韓應昆誌 49(2): 105~113 (2010)
Kor. J. Appl. Entomol.

국가 장기 생태 연구지(남산, 지리산, 월악산)의 신갈나무림과 소나무림에서 포획된 나방류의 종조성 및 종다양도

이훈복* · 김현정
서울여자대학교, 환경생명과학부

Species Composition and Species Diversity of Moths (Lepidoptera) on *Quercus mongolica* forests sand *Pinus densiflora* forests, in Korean National Long-term Ecological Research Sites (Mt. Nam, Mt. Jiri, Mt. Wolak)

Hoonbok Yi* and Hyunjung Kim
Seoul Women's University, Division of Environmental and Life Science

ABSTRACT: Moths were collected using a 22W UV black light trap in June through September in 2005 and May, June, August and September in 2006. The study sites were Namsan (Mt. Nam), Jirisan (Mt. Jiri), Woraksan (Mt. Worak) which are part of the Korean National Long Term Ecological Research (KNLTER). There were two common forest communities, *Quercus mongolica* and *Pinus densiflora*. The purpose of this study was to compare species diversity of the major plant feeding Lepidoptera in the two forest types at the regional KNLTER sites. We collected a total of 435 species from the KLTER sites in 2005 and 2006. Abundance of moths was highest at Woraksan (Mt. Worak) followed by Jirisan (Mt. Jiri). The Namsan (Mt. Nam) site had the lowest, with five families (Arctiidae, Geometridae, Noctuidae, Notodontidae, and Pyralidae). Analysis of variance (ANOVA) showed statistically significant differences at sampling date in species abundance as a response variable and at site in species richness as another response variable. Although we expected a distinct cluster with the forest type at each study site, one of ordination analyses, nonmetric multidimensional scaling (NMS), showed distinct clusters with the moth assemblages at each site only but NMS did not show any distinct cluster with the different forest types at each site as we expected.

Key words: Species abundance, KLTER, Moth, Forest type, Species richness

초 록: 본 연구는 2005년과 2006년 6월부터 9월까지 남산, 지리산, 월악산의 신갈나무림, 소나무림에서 유브이 버킷 라이트 트랩(22 W)을 이용하여 나방을 포획하였고 식생 및 삼림의 주요 1차 소비자인 나방류(불나방과, 자나방과, 밤나방과, 재주나방과, 명나방과)의 종다양성을 시공간적으로 비교하였다. 본 연구기간동안 국가장기생태연구지에서 포획된 나방의 종수는 435종이었다. 포획된 나방의 개체수는 월악산에서 가장 높았고, 지리산, 남산 순이었다. ANOVA 분석결과 개체수를 종속변수로 하였을때는 조사시기에 대해 유의한 차이가 나타났고 종풍부도의 경우에는 조사시기와 지역에 따른 유의한 차이가 나타났다. 다변량분석 방법인 다차원분석법을 사용하였을때, 나방의 군집구조는 각 지역별로 뚜렷이 구분되어 나타났지만, 같은 지역내의 산림유형에 따른 구분은 명확하지 않았다.

검색어: 개체수, 국가장기생태연구, 나방류, 임상, 종풍부도

세계적으로, 인구증가와 토지이용의 확대는 산림생태계의 대규모 훼손을 가져오고 있고, 인간의 경제적 활동은 온실가스를 증대시켜 지구온난화를 유발한다(IPCC 2007; Allen et al. 2009). 이로 인한 지구온난화에 따른 기후변화는 생물권의 변화를 초래한다(Parmesan and Yohe, 2003). 국내에서도 지구온난화로 인해, 한라산 및 지리산등을 포함한 고산지대 및 남부지역에서 식생대의 변화가 관찰되고 있다는 연구가 있으며, 식생에 의존적인 초식성 동물의 분포에도 영향을 주고 있다(Kang et al. 2003; Park 2005; Lim et al. 2006). 이러한 기후변화로 야기된 변화는 지금은 매우

*Corresponding author: yih@swu.ac.kr
Received May 19 2010; revised June 18 2010; accepted June 22 2010

미미한 변화이지만, 어느 일정이상의 변화 시에는 갑작스런 큰 변화가 되어 우리에게 돌아 올 것이다. 그러므로, 식생대의 분포변화, 초식동물의 분포변화는 생태학자들이 계속적인 연구가 동일한 장소에서 장기간에 걸쳐 이뤄져야 하며, 이러한 생태계 구성원의 반응에 대한 이해는 인류의 생존과 지속 가능한 지구가 유지되기 위한 필수조건이다.

