

한국산 삿포로뒤영벌(*Bombus hypocrita sapporoensis*)의 생태적 특성

윤형주* · 이경용 · 김미애 · 이영보 · 김선영
농촌진흥청 국립농업과학원 농업생물부

Ecological Characteristics of *Bombus hypocrita sapporoensis* in Korea

Hyung Joo Yoon*, Kyeong Yong Lee, MI Ae Kim, Yeong Bo Lee and Sun Young Kim

Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju gun, Jellabuk do 55365, Republic of Korea

(Received 29 August 2015; Revised 24 October 2015; Accepted 31 October 2015)

Abstract

The post-hibernated queens of *Bombus hypocrita sapporoensis* were collected in Jeongseon, Korea to investigate their ecological characteristics and reared under the laboratory conditions; 27°C 65% R.H., and darkness. The average weight of collected queens was 0.87 ± 0.14 g and 0.8g class was most abundant (34.7%) among eight weight classes. The rates of colony initiation, colony foundation and progeny-queen production were 76.3%, 60.0% and 42.5%, respectively. The durations up to colony initiation and colony foundation were 12.0 ± 6.7 days and 49.3 ± 2.4 days, respectively. The duration up to first worker, male and queen emergence were 22.2 ± 3.0 days, 63.4 ± 6.5 days and 63.5 ± 8.7 days, respectively. The number of progenies was 108.5 ± 26.0 workers, 186.7 ± 70.7 males and 39.1 ± 30.3 queens. The longevity of colony founded queen was 90.2 ± 19.9 days whereas that of non-colonized queen was 35.9 ± 30.3 days. Copulation time was 29.5 ± 9.6 min. The number of eggs per egg cell laid new queen was 9.3 ± 2.3 grains. An egg shaped as banana and it's size was 1.12 ± 0.10 mm in a width, 3.54 ± 0.16 mm in a length and 2.26 ± 0.34 mg in a weight.

Key words: Bumblebee, *Bombus hypocrita sapporoensis*, Ecological characteristics, Oviposition rate, Colony development

서 론

벌(Bees)은 자연식생 뿐 만 아니라 과일, 채소, 종자 식물, 유료작물, 노지화초와 주요한 사료작물 등을 포함한 농작물의 수분을 위해 매우 중요한 역할을 한다.

따라서 수분작용은 야생의 화분매개곤충 특히, 야생 벌이 넓은 범위의 작물수분에 상당히 기여해 주는 생태계 서비스이다(Morandin and Winston, 2005; Greenleaf and Kremen, 2006; Winfree *et al.*, 2007). 벌은 매우 다양하고 풍부해서 전 세계적으로 현재까지

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

16,325종이 동정되었다(Michener, 2000). 상업적으로 관리되는 벌들도 수분작용 서비스에 이용될 뿐 만 아니라 대규모의 상업용 경작지, 소규모 정원, 그리고 유리온실과 비닐하우스와 같은 곳에서 사용되고 있다(Free, 1993; Dag and Kammer, 2001).

상업적으로 판매되는 벌 가운데 뒤영벌은 북반구의 온대와 아한대에 분포 중심을 갖고 한냉, 다습한 기후에 적응해온 진사회성 곤충으로 전 세계에 약 239 종이 보고되고 있다(Hannan *et al.*, 1998; Williams, 1998). 국내에는 뒤영벌아과(Bombidae), 뒤영벌(Bombus)속에 20종이 분포한다고 보고되어 있으나(Kim, 1988), 국내 소장 표본과 일부 북한산 표본 등을 대상으로 분류 동정한 결과, 뒤영벌에 7아속 21종이 보고되었다(Lee and Dumouhel, 1999). 뒤영벌은 꿀벌 처럼 여왕벌, 일벌, 수벌로 이루어진 기본단위로 봉군을 형성한다(Free, 1993; Duchateau and Velthuis, 1988). 1년에 1세대인 뒤영벌은 가을철에 일벌, 수벌이 차례로 죽고, 교미를 끝낸 신여왕벌만이 땅속에 잠입하여 6~7개월간 휴면하여 이듬해 봄에 땅속에 산란을 하는 생활사를 가진다(Heinrich, 1979; Duchateau and Velthuis, 1988). 뒤영벌은 꿀이 거의 없는 가지과 식물, 특히 토마토, 가지에 효과적이며, 비닐하우스 등 좁은 공간에 대한 적응성이 높은 특징이 있다. 또한 꿀벌에 비하여 저온(5°C) 및 약천후에도 활동성이 높아 방화 활동이 뛰어난 장점을 가지고 있다(Buchmann and Hurley, 1978; Banda and Paxton, 1991; Iwasaki, 1995). 유럽산 뒤영벌은 1987년 북유럽을 중심으로 시설 채소 및 과수 등의 화분매개곤충으로 상품화되어 세계 각국에 판매되기 시작하였다(de Ruijter, 1997; Free, 1993; Masahiro, 2000). 2004년, 전 세계 뒤영벌 생산량은 약 100만 상자로 추정되며 그 중에서 유럽산 *Bombus terrestris* 930,000봉군(93%), 북아메리카의 *B. impatiens* 55,000 봉군(5.5%), 유럽산 *B. lucorum*, 동아시아의 *B. ignitus*, 그리고 북아메리카의 *B. occidentalis* 수천봉군(1.5%)으로 전 세계 239종의 뒤영벌 중에 단지 5종만이 상업적으로 판매되고 있다(Velthuis and van Doorn, 2006).

