

침벌류 생태계서비스¹⁾

김정규²⁾

동남보건대학교 바이오환경보건과

1. 서론

최근 수십 년간의 급격한 전 지구적 생물다양성 감소와 상실은 지구 생명의 역사를 바꾸어 놓았던 5번의 대멸종 사건에 비견되는 ‘제6의 멸종’이라고 표현될 만큼 인류의 지속적 발전을 심각하게 위협하는 현안이 되었다. 현재 우리 모두는 삶의 지지 기반인 자연 자원 소실의 시대를 관통하여 살고 있다는 의미일 것이다.

곤충 또한 이러한 위협에서 예외는 아니다. Vanbergen & IPI(2013)는 농작물과 야생식물들의 곤충 수분자들이 전 지구적인 위협에 직면해 있으며, 이러한 수분자들의 감소 혹은 손실은 경제적 그리고 환경적 측면 모두에서 심각한 부정적 결과를 발생시킬 수 있음을 주장하였다. 곤충 수분에 의한 작물은 인간 영양소의 근간이며, 야생식물에 대한 곤충 수분 또한 생명-지지 서비스의 토대인 생물다양성과 생태계서비스에 필수적이기 때문이라고 설파하였다. 유럽 전역을 통한 야생꽃벌류의 감소, 북반구 전역에서 발생한 나비류와 호박벌과 같은 곤충류의 절멸, 풍부도의 감소, 분포범위의 축소에 대한 과학적 실측 자료들을 그러한 논의들이 공허한 미래의 염려가 아님을 분명히 하고 있다 (Biesmeijer et al., 2006; Williams and Osborne, 2009; Bommarco et al., 2011; Cameron et al., 2011).

특히 과학과 정책 구축(혹은 정치 영역)의 연결 역할자로서 지구적 생물다양성과 생태계서비스에 관한 과학적 평가, 연구를 담당하고자 출범한 국제 협의 기구인 생물다양성과학기구(IPBES, Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services)는 그들 연구의 최초 보고서로서 “Pollinator, Pollination and Food Production(수분자, 수분, 그리

1) Ecosystem Services of Aculeate Wasps

2) KIM, Jeong-Kyu, Dongnam Health Univ., Dept of Bio Environment Health, Email: hymjkk@dongnam.ac.kr

고 식량 생산”을 발간하여 이를 2016년 말레이시아 쿠알라룸푸르에서 개최된 IPBES¹⁾ 기초회의에서 당사국들의 승인을 받은 바 있다. IPBES의 연구는 당사국회의에서 논의되는 의제(agenda)중 현안으로 선정된 주제에 대한 생물다양성/생태계서비스 저명 전문가들의 국제적 협업에 기초한다. 지역, 국가 그리고 국제적 수준에서 생물다양성과 관련된 문제의 합리적 결정을 이끌기 위한 모든 과학적인 최근의 지식에 관한 유의미한 평가를 도출하여, 유관 정부, 개인, 시민단체에 제공한다. IPBES의 최초 수분 보고에 참여한 연구자들의 분명한 논점은 다음과 같이 정리되어 있다. “이 보고서는 수분 관련 정책결정자가 직면하고 있는 모든 범위의 문제들에 관한 평가를 제공한다. 그러한 범위란 수분(pollination)과 수분매개자(pollinators)의 가치, 현황, 수분매개자와 수분매개의 위협요인들 및 관리 정책에 관한 것들을 말한다. 관찰된 자료를 통하여 경제적, 사회적으로 중요한 야생의 수분매개자(wild pollinator)는 기후변화를 포함하는 인간 활동에 의하여 지속적으로 증가하는 위협 속에서 그들의 다양성과 풍부도가 감소되었음이 확실하다 ...(중략)... 우리는 지구 농작물 생산의 75%와 야생 현화식물의 거의 90%는 어떠한 관계이든 동물의 수분에 의존하고 있음을 확인하였다. 또한 많은 수의 꿀벌(가축화된 꿀벌, 즉 주로 서양꿀벌을 의미한다)이 있는 상황에서도 야생 수분매개자의 높은 다양성이 수분에는 매우 중요한 요인임을 결정하였다”.

이러한 논점이 바로 본 소고의 시발점이다. 최근 우리나라를 포함하는 전 지구적 꿀벌(*Apis mellifera*, 서양꿀벌) 붕괴 붕괴에 대한 보고는 드문 현상이 아니며, 일반 시민들도 뉴스매체를 통하여 심심치 않게 접하는 생물다양성 위기의 대표적 사례이다. 비록 국내의 열정적인 연구자들은 농작물과 관련된 방대한 양의 수분생태학적 자료들을 축적해 왔으나(Yoon et al, 2017), IPBES의 보고서에서 지적한 바와 같이 수분자연자원의 관리와 증진을 위한 노력은 가축화된 꿀벌(즉 서양꿀벌과 재래꿀벌)과 농업작물에 국한하는 것만으로는 충분치 않다. 꿀벌이 미치지 못하는 자연(야생)의 현화식물에 대한 수분을 책임지고 있는 수분매개자에 대한 동시적 탐구 또한 한 지역 혹은 국가의 자연자원을 관리하는 주요 주제로 포함되어야 함이 당연하다. 실제적으로 꿀벌을 이용하여 재배되는 농작물의 결실률과 건강도가 야생의 수분자와 공존하는 경우 매우 높게 향상됨이 알려져 있기도 하다(Brittain et al, 2013). 이는 생물다양성이 생태계서비스를 증진 시키는 좋은 예로서 이해된다. 따라서 이러한 이해는 수분에 있어 관리되는 꿀벌과 더불어 유사한 생태적 지위를 가진 야생벌류의 보존 필요성에 관한 강한 암시이다.

1) 공식 발음은 ‘입베스’이다. 2012년에 출범하였다.

이에, 본 소고에서 저자는 아직 심각하게 다루어지지 않은 한국산 벌류 중 야생의 침벌류(Aculeata)에 관한 자연자원적 의미를 몇몇 문헌의 연구 내용 소개를 통하여 제공하고자 한다. 아울러 한반도산 침벌류에 관한 지식의 정도를 파악하고, 이의 관리를 위한 우리의 지식격차를 고려하여 향후 어떠한 과학적 지식 들이 구축되어야 하는지에 관한 저자 나름의 간단한 논의를 제공하고자 한다.

II. 벌은 주요 자연자원의 하나로 고려되는 생물군이다.

벌(Order Hymenoptera)은 전 세계적으로 153,088종이 기록되어 있으며(Aguiar et al, 2013), 나비목 및 딱정벌레목에 이어 세 번째로 다양성이 큰 곤충류이다. 개미 혹은 개미벌과 같이 날개가 소실된 예외적인 경우가 있으나, 기본적으로 노출되어 있으며 수평, 상, 하 접합이 가능한 두 쌍의 잘 발달한 막상 날개에 의하여 쉽게 인지된다.

