

온대 낙엽수림에 서식하는 나비목 애벌레 다양성에 관한 연구

최세웅* · 김남희¹

목포대학교 환경교육과, ¹목포대학교 생물학과

Study of Lepidopteran Caterpillar Diversity in a Temperate Deciduous Forest

Sei-Woong Choi* and Nang-Hee Kim

Department of Environmental Education, Mokpo National University, Muan, Jeonnam 534-729, South Korea

¹Department of Biology, Mokpo National University, Muan, Jeonnam 534-729, South Korea

ABSTRACT: We investigated the diversity of lepidopteran larvae and their food plants in a 0.1 ha plot at Mt. Jirisan National Park, South Korea. The plant species in the plot were identified, and the lepidopteran larvae that fed on each plant in the plot were collected. Thus, we collected 141 plants of 16 species that belonged to 14 families and 159 lepidopteran larvae of 70 species that belonged to 11 families. Oak (*Quercus serrata*) was found to be the most favored plant species. Among the 11 lepidopteran families, the species richness and evenness of two families, Geometridae and Noctuidae, were the highest. On the basis of this study, we could assume the interaction between food plants and caterpillars in a temperate forest. Furthermore, we could estimate the species diversity of lepidopteran caterpillars in this temperate forest.

Key words: Temperate, Forest, Food plant, Lepidoptera, Caterpillar, Diversity

초 록: 나비목 종 다양성이 높은 지리산 온대 낙엽수림의 0.1 ha (33 m × 33 m) 방형구에서 나비목 애벌레와 기주식물의 다양성을 조사하였다. 방형구에 있는 식물의 종 및 개체수를 확인하고 이들 식물에서 먹이활동을 하는 애벌레를 채집하였다. 조사결과 14과 16종 141개체의 기주식물과, 11과 70종 159개체의 나비목 애벌레가 조사되었다. 나비목 애벌레는 졸참나무에서 가장 많이 채집되어 조사지역에서 선호 기주식물로 조사되었다. 채집된 애벌레의 종 다양성과 종 균등도는 자나방과와 밤나방과에서 가장 높게 나타났다. 이 연구를 통해 나비목 애벌레와 기주식물과의 관계를 알 수 있었으며, 나아가 온대림의 나비목 애벌레의 종 다양성을 추정할 수 있을 것이다.

검색어: 온대, 숲, 기주식물, 나비와 나방, 애벌레, 다양성

식물은 동물과 밀접한 상호작용을 하고 있으며 식물 다양성의 변화는 초식동물과 그들의 포식자, 그리고 기생자 사이의 다양한 먹이사슬에 영향을 미치게 된다(Siemann, 1998). 초식성 동물 중 특히 초식곤충은 생물다양성의 주요한 부분을 이루고 있다(Novotny et al., 2006; Lewinsohn and Roslin, 2008; Axmacher et al., 2009). 온대 낙엽수림에서 초식곤충은 절지동물 개체의 약 75%를 구성하며, 절지동물 생물량의 약 50%, 절지동물 종의 약 25%를 차지하고 있다(Grimaldi and Engel, 2005). Basset et al. (2012)은 파나마 열대우림에 분포하는 절지동물을 조사

한 결과 6,000 ha의 숲에 25,000종의 절지동물이 분포할 것으로 추정하였으며, 이는 열대림 절지동물 생물다양성의 60% 이상을 차지하는 것이라고 주장하였다. 초식곤충은 주로 딱정벌레류(Coleoptera), 나비, 나방류(Lepidoptera), 노린재류(Hemiptera), 메뚜기류(Orthoptera), 대벌레류(Phasmatodea) 등으로 이루어져 있다. 특히 나비와 나방이 포함된 나비목은 종 수가 가장 많은 그룹 중 하나로 알려져 있으며, 나비목 곤충의 99% 이상이 식물을 먹는 초식곤충이다(Strong et al., 1984; Murakami et al., 2005).

식물 종 다양성은 곤충의 종 다양성과 양의 상관관계를 보이고, 많은 실험연구들에서 식물 다양성을 증가시키는 것은 초식 곤충 다양성을 증가시키는 것을 발견하였다(Pimentel, 1961; Root, 1973; Altieri and Letourneau, 1982; Lawton, 1983; Altieri,

*Corresponding author: choisw@mokpo.ac.kr

Received May 2 2014; Revised June 13 2014

Accepted July 8 2014

1984; Siemann, 1998; Siemann et al., 1998). 또한 초식곤충의 지역적인 종 풍부도는 식물의 종 풍부도 뿐만 아니라 식물 종 개체수에 따라서도 결정된다(Novotny et al., 2004). 결국 초식곤충과 식물은 긴밀한 관계를 이루고 있으며, 식물의 다양성을 통해 초식곤충의 다양성도 추정할 수 있다.

Novotny et al. (2006)은 열대지역 곤충 다양성이 온대보다 높은 이유에 대하여 열대림 식생이 계통발생적으로 더 다양하기 때문이라고 주장하였다. 즉 열대림 식생의 계통발생적 다양성은 곤충 군집 다양성을 증가시켜 열대지역 곤충 다양성이 높다는 것이다. 이렇듯 최근 생물 종 다양성이 풍부한 열대지역에 분포하는 초식곤충의 다양성에 대해 많은 연구들이 수행되고 있으며 전통적으로 유럽이나 미국 등 온대지역에서도 초식곤충의 다양성에 대한 연구는 잘 이루어졌지만(Southwood, 1961; Kennedy and Southwood, 1984; Csóka and Szabóky, 2005) 국내에서는 초식곤충 다양성 및 기주식물과의 관계에 관한 연구가 거의 전무한 상태로 현재에는 애벌레 사육을 통한 기주식물을 밝혀나가고 있는 수준이다.

본 연구는 우리나라 식생대를 대표하는 온대림 지역에서 나비목 애벌레의 다양성과 그들의 먹이원이 되는 기주식물의 다양성을 파악하고자 하며, 이를 바탕으로 온대지역 나비목 애벌레의 다양성을 추정하는 기초자료를 제공하고자 시행되었다.