국내에서는 서양뒤영벌 연중 대량생산기술 이전으

로 2013년 약 8만 봉군이 판매되었으며 이중 87.5%가 자체 생산 판매되었다(Yoon, H. J. 개인자료). 또한 한국산 뒤영벌인 호박벌(*B. ignitus*)은 봉군형성이 비교적 우수하고 화분매개활동 능력이 서양뒤영벌과 같아(Lee *et al.*, 2004), 서양뒤영벌 대체 화분매개곤충으로서 대량증식 및 연중사육방법이 연구되어 오고 있다(Yoon *et al.*, 1999, 2002, 2003, 2012). 이에 본 연구에서는 뒤영벌 대량사육기술을 이용하여 호박벌과 비슷한 생태적 특성을 가진 한국산 삽포로뒤영벌(*B. hypocrita sapporensis*)을 실내에서 대량 증식하고자 산란, 봉군크기, 봉세발달, 교미 등 생태적 특성을 조사하였다.

재료 및 방법

실험곤충 및 사육

실험곤충은 2007년 5월 강원도 정선에서 채집한 삽포로뒤영벌 월동여왕벌(80개체)과 이를 국립농업과학원 농업생물부 화분매개곤충연구실에서 실내 계대 사육한 2세대 삽포로뒤영벌 여왕벌 등을 사용하였다. 월동여왕벌의 채집은 주로 산괴불주머니(*Colidalis speciosa*), 진달래(*Rhododendron mucronulatum*), 왕벚나무(*Prunus yedoensis*)에 방화하는 여왕벌을 포충망으로 채집하였다. 채집된 여왕벌은 40%의 꿀물이 주입된 플라스틱 용기(7×7×5cm)를 이용하여 운반하여 사육 전에 체중을 조사하였다. 실험곤충 사육은 기본적으로 전에 보고된 방법(Yoon *et al.*, 2002)을 사용하였다. 즉 사육환경은 온도 27±1°C, 습도 65±5% R.H., 암조건으로 하였다. 실험곤충은 산란용, 봉군 증식용 및 숙성용 종이상자를 이용하여 사육하였다. 산란용 상자(10.5×14.5×6.5cm)는 채집된 여왕벌을 실내에 정착시켜 산란을 유도하기 위한 것으로 뚜껑에는 5.5×6.5cm의 환기용 망을 만들고, 산란을 쉽게 하기 위하여 화분단자를 넣어 주었다. 첫배의 일벌이 출현하면 봉군 증식용 종이상자(21.0×21.0×15.0cm)로 옮겨서 사육하였고, 일벌이 50마리 이상 출현하면 봉군발달을 위해 봉군 숙성용 종이상자

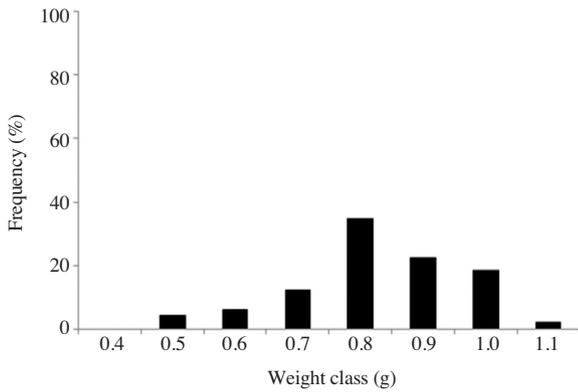


Fig. 1. Weight distribution of foundation queens of collected *B. hypocrita sapporensis*. The number of queens surveyed was 80.

