



전북 변산반도에서 재래꿀벌(*Apis cerana*) 토람벌 품종의 주요 형질 평가

이상식*, 장수지, 이은진, 송창성, 김동원¹, 오대근¹, 이창훈¹, 김진명¹, 최용수²

전북특별자치도농업기술원 종자사업소 잠사곤충시험장, ¹국립농업과학원 농업생물부 양봉과, ²국립농업과학원 기술지원과

Evaluation of Major Traits of Torambeol (*Apis cerana*) in the Byeonsan Peninsula, Jeonbuk Province

SangSik Lee*, SuJi Jang, EunJin Lee, ChangSung Song, Dongwon Kim¹, Daegeun Oh¹, Chang-hoon Lee¹, JinMyung Kim¹ and Yong-Soo Choi²

Sericulture and Entomology Experiment Station, Jeonbuk State Agricultural Research and Extension Services, Buan 56339, Republic of Korea

¹Apicultural Division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Republic of Korea

²Technical Support Division, National Institute of Agricultural Science, Wanju 55365, Republic of Korea

Abstract

This study was conducted to evaluate the regional adaptability and major traits of Torambeol, a Korean *Apis cerana* variety bred by the Rural Development Administration for high honey yield. From 2023 to 2025, colony development, overwintering ability, nectar collection ability, and gentleness were compared between Torambeol and Hallabeol, the control variety, in the Byeonsan Peninsula, Jeonbuk Province, Republic of Korea. During the study period, temperature, relative humidity, and sunshine duration showed distinct seasonal patterns, while the timing and amount of precipitation varied among years. Linear mixed-model analysis of colony development showed no significant overall effect of variety across the study period. No significant differences were observed between Torambeol and the control in colony survival rate, adult bee survival rate, colony weight retention, or overwintering index over the overwintering period. Likewise, no significant differences were found in honey load per bee or 7-day colony weight change, either at individual sampling dates or across the overall study period. In contrast, Torambeol had significantly fewer stings than the control. These results indicate that Torambeol did not differ significantly from Hallabeol in colony development, overwintering ability, or nectar collection ability in the Byeonsan Peninsula, while exhibiting greater gentleness. Further multi-year and multi-location regional adaptation trials are needed to confirm its productivity and environmental adaptability.

Keywords

Apis cerana, Regional adaptation, Colony development, Overwintering ability, Honey yield, Gentleness

서 론

농업에서 품종 육종이란 생물의 유전적 특성을 개량하여 우수성, 균등성 및 영속성을 지닌 실용적 가치가 높은

작물과 가축의 신품종을 만들거나 개량하는 기술을 말하고, 생산성, 품질 및 환경적응성 등의 형질 개선을 통해 농업 생산의 안정성과 농가 소득 향상을 위한 중요한 기반이 된다(박 등, 2006). 꿀벌의 육종에는 우수한 유전자원으로

부터 동계교배로 형질이 고정된 계통을 육성하고, 서로 다른 육성 계통 간 교배를 통해 잡종강세(heterosis)를 이용하는 방법이 활용되고 있다(Lee *et al.*, 2014). 국내에서는 1985년에 미국, 캐나다 등지에서 우량 여왕벌을 도입하여 새로운 계통 및 품종 육성에 필요한 기초 연구가 수행되었고, 1988년부터 선발에 의한 꿀벌 육종에 관한 연구가 수행되었다(김 등, 2019). 최근에는 채밀능력이 우수한 양봉꿀벌(*Apis mellifera* L.) 장원벌(Jangwonbeol)과 낭충봉아부패병(Sacbrood virus disease, SBV)에 대한 저항성을 지닌 재래꿀벌(*Apis cerana* F.) 한라벌(Hallabeol) 및 백두벌(Baekdubeol)이 육종된 바 있다(Lee *et al.*, 2014; Choi *et al.*, 2020a, 2020b).

작물의 경우에는 신품종으로 등록되기 위해서는 「종자산업법」 및 「식물신품종보호법」에 근거하여 지대별로 환경조건이 다른 세 지역 이상에서 지역적응시험을 수행해야 한다(농촌진흥청, 2025). 꿀벌 우수품종 장원벌은 전국 5개 지역을 대상으로 채밀능력(honey yield), 청소력(hygienic behavior), 봉군 발육(colony development), 온순성(gentleness) 등 주요 형질의 평가를 통해 정부장려품종으로 지정 및 농가 보급되었다(Kim *et al.*, 2015).

꿀벌의 주요 양봉산물에는 벌꿀, 프로폴리스, 로열젤리 및 화분 등이 있으며, 이 가운데 벌꿀은 국내 양봉산업에서 높은 비중을 차지하는 주요 생산물이다. 2017년을 기준으로 벌꿀 생산액은 전체 양봉산물 생산액의 2,288억 원 중 1,228억 원(53.7%)을 차지하였으나(이 등, 2019), 최근 국내 벌꿀 생산량은 기후변화 등의 영향으로 감소하는 추세를 보이고 있다(농촌진흥청, 2021a; Kim *et al.*, 2021). 또한 전북 지역 양봉농가를 대상으로 실시한 중요도-만족도 분석(importance-performance analysis, IPA)에서도 채밀량은 중요도가 높은 반면 만족도가 낮아 우선적인 개선이 필요한 항목으로 평가되었다(Lee *et al.*, 2023).

이러한 채밀능력은 유전적 기반의 형질로, 꿀벌의 수명, 산란력, 체구, 근면성 및 먹이 소모 등 여러 형질이 복합적으로 작용한다(Rinderer, 1986; Lee *et al.*, 2014). 그 외에도 온도, 풍속 등 기상 환경은 꿀벌의 생리와 생태 및 밀원식물의 개화에 영향을 주기도 한다(Flores *et al.*, 2019; Becci *et al.*, 2021; Kim *et al.*, 2022; Lee *et al.*, 2022; Vincze *et al.*, 2025). 따라서 우수한 유전적 특성을 지닌 꿀벌 계통이라 하더라도 특정 지역 환경에서 안정적인 봉군 발육, 월동능력 및 양봉산물 생산성을 나타내는지 검증할 필요가 있다.