환경부 지원으로 이뤄진 국가 장기생태 연구사업은 한반도의 대표적인 생태계 유형별 장기 생태자료 조사, 생태연구, 기후변화로 인한 생태계의 변화, 환경오염과 생태계 변화와의 상관관계 규명, 환경 지표종 발굴 선정 및 특성연구, 생태계 변화에 따른 생물다양성 변화 연구, 생물자원 보전 정책 방안 등을 주요 사업으로 추진하고 있다. 본 연구는 국내의 육상생태계 중, 도시림 지역인 남산과, 중남부 지역의 고산인 지리산, 중부 지역을 대표하는 월악산을 국가 장기 생태지로 선정하였으며, 세 지역의 공통 수목인 신갈나무림 지역과 소나무림 지역에 영구 조사지를 선정하여 나방류의 분포 변화를 장기간(약 10년 이상)에 걸쳐 모니터링을 실시할 계획에 있다. 국가 장기 생태 연구 장소 중 하나인 남산은 서울의 중심에 위치해 있으며, 그린 네트워크를 가정할 때 단절된 녹지 공간을 이어 줄 녹지 지역으로서 핵심적인 역할을 담당할 수 있는 지역이다(길 등 1998; 이 등 1998; 임 등 1998). 우리나라의 대표적인 바위산인 월악산은 백두대간이 소백산을 지나 속리산으로 연결되는 중간에 위치하며, 한반도의 중남부 내륙에 위치하여 기후적으로 대륙성기후의 특색을 띠며 험준한 산맥으로 둘러싸여 산악기후의 특색을 띤다. 지리산은 우리나라에서 비교적 오래되고 보존이 잘 되어 있는 숲으로 기후변화에 민감하다고 알려진 고산지역을 중심으로 이번 연구가 진행되었다.

산림생태계의 산림환경의 변화를 모니터링 할 때 이용되는 많은 지표 분류군이 있다. 그 중 환경의 변화를 감지하기에는 무척추동물 분류군이 매우 유용하다. 이는 쉽게 채집된다는 점, 군집의 기능적 중요성, 높은 서식지 특수성, 잘 알려진 분류적 특성 등의 특징이 있기 때문이다(Langor and Spence 2006; Oliver and Beattie 1996). 무척추동물군집 중 곤충은 종 다양도 연구에 있어서 매우 중요한 요소이다. 곤충은 지구상의 모든 환경에 적응하여 살고 있으며, 다양하게 서식하는 곤충들의 종수는 지구상에 존재하는 생물종 약 170만종 중 약 89만종이 알려져 지구상 생물의 반 이상을 차지하고 있다(Grimaldi and Engel, 2005). 곤충이 육상생태계 및 수계생태계에서 담당하는 역할은 생태계 내에서 1차 소비자, 2차 소비자 및 분해자의 역할을 하면서 생태계내의 물질 및 에너지 흐름에 중추적인 역할을 하고 있다. 생태계의 중요 구성요소인 곤충의 종 다양성 조사는 그 지역의 생태계 특성을 파악하는데 매우 중요한 자료로 사용될 수 있다. 또한 생태계 관리 및 보전에 매우 효과적으로 이용될 수 있다. 곤충은 결국 생태계에서 에너지 및 물질 흐름의 고리 역할을 수행함과 동시에 인간의 경제활동과 직, 간접적인 관련을 맺고 있어 생태환경을 평가하는데 매우 유용한 도구라고 할 수 있다(Wilson, 1992).

이번 연구에서는 조사지역에 분포하고 있는 곤충 종 중, 종 다양성이 풍부하고 종 정보가 비교적 많은 나비목을 조사대상으로 하였다. 나비목은 식물군집의 분포, 생성, 소멸에 매우 중요한 역할을 한다(Gange and Brown 1989, Huntly 1991). 특히 나비목의 유충은 육상 산림 생태계 내의 중요한 초식자이다(Schowalter et al. 1986, Stamp and Casey 1993, Muir et al. 2002). 나비목(Lepidoptera)은 전 세계에 약 120,000종이 알려져 있으며 생태계 먹이사슬에서 1차 소비자로서의 역할을 담당하기 때문에 먹이사슬 상위 단계의 생물에게 중요한 먹이 자원으로 이용되고 있다.. 주간에 활동하는 나비를 대상으로 환경연구에 많이 이용하고 있으며, 산림지대를 대표하는 나비에 대한 환경 지표연구가 많이 수행되고 있다. 또한 나비목의 나방류는 다양한 종으로 구성되어 있고 분류학적 연구체계가 잘 구성된 대형 나방을 대상으로 생태계에 미치는 영향을 파악하는 지표생물로 이용되고 있다(Kitching et al. 2000).

