 세척한 후, 망사 위에 놓고 건조시켰다. 건조된 알을 수거하여 1~5°C 냉장고에 보관하면서 필요할 때 꺼내어 사용하였다(Fig. 2E~L).

산누에나방 미성숙 알을 이용한 꽃매미벼룩좀벌 사육

산누에나방 미성숙 알을 이용한 꽃매미벼룩좀벌의 사육방



Fig. 2. Mass-rearing process of *Antheraea pernyi* adults and immature eggs as an alternative host of *L. delicatula*. (A) newly emerged *A. pernyi* adult, (B) eggs, (C) rearing of eggs on *Quercus variabilis*, (D) collection of pupae on *Q. variabilis*, (E) selection of females after emergence, (F) storage of females at 1~5°C, (G) abdominal amputation, (H) vertical dissection of abdomen, (I) egg mass, (J) washing the egg mass on the sieve with tap water, (K) drying on the fine mesh, (L) Storage of dried eggs at 1~5°C.

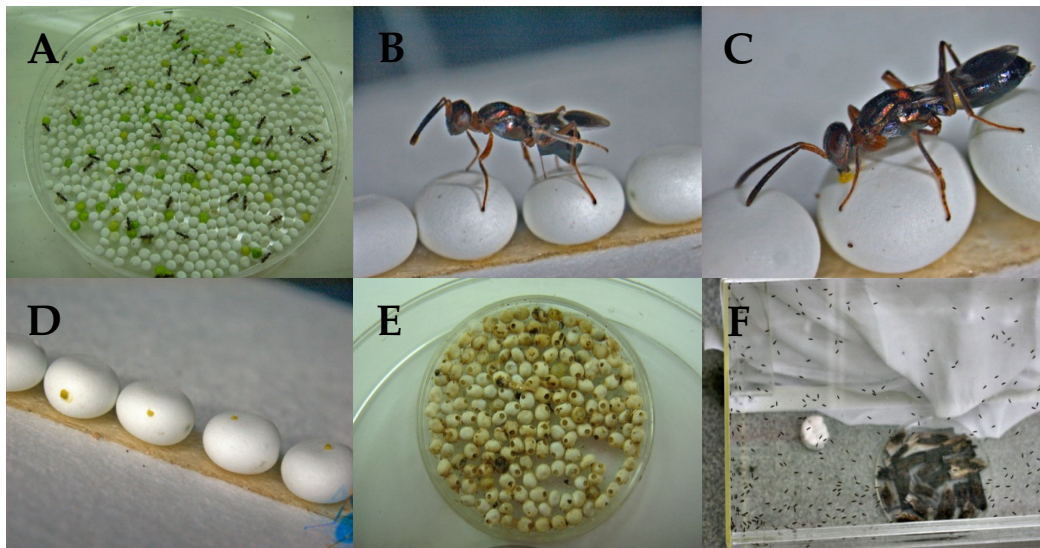


Fig. 3. Laboratory mass-rearing of *A. orientalis* using *A. pernyi*'s immature eggs. (A) released *A. orientalis* adults on the alternative host eggs, (B) female wasp's oviposition, (C) host feeding, (D) feeding and oviposition trace on the surface of host eggs, (E) emergence from the hole, (F) supply the honeyed water and host eggs as preys to the emerged adults.

