

질병저항성 꿀벌 계통 선발을 위한 청소능력 특성 평가

김혜경^{1*} · 박창규¹ · 한국인²

¹한국농수산대학 산업곤충학과 조교수, ²충청남도농업기술원 산업곤충연구소 농업연구사

Evaluation of Hygienic Ability for the Selection of Disease Resistant Honey Bee (*Apis mellifera*) Lines

Hye-Kyung Kim^{1*}, Chang Gyu Park¹, and Gug-In Han²

¹Assistant Professor, Department of Industrial Entomology, Korea National College of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874, Korea

²Researcher, Industrial Entomology Research Institute, Chungcheongnam-do ARES, Gongju 32418, Korea

Abstract. Hygienic behavior of Honey bees, *Apis mellifera*, was evaluated by uncapping and removing ability of dead broods from the nest. Hygienic behavior is originated from quantitative traits, which are expected to express key roles in colony defense against mite parasites and bacterial and fungal diseases. It is regarded as one of important characteristics of honey bee's resistance to parasites and pathogens. In this study, five inbred and two hybrid lines of *A. mellifera*, the former five inbred lines, which have been reared for over eight years at the National Academy of Agricultural Science in Korea, and the latter two hybrid lines, which have been bred by crossing between the inbred lines, were investigated on their hygienic behavior by a pin-killed brood assay at 12hrs and 24hrs after treatment. The results indicated that after 12hrs one inbred line was proved to be hygienic (removal rate of dead brood >90%), three inbred and two hybrid lines showed intermediate behavior, and one inbred line belonged to non-hygienic (removal rate of dead brood <70%). However, after 24hrs, only one line was considered to be intermediate as removal rate was below 90%, thus all except this line had shown hygienic behavior.

Additional key words : *Apis mellifera*, hygienic, behavior, removal rate, pin killed brood method

서 론

꿀벌은 인류 식량자원의 주요 공급수단이자 농작물 결실의 주요한 매개자로서 오래전부터 산업화된 중요한 곤충 중 하나이다(Jensen 등, 2005). 화분 매개에 관한 꿀벌의 경제적 가치는 우리나라 16개 주요 작물 생산액인 12.4조 원의 50%인 6조 원에 달하고 있으며, 전체 생태계 보존 효과는 70조원을 초과하고 있다(Jung, 2008). 특히 우리나라 양봉 산업 시장은 2017년 약 5,527억 원 규모이나(Han, 2015), 양봉 산물의 제2-3차 가공을 통한 화장품, 의약품, 각종 제품의 기초소재, 식품첨가제, 건강보조식품 등을 포함시킨다면 그 규모는 더욱 커질 것으로 전망되고 있다.

그러나 최근, 전 세계적으로 꿀벌 개체수가 크게 감소하면서 농업 생산량 또한 줄어들 수 있다는 우려를 낳고 있어

(Jeremy 등, 2015) 이에 대한 대책마련이 시급한 상황이다. 꿀벌 개체수 감소의 주요한 원인으로 지목되고 있는 것은 세계적인 이상기후 현상과 농약 사용 증가 등을 들 수 있는데, 그중 가장 문제가 되고 있는 것은 병해충 발생량의 증가이다(Kim 등, 2016). 꿀벌의 주요한 병해충으로는 부저병, 노제마병, 꿀벌 기생 응애 등이 있는데(Dahle, 2010; Genersch, 2010; Higes 등, 2013), 이들 병해충은 복합적이고 다발적인 발생 양상을 띠고 있어 방제에 큰 어려움을 겪고 있다. 이에 대한 대응 방안으로 다양한 연구가 수행되고 있으나(NC State Extension, USA), 근본적인 문제 해결을 위해서는 질병 저항성 꿀벌 계통을 육성해야 한다는 목소리가 힘을 얻고 있다.

꿀벌에 있어 질병 저항성 특성은 질병에 감염된 유충 및 번데기를 제거하는 청소(위생) 행동(Hygienic behavior)을 통해 표현된다(Spivak, 1996; Spivak와 Downey, 1998). 즉, 꿀벌은 청소행동으로 빠르게 감염원을 제거하여 2차 감염을 막고 지속적으로 봉군을 유지할 수 있도록 체계화된 꿀벌 행동 특성을 보이는데(Rothenbuhler, 1964; Wilson-Rich 등, 2008), 이는 꿀벌응애, 백목병, 부저병 등 꿀벌 주요 질병에 대한 저항