본 연구의 목적은 국내 장기 생태 연구지의 지역별 특성을 구분하였고, 각 연구지에 공통으로 분포하는 소나무림과 신갈나무림에 서식하는 나방류를 정량적으로 채집하여 두 산림에서 지역별, 산림별, 계절별 생물상 변화를 나방류의 산림별 종조성 및 풍부도, 종다양도 지수를 비교하는 것이다. 이 연구를 통해 다음과 같은 결과를 예측할 수 있다. 지리산의 나방 종 다양도는 다른 지역보다 높게 나타날 것이고, 남산의 종다양도는 가장 낮게 나타날 것이다. 또한 산림별 종 다양도의 차이는 남산, 지리산, 월악산 모두 소나무림보다 신갈나무림이 높을 것이다. 각 지역별 계절에 의한 차이는 식물 생장의 환경이 좋은 여름이 다른 계절보다 개체수와 종 다양도가 높을 것으로 예측된다.

재료 및 방법

조사지 개황

서울의 중심부에 위치하고 있는 남산을 조사 지역으로 선정하였고, 신갈나무가 우점하는 북사면의 신갈나무림 (100m × 100m) 과 소나무가 우점하는 남사면의 소나무림

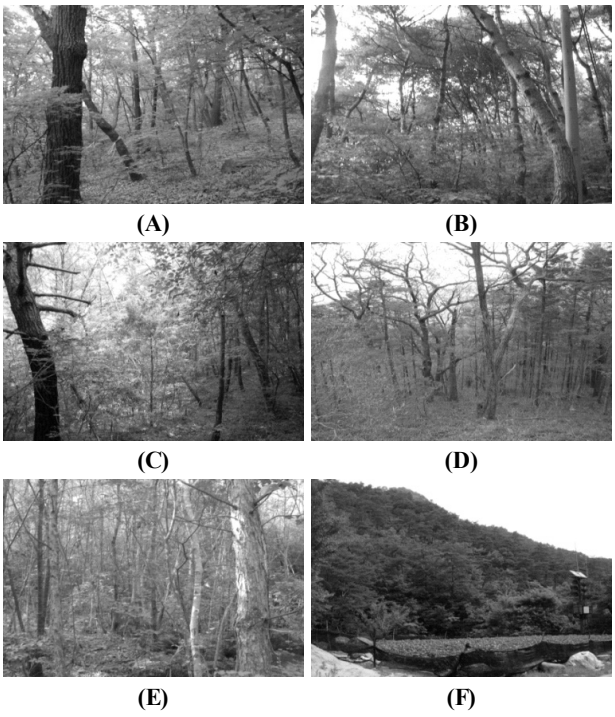

Fig. 1. Photos of study areas for the Korean National Long Term Ecological Research. (A) Mt. Nam *Quercus mongolica* forest, (B) Mt. Nam *Pinus densiflora* forest, (C) Mt. Jiri *Quercus mongolica* forest, (D) Mt. Jiri *Pinus densiflora* forest, (E) Mt. Wolak *Quercus mongolica* forest, (F) Mt. Wolak *Pinus densiflora* forest.

(40m × 40m)을 선정하였다. 지리산은 임걸령 샘터 부근 신갈나무림 및 구례군 천은사 뒷편 소나무림 2개소를 연구지로 선정하였다. 월악산에서는 신갈나무림 조사지는 제천시 한수면의 미륵리 소재 자연학습원 후방에 발달한 순림이며, 소나무림 조사지는 제천시 한수면 송계리 골뫼 일대의 용마봉 산발치에 넓게 자리한 순림이다(Fig. 1.).

