

## 온대낙엽수림에서 초식곤충의 계절과 고도에 따른 먹이활동 양상 연구

김남희 · 최세웅<sup>1,\*</sup>

목포대학교 생물학과, <sup>1</sup>목포대학교 환경교육학과

**Seasonal and Elevational Pattern of Herbivore's Feeding Activity in Temperate Deciduous Forest. Kim, Nang-Hee and Sei-Woong Choi<sup>1,\*</sup> (Department of Biology, Mokpo National University, Muan 534-729, Korea; <sup>1</sup>Department of Environmental Education, Mokpo National University, Muan 534-729, Korea)**

**Abstract** This study was conducted to clarify the seasonal and elevational pattern of herbivore's feeding pattern in a temperate deciduous forest. We investigated the herbivore's feeding activity for three years (2011 ~ 2013) at three survey sites in Mt. Jirisan National Park (Piagol, Siamjae, Nogodan). We selected target tree species based on the dominance across the sites (*Quercus*, *Acer*, *Rhododendron* and *Carpinus*) and scored herbivore's feeding activity every one or two weeks from April to June using leaf damage index. We found that the herbivory started early at the low elevation site (Piagol,  $\approx 300$  m), and the highest feeding activity occurred at the mid elevation site (Siamjae,  $\approx 900$  m). At the highest elevation site (Nogodan,  $\approx 1300$  m), the herbivory started late, but the total feeding activity accumulated quickly. Compared to the breeding time of Varied tit, an insectivore bird, it was overlapped with the feeding activity period of herbivores, suggesting close interaction among plants, insects and birds in this deciduous forest. We suggested a need of long-term monitoring of this tri-trophic interaction since duration of herbivore activity can be changed followed by climate change.

**Key words:** herbivore, season, elevation, deciduous forest, tri-trophic interaction

## 서 론

산림생태계의 산림환경 변화를 모니터링 할 때 이용되는 많은 지표 분류군 중 환경의 변화를 감지하기에는 무척추동물 분류군이 매우 유용하다. 이는 용이한 채집, 군집의 기능적 중요성, 높은 서식지 특수성, 잘 알려진 분류적 특성 등의 특징이 있기 때문이다 (Oliver and Beattie, 1996; Langor and Spence, 2006; Yi and Kim,

2010). 또한 무척추동물 개체는 작은 온도 변화에도 생리적으로 민감하게 반응하기 때문에 최근 기후변화와 생물다양성 연구에 개체의 생활사를 포함하여 분석하는 연구가 꾸준히 증가하고 있는 추세이다 (Lee, 2012).

초식곤충은 새나 박쥐와 같은 포식성 동물의 먹이원이 됨으로써 식물과 2차소비자 사이를 이어주는 기능을 하여 생태계 내에서 에너지 및 물질 흐름의 고리 역할을 수행하게 된다 (Wilson, 1992). 먹이사슬의 가교 역할을 하는 초식성 곤충은 먹이자원이 되는 식물의 분포에 영향을 받게 되며, 식물의 분포는 서식지 고도에 영향을 받는다. 고도의 변화는 기온, 습도, 바람, 서식지의 질의 변화로 이어지기 때문에 산지에 서식하는 종의 생태에 많은 영향을 준다 (Scott, 2006). Scheidel *et al.* (2003)은

Manuscript received 13 January 2014, revised 5 February 2014, revision accepted 6 February 2014  
\* Corresponding author: Tel: +82-61-450-2783, Fax: +82-61-450-2789, E-mail: choisw@mokpo.ac.kr

높은 고도에서 식물과 곤충개체군에 가장 중요하게 작용하는 기후적 변수는 고도와 함께 감소하는 온도라고 하였으며, Grime (2001)은 이러한 환경적인 고난 증가에 따른 초식의 감소를 추정하였다. 무척추동물 분류군 중 하나인 초식성 곤충의 활동에 대한 모니터링이 장기적이고 지속적으로 이루어진다면 고도 및 기후 변화에 따른 생물종간의 상호작용과 생태계에 대한 변화를 예측할 수 있을 것이다.

온대 낙엽활엽수림에서 식물 잎은 겨울을 나기 위해 겨울눈을 형성하고 봄이 되면 잎이 피기 시작하며 여름이 되면 무성한 숲을 이루다가 가을이 되면 단풍이 들고 겨울에는 잎을 떨어뜨리는 뚜렷한 계절성을 갖는다 (Park, 2001). 낙엽활엽수는 낙엽과정 (leaf fall)을 거치기 때문에 기존 잎의 탈락이 불확실하여 여러 해의 식흔이 누적되는 상록활엽수에 비해 한 해의 식흔량을 관찰하기에 용이하다. 또한 낙엽활엽수의 잎이 개엽 (leaf unfolding)하는 시기부터 식물과 초식곤충 간의 긴밀한 상호작용을 갖게 된다. 온대 지역은 열대 지역과 다르게 계절에 따라 먹이 이용 가능성의 변이가 크고 시공간적으로 역동적인 변화를 보여 (Morse, 1971), 식물, 곤충, 2차소비자의 상호작용 네트워크 (interaction network)가 긴밀하다고 할 수 있다 (Lowman, 1985; Floyd, 1996; Park, 2001). 따라서 이 연구는 계절변화에 따른 고도별 초식곤충의 섭식활동에 대한 특성을 알고, 식물과 초식곤충, 그리고 곤충을 먹이원으로 하는 다른 동물 분류군과의 상호작용을 밝히고자 시행되었다. 또한 이들의 상관관계를 살펴봄으로써 기후변화에 따른 생태계 변화 양상을 파악하기 위한 기초 자료를 제시하고자 하였다.

