



양봉농가 설문 기반 꿀벌 병해충 발생과 월동 폐사의 상관성 분석

강용락¹, 권순호¹, 정철의^{1,2,*}

¹안동대학교 식물학과, ²안동대학교 농업과학기술연구소

Correlation Analysis between Honeybee Pest Occurrences and Winter Failure Based on the Questionnaire from Beekeepers in Korea

Yongrak Kang¹, Sun-Ho Kwon¹ and Chuleui Jung^{1,2,*}

¹Department of Plant Medicals, Andong National University, Andong 36729, Republic of Korea

²Agricultural Science and Technology Research Institute, Andong National University, Andong 36729, Republic of Korea

Abstract

Overwintering failure of honey bee is becoming bigger concern not only for beekeepers but also for the public. Climate change, pesticides, nutrition, habitat degradation and pest pressures are considered as the multiple stressors to honey bee health. In this study, we analyzed the overwintering failures of honey bee, *Apis mellifera* in 2022~3 winter relative to the pest occurrences and damage levels from the questionnaire study from beekeepers nationwide. Since the impact of *varroa* mite is well documented, we focused on the possible impacts of Deformed Wing Virus, *Tropilaelaps mercedesae* and *Vespa*. The overwintering failure of 439 survey respondents was 36% with Jeju (67.7%) and Chungnam (22.6%). The main symptom was the empty hives due to loss during overwintering (63.3%). There was a positive correlation between overwintering failure and pest factors. Interestingly the number of acaricide application also was positively, and queen replacement rate was negatively correlated with winter failure. There was strong interaction among those factors. This study indicates that not only *varroa* but also many other pests and disease are influencing the honey bee overwintering failure and acaricide use should be carefully organized.

Keywords

Overwintering failure, *Tropilaelaps mercedesae*, *Vespa*, DWV, Acaricide

서론

꿀벌을 이용한 양봉산업은 1만여 년 전부터 인류역사와 함께 긴밀한 관계를 형성하며 지속적으로 발전하였다 (Ruttner, 1988; Crane, 1990). 벌꿀 생산이 중심이었던 양봉산업은 과학기술 발전과 함께 로얄제리, 프로폴리스, 밀납 및 봉독 등 다양한 꿀벌 산물의 생산과 가공, 농작물 화분매개사업 등으로 확대되어 농가 소득 창출 및 식량 생산에 기여한다(Lee *et al.*, 2010; Jeong *et al.*, 2016). 국내 양봉농가 수와 사육군 수는 2011년부터 2019년까지 지속

적으로 증가하였으며, 이후 2022년까지는 소폭 감소하여 26,805명의 양봉농가가 2,504,703통을 사육하는 것으로 나타났다(MAFRA, 2022). 국내 단위 면적당 사육 봉군 수는 30년 평균 11.67통/km²로 다른 국가보다 3.8~130배로 높게 나타났다(Jeong *et al.*, 2016; Sampat and Jung, 2016). 전 세계적으로 주요 작물들 100여 종 75%가 화분매개를 필요로 하며, 농작물 생산량의 30%가 화분매개에 의존한다(Buchmann, 1996; Klein *et al.*, 2007; Jung, 2008). 농업 생산성에 기여하는 꿀벌의 화분매개 가치에 대한 연구는 전 세계적으로 이루어지고 있는데, 미국의 꿀벌 화분매개 가

치는 1차 봉산물 생산 가치보다 약 143배로 추정되었다 (Levin, 1983). 국내 농업 생산성에 기여하는 꿀벌의 화분 매개 가치는 약 5.9조 원으로 평가되었으며, 작물의 종류에 따라 화분매개 의존도가 다르지만 전국적으로 모든 농작물을 대상으로 생산량의 17.8%가 화분매개에 의존하며, 총 24조 원의 농작물 생산액 중 28%인 6.8조 원이 곤충의 화분매개에 의존하여 꿀벌의 경제적 가치 및 생태학적 가치에 대한 중요성은 높은 것으로 나타났다(Jung, 2008; Jung and Shin, 2022).

미국을 비롯한 유럽 등에서 발생한 꿀벌군집붕괴현상(Colony Collapse Disorder, CCD)은 다양한 요인들(기후변화, 병해충, 영양결핍, 농약, 전자파 등)이 복합적으로 작용한 것으로 나타났다(vanEngelsdorp *et al.*, 2009; Jung and Lee, 2018). 그 후 양봉꿀벌의 월동 실패 등으로 인한 감소가 지속적으로 보고되고 있다(Gray *et al.*, 2019, 2023). 또한, 최근 국내 월동 중인 꿀벌의 폐사 및 실종이 보고되었다(Jung, 2022; Jung and Bae, 2022; Kim, 2022; Kim and Lee, 2022; Lee *et al.*, 2022). 이로 인해 봉군 손실로 인한 경제적 피해가 발생하고 연쇄적으로 봉산물 생산 감소뿐만 아니라 화분매개 꿀벌 부족으로 인한 농작물 생산성 하락에도 영향을 미칠 수 있다(Kim, 2022). 국내 월동 꿀벌의 폐사 및 실종에 대해서는 꿀벌응애류(높은 밀도, 약제 저항성, 남용으로 인한 약해), 이상기상(가을철 이상 저온, 겨울 이상 고온) 등 여러 가지 가능성이 제시되었다(Jung and Bae, 2022; Kim, 2022; Kim and Lee, 2022; Lee *et al.*, 2022).