조사 방법

본 연구의 중점 조사대상인 야간에 주로 채집되는 나방류 5개과인 명나방과, 밤나방과, 재주나방과, 자나방과, 불나방과로 한정하여 본 장기생태 연구를 진행하였다. 나방류는 주로 밤에 활동하므로, 이들의 습성을 이용하여, 단파장에 의해 정량적으로 채집할 수 있는 유브이 버킷 트랩(UV Bucket Light Trap, Bioquip 22W circular bulbs)을 12 Volt 자동차용 축전지에 연결하여 일몰 후 약 3 - 5시간 동안 야간채집을 실시하였다. 채집장소 주변에 다른 빛이 있으면 교란효과가 일어나 채집의 효율성이 떨어지고 달이 크게 뜨는 날도 간섭효과가 많이 나타나는 편이므로 다른 광원과의 경쟁을 줄이기 위해, 달빛이 없고 흐린 날을 골라 채집을 실시하였다. 본 연구를 위한 조사 시기는 2005년 6월, 7월, 8월, 9월 과 2006년 5월, 6월, 8월, 9월이었다. 야간 유브이 버킷 트랩을 이용하여 포획된 나방은 체장 1cm 이하의 미소나방류는 동정하지 않았고, 단지 개체수만을 확인하였다. 그 이상 크기의 나방류는 동정이 가능한 한 5개과(명나방과, 자나방과, 재주나방과, 불나방과, 밤나방과)들을 종 수준까지 동정하였다. 각각의 소나무림, 참나무림에서 각각 한 개의 유브이 버킷 트랩(UV Bucket Light Trap)을 조사방형구내 중앙에 위치하게 하였다. 채집통 안에 유인된 곤충들의 도피 및 포식활동을 멈추기 위해서 마취제를 적당량 넣었고, 암모니아수를 함께 넣어 나방들의 움직임에 의한 날개무늬의 손실을 방지했다(Parson et al. 1991). 다음날 유인된 나방류를 실험실로 가져온 후 냉동실에 샘플을 보관하였고, 이 후 꺼내어 건조표본을 제작한 후 분류동정에 이용하였으며 건조 표본은 각 위탁 기관별로 보관 중이다.

통계 분석

각 지역별로 동일한 채집 기간 동안 채집된 나방 중에서 5개과(명나방과, 자나방과, 재주나방과, 불나방과, 밤나방과)에 한해서 종까지 동정하였고, 나방의 개체수를 분석하였다. 각 지역별로 얻어진 각각의 데이터를 모두 합하여데이터 파일로 작성하였다. 각 지역별, 계절별, 임상별로 종조성의 차이에 따라 비교되었으며, 본 연구에서 얻어진 데이터를 근거로 한 종 풍부도, 개체수를 비교하였다. 또한 Analysis of Variance (ANOVA)분석을 하여, 통계적 유의성을 확인하였다. 본 연구에서 얻어진 데이터는 많은 종을 종속변수로 사용하는 다변량 분석법인 서열법(Ordination)을 사용하는 것이 요구되었으며, PC-Ord version 5.0을 사용하여 나방 데이터에 로그값을 취하여서 데이터 변환을 하였으며, 다차원척도법(Non-metric Multidimensional Scaling; NMS) 분석과 다수응답순열절차(Multi-response Permutation Procedures; MRPP) 분석을 수행하였다(McCune and Mefford 1999, McCune and Grace 2002).

결과 및 고찰

나방의 종수 및 종 조성

각 지역별, 계절별, 그리고 산림 수종별로 포획된 나방의 종류는 2005년도 6월부터 9월까지 5개과 267종을 포획하였으며, 2006년도에는 5월, 6월, 8월 9월에 5개과의 285종이

포획되었다. 2005년과 2006년에 포획된 종의 결과를 종합하면, 5개과 435종으로 구성되어 있음을 확인하였다.

본 결과에서 각 지역별, 시기별로, 2005년부터 2006년도까지 2년동안 신갈나무림과 소나무림에 설치된 트랩에 포획된 나방류만을 데이터에 이용하여, 2005년과 2006년의 데이터를 수종별로 나누어 나방의 과별 개체수를 나타내었다(Fig. 2). 남산 신갈나무림과 소나무림의 경우 2005년에는 밤나방과와 명나방과가 많았으나 2006년에는 명나방과의 개체수가 감소하였고, 밤나방과가 많았다(Fig. 2a, 2b). 지리산은 2005년 신갈나무림에서 5개과의 개체수가 비슷하였으나, 그 중에서 자나방과와 밤나방과가 우점하였다. 2006년에는 개체수가 높게 증가한 밤나방과가 우점하였다. 소나무림의 경우 2005년 자나방과, 밤나방과 순으로 많았고, 2006년은 자나방과의 개체수가 감소하여 전년도와 유사한 개체수를 보인 밤나방과가 우점하였다(Fig. 2c, 2d). 월악산 신갈나무림의 경우 2005년에는 밤나방과가 우점하였고,

