

# 진딧물 기생봉 목화면충좀벌과 진디면충좀벌의 기주와 온도에 따른 생물학적 특성 비교

강은진 · 변영웅<sup>1\*</sup> · 김정환 · 최만영<sup>2</sup> · 최용석<sup>3</sup>

국립농업과학원 작물보호과, <sup>1</sup>농촌진흥청 지식정보화담당관실, <sup>2</sup>국립식량과학원 간척지농업과, <sup>3</sup>충남농업기술원 농업환경연구과

## The Effect of Temperatures on the Biological Characteristics of Two Aphid Parasitoids *Aphelinus asychis* (Walker) and *Aphelinus varipes* (Förster) (Hymenoptera: Aphelinidae) on Two Aphid Hosts

Eun Jin Kang, Young-Woong Byeon<sup>1\*</sup>, Jeong-Hwan Kim, Man-Young Choi and<sup>2</sup> Yong-Seok Choi<sup>3</sup>

Crop Protection Division, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration (RDA), Suwon 441-853, Korea

<sup>1</sup>Knowledge and Information Officer Division, RDA, Suwon 441-707, Korea

<sup>2</sup>Reclaimed Land Agriculture Research Division, National Institute of Crop Science, RDA, Iksan 570-080, Korea

<sup>3</sup>Bioenvironment Research Division, Chungnam Agricultural Research & Extension Services, Yesan 340-863, Korea

**ABSTRACT:** This study compared the *Aphelinus varipes* and *Aphelinus asychis* in terms of how they parasitized the cotton aphid, *Aphis gossypii* and green peach aphid, *Myzus persicae*. Host-feeding, parasitism, emergence, the proportion of females and development time were all studied at 15, 20, 25 and 30°C in controlled climate cabinets. When *A. gossypii* were provided for the two aphid parasitoids, the number of aphids killed by host-feeding for *A. varipes* (5.4 and 9.7 aphids) at 15°C and 25°C was higher than those for *A. asychis* (2.0 and 2.9 aphids). At 15°C and 30°C, the parasitized *A. gossypii* were higher in *A. varipes* (11.1 and 21 aphids) than in *A. asychis* (7 and 12.3 aphids). The emergence rate was also significantly different between *A. varipes* (83.3%) and *A. asychis* (69.4%). The proportion of females was higher for *A. asychis* (75.2 and 73.9%) than for *A. varipes* (19.5 and 48.6%) at 15°C and 30°C, respectively. No significant differences were found in development time between the two parasitoids. When *M. persicae* were provided for the two parasitoid species, the host-feeding number and the emergence rate of two parasitoids were not different at all four temperatures. The *M. persicae* were more highly parasitized by *A. varipes* (12.1 and 17.1 aphids) than by *A. asychis* (6.1, 10 aphids) at 20 and 25°C. The proportion of females for *A. varipes* (65.3 and 90.0%) was higher than that for *A. asychis* (34.4 and 78.8%) at 15°C and 25°C. The development time from oviposition to the adult emergence of *A. varipes* (19.9 d) was significantly longer than that of *A. asychis* (16.5 d) at 20°C. Development times decreased with increasing temperature for both in two parasitoid species.

**Key words:** Biological characteristics, *Aphelinus varipes*, *Aphelinus asychis*, *Aphis gossypii*, *Myzus persicae*

**초록:** 진딧물 기생봉인 목화면충좀벌과 진디면충좀벌의 기주를 목화진딧물과 복숭아혹진딧물로 하여 15, 20, 25, 30°C에서 사육하면서 기주섭식수, 기생수, 우화율, 성비, 발육기간을 조사하였다. 목화진딧물이 기주일 때 15°C, 25°C에서 목화면충좀벌의 기주섭식수(5.4, 9.7마리)가 진디면충좀벌(2.0, 2.9마리)보다 많았으며 복숭아혹진딧물이 기주일 때 2종 기생봉 간 기주섭식수의 차이는 없었다. 목화진딧물에 기생한 목화면충좀벌의 기생수가 15°C에서 11.1마리, 30°C에서 21마리로 진디면충좀벌의 기생수(7, 12.3마리)보다 많았으며 복숭아혹진딧물에 기생시켰을 때는 20°C와 25°C에서 목화면충좀벌의 기생수(12.1, 17.1마리)가 진디면충좀벌(6.1, 10마리)보다 더 많았다. 목화진딧물을 기주로 했을 때 30°C에서 목화면충좀벌의 우화율(83.3%)이 진디면충좀벌(69.4%)보다 높았으며 복숭아혹진딧물에서는 우화율 차이가 없었다. 목화진딧물에서 사육했을 때 진디면충좀벌의 암컷비율이 15°C에서 75.2%, 30°C에서 73.9%로 목화면충좀벌의 암컷비율(19.5, 48.6%)보다 높았으며 복숭아혹진딧물에서 사육했을 때는 목화면충좀벌의 암컷비율이 15°C에서 65.3%, 25°C에서 90.0%여서 진디면충좀벌의 암컷비율(34.4, 78.8%)보다 높은 것을 알 수 있었다. 목화진딧물에서 2종 기생봉간 산란에서 우화까지의 발육기간의 차이는 없었고 복숭아혹진딧물에서는 20°C에서 목화면충좀벌의 발육기간(19.9일)이 진디면충좀벌(16.5일)보다 길었다.

