



# 토종꿀벌 (*Apis cerana* F. var. Hallabeol) 낭충봉아부패병 저항성 품종 한라벌의 형질 특성

최용수\*, 강은진, 박희근, 올가프룬제

국립농업과학원 농업생물부 잠사양봉소재과

## Morphological and Behavioral Characteristics of Hallabeol (*Apis cerana* F. var. Hallabeol) (Hymenoptera: Apidae) Resistant to Sacbrood Virus Disease

Yong-Soo Choi\*, Eun-Jin Kang, Hee-geun Park and Olga Frunze

Sericultural & Apicultural Materials Division, Department Agricultural Biology, NIAS, R.D.A. 55365 Republic of Korea

### Abstract

Sacbrood virus (SBV), a causative agent of larval death and colony collapse in *Apis cerana* F. honeybee, is prevalent and poses one of the most significant threats to the South Korea. Thus, development of new germ line against to this viral disease is urgently needed. In this study we bred a new germ line against sacbrood disease. A comparison of the morphological analysis of the new germ line of *A. cerana* (named hallabeol which has resistance to the sacbrood disease was overall longer in body, abdomen, and wing; and wider in head and wing, whereas antenna was shorter compared to typical *A. cerana*. The assay for hygienic behavior by pin-killing method to determine the resistance to sacbrood disease showed that the ratio of total elimination of dead pupae was about 69% in hallabeol for 24 hrs, showing 11% higher activity compared to control. Artificial inoculation of SBV to 3,877 healthy pupae maintained to approximately 3,592 cases 45 days after infection in hallabeol, whereas the number of capped pupae in typical *A. cerana* decreased dramatically from 4,061 cases to 125, indicating no occurrence of the disease in hallabeol. The number of worker bees infected decreased from about 6,184 to 3,592 45 days after infection in hallabeol worker bees, whereas the non-resistant *A. cerana* worker bees decreased from 6,260 to 1,625 hallabeol could collect 20.7 mg of nectar per bee, indicating 12.6% of increase than normal *A. cerana*.

### Keywords

*Apis cerana*, Bee-breeding, Brood disease, Sacbrood virus

## 서 론

*Apis cerana* Fabricius (Hymenoptera: Apidae)는 전 세계에서 가축화 하여 사육하고 있는 꿀벌(honeybee) 종들(species) 중 아시아권 국가에서 사육하고 있는 것으로 주로 벌꿀을 생산하면서 생태계의 식물화분매개 활동을 통해 생물다양성을 유지하는 중요한 역할을 담당하고 있다

(Corlett, 2004). 우리나라의 토종꿀벌은 기록(삼국유사)에 의하면 약 3,000여 년 전부터 사육한 기록이 있는 꿀벌 종으로써 수 천년동안 우리나라 자연 생태계를 유지 보전하는데 중요한 역할을 담당해 왔었다. 그러나 2009년에 최초 진단된 낭충봉아부패병(Sacbrood Disease, SD)에 의하여 국내 토종꿀벌(*A. cerana* F.) 개체 수가 급감하였다(Choi *et al.*, 2010) 낭충봉아부패병은 동양종꿀벌(*A.*

*cerana*)에 치명적인 바이러스(Sacbrood virus)성 질병으로 토종꿀벌 사육농가 주장에 의하면 2009년부터 2011년까지 약 90% 이상의 토종꿀벌이 폐사하였으며, 동일한 질병이 중국, 인도, 태국, 베트남 등의 아시아 국가에서도 발생하여 90% 이상 폐사하였다는 보고가 있다(Rana *et al.*, 1986; Choi *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2010; Nguyen and Le, 2013; Jung and Cho, 2015; Theisen-Jones and Bienefeld, 2016). 낭충봉아부패병은 Sacbrood virus에 의해 발생한다. Sacbrood virus는 단일가닥 RNA바이러스로 Iflavirus 속에 포함되는 바이러스이며(Baker and Schroeder, 2008) 유충이 썩는 병징을 보이면서 대부분 폐사하는 질병이다(Bailey *et al.*, 1964; Chen *et al.*, 2004). 이러한 낭충봉아부패병이 토종꿀벌에 발병하면 응급조치로 여왕벌을 격리(Queen caging)하여 바이러스의 숙주인 유충의 산란을 막는 방법이 있으며 심한 경우 새로운 여왕벌을 생산하여 교체하는 방법(Toan *et al.*, 2014)이나 Double-strand RNA를 이용한 바이러스 유전자 복제를 간섭하는 방법(Liu *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2016)을 이용하고 약제 등의 방제 방법으로는 은이온이나 허브식물 추출물을 이용하여 바이러스병 발생을 예방하는 방법(Ahn *et al.*, 2015; Aruna *et al.*, 2017)이 있다. 그러나 토종꿀벌의 생리·생태를 이용하는 방법과 약제를 이용한 방제 방법은 일시적인 효과는 있으나 근원적인 바이러스 증식억제에는 효과가 없었다. 또한 토종꿀벌은 사육특성 및 생산물 생산방법이 서양종꿀벌(*Apis mellifera*)과 상이한 부분이 있다. 생리·생태적 특성상 과다한 약제의 사용 시 약제의 특성에 따라 토종꿀벌이 벌집을 버리고 도거하는 현상이 발생하여 봉군 손실을 유발하기도 하며, 일반적으로 토종꿀벌을 사육하는 농가에서는 주 생산물인 토종꿀을 1년에 1회 생산하기 때문에 약제의 사용에 의한 생산물 잔류 문제 등이 발생할 수 있는 등 약제사용에 의한 방제는 적용하기 어려운 점이 있었다. 따라서 약제를 사용하지 않고 근원적으로 낭충봉아부패병을 극복하여 토종꿀벌봉군이 회복하기 위해서는 낭충봉아부패병에 저항성을 가지는 품종의 육종이 가장 중요한 방법이라고 할 수 있다(Vung *et al.*, 2020).