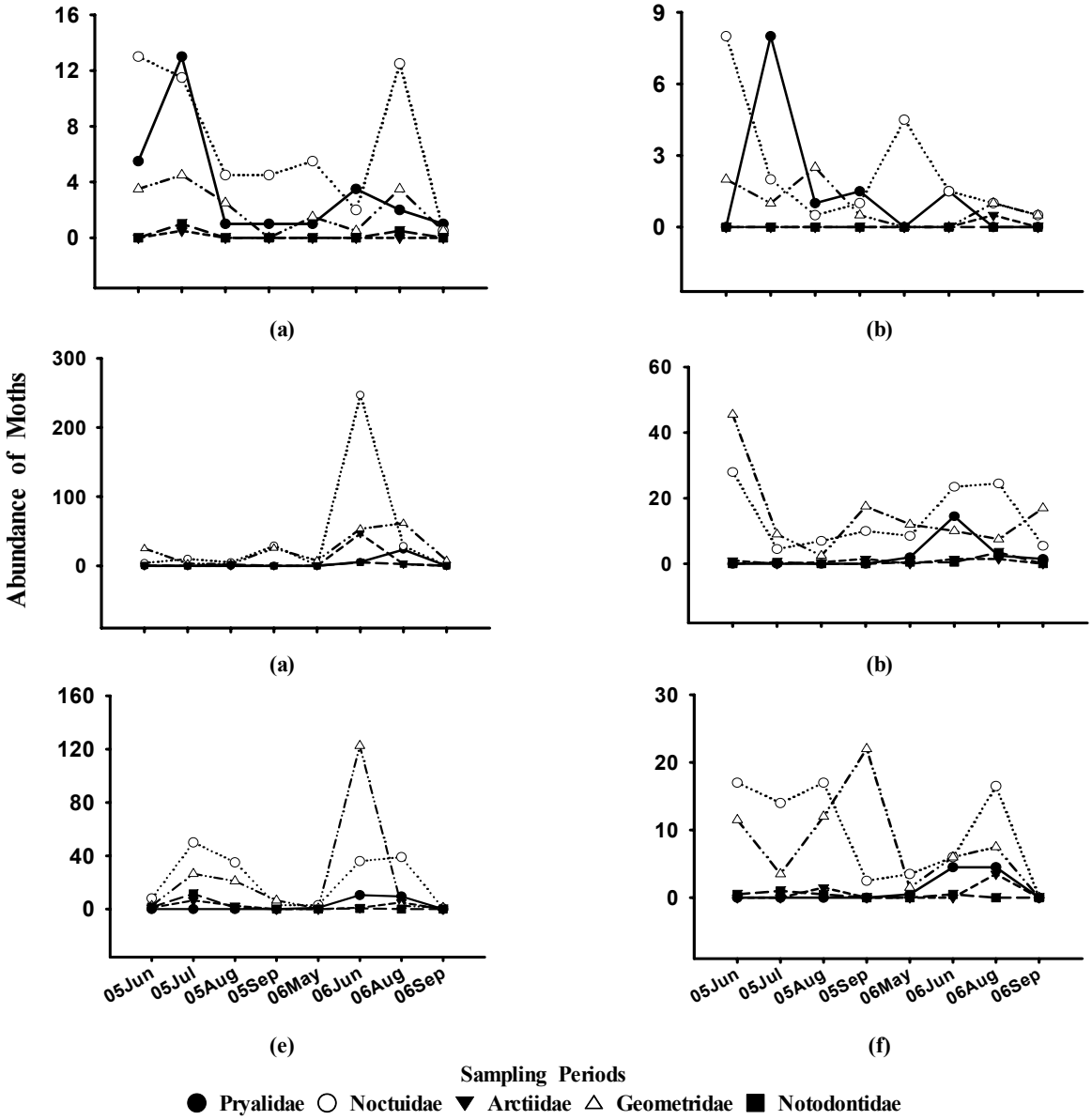

Fig. 2. Total abundance of 5 moth families (Pyralidae, Noctuidae, Arctiidae, Geometridae, Notodontidae) from the two forest types (Qm; *Quercus mongolica*, Pd; *Pinus densiflora*) in all the KNLTER areas (Mt. Nam, Mt. Jiri, Mt. Worak,) in 2005 and 2006. (a) Abundance of five families in Mt. Nam, Qm, (b) Abundance of five families in Mt. Nam, Pd, (c) Abundance of five families in Mt. Jiri, Qm, (d) Abundance of five families in Mt. Jiri, Pd, (e) Abundance of five families in Mt. Worak, Qm, (f) Abundance of five families in Mt. Worak, Pd.