벌은 식물의 수분매개자로서 생태계의 기반인 생산자의 다양성 유지에 가장 중요한 요인으로써 작용할 뿐만 아니라²⁾ 그들 생활사의 특정 단계에 나타나는 식식과 포식의 다양한 식이 양식, 그리고 단독생활형(solitary)으로부터 고도로 분화된 계급구조를 가지는 진사회성(eusocial)에 이르는 광범위한 생육 양식을 통하여 환경과 상호작용한다. 특히 포식기생성(parasitoids)과 곤충포식성(entomophagous)의 생태적 지위를 가짐으로써 곤충 간에 형성된 먹이망의 상위 영양단계에 위치하는 포식자(predators)적 지위는 다른 식식성 곤충류에 대한 개체군 조절 능력을 통하여 육상생태계의 균형 유지에 중요한 역할을 한다. 즉 다른 종보다 경쟁력이 큰 종의 개체군 크기를 조절함으로써, 식식자(herbivore)의 종다양도를 유지하는데 도움을 줄 수 있을 뿐만 아니라 동시에 식식자가 기주식물을 과대하게 감소시키는 것을 제어한다(LaSalle, 1993).

하지만 종 및 생태적 수준에서의 이러한 다양성에도 불구하고 다른 곤충류와 비교하여 유전적인 다양성은 매우 낮은 것으로 알려져 있다. 이러한 낮은 유전적 다양성은 환경적 교란에 대하여 더욱 민감하여, 생존 혹은 존속 가능한 최소 개체군 크기의 증가라는 결과를 나타낸다. 따라서 벌은 환경 감수성이 높은 분류군이며, 이는 결과적으로 환경교란 감시에 대한 지표종으로서 벌목의 이용에 관한 높은 가능성을 의미한다(LaSalle and Gauld, 1993).

2) 벌류 성충은 단백질과 탄수화물원으로 현화식물의 화분(pollen)과 화밀(nectar)를 섭취한다.

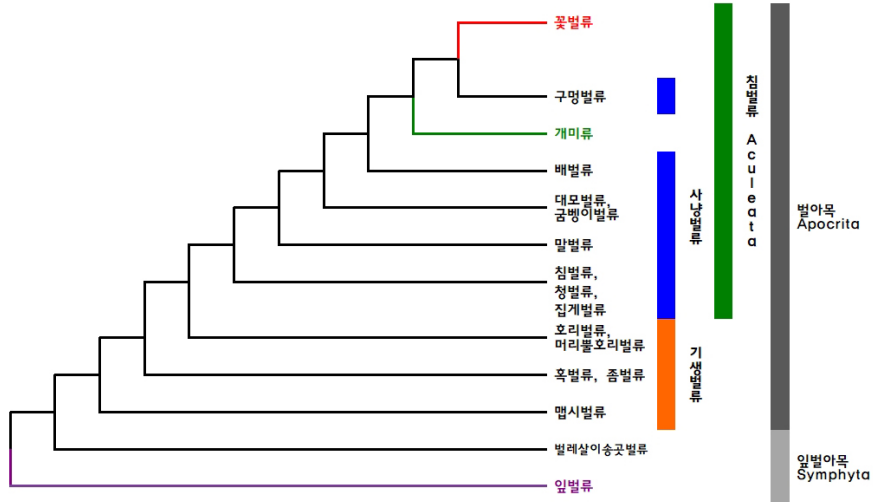
III. 침벌류(Aculeata)란?

벌목의 구성자들은 잎벌류(sawflies), 말벌류(wasps), 개미류(ants), 꿀벌류(bees)로 구분되어 설명된다. 이들 중 잎벌류는 가슴과 복부가 넓게 연결되어 있는 형태적 특징에 의하여 나머지 벌들과 쉽게 구분되며 잎벌아목(Suborder Symphyta)으로 명명된다. 그 외의 나머지 세 무리는 가슴과 배가 매우 가느다란 관 혹은 배쪽지의 형태로 연결된 형태적 특징을 가지며 벌아목(Suborder Apocrita)으로 명명된다. <그림 1>의 가설적 분지도에 적색, 검은색 및 녹색의 선으로 표시한 바와 같이 이들 세 무리는 벌아목의 이곳 저곳에 위치한다. 개미와 꿀벌류를 제외한 벌아목의 모든 분류군들이 소위 ‘말벌류(wasps)’의 구성자이며, <그림 1>의 검은색 선과 닿아 있는 분류군들이 이에 해당한다. 영-한사전에서 제시하고 있는 ‘wasp(s)’의 우리말 ‘말벌(류)’는 매우 혼돈스럽다. 말벌(류)라는 용어는 우리가 잘 알고 있는 땅벌, 중땅벌 그리고 말벌을 포함하는 말벌아과(Subfamily Vespinae)의 구성자를 우선적으로 연상케 하기 때문이다. 우리의 ‘말벌류’라는 번역과는 다르게, 영미권의 Wasps라는 이름은 말벌의 영어 이름인 Vespinae(혹은 vespids)와는 완전히 다른 용어가 사용되어 혼돈의 여지가 없다. Wasps는 parasitic wasps(기생벌류)와 stinging wasps(쏘는벌류)로 구성되어 있다. 이 두 군의 벌들은 이름 그대로 침을 가지고 있는가 아닌가에 의하여 구분되어진다. 기생벌류의 암컷은 마지막 몇 개의 배 마디들이 산란관을 구성하고 있으나, 쏘는벌류에서는 산란관이 침으로 변형되어 있다. 비록 영어로는 ‘stinging wasps’이라 되어 있으나, 이에 속하는 종들의 암컷 성충은 새끼를 위한 먹이를 사냥하는 특성³⁾을 가지므로 ‘사냥벌류’⁴⁾(본 논의에서는 이후 이러한 이름을 사용한다)로 통칭하여 부르는 것도 고려해 볼 만하다. 이때 wasps이라는 용어에 대하여는 ‘말벌류’라는 국문 용어보다는, wasps에 포함된 벌들의 ‘기생’ 혹은 ‘사냥’의 행동학적 특성과 관련 없이, 모든 새끼들은 어미가 준비해 놓은 먹이⁵⁾를 포식하여 생육하므로 ‘포식(성)벌류’의 의미로 받아들이는 것이 바람직해 보인다. 보통 산란관이 있는 기생벌류는 내부기생포식성이며, 사냥벌류는 먹이의 몸 표면에 알을 부착하거나 가까운 곳에 놓아두는 외부기생포식성이다. 우리 말의 번역에 대한 내용이 길어지긴 했으나, 추후 연구자들의 논의를 통한 우리말 이름의 정리가 필요하다. 결론적으로 벌은 크게(잎벌류) 그리고 (기생벌류+사냥벌류+개미류+꿀벌류)로 구성된 곤충류의 한 목(order)이다(그림 1).