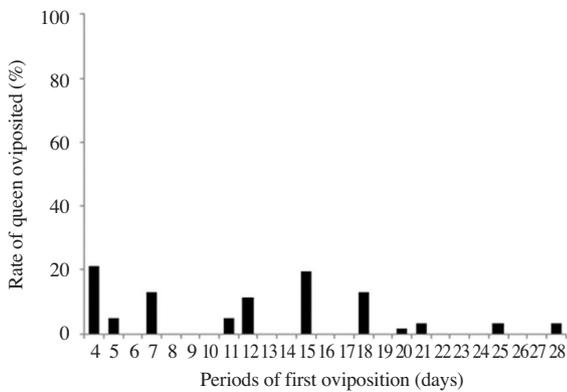


Fig. 2. Distribution of foundation queens of *B. hypocrita sapporensis* by the first oviposition day. The number of queens surveyed was 65.

(24.0×27.0×18.0cm)에 옮겨서 사육하였다. 먹이로는 40%의 설탕물과 화분단자를 공급하였다. 화분단자는 양봉장에서 채취한 신선 화분을 40%의 설탕물로 혼합하여 긴 원통형 소시지 형태로 만든 다음 필요할 때마다 잘라서 난괴 가까이 주었다. 40%의 설탕물은 부패방지를 위하여 0.2%의 sorbic acid를 첨가하였다.

교미는 교미용 상자(55×65×40cm)에 우화 5일째의 여왕벌 1마리당 우화 7일째 수벌 2~3마리의 비율로 넣고 교미를 시켰다. 교미상자 안에는 화분단자와 40% 설탕물을 공급하였고, 상자 내 한쪽 구석에 부엽토로 둔덕을 만들어 여왕벌이 숨을 수 있게 해주고 여왕벌과 수벌의 교미행동을 관찰하였다. 교미환경은 25°C, 65%, 1000lux 이상의 조도(Yoon et al., 2007)로 하였다.

삼포로뒤영벌의 생태적 특성 조사

삼포로뒤영벌의 생태적 특성을 알아보기 위하여, 여왕벌의 체중분포도, 첫산란소요일수별 분포도, 산란특성, 봉세발달, 교미 및 산란된 알의 특성 등을 조사하였다. 여왕벌의 체중분포도는 0.3g에서 1.1g까지 총 8단계로 구분하여 작성하였다. 봉세발달은 산란율, 봉군형성률 및 신여왕출현봉군율, 첫산란소요일수, 봉군형성소요일수, 성충출현소요일수, 창설여왕벌 수명 등으로 조사하였다. 봉군의 크기는 일벌수, 수벌수, 여왕벌수 등 성충출현수로 판단하였다. 첫산란소요일수는 사육 개시 후 첫 산란에 소요된 날짜로 계산하였고, 채집 후 60일이 지나서 산란한 것은 산란성 조사 대상에서 제외시켰다. 일벌, 수벌 및 신여왕벌의 출현소요일수는 채집 여왕벌의 산란일을 기점으로 하여 일벌, 수벌 및 신여왕벌이 첫 출현할 때까지의 일수로 산정하였다. 여왕벌의 생존일수는 산란한 여왕벌의 채집 후 생존일수이고 봉군형성률은 일벌이 50마리 이상 출현한 봉군을 백분율로 계산하였다.

교미특성을 알아보기 위하여 교미시간, 최고 교미시간대, 교미율 및 수벌의 교미능력 등을 조사하였다. 교미시간과 최고 교미 시간대는 오전 9시부터 오후 5시까지 조사하였다. 교미시간은 여왕벌과 수벌이 교미를 시작하여 교미를 마치는 시간으로 계산하였다. 또한 수벌의 교미능력을 확인하기 위하여 교미가 가능한 횟수, 교미시간, 교미율 등을 조사하였다. 한편, 신여왕벌이 만든 육아방의 크기, 난괴 당 알의 수 및 알의 크기 등을 측정하였다. 본 실험의 통계분석을 위하여 One-way ANOVA test와 Chi-square test를 사용하였다(MINITAB Release 13 for Windows, Minitab Inc. 2000).

결과 및 고찰

삼포로뒤영벌의 체중 및 첫산란소요일수

정선의 산괴봉주머니 등에서 채집한 삼포로뒤영벌 여왕벌(80마리)의 체중분포도를 조사한 결과, 0.8g이 34.7%로 가장 많았고, 그 다음 0.9g이 22.4%였으며,

Table 1. Periods of preoviposition and colony foundation of indoor reared *B. hypocrita sapporensis* queens

Preoviposition period (Days)		Preoviposition period (Days)		Preoviposition period (Days)		Periods of colony foundation (Days)	
n	Total	n	Non colony foundation	n	Colony foundation		
61	12.0±6.7	9	18.8±7.0 a	52	10.9±5.9 b	43	49.3±4.7

1) n indicates the number of queens surveyed.

2) Non colony foundation means only egg laying and no emergence of adult bees.

3) Indoor rearing was performed at 27°C under a constant humidity of 65% R.H.

