

## 사과에서 머리뿔가위벌(*Osmia cornifrons*)의 적정 방사 성비와 밀도

이경용 · 이정애<sup>2</sup> · 한현희<sup>1</sup> · 나동열<sup>2</sup> · 김선영 · 윤형주\*

농촌진흥청 국립농업과학원 농업생물부, <sup>1</sup>농촌진흥청 국립원예특작과학원 원예작물부,  
<sup>2</sup>경상북도 영주시농업기술센터

## The Appropriate Sex Ratio and Density of the Mason Bee (*Osmia cornifrons*) for Apple Pollination

Kyeong Yong Lee, Jung Ae Lee<sup>2</sup>, Hyun Hee Han<sup>1</sup>, Dong Youl Na<sup>2</sup>, Sun Young Kim  
and Hyung Joo Yoon\*

Department of Agricultural Biology, The National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea

<sup>1</sup>Department of Horticultural Crop Research, The National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Wanju 55365,  
 Republic of Korea

<sup>2</sup>Yeongju Agricultural Technology Center, Yeongju 36132, Republic of Korea

(Received 27 October 2016; Revised 15 November 2016; Accepted 15 November 2016)

### Abstract

We investigated nesting behavior and pollination efficiency as functions of the sex ratio and density in released bees to determine standard quantities of *Osmia cornifrons* per 2,000m<sup>2</sup> for apple pollination. The nesting behavior, reproduction, fruit set and shape of *O. cornifrons* varied significantly with the released sex ratio of *O. cornifrons*. A female : male sex ratio of 1 : 2 was resulted in a 3.4 to 6.7 fold higher than other sex ratio in a nesting behavior. Releasing only females resulted in a 1.2 to 6.7-fold higher trap nesting rate than other sex ratios. A ratio of 1 : 2 resulted in a 1.2-fold nesting rate, which was slightly higher than other nesting rates. Releasing only males resulted in a 2.4-fold greater amount of fruit set in non-pollinated sites. A sex ratio of 1 : 2 gave a slightly higher shape index and a 1.2 to 1.6-fold lower asymmetric index than other sex ratios. Therefore, an efficient sex ratio of *O. cornifrons* to release is 1 : 2 for apple pollination. The nesting behavior and reproduction varied significantly with the release density of *O. cornifrons* females. Releasing 400 female bees resulted in 1.8 to 3.5-fold higher nesting behavior and a 4.3 to 7.8-fold higher trap-nesting rate than other numbers of female bees. However, there was no significant difference between female release numbers in fruit set, and 100 to 200 females gave a slightly higher shape index than 400 females. Thus, we determined that 200 females should be released per 2,000m<sup>2</sup> and that the sex ratio of females to males should be 1 : 2.

Key words: Mason bee, Pollinator, Nesting behavior, Release density

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

## 서 론

사과나무는 장미과(Rosaceae) 배나무아과(Pomoideae) 사과나무속(*Malus*)에 속하는 식물로서 재배환경이 까다롭지 않아 전 세계적으로 널리 재배되고 있다(Janick *et al.*, 1996; Yoo and Kang, 2014). 세계의 사과 품종은 7,500종으로 알려져 있고(Elzebroek, 2008), 2013년 기준 96개 국가에서 522만 ha가 재배되며 연간 약 8,100만 톤의 사과가 생산된다(FAOSTAT, 2016). 2015년 우리나라 사과의 재배면적은 31,620ha로서 과수 중 가장 많고, 생산량은 연 58만 톤으로 감귤에 이어 두 번째로 많은 주요 과실작물이다(Statistics Korea, 2016). 사과는 대표적인 자가불화합성 작물(GSI; Gametophytic self incompatibility)이다(Alston, 1996). 따라서 수분수를 일정비율 이상 혼식하고 야생의 화분매개곤충을 이용한 수분과정을 거쳐야 결실이 가능하다(Goldway *et al.*, 2001; Schneider *et al.*, 2001). 그러나 농약살포 등으로 인한 방화곤충의 감소, 개화기 저온으로 안정적인 결실확보에 문제가 생기고 있다. 이에 대안으로 사과재배농가들은 인공수분(Park *et al.*, 1998; Kim *et al.*, 2003; Yoo and Kang, 2014)을 하거나 화분매개곤충을 방사하여 이용하고 있다(Lee *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2014a; Yoon *et al.*, 2012). 그 중 사과수정을 위하여 화분매개곤충을 이용할 경우, 자연수분에 비해 결실률이 높아지고 과형이 우수해지며(Bosch and Blas, 1994; Lee *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2014b), 인공수분에 대비하여 노동력 절감 효과도 있는 것으로 보고되었다(Lee *et al.*, 2008). Yoon *et al.*(2013)이 수행한 2011년 사과농가 대상 화분매개곤충 실태조사에서 사과수정을 위한 화분매개곤충의 사용 면적은 5,557.9ha로 국내 사과재배면적의 17.8%이며, 종류별로는 빨가위벌류가 34.7%로 가장 많고 꿀벌 32.0%, 뒤영벌 24.9%, 혼합사용이 8.4%인 것으로 보고하였다.

사과의 화분매개곤충으로 사용되고 있는 빨가위벌류는 고독성 벌로 벌목(Hymenoptera), 꿀벌상과(Apidae), 가위벌과(Megachilidae), 빨가위벌속(*Osmia*)의 곤충이다(Torchio, 1985; Bosch and Kemp, 2000). 우리나라에 자생하고 있는 빨가위벌류는 7종으로(Lee and Woo, 1994), Kim(1999)은 머리빨가위벌(*Osmia*

*cornifrons*), 빨가위벌(*O. pedicornis*), 붉은빨가위벌(*O. taurus*) 등 3종이 사과수분에 이용할 수 있는 종으로 보고하였다. 빨가위벌류의 이용은 1992년 아오모리현으로부터 청송의 한 사과농가가 머리빨가위벌을 도입한 것을 시작으로(Lee *et al.*, 2002), 1990년대 중반부터 2000년대 초기까지 전국 사과 재배지역의 농업기술센터에 의해 주로 사과재배농가에 보급되었다. 현재는 청송, 영주, 의성 등 경북 일부지방의 사과농가가 자체증식해서 사용, 판매하거나, 예천곤충연구소와 경상북도 잠사곤충사업장 등 2개의 지자체에서 무상분양 또는 판매를 하고 있다(Lee *et al.*, 2010). 그러나 Yoon *et al.*(2013)은 2011년 전국 사과농가의 9.2%만이 빨가위벌류를 이용하고 있는 것으로 보고하였다. 현재 빨가위벌류는 머리빨가위벌이라는 이름으로 3,300m<sup>2</sup>당 500마리 방사를 기준으로 사과에 보급되고 있으나, 벌의 종류나 암수의 구분을 하지 않는 실정이다(Lee *et al.*, 2010; Yoon *et al.*, 2016). 그러나 벌 종류에 따라 선호하는 밀원식물, 분포 등 생태적 특성이 다르고(Marta, 1978), 빨가위벌류의 성비에 따라 증식률과 대상작물의 착과율이 변할 수 있으며(Fliszkiewicz *et al.*, 2013; Sheffield, 2014), 특히 과수 1ha를 수분하기 위한 적정한 밀도는 나무당 꽃의 수와 꽃을 방문하는 암벌의 수에 의해 결정되기 때문에(Maeta and Kitamura, 1981; Bosch, 1994), 사과수분을 위해서는 머리빨가위벌의 성비와 암벌 수에 대한 명확한 방사기준이 필요하다고 판단된다.

이에 본 연구는 사과에서 머리빨가위벌을 사용할 때, 적정 성비와 방사밀도 등의 기준을 설정하기 위하여 2,000m<sup>2</sup>의 단위면적 당 머리빨가위벌의 성비와 암벌의 수에 따른 화분매개활동, 증식률과 과실의 착과율, 수확물의 특성 등을 조사·분석하였다.