재료 및 방법

조사지 선정 및 조사 방법

온대림은 수평적으로 북위 35°~43°20'까지이며, 연평균기온이 6~14°C의 범위로 고산지대를 제외한 우리나라 넓은 지역의 식생이 여기에 포함된다. 지리산은 해발고도 1,300 m 이하의 지역이 온대림에 속하게 되는데 침엽수로는 소나무, 향나무 등이 활엽수는 상수리나무, 굴참나무, 졸참나무, 떡갈나무, 서어나무류, 밤나무류, 느티나무, 물푸레나무류, 노각나무 등이 우점하고 있다(Yim and Kim, 1992). 조사 지역은 지리산국립공원내 낙엽활엽수가 자생하고 침엽수가 최소한으로 분포하고 있는 지역을 대상으로 전라남도 구례군 광의면 (E127°29'39", N35°17'31", 고도 660 m)의 한 지점을 선정하였다. Choi et al. (2011)의 연구를 토대로 지리산 지역에서 종 다양도가 가장 높게 나타나는 고도가 600-900 m이기 때문에 이들 고도 중 채집하기에 접근이 용이한 지역을 조사지점으로 선정하였다.

기주식물 다양성과 나방 애벌레 다양성을 조사하기 위하여 조사지역에 0.1 ha (33 m × 33 m) 방형구를 설치하였다. 조사 대상 나무는 성숙도를 고려해 DBH (diameter at breast height, 흉고직경) ≥ 5 cm인 나무로 선정하였다(Novotny et al., 2004). 조사 방형구 안에 있는 일정 크기 이상의 목본 식물을 모두 조

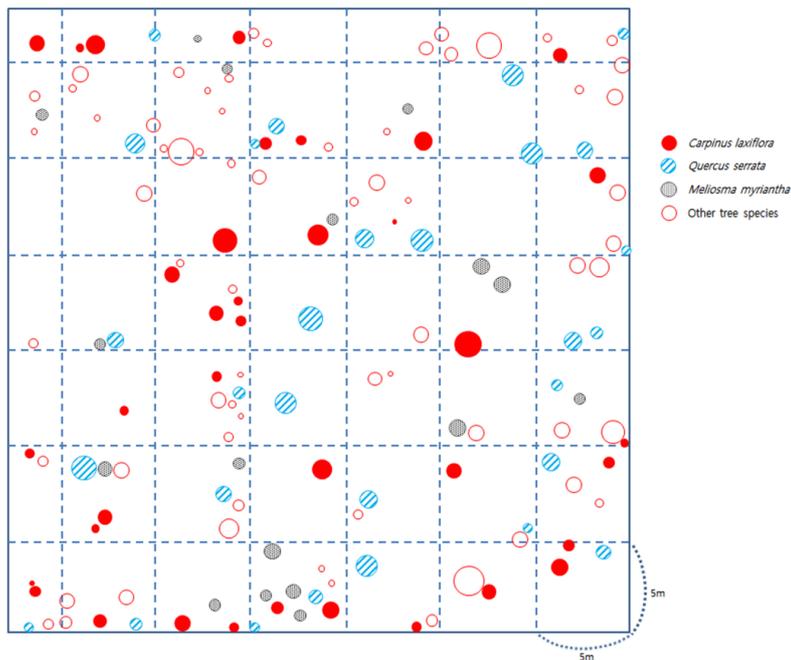


Fig. 1. Distribution of plants in a 0.1 ha plot of Mt. Jirisan National Park, South Korea. Each dot color represents different plant species, and different dot size indicates the relative size of DBH of each plant.

사한 후, 각 나무별로 번호를 부여하여 수목 분포지도를 작성하였다(Fig. 1).

각 수종에 서식하는 애벌레 현황을 알아보기 위하여 조사원들이 직접 관찰하여 채집하는 육안조사법(searching)을 이용하였다(Novotny et al., 2006). 조사구안의 대부분 나무 높이는 10 m 이상으로 각 나무의 수관부(canopy)를 포함한 상단부에는 접근이 어렵다. 조사는 최고 3 m 높이까지 고지가위를 이용하여 접근이 가능한 나뭇가지에 서식하고 있는 것만 채집하였다.

조사는 2013년 5월과 8월에 걸쳐 이루어졌다. 지리산을 포함한 우리나라 남부지방은 나방 성충이 가장 많이 출현하는 시기가 6월로 알려져 있기 때문에 이 시기 이전인 5월(봄철)과 장마 이후 가을 개체군이 출현하기 이전인 8월(여름철)에 이루어졌다. 조사는 봄과 여름 2회씩 총 4차례에 걸쳐 이루어졌으며 채집시간(sampling effort, 인원수 × 시간)은 총 36 man × hr로 5월에 26 man × hr, 8월 12 man × hr로 이루어졌다.

애벌레 사육

조사지점에서 채집한 애벌레는 장일조건(Light 16 h : Dark 8 h), 25°C, 수분 65%의 Growth Chamber에서 사육하였다. 애벌레는 사육통(91.3 mm in diameter, 38.2 mm in depth)에서 한 마리씩 사육하였다. 먹이식물은 애벌레가 채집되었던 식물들 함께 채집하여 매일 신선한 잎을 공급하였다. 사육은 애벌레가 성충으로 우화하거나 죽을 때까지 이루어졌다. 우화한 개체는 도감을 이용하거나 분류학자의 도움을 받아 동정되었으며, 우화에 실패하여 죽은 개체는 형태종(morphospecies)으로 과(family) 수준까지 동정하였다(Yamamoto et al., 1987; Kononenko et al., 1998; Kim et al., 2001; Shin, 2001; Sohn, 2006; Komai et al., 2011; Huh, 2012). 죽은 개체는 100%에탄올에 보존처리 하였고, 성체는 건조 표본으로 만들어 목포대학교 환경교육과 표본실에 보관하였다.

