



온도 조건에 따른 꿀벌(*Apis mellifera*) 봉군의 월동 효율 평가

김진명, 오대근, 이창훈, 아콩테 피터, 최용수, 김동원*

농촌진흥청 국립농업과학원 농업생물부 양봉과

Evaluation of Overwintering Efficiency of Honey Bees (*Apis mellifera*) Under Temperature Conditions

Jin Myung Kim, Daegeun Oh, Chang-hoon Lee, Peter Nijukang Akongte, Yong-Soo Choi and Dongwon Kim*

Department of Agricultural Biology, Honeybee Resource Materials Research Laboratory, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju 55365, Republic of Korea

Abstract

Abnormal winter temperatures caused by climate change are one of the main factors in the overwintering failure of honeybees. To overcome this problem, methods of indoor overwintering in constant temperature and humidity cold storage have been developed. However, research for specific indoor overwintering conditions still remained unclear. In this study, we conducted an experiment to determine the conditions suitable for indoor overwintering of honeybees. Honey bees (*Apis mellifera*) were overwintered in cold storage set to maintain either 1°C or 4°C with 50% relative humidity, and as a control, bees that overwintered outdoors were used to compare the overwintering ability of each conditions. Examination of the daily number of dead bees in indoor overwintering colonies showed that 4°C resulted in approximately three times as many dead bees on average as 1°C. The number of dead bees decreased after moving from 4°C to 1°C. When examining the average weight loss of colonies at the end of overwintering, there was no significant difference between colonies overwintered in outdoor and 1°C cold storage, with a loss of approximately 1.2~1.3 kg. The 4°C colony had a relatively large decrease of about 1.7 kg. These results suggest that 1°C may be more suitable than 4°C for indoor overwintering. However, there is still a lack of clear evidence that 1°C is better for indoor overwintering. Further research is needed to clarify indoor overwintering conditions.

Keywords

Honeybee, Overwintering, Indoor, Cold storage, Overwintering efficiency

서 론

꿀벌(*Apis mellifera*)은 인간이 소비하는 작물 중 약 90%에 달하는 작물의 수정에 관여하며 화분매개를 위해 전 세계적으로 사용되는 곤충이다(Allsopp *et al.*, 2008). 또한 화분매개뿐 아니라 벌꿀이나 로열젤리 등과 같은 꿀벌의 양봉산물 역시 활용하는 등 꿀벌과 인간은 매우 밀접한 관계를 가진다(Ruttner, 1988; Jung, 2008; Yoon *et*

al., 2011). 그러나 현재 전 세계적으로 꿀벌군집붕괴현상(Colony collapse disorder, CCD)으로 인한 꿀벌 개체 수 감소 문제가 제기되고 있다. 겨울을 넘기지 못하고 봉군이 소실되는 월동폐사 및 실종 문제가 심각한 것으로 알려져 있다(Potts *et al.*, 2010). 월동폐사는 꿀벌응애 등과 같은 병해충, 질병 감염, 살충제 피해, 먹이 및 관리 부족, 가을철 말벌피해 등 다양한 원인이 복합적으로 작용하여 일어난다(Highfield *et al.*, 2009; Guzmán-Novoa *et*

al., 2010; Rome *et al.*, 2011; Punko *et al.*, 2021). 우리나라에서 양봉농가들을 대상으로 한 설문조사 결과 응애, 말벌 등과 같은 해충과 질병감염, 응애 방제 횟수 등이 월동폐사에 영향을 미치는 것으로 보고하였다(Kang *et al.*, 2024). 중국에서 수행된 2009~2021년까지의 월동 봉군 손실 및 원인에 대한 설문 결과 역시 우리나라 결과와 유사한 응답을 보였다(Tang *et al.*, 2023). 꿀벌응애(*Varroa destructor*)는 꿀벌의 면역체계에 관여하는 지방체를 흡즙하는 외부기생성 해충으로, 이로 인해 꿀벌의 면역력 저하를 야기한다(Ramsey *et al.*, 2019). 이들은 날개불구바 이러스(Deformed wing virus)와 이스라엘급성마비바이러스(Israel acute paralysis virus) 등과 같은 바이러스성 질병을 매개하는 것으로도 알려져 있다(Gisder *et al.*, 2009; Highfield *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2014). 꿀벌응애 감염 및 이로 인한 바이러스성 질병 매개는 이전에 월동폐사의 요인 중 하나로 지목된 바 있으며, 꿀벌응애의 감염 비율과 월동성적의 상관관계에 대한 연구 역시 존재한다(Guzmán-Novoa *et al.*, 2010; Kim, 2022). 가을철인 9월과 10월에 빈발하는 말벌 피해 역시 월동별 생산을 방해하여 월동폐사에 영향을 미칠 수 있다. 우리나라의 경우 토착종인 장수말벌, 꼬마장수말벌, 말벌 외에도 특히 외래 유입종인 등검은말벌에 의한 피해가 극심하다. 등검은말벌은 소문 앞에서 지속적으로 꿀벌을 사냥하여 외역봉의 손실을 야기하고 먹이수집 및 공급을 원활하지 못하게 함으로써 월동을 하기 위한 가을철 꿀벌 양성에 피해를 준다(Jung *et al.*, 2007; Perrard *et al.*, 2009; Choi *et al.*, 2012).

