

머리뿔가위벌(*Osmia cornifrons*)과 뿔가위벌 (*O. pedicornis*)의 분포 및 고치의 생태적 특성

윤형주* · 이경용 · 김선영 · 김영미¹ · 권천락²

농촌진흥청 국립농업과학원 농업생물부, ¹경상북도 농업자원관리원 잠사곤충사업장, ²예천군 곤충연구소

Distribution and Ecological Characteristics of Cocoons of the Solitary Bees *Osmia cornifrons* and *O. pedicornis* (Hymenoptera: Megachilidae)

Hyung Joo Yoon*, Kyeong Yong Lee, Sun Young Kim, Yeong Mi Kim¹ and Cheon Rak Kwon²

Department of Agricultural Biology, The National Academy of Agricultural Science, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea
¹Silkwork Business Center, Agricultural Resource Management Institute, Sangju 37110, Republic of Korea
²Yecheon Entomology Institute, Yecheon 36802, Republic of Korea

(Received 4 September 2016; Revised 26 September 2016; Accepted 27 September 2016)

Abstract

Osmia cornifrons and *O. pedicornis* are a cavity-nesting solitary species used mainly as an apple pollinator in Korea. To elucidate the characteristics of those bees for the efficient the pollination of agricultural crops, we investigated the distribution, the number of cocoons per straw, sex ratio, and characteristics of cocoon at different locations in 2010. We collected four species of *Osmia* spp. consisting of *O. cornifrons*, *O. pedicornis*, *O. taurus* and *O. satoi* in Yeongwol, Bonghwa and Yecheon locations. *O. pedicornis* was the dominant species, which accounts for 59.6% to 76.4% in the three locations. The mean number of *Osmia* spp. was varied in different 3 locations. In the number of cocoons per bamboo straw, there were from 7.6 to 8.5 in *O. cornifrons* and from 6.8 to 7.1 in *O. pedicornis* at one side straw, and from 16.3 to 16.5 in *O. cornifrons* and from 13.3 to 13.5 in *O. pedicornis* at both sides straw. The sex ratio of *Osmia* spp. were from 1:1 to 1: 2.8 in *O. cornifrons* and from 1:2.8 to 1:5.5 in *O. pedicornis*. The sex ratio of *O. cornifrons* and *O. pedicornis* was different in 3 locations. The female and male cocoons of *O. cornifrons* were the long elliptical-shaped and grey-brown color. The width, length and weight of the female cocoon were 5.6 ± 0.6 mm, 10.2 ± 0.8 mm and 89.5 ± 20.0 mg, respectively. The width, length and weight of the male cocoon were 5.0 ± 0.4 mm, 9.0 ± 0.6 mm and 62.1 ± 11.3 mg, respectively. The female and male cocoons of *O. pedicornis* were the long elliptical-shaped and polished dark-brown color. The female cocoon had the width of 6.5 ± 0.6 mm, length of 12.9 ± 1.0 mm and weight of 89.5 ± 20.0 mg. In case of the male cocoon, the width, length and weight of were 5.0 ± 0.4 mm, 9.0 ± 0.6 mm and 151.5 ± 29.4 mg, respectively. In both species of *O. cornifrons* and *O. pedicornis*, the cocoon size of the females was significantly larger than that of the male. Between those two species, the latter had a relatively bigger size than the former.

*Corresponding author. E-mail: yoonhj1023@korea.kr

Key words: Solitary bees, *Osmia* spp., *O. cornifrons*, *O. pedicornis*, Distribution, Sex ratio, Cocoon

서 론

농작물의 수분에 가장 효과적인 화분매개곤충은 벌목 곤충으로 세계적으로 16,325종이 알려져 있다(Michener, 2007). 벌의 가장 중요한 활동은 자연식생 뿐 만 아니라 채소, 과일, 종자작물, 식용오일작물, 섬유작물 및 주요 식용작물 등을 포함한 농업작물에 대한 화분매개이다(Michener, 2000). 인간이 소비하는 124개의 경제작물의 70%가 화분매개용 벌을 필요로 하며(Klein *et al.*, 2007), 전세계 400개 이상의 작물이, 미국의 경우 130개 이상의 작물이 화분매개곤충으로 벌을 필요로 한다고 보고하였다(James and Pitts-Singer, 2008). 비록 꿀벌이 화분매개용으로 많은 신뢰를 받고 있지만 상업화된 뒤영벌이나 고독성 벌 또한 특정한 작물에 주요한 수분곤충의 역할을 한다(Free, 1993; Dag and Kammer, 2001).

작물의 수분매개곤충으로 개발된 고독성 벌 중 Mason bee라고 불리는 빨가위벌류(*Osmia* spp.)는 벌목(Hymenoptera) 꿀벌상과(Apoidea) 가위벌과(Megachilidae) 빨가위벌속(*Osmia*)으로 대부분 전북구에 분포하며, 339종이 있다(Michener, 2007). 대나무소통이나 갈대와 같은 소통에서 영소활동을 하는 머리빨가위벌(*Osmia cornifrons*)이나 빨가위벌(*O. pedicornis*) 등 빨가위벌류는 1년에 1세대를 거친다. 다른 고독성 벌과 유사하게 빨가위벌류는 여왕벌, 일벌, 봉군, 밀랍이나 저장된 꿀 등이 없다. 성충은 4~5월에 우화하여 단지 봄철의 영소활동을 통해 늦은 봄부터 이른 여름까지 소통 등에 산란활동을 한다. 산란을 위해 성충은 우선 대나무와 같은 소통 내에 흙 등으로 간격 막을 만든 다음, 각각의 방에 산란한다. 산란된 알은 각각의 방에서 유충, 번데기 기간을 거쳐 가을철에 고치 내에서 성충이 되어 휴면상태로 월동을 하는 특성을 가지고 있다(Torchio, 1989; Bosch and Kemp, 2010; Lee *et al.*, 2016). 한국산 빨가위벌류는 7종으로(Lee and Woo, 1994), 산지와 사과원에 각각 5종이 분포하고 있으며,

주요종은 머리빨가위벌, 빨가위벌, 붉은빨가위벌 3종인 것으로 나타났다(Kwon *et al.*, 1997; Lee *et al.*, 2002). 빨가위벌류는 사과, 블루베리, 아몬드와 같은 과수의 중요 화분매개곤충으로 전 세계에서 사용하고 있다(Yamada *et al.*, 1971; Maeta, 1978; Maeta and Kitamura, 1981; Torchio, 1981, 1985; Bosch, 1994; Bosch and Kemp, 2001; Cane, 2008).

과수원에서 빨가위벌류의 사용은 1960년대에 일본에서 머리빨가위벌을 가지고 아오모리현의 사과원에서 처음 사용하기 시작하여(Maeta and Kitamura, 1964, 1965; Yamada *et al.*, 1971), 약 40% 정도가 사과과수원에서 사용되고 있다(Sekita and Yamada, 1996). 사과에서 머리빨가위벌의 사용률이 높은 이유는 꿀벌은 꿀이 우선인데 반하여 머리빨가위벌은 꽃가루가 우선이며, 머리빨가위벌의 주두 접촉율이 100%로 꿀벌보다 5배 정도 높고, 1일 유효 결실수가 2,450송이로 꿀벌 30송이보다 81.7배나 높기 때문이다(Maeta and Kitamura, 1981). 국내에서 머리빨가위벌의 사용은 1992년 청송군 한 농가가 일본에서 도입하여 처음 사용하였고(Kim, 1999; Lee *et al.*, 2002), 1990년 중반부터 2000년 초까지 전국 사과주산지의 농업기술센터 중심으로 보급되었다(Lee *et al.*, 2010). 지금은 2개 지자체(예천군곤충연구소와 경상북도 농업자원관리원 잠사곤충사업장)에서 매년 야외에서 수집하여 유상 분양사업을 실시하거나 일부 농가가 자체 생산하여 사용하고 있으며, 2011년에는 9.2% 정도가 과수원 등에 사용되었다(Yoon *et al.*, 2013).