데이터 분석

기주식물에 따라 채집된 나비목 애벌레 종수와 개체수를 바탕으로 종 다양성 지수인 Fisher's alpha 지수와 종 균등도 지수인 Simpson 지수를 산출하였다. 여기에서 산출한 각 지수 계산식은 다음과 같다.

Fisher's α 다양성지수

$$S = \alpha \times l_n \left(1 + \frac{n}{\alpha}\right)$$

S 는 종수, α 는 Fisher's alpha, n 은 개체수이다.

Simpson's 균등도지수(evenness index)

$$E = \frac{1/D}{S}$$

D 는 Simpson의 다양도 지수를 나타내고 S 는 종수를 나타낸다.

Simpson's 다양도지수(diversity index)

$$D = \frac{\sum n(n-1)}{N(N-1)}$$

n 은 각 종의 개체수, N 은 총 개체수이다.

채집된 애벌레 종수와 개체수에 대한 기대예측종수(number of estimated species)를 산출하기 위해 Chao 1값(EstimateS, Version 9.1.0, Colwell, 2013)을 계산하였다.

$$S_{chaol} = S_{obs} + \frac{n_1(n_1 - 1)}{2(n_2 + 1)}$$

여기에서 S_{chaol} = 기대종수, S_{obs} = 관찰 종수, n_1 = 한 개체만 있는 종수(singletons), n_2 = 두 개체만 있는 종수(doubletons)이다.

식물에 대한 나비목 애벌레의 기주 특이성(host specificity)은 Lloyd's index (L)를 이용하였다. Lloyd 지수는 채집한 애벌레 종이 기주식물로 하는 식물 종들의 분포값의 분산을 수량화한 것으로 평균값에 분산을 표준화한 가장 좋은 방법으로 알려져 있다. 계산된 값이 작을수록 균등한 분포를 나타내는데 이것은 다식성이라는 것을 의미하며 값이 클수록 애벌레 기주식물 선택폭이 줄어드는 단식성이다(Novotny and Basset, 2000).

$$L = \frac{S^2 x - \bar{X}}{X^2} + 1$$

S^2 는 각 애벌레 종별 기주식물 수의 분산, \bar{X} 는 각 애벌레 종별 기주식물 수의 평균이다. 우리는 Lloyd's index를 로그로 치환한 값에 1을 더한 수식을 이용하여 애벌레의 기주식물에 대한 특이성(host specificity)을 계산하였다.

결과

지리산 조사지역 0.1 ha (33 m × 33 m) 방형구 안에서 분포하고 있는 일정 크기 이상(DBH ≥ 5 cm)의 식물은 총 14과 16종 141개체가 확인되었다. 0.1ha 방형구 내의 식물은 전체 조사면적의 약 20%(192.94 m²)를 차지하고 있었다. 조사된 식물 중 서어나무(*Carpinus laxiflora*)는 37개체로 가장 많았고, 졸참나무(*Quercus serrata*) 29개체, 나도밤나무(*Meliosma myriantha*) 17개체, 노각나무(*Stewartia pseudocamellia*) 12개체 등의 순서로 나타났다(Table 1). 각 수목별 횡단면 면적인 기저면적(Basal area)은 졸참나무가 73.47 m², 소나무 56.7 m², 서어나무 40.19 m²로 개체수와 비슷한 양상을 나타내고 있으나 졸참나무가 서어나무보다 더 넓은 면적을 차지하고 있었다. 16종의 식물 중 쇠물푸레나무(*Fraxinus sieboldiana*), 함박꽃나무(*Magnolia sieboldii*), 소나무(*Pinus densiflora*), 때죽나무(*Styrax japonicas*), 느티나무(*Zelkova serrata*)를 제외한 11종의 수종에서 나비목 애벌레가 채집되었다.

각 수종별로 채집된 애벌레를 살펴보면 졸참나무에서 25종 36개체의 애벌레가 조사되었고, 서어나무에서는 19종 28개체,

나도밤나무에서는 16종 23개체, 노각나무에서 13종 21개체, 산딸나무에서 6종 29개체 등이 조사되었다. 산딸나무(*Cornus kousa*)에서는 상대적으로 애벌레의 종이 다양하지 않지만 많은 개체수가 채집되었다(Fig. 2).

조사된 모든 먹이식물에 따른 애벌레 종 다양도 지수(Fisher's α)는 47.78로 나타났고, 졸참나무에서 36.24로 가장 높았으며, 산딸나무에서 2.30으로 가장 낮았다. 전체 종 균등도 지수(Simpson's E)는 0.94로 나타났고, 졸참나무에서 0.94로 최대 값을 나타냈으며, 산딸나무에서 0.36으로 가장 낮게 산출되었다. Lloyd's index는 1의 값에서 가장 많은 종이 나타났다(Fig. 3).

나비목 애벌레는 총 13과 70종 159개체가 채집되었다(Fig. 4). 채집된 애벌레 중 자나방과(Geometridae) 애벌레는 32종으로 전체 채집된 종수의 약 46%로 가장 많았고, 밤나방과(Noctuidae) 애벌레는 18종으로 약 26%를 차지하였다. 개체수는 밤나방과 48개체, 자나방과 48개체, 잎말이나방과(Tortricidae) 38개체로 나타났다. 조사 지역에서 채집된 애벌레 중 우점종은 잎말이나방과인 *Rhopobota* sp1 32개체로 가장 많았다. 70종의 애벌레 중 하나의 개체만 채집된 singleton은 24종으로 약 34%를 차지하였다.