## 재료 및 방법

### 실험 수분곤충

사과에서 머리빨가위벌의 적정 방사 성비를 조사하기 위해 사용된 실험곤충은 2013년 경북 청송의 사과농가에서 야외 증식한 머리빨가위벌 고치를 저온

실에서 5°C에서 11월부터 6개월 월동시킨 후 사용하였다. 그리고 머리뿔가위벌의 단위면적당 적정 방사 밀도를 조사하기 위하여 2014년에 같은 사과농가에서 증식된 머리뿔가위벌 고치를 저온실에서 5°C, 11월부터 6개월 월동시킨 후 사용하였다. 고치의 동정과 머리뿔가위벌의 암수구분은 Maeta(1978)와 Lee and Woo(1994)가 보고한 뿔가위벌류 동정자료를 참고하여 고치의 크기와 형태 및 영소 내 위치 등의 정보를 이용하여 감별하였다. 머리뿔가위벌의 방사일 은 사과꽃 만개예상일 기준 7일 전으로 설정하였다. 방사를 위하여 플라스틱 사과박스를 이용하여 방사 집을 제작하고, 내부에 머리뿔가위벌 영소용 대나무 소통(길이 15cm, 지름 6~8mm, 단면)을 50개 다발로 묶어 실험구당 20개씩 놓아두었다. 머리뿔가위벌은 5°C에 월동 중이었던 고치를 27°C에 2일간 보관 후, 종이 상자에 넣어 방사하였다. 방사 이후, 우화되지 않은 고치의 수를 세어 우화율을 계산하였다.

#### 사과에서 머리뿔가위벌의 적정 방사 성비

사과에서 머리뿔가위벌을 적정 방사 성비를 조사하기 위하여, 망실실험과 노지실험으로 구분하여 조사하였다. 망실실험은 경기도 수원 소재의 국립원예특작과학원 사과시험포장에서 2014년 4월 25일부터 5월 8일까지, 각각 14일간 시험을 수행하였다. 시험구는 168m<sup>2</sup> 크기의 망실(mesh size: 2mm×2mm) 5구를 제작하였고, 각 망실 내 사과나무의 수는 40그루였다. 5구의 망실은 머리뿔가위벌 암별고치 1,000개 시험구(암:수=1:0), 수별고치 1,000개 시험구(암:수=0:1), 암별고치 500개와 수별고치 500개 시험구(암:수=1:1), 암별고치 333개, 수별고치 667개 시험구(암:수=1:2) 및 머리뿔가위벌을 방사하지 않은 무처리구를 배치하였다. 망실 내부의 사과품종은 중생종 홍로 및 중만생종 감홍이 1:1로 재식되었고, 각 품종간 만개일은 최대 3일 차이를 보였다.

노지실험은 경북 영주소재 영주시농업기술센터 사과재배포장에서 5월 1일부터 14일까지 14일간 실험을 수행하였다. 시험구는 2ha 면적 내 4개의 방사위치를 선정하여 망실 실험과 같은 성비로 시험구를 배치

하였고 자연수분 시험구를 추가하였다. 각 시험구의 크기는 머리뿔가위벌의 유효수분거리가 50m임을 감안하여(Maeta and Kitamura, 1981) 2,000m<sup>2</sup>로 설정하였고, 시험구 내 사과나무의 수는 평균 150주(148~152주)가 식재되었다. 또한 각 시험구간 방사위치의 거리는 100m로 정하여 시험구간의 간섭을 최소화하였다. 노지의 사과품종은 조생종인 선홍, 아오리, 미키라이프, 중생종인 료카, 히로사키, 만생종인 사이라이, 등월후지, 챔피언후지를 대상으로 하였고, 품종간 최대 만개일 차이는 4일이었다. 수분이 완료된 이후 망실과 노지에서 시험구별 중심화결실을 및 수확물 특성조사로 화분매개 효과를 확인하였고, 영소활동 조사와 증식률 조사를 종합하여 가장 효과적인 머리뿔가위벌의 성비를 도출하였다.

#### 사과에서 머리뿔가위벌의 적정 방사 밀도

사과에서 머리뿔가위벌의 단위면적당 적정 방사 밀도 조사는 충청북도 단양군 영춘면 소재 농가의 노지에서 2015년 5월 2일부터 16일까지 14일간 수행되었다. 시험구는 20,000m<sup>2</sup>의 면적 내에 암수비율을 1:2로 맞추어, 고치를 300(암별 100), 600(암별 200), 1,200(암별 400)개체 시험구와 대조로 설정한 자연수분구 등 총 4개의 시험구를 배치하였다. 자연수분구는 머리뿔가위벌 방사 시험구에서 약 500m 이상 떨어진 포장의 나무 10그루를 무작위로 선정하였다. 각 시험구의 크기는 2,000m<sup>2</sup>로 설정하였고, 시험구내 사과나무의 수는 평균 90주였다. 또한, 각 시험구간 거리는 100m로 정하여 시험구간의 간섭을 최소화하였다. 사과품종은 중만생종 후지를 대상으로 하였다. 머리뿔가위벌 방사 이후 암별의 방사 마리수별 영소활동, 증식률, 중심화결실을 및 수확물 품질조사를 통하여 단위면적 2,000m<sup>2</sup> 당 가장 효과적인 머리뿔가위벌의 밀도를 구하고자 하였다.

#### 머리뿔가위벌의 영소활동 및 증식률

머리뿔가위벌은 방사 7~10일 이후에 화분매개활동을 하는 것으로 보고되어(Batra, 1982) 영소활동 조사는 방사 후 7일과 8일이 되는 시점에서 이틀에 걸쳐

수행하였다. 머리뿔가위벌은 방사 후 7~10일이 지나 화분매개활동을 하는 것으로 보고되었다. 영소활동 조사는 09시부터 17시까지 2시간 간격으로 5분간 영소를 출입하는 머리뿔가위벌의 암벌 수를 방사한 암벌의 수에 대한 백분율로 나타내었다. 머리뿔가위벌의 증식률을 조사하기 위하여, 6월말 각 실험구에서 영소용 대나무 소통을 수거하고, 3일간 영소율을 조사하였다. 영소율은 소통의 입구가 완전히 막힌 것과 중간까지 막힌 것을 영소가 된 것으로, 막히지 않은 것을 미영소로 구분하여, 50개 다발 당 영소된 비율을 백분율로 나타내었다(Lee *et al.*, 2014). 또한 10월에 영소된 소통을 절개하여 머리뿔가위벌의 고치를 확보한 후, 방사 마리수 대비 확보된 고치의 비율로 증식률을 계산하였다.

#### 머리뿔가위벌의 중심화결실율 및 수확물 특성

중심화결실율은 낙화 종료 시점으로부터 8일이 지난 후에 조사하였다. 시험구 별로 방사지점의 10m, 30m, 50m의 나무를 각 3그루씩 총 9그루를 선정하고, 각 그루당 무작위로 20개의 가지를 선정하여 전체 꽃수에서 중심화가 수정된 비율로 중심화결실율을 계산하였다.