최근 연구 결과에 따르면 이러한 모든 요소들을 포함하는 원인으로 지구온난화로 인한 이상기후가 주요 요인으로 지목된 바 있다(Watanabe, 2008; Switanek *et al.*, 2017). 꿀벌의 생태와 생리는 외부 기온에 매우 민감하게 반응하며, 그에 따라 일벌들은 온도 조절을 통해 여왕벌의 산란 및 육아, 먹이활동, 봉구 온도 등을 변화시킨다(Jones and Oldroyd, 2007). 월동을 나게 되는 겨울벌은 여름벌과 다른 생리적 특성을 가지게 되는데, 활동성이 감소하고 vitellogenin 단백질 수치가 증가하며 유약호르몬(Juvenile hormone) 수치는 감소하는 경향을 보인다(Döke *et al.*, 2015). 이러한 생리적 차이로 인해 일반적으로 여름벌의 수명이 약 15~45일 인데 반해 겨울벌은 약 150일 이상의 긴 수명을 가진다(Mattila *et al.*, 2001). 겨울벌로의 전환은 일조 시간 감소 및 기온 하락 등의 환경적 요인과 꽃가루 저장량 감소, 그리고 여왕벌의 페로몬 등과 같은 화학

신호가 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Frunze *et al.*, 2024; Quinlan and Grozinger, 2024). 외부 온도가 3일 이상 10~14°C로 낮아지게 되면 꿀벌은 봉구(Bee ball)를 형성하여 봉군 내 온도를 일정하게 유지하는데, 이때 날개 근육 떨림으로 열을 발생시켜 월동 봉구의 내부 온도를 20~25°C로 유지한다(Stabentheiner *et al.*, 2010). 월동 기간 중 발생하는 이상기온은 형성된 봉구 밀도를 지속적으로 변화시켜 봉군 내 온도 조절에 부정적 영향을 미칠 뿐 아니라 여왕벌의 산란을 유도하며, 결과적으로 일벌의 호르몬 및 생리가 여름벌과 유사하게 전환되어 일벌의 수명이 빠르게 단축, 꿀벌 월동폐사의 원인이 된다(Page *et al.*, 2001). 오스트리아에서 2011년~2020년에 수집된 데이터는 극한의 한파, 온화한 겨울 날씨가 월동폐사와 높은 상관관계가 있다는 것을 보였다(Beccsi *et al.*, 2021). 가을철 월동별 생산 시기에 나타나는 이상 저온은 꿀벌의 외역활동을 방해하고, 벌통 내부의 열 생산에 사용되는 에너지 소모가 많아져 월동별 생산에 부정적인 영향을 미칠 수 있다(Jung and Bae, 2022). 또한 기후변화로 인한 밀원식물의 개화 시기 변화는 꿀벌의 식량 확보에 차질이 생기며, 결과적으로 영양 및 면역체계를 악화시킴으로써 꿀벌 월동폐사의 요인이 될 수 있다(Lee *et al.*, 2022). 꿀벌응애와 말벌류 같은 해충들의 활동 기간 역시 증가하면서 월동 봉군의 생산에 부정적인 영향을 미치게 된다. 꿀벌 군집의 월동성적은 봄철 수분 매개와 직접적으로 연관된다. 예를 들어, 월동 후 봉군 생존율이 10%만 증가하더라도 봄에는 25만 개의 봉군을 추가로 수분에 활용 가능하다(Doke *et al.*, 2015). 그러나 겨울철 월동폐사는 매년 그 피해가 커지고 있으며, 이는 봄철 수분을 위한 꿀벌의 감소로 인해 양봉산업뿐 아니라 생태계에 역시 부정적인 영향을 미칠 수 있다.

이와 같이 기후변화로 인한 이상기온, 그리고 이로 인해 발생하는 꿀벌의 월동폐사는 현재 전 세계적인 문제로 번지고 있으며 노지 월동 시 겪게 되는 이러한 극적인 기온 변동에 대응하기 위해 항온·항습이 가능한 저온저장고 내 실내 월동법의 조건 확립이 필요한 실정이다. 이전부터 이미 꿀벌의 실내 월동에 대한 연구가 수행된 바 있으며, 노지 월동과 비교했을 때 에너지 소모가 적고 스트레스 및 병원균 감염률이 낮아 더 건강한 상태로 월동이 가능하다는 것이 알려졌다(McCutcheon, 1984; Wilson *et al.*, 1999; Desai and Currie, 2016; Stalidzans *et al.*, 2017). 우리나라에서도 실내 월동에 대한 연구가 수행된 바 있으

Table 1. Honeybee colonies for overwintering experiment

1°C		4°C		Outdoor	
Colony	Population size (number of bees in colony)	Colony	Population size (number of bees in colony)	Colony	Population size (number of bees in colony)
1	6,900	1	8,740	1	6,900
2	6,900	2	9,200	2	6,900
3	9,200	3	6,900	3	9,200
4	6,900	4	6,900	4	6,900
5	6,900	5	9,200	5	6,900
6	6,900	6	6,900	6	6,900
7	6,900	7	9,200	7	8,050
8	6,900	8	9,200	8	9,200
9	9,200	9	6,900	9	6,900
10	6,900	10	6,900	10	6,900
11	6,900	11	9,200	11	6,900
12	6,900	12	9,200	12	6,900
13	6,900				
14	6,900				
Average number of bees (mean ± SD)		7,228 ± 835.2		8,203 ± 1,157.6	
				7,379 ± 911.9	

나(Choi *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2021), 현재까지도 저온저장고가 마련된 농가는 극히 적고 대부분은 노지 월동으로 겨울을 나고 있다. 그에 따라 노지 월동과 실내 월동 간 월동 효율에 대한 자료가 극히 부족하여, 실내 월동 조건 확립에 어려움이 있다.