**검색어:** 생물적 특성, 목화면충좀벌, 진디면충좀벌, 목화진딧물, 복숭아혹진딧물

\*Corresponding author: biotin92@korea.kr

Received January 30 2012; Revised September 28 2012

Accepted November 6 2012

진딧물 방제에 있어 농약의 저항성 및 교차저항성의 발달 (Song et al., 1993; Song and Motoyama, 1996; Choi et al., 2001; Seo et al., 2008 and 2009), 환경오염 등 농약 사용의 폐해가 보고되면서 안전한 농산물에 대한 소비자의 욕구를 충족시키기 위한 해충방제수단으로 천적곤충이 이용되고 있다. 작물의 주요 해충인 진딧물의 방제에 이용되는 *Aphelinus* 속은 약 84종이 속해 있는 분류군으로(Noyes, 2003) 기생을 통해 진딧물을 치사시킬 뿐만 아니라 암컷개체는 진딧물을 섭식하여 치사시키는 특성을 가지고 있어(Takada and Tokumaru, 1996) 진딧물 방제에 있어 매우 중요한 생물학적 방제인자로 보고되었다(Chen et al., 2002).

2007년 토착종으로 처음 보고된 진디면충좀벌(*Aphelinus asychis*)은 *Aphelinus* 속에 속하며 유럽, 아시아, 아프리카 등 다양한 지역에 분포하는 종으로(Zhu and Fang, 2009) 목화진딧물(*Aphis gossypii*), 복숭아혹진딧물(*Myzus persicae*), 감자수염진딧물(*Macrosiphum euphorbiae*) 등 40여 종의 진딧물을 기주섭식 또는 기생에 의해 치사시키는 기생성 천적으로 알려져 있으며(Elliott et al., 1999), 기주곤충에 따른 생물학적 특성 조사를 통한 방제인자로서의 가능성 탐색(Tatsumi and Takada, 2005a), 기능반응연구(Byeon et al., 2011), 콩진딧물(*Acyrtosiphon pisum*)의 발육단계가 진디면충좀벌의 산란능력에 미치는 영향(Gerling et al., 1990), 기주, 식물, 기주-식물의 상호작용으로 발생하는 화학물질에 대한 진디면충좀벌의 반응(Rao et al., 1999), 진디면충좀벌 성충의 휴면에 미치는 광주기, 온도의 영향(Tatsumi and Takada, 2005b) 등 진디면충좀벌의 생물학적 특성과 관련된 다양한 연구가 이루어지고 있다. 또한 이러한 연구들을 통해 알려진 고온적응능력을 이용하여 고온에 적응 가능한 진딧물 천적으로 개발, 상업적으로 진딧물방제에 이용되고 있다.

한편 *Aphelinus* 속에 속하는 또 다른 종인 목화면충좀벌(*Aphelinus varipes*)은 가장테두리진딧물 방제에 있어 높은 산란력과 기주섭식능력을 나타내 효과적인 방제수단으로의 가능성을 나타낸 바 있으나(Borgemeister and Poehling, 1988; Höller, 1989; Höller et al., 1993; Weniger, 1994), 목화면충좀벌에 대한 연구는 형태학적 특성(Weniger, 1994), 계통별 분자생물학적 특성 조사(Strong, 1993) 등 분류학적 측면에서의 연구가 주를 이루고 있다.

잠재적인 천적의 생물학적, 생태학적 특성에 있어 환경요인이 미치는 영향에 대한 지식은 새로운 환경에 있어 천적이 효과적인지를 결정하는데 중요한 자료가 되며, 포식기생자의 경우 온도는 중요한 환경요인 중의 하나이다. 따라서 본 연구에서는 목화면충좀벌의 기주곤충과 사육온도를 달리하여 이에 따른

섭식수, 기생률, 발육기간 등의 생물학적 특성을 조사하고 천적으로 이용되고 있는 진디면충좀벌과의 비교 분석을 통해 방제인자로서의 이용가능성 평가 및 이용기술개발을 위한 기초자료를 얻고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 기주곤충과 기생봉의 사육

시험에 사용한 진딧물과 기생봉은 25°C, 광주기 16:8(L:D), 상대습도 50~70%로 유지되는 국립농업과학원 작물보호과 천적사육실에서 누대사육하였다. 진딧물 기생봉의 기주곤충인 목화진딧물은 시설오이에서 발생한 개체를 채집하여 실내에서 포트에 키운 오이를 기주로 누대사육한 계통을 이용하였으며, 복숭아혹진딧물은 배추에서 발생한 개체를 채집하여 실내에서 포트에 키운 가지를 기주로 누대사육한 계통을 이용하였다. 진딧물 기생봉인 목화면충좀벌과 진디면충좀벌은 실내에서 키운 보리 포트에서 사육한 보리두갈래진딧물(*Schizaphis graminum*)에 보리에서 채집한 개체를 접종하여 누대사육한 계통을 이용하였다.