일반적으로, 사회적 곤충은 군집의 생리·생태적 특성에 의하여 각종 질병에 저항하는 능력을 보이거나 각각의 개체별 면역 관련 유전자 발현량의 차이에 따라 병해충에 대한 저항성의 차이를 보인다고 보고되었다(Evans,

2004; Siva-Jothy *et al.*, 2005; Evans *et al.*, 2006). 특히, 이러한 꿀벌을 품종으로 육성하였을 때 발현되는 특이 유전자의 종류와 영향에 대한 연구가 필요하다. 동물을 비롯한 곤충의 경우, 외부의 자극(산화물질, 병원체, 기후변화 등)에 의하여 각각 개체별로 외부 자극에 대응하기 위한 유전자의 발현이 조절된다는 보고가 있다(Choi *et al.*, 2008). 꿀벌의 경우에도 질병의 감염 등과 같은 외부자극에 민감하게 반응하여 다수의 유전자가 발현되어 그들의 방어 체계를 구축하거나 항상성을 유지하기 위한 목적으로 유전자가 발현 조절되는 경우가 있다(McMenamin *et al.*, 2018). 따라서 질병에 대한 저항성을 보이는 품종의 유전적 특성을 확인하기 위하여 각각의 품종별 유전자 발현 조절 기작을 확인하는 것이 중요하다. 일반적으로 봉군 내의 일벌 개체 수가 증가하는 이유는 산란 공간이 충분한 경우와 일벌의 수명이 길어질 때 확연하게 차이가 나는데, 이러한 일벌의 수명에 관여하는 유전자가 사회적 곤충인 꿀벌의 경우에는 vitellogenin(난황단백질)의 발현량이 많을 때 수명이 길어지는 효과가 있음이 알려져 있다(Gro *et al.*, 2011). 이처럼 꿀벌과 같은 사회적 곤충의 경우 특이 유전자의 발현이 군집을 유지하거나 군집 내 계급별 역할 분담 등 다양한 생리·생태적 특성을 나타내게 하는 특징이 있다. 토종꿀벌의 경우에도 낭충봉아부패병에 저항성을 가지기 위해서는 특이 유전자의 발현 조절이 필요할 것으로 보인다.

농촌진흥청에서는 토종꿀벌 낭충봉아부패병에 저항성을 가지는 토종꿀벌을 육성하여 원종인 한라벌과 교배종인 백두벌 두 품종을 등록하여 2019년부터 원종인 한라벌을 전국에 보급 중이다. 이 신품종은 토종꿀벌 낭충봉아부패병 바이러스를 인공적으로 감염시켜도 질병이 발생하지 않는 특성을 가진 것으로 확인되었다(Vung *et al.*, 2020). 따라서 본 연구에서는 이러한 낭충봉아부패병 저항성 품종이 가지고 있는 외형적 특성을 구명하여 불량 품종의 유통을 막고 한라벌의 형질특성을 분석하여 낭충봉아부패병 저항성 품종(한라벌)의 안정적인 보급 기반을 만들고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 토종꿀벌(*Apis cerana* F.) 봉군

시험에 사용된 토종꿀벌은 농촌진흥청 국립농업과학원

에서 2009년부터 2017년까지 선발 육성된 낭충봉아부패병 저항성 신품종인 한라벌을 이용하였으며, 농가에서 구입한 비저항성 품종을 대조군으로 사용하였다. 각각의 봉군은 국립농업과학원 실험양봉장에서 사육하면서 외형적 특성 및 형질특성을 분석하는데 이용하였다.

## 2. 외부형질 특성 분석(Morphological analysis)

낭충봉아부패병 저항성 신품종 토종꿀벌인 한라벌의 외형적 특성 분석을 위하여 한라벌과 농가에서 사육 중인 토종꿀벌 각 4봉군에서 각각 60마리의 일벌을 채집하여 95% EtOH에 보관 후 외부 형질 부위별로 Leica MZ 16A (Leica application suite)을 이용하여 LAS program으로 측정하였다. 외부형질 특성 비교를 위하여 Ruttner (1988)에서 설명한 외부형질로 체장(BL: body length), 배길이(AL: abdominal length), 몸통 폭(AW: abdominal width), 머리 길이(HH: head height), 머리 폭(HW: head width), 안테나 길이(AL: antennal length), 앞날개 길이(FWL: forewing length), 앞날개 폭(FWW: forewing width), 뒷날개 길이(HWL: hindwing length), 뒷날개 폭(HWW: hindwing width), 날개 고리 수(WH: wing-hooks), 허벅지 마디 길이(FL: femur length), 뒷다리 종아리 마디 길이(TL: tibia length), 화분받이 길이(BL: basitarsus length), 화분받이 폭(BW: basitarsus width)을 측정하였다.