Table 1. Summary of the plants and caterpillars that feed on these plants in a 0.1 ha plot of Mt. Jirisan National Park, South Korea

Plant family	Plants		n	Total basal area(m ²)	Caterpillars	Diversity (Fisher's α)	Evenness (Simpson's E)
Aceraceae	<i>Acer pseudosieboldianum</i>	당단풍나무	2	0.31	yes	26.78	0.84
Betulaceae	<i>Carpinus laxiflora</i>	서어나무	37	40.19	yes	26	0.93
Cornaceae	<i>Cornus kousa</i>	산딸나무	8	1.59	yes	2.30	0.36
Euphorbiaceae	<i>Sapium japonicum</i>	사람주나무	2	0.32	yes	9.28	0.72
Fagaceae	<i>Quercus serrata</i>	졸참나무	29	73.47	yes	36.24	0.94
Lauraceae	<i>Lindera erythrocarpa</i>	비목나무	2	1.10	yes	2.62	0.44
Magnoliaceae	<i>Magnolia sieboldii</i>	함박꽃나무	1	0.09	no	0	0
Oleaceae	<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	물푸레나무	3	3.61	yes	0	0
Oleaceae	<i>Fraxinus sieboldiana</i>	쇠물푸레나무	1	0.39	no	0	0
Pinaceae	<i>Pinus densiflora</i>	소나무	13	56.7	no	0	0
Rosaceae	<i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i>	벚나무	4	6.30	yes	0	0.5
Sabiaceae	<i>Meliosma myriantha</i>	나도밤나무	17	2.96	yes	23.3	0.91
Styracaceae	<i>Styrax japonicas</i>	때죽나무	4	0.92	no	0	0
Styracaceae	<i>Styrax obassia</i>	쪽동백나무	2	0.19	yes	0	0.7
Theaceae	<i>Stewartia pseudocamellia</i>	노각나무	12	2.97	yes	14.56	0.89
Ulmaceae	<i>Zelkova serrata</i>	느티나무	4	1.83	no	0	0
Total			141	192.94		47.78	0.94

n: Number of individual plants with diameter at breast height ≥ 5cm.

Caterpillars: Presence of caterpillars feeding on the plant species.

Diversity and evenness: Diversity and evenness indices of herbivores for each plant species.

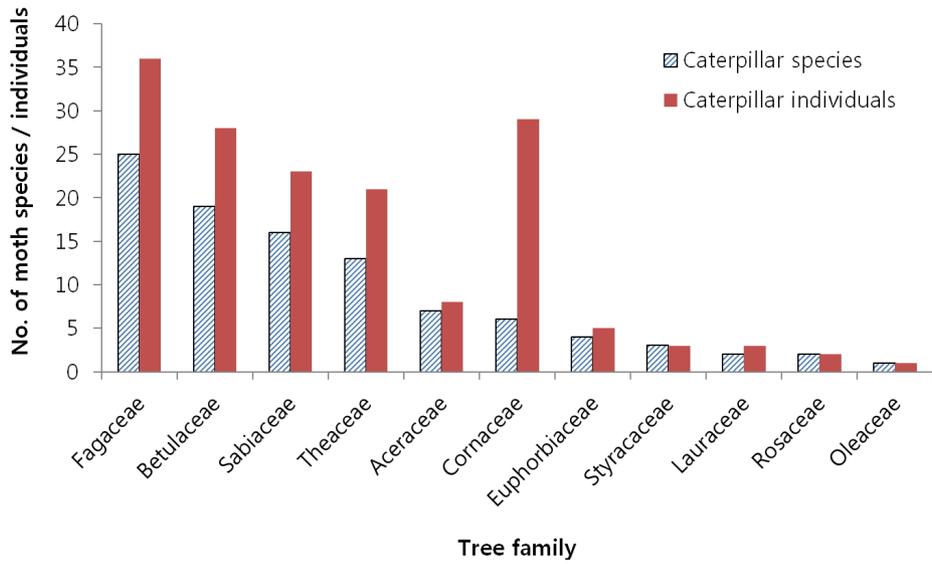


Fig. 2. Number of moth species and individuals collected from each host plant species at the family level.

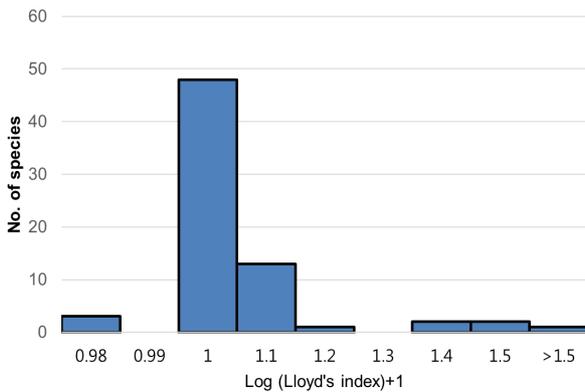


Fig. 3. Host specificity distribution (log (Lloyd's index) + 1) of caterpillars that were collected from 11 plant species in a 0.1 ha plot of Mt. Jirisan National Park, South Korea.

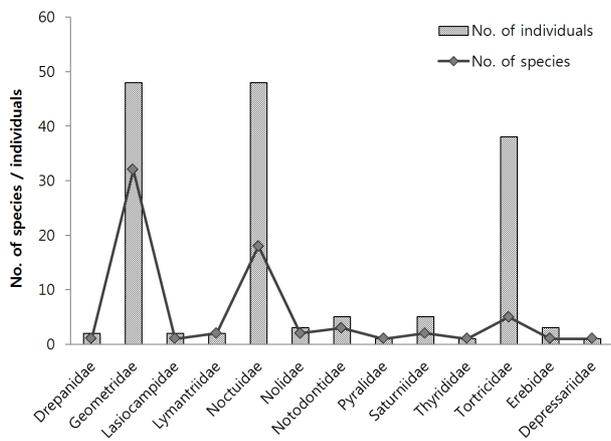


Fig. 4. Number of caterpillar species and individuals of Lepidoptera in a 0.1 ha plot of Mt. Jirisan National Park, South Korea.