현재 국내에서는 주로 사과원에 빨가위벌류를 많이 사용하고 있으며, 특히 빨가위벌류 중 화분매개능력이 우수한 머리빨가위벌을 가장 많이 선호하고 있다. 하지만, 빨가위벌류의 보급과정에서 머리빨가위벌과 빨가위벌 등 다른 종의 혼입뿐 만 아니라 활동능력이 다른 암컷과 수컷 고치의 구별 없이 보급되고 있는 실정이다. 이로 인해 해마다 빨가위벌류의 균일성 저하로 작물의 효율적인 수분 효과를 기대할 수 없는

문제점을 가지고 있다. 왜냐하면 머리빨가위벌과 빨가위벌은 종류가 다르며, 선호하는 꽃, 생태 및 생리적 특성이 다를 수 있기 때문이다. 따라서 작목에 대한 빨가위벌류의 효과적인 수정을 위해서는 사육농가들이 믿고 사용할 수 있도록 보급 전에 적어도 머리빨가위벌과 빨가위벌을 명확하게 구분하여 보급해야 할 필요가 있다고 생각된다.

이에 본 연구에서는 빨가위벌류의 보급 시 문제점을 해결하여, 효율적인 수분효과를 얻음으로서 금후화분매개곤충 빨가위벌류의 보급을 확대하고자 하였다. 이에 채집지역별로 머리빨가위벌과 빨가위벌의 분포비율, 소통 내 고치수, 성비, 고치의 크기, 암수 구별방법 등을 조사하였다.

재료 및 방법

빨가위벌류 유인트랩 설치 및 채집

실험곤충인 빨가위벌류는 2010년 강원도 영월, 경상북도 봉화과 예천에서 빨가위벌류가 휴면을 끝내고 활동하는 시기인 3월 말부터 4월 초(Maeta, 1978) 대나무 소통 트랩을 설치하여 채집된 빨가위벌류 중 머리빨가위벌과 빨가위벌의 암컷과 수컷 고치를 사용하였다. 유인트랩인 대나무 소통은 단면(길이 15cm, 내경 7mm)과 양면(33.2cm, 내경 7mm) 소통을 사용하였다. 대나무 소통은 50개 소통을 고무줄과 철사 등으로 고정시킨 것을 한 묶음으로 하여 영월과 봉화에는 양면소통 20묶음, 예천에는 단면소통 40묶음을 사용하였다. 영월과 봉화 지역에 설치된 양면소통은 한 면(단면)과 양쪽 면에 들어 온 것을 나누어 조사하였다. 트랩은 비나 바람의 영향을 적게 받는 사과원의 농자재 창고나 원두막 같은 구조물의 내부 또는 처마에 설치하였으며, 빨가위벌류의 영소활동이 종료되는 시점인 6월 초부터 6월말까지 약 15일간 트랩을 수거하였다.

지역별 빨가위벌류 및 천적, 경쟁종의 분포 조사

지역별 빨가위벌류의 분포를 조사하기 위하여, 수집된 영소가 완료된 유인트랩을 해체하여 빨가위벌류의 고치를 확보하였다. 지역별 확보된 고치는 형태, 색깔, 크기, 배설물의 형태와 색깔 등을 바탕으로 Maeta(1978)가 보고한 빨가위벌류의 동정 자료를 참고하여 분류하였다. 분류된 고치는 종류별로 10개의 고치를 무작위로 선택 후 고치를 벗겨내어 내부의 성충을 확보하였다. 확보된 성충의 머리형태, 체장, 체모의 색 등을 바탕으로 Lee and Woo(1994)와 Kwon and Huh(1995)를 참고하여 최종 동정한 후, 빨가위벌류의 분포현황을 조사하였다. 또한 빨가위벌류의 고치 외에 다른 곤충이 발견되는 경우, 빨가위벌류의 고치를 가해한 흔적에서 나타나는 곤충을 천적으로, 빨가위벌류 고치가 아닌 다른 곤충의 성충이나 고치 등이 수집되는 경우를 경쟁종으로 나누어 분류를 하였다(Lee and Woo, 1994).

지역별 머리빨가위벌과 빨가위벌의 소통 당 고치수, 성비 및 고치 특성

머리빨가위벌과 빨가위벌의 소통 당 평균 고치수를 지역별 및 단면, 양면 등 소통종류별로 조사하였다. 이를 바탕으로 머리빨가위벌과 빨가위벌의 지역별 분포도를 작성하였다. 또한 머리빨가위벌과 빨가위벌의 고치수에 따른 고치길이와 흙으로 구성된 격막과의 관계를 분석하였다(Maeta, 1978). 지역별 머리빨가위벌과 빨가위벌의 성비를 조사하기 위하여, 고치의 크기와 소통 내 고치위치를 기준으로 먼저 암수를 구분하였다. 일반적으로 암컷고치가 수컷고치보다 크며, 소통의 안쪽에 암컷이, 바깥쪽이 수컷이 존재한다(Bosch, 1994). 이렇게 구분된 고치는 암수별로 10개의 고치를 무작위로 선택하여, 고치를 벗겨내 성충을 꺼낸 후, 머리방패의 빨모양 돌기 또는 황백색의 털의 유무, 복부 아래쪽의 꽃가루술(*scopa*)의 유무에 따라 암수를 최종 구분하여 성비를 조사하였다(Maeta, 1978; Torchio and Tepedino, 1980). 또한 지역별로 구별한 머리빨가위벌과 빨가위벌 암수고치를 가지고, 단경, 장경, 무게 등 크기를 비교·조사하였다.

통계분석

통계분석은 'PASW 18' 통계소프트웨어 패키지 (IBM Inc., 2009)를 이용하여 One-way ANOVA test, 사후검정으로 Tukey's HSD, 상관분석과 T-test로 통계 분석하였다. One-way ANOVA test는 지역별 머리빨가위벌, 빨가위벌의 소통내 고치 수 및 단면, 양면 비교, 지역별 고치크기에 사용하였다. 상관분석은 고치수에 따른 고치길이와 간격 막(흙두께)에 사용하였다. T-test는 머리빨가위벌과 빨가위벌의 암·수크기 비교에 사용하였다.

결과 및 고찰

지역별 빨가위벌류 및 천적, 경쟁종의 분포비율

영월, 봉화, 예천 등에서 채집된 빨가위벌류는 빨가위벌, 머리빨가위벌, 붉은빨가위벌, 사토외빨가위벌 등 총 4종으로 동정되었으며, 지역별로 빨가위벌류의 분포비율을 조사한 결과 Table 1과 같다. 영월지역은 빨가위벌이 76.4%로 가장 많이 분포하였고, 그다음은 머리빨가위벌 13.7%, 사토외가위벌(*O. satoi*) 0.4%로 3종이 수집되었으며, 붉은빨가위벌(*O. taurus*)은 채집되지 않았다. 한 소통 내에서 빨가위벌류가 혼재되어 있는 경우가 4.3%이었다. 주로 감탕벌과 청벌이었던 천적과 경쟁종은 1.3%이었고, 전혀 고치가 들어 있지 않은 빈 소통도 3.9%를 차지하였다. Lee et al.(2014)은 사과원에서 빨가위벌류를 가해하는 수시렁이와 응애류 등 천적 7종과 감탕벌 등 경쟁종 7종이 수집되었다고 보고하였다. 봉화지역은 빨가위벌 67.5%, 머리빨가위벌 21.9%로 단지 2종만이 수집되었다. 빨가위벌류의 혼재는 1.3%이었고, 천적과 경쟁종은 0.9%, 빈 소통은 8.3%이었다. 양면소통을 사용한 2지역과 달리 단면소통을 사용한 예천지역의 경우, 빨가위벌이 59.6%로 가장 많이 분포하였고, 그다음은 머리빨가위벌 23.0%, 다른 두 지역에서는 수집이 안 된 붉은빨가위벌이 0.9%, 사토외빨가위벌 0.3% 순이었다. 예천지역에서는 총 4종이 채집이 되어 다른 두지역보다 종 다양성이 높았다. 빨가위벌류 혼재

가 1.1%이었고, 천적과 경쟁종은 2.0%, 빈 소통은 13.1%이었다.