*Corresponding author: hyebyeong@korea.kr
Received June 25, 2021; Revised July 15, 2021;
Accepted July 17, 2021

성 기작이라고 밝혀진 바 있다(Boecking와 Spivak, 1999; Spivak와 Reuter, 2001; Tsuruda 등, 2012). 꿀벌의 청소행동은 두 가지 행동으로 구성된다. 하나는 감염 유충 또는 번데기를 인식하는 것, 즉 죽은 유충이나 번데기가 있는 벌방을 찾아 왁스로 봉합된 소방을 여는 것(uncapping)과 해당 개체를 제거하는 것(removal)이다. 일반적으로 꿀벌의 청소 행동은 독립적인 유전자의 지배를 받는 것으로 알려져 있는데, Rothenbuhler (1964)이 제안한 ‘two-gene 모델’에 따르면 꿀벌의 청소행동과 관련된 유전자를 유전자좌 상에서 한 개만 보유한 경우 매우 높은 빈도로 ‘uncapping’ 행동을 보이며, 2개를 보유한 경우에는 매우 높은 빈도로 removal 행동을 보인다고 제안하였다. 하지만 이후 Lapidge 등(2002)은 linkage mapping을 통해 꿀벌의 청소 행동과 관련된 7개의 quantitative trait loci (QTL)을 보고 함으로써, 꿀벌의 청소행동과 관련된 유전자는 Rothenbuhler의 모델보다 훨씬 복잡 할 수 있다는 것을 시사한 바 있다.

본 연구에서는 본 연구팀은 질병저항성 꿀벌 계통 육성을 위해 다년간에 걸쳐 꿀벌 계통을 육성해왔으며, 이전 연구를 통해 6개의 계통에 대한 청소력을 Freeze killed brood assay 법을 통해 평가한 바 있다(Kim 등, 2015). 이에 대한 후속 연구로 본 논문에서는 선발된 청소력 우수 꿀벌 계통 및 이들 간의 교배계통 대해 Pin killed brood assay 법을 이용해 청소력을 평가하였다. 본 연구는 청소력 우수 꿀벌 계통 선발을 위한 누적 결과로 질병 저항성 계통 육종을 위한 기초 자료로 활용할 수 있을 것이며, 향후 꿀벌 청소행동과 관련된 유전적 특성을 연구, 이해하는데 필요한 중요한 자료가 될 수 있을 것이다.

재료 및 방법

1. 꿀벌 계통

본 연구에 이용된 서양종 꿀벌(*Apis mellifera*)계통은 이전 연구(Kim 등, 2015)에서 청소력 평가를 위해 사용된 5종의 꿀벌 계통(A, C, D, E, F)과 이들 계통 중 청소력이 우수한 것으로 평가된 C, D, F 계통에 대한 교배조합계통(♀CX♂D, ♀FX♂D) 2종이다(Table 1). 2종의 교배조합계통 중 ♀CX♂D 계통은 C계통의 여왕벌과 D계통의 수벌 교배에 의해 만들어진 F1세대이며, ♀FX♂D 계통은 F계통의 여왕벌과 D계통의 수벌 교배에 의해 만들어진 F1세대이다(Fig. 1). 이들 계통은 국립농업과학원내에서 관리되고 있으며, 인공수정 및 격리육종장 운영을 통해 지속 유지되고 있다.

수집된 꿀벌 계통은 인공수정법과 병행하여 격리육종장을 이용하여 육성하였는데, 이는 계통의 대량육성을 필요로 할 때 주로 이용되었다. 격리육종장은 주변 꿀벌 자원과 완전히

Table 1. Five inbred and two hybrid lines of *Apis mellifera* (A, C, D, E, F, ♀CX♂D and ♀FX♂D) maintained at National Academy of Agricultural Science (NAAS), Korea.

Lines	Subspecies	Color	Traits
A	<i>A. m. ligustica</i>	dark-brown	Gentleness
C	<i>A. m. ligustica</i>	light-brown	High fertility
D	<i>A. m. caucasica</i>	dark-brown	High foraging
E	<i>A. m. carnica</i>	dusky brown-gray	Gentleness
F	<i>A. m. ligustica</i>	brown	High fertility
♀CX♂D	Crossing ♀CX♂D,		
♀FX♂D	Crossing ♀FX♂D		

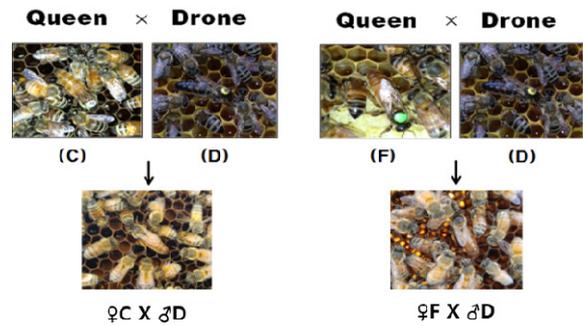


Fig. 1. Two hybrid lines of *Apis mellifera* (♀CX♂D, ♀FX♂D) maintained at National Institute of Agricultural Sciences (NIAS), Korea.