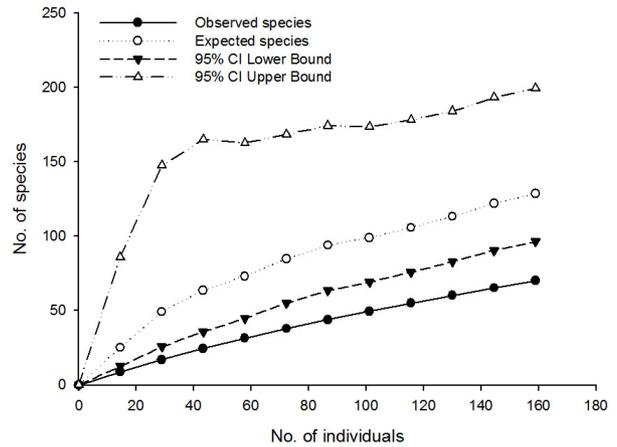


Fig. 5. Species accumulation curve for the observed and expected caterpillar species that feed on 16 plant species in a 0.1 ha plot of Mt. Jirisan National Park, South Korea.

채집된 나비목 애벌레의 종 누적 곡선(species accumulation curve)를 이용하여 그린 그래프에서 기대종수의 추정값이 점근선에 도달하지 않았음을 알 수 있었다. 1년간 채집된 애벌레의 종수와 개체수에 의한 예측종수(Chao 1)를 산출한 결과 128종으로 나타나 1년간 조사된 종은 예측종수의 54.7%로 나타났다 (Fig. 5).

고찰

지리산 온대림 0.1 ha 방형구 안의 목본식물 조사 결과 서어나무가 37개체로 우점하였지만 졸참나무의 기저면적이 가장

넓게 나타났으며 졸참나무에서 확인된 애벌레는 25종 36개체로 가장 많은 종이 채집되었다. 출현 애벌레 종 균등도(species evenness)도 졸참나무에서 높은 값이 산출되는 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 결과는 애벌레가 먹이를 선택하는 폭의 차이나 기주특이성(host specificity)과 관련이 있을 것으로 생각된다. 유럽에서 이루어진 나무 수종에 따른 초식동물 자료에 의하면 가장 많은 동물의 먹이원으로 참나무류(*Quercus* spp.)가 확인되었는데 영국에서는 423종(Southwood, 1961; Kennedy and Southwood, 1984), 헝가리에서는 630종(Csóka and Szabóky, 2005)의 초식곤충이 기록되었다. 참나무류를 기주로 삼는 무척추동물 중 나비목 애벌레는 평균 66%를 차지하여 가장 우점하는 것으로 나타났다(Southwood et al., 2004). 일본에서 참나무류를 기주식물로 이용하는 나비목 곤충의 애벌레도 230여종이 확인되었다(Teramoto, 1996). 독일에서는 졸참나무류에서 695종의 초식곤충이 기록되었고 이 중 44%가 나비목 애벌레로 나타났으며, 서어나무류에서 158종의 초식곤충이 조사되었고 42%의 종이 나비목 애벌레로 기록되었다(Brändle and Brandl, 2001). 이러한 결과는 초식곤충 중에서도 나비목 애벌레가 40-60%로 가장 풍부한 것을 나타내며 특히 참나무류를 이용한 초식곤충 다양성이 유럽 및 아시아 지역에서 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 금번 지리산 조사에서 확인된 70종의 초식곤충 중 35.7%인 25종이 참나무류에서 확인되어 다른 수종보다 훨씬 높은 비중을 차지하는 것으로 나타나 추후 조사지역을 넓혀 연구가 이루어진다면 참나무류를 기주로 삼는 초식곤충의 다양성을 더 정확하게 파악할 수 있을 것으로 생각한다.

금번 지리산 조사에서 기주식물이 확인된 애벌레 중 23%의 종이 2개 식물 속(genus) 이상을 먹이식물로 섭식하는 것으로 나타나 다식성(Polyphagous) 초식곤충으로 조사되었으며 54종의 애벌레는 한 가지 식물만 먹는 단식성(Monophagous) 초식곤충으로 조사되었다(Table 2). 이는 Lloyd's 지수값을 조사한 결과와 유사한 양상을 띠는데 지리산 조사지역에서 발견된 애벌레들이 한 나무에서 한 개체만 발견되어 1에 이르는 수치가 높게 나타나는 것을 볼 수 있었다(Fig. 3). 기주식물에 대한 초식곤충 군집의 기주 특이성은 열대지역과 온대지역 사이에서 차이가 없다는 결과가 제안되고 있다(Beaver, 1979; Fiedler, 1995; Novotny et al., 2006). 다만 곤충의 다양성에 영향을 주는 요인은 열대우림 지역 식물의 계통학적 다양성이 온대림보다 더 높은 것이라고 주장하고 있다. 열대우림 지역과 지리산에서 채집된 애벌레의 기주 특이성에 대한 Lloyd's index의 값을 비교했을 때 열대지역과 온대지역 모두 아주 낮은 값부터 높은 값까지 큰 폭을 나타내고 있다(Novotny et al., 2006; Fig. 3). 그러나 지리산 지역에서는 지수값의 폭이 열대우림에서 얻어진 값

에 비해 아주 좁게 나타나는데 이러한 결과는 애벌레 채집을 위한 조사가 충분히 이루어지지 않았을 뿐만 아니라 나비목 애벌레 종 동정에도 한계가 있었기 때문으로 생각한다. 추후 채집 노력 및 애벌레 동정 기술이 늘어난다면 열대지역과 유사한 양상을 띠 것으로 생각한다.

열대지역 초식곤충에 관한 Novotny and Basset(2000)의 연구에서는 채집된 잎을 씹어먹는 입을 가진 곤충의 45%가 한 개체만 채집되는 singleton으로 조사되었다. Coddington et al. (2009)은 열대지역 절지동물조사에서 종의 32%가 singleton이라고 보고하였다. 이번 지리산 조사에서 채집된 나비목 애벌레 중 singleton의 비율은 약 34.3%로 나타나 열대지역과 지리산 조사지역 초식곤충의 singleton 비율은 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. Singleton의 비율이 높게 나타나는 것에 대해서는 채집 과정에서의 문제, 다식성 또는 실제로 각 생물이 지닌 희귀한 특성 등이 제시되고 있다(Novotny and Basset, 2000). 지리산에서의 나비목 성충을 대상으로 연구한 바에 의하면 한 개체만 잡히는 singleton 비율이 전체 지역 평균은 27%로 낮지만 지역적으로는 38-47%로 높은 값을 보이고 있다. 또한 미국 서부 오레곤지역에서도 singleton비율은 지리산보다는 낮은 21%지만 지역적으로는 26-36%로 높게 나타나는 것을 볼 수 있다(Choi and Miller, 2013). 채집이 비교적 용이한 성충의 singleton 비율보다 애벌레의 비율이 높게 나타난 것은 채집하는 과정에서의 문제가 크게 작용했을 것으로 추정한다.