빨가위벌류의 종류별 분포비율은 빨가위벌이 3개 지역에서 모두 채집되었으며, 59.6~76.4%의 가장 높은 분포비율로 나타났다. 머리빨가위벌 역시, 3개 지역에서 채집되었고, 13.7~23.0%의 분포비율을 보였다. 봉화와 예천 지역의 머리빨가위벌이 영월지역보다 1.6~1.7배 많이 분포하였다. 수집된 4종의 빨가위벌류 중 빨가위벌과 머리빨가위벌 2종이 82.6~90.1%를 차지하였다. 붉은빨가위벌은 단지 예천에서만 0.9% 분포하였다. 사토외빨가위벌의 경우, 봉화를 제외한 영월과 예천에서 채집되었으며, 0.3~0.4%로 매우 낮은 수준의 분포를 보여주었다. 이런 결과로 채집 지역별 빨가위벌류의 분포와 종 다양성이 다른 것을 알 수 있었다. 한국산 빨가위벌류는 7종(머리빨가위벌, 빨가위벌, 붉은빨가위벌, 꼬마민빨가위벌, 검배민빨가위벌, 흰줄빨가위벌, 사토외빨가위벌)으로, 우점종인 머리빨가위벌의 경우 전라남도를 제외한 모든 지역에 분포한다. 빨가위벌은 강원도, 전라북도의 중부 남부지역에, 붉은빨가위벌은 경기, 충북, 경남 등 중부지역에서 주로 분포한다(Lee and Woo, 1994). Lee et al.(2002)은 3년동안 산지에서 빨가위벌류를 조사한 결과, 5종의 빨가위벌류가 분포하고 있으며, 5종 가운데 머리빨가위벌(45.7%), 빨가위벌(41.8%), 붉은빨가위벌(11.6%), 사토외빨가위벌(0.85%), 꼬마민빨가위벌(0.03%) 순으로 많이 채집된다고 하였다. 지역별로는 경기, 강원, 충북, 경북 지역에서는 빨가위벌이 우점종으로, 강원도에서는 머리빨가위벌이 우점종이라고 보고하였다. 한편 속리산 일대에서 채집된 빨가위벌류는 4종으로, 붉은빨가위벌(52%), 머리빨가위벌(27%), 빨가위벌(15%), 꼬마민빨가위벌(5%) 순이었다(Kim, 1999). 하지만 광교산 등 4개 지역에서 채집된 빨가위벌류는 붉은빨가위벌(58%), 머리빨가위벌(24%), 빨가위벌(17%) 3종으로, 경기, 강원에서는 붉은빨가위벌이 우점종이고, 충북에서는 빨가위벌이 우점종으로 밝혀져(Kim et al., 1994), 같은 산지라도 지역이나 위치, 장소에 따라서 빨가위벌류의 분포가 다른 것을 확인할 수 있었다. Lee et al.(2014)은 3년 동안 전국 32개 사과원에서 총 5종이 채집되었고, 그중

에서 우점종은 머리빨가위벌이 69.6%를 차지하였고, 빨가위벌이 13.0%, 붉은빨가위벌이 11.2%순이었다.

지역별 빨가위벌류 분포는 예천 지역이 4종의 빨가위벌류가 분포하여 영월(3종), 봉화(2종) 지역보다 종이 다양하였다. 또한 4종의 빨가위벌류 중 빨가위벌이 3개 지역에서 59.6~76.4%의 높은 분포비율을 나타내어, 우점종임을 알 수 있었다. 이러한 결과로 채집 지역별로 빨가위벌류의 분포와 종 다양성에 차이가 있다는 것을 알 수 있었다. 천적과 경쟁종의 분포비율은 3개 조사지역에서 0.9~2.0%이었으며, 빈 소통은 3.9~13.1%이었다.

지역별 빨가위벌과 머리빨가위벌의 소통 당 고치수 및 분포도

지역별로 대나무소통 당 채집된 빨가위벌과 머리빨가위벌의 고치수를 Table 2에 나타내었다. 머리빨가위벌의 경우, 양면소통 중 한 면만 들어있는 단면소

통에서 영월 8.2 ± 2.7 개, 봉화 8.5 ± 3.3 개, 단면소통인 예천 7.6 ± 3.9 개로 예천지역 것이 영월, 봉화지역보다 고치수가 0.6~0.9개 적었으나 지역 간에 차이가 없었다(One-way ANOVA test: $F=1.493$, $df=2, 249$, $p=0.227$). 채집지역별로 대나무 소통 내 고치수의 분포도를 조사한 결과(Fig. 1), 영월지역은 단면소통 내에 고치수가 3개부터 14개까지 분포하였으나, 소통 내의 고치수는 1개, 2개, 4개인 경우는 없었다. 소통 내 고치수는 9개(17.2%)가 가장 많았고, 그 다음이 10개(13.8%)이었다. 봉화지역은 1개부터 16개 분포하였으나, 2개, 14개, 15개가 분포하는 소통은 없었다. 10개와 12개가 각각 13.7%로 가장 많이 분포하였다. 예천지역은 고치수가 1개(2.2%)부터 17개(1.1%)까지 분포하였고, 2개부터 13개까지 큰 차이 없이 분포하였다. 머리빨가위벌의 소통 내 고치수는 지역에 따라 차이가 없었으나, 고치수의 분포 양상은 지역마다 다른 것을 알 수 있었다. 빨가위벌 역시, 단면소통에서 영월 7.1 ± 2.0 개, 봉화 6.8 ± 2.3 개, 예천 7.0 ± 2.3 개로 지역 간에 차이

Table 1. Rate of *Osmia* species collected by trap nests at different locations

Collected locations	n	<i>Osmia</i> spp. (%)					Mixed <i>Osmia</i> spp.	Natural enemies & nesting competition insects (%)	Empty nests (%)
		<i>O. pedicornis</i>	<i>O. cornifrons</i>	<i>O. taurus</i>	<i>O. satoi</i>				
Yeongwol	233	76.4	13.7	-	0.4	4.3	1.3	3.9	
Bonghwa	228	67.5	21.9	-	-	1.3	0.9	8.3	
Yechon	612	59.6	23.0	0.9	0.3	1.1	2.0	13.1	

- 1) Trap nests were placed from late March to early April in 2010.
- 2) Trap nests contained 50 bamboo straws (Yeongwol, Bonghwa: both sides trap; Yechon: one side trap).
- 3) n mean number of trap nests supplied.
- 4) Mixed *Osmia* spp. means *O. pedicornis*, *O. cornifrons*, *O. taurus*, and (or) *O. satoi* were located inside one bamboo straw.