따라서 본 연구에서는 향온·향습 저온저장고를 사용한 실내 월동 조건하에서 월동성적을 조사하고, 노지 월동 봉군과의 비교를 통해 실내 월동의 효과를 확인하기 위한 실험을 수행하였다. 실내 월동 봉군은 각각 1°C와 4°C에 상대습도 50%를 유지하도록 설정한 저온저장고에서 월동하였으며 노지 월동 봉군은 위도 꿀벌격리육종장의 노지 양봉사에서 월동 후 각각의 월동성적을 조사하였다. 이를 통해 저온저장고를 활용한 월동 봉군 표준이용기술 기초자료로 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 공시충 및 월동 효율 평가

실험에 사용된 꿀벌 (*Apis mellifera*)은 위도 꿀벌격리육종장(전라북도 부안군 위도면, GPS: 35.591300, 126.

279048)에서 관리중인 꿀벌을 사용하였다. 각각 3~4매의 소비로 소비 1매당 약 2,300마리의 착봉이 되도록 유사한 세력을 가진 봉군을 실험에 사용하였다(Table 1). 매일 오전 각 저온저장고 바닥에 떨어진 꿀벌들을 수거하여 실내 월동 중 일일 사충수를 조사하였다. 월동기간 중 봉군당 일일 평균 사충수는 사충수/월동봉군 수로 계산하여 추정하였다. 월동 시작 및 종료 시점에 벌통 무게를 측정하여 월동 효율을 평가하였다.

2. 월동 조건 및 온·습도 조사

월동실험은 총 3개의 그룹으로 나누어 수행하였다. 먼저 실내 월동 봉군은 1°C와 4°C, 상대습도(Relative humidity, RH) 50%를 유지하도록 설정한 저온저장고에서 월동을 수행했으며 4°C 월동 봉군은 12월 27일 이후부터 1°C 저온저장고로 이동하여 월동하였다. 전체 월동 기간은 2024년 12월 2일부터 2025년 2월 3일까지로 64일간 월동하였다. 실내 월동 봉군은 월동 종료일에 노지 양봉사로 이동하였다. 대조군으로는 위도 꿀벌격리육종장의 노지 양봉사에서 월동한 봉군을 사용하였다.

월동 기간 중 각각의 월동 조건별 온·습도를 조사하였다. 저온저장고는 외부 제어판 표시 온도와 내부 설치 온

도를 매일 오전 9시, 오후 1시와 6시에 확인하였으며, 더하여 저온저장고 내부에 HOBO data logger를 설치하여 매일 10분 간격으로 온·습도를 측정하도록 설정하였다. 외부 월동 조건의 경우 꿀벌격리육종장에 설치된 기상대 (ZENTRA cloud, METER Group, Inc, USA)에서 실시간으로 측정된 자료와 기상정보개방포털 (<https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do>)의 일일 온·습도 자료를 참고하였다.

3. 통계분석

통계분석은 R studio를 사용하여 수행하였다. 정규분포와 등분산성을 만족하는 두 개 그룹을 비교하기 위해 t-test를 실시하였으며, 정규분포와 등분산성 둘 중 하나를 만족하지 않는 경우 Mann-Whitney U Test를 수행하였으며 $*P<0.05$, $**P<0.01$, $***P<0.001$ 로 유의성을 나타내었다. 3개의 그룹 비교에서 정규분포와 등분산성을 만족할 경우 One-Way ANOVA test를 수행하였으며 이후 Tukey's HSD로 유의성을 검정하였다. 만족하지 않는 경우 Kruskal-Wallis Test를 수행하였으며 이후 Dunn's Test를 통해 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 온·습도 조사

월동기간 동안 실내와 노지 월동 조건의 평균적인 온도와 습도를 조사하였다 (Table 2). 1°C 저온저장고는 평균 $1.56\pm0.63^{\circ}\text{C}$ 로 설정 온도인 1°C보다 평균적으로 0.5°C 높은 온도로 유지되었으며, 기록된 최고 온도는 2.2°C로 확인되었다. 4°C 저온저장고는 평균 $4.87\pm0.58^{\circ}\text{C}$ 로 약 5°C에 가까운 온도가 유지되었으며 기록된 최고 온도는 5.5°C로 확인되었다. 이는 약 4~6°C 범위를 유지한 이전의 연구 결과와 유사한 조건이다 (Stalidzans *et al.*, 2017; Hopkins *et al.*, 2021; Punko *et al.*, 2021). 설정 온도와 실제 측정 온도의 차이는 환기 시스템에 의한 내·외부 공기 순환에 의한 결과로 보여진다. 습도는 설정값인 50%에서 유의미하게 벗어나지 않았다. 월동 기간 중 부안군 위도면의 평균 온도는 약 $1.89\pm2.72^{\circ}\text{C}$ 로 확인되었으며, 기록된 최고 기온은 12.1°C, 최저 기온은 -14.2°C로 확인되었다. 각 처리구의 평균 온도는 유의미한 차이가 있었다 (ANOVA, $P<0.001$). 평균 습도의 경우 $73.66\pm8.38\%$ 로 확

Table 2. Average temperatures and RH in different wintering conditions ($^{\circ}\text{C}$, %, mean $\pm$ SD)

Conditions		Average temperature	RH
Indoor	1°C	$1.56\pm0.63\text{c}$	$50.28\pm2.63\text{b}$
	4°C	$4.87\pm0.58\text{a}$	$48.4\pm2.15\text{c}$
Outdoor		$1.89\pm2.72\text{b}$	$73.66\pm8.38\text{a}$

*Different letters indicate significance. Kruskal-Wallis following Dunn's Test, $\alpha/2=0.025$, $P<0.025$.