1년간 이루어진 조사 결과를 바탕으로 예측중수는 점근선에 도달하지 못했다(Fig. 5). 다른 지역에 비해 오래된 임분이 비교적 많이 남아 있는 지리산은(Kim et al., 2012) 수령이 오래된 나무가 많아 대부분 기저면적이 넓고 높이가 10 m 이상으로 매우 높다. 키가 큰 나무로 이루어진 숲은 수관부(canopy)까지 접근하는데 한계가 있기 때문에 우리가 접근하지 못했던 곳에서 서식하는 많은 초식곤충을 놓쳤을 것이다(Basset et al., 2001; Novotny et al., 2004). 따라서 차후 조사에서는 나무의 높이를 고려하여 채집이 시행되어야 하며, 채집시간(sampling effort)을 늘리는 노력이 필요할 것이다. 이러한 문제를 해결한다면 조사 방법에 따른 샘플링 오차를 줄일 수 있을 것이다. 또한 지속적인 샘플링을 통해 추가적인 종을 알아낼 수 있을 것이다. 최근에 시행된 많은 연구결과에서 이야기하듯이 지리산 조사지역에서도 식물 종수가 증가할수록 나비목 애벌레의 종수도 함께 증가할 것으로 예측된다. 0.1 ha 보다 더 넓은 지역의 식물 종 다양도를 파악한다면 0.1 ha 이상의 온대지역에서 서식하고 있는 나비목 애벌레의 종 다양도를 추정할 수 있을 것이다. 더불어 지리산 지역의 다른 고도에서 조사가 이루어져 비교분석을 한다면 온대지역의 애벌레 종 다양성을 더욱 잘 이해할 수

Table 2. List of moth species that feed on food plant(s) in a 0.1 ha plot of Mt. Jirisan National Park, South Korea

Moth Family	Moths	Food breadth	Food plants from this study
Erebidae	<i>Latirostrum bisacutum</i>	Mono	<i>Meliosma myriantha</i>
Oecophoridae	<i>Depressaria irregularis</i>	Mono	<i>Quercus serrata</i>
Geometridae	<i>Odontopera arida</i>	Mono	<i>Cornus kousa</i>
Geometridae	<i>Duliophyle agitata</i>	Mono	<i>Meliosma myriantha</i>
Geometridae	<i>Idiotephria amelia</i>	Mono	<i>Stewartia pseudocamellia</i>
Geometridae	<i>Eulithis convergenata</i>	Mono	<i>Carpinus laxiflora</i>
Geometridae	<i>Acrodontis kotshubeji</i>	Poly	<i>Quercus serrata, Acer pseudosieboldianum</i>
Geometridae	<i>Phigalia verecundaria</i>	Mono	<i>Quercus serrata</i>
Geometridae	<i>Dindica virescens</i>	Mono	<i>Lindera erythrocarpa</i>
Geometridae	sp 1	Mono	<i>Quercus serrata</i>
Geometridae	sp 2	Mono	<i>Acer pseudosieboldianum</i>
Geometridae	sp 3	Mono	<i>Carpinus laxiflora</i>
Geometridae	sp 21	Mono	<i>Quercus serrata</i>
Geometridae	sp 22	Mono	<i>Quercus serrata</i>
Geometridae	sp 23	Mono	<i>Quercus serrata</i>
Geometridae	sp 24	Mono	<i>Quercus serrata</i>
Geometridae	sp 25	Poly	<i>Quercus serrata, Meliosma myriantha, Prunus serrulata var. spontanea</i>
Geometridae	sp 26	Mono	<i>Quercus serrata</i>
Geometridae	sp 27	Mono	<i>Stewartia pseudocamellia</i>
Geometridae	sp 28	Mono	<i>Meliosma myriantha</i>
Geometridae	sp 30	Mono	<i>Stewartia pseudocamellia</i>
Geometridae	sp 31	Poly	<i>Quercus serrata, Carpinus laxiflora</i>
Geometridae	sp 32	Mono	<i>Cornus kousa</i>
Geometridae	sp 33	Mono	<i>Quercus serrata</i>
Geometridae	sp 34	Mono	<i>Carpinus laxiflora</i>
Geometridae	<i>Racotis petrosa</i>	Mono	<i>Lindera erythrocarpa</i>
Geometridae	sp 36	Mono	<i>Quercus serrata</i>
Geometridae	<i>Ennomos autumnaria</i>	Mono	<i>Carpinus laxiflora</i>
Geometridae	sp 39	Mono	<i>Quercus serrata</i>
Geometridae	sp 40	Mono	<i>Sapium japonicum</i>
Geometridae	sp 41	Mono	<i>Meliosma myriantha</i>
Geometridae	sp 42	Mono	<i>Cornus kousa</i>
Geometridae	sp 43	Poly	<i>Quercus serrata, Meliosma myriantha, Carpinus laxiflora, Stewartia pseudocamellia</i>
Geometridae	sp 44	Poly	<i>Stewartia pseudocamellia, Sapium japonicum</i>
Geometridae	sp 45	Mono	<i>Carpinus laxiflora</i>
Lasiocampidae	<i>Pyrosis eximia</i>	Poly	<i>Quercus serrata, Meliosma myriantha</i>
Lymantriidae	sp 4	Mono	<i>Stewartia pseudocamellia</i>
Lymantriidae	sp 5	Mono	<i>Meliosma myriantha</i>
Noctuidae	sp 15	Mono	<i>Meliosma myriantha</i>
Noctuidae	<i>Orthosia odiosa</i>	Poly	<i>Quercus serrata, Meliosma myriantha, Carpinus laxiflora</i>