법을 Fig. 3에 제시하였다. 앞에서 언급한 방법으로 확보한 산누에나방 미성숙 알을 페트리디쉬(직경 90 mm)에 펼쳐 놓거나, 알카드(두꺼운 종이에 풀칠하여 알을 붙임)를 만들어 아크릴케이지 바닥 중앙에 놓은 후, 아크릴케이지(50 × 40 × 30 cm)에 꽃매미벼룩좀벌을 방사하였다. 꽃매미벼룩좀벌은 산란관으로 산누에나방 미성숙 알에 구멍을 뚫고, 뚫린 구멍에 구기를 대고 기주를 섭식하는 행동을 나타내었다. 섭식행동 이후, 다시 그 장소에 산란관을 넣고 산란하는 행동도 관찰되었으며, 산누에나방 미성숙 알의 표면에는 꽃매미벼룩좀벌의 산란에 의한 흔적들을 확인할 수 있었다(Fig. 3D). 꽃매미벼룩좀벌 사육상에 넣은 꽃매미 알은 2~3일 간격으로 교체하였으며, 기생된 알은 우화할 때까지 직경 90 mm 페트리디쉬 넣어 두었다. 산란 1개월 후, 꽃매미벼룩좀벌은 대체기주를 뚫고 우화하였으며, 우화한 성충에게 벌꿀과 산란기주(산누에나방 미성숙 알)를 제공하였다(Fig. 3A~F). 온도 25~28°C, 상대습도 60~75% RH, 광주기 14L : 10D의 조건에서 사육하였다.

꽃매미 알을 이용한 꽃매미벼룩좀벌 사육

경기도 화성시 송산면 포도원에서 채집한 꽃매미 알을 12월부터 이듬해 3월까지 채집하여 3~4°C에 저장하여 1년동안 사용 가능하였다. 야외에서 채집한 꽃매미 알은 사용 전까지 3~4°C 저장고에 보관하였으며, 꽃매미벼룩좀벌의 사육을 위한 기주로 이용할 때, 붓으로 꽃매미 알의 왁스층을 제거하여 사용하였다. 꽃매미벼룩좀벌 산란케이지(50 × 40 × 30 cm)에 꽃매

미 알을 48시간 동안 노출시킨 후, 우화할 때까지 90 mm 페트리디쉬에 넣어 온도 25~28°C, 상대습도 60~75% RH, 광주기 14L : 10D 조건에 사육하였다.

꽃매미 알과 산누에나방 미성숙 알에서의 발육기간 비교 및 산란기주 선호성

대체기주로 선발된 산누에나방 미성숙 알을 이용하여 꽃매미벼룩좀벌의 실내대량사육 가능성을 확인하기 위해, 원 기주인 꽃매미 알에서의 발육기간과 비교하였다. 대체기주로 사용

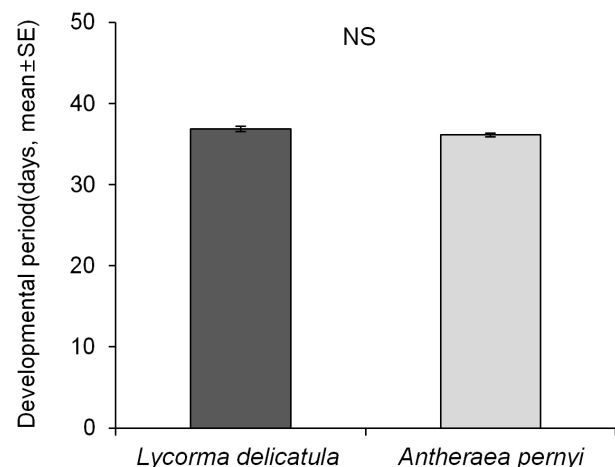


Fig. 4. Developmental periods (egg to pupa) of *A. orientalis* on eggs of the two insects, *L. delicatula* and *A. pernyi*. NS indicates no significant difference ($P = 0.074$) between the two insects.

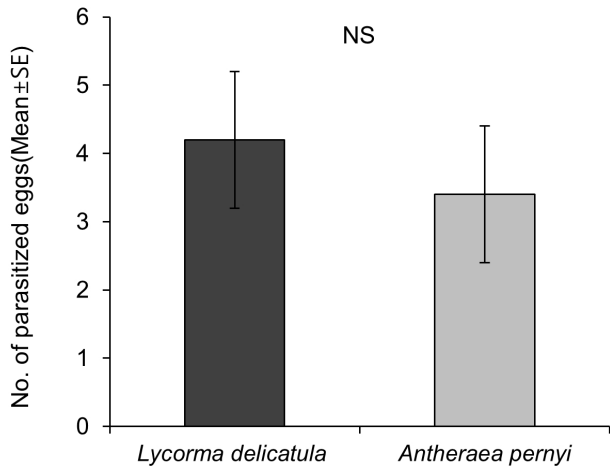


Fig. 5. Number of eggs oviposited by *A. orientalis* female within 24 hours between the two insects, *L. delicatula* and *A. pernyi*. NS indicates no significant difference ($P = 0.563$) between the two insects.

