

멸종위기식물인 조름나물의 섭식자로서의 주홍박각시

김재근[†]

서울대학교 생물교육과

Elephant Hawk-Moth (*Deilephila elpenor* L.) as a Herbivore of the Bog-bean (*Menyanthes trifoliata* L.), an Endangered Plant Species

Kim, Jae Geun[†]

Department of Biology Education, Seoul National University

(Received: 17 October 2014, Revised: 15 December 2014, Accepted: 15 December 2014)

요약

최근 멸종위기식물인 조름나물의 보전과 복원을 위한 연구가 진행되지만, 조름나물의 위협인자에 대한 연구는 진행되지 않고 있다. 본 연구에서는 국내 최초로 실험 결과를 통해 조름나물에 대한 위협인자로서 주홍박각시의 생육 및 섭식 특성을 밝혔다. 6마리의 주홍박각시 애벌레를 대상으로 실험을 실시하였으며, 이들의 성장에 따른 몸무게 변화와 먹이 선호도, 조름나물 섭식량을 조사하였다. 주홍박각시 애벌레가 번데기로 용화하는 데는 약 27일이 소요되며, 그때의 몸무게는 4–7.5g이었다. 주홍박각시 애벌레의 먹이 선호도는 조름나물, 봉선화, 개머루, 담쟁이덩굴 순으로 나타났다. 애벌레 동안의 총 섭식량을 모델을 이용해 계산한 결과 11–30g으로 나타났다. 이는 조름나물 순군집 면적 0.03–0.08m²에 해당한다. 본 연구를 통해 주홍박각시는 멸종위기종인 조름나물에 대한 잠재적인 위협인자임이 확인되었으며, 주홍박각시의 분포 범위를 고려할 때 멸종위기종인 조름나물의 보전과 복원 계획에 주홍박각시의 선제적 관리가 포함되어야 함을 제안한다.

핵심용어 : 멸종위기식물, 조름나물, 주홍박각시, 섭식자

Abstract

Even though many researches are conducted for the conservation and restoration of endangered species *Menyanthes trifoliata*, recently, there is no study on the threatening factors to this plant. This is the first time in Korea to study growth and feeding characteristics of *Deilephila elpenor* as a threatening factor to *Menyanthes trifoliata* through an experiment. Experiment was done with 6 Elephant hawk-moth larvae and change of body weight, food preference, and ingestion amount of Bog-bean were investigated. It took 27 days from larva to pupa and maximum body weight of larvae was in the range of 4–7.5g. The food preference sequence of the larvae was *Menyanthes trifoliata*, *Impatiens balsamina*, *Ampelopsis brevipedunculata* var. *heterophylla*, *Parthenocissus tricuspidata*. Ingestion model shows the total amount of ingestion by a larva is 11–30g and this amount can be acquired at 0.03–0.08m² of *Menyanthes trifoliata* pure stand. This study showed *Deilephila elpenor* as a potential threatening factor and suggests that the conservation and restoration plan of endangered species *Menyanthes trifoliata* include the control plan of *Deilephila elpenor*, also.

Key words : *Deilephila elpenor*, endangered plant species, herbivore, *Menyanthes trifoliata*

1. 서론

조름나물(*Menyanthes trifoliata* L.)은 환경부 지정 멸종위기야생동·식물 II급에 속하는 조름나물과의 식물이다(Fig. 1). 주로 북반구에 서식하며, 우리나라를 비롯한 일본, 미국 등에서 멸종위기종으로 지정되어 보호되고 있다(Han

and Kim, 2006). 우리나라에는 대암산 용늪, 선유담을 비롯하여 그 분포 범위가 매우 제한되어 있는 북방계 식물이다(Kim et al., 2013). 이와 같은 조름나물의 생육 특징으로 인해 지구온난화에 따라 점점 서식처의 범위가 축소될 것으로 예상되며, 이를 보존하기 위하여 조름나물의 서식처 특성(Han and Kim, 2006; Kim et al., 2013), 서식기질에 따른 타 식물과의 경쟁관계(Lee and Kim, 2011), 최대 영양 번식을 위한 지하경 삼목 조건(Lee and Kim, 2012) 등이 연구되었으며, 서울대학교와 (주)도시녹화에서는 조름나물의 인공서식처 조성을 위한 연구를 진행하고 있다.