시험이 수행된 전북특별자치도 부안군 변산반도는 농업 기후지대상 호남평야 및 서해안 남부 내륙 지대에 속하여 중부 지역에 비해 상대적으로 온화한 기후 특성을 지니며, 서해와 인접한 해양성 기후와 국립공원의 산지 지형이 공존하는 지리적 특성이 있다(Kim *et al.*, 2016; 국립농업과학원, 2025).

본 연구에서는 농촌진흥청에서 육성한 토종꿀 다수확형질의 재래꿀벌 토람벌과 대조품종 한라벌을 대상으로 전북특별자치도 부안군 변산반도에서 지역적응시험을 수행하였다. 두 품종의 봉군 발육, 월동능력, 수밀력 및 온순성을 비교하여 지역 환경적응성과 주요 양봉 형질을 평가하고, 향후 신품종의 농가 보급 및 이용 확대를 위한 기초 자료를 마련하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 시험 지역 및 꿀벌

본 시험은 2023년부터 2025년까지 전북특별자치도 부안군 변산 지역에 위치한 전북특별자치도농업기술원 잠사곤충시험장 야외 양봉장(35.6°N, 126.5°E)에서 수행하였다. 꿀벌 시료는 전북특별자치도 부안 위도와 경상남도 통영 육지도에서 같은 해에 격리 자연교미된 여왕벌을 분양받아 사용하였다. 토람벌(R×X)은 국립농업과학원에서 유지·보존 중인 R계통(*Apis cerana* Korea)을 모계로, X계통(*Apis c. K.*)을 부계로 하여 부안군 위도에서 단교배하여 생산한 F1 세대를 활용하였다. 한라벌(R×R)은 국립농업과학원과 한라벌 증식·보급사업에 참여한 양봉농가에 의해 통영 육지도에서 R계통 내 여러 봉군 간 동계교배를 통해 증식·유지된 봉군을 분양받아 활용하였다. 모든 시험 봉군은 개량형 벌통에서 사육하였으며, 벌통 간 4~5 m 이상의 간격을 두고 나무 그늘 아래에 배치하였다. 무밀기에는 봉군 상태에 따라 당액을 공급하였으나, 수밀력 조사기 간에는 사양이 측정값에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 당액 공급을 중단하였다.

2. 기상자료

시험 지역의 기상 환경을 파악하기 위하여 2023년부터 2025년까지의 기상자료를 수집하였다. 기상자료는 기상

청 기상자료개방포털에서 제공하는 부안 종관기상관측소(automated synoptic observing system, ASOS; 지점번호 243)의 일자료를 이용하였다(기상청, 2026). 해당 관측소는 시험장 야외 양봉장으로부터 직선거리로 약 21 km 떨어져 있으며, 시험 지역과 가장 가까운 종관기상관측소이다. 수집한 일자료를 월 단위로 집계하여 월평균기온, 월평균 풍속, 월평균상대습도, 일평균 일조시간, 월강수량 및 강수일수를 산출하였다. 강수일수는 일강수량이 0 mm를 초과한 날의 수로 산정하였다.

3. 조사항목

모든 조사는 농촌진흥청 국립농업과학원 「꿀벌 지역적응시험 지침서」를 참고하여 주요 항목에 대한 형질 특성을 조사하였다(농촌진흥청, 2021b).

1) 봉군 발육 조사

봉군 발육 조사는 1개월 간격으로 일벌 성충과 알·유충·번데기(봉아)의 수를 계측하였다. 성충 및 알·유충·번데기 개체수는 각 소비의 앞·뒷면에서 조사한 성충 부착물과 알·유충·번데기 점유율을 이용하여 환산하였다. 소비한 면의 성충 부착물 100%를 1,125개체, 알·유충·번데기 점유율 100%를 3,250개체로 기준하여 봉군별 개체수를 다음과 같이 산출하였다.

$$N_{adult} = \sum_{i=1}^n (A_{Fi} + A_{Bi}) \times 11.25 \quad (1)$$

$$N_{brood} = \sum_{i=1}^n (B_{Fi} + B_{Bi}) \times 32.5 \quad (2)$$

N_{adult} 는 봉군당 성충 개체수로 A_{Fi} 와 A_{Bi} 는 각각 i 번째 소비의 앞면과 뒷면에서 조사한 성충 부착물(%)이고, N_{brood} 는 봉군당 알·유충·번데기 개체수로 B_{Fi} 와 B_{Bi} 는 각각 i 번째 소비의 앞면과 뒷면 알·유충·번데기 점유율(%)을 의미하며, n 은 봉군 내 조사한 총 소비수를 의미한다.

2) 월동능력 조사

월동능력은 봉군 생존율(colony survival rate, CSR), 성충 생존율(adult bee survival rate, ASR), 남은 먹이 비율(colony weight retention, CWR) 및 종합 월동능력 지수(overwintering index, OWI)로 평가하였다. 월동 전 조사는 12월에, 월동 후 조사는 이듬해 2월에 실시하였다. 봉군 생존율은 월동 전 투입한 전체 봉군수를 기준으로 월동 후

생존한 봉군의 비율로 산출하였다. 성충 생존율과 남은 먹이 비율은 월동 중 폐사한 봉군을 제외하고 월동 후 생존이 확인된 봉군만을 대상으로 계산하였다. 종합 월동능력 지수는 성충 생존율과 남은 먹이 비율의 평균값으로 산출하였다.

$$CSR = \frac{N_{survived}}{N_{pre}} \times 100 \quad (3)$$

$$ASR = \frac{A_{post}}{A_{pre}} \times 100 \quad (4)$$

$$CWR = \frac{W_{post}}{W_{pre}} \times 100 \quad (5)$$

$$OWI = \frac{ASR + CWR}{2} \quad (6)$$

CSR의 $N_{survived}$ 는 월동 후 생존 봉군수, N_{pre} 는 월동 전 전체 봉군수를 의미한다. ASR의 A_{post} 와 A_{pre} 는 각각 월동 후와 월동 전의 성충 개체수를 의미한다. CWR의 W_{post} 와 W_{pre} 는 각각 월동 후와 월동 전의 봉군 무게를 의미한다. OWI의 성충 생존율(%)과 남은 먹이 비율(%)의 평균값으로 산출한 종합 월동능력 지수(%)를 의미한다.