같은 해에 100개체가 채집되었던 자나방과가 2006년에는 200개체 이상 채집되었다. 소나무림의 경우 2005년에는 밤나방과와 자나방과가 많이 채집되었는데, 2006에는 신갈나무림과 반대로 자나방과의 개체수는 적어졌고 밤나방과는 계속 많이 채집되었다(Fig. 2e, 2f). 지역별로 구분하였을 때, 대부분 밤나방과와 자나방과가 우점하고 있으나, 개체수를 비교 하였을 때, 2005년 신갈나무림에서 밤나방과의 경우 지리산이 최대였고(247개체), 월악산은 50개체, 남산은 12.5개체로 나타났다.

각 지역별 과별 종수를 비교 하였을 때, 남산의 경우 소나무림과 신갈나무림 모두 밤나방과, 자나방과 순으로 종풍부도가 높았다. 이러한 결과는 월악산의 소나무림, 신갈나무림, 그리고 지리산의 소나무림에서도 같았다. 다만 지리산의 신갈나무림은 이와 반대로 자나방과가 밤나방과보다 종풍부도가 더 높았다(Fig. 3)

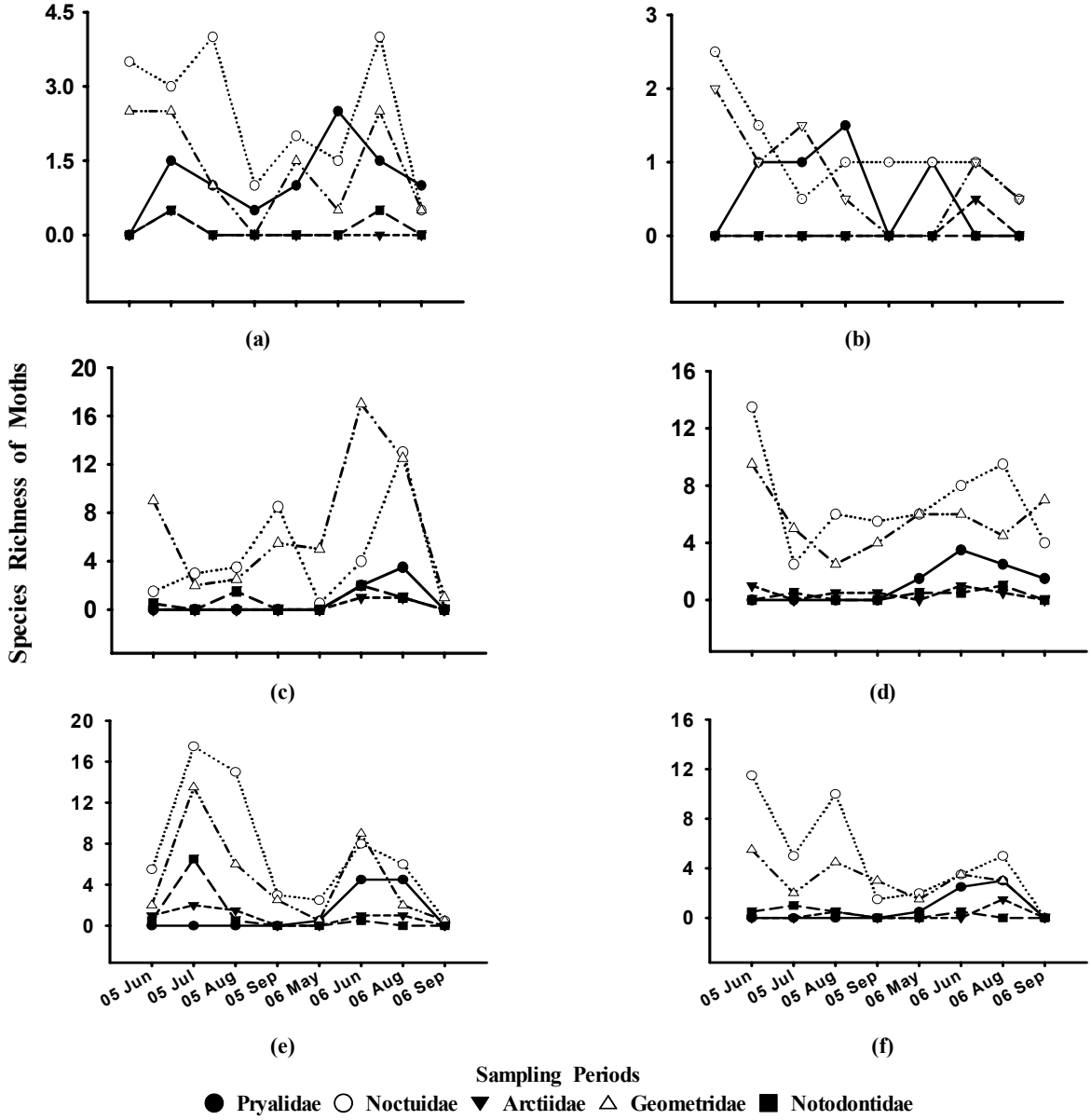

Fig. 3. The species richness of 5 moth families (Pyralidae, Noctuidae, Arctiidae, Geometridae, Notodontidae) from the two forest types (Qm; *Quercus mongolica*, Pd; *Pinus densiflora*) in all the KNLTER areas (Mt. Nam, Mt. Jiri, Mt. Worak,) in 2005 and 2006. (a) Species richness of five families in Mt. Nam, Qm, (b) Species richness of five families in Mt. Nam, Pd, (c) Species richness of five families in