[†] To whom correspondence should be addressed.
Department of Biology Education, Seoul National University
E-mail: jaegkim@snu.ac.kr

조름나물에 대한 위해 요인으로는 조름나물의 경쟁력을 약화시키는 지구온난화가 가장 크게 대두되고 있으며, 조름나물을 섭식하는 고라니(*Hydropotes inermis argyropus* Heude)가 두 번째 위해요인이다. 이외에 다른 요인은 발견되지 않았으나, 최근 주홍박각시(*Deilephila elpenor* L.) 애벌레가 조름나물을 섭식하는 것을 본 연구자가 확인하였다.

주홍박각시(Fig. 1)는 한국, 일본, 타이완, 중국을 비롯하여 구북구에 흔히 분포하며, 유럽 중부에서 가장 흔하게 발견되는 종이다(Bestmann, 1992). 주홍박각시 애벌레는 주로 습지에 서식하는 것으로 알려졌으며, 터키에서는 *Vitis* (포도속), *Parthenocissus*(담쟁이덩굴속), *Epilobium*(바늘꽃속), *Chamaenerion angustifolium*(분홍바늘꽃), *Clarkia*(클라키아속), *Galium*(갈퀴덩굴속), *Calla palustris*(산부채), *Impatiens*(봉선화속), *Fuchsia*(후크시아속), *Menyanthes*(조름나물속)를 섭식하는 것으로 알려졌다(Akkuzu et al. 2007). 우리나라에서는 부처꽃, 봉선화, 달맞이꽃, 갈퀴덩굴속 식물을 섭식하는 것으로만 알려졌다(Jung, 1997; Heo, 2012).

식물에 피해를 주는 곤충에 관한 연구는 많이 진행되어 왔으나(Kim and Lee, 1985; Lee et al., 2006), 곤충이 얼마나 식물에 피해를 주는지에 관한 정량적인 연구는 진행된 것이 없다. 연구된 것은 어떤 곤충이 어느 정도의 면적에 피해를 주었느냐는 것으로 주로 대형 곤충에 의한 과수 피해를 다루었다. 본 연구와 같이 식물의 생존에까지 영향을 줄 수 있다고 다룬 연구는 없다.

조름나물을 연구하는 포장에서 주홍박각시가 조름나물을 섭식하는 것을 본 연구자가 우리나라에서 최초로 발견하였으며, 섭식량 또한 대단히 많은 것으로 판단되어 조름나물에 대한 위해 요인으로 대두되었다. 이에 본 연구에서는 주홍박각시의 먹이 선호도와 조름나물 섭식량을 통해 멸종위기종인 조름나물에 대한 주홍박각시 애벌레의 위해 가능성을 최초로 보고하고자 한다.



Fig. 1. Photographs of Bog-bean (left) and Elephant hawk-moth (right).

2. 방 법

2014년 6월 26일 서울시 관악구 서울대학교에 위치한 조름나물 포장에서 주홍박각시 애벌레 4마리, 6월 29일 1마리, 7월 15일 1마리를 채집하였다. 6월 29일과 7월 15일 채집한 애벌레는 먹이 선호도와 몸무게에 따른 섭식량 조사에 이용하였다. 채집 후 애벌레는 직접 제작한 간이 사육장에서 양육

하였다. 간이 사육장은 255×182×125mm³의 플라스틱 통을 이용하였다. 먹이 공급을 위하여 조름나물의 잎을 잎자루채 채집하여 물에 적신 모래를 담은 페트리접시(지름 95mm, 높이 38mm)에 꽃은 후 간이 사육장에 넣었다. 먹이는 하루에 1-2회 공급하였으며, 배설물은 먹이 공급 시 제거하였다.

생활사에 따른 주홍박각시의 몸길이는 7월 2일부터, 몸무게는 6월 29일부터 매일 측정하였다. 몸길이는 굽는 철사를 이용하여 측정한 후 이를 펴서 자로 mm 단위로 측정하였다. 무게는 전자저울을 이용하여 g 단위의 소수점 아래 둘째 자리까지 측정하였다.