인되어 저온저장고에 비해 약 20% 높았으며, 최저 습도는 20%로 기록되었다. 각 처리구의 평균 상대습도는 유의미한 차이가 있었다 (ANOVA, $P<0.001$).

겨울철 외부 온도뿐 아니라 벌통 내부의 습도 역시 봉군의 생존에 중요하다. 꿀벌은 벌통 내부 습도를 조절하여 최적의 환경을 유지하려 하는데, 강군은 55%, 약군은 65.6% 이하의 습도를 유지하는 것으로 나타났으며, 일반적으로 약 50~70% 사이의 습도를 유지하는 것으로 알려져 있다 (Simpson, 1950; Mansor, 2024). 벌통 내부 습도가 너무 높거나 낮은 경우 벌들의 활동성이 감소하며, 75% 이상의 습도는 곰팡이 및 병원균이 더 많이 발생하게 된다 (Mansor, 2024). 이번 실험에서 실내 월동 봉군 내부에 과도한 습기로 인해 결로 및 곰팡이가 발생하고, 벌통 입구로 물이 새어 나오는 현상이 일부 관찰되었다. 평균 습도가 약 20% 이상 높았던 노지 월동 봉군에서는 이러한 현상이 관찰되지 않았는데, 이는 노지의 경우 실내와 다르게 주·야간의 시간 흐름에 따라 습도가 변화했기 때문으로 보인다. 실내 월동의 경우 외기와 단절되어 있으므로 벌통 내부에 습기 축적 가능성이 높으며, 이를 방지하기 위한 정밀한 환기 시스템의 중요성이 강조된 바 있다 (Melathopoulos, 2007). Stalidzans *et al.* (2017)의 연구에서는 실내 공기 균질화 및 이산화탄소 축적 방지를 위한 20,000 m³/h 용량의 환기 시스템을 갖춘 저온저장고를 사용하였으며, 벌통 내부 결로 현상은 보고되지 않았다. 이러한 측면에서 볼 때, 실내 월동 시 저온저장고의 환기 시스템 역시 봉군의 실내 월동 조건 확립을 위해 고려할 필요가 있을 것으로 보인다. 이번 연구는 실험에 사용된 저온저장고의 환기 시스템을 고려하지 않았기 때문에 실내 월동 봉군에서 확인된 결로 및 곰팡이에 대한 명확한 원인은 제시할 수 없다. 실내 월동 봉군에서만 확인된 이러한 현상은 월동성적에 부정적인 영향을 미칠 가능성이 있

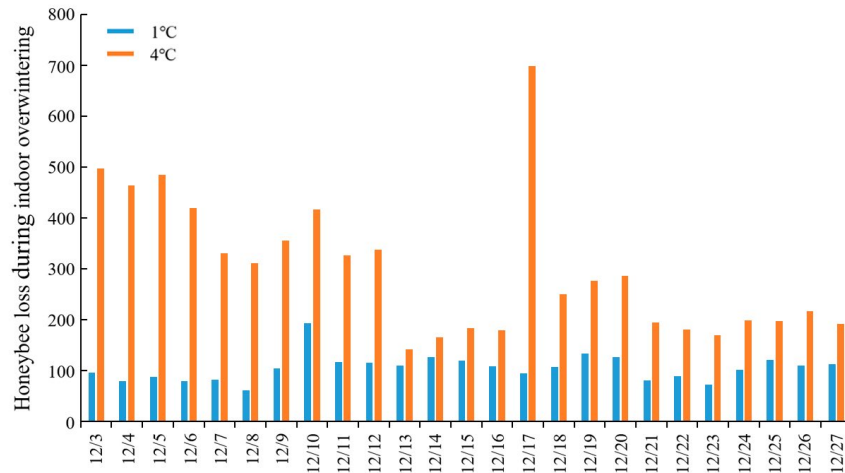


Fig. 1. Daily count of dead bees in 1°C and 4°C warehouses during overwintering periods. Colonies overwintering at 4°C were moved to a 1°C warehouse after December 27, 2024.

다고 판단되며, 추후 저온저장고의 내·외부 공기 순환에 대한 대책 강구 및 실내와 노지 벌통 내부 습도 조사가 필요할 것으로 판단된다.

2. 월동 조건에 따른 월동성적 조사

두 가지 실내 월동 조건을 대상으로 일일 사충수를 조사한 결과 12월 3일부터 12월 27일까지 1°C에 비해 4°C 저온저장고에서 현저히 많은 사충이 발생하는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 1). 특히 12월 3일부터 12일까지는 매일 394.3 ± 70.89 마리의 사충이 발생하였으며, 가장 많은 사충수를 기록한 날은 12월 17일로 699마리의 사충이 발생하였다. 평균적으로는 매일 약 298.96 ± 136.89 마리의 사충이 발생하는 것을 확인하였다(Fig. 2A). 반면 1°C 저온저장고에서 월동하던 봉군의 경우 조사 기간 동안 약 105.16 ± 26.33 마리 정도의 일일 평균 사충수를 보였으며, 200마리 이상의 사충은 확인되지 않았다(Fig. 2A). 12월 27일까지의 월동 기간 중 봉군당 일일 평균 사충수는 1°C에서 6.54 ± 1.69 마리, 4°C에서 22.31 ± 8.35 마리로 추정되며 4°C에서 약 4배가량 사충수가 많은 것을 확인하였다(Fig. 2B). 12월 3일부터 12월 27일까지 약 3주간의 조사 결과 1°C와 4°C 저온저장고 간 일일 사충수에 충분히 유의한 차이가 존재한다고 판단하여, 4°C에서 월동 중이던 봉군을 1°C로 이동하여 월동 종료일인 2월 3일까지 관리하였다. 봉군 이동 후에도 1°C 저온저장고에서 매일 사충을 수거하여 일일 사충수를 조사하였다. 흥미롭게도, 4°C