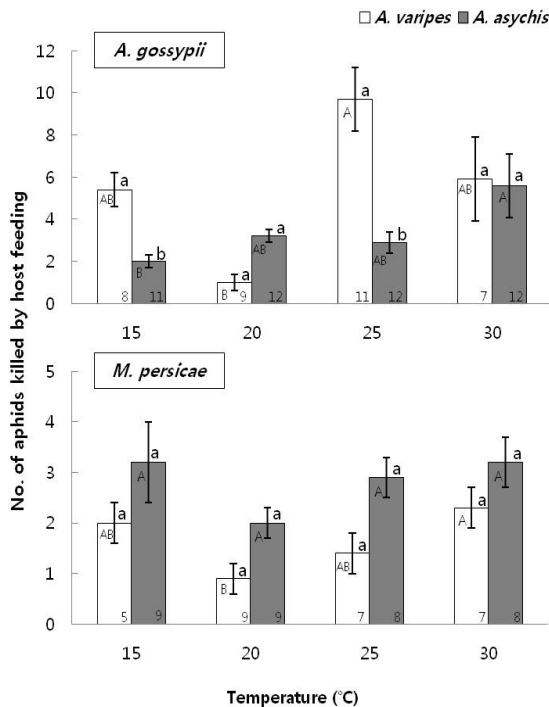
### 온도에 따른 기주섭식, 기생수, 우화율, 성비, 발육기간 조사

목화진딧물 성충과 복숭아혹진딧물 성충을 아크릴케이지(가로×세로×높이=27×27×54.5 cm)에 넣은 오이와 가지유묘포트(직경×높이=17.5×12 cm)에 각각 접종한 뒤 약 8시간 동안 산자를 받은 후 제거하였다. 산자 받은 후 1일 이내의 진딧물은 10% agar를 이용하여 곤충사육용기(직경×높이=10×4 cm, SPL Life Science)에 고정시킨 기주식물 잎디스크(직경 7 cm) 위에 30마리씩 접종하였다. 진딧물 기생봉은 우화 후 1일 이내의 목화면충좀벌과 진디면충좀벌 암수 1쌍을 플라스틱병(직경×높이=2.5 cm×7.5 cm)에 넣어 교미시키고 먹이로는 10% 꿀물을 솜에 적서 제공하여 24시간 동안 유지시켰다. 잎디스크에 접종된 진딧물의 개체수를 확인한 후, 교미한 기생봉 중 암컷 1마리를 접종하여 각 조사온도로 조절된 항온기에 넣고 24시간 후 접종한 암컷 기생봉을 제거하였다. 목화면충좀벌과 진디면충좀벌의 기주섭식수, 기생수, 우화율, 발육기간의 조사온도는 15, 20, 25, 30°C, 16:8(L:D)로 조절된 항온기를 이용하였다. 기생봉 제거 후에는 기생봉이 섭식한 진딧물 섭식수를 현미경 하에서 확인하였으며, 진딧물이 머미가 되면 기생된 머미는 빛으로 한 개씩 골라내어 마이크로튜브(1.7 ml, Axygen INC)에 넣어두고 기생봉의 발육이 완료될 때까지 실험조건을 유지

시키며 1일 간격으로 조사하였으며 시험은 10 반복 수행하였으며 기생봉 접종 다음날 조사 시 치사한 개체는 반복에서 제외하였다.

## 통계분석

기주섭식수는 목화면충종별과 진디면충종별이 섭식한 진딧물의 수, 기생수는 흑화된 머미 수, 우화율은 머미 수에 대한 우화개체수의 비율, 성비는 성충으로 우화한 개체 중 암컷의 비율, 발육기간은 기생된 후 우화할 때까지의 기간을 일수로 계산하였다. 통계분석은 JMP 8.0 (SAS Institute) 통계프로그램을 이용하였다. 각 온도에서 두 기생봉 간 기주섭식수, 기생수, 우화율, 암컷비율, 발육기간의 비교를 위해 T-검정을 실시하였으며, 사육 온도의 변화에 따른 각 기생봉의 기주섭식수, 기생수, 우화율, 암컷비율, 발육기간의 차이를 알아보기 위해 일원배치분산분석 후 Tukey-Kramer 테스트를 실시하였다.



**Fig. 1.** Mean number of aphids killed by host-feeding in two *Aphelinus* species when reared on two aphid species (mean±S.E.). Means with different small letters between the two *Aphelinus* species are significantly different by T-test,  $P>0.05$ . Means with different capital letters within the same host and different temperatures (15 to 30 °C) are significantly different by Tukey-Kramer test after one way ANOVA,  $P>0.05$ . The numbers in histograms show the number of tested individuals.