한 산누에나방 미성숙 알에서는 알에서부터 성충으로 우화하기까지 발육기간이 평균 36.1일, 흰 기주인 꽃매미 알에서는 36.8일 소요되어, 두 기주 사이에 알에서부터 성충으로 우화하기까지의 발육기간 차이는 통계적으로 유의성이 없었다(Fig. 4) ($t = 1.790, P = 0.074$). 기주에 따른 산란선호성을 조사한 결과에서도 꽃매미벼룩좀벌 암컷 한 마리가 꽃매미 알과 산누에나방 미성숙 알에 24시간 동안 동시에 노출되었을 때 산란된 알의 수는 각각 평균 4.2개와 3.3개로 꽃매미 알에 좀 더 산란하였지만 통계적으로 유의성은 없었다(Fig. 5) ($t = 2.093, P = 0.563$).

먹이에 따른 꽃매미벼룩좀벌 성충의 수명

꽃매미벼룩좀벌 암컷 성충의 수명을 장기간 유지하기 위해, 벌꿀과 증류수를 각각 제공하고 무처리와의 수명을 비교하였다. 벌꿀을 제공한 경우, 암컷의 수명은 평균 64.3일로 가장 길었고, 증류수를 제공했을 때는 평균 3.9일, 무처리는 평균 4.0일로 큰 차이를 보였다(Table 2) ($F_{2,55} = 278.24, P = 0.000$).

Table 2. Longevities of *A. orientalis* adults on two different preys

Preys	Gender	N	Adult longevity ^a (Days, mean ± SD)
Honey	Female	25	64.3 ± 3.4a
Water	Female	20	3.9 ± 0.2b
No supply	Female	20	4.0 ± 0.1b
<i>P</i>			0.000

^aMeans with different within column indicate significant differences at $\alpha = 0.05$ (one-way ANOVA, post hoc tests by Tukey HSD in IBM SPSS Statistics 22).

고찰

한국근충 총목록에 벼룩좀벌과에 속하는 7종이 보고되어 있으나(Paek et al., 2011), 야외에서 꽃매미에 대한 이들의 기생은 확인된 바 없다(Kim et al., 2011). 꽃매미벼룩좀벌은 중국에 분포하는 꽃매미 알기생봉으로 잘 알려져 있으며, 높은 기생율을 보인다(Xiao, 1992; Zhang, 1993). 본 연구에서는 중국 산림과학연구원으로부터 꽃매미벼룩좀벌을 도입하여 국내에서 이용가능성을 검토 하였다. 본 연구에서 대체기주로 선발한 산누에나방 미성숙 알은 실험한 총 7종의 후보 대체기주 곤충 중 유일하게 꽃매미벼룩좀벌에 의한 기생이 확인된 것이다. 꽃매미벼룩좀벌이 노린재류 등의 알에는 산란하지 않지만 나방류 알에는 산란하는 것으로 확인된 바 있다(Fay and Huwer, 1993; Žikić et al., 2017). 따라서 꽃매미벼룩좀벌에 의한 기생이 확인된 산란 직전의 산누에나방 미성숙 알을 꽃매미벼룩좀벌의 실내 대량사육 기주로 선택하였다. 매미나방이나 누에나방의 알은 크기가 작아 꽃매미벼룩좀벌이 발육하는데 있어 충분한 영양을 섭취 할 수 없을 것으로 추정된다. 하지만 산누에나방의 알의 크기는 길이 3.0~3.7 mm, 폭 2.3~2.6 mm로 꽃매미 알(길이 3.0~3.1 mm, 폭 1.6~2.0 mm) 보다 크다. 따라서 직접 실험을 통해 꽃매미벼룩좀벌의 총체 크기를 측정하여 비교하지 않았지만, 꽃매미 알보다 산누에나방 알에서의 우세한 발육을 기대해 볼 수 있다.