## 조사 및 방법

### 1. 연구 장소

조사 지역은 지리산국립공원으로 산악형 국립공원 중

가장 넓은 면적을 차지하고, 위도상 북위 35° 13'50" ~ 35° 27'00", 동경 127° 27'50" ~ 127° 49'50"에 위치하고 있으며 전체 면적은 483.022 km<sup>2</sup>에 이른다 (National Park Research Institute, 2011; Kwon *et al.*, 2012). 지리산국립공원에서 고도가 다른 세 지점을 조사 지역으로 선정하였다. 세 지점은 피아골 (E127° 34'57", N35° 15'29", ≈ 300 m), 시암재 (E127° 29'45", N35° 18'01", ≈ 900 m), 노고단 (E127° 31'26", N35° 17'44", ≈ 1300 m)으로, 온대 낙엽활엽수림 지역이고, 현재 환경부 장기생태연구가 진행되고 있는 곳이다. 또한 각 조사지역별로 인공새집이 설치되어 있어 이것을 이용하는 새와 그 먹이원이 되는 초식성 곤충간의 곤충-2차소비자 사이의 상호관계를 간접적으로 예상할 수 있는 곳이기도 한다.

### 2. 조사 방법

조사 수종은 낙엽활엽수로 사전 식생조사를 통해 각 조사 지역에서 우점하는 수종을 중심으로 선정하였다. 고도에 따라 서식하고 있는 수종이 다르게 나타났지만 가능한 분류학적으로 동일한 속 (genus)을 선택하였으며 단풍나무속 (*Acer*), 참나무속 (*Quercus*), 진달래속 (*Rhododendron*), 서어나무속 (*Carpinus*) 등이 선정되었다. 피아골 조사지역에서는 진달래속의 수종이 분포하고 있지 않아 온대낙엽수림의 대표적인 수종이면서 이 지점에서 우점종으로 나타난 서어나무를 선정하였다. 그 결과 피아골 조사지역은 당단풍나무 (*Acer pseudosieboldianum*), 서어나무 (*Carpinus laxiflora*), 졸참나무 (*Quercus serrata*)이며, 시암재 조사지역은 당단풍나무 (*A. pseudosieboldianum*), 신갈나무 (*Q. mongolica*), 진달래 (*Rhododendron mucronulatum*), 노고단 조사지역에서는 당단풍나무 (*A. pseudosieboldianum*), 신갈나무 (*Q. mongolica*), 철쭉 (*R. schlippenbachii*)을 선정하였다 (Table 1).

식흔 관찰은 지난 3년간 (2011~2013) 잎의 개엽 (leaf unfolding)이 관찰되는 시기인 4월부터 조류의 번식기간이 완료되는 6월까지 1~2주 간격으로 하였다. 조사는

Table 1. The information of three survey sites of Mt. Jirisan National Park.

	Survey site		
	Piagol	Siamjae	Nogodan
Altitude (m)	310~330	904~977	1330~1350
Geographical grid	E 127° 34'57" N 35° 18'01"	E 127° 29'45" N 35° 17'44"	E 127° 31'26" N 35° 15'29"
Target tree species	<i>Acer pseudosieboldianum</i> <i>Quercus serrata</i> <i>Carpinus laxiflora</i>	<i>A. pseudosieboldianum</i> <i>Q. mongolica</i> <i>Rhododendron mucronulatum</i>	<i>A. pseudosieboldianum</i> <i>Q. mongolica</i> <i>R. schlippenbachii</i>

**Table 2.** Leaf damage Index (Nakamura *et al.*, 2008) used in this study.

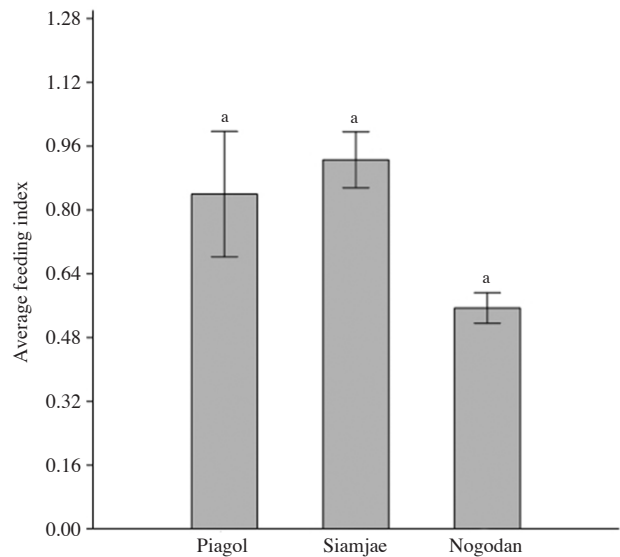
Grade	Leaf damaged area
0	0%
1	1 ~ 12.4%
2	12.5 ~ 24%
3	25 ~ 49%
4	50 ~ 74%
5	75 ~ 100%