수확물 특성조사를 위하여, 조생종과 중생종은 9월 초순에, 만생종은 10월 초순에 수확하였다. 수확방법은 앞서 선정된 나무를 대상으로 1.2m 높이의 과실을 무작위로 나무당 10개씩 실험구당 총 100과를 수확하였다. 수확된 과실은 형태를 평가하기 위하여, Park *et al.*(1998)의 방법과 같이 L/D 값, 정형과율, 편형과율, 사측과율을 조사하였다. 아울러 수확물의 품질을 평가하기 위하여 과중 및 당도를 조사하였다. L/D 값은 수확물의 종경과 횡경을 Vernier calipers로 측정하여 구하였다. 정형과율은 시험구당 총 수확과실 중 L/D 값이 0.87 이상인 과실에 대한 비율을 백분율로 나타내었다. 편형과율은 L/D 값이 0.84 미만인 과실에 대한 비율을 백분율로 나타내었고, 사측과율은 과실을 세워놓았을 때 좌우 종경차가 7mm 이상인 과실의 비율을 백분율로 나타내었다. 과중은 전자저울(AND, CB-3000, Korea)로 측정하였고, 당도는 과실 적도면의

동일부분의 과육을 채취하여 cheese cloth로 착즙한 후, 디지털 당도계(PR-32 $\alpha$ , ATAGO, Japan)로 측정하였다.

#### 통계분석

머리뿔가위벌의 성비별, 암벌 방사마리수별 영소활동 비교, 중심화 수정률 및 과실 품질 중 과중, L/D 값, 당도는 일원배치분산분석(one-way ANOVA test)로 유의성을 검정하였고 Tukey's HSD test로 사후분석하였다. 수확물의 형태를 평가하기 위한 과실의 정형과율, 사측과율, 편형과율은 비모수통계인 chi-square test를 수행하여 유의성을 확인하였다. 암벌의 비율과 방사 마리수에 따른 영소활동 및 증식효과를 확인하기 위하여, 상관분석(correlation analysis)을 통하여 영소입출입봉수를 분석하였고, 회귀분석(regression analysis)을 통하여 증식효과가 높은 암벌 마리수를 도출하였다. 수행된 모든 통계분석은 SPSS PASW 18.0 for windows 통계 패키지 프로그램(IBM, USA)을 사용하였다.

## 결과 및 고찰

### 사과에서 머리뿔가위벌의 적정 방사 성비

#### 머리뿔가위벌의 성비에 따른 영소활동 및 증식률

사과 개화기 중 머리뿔가위벌의 성비에 따른 영소활동을 조사한 결과(Table 1), 성비에 따라 영소에 출입하는 암벌의 비율은 유의미한 차이를 나타내었다(one-way ANOVA test:  $F_{(3,28)}=4.336, p=0.022$ ). 암수 1:2 비율이  $31.5 \pm 6.5\%$ 로 가장 높은 암벌의 영소 출입비율을 나타내었고, 암수 1:0, 암수 1:1은 통계적으로 같은 수준이었다. 수벌만 방사한 시험구에서는 영소활동이 관찰되지 않았다. 대나무 영소로 들어오는 암벌의 비율은, 화분을 수집한 경우와 수집하지 않은 경우 모두 암수 1:2가  $9.4 \pm 2.5\%$ ,  $6.4 \pm 2.4\%$ 로서 다른 성비보다 각각 3.1~11.7배, 1.6~4.0배 높았으며, 통계적 유의성이 일부 인정되었다(화분수집 입소:  $F_{(3,28)}=4.861, p=0.017$ ; 화분 미수집 입소:  $F_{(3,28)}=0.858, p=0.474$ ). 영소



**Table 1.** Average rates of nesting behavior of *O. cornifrons* females when different sex ratio are released in an apple orchard

Sex ratio (Female : Male)	n*	Average rate of nesting behavior (%)			
		Incoming bees		Outgoing bees	Total
		Without pollen	With pollen		
1:0	15	1.6±0.7	3.0±1.4 <sup>b</sup>	4.6±1.7 <sup>b</sup>	9.3±3.0 <sup>b</sup>
0:1	15	-	-	-	-
1:1	15	3.1±2.4	0.8±0.3 <sup>b</sup>	1.3±0.6 <sup>b</sup>	5.1±2.5 <sup>b</sup>
1:2	15	6.4±2.4	9.4±2.5 <sup>a</sup>	15.8±3.3 <sup>a</sup>	31.5±6.5 <sup>a</sup>

\* "n" is the number of surveyed nests

- 1) The number of *O. cornifrons* was estimated as 1,000 bees for each sex ratio.
- 2) The rate of incoming bees without pollen did not differ significantly between sex ratios (one-way ANOVA test,  $p>0.05$ ), but the rate of incoming bees with pollen, out going bees and total nesting behavior differed significantly (one-way ANOVA test and Tukey's HSD,  $p<0.05$ ).

**Table 2.** Rate of trap-nesting and reproduction and sex ratios of the next generation using different released sex ratios of *O. cornifrons* in the apple orchard

Sex ratio (Female : Male)	n*	Rate of trap-nesting (%)	Rate of reproduction (Fold)	Sex ratio of the next generation (Female : Male)
1:0	14	15.8±1.2 <sup>a</sup>	0.7	1:3.4
0:1	12	2.8±0.7 <sup>c</sup>	0.1	1:1.6
1:1	15	13.0±1.3 <sup>ab</sup>	0.4	1:1.9
1:2	16	10.3±0.9 <sup>b</sup>	0.3	1:0.9

- 1) The open fields were each 2,000m<sup>2</sup>
- 2) The rate of trap nesting differed significantly at different sex ratios of *O. cornifrons* ( $p<0.0001$ , one-way ANOVA test and Tukey's HSD)
- 3) There was a significant correlation between the ratio of female bees and the rate of trap-nesting (Pearson's correlation=0.132,  $p=0.029$ ).

밖으로 나가는 암벌 비율 역시 암수 1:2일 때,  $15.8 \pm 3.3\%$ 로 가장 높은 결과를 나타내었다( $F_{(3,28)}=6.613$ ,  $p=0.006$ ). 따라서 사과 개화기에 암수 1:2의 비율로 방사한 경우 암벌의 화분매개활동이 가장 활발하였음을 확인할 수 있었다. 각 시험구의 머리빨가위벌의 우화율은 87.2~91.4%로 확인되었다.

영소활동 종료이후, 머리빨가위벌의 성비에 따른 증식효과에 대하여 조사한 결과(Table 2), 영소율은 암수 1:0이  $15.8 \pm 1.2\%$ 로 가장 높고, 그 다음이 암수 1:1( $13.0 \pm 1.3\%$ ), 1:2( $10.3 \pm 0.9\%$ ), 0:1( $2.8 \pm 0.7\%$ ) 순으로 유의미한 차이가 있었다( $F_{(3,53)}=23.492$ ,  $p=0.0001$ ). 증식률 또한 영소율과 마찬가지로, 암수 1:0이 0.7배로 가장 높고 암수 1:1, 1:2, 0:1 순으로 나타났다. 자손의 성비는 암수 1:2의 경우 자손 암벌 비율이 (암:수=1:0.9)로 가장 높았고, 암수 1:0의 경우는 자손 수벌

비율이 (암:수=1:3.4)로 가장 높았다. 성비에 따른 증식효과는 암수 1:0과 암수 1:1이 가장 높은 영소율을 보여주었고, 암벌의 비율이 높을수록 높은 영소율을 나타내었다(Pearson Correlation=0.132,  $p=0.029$ ). 그러나 암수 1:0의 경우, 자손의 수벌이 비율이 높기 때문에, 증식효과 면에서는 암수 1:1이나 1:2 방사가 가장 효율적이라고 판단된다. 빨가위벌류를 포함한 많은 종류의 꿀벌과의 곤충들은 "Dzierzon의 법칙"에 따라 무정란에서 수벌이, 유정란에서는 암벌이 나타난다(Raw and O' Toole, 1979). 이번 조사에서 수벌이 암벌보다 많았던 암수 1:2의 경우 더 많은 교미 기회로 인하여, 수정란 산란이 많아 차세대 암벌의 비율이 높은 결과를 보였을 것으로 생각된다. 암벌이나 수벌만 방사했던 시험구에서도 차세대 암벌이 나타났는데, 이는 고치상태로 암수를 구분하여 방사하였기 때문에

**Table 3.** Fruit set rates of the central fruits for different sex ratios of *O. cornifrons* in the apple orchard

Sex ratio (Female : Male)	n**	Net screen house	Open field
Control*	20	22.8 ± 13.1 <sup>c</sup>	75.5 ± 13.3 <sup>b</sup>
1:0	20	74.5 ± 14.2 <sup>a</sup>	83.3 ± 13.9 <sup>ab</sup>
0:1	20	55.0 ± 18.1 <sup>b</sup>	82.5 ± 11.4 <sup>ab</sup>
1:1	20	59.3 ± 22.1 <sup>ab</sup>	87.8 ± 8.5 <sup>a</sup>
1:2	20	64.5 ± 20.8 <sup>ab</sup>	88.3 ± 9.8 <sup>a</sup>

\*The control is “non-pollination” in the net screen house and “natural pollination” in the open field.

