



꿀벌 응애류가 월동봉군 폐사에 미치는 영향

김혜경*

국립한국농수산대학교 농수산융합학부

The Effect of Honey Bee Mites on the Winter Colony Losses

Hye-Kyung Kim*

Department of Agriculture and Fisheries Convergence, Korea National University of Agriculture and Fisheries, Jeonju, Republic of Korea

Abstract

Honey bees play important roles in the maintenance and preservation of agricultural ecosystems because they contribute to fruit and seed production by pollinating crops. However, the bee population has been declining due to rapid climate change. In 2021~2022, unprecedented, large-scale winter colony losses occurred in Korea. Although these winter colony losses have significant damaging effects on agricultural crop production, their cause has not been identified so far. Therefore, this study describes how honey bee mites are directly or indirectly involved in the winter colony losses reported by previous studies. Honey bee ectoparasitic mites cause considerable damage to honey bee colonies and the major mite species in Korea are *Varroa destructor* and *Tropilaelaps mercedesae*. Infestation caused by these mites can directly reduce honey productivity by weakening the colony through increased mortality. Similar to those of Korea, there have been several reports of large-scale winter colony losses around the globe. Although various causes have been suggested for winter colony losses, infestation caused by mites has been considered one of the most important. After considering the main characteristics associated with large-scale winter colony losses in many other countries, mite infestation can be considered one of the major factor for the 2021~2022 winter colony losses in Korea. The damage caused by *V. destructor* and *T. mercedesae* was significant in the apiary where the winter colony losses had occurred. When a colony is damaged by honey bee mites, the lifespan of the worker bees is shortened and normal overwintering becomes difficult. In addition, honeybee infestation caused by mites during the September~October period adversely affects the production of healthy and long-lived worker bees that subsequently become winter bees. Finally, mite-borne viruses may also be considered a major cause of bee population decline.

Keywords

Honey bee, Winter colony losses, Ectoparasitic mite, *Varroa destructor*, *Tropilaelaps mercedesae*

서 론

꿀벌(honey bee)은 작물의 수분을 매개하여 과실 및 종자생산에 기여함으로써 농업 생태계를 유지하고 보존하는

데 큰 역할을 하는 중요한 생물종 중 하나이다. 하지만 최근 급격한 기후 변화에 따라 꿀벌 개체수 감소 현상이 두드러지고, 이것이 생태계 교란 및 작물생산성 하락으로 이어질 수 있다는 우려가 일고 있어 꿀벌 보호를 위한 현실

적인 대책이 강력하게 요구되고 있다(Osman and Shebl, 2020). 특히 지난 2021~2022년 우리나라에서는 유례 없는 대규모 월동봉군 폐사 현상이 전국에 걸쳐 동시다발적으로 발생한 바 있다. 이로 인해 양봉농가는 엄청난 규모의 경제적 손실을 입었는데, 이로 인해 파생되는 피해 역시 적지 않은 것으로 추정되고 있다. 월동봉군 폐사로 인해 예상 가능한 피해는 1차적으로 봉군손실에 따른 경제적 피해를 들 수 있으며, 이는 연쇄적으로 꿀벌 등 양봉산물 생산량 감소라는 2차 피해로 이어질 뿐만 아니라 화분매개 꿀벌 부족으로 인한 과수 및 채소 생산성 하락에도 영향을 미칠 수 있어 그 피해규모는 예상을 넘어설 것으로 보고 있다.

꿀벌은 대표적인 사회적 곤충으로, 분업을 이루며 무리생활을 영위해 간다. 이렇게 무리생활을 하는 꿀벌의 최소 단위를 봉군(colony)이라고 한다. 봉군의 생육주기는 번식기, 유밀기, 무밀기, 월동기로 나눌 수 있는데, 각 시기에 따라 꿀벌의 개체수는 큰 폭으로 변화하게 된다. 즉 꿀벌은 번식기 및 유밀기에 봉군이 빠르게 발전하며 개체수가 급격히 늘어나는 시기를 거친 후 군세가 쇠퇴하는 무밀기, 군세가 더 이상 늘어나지 않고 정체하는 월동기를 거치게 된다. 꿀벌이 월동기간 동안 정체를 거치는 이유는 더 이상 산란이 이루어지지 않아 새로 태어나는 일벌이 없을 뿐만 아니라, 9~10월 양성된 일벌(월동벌)의 경우 수명이 4개월 정도로 길어 사망하는 일벌수가 적기 때문이다. 하지만 일반적으로 월동 후의 일벌은 월동 전과 비교했을 때 10~20% 정도 일벌이 줄어든 현상을 볼 수 있는데, 이는 수명이 다한 일벌이 사망하면서 발생하는 매우 자연스러운 현상으로 우려할 필요가 없다. 하지만 이번 사태와 같이 월동봉군 손실이 30% 이상 발생하는 경우는 정상적인 월동봉군 소실 현상으로 보지 않고 비정상적인 대량 소실로 정의할 수 있는데(조 등, 2022), 이는 매우 이례적인 현상으로 많은 우려를 낳고 있는 상황이다.

지난 2021~2022년 발생한 월동봉군 폐사 현상의 양상은 다음과 같이 정리해 볼 수 있다. 먼저, 월동기 이후 벌통 내 봉군은 일벌 및 여왕벌이 거의 없거나 완전히 사라진 상태였으며, 사라진 봉군 주변에는 꿀벌 시체조차 찾아볼 수 없고 벌통 내 먹이량은 충분한 것으로 조사되었다. 이러한 피해는 일부 봉군 및 양봉장에 국한된 것이 아니라 전국적으로 발생하였으며, 특히 경남 및 전남지역의 피해가 심각했던 것으로 드러났다. 마지막으로 중요한 것은,

소실 피해를 입은 봉군은 바이러스와 같은 특정 질병과 높은 상관관계는 없었던 것으로 확인되었다는 것이다(조 등, 2022). 이러한 특징들로 미루어 보았을 때 이번 사태는 먹이 부족 및 동사로 인한 일반적인 월동 실패로 인한 손실이 아니라는 것과 특정 병해충에 의한 피해나 특정 양봉가 및 양봉장에 국한된 현상이 아닌 것으로 결론지을 수 있을 것이다.