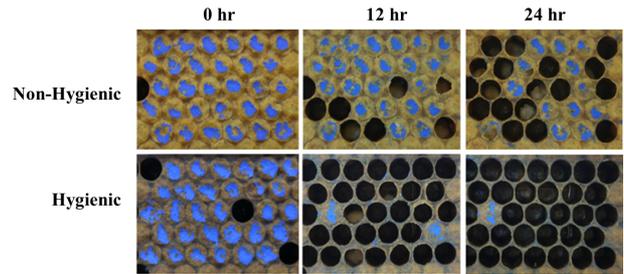


Fig. 2. Cell photos of honey bee larvae and pupae capped, uncapped and removed between the hygienic and non-hygienic lines using pin killed brood assay within 0h, 12h and 24h.

격리시키기 위하여 전복 부안면 치도리 위도면 내에 소재하고 있는 도서지역을 선발하여 농촌진흥청 국립농업과학원에서 운영되는 시설을 이용하였다.

2. 청소력(hygienic behavior) 평가

꿀벌에 대한 청소력 평가는 Pin killed brood assay 를 통해 이루어 졌으며, 이는 일정한 면적내의 죽은 번데기나 유충을 얼마나 빠른 시간 내에 제거하는지 여부를 통해 평가되었다

(Fig. 2). 평가를 위해 먼저 수집 꿀벌 계통별로 봉개된 봉판(Brood)을 골라낸 뒤, 30개의 봉개된 벌방 내 번데기를 핀을 이용해 죽인 후 봉판을 다시 벌통내에 삽입하였다. 벌통내에 삽입된 봉판은 12시간, 24시간 이후 꺼내어 어느 정도의 비율로 청소행동을 보이는지 여부를 관찰하였으며, 이는 3반복 수행되었다. 이때 평가에 사용된 봉군은 소비 8매, 약 20,000마리 일별로 각 계통 별 봉세를 일정하게 유지하도록 하였다. 봉군 별 청소력은 다음의 방법을 통하여 계산하였으며(Equation 1), 이때 처리 12시간 후 죽은 번데기 및 유충을 90% 이상 제거(removed)하거나 봉개된 번데기를 개봉할 경우(uncapped) 청소력이 우수한 계통(hygienic)으로, 중간일 경우는 보통(intermediate)으로, 60% 이하일 경우 청소력이 낮은 계통(non-hygienic) 표기하였다.

$$\text{Percent of hygienic behavior} = \frac{\text{Number of uncapped cells and removed pupae cells}}{30 \text{ capped cells}} \times 100 \quad (1)$$

3. 꿀벌응애 제거 능력 검정 평가

꿀벌응애(*Varroa destructor*)에 대한 육성계통의 제거능력을 평가하기 위해 검정 평가를 병행하여 수행하였다. 시험을 위해 먼저 단일 시험구(♀CX♂D)와 대조구 계통을 각각 3봉군씩 양성하였다. 본 시험에서는 원종계통보다 보급에 용이한 교배 조합 계통을 이용하였으며, 두개의 교배조합 계통 중 청소력이 조금 더 높은 ♀CX♂D 계통에 대해 평가가 이루어졌다. 대조구 계통은 시중에 판매되고 있는 일반 계통의 벌을 이용하였다. 양성된 두 계통은 세력을 8매, 20,000마리 별로 동일하게 맞춘 뒤 타 봉군 중 꿀벌응애에 감염된 다른 봉군에서 봉개된 봉판(Brood)을 빼내어 시험구(♀CX♂D)와 대조구 벌통에 각각 장착하고 처리 후 24시간이 지난 뒤 처리 전 봉판의 봉개된 벌방과 처리 후 봉개된 벌방의 수를 비교하는 방법을 통해 감염된 번데기 방 제거율을 조사하였다.