현재까지 전 세계적으로 꿀벌 기생 응애류는 약 100여 종으로 보고되었지만, 국내에서 육안으로 발견되는 것은 꿀벌응애(*Varroa destructor*)와 중국가시응애(*Tropilaelaps mercedesae*)가 있다(Sammataro *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2005). 꿀벌응애는 재래꿀벌(*Apis cerana*)에 기생하는 해충이었으나, 1970년대 이후 양봉꿀벌로 기주이전을 하였다(Roth *et al.*, 2020). 중국가시응애는 인도최대종(*Apis dorsata*)에 기생하는 것으로 최초 보고되었으나(Laigo and Morse, 1968), 1980년대 양봉꿀벌로 기주이전을 하여 피해가 발생하고 있다. 응애류는 꿀벌의 지방체를 섭취하며 꿀벌의 성장 및 수명을 단축시킬 수 있다(Rosenkranz *et al.*, 2010; Ramsey *et al.*, 2019). 이는 꿀벌 세력 부족으로 인한 월동 봉군 온도 유지 실패를 초래할 수 있다(Kim, 2022). 또한, 날개불구바이러스(Deformed wing virus, DWV), 급성꿀벌마비바이러스(Acute bee paralysis virus, ABPV) 및

이스라엘급성마비바이러스(Israeli acute paralysis virus, IAPV) 등 3종의 바이러스는 응애류에 의해 매개될 수 있다(Bailey *et al.*, 1963; Govan *et al.*, 2000; Lanzi *et al.*, 2006; Berthoud *et al.*, 2010). 응애류는 꿀벌의 월동을 여러 방식으로 방해하기 때문에 방제가 필수적이다. 하지만, 최근 플루발리네이트를 포함한 피레스로이드계 약제에 대한 저항성이 확산되면서 방제에 어려움을 겪고 있으며, 이는 봉군 폐사로 이어질 수 있다(Kim and Lee, 2022).

월동 폐사에 요인이 될 수 있는 또 다른 가능성은 꿀벌을 포식하는 말벌이다. 과거 양봉장에 심각한 피해를 주는 것은 장수말벌(*Vespa mandarinia*)로 양봉장 출현 비율(50.7~88.5%)이 가장 높은 것으로 보고되었다(Chang *et al.*, 1993, 1994). 하지만 외래침입생물인 등검은말벌(*Vespa velutina*)이 국내에 침입 후 분포 지역의 확대에 의해 말벌의 종 구성이 변화되어, 말벌 중 우점을 차지하게 되고 연간 피해액은 약 1,700억 원으로 추정되었다(Jung *et al.*, 2009; Jung, 2012a, 2012b; Choi *et al.*, 2013; Sim *et al.*, 2014; Jeong *et al.*, 2022). 말벌은 7월 하순부터 개체가 증가하여 가을철에 밀도가 최고조에 달하게 되며 더욱 많은 먹이가 필요하게 된다(Jung, 2012a; Jeong *et al.*, 2016). 이로 인해 겨울벌을 생산하는 시기에 꿀벌은 말벌의 공격을 받아 성충수 감소 및 생산에 차질이 생길 수 있다.

꿀벌에 기생하는 응애류는 직접적으로 꿀벌의 성장을 저해하고 수명을 단축시키고 흡즙 과정에서 다양한 병원체를 매개하는 간접적인 영향을 미칠 수 있다. 말벌류 또한 꿀벌의 개체 수를 직접적으로 감소시키고 꿀벌의 봉군 발달을 저해할 수 있다. 이러한 다양한 요인들은 봉군 온도 유지 실패를 초래할 수 있으며, 각 요인에 따른 농가별 피해 정도는 상이할 수 있다. 꿀벌의 월동 폐사 현상을 줄이기 위해 원인을 파악해야 한다. 따라서, 본 연구에서는 양봉농가 설문조사를 기반으로 꿀벌 월동 실패에 영향을 줄 수 있는 병해충 요인들(응애류, 말벌류)과 폐사율 간의 관계 분석을 통해 원인 구명을 하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 설문 대상 및 기간

설문조사는 전국 양봉농가를 대상으로 2023년에 수행되었다. 제39차 한국양봉학회 하계학술대회(8월 17~18일), 제45차 전국 양봉인의 날 행사(10월 18~19일)에 참

여한 양봉농가들과 안동대학교 농업과학기술연구소에서 주관하는 양봉 기초 과정 및 마이스터 과정 중인 농가들을 대상으로 설문을 진행하였다. 또한, 설문조사지를 온라인 (Google forms)에 등록하여 비대면으로도 설문을 조사하였다.

2. 설문 내용

설문의 내용은 기본 현황, 병해충 피해, 사양관리 및 월동 상태 및 피해 등 크게 4가지로 구분하였다.

기본 현황을 파악하기 위해 응답자의 지역, 양봉경력, 양봉장 수와 환경, 사육군 수, 양봉 형태 및 벌꿀 생산량 등으로 내용을 구성하였다. 양봉장의 수가 2개 이상인 경우, 양봉장 간의 거리가 15 km 이상인지를 통해 밀원 자원의 공유 여부를 파악하였다. 양봉 형태는 유밀기에 채밀을 목적으로 이동 여부에 따라 고정양봉과 이동양봉으로 구분하여 응답하도록 하였다. 벌꿀 생산량은 2022년과 2023년의 채밀 봉군 수 및 벌꿀 생산량을 응답하도록 하였다.