\*\* “n” is the number of surveyed apple trees.

1) The sizes of the net screen house and open field were 540m<sup>2</sup> and 2,000m<sup>2</sup>, respectively.

2) The fruit sets of the apples differed significantly for different sex ratios in the net screen house and open field (p<0.0001 and p<0.05, respectively, one-way ANOVA and Tukey’s HSD).

**Table 4.** Weight and soluble solids of fruit for different sex ratios of *O. cornifrons* in the net screen house of the apple orchard

Sex ratio (Female : Male)	n**	Net screen house	
		Weight (g)	Soluble solids (°Brix)
Control*	20	276.9 ± 51.4 <sup>ab</sup>	14.1 ± 1.0 <sup>bc</sup>
1:0	20	243.8 ± 52.8 <sup>b</sup>	14.8 ± 1.1 <sup>c</sup>
0:1	20	298.8 ± 69.2 <sup>a</sup>	15.8 ± 1.3 <sup>a</sup>
1:1	20	251.1 ± 61.1 <sup>b</sup>	13.3 ± 0.8 <sup>ab</sup>
1:2	20	276.4 ± 54.8 <sup>ab</sup>	15.4 ± 1.1 <sup>a</sup>

\*The control is “non-pollination” in the net screen house.

\*\*“n” is the number of surveyed apple trees.

1) The weight and soluble solids of the fruit differed significantly for different sex ratios of *O. cornifrons* in the net screen house of the apple orchard (p<0.0001, one-way ANOVA test and Tukey’s HSD).

일부 암별이나 수별이 섞여 들어갔거나 노지시험의 특성상 자생하는 빨가위벌류가 영소 및 산란했을 가능성도 있다고 판단된다. 암별만 방사했던 시험구의 성비가 수별이 높은 이유도 수별과의 교미 기회가 거의 없어 무정란 산란이 많았기 때문으로 생각된다. 그러나 빨가위벌류의 자손의 암수 성비는 주변화분원이나 기상환경, 암별의 크기, 영소의 크기에 의해서도 변할 수 있기 때문에(Kristjansson, 1992; Wilkaniec *et al.*, 2000; Budriené *et al.*, 2004), 통제된 실내조건에서 부모 성비에 따른 자손 성비에 대한 조사가 이루어져야 할 것으로 생각된다. Fliszkiwicz *et al.*(2013)은 유럽산 빨가위벌류인 *O. bicornis*가 증식에 있어 가장 효과적인 성비는 암수 1:2비율이라고 보고하였다.

머리빨가위벌의 성비에 따른 중심화착과율

사과 꽃 낙화 후, 머리빨가위벌의 성비에 따른 중심

화착과율을 Table 3에 나타내었다. 540m<sup>2</sup>망실에서는 무처리구에 비해 머리빨가위벌을 방사한 구는 2.3~3.4배 유의미하게 높았다. 암수 1:0의 비율이 74.5 ± 14.2%로 가장 높았고, 1:2의 비율이 64.5 ± 20.8%, 1:1 비율이 59.3 ± 22.1%의 비율로 같은 수준을 보였다. 0:1비율과 무처리구순으로 낮아 성비에 따라 유의미한 차이가 확인되었다(F<sub>(4,95)</sub>=23.550, p=0.0001). 또한, 수별만 방사한 시험구에서도 55.0 ± 18.1%로 무처리구보다 2.4배 높은 결과를 나타내, 수별만으로도 사과의 화분매개에 효과가 있음을 확인할 수 있었다. Bosch(1994)는 빨가위벌류의 수별이 암별보다 수명이 짧고, 꽃을 방문하는 횟수가 적지만, 수가 더 많기 때문에 아몬드 등 과수에서 충분한 화분매개효과가 있을 것으로 예상했다.

각 시험구별 2,000m<sup>2</sup> 구획의 노지에서 중심화착과율을 조사한 결과, 자연수분구 대비 머리빨가위벌을

**Table 5.** Fruit shape and L/D values of fruit for different sex ratios of *O. cornifrons* in the net screen house of the apple orchard

Sex ratio (Female : Male)	n*	L/D value	Fruit shape (%)		
			Shape index	Asymmetric index	Oblate index
Control*	20	0.67 ± 0.01 <sup>b</sup>	0	78.6	100
1:0	20	0.83 ± 0.05 <sup>ab</sup>	23.3	63.3	56.7
0:1	20	0.86 ± 0.05 <sup>ab</sup>	43.8	65.6	31.3
1:1	20	0.87 ± 0.04 <sup>a</sup>	52.5	63.9	23
1:2	20	0.88 ± 0.09 <sup>a</sup>	52.3	52.3	25

1) L/D value= fruit length / fruit diameter.

2) The shape index category represents the fruit above 0.87 in the L/D value.

3) The asymmetric index category represents the fruit 7 mm minus the minimum fruit length from the maximum fruit length.

4) The oblate index category represents fruit below 0.84 in L/D value.

5) The fruit shape(rate of regular and oblate) and L/D value differed significantly for different sex ratios of *O. cornifrons* in the net screen house ( $p < 0.0001$ , chi-squared test and  $p < 0.0001$ , one-way ANOVA test and Tukey's HSD).

**Table 6.** Weight and soluble solids of fruit for different sex ratios of *O. cornifrons* in the open field of the apple orchard

Sex ratio (Female : Male)	n**	Open field	
		Weight (g)	Soluble solids (°Brix)
Control*	20	322.6 ± 53.9 <sup>a</sup>	13.6 ± 1.2 <sup>b</sup>
1:0	20	272.3 ± 44.6 <sup>b</sup>	13.6 ± 0.9 <sup>b</sup>
0:1	20	251.4 ± 41.4 <sup>c</sup>	14.9 ± 1.0 <sup>a</sup>
1:1	20	329.5 ± 45.2 <sup>a</sup>	12.1 ± 0.9 <sup>c</sup>
1:2	20	257.6 ± 53.9 <sup>bc</sup>	14.5 ± 1.1 <sup>a</sup>

\*The control is "natural pollination" in the open field.

\*\* "n" is the number of surveyed apple fruits.

1) The weight and soluble solids of the fruit differed significantly for different sex ratios of *O. cornifrons* in the the open field of apple orchard ( $p < 0.0001$ , one-way ANOVA test and Tukey's HSD).

방사한 효과는 통계적으로 유의미하였다( $F_{(4,95)}=3.961$ ,  $p=0.005$ ). 성비별로는 암수성비 1:2와 1:1이 각각 88.3 ± 9.8%, 87.8 ± 8.5%로서 가장 높았고, 그 다음 암수 1:0과 0:1이 각각 83.3 ± 13.9%, 82.5 ± 11.4%로 같은 수준을 나타내었다. Sheffield(2014)는 *O. lignaria* 경우 방사지역과 가장 가까운 사과 기준으로 암수 1:2이 1:3에 비해 착과율이 2배가량 높음을 보고한 바 있다.