4. 통계 분석

통계 분석은 일원분산분석과 t 검정으로 각 꿀벌 계통의 청소율(hygienic rate)을 비교하였으며, 평균 간 차이를 검정하기 위해 Tukey의 HSD 다중검정법(SPSS 13)을 이용하였다.

결과 및 고찰

일반적으로 꿀벌의 청소 행동은 꿀벌의 질병에 대한 사회적 면역의 한 행태로 보는데 이 행동은 죽은 벌을 감지하고, 죽은 벌의 봉개를 열고, 벌을 제거하는 능력으로 평가되는데

(Invernizzi 등, 2011; Boecking과 Spivak, 1999) 본 연구는 청소력(hygienic behavior) 검정을 통한 질병 저항성 계통 선별을 위해 5종의 꿀벌 계통(A, C, D, E, F) 및 2종의 교배조합 계통(♀CX♂D, ♀FX♂D)에 대해 Freeze killed brood assay와 실제 병에 걸려 나타나는 결과가 일치하지 않는다고 하여 (Gerdt et al., 2018) Pin killed brood assay를 수행하였는데 그 결과는 표 2와 같이 처리 12시간 후 5종의 꿀벌 계통 및 2종의 교배조합 계통에서 죽은 유충 및 번데기를 제거하는 비율(removal rate)은 14.4%에서 65.6%, 봉개 비율(capped rate)은 0%에서 38.9%, 개봉 비율(uncapped rate)은 21.1%에서 73.3%를 나타내었다. 반면 처리 24시간 후 각 계통 별 죽은 번데기방을 제거하는 비율(removal rate)은 60.0%에서 78.9%, 봉개 비율(capped rate)은 0%에서 18.9%, 개봉 비율(uncapped rate)은 6.7%에서 35.6%를 보여 시간이 경과함에 따라 죽은 번데기방을 제거하는 비율은 증가하는 것이 확인되었다.

계통에 대한 청소력은 죽은 번데기를 제거(Removal)하거나 개봉하는 능력(Uncapped)을 합한 수치로 평가할 수 있는데(Equation 1), 처리 12시간 후 90% 이상의 청소력을 보이는 hygienic 계통은 1계통으로, D계통인 것으로 드러났다. 하지만 처리 후 24시간을 기준으로 청소력을 평가하면 청소력이 60%보다 낮은 계통(non-hygienic)은 확인되지 않았으며, A계통(81.1%)을 제외하고 모두 90% 이상으로(C(97.8%), D(100%), E(92.2%), F(95.6%), CD(95.6%), FD(90.0%)) hygienic 계통인 것으로 드러났다(Table 2). 처리 12시간 후의 시험 결과에서는 꿀벌 계통 간 차이가 있는 것으로 나타났으나($F_{7,16} = 3.083, p = 0.029$), 24시간 후의 결과는 시험 계통 간 통계적인 차이가 없음을 보이고 있다($F_{7,16} = 2.616, p = 0.053$). 처리 12시간 후와 24시간 후의 청소력을 Tukey's HSD multiple range test 방법으로 사후 분석한 결과는 Fig. 3과 같다. Fig. 3에서 보듯이 꿀벌 계통 간 청소력은 12시간과 24시간후 모두 D계통을 포함한 그룹과 Control을 포함한 2개의 그룹으로 나누어지며 유의성은 D계통과 Control 계통 차이만 인정되었다. 는 감염된 개체를 48시간 이내에 95% 이상을 처리할 경우 그 집단을 질병 저항성으로 볼 수 있다고 하였다. 본 시험 결과는 Spivak와 Downey(1998)이 제시한 결과와 Kim 등(2015)이 Freeze killed brood assay방법에 의해 제시한 결과와는 달리 24시간 이내에 A 계통을 제외하고는 90% 이상의 높은 청소행동을 보였으며, 추후 24시간 이내 즉 시험 후 48시간 이내에 더 많은 죽은 유충을 제거하여 더 높은 병에 대한 저항성을 보일 가능성이 있다. Palacio 등(2010)과 Spivak와 Downey(1998)은 Pin killed broody assay가 Freeze killed brood assay 보다 결과가 빠르게 나타난다고 보고하고 있어 본 실험과 이전의 Freeze killed brood assay의 차이를 설명하

Table 2. Hygienic evaluation of the honeybee colonies showed percentage of capping, removing or uncapping at 12h and 24h after applying Freeze-killed brood method (N = 30).