개엽하기 전 각 수종별로 5개체씩 나무를 선정한 후 4월부터 1주 간격으로 개엽 여부를 확인하였고, 개엽이 관찰된 시점부터 식흔 조사를 시작하였다. 60개 잎을 무작위로 선정(수종별 총 300장의 잎)하여 그 잎에 있는 초식성 곤충의 흔적을 조사하였다. 곤충에 의한 흔적 조사는 잎을 채집하지 않은 채 육안조사를 통해 이루어졌으며, 매년 새로운 잎을 무작위 선정하여 조사를 실시하였다. 식흔 면적을 기준으로 총 6가지 등급으로 구분하였다. 식흔이 전혀 없는 나뭇잎을 0등급, 12.5% 미만을 1등급, 12.5%에서 25% 미만을 2등급, 25%에서 50% 미만을 3등급, 50%에서 75% 미만을 4등급, 75%에서 100%를 5등급으로 구분하였다(Nakamura *et al.*, 2008; Table 2). 고도에 따른 초식곤충 식흔 활동에 대한 통계분석은 각 조사지 사이에 차이가 없다는 가설 검증을 위하여 Kruskal-Wallis 분석을 하였고, PAST프로그램을 이용하였다(PAST version 2.17c, Hammer *et al.*, 2001).

## 결 과

2011년부터 2013년까지 고도가 다른 세 지역에서 초식성 곤충의 섭식활동을 조사한 결과 고도와 시기별로 식흔 활동이 다르게 나타났다. 조사지역 중 중간고도인 시암재(≈900m)에서 가장 많은 식흔이 나타났고, 피아골(≈300m), 노고단(≈1200m) 순으로 식흔량이 높게 나타났다. 피아골의 식흔 지수 평균값은 0.84이었으며, 시암재에서는 0.93, 노고단에서는 0.55로 조사되어 시암재의 연 평균 식흔양은 다른 조사지점보다 높으나 통계적으로는 큰 차이를 나타내지 않은 것으로 나타났다(ANOVA d.f.=2, F=3.65, P=0.09; Fig. 1). 고도별로 나타난 식흔은 연도별로 차이를 나타냈는데 2011년에는 통계적으로 의미가 없었지만(Kruskal-Wallis test, P=0.20), 2012년과 2013년에는 유의하게 나타났다(Kruskal-Wallis test, P<0.05).

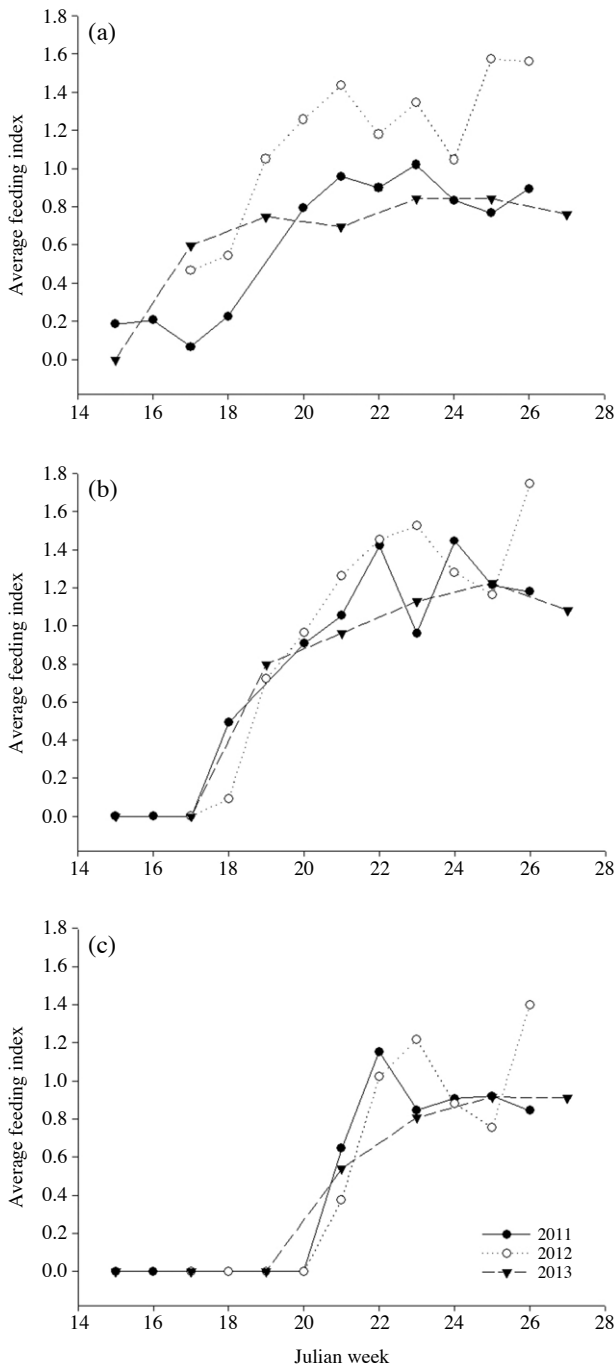
각 지점별 2011~2013년 평균 식흔 지수는 연도별로



**Fig. 1.** Average feeding index of three tree species at each site from 2011 to 2013. Survey site and examined tree species: Piagol (*Acer pseudosieboldianum*, *Quercus serrata*, *Carpinus laxiflora*), Siamjae (*A. pseudosieboldianum*, *Q. mongolica*, *Rhododendron mucronulatum*), Nogodan (*A. pseudosieboldianum*, *Q. mongolica*, *R. schlippenbachii*). Average feeding indices among sites were significantly not different for three years (ANOVA P=0.09).