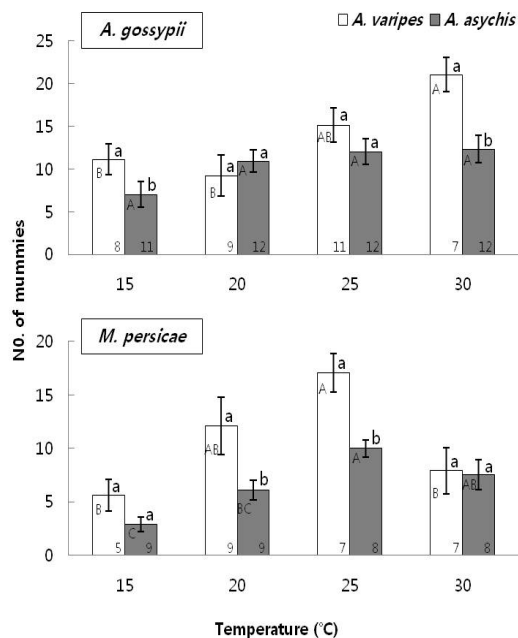
## 결과 및 고찰

### 기주곤충-온도에 따른 기주섭식수

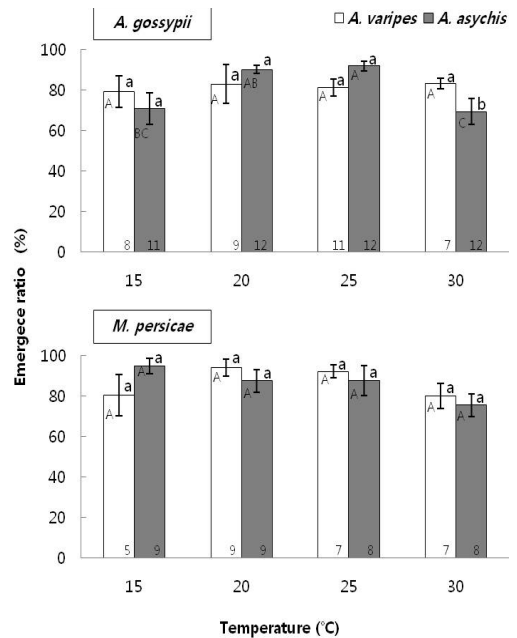
목화면충종별과 진디면충종별의 기주 진딧물과 온도에 따른 기주섭식수는 Fig. 1과 같다. 목화진딧물을 기주로 했을 때 온도별 기주섭식수는 15, 20, 25, 30°C에서 목화면충종별이 각각 5.4, 1.0, 9.7, 5.9마리였고, 진디면충종별은 각각 2.0, 3.2, 2.9, 5.6마리였다. 15°C, 25°C에서 목화면충종별의 기주섭식수(5.4, 9.7마리)가 진디면충종별(2.0, 2.9마리)보다 많았으며, 20, 30°C에서는 차이가 없었다. 복숭아흑진딧물을 기주로 했을 때 온도별 목화면충종별의 기주섭식수는 4개 온도에서 각각 2.0, 0.9, 1.4, 2.3마리였고, 진디면충종별은 각각 3.2, 2.0, 2.9, 3.2마리였으며 두 종간 기주섭식수는 모든 온도에서 차이가 나타나지 않았다. 한편 사육온도 간 섭식수의 차이는 목화진딧물을 기주로 사육한 목화면충종별과 진디면충종별, 복숭아흑진딧물을 기주로 사육한 목화면충종별에서 나타났으나 온도의 변화에 따른 섭식수의 변화가 일정하게 나타나지는 않았다. Röhne (2002)의 결과에 따르면 목화진딧물을 기주로 한 목화면충종별의 기주섭식수는 온도의 영향을 받지 않는 것으로 알려졌으며, Schirmer et al. (2008)의 결과 또한 진디면충종별의 기주섭식수는 온도의 영향을 받지 않는 것으로 보고되어 본 연구의 결과와 유사한 결과가 나타남을 확인할 수 있었다.

### 기주곤충-온도에 따른 진딧물 기생수

목화면충종별과 진디면충종별의 기주곤충과 온도에 따른 기생수는 Fig. 2와 같다. 목화진딧물이 기주일 때 온도별 기생수는 15, 20, 25, 30°C에서 목화면충종별이 각각 11.1, 9.2, 15.1, 21.0마리였고, 진디면충종별은 각각 7.0, 10.9, 12.0, 12.3마리였으며, 15°C와 30°C에서 목화면충종별의 기생수(11.1, 21마리)가 진디면충종별(7.0, 12.3마리)보다 더 많았다. 복숭아흑진딧물이 기주일 때 목화면충종별의 온도별 기생수는 4개 온도에서 각각 5.6, 12.1, 17.1, 7.9마리였고 진디면충종별은 각각 2.9, 6.1, 10.0, 7.5마리로 20°C와 25°C에서 목화면충종별의 기생수(12.1, 17.1마리)가 진디면충종별(6.1, 10마리)보다 더 많은 것으로 나타났다. Schirmer (2008)는 목화진딧물을 기주로 했을 때 25°C에서 목화면충종별과 진디면충종별의 일일 평균 기생수가 각각 4.8, 17.1마리로 진디면충종별의 기생수가 더 많은 것으로 보고하고 있어 본 연구에서 나타난 현상과는 대조적이었는데, 이는 이미 보고된 분포지역별 계통에 따라 다양하게 나타나는 포식기생자의 생물학적 특성(Messenger and van



**Fig. 2.** Mean number of eggs laid by two *Aphelinus* species parasitizing two aphid species at four different temperatures. Means with the different small letters between the two *Aphelinus* species are significantly different by T-test,  $P > 0.05$ . Means with the different capital letters within the same host and different temperatures (15 to 30°C) are significantly different by Tukey-Kramer test after one way ANOVA,  $P > 0.05$ . Numbers in histograms show the number of tested individuals.