병해충 피해를 파악하기 위해 말벌 피해 정도 및 주요 종, 날개불구바이러스(DWV) 병징 정도, 응애 감염 조사 여부, 가시응애 피해 정도, 질병 감염 조사 여부 등으로 내용을 구성하였다. 말벌의 주요 종으로는 등검은말벌 (*Vespa velutina nigrithorax*), 장수말벌 (*Vespa mandarinia*), 말벌 (*Vespa crabro*), 털보말벌 (*Vespa simillima*) 중 선택하도록 하였다. 날개불구 꿀벌의 정도를 응답하도록 하였다.

현재 관행적인 사양관리법을 파악하기 위해 월동기와

봄철의 전기 가온 여부 및 사양량, 봄벌 깨우는 시기, 응애 방제 횟수 및 비용 등으로 내용을 구성하였다.

월동 상태 및 피해를 파악하기 위해 월동 봉군 수, 월동 환경, 월동 봉군 신왕 비율, 피해 증상 등으로 내용을 구성하였다. 월동 환경은 노지, 비가림, 비가림과 차광, 저온차고, 무월동 중에서 선택하도록 하였다. 피해 증상은 월동 중 폐사한 봉군과 월동 후 봄벌 사육 중 폐사한 봉군을 구분하여 조사하였다.

3. 자료 분석

설문 내용 중 월동 대비와 봄벌 사육에 사용된 설탕과 화분 대체제의 사양량, 응애 방제 횟수와 비용 및 월동 봉군 수는 평균으로 변환하였고, 이외의 모든 항목에 대한 응답은 백분율로 산출하여 기술통계하였다. 월동 폐사 원인 구명을 위해 폐사율과 여러 요인(날개불구바이러스 병징 정도, 가시응애 피해 정도, 말벌 피해, 응애 방제 횟수)의 상관성은 Pearson 상관성 분석법을 이용하였으며, 유의미한 상관성을 가지는 요인들을 대상으로 상호 작용 효과를 다중 회귀 분석법을 R studio 소프트웨어로 분석하였다.

결 과

1. 월동 폐사율 현황 및 분포

설문조사 응답자 439호의 2022년 월동 실패율은 36%

Table 1. Percentage of overwintering failure of honey bee colonies and its symptoms during 2022~23 winter from the questionnaire survey of 439 beekeepers in Korea

Province	Number of respondents (n)	Overwintering failure (%)	Symptoms (%)				
			Mass mortality	Empty colony	Shortage of food	Weak colony	Disaster
GW	9	30.1	45.0	40.0	0.0	0.0	15.0
GG	137	33.1	17.2	55.4	5.4	17.8	4.3
GN	44	34.1	12.5	74.7	6.7	3.7	2.4
GB	102	30.1	8.2	75.1	4.0	8.3	4.3
JN	48	34.9	10.5	71.4	4.9	6.2	6.9
JB	16	36.9	6.1	63.1	6.4	12.0	12.4
JJ	8	67.7	44.4	55.6	0.0	0.0	0.0
CN	48	22.6	14.8	52.8	14.5	11.8	6.2
CB	27	34.9	6.7	82.0	4.0	5.1	2.2
Overall	439	36.0	18.4	63.3	5.1	7.2	6.0

*GW: Gangwon, GG: Gyeonggi, GN: Gyeongnam, GB: Gyeongbuk, JN: Jeonnam, JB: Jeonbuk, JJ: Jeju, CN: Chungnam, CB: Chungbuk

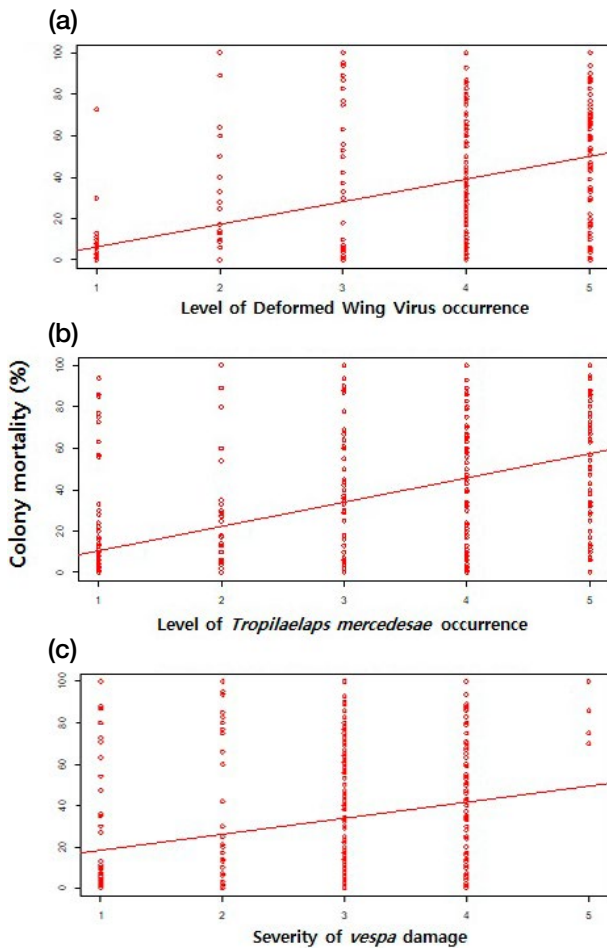


Fig. 1. Pearson correlation analysis between the overwintering failure and the level of deformed wing virus (a), the level of *Tropilaelaps mercedesae* (b), and the severity of *Vespa* damage (c) from the questionnaire survey of 439 beekeepers in Korea.