지금까지 우리나라에서 대규모 봉군 폐사 사건이 보고된 것은 이번이 처음은 아니다. 2009년 우리나라에서는 전국에 걸쳐 대규모 토종벌(*Apis cerana*) 봉군 폐사가 일어난 바 있는데(Choi *et al.*, 2010), 이는 낭충봉아부패바이러스(Sacbrood virus, SBV)에 의한 낭충봉아부패병에 의한 것으로 그 원인이 명확하게 밝혀진 바 있다. 하지만 여기서 다루게 될 대규모 월동봉군 폐사 사건의 경우 현재까지 명확한 원인을 밝혀내지 못하고 있는데, 그럼에도 불구하고 지금까지 각계 전문가들에 의해 주목되고 있는 주요 원인은 몇 가지로 정리할 수 있다. 그것은 바로 기후 변화에 따른 이상기상, 병해충의 만연, 봉군 관리상의 부주의 등이다. 그중 본 보고자료에서는 꿀벌 외부 기생성 응애에 초점을 맞추어 대규모 월동봉군 폐사와 어떠한 연관성이 있는지 이전에 연구된 논문들을 바탕으로 기술하고자 한다. 다만 한 가지 서두에 밝히고자 하는 것은 여기서 논의하고 있는 것은 월동봉군 폐사에 국한된 것이며, 기타 다른 다양한 원인에 의한 꿀벌 폐사 현상을 다루지는 않는다. 저자는 이 논문을 통해 꿀벌 외부 기생성 응애와 2021~2022년 우리나라에서 발생한 월동봉군 대규모 폐사 사건과의 관련성에 대해 보고하고자 하며, 이를 통해 꿀벌 기생성 응애류의 특성 및 꿀벌에 미치는 영향, 꿀벌 기생성 응애류와 월동봉군 폐사와의 상관관계 등에 대해 밝히고자 한다. 꿀벌 기생성 응애류가 2021~2022 월동봉군 폐사와 어떠한 상관관계가 있는지는 더 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 보여지지만, 이 논문이 향후 더 나은 연구를 위한 기초자료가 될 수 있기를 기대하는 바이다.

꿀벌 외부 기생성 응애

꿀벌 외부 기생성 응애(ectoparasitic mite)는 꿀벌에 기생하며 살아가는 해충으로, 봉군에 큰 피해를 일으키고 있는 가장 주요한 해충 중 하나이다. 지금까지 전 세

계에 보고된 꿀벌 기생성 응애류는 100여 종에 이르지만 (Sammataro *et al.*, 2000), 꿀벌에 있어 주요 피해를 야기시키는 것은 *Varroa* 및 *Tropilaelaps*, *Acarapis*가 대표적이다. 그중 현재 우리나라에서 발견되는 것은 바로아응애 (*Varroa destructor*)와 가시응애 (*Tropilaelaps mercedesae*)가 있으며 (Kang *et al.*, 2021), 이로 인해 국내 역시 많은 피해가 속출하고 있다. 두 종류 모두 서양종꿀벌 (*Apis mellifera*) 및 동양종꿀벌 (*A. cerana*)을 숙주로 하여 살아가는데, 이들 응애류의 감염은 봉군을 약화시켜 꿀 생산성을 감소시킬 뿐만 아니라 심하면 봉군을 폐사에 이르게 할 수 있어 그 위험성은 더욱 크다고 할 수 있다. 특히 응애류는 꿀벌의 분봉이나 도봉 등의 과정 중 성충에 붙어 원거리로 이동하여 인근의 양봉장에 감염을 확산시킬 수 있어 있고, 관리가 되지 않는 야생벌이 새로운 숙주가 될 수도 있어 이를 완전히 박멸하는 것은 매우 어렵다.

1. 바로아응애 (*Varroa destructor*)

바로아응애 (*V. destructor*)는 동양종꿀벌 (*A. cerana*)로부터 유래된 외부 기생성 해충으로 (Rosenkranz *et al.*, 2010), 동남아시아를 시작으로 현재는 호주를 제외한 대부분의 대륙에 널리 퍼져 큰 피해를 야기시키고 있다 (Rosenkranz *et al.*, 2010). 바로아응애 감염의 전반적인 피해는 일벌의 수명단축, 체중감소, 발육부진 등이 있을 수 있으며, 꿀벌 군체를 약화시켜 꿀 생산량을 감소시킬 뿐만 아니라 봉군 사멸에도 이르게 할 수 있다. 바로아응애가 동양종꿀벌에 미치는 영향은 서양종꿀벌에 미치는 영향과 비슷하나, 감염이 심각해지면 도거를 하는 특성을 보이고 있어 이에 주의가 필요하다.