Table 2. The number of cocoons per bamboo straw in trap nests of *O. cornifrons* and *O. pedicornis* collected at different locations

Collected locations	Type of trap nests	n	<i>O. cornifrons</i>	n	<i>O. pedicornis</i>
Yeongwol	One side / both sides	29	8.2 ± 2.7	171	7.1 ± 2.0
	Both sides	5	16.5 ± 3.4	25	13.3 ± 3.1
Bonghwa	One side / both sides	51	8.5 ± 3.3	54	6.8 ± 2.3
	Both sides	4	16.3 ± 2.3	30	13.5 ± 3.3
Yechon	One side	179	7.6 ± 3.9	360	7.0 ± 2.3

- 1) n mean number of trap nests.
- 2) There were no significant differences in number of cocoons per straw in trap of *O. cornifrons* and *O. pedicornis* collect at different locations at $p<0.05$ using One-way ANOVA test.
- 3) There were significant differences in type of trap nests of *O. cornifrons* at $p<0.05$ and *O. pedicornis* at $p<0.0001$ using One-way ANOVA test and Tukey's HSD.

가 없었다($F=0.385$, $df=2, 563$, $p=0.680$). 지역별 고치수의 분포도의 경우(Fig. 2), 영월지역은 단면소통 내에 고치수가 1개부터 12개까지 분포하였으며, 7개(31.6%)와 8개(29.8%)가 전체의 61.4%를 차지하였다. 봉화지역 또한, 고치수가 12개까지 분포하였으나, 7개(33.3%), 8개(16.7%), 9개(14.8%)가 전체의 64.8%를 차지하였다. 영월지역은 7개(19.4), 8개(17.2%), 9개

(22.2%)가 대체로 비슷하여 전체의 58.8%의 차지하였다. 위의 결과를 볼 때, 머리빨가위벌과 빨가위벌은 채집된 3개 지역에서 소통 내 고치수에서는 차이가 없었으나, 고치수의 분포도는 다른 양상을 보이는 것을 알 수 있었다.

머리빨가위벌과 빨가위벌의 소통 내 고치수를 비교분석하였다. 그 결과, Table 2에서 보는 바와 같이 단

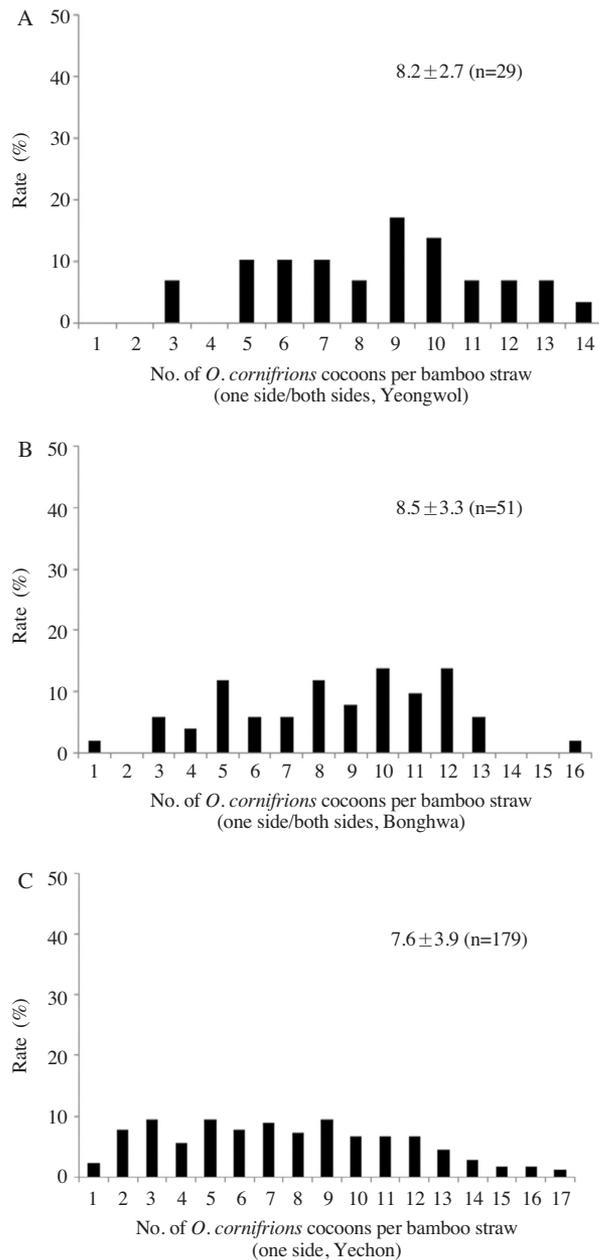


Fig. 1. Proportional distribution of number of cocoons per bamboo straw of *O. cornifrons* at Yeongwol (A), Bonghwa (B) and Yechon locations (C).

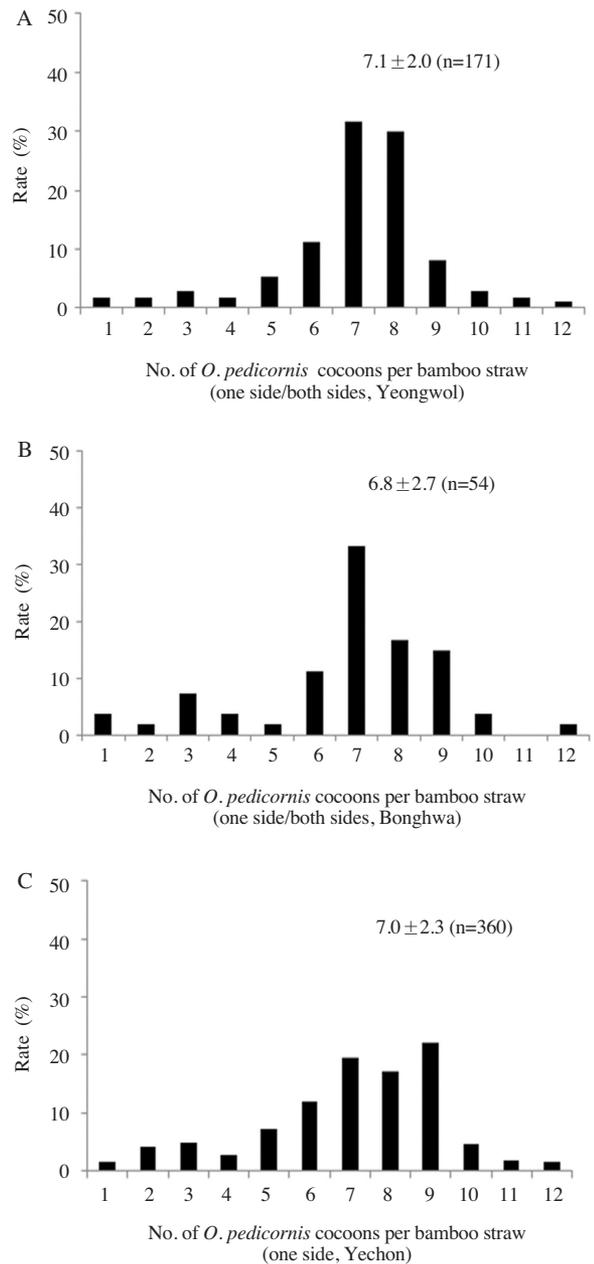


Fig. 2. Proportional distribution of number of cocoons per bamboo straw of *O. pedicornis* at Yeongwol (A), Bonghwa (B) and Yechon locations (C).