Inbred line	Hygienic status	12h (%)			24h (%)		
		capped	removal	uncapped	capped	removal	uncapped
A	Intermediate	26.7 ± 21.9 ab*	34.4 ± 10.7 a	38.9 ± 26.9 a	18.9 ± 22.2 ab	74.4 ± 24.6 a	6.7 ± 3.3 a
C	Hygienic	25.6 ± 20.4 ab	28.9 ± 13.9 a	46.7 ± 33.8 a	2.2 ± 3.8 ab	78.9 ± 8.4 a	17.8 ± 11.7 a
D	Hygienic	0.0 ± 0.0 b	36.7 ± 52.4 a	63.3 ± 52.4 a	0.0 ± 0.0 b	71.1 ± 50.0 a	28.9 ± 50.0 a
♀CX♂D	Hygienic	13.3 ± 23.1 ab	65.6 ± 54.0 a	21.1 ± 31.0 a	4.4 ± 7.7 ab	74.4 ± 44.3 a	21.1 ± 36.6 a
♀FX♂D	Hygienic	14.4 ± 19.2 ab	56.7 ± 48.1 a	28.9 ± 30.1 a	10.0 ± 17.3 ab	75.6 ± 42.3 a	14.4 ± 25.0 a
E	Hygienic	38.9 ± 15.0 ab	14.4 ± 11.7 a	46.7 ± 15.3 a	7.8 ± 8.4 ab	61.1 ± 27.1 a	31.1 ± 20.4 a
F	Hygienic	11.1 ± 19.2 ab	15.6 ± 15.0 a	73.3 ± 8.8 a	4.4 ± 7.7 ab	60.0 ± 40.4 a	35.6 ± 32.7 a
Control	-	55.5 ± 5.1 a	37.8 ± 3.8 a	6.7 ± 3.3 a	33.3 ± 10.0 a	55.6 ± 8.4 a	11.1 ± 8.4 a

*Different subscripts within a column differ significantly ($p < 0.05$) using Tukey HSD multiple range test.

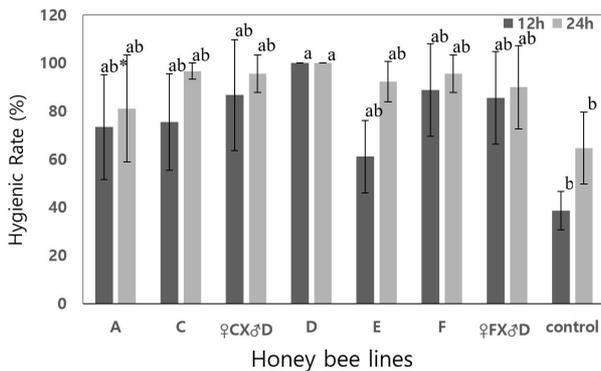


Fig. 3. Hygienic behavior is analyzed with percentage based on the number of dead Broods removed and uncapped in 12 and 24 hours separately, in seven colonies, A, C, D, E, F, ♀CX♂D and ♀FX♂D and control. (Tukey HSD multiple range test). *Different letters above error bars differ significantly ($p < 0.05$)

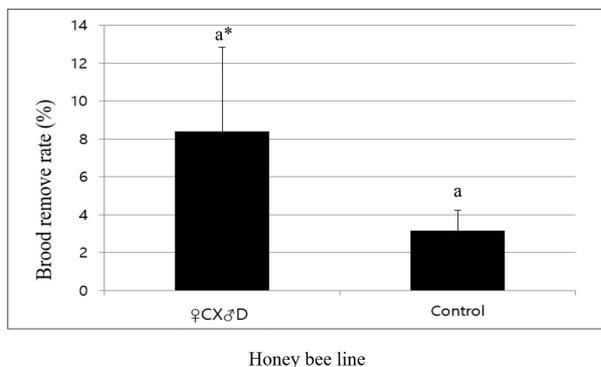


Fig. 4. The removing rates of honey broods infected by varroa mite on hybrid line (♀CX♂D) and control. *Different letters above error bars differ significantly ($p < 0.05$) by t-Test ($t_4 = 0.661$)

고 있다. 이는 실험 방법에 따라 꿀벌이 제거할 유충을 탐지하고 제거하는 과정은 실험 방법에 따라 차이가 있을 수 있음을 말하고 있어 Pin killed brood assay와 Freeze killed brood assay에 의한 청소력 평가로 실제 병 저항성을 나타내는데 한계가 있음을 시사하고 있다. 따라서 실제 병에 걸리는 시점에서 빨리 병에 걸린 개체를 구별해내는 능력을 찾아내는 실험 설계에 의해 청소력을 평가해야 할 것을 제안하는 바이다.