**Fig. 3.** Mean survival rate (from mummification to adult emergence) of two *Aphelinus* species parasitizing two aphid species at four different temperatures. Means with the different small letters between the two *Aphelinus* species are significantly different by t-test,  $P > 0.05$ . Means with different capital letters within the same host and different temperatures (15 to 30°C) are significantly different by Tukey-Kramer test after one way ANOVA,  $P > 0.05$ . The numbers in the histograms show the number of tested individuals.

den Bosch, 1971) 때문이라 추측되며 이러한 현상은 *Aphelinus* 속 기생봉에 대한 실험결과를 통해(Bernal and González, 1993; Lee and Elliott, 1998; Elliott et al., 1999; Röhne, 2002) 확인된 바 있다. 온도 간 기생수의 차이는 목화진딧물로 사육한 진디면충종별, 복숭아혹진딧물로 사육한 목화면충종별과 진디면충종별의 실험결과를 통해 차이를 확인할 수 있었으며 온도가 상승할수록 기생수가 증가하는 것으로 나타나 Raney et al. (1971)의 연구결과와 유사한 결과를 얻었다.

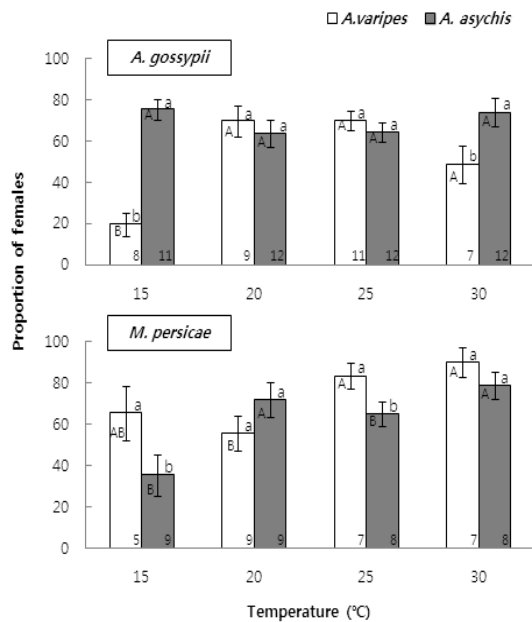
### 기주곤충-온도에 따른 우화율

목화면충종별과 진디면충종별의 기주곤충과 온도에 따른 우화율은 Fig. 3과 같다. 목화진딧물을 기주로 했을 때 목화면충종별의 온도별 우화율은 15, 20, 25, 30°C에서 각각 79.3, 83.0, 81.4, 83.3%였고, 진디면충종별은 각각 71.1, 90.3, 92.0, 69.4%여서 30°C에서 목화면충종별의 우화율(83.3%)이 진디면충종별(69.4%)보다 높은 것으로 나타났다. 복숭아혹진딧물을 기주로 했을 때 4개 온도에서 우화율은 목화면충종별이 각각 80.5, 94.1, 92.3, 80.1%를 나타냈으며 진디면충종별이 각각 94.9, 87.6, 87.9, 75.6%를 나타냈고, 두 종간 우화율의 차이는

없었다. 또한 목화진딧물이 기주일 때 진디면충종별에서 온도 간 우화율의 차이가 나타났지만 온도의 증가나 감소에 따른 우화율의 변화는 없었다. 이러한 현상은 많은 면충종별류의 실험에서 알려진 바와 같이 32°C까지 온도의 영향을 받지 않는 유약호르몬 작용에 따라 (Force and Messenger, 1964; Tang and Yokomi, 1995; Röhne, 2002) 나타났을 가능성이 있는 것으로 생각된다.

### 기주곤충-온도에 따른 성비

자손세대의 성비는 방사한 포식기생자의 성공과 실패에 영향을 주는 요인 중의 하나로(Waage and Hassell, 1982) 온도는 암컷의 비율에 영향을 주는 중요한 환경요인으로 알려져 있다 (Schlinger and Hall, 1959; Raney et al., 1971). 목화면충종별과 진디면충종별의 기주 진딧물과 온도에 따른 우화율은 Fig. 4와 같다. 목화진딧물에서 사육하여 우화한 개체 중 온도별 암컷의 비율은 15, 20, 25, 30°C에서 목화진디면충종별은 각각 19.5, 69.5, 69.9, 48.6%였고, 진디면충종별은 각각 75.2, 63.6, 64.1, 73.9%를 나타냈으며, 진디면충종별의 암컷비율이 15°C에서 75.2%, 30°C에서 73.9%로 목화면충종별의 암컷비율(각각



**Fig. 4.** Proportion of females in two *Aphelinus* species parasitizing two aphid species at four different temperatures. Means with different small letters between the two *Aphelinus* species are significantly different by t-test,  $P > 0.05$ . Means with different capital letters within the same host and different temperatures (15 to 30 °C) are significantly different by Tukey-Kramer test after one way ANOVA,  $P > 0.05$ . The numbers in the histograms show the number of tested individuals.