면소통인 경우, 머리빨가위벌은 7.6~8.5개인데 반하여 빨가위벌은 6.8~7.1개로 머리빨가위벌이 빨가위벌보다 소통 내 고치수가 많은 것을 알 수 있었으며, 통계적으로도 고도의 유의성이 인정되었다(T-test: $t=3.723$, $p=0.0001$). 양면소통역시, 머리빨가위벌이 16.3~16.5개로 빨가위벌은 13.3~13.5개보다 소통 내 고치수가 많았다(T-test: $t=2.378$, $p=0.021$). Lee *et al.*(2014)은 전국 32개의 사과원에서 채집한 머리빨가위벌과 빨가위벌의 대나무소통 내 고치수는 각각 4.7 ± 0.1 개와 4.9 ± 0.1 개로 빨가위벌이 머리빨가위벌보다 0.2개 많은 것으로 보고하였다. 반면에 영월, 봉화, 예천 등 3개 지역에서 채집한 본 실험결과는 머리빨가위벌은 7.6~8.5개인데 반하여 빨가위벌은 6.8~7.1개로 머리빨가위벌이 빨가위벌보다 소통 내 고치수가 더 많았고, 사과원보다 고치수도 약 2배 이상 많은 것으로 조사되었다. Lee *et al.*(2016)은 소통 내 머리빨가

위벌의 고치수는 7.8 ± 3.7 개라고 하였다. 이런 지역 및 장소별로 나타나는 고치의 수의 차이는 채집 시기, 지역의 기후, 식생 등에 따라 암벌의 산란양이 변할 수 있기 때문으로 판단된다(Tepedino and Toricho, 1982; Bosch and Kemp, 2010). 또한 빨가위벌류의 종류에 따라 소통 당 고치수의 차이는 빨가위벌류의 크기, 영소 및 산란습성 등에서 나오는 차이일 것으로 생각된다.

빨가위벌류를 채집할 때 주로 대나무소통을 이용하는데, 목적에 따라 길이에 의해서 구분되는 단면(15cm, 내경 7mm)과 양면(33.2cm, 내경 7mm) 소통을 사용한다. 단면과 양면 소통의 소통 내 머리빨가위벌

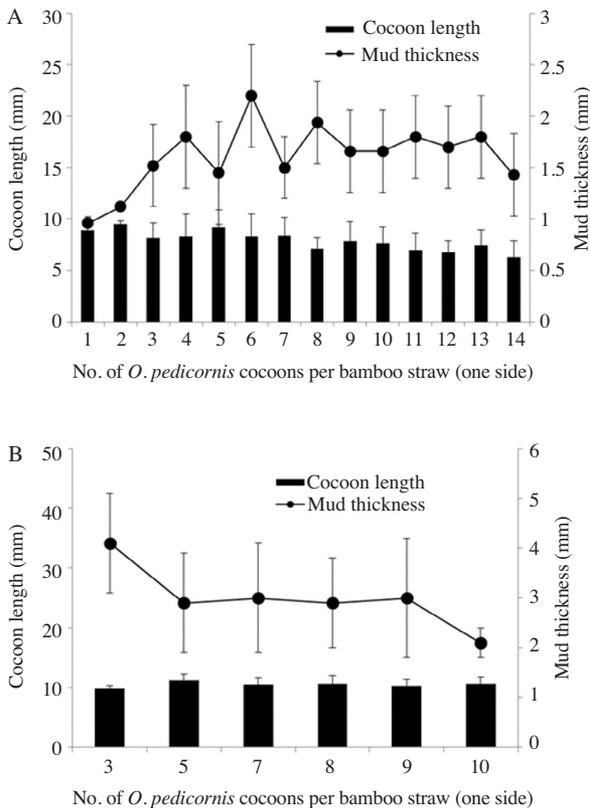


Fig. 3. Relation between cocoon length and mud thickness at number of cocoons in bamboo straw of *O. cornifrons* (A) and *O. pedicornis* (B).

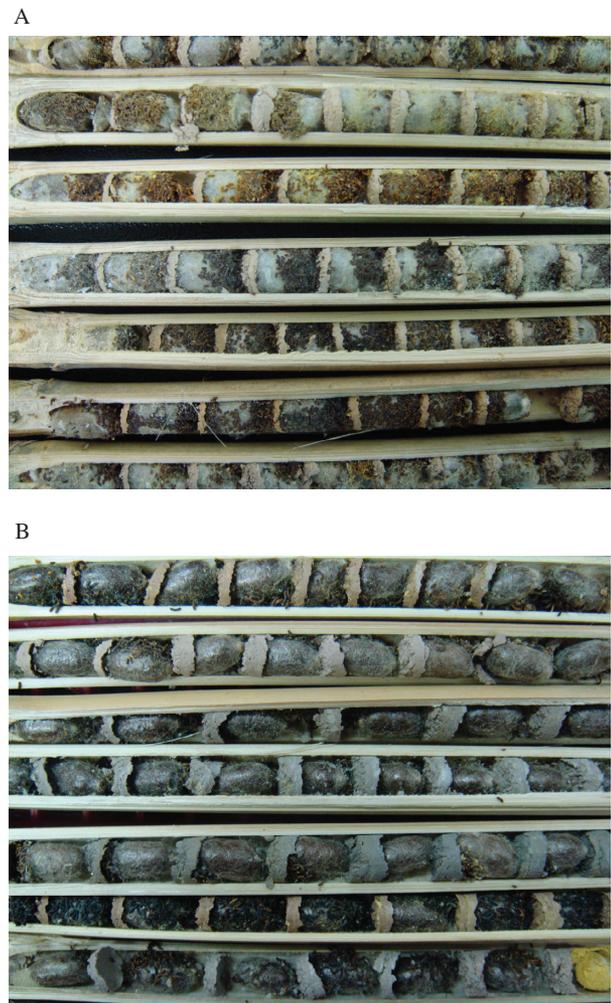


Fig. 4. Cocoons in bamboo straws of *O. cornifrons* (A) and *O. pedicornis* (B).

Table 3. The sex ratio of *O. cornifrons* and *O. pedicornis* cocoons collected at different locations

Collected locations	Sex ration of <i>Osmia</i> spp. (Female: male)			
	n	<i>O. cornifrons</i>	n	<i>O. pedicornis</i>
Yeongwol	2,386	1:1	980	1:5.5
Bonghwa	2,404	1:2.8	921	1:3.3
Yechon	2,101	1:1.9	719	1:2.8

1) Total number of trap nests is 498 in Yeongwol, 466 in Bonghwa, and 585 in Yechon.

Table 4. The size of *O. cornifrons* cocoons collected at different locations

Collected locations	Type of trap nest	Sex	n	Width (mm)	Length (mm)	Weight (mg)
Yeongwol	One side / both sides	Female	79	5.8±0.7	10.5±0.7	83.8±20.3
		Male	100	5.1±0.4	9.1±0.6	60.7±10.9ab
	Both sides	Female	22	6.0±0.6	10.7±0.6	102.2±24.9
		Male	36	5.1±0.5	9.0±0.7	44.8±15.6
Bonghwa	One side / both sides	Female	101	5.8±0.6	10.3±0.5	93.15±13.1
		Male	101	5.1±0.3	8.9±0.5	55.3±9.1b
Yechon	One	Female	300	5.8±0.4	10.4±0.6	96.1±14.1
		Male	300	5.0±0.4	8.9±0.6	63.5±12.5a

1) n mean number of cocoons surveyed.

2) There was significant differences in sex and cocoon size of *O. cornifrons* collected at different locations at $p < 0.0001$ using Turkey's pairwise comparisons test.