로 나타났다. 그중 제주도 67.7%로 가장 높았고 충남이 22.6%로 가장 낮은 것으로 나타났다. 월동 실패의 주요 증상으로 월동 중 망실로 인한 빈 벌통이 63.3%로 가장 높았으며, 소문 앞 대량 폐사 18.4%, 먹이가 있음에도 벌방에 머리를 박고 죽어 있는 봉세가 약한 봉군 증상이 7.2% 순으로 나타났다. 다른 지역들과 달리 강원도에서는 망실로 인한 빈 벌통보다 소문 앞 대량 폐사가 더 높은 것으로 나타났다.

2. 월동 폐사 영향 요인 분석

꿀벌의 건강을 저해할 수 있는 요인들인 응애류와 말벌류가 월동 폐사에 미치는 영향을 파악하기 위해 피어슨 상관성 분석을 진행하였다. 날개불구바이러스 병징 발생 수준과 월동 폐사율 간의 상관계수는 0.45로 산출되었으

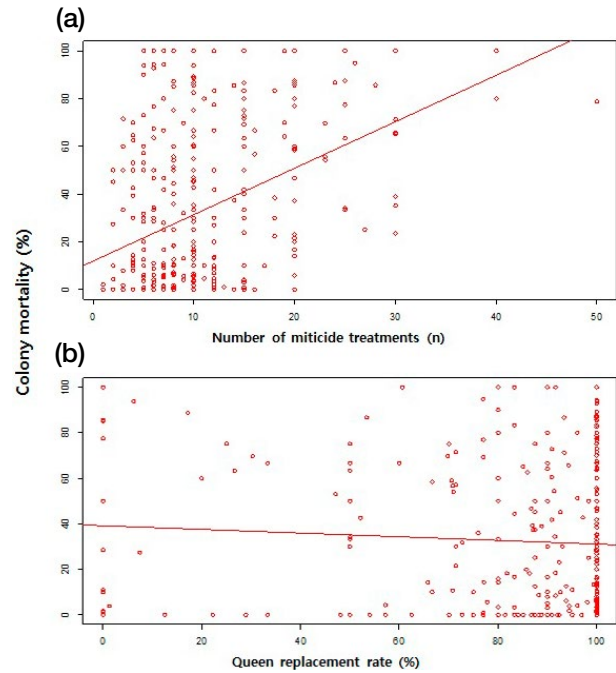


Fig. 2. Pearson correlation analysis between the overwintering failure and the number of acaricide application (a) and the queen replacement rate (b) from the questionnaire survey of 439 beekeepers in Korea.

며 유의미한 상관관계를 보였다(pearson test: $t = 10.086$, $df = 438$, $P < 0.0001$). 가시응애 발생 정도와 월동 폐사율 간의 상관계수는 0.53로 산출되었으며 유의미한 상관관계를 보였다(pearson test: $t = 12.415$, $df = 438$, $P < 0.0001$). 말벌 피해 정도와 월동 폐사율 간의 상관계수는 0.26로 산출되었으며 유의미한 상관관계를 보였다(pearson test: $t = 5.2254$, $df = 438$, $P < 0.0001$).

3. 기타 요인과 월동 실패율과의 관계

꿀벌의 주요 건강 위해 요인인 응애류와 말벌류를 제외한 응애 방제 횟수 및 여왕 세대 교체율이 월동 폐사율 간의 상관성을 분석하였다. 응애 방제 횟수와 월동 폐사율 간의 상관계수는 0.39로 산출되었으며 유의미한 상관관계를 보였다(pearson test: $t = 8.2993$, $df = 438$, $P < 0.0001$). 여왕 세대 교체율과 월동 폐사율 간의 상관계수는 -0.06 로 산출되었으며 유의미한 상관관계를 보이지 않았다(pearson test: $t = -1.2368$, $df = 438$, $P > 0.05$).

4. 월동 폐사 관련 요인들 간 관계

월동 폐사와 상관성을 가지는 요인들(날개불구바이

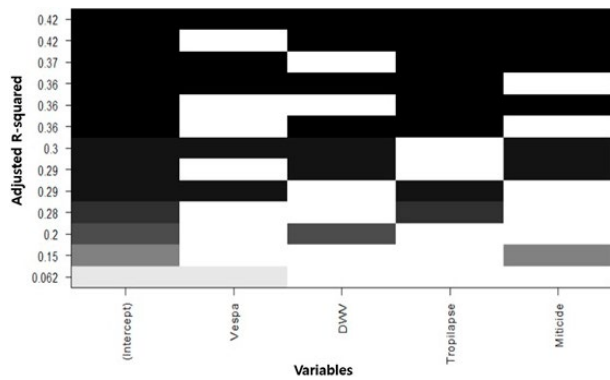


Fig. 3. Multiple regression analysis between the overwintering failure and related factors from the questionnaire survey of 439 beekeepers in Korea.