바로아응애는 다른 응애류에 비해 상당히 커서 육안으로 구분이 가능하다. 성체 암컷은 1.6 mm (너비) × 1.1 mm (길이)로 납작하며, 붉은 다갈색에 광택이 있고 몸체는 짧은 털로 덮여 있다. 바로아응애의 발달 단계는 알, 유충 (six-legged larva, 다리 3쌍), 전약충 (protonymph, 다리 4쌍), 후약충 (deuteronymph, 다리 4쌍), 성충 (adult)으로 나눌 수 있는데 (Ritter and Akrotanakul, 2006), 성체 수컷과 미성숙 단계인 전약충과 후약충의 암수는 봉개된 변데기방 내부에서만 생활하지만, 성체 암컷은 유충 및 성충을 모두 가해할 수 있어 변데기방 및 소방 외부에서도 확인이 가능하다. 바로아응애는 편승단계 (phoretic phase)와 생식 단계 (reproductive phase)로 구분되는 생활사 (life cycle)를

가진다 (Jung, 2015). 편승단계는 꿀벌응애가 꿀벌 성충에 기생하며 생활하는 단계로, 성체 암컷이 이동을 위해 이용하는 단계이다. 이러한 편승단계에서는 바로아응애가 꿀벌 성충의 몸에 단단히 달라붙어 있는 것을 볼 수 있는데, 대부분 복부, 흉부와 복부 사이 등 체절 (segments)이 겹치는 부분을 흡즙한다. 생식단계의 경우 꿀벌응애가 변데기방 (brood cell) 내에서 꿀벌 유충을 가해하며 생활하는 시기로 산란 및 교미는 이 단계에서 이루어진다. 바로아응애는 봉개가 이루어지기 20~40시간 전 소방에 침입한 뒤 봉개가 이루어지고 4시간 이후 유충을 가해하기 시작하여 (Boot *et al.*, 1992), 봉개 60시간 후 첫 번째 알을 산란한다. 이때 산란한 알은 수컷이지만 이후부터는 암컷만을 낳는데, 30시간 간격으로 총 10개 이상의 알을 낳게 된다 (Sammataro *et al.*, 2000). 암컷은 알에서 성충까지 약 5~6일, 수컷은 6~7일 소요되는데, 꿀벌이 우화함과 동시에 암컷 응애는 소방을 떠나 꿀벌 성충으로 옮겨가거나 다른 소방으로 들어가고, 수컷과 약충은 소방 내 머물다 일벌에 의해 제거된다 (Rosenkranz, 2010).

바로아응애는 협각 (chelicera)을 이용해 꿀벌 성충 및 유충을 직접적으로 가해하여 부상을 입히고 꿀벌의 혈림프 및 지방체를 흡즙한다. 그러나 일반적으로 바로아응애 감염은 꿀벌 성충보다 유충에 더 큰 피해를 야기시킨다. 그 증상의 양상은 다음과 같다. 먼저, 암컷 꿀벌응애가 변데기방 내에 한 마리만 침입하여 유충을 가해하면 이후 성충으로 우화한 꿀벌의 경우 상대적으로 경미한 증상을 보이는 하지만 수명은 상당히 단축되는 결과를 낳게 된다. 하지만 바로아응애가 변데기방 내에 한 마리 이상 침입할 경우 조금 더 심각한 증상을 보이게 되는데, 즉 바로아응애에 피해를 입은 유충은 발육이 불규칙해지고, 성충으로 우화한 이후에도 수명이 단축되거나, 체중이 감소하고, 발육이 부진해지는 등의 증상을 보이게 된다. 또한 성충으로 우화한 꿀벌은 복부가 짧아지거나 날개가 변형되는 등 형태적인 변형을 동반하며, 심하면 성충으로 우화하기 전 변데기방 내에서 사망하고 부패하여 심한 악취를 동반하게 된다. 바로아응애에 감염된 일벌의 또 다른 증상은 채집과 같은 주요활동에 대한 효율성이 낮아지고, 유충 먹이를 생산하는 내역봉의 하인두선 (hypopharyngeal gland) 발달을 지연시켜 육아활동에 지장을 주게 (Schneider and Drescher, 1987)된다. 또한, 지방체 소실로 인해 내분비선 (glands)의 기능이 저해되어 살충제에 대한 감수성이 증가

하면서 약해를 쉽게 받는 원인이 되기도 한다. 이뿐만 아니라 수벌의 정액 생산이 상당히 감소하여 교미 성공률이 낮아질 수도 있는 등 (Duay *et al.*, 2002; Bubalo *et al.*, 2005) 전반적으로 봉군 생산성에 크게 영향을 미치게 된다.

바로아응애의 감염은 그렇지 않은 꿀벌에 피해가 거의 없었을 수도 있는 바이러스성 질병의 증상을 악화시키기도 하며, 이로 인해 치명적인 결과를 낳게 할 수도 있다. 일반적으로 곤충의 외골격은 많은 바이러스 감염으로부터 꿀벌을 보호하는 기능을 하는데, 바로아응애는 이 장벽을 뚫어 타액을 통해 바이러스를 꿀벌에 옮길 뿐만 아니라 꿀벌 체내에서 바이러스 증식을 활성화시킨다 (Bowen-Walker *et al.*, 1999; Brodsgaard *et al.*, 2000; Shen *et al.*, 2005). 이러한 복합적인 결과로 인해 결국 봉군이 폐사할 수 있으며, 이러한 결과는 많은 연구자들에 의해 밝혀진 바 있다 (De Jong *et al.*, 1982; Glinsky and Jarosz, 1992; Allen *et al.*, 1996; Brodsgaard *et al.*, 2000).

2. 가시응애 (*Tropilaelaps mercedesae*)

가시응애 (*T. mercedesae*)는 열대성 기생응애로, 필리핀에서 처음 보고된 이래 현재는 아시아를 비롯해 이란 및 파파뉴기아 등지에서 발견되고 있다 (Laigo and Morse, 1968; Baker *et al.*, 2005). 가시응애의 최초 숙주는 대형 종 꿀벌인 *Apis dorsata*이지만, 현재는 *A. mellifera* 및 *A. cerana*, *A. dorsata*, *A. florea*, *A. labiosa*에서도 기생하고 있다고 보고되고 있다 (Baker *et al.*, 2005). Thakur 등 (2021)은 동양종꿀벌인 *A. cerana*에서 발견되는 가시응애는 감염수준이 낮아 우려할 수준은 아닌 것으로 평가하고 있지만, 우리나라의 경우 동양종꿀벌보다 서양종꿀벌인 *A. mellifera*에서 피해가 확대되고 있어 이에 대한 대응이 필요할 것으로 보인다.