19.5, 48.6%)보다 높았다. 복숭아혹진딧물에서 사육하여 우화한 개체 중 온도별 암컷의 비율은 목화면충좀벌에서 각각 65.3, 55.4, 83.4, 90.0%로 나타났고 진디면충좀벌에서는 각각 34.4, 71.7, 65.0, 78.8%로 확인되었으며, 목화면충좀벌의 암컷비율이 15°C에서 65.3%, 25°C에서 90.0%여서 진디면충좀벌의 암컷비율(각각 34.4, 78.8%)보다 높은 것을 알 수 있었다. 온도간의 성비는 목화진딧물을 기주로 한 진디면충좀벌과 복숭아혹진딧물을 기주곤충으로 한 목화면충좀벌과 복숭아혹진딧물에서 차이가 있었으며 대체로 온도가 증가할수록 암컷의 비율이 높아지는 것으로 나타났다. 이는 목화진딧물에서 목화면충좀벌 암컷의 비율이 20°C와 25°C에서 각각 70%와 92%로 나타냄으로 온도가 성비에 영향을 미침을 보고한 Röhne (2002)의 실험결과와 유사한 결과를 얻었다.

### 기주곤충-온도에 따른 발육기간

목화진딧물에서 사육한 목화면충좀벌과 진디면충좀벌의 발육단계별 발육기간은 Table 1과 같다. 목화진딧물을 기주로 한 목화면충좀벌의 산란에서 우화까지 발육기간은 15, 20, 25, 30°C에서 각각 39.5, 18.9, 13.9, 11.7일로 나타났으며, 진디면충좀

**Table 1.** Developmental times (days, mean±S.E.) from egg to mummy, mummy to adult emergence and egg to adult emergence for two *Aphelinus* species on *A. gossypii* at four different temperatures

Developmental stage	Temperature (°C)	Parasitoids	
		<i>A. varipes</i>	<i>A. asychis</i>
egg to mummy	15	19.9±0.7 <sup>aA</sup>	19.0±0.3 <sup>aA</sup>
	20	9.5±0.2 <sup>aB</sup>	10.4±0.2 <sup>aB</sup>
	25	6.7±0.1 <sup>aC</sup>	7.4±0.2 <sup>aC</sup>
	30	5.8±0.1 <sup>ac</sup>	6.7±0.1 <sup>aC</sup>
mummy to adult emergence	15	20.5±0.5 <sup>aC</sup>	19.0±1.1 <sup>aA</sup>
	20	9.4±0.3 <sup>aB</sup>	10.7±0.1 <sup>aB</sup>
	25	7.2±0.1 <sup>aC</sup>	6.8±0.3 <sup>aC</sup>
	30	5.9±0.6 <sup>aC</sup>	6.3±0.2 <sup>aC</sup>
egg to adult emergence	15	39.5±0.6 <sup>aA</sup>	37.9±1.3 <sup>aA</sup>
	20	18.9±0.2 <sup>aB</sup>	20.6±0.2 <sup>aB</sup>
	25	13.9±0.2 <sup>aC</sup>	14.2±0.3 <sup>aC</sup>
	30	11.7±0.5 <sup>aD</sup>	13.0±0.3 <sup>aD</sup>

Means with different small letters between the two *Aphelinus* species are significantly different by T-test,  $P > 0.05$ . Means with different capital letters within the same developmental stage, the same host and different temperature (15 to 30°C) are significantly different by Tukey-Kramer test after one way ANOVA,  $P > 0.05$ .

벌은 각각 37.9, 20.6, 14.2, 13.0일로 나타났고 전체 발육단계에서 2종 좀벌 간 발육기간의 통계적 차이는 나타나지 않았다. 복숭아혹진딧물이 기주일 때 산란에서 우화까지의 발육기간은 목화면충좀벌에서 각각 29.4, 19.9, 14.5, 9.8일이었으며, 진디면충좀벌에서는 각각 30.6, 16.5, 14.7, 13.0일인 것으로 나타났다. 좀벌 간 발육기간의 차이는 알에서 머미까지의 발육단계에서는 20°C와 25°C, 머미에서 우화까지의 발육단계에서는 15°C와 20°C, 전체 발육단계에서는 20°C에서 나타났다(Table 2).

두 종의 진딧물에서 사육한 목화면충좀벌과 진디면충좀벌의 발육기간은 사육온도가 높아질수록 발육기간이 짧아졌으며 온도 간 발육기간은 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다. Schirmer et al. (2008)은 목화진딧물에 기생한 진디면충좀벌의 전체 발육기간을 18°C와 30°C에서 각각 24.6일과 11.9일로 보고하였고 이는 본 연구의 목화진딧물에 기생한 진디면충좀벌을 30°C에서 사육했을 때의 발육기간(13.0일)과 유사한 결과를 나타냈다. 이러한 경향은 보리두갈래진딧물(*S. graminum*)과 러시아밀진딧물(*Diuraphis noxia*)에 기생한 진디면충좀벌에서도 유사한 연구 결과를 확인할 수 있었으며(Jackson and Eikenbary, 1971; Bernal and Gonzáles, 1993), 기주곤충의 발육단계별로 온도에 따라 발육기간을 조사한 목화면충좀벌의

**Table 2.** Developmental times (days, mean±S.E.) from egg to mummy, mummy to adult emergence and egg to adult emergence for two *Aphelinus* species on *M. persicae* at four different temperatures