러스, 중국가시응애, 말벌 및 응애 방제 횟수) 중 상호작용 효과를 다중 회귀 분석을 통해 확인하였다. 분산팽창지수(Variation Inflation Factor)를 통해 확인한 다중공선성(Multicollinearity)의 문제는 나타나지 않았다. 말벌 피해 정도를 제외한 모든 요인에서 유의한 것으로 나타났다($P < 0.0001$). 말벌 피해 정도를 제거하지 않은 것과 제거한 것의 AIC (Akaike information criterion)는 각각 3709.631, 3709.122로 유사하게 나왔으므로, 모든 변수를 고려할 수 있는 변수 선택방법(All Possible Regression)을 사용하였다. 각 요인 개별로 작용하는 경우, 수정결정계수(Adjusted coefficient of determination)는 중국가시응애, 날개불구바이러스, 응애 방제횟수 및 말벌 순으로 나타났다. 가장 높은 수정결정계수는 각 요인들의 다양한 조합들 중 모든 요인이 함께 작용하는 것으로 나타났다.

고 찰

꿀벌 월동 실패 원인 구명을 위한 2023년 양봉농가들을 대상으로 다양한 경로(한국양봉학회, 양봉인의 날 행사, 온라인 설문)를 통해 수행한 설문조사를 분석한 결과, 응답자들의 2022년 월동 폐사율은 36%로 나타났으며 망실로 인한 빈 벌통 증상이 가장 많은 것으로 나타났다. 꿀벌의 건강 주요 위해 요인들인 말벌류, 응애류 및 매개 바이러스는 꿀벌의 폐사와 양의 상관성을 갖는 것으로 나타났고 기타 요인들 중 응애 방제 횟수와 양의 상관성을 가져, 꿀벌 월동 실패에 다양한 요인들이 작용할 수 있는 것으로 나타났다. 또한, 꿀벌 폐사와 상관성을 갖는 요인들이 모

두 동시 발현했을 때 월동 폐사에 가장 높은 영향을 미치는 것으로 나타났다.

꿀벌의 건강 주요 위해 요인들 중 가시응애의 발생빈도가 가장 큰 상관성을 갖는 것으로 나타났다. 겨울벌을 집중적으로 양성해야 하는 9~10월에 응애류의 감염이 심하면 월동벌의 내한성을 증진시키는 난황단백질이 감소하여 월동이 실패할 수 있다(Amdam *et al.*, 2004; Kim, 2022). 또한, 응애류에 의해 매개될 수 있는 3종의 바이러스(DWV, ABPV 및 IAPV)는 대규모 월동 봉군 손실과 관련되어 있는 것으로 보고되었다(Bailey *et al.*, 1963; Govan *et al.*, 2000; Lanzi *et al.*, 2006; Berthoud *et al.*, 2010). 꿀벌 응애와 중국가시응애의 밀도는 지리적 요인 및 기후적 요인에 달라질 수 있으며, 일부 동남아 국가에서는 중국가시응애의 밀도가 높은 것으로 보고되었다(Burgett *et al.*, 1983). 한국의 경우, 과거에는 꿀벌응애 밀도가 중국가시응애보다 높은 것으로 보고되었으나, 지구온난화로 인해 기온이 상승한 결과 남방계 해충인 중국가시응애 감염 수준이 높아질 수 있다(Jung *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2005; IPCC, 2007; Jung, 2015). 이미 중국가시응애 밀도가 꿀벌 응애보다 높았다는 보고가 있어 중국가시응애의 위험성이 증가하고 있다(Choi *et al.*, 2014; Oh *et al.*, 2024). 따라서 중국가시응애로 인한 꿀벌 월동 실패 위험성 또한 증가할 것으로 보인다.

응애 방제 횟수와 꿀벌 폐사는 양의 상관성을 갖는 것으로 나타나 응애 방제를 위한 과도한 약제 사용은 오히려 꿀벌의 건강을 위해할 수 있다. 현재, 양봉농가들도 응애류가 꿀벌에 미치는 부정적인 영향을 인지하고 있고 그로 인해 과도한 합성 살비제 사용이 발생할 수 있다. 꿀벌 기생 응애류를 방제하기 위한 살비제는 화분, 꿀, 밀랍 등에 잔류할 수 있다(Mullin *et al.*, 2010; Gregorc and Ellis, 2011). 일정 수준 이상의 합성 살비제 잔류는 일벌 유충의 발달과 생존에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다(Dai *et al.*, 2018). 또한, 합성 살비제에 노출된 일벌 유충이 무사히 성충으로 우화를 하더라도 비행 능력, 학습, 기억, 반응성 및 생존에 부정적인 영향을 줄 수 있다(Frost *et al.*, 2013; Wu *et al.*, 2022). 합성 살비제뿐만 아니라 천연 살비제 또한 시기와 용량에 따라 꿀벌에 부정적인 영향을 줄 수 있는 것으로 보고되었다(Pietropaoli and Formato, 2019; Terpin *et al.*, 2019). 살비제의 과도한 사용으로 인해 벌통 내 약제 잔류가 발생할 수 있으며, 이는 꿀벌의 만성

독성으로 이어질 수 있으므로 이에 대한 추가 연구가 필요하다(Mullin *et al.*, 2010; Kim and Lee, 2022). 따라서, 응애류 방제를 위해 화학적 방제뿐만 아니라 수벌집 활용이나 왕을 가두는 등 물리적·생태적 방제법을 동시 활용하는 종합적 관리가 필요하며, 화학적 방제 사용을 최소화하기 위한 최적 시기 및 사용법에 대한 연구가 필요하다.