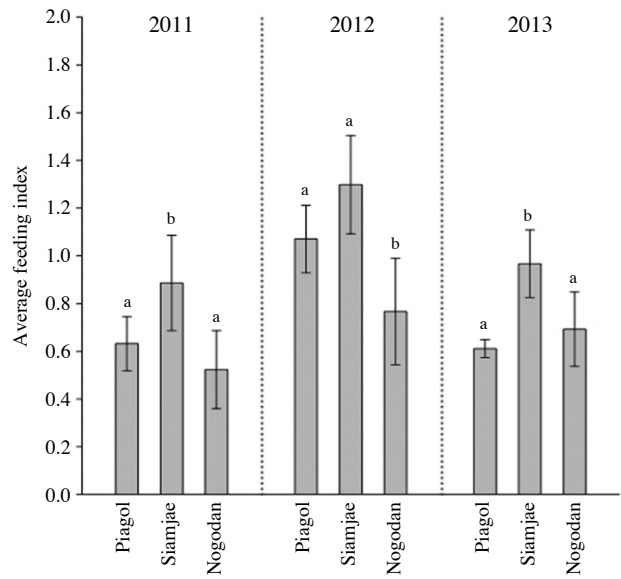
차이가 나타났지만 모두 봄에서 여름으로 갈수록 증가하는 경향을 나타내고 있다(Fig. 2). 2011년 피아골에서는 15주(Julian week)에 처음으로 식흔이 나타났으며, 18주와 21주 사이에 식흔량이 급속히 늘어난 이후 증감을 반복하는 패턴이 나타났다(Fig. 2a). 17주에 초기 식흔이 관찰된 2012년에는 2011년에 비해 2주가량 늦게 초식곤충의 활동이 시작되었고, 2011년도와 마찬가지로 21주까지 식흔량이 증가한 뒤 증감을 반복하는 형태를 보였다. 2013년에는 15주에 초기 식흔이 나타났으며, 일부 초식활동이 줄어드는 기간이 있긴 하지만 예년에 비해 대체로 완만한 상승세를 보였다. 2011년 피아골에서는 23주에 초식곤충의 섭식활동이 가장 높게 나타났으며, 2012년에는 25주, 2013년에는 23, 25주에 식흔량이 가장 많았다.

중간고도인 시암재에서는 2011년, 2012년, 2013년 모두 피아골보다 식흔 활동이 늦게 시작되었다. 2011년에 초식성 곤충의 활동이 18주부터 시작되어 더 낮은 고도인 피아골보다 3주 정도 늦게 시작되었고, 21주까지는 지속적으로 식흔량이 증가하였으며, 23주 이후에 감소하였다가 다시 증가하여 증감을 반복하는 경향을 보였다(Fig. 2b). 2012년 시암재에서는 최초 식흔 관찰일이



**Fig. 2.** Yearly changes of average feeding index of three tree species at each site for three years (2011~2013). See Table 1 for tree species of each site. (a) Piagol, (b) Siamjae, (c) Nogodan.

18주로 피아골보다 1주일 늦었으며, 23주까지 식혼량이 증가하였고 24~25주에는 감소하였다가 26주에 다시 증가하였다. 2013년에는 19주에 초기 식혼이 관찰되어

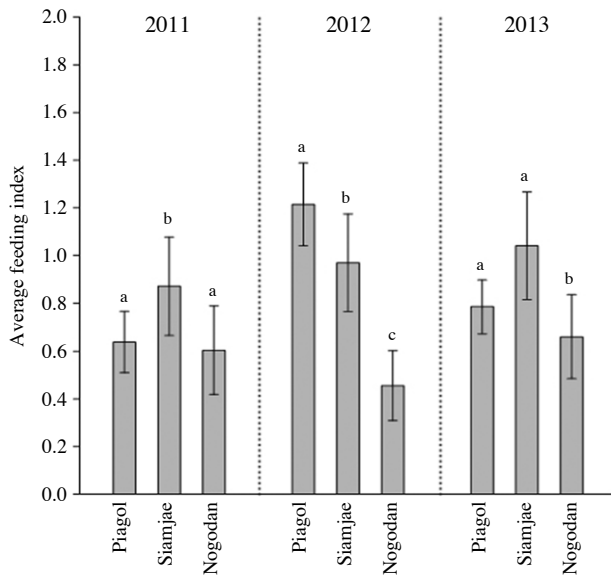


**Fig. 3.** Difference of average feeding index ( $\pm$  standard error) of maple tree (*Acer pseudosieboldianum*) at three survey sites of Mt. Jirisan from 2011 to 2013. Different alphabets indicate statistically different value at  $P < 0.05$  (Kruskal-Wallis test).

15주에 초식활동이 시작되었던 피아골보다 4주 늦게 나타났고, 25주까지 식혼량이 완만하게 증가하였으며 27주에 약간 감소하였다. 2011년에는 24째주에 식혼이 가장 많았고, 2012년에는 26주, 2013년에는 25주에 식혼활동이 가장 높게 조사되었다.