Table 2. Continued

Moth Family	Moths	Food breadth	Food plants from this study
Noctuidae	<i>Catocala nupta</i>	Mono	<i>Quercus serrata</i>
Noctuidae	<i>Bhima idiota</i>	Mono	<i>Quercus serrata</i>
Noctuidae	<i>Catocala nagioides</i>	Mono	<i>Quercus serrata</i>
Noctuidae	Noctuidae sp 1	Mono	<i>Meliosma myriantha</i>
Noctuidae	<i>Amphipyra pyramidae</i>	Mono	<i>Carpinus laxiflora</i>
Noctuidae	<i>Sypnoides hercules</i>	Mono	<i>Quercus serrata</i>
Noctuidae	sp 8	Poly	<i>Carpinus laxiflora, Stewartia pseudocamellia, Styrax obassia</i>
Noctuidae	sp 9	Poly	<i>Quercus serrata, Meliosma myriantha, Carpinus laxiflora</i>
Noctuidae	sp 10	Poly	<i>Quercus serrata, Carpinus laxiflora, Acer pseudosieboldianum</i>
Noctuidae	sp 11	Mono	<i>Quercus serrata</i>
Noctuidae	sp 12	Mono	<i>Meliosma myriantha</i>
Noctuidae	sp 13	Mono	<i>Prunus serrulata var. spontanea</i>
Noctuidae	sp 14	Mono	<i>Quercus serrata</i>
Noctuidae	<i>Cosmia sanguinea</i>	Mono	<i>Stewartia pseudocamellia</i>
Noctuidae	sp 17	Mono	<i>Stewartia pseudocamellia</i>
Noctuidae	sp 18	Mono	<i>Acer pseudosieboldianum</i>
Noctuidae	sp 19	Mono	<i>Carpinus laxiflora</i>
Nolidae	sp 49	Mono	<i>Sapium japonicum</i>
Nolidae	sp 50	Mono	<i>Carpinus laxiflora</i>
Notodontidae	<i>Stauropus fagi</i>	Poly	<i>Carpinus laxiflora, Fraxinus rhynchophylla</i>
Notodontidae	sp 46	Poly	<i>Carpinus laxiflora, Acer pseudosieboldianum</i>
Notodontidae	sp 47	Mono	<i>Carpinus laxiflora</i>
Pyralidae	sp 7	Mono	<i>Stewartia pseudocamellia</i>
Saturniidae	<i>Agria tau</i>	Poly	<i>Cornus kousa, Carpinus laxiflora</i>
Saturniidae	<i>Antheraea yamamai</i>	Mono	<i>Meliosma myriantha</i>
Thyrididae	sp 48	Mono	<i>Styrax obassia</i>
Tortricidae	<i>Rhopobota</i> sp1	Poly	<i>Cornus kousa, Meliosma myriantha, Stewartia pseudocamellia, Acer pseudosieboldianum, Styrax obassia</i>
Tortricidae	<i>Archips viola</i>	Poly	<i>Meliosma myriantha, Stewartia pseudocamellia</i>
Tortricidae	<i>Homonopsis foederatana</i>	Poly	<i>Meliosma myriantha, Stewartia pseudocamellia, Acer pseudosieboldianum</i>

Mono. Monophagous that feeds on one plant, Poly. Polyphagous that feeds more than 2 different plants.

있을 것이다.

Thein, 정재호, 김현호에게 감사의 말을 전합니다.

사 사

본 연구는 한국연구재단(2012R1A2A2A01003910)의 지원을 받아 수행되었습니다. 애벌레 및 나방 동정을 도와주신 김성수 선생님, 손재천 박사님과 애벌레 채집에 도움을 준 목포대학교 환경교육과 환경생태학 실험실 안정섭, 김대주, Pyae Pyae

Literature Cited

- Altieri, M.A., 1984. Patterns of insect diversity in monocultures and polycultures of Brussels sprouts. *Prot. Ecol.* 6, 227-232.
 Altieri, M.A., Letourneau, D.K., 1982. Vegetation management and biological control in agroecosystems. *Crop Prot.* 1, 405-430.
 Axmacher, J.C., Brehm, G., Hemp, A., Tunte, H., Lyaruu, H.V.M.,