당초 본 연구에서는 질병저항성 우수 계통 육성을 위해 이전 연구에서 청소력이 우수한 C, D, F 원종계통과 교배조합 계통 ♀CX♂D, ♀FX♂D 계통을 육성하여 이에 대한 청소력 평가를 수행하게 되었는데, 예상한대로 시험 계통과 교배 계통 모두 시험 처리 후 24시간 후에 90%이상의 높은 청소력을 보였다. 다만 처리 후 12시간을 기준으로 꿀벌 D 계통은 유일하게 청소력 100%의 높은 효율을 보여 조기 청소율이 높은 것으로 보인다. 조기 청소력은 꿀벌의 청소력 특성 가운데 아주 중요한 요소로, 봉개 벌집내 죽은 꿀벌이나 유충을 빨리 제거함으로써 다른 벌과의 접촉 시간을 줄임으로 병의 감염을 줄일 수 있다. 이를 토대로 추후 원종 계통간의 교배조합 계통 육성 시 D 계통을 부계로 선정한다면 부계로부터 영향을 받는 꿀벌의 질병 저항성 특성을 고려했을 때 질병 저항성을 크게 향상시킬 수 있을 것이라 기대된다(Oxley와 Oldroyd, 2010). 꿀벌의 청소력은 유전되는 것으로 판단되며 이는 유전적 다양성이나 이형접합 현상은 청소력의 유전에 별로 영향을 미치지 않는 것으로 보이거나 계속되는 교배에 의한 육종으로 청소력이 증가된 계통을 얻을 수는 있다고 하였다(Boecking과 Spivak, 1999).

일반적으로 꿀벌 응애에 대한 저항성 평가는 질병저항성과 마찬가지로 청소력(hygienic behavior)에 의해 평가되는데

몸에 붙은 응애를 터는 행동과 감염된 유충을 찾아 제거하는 행동으로 나누어 진다(Boecking과 Spivak, 1999) 본 연구에서는 위 두가지 행동이 포함된 실질적으로 꿀벌응애 감염률을 저감 시킬 수 있는지 평가하기 위해 꿀벌응애에 감염된 봉판(brood)을 육성계통에 장착한 뒤 일정 시간 뒤 봉개가 제거된 봉개 제거율을 조사하였다(Fig. 4). 본 평가는 교배 육성 계통에 대해 이루어 졌으며, 두개의 교배조합 계통 중 청소력이 조금 더 높은 ♀CX♂D 계통에 대해 이루어 졌다. 검정을 수행한 결과 교배종 ♀CX♂D 계통의 경우 대조구에 비해 응애에 감염된 봉개 제거율은 각각 8.4%, 3.1%로 2배 이상 높은 것으로 나타났다. 일반적으로 꿀벌의 청소력은 환경에 많은 영향을 받고 있는 것으로 알려져 있다(Boecking과 Spivak, 1999). 이러한 환경의 영향과 두가지 청소력 요인이 합해진 본 실험의 결과는 변이가 지나치게 커($t_4 = 0.661, p = 0.545$) 통계적인 차이를 보이지는 않은 아쉬움이 있다(Fig. 4). 하지만 봉개된 봉판이 어느 정도로 꿀벌응애에 감염되었는지 정도를 확인할 수 없다는 본 실험의 특성상 이처럼 큰 변이를 보인다는 것은 어찌면 당연한 것으로 보여 진다. 그럼에도 불구하고 응애에 감염된 봉개 제거율이 교배종 ♀CX♂D 계통에서 2배 이상 차이 난다는 점에서 교배종 ♀CX♂D 계통이 봉개 내 응애를 감지하는 능력이 우수하다는 것을 간과할 수 없을 것이다.