노고단에서는 2011년, 2012년, 2013년 모두 고도가 낮은 피아골과 시암재보다 최초 식혼이 늦게 나타났으며, 2011~2013년 식혼 활동 시작은 모두 21주부터 나타났다(Fig. 2c). 2011년과 2012년 식혼 활동이 22주까지 증가 후 23번째 주 이후로 감소한 후 다시 증가하는 경향은 비슷하게 나타났고, 2013년에는 27주까지 지속적으로 완만하게 증가하는 패턴으로 나타났다. 또한 2011년에는 22주에 가장 식혼이 많았고, 2012년에는 26주, 2013년에는 25주에 가장 곤충의 섭식활동이 활발했다.

각 조사 지역의 공통 수종인 당단풍나무(*Acer pseudosieboldianum*)에 대한 초식 곤충의 초식활동의 누적량을 비교해보면 2011년부터 2013년까지 모두 중간 고도인 시암재에서 가장 많은 식혼을 관찰할 수 있었다(Fig. 3). 참나무류(*Quercus serrata*, *Q. mongolica*)는 2011년, 2013년 시암재에서 식혼량이 가장 많았고, 2012년에는 당단풍나무와는 다르게 피아골에서 식혼량이 가장 높게 나타났다(Fig. 4). 서어나무와 진달래류의 초식



**Fig. 4.** Difference of average feeding index ( $\pm$  standard error) of oak trees (*Quercus serrata*, *Q. mongolica*) at three survey sites of Mt. Jirisan from 2011 to 2013. Different alphabets indicate statistically different value at  $P < 0.05$  (Kruskal-Wallis test).

성 곤충의 활동량을 비교했을 때 식혼 누적량은 2011년과 2013년에는 시암재가 가장 높았고, 2012년에는 피아골에서 최대값을 나타내었다.

## 고찰

### 1. 초식 곤충의 시공간적 활동 양상

연도와 시기별로 최초 식혼 관찰 시기가 다르게 나타났으며 낮은 고도에서 높은 고도로 갈수록 초식성 곤충의 활동시기가 늦어졌다(Fig. 2). 식혼은 개엽이 나타난 이후부터 성장을 멈출 때까지 증가하는 경향을 보였다. 낮은 고도에 속하는 피아골에서는 15주에서 17주 사이에 최초 섭식활동이 나타났고, 시암재에서는 18~19주에 최초 식혼이 나타나 고도가 더 낮은 피아골보다 초식곤충의 활동이 늦게 나타났다. 노고단에서는 최초 식혼 관찰일이 21주로 고도가 낮은 피아골과 시암재보다 섭식활동이 늦게 시작되었다.

고도별로 초기 식혼 관찰시기가 다르게 나타나는 이유는 고도 증가에 따른 기온 감율에 의해 평야지보다 산간지대에서 저온이 형성되고(Bonan, 2002), 이에 따라 식물의 생장기간 및 곤충 발육기간이 늦어지게 된다. 그러므로 곤충의 먹이원이 되는 식물의 개엽 또한 고도

가 높은 지점에서 낮은 지점보다 지연되어 해발고도에 따른 초식성 곤충의 섭식활동 차이가 나타나게 되는 것으로 예상된다. 2011~2013년 동안 높은 고도인 노고단에서 곤충의 섭식활동이 가장 적게 나타났는데 이는 해발고도의 증가에 따른 서식지 면적의 감소(Choi and An, 2010)와 토양수분의 감소 및 낮은 기온 등의 열악한 환경으로 인한 수목생장의 한계에 따른 것(Yu *et al.*, 2010)으로 높은 고도에서 초식곤충의 먹이 섭식활동이 감소한다는 것을 의미하게 된다.

지리산 조사 지역에서 초식성 곤충의 섭식 활동은 각 고도별로 차이가 나타났다. 2011년과 2013년에 중간고도( $\approx 900$  m)인 시암재에서 가장 높은 활동을 보였고, 그 다음으로는 낮은 고도( $\approx 300$  m)인 피아골, 높은 고도( $\approx 1300$  m)인 노고단 순으로 곤충의 먹이 활동이 활발하게 나타나는 양상을 보여 2012년을 제외하고는 중간 고도에서 가장 높은 곤충의 활동이 나타났다(Fig. 1). 이러한 고도에 따른 초식곤충의 섭식활동은 해당 고도에 서식하는 곤충 종 다양성과 밀접한 연관을 가지고 있으며, 종 다양성은 서식지 면적, 먹이식물의 분포, 기후 등과 같은 여러 요인들과 관련이 있을 것으로 예상된다. 특히 지리산에서 연구된 생물 종 다양성의 고도별 분포 양상을 보면 중간고도에서 종 다양성이 높게 나타나는 경향이 관찰되었다(Ra *et al.*, 1991; Lim *et al.*, 1992; Choi and An, 2010). 지리산에서 조사된 나방 종 다양성 분포는 중간고도(700~900 m)에서 종 다양성이 높게 나타나는 단봉형태를 나타내었으며(Choi and An, 2010), Lim *et al.* (1992)은 노래기류(Milliped)의 고도별 분포 연구에서 700~800 m 고도에서 종 다양성이 가장 높게 나타나는 결과를 얻었다. 강도래목(Plecoptera)의 분포도 마찬가지로 750 m의 고도에서 종 다양성이 높게 나타나(Ra *et al.*, 1991) 초식성 곤충 이외의 다른 섭식동물군(부식자)에서도 중간 고도에서 종 다양성이 높았다는 결과를 확인할 수 있다.