가시응애 암컷 성체의 크기는 1.0 mm (길이) × 0.6 mm (너비)이며, 연한 적갈색에 짧은 강모로 덮여 있는 몸체를 지닌다. 수컷 성체의 경우 암컷과 외형적으로 거의 비슷하지만 경화가 덜 이루어진 점에서 차이를 보인다. 가시응애는 매우 빠른 움직임과 높은 번식력을 지니고 있다는 특성을 지닌다. 바로아응애와 비교하면 25배 정도 높은 번식률을 보이는데, 이는 바로아응애에 비해 생활환이 짧고 산란수가 많기 때문에 가능하다. 가시응애는 알에서부터 성충까지는 약 6일 정도 소요되는데, 봉개 직전의 꿀벌 애벌레방에 들어간 암컷 가시응애는 애벌레방 봉개가 이루어

지면 48시간 후 산란을 시작하며, 24시간 간격으로 3~4개의 알을 낳아 최종적으로 한 개의 벌방에서 14마리의 가시응애 성충과 10마리 약충이 출현하게 된다. 가시응애는 산란 12시간 후에 부화한 뒤 즉각 꿀벌 유충을 흡즙 하고, 꿀벌 유충이 우화하면 번데기방을 나와 새로운 숙주를 찾아가는데, 이때 약충 암컷과 수컷은 벌방 내에서 사망하게 된다. 가시응애의 또 다른 특징은 짧은 편승단계 (phoretic stage)를 거친다는 것인데, 그 이유는 가시응애의 경우 바로아응애와 달리 협각을 이용해 일벌 성충의 체표를 뚫을 수 없어 꿀벌 유충에 기생하며 살아야 하기 때문에 대부분 번데기방 내에서 생활하게 된다. 즉 가시응애는 일벌 성충에 붙어 생활이 가능한 것은 3일 정도밖에 되지 않고 (Wilde, 2000), 임신한 가시응애는 2일 이내에 알을 낳지 못하면 사망하게 되기 때문에 최대한 빨리 다음 숙주를 찾아야 하는 특성을 지닌다. 하지만 가시응애는 이동성이 높아 꿀벌 간 봉군 간 이동이 비교적 자유로우며, 꿀벌의 도봉 및 분봉 과정 중 꿀벌에 의존해 장거리 이동이 가능하여 타 봉장으로 감염이 확산될 수 있어 이에 주의를 요한다.

가시응애에 의한 봉군의 피해 또한 바로아응애 피해와 유사한데, 가시응애 피해를 받은 꿀벌 유충은 발육이 불규칙해지며, 심하면 번데기방 내에서 폐사하여 썩기도 한다. 때문에 봉판에서 썩는 냄새가 나거나 봉개된 방 일부가 일벌에 의해 개봉되는 등 봉판이 불규칙한 패턴을 보이게 된다. 살아남은 꿀벌 유충은 성충으로 우화한 이후 수명이 단축되거나, 체중이 감소하고 (De Jong *et al.*, 1982) 발육이 부진해지며, 날개 및 다리에 변형이 일어나는 등 생리적, 형태적 변형을 동반하게 된다. 또한 소문 앞을 기는 증상을 보이며, 심한 경우 봉군이 폐사에 이르게 된다.

가시응애는 앞서 서술한대로 편승단계가 짧아 성충에 기생할 수 없어 봉군 내 번데기방이 형성되어 있어야 살아갈 수 있다. 따라서 우리나라와 같이 월동기를 거치는 곳은 가시응애의 생존이 어려울 수가 있지만, 남부지방 등 일부 지역의 경우 일년 내내 산란이 이루어지는 봉군이 있거나 월동 시 번데기방을 완전히 제거하지 않은 봉군이 있을 경우 가시응애가 일부분이라도 생존하거나 번식할 수 있고 이후 분봉 등을 통해 타 봉장으로 확산이 가능하다. 농림축산검역본부에 따르면 우리나라 양봉장의 가시응애 진단율은 82.4%이며 (Kang *et al.*, 2021) 이러한 결과로 미루어 보아 이미 전국에 확산세는 뚜렷한 것으로 보인다. 하지만 더

욱 우려스러운 것은 향후 기후 변화로 인해 지금보다 더 따뜻한 겨울이 지속되면 가시응애의 확산이 가속화될 수 있어, 이에 대한 대책마련이 필요할 것으로 보인다.