월동 봉군을 1°C 저온저장고로 이동 후 월동 종료일까지 봉군당 일일 평균 사충수를 조사한 결과 6.00 ± 1.72 마리로 1°C로 이동 후에도 사충수에 유의미한 변화는 확인되지 않았다(Fig. 2C). 이는 4°C에서 월동하던 봉군이 1°C로 이동 후 사충수가 감소했다는 것을 의미하며, 실내 월동 시 1°C에서 보다 안정적인 월동이 가능할 것으로 판단된다.

각각의 월동 조건에 따른 월동성적을 조사하기 위해 월동 전과 월동 후에 벌통의 무게를 측정하였다(Fig. 3A). 그 결과 1°C 저온저장고는 월동 전 평균 21.08 ± 2.19 kg에서 월동 후 평균 19.69 ± 1.96 kg으로 월동 전후 무게에 유의미한 변화는 확인되지 않았다(t-test, $P > 0.05$). 4°C 저온저장고의 경우 월동 전 평균 21.22 ± 1.37 kg에서 월동 후 평균 19.45 ± 1.27 kg으로 월동실험 그룹 중 가장 큰 감소율을 보였다(t-test, $P < 0.01$). 노지 양봉사에서 월동한 봉군은 월동 전 평균 20.11 ± 1.52 kg에서 월동 후 평균 18.84 ± 1.42 kg으로 유의미한 차이를 보였다(t-test, $P < 0.05$). 월동 후 평균 무게 감소율(%)은 1°C 저온저장고 $6.52 \pm 1.16\%$, 4°C 저온저장고 $8.32 \pm 1.55\%$, 노지 양봉사 $6.31 \pm 2.46\%$ 로 4°C 저온저장고에서 무게 감소율이 가장 크게 확인되었으며, 다른 두 그룹과 유의성을 보였다(Fig. 3B, t-test, $P < 0.05$). 노지 양봉사에서 월동한 봉군은 월동 기간 중 강한 풍랑과 강설로 인해 유의미한 일일 사충수를 확인할 수 없었으나, 월동 종료 후 1°C 저온저장고와는 월동성적에 유의미한 차이가 없어 사충수 역시 비슷한 수준일 것으로 예상된다. 이는 4°C보다는 1°C 저온

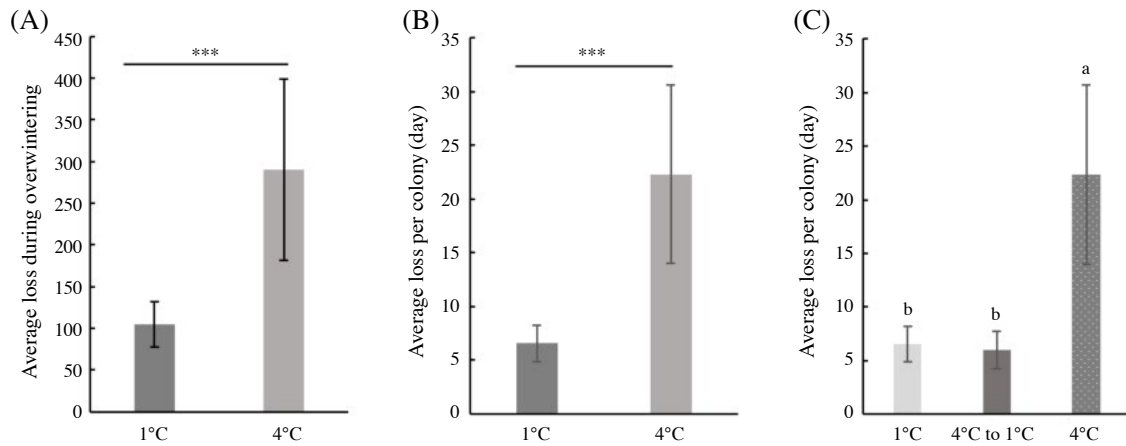


Fig. 2. Average (mean $\pm$ SD) daily loss of honeybees during indoor overwintering. (A) Average loss (mean $\pm$ SD) of honeybees in 1°C and 4°C warehouses during overwintering. (B) Estimate the average daily loss (mean $\pm$ SD) of honeybees per colony. Mann-Whitney U Test, $P < 0.001$. (C) Estimate the average daily loss of honeybees per colony after 4°C wintering colonies to 1°C warehouse. Kruskal-Wallis following Dunn's Test. $P < 0.05$.