## 3. 청소행동 특성 비교(Hygenic behavior by Pin kill test)

신규육성 품종의 질병저항성 검증을 위한 방법으로 pin kill test 방법을 사용하였다. 시험을 위하여 낭충봉아부패병 저항성 신품종 토종꿀벌(한라벌)과 농가 관행 사육 토종꿀벌은 각각 3봉군씩 3회 조사하였다. 시험용 봉군은 개량벌통에서 사육하는 토종꿀벌로 먹이장 1매, 산란 소비 3매로 구성된 봉군의 일벌 수를 동일한 수준으로 맞추어 시험하였다. Pin kill test는 100개의 봉개된 번데기 방을 핀으로 찢어서 죽인 후 24시간 경과 후 번데기 방을 완전히 청소한 비율을 측정하였다.

## 4. 바이러스 인공감염

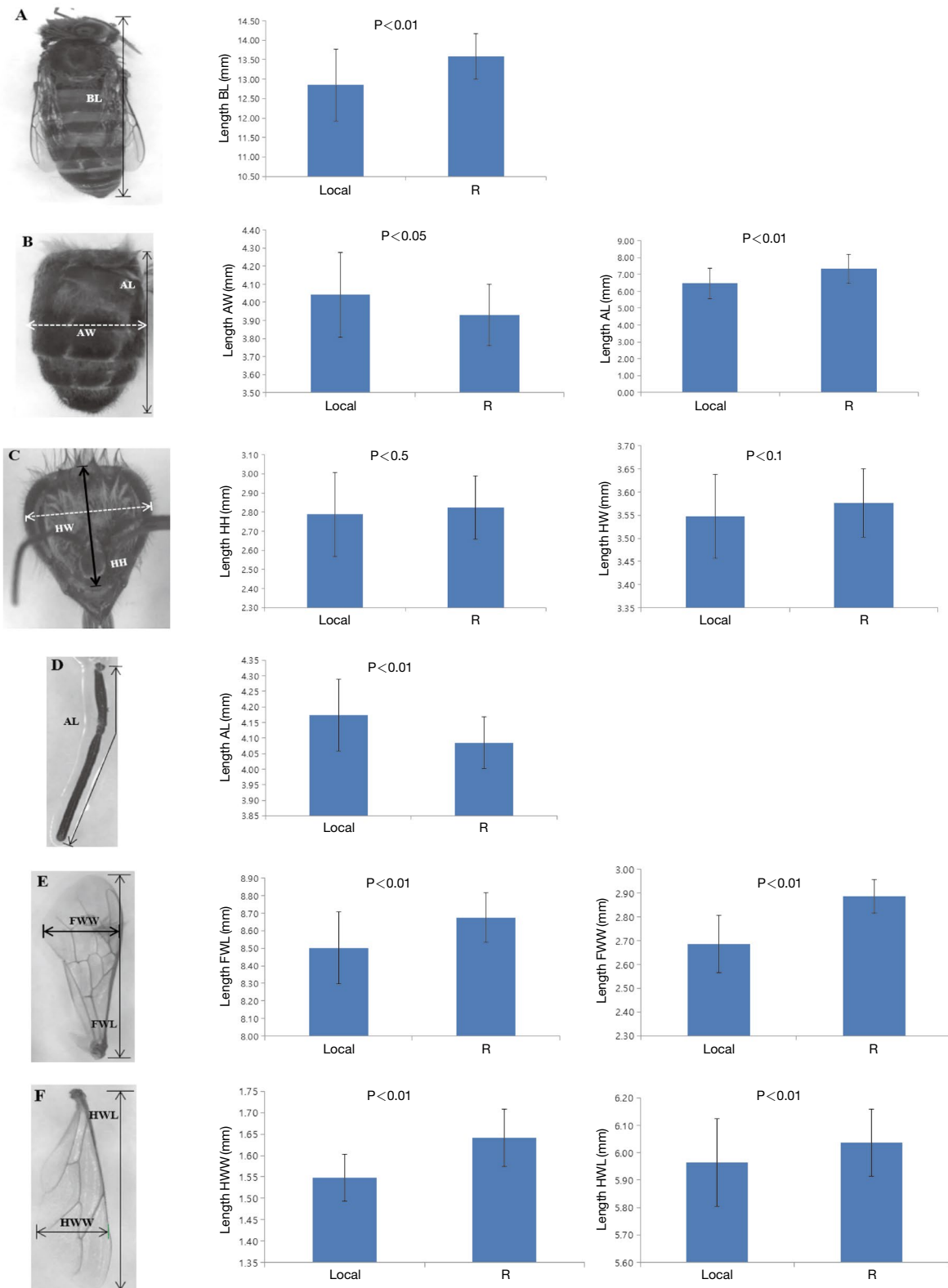
토종꿀벌 낭충봉아부패병 저항성 신품종(한라벌)의 낭충봉아부패병에 대한 저항성 시험을 위하여 낭충봉아부