꿀벌 외부 기생성 응애와 월동봉군 폐사와의 연관성

1. 국외사례

월동기를 거친 일벌은 일반적으로 월동 전에 비해 10~20% 정도 일벌이 감소하는 현상을 확인할 수 있다. 하지만 일반적인 상황과는 달리 월동봉군 소실이 30% 이상 발생하는 경우는 비정상적인 대량 소실로 정의할 필요가 있는데(조 등, 2022), 2021~2022년 우리나라에서 발생한 월동봉군 소실 현상의 경우 정확한 조사 결과는 집계되지 않았지만 많게는 40% 이상의 봉군 소실이 발생했다고 발표되었다(조 등, 2022). 우리나라와 유사하게 세계 각국에서도 지금까지 몇 차례 대규모 월동봉군 소실현상에 대한 보고가 있어 왔다. 2006~2007년 미국에서는 전체 봉군의 31.8%에 달하는 대규모 월동봉군 폐사 현상이 발생한 바 있었다. 이러한 현상은 이어서 2007~2008년 겨울에도 발생하였으며, 손실규모는 35.9%로 늘어난 것으로 보고된 바 있다(VanEngelsdorp *et al.*, 2008). 2002~2003년 독일에서도 전체 봉군의 30%가 폐사한 월동봉군 소실 사태를 겪은 바 있었는데, Genersch *et al.* (2010)은 이에 대한 주요 원인을 꿀벌응애라고 밝히기도 하였다. 하지만 이들 보고에서의 공통점은 대규모 월동봉군 폐사의 원인을 한 가지 이유만으로 한정할 수 없다는 것인데, 그 이유는 이러한 현상이 다양한 원인에 의한 복합적인 결과이기 때문인 것으로 풀이된다. 그렇지만 이처럼 다양한 원인들 가운데 대규모 월동봉군 폐사와 관련하여 언급되는 가장 핵심이 되는 것은 바로 응애류에 의한 감염이다(Korpela *et al.*, 1993; Dahle, 2010; Rosenkranz *et al.*, 2010; Schäfer *et al.*, 2010). 보고에 따르면 미국의 경우 1987년 꿀벌응애가 미국에서 처음 보고된 이후 미국 전역에 큰 피해를 야기시킨 바 있으며, 1995~1996년에는 이로 인해 전체 봉군의 30%에서 80%에 이르는 대규모 월동봉군 손실 사태를 겪게 되었다고 밝혔다(Finley *et al.*, 1996; National Research Council, 2006). 이후 2006년 미국에서는 CCD (Colony Collapse Disorder) 현상을 겪은 바 있는데, 이 현상의 주

요 원인을 꿀벌응애 감염에 의한 이스라엘급성마비바이러스(Israeli acute paralysis virus, IAPV) 감염으로 지적하기도 하였다(Cox-Foster *et al.*, 2007). 우리나라에서 발생한 대규모 월동봉군 폐사 사건이 CCD 현상이라고 정의하는 것은 전문가마다 이견이 있을 수 있지만, 원인불명의 대량 봉군소실이라고 하는 점에서 공통점이 있으므로 이와 연관지어 생각해 본다면 이번 현상도 마찬가지로 꿀벌응애를 주요한 원인으로 지목해 볼 수 있을 것으로 여겨진다(조 등, 2022).

꿀벌 기생성 응애류가 꿀벌 개체수 감소 현상과 밀접한 관련이 있다는 것은 다른 연구에서도 여러 차례 보고된 바 있다. 1906년 영국에서는 응애류 중 하나인 기문응애(*Acarapis woodi*)가 만성벌마비바이러스(chronic bee paralysis virus, CVPB) 감염을 유발시켜 대규모 꿀벌 폐사 현상을 야기시킨 바 있다고 밝혔는데(Bailey and Ball, 1991; Bailey, 2002), 이러한 내용을 종합해 보면 해외 다른 나라에서도 꿀벌 손실 및 월동봉군 손실에 대해 다양한 피해를 겪고 있고 이에 대해 크게 우려하고 있다는 것을 알 수 있었다.

2. 2021~2022년 대규모 월동봉군 폐사 사건과 꿀벌응애류

다른 여러 나라에서 발생한 대규모 월동봉군 손실 보고서 보듯이, 2021~2022년 국내에 보고된 대규모 월동봉군 폐사 사건 또한 다양한 원인에 의한 복합적인 결과일 것이라 추측할 수 있다. 하지만 그중 외부 기생성 응애류는 월동봉군 손실에 관여하는 주요 요인으로 간주될 수 있다. 물론 이에 대한 면밀한 조사가 이루어져야 하겠지만, 2021~2022년 월동봉군 폐사가 발생했던 농가에서는 바로 아응애 및 가시응애에 의한 피해 또한 컸으며 이로 미루어 보아 꿀벌응애류와 월동봉군 폐사 사건 간에는 높은 인과관계가 존재할 것이라 여겨진다.

봉군이 꿀벌응애류에 피해를 입은 경우, 일차적으로 일벌은 수명이 단축되어 정상적인 월동이 힘들어진다. 꿀벌의 월동에 있어 매우 중요한 것 한 가지는 봉구(cluster)의 온도 유지이다(Southwick, 1983). 이를 위해 일벌은 여왕벌을 중심으로 봉구를 형성한 후 가슴근육을 진동시켜 열을 발산하여 봉구 중심부 온도를 35°C로 유지시킨다(Owens, 1971). 하지만 이때 중요한 것은 일벌 개체수가 일정 수준 이상 유지되어야 하는 것인데, 이 시기에는 산

란을 통한 개체 증식이 일어나지 않기 때문에 일벌 수명이 길어야 안정적으로 월동기를 보낼 수 있다. 하지만 꿀벌응애 감염으로 인해 일벌 수명이 짧아지면 월동기간 중 사망하는 개체수가 많아지게 되고 이로 인해 봉군 내 온도를 일정하게 유지할 수 없어 월동에 실패하는 결과를 초래할 수 있다.

응애류의 감염은 겨울벌을 양성해야 하는 시기인 9~10월에 있어 건강하고 수명이 긴 일벌 생산에 좋지 않은 영향을 미친다(Fries *et al.*, 1994; Amdam *et al.*, 2004). 즉 9~10월은 집중적으로 겨울벌을 양성해야 하는 시기이나 이 시기 응애류의 감염이 극심해지면 건강한 겨울벌 양성이 어려워지는데, 이는 응애류가 성충 및 유충의 지방체를 흡즙함으로써 지방체 및 난황단백질(vitellogenin)이 줄어드는 결과를 초래할 수 있어 그러하다. 지방체 및 난황단백질은 월동벌의 내한성을 증진시켜 주는 물질로 꿀벌이 겨울을 나기 위해 반드시 필요하다. Amdam *et al.* (2004)은 꿀벌응애에 감염된 꿀벌은 난황단백질을 포함한 혈림프단백질의 양이 그렇지 않은 꿀벌에 비해 적다고 밝힌 바 있어 꿀벌응애가 월동벌에 직접적인 영향을 미칠 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 실제로 Liebig (2001)는 월동벌 양성기간인 10월 꿀벌응애 감염률이 7% 이상이면 정상적인 월동이 어렵다고 밝혔으며, 미국(Delaplane and Hood, 1999)과 캐나다(Currie and Gatién, 2006)에서는 꿀벌응애 감염률 10%가 정상적인 월동을 나기 위한 임계치라고 제시하기도 하였다. 이러한 결과를 종합해 보면 가을철 봉군의 응애류 감염 정도는 꿀벌 월동의 양부를 결정짓는 매우 중요한 요소라고 평가할 수 있을 것이다.