4) There was significant difference in preoviposition non colony foundation and colony foundation at $p<0.0001$ using oneway ANOVA test.

Table 2. Colony development of foundation queen of indoor reared *B. hypocrita sapporensis*

No. of surveyed queen	Rate (%)		
	Oviposition	Colony foundation	Progeny queen production
80	76.3	60.0	42.5

1) n indicates the number of queens surveyed.

1.0g 18.4% 순이었으며, 1.1g도 2.0%나 차지하였다 (Fig. 1). 여왕벌의 평균체중은 0.87 ± 0.14 g이었다. 토종뒤영벌인 호박벌 여왕벌의 평균체중은 0.657 ± 0.095 g(n=200)으로, 체중이 무거운 여왕벌이 적은 여왕벌보다 산란율, 봉군형성률 및 신여왕벌출현율 등 봉세발달이 우수하였다(Yoon *et al.*, 2004b).

채집한 여왕벌의 첫산란소요일수에 따른 분포도를 조사한 결과(Fig. 2), 여왕벌은 실내사육 4일째부터 산란을 하기 시작하여, 늦게는 28일째에도 산란하는 개체가 있었다. 사육 후 4일째가 21.3%로 가장 많이 산란하였고, 그다음 사육 후 15일 19.7%, 사육 후 7일과 18일 각각 13.1% 순이었다. 사육 1주일 이내에 39.3%, 20일 이내에 90.1%가 산란을 하였다. 삽포로뒤영벌 여왕벌의 평균 첫산란소요일수는 12.0 ± 6.7 일이었다 (Table 1). 호박벌의 첫산란소요일수는 6.67 ± 2.08 일로 (Yoon *et al.*, 1999), 삽포로뒤영벌보다 2배 정도 빨랐다. 첫산란소요일수를 봉군형성군과 미봉군형성군으로 나누어 조사한 결과(Table 1), 산란군으로 부터 성충벌이 출현한 봉군형성군의 첫산란소요일수는 10.9 ± 5.9 일인데 반하여, 단지 산란만하고 성충벌이 출현하지 않은 미봉군형성군의 것은 18.8 ± 7.0 일로서 봉군형성군의 첫산란소요일수가 미봉군형성군보다 약 10일정도 빨랐다(Oneway-ANOVA test: $F=13.19$, $df=1, 59$, $p=0.0001$). 한국산 호박벌 역시, 봉군형성군의 첫산란소요일수(5.9 ± 2.5 일)가 미봉군형성군(6.7 ± 2.1 일)보다 약 1일정도 빠른 것으로 보고하였다

(Yoon *et al.*, 1999). Yoon *et al.*(2004a)은 호박벌 여왕벌의 첫산란소요일수가 빠를수록 판매할 수 있는 봉군형성률 및 신여왕벌출현봉군을 등 봉세발달이 우수하다고 보고하였다.

봉군특성

삽포로뒤영벌의 봉군특성 중 하나로 봉세발달을 알아보기 위하여 산란율, 봉군형성률, 신여왕출현봉군을 등 봉세발달을 조사한 결과(Table 2), 산란율 76.3%, 봉군형성률 60.0%, 신여왕출현봉군을 42.5%로 나타났다. 호박벌(n=36)의 경우, 산란율 94.4%, 봉군형성률 86.1%, 신여왕출현봉군을 83.3%로(Yoon *et al.*, 1999), 삽포로뒤영벌보다 봉세발달이 우수한 것을 알 수 있었다. Asada and Ono (2000)는 삽포로뒤영벌의 일본 아종인 *B. hypocrita hypocrita*의 산란율(91%)이 일본산 호박벌(*B. ignitus*)의 산란율(87%)보다 높다고 보고한 바 있다.

산란된 알로부터 첫 성충 출현일수를 Table 3에 나타내었다. 일벌출현소요일수는 22.2 ± 3.0 일이었으며, 수벌출현소요일수는 일벌출현소요일수보다 41일정도 늦은 63.4 ± 6.5 일이었다. 신여왕벌출현일수는 63.5 ± 8.7 일로서 수벌과 거의 비슷하게 출현하였다. Yoon *et al.*(1999)은 실내에서 사육한 호박벌의 첫일벌출현소요일수는 18.9 ± 1.2 일, 수벌출현소요일수 69.0 ± 3.9 일, 신여왕벌출현소요일수는 수벌보다 3일정도 늦은 71.4 ± 6.9 일에 출현한다고 보고하였다. 일본의 *B. h.*

Table 3. Time until the first adult emergence of indoor reared *B. hypocrita sapporensis* queens

Time until first adult emergence (Days)					
n	Worker	n	Male	n	Queen
49	22.2 ± 3.0	46	63.4 ± 6.5	33	63.5 ± 8.7

1) n indicates the number of queens surveyed.