패병 바이러스가 감염된 유충을 채집하여 낭충봉아부패병 바이러스 유전자의 정량 분석을 위하여 시료는 Trizol을 이용하여 total RNA를 분리하였다. 시료를 액체질소로 동결 마쇄한 후 200  $\mu$ L chloroform과 Trizol 1 mL을 100 mg의 시료와 섞은 후 15초간 vortex 하고 실온에 2~3분간 반응하였다. 반응 후 시료를 12,000  $\times$ g, 15분간 4°C 조건에서 원심분리하고 상층액을 분리하여 500  $\mu$ L isopropanol과 섞어서 실온에 10분간 반응 후 12,000  $\times$ g, 15분간 4°C 조건에서 다시 원심분리한 후 pellet을 80% EtOH로 washing 한다. 최종 pellet은 DEPC water에 녹여서 cDNA 합성에 이용하였다. cDNA 합성은 추출한 total RNA를 주형으로 oligo dT primer를 이용하여 PrimeScript II 1<sup>st</sup> strand cDNA Synthesis kit로 65°C, 5분간 반응 후 얼음에 급냉 한 후 42°C, 60분간 cDNA를 합성하였다. 합성된 cDNA는 낭충봉아부패병 바이러스(SBV) 유전자를 증폭시키기 위하여 주형으로 사용되었으며, Forward primer 5'-GAC CAA GAA GGG AAT CAG-3', Reverse primer 5'-CAT CTT CTT TAG CAC CAG TAT CCA-3'를 이용하여 낭충봉아부패병(Sacbrood virus disease) 바이러스 유전자의 발현량을 측정하였고 control 유전자로는  $\beta$ -actin 유전자를 이용하였다. qPCR은 최종 부피가 25  $\mu$ L가 되도록 10 pmol 농도의 primer, 1  $\times$  SYBR Green (Applied Biosystems), 1<sup>st</sup> strand cDNA 1  $\mu$ L를 섞어서 반응시켰다. 반응 최종 결과의 Ct 값 분석을 통해 바이러스를 정량 분석하여 (Applied Biosystems, user bulletin #2) 1  $\times$  10<sup>6</sup>/mL의 농도로 봉군당 50 mL을 벌집에 스프레이하여 인공감염 시험을 하였다.

## 5. 수밀력 비교(Honey production)

토종꿀벌 낭충봉아부패병 저항성 신품종(한라벌)의 수밀력 우수성을 비교하기 위하여 한라벌과 농가에서 관행적으로 사육하고 있는 봉군에서 유밀기(2019년 5월)에 화밀(nectar)을 수집하기 위하여 나가는 일벌 100마리와 수집 후 들어오는 일벌 100마리를 채집하여 무게 차를 측정하였다.

$$\begin{aligned} & (\text{들어오는 일벌무게} - \text{나가는 일벌무게}) \div 100 \\ & = \text{일벌 마리당 수밀력} \end{aligned}$$



**Fig. 1.** Body parts of worker bees used for measuring morphometric characters. BL: body length, AL: abdominal length, AW: abdominal width, HH: head height, HW: head width, AL: antennal length, FWL: forewing length, FWW: forewing width, HWL: hindwing length, HWW: hindwing width, WH: wing-hooks, FL: femur length, TL: tibia length, BL: basitarsus length, BW: barsitarsus width. Local: Normal *A. cerana* from beekeepers, R: hallabeel. Bar is Standard deviation (SD).