#### 머리빨가위벌의 성비에 따른 수확물 품질

머리빨가위벌의 성비에 따른 수확물의 품질을 조사하였다. 성비에 따른 과실무게는 암수 0:1이 298.8 ± 69.2g로 가장 높고, 다음으로 자연수분(276.9 ± 51.4g), 암수 1:2(276.4 ± 54.8g) 순이었다(one-way ANOVA test:  $F_{(4,172)}=44.951$ ,  $p=0.0001$ ). 당도는 암수 0:1

과 1:2가 각각 15.8 ± 1.3, 15.4 ± 1.1 brix로 다른 성비보다 1~2.5 brix 높았다( $F_{(4,96)}=20.486$ ,  $p=0.0001$ )(Table 4). 과실의 형태를 성비별로 조사한 결과(Table 5), 망실내 수확물의 경우 L/D 값이 암수 1:2와 1:1이 각각 0.88 ± 0.09, 0.87 ± 0.05로 가장 높았고, 그 다음이 암수 0:1(0.86 ± 0.05), 암수 1:0(0.83 ± 0.05) 순이었다. 무치리의 경우 0.68 ± 0.02로 머리빨가위벌 방사구보다 0.16~0.20 낮은 값을 나타내었다( $F_{(4,206)}=153.160$ ,  $p=0.0001$ ). 이에 정형과율에서도 암수 1:1과 1:2가 각각 52.5, 52.3%로 다른 성비보다 1.2~2.2배 높은 결과를 나타내었다(chi-square test:  $x^2=23.266$ ,  $df=4$ ,  $p=0.0001$ ). 통계적인 유의성은 없었으나, 사측과율은 암수 1:2가 52.3%로 가장 낮은 경향을 나타내었고, 편형과율은 암수 1:1과 암수 1:2가 각각 23~25%로 다른

**Table 7.** Fruit shape and L/D values of fruit for different sex ratios of *O. cornifrons* in the open field of the apple orchard

Sex ratio (Female : Male)	n	L/D value	Fruit shape (%)		
			Shape index	Asymmetric index	Oblate index
Control	20	0.78 ± 0.04 <sup>b</sup>	35.5	41.9	37.6
1:0	20	0.78 ± 0.04 <sup>b</sup>	42.0	50.0	27.3
0:1	20	0.78 ± 0.05 <sup>b</sup>	42.0	39.8	33.0
1:1	20	0.87 ± 0.06 <sup>a</sup>	55.8	33.7	26.7
1:2	20	0.89 ± 0.06 <sup>a</sup>	58.0	55.7	20.6

1) The fruit shape (rate of asymmetric and shape index) and L/D value differed significantly for different sex ratios of *O. cornifrons* in the open field of apple orchard ( $p < 0.0001$ , chi-squared test and  $p < 0.005$ , one-way ANOVA test and Tukey's HSD).

**Table 8.** Average rate of nesting behavior in *O. cornifrons* when different numbers of female bees were released in the apple orchard

No. of female bees	n*	Average rate of nesting behavior (%)			
		Incoming bees		Outgoing bees	Total
		Without pollen	With pollen		
100	8	0.3 ± 0.2	2.9 ± 1.0 <sup>b</sup>	2.4 ± 0.6	5.5 ± 1.7 <sup>b</sup>
200	8	0.6 ± 0.2	5.4 ± 1.6 <sup>ab</sup>	4.3 ± 1.5	10.2 ± 3.3 <sup>ab</sup>
400	8	0.8 ± 0.2	11.0 ± 2.7 <sup>a</sup>	7.3 ± 2.3	19.1 ± 5.1 <sup>a</sup>

\* "n\*" is the number of surveyed nests.

1) The size of the open field is 2,000m<sup>2</sup>.

2) The sex ratio of *O. cornifrons* was 1:2 (female : male) for all numbers of female bees.

3) The rate of incoming bees without pollen and outgoing bees did not differ significantly for different numbers of female bees (one-way ANOVA test,  $p > 0.05$ ), but the rate of incoming bees with pollen and total nesting behavior differed significantly (one-way ANOVA test and Tukey's HSD,  $p < 0.05$ ).

성비에 비해 낮은 결과를 보여주어( $x^2=40.672$ ,  $df=4$ ,  $p=0.0001$ ), 망실 내에서 수확한 과실의 형태면에서는 암수 1:2와 1:1이 가장 상품성이 높은 것으로 판단된다.

노지 수확물의 경우에서 과실무게는 암수 1:1이  $329.5 \pm 45.2g$ 으로 가장 높았고(one-way ANOVA test:  $F_{(4,481)}=54.141$ ,  $p=0.0001$ ), 당도에서는 암수 0:1과 1:2가 각각  $14.9 \pm 0.1$ ,  $14.5 \pm 1.1$  brix로 망실의 결과와 유사하였다( $F_{(4,258)}=55.652$ ,  $p=0.0001$ )(Table 6). 또한 수확물의 형태면에서 L/D 비율은 암수 1:2와 1:1이 각각  $0.89 \pm 0.06$ ,  $0.87 \pm 0.05$ 로 암수 1:0, 0:1 및 자연수분구보다 약 0.10 이상 높은 유의미한 결과를 보여주었다( $F_{(4,258)}=140.010$ ,  $p=0.0001$ )(Table 7). 정형과율에서는 암수 1:2가 58.0%, 1:1이 55.8%로 50% 이상의 정형과율을 나타내 0:1과 1:0의 성비 대비 13~16% 높고, 자연수분 대비 22.5% 높은 결과를 보였다(chi-square test:

$x^2=107.506$ ,  $df=4$ ,  $p=0.0001$ ). 사측과율에서는 암수 1:1이 33.7%로 가장 낮은 결과를 보였다( $x^2=12.695$ ,  $df=4$ ,  $p=0.0001$ ). 통계적으로 유의미하지 않지만 편형과율에서는 암수 1:2가 20.6%로 가장 낮고 그 다음이 암수 1:1, 1:0 순이었고, 특히 자연수분의 경우 37.6%로 머리빨가위벌 방사구보다 4~17% 낮은 결과를 나타내었다. 따라서 노지 역시 망실의 결과와 마찬가지로 암수 1:2이나 1:1이 다른 성비보다 정형과 생산에 유리할 것으로 생각된다.

이상 화분매개활동, 증식률, 중심화착과율, 과실형태, 무게, 당도 등의 결과를 종합하여 볼 때, 대부분의 결과에서 상위를 나타낸 암수 1:2와 암수 1:1이 머리빨가위벌의 방사에 적합한 성비로 판단되며, 화분매개곤충 이용의 주목적인 착과율 증진, 정형과 생산 측면에서는 암수 1:2로 머리빨가위벌을 방사하는 것이 가장 효율적일 것으로 판단된다. 아울러 수벌만 방사



**Table 9.** Rates of trap-nesting and reproduction and the sex ratios of the next generation when using different numbers of *O. cornifrons* female bees in the apple orchard

No. of female bees	n*	Rate of trap-nesting (%)	Rate of reproduction (Fold)	Sex ratio of the next generation (Female : Male)
100	12	9.0 ± 4.9 <sup>b</sup>	1.4	1:2.1
200	12	16.2 ± 6.8 <sup>b</sup>	1.5	1:1.4
400	12	70.2 ± 14.3 <sup>a</sup>	3.3	1:1.2

1) The rate of trap nesting of fruit differed significantly for different numbers of female bees ( $p < 0.0001$ , One-way ANOVA test and Tukey's HSD).

2) There was a significant correlation between the number of female bees and the rate of trap-nesting (Pearson's correlation=0.924,  $p=0.0001$ ).