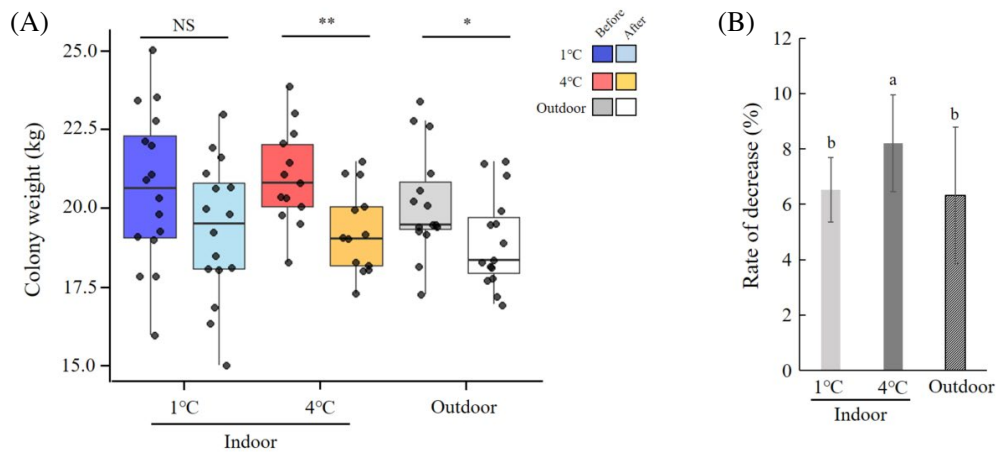


Fig. 3. Colony weight (mean $\pm$ SD) changes before and after overwintering. (A) Variation of the honeybee colony weight (% , mean $\pm$ SD) before and after overwintering depending on different overwintering conditions. t-test, $*P < 0.05$, $**P < 0.01$. (B) Colony weight loss after overwintering. The average weight rate of decrease (%) of the colony weight after overwintering. One-Way ANOVA following Tukey's HSD, $P < 0.05$.

저장고가 실내 월동 시 적합할 수는 있으나, 실험이 수행된 지역과 기간중에는 외부 온도 변화가 크지 않음을 알 수 있다.

이전까지의 실내 월동 연구는 모두 4~6°C 범위의 온도가 사용되었다(Stalidzans *et al.*, 2017; Hopkins *et al.*, 2021; Punko *et al.*, 2021). 이는 꿀벌의 대사율을 낮춰 에너지 소비를 줄이고 월동 중 개체 수 감소를 최소화하는 데 적절한 범위로 알려져 있다(DeGrandi-Hoffman *et al.*, 2023). 1°C의 저온저장고를 사용한 연구는 Kim *et al.* (2021)을 제외하면 확인되지 않았다. 해당 연구는 1, 4°C 저온저장고와 노지양봉사에서 월동성적을 조사했을 때

4°C에서 월동한 봉군의 평균 무게가 가장 적게 감소하여 실내 월동 시 적합한 온도는 4°C라는 것을 보였다. 그러나 이번 연구 결과 1°C 저온저장고와 비교했을 때 4°C 저온저장고에서 평균적으로 2~3배 많은 사충이 발생하는 것을 확인하였다. 1°C와 4°C 간 월동 후 무게 감소율 역시 유의미한 차이가 확인되었다. 이는 4~6°C의 온도 범위가 실내 월동에 적합하다는 기존 연구와는 반대되는 결과이다. 가능한 가설로는 4°C 저온저장고는 월동 기간 동안 평균 $4.87 \pm 0.58^\circ\text{C}$ 의 온도를 보여 설정 온도보다 평균적으로 높은 온도로 유지되었다. 꿀벌이 비행 가능한 최저 온도는 5~6°C 사이로 보고되어 있다(Winston, 1987).

또한 꿀벌이 활동 가능한 최저 온도가 6~7°C라는 점을 고려했을 때 (Southwick and Heldmaier, 1987; Eskov and Toboev, 2011), 위 연구 결과를 통해 꿀벌 외부 활동량은 1°C보다 4°C 저온저장고에서 많이 발생하였을 것으로 추정할 수 있으며, 외부 활동 이후 벌통으로 돌아오지 못해 일벌 사충수가 많이 발생한 것으로 판단된다. 이는 월동을 위한 필수 조건인 세밀한 봉군 형성을 방해하고, 봉군 내부 온도 조절에도 부정적인 영향을 미쳤을 가능성이 존재한다. 4°C보다는 1°C 저온저장고에서 보다 세밀한 봉군을 형성하며, 꿀벌 신진대사를 감소시키고 외부 활동을 억제함으로써 결과적으로 사충수의 감소로 이어진 것으로 생각된다.

꿀벌 월동 장소와 온도는 저온창고 1, 4°C, 노지 양봉사에서 실시되었다. 저온창고 1°C에서는 월동 전·후 무게 변화가 적으며, 일벌 사충수도 적었다. 저온창고 4°C와 노지 양봉장에서의 월동 전·후 무게 변화에서도 노지 양봉사가 적었다. 이를 종합하면 저온창고 설정 온도는 1°C 월동 효율이 높음을 알 수 있다. 위 결과는 저온창고, 노지 양봉사, 1, 4°C에 대한 단순한 무게 변화, 일벌 사충수를 통해 얻어졌다. 꿀벌 월동 성공 여부는 외부 온·습도, 꿀벌 병해충 유무, 신진대사율, 개체수 등 여러 요인에 의해 결정된다. 이를 반영할 수 있는 실험 설계를 통해 양봉 현장에 적용할 수 있는 표준이용법 확립이 마련되어야 하며, 본 연구가 그 기초자료로 활용될 수 있기를 기대한다.