3) 노동기생성의 생활양식을 가지는 것들도 포함되어 있으므로 전부가 그렇지는 않다.

4) ‘침’이 들어가는 이름은 Aculeata에 ‘침벌류’라는 국문 이름을 붙이기 위하여 아껴둔다.

5) 즉 부모돌봄(parental care)이 작동한다.



〈그림 1〉 벌목의 계통. 분자적 자료를 바탕으로 Peters et al (2017)에 의하여 가설화된 진화적 계통도를 단 순화하여 다시 그렸다. 우측의 분류군 혹은 분기군에 관한 구분은 저자가 부기한 것이며 각각의 국문 이름에 대한 설명은 본문을 참조하라.

벌목 중 침벌류(Aculeata)는 말 그대로 침을 가지고 있는 벌류이다(그림 1 초록색 막대에 포함되는 분기군). 앞서 언급한 벌아목 중 침이 없이 산란관을 가지고 있는 기생벌류(그림 1 주황색 막대)를 제외한 사냥벌류, 개미류 그리고 꽃벌류를 포함한다. 이들 분류군들은 하나의 조상으로부터 갈라져 나온 모든 후손을 포함하는 것으로 인정되는 단계통(monomophyletic)군으로서, 분류군의 정당성을 부여받아 분류학적으로는 Infraorder 혹은 Division의 분류계급에 할당되기도 한다. 하지만 최근의 많은 연구자들은 이들의 확인된 단계통성에도 불구하고 특정 분류계급에 할당하지 않고 임시방편적으로 ‘하나의 분기군(a clade)’으로 언급하기도 한다. 최근 발간된 KSAE & ESK(2021)의 한국곤충 명집에 따르면, 이 분기군에는 청벌상과(침벌과, 청벌과, 집게벌과, 멸구살이벌과), 말벌상과(개미과, 개미벌과, 대모벌과, 무당벌과, 배벌과, 굽벥이벌과, 말벌과), 꿀벌상과는(쟁이벌과, 은주둥이벌과, 구멍벌과, 애꽃벌과, 꿀벌과, 어리꿀벌과, 가위벌과, 털보애꽃벌과)에 속하는 종들이 포함된다.

IV. 생태계서비스

생태계서비스(ecosystem services)⁶⁾라는 용어는 자연이 우리에게 주는 혜택 즉 인간이 자연으

로부터 얻고 살아가는 자연의 혜택에 대한 최근의 학문적/과학적 용어이다. 개체생물로부터 생태계에 이르는 모든 수준의 생물학적 조직체계는 직접적 혹은 간접적으로 인간 삶의 질을 부양함으로써 인간사회에 가치가 되는 기능(functions)과 재화(goods)를 제공하며, 이를 생태계서비스라 한다(Harrington et al, 2010). 생명체 혹은 생명체들의 무리는 환경과의 상호작용을 통하여 계(system)를 형성하며, 따라서 생태계서비스는 이들 두 요인들 간의 상호작용하는 과정이라 할 수 있다. 이러한 과정들의 분석과 설명을 위하여 보통 생태계⁷⁾가 제공하는 서비스를 공급서비스(provisioning services), 조절서비스(regulating services), 문화서비스(cultural services), 부양서비스(supporting services)로 구분한다. 공급서비스는 생태계로부터 직접적으로 얻어낼 수 있는 물질과 에너지를 의미하며, 이는 곡식, 열매, 생선 등 식량과 목재, 섬유, 연료 등 생활자원의 원자재 뿐만 아니라 약재, 먹는 물까지도 포함한다. 조절서비스는 생태계와 생태계 과정들의 조절자 역할에 대한 서비스를 의미하며, IPBES에서 2016년 발간한 동물에 의한 수분과 같은 과정이 이러한 서비스의 좋은 예가 된다. 이외에도 탄소를 포함하는 지구 주요 원소들의 순환 및 저장을 위한 조절자로서의 생태계, 수질의 정화작용에 관련된 서비스 등과 같이 생태계의 조절에 관여하는 모든 과정을 의미한다. 지지서비스는 다른 생태계서비스들을 유지하는데 도움을 주는 서비스를 의미하며, 생태계서비스를 발생시키는 인자들의 터전인 서식지를 제공하는 것으로서 그 의미가 가장 크다. 생태계는 그것 자체로 교육, 여가 그리고 보전에 관한 중요한 역할을 하므로 문화서비스를 제공하고 있다.

V. 침벌류의 생태계서비스

1. 조절서비스

1) 단독생활형 사냥벌류(Solitary Wasps)⁸⁾는 절지동물 자연개체군을 조절한다.

단독생활형 사냥벌류(solitary wasps)는 알려진 전체 침벌류(Aculeata) 중 97% 이상의 종이 포함되는 가장 우세적인 무리이다. 전형적으로 이들의 암컷들은 새끼를 위한 먹이를 탐색, 포획, 마비시

6) 우리 학계에서는 영어인 '서비스'란 용어를 번역 없이 그대로 사용하고 있으며, 이는 경제적인 의미로 재화와 용역이라는 말도 이해되어도 무방하다.

7) 최근 생태계와 환경은 거의 동의어로 사용되는 것 같다.

8) 자신의 새끼를 위하여 먹이를 준비하는 부모돌봄(parental care)의 행동적 양식은 가지고 있으나, 말벌, 쌍살벌, 꿀벌과 같은 사회성(social) 생육양식에서 발생하는 부모와 자식의 대면이 이루어지지 않는 행동양식에 대한 용어이다.

킨 후 은폐된 일정 장소(보통 이 지점을 둥지라 한다)에서 먹이의 몸에 붙여 산란하는 생물학적 특성을 가지고 있다. 자연의 단독생활형 사냥벌류의 종들이 어느 정도로 특이섭식(specialist)과 광위섭식(generalist)을 하는지에 대한 구체적 연구는 없다. 하지만 알려진 많은 사례의 '포식-피식' 관계는 '종-종'(즉 특이섭식)이기 보다는 상위분류군적 관계를 가지며(예를 들어, 은주둥이벌류의 피식자 메뉴는 12개의 목(order)에 속하는 절지동물류가 포함된다), 이는 은주둥이벌류의 암컷들이 환경에서 가장 풍부한 먹이들을 사냥하고 있음을 시사한다. 거의 100:1이라는 사회성 침벌류와의 종다양성 차이에도 불구하고, 단독생활형 사냥벌에 대한 포식-피식의 연구는 매우 미진하다. 단독생활형 사냥벌의 종다양성, 그 개체 수 그리고 전 세계적 분포를 고려한다면, 이들이 제공하는 자연 해충 조절자로서의 생태계서비스는 매우 과소 평가되어 있다.