응애류가 매개하는 바이러스는 응애류 감염에 의한 직접적인 피해만큼 꿀벌 개체수 감소의 주요 원인으로 간주될 수 있다. 실제로 꿀벌응애는 여러 바이러스를 매개하는 것으로 알려져 있는데(Allen and Ball, 1996; Bowen-Walker *et al.*, 1999; Chen *et al.*, 2004; Shen *et al.*, 2005; Yang and Cox-Foster, 2007), 그중 대규모 월동봉군 손실과 관련된 바이러스는 3가지 바이러스, 즉 날개불구바이러스(Deformed wing virus, DWV) (Lanzi *et al.*, 2006), 급성 별마비바이러스(Acute bee paralysis virus, ABPV) (Bailey *et al.*, 1963; Govan *et al.*, 2000), 이스라엘급성마비바이러스(Berthoud *et al.*, 2010)라고 보고되기도 하였다. 이들 바이러스는 Iflaviridae 및 Dicistroviridae 계통에 속하는 양성 가닥 RNA 바이러스이며, 이 바이러스는 꿀벌응애의

피해를 가중시키는 것으로 밝혀졌다. 꿀벌의 응애류에 의한 감염은 날개불구바이러스 등 다양한 바이러스성 질병을 매개함으로써 꿀벌의 면역에 직접적인 영향을 미쳐 정상적인 월동을 어렵게 할 수 있다. Yang *et al.* (2005)에 의하면 꿀벌이 꿀벌응애에 감염되면 곤충 면역반응의 기본이 되는 주요 항균펩타이드인 abaecin, defensin, apidaecin 및 hymenoptaecin의 발현이 낮아지는데, 이러한 결과를 통해 꿀벌응애가 꿀벌의 면역을 억제하는 데 기여하는 것이라고 보고하기도 하였다(Yang and Cox-Foster, 2007). 유럽에서는 일반적으로 DWV와 ABPV가 월동봉군 손실에 관여하는 것으로 여겨지는데(Highfield *et al.*, 2009; Berthoud *et al.*, 2010), 이들 바이러스를 보유한 봉군은 월동기 동안 봉군의 생존율을 상당히 낮춘다고 보고되고 있다(Genersch *et al.*, 2010). 이러한 결과를 종합해 보면, 꿀벌응애는 꿀벌의 면역체계에 영향을 미침으로써 봉군이 정상적인 월동을 나는데 불리하게 작용할 수 있을 것으로 보여지고 있다.

결론

2021~2022년 대규모 월동봉군 폐사 사건은 우리나라 양봉농가에 적지 않은 충격을 주었다. 이에 대해 제기되는 다양한 원인 중 꿀벌 외부 기생해충인 응애류는 대규모 월동봉군 폐사 사건의 주요한 원인으로 작용할 수 있을 것이다. 봉군이 꿀벌응애류에 피해를 입은 경우, 일차적으로 일벌은 수명이 단축되어 정상적인 월동이 힘들어진다. 꿀벌응애 감염으로 인해 일벌 수명이 짧아지면 월동기간 중 사망하는 개체수가 많아지게 되고 이로 인해 봉군 내 온도를 일정하게 유지할 수 없어 월동에 실패하는 결과를 초래할 수 있다. 응애류의 감염은 겨울벌을 양성해야 하는 시기인 9~10월에 있어 건강하고 수명이 긴 일벌 생산에 좋지 않은 영향을 미친다. 즉 9~10월은 집중적으로 겨울벌을 양성해야 하는 시기에 응애류가 성충 및 유충의 지방체를 흡즙함으로써 지방체 및 난황단백질(vitellogenin)이 줄어드는 결과를 초래할 수 있다. Liebig (2001)는 월동벌 양성기간인 10월 꿀벌응애 감염률이 7% 이상이면 정상적인 월동이 어렵다고 밝혔으며, 미국과 캐나다에서는 꿀벌응애 감염률 10%가 정상적인 월동을 나기 위한 임계치라고 제시하기도 하였다. 응애류가 매개하는 바이러스는

응애류 감염에 의한 직접적인 피해만큼 꿀벌 개체수 감소의 주요 원인으로 간주될 수 있다. 실제로 꿀벌응애는 여러 바이러스를 매개하는 것으로 알려져 있는데 Yang *et al.* (2005)은 꿀벌응애의 감염으로 인해 꿀벌의 면역이 억제되어 월동기 동안 봉군의 생존율을 상당히 떨어뜨린다고 보고하기도 하였다. 꿀벌 기생성 응애류가 2021~2022년 월동봉군 폐사와 어떠한 상관관계가 있는지에 대해서는 더 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 보여지지만, 이 논문에서는 꿀벌응애류가 꿀벌에 미치는 영향을 전반적으로 정리함으로써 향후 더 나은 연구를 위한 기초자료로 활용될 수 있기를 기대한다.