Mt. Jiri, Qm, (d) Species richness of five families in Mt. Jiri, Pd, (e) Species richness of five families in Mt. Worak, Qm, (f) Species richness of five families in Mt. Worak, Pd.

지역별, 계절별 나방 개체수와 종수 비교

각 지역 공통 수종인 신갈나무림과 소나무림에서 포획된 나방의 개체수를 비교한 결과 (Fig. 4), 2005년 월악산 신갈나무림에서는 7월에 189개체로 다른 지역보다 훨씬 높은 개체수를 나타내었으며, 지리산 신갈나무림에서는 9월에 109개체가 포획되어 오히려 다른 시기 및 다른 두 지역보다 더 높았다(Fig. 4a). 2006년도 신갈나무림은 전년도와 달리 지리산의 6월이 700여 개체로 월등히 높은 개체수를 보였으며, 그 다음으로 전년과 비슷한 수도를 보인 월악산이 높았다(Fig. 4b). 2005년 소나무림의 결과는 지리산의 6월이 140여 개체로 가장 높은 개체수를 보였으며, 2006년 역시 전년도와 동일하게 지리산의 6월 개체수가 가장 높았다(Fig. 4c, 4d). 2005년과 2006년 각 산림별 수도의 최대값은 신갈나무림이 소나무림에 비해 높게 나타났다(Fig. 4- 종수도 같이 넣을 것).

각 지역별로 얻어진 데이터를 종합하여 데이터 분석을 할 수 있도록 데이터를 변형하여 ANOVA 분석을 하였는데 종속변수로 개체수를 사용 하였을 때, 채집시기인 월별 ($P<0.05$) 차이가 있었지만, 지역별($P>0.05$)이나 삼림유형별($P>0.05$) 차이는 없었다. 종속변수로 종풍부도를 사용하였을 때, 월별($P<0.0001$), 지역별($P<0.001$) 차이가 있었고, 산림유형별($P>0.05$) 차이는 없는 것으로 나타났다 (Table 1).