산누에나방은 17세기부터 고치와 실크생산을 위해 인공 사육되었고, 현재 매년 전 세계 생산량의 90%인 6만 톤 이상을 중국에서 생산하고 있다(Li et al., 2017). 또한 산누에나방 알은 조명나방, *Ostrinia furnacalis* (Guenée)의 생물적 방제를 위한 *Trichogramma*의 대량사육기주로 이용하여 성공한 사례가 있다(Wang et al., 2001). 포식응애인 지중해이리응애, *Amblyseius swirskii* (Athias-Henriot) (Acari: Phytoseiidae)나 무당벌레류 *Propylea japonica* (Thunberg)와 *Harmonia axyridis* (Pallas)의 인공먹이를 위해 산누에나방 알이 사용되기도 하였다(Nguyen

et al., 2013; Ali et al., 2016). 이처럼 산누에나방의 사육기술이 나 생산 및 이용이 확인되었기 때문에 대체기주로서의 사육이 비교적 용이하다고 판단되었다. 본 연구에서는 산누에나방의 미성숙 알을 이용하여 꽃매미벼룩좀벌의 대량사육을 시도하였다.

본 연구에서 대체기주로 선발된 산누에나방은 참나무 잎으로 실내에서도 사육 가능하였으며, 7월 상순과 10월 상순 두 차례 암컷 성충 확보를 위한 고치를 얻을 수 있었다. 고치를 얻는 과정은 기주곤충의 생산 및 보관에 있어 매우 중요한 단계이다. 이때 확보할 수 있는 미성숙 알의 양을 짐작할 수 있으며, 필요에 따라 우화시기를 조절하여 기주의 확보시기를 조절할 수 있기 때문이다. 암컷 성충의 복부를 절개하여 미성숙 알을 확보하는 방법은 어렵지 않았다. 알이 찌그러지지 않도록 조심해서 복부를 절개하여 암컷 한 마리당 약 150~200개의 알을 얻을 수 있었다. *Trichogramma*의 기주로 산누에나방 알을 이용하는 경우에도 자연적으로 산란하게 하는 것이 아니라 암컷 성충의 복부를 조심스럽게 쥐어 짜내는 방법으로 기주를 확보하였는데, 정상적으로 산란한 알보다 이렇게 확보한 알에 대한 기생율이 높게 나타났다고 보고하고 있다(Wang et al., 2014). 산누에나방 미성숙 알은 6개월 이상 저온에서 저장이 가능 하였지만, 장기간 보관한 암컷으로부터 얻은 알이나 오래 보관한 알은 기생능력에서 적합성이 많이 떨어졌다(Wang et al., 2014). 쌀좀알벌(*T. evanescens*)의 기주로 이용한 연구결과에서는 산누에나방 알에 방사선을 조사한 후 2°C에서 89일까지 저장했을 때에도 기주로서 이용가능 하였다는 보고가 있다(Ding et al., 1993). 저온에서 기주를 알이나 번데기 상태로 저장하는 것은 해충을 방제하기 위해 상업적 목적으로 천적을 사육하거나 운반, 방사하는데 있어 매우 효과적인 방법이다(Lu et al., 2005). 하지만 알 상태의 기주에서의 저장기간, 저장온도와 같은 조건들은 기주로부터 우화하는 기생충 성충의 기생능력이나 우화율, 수명에 부정적인 영향을 줄 수 있다고 보고하고 있다(Wang et al., 2014). 따라서 본 연구에 사용된 미성숙 알의 장기간 보관과 꽃매미벼룩좀벌의 효과적인 기생을 위한 최적 조건에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 본다. 원 기주와 대체기주에서의 꽃매미벼룩좀벌의 알에서부터 번데기단계까지의 발육기간은 각각 37.3일과 36.1일로 차이를 확인할 수 없었다. 또한 꽃매미벼룩좀벌의 산란선호성 조사에서도 기주간 산란한 알의 갯수에 있어 통계적으로 유의성 있는 차이를 보이지 않았다. 따라서 대체기주인 산누에나방 미성숙 알을 이용하여 꽃매미벼룩좀벌의 실내대량사육이 가능할 것으로 판단되었다. 본 연구에서는 꽃매미벼룩좀벌의 수명을 최대화하기 위해 벌꿀을 제공한 후 무처리와의 수명을 비교 하였을 때 큰 차이를 확인할 수 있었다. 벌꿀의 공급이 갖 우화한 꽃매미벼룩좀벌 성충의 먹이원으로