총 3년 조사 기간 중 2012년에 전체 식혼 누적량이 가장 많았고, 2013년에 식혼 누적량이 가장 적게 나타나 연도별로 식혼량의 차이가 나타났다(Fig. 2). 2011년, 2013년에는 중간고도인 시암재에서 식혼활동이 가장 높게 나타난 반면 2012년은 피아골에서 가장 높았다. 또한 공통 수종인 당단풍나무와 참나무류, 그리고 진달래류와 서어나무의 초식성 곤충의 활동량을 비교해 보면 수종과 조사 연도에 따라 상이하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 식혼 관찰 초기에는 피아골이 시암재보다 식혼량이 더 많았지만 2011년에는 18주에 시암재의 식혼량이 피아골의 식혼량을 앞섰고, 2012년에는 21주,

2013년에는 23주 이후부터 시암재의 식혼량이 피아골의 식혼량을 초과하였다. 노고단의 경우 초기 식혼 관찰 시기가 21주로 다른 조사지역보다 늦게 관찰되었지만 곤충의 섭식활동은 짧은 시간 동안 급속히 증가하는 것을 볼 수 있었다(Fig. 2c). 연도에 따른 식혼 누적량의 변동은 기존 연구에서도 비슷한 추세를 보였는데, Schwenk *et al.* (2010)은 이러한 변화는 식물이 성장하는 동안 강수량 패턴이 줄기 성장 변화와 연관이 있는 것으로 나타나 연도별 식혼량 변동은 수목 성장기 동안 기후 조건에 의한 차이일 것으로 추측하였다. 3년간 지리산 식혼 조사에서 나타난 연도별 식혼량 변화도 마찬가지로 강수량, 일조량, 온도 등과 같은 기후적 요인에 의한 것으로 추정된다. 하지만 비생물학적인 요인뿐만 아니라 다른 이화학적 요인에 의해 비롯된 결과일 수 있기 때문에 초식곤충 활동 패턴 변동에 영향을 미치는 요인을 구체적으로 파악하기 위해서는 앞으로 다양하고 지속적인 연구수행이 필요하다.

## 2. 초식성 곤충의 활동과 조류의 상관관계

초식곤충은 다른 2차소비자에 의해 소비되는 먹이원으로서 생태계에서 에너지 및 물질 흐름의 고리 역할을 수행하게 된다(Wilson, 1992). 나비목 유충과 같은 대표적인 초식성 곤충은 조류 번식기 동안 주요 먹이자원으로 제공되기 때문에 식물과의 상호관계에 의해 유발된 초식곤충 활동시기의 변화는 조류의 번식시기에 영향을 주며 조류의 번식 및 분포를 제한하는 요인으로 작용할 수 있다(Mäntylä *et al.*, 2011). 지리산 식혼 활동 조사 지역과 동일한 장소에서 시행된 곤줄박이(박새류)의 생태에 관한 연구에서는 식물 계절과 초식곤충의 분포와 같은 서식지의 질에 따라 산란 개수가 다르게 나타나며 곤줄박이의 첫 산란일의 차이 또한 먹이자원에 의하여 발생할 것으로 예상하였다(Lee *et al.*, 2007). 실제로 지리산 조사지역에서 초식성 곤충의 활동이 나타난 시기와 곤줄박이의 산란일을 비교한 결과 고도별로 초식성 곤충이 최초로 섭식 활동을 시작하는 시기(피아골 15주, 시암재 18주, 노고단 20주)와 곤줄박이의 첫 번째 산란일(피아골 약 15주, 시암재 약 17주, 노고단 약 19주)이 거의 비슷한 시기에 나타나는 것을 알 수 있었다. Park (2001)은 식물 개엽 시기, 곤충 유충의 출현시기와 쇠박새의 산란 시작 시기가 거의 일치하였다는 결과를 얻었다. 이러한 결과는 박새류의 산란 시작시점은 유충의 밀도보다 유충의 발생시기와 관련이 있어(Perrins, 1991), 식물 개엽시기는 조류 번식시기에 필요한 먹이

자원인 곤충의 발생시기와 밀접한 관련이 있다는 연구 결과(Jarvinen, 1993)를 지지한다. 그러므로 고도나 기온과 같은 비생물요소 변화에 따른 초식성 동물군의 섭식활동 변화는 조류의 번식시기에 영향을 미치는 직접적인 원인이라 할 수 있으며, 식혼의 양이나 초식곤충의 활동시기 관찰을 통해 조류의 산란 개수나 번식시기를 예측할 수 있을 것으로 생각된다.