6월 29일과 7월 15일 채집한 두 마리의 애벌레를 대상으로 먹이 선호도 조사를 하였다. 먹이 선호도 조사를 위해 주홍박각시의 먹이로 알려진 봉선화, 개머루, 그리고 담쟁이덩굴(Akkuzu et al., 2007)과 콩과식물인 땅비싸리의 부드러운 잎을 사용하였다. 무게를 측정한 각각의 잎을 먹이 공급용 페트리접시에 꽃고 주홍박각시 애벌레에게 제공하였다. 어느 것을 먼저 섭식하는지 관찰하고, 일정 시간이 지난 후 섭식하고 남은 모든 잎을 회수하여 남은 양을 측정하였다. 물이 있는 곳에 잎을 꽃아 시들음을 방지하였지만 완전히 시들음을 방지하지 못한 경우는 실물의 상태를 육안으로 확인하였다.

섭식량은 먹이 제공용 페트리접시에 꽃기 전에 무게를 측정하였고, 일정 시간이 지난 후 먹고 남은 잎의 무게를 측정하여 시간당 섭식량을 결정하였다. 또한 주홍박각시 애벌레의 몸무게에 따른 섭식량을 결정하기 위하여 먹이를 제공할 때마다 애벌레의 몸무게를 측정하였다. 용화를 위해 더 이상 먹이 섭취를 하지 않은 후에도 매일 몸무게를 측정하여 몸무게 변화를 관찰하였다.

본 연구에 사용된 조름나물은 원주지방환경청의 멸종위기 야생생물 채취 및 보관에 관한 허가(허가번호 제2013-22호) 하에 연구에 사용되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 시간에 따른 몸길이와 몸무게의 변화

채집 당시 주홍박각시 애벌레의 몸무게는 0.86g-6.27g으로 다양하였다(Figs. 2 and 3). 6월에 채집한 애벌레 중 몸무게가 4g 이상인 애벌레의 경우 채집 3일 만에 변태기로 변하기 시작하였으며, 0.86g 애벌레는 10일 후 변태기로 변하였다(Fig. 2). 7월 15일 채집한 애벌레의 몸무게는 2.21g이었으며, 변태기가 되는 7.44g으로 자라는 데 3.9일이 걸렸으며(Fig. 3), 이 기간 동안 조름나물 잎 32개를 먹었는데, 이를 무게로 계산하면 17.33g이 되었다. 주홍박각시 애벌레는 변태기가 되기 직전에 몸무게가 4.16g-7.44g 사이에 분포하였다(Figs. 2 and 3).

애벌레가 변태기로 되기 시작하면서 똥을 싸고 물을 몸 밖으로 뱉었다. 그 결과 몸무게가 줄고, 크기가 작아지면서 껍질을 벗은 뒤 변태기가 되었다. 변태기로 용화하는 과정의 몸무게 변화를 측정한 3마리를 대상으로 계산한 평균 몸무게 감소는 최대 몸무게의 62.6%에 달하였다. 6월에 채

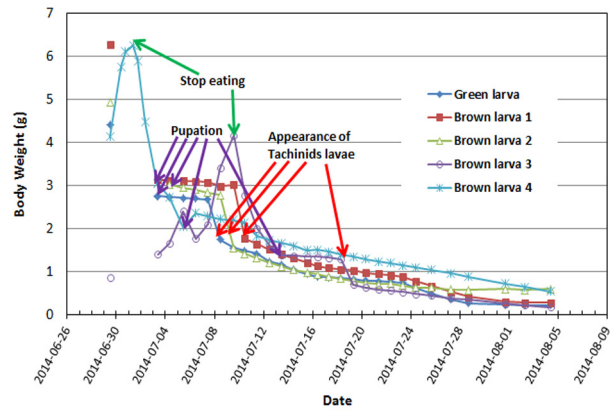
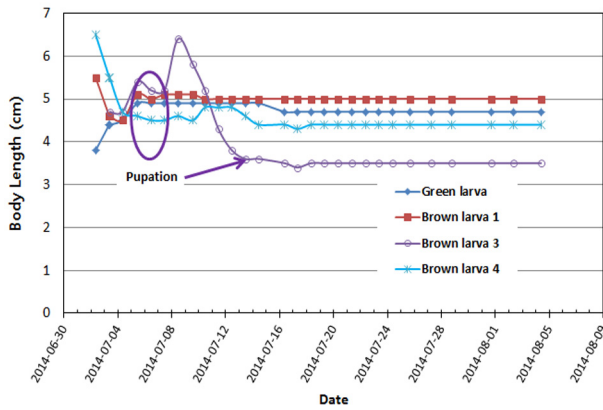