꿀벌 폐사와 상관성을 갖는 요인들이 모두 발생했을 때 월동 폐사가 발생할 확률이 높은 것으로 다중 회귀 분석을 통해 나타났다. 이는 꿀벌 봉군 절멸 현상과 마찬가지로 하나의 요인이 단독으로 작용하는 것보다 여러 가지 요인이 함께 작용하는 것이 폐사에 대해 잘 설명되었다(vanEngelsdorp *et al.*, 2009). 또한 본 연구에서 다루지 못한 봉군 세력, 이상 기온, 영양 등 다양한 요인이 월동 폐사에 추가적으로 작용하였을 수 있다(Jung and Bae, 2022; Lee *et al.*, 2022). 따라서, 꿀벌 월동 실패율을 감소시키기 위해서는 병해충 관리뿐만 아니라 월동 봉구 형성을 위한 충분한 겨울벌 생산, 겨울철 이상 기온에 대응할 수 있는 방안 및 월동기 봉군 내 저장된 먹이의 충분한 양과 품질까지 고려를 해야 할 것으로 보인다.

적 요

응답자들의 월동 폐사율은 평균 36%로 나타났으며, 그 중 주요 증상으로는 월동 중 망실로 인한 빈 벌통이 63.3%로 나타났다. 월동 폐사율과 꿀벌 건강 저해 주요 요인들(날개불구바이러스, 중국가시응애 및 말벌류)은 양의 상관성을 갖는 것으로 나타났다. 월동 폐사율과 기타 요인들 중 응애 방제 횟수와는 양의 상관성을 보였으며, 여왕 신왕 교체율은 상관성이 없었다. 양의 상관성을 보이는 요인들을 대상으로 다중 회귀 분석을 한 결과, 모든 요인들이 작용을 하는 경우 가장 높은 수정결정계수 값을 보였으며, 다중 공선성의 문제는 없는 것으로 나타났다. 본 연구를 통해 병해충 관리에 따라 꿀벌의 월동 폐사율이 상이하게 나타날 수 있다는 것을 제안한다. 하지만, 본 연구에서 다루지 못했던 봉군의 세력, 이상 기온, 봉군 내 저장된 먹이의 양과 품질 등 꿀벌 월동 폐사에 관련되어 있는 다양한 요인들이 존재한다. 따라서, 꿀벌 월동 실패율을 감소시키기 위해서는 병해충 관리뿐만 아니라 충분한 겨울벌 생산, 이상 기온 대응 방안 및 월동기 봉군 내 충분한 먹이까지 고려를 해야 할 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 농업정책지원기술개발 사업 꿀벌 강건성 연구 과제(이상기온 대응 꿀벌 스마트 관리 기술개발, RS-2023-00232847)의 지원으로 수행되었습니다.

인용 문헌

- Amdam, G. V., K. Hartfelder, K. Norberg, A. Hagen and S. W. Omholt. 2004. Altered physiology in worker honey bees (Hymenoptera: Apidae) infested with the mite *Varroa destructor* (Acari: Varroidae): a factor in colony loss during overwintering. *J. Econ. Entomol.* 97: 741-747.
- Bailey, L., A. J. Gibbs and R. D. Woods. 1963. Two viruses from adult honey bees (*Apis mellifera* Linnaeus). *Virology* 21: 390-395.
- Berthoud, H., A. Imdorf, M. Haueter, S. Radloff and P. Neumann. 2010. Virus infections and winter losses of honey bee colonies (*Apis mellifera*). *J. Apic. Res.* 49(1): 60-65.
- Buchmann, S. L. 1996. Competition between honey bees and native bees in the Sonoran Desert and global bee conservation issues. pp. 125-142. in *The Conservation of Bees*, eds. by A. Matheson *et al.* New York: Academic Press.
- Burgett, M., P. Akranakul and R. A. Morse. 1983. *Tropilaelaps clareae*: a parasite of honeybees in south-east Asia. *Bee World* 64(1): 25-28.
- Chang, Y. D., M. Y. Lee and Y. N. Youn. 1994. Visiting patterns and control of giant hornet, *Vespa mandarinia* (Hymenoptera: Vespidae) in apiary. *Korean J. Apic.* 9: 178-180.
- Chang, Y. D., M. Y. Lee, Y. H. Yim and Y. N. Youn. 1993. Species and visiting patterns of wasps (Hymenoptera: Vespidae) in apiary. *Korean J. Apic.* 8: 22-28.
- Choi, M. B., K. K. Jeong and J. W. Lee. 2013. Checklist and distribution of Korean Vespidae revisited. *Korean J. Appl. Entomol.* 52: 85-91.
- Choi, Y. S., M. L. Lee, H. S. Lee, H. K. Kim, K. H. Byeon, M. Y. Yoon, A. R. Kang, T. V. Toan, I. P. Hong and S. O. Woo. 2014. Morphological analysis and determination of interference competition between two honeybee mites: *Varroa destructor* and *Tropilaelaps clareae* (Acari: Varroidae and Laelapidae). *J. Apic.* 29(4): 327-332.
- Crane, E. 1990. *Bees and beekeeping: Science, practice and world resources*. Oxford: Heinemann Newnes. 614pp.
- Dai, P., C. J. Jack, A. N. Mortensen, T. A. Bustamante and J. D. Ellis. 2018. Chronic toxicity of amitraz, coumaphos and fluralinate to *Apis mellifera* L. larvae reared in vitro. *Sci. Rep.* 8(1): 5635.
- Frost, E. H., D. Shutler and N. K. Hillier. 2013. Effects of fluralinate on honey bee learning, memory, responsiveness