2) 사회성 사냥벌류(Social Wasps) 또한 절지동물 자연개체군을 조절한다.

비록 이들 사회성 벌류(우리나라에서는 쌍살벌아과와 말벌아과가 포함된다)의 종 수는 전체 침벌류의 3% 정도에 해당하지만, 이들의 거대한 군체 크기와 새끼 생육기간 동안의 지속적 사냥 요구를 고려한다면 포식자로서 이들의 생태학적 효과는 매우 높을 것이다. 사회성 사냥벌은 매우 기회적인 포식자이다. 말벌류에서 알려진 바와 같이 이들의 사냥 메뉴는 그들의 서식지와 시기에 따라 매우 다양하다. 점박이땅벌(*Vespula vulgaris*) 혹은 독일땅벌(*Vl. germanica*)은 그들 둥지의 위치뿐만 아니라 군체가 유지되는 시기 내내 다른 절지동물류의 풍부한 정도에 따라서 매우 다양한 먹이들을 소비하고 있는 것이 알려져 있다. 그들 서식지에서 매년 수 킬로그램의 다른 절지동물류의 생체를 제거한다는 점과 이들의 먹이 선택이 매우 기회적이라는 점을 고려하면 자연생태계에서 식식성 절지동물의 균형을 유지하는데 매우 중요한 조절서비스를 제공하고 있음은 틀림없다.

3) 단독생활형, 사회성 사냥벌은 자연생태계에서 곤충 개체군들의 조절자로서의 역할과 더불어 중요한 생물학적 방제 인자들이다.

생물학적 방제는 존재하는 포식과 피식의 관계를 통하여 이루어지는 해충 조절의 방법이며, 화학적 조절(농약)에 의한 저항성이 발생하지 않는 지속 가능한 해충구제법이다. 이는 미래 식량 생산의 지속 가능성을 담보하는 필수 불가결한 역할을 담당할 것이다. 사회성 사냥벌류와 다수의 독립생활형 사냥벌류는 농업 해충의 많은 부분을 차지하는 나방, 파리, 딱정벌레류의 유충을 주로 사냥하므로 이러한 서비스의 기여 정도는 매우 높다고 할 수 있다. 특히 이들 벌류는 작은 규모의 농경이 이루어

지는 인간이 만든 경관에 상당히 적응적이므로 추후 이들의 조절서비스는 통합적 방제를 위한 중요한 요소로서 고려될 수 있다. 사냥벌류의 기회주의적인 섭식 특성은 이론적으로 대부분의 해충 개체군 조절을 유지할 수 있다. 종-특이적 해충방제 생물인자인 기생벌류⁹⁾와는 다르게 사냥벌류는 돌발적 우세 해충들의 조절자 역할이 가능할 것이라는 점에서 중요하다.

4) 침벌류 또한 수분서비스의 주요 인자이다.

전세계적으로 인간이 경작하는 농작물의 75% 이상이 직접적으로 곤충 수분에 의존하여 결실을 한다. IPBES(2016) 보고서는 곤충수분이 세계적으로 2,500백만 달러/년 이상의 경제적 가치가 있을 것으로 추산하였으며, 이는 적어도 전 세계 농업생산의 9.5%에 이르는 추정치이다.

다른 꽃벌류에 노동기생(cleptoparasitic)하는 소수의 분류군들을 제외한 나머지 꽃벌류의 종들은 현화식물과의 특이적인 형태적/행동학적 공진화를 거친 수분에 특화된 가장 대표적인 생물적 인자이다. 인간이 가축화한 꿀벌속(genus *Apis*)의 종들과 농업적으로 일부 사용되는 호박벌속(genus *Bombus*) 종들을 제외하고 정확하게 측정되지 않은 야생꽃벌류(wild bees)의 야생 현화식물과 농업작물 수분에 관한 기여는 우리의 상상 이상일 것이다. IPBES(2016)는 비록 작물의 종류와 지역에 따라 상대적인 기여의 정도는 다르지만 관리되고 있는 수분자와 야생의 수분자 모두 농작물의 수분에 매우 중요한 역할을 해오고 있음을 분명히 하였다. 비록 서양꿀벌(*Apis mellifera*)과 같이 관리되는 수분자가 매우 높은 밀도로 존재하는 상황에서도 수분자들의 군집은 일반적으로 농작물 수분 효과성과 안정성을 증진시킨다. 즉 한 지역의 증가된 수분자 다양성은 행동의 변화를 유발하는 중간 상호작용을 통하여 우세적 수분자의 기능적 질 향상을 도모하고 결과적으로 수분서비스에 관한 시너지 효과를 일으킨다(Brittain et al, 2013). 비록 Brittain 등의 연구는 꿀벌속의 종들과 비-꿀벌속 꽃벌류의 상호작용에 의한 수분매개의 상승효과에 관하여 측정하였으나, 이는 꽃벌류와 사냥벌류에 의하여 일어나는 상호작용의 결과에 대한 또 다른 궁금증을 유발한다.

현재 지구의 야생 현화식물의 거의 90%는 동물에 의한 수분에 의존하고 있다. 이러한 수분의 대부분은 곤충에 의하며 특히 꽃벌류가 매우 우세적이다. 하지만 파리류의 종들과 더불어 침벌류 또한 그 기여도가 높은 분류군들 중의 하나이다. 현화식물의 안정적 유지는 지속적인 생태계의 기능에 필수적이다. 잘 유지되는 식물군집은 공급서비스 자체인 서식지를 형성하는 기본이며 따라서 직접적으로 다양한 생물종들의 유지에 요구되는 필수 자원을 제공하고 있을 뿐만 아니라 다른 생태계서비스

9) 내부기생포식성의 기생벌류를 의미함.

의 근간이 되기 때문이다.

Brock et al(2021)는 침벌류의 수분서비스¹⁰⁾에 관한 유의미한 자료들을 제공하였다. 침벌류가 방문하는 식물들의 목록을 검색하여 2,288건의 식물-침벌류 관계를 확인하였으며, 총 960종 식물에 관련된 침벌류 수분을 파악하였다. 이러한 수치는 단지 검색어 검색에 의하여 추적된 논문들의 결과일 뿐이며 침벌류 수분의 전체 규모 파악에 대한 부족함을 다음과 같이 표현하고 있다. “현 자연환경과 농업환경에서 수분자로서의 침벌류에 관한 자료 부족은 그들의 수분 서비스에 관한 평가를 방해하고 있다. 인간 건강, 복지 그리고 식량 확보에 대한 자연 수분자의 중요성과 꽃벌류와 같이 잘 알려진 수분매개자 개체군들의 감소에 대한 염려를 고려한다면, 침벌류의 수분 가치에 대한 보다 자세한 조사, 연구가 필요한 시점이다. 이들 침벌류의 기회적인 다수 식물들과의 상호관계, 질 저하가 일어난 서식지에서의 그들의 잠재적 수분 능력, 그리고 몇몇 종들에서 분명하게 관찰되는 인간 활동에 의한 환경변화에 대한 그들의 저항회복성은 침벌류의 생태계서비스 잠재력에 대한 더욱 많은 연구 노력을 촉구하고 있다.”