Table 4. Number of adults produced from foundation queen of indoor reared *B. hypocrita sapporensis*

Number of adults produced					
n	Worker	n	Male	n	Queen
47	108.5 ± 26.0	48	186.7 ± 70.7	32	39.1 ± 30.3

1) n indicates the number of queens surveyed.

Table 5 The longevity of queen of the non colony foundation and colony foundation of indoor reared *B. hypocrita sapporensis*

The longevity of queen (Days)					
n	Total	n	Non colony foundation	n	Colony foundation
75	73.1 ± 31.3	22	35.9 ± 30.3	53	90.2 ± 19.9

1) n indicates the number of queens surveyed.

*hypocrita*와 *B. ignitus*의 성충발육기간을 조사한 결과, 일벌: 23.0 ± 2.5일, 24.0 ± 2.3일, 수벌: 25.0 ± 1.1, 26.0 ± 1.4일 및 여왕벌: 28.0 ± 1.1일, 27.0 ± 1.3일로 *B. h. hypocrita*와 *B. ignitus*의 발육일수 간에 다소 차이가 있다고 보고하였다(Asada and Ono, 2000). 일반적으로 뒤영벌의 경우 첫 일벌은 첫 산란 후 16~25일 사이에 출현한다는 보고(Heinrich, 1979)와 일치하였다. 성충으로 출현한 삼포로뒤영벌 여왕벌, 일벌 및 수벌은 체색과 크기에 의해 쉽게 육안으로 구분된다(Fig. 3).

삼포로뒤영벌의 봉군 크기를 살펴본 결과(Fig. 4, Table 4), 화분매개곤충으로서 화분매개효율을 평가하는 중요한 요소인 봉군 당 평균 일벌수는 108.5 ± 26.0마리였으며 수벌수는 186.7 ± 70.7로서 일벌수보다 1.7배 정도 많았다. 새로 출현한 여왕벌수는 평균 39.1 ± 30.3마리였다. 한국산 호박벌의 일벌수 및 여왕벌수는 각각 188.8 ± 18.2마리, 107.9 ± 47.8마리로서 삼포로뒤영벌의 일벌수 및 여왕벌수보다 1.7~2.8배 정도 많았다(Yoon *et al.*, 1999). 일본산 *B. ignitus*의 일벌수(107.6 ± 51.3마리) 역시, *B. h. hypocrita*의 일벌수(45.4 ± 29.4마리)보다 2.4배나 많아(Asada and Ono, 2000), 결론적으로 삼포로뒤영벌의 봉군은 호박벌의 봉군보다 적은 것으로 판단된다. Hannane *et al.*(1997)도 비록 다른 시험조건이기는 하였지만 위의 결과들과 유

사한 경향을 보여주었다. 삼포로뒤영벌과 호박벌의 봉군크기의 차이는 여러 가지 요인이 있겠지만 그 중 하나가 두 종의 분포지역 차이라고 생각된다. 국내에서 삼포로뒤영벌은 북한과 대부분 중북부지역에 분포를 하고, 호박벌은 중부지역과 중북부지역에 분포를 하고 있어(Kim *et al.*, 2002), 삼포로뒤영벌이 호박벌보다 더 추운 아한대지역에 분포하는 것을 알 수 있다. 일본의 *B. h. hypocrita*는 온대지역에서 아한대지역까지 분포하고 있는데 반하여, 일본산 호박벌은 단지 온대지역에 분포하고 있다. 아한대지역의 여름은 가을 또는 겨울로 빠르게 변하기 때문에, *B. h. hypocrita*은 좀 더 넓은 북쪽에 적응하기 위하여 *B. ignitus*보다 빨리 여왕벌을 생산하는 쪽으로 전환한다고 보고하였다(Ito, 1993). 한국산 삼포로뒤영벌(*B. hypocrita sapporensis*)과 일본의 *B. hypocrita hypocrita*의 일벌수로 봉군크기를 간접적으로 비교해 본 결과, 한국산 삼포로뒤영벌의 일벌수가 108.5 ± 26.0마리로서 일본의 *B. hypocrita hypocrita*(45.4 ± 29.4마리)보다 약 2.4배 더 많아, 한국산 삼포로뒤영벌의 봉군크기가 더 큰 것으로 조사되었다. 한국산 삼포로뒤영벌의 봉군이 일본의 *B. hypocrita hypocrita*보다 더 큰 이유가 유전적으로 우수한 종인지, 아니면 먹이 또는 사육기술의 차이 인지에 대해서는 차후 두 종간의 봉세를 재검토할 필

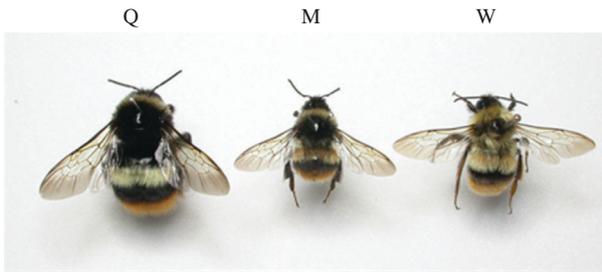


Fig. 3. The queen (Q), male (M), and worker (W) of the bumblebee, *B. hypocrita sapporensis*.