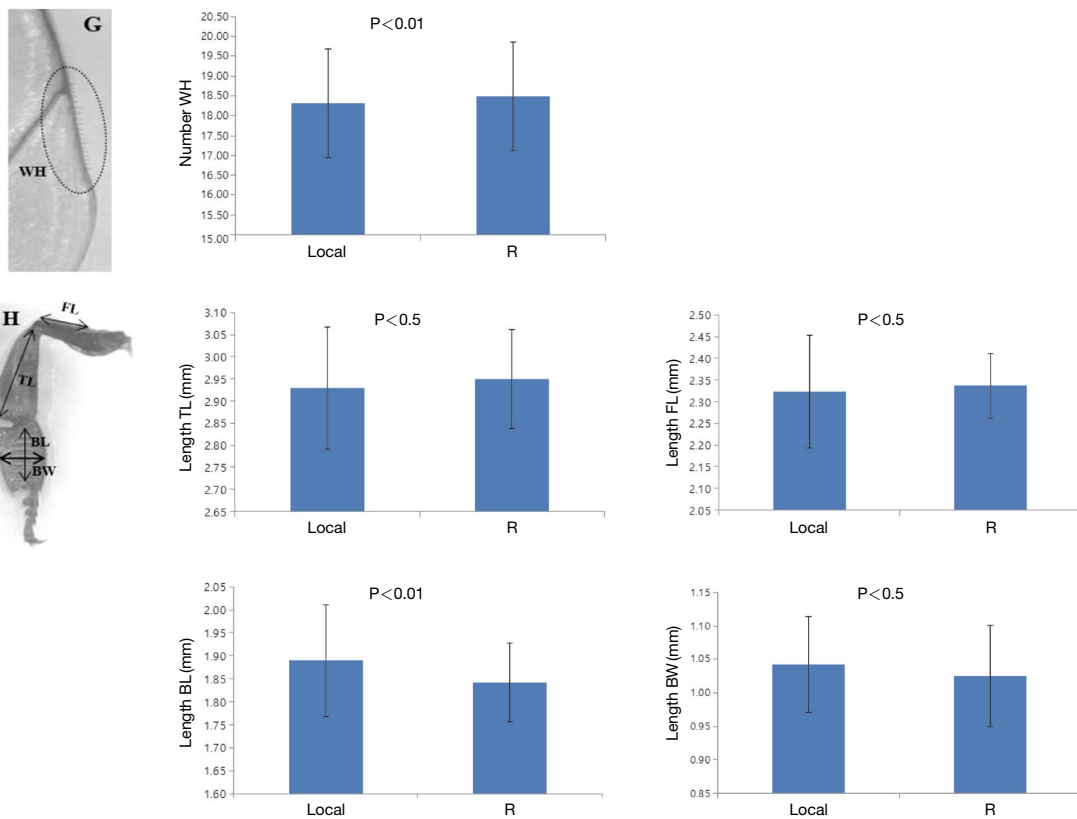


Fig. 1. Continued.

## 결과 및 고찰

### 1. 낭충봉아부패병 (SD) 저항성 품종 (한라벌) 외형적 특성

낭충봉아부패병에 대한 저항성을 보유하고 있는 신품종 토종꿀벌의 외형적 특성을 농가에서 관행적으로 사육하는 토종꿀벌과 비교한 결과, 전체적인 평균 체장은 일반 토종꿀벌 (Local) 12.85 mm 대비 저항성 신품종 (한라벌, R)은 13.59 mm로 상대적으로 길고 배 길이는 Local 6.47 mm, R 7.33 mm로 상대적으로 길고 배 폭은 Local 4.04 mm, R 3.93 mm, 머리 폭 3.55 mm, 3.58 mm, 머리 길이 2.79 mm, 2.82 mm, 안테나 길이 4.17 mm, 4.08 mm, 겹날개 길이 8.50 mm, 8.67 mm, 겹날개 폭 2.69 mm, 2.89 mm, 속날개 길이 5.96 mm, 6.04 mm, 속날개 폭 1.55 mm, 1.64 mm, 날개 폭 수 18.31개, 18.49개, 뒷다리 대퇴골 길이 2.32 mm, 2.34 mm, 경골 길이 2.93 mm, 2.95 mm, 발목 길이 1.89 mm, 1.84 mm, 발목 폭 1.04 mm, 1.03 mm로 확인되었다 (Fig. 1). 낭충봉아부패병 저항성 신품종은 전체적인 체장, 배길이, 머리 폭, 날개

의 길이 및 폭이 긴 특징을 가지고 있으며, 상대적으로 안테나의 길이는 짧은 것이 특징이다.

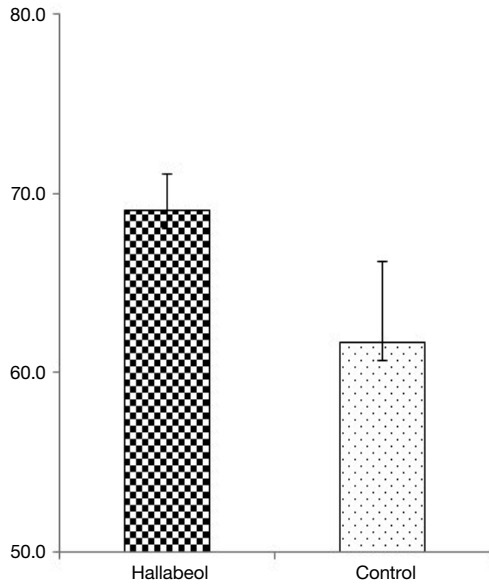
### 2. 낭충봉아부패병 (SD) 저항성 신품종 청소행동 특성 (Hygienic behavior)

꿀벌의 질병에 대한 저항성 여부를 확인하기 위한 방법으로 죽은 유충의 제거능력인 청소행동 특성을 비교하는 방법이 있다 (Gilliam *et al.*, 1983; Palacio *et al.*, 2000; Spivak and Reuter, 2001). 본 연구에서는 이러한 질병 저항성을 판단할 수 있는 청소행동 특성을 비교하기 위하여 pin kill test를 실시한 결과, 낭충봉아부패병 저항성 신품종 (한라벌)의 경우에는 24시간 후 약 69%의 비율로 죽은 번데기 사충을 완전 제거하는 것으로 확인되었고 농가 관행 사육 토종꿀벌이 61.7%인 것과 대비하여 약 11% 정도 청소행동력이 우수한 것을 확인하였다 (Fig. 2). 48시간 이후에는 두 계통이 모두 100%에 가까운 청소행동을 보였다. 낭충봉아부패병은 꿀벌의 유충이 숙주이기 때문에 초기 감염 숙주를 제거하는 것이 질병 저항성의 가장 중요한

특성이다. 따라서 본 연구결과에 따르면, 신규육성 토종꿀벌인 한라벌은 초기 청소행동 특성이 일반 토종꿀벌 대비 우수하여 낭충봉아부패병을 비롯한 기타 질병의 확산을 예방하여 봉군이 폐사하는 것을 예방하는 능력이 우수한 것으로 기대된다.