2. 공급서비스

1) 침벌류의 독은 의약품의 원재료로서의 그 가능성이 매우 크다.

침벌류의 독은 독성성분(toxins), 알레르기 유발원(allergens), 효소(enzymes), 그리고 아민(amine)의 복합체이다. 이러한 생화학 물질들은 자기방어, 먹이 포획 및 먹이의 신선 유지에 사용되는 생물학적 기능에 사용된다. 침벌류의 독은 많은 생물학적 활성을 가진 물질들을 포함하고 있으며 이는 의학적 관심을 받기에 충분하다. 특히 화학합성의약품과는 다른 특성을 가진 바이오의약품 개발의 최근 약진과 더불어 이러한 중요성은 더욱 부각된다. 특히 최근의 관심은 암(cancer) 치료에 대한 독액의 적용이다. 가장 활발하게 연구되고 있는 이러한 분자들은 마스토파란(mastoparan)이며 이는 사회적 침벌류로부터 분리된 양친매성(amphipathic) 단백질 분자이다.

침벌류의 독액이나 유충의 분비물과 집을 짓는 재료에 포함된 물질에 의한 항생효과는 잘 알려져 있다. 단독생활형의 침벌류는 포획한 그들 먹이를 새끼가 섭취하는 동안 먹이의 안전한 마비상태와 신선도를 유지하기 위하여 항생물질의 독을 주입한다. 거미를 사냥하는 대모벌의 한속(genus *Anoplius*)에 속하는 종의 독액으로부터 분리한 아노플린(anoplin)이나 호리병벌의 한속(genus

10) Brock et al (2021)은 이러한 측정에서 꽃벌류와 개미류를 제외하였다.

Eumenes)에서 분리한 유메니틴(eumenitin)같은 단백질은 그람-양성 및 음성균에 대한 강력한 저해 효과를 발휘하는 항균작용이 있다.

자연계에 존재하는 방대한 침벌류의 종들을 고려한다면 이러한 치료약과 항생물질을 포함하는 약품 원재료의 공급서비스는 그 가능성이 매우 높다.

2) 침벌류 또한 인간에게 영양소를 공급한다.

곤충은 필수아미노산을 포함하는 고단백의 식량대체제이다. 곤충농장은 전통적인 육류생산과 비교하여 소규모의 공간, 적은 물 소비, 적은 온실효과가스 및 암모니아의 방출과 같은 이점이 있다. 적어도 인류의 20억명은 그들 식이의 일정부분을 곤충 단백질로부터 얻는다. 약 2,000종 정도의 곤충이 이러한 인간 식이에 이용되며, 딱정벌레류(31%), 나비류(18%) 그리고 벌류(15%)가 가장 빈번하게 이용되는 곤충군들이다. 우리나라에서는 대중화되지 않았지만 많은 아시아의 나라들은 사회성 침벌류의 애벌레를 즐겨 먹는다.

흥미로운 것은 사회성 침벌류가 와인을 생산하는데 필요한 효모인 *Saccharomyces cerevisiae*의 안전한 월동을 위한 안식처라는 점이다. 이 효모는 월동을 하는 말벌과 쌍살벌의 여왕벌 장에서 생존하며, 이러한 효모는 영양물질 교환(trophallaxis)에 의하여 일벌들에게 전해지고 결과적으로 포도밭으로 전달되어진다. 사회성 침벌류의 장은 다양한 균주들이 섞일 수 있는 효모 생식에 적절한 조건을 제공하여 지역 특색적 효모 균주의 변이성을 유지시킴으로서 이 효모종의 유전적 다양성과 진화에 중요한 역할을 하고 있다(Stefanini et al., 2012, 2016).

3. 지지서비스

1) 침벌류는 씨앗의 분산에 기여한다.

곤충은 씨앗의 분산에 있어서 매우 중요하다. 예를 들어 개미가 매개하는 씨앗의 분산은 매우 광범위하여 적어도 피자식물 11,532종의 분산과 관련이 있는 일반적인 현상이다. 이는 씨앗에 있는 지질이 풍부한 부속물을 섭취하기 위하여 씨앗을 그들의 둥지로 운반하고 이를 소비한 후 상처 입지 않은 씨앗을 방치하여 분산을 일으킨다. 비슷한 행동이 말벌속(genus *Vespa*)과 쌍살벌속(genus *Polistes*)에서 보고되었으며, 이는 사회성 침벌류가 씨앗의 분산에 역할을 할 수 있음을 의미한다. 이러한 행동은 일벌들의 먹이 획득과정에서 발생하기도 하며, 개미가 수집한 씨앗의 절도를 통하여도

일어난다. 우리에게 침입외래종으로 잘 알려진 검은등말벌(*Vespa velutina*)은 특정 식물의 씨앗만을 이용하여 그 식물의 분산을 책임지고 있기도 한 것이 알려져 있다. 이러한 사회성 벌류에 의한 씨앗 분산의 범위는 개미의 분산 효과보다 그 범위가 넓다. 앞서 언급한 꿀벌과 비꿀벌속 꽃벌류 사이의 경쟁적인 수분 시너지 효과와 비슷하게, 개미에 의한 씨앗 분산이 발생하는 지역에서의 땅벌속 (genus *Vespula*)종의 공존은 개미 취식의 증가를 이끄는 것이 관찰되며, 이는 사회성 침벌류가 씨앗 분산의 효과를 간접적으로 증가시키는 것임을 의미한다.

Brock et al(2021)은 사회성 침벌류에 의한 씨앗 분산은 알려진 사례보다는 더욱 일반적일 것이며, 사회성 침벌류의 넓은 취식범위를 고려한다면 이러한 벌류에 의한 씨앗 분산 생태계서비스는 과소 평가되었을 것으로 고려하였다. 사회성 침벌류에 의한 씨앗 분산의 효용성, 씨앗 분산 거리 및 운반된 씨앗의 운명(성공적 발아 및 발육) 정도에 대한 자료가 매우 부족하므로 이러한 서비스의 실제적 가치는 현재 불분명하다.