- to sucrose, and survival. *J. Exp. Biol.* 216(15): 2931-2938.
- Govan, V. A., N. Leat, M. Allsopp and S. Davison. 2000. Analysis of the complete genome sequence of acute bee paralysis virus shows that it belongs to the novel group of insect-infecting RNA viruses. *Virology* 277: 457-463.
- Gray, A., N. Adjlane, A. Arab, A. Ballis, V. Brusbardis, A. Bugeja Douglas, ... , R. Brodschneider, *et al.* 2023. Honey bee colony loss rates in 37 countries using the COLOSS survey for winter 2019-2020: The combined effects of operation size, migration and queen replacement. *J. Apic. Res.* 62(2): 204-210.
- Gray, A., R. Brodschneider, N. Adjlane, A. Ballis, V. Brusbardis, J. D. Charrière, ... , V. Soroker, *et al.* 2019. Loss rates of honey bee colonies during winter 2017/18 in 36 countries participating in the COLOSS survey, including effects of forage sources. *J. Apic. Res.* 58(4): 479-485.
- Gregorc, A. and J. D. Ellis. 2011. Cell death localization in situ in laboratory reared honey bee (*Apis mellifera* L.) larvae treated with pesticides. *Pestic. Biochem. Physiol.* 99: 200-207.
- IPCC. 2007. Summary for Policymakers. in *Climate Change 2007, The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, eds. by Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller. Cambridge University Press, United Kingdom and USA.
- Jeong, S., C. Lee, D. Kim and C. Jung. 2016. Questionnaire study on the overwintering success and pest management of honeybee and damage assessment of *Vespa* hornets in Korea. *Korean J. Apic.* 31(3): 201-210.
- Jeong, Y. S., M. S. Jeon, S. B. Kim, D. W. Kim, S. H. Yu, K. C. Kim and I. C. Choi. 2022. Study on the Technology for Searching *Vespa Velutina* Nest Using YOLO-v5. *Korean J. Apic.* 37(3): 255-263.
- Jung, C. 2008. Economic value of honeybee pollination on major fruit and vegetable crop in Korea. *Korean J. Apic.* 23: 147-152.
- Jung, C. 2015. Simulation Study of *Varroa* Population under the Future Climate Conditions. *Korean J. Apic.* 30(4): 349-358.
- Jung, C. 2022. Multi-functionality of honey bees for eco-friendly food production. *Food Sci. Ind.* 55(2): 166-175.
- Jung, C. and J. H. Shin. 2022. Evaluation of crop production increase through insect pollination service in Korean agriculture. *Korean J. Appl. Entomol.* 61: 229-238.
- Jung, C. and M. L. Lee. 2018. Beekeeping in Korea: Past, present, and future challenges. pp. 175-197. in *Asian beekeeping in the 21st century*.
- Jung, C. and Y. H. Bae. 2022. Production and characteristics of winter generation honey bees, *Apis mellifera*: Discussion with overwintering failure. *J. Apic.* 37(3): 265-274.
- Jung, C., D. Kim, H. S. Lee and H. Baek. 2009. Some biological characteristics of a new honeybee pest, *Vespa velutina nigrithorax* Buysson, 1905 (Hymenoptera: Vespidae). *Korean J. Apic.* 24: 61-65.
- Jung, C. E. 2012a. Initial stage risk assessment of an invasive hornet, *Vespa velutina nigrithorax* Buysson (Hymenoptera: Vespidae) in Korea. *Korean J. Apic.* 27(2): 95-104.
- Jung, C. E. 2012b. Spatial expansion of an invasive hornet, *Vespa velutina nigrithorax* Buysson (Hymenoptera: Vespidae) in Korea. *Korean J. Apic.* 27 (2): 87-93.
- Jung, J. K., M. Y. Lee and Y. I. Mah. 2000. Infestation of *Varroa jacobsoni* and *Tropilaelaps clareae* in some apiaries during spring and fall seasons, 1999-2000 in South Korea. *Korean J. Apic.* 15(15): 141-145.
- Kim, H. K. 2022. The effect of honey bee mites on the winter colony losses. *Korean J. Apic.* 37(3): 291-299.
- Kim, Y. H. and S. K. Lee. 2022. Current status of fluvalinate resistance in *Varroa destructor* in Korea and suggestion for possible solution. *Korean J. Apic.* 37(3): 301-313.
- Klein, A. M., B. E. Vaissière, J. H. Cane, I. Steffan-Dewenter, S. A. Cunningham, C. Kremen and T. Tscharntke. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. R. Soc. B: Biol. Sci.* 274(1608): 303-313.
- Laigo, F. M. and R. A. Morse. 1968. The mite *Tropilaelaps clareae* in *Apis dorsata* colonies in the Philippines. *Bee World* 49: 116-118.
- Lanzi, G., J. R. de Miranda, M. B. Boniotti, C. E. Cameron, A. Lavazza, L. Capucci, S. M. Camazine and C. Rossi. 2006. Molecular and biological characterization of deformed wing virus of honeybees (*Apis mellifera* L.). *J. Virol.* 80: 4998-5009.
- Lee, M. L., Y. M. Park, M. Y. Lee, Y. S. Kim and H. K. Kim. 2005. Density distribution of parasitic mites, *Varroa destructor* Anderson and Trueman and *Tropilaelaps clareae* Delfinado and Baker, on honeybee pupae (*Apis mellifera* L.) in autumn season in Korea. *J. Apic.* 20(2): 103-108.
- Lee, M. Y., I. P. Hong, Y. S. Choi, N. S. Kim, H. K. Kim, K. G. Lee and M. L. Lee. 2010. Present status of Korean beekeeping industry. *Korean J. Apic.* 25(2): 137-144.
- Lee, S. J., S. H. Kim, J. Y. Lee, J. H. Kang, S. M. Lee, H. J. Park and C. E. Jung. 2022. Impact of ambient temperature variability on the overwintering failure of honeybees in South Korea. *Korean J. Apic.* 37(3): 331-347.
- Levin, M. D. 1983. Value of bee pollination to U.S. agriculture. *Bull. Ent. Soc. Am.* 29: 50-51.
- Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs (MAFRA). 2022. Domestic animals statistics. MAFRA Press, Sejong, Korea. pp. 44-46.
- Mullin, C. A., M. Frazier, J. L. Frazier, S. Ashcraft, R. Simonds, D. Vanengelsdorp and J. S. Pettis. 2010. High levels of miticides and agrochemicals in North American apiaries: Implications for honey bee health. *PLoS One* 5: e9754.