고치수는 양면소통 내 고치수가 단면소통의 고치수보다 1.9~2.0배나 많아 통계적으로 고도의 유의미한 차이가 있었다(T-test: $t=6.658$, $p=0.001$). 빨가위벌 역시 같은 경향으로, 고도의 유의성이 인정되었다(T-test: $t=19.239$, $p=0.001$). 머리빨가위벌과 빨가위벌의 고치수에 따른 고치길이와 간격막(흙두께)과의 관계를 비교분석하였다(Fig. 3). 그 결과, 머리빨가위벌의 경우(Fig. 3A, Fig. 4A), 소통 내 고치수가 많을수록 고치길이가 짧아지는 경향을 보였으나, 고치와 고치사이의 간격막은 두꺼운 경향을 보였다. 그러나 상관분석결과, 고치수와 고치길이에서만 음의 상관관계가 인정되었다(Pearson correlation= -0.872 , $p=0.001$). 반면 머리빨가위벌과 달리, 빨가위벌은 소통 내 고치수에 따라 고치길이는 차이가 없었지만, 간격막은 얇아지는 경향을 보여, 고치수와 간격막에서 음의 상관관계가 인정되었다(Pearson correlation= -0.841 , $p=0.001$).

머리빨가위벌과 빨가위벌의 성비

지역별로 수집된 머리빨가위벌과 빨가위벌의 성비를 Table 3에 나타내었다. 머리빨가위벌의 경우, 영월 지역의 암·수성비는 1:1인데 반하여, 예천지역 1:1.9, 봉화지역 1:2.8로 수벌의 성비가 1.9~2.8배나 높게 나타나 지역별로 차이가 있는 것으로 보였다. 빨가위벌은 예천지역의 암수성비가 1:2.8, 봉화 1:3.3, 영월 1:5.5로 수벌의 성비가 2.8~5.5배 더 높은 것으로 조사되었다. 두 종 간의 성비차이는 머리빨가위벌의 경우는 1:1~1:2.8배이었으나, 빨가위벌은 1:2.8~1:5.5로 빨가위벌의 수벌 성비가 더 높은 것으로 나타났다. Jeon *et al.*(2000)은 빨가위벌의 경우, 영소 가능한 가장 넓은 내경에서도 성비가 1:5.8로 나타나, 낮은 암벌의 비율은 종에 따른 특성으로 판단하였다. Kwon *et al.*(1997)은 머리빨가위벌이 1:2.4, 빨가위벌이 1:12.8로, Kim(1999)은 청송을 비롯한 6개 지역에서 암수성비가 머리빨가위벌 1:1.7, 빨가위벌 1:3.6로 보고하였다. 또한 산지에서만 채집한 빨가위벌류의 성비는 머리

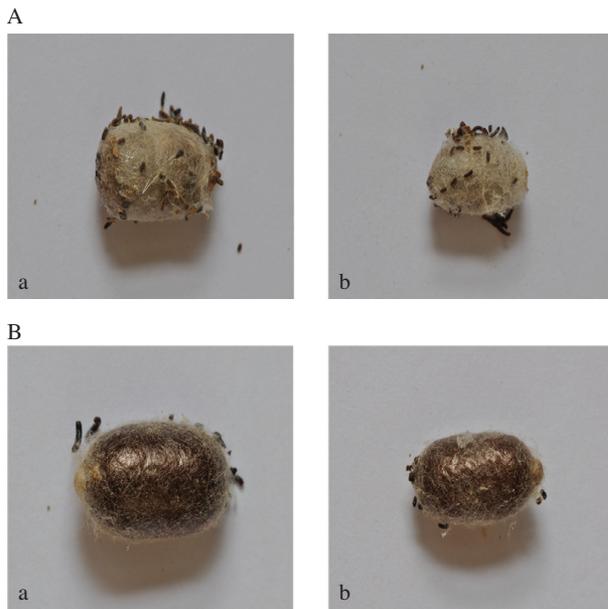


Fig. 5. Female (a) and male cocoon (b) of *O. cornifrons* (A) and *O. pedicornis* (B).

빨가위벌 1:1.9, 빨가위벌 1:8.4이었고, 지역에 따라 일부 차이를 보인다고 하여(Lee *et al.*, 2000), 빨가위벌류의 성비는 연구자마다 다른 양상을 보여주었다. Bosch and Camp(2010)는 빨가위벌류는 어미벌이 수벌에 비해 암벌을 생산하는데 더 많은 노력이 들기 때문에, 수벌에 치우쳐진 성비를 보인다고 보고하였다. 빨가위벌류의 일종인 *Osmia lignaria*의 성비는 채집지역과 그 해의 기후상황에 따라 유동적이었다(Tepedino and Toricho, 1982). 특히 날씨의 변화에 따른 화분원의

변화는 성비에 영향을 주며, *Osmia cornuta*를 포함한 몇 종의 고독성 벌은 먹이원이 부족할 때 수벌의 생산이 늘어가는 경향을 보였다(Toricho and Tepedino, 1980; Kim, 1999; Bosch and Vicens, 2005). 한편, 빨가위벌류의 성비는 소통내경 넓을수록 암벌의 비율이 높아지는 경향을 보이지만, 일정크기 이상에서는 영소율이 낮아져 성비가 높아도 아무런 의미가 없다고 보고하였다(Maeta, 1978; Kim, 1999).

이상 지역별 머리빨가위벌과 빨가위벌의 성비 결과를 보면, 머리빨가위벌의 수벌 성비는 1.0~2.8배, 빨가위벌은 2.8~5.5배로 수벌의 성비가 높았다. 또한 두 종 간에 있어서는 머리빨가위벌보다 빨가위벌의 수벌의 성비가 더 높은 것으로 나타났다.

머리빨가위벌과 빨가위벌의 고치 특성

지역별로 조사한 머리빨가위벌 고치의 크기는 Table 4에서 보는 바와 같이 암컷 고치는 단경 5.8~6.0mm, 장경 10.3~10.7mm, 무게 83.8~102.2mg으로 지역별로 차이가 없었다(One-way ANOVA test: 단경, $F=0.088$, $df=2$, 477, $p=0.916$; 장경, $F=1.175$, $df=2$, 477, $p=0.310$; 무게, $F=2.216$, $df=2$, 473, $p=0.110$). 수컷 고치는 단경 5.0~5.1mm, 장경 8.9~9.1mm, 무게 44.8~63.5mg으로 단지 무게에서만 지역별로 통계적으로 유의미한 차이가 있었다(단경, $F=1.171$, $df=2$, 497, $p=0.311$; 장경, $F=2.373$, $df=2$, 497, $p=0.094$; 무게, $F=5.176$, $df=2$,

Table 5. The size of *O. pedicornis* cocoons collected at different locations

Collected locations	Type of trap nest	Sex	n	Width (mm)	Length (mm)	Weight (mg)
Yeongwol	One side / both sides	Female	31	6.5 ± 1.2	13.1 ± 0.7a	158.4 ± 51.0a
		Male	43	5.8 ± 0.3A	11.3 ± 0.6A	103.3 ± 17.6
	Both sides	Female	57	6.4 ± 0.5	12.7 ± 1.0	149.7 ± 26.3
		Male	116	5.5 ± 0.4	10.9 ± 0.6	90.9 ± 13.9
Bonghwa	One side / both sides	Female	88	6.4 ± 0.5	12.6 ± 1.1b	139.4 ± 24.1b
		Male	100	5.5 ± 0.4B	10.9 ± 0.5B	97.1 ± 14.5
	Both sides	Female	74	6.5 ± 0.4	12.8 ± 0.9	147.6 ± 29.1
		Male	100	5.7 ± 0.3	11.1 ± 0.5	101.4 ± 12.8
Yechon	One side	Female	300	6.6 ± 0.5	13.1 ± 1.0a	155.6 ± 32.2a
		Male	300	5.7 ± 0.4A	11.3 ± 0.6A	99.4 ± 18.1

1) n mean number of cocoons surveyed.