### 3. 낭충봉아부패병 (SD) 바이러스 인공감염 봉군 발육

낭충봉아부패병 저항성 신품종의 가장 중요한 형질 특성인 낭충봉아부패병에 대한 저항성 여부를 확인하기 위하여 인위적으로 낭충봉아부패병 바이러스를 감염시켜서 병징의 발생 유무를 확인한 결과, 저항성 신품종(한라벌)



**Fig. 2.** Proportions of pin-killed pupae that were removed over time (24 hrs) by workers in the colonies of *Apis cerana* (hallabeol and control). Bar is Standard deviation (SD). (Significant difference at the  $P < 0.01$  level).

은 낭충봉아부패병 바이러스 감염 전에 번데기방의 수가 약 3,877개에서 바이러스 인공감염 45일 경과 후에도 약 3,592개를 유지하여 유충 단계에서 질병 발생이 없었음을 알 수 있다. 그러나 농가에서 사육하는 일반 토종꿀벌의 경우 인공감염 전 4,061개의 번데기 방이 인공감염 45일 경과 후 번데기방이 125개로 유충의 감소가 급격하게 발생하였다(Table 1). 이러한 감염시험에 사용된 봉군의 일별 수 변동률 또한 한라벌의 경우에는 인공감염 전 일별 수가 6,184마리에서 인공감염 45일 경과 후 6,344마리를 유지하는 것을 확인하였다. 이와 대조적으로 저항성이 없는 농가 사육 일반 품종에서는 감염 전 평균 6,260마리였던 일별이 감염 후 1,625마리로 감소하였다(Table 2). 이는 Table 1에서 확인된 바와 같이 유충이 부패하여 죽는 질병인 낭충봉아부패병을 유발하는 낭충봉아부패병 바이러스에 의하여 유충이 번데기가 되지 못하여 번데기 방의 수가 급격하게 감소하고 번데기에서 일벌 성충으로 우화하는 비율이 낮아진 결과이다. 따라서 토종꿀벌 낭충봉아부패병 바이러스에 저항성을 가지는 신품종 한라벌은 낭충봉아부패병이 유충기에 발생하지 않고 번데기를 거쳐 일벌로 우화하는 것을 확인하였다. 그 결과, 신규육성 토종꿀벌 품종인 한라벌은 낭충봉아부패병 바이러스에 감염되어 병징을 보이지 않으며, 이로 인한 봉군 폐사는 확인되지 않았다. 지난 2009년 이후 낭충봉아부패병 바이러스의 확산으로 토종꿀벌의 개체수가 약 2년 동안 농가 주장에 의하면 90% 이상, 농식품부 기타가축 통계에 의하면 75% 이상이 급격하게 감소하였으며 이후 농촌진흥청에서 보급한 우수여왕벌 양성 기술 및 개량벌통 사용 농가의 증가로 감소 추세는 줄었으나 지속적인 질병 확산으로 증식된 토종꿀벌) 봉군수와 유사하게 폐사하는 악순환이 연속되고 있는 상황에서 낭충봉아부패병 저항성 품종

**Table 1.** The average number of pupa before and after SBV propagation

Line	Before SBV infection (mean ± S.E) <sup>1</sup>	After SBV infection (mean ± S.E)		
		15 days	30 days	45 days
Hallabeol	3877 ± 111.8a	2574 ± 123.0a	2972 ± 87.2b	3592 ± 131.7b
Control	4061 ± 114.4a	1272 ± 51.7b	703 ± 22.9c	125 ± 28.1c
F <sup>2</sup>	0.66ns	45.96**	243.80**	202.40**
LSD05	399	294	228	398

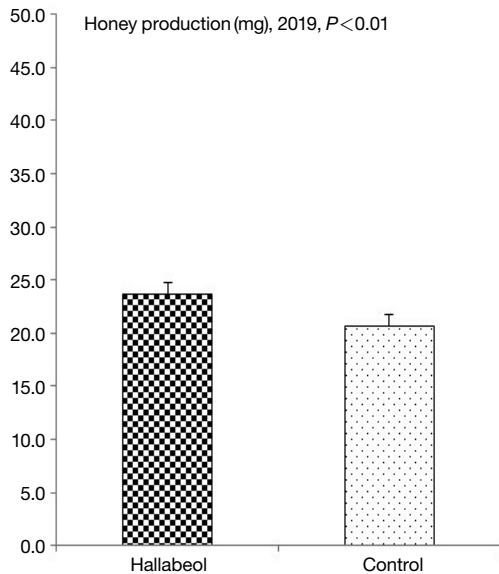
<sup>1</sup>The average number of pupa before and after SBV propagation is shown as means ± S.E (standard errors). <sup>2</sup>Comparative results of statistical  $F$  value with  $F$  critical (one-way ANOVA) are shown as \*\* (denoted by asterisk):  $P < 0.01$  or ns: no significant difference. Means in same column among the lines of bees, within a generation, followed by different letters are significantly different at  $P < 0.05$  based on Fisher's Least Significant Difference (LSD) post hoc tests.