**Table 10.** Fruit set rate of the central fruit for different numbers of *O. cornifrons* female bees in the apple orchard

No. of female bees	n**	Fruit set rate (%)
Control*	6	76.1 ± 9.5 <sup>b</sup>
100	9	87.0 ± 9.5 <sup>a</sup>
200	9	86.3 ± 5.4 <sup>a</sup>
400	9	90.6 ± 5.3 <sup>a</sup>

\*The control is "natural pollination" in the open field.

\*\*"n" is the number of surveyed apple trees.

1) The fruit sets of the apples differed significantly for different numbers of female bees in the apple orchard ( $p < 0.005$ , one-way ANOVA and Tukey's HSD).

한 구에서도 암수를 함께 방사한 처리구보다 착과율이나 과실품질이 다소 떨어지지만, 무처리구나 자연수분에 비하여 높은 착과율을 나타내므로, 차후 머리빨가위벌 수벌의 화분매개효과에 대해서도 연구해볼 필요가 있을 것으로 판단된다(Bosch and Kemp, 2002).

### 사과에서 머리빨가위벌의 적정 방사 밀도

#### 머리빨가위벌의 암벌 방사량에 따른 영소활동 및 증식률

사과 개화기 중 머리빨가위벌의 암수 성비를 1:2로 설정한 후 2,000m<sup>2</sup>기준 암벌 방사량에 따른 영소활동을 조사하였다(Table 8). 그 결과, 암벌의 수에 따라 영소를 출입하는 벌의 비율 차이는 유의미하게 증가하였다(one-way ANOVA test:  $F_{(2,21)}=3.551$ ,  $p=0.047$ ). 암벌 400마리의 영소활동이 200마리와 100마리를 방사하였을 때보다 1.9-3.5배 높았다. 대나무 영소로 들어오는 암벌의 비율에서도, 암벌 400마리 방사구가 다른 방사구보다 높은 경향을 보였다. 특히 꽃가루 미수집

귀소비율은 통계적으로 같은 수준을 보였으나, 꽃가루 수집 귀소비율은 암벌 400마리구가 다른 처리구에 비해 각각 2.0배, 3.8배 유의미하게 높았다( $F_{(2,21)}=4.736$ ,  $p=0.020$ ). 영소 밖을 나가는 암벌의 비율은 통계적 유의성은 없었으나 암벌 400마리 방사구가 높은 경향이였다. Lee *et al.*(2008)은 머리빨가위벌의 방사량별로 입출소수를 조사한 결과, 방사량이 많을수록 입출소수가 늘어난다고 보고하여 본 조사와 유사하였다. 각 시험구의 머리빨가위벌의 우화율은 83.7~90.7%로 확인되었다.

영소활동 종료 후, 암벌 방사 마리수에 따른 증식효과를 Table 9에 나타내었다. 영소율의 경우 암벌 400마리 방사구가 70.2 ± 14.3%로서 200마리(16.2 ± 6.8%)와 100마리(9.0 ± 4.9%)보다 각각 4.3배, 7.8배 높은 결과를 나타내었다(one-way ANOVA test  $F_{(2,23)}=146.467$ ,  $p=0.0001$ ). 증식률에서도 암벌 400마리 방사구는 3.3배로 1.4~1.5배에 그친 100, 200마리 구보다 높은 증식효과를 보였다. 자손의 암수 성비를 조사한 결과, 방사한 암벌의 수가 많을수록 수벌의 비율이 낮아지는

**Table 11.** Weight and soluble solids of fruit when using different numbers of *O. cornifrons* female bees in the apple orchard

No. of female bees	n*	Weight (g)	Soluble solids (°Brix)
Control	30	326.2 ± 72.6 <sup>b</sup>	14.6 ± 0.8
100	60	348.8 ± 65.9 <sup>ab</sup>	14.8 ± 1.3
200	60	364.7 ± 72.7 <sup>a</sup>	14.7 ± 1.1
400	60	357.7 ± 82.1 <sup>a</sup>	14.8 ± 1.0

\*“n” is the number of surveyed apple fruits.

1) The weights of the fruits differed significantly when using different numbers of female bees ( $p < 0.0001$ , one-way ANOVA test and Tukey's HSD), but the soluble solids did not differ significantly in the apple orchard (one-way ANOVA test,  $p > 0.05$ ).

**Table 12.** Fruit shapes and L/D values of fruit for different numbers of *O. cornifrons* female bees in the apple orchard

No. of female bees	n	L/D value	Fruit shape (%)		
			Shape index	Asymmetric index	Oblate index
Control*	30	0.83 ± 0.07 <sup>c</sup>	25.0	86.3	57.5
100	60	0.89 ± 0.05 <sup>a</sup>	67.1	48.6	15.0
200	60	0.89 ± 0.06 <sup>a</sup>	61.4	49.3	19.3
400	60	0.87 ± 0.06 <sup>b</sup>	50.7	51.4	25.7

1) The fruit and L/D value differed significantly for different sex ratios of *O. cornifrons* in the net screen house ( $p < 0.0001$ , chi-squared test and  $p < 0.0001$ ; one-way ANOVA test and Tukey's HSD).

경향이 있었다(Pearson Correlation=0.924,  $p=0.0001$ ), 특히 암벌 200마리 이상부터 영소율이 크게 증가하는 경향을 나타내었다( $y=7E-06x^2-0.0013x+0.1519$ , adj  $R^2=0.893$ , ANOVA test  $F_{(2,33)}=146.467$ ,  $p=0.0001$ ). 따라서 암벌의 방사량에 따른 증식효과는 암벌 400마리가 가장 효율적이었다. Lee *et al.*(2008)은 사과에 500마리 방사보다 750마리 방사 시 영소율이 5배가 높아지고, 1,000마리는 감소한다고 보고하였으나, 당시 보고에서는 실험에 대한 암수에 대한 성비기준이 없어 이번 결과와 직접적인 비교는 불가능하였다.

#### 머리빨가위벌의 암벌 방사량에 따른 중심화착과율

머리빨가위벌의 암벌 방사량에 따른 사과의 중심화착과율을 조사한 결과를 Table 10에 나타내었다. 머리빨가위벌 암벌 400마리, 200마리, 100마리 방사 모두 86.3~90.6%로 통계적으로 같은 수준의 중심화착과율을 보여 방사량에 따른 착과율의 차이는 나타나지 않았다. 다만, 자연수분구는  $76.1 \pm 9.5\%$ 로 머리빨가위벌을 방사 대비 10.2~14.5% 낮은 결과를 보여 머리빨가위벌의 방사 효과가 인정되었다(one-way

ANOVA test:  $F_{(3,32)}=5.837$ ,  $p=0.003$ ).

#### 머리빨가위벌의 암벌 방사량에 따른 수확물 품질

머리빨가위벌의 암벌 방사량에 따른 수확물 품질을 Table 11와 12에 나타내었다. 머리빨가위벌의 암벌 방사량에 따른 사과 수확물의 무게는 통계적으로 유의미한 차이를 확인할 수 있었는데, 암벌 200마리와 400마리 방사구가 각각  $364.7 \pm 72.7g$ ,  $357.7 \pm 82.1g$ 로, 100마리 방사구 대비 2.5~4.6%, 자연수분구 대비 8.8~10.6% 무거웠다(one-way ANOVA test  $F_{(3,496)}=5.031$   $p=0.002$ )(Table 11). 수확물의 당도에서는 모든 실험구가 14.6~14.8 Brix로 암벌 방사 마리수에 따른 유의미한 차이는 확인되지 않았다.