- Hohenstein, K.M., Fiedler, K., 2009. Determinants of diversity in afro-tropical herbivorous insects (Lepidoptera: Geometridae): plant diversity, vegetation structure or abiotic factors? *J. Biogeogr.* 36, 337-349.
- Basset, Y., Aberlenc, H.P., Curletti, H.B.G., Berenger, J.M., Vesco, J.P., Causse, P., Haug, A., Hennion, A.S., Lesobre, L., Marquès, F., O'meara, R., 2001. Stratification and diel activity of arthropods in a lowland rainforest in Gabon. *Biol. J. Linn. Soc.* 72, 585-607.
- Basset, Y., Cizek, L., Cuénoud, P., Didham, R.K., Guilhaumon, F., Missa, O., Novotny, V., Ødegaard, F., Roslin, T., Schmidl, J., Tishechkin, A.K., Winchester, N.N., Roubik, D.W., Aberlenc, H.P., Bail, J., Barrios, H., Bridle, J.R., Meneses, G.C., Corbara, B., Curletti, G., Rocha, W.D., Bakker, D.D., Delabie, J.H.C., Dejean, A., Fagan, L.L., Floren, A., Kitching, R.L., Medianero, E., Miller, S.E., Oliveira, E.G., Orivel, J., Pollet, M., Rapp, M., Ribeiro, S.P., Roisin, Y., Schmidt, J.B., Sørensen, L., Leponce, M., 2012. Arthropod diversity in a tropical forest. *Science* 338, 1481-1484.
- Beaver, R.A., 1979. Host specificity of temperate and tropical animals. *Nature* 281, 139-141.
- Brändle, M., Brandl, R., 2001. Species richness of insects and mites on trees: expanding Southwood. *J. Anim. Ecol.* 70, 491-504.
- Choi, S.W., Miller, J.C., 2013. Species richness and abundance among macromoths: A comparison of taxonomic, temporal and spatial patterns in Oregon and South Korea. *Entomol. Res.* 43, 312-321.
- Choi, S.W., AN, J.S., Na, S.H., Lee, J., 2011. Temporal variation in different life stages of moth (Lepidoptera) from a southwestern temperate forest of Korea: A preliminary study. *J. Asia-Pacific Entomol.* 14, 293-298.
- Coddington, J.A., Agnarsson, I., Miller, J.A., Kunter, M., Hormiga, G., 2009. Undersampling bias: the null hypothesis for singleton species in tropical arthropod surveys. *J. Anim. Ecol.* 78, 573-584.
- Colwell, R.K., 2013. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9. User's Guide and application published at: <http://purl.oclc.org/estimates>.
- Csóka, G., Szabóky, C., 2005. Checklist of herbivorous insects of native and exotic oaks in Hungary I. *Acta Silv. Ling. Hung.* 1, 59-72.
- Fiedler, K., 1995. Lycaenid butterflies and plants: Hostplant relationships, tropical versus temperate. *Ecotropica* 1, 51-58.
- Grimaldi, D., Engel, M., 2005. Evolution of the insects. Cambridge University Press, Cambridge.
- Huh, W.H., 2012. Guide book of moth larvae. Econature, Seoul.
- Kennedy, C.E.J., Southwood, T.R.E., 1984. The number of species of insects associated with British trees: a re-analysis. *J. Anim. Ecol.* 53, 455-478.
- Kim, H.J., Jung, M.H., Jung, J.B., Kim, M.P., Park, H.K., Jo, S.H., Park, P.S., 2012. Understorey species diversity in three forest stands in the western part of Mt. Jiri. *Jour. Korean For. Soc. Joint Conference of Forest Science 2012*, pp. 781-783.
- Kim, S.S., Beliaev, E.A., Oh, S.H., 2001. Illustrated catalogue of Geometridae in Korea (Lepidoptera: Geometridae, Ennominae). Korea Research Institute of Bioscience & Biotechnology, Korea.
- Komai, F., Yoshiyasu, Y., Nasu, Y., Saito, T., 2011. A guide to the Lepidoptera of Japan. Tokai University Press, Tokyo.
- Kononenko, V.S., Ahn, S.B., Ronkay, L., 1998. Illustrated catalogue of Noctuidae in Korea (Lepidoptera). Korea Research Institute of Bioscience & Biotechnology, Korea.
- Lawton, J.H., 1983. Plant architecture and the diversity of phytophagous insects. *Ann. Rev. Entomol.* 28, 23-39.
- Lewinsohn, T.M., Roslin, T., 2008. Four ways towards tropical herbivore megadiversity. *Ecol. Lett.* 11, 398-416.
- Murakami, M., Yoshida, K., Hara, H., Toda, M.J., 2005. Spatio-temporal variation in Lepidopteran larval assemblages associated with oak, *Quercus crispula*: the importance of leaf quality. *Ecol. Entomol.* 30, 521-531.
- Novotny, V., Basset, Y., 2000. Rare species in communities of tropical insect herbivores: pondering the mystery of singletons. *Oikos* 89, 564-572.
- Novotny, V., Basset, Y., Miller, S.E., Kitching, R.L., Laidlaw, M., Drozd, P., Cizek, L., 2004. Local species richness of leaf-chewing insects feeding on woody plants from one hectare of a lowland rainforest. *Conserv. Biol.* 18, 227-237.
- Novotny, V., Drozd, P., Miller, S.E., Kulfan, M., Janda, M., Basset, Y., Weiblen, G.D., 2006. Why are there so many species of herbivorous insects in tropical rainforests? *Science* 313, 1115-1118.
- Pimentel, D., 1961. Species diversity and insect population outbreaks. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 54, 76-86.
- Root, R., 1973. Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (*Brassica oleracea*). *Ecol. Monogr.* 43, 95-124.
- Shin, Y.H., 2001. Coloured illustrations of the moths of Korea. Academybook publishing, Seoul.
- Siemann, E., 1998. Experimental tests of effects of plant productivity and diversity on grassland arthropod diversity. *Ecology* 79, 2057-2070.
- Siemann, E., Tilman, D., Harrstad, J., Ritchie, M., 1998. Experimental tests of the dependence of arthropod diversity on plant diversity. *Am. Nat.* 152, 738-750.
- Sohn, J.C., 2006. Illustrated guide of larvae in the pocket. Hwangsoguleum, Seoul.
- Southwood, T.R.E., 1961. The number of insect species associated with various trees. *J. Anim. Ecol.* 30, 1-8.
- Southwood, T.R.E., Wint, G.R.W., Kennedy, C.E.J., Greenwood, S.R., 2004. Seasonality, abundance, species richness and specificity of the phytophagous guild of insects on oak (*Quercus*) canopies. *Eur. J. Entomol.* 101, 43-50.
- Strong, D.R., Lawton, J.H., Southwood, T.R.E., 1984. Insects on

plant: Community patterns and mechanisms. Blackwell Scientific, Oxford.

Teramoto, N., 1996. Studies on Lepidopterous insect fauna on fagaceous plants, as the food plants of the wild silk moth *Antheraea Yamamai*. Spec. Bull. Shiga Agric. Exp. Stat. 19, 1-216.

Yamamoto, M., Nakatomi, K., Sato, R., Nakajima, H., Owada, M., 1987. Larvae of larger moths in Japan. Kodansha, Tokyo.

Yim, Y.J., Kim, J.U., 1992. The vegetation of Mt. Chiri National Park. A study of flora and vegetation. The Chung-Ang University Press, Seoul.