Developmental stage	Temperature (°C)	Parasitoids	
		<i>A. varipes</i>	<i>A. asychis</i>
egg to mummy	15	14.2±0.1 <sup>aA</sup>	16.7±0.3 <sup>aA</sup>
	20	10.2±0.4 <sup>aB</sup>	8.6±0.1 <sup>bB</sup>
	25	7.3±0.1 <sup>aC</sup>	6.8±0.2 <sup>bC</sup>
	30	5.0±0.0 <sup>aD</sup>	6.2±0.1 <sup>aC</sup>
mummy to adult emergence	15	15.2±0.4 <sup>aA</sup>	14.0±0.2 <sup>bA</sup>
	20	9.47±0.2 <sup>aB</sup>	7.8±0.1 <sup>bB</sup>
	25	7.3±0.1 <sup>aC</sup>	7.9±0.3 <sup>a</sup>
	30	4.8±0.2 <sup>aD</sup>	6.8±0.2 <sup>aC</sup>
egg to adult emergence	15	29.4±0.63 <sup>aA</sup>	30.6±0.2 <sup>aA</sup>
	20	19.9±0.5 <sup>aB</sup>	16.5±0.2 <sup>bB</sup>
	25	14.5±0.2 <sup>aC</sup>	14.7±0.3 <sup>aC</sup>
	30	9.8±0.1 <sup>aD</sup>	13.0±0.2 <sup>aD</sup>

Means with different small letters between the two *Aphelinus* species are significantly different by T-test, P>0.05. Means with different capital letters within the same developmental stage, the same host and different temperature (15 to 30 °C) are significantly different by Tukey-Kramer test after one way ANOVA, P>0.05.

연구에서도 사육온도에 따라 발육기간이 짧아짐을 알 수 있어 (Röhne, 2002) 사육온도는 면충좀벌류의 발육기간에 영향을 주는 것을 알 수 있었다.

이상의 결과를 종합해보면 목화면충좀벌과 진디면충좀벌은 목화진딧물과 복숭아혹진딧물을 성공적으로 섭식하고 산란에서 우화까지 발육을 완료하였으므로 2종의 진딧물은 진디면충좀벌과 목화면충좀벌의 사육에 적합한 기주로 판단된다. 또한 목화면충좀벌의 기생능력이 고온에서 유리한 것으로 조사되었으며 우화율과 발육기간의 조사결과를 통해 고온에서의 적응 능력이 높음을 알 수 있었다. 이 두 기생종의 진딧물 생물적방제인자로서의 잠재성은 추후 광량, 광주기 등의 주요 환경요인에 대한 진딧물 밀도에 따른 기생종의 기주 탐색효율과 기능반응 연구, 실험실 내 또는 온실의 고온조건에서 진디벌류 및 다른 진딧물 천적과의 진딧물 방제효과 비교 연구를 통해 종합적으로 평가되어야 할 것이다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호:PJ006855)의 지원에 의해 이루어진 것임.

## Literature Cited

- Bernal, J., González, D., 1993. Temperature requirements of four parasites of the Russian wheat aphid *Diuraphis noxia*. Entomol. Exp. Appl. 69, 173-182.
- Byeon, Y.W., Tuda, M., Kim, J.H., Choi, M.Y., 2011. Functional responses of aphid parasitoids, *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Braconidae) and *Aphelinus asychis* (Hymenoptera: Aphelinidae). Biocontrol Sci. Technol. 21, 57-70.
- Borgemeister, C., Poehling, H.M., 1988. Seasonal abundance and species composition of cereal aphid primary and secondary parasitoids. Med. Fac. Landbouww. Riiksuniv., Gent. 53, 1055-1062.
- Chen, Y., Giles, K.L., Greenstone, M.H., 2002. Molecular evidence for a species complex in the genus *Aphelinus* (Hymenoptera: Aphelinidae), with additional data on aphidiine phylogeny (Hymenoptera: Braconidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 95, 29-34.
- Choi, B.R., Lee, S.W., Yoo, J.K., 2001. Resistance mechanisms of green peach aphid, *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae), to imidacloprid. Korean J. Appl. Entomol. 40, 265-271.
- Gerling, D., Roitberg, B.D., Mackauer, M., 1990. Instar-specific defense of the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum*: influence on oviposition success of the parasite *Aphelinus asychis* (Hymenoptera: Aphelinidae). J. Insect Behav. 3, 501-514.
- Elliott, N.C., Lee, J.H., Kindler, S.D., 1999. Parasitism of several aphid species by *Aphelinus asychis* Walker and *Aphelinus albipodus* Hayat and Fatima. Southwest. Entomol. 24, 5-12.
- Force, D.C., Messenger, P.S., 1964. Fecundity reproductive rates and innate capacity for increase of three parasites of *Therioaphis maculata* (Buckton). Ecology 45, 706-715.
- Höller, C., 1989. *Aphelinus varipes* (Förster) (Hymenoptera, Aphelinidae), a promising parasitoid of cereal aphids. Bull. IOBC/WPRS. 12, 43-53.
- Höller, C., Borgemeister, C., Haardt, H., Powell, W., 1993. The relationship between primary parasitoids and hyperparasitoids of cereal aphids: an analysis of field data. J. Anim. Ecol. 62, 12-21.
- Jackson, H.B., Eikenbary, R.D., 1971. Bionomics of *Aphelinus asychis* (Hymenoptera: Eulophidae) an introduced parasite of sorghum greenbug (Homoptera: Aphididae). Ann. Entomol. Soc. Am. 64, 81-85.
- Lee, J.H., Elliott, N.C., 1998. Comparison of developmental responses to temperature in *Aphelinus asychis* (Walker) from two different geographic regions. Southwest. Entomol. 23, 77-82.
- Li, C.D., Byeon, Y.W., Choi, B.R., 2007. An aphelinid species *Aphelinus asychis* Walker (Hymenoptera: Aphelinidae) new to Korea. J. Asia Pac. Entomol. 10, 13-15.
- Messenger, G.J., van den Bosch, R., 1971. Bionomics of *Aphelinus asychis* (Hymenoptera: Eulophidae) an introduced parasite of the