Fig. 4. Colony of the bumblebee, *B. hypocrita sapporensis*.

요가 있다고 판단된다.

채집 여왕벌의 생존일수를 조사한 결과(Table 5), 봉군을 형성한 여왕벌의 경우에는 90.2 ± 19.9 일, 봉군을 형성하지 않은 여왕벌의 생존일수는 35.9 ± 30.3 일로 나타나 봉군을 형성하는 여왕벌이 봉군을 형성하지 않은 여왕벌보다 약 2.5배 정도 수명이 길었다. 이러한 결과로 볼 때, 봉군형성 여부는 여왕벌의 월동조건과 여왕벌의 생존일수는 밀접한 관계가 있는 것으로 생각된다.

교미 및 산란한 알의 특성

삼포로뒤영벌 여왕벌의 교미행동은 Fig. 5에서 보는 바와 같이 수벌이 처녀여왕벌의 복부 등쪽에 앉은 후 다리를 이용 여왕벌의 흉부와 복부를 잡고 교미기를 삽입하여 교미가 이루어진다. Table 6에서 보는 바와 같이, 여왕벌과 수벌의 1회째 교미한 시간은 평균 29.5 ± 9.6 분이었으며, 2회째 교미시간은 39.7 ± 14.2 분, 4회째는 57.0 ± 4.66 분으로 수벌의 교미횟수가 많을수록 교미시간이 길어지는 것이 통계적으로 인정되었



Fig. 5. Copulation of the bumblebee, *B. hypocrita sapporensis*.



Fig. 6. Eggs of *B. hypocrita sapporensis*.

다(Oneway-ANOVA test: $F=9.62$, $df=3, 83$, $p=0.0001$). 삼포로뒤영벌 수벌은 5번까지 교미하는 것이 확인되었다. 오전 9시부터 오후 5시까지 교미가 가장 많이 이루어지는 시간대를 조사한 결과(Table 6), 1회째 교미는 오전 11시, 2회째 교미는 오전 10시, 3~5회째는 오전 9시경이었다. 결과적으로 삼포로뒤영벌의 교미는 대부분 오전 9~11시 사이에 이루어져 이 시간대가 최고 교미시간대임을 알 수 있었다. 교미횟수에 따른 교미율을 Table 6에 나타내었다. 1회째 교미율 56.9%, 2회째 교미율 20.6%, 3회째 교미율 2.9%로 교미횟수가 많을수록 교미율이 현저하게 낮아지는 것이 통계적으로 확인되었다(Chi-square test: $\chi^2=123.168$, $df=3$, $p=0.0001$). 토중호박벌의 1회째 평균 교미시간은 23.0 ± 7.3 분이었다(Yoon *et al.*, 1999).

삼포로여왕벌이 산란한 첫 육아방의 크기는 단경 5.36 ± 0.40 mm, 장경 5.90 ± 0.63 mm, 높이 $4.53 \pm$

Table 6. Mating periods and mating peak time at the number of mating times of indoor reared *B. hypocrita sapporensis* queens

	n	1 time	n	2 time	n	3 time	n	4 time	n	5 time
Mating time (min)	52	29.5 ± 9.6c	24	39.7 ± 14.2b	7	39.4 ± 17.7abc	4	57.0 ± 14.6a	1	35
Mating peak (hr)	52	11:08 ± 1:51	24	10:00 ± 1:38	7	9:39 ± 1:50	4	9:25 ± 0:50	1	9:20
Mating rate (%)	102	56.9	102	20.6	102	2.9	102	2.0		

1) n indicates the number of queens surveyed.

2) Mating time was investigated from 9:00 to 17:00.

3) There were significant differences in mating periods at the number of mating times and mating rate at $p < 0.0001$ using oneway ANOVA test.