Fig. 2. Change of body length (left) and weight (right) of 5 Elephant hawk-moths with time. All pupae were dead due to Tachinids.

집한 개체는 번데기 상태에서 모두 죽어 우화한 개체는 하나도 없었다. 이는 기생파리에 의한 것으로 주홍박각시 번데기의 무게가 급격히 감소한 시기에 기생파리류 애벌레가 주홍박각시 번데기에서 나온 것으로 확인하였다. 기생파리류 애벌레는 모두 11마리가 5마리의 주홍박각시 번데기로 부터 밖으로 나와 번데기로 용화하였다.

7월에 채집한 개체는 번데기가 된 약 12일 후 성체로 우화하였다. 이 때 역시 몸에서 물이 빠져 나오고 몸무게가 57.1% 줄어들었다(Fig. 3). 우화한 성체는 수컷이었다.

애벌레로 먹이를 먹는 기간을 확인하기 위하여 다음과 같은 가정을 하여 모델링하였다. 부화 당시 주홍박각시 애벌레의 무게를 같은 과에 속하는 분홍등줄박각시가 부화했을 때의 무게인 0.002g으로(미발표 데이터), 몸무게의 증가는 지수함수적으로 증가하는 것으로 가정하였다. 채집 당시를 시간 0으로 하고, 용화 시작 시간을 4일(7.44g)로 하면 27일 동안 애벌레로 조름나물을 먹음을 알 수 있다(Fig. 4).

번데기 상태에서 죽은 주홍박각시의 경우 측정된 최대 몸무게는 4.16-6.27g 사이에 존재하였고, 번데기의 무게를 고려하면 최대 몸무게 범위는 4.0-7.5g 사이인 것으로 추정할 수 있다. 이 경우 애벌레 시기는 17-27일 사이가 된다. 그러나 용화가 시작될 때의 몸무게는 섭식기간과 일치하지 않는다. 실제로 섭식기간이 긴 애벌레의 경우 용화 시의 몸무게가 섭식기간이 짧은 애벌레의 용화 시 몸무게 보다 작은 경우가 대부분이었다(Fig. 2).

주홍박각시는 일 년에 두 번의 생활사를 가진다. 그러나 이번 실험은 첫 번째 생활사를 완성할 때까지만 진행되었다. 두 번째 생활사는 7-8월에 시작하여 가을에 번데기로 겨울을 나는 것으로 알려졌다(Balkenius et al., 2004). 두 번째 생활사에서는 먹이의 질이 다르기 때문에 애벌레의 먹이 먹는 습성이 달라질 수 있다. 또한 애벌레에서 번데기로 변하기까지의 기간, 번데기에서 나방이 되기까지의 기간이 달라지리라 예상된다. 이에 대한 연구가 지속되어야 우리나라에서 주홍박각시의 완전한 생활사가 완성될 수 있다.

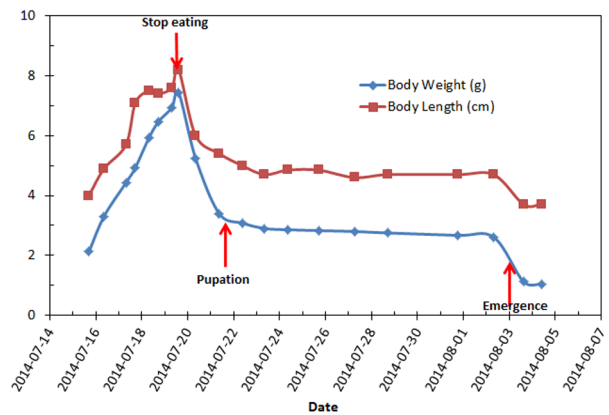


Fig. 3. Change of body length and weight of an Elephant hawk-moth from 5th instar to moth.