적 요

꿀벌(honey bee)은 작물의 수분을 매개 하여 과실 및 종자생산에 기여함으로써 농업 생태계를 유지하고 보존하는데 큰 역할을 하는 중요한 생물종 중 하나이지만 최근 급격한 기후 변화에 따라 꿀벌 개체수 감소 현상이 두드러지고 있다. 지난 2021~2022년 우리나라에서는 유례 없는 대규모 월동봉군 폐사 현상이 발생한 바 있어 이로 인한 피해는 적지 않은 것으로 추정되고 있으나 현재까지 명확한 원인을 밝혀내지 못하고 있는 상황이다. 이에 본 논문에서는 꿀벌의 외부 기생성 응애의 특성에 대해 기술하고, 이것이 대규모 월동봉군 폐사와 어떠한 연관성이 있는지에 대해 이전에 연구된 논문들을 바탕으로 서술하였다. 꿀벌 외부 기생성 응애는 꿀벌에 기생하며 살아가는 해충으로 봉군에 큰 피해를 일으키는 것 중 하나인데, 현재 우리나라에서 발견되는 것은 바로아응애(*Varroa destructor*)와 가시응애(*Tropilaelaps mercedesae*)가 있다. 이들 응애류의 감염은 군체를 약화시켜 꿀 생산성을 감소시킬 뿐만 아니라 심하면 봉군 폐사에 이르게 할 수 있지만, 꿀벌의 분봉이나 도봉 등의 과정 중 성충에 붙어 원거리로 이동하여 인근의 양봉장에 감염을 확산시킬 수 있어 이를 완전히 박멸하는 것은 매우 어렵다. 우리나라와 유사하게 세계 각국에서도 지금까지 몇 차례 대규모 월동봉군 소실 현상에 대한 보고가 있어 왔지만 다양한 원인들 가운데 가장 핵심이 되는 것은 응애류에 의한 감염이라고 할 수 있다. 다른 여러 나라에서 발생한 대규모 월동봉군 손실사건에서 보듯이, 2021~2022년 국내에 보고된 대규모 월동봉군 폐사 사건 또한 응애류의 감염이 주요한 원인 중 하나

로 간주될 수 있다. 월동봉군 폐사가 발생했던 농가에서는 바로아응애 및 가시응애에 의한 피해 또한 컸던 것이 그 이유이다. 봉군이 꿀벌응애류에 피해를 입은 경우, 일차적으로 일벌은 수명이 단축되어 정상적인 월동이 힘들어진다. 또한 응애류의 감염은 겨울벌을 양성해야 하는 시기인 9~10월에 있어 건강하고 수명이 긴 일벌 생산에 좋지 않은 영향을 미치며, 응애류가 매개하는 바이러스 또한 꿀벌 개체수 감소의 주요 원인으로 간주될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 시험연구사업(PJ01576304)의 연구비로 수행된 결과이며 이에 깊은 감사를 드립니다.

인용 문헌

- 조운상, 유미선, 윤소윤, 김동호, 황태준, 이세지, 윤순식. 2022. 봉군붕괴현상과 병원체 감염의 상관관계 분석. 2022년 제 38차 한국양봉학회 하계학술대회, p. 28.
- Allen, M. F. and B. V. Ball. 1996. The incidence and world distribution of the honey bee viruses. *Bee World* 77: 141-162.
- 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.
- Bailey, L. and B. V. Ball. 1991. Honey bee pathology. p. 193.
- Bailey, L. 2002. The Isle of Wight Disease. Central Association of Bee-Keepers. p. 11.
- Baker, R. A., A. Hick and W. Chmielewski. 2005. Aspects of the history and biogeography of the bee mites *Tropilaelaps clareae* and *T. koenigerum*. *J. Apic. Sci.* 49(2): 13-19.
- 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.
- Boot, W. J., N. M. Calis and J. Beetsma. 1992. Differential periods of varroa mite invasion into worker and drone brood cells of honey bees. *Exp. Appl. Acarol.* 16: 295-301.
- Bowen-Walker, P. L., S. J. Martin and A. Gunn. 1999. The transmission of deformed wing virus between honeybees (*Apis mellifera*) by the ecto parasitic mite *Varroa jacobsoni* Oud. *J. Invertebr. Pathol.* 73: 101-106.