써 수명을 연장시켜 주는 역할을 하였다고 보여진다. 천적의 실내대량사육을 위해서는 안정적인 기주곤충의 공급이 반드시 이루어져야 하는데 본 연구에서는 지속적인 공급이 가능한 산누에나방의 미성숙 알을 꽃매미벼룩좀벌의 대체기주로 선발하고 꽃매미벼룩좀벌 대량사육시스템을 확립하였다. 앞으로 대량 생산된 꽃매미벼룩좀벌이 야외에 성공적으로 방사되고 지속적으로 증식 유지될 수 있도록 천적의 방사시기 및 서식환경 등에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ010945)으로 지원되었다.

Literature Cited

- Ali, I., Zhang, S., Luo, J.Y., Wang, C.Y., Lv, L.M., Cui, J.J., 2016. Artificial diet development and its effect on the reproductive performances of *Propylea japonica* and *Harmonia axyridis*. *J. Asia-Pacific Entomol.* 19, 289-293.
- Choi, D.S., Kim, D.I., Ko, S.J., Kang, B.R., Park, J.D., Kim, S.G., Choi, K.J., 2012. Environmentally-friendly control methods and forecasting the hatching time *Lycorma delicatula* (Hemiptera: Fulgoridae) in Jeonnam province. *Korean J. Appl. Entomol.* 51, 371-376.
- Choi, M.Y., Yang, Z.Q., Wang, X.Y., Tang, Y.L., Hou, Z.R., Kim, J.H., Byeon, Y.W., 2014. Parasitism rate of egg parasitoid *Anastatus orientalis* (Hymenoptera: Eupelmidae) on *Lycorma delicatula* (Hemiptera: Fulgoridae) in China. *Korean J. Appl. Entomol.* 53, 135-139.
- Ding, L.Z., Wu, Z.D., Jiang, P., Chen, Z.L., Fu, J.X., Shi, J.Q., 1993. Radiation preservation study on middle host eggs of *Trichogramma* species. *Radiat. Phys. Chem.* 42, 647-650.
- Fay, H.A.C., Huwer, R.K., 1993. Egg parasitoids collected from *Amblypelta lutescens* (Distant) (Hemiptera: Coreidae) in north Queensland. *J. Aust. Entomol. Soc.* 32, 365-367.
- Han, J.M., Kim, H., Lim, E.J., Lee, S., Kwon, Y.J., Cho, S., 2008. *Lycorma delicatula* (Hemiptera: Auchenorrhyncha: Aphaeninae) finally, but suddenly arrived in. *Korean Entomol. Res.* 38, 281-286.
- Jeon, H.Y., Kim, D.S., Choi, K.H., Lee, S.W., 2003. Monitoring the occurrence of invaded diseases, pests, and weeds. In Annual Research Report for 2003. National Horticultural Research Institute, Suwon, Korea, 6 pp.
- Jung, J.M., Jung, S., Byeon, D.H., Lee, W.H., 2017. Model-based prediction of potential distribution of the invasive insect pest, spotted lanternfly *Lycorma delicatula* (Hemiptera: Fulgoridae), by using CLIMEX. *J. Asia-Pacific Entomol.* 10, 532-538.