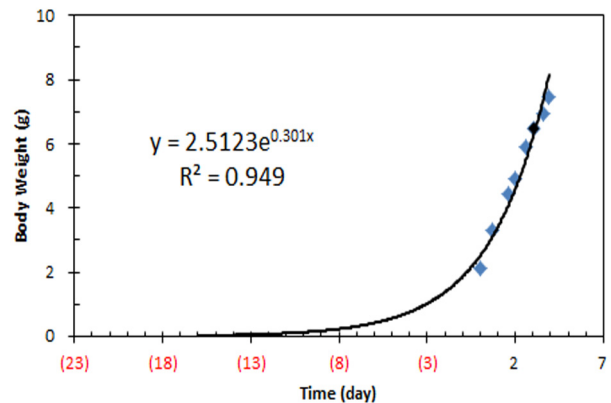


Fig. 4. Modeling of body weight change with time based on exponential growth.

3.2 주홍박각시 애벌레의 먹이 선호도

4차례의 실험에서 주홍박각시 애벌레는 먹이로 조름나물, 봉선화, 개머루, 담쟁이덩굴의 순으로 선호하였다(Table 1). 주홍박각시 애벌레는 조름나물을 가장 선호하였으며, 조름나물만 가장 먼저 다 먹고 다른 먹이를 먹거나, 봉선화와 조름나물을 번갈아가며 먹었다. 이후 개머루나 담쟁이덩굴의 잎을 먹었다. 땅비싸리는 두 번의 실험에서 전혀 먹지

Table 1. Food ingestion percentages of Elephant hawk-moth larva

Plant Species as food	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 4	Average
<i>Menanthesis trifoliata</i> (%)	27.8	36.6	100.0	53.8	54.5
<i>Impatiens balsamina</i> (%)	48.1	14.6	0.0	33.1	24.0
<i>Ampelopsis brevipedunculata</i> var. <i>heterophylla</i> (%)	24.1	26.3	0.0	3.6	13.5
<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (%)	0.0	22.4	0.0	9.4	8.0
<i>Indigofera kirilowii</i> (%)		0.0	0.0		0.0
Total (%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

않아 마지막 실험에서는 배제하고 실험을 계속하였다. 주홍박각시 애벌레는 평균적으로 조름나물, 봉선화, 개머루, 담쟁이덩굴, 땅비싸리를 각각 54.5%, 24.0%, 13.5%, 8.0%, 0% 섭식하였다. 이를 통해 주홍박각시가 실험에 사용한 5 가지 식물 중 조름나물을 가장 선호한다는 것을 알 수 있었지만, 습지에 존재하는 다른 먹이원으로 알려진 달맞이꽃, 부처꽃 등(Jung, 1997; Heo, 2012)을 함께 실험에 사용하지 못해 우리나라에서 가장 선호하는 먹이가 무엇인지는 확실하게 알 수는 없다. 다만, 식물군집의 우점종으로 나타나는 조름나물의 경우 피해가 심각할 수 있다는 가능성을 확인하였다.

많은 기주식물을 이용하는 곤충일지라도 주로 이용하는 기주식물은 특별한 종에 한정된다. 만약 선호하는 종이 없을 때 다른 종을 이용하는 것이 일반적이다(Park and Kim, 1990; Lee et al., 1997). 조름나물은 알칼로이드 성분을 가져(Junior, 1989; Huang et al., 1995) 고라니와 같은 일부 동물만이 섭식하는 것으로 알려졌지만, 주홍박각시 애벌레는 알칼로이드에 대한 내성을 가지기 때문에 조름나물을 먹는 것으로 보인다. 이러한 내성은 박각시과에 속하는 나방의 특징이기도 하다(Wink and Theile, 2002). 그러므로 주홍박각시가 조름나물을 선호한다는 사실은 조름나물의 생존에 매우 중요하게 다가올 수 있다.

3.3 주홍박각시의 몸무게와 섭식량과의 관계

주홍박각시 애벌레의 조름나물 섭식량은 몸무게와 거의 비례하였다(Fig. 5). 즉 몸무게가 가벼울 때에는 섭식량이 적었지만, 점점 몸무게가 늘어날수록 섭식량도 급격히 증가한다는 사실을 알 수가 있었다.