2) There was significant differences in cocoon size of *O. pedicornis* collected at different locations at $p < 0.0001$ using One-way ANOVA test and Turkey HSD.

497, $p=0.006$). 단면 및 양면 소통 등 소통종류에 따라 고치의 크기를 비교한 결과(Table 4), 암컷고치는 소통종류에 고도의 영향을 받았으나(단경, $t=-11.606$, $p=0.0001$; 장경, $t=-15.995$, $p=0.0001$; 무게, $t=-18.408$, $p=0.0001$), 수컷고치는 영향을 받지 않았다(단경, $t=0.701$, $p=0.484$; 장경, $t=0.634$, $p=0.526$; 무게, $t=-1.034$, $p=0.301$). 암컷과 수컷 고치의 크기를 비교한 결과, 암컷고치(단경 $5.6 \pm 0.6\text{mm}$, 장경 $10.2 \pm 0.8\text{mm}$, 무게 $89.5 \pm 20.0\text{mg}$)가 수컷고치(단경 $5.0 \pm 0.4\text{mm}$, 장경 $9.0 \pm 0.6\text{mm}$, 무게 $62.1 \pm 11.3\text{mg}$)보다 큰 것으로 나타났다(단경, $t=20.207$, $p=0.0001$; 장경, $t=29.368$, $p=0.0001$; 무게, $t=27.800$, $p=0.0001$). Maeta(1978)는 머리빨가위벌의 암컷고치는 단경 5.7~6.0mm, 장경 10.7~11.0mm로, 수컷고치는 단경 4.9~5.2mm, 장경 9.2~9.5mm라고 하여, 본 결과와 유사함을 알 수 있었다. 머리빨가위벌 암·수고치는 은회갈색의 장타원형 모양으로 감축은 질기고. 수컷고치는 속이 차 있는 듯하며, 흔들었을 때 소리가 잘나지 않는다. 암컷고치는 수컷고치에 비해 딱 차 있지도 단단하지도 않다(Fig. 5Aa, 5Ab). 소통 내에서 고치의 형태를 살펴보면, 암컷은 나란하고 반듯하게 가로로 누워 있으며, 수컷은 비스듬하게 기울어져 있거나 세로방향으로 되어 있는 것이 많다(Fig. 4A).

빨가위벌 고치의 크기를 지역별로 살펴보면(Table 5), 암컷 고치는 단경 6.4~6.6mm, 장경 12.6~13.1mm, 무게 139.4~158.4mg으로 장경과 무게가 지역별로 통계적 유의성이 확인되었다(단경, $F=3.064$, $df=2$, 416, $p=0.058$; 장경, $F=8.071$, $df=2$, 416, $p=0.0001$; 무게, $F=11.273$, $df=2$, 416, $p=0.001$). 수컷 고치는 단경 5.5~5.8mm, 장경 10.9~11.3mm, 무게 90.9~103.3mg로 단경과 장경에서 지역별로 차이가 있었다(단경, $F=9.107$, $df=2$, 440, $p=0.0001$; 장경, $F=16.814$, $df=2$, 440, $p=0.0001$; 무게, $F=1.933$, $df=2$, 440, $p=0.146$). 또한 단면과 양면 소통에 따라 고치의 크기를 비교한 결과(Table 5), 머리빨가위벌과 달리, 암컷고치는 단지 단경에서만 영향을 받았으나(단경, $t=-1.729$, $p=0.084$; 장경, $t=-23.17$, $p=0.021$; 무게, $t=-1.336$, $p=0.182$), 수컷고치는 소통종류에 따라 고도의 영향을 받았다(단경, $t=-2.605$, $p=0.0001$; 장경, $t=-3.996$, $p=0.0001$; 무게, $t=-2.336$,

$p=0.0001$). 암컷과 수컷 고치의 크기를 비교한 결과(Table 5), 암컷고치(단경 $6.5 \pm 0.6\text{mm}$, 장경 $12.9 \pm 1.0\text{mm}$, 무게 $151.5 \pm 29.4\text{mg}$)가 수컷고치(단경 $5.6 \pm 0.4\text{mm}$, 장경 $11.1 \pm 0.6\text{mm}$, 무게 $98.2 \pm 16.5\text{mg}$)보다 큰 것이 확인되었다(단경, $t=32.670$, $p=0.0001$; 장경, $t=38.275$, $p=0.0001$; 무게, $t=39.375$, $p=0.0001$). 이 결과로 볼 때 빨가위벌의 고치가 머리빨가위벌 고치보다 큰 것을 알 수 있었다. 빨가위벌의 암컷고치는 단경 6.0~6.4mm, 장경 12.0~12.6mm로, 수컷고치는 단경 5.2~5.3mm, 장경 9.2~9.5mm라고 하여(Maeta, 1978), 본 결과의 거의 일치하였다. 빨가위벌 고치의 모양은 장타원형이고, 광택이 있는 진한 갈색이 뚜렷해 보인다. 감축은 육안으로는 단단하게 보이지만, 만져 보면 약간 비어 있는 느낌이다. 껍질 두께는 두껍고 단단하다. 수컷은 암컷보다 속이 차 있고 단단한 감축이다(Fig. 5Ba, 5Bb). 소통 내에서 고치는 규칙적이고 반듯하게 정렬되어 있으며, 다소 느슨한 배열을 하고, 보통 굵은 소통에 들어가 고치를 짓는 경향이 있다(Fig. 4B).

이와 같은 결과를 가지고 머리빨가위벌과 빨가위벌의 고치를 명확하게 구분함으로써 빨가위벌류의 균일성 저하를 막을 수 있다고 생각된다. 빨가위벌류의 균일성으로 사육농가들이 믿고 사용함으로써 작물의 효율적인 수분 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

적 요

머리빨가위벌과 빨가위벌은 주로 사과를 수정하는 화분매개곤충으로 소통 내에 서식하는 고독성 벌이다. 이 두 종의 특성을 밝혀 보급 시 문제점을 해결함으로써 작물의 수분을 효율적으로 하고자, 2010년 지역별로 빨가위벌류의 분포도, 소통 당 고치수, 성비, 고치특성 등을 조사하였다. 예천, 봉화, 영월 3지역에서 빨가위벌류 분포를 조사한 결과, 빨가위벌, 머리빨가위벌, 붉은빨가위벌, 사토외빨가위벌 등 4종의 빨가위벌류가 분포하였고, 빨가위벌이 3개 채집지역에서 59.6~76.4%의 분포비율로 나타나 우점종이었다. 지역에 따른 빨가위벌류도 차이가 있었다. 대나무 소통

당 고치수는 단면소통인 경우, 머리빨가위벌 7.6~8.5개, 빨가위벌은 6.8~7.1개이었다. 양면소통은 머리빨가위벌 16.3~16.5개, 빨가위벌 13.3~13.5개이었다. 성비의 경우, 머리빨가위벌은 수벌의 성비가 1.0~2.8배, 빨가위벌은 2.8~5.5배로 수벌의 성비가 높게 나타났다. 머리빨가위벌 암수고치는 은회갈색의 장타원형으로, 암컷고치의 크기는 단경 $5.6 \pm 0.6\text{mm}$, 장경 $10.2 \pm 0.8\text{mm}$, 무게 $89.5 \pm 20.0\text{mg}$ 이었다. 수컷고치는 단경 $5.0 \pm 0.4\text{mm}$, 장경 $9.0 \pm 0.6\text{mm}$, 무게 $62.1 \pm 11.3\text{mg}$ 으로 암컷고치보다 작았다. 광택이 있는 진한 갈색으로 장타원형 모양의 빨가위벌의 암컷고치 크기는 단경 $6.5 \pm 0.6\text{mm}$, 장경 $12.9 \pm 1.0\text{mm}$, 무게 $151.5 \pm 29.4\text{mg}$ 으로 역시, 수컷고치(단경 $5.6 \pm 0.4\text{mm}$, 장경 $11.1 \pm 0.6\text{mm}$, 무게 $98.2 \pm 16.5\text{mg}$)보다 큰 것으로 나타났다. 두 종간에서는 빨가위벌 고치가 머리빨가위벌보다 더 큰 것으로 확인되었다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ01001001)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