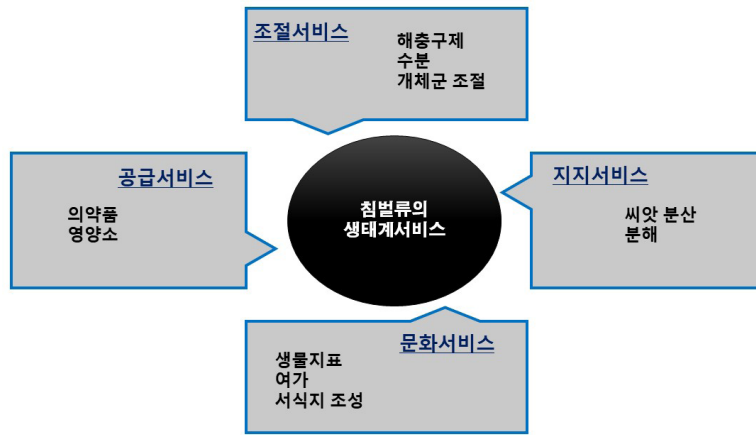
2) 침벌류는 분해자로서의 기능을 수행하며 그럼으로써 영양분의 순환을 일으킨다.

개미에 의한 분해능과 이의 영양분 순환에 대한 기여는 잘 알려진 사실이다. 다른 침벌류에 관한 분해와 영양분 순환은 연구된 바는 드물다. 침벌류는 대표적인 포식자로 알려져 있으나, 사회성 침벌류는 사체나 부패되고 있는 유기물을 섭취함으로써 이러한 생태계서비스를 제공할 가능성이 충분하다.

4. 문화서비스

1) 침벌류는 환경에 대한 생물학적 지표이다.

생물 지표는 어떤 한 지역의 환경 상태, 서식지 혹은 생태계의 변화에 대한 효과 및 그와 관련된 분류군들의 다양성을 반영하는 분류군을 이른다. 이론적으로 포식 혹은 기생의 침벌류는 생태계의 건강성의 측정에 매우 유용한 분류군이다. 이들은 상위 영양단계에 위치하며 특정 서식지 내의 이들 출현 및 서식은 다양하고 풍부한 피식 절지동물의 존재에 대한 지표이다. 더욱이 척추동물 핵심종과 비교하여 선정된 침벌류의 풍부도를 측정하는 것이 상대적으로 용이하다는 장점이 있다. 따라서 한 생태계 내에서 침벌류의 다양성은 모든 절지동물 다양성의 믿을만한 예측치를 제공해 줄 수 있는 안정적인 유용한 생물지표이다.



〈그림 2〉 침벌류가 제공하는 생태계 서비스의 요약

2) 역사적으로 침벌류는 그들의 쏘는 습성에 의하여 인간과는 부정적 시각이 있는 문화적 관련이 있다. 이러한 부정적 이미지는 이들의 생태계서비스에 관한 일반적 이해를 위한 대중의 관심을 방해한다. 따라서 이들의 주요한 생태계서비스에 대한 평가와 인식의 전환은 교육을 포함하는 문화서비스의 좋은 재료가 될 수 있다.

2018년 월트디즈니에서 제작 개봉한 ‘Ant-Man and the Wasp’은 미국의 초영웅에 관한 이야기이다. 유쾌한 장면들이 포함된 이 영화는 아마도 많은 전 세계 관람객들에게 wasp이라는 용어를 다시 한번 찾아보도록 하였을 것이다.

침벌류의 생태적 중요성에 관한 인식의 대중화를 위하여 노력해야 한다. 우리는 침벌류의 생태계 서비스 관리 및 증진을 위한 정원 가꾸기와 같은 서식지의 개발이 인간 정서의 함양을 도모할 수 있는 중요한 도구임을 잘 알고 있다.

VI. 침벌류 연구의 향후 과제

명확하게 측정된 바는 없지만 우리 침벌류는 이미 상당량 감소하였거나, 그 감소가 현재 진행형이라는 점은 분명해 보인다. 서식지 파괴, 농약의 사용, 기후변화, 외래 병원체와 종의 침입이 침

벌류를 포함하는 곤충 수분매개자의 감소 원인이라면(Vanbergen & IPI, 2013) 향후 우리 침벌류 소실은 가속화 할 것이다. 야외에서 침벌류의 지속적 관찰과 채집을 수행한 저자의 경험적 증거들은 이러한 전망의 상당한 부분과 일치한다. 저자는 배벌과(family Scoliidae)의 1종인 줄배벌(*Megacampsomeris grossa matsumurai*)을 10년 전 우연히 발견한 충남 해안 한 곳의 서식지로부터 3년 연속 관찰하는 즐거움을 누린 적이 있다. 이 배벌종은¹¹⁾ 사구 및 이의 인근지역에서 관찰되며 풍뎅이류의 애벌레에 외부 기생을 한다. 분자자료를 위한 신선한 표본을 채집할 목적으로 다시 방문을 시작한 최근 3년간 이들이 완전히 자취를 감추었음을 보고 놀라움을 금치 못하였다. 새롭게 들어선 편의시설, 인근 사구 사이를 연결하는 넓고 잘 정비된 이동로, 빈번한 인간 이용에 의한 육화, 이동로의 관통에 의한 사구의 면적 감소 및 질 저하가 본 종의 지역적 절멸과 직, 간접적으로 관련되어 있음이 확실하다. 핵심종이 사라진 사구생태계의 한 단면이다.

이제 저자는 소중한 자연자산의 가치를 지닌 우리 침벌류의 생태계서비스에 관한 측정, 보전, 증식 및 지속성을 위하여 다음과 같은 연구 주제들을 제시하며 본 소고를 마무리 하고자 한다.

첫째, 우리 침벌류의 분류학적/생태학적 지식이 마련되어야 한다. 모든 생태계서비스의 주체들은 종이며, 이들 종에 대한 분별 없이는 생태계서비스의 질적, 양적 측정은 불가하다. 속 수준 혹은 과 수준에서의 측정 가능성을 언급할 수 있을지라도 그러한 수준에서의 연구는 개요 이상의 가치가 없으며, 그 측정값 또한 구체적, 실직적, 과학적 가치를 가지지는 못한다. 물론 이러한 분류학적 토대의 구축은 지난한 작업이지만 꾸준히 추구되어야 한다. 같은 만추리안아구에 속하며 침벌류 연구의 선진국/지역이라 할 수 있는 일본 및 극동러시아는 이미 침벌류 전종에 대한 검색표가 제공됨으로써 실제 야외에서 일하고 있는 자연자원의 측정자들(시민과학자를 포함하는)에게 안정적인 분류학적 지지가 제공되고 있다. 하지만 한반도 침벌류의 검색이 가능한 분류학적 안내서는 전무하다. 이러한 분류학적 부족은 수분의 가장 주요 생물 구성인자인 꽃벌류에서 극명하다. 같은 상위분류군 내의 꽃벌류 종들은 형태적으로 매우 유사하며 이들의 동정은 적지 않은 경험의 축적을 통한 전문적인 식견이 요구되곤 한다. 결과적으로 분류학적 지체는 침벌류의 생태적 가치 평가에 대한 가장 근본적인 걸림돌이다. 일견, 주변국에서 출간된 자료를 통하여 우리의 구성자들을 동정해내는 것이 가능하지 않는가? 하는 질문을 받는다. 어느 정도는 틀린 말이 아니다. 하지만 한반도는 거대 대륙의 주변부에 위치하여 인근지역과는 다른 종구성 특이성이 있고 그 고유종의 비율이 상대적으로 높다(Kim,

11) 중형 말벌 정도의 크기를 가지고 있어 대형말벌을 제외하고 가장 대형에 속하는 침벌류의 일종이다.