주홍박각시 애벌레의 몸무게 변화식(Fig. 4)과 섭식량과 몸무게의 관계식(Fig. 5)을 사용하면 주홍박각시가 일생동안 섭식하는 조름나물의 양을 계산할 수 있다. 주홍박각시가 Fig. 4에서 처럼 27일 동안 먹이를 먹는 경우 두 관계식에 따르면 부화 14일 쯤부터 섭식량이 양의 값을 가지게 된다. 몸무게가 약 4g과 7.5g이 되는 24일과 26.7일까지의 먹히는 조름나물 잎의 무게를 더하면 11.41g과 30.08g의 조름나물 잎을 먹는다는 결론을 얻게 된다. 이를 조름나물 잎의 평균 무게인 0.54g으로 나누면 약 21개에서 56개의 잎을 일생동안 먹음을 알 수 있다. 재배하는 통에서 조사한 것과 같이 조름나물을 가장 뺏뺏하게 재배한다고 가정할 때

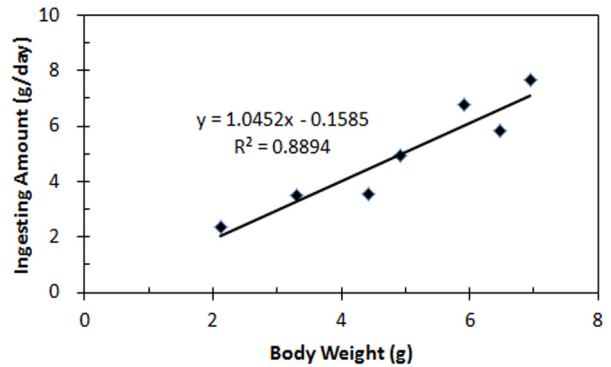


Fig. 5. Ingestion amount of Bog-bean leaf with body weight of Elephant hawk-moth.

잎의수로 환산하면 1m²에 잎이 676개가 있다. 주홍박각시 애벌레 한 마리가 평생 먹는 조름나물을 재배지의 면적으로 환산하면 0.03-0.08m²가 된다. 이는 주홍박각시 주변의 잎을 모두 먹기 때문에 한 마리의 주홍박각시가 이 면적에 해당하는 모든 잎을 먹어 조름나물을 죽일 수 있음을 의미한다. 이와 같이 주홍박각시는 조름나물의 생존에 매우 중요한 영향을 미칠 수 있다. 특히 주홍박각시가 지금까지 우리나라에서 그들의 먹이로 알려진 다른 식물보다 조름나물을 선호하기 때문에 멸종위기종인 조름나물을 보호하기 위해서는 주홍박각시가 조름나물에 정착하지 못하도록 하는 것이 매우 중요하다.

4. 결 론

구북구에 흔히 분포하는 주홍박각시는 우리나라의 멸종 위기종인 조름나물을 섭식함이 확인되었다. 특히 주홍박각시가 잘 먹는다고 알려진 봉선화보다도 더 선호하는 것으로 밝혀졌으므로 주홍박각시가 조름나물 군집에 확산될 경우 그 위험성이 매우 클 것으로 예상된다. 모델에 따르면 주홍박각시의 애벌레가 번데기로 용화되는 몸무게인 4-7.5g 까지 성장하는 데 조름나물 잎 11-30g을 섭식하는 것으로 나타났다. 이는 주홍박각시 애벌레 한 마리가 조름나물 군집 0.03-0.08m²를 완전히 황폐화시킬 수 있다는 것을 의미한다. 이와 같은 연구결과는 멸종위기종의 보존과 복원에 대한 주홍박각시의 위험성을 제시하며, 조름나물의 복원과 복원 연구에 이들의 섭식자인 주홍박각시에 대한 위해성 감소 연구도 함께 진행되어야 함을 제안한다.