인용문헌

- Bosch, J. 1994. Improvement of field management of *Osmia cornuta* (Latreille) (Hymenoptera, Megachilidae). *Apidologie* 25: 71-83.
- Bosch, J. and N. Vicens. 2005. Sex allocation in a solitary bee: do females behave in agreement with Fisher's theory? *Behav. Ecol. Sociobiol.* 59: 124-132.
- Bosch, J. and W.P. Kemp. 2001. How to manage the blue orchard bee, *Osmia lignaria*, as an orchard pollinator. Sustainable Agriculture Network, Washington, DC.
- Bosch, J., F. Sgolastrac and W.P. Kemp. 2010. Timing of eclosion affects diapause development, fat body consumption and longevity in *Osmia lignaria*, a univoltine, adult-wintering solitary bee. *J. Insect Physiol.* 56: 1949-57.
- Cane, J.H., 2008. Bees (Hymenoptera: Apoidea: Apiformes). *Encyclo. Entomol.* 2: 419-434.
- Dag, A. and Y. Kammer. 2001. Comparison between the effectiveness of honeybee (*Apis mellifera*) and bumblebee (*Bombus terrestris*) as pollinators of greenhouse sweet pepper (*Capsicum annuum*). *Am. Bee. J.* 141: 447-448.
- Free, J.B. 1993. Insect pollination of crops. 2nd edn. Academic Press, London.
- IBM PASW[®] Statistics 18.0. 2009. PASW[®] Core System User's Guide, IBM inc. USA.
- James, R.R. and T.L. Pitts-Singer. 2008. Bee Pollination in Agricultural Ecosystems. 232 p, Oxford University Press, New York.
- Jeon, S.J., J.T. Kim and N.W. Kim. 2000. A study on nesting behaviour of *Osmia* spp. (Hymenoptera, Insecta) from Korea. *J. Basic Sci. Res. Kyungsan Univ.* 4(1): 43-55.
- Kim, I.S. 1999. Studies on the ecological characteristics and utilization of *Osmia* spp. as pollinators. 1-44 pp. A thesis for the master degree of Kongju National University.
- Kim, I.S., J.C. Yun, G.B. Eum, G.M. Choi, S.W. Lee and Y.J. Kwon. 1994. Study of usage of *Osmia cornifrons* in apple orchard. Annual reseach report. pp 869-874. NAAS, Wanju, Korea.
- Klein, A.M., B. Vassiere, J.H. Cane, L. Steffan-Dewenter, S.A. Cunningham, C. Kremen. 2007. Importance of crop pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. Royal. Soc. London. B.* 274: 303-313.
- Kwon, Y.J. and E.Y. Huh. 1995. A new species of *Osmia* mason bees from Korea, as a potential pollinator of fruit trees. *Korean J. Apicult.* 10: 147-150.
- Kwon, Y.J., S.J. Suh, E.Y. Huh, Y.S. Yeo, S.J. Suh and J.H. Chung. 1997. Utilization of pollinating insects in orchard. 116 pp. Institute of Agricultural Science in Gyungbook National University.
- Lee, H.S. and K.S. Woo. 1994. Genus *Osmia* (Hymenoptera; Megachilidae) from Korea. *Korean J. Apicult.* 9: 117-130.
- Lee, K.Y., H.J. Yoon, K.S. Lee and B.R. Jin. 2016. Development and mating behavior of *Osmia cornifrons* (Hymenoptera: Megachilidae) in the constant temperature. *J. Asia Pac. Entomol.* 19: 281-287.
- Lee, K.Y., H.J. Yoon, I.G. Park, C.R. Kwon and S.C. Lee. 2010. Survey on the Current Status of Mason Bees in Apple Orchard of Korea. *Korean J. Apicult.* 25: 53-61.
- Lee, K.Y., S.B. Lee, I.G. Park, P.D. Kang and H.J. Yoon. 2014. Distribution Status of Mason Bees, *Osmia* spp. (Hymenoptera: Megachilidae) in Apple Orchard of Korea. *Korean J. Apicult.* 29: 223-234.
- Lee, S.W., K.H. Choi, D.H. Lee, D.A. Kim, H.K. Ryu and Y.I. Lee. 2002. Distribution and collection of *Osmia* bees in the mountain areas of Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 41: 263-267.
- Maeta, Y. 1978. Comparative studies on the biology of the bees of the genus *Osmia* in Japan, with special reference to their management for pollination of crops (Hymenoptera, Megachilidae). *Bull. Tohoku Natl. Agrci. Exp. Stn.* 57: 1-221.
- Maeta, Y. and T. Kitamura. 1964. Studies on the apple pollination

- of *Osmia*. I. Idea and present conditions in utilizing *Osmia* as pollinators of apples in Japan. Kontyu 32: 45-52.
- Maeta, Y. and T. Kitamura. 1965. Studies on the apple pollination of *Osmia*. II.
- Maeta, Y. and T. Kitamura. 1981. Pollinating efficiency by *Osmia cornifrons* (Radoszkowski) in relation to required number of nesting bees for economic fruit production. Honeybee Sci. 2: 65-72.
- Michener, C.D. 2000. The bees of the world. Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Michener, C.D., 2007. The bees of the world. Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Sekita, N., T. Watanabe and M. Yamada. 1996. Population ecology of *Osmia cornifrons* (Hymenoptera: Megachilidae) in natural habitats. Bull. Aomori Apple Exp. Sta. 29: 17-26.
- Tepedino, V.J. and P.F. Torchio. 1982. Temporal variability in the sex ratio of a non-social bee, *Osmia ligtiaria propinqua*: extrinsic determination or the tracking of an optimum? Oikos. 38: 177-182.
- Torchio, P.F. 1981. Field experiments with *Osmia lignaria propinqua* Cresson as pollinator in almond orchards: II, 1976 studies (Hymenoptera: Megachilidae). J. Kansas Entomol. Soc. 54: 824-836.
- Torchio, P.F. 1985. Field experiments with the pollinator species, *Osmia lignaria propinqua* Cresson as in apple orchards: V, 1979-1980, methods of introducing bees, nesting success, seed counts, and fruit yields (Hymenoptera: Megachilidae). J. Kansas Entomol. Soc. 58: 448-464.
- Torchio, P.F. 1989. Biology, immature development, and adaptive behavior of *Stelis montana*, a cleptoparasite of *Osmia* spp. (Hymenoptera: Megachilidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 82: 616-632.
- Torchio, P.F. and V.J. Tepedino. 1980. Sex Ratio, Body Size and Seasonality in a Solitary Bee, *Osmia lignaria propinqua* Cresson (Hymenoptera: Megachilidae). Evolution 34(5): 995-1003.
- Yamada, M., N. Oyama, N. Sekita, S. Shirasaki and C. Tsugawa. 1971. The ecology of the megachilid bee *Osmia cornifrons* and its utilization for apple pollination. Bull. Aomori Apple Exp. Sta. 15: 1-80 (in Japanese).
- Yoon, H.J., K.Y. Lee, I.G. Park, A.E. Kim, Y.M. Kim and P.D. Kang. 2013. Current status of insect pollinators use for horticultural crops in 2011. Korean J. Apicult. 28: 9-18.