일반적으로 꿀벌의 청소력은 후각의 민감성에 관계가 깊은 것으로 알려져 있다(Gramacho와 Spivak, 2003). 즉 민감한 후각은 질병에 감염되거나 죽은 유충을 감지하는데 매우 중요한 역할을 할 것으로 여겨진다. 본 연구에서는 시험 계통 중 D 계통이 높은 초기 청소력(100%)을 보이는 것으로 보아 좋은 후각 유전자를 갖고 있다고 볼 수 있을 것으로 여겨지며, 추후 이에 대한 연구를 확대할 필요가 있을 것으로 여겨진다. 꿀벌의 청소력은 여러가지 유전 요인에 의해 발현될 수 있다(Boutin 등, 2015; Danka 등, 2011). 즉 초기에 반응하는 유전자의 민감성, 죽은 사체를 찾아내는 유전자, 사체를 제거하는 유전자, 병의 감염으로부터 봉군을 보호하는 유전자 등이 그것이다. 하지만 현재까지 이에 대한 연구는 거의 이루어 지지 않아 추후 이러한 요인을 요소 별로 분석하여 관련된 유전자를 찾아가는 연구가 육종 연구와 병행될 필요가 있을 것으로 여겨진다. 본 연구에서는 이전 연구에서 청소력이 높은 것으로 선발된 꿀벌 원종 계통과 교배조합 계통에 대한 청소력 평가를 통해 질병저항성 계통을 선발하고자 하였다. 본 연구결과에서는 선발된 꿀벌 원종 계통 및 교배조합 계통에서 높은 청소능력이 있는 것으로 확인되었으나, 아쉽게도 계통간에 통계적으로는 유의성은 없는 것으로 평가되었다. 하지만 지속적으로 이들 계통에 대한 누대 사육 검정을 수행함으로써 질병저항성이 높은 계통을 선발, 고정하고 이에 대한 유전 특

성을 연구를 지속하여, 이러한 결과의 축적은 꿀벌의 병, 해충 저항성에 관련된 육종 연구에 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 기대된다.

적 요

화분매개곤충으로 중요한 산업적 가치를 지닌 꿀벌은 전 세계적으로 병해충에 의한 개체수 감소 현상이 심각한 문제로 제기 되고 있다. 본 논문에서는 이를 타개하기 위하여 질병저항성 꿀벌 계통을 선발하고자 하였으며, 이를 위해 꿀벌 육성 계통별 청소력(hygienic behavior) 평가를 수행하였다. 이는 질병 저항성 계통 선발에 관한 연구로 본 연구에서는 5종의 꿀벌 계통과 2종의 교배종 계통에 대한 청소력 평가를 Pin killed brood assay 법에 의해 수행하였다. 그 결과 처리 24 시간 후 죽은 번데기를 제거하거나 개봉하는 능력이 60% 이상으로 청소능력이 낮은 계통(non-hygienic)은 확인되지 않았으며, 반대로 죽은 번데기를 제거하거나 개봉하는 능력이 90% 이상인 hygienic 계통은 C, D, E, F, ♀CX♂D 그리고 ♀FX♂D 계통인 것으로 드러났으며, 그 외 A 계통은 보통(intermediate)의 청소능력을 가진 것으로 확인 되었다. 이를 통해 본 연구에서는 육성 계통 대부분이 높은 질병저항성 특성을 지니는 것으로 평가되고 있으며, 이러한 결과는 지속적인 질병저항성 꿀벌 계통 선발에 활용할 수 있을 것으로 기대되고 있다.

추가주제어: 꿀벌, 저항성, 청소력, 육종, 화분매개곤충

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업사업 PJ01576304과 PJ01504206 과제의 지원에 의해 수행된 결과입니다.

Literature Cited

- Boecking O., and M. Spivak 1999, Behavioral defenses of honey bees against *Varroa jacobsoni* Oud. *Apidologie* 30:141-158. doi:10.1051/apido:19990205
- Boutin S., M. Alburaki, P.L. Mercier, P. Giovenazzo, and N. Derome 2015, Differential gene expression between hygienic and non-hygienic honeybee (*Apis mellifera* L.) hives. *BMC Genomics* 16:500. doi:10.1186/s12864-015-1714-y
- Dahle B. 2010, The role of *Varroa destructor* for honey bee colony losses in Norway. *Journal of Apicultural Research* 49:124-125. doi:10.3896/IBRA.1.49.1.26
- Danka R.G., J.W. Harris, and J.D. Villa 2011, Expression of *Varroa* sensitive hygiene (VSH) in commercial VSH honey

