

기후변화와 화분매개곤충의 반응

정철의

안동대학교 생명자원과학부 식물의학전공

Climate change and the response of pollinator insects

Chuleui Jung

Plant medical major School of Bioresource science, Andong National University, 441-760

(Correspondence: cjung@andong.ac.kr)

1. 서 언

최근의 기후 변화는 비교적 장기적으로 지속되어 왔던 기후시스템의 누적된 결과로 볼 수 있다. 그러나 어쩌면 이 변화는 수 세기 이내에 짧은 기간 동안 급박하게 변하고 있는 것일지도 모른다는 관점에서, 기후의 변화에 대한 생물의 적응 및 그 과정에 대한 연구는 생태적 측면과 활용적인 측면에서 중요하다. 최근의 기후 변화는 온도의 지속적인 상승, 특히 겨울철 온도의 상승과 강우 일수의 증가로 나타난다. 이러한 기후 변화는 생태계의 기초 생산자인 식물의 성장 및 생리에 영향을 치며, 식물을 근간으로 해서 생태계를 구성하고 있는 동물의 분포, 밀도 및 기능에 영향을 미치게 된다.

동물군 중에서 특히 화분매개곤충은 그 기능적 측면에서 생산자인 식물과 소비자인 동물 군집에 매우 중요하다. 화분매개는 식물의 자연교배를 통한 종자 생산과 종자의 활력 유지에 중요한 역할을 한다. 이를 통해 농업에서는 생산성 증가와 생산물의 품질 향상을 기대할 수 있으며, 자연계에서는 다양한 생물의 공존이 가능해 진다(Free, 1970). 최근 농업계의 큰 이슈 중 하나는 하나는 2006년 가을 미국 플로리다에서 이동 양봉하는 중에 발견된 꿀벌의 실종으로 인한 붕괴현상(Colony Collapse Disorder: CCD)으로 대표되는 화분매개곤충의 감소이다(Watanabe, 2006; Cox-Foster and van Engelsdorf, 2009). 이러한 경각심은 십 수 년 전으로 거슬러 올라간다. 이미 화분매개 곤충의 보전을 위한 국제적 노력은 생물다양성 협약(Convention on Biological Diversity; CBD) 회의에서 International Pollinator Initiative: The Sao Paulo Declaration on Pollinators (1999)을 통해 구체화되기 시작하였다(www.biodiv.org/decisions/). 이에 따라 유럽 등지에서는 European Pollinator Initiative가 조직되고, FAO에서는 Working group on Pollination and Pollinator Diversity Management가 1990년대 중반에 조직되었다. 이는 화분매개곤충의 역할이 단지 농업 생산성 향상에 기여하는 것이 아니고, 자연생태계의 구조와 기능을 유지하는 데 더욱 중요하다는 인식에 기초한 것이다. Nabhan and Buchmann (1997)은 지구상의 2만여 현화식물 중 50% 이상이 꿀벌 등 곤충의 화분매개가 필요하며, 이를 통한 생태계 내 물질과 영양 순환의 중요성은 상하위 먹이연쇄계 유지에 절대적 역할을 한다고 보고하였다. 또한 농업생태계에서 화분매개의 가치는 꿀벌의 1차 생산의 142배(Leven, 1982), 미국 농업

에서 1.6~8.3 billion USD로 소개한 바 있고(Southwick and Southwick, 1992), 국내 주요 과수와 시설채소에서는 5.9조원(0.6 million USD)로 평가한 바 있다(Jung, 2008). 본 발표에서는 기후변화가 화분매개 곤충의 생활사 또는 이용에 미치는 영향을 파악하였다.

2. 기후 변화-식물-화분매개곤충

전술한 바와 같이 한반도 기후변화는 년평균기온의 상승, 겨울철 기온의 상승, 강우 일수의 증가로 나타난다. 식물의 반응은 지엽적으로 조기 개화 및 이른 종자생산 등이 기대되고, 광역적으로는 분포지역의 이동, 식물종의 침입 또는 이출로 인한 식물군집의 변화로 나타날 수 있다. 화분매개곤충의 반응은 생활사 방식에 따라 달라질 수 있다. 여기서 화분매개곤충을 크게 꿀벌, 호박벌, 가위벌로 구분한다. 꿀벌은 이미 가축화 되어 있는 곤충으로, 관리된 생태계와 야생 생태계의 핵심적 화분매개곤충이다. 반면 호박벌은 일부 상업화되기는 하고 있지만(*Bombus terrestris* 서양뒤영벌) 아직은 대부분 자연계 내에서 서식하는 개체들이 화분매개의 활동을 하고 있다. 이는 가위벌류도 마찬가지이다. 머리빨가위벌(*Osmia cornifrons*)는 일부 과수재배농민 등에 의해 증식과 수확 후 방사 등이 이루어지고 있으나 나머지 종들은 역시 자연계에서 생활환을 이어가고 있다. 따라서 이러한 생활사 방식에 따라 기후변화의 영향도 다르게 나타난다. 본고의 논의는 꿀벌과 호박벌로 제한한다.