Table 7. First egg cell sizes of indoor reared *B. hypocrita sapporensis* queens

Sizes of egg cell			
n	Width (mm)	Length (mm)	Height (mm)
10	5.36 ± 0.40	5.90 ± 0.63	4.53 ± 0.40

Table 8. Number of eggs per egg cell and sizes of egg of indoor reared *B. hypocrita sapporensis* queens

n	No. of egg/egg cell	Sizes of egg			
		n	Width (mm)	Length (mm)	Height (mm)
15	9.3 ± 2.3	95	1.12 ± 0.10	3.54 ± 0.16	2.26 ± 0.34

0.40mm으로서(Table 7), 호박벌의 첫 육아방(단경 7.15 ± 0.88mm, 장경 7.79 ± 1.11mm, 높이 3.33 ± 0.22mm, Yoon *et al.*, 1999)보다 다소 작았다. 알의 특성을 조사한 결과, 알은 유백색의 바나나모양으로 난괴 속에 수평으로 가지런히 산란되어 있었고(Fig. 6), 난괴 당 평균 9.3 ± 2.3개의 알이 들어 있었다(Table 8). 알의 크기는 단경 1.12 ± 0.10 mm, 장경 3.54 ± 0.16mm, 무게 2.26 ± 0.34mg이었다(Table 8). 호박벌의 경우, 난괴 당 8.7 ± 4.0개의 알이 있었고, 알의 크기는 단경 1.22 ± 0.09mm, 장경 3.51 ± 0.21mm, 무게 2.26 ± 0.34mg으로 (Yoon *et al.*, 1999), 삽포로뒤영벌과 큰 차이는 없었다.

이상의 결과들로 볼 때, 비록 한국산 호박벌보다 봉군크기가 다소 작지만 일본산 호박벌과 *B. hypocrita hypocrita*보다 봉군의 크기가 크고 산란율, 봉군형성률 및 신여왕출현봉군율을 등 봉세발달이 좋음을 알 수 있었다. 따라서 삽포로뒤영벌을 실내에서 연중 대량 사육 할 수 있는 기술을 개발한다면 호박벌 다음으로 국내에 서식하는 화분매개곤충으로 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

rensis) 월동여왕벌을 가지고 27°C, 65%에서 실내사육 하면서 생태적 특성을 조사한 결과, 여왕벌의 평균체중은 0.87 ± 0.14g이었으며, 0.8g이 34.7%로 가장 많았다. 봉세발달 조사 결과, 산란율 76.3%, 봉군형성률 60.0% 및 신여왕출현봉군율은 42.5%이었다. 첫산란 소요일수는 12.0 ± 6.7일, 봉군형성소요일수는 49.3 ± 2.4일이었다. 산란된 알로부터 첫 성충소요일수를 조사한 결과, 일벌출현소요일수 22.2 ± 3.0일, 수벌출현출현소요일수 63.4 ± 6.5일 및 신여왕벌출현소요일수는 63.5 ± 8.7일이었다. 봉군크기를 조사한 결과, 일벌수 108.5 ± 26.0마리, 수벌수 186.7 ± 70.7마리 및 여왕벌수 39.1 ± 30.3마리이었다. 1회째 평균 교미시간은 29.5 ± 9.6분으로 수벌의 교미횟수가 많을수록 교미시간이 길어졌다. 여왕벌이 산란한 난괴의 크기는 단경 5.36 ± 0.40mm, 장경 5.90 ± 0.63mm, 높이는 4.53 ± 0.40mm이었다. 난괴 당 알의 수는 평균 9.3 ± 2.3개이었으며 알의 크기는 단경 1.12 ± 0.10mm, 장경 3.54 ± 0.16mm, 무게 2.26 ± 0.34mg으로 바나나 모양이었다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ01005104)의 지원에 의

적 요

채집된 한국산 삽포로뒤영벌(*B. hypocrita sappo-*

해 이루어진 것입니다.