고도는 나무와 곤충 및 새 종의 풍부도와 분포에 영향을 준다(Doran, 2003; Schwarz *et al.*, 2003; Schwenk *et al.*, 2010). 식물의 생물계절은 고도에 따라 변하는데 봄철에 식물의 잎이 나오는 개엽은 100 m의 고도가 증가할수록 거의 2.7일이 지연된다(Whittaker *et al.*, 1974; Richardson *et al.*, 2006). 고도가 높은 지대는 낮은 온도로 인해 고도가 낮은 지점에 비해 식물 성장 기간이 늦춰지기 때문에 초식곤충에 의한 섭식시간이 함께 늦추어지는 양상을 띤다. 그러나 개엽 이후에는 잎의 팽창이 빨리 이루어져 급속한 확장을 하게 되며 식물 잎의 소비자인 곤충의 활동 또한 늦게 시작되었지만 전체 섭식량은 급속히 증가하는 것으로 나타났다(Fig. 2c). 잎 성장이 급격하게 이루어지는 곳에서는 잎 화학성분(예로는 탄닌 등)의 급격한 증가와 같은 변화를 가져오게 되어 초식곤충의 밀도에 제한을 주게 되고 이러한 영향은 포식성 조류 밀도 및 번식 성공률 등에도 영향을 줄 것으로 예상된다(Singer *et al.*, 2012). 이처럼 식물의 개엽과 곤충의 번성, 조류 종의 분포는 고도와 봄철 온도변화에 즉각적인 반응을 나타낸다. 기후변화에 의한 지구 온난화가 나타나면 봄철 개엽 시기가 빨라지고 초식동물의 식혼 활동 또한 빨라지게 되어 식물과 곤충간의 상호작용에 변동이 있을 수 있다(Harrison, 2000; Wall *et al.*, 2003; Memmott *et al.*, 2007). 특히 고도에 따른 식물계절은 잎의 화학적, 물리적 변화에 따라 달라지고, 이러한 변화는 2차소비자의 먹이가 되는 곤충의 분포 패턴에 다시 영향을 준다고 알려져 있어(Feeny, 1970; Suzuki, 1998; Park, 2001) 연쇄적으로 다른 생물의 생태에도 영향을 준다. 그렇기 때문에 앞으로 지속적이고 장기적인 모니터링이 이루어진다면 온대 낙엽 활엽수림에서 식물-곤충-조류 사이의 상호관계를 밝히는 것뿐만 아니라 나아가 지구온난화에 의한 기후변화가 생태계에 미치는 영향을 직·간접적으로 예측할 수 있을 것이다.

## 적 요

본 연구는 온대활엽수림에서 초식곤충의 먹이 활동이

계절 및 고도에 따라 어떻게 변하는 가를 알아보기 위하여 수행되었다. 조사는 지난 3년간(2011~2013) 지리산국립공원의 고도가 다른 세 지역(피아골, 시암재, 노고단)에서 이루어졌다. 조사방법은 각 지역에 서식하는 수종(3종)을 선정하여 4월부터 6월까지 1~2주마다 초식곤충의 식혼 활동을 식혼지수를 이용하여 관찰하였다. 조사 결과 고도가 가장 낮은 피아골(≈300m)에서 가장 먼저 식혼이 나타났고, 중간고도인 시암재(≈900m)에서는 가장 많은 식혼이 조사되었다. 고도가 가장 높은 노고단(≈1300m)에서는 식혼이 가장 늦게 나타났지만 짧은 시간에 급속히 식혼의 총량이 증가하였다. 또한 기존에 발표된 연구를 토대로 한 결과 초식곤충의 활동시기는 조류(곤졸박이)의 첫 산란일과 거의 비슷한 것으로 나타나 식물-곤충-2차 소비자(조류)와 밀접한 관련을 보여준다. 기후 환경이 변함에 따라 초식곤충 활동의 기간이 바뀌게 될 것이며 이러한 먹이사슬의 변동을 감지할 수 있는 지속적인 장기 생태 모니터링이 필요하다.

## 사 사

본 연구는 국가 장기 생태사업(Korea National Long Term Ecological Project) 및 한국연구재단(KRF grant no-2012R1A2A2A01003910)의 지원을 받아 수행되었습니다. 야외에서 식혼 작업을 도와준 안정섭, 김대주, Pyae Pyae Thein에게 감사를 드립니다.