**Table 2.** The average number of worker bee before and after SBV propagation

Line	Before SBV infection (mean ± S.E) <sup>1</sup>	After SBV infection (mean ± S.E)		
		15 days	30 days	45 days
Hallabeol	6184 ± 197.9a	7162 ± 153.1a	6317 ± 207.6b	6344 ± 167.5b
Control	6260 ± 164.9a	7073 ± 178.5a	3738 ± 136.6c	1625 ± 92.9c
F <sup>2</sup>	0.33ns	0.99ns	64.42**	230.43**
LSD05	643	491	548	495

<sup>1</sup>The average number of worker bee before and after SBV propagation is shown as means ± S.E (standard errors). <sup>2</sup>Comparative results of statistical *F* value with *F* critical (one-way ANOVA) are shown as \*\* (denoted by asterisk); *P* < 0.01 or ns: no significant difference. Means in same column among the lines of bees, within a generation, followed by different letters are significantly different at *P* < 0.05 based on Fisher's Least Significant Difference (LSD) post hoc tests



**Fig. 3.** Comparison of honey production with hallabeol and normal *Apis cerans*.

인 한라벌이 보급되면 점차적으로 토종꿀벌 봉군 수의 증가로 국내 낭충봉아부패병의 발병은 줄어들 수 있을 것으로 기대한다.

#### 4. 신품종 토종꿀벌 (*A. cerana* F.) (한라벌) 수밀력 검정

토종꿀벌 농가에서 관행적으로 사육하는 토종꿀벌의 일벌 개체 당 벌꿀 수집량이 20.7 mg에 비하여 한라벌의 경우, 일벌 개체 당 벌꿀 수집량이 23.7 mg으로 12.6% 수밀력이 우수한 것으로 확인 되었다(Fig. 3). 따라서 향후 신품종 한라벌이 확대 보급됨에 따라서 토종꿀벌 사육농가의 벌꿀 생산량 증대를 통해 농가 벌꿀판매 소득도 증대 될 것으로 기대 된다.

## 적 요

낭충봉아부패병에 대한 저항성을 보유하고 있는 신품종 토종꿀벌(한라벌)의 외형적 특징을 농가에서 관행적으로 사육하는 토종꿀벌과 비교한 결과, 낭충봉아부패병 저항성 신품종(한라벌)은 전체적인 체장, 배 길이, 머리 폭, 날개의 길이 및 폭이 긴 특징을 가지고 있으며, 상대적으로 안테나의 길이는 짧은 것이 특징이다. 질병저항성을 판단할 수 있는 청소행동 특성을 비교하기 위하여 pin kill test를 실시한 결과, 한라벌의 경우에는 24시간 후 약 69%의 비율로 죽은 번데기 사충을 완전 제거하는 것으로 확인되었고 농가 관행 사육 토종꿀벌이 61.7%인 것과 대비하여 약 11% 정도 청소행동력이 우수한 것을 확인하였다. 낭충봉아부패병 저항성 신품종 봉군에 인위적으로 낭충봉아부패병 바이러스(SBV)를 감염시켜서 발병 유무를 확인한 결과, 저항성 신품종(한라벌)은 바이러스 감염 전 번데기방의 수가 약 3,877개에서 인공감염 45일 경과 후에도 약 3,592개를 유지하여 유충 단계에서 질병 발생이 없었으며, 일반 토종꿀벌의 경우 인공감염 전 4,061개의 번데기 방이 인공감염 후 45일 경과 시 125개로 유충의 감소가 급격하게 발생하였다. 시험봉군의 일벌 수 또한 한라벌의 경우에는 인공감염 전 일벌 수가 약 6,184마리에서 인공감염 45일 경과 후 6,344마리를 유지하는 것을 확인하였다. 이와 대조적으로 저항성이 없는 농가 사육 일반 품종에서는 감염 전 약 6,260마리였던 일벌이 감염 후 1,625마리로 감소하였다. 한라벌의 벌꿀 생산성 시험 결과, 한라벌은 농가에서 관행적으로 사육하는 토종꿀벌의 일벌 개체 당 벌꿀 수집량이 20.7 mg에 비하여 일벌 개체당 벌꿀 수집량이 23.7 mg으로 약 12.6% 정도 수밀력이 우수한 것으로 확인되었다. 이와 같이 한라벌은 토

중꿀벌 집단 폐사를 유발한 낭충봉아부패병에 강한 저항성을 가지고 있으며 이와 더불어 벌꿀 수집능력도 우수한 것으로 확인되었다.

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 기관고유연구사업 PJ014180022020과제의 재원으로 연구한 결과입니다.