3) 수밀력 조사

수밀력 조사는 성충 개체 수밀량(individual honey load, IHL)과 봉군의 7일간 무게 변화량(7-day colony weight change, CWC)을 이용하여 평가하였다. 개체 수밀량은 귀소 일벌의 평균 개체 무게에서 출소 일벌의 평균 개체 무게를 차감하여 산출하였으며, 7일간 봉군 무게 변화량은 최초 조사일의 봉군 무게와 조사 7일 후의 봉군 무게 차이로 산출하였다.

$$IHL = W_{returning} - W_{outgoing} \quad (7)$$

$$CWC = W_{day7} - W_{day0} \quad (8)$$

IHL의 $W_{returning}$ 과 $W_{outgoing}$ 은 각각 귀소 일벌과 출소 일벌의 평균 개체 무게(mg/마리)를 의미한다. CWC는 7일간 봉군 무게 변화량(kg/봉군), W_{day7} 과 W_{day0} 는 각각 조사 7일 후와 최초 조사 시의 봉군 무게를 의미한다.

4) 온순성 조사

온순성은 알람페로몬 자극에 의해 유도된 봉군의 방어 행동을 이용하여 평가하였다. Akongte *et al.* (2023)의 방법을 참고하여 5×5 cm 크기의 돼지 가죽에 알람페로몬 조성액을 적신 후 집게로 잡아 벌통 위 약 한 뼘 높이에 위치시

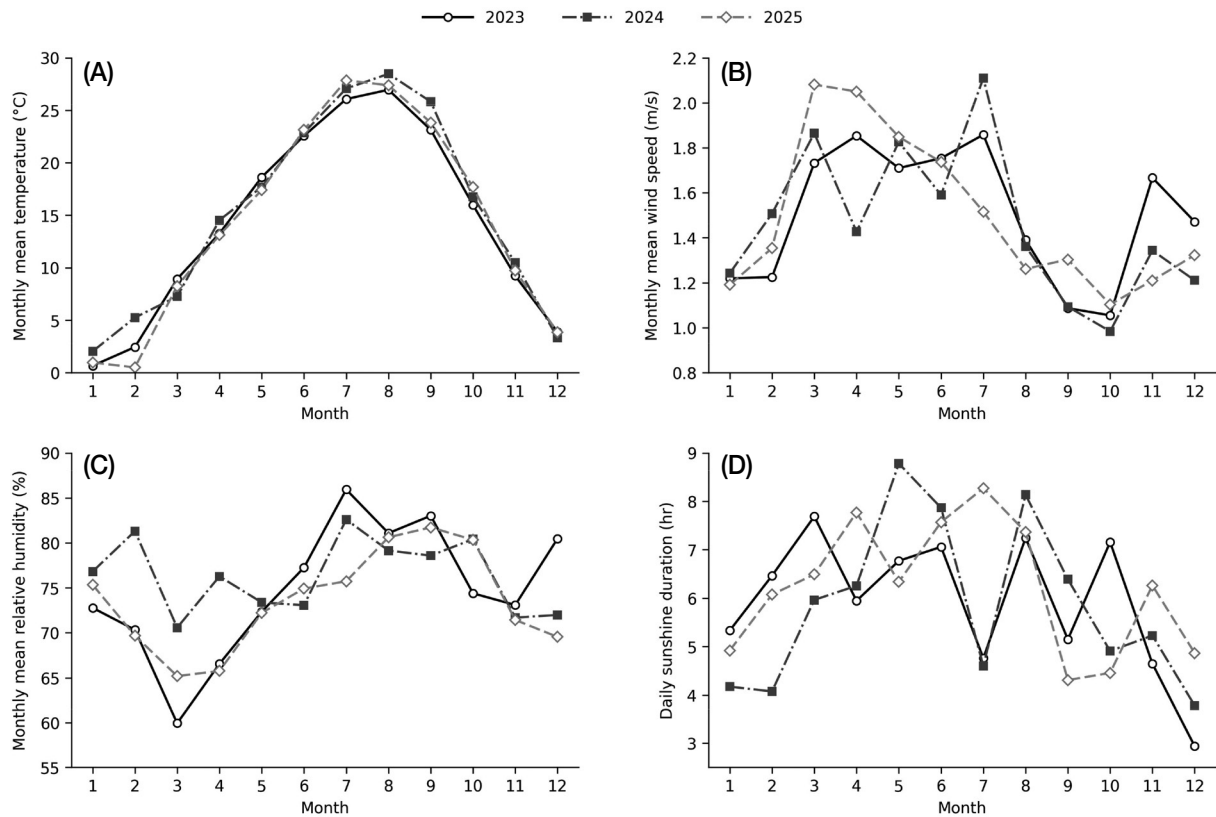


Fig. 1. Monthly variations (mean) in climatic conditions in Buan, Jeonbuk, Republic of Korea, from 2023 to 2025. (A) Monthly mean air temperature, (B) monthly mean wind speed (m/s), (C) monthly mean relative humidity (%), and (D) mean daily sunshine duration. Values were calculated as monthly means of daily meteorological observations.

켰다. 이후 별통에 1회의 물리적 충격을 가하고 돈피 가죽을 천천히 흔들면서 90초간 봉군을 자극하였다. 자극이 종료된 후 별통 뚜껑을 닫고 돈피 가죽에 박힌 벌침수를 계수하였다. 돈피 가죽 이외의 별통, 집게 및 보호장비 등에 부착된 벌침은 계수에서 제외하였다. 온순성 지표(gentleness index, GI)는 동일 조사일의 대조구 평균 벌침수를 기준으로 공시제통의 상대적인 벌침 감소 정도를 산출하였다.

$$GI = 100 - \left(\frac{S_T}{S_C} \times 100 \right) \quad (9)$$

GI의 S_T 는 시험구의 평균 벌침수, S_C 는 동일 조사일의 대조구의 평균 벌침수를 의미한다. 온순성 지표가 높을수록 대조구에 비해 벌침수가 적어 상대적으로 온순한 특성을 나타내는 것으로 해석하였다.