- sorghum greenbug. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 64, 81-85.
- Noyes, J.S., 2003. Universal Chalcidoidea Database.
- Rao, A., Vinson, S.B., Gilstrap, F.E., Michels, G.J., 1999. Response of an aphid parasitoid, *Aphelinus asychis* to its host, plant, host-plant complex, and to malathion. *Entomol. Exp. Appl.* 91, 449-456.
- Raney, H.G., Coles, L.W., Eikenbary, R.D., Morrison, R.D., Starks, K.J., 1971. Host preference, longevity, developmental period and sex ratio of *Aphelinus asychis* with three sorghum-fed species of aphids held at controlled temperatures. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 64, 169-176.
- Röhne, O., 2002. Effect of temperature and host stage on performance of *Aphelinus varipes* Forster (Hym., Aphelinidae) parasitizing the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Hom., Aphididae). *J. Appl. Entomol.* 126, 572-576.
- Schirmers, S., Sengonca, C., Blaeser, P., 2008. Influence of abiotic factors on some biological and ecological characteristics of the aphid parasitoid *Aphelinus asychis* (Hymenoptera: Aphelinidae) parasitizing *Aphis gossypii* (Sternorrhyncha: Aphididae). *Eur. J. Entomol.* 105, 121-129.
- Schlenger, E.I., Hall, J.C., 1959. A synopsis of the biology of three imported parasites (Hymenoptera: Braconidae, Eulophidae) of the spotted alfalfa aphid. *J. Econ. Entomol.* 52, 154-157.
- Seo, M.J., Kang, M.K., Jo, B.H., Hwang, I.C., Jang, C., Yu, Y.M., Youn, Y.N., 2008. Changes of feeding behaviors of *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae) depending on inflow concentrations of imidacloprid. *Korean J. Appl. Entomol.* 47, 369-378.
- Seo, M.J., Kang, M.K., Seok, H.B., Jo, C.W., Choi, J.S., Jang, C., Hwang, I.C., Yu, Y.M., Youn, Y.N., 2009. Characteristics of feeding behaviors of *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae) depending on inflow concentrations of dinotefuran. *Korean J. Appl. Entomol.* 48, 171-178.
- Song, S.S., Oh, H.H., Motoyama, N., 1993. Seasonal fluctuation of carboxylesterase activity in field collected populations of the green peach aphid. *Korean J. Appl. Entomol.* 32, 348-353.
- Song, S.S., Motoyama, N., 1996. Effect of temperatures on the growth of susceptible and malathion resistance green peach aphid strains. *Korean J. Appl. Entomol.* 35, 297-301.
- Strong, K.L., 1993. Electrophoretic analysis of two strains of *Aphelinus varipes* (Foerster) (Hymenoptera: Aphelinidae). *J. Aust. Ent. Soc.* 32, 21-22.
- Takada, H., Tokumaru, S., 1996. Observations on oviposition and host-feeding behavior of *Aphelinus gossypii* Timberlake (Hymenoptera: Aphelinidae). *Appl. Entomol. Zool.* 32, 263-270.
- Tang, Y.Q., Yokomi, R.K., 1995. Temperature-dependent development of three hymenopterous parasitoids of aphids (Homoptera: Aphididae) attacking citrus. *Environ. Entomol.* 24, 1736-1740.
- Tatsumi, E., Takada, H., 2005a. Evaluation of *Aphelinus asychis* and *A. albipodus* (Hymenoptera: Aphelinidae) as biological control agents against three pest aphids. *Appl. Entomol. Zool.* 40, 379-385.
- Tatsumi, E., Takada, H., 2005b. Effects of photoperiod and temperature on adult oligopause of *Aphelinus asychis* and larval diapause of *A. albipodus* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Appl. Entomol. Zool.* 40, 447-456.
- Waage, J.K., Hassell, M.P., 1982. Parasitoids as biological control agents—a fundamental approach. *Parasitology* 84, 241-268.
- Weniger, P.C., 1994. Morphological observations in the preimaginal stages of *Aphelinus varipes* (Hym., Aphelinidae) and the effects of this parasitoid on the aphid *Rhopalosiphum padi* (Hom., Aphididae). *Entomophaga* 39, 264-274.
- Zhu, Y.C., Fang, Q.Q., 2009. The Phylogenetic relationships of introduced *Aphelinus* (Hymenoptera: Aphelinidae) biological control agents of the Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae). *Insect Sci.* 16, 277-285.