## 인용 문헌

- Ahn, A. J., K. S. Ahn, G. H. Suh, J. H. Noh, Y. H. Kim, M. S. Yoo, S. W. Kang and S. S. Shin. 2015. Efficacy of silver ions against Sacbrood virus infection in the Eastern honey bee *Apis cerana*. *J. Vet. Sci.* 16: 289-295.
- Aruna, R., M. R. Srinivasan and R. Selvarajan. 2017. Efficacy of plant products on Sacbrood virus attacking *Apis cerana indica* Fabricius. *J. Entomol. Zool. Stud.* 5: 1909-1913.
- Bailey, L., A. H. Gibbs and R. D. Woods. 1964. Sacbrood virus of the larval honey bee (*Apis mellifera* Linnaeus). *Virology* 23: 425-429.
- Baker, A. C. and D. C. Schroeder. 2008. The use of RNA-dependent RNA polymerase for the taxonomic assignment of Picorna-like viruses (order Picornavirales) infecting *Apis mellifera* L. populations. *Viol. J.* 5: 10.
- Chen, Y., Y. Zhao, J. Hammond, H. T. Hsu, J. Evans and M. Feldlaufer. 2004. Multiple virus infections in the honey bee and genome divergence of honey bee viruses. *J. Invertebr. Pathol.* 87: 84-93.
- Choi, Y. S., M. Y. Lee, I. P. Hong, N. S. Kim, H. K. Kim, K. G. Lee and M. L. Lee. 2010. Occurrence of Sacbrood virus in Korean apiaries from *Apis cerana* (Hymenoptera: Apidae). *Korean J. Apic.* 25: 187-191.
- Choi, Y. S., Y. M. Choo, K. S. Lee, H. J. Yoon, I. Kim, Y. H. Je, H. D. Sohn and B. R. Jin. 2008. Cloning and expression profiling of four antibacterial peptide genes from the bumblebee *Bombus ignitus*. *Comp. Biochem. Physiol. B* 150: 141-146.
- Corlett, R. T. 2004. Flower visitors and pollination in the Oriental (Indomalayan) region. *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.* 79: 497-532.
- Evans, J. D. 2004. Transcriptional immune responses by honey bee larvae during invasion by the bacterial pathogen, *Paenibacillus larvae*. *J. Invertebr. Pathol.* 85: 105-111.
- Evans, J. D., K. Aronstein, Y. P. Chen, C. Hetru, J. L. Imler, H. Jiang and D. Hultmark. 2006. Immune pathways and defence mechanisms in honey bees *Apis mellifera*. *Insect Mol. Biol.* 15: 645-656.
- Gilliam, M., S. Tarber and G. V. Richardson. 1983. Hygienic behaviour of honey bees in relation to Chalkbrood disease. *Apidologie* 14: 29-39.
- Gro, V. A., F. Erin and H. Heli. 2011. Vitellogenin in honey bee behavior and lifespan. *Honeybee Neuro. Behavi.* 17-29.
- Jung, C. and S. K. Cho. 2015. Relationship between honeybee population and honey production in Korea. *Korean J. Apic.* 30: 7-12.
- Liu, X., Y. Zhang, X. Yan and R. Han. 2010. Prevention of Chinese Sacbrood virus infection in *Apis cerana* using RNA interference. *Curr. Microbiol.* 61: 422-428.
- McMenamin, A. J., K. F. Daughenbaugh, F. Parekh, M. C. Pizzorno and M. L. Flenniken. 2018. Honey bee and bumble bee antiviral defense. *Virus* 10: 395.
- Nguyen, N. T. B. and T. H. Le. 2013. Complete genome sequence of Sacbrood virus strain SBM2, isolated from the honeybee *Apis cerana* in Vietnam. *Genome Announc.* 1: e00076-12.
- Palacio, M. A., E. E. Figini, S. R. Ruffinengo, E. M. Rodriguez, M. L. del Hoyo and E. L. Bedascarrasbure. 2000. Changes in a population of *Apis mellifera* L. selected for hygienic behaviour and its relation to brood disease tolerance. *Apidologie* 31: 471-478.
- Rana, B. S., I. D. Garg, S. M. P. Khurana, L. R. Verma and H. O. Agrawal. 1986. Thai Sacbrood virus of honeybees (*Apis cerana indica* F) in northwest Himalayas. *Indian J. Virol.* 2: 127-131.
- Siva-Jothy, M. T., Y. Moret and J. Rolff. 2005. Insect immunity: an evolutionary ecology perspective. *Adv. Insect Phys.* 32: 1-48.
- Spivak, M. and G. S. Reuter. 2001. Resistance to American foulbrood disease by honey bee colonies *Apis mellifera* bred for hygienic behaviour. *Apidologie* 32: 555-565.
- Theisen-Jones, H. and K. Bienefeld. 2016. The Asian honey bee (*Apis cerana*) is significantly in decline. *Bee Wld.* 93: 90-97.
- Toan, T. V., M. L. Lee, H. S. Sim, H. K. Kim, G. H. Byun and Y. S. Choi. 2014. Biological mitigation of Sacbrood disease on *Apis cerana* colonies. *Korean J. Apic.* 29: 181-186.
- Vung, N. N., Y. S. Choi and I. Kim. 2020. High resistance to Sacbrood virus disease in *Apis cerana* (Hymenoptera: Apidae) colonies selected for superior brood viability and hygienic behavior. *Apidologie* 51: 61-74.
- Zhang, J., Y. Zhang and R. Han. 2016. The high-throughput production of dsRNA against Sacbrood virus for use in the honey bee *Apis cerana* (Hymenoptera: Apidae). *Virus Genes* 52: 698-705.