## REFERENCES

- Bonan, G.B. 2002. Ecological climatology: concepts and applications. Cambridge University Press, 678pp.
- Choi, S.W. and J.S. An. 2010. Altitudinal distribution of moths (Lepidoptera) in Mt. Jirisan National Park, South Korea. *European Journal of Entomology* **107**: 229-245.
- Doran, P.J. 2003. Intraspecific spatial variation in bird abundance: patterns and processes. PhD thesis. Dartmouth College, Hanover, NH.
- Feeny, P. 1970. Seasonal changes in oak leaf tannin and nutrients as a cause of spring feeding by winter moth caterpillars. *Ecology* **51**: 565-581.
- Floyd, P. 1996. Top-down impacts on creosotebush herbivores in a spatially and temporally complex environment. *Ecology* **77**: 1544-1555.
- Grime, J.P. 2001. Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties. Wiley, Chichester.
- Hammer, Ø., D.A.T. Harper and P.D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleaeontologica Electronica* **4**(1): 1-9.
- Harrison, R.D. 2000. Repercussions of El Nino: drought causes extinction and the breakdown of mutualism in Borneo. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **267**: 911-915.
- Jarvinen, A. 1993. Spatial and temporal variation in reproductive traits of adjacent northern Pied Flycatcher *Ficedula hypoleuca* populations. *Ornis Scandinavica* **24**: 33-40.
- Kwon, S.J., Y.C. Jun, J.C. Jeong, S.C. Han and J.E. Lee. 2012. Distribution of benthic macroinvertebrates according to altitude at Jirisan National Park. *Journal of National Park Research* **3**: 33-43.
- Langor, D.W. and J.R. Spence. 2006. Arthropods as ecological indicators of sustainability in Canadian forests. *The Forestry Chronicle* **82**: 344-350.
- Lee, J.K., O.S. Chung, W.S. Lee, J.Y. Park, S.H. Kang, G.H. Ha and C.G. Park. 2007. Change in egg size and clutch size of Varied Tit (*Parus varius*) with elevation in Mt. Jirisan. *Journal of Korean Forest Society* **96**: 77-82.
- Lee, W.S. 2012. Climate change and individual life history. *Ocean and Polar Research* **34**: 275-286.
- Lim, K.Y., T.H. Kim and J.S. Kwak. 1992. Distribution of millipedes in relation to altitude and flora on Mt. Chiri. *Korean Journal of Ecology* **15**: 329-335.
- Lowman, M.D. 1985. Temporal and spatial variability in insect grazing of the canopies of five Australian rain forest species. *Australian Journal of Ecology* **24**: 263-272.
- Mäntylä, E., T. Klemola and T. Laaksonen. 2011. Birds help plants: a meta-analysis of top-down cascades caused by avian predators. *Oecologia* **165**: 143-151.
- Memmott, J., P.G. Craze, N.M. Waser and M.V. Price. 2007. Global warming and the disruption of plant-pollinator interactions. *Ecology Letters* **10**: 710-717.
- Morse, D.H. 1971. The insectivorous bird as an adaptive strategy. *Annual Review of Ecology and Systematics* **105**: 177-200.
- Nakamura, M., T. Hina, E. Nabeshima and T. Hiura. 2008. Do spatial variation in leaf traits and herbivory within a canopy respond to selective cutting and fertilization? *Canadian Journal of Forest Research* **38**: 1603-1610.
- National Park Research Institute. 2011. Natural resource research in Mt. Jirisan National Park. National Park Research Institute, Korea National Park Service.
- Oliver, I. and A.J. Beattie. 1996. Invertebrate morphospecies as surrogates for species: a case study. *Conservation Biology* **10**: 99-109.
- Park, C.R. 2001. Interaction networks among tits, insects and plants during the breeding season. PhD dissertation, Seoul National University Graduate School, Seoul.
- Perrins, C.M. 1991. Tits and their caterpillar food supply. *Ibis* **133** suppl, 1: 49-54.
- Ra, C.H., Y.G. Cho and J.S. Kim, 1991. The seasonal and altitudinal distribution of the stonefly nymphs (Plecoptera) in

- Paemsagol Valley of Mt. Chiri, Korea. *Korean Journal of Limnology* **24**: 69-76.
- Richardson, A.D., A.S. Bailey, E.G. Denny, C.W. Martin and J. O'Keefe. 2006. Phenology of a northern hardwood forest canopy. *Global Change Biology* **12**: 1174-1188.
- Scheidel, U., S. Rohl, H. Bruelheide. 2003. Altitudinal gradients of generalist and specialist herbivory on three montane Asteraceae. *Acta Oecologica* **24**: 275-283.
- Schwarz, P.A., T.J. Fahey and C.E. McCulloch. 2003. Factors controlling spatial variation of tree species abundance in a forested landscape. *Ecology* **84**: 1862-1878.
- Schwenk, W.S., A.M. Strong and T.S. Sillett. 2010. Effects of bird predation on arthropod abundance and tree growth across an elevational gradient. *Journal of Avian Biology* **41**: 367-377.
- Scott, J.L. 2006. Changes in egg size and clutch size with elevation in a Wyoming population of Mountain Bluebirds. *The Condor* **108**: 591-600.
- Singer, M.S., T.E. Farkas, C.M. Skorik and K.A. Mooney. 2012. Tritrophic interactions at a community level: effects of host plant species quality on bird predation of caterpillars. *The American Naturalist* **179**: 363-374.
- Suzuki, S. 1998. Leaf phenology, seasonal changes in leaf quality and herbivory pattern of *Sanguisorba tenuifolia* at different altitudes. *Oecologia* **117**: 169-176.
- Wall, M.A., M. Timmerman-Erskine and R.S. Boyd. 2003. Conservation impact of climatic variability on pollination of the federally endangered plant, *Clematis socialis* (Ranunculaceae). *Southeastern Naturalist* **2**: 11-24.
- Whittaker, R.H., F.H. Bormann, G.E. Likens and T.G. Siccama. 1974. The Hubbard Brook ecosystem study: forest biomass and production. *Ecological Monographs* **44**: 233-254.
- Wilson, E.O. 1992. The diversity of life. Norton, New York.
- Yi, H.B. and H.J. Kim. 2010. Species composition and species diversity of moths (Lepidoptera) on *Quercus mongolica* forests and *Pinus densiflora* forests, in Korean National Long-term Ecological Research Sites (Mt. Nam, Mt. Jiri, Mt. Wolak). *Korean Journal of Applied Entomology* **49**: 105-113.
- Yu, J.P., S.D. Jin, H.S. Kim, W.K. Paek and H.K. Song. 2010. Characteristics of birds community in relation to altitude, direction of slope and season in Deogyusan National Park. *Korean Journal of Ornithology* **17**: 359-385.