적 요

최근 기후변화로 인한 온난한 겨울철 날씨와 급격한 기온 변동으로 인해 앞으로도 지속적으로 월동피해 규모가 커질 것으로 전망된다. 이에 월동 기간 동안 일정한 온·습도를 유지할 수 있는 저온저장고를 이용한 월동 조건의 확립이 필요한 것으로 판단된다. 본 연구에서는 1°C, 4°C 저온저장고와 노지 양봉사에서 월동한 봉군을 대상으로 월동성적을 조사하였다. 그 결과 월동기간 중 1°C에 비해 4°C 저온저장고에서 유의미한 수준으로 많은 사충이 발생하였으며, 월동 이후 봉군 무게 역시 가장 크게 감소하였다. 1°C 저온저장고와 노지 월동 봉군과 비교했을 때 유의미한 차이를 보였다. 그러나 1°C 저온저장고와 노지 월동 사이에는 월동성적에 유의미한 차이를 확인할 수 없었다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구과제 PJ01418007의 연구비로 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

인 용 문 헌

- Allsopp, M. H., W. J. de Lange and R. Veldtman. 2008. Valuing insect pollination services with cost of replacement. *PLoS One* 3(9): e3128.
- Becsi, B., H. Formayer and R. Brodschneider. 2021. A Biophysical approach to assess weather impacts on honey bee colony winter mortality. *Royal Soc. Open Sci.* 8(9): 210618.
- Chen, Y. P., J. S. Pettis, M. Corona, W. P. Chen, C. J. Li, M. Spivak, P. K. Visscher, G. DeGrandi-Hoffman, H. Boncristiani, Y. Zhao, D. vanEnfelsdorp, K. Delaplane, L. Solter, F. Drummond, M. Kramer, W. I. Lipkin, G. Palacios, M. C. Hamilton, B. Smith, S. K. Huang, H. Q. Zheng, J. L. Li, X. Zhang, A. F. Zhou, L. Y. Wu, J. Z. Zhou, M.-L. Lee, W. E. Teixeira, Z. G. Li and J. D. Evans. 2014. Israeli acute paralysis virus: epidemiology, pathogenesis and implications for honey bee health. *PLoS Pathog.* 10(7): e1004261.
- Choi, K. S., J. W. Lee, B. S. Kang and S. K. Lee. 2001. Indoor-wintering of *Apis mellifera* in Korea - II. Indoor-wintering of *Apis mellifera* in Yong-in 1997~1998. *J. Apic.* 16(2): 83-88.
- Choi, M. B., S. J. Martin and J. W. Lee. 2012. Distribution, spread and impact of the invasive hornet *Vespa velutina* in South Korea. *J. Asia-Pac. Entomo.* 15: 473-477.
- DeGrandi-Hoffman, G., V. Corby-Harris, H. Graham, E. Watkins-deJong, M. Chambers and L. Snyder. 2023. The survival and growth of honey bee (Hymenoptera: Apidae) colonies overwintered in cold storage: the effects of time and colony location. *J. Econ. Entomol.* 116(4): 1078-1090.
- Desai, S. D. and R. W. Currie. 2016. Effects of wintering environment and parasite-pathogen interactions on honey bee colony loss in north temperate regions. *PLoS One* 11(7): e0159615.
- Döke, M. A., M. Frazier and C. M. Grozinger. 2015. Overwintering honey bees: biology and management. *Curr. Opin. Insect Sci.* 10: 185-193.
- Eskov, E. K. and V. A. Toboev. 2011. Seasonal Dynamics of Thermal Processes in Aggregations of Wintering Honeybees (*Apis mellifera*, Hymenoptera, Apidae). *Entomol. Rev.* 91: 335-341.
- Frunze, O., Y. Yun, H. Kim, R. R. Garafutdinov, Y. E. Na and H. W. Kwon. 2024. The effect of seasonal tempera-