2013). 따라서 중국북동부, 극동러시아 및 일본과 공통적으로 분포하는 종들 또한 기록되고 있는 반면 형태적으로 평행한 고유의 종들이 적지 않다는 전제하에 그 분류학적 연구를 수행하여야 한다. 따라서 단순히 진단적 형태 특성에 의하여 동정을 수행하는 경우 오동정의 가능성이 매우 크다는 것을 인식하는 것이 중요하다. 따라서 숨겨진 은밀종들을 찾아내기 위한 분자적, 생태학적, 형태적 통합연구가 필요하다. 이는 추후 나고야의정서 대응 우리 생물자원 확보라는 측면에서도 중요한 임무이다. 저자는 보다 빠른 분류학적 기반을 마련하기 위한 채집-동정서비스를 가능케 하는 플랫폼 기반의 연구 관계망 구축에 대하여도 고려하고 있다. 이는 시민과학자와 전문연구자의 교류를 통한 분류학적 저변확대 그리고 결과적으로 분류학적 기반이 만들어지는 선순환 구조의 발생을 이끌 수 있을 것이다. 늦었을 때가 가장 빠른 것이다! 100년 이상의 역사를 가진 분류학 선진국이라는 일본도 최근에서야 보다 완성된 꿀벌류(Tadauchi & Muraio, 2014), 개미류¹²⁾ 및 사냥벌류(Terayama & Suda, 2016)의 분류 안내서를 손에 넣었다.

침벌류는 인간활동과 관련된 서식지에서 저항회복력이 뛰어난 특징을 가지고 있으며, 반야생지역(semi-natural area) 즉 인간활동과 자연지역이 공존하는 그러한 지역에서 다양성이 높은 특징을 가지고 있는 분류군들을 다수 포함하고 있다. 침벌류는 피식자를 획득하기 쉬운 소규모의 농경지 및 정원을 품은 환경적 조건을 선호하며 또한 흙벽, 목재 등 자연성이 있는 구조물 혹은 이의 인근 잘 정리된 토양에 둥지를 짓는 특성이 있다. 이는 전형적으로 우리의 농촌 혹은 시골이라고 통칭되는 경관으로서, 우리가 더는 훼손하지 않고 지켜나가야 할 주요 생물다양성 저장고이다. 연구되는 침벌류 종들의 출현 환경에 대한 목록화가 필요하며, 끊임없는 개발압력이 가해지는 반야생지역 핵심자원으로서의 그 지위에 관한 측정이 이루어져야 한다. 이러한 노력들은 침벌류 개체군의 변화를 이끄는 압력요인에 대한 성찰을 가져다줄 것이다.

둘째, 수분과 관련하여 야생침벌류(꽃벌류를 포함하는)와 현화식물 관계망에 관한 자료의 구축이 필요하다. 농작물과 관련된 수분 곤충류의 목록을 포함하는 우리 농업생태계 내의 수분서비스에 관한 지식은 상당히 축적되어 왔다(Yoon et al., 2017). 하지만 앞서 언급한 바와 같이 수분 생태계서비스는 야생의 현화식물과 관련된 야생사냥벌 및 야생꽃벌류 모두를 포함하는 개념이다. 불행하게도 우리의 자연에서 벌류를 채집하고 자료를 수집하는 연구자들은 분류학적인 지지를 받지 못할지도 모른다. 하지만 그들이 채집하는 모든 야생벌류의 채집라벨에 이들이 방문한 현화식물의 이름과

12) <https://www.antwiki.org/wiki/Japan>

위치정보를 기록하는 것으로도 우리가 원하는 수분 자료 축적의 기반이 될 수 있다. 저자 또한 최근 5년간의 모든 연구용 벌류 채집품에는 그러한 라벨을 부착하고 있다. 조금 수고스럽지만 벌류가 방문하는 모든 꽃들에 대한 사진을 기록하고 있으며, 이를 집단지성¹³⁾을 이용한 최초 동정 후 사진을 이용한 이차 동정을 실시하고 있다. 이러한 벌류 표본 자료들이 잘 소장되어 동정 작업이 이어진다면 우리 국토의 지역, 시기에 따른 수분 생태계서비스에 관한 주요 자료가 만들어질 수 있다. 이는 장기 연구 주제로서 기후변화에 대한 수분생태계의 변동(현화식물과 수분자의 시기적, 지역적 불일치 및 적응 변동)이라는 측면의 결정적인 자료로써 사용될 수 있다. 분류학적 목적과 수분생태학적 목적으로 저자는 우리 침벌류를 추적하는 개인 표본 소장처를 구축하고 있다. 이러한 표본들은 궁극적으로 공공이 이용할 수 있는 공인된 소장처로 이관할 예정이다.

셋째, 지역적 생태계의 생물지표로서의 침벌류 이용에 관한 적용 연구이다. 상위영양단계에 위치하며 기회적이고 다양한 먹이를 섭식하는 침벌류는 이론적으로 다른 절지동물의 다양성에 관한 생생한 지표이다. 지역별 혹은 주요 자연 단위 지역별 침벌류 다양성의 측정치는 우리의 자연을 보다 용이하게 측정하기 위한 또 다른 도구를 획득하는 것이며, 다른 측정들과 더불어 우리 자연 건강성 측정의 신뢰도를 높일 것이다.

넷째, 침벌류 다양성의 감소를 방지하고 회복시키기 위한 서식지 창출에 관한 연구가 진행되어야 한다. 인간활동에 의한 서식지 감소/파괴는 침벌류 다양성 감소의 가장 주요한 원인이다. 최근 벌집 붕괴현상에 대처하여 밀원식물지 및 숲 조성의 확대, 친환경 약제의 개발 및 보급, (과수) 농가 약제살포시기 조정 등의 대책이 논의되고 있다. 특히 밀원숲의 조성, 길가의 꽃가꾸기, 도시 정원의 조성 등 인공 서식지에 관한 실험은 구미 선진국에서 활발하게 적용되어 그 효용성에 관한 긍정적 해답을 얻어내고 있다. 우리도 인공서식지의 확대가 필요하다. 시민 삶의 질 향상, 관광자원 마련 등의 측면에서 꽃과 함께 하는 아름다운 산책길 조성, 향기로운 밀원 숲 조성 등과 같은 자연 회복 활동들은 지자체가 수행하기에 충분한 정책이다. 특히 새로운 서식지를 만들기 위한 유희지의 부족이라는 우리 국토의 특성을 고려하면 대규모의 곤충 호텔(insect hotel) 도입이 매우 유용할 것으로 생각한다. 곤충 호텔은 다양한 등지 환경들(주로 관을 빌려 집을 짓는 종류, 진흙을 이용하여 집을 짓는 종류) 등의 밀집 구조물로서 작은 지역에 다양한 분류군의 침벌류를 도입, 복원 유지 그리고 증진할 수 있는 현실적 대안이 될 것이다. 이들의 실제적인 효용성에 관한 설치 실험 연구가 진행되는 것이 바람직하

13) 식물동정 웹서비를 야외에서 실시간으로 이용하고 있다.