- KFRI, 2007. Annual report of monitoring for forest insect pests and diseases in Korea. Seoul: Sungmunsa, 151 pp.
- Kim, H.S., Moon, D.Y., Park, J.S., Lee, S.C., Jang, Y.D., 1979. Studies on integrated control of citrus pests (2) Control of ruby states (*Ceroplastes rubens*) on citrus by introduction of a parasitic natural enemy, *Anicetus beneficus* (Hymenoptera: Encyrtidae). J. Appl. Entomol. 18, 107-110.
- Kim, I.K., Koh, S.H., Lee, J.S., Choi, W.I., Shin, S.C., 2011. Discovery of an egg parasitoid of *Lycorma delicatula* (Hemiptera: Fulgoridae) an invasive species in South Korea. J. Asia-Pacific Entomol. 14, 213-215.
- Li, W., Zhang, Z., Lin, L., Terenius, O., 2017. *Antheraea pernyi* (Lepidoptera: Saturniidae) and its importance in sericulture, food consumption, and traditional Chinese medicine. J. Econ. Entomol. 110, 1404-1411.
- Lu, X., Li, L.J., Zhang, G.H., Liu, H.W., Wang, Y.Z., Ding, Y., 2005. Studies on low temperature storage in industrial production of *Trichogramma dendrolimi* Matsumura. J. Jilin Agric. Sci. 30, 6-8.
- Nguyen, D.T., Vangansbeke, D., LÜ, X., Clercq, P.D., 2013. Development and reproduction of the predatory mite, *Amblyseius swirskii* on artificial diets. Biocontrol. 58, 369-377.
- Paek, M.K., Hwang, J.M., Jung, K.S., Kim, T.W., Lee, M.C., Kim, M.C., Lee, Y.J., Cho, Y.B., Park, S.W., Lee, H.S., Ke, D.S., Jeong, J.C., Kim, K.G., Choi, D.S., Shin, E.H., Hwang, J.H., Lee, J.S., Kim, S.S., Bae, Y.S., 2011. Checklist of Korean Insects. Nature & Ecology, 169 pp.
- Park, J.D., Kim, M.Y., Lee, S.G., Shin, S.C., Kim, J.H., Park, I.K., 2009. Biological characteristics of *Lycorma delicatula* and the control effects of some insecticides. Korean J. Appl. Entomol. 48, 53-57.
- Shin, Y.H., Moon, S.R., Yoon, C.M., Ahn, K.S., Kim, G.H., 2010. Insecticidal activity of 26 insecticides against eggs and nymphs of *Lycorma delicatula* (Hemiptera: Fulgoridae). Korean. J. Pestic. Sci. 14, 157-163.
- Wang, Z.Y., He, K.L., Zhang, F., Lu, X., Babendreier, D., 2014. Mass rearing and release of *Trichogramma* for biological control of insect pests of corn in China. Biol. Control 68, 136-144.
- Wang, Z., He, K., Yan, S., 2001. Large scale augmentative biological control of Asian corn borer using *Trichogramma* in China: A success story. 2nd International Symposium on Biological Control of Arthropods, pp. 487-494.
- Xiao, G.R., 1992. China Forest Insects. China Forestry Publishing House, Beijing, pp. 169-170.
- Zhang, Z.Z., 1993. Forest Insects. China Forestry Publishing House, Beijing, 164 pp.
- Žikić, V., Stanković, S.S., Kavallieratos, N.G., Athanassiou, C., Gorgiou, P., Tschorsnig, H.P., Achterberg, C.V., 2017. Parasitoids associated with *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Erebididae) and *Malacosoma Neustria* (Lepidoptera: Lasiocampidae) in Greece and comparative analysis of their parasitoid spectrum in Europe. Zool. Anz. 270, 166-175.