- 꿀벌에 대한 영향: 꿀벌은 둥지를 짓고 영속적 세대가 중첩되어 생활하는 사회성 곤충이다. 이 집단의 생존과 번성에 중요한 요인은 먹이, 질병 및 해충, 인위적 교란(농약 포함), 물리적 환경에 적응 등으로 볼 수 있다. 이중 가장 중요한 자원은 먹이이며 식물의 꽃에서 꽃꿀(탄수화물)과 꽃가루(단백질)를 수집한다. 먹이의 70% 정도를 자연에서 직접 채취하나, 나머지 30% 내외는 사육자에 의해 사료의 형태로 제공된다. 따라서 기후 변화는 70:30의 비율이 어떻게 변해가는 가, 먹이의 질과 양이 어떻게 변해가는 가에 대한 문제로 귀결된다. 또한 자연에서 채취하는 먹이의 양과 질의 변화를 인간(사육자)가 충분히 대체하고 보충할 수 있는가는 꿀벌과 인류의 공생관계 유지에 매우 중요하다. 사육의 규모화는 질병의 만연과 해충 저항성 약화를 초래한다. 꿀벌 질병 및 해충 방제를 위한 방제노력, 질병의 수와 피해의 규모는 계속 증가하고 있다. 또한 새로운 해충의 출현(예, 등검은 말벌, 낭충봉아부패병 등)은 꿀벌 생존에 또 다른 위협요소이다. 다음은 농약 및 서식처 질과 양의 변화, 서식처 파편화의 문제이다. 이는 꿀벌의 이동성과 결부하여 판단해야 할 문제이다. 물리적 환경 변화에 대한 적응이다. 꿀벌과 같은 사회성 동물은 외부환경의 변화에도 불구하고 봉군 내부의 환경은 비교적 항상적으로 조절하고 유지한다. 환경 조절과 항상성 유지는 에너지 소모가 수반되는 과정으로, 외부 환경의 변화는 꿀벌의 에너지 배분에 새로운 tradeoff 기회를 제공한다. 마지막으로 월동 환경의 변화는 꿀벌 개체군 성장에 부정적 영향을 미칠 것으로 파악된다. 꿀벌은 집단적으로 봉구를 형성하고, CO₂농도를 조절하여 반마취 상태에서 생리대

사를 극소화하여 월동을 한다. 이를 통해 1달 정도인 개체의 수명을 5-6개월로 연장하고, 이렇게 월동한 개체들이 봄철 꿀벌 개체군 크기 증가에 결정적 영향을 미친다. 그러나 겨울철 온도의 상승은 꿀벌 개체군 내부 대사량을 증대시켜, 결과적으로 꿀벌 수명을 단축하게 된다. 따라서 월동 이후 2-3월 봉군내 개체군 밀도가 낮아질 가능성이 더 커진다. 만약 양봉가들이 이러한 감소를 줄이고 싶다면, 저온저장고 등 인위적 시설이 추가되어야 한다.

- 호박벌류: 호박벌류는 교미한 여왕벌이 단독으로 월동을 한다. 월동처는 대개 토양 5cm 내외, 나뭇잎 두껍게 쌓인 낙엽층 밑 등이다. 3-5월 사이에 온도 감응을 통해 월동에서 깨어난 여왕벌은 둥지를 만들 곳을 찾아 첫배의 산란(약 10개 이내)을 하고 이 알이 성충이 될 때까지 양육을 한다. 이후 자라난 일벌들이 먹이활동과 기타 양육을 수행하며, 여왕호박벌은 산란에 집중하게 되면서 봉군의 크기는 빠르게 성장한다. 가을철에 생식이 가능한 암컷(처녀 여왕벌)과 수컷(수벌)을 생산하면, 야외에서(대개 땅 위 등) 암수가 교미를 한다. 교미 후 수컷은 사망하며, 교미한 여왕벌은 월동에 들어간다. 호박벌류는 필수휴면을 하는 생물이다. 즉 온도 조건과 상관없이 휴면에 들어가게 되는 데, 휴면의 타파는 저온감응기를 거쳐 온도에 의해 결정된다. 호박벌은 꿀벌과는 달리 먹이자원을 거의 꽃가루에 의존한다. 따라서 꽃가루가 많은 식물을 주로 방문하고 먹이활동을 하는 셈이다. 꽃가루는 식물 개화 기간 중에서도 아주 짧은 시간에 집중되는 경향이 있다. 따라서 식물의 개화시기와 호박벌의 활동시기의 일치는 매우 호박벌 생존 뿐 아니라 식물의 종자생산에도 중요하게 된다. 특히 기후변화의 폭이 1970년대 이후 더 커짐에 따라 호박벌류의 활동에 미치는 영향도 최근 더 커지는 것으로 나타났다. 또한 최근 상업적으로 대량생산되는 외래종인 서양뒤영벌(*Bombus terrestris*)의 야생 생태계로의 노출이 토착 호박벌군집 또는 화분매개곤충 군집에 어떤 형태의 영향을 미칠 지는 지속적 연구가 필요하다.

인용문헌

Jung, C., 2008: Economic value of honeybee pollination on major fruit and vegetable crops in Korea. *Korean J. Apic.* **23**:147-152.

Nabhan, G. P., and S. L. Buchmann, 1997: Services provided by pollinators, in *Nature's Services*, G. Daily ed. Washington D.C., *Island Press*, pp. 133-150.

Robinson, W. S., R. Nowogrodzki, and R. A. Morse, 1989: The value of honey bees as pollinators of U. S. Crops. *American Bee Journal.* **129**: 411-423.

Sao Paulo Declaration on Pollinators, 1999: Report on the recommendations of the workshop on the conservation and sustainable use of pollinators in agriculture with emphasis on bees. *Brazilian Ministry of the Environment*, Brazilia

Southwick, E. E., and L. Southwick Jr, 1992: Estimating the Economic Value of Honey Bees as Agricultural Pollinators in the United States, *Economic Entomology* **85**: 621-633.

Bartomeus, I., J. S. Ascher, D. Wagner, B. N. Danforth, S. Colla, S. Kornbluth, and R. Winfree, 2011: Climate-associated phenological advances in bee pollinators and bee-pollinated plants. *PNAS* **108**: 20645-20649.