과실의 형태를 확인하기 위해 L/D 값을 암벌 방사량에 따라 분석한 결과, L/D 값은 머리빨가위벌 암벌의 방사수가 100~200마리일 때 높았다(Table 12). 자연수분의 경우, 머리빨가위벌 방사구에 비해 0.04~0.07 다소 낮은 차이를 보였다( $F_{(3,496)}=25.360$ ,  $p=0.0001$ )(Table 11). 이를 바탕으로 한 정형과율에서도 100마리 방사구와 200마리 방사구가 각각 67.1%, 61.4%로 가

장 높았고, 그 다음으로 400마리 방사구는 50.7%, 자연수분구는 25.0%로 머리뿔가위벌 방사구에 비해 25.7~42.1% 낮은 결과를 보였다(chi-square test:  $x^2=40.588$ ,  $df=3$ ,  $p=0.0001$ ). 비대칭과를 평가하는 사측과율은 머리뿔가위벌 미방사구가 방사구에 비해 2배 정도 높아 상품성이 떨어졌다( $x^2=36.493$ ,  $df=3$ ,  $p=0.0001$ ). 편형과율 역시 100마리, 200마리 방사구가 각각 15.0%, 19.3%로 400마리 방사구보다 약 6.4~10.7%, 자연수분보다 38.2~42.5% 더 높은 결과를 나타내어( $x^2=53.349$ ,  $df=3$ ,  $p=0.0001$ ), 정형과 생산 측면에서 암벌 100~400마리에서 큰 차이는 없었다. 따라서 머리뿔가위벌의 구입 비용 등의 경제성을 고려할 때, 머리뿔가위벌의 방사 수는 100~200마리가 적절하다고 생각된다.

화분매개활동, 증식률 등 머리뿔가위벌의 활용적인 면과 중심화착과율, 무게, 당도 등 과실의 생산성과 품질적인 면을 모두 고려할 때, 머리뿔가위벌의 2,000m<sup>2</sup>기준 머리뿔가위벌의 적정 방사밀도는 암벌 200마리, 수벌 400마리 이상인 것으로 판단된다. Maeta and Kitamura(1974)는 사과 10,000m<sup>2</sup> 수분에 요구되는 머리뿔가위벌의 암벌의 수는 550마리, Torchio(1991)는 *O. lignaria*는 625마리, Vicens and Bosch(2000)는 *O. cornuta*는 530마리로 보고하였다. 이를 2,000m<sup>2</sup>로 환산하면 각각 암벌 110마리, 125마리, 106마리로 본 연구결과에 비해 37.5~47.0% 정도 적었다. 이는 제시된 암벌의 수가 영소활동을 하는 암벌의 수이기 때문에, 방사 당시에는 더 많은 수의 암벌 고치수가 필요했을 것으로 생각된다(Bosch and Kemp, 2002). Lee *et al.*(2008)은 사과의 효율적인 수분을 위하여 3,300m<sup>2</sup>당 750마리(암수 3:7)로 보고하였다. 이를 2,000m<sup>2</sup>로 환산 시 암벌 137마리가 필요한 것으로 이번 결과와 차이가 있었다. 이러한 차이는 시험 당시의 재배 품종이나 시험면적 내 나무 수, 재배환경 등이 다르기 때문으로 생각된다(Bosch and Kemp, 1999).

이상의 결과를 종합하여 볼 때, 사과에 머리뿔가위벌을 사용할 때 성비와 암벌의 수에 따라 사과의 착과율, 수확물의 특성도 차이가 날 수 있음을 확인하였다. 현재 머리뿔가위벌은 암수 구분 없이 3,300m<sup>2</sup>에 500마리로 보급 또는 판매가 되고 있어, 사과의 수분

효과가 머리뿔가위벌의 사용하는 농가마다 크게 달라질 수 있다고 생각된다. 머리뿔가위벌의 품질 균일성과 사과에서의 효과를 최대한 확보하기 위하여, 사과재배 면적 2,000m<sup>2</sup> 기준, 머리뿔가위벌 암벌 200마리, 수벌 400마리(암수 1:2)를, 3,300m<sup>2</sup> 기준으로는 암벌 330마리, 수벌 660마리를 농가에 보급하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 다만 머리뿔가위벌을 판매하는 입장에서는 암수를 구분하는 노동력이 추가로 들 수 있으므로 농가판매가격이 일부 상승할 수도 있을 것으로 생각된다. 사과 재배지역, 품종에 따른 개화시기 변화, 과수원의 고도, 사과꽃 외 주변 화분원에 따라 뿔가위벌류의 화분매개활동이나 증식률은 달라질 수 있다(Huh *et al.*, 1997; Bosch and Kemp, 2001, 2002). 따라서 차후 명확한 머리뿔가위벌의 농가 사용 기준 제시를 위하여, 지역별, 사과 품종별 적정 방사 시기와 사과 과수원이 위치한 고도, 재식밀도, 재배환경에 따른 머리뿔가위벌의 화분매개활동, 증식률 및 수확물 품질평가 등의 연구도 필요할 것으로 생각된다. 아울러, 암벌보다 수가 많은 수벌에 대한 화분매개근충으로서 이용 가능성도 주목해 볼 필요성이 있다고 판단된다.

## 적 요

사과의 화분매개를 위한 머리뿔가위벌의 방사기준을 설정하기 위하여 2,000m<sup>2</sup>기준 성비와 암벌의 방사량에 따른 영소활동과 화분매개효과를 조사하였다. 그 결과, 머리뿔가위벌의 성비에 따라 영소활동, 증식효과, 착과율, 수확물 형태에서 유의미한 차이를 보여주었다. 영소활동은 암수 1:2 일 때 다른 성비보다 3.4~6.7배 높은 활동률을 보였고, 증식효과는 암수 1:0 이 1.2~5.6배 높은 영소율을 보였다. 중심화착과율에서는 암수 1:2가 다른 성비에 비해 1.2배 다소 높은 결과를 나타내었다. 특히 암벌이 전혀 없었던 시험구에서도 무처리에 비해 2.4배 높아 화분매개효과가 인정되었다. 수확물의 형태에서도 암수 1:2가 다른 성비에 비해, 정형과율이 다소 높고, 사측과율은 1.1~1.6배 낮은 결과를 보여, 암수 1:2의 성비가 사과의 수분에 가

장 효율적인 것으로 생각된다. 성비가 1:2인 상태에서 머리뿔가위벌 암벌의 방사량에 따른 영소활동과 증식효과는 유의미한 차이를 보였는데, 암벌 400마리 방사가 다른 방사구에 비해 영소활동의 경우 1.8~3.5배, 영소율의 경우 4.3~7.8배 높은 결과를 나타내었다. 그러나 착과율에서는 모든 방사량이 같은 수준을 나타내었고, 과실의 형태와 무게에서는 100~200마리가 400마리 방사구보다 다소 높은 경향을 보여주었다. 따라서 사과와 수분을 위하여 머리뿔가위벌 방사기준은 2,000m<sup>2</sup>당 암수 성비 1:2, 암벌 200마리 이상으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업기초기반 연구개발사업(과제번호: PJ01001002)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