4. 통계분석

통계분석은 Python 3.13 환경에서 수행하였다. 봉군 발

육 자료는 동일 봉군에서 반복 측정된 자료와 조사기간 중 봉군 폐사 및 신규 봉군 투입으로 발생한 불균형 자료구조를 고려하여 선형혼합모형(linear mixed model, LMM)을 적용하였고(Lim and Won, 2015), 분석에는 statsmodels 0.14.6 패키지를 이용하였다. 성충 개체수와 알·유충·번데기 개체수를 각각 종속변수로 설정하였으며, 계통, 조사시기 및 계통×조사시기 상호작용을 고정효과로 포함하였다. 조사시기는 연도와 월을 결합한 범주형 요인으로 처리하였고, 반복 측정된 봉군을 임의효과로 설정하였다. 고정효과의 유의성은 Wald χ^2 검정으로 평가하였다. 조사시기별 다중검정에 따른 제1종 오류의 증가를 통제하기 위하여 Bonferroni 방법으로 P 값을 보정하였다. 월동능력, 수밀력 및 온순성 관련 연속형 변수의 계통 간 비교에는 Welch의 독립표본 t -검정을 적용하였고, 봉군 생존율은 Fisher의 정확검정으로 비교하였다. 모든 검정은 양측검정으로 수행하였으며, 통계적 유의수준은 $P < 0.05$ 로 설정하였다.

결 과

1. 시험 지역 기상 정보

1) 연도별 월평균기온, 풍속, 상대습도, 일조시간

2023년부터 2025년까지 부안 지역의 기상 환경은 다음과 같다(Fig. 1). 최고 월평균기온은 2023년 8월 27.0°C, 2024년 8월 28.5°C 및 2025년 7월 27.8°C로 조사되었고, 최저월평균기온은 2023년과 2024년에는 1월, 2025년 2월로 조사되었다. 월평균풍속은 전체 조사기간 동안 1.0~2.1 m/s 범위에서 변동하였으며, 2023년과 2024년은 7월에 가장 높은 풍속을 나타낸 반면, 2025년에는 3월에 가장 높은 수치가 기록되었다. 월평균상대습도는 대체로 3월에 낮아지고 7월에 증가하는 경향을 보였다. 일평균 일조시간은 2023년 3월에 7.7시간, 2024년 5월 8.8시간, 2025년 7월 8.3시간으로 각각 가장 긴 일조시간을 보였다.

2) 연도별 월강수량, 강수일수

2023년부터 2025년까지 부안 지역의 월강수량과 강수일수는 Table 1과 같다. 2023년은 전체 기간 중 가장 많은 강수량이 기록되었고, 2023년과 2024년에는 7월, 2025년에는 9월에 최대 월강수량과 강수일수가 기록되었다. 2025년에는 다른 연도보다 강수 집중 시기가 7월에서 9월로 늦은 양상을 보였다.

2. 생육 특성

1) 봉군 발육

2023년부터 2025년까지 토람벌과 대조구의 성충 및 알·유충·번데기 개체수 조사 결과는 다음과 같다(Fig. 2). 성충 개체수는 조사시기에 따라 유의하게 변화하였으며(Wald $\chi^2 = 151.273$, $df = 20$, $P < 0.001$), 계통×조사시기 상호작용도 유의하였다(Wald $\chi^2 = 32.683$, $df = 20$, $P = 0.037$). 반면 전체 조사기간에서 토람벌과 대조구 간 차이는 유의하지 않았다(Wald $\chi^2 = 0.405$, $df = 1$, $P = 0.524$). 알·유충·번데기 개체수도 조사시기에 따라 유의하게 변화하였으나(Wald $\chi^2 = 206.845$, $df = 20$, $P < 0.001$), 전체 조사기간에서 두 시험구 간 차이는 유의하지 않았으며(Wald $\chi^2 = 0.221$, $df = 1$, $P = 0.639$), 계통×조사시기 상호작용도 유의하지 않았다(Wald $\chi^2 = 24.862$, $df = 20$, $P = 0.207$). Bonferroni 보정 후 조사시기별 시험구 간 비교에서는 성충 및 알·유충·번데기 개체수 모두 유의한 차이가 확인되지 않았다($P > 0.05$).

2) 월동능력

2023~2024년 및 2024~2025년의 두 시험구에 대한 월동능력 조사 결과는 Table 2와 같다. 토람벌의 봉군 생존율은 80.0%로 대조구의 87.5%보다 낮았으나, Fisher의 정확검정 결과 두 시험구 간 유의한 차이는 없었다($P = 1.000$). 월동 중 폐사한 봉군을 제외하고 생존 봉군을 대상으로

Table 1. Monthly precipitation and number of rainy days in Buan, Jeonbuk, Republic of Korea, from 2023 to 2025

Month	2023		2024		2025	
	Precipitation (mm)	Rainy days	Precipitation (mm)	Rainy days	Precipitation (mm)	Rainy days
1	35.4	8	54.7	13	44.8	13
2	4.8	6	130.9	14	35.6	11
3	19.8	3	75.2	5	43.0	9
4	48.6	10	56.6	9	62.6	8
5	236.7	10	88.3	9	82.9	8
6	247.2	9	77.7	6	317.6	10
7	647.2	19	325.5	20	209.0	9
8	168.5	11	37.2	7	183.0	9
9	191.2	13	165.1	7	348.1	17
10	13.3	6	71.6	14	90.7	15
11	104.7	15	50.4	11	21.5	9
12	136.2	16	35.0	14	34.3	12
Total	1,853.6	126	1,168.2	129	1,473.1	130

*Monthly precipitation was calculated as the total sum of daily precipitation for the corresponding month, and rainy days were defined as days with daily precipitation greater than 0 mm (> 0 mm).