- tures on the physiology of the overwintered honey bee. PLoS One 19(12): e0315062.
- Gisder, S., P. Aumeier and E. Genersch. 2009. Deformed wing virus: replication and viral load in mites (*Varroa destructor*). J. Gen. Virol. 90: 463-467.
- Guzmán-Novoa, E., L. Eccles, Y. Calvete, J. McGowan, P. G. Kelly and A. Correa-Beñítez. 2010. *Varroa destructor* is the main culprit for the death and reduced populations of overwintered honeybee (*Apis mellifera*) colonies in Ontario, Canada. Apidologie 41: 443-450.
- Highfield, A. C., A. E. Nager, L. C. M. Mackinder, L. M. L. Noël, M. J. Hall, S. J. Martin and D. C. Schroeder. 2009. Deformed wing virus implicated in overwintering honeybee colony losses. Appl. Environ. Microbiol. 75: 7212-7220.
- Hopkins, B. K., P. Chakrabarti, H. M. Lucas, R. R. Sagili and W. S. Sheppard. 2021. Impacts of different winter storage conditions on the physiology of diutinus honey bees (Hymenoptera: Apidae). J. Econ. Entomol. 114(1): 409-414.
- Jones, J. C. and B. P. Oldroyd. 2007. Nest thermoregulation in social insects. Adv. In Insect Phys. 33: 153-191.
- Jung, C. 2008. Economic Value of Honeybee Pollination on Major Fruit and Vegetable Crops in Korea. J. Apic. 23(2): 147-152.
- Jung, C. and Y. H. Bae. 2022. Production and characteristics of winter generation honey bees, *Apis mellifera*: Discussion with overwintering failure. Korean J. Apic. 37(3): 265-274.
- Jung, C., M. S. Kang, D. Kim and H. S. Lee. 2007. Vespidae wasps (Hymenoptera) occurring around apiaries in Andong, Korea I. Taxonomy and life history. Korean J. Apic. 22(1): 53-62.
- Kang, Y., S. H. Kwon and C. Jung. 2024. Correlation analysis between honeybee pest occurrences and winter failure based on the questionnaire from beekeepers in Korea. Korean J. Apic. 39(3): 185-193.
- Kim, H. K. 2022. The effect of honey bee mites on the winter colony losses. J. Apic. 37(3): 291-299.
- Kim, K., B. S. Park, J. G. Kim, E. J. Kang, Y. S. Choi, M. Y. Lee and D. W. Kim. 2021. Analysis of the honey bee, *Apis mellifera*, wintering ability and immune-related genes expression depending on the thermal conditions of the warehouse. J. Apic. 36(3): 89-96.
- 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. J. Apic. 37(3): 331-347.
- Mansor, M. S. 2024. Evaluation of ome modifications of langstroth hives used in breeding *Apis mellifera* L. honey bees and measuring changes in temperature and humidity using a new computer system. Tikrit J. Agric. Sci. 24(2): 14-24.
- Mattila, H. R., J. L. Harris and G. W. Otis. 2001. Timing of production of winter bees in honey bee (*Apis mellifera*) colonies. Insectes Soc. 48: 88-93.
- McCutcheon, D. M. 1984. Indoor wintering of hives. Bee World 65(1): 19-37.
- Melathopoulos, A. 2007. The biology and management of colonies in winter. CAPA.
- Page, R. E., Y. Christine and S. Peng. 2001. Aging and development in social insects with emphasis on the honey bee, *Apis mellifera* L. Exp. Gerontol. 36: 695-711.
- Perrard, A., J. Haxaire, A. Rortais and C. Villemant. 2009. Observations on the colony activity of the Asian Hornet *Vespa velutina* Lepeletier 1836 (Hymenoptera: Vespidae: Vespinae) in France. Ann. Soc. Entomol. Fr. 45: 119-127.
- Potts, S. G., J. C. Biesmeijer, C. Kremen, P. Neumann, O. Schweiger and W. E. Kunin. 2010. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. Trends Ecol. Evol. 25: 345-353.
- Punko, R. N., R. W. Currie, M. E. Nasr and S. E. Hoover. 2021. Epidemiology of Nosema spp. and the effect of indoor and outdoor wintering on honey bee colony population and survival in the Canadian Prairies. PLoS One 16(10): e0258801.
- Quinlan, G. M. and C. M. Grozinger. 2024. Evaluating the role of social context and environmental factors in mediating overwintering physiology in honey bees (*Apis mellifera*). J. Exp. Biol. 227(8): jeb247314.
- Ramsey, S. D., R. Ochoa, G. Bauman, C. Gulbranson, J. D. Mowery, A. Cohen, D. Lim, J. Joklik, J. M. Cicero, J. D. Ellis, D. Hawthorne and D. vanEngelsdorp. 2019. *Varroa destructor* feeds primarily on honeybee fat body tissue and not hemolymph. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 116(5): 1792-1801.
- Rome, Q., A. Perrard, F. Muller and C. Villemant. 2011. Monitoring and control modalities of a honeybee predator, the yellow-legged hornet *Vespa velutina nigrithorax* (Hymenoptera: Vespidae). Alim. Invasive Spec. Bull. 31: 7-15.
- Ruttner, F. 1988. Biogeography and taxonomy of honey bees. 284p. Springer-Verlag, Berlin.
- Simpson, J. 1950. Humidity in the winter cluster of a colony of honeybees. Bee World 31(6): 41-44.
- Southwick, E. E. and R. F. A. Moritz. 1987. Social control of air ventilation in colonies of honey bees, *Apis mellifera*. J. Insect Physiol. 33: 623-626.
- Southwick, E. E. and G. Heldmaier. 1987. Temperature control in honey bee colonies. BioScience 37(6): 395-399.
- Stabentheiner, A., H. Kovac and R. Brodschneider. 2010. Honeybee colony thermoregulation-regulatory mechanisms and contribution of individuals in dependence on age, location and thermal stress. PLoS One 29(5): e8967.
- Stalidzans, E., A. Zacepins and A. Kviesis. 2017. Dynamics of weight change and temperature of *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) colonies in a wintering building

- with controlled temperature. *J. Econ. Entomol.* 110(1): 13-23.
- Switanek, M., K. Crailsheim, H. Truhetz and R. Brodschneider. 2017. Modelling seasonal effects of temperature and precipitation on honey bee winter mortality in a temperate climate. *Sci. Total Environ.* 579: 1581-1587.
- Tang, J., C. Ji, W. Shi, S. Su, Y. Xue, J. Xu, X. Chen, Y. Zhao and C. Chen. 2023. Survey results of honey bee colony losses in winter in china (2009~2021). *Insects* 14(6): 554.
- Watanabe, M. E. 2008. Colony collapse disorder: many suspects, no smoking gun. *Bioscience* 58(5): 384-388.
- Wilson, R. L., C. A. Abel, L. L. Lockhart and M. H. Huss. 1999. Indoor wintering small honey bee colonies. *J. Kans. Entomol. Soc.* 72(3): 289-96.
- Winston, M. L. 1987. *The biology of the honey bee*. Harvard University Press, Cambridge, Mass.
- Yoon, H. J., K. Y. Lee, M. I. Kim, I. G. Park and Y. C. Choi. 2011. Current status of insect pollinators use in strawberry crop in korea. *Korean J. Apic.* 26: 143-155.