## 인용문헌

- Alston, F. H. 1996. Incompatibility alleles and apple pollination. *Acta Hort.* 423: 119-124.
- Batra, S. W. T. 1982. The hornfaced bee for efficient pollination of small farm orchards. pp. 116-120. in *Research for Small Farms*, W. H. Kerr and L. V. Knutson (Eds). USDA Miscellaneous Publication, Washington, D.C.
- Bosch, J. 1994. The nesting behaviour of the mason bee *Osmia cornuta* (Latr) with special reference to its pollinating potential (Hymenoptera, Megachilidae), *Apidologie* 25: 84-93.
- Bosch, J. and M. Blas. 1994. Foraging behavior and pollinating efficiency of *Osmia cornuta* and *Apis mellifera* on almond (Hymenoptera, Megachilidae and Apidae), *Apple. Entomol. Zool.* 29: 1-9.
- Bosch, J. and W. P. Kemp. 1999. Exceptional cherry production in an orchard pollinated with blue orchard bees. *Bee Wld.* 80: 163-173.
- Bosch, J. and W. P. Kemp. 2000. Development and emergence of the orchard pollinator, *Osmia lignaria* (Hymenoptera: Megachilidae). *Environ. Entomol.* 29: 8-13.
- Bosch, J. and W. P. Kemp. 2001. How to manage the blue orchard bee, *Osmia lignaria*, as an orchard pollinator. Washington, DC, Sustainable Agriculture Network.
- Bosch, J. and W. P. Kemp. 2002. Developing and establishing bee species as crop pollinators: The example of *Osmia* spp. (Hymenoptera: Megachilidae) and fruit trees. *Bull. Entomol. Res.* 92: 3-16.
- Budriené A., E. Budrys and A. Nevronytė. 2004. Solitary Hymenoptera aculeate inhabiting trap-nests in Lithuania: nesting cavity choice and niche overlap. *Latvijas Entomologos.* 41: 19-31.
- Elzebroek, A. T. G. and K. Wind. 2008. Guide to cultivated plants. p. 27. Wallingford: CAB International.
- FAOSTAT. 2016. Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics. <http://faostat3.fao.org/>.
- Fliszkiewicz, M., A. Langowska and P. Tryjanowski. 2013. Effect of manipulated sex ratio on insemination of the red mason bee *Osmia bicornis* L. under net cage conditions. *J. Apic.* 2: 73-79.
- Goldway, M., D. Schneider, H. Yehuda, A. Matityahu, D. Eisikowitch and R. A. Stern. 2001. The effect of apple *Sallele* compatibility on fruit set levels in non-optimal fertilization conditions. *Acta Hort.* 561: 231-234.
- Huh, M. S., J. S. Kim, Y. G. Sim, J. D. Cheung, K. B. Choi and B. S. Choi. 1997. Nesting behavior of mason bee (*Osmia cornifrons* Radoszkowski) under the existence of pollen sources in apple orchard. *Korean J. Apicult.* 12: 17-24.
- Janick, J., J. H. Cummins, S. K. Brown, and M. Hemmat. 1996. Apples, pp. 1-77. In: J. Janick and J.N. Moore (eds.). *Fruit breeding*. Wiley, New York
- Kim, I. S. 1999. Studies on the ecological characteristics and utilization of *Osmia* spp. as pollinators. pp. 1-44. A thesis for the master degree of Kongju National University.
- Kim, J. K., J. H. Lee, H. C. Kang, I. K. Yoon and B. W. Moon. 2003. A newly-developed pollen extender used for artificial pollination in fruit trees. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 21: 329-332.
- Kristjansson K. 1992. Development of solitary bees as crop pollinators. In: *Bees for pollination*. Proceedings of an EC workshop. Brussels, Belgium. 2-3 March 1992. Commission of the European Communities. Division for the Coordination of Agricultural Research. pp. 91-109.
- Lee, H. S. and K. S. Woo. 1994. Genus *Osmia* (Hymenoptera; Megachilidae) from Korea. *Korean J. Apicult.* 9: 117-233.
- 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. 2014a. Distribution status of mason bees, *Osmia* spp. (Hymenoptera: Megachilidae) in apple orchard of Korea. *Korean J. Apicult.* 29: 223-234.
- Lee, S. B., D. K. Seo, K. H. Choi, S. W. Lee, H. J. Yoon, C. H. Park and Y. D. Lee. 2008. The visited insects on apple flowers, and the characteristics on pollinating activity of pollinators released for pollination of apple orchards. *Korean J. Apicult.* 23: 275-282.
- Lee, S. B., K. Y. Lee, N. G. Ha, H. J. Yoon, I. G. Park, S. J.



- Hwang and H. S. Gang. 2007. The status of the pollinator uses on major economical crops in Korea. Korean J. Apicult. 22: 79-86.
- Lee, S. B., Y. B. Lee, T. M. Han, D. J. Gyun, K. S. Son, N. G. Ha, J. W. Jang, K. K. Park, S. D. Lee and H. Y. Shin. 2014. Pollinating activity of *Bombus terrestris* released at apple orchards (Fuji variety) and inspection of the pollen collected by using SEM. Korean J. Apicult. 29: 79-85.
- 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 bee of the genus *Osmia* of Japan. with special reference to their managements for pollination of crops (Hymenoptera: Megachilidae). Bull. Tohoku. Natl. Agric. Exp. Stn. 57:1-221.
- Maeta, Y. and T. Kitamura. 1974. How to manage the Mame-ko bee (*Osmia cornifrons* Radoszkowski) for pollination of fruit crops. Naganoshi, Ask Co Ltd (in Japanese).
- 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.
- Park, J. G., J. S. Hong, I. M. Choi, J. B. Kim, S. H. Kim and H. S. Park. 1998. Applications of artificial pollination, spraying gibberellin A4+7 plus benzyladenine for production of uniform fruits in 'Fuji' apples. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 16: 27-29.
- Raw, A. and C. O' Toole. 1979. Errors in the sex of eggs laid by the solitary bee *Osmia rufa*. Behaviour, 70: 168-171.
- Schneider, D., R. A. Stern, D. Eisikowitch, and M. Goldway. 2001. Analysis of S-alleles by PCR for determination of compatibility in the 'Red Delicious' apple orchard. J. Hort. Sci. Biotech. 76: 596-600.
- Sheffield, C. S. 2014. Pollination, seed set and fruit quality in apple: studies with *Osmia lignaria* (Hymenoptera: Megachilidae) in the Annapolis Valley, Nova Scotia, Canada. J. Pollinat. Ecol. 12: 120-128.
- SPSS PASW<sup>®</sup> Statistics 18.0. 2007. PASW<sup>®</sup> Core System User's Guide, SPSS inc. USA.
- Statistics Korea. 2016. Crops production statistics, <http://kosis.kr/>.
- Torchio, P. F. 1991. Bees as crop pollinators and the role of solitary species in changing environments. Acta. Hort. 288: 49-61.
- Torchio, P. F., 1985. Field experiments with the pollinator species, *Osmia lignaria* propinqua Cresson in apple orchards: V, 1979-1980, methods of introducing bees, nesting success, seed counts, fruit yields (Hymenoptera: Megachilidae). Kansas Entomol. Soc. 58: 448-464.
- Vicens, N. and J. Bosch. 2000. Pollinating efficacy of *Osmia cornuta* and *Apis mellifera* (Hymenoptera: Megachilidae, Apidae) on 'Red Delicious' apple. Environ. Entomol. 29: 235-240.
- Wilkaniec, Z., Giejdasz K., Fliszkiewicz M. 2000. Effect of differentiated nest tubes on their settlement by the solitary bee *Osmia bicornis* L. (Megachilidae). Pszczelnicze Zeszyty Naukowe 44: 311-317.
- Yoo, J. and I. K. Kang. 2014. Effects of artificial pollination using pollen suspension on fruit set and quality attributes of 'Fuji' apples. Curr. Res. Agric. Life sci. 32: 211-214.
- Yoon, H. J., K. Y. Lee, I. G. Park, M. I. Kim, Y. M. Kim and P. D. Kang. 2012. Current status of insect pollinators use in apple orchards. Korean J. Apicult 27: 105-116.
- Yoon, H. J., K. Y. Lee, M. A. Kim, I. G. Park, and P. D. Kang. 2013. Characteristics on pollinating activity of *Bombus terrestris* and *Osmia cornifrons* under different weather conditions at apple orchard. Korean J. Apicult. 28: 163-171.
- Yoon, H. J., K. Y. Lee, S. Y. Kim, Y. M. Kim and C. R. Kwon. 2016. Distribution and ecological characteristics of cocoons of the solitary bees *Osmia cornifrons* and *O. pedicornis* (Hymenoptera: Megachilidae). Korean J. Apicult. 31: 183-194.