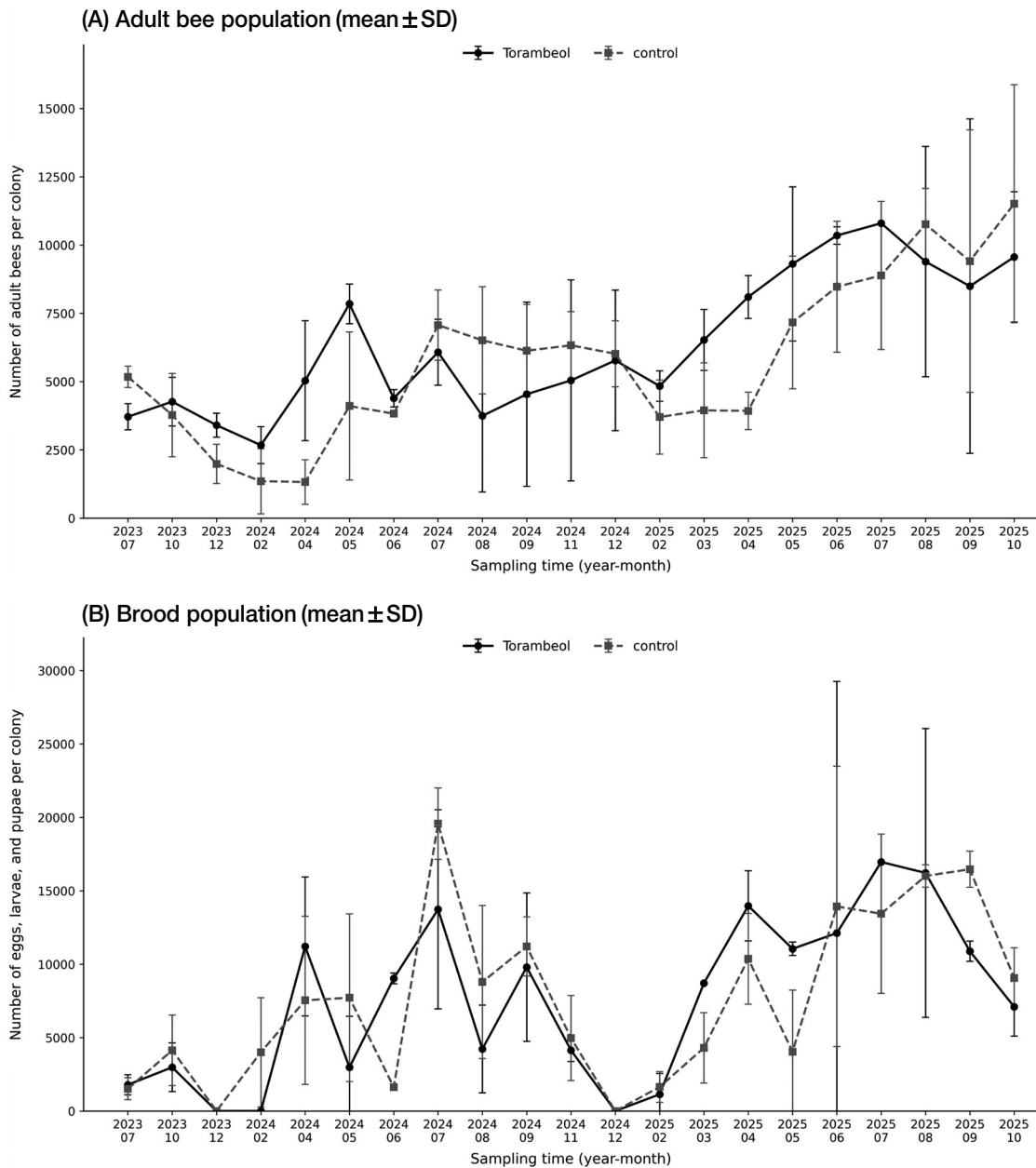


Fig. 2. Seasonal changes in adult bee and brood populations of Torambeol and the control from 2023 to 2025 are shown as the adult bee population (A) and brood population, including eggs, larvae, and pupae, per colony (B). Values are presented as mean $\pm$ SD, and no significant differences between varieties were detected at individual sampling times after Bonferroni correction.

Welch의 독립표본 t -검정을 실시한 결과, 성충 생존율은 토람벌과 대조구에서 각각 $72.6 \pm 8.4\%$ 와 $62.1 \pm 30.8\%$ 로 토람벌이 높았으나, 두 시험구 간 유의한 차이는 나타나지 않았다($t=0.847$, $df=7.42$, $P=0.423$). 남은 먹이 비율도 각각 $89.6 \pm 8.6\%$ 와 $86.2 \pm 10.4\%$ 로 토람벌이 다소 높은 평균 값을 보였으나, 유의한 차이는 없었다($t=0.585$, $df=7.50$, $P=0.576$). 월동능력 지수도 토람벌 $81.1 \pm 7.4\%$ 로 대조구

의 $74.1 \pm 15.8\%$ 보다 높았으나, 유의한 차이는 확인되지 않았다($t=0.990$, $df=8.87$, $P=0.348$).