다. 과수지 및 이외 농경지, 반야생 지역 및 도심지역 등 다양한 지역에서의 곤충 호텔에 대한 벌류 이용의 효용성과 지속성뿐만 아니라 곤충 호텔의 적정 크기, 설치 규모 등 운용 유용성에 대한 측정이 기획 실험되어야 한다.

Ⅶ. 글을 마치며

꿀벌의 감소와 이에 따른 경제적 손실에 대한 대책으로 2020년 8월부터 국회는 <양봉산업의 육성 및 지원에 관한 법률>을 시행하고 있다. 이는 벌이 가지는 경제적 가치와 더불어 자연자원적 가치에 대한 우리 관점의 확대를 요구하는 시발점이 되어야 한다. 꿀벌이 사라지는 것은 꿀벌과 유사한 생태적 지위를 가지는 다른 벌류가 사라지는 것을 의미하는 것은 아닐까? 혹 우리는 이미 수많은 야생벌을 잃어버린 것이 아닐까? ‘벌이 사라지지 않는 환경’ 만들기에 도전장을 내밀고 실천의 첫발을 내디뎌야 하는 때는 바로 지금이다. 우리의 소중한 자연자원 벌에 대한 관심과 보전, 증진에 관한 연구에 독자들의 동참을 기대한다.

참고 문헌

- Aguiar, A. P., Deans, A. R., Engel, M. S., Forshage, M., Huber, J. T., Jennings, J. T., Johnson, N. F., Lelej, A. S., Longino, J. T., Lohrmann, V., Miko, I., Ohl, M., Rasmussen, C., Taeger, A., Yu, D. S. K. 2013. Order Hymenoptera. *Zootaxa*, 3703: 51-56.
- Biesmeijer, J. C., Roberts, S. P. M., Reemer, M., et al., 2006. Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science*, 313: 351-54.
- Brittain, C., Williams, N., Kremen, C., Klein, A. M. 2013. Synergistic effects of non-*Apis* bees and honey bees for pollination services. *Proc. R. Soc. B*, 280: 20122767.
- Bommarco, R., Lundin, O., Smith, H. G., et al., 2011. Drastic historic shifts in bumble-bee community composition in Sweden. *Proc R. Soc. Lond. B*, 279: 309-15.
- Brook, R., Cini, A., Sumner, S. 2022. Ecosystem services provided by aculeate wasps. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society* 96(4): 1645-1675.
- Cameron, S. A., Lozier, J. D., Strange, J. P., et al. 2011. Patterns of wide- spread decline in

- North American bumble bees. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, 108: 662-67.
- Harrington, R., Anton, C., Dawson, T. P., de Bello, F., Feld, C. K., Haslett, J. R., Ivankova, O. T., Kontogianni, A., Lavorel, S., Luck, G. W., Rounsevell, M. D. A., Samways, M. J., Settele, J., Skourtos, M., Spangenberg, J. H., Vandewalle, M., Zobel, M., Harrison, P. A. 2010. Ecosystem services and biodiversity conservation: concepts and a glossary. *Biodiversity and Conservation*, 19: 2773-2790.
- IPBES. 2016. Summary for policymakers of the assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. Potts, S. G., Imperatriz-Fonseca, V. L., Ngo, H. T., Biesmeijer, J. C., Breeze, T. D., Dicks, L. V., Garibaldi, L. A., Hill, R., Settele, J., Vanbergen, A. J., Aizen, M. A., Cunningham, S. A., Eardley, C., Freitas, B. M., Gallai, N., Kevan, P. G., Kovács-Hostyánszki, A., Kwapong, P. K., Li, J., Li, X., Martins, D. J., Nates-Parra, G., Pettis, J. S., Rader, R., Viana, B. F.(eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 36 p.
- Kim, J. K. 2013. Biogeographic characteristics of Far Eastern wasps: A case study with eumenine wasps(Hymenoptera: Vespidae: Eumeninae). *Entomological Research*, 43(2013): 1-11.
- Korean Society of Applied Entomology & The Korean Society of Entomology(KSAE & ESK) 2021. Check list of Insects of Korea. Daegu: Paper & Pencil. 1055 p.
- LaSalle, J. 1993. Intraspecific biodiversity in hymenoptera: implications for conservation and biological control pp. 27-52, In *Hymenoptera and Biodiversity*, LaSalle, J & I.D. Gauld(eds.).
- LaSalle, J., Gauld, I. D. 1993. Hymenoptera : Their diversity, and their impact on the diversity of other organisms, pp. 1-26, In *Hymenoptera and Biodiversity*, LaSalle, J. & I. D. Gauld(eds.).
- Yoon, H. J., Lee, K. Y., Lee, H. S., Lee, M. Y., Choi, Y. S., Lee, M. L., Kim, G. H. 2017. Survey of insect pollinators use for horticultural crops in Korea. *Journal of Apiculture*, 32(3): 223-235. (in Korean)
- Stefanini, I., Dapporto, L., Berna, L., Polsinelli, M., Turillazzi, S., Cavalieri, D. 2016. Social

- wasps are a *Saccharomyces* mating nest. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 113: 2247–2251.
- Stefanini, I., Dapporto, L., Legras, J. L., Calabretta, A., di Paola, M., de Filippo, C., Viola, R., Capretti, P., Polsinelli, M., Turillazzi, S., Cavalieri, D. 2012. Role of social wasps in *Saccharomyces cerevisiae* ecology and evolution. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 109: 13398–13403.
- Tadauchi, O., Murao, R. (eds.) 2014. An illustrated guide of Japanese bees. Bunichi Sogo Shuppan. 479 pp. (in Japanese)
- Terayama, M., Suda, H. 2016. A Guide to the Aculeate Wasps of Japan. Tokai University Press. 735 pp. (in Japanese)
- Vanbergen, A. J., Insect Pollination Initiative 2013. Threats on an ecosystem services: Pressures on pollinators. Front Ecol. Environ., 2013.
- Williams, P. H., Osborne, J. L. 2009. Bumblebee vulnerability and conservation world-wide. Apidologie, 40: 367–87.