- Oh, H., T. Begna and C. Jung. 2024. Evaluating the efficacy of registered acaricides on *Varroa destructor* and *Tropilaelaps mercedesae*, in *Apis mellifera* colonies. Korean J. Apic. 39(1): 21-30.
- Pietropaoli, M. and G. Formato. 2019. Acaricide efficacy and honey bee toxicity of three new formic acid-based products to control *Varroa destructor*. J. Apic. Res. 58(5): 824-830.
- Ramsey, S. D., R. Ochoa, G. Bauchan, C. Gulbranson, J. D. Mowery, A. Cohen and D. vanEngelsdorp. 2019. *Varroa destructor* feeds primarily on honey bee fat body tissue and not hemolymph. Proc. Natl. Acad. Sci. 116(5): 1792-1801.
- Rosenkranz, P., P. Aumeier and B. Ziegelmann. 2010. Biology and control of *Varroa destructor*. J. Invertebr. Pathol. 103: 96-119.
- Roth, M. A., J. M. Wilson, K. R. Tignor and A. D. Gross. 2020. Biology and management of *Varroa destructor* (Mesostigmata: Varroidae) in *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) colonies. J. Integr. Pest. Manag. 11(1): 1.
- Ruttner, F. 1988. Biogeography and taxonomy of honey bees. Springer-Verlag, Berlin. 284pp.
- Sammataro, D., U. Gerson and G. Needham. 2000. Parasitic mites of honey bees: Life history, implications, and impact. Annu. Rev. Entomol. 45: 519-548.
- Sampat, G. and C. Jung. 2016. Global honeybee colony trends is positively related to crop yields of medium pollination dependence. Korean J. Apic. 31: 85-95.
- Sim, H., M. L. Lee, Y. S. Choi, H. K. Kim, I. P. Hong, S. O. Woo, K. H. Byeon and M. L. Lee. 2014. Pattern of emergence of *Vespa velutina nigrithorax* Buysson (Hymenoptera: Vespidae) in spring in southern Korea. Korean J. Apic. 29: 353-358.
- Terpin, B., D. Perkins, S. Richter, J. K. Leavey, T. W. Snell and J. A. Pierson. 2019. A scientific note on the effect of oxalic acid on honey bee larvae. Apidologie 50: 363-368.
- vanEngelsdorp, D., J. D. Evans, C. Saegerman, C. Mullin, E. Haubruge, B. K. Nguyen, M. Frazier, J. Frazier, D. Cox-Foster, Y. Chen, R. Underwood, D. R. Tarpy and J. S. Pettis. 2009. Colony collapse disorder: A descriptive study. PLoS One 4: e6481.
- Wu, X., C. Liao, X. He, L. Zhang, W. Yan and Z. Zeng. 2022. Sublethal fluvalinate negatively affects the development and flight capacity of honeybee (*Apis mellifera* L.) workers. Environ. Res. 203: 111836.

응답자 기본 현황

Appendix Table 1. Percentage of respondents basic status (beekeeping career, number of apiaries, number of colonies, honey production per colony, migratory beekeeping, apiary environment) from the questionnaire of 439 beekeepers in Korea

Beekeeping years, (%)	Number of apiaries, (%)	Number of colonies, (%)	Honey production per colony, (kg)	Migratory, (%)	Environment, (%)
~5, (15)	1, (51)	~50, (15)	2022 Acacia, (20)	Yes, (55)	Open, (61)
6~15, (49)	2, (34)	51~150, (44)	2023 Acacia, (16)	No, (45)	Bee house, (39)
16~30, (24)	3, (12)	151~300, (30)	2022 Multifloral, (12)		
31~, (12)	4~, (3)	301~, (11)	2023 Multifloral, (10)		

병해충 피해

Appendix Table 2. Percentage of honeybee pest damage (Deformed wing virus, *Tropilaelaps mercedesae* and *vespa*) from the questionnaire of 439 beekeepers in Korea

Levels	Deformed wing virus	<i>Tropilaelaps mercedesae</i>	<i>Vespa</i>
Very high	27	23	36
High	54	38	40
Moderate	11	18	12
Low	6	6	12
Don't know	2	15	0