3. 생산성

1) 성충 개체 수밀량 및 7일간 봉군 무게 변화량

토람벌과 대조구의 수밀력 조사 결과는 다음과 같다 (Fig. 3). 조사일자별 개체 수밀량은 모든 조사일에서 두

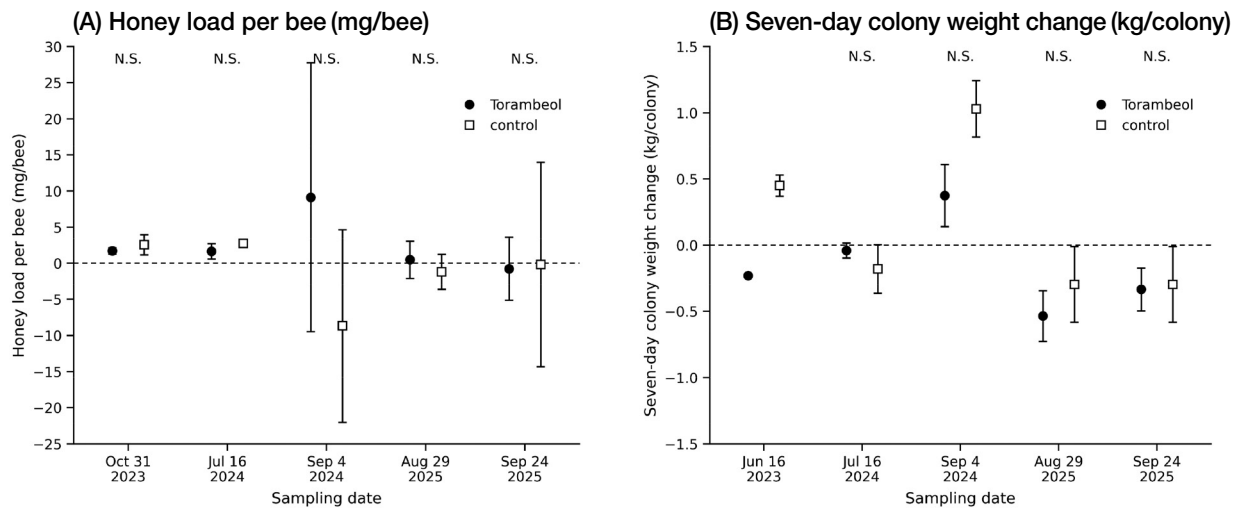


Fig. 3. Honey load per bee (mg/bee) (A) and seven-day colony weight change (kg/colony) (B) of Torambeol and the control at each sampling date. Values are presented as mean $\pm$ SD. Differences between varieties were analyzed using Welch's two-sample *t*-test. N.S. indicates no significant difference between Torambeol and the control ($P > 0.05$). For seven-day colony weight change on June 16, 2023, only one Torambeol colony was available ($n = 1$).

Table 2. Comparison of colony survival and overwintering performance between the selected Torambeol and the control

Honey bee variety	Colony survival rate (%)	Adult bee survival rate (%)	Colony weight retention (%)	Overwintering index (%)
Torambeol	80.0 (4/5)**	72.6 $\pm$ 8.4	89.6 $\pm$ 8.6	81.1 $\pm$ 7.4
Control	87.5 (7/8)	62.1 $\pm$ 30.8	86.2 $\pm$ 10.4	74.1 $\pm$ 15.8

*Values are presented as the mean $\pm$ standard deviation (SD). Colony survival was calculated using all colonies present before overwintering and compared using Fisher's exact test. Adult bee survival rate, colony weight retention, and the composite overwintering performance index were calculated using surviving colonies only, excluding colonies with no adult bees after overwintering. Differences between the Torambeol and the control for these indices were analyzed using a two-tailed Welch's *t*-test.

**Values in parentheses indicate the number of surviving colonies/total number of colonies before overwintering.

시험구 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다 ($P > 0.05$). 전체 조사기간의 평균 개체 수밀량은 토람벌과 대조구에서 각각 2.44 ± 7.41 및 -0.64 ± 8.05 mg/일별로 토람벌의 평균값이 높았으나, 두 시험구 간 차이는 통계적으로 유의하지 않았다 ($t = 0.950$, $df = 20.25$, $P = 0.353$). 7일간 봉군 무게 변화량에서도 통계적 비교가 가능한 모든 조사일에서 토람벌과 대조구 간 유의한 차이가 나타나지 않았다 ($P > 0.05$). 전체 조사기간의 자료를 통합한 7일간 봉군 무게 변화량은 토람벌 -0.14 ± 0.37 kg/봉군, 대조구 0.10 ± 0.55 kg/봉군으로 대조구의 평균값이 높았으나, 두 시험구 간 차이는 유의하지 않았다 ($t = -1.242$, $df = 19.99$, $P = 0.229$).

2) 온순성 조사

토람벌의 평균 벌침수는 1.25 ± 0.50 개로 대조구의

Table 3. Comparison of sting counts and gentleness index between Torambeol and the control colonies

Honey bee variety	Number of stings	Gentleness index (%)
Torambeol	1.25 $\pm$ 0.50	70.17 $\pm$ 16.96
Control	4.50 $\pm$ 2.74	

*Values are presented as mean $\pm$ SD. The gentleness index was calculated only for Torambeol relative to the mean sting count of the control colonies. Sting counts were compared using Welch's *t*-test.

4.50 $\pm$ 2.74개보다 유의하게 적었다 ($t = -2.837$, $df = 5.490$, $P = 0.033$). 동일 조사일의 대조구 평균 벌침수를 기준으로 산출한 토람벌의 온순성 지표는 $70.17 \pm 16.96\%$ 로 토람벌의 벌침수가 대조구보다 평균적으로 약 70% 적었다 (Table 3).

고 찰

본 연구에서 평가한 토람벌(*Torambeol, Apis cerana*)은 농촌진흥청 국립농업과학원 양봉과에서 육성·개발된 토종꿀 다수확 재래꿀벌로 2025년에 농촌진흥청 직무육성 품종으로 등록되었다. 품종의 등록에 앞서 지역별 환경 조건에 대한 적응성과 주요 양봉 형질을 검증하기 위한 지역적응시험이 수행되었으며, 본 연구는 전북특별자치도 변산반도 지역에서 2023년부터 2025년까지 3년간 토람벌의 주요 형질을 기존 등록 품종인 한라벌과 비교·평가하였다.

기상 환경은 꿀벌의 외역 활동과 밀원 이용뿐 아니라 여왕벌의 산란, 봉아 발육 및 봉군 세력의 변화에도 직·간접적으로 영향을 미칠 수 있는 것으로 보고되어 있다(Lee *et al.*, 2015; Becsi *et al.*, 2021; Lee *et al.*, 2022; Kang and Jung, 2025; Vincze *et al.*, 2025). 시험이 수행된 변산반도 지역의 기상 환경은 조사기간 동안 기온, 상대습도 및 일조시간에서 뚜렷한 계절적 변화를 나타냈으며, 강수량과 강수 집중 시기는 연도에 따라 차이를 보였다. 특히 2025년 2월의 평균기온은 0.5°C로 세 연도 중 가장 낮았으며, 강수는 2023년과 2024년에 7월을 중심으로 집중된 것과 달리 2025년에는 6월부터 9월까지 비교적 넓은 기간에 걸쳐 분산되었다. 또한 2025년의 최대 월강수량과 강수일수는 9월에 기록된 반면, 7월에는 높은 평균기온과 긴 일조시간, 상대적으로 낮은 상대습도와 풍속이 나타났다. 이러한 결과를 2025년 여름철의 기상조건이 이전 연도와 다소 상이했음을 보여주며, 이러한 연차별 환경 변화가 봉군 발육 및 생산성 형질의 발현에 영향을 미쳤을 가능성이 있다. 다만 각 연도에서 토람벌과 대조구는 동일한 지역과 환경조건에서 비교되었으므로, 연도 내 계통 간 비교에서는 두 시험구가 공통된 환경 영향을 받았다고 볼 수 있고, 본 연구에서는 기상요인과 각 형질 간의 직접적인 통계적 연관성을 분석하지 않았으므로, 개별 기상요인이 봉군 발육, 월동 능력 및 생산성에 미친 영향이나 이들 변수 간의 상관관계를 단정하기는 어렵다.