- bees (Hymenoptera: Apidae). *J Econ Entomol* 104:745-749. doi:10.1603/EC10401
- Genersch E. 2010, Honey bee pathology: current threats to honey bees and beekeeping. *Applied Microbiology and Biotechnology* 87:87-97. doi:10.1007/s00253-010-2573-8
- Gerdts J., R.L. Dewar, M.S. Finstorm, T. Edwards, and M. Angove 2018, Hygienic behavior selection via freeze-killed honey bee brood no associated with chalkbrood resistance in eastern Australia. *Plos One* 13:e0203969. doi:10.1371/journal.pone.0203969
- Gramacho K., and M. Spivak 2003, Differences in olfactory sensitivity and behavioral responses among honey bees bred for hygienic behavior. *Behav Ecol Sociobiol* 54:472-479. doi:10.1007/s00265-003-0643-y
- Higes M., A. Meana, C. Bartolomé, C. Botías, and R. Martín-Hernández 2013, *Nosema ceranae* (Microsporidia), a controversial 21st century honey bee pathogen. *Environmental Microbiology Reports* 5:17-29. doi:10.1111/1758-2229.12024
- Invernizzi C., F. Rivas, and L. Betticci 2011, Resistance to chalkbrood disease in *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) colonies with different hygienic behavior. *Neotropical Entomol* 40:28-34.
- Jensen A.B., K.A. Palmer, J.J. Boomsma, and B.V. Pedersen 2005, Varying degrees of *Apis mellifera ligustica* introgression in protected populations of the black honeybee, *Apis mellifera mellifera*, in northwest Europe. *Mol Ecol* 14:93-106. doi:10.1111/j.1365-294X.2004.02399.x
- Jeremy T.K., P. Alana, G. Paul, P. Laurence, G.P. Simon, M.R. Stuart, R. Pierre, O.S. liver, R.C. Sheila, L.R. Leif, L.W. David, F.G. Lawrence, S.S. Derek, and P. Alberto 2015, Climate change impacts on bumblebees converge across continents. *Science* 349:177-180. doi:10.1126/science.aaa7031
- Jung C. 2008, Economic Value of Honeybee Pollination on Major Fruit and Vegetable Crops in Korea. *J Apiculture* 23:147-152.
- Kim H.K., M.Y. Lee, M.L. Lee, Y.S. Choi, and K.H. Byeon 2015, Hygienic behavior test of six inbred lines in *Apis mellifera* through Freeze-killed brood method. *J Apiculture* 30:187-190.
- Kim Y., J. Kim, Y. Oh, S. Lee, S. Song, E. Joung, S. Lee, S. Lee, and B. Moon 2016, Prevalence of honey bee (*Apis mellifera*) disease in Daejeon. *Korean J Vet Serv* 39:253-258.
- Lapidge K.L., B.P. Oldroyd, and M. Spivak 2002, Seven suggestive quantitative trait loci influence hygienic behavior of honey bees. *Naturwissenschaften* 89:565-568. doi:10.1007/s00114-002-0371-6
- Oxley P.R., and B.P. Oldroyd 2010, The genetic architecture of honeybee breeding. *Advances in Insect Physiology* 39: 83-118. doi:10.1111/j.1365-294X.2004.02399.x|
- Palacio M.A., E.M. Rodriguez, L. Goncalves, E. Bedascrasbure, and M. Spivak 2010, Hygienic behaviors of honey bees in response to brood experimentally pin killed or infected with *Ascospaera apis*. *Apidologie* 41:602-612. doi:10.1051/apido/2010022
- Rothenbuhler W.C. 1964, Behavior genetics of nest cleaning in honey bees. IV. Responses of F1 and backcross generations to disease-killed brood. *Am Zool* 4:111-123.
- Spivak M. 1996, Honey bee hygienic behavior and defense against *Varroa jacobsoni*. *Apidologie* 27:245-260. doi:10.1051/apido:19960407
- Spivak M., and D.L. Downey 1998, Field assays for hygienic behavior in disease resistance in honey bees (Hymenoptera: Apidae). *J Eco Entomol* 91:64-70.
- Spivak M., and G.S. Reuter 2001, Resistance to American foulbrood disease by honey bee colonies *Apis mellifera* bred for hygienic behavior. *Apidologie* 32:555-565. doi:10.1051/apido:2001103
- Tsuruda J.M., J.W. Harris, L. Bourgeois, R.G. Danka, and G.J. Hunt 2012, High-resolution linkage analyses to identify genes that influence Varroa sensitive hygiene behavior in honey bees. *Plos One* 7:e48276. doi:10.1371/journal.pone.0048276
- Wilson-Rich N., S.T. Dres, and P.T. Starks 2008, The ontogeny of immunity: development of innate immune strength in the honey bee (*Apis mellifera*). *J Insect Physiol* 54:1392-9. doi:10.1016/j.jinsphys.2008.07.016
- Han J.H. 2015, A Study on Management of Apiary and Main Factors for Developing the Beekeeping Industry in Korea. *Journal of Apiculture* 30:127-133.