감사의 글

본 연구를 수행하는 데 있어 주제 선정에 도움을 준 김도현과, 주홍박각시에게 먹이를 주고 무게를 측정하는 데 도움을 준 남보은, 이보은, 최호에게 감사드립니다. 본 연구는 환경부 “차세대에코이노베이션기술개발사업(416-111-010, 과제명: 습지생태계조성 및 자연생태 회복기술 개발)”으로 지원받은 과제임.

References

- Akkuzu, E, Ayberk, H and Inac, S (2007) Hawk moths (Lepidoptera: Sphingidae) of Turkey and their zoogeographical distribution, *J. of Environmental Biology*, 28(4), pp. 723-730.
- Balkenius, A, Kelber, A and Balkenius, C (2004) A model of selection between stimulus and place strategy in a Hawkmoth, *Adaptive Behavior*, 12(1), pp. 21-35.
- Bestmann, HJ, Erler, J, Garbe, W, Kern, F, Martischonok, V, Schäfer, D, Vostrowsky, O and Wasserthal, LT (1992) Pheromone components of the female elephant hawk-moth, *Deilephila elpenor*, and the silver-striped hawk-moth, *Hippotion celerio*, *Experientia*, 48(6), pp. 610-613.
- Han, M and Kim, JG (2006) Water-holding capacity of a floating peat mat decides the survival and growth of *Menyanthes trifoliata* L. (Bog bean) in an oligotrophic lake, *J. of Plant Biology*, 49(1), pp. 102-105.
- Heo, UH (2012) *Guide Book of Moth Larvae*. Nature and Ecology, Seoul
- Huang, C, Tunon, H and Bohlin, L (1995) Anti-inflammatory compounds isolated from *Menyanthes trifoliata* L., *Yao Xue Xue Bao*, 30, pp. 621-626.
- Jung, SH (1997) *Local distribution and seasonal fluctuation of the Sphingidae (Insecta: Lepidoptera) with some revisions of records in Korea*, Master's Thesis, Cheju National University, Cheju, Korea [Korean Literature]
- Junior, P (1989) Further investigations regarding distribution and structure of the bitter principles from *Menyanthes trifoliata*, *Planta Medica*, 55(1), pp. 83-87.
- Kim, HT, Lee, GM and Kim, JG (2013) The ecological characteristics and conservation counterplan of *Menyanthes trifoliata* habitat in floating mat in Korean east coastal lagoon, Sunyoodam, *J. of Wetlands Research*, 15(1), pp. 25-34. [Korean Literature]
- Kim, KC and Lee, TS (1985) Identification, larval host plant range, and damage of the fruit sucking moths to the major fruit in Cheonnam province, Korean *J. Plant Protection*, 24(4), pp. 183-190. [Korean Literature]
- Lee, G-H, Bae, S-D, Kim, H-J, Park, S-T and Choi, M-Y (2006) Economic injury levels for the common cutworm, *Spodoptera litura* (Fabricius)(Lepidoptera: Noctuidae) on soybean, *Korean J. Applied Entomology*, 45(3), pp. 333-337.
- Lee, G-M and Kim, JG (2011) Effects of habitat substrates and companion species on the growth of *Menyanthes trifoliata*, *J. of Korean Wetlands Society*, 13(3), pp. 613-621. [Korean Literature]
- Lee, GM and Kim, JG (2012) Effects of rhizome length and node numbers on the proliferation of *Menyanthes trifoliata* cuttings, *J. of Wetlands Research*, 14(2), pp. 193-198. [Korean Literature]
- Lee, SG, Kwon, YD, Kim, BK, Byun, BK, Oh, YG and Lee, BY (1997) Occurrence of *Mahasena aurea* (Butler) (Lepidoptera: Psychidae) attacking *Ginkgo biloba* L. and its life cycle in Korea, *Korean J. Applied Entomology*, 36(3), pp. 243-248. [Korean Literature]
- Park, JD and Kim, CK (1990) Host range, life cycle and natural enemies of Mulberry scale (*Pseudaulacaspis pentagona*) on *Prunus mume* in southern Korea, *Korean J. Applied Entomology*, 45(3), pp. 333-337. [Korean Literature]
- Wink, M and Theile, V (2002) Alkaloid tolerance in *Manduca sexta* and phylogenetically related Sphingids (Lepidoptera: Sphingidae), *Chemoecology*, 12, pp. 29-46.