- Brodsgaard, G., J. W. Ritter, H. Hansen and H. F. Brodsgaard. 2000. Interactions among *Varroa jacobsoni* mites, acute paralysis virus, and *Paenibacillus* larvae and their influence on mortality of larval honey bees in vitro. *Apidologie* 31: 543-554.
- Bubalo, D., H. Pechhacker, E. Licek, N. Kezic and D. Sulimanovic. 2005. The effect of *Varroa destructor* infestation on flight activity and mating efficiency of drones (*Apis mellifera* L.). *Vet. Med. Austria* 92: 11-15.
- Chen, Y. P., J. S. Pettis, J. D. Evans, M. Kramer and M. F. Feldlaufer. 2004. Transmission of Kashmir bee virus by the ectoparasitic mite *Varroa destructor*. *Apidologie* 35: 441-448.
- 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). *J. Apic.* 25: 187-191.
- Cox-Foster, D. L., S. Conlan, E. C. Holmes, G. Palacios, J. D. Evans, N. A. Moran, P. L. Quan, T. Briese, M. Hornig, D. M. Geiser, V. D. Engelsdorp, A. L. Kalkstein, A. Drysdale, J. Hui, J. Zhai, L. Cui, S. K. Hutchison, J. F. Simons, M. Egholm, J. S. Pettis and W. I. Lipkin. 2007. A metagenomic survey of microbes in honey bee colony collapse disorder. *Science* 318: 283-287.
- Currie, R. W. and P. Gatién. 2006. Timing acaricide treatments to prevent *Varroa destructor* (Acari:Varroidae) from causing economic damage to honey bee colonies. *Can. Entomol.* 138: 238-252.
- Dahle, B. 2010. The role of *Varroa destructor* for honey bee colony losses in Norway. *J. Apic. Res.* 49(1): 124-125.
- Duay, P., D. De Jong and W. Engels. 2002. Decreased flight performance and sperm production in drones of the honey bee (*Apis mellifera*) slightly infested by *Varroa destructor* mites during pupal development. *Genet. Mol. Res.* 1: 227-232.
- De Jong, D., P. H. De Jong and L. S. Goncalves. 1982. Weight loss and other damage to developing worker honey bees from infestation with *Varroa jacobsoni*. *J. Apic. Res.* 21: 165-167.
- Delaplane, K. S. and W. M. Hood. 1999. Economic threshold for *Varroa jacobsoni* Oud. in the southeastern USA. *Apidologie* 30: 383-395.
- Finley, J., S. Camazine and M. Frazier. 1996. The epidemic of honey bee colony losses during the 1995-1996 season. *Am. Bee J.* 136(11): 805-808.
- Fries, I., S. Camazine and J. Sneyd. 1994. Population dynamics of *Varroa jacobsoni*: a model and a review. *Bee World* 75: 5-28.
- Genersch, E., W. Von Der Ohe, H. Kaatz, A. Schroeder, C. Otten, R. Buchler and P. Rosenkranz. 2010. The German bee monitoring project: a long term study to understand periodically high winter losses of honey bee colonies. *Apidologie* 41(3): 332-352.
- Glinsky, Z. and J. Jarosz. 1992. *Varroa jacobsoni* as a carrier of bacterial infections to a recipient bee host. *Apidologie* 23: 25-31.
- 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.
- Highfield, A. C., A. E. L. Nagar, L. C. M. Mackinder, L. M. L. Noel, J. H. Matthew, J. M. Stephen and D. C. Schroeder. 2009. Deformed wing virus implicated in overwintering honey bee colony losses. *Appl. Environ. Microbiol.* 75(22): 7212-7220.
- Jung, C. 2015. Simulation Study of *Varroa* Population under the Future Climate Conditions. *J. Apic.* 30(4): 349-358.
- Kang, J. E., M. S. Yo, S. K. Seo, B. R. Yun, S. S. Yon and Y. S. Cho. 2021. Prevalence and Transmissible Pathogens of *Varroa* sp. and *Tropilaelaps* sp. in *Apis mellifera*. 2021년 제 37차 한국양봉학회 하계학술대회 및 국제심포지엄, p. 111.
- Korpela, S., A. Aarhus, I. Fries and H. Hansen. 1993. *Varroa jacobsoni* Oud. in cold climates: population growth, winter mortality and influence on survival of honey bee colonies. *J. Apic. Res.* 31: 157-164.
- Laigo, F. M. and R. A. Morse. 1968. The mite *Tropilaelaps clareae* in *Apis dorsata* colonies in the Philippines. *Bee World* 49(3): 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.
- Liebig, G. 2001. How many *Varroa mites* can be tolerated by a honey bee colony?. *Apidologie* 32: 482-484.
- National Research Council. 2006. Status of pollinators in North America. The National Academies Press. p. 322
- Osman, M. A. and M. A. Shebl. 2020. Vulnerability of crop pollination ecosystem services to climate change. In *Climate Change Impacts on Agriculture and Food Security in Egypt*. Springer. Cham. 223-247.
- Owens, C. D. 1971. The thermology of wintering honey bee colonies (No. 1429). US Agricultural Research Service.
- Ritter, W. and P. Akatanakul. 2006. Honey bee diseases and pests: a practical guide.
- Rosenkranz, P., P. Aumeier and B. Ziegelmann. 2010. Biology and control of *Varroa destructor*. *J. Invertebr. Pathol.* 103: 96-119.
- Sammataro, D., U. Gerson and G. Needham. 2000. Parasitic mites of honey bees: life history, implications, and impact. *Annu. Rev. Entomol.* 45: 519-548.
- Schäfer, M. O., W. Ritter, J. S. Pettis and P. Neumann. 2010. Winter losses of honeybee colonies (Hymenoptera: Apidae): The role of infestations with *Aethina tumida* (Coleoptera: Nitidulidae) and *Varroa destructor* (Parasitiformes: Varroidae). *J. Econ. Entomol.* 103(1): 10-16.
- Schneider, P. and W. Drescher. 1987. Einfluss der Parasitierung

- durch die Milbe *Varroa jacobsoni* Oud. auf das Schlupfgewicht, die Gewichtsentwicklung, die Entwicklung der Hypopharynxdrüsen und die Lebensdauer von *Apis mellifera* L.. *Apidologie* 18(1): 101-110.
- Shen, M., X. Yang, D. Cox-Foster and L. Cui. 2005. The role of varroa mites in infections of Kashmir bee virus (KBV) and deformed wing virus (DWV) in honey bees. *Virology* 342(1): 141-149.
- Southwick, E. E. 1983. The honey bee cluster as a homeothermic superorganism. *Comp. Biochem. Physiol. Part A: Physiology* 75(4): 641-645.
- Thakur, M., N. Negi, H. K. Sharma, K. Rana and M. Devi. 2021. Incidence of *Tropilaelaps clareae* on *Apis cerana* at (Nauni) Solan, Himachal Pradesh. *J. Apic. Res.* 60(1): 115-117.
- VanEngelsdorp, D., J. Hayes Jr, R. M. Underwood and J. Pettis. 2008. A survey of honey bee colony losses in the US, fall 2007 to spring 2008. *PLoS One* 3(12): e4071.
- Wilde, J. 2000. Is it possible to introduce *Tropilaelaps clareae* together with imported honey bee queens to Europe? *Pszczeln. Zesz. Nauk.* 44(2): 155-162.
- Yang, X. and D. Cox-Foster. 2007. Effects of parasitization by *Varroa destructor* on survivorship and physiological traits of *Apis mellifera* in correlation with viral incidence and microbial challenge. *Parasitology* 134: 405-412.
- Yang, X. and D. L. Cox-Foster. 2005. Impact of an ectoparasite on the immunity and pathology of an invertebrate: evidence for host immunosuppression and viral amplification. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 102(21): 7470-7475.