인용문헌

- Asada, S. and M. Ono. 2000. Difference in colony development of two Japanese bumblebee, *Bombus hypocrita* and *B. ignitus* (Hymenoptera; Apidae). Appl. Entomol. Zool. 35: 597 603.
- Banda, H. J. and R. J. Paxon. 1991. Pollination of greenhouse tomatoes by bees. Acta Hort. 288: 194 198.
- Buchmann, St. L. and J. P. Hurlley. 1978. A biophysical model for buzz pollination in angiosperms. J. Theor. Biol. 72: 639 657.
- 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.
- de Ruijter, A. 1997. Commercial bumblebee rearing and its implications Proc, 7th Int. Symp. Pollination, Acat Hort. 437: 261 269.
- Duchateau, M. J. and H. W. Velthuis. 1988. Development and reproductive strategies in *Bombus terrestris* colonies. Behavior. 107: 186 207.
- Free, J. B. 1993. Insect pollination of crops. 2nd ed., 684 pp. Academic Press, London.
- Greenleaf, S. and C. Kremen. 2006. Wild bee species increase tomato production but respond differently to surrounding land use in Northern California. Biol. Conserv. 133: 81 87.
- Hannan, M. A., Y. Maeta and K. Hoshikawa. 1997. Colony development of two species of Japanese bumblebees *Bombus (Bombus) ignitus* and *Bombus (Bombus) hypocrita* reared under artificial condition (Hymenoptera: Apidae). Jpn. J. Entomol. 65: 343 354.
- Hannan, M. A., Y. Maeta and K. Hoshikawa. 1998. Feeding behavior and food consumption in *Bombus (Bombus) ignitus* under artificial condition (Hymenoptera: Apidae). Entomol. Sci. 1: 27 32.
- Heinrich, B. 1979. Bumblebee economics. pp. 207 213. Harvard University Press. Cambridge, Massa.
- Ito, M. 1993. Chronological note on Japanese bumblebees and classification of Bombinae (Hymenoptera, Apidae). In Evolution of Insect Societies (T. Inoue and S. Yamane eds.). Hakuin sha, Tokyo, pp 75 92 (in Japanese).
- Iwasaki, M. 1995. Introduction of commercial bumblebees into Japan. Honeybee Sci. 16: 17 21.
- Kim, C. W. 1988. A systematic reexamination of the bumblebees and cuckoo bees from Korea (Hymenoptera, Bombidae). National Aca. Sci. (Natural science) 27: 43 81.
- Kim, S. E., H. J. Yoon, H. S. Lee, S. B. Lee and I. G. Park. 2002. Occuring season of overwintered bumblebee queens in Korea and their visiting flowers. Korean J. Appl. Entomol. 41: 191 197.
- Lee, S. H., H. S. Sim, Y. S. Kim, H. J. Yoon, S. E. Kim, J. W. Kim, N. G. Ha and S. R. Kim. 2004. The comparison of foraging activity and life span of *Bombus ignitus* S. and *B. terrestris* L. in cherry tomato houses. Korean J. Api. 19: 27 36.
- Lee, S. H. and L. Dumouchel. 1999. Taxonomic review of Genus *Bombus* (Hymenoptera, Apidae) from Korea. Ins. Koreana, 16: 77 101.
- Masahiro, M. 2000. Pollination of crops with bumblebee colonies in Japan. Honeybee Sci. 21: 17 25.
- Michener, C. D. 2000. The bees of the world. Baltimore: JohnsHopkins University Press, pp. 913.
- Minitab incorporated company. 2000. Minitab user's guide, Minitab inc. USA.
- Morandin, L. A. and M. L. Winston. 2005. Wild bee abundance and seed production in conventional, organic, and genetically modified canola. Ecol. Appl. 15: 871 881.
- Velthuis, H. H. W. and A. van Doorn. 2006. A century of advances in bumblebee domestication and the economic and environmental aspects of its commercialization for pollination. Apidologie 37: 421 451.
- Williams, P. H. 1998. An annotated checklist of bumble bees with an analysis of patterns of description (Hymenoptera: Apidae, Bombini). Bull. Nat. Hist. Mus. (Ent.) 67: 79 152.
- Winfree, R., T. Griswold. and C. Kremen. 2007. Effect of human disturbance on bee communities in a forested ecosystem. Conserv. Biol. 21: 213 223.
- Yoon, H. J., Y. I. Mah, M. Y. Lee. I. G. Park and M. Bilinski. 1999. Ecological characteristics of *Bombus ignitus* Smith in Korea. Korean J. Appl. Entomol. 38: 101 107.
- Yoon, H. J. and S. E. Kim. 2002. Facilitating effect of helpers on oviposition and colony development of bumblebee queen, *Bombus ignitus*. Korean J. Appl. Entomol. 41: 239 245.
- Yoon, H. J., S. E. Kim, S. B. Lee and I. G. Park. 2003. Effect of CO₂ treatment on oviposition and colony development of the bumblebee, *Bombus ignitus*. Korean J. Appl. Entomol. 42: 139 144.
- Yoon, H. J., S. E. Kim, Y. S. Kim and S. B. Lee. 2004a. Colony developmental characteristics of the bumblebee queen, *Bombus ignitus* by the first oviposition day. Int. J. Indust. Entomol. 8: 139 143.
- Yoon, H. J., S. E. Kim, I. G. Park, S. B. Lee and M. Y. Lee. 2004b. Developmental characteristics of Korean native bumblebee, *Bombus ignitus*, according to collected regions. Korean J. Api. 16: 121 128.
- Yoon, H. J., K. Y. Lee, M. A. Kim, S. M. Han and I. G. Park. 2012. Breeding of th Korean Native Bumblebee, *Bombus ignitus*. Korean Api. 27: 179 186.