토람벌과 대조구의 성충 개체수는 조사시기에 따라 크게 변동하였으며, 전반적으로 봄부터 여름까지 증가한 후 가을과 월동기에 감소하는 계절적 양상을 나타냈다. 전체 조사기간에 걸친 평균적인 품종 효과는 유의하지 않았으나, 품종과 조사시기 간 상호작용이 유의하게 나타나 두 품

종의 성충 개체수 변화 양상이 조사시기에 따라 달라졌음을 보여주었다. 따라서 어느 한 품종이 전체 조사기간 동안 일관되게 우수한 봉군 발육을 나타냈다고 해석하기보다는, 품종별 발육 특성이 조사시기와 환경조건에 따라 다르게 발현된 것으로 판단된다.

재래종 꿀벌은 비교적 우수한 내한성과 환경적응성을 가지는 것으로 알려져 있다(Chen *et al.*, 2024). 그러나 최근 월동기 이상고온과 한파 등 기상 변동성이 증가함에 따라 품종별 월동 안정성을 평가할 필요성이 커지고 있다(Lee *et al.*, 2022). 본 연구에서 토람벌은 일부 월동능력 지표에서 대조구보다 높은 평균값을 나타냈으나, 두 품종 간 차이는 통계적으로 유의하지 않았다.

수밀력은 벌꿀 생산성과 밀접하게 관련되어 농가 소득에 영향을 미치는 중요한 양봉 형질이다. 국내 벌꿀 생산량은 2014년 이후 감소하는 경향을 보이고 있으며(농촌진흥청, 2021a; Kim *et al.*, 2022), 이에 따라 높은 수밀력과 안정적인 환경적응성을 갖춘 품종의 육성 및 보급이 중요하다. 토람벌은 토종꿀 다수확 형질을 목표로 선발된 품종이나, 본 연구에서 변산반도 지역을 대상으로 조사한 개체 수밀량과 7일간 봉군 무게 변화량에서는 대조구와 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 일부 조사일에서는 두 시험구 간 평균값의 차이가 관찰되었으나 봉군 간 변이가 크게 나타났으며, 전체 조사기간을 통합한 분석에서도 유의한 차이는 확인되지 않았다. 대조구인 한라벌의 개체 수밀량은 선행 연구에서 23.7 mg/일벌로 보고된 바 있으나(Choi *et al.*, 2020b), 본 연구에서는 토람벌과 대조구 모두 이보다 낮은 평균 수밀량을 나타냈다. 그러나 개체 수밀량은 조사지역과 시기, 밀원식물의 종류와 개화 상태, 기상 환경 및 봉군 세력 등 다양한 요인의 영향을 받을 수 있으므로, 서로 다른 시험조건에서 얻어진 수치를 직접 비교하여 품종 고유의 채밀능력 차이로 해석하는 데에는 주의가 필요하다.

꿀벌의 방어행동은 개별 일벌의 행동과 집단효과를 포함하는 봉군 수준의 협동적 반응으로 구성된 복합형질로, 작업자의 안전과 노동 효율성에 직접 영향을 미치는 중요한 실용 형질이다(Andere *et al.*, 2002; Kim *et al.*, 2015; Akongte *et al.*, 2023). 본 연구에서는 동일한 조사일에 알람페로몬으로 봉군을 자극한 후 돼지 가죽에 박힌 벌침수를 조사하였다. 그 결과, 토람벌의 평균 벌침수는 대조구보다 유의하게 적었으며, 동일 조사일의 대조구 평균 벌침수

를 기준으로 산출한 토람벌의 온순성 지표는 70.2%로 나타났다. 이는 토람벌이 대조구보다 알람페로몬 자극에 대한 벌침 공격 반응이 낮았음을 보여주며, 양봉 관리 과정에서 작업자의 안전성과 관리 편의성을 높일 수 있는 유용한 특성으로 판단된다.

종합하면, 토람벌은 변산반도 지역에서 대조구인 한라벌과 비교하여 봉군 발육의 품종 간 효과, 월동능력 및 수밀력에서는 뚜렷한 차이가 확인되지 않았으나, 온순성 평가에서는 벌침수가 유의하게 적어 상대적으로 높은 온순성을 나타냈다($P < 0.05$). 다만 본 연구는 조사 봉군의 표본수가 제한적이고 봉군 간 변이가 크게 나타났으므로, 실제 품종 간 차이가 존재하더라도 이를 검출할 수 있는 통계적 검정력이 충분하지 않았을 가능성이 있다. 또한 시험에 사용된 토람벌과 한라벌의 여왕벌이 서로 다른 도서 지역에서 교미·증식되었다는 점을 고려할 때, 여왕벌의 연령과 교미 상태, 초기 봉군 세력, 사양관리 이력 및 질병·응애 감염 수준 등의 차이가 관찰된 형질의 변이에 일부 영향을 미쳤을 가능성을 배제하기 어렵다. 따라서 향후에는 충분한 수의 봉군을 확보하여 반복적인 지역적응시험을 수행하고, 초기 봉군 세력, 밀원환경, 기상조건 및 병해충 수준 등 주요 환경·관리요인을 표준화하거나 분석에 함께 고려할 필요가 있다. 이를 통해 토람벌의 지역적응성뿐만 아니라 환경 변화에 따른 형질의 안정성과 생산성의 재현성을 보다 명확하게 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 공동연구사업(꿀벌 강건 다수확 신품종 지역적응연구, 과제번호: RS-2025-02273005)에 의하여 수행되었다. 통계분석을 위한 Python 코드의 작성 및 검토 과정에서 저자는 OpenAI의 ChatGPT (GPT-5.6 Sol)를 보조적으로 활용하였다.

인용 문헌

- 국립농업과학원. 2025. 농업날씨365. 국립농업과학원, 완주. <https://weather.rda.go.kr/agriZone/zoneDiff.do>. Accessed 6 Aug. 2026.
- 기상청. 2026. 기상자료개방포털. 기상청, 대전. <https://data.kma.go.kr/data/grnd/selectAsosRltmList.do?pgmNo=36>. Accessed 6 Aug. 2026.
- 김병호, 유영우, 박성진, 송우준, 신정남, 오동환, 우건석, 이지왕, 장영덕, 조규석, 조성구, 최광수. 2019. 최신 양봉학. pp. 211-214. 선진문화사, 경기도.
- 농촌진흥청. 2021a. 양봉산업 현황 실태조사. pp. 39-41. 농촌진흥청, 전주.
- 농촌진흥청. 2021b. 꿀벌 지역적응시험 지침서. 29pp. 국립농업과학원, 완주.
- 농촌진흥청. 2025. 농촌진흥청 농업과학기술 연구개발사업 운영 규정 및 매뉴얼. pp. 137-140. 농촌진흥청, 전주.
- 박순직, 체제천, 강병화, 김석현. 2006. 삼고 재배학원론. pp. 59-65. 향문사, 서울.
- 이정민, 김용렬, 김창호, 우성휘. 2019. 양봉산업의 위기와 시사점. 농정포커스 178: 3-4.
- Akongte, P. N., B. S. Park, D. W. Kim and Y. S. Choi. 2023. Honey bee colonies (*Apis mellifera* L.) perform orientation defensiveness that varies among bred lines. *Insects* 14(6): 546.
- Andere, C., M. A. Palacio, E. M. Rodriguez, E. Figini, M. T. Dominguez and E. Bedascarrasbure. 2002. Evaluation of the defensive behavior of two honeybee ecotypes using a laboratory test. *Genet. Mol. Biol.* 25(1): 57-60.
- Becci, B., H. Formayer and R. Brodschneider. 2021. A biophysical approach to assess weather impacts on honey bee colony winter mortality. *R. Soc. Open Sci.* 8(9): 210618.
- Chen, H., L. Gao, J. Liu, C. Ji, X. Dang, Z. Zhou and W. Luo. 2024. Comparison of gut microbiota in overwintering bees: *Apis cerana* vs. *Apis mellifera*. *Microbiol. Res.* 15(4): 2425-2434.
- Choi, Y. S., D. W. Kim, E. J. Kang and H. G. Park. 2020a. Breeding and characteristics of Baekdubeol (*Apis cerana* F. var. Baekdubeol) (Hymenoptera: Apidae) against sacbrood virus disease and honey production. *Korean J. Apic.* 35(3): 129-139.
- Choi, Y. S., E. J. Kang, H. G. Park and O. Frunze. 2020b. Morphological and behavioral characteristics of Hallabeol (*Apis cerana* F. var. Hallabeol) (Hymenoptera: Apidae) resistant to sacbrood virus disease. *Korean J. Apic.* 35(1): 1-8.
- Flores, J. M., S. Gil-Lebrero, V. Gámiz, M. I. Rodríguez, M. A. Ortiz and F. J. Quiles. 2019. Effect of climate change on honey bee colonies in a temperate Mediterranean zone assessed through remote hive weight monitoring system in conjunction with exhaustive colonies assessment. *Sci. Total Environ.* 653: 1111-1119.
- Kang, Y. and C. Jung. 2025. Analysis of light-environment factors affecting foraging activity and colony development of honey bees (*Apis mellifera*) in spring. *Korean J. Apic.* 40(3): 225-234.
- Kim, J. E., S. G. Kim, S. J. Kang, C. S. Kim and Y. S. Choi. 2015. Characterization of triple-crossed honey bee (*Apis mellifera*, Jangwon) in Jeonnam Province. *Korean J. Apic.* 30(4): 239-244.

- Kim, K., J. G. Kim, D. Oh, B. S. Park, S. B. Kim, E. J. Kang, Y. S. Choi, S. M. Han, M. Y. Lee and D. Kim. 2022. Survey of the characteristics and current status of acacia honey production in 2021 and 2022. Korean J. Apic. 37(3): 185-189.
- Kim, K., M. Y. Lee, Y. S. Choi, E. J. Kang, H. G. Park, B. S. Park, O. Frunze, J. G. Kim, S. M. Han, S. O. Woo, S. G. Kim, H. Y. Kim, S. K. Kim and D. Kim. 2021. Status and environmental factors of the annual production of acacia honey from the false acacia (*Robinia pseudoacacia*) in South Korea. Korean J. Apic. 36(1): 11-16.
- Kim, Y., K. Shim, M. Jung, I. Choi and K. Kang. 2016. Classification of agroclimatic zones considering the topographic characteristics in South Korea. J. Clim. Change Res. 7(4): 507-512.
- Lee, M. L., G. H. Byoun, M. Y. Lee, Y. S. Choi and H. K. Kim. 2015. Effect of temperature, yellow sand and acid rain on life span and Nosema infection rate in honeybees, *Apis mellifera* L. Korean J. Apic. 30(4): 269-274.
- Lee, M. L., M. Y. Lee, H. S. Sim, Y. S. Choi, H. K. Kim, G. H. Byoun, I. S. Kim and C. R. Kwon. 2014. Characteristics of superior triple-crossed honeybee (*Apis mellifera* L.): Honey collection, hibernation and hygienic behavior. Korean J. Apic. 29(4): 257-262.
- Lee, S. J., S. H. Kim, J. Lee, J. H. Kang, S. M. Lee, H. J. Park, J. Nam and C. Jung. 2022. Impact of ambient temperature variability on the overwintering failure of honeybees in South Korea. Korean J. Apic. 37(3): 331-347.
- Lee, S. S., J. R. Im, E. J. Lee, W. Kim and D. W. Kim. 2023. Questionnaire study on apiary management and honey production in North Jeolla Province. Korean J. Apic. 38(3): 189-202.
- Lim, J. and S. Won. 2015. Linear mixed models in genetic epidemiological studies and applications. Korean J. Appl. Stat. 28(2): 295-308.
- Rinderer, T. E. 1986. Bee genetics and breeding. pp. 398-401. Academic Press, Orlando.
- Vincze, C., Á. Leelőssy, E. Zajác and R. Mészáros. 2025. A review of short-term weather impacts on honey production. Int. J. Biometeorol. 69: 303-317.