국가장기생태지의 조사지역별 나방류의 우점종으로 밝

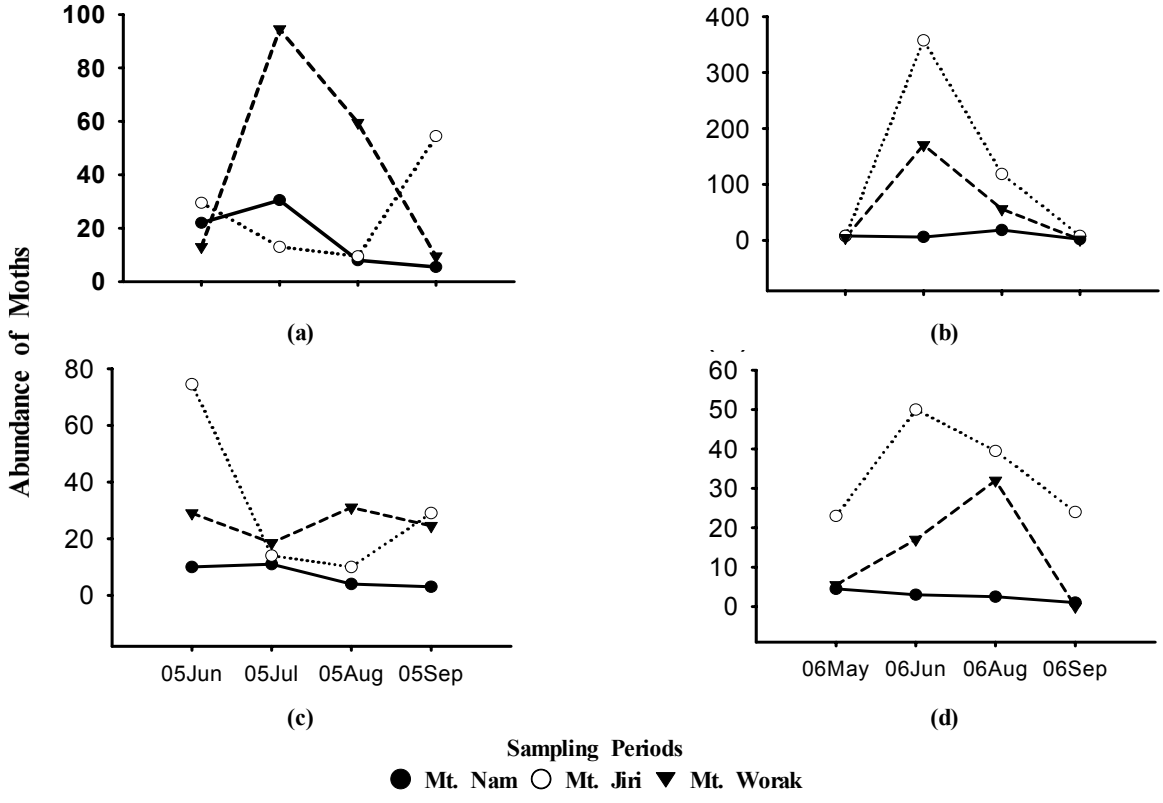

Fig. 4. The seasonal change of moths abundance from the two forest types, *Quercus mongolica* and *Pinus densiflora*, in all the KNLTER areas (Mt. Nam, Mt. Jiri, Mt. Worak) in 2005 and 2006. (a) *Quercus mongolica* in 2005, (b) *Quercus mongolica* in 2006, (c) *Pinus densiflora* in 2005, (d) *Pinus densiflora* in 2006

Table 1. ANOVA results from moth data collected in 2005 and 2006. Response variables for ANOVA analysis; A. Abundance, B. Species richness

Effect	A. Abundance			B. Species richness		
	DF	F-value	Pr > F	DF	F-value	Pr > F
Month	4	3.65	0.0104	4	6.13	0.0004
Site	3	2.06	0.1165	3	4.93	0.0041
Forest type	4	1.02	0.4051	4	1.02	0.4025

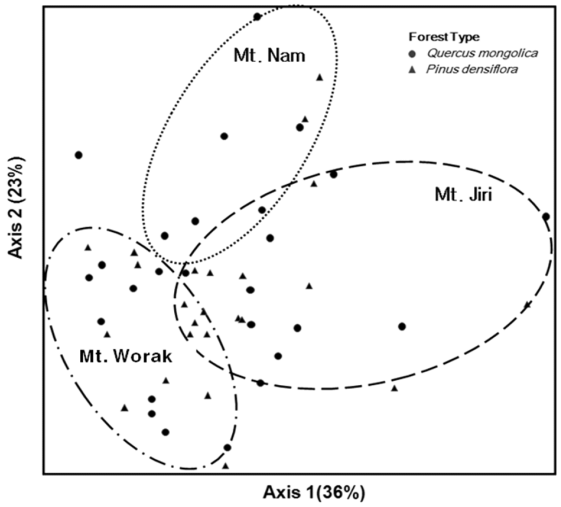

Fig. 5. Non-metric Multidimensional Scaling with moth community data from the KNLTER study areas in 2005 and 2006 (Final stress: 17.304, Final instability: 0.00003, Iteration: 79).

혀진 종들은 남산의 소나무림에서는 흰점밤나방(*Diarsia deparca*)이 신갈나무림에서는 씨자무늬거세미나방(*Xestia c-nigrum*) 이었으며, 지리산 소나무림에서는 자나방과의 밑무늬물결자나방(*Heterothera postalbida*)와 두줄가지나방(*Rikiosatoa grisea*)이 우점하였고 신갈나무림에서는 밤나방과의 꼬마복숭아밤나방(*Telorta edentata*)과 자나방과의 털뿔가지나방(*Alcis angulifera*)이 우점하고 있는 것으로 나타났다. 월악산은 신갈나무림에서 연노랑물결애기자나방이, 소나무림에서는 털뿔가지나방이 우점을 나타냈다.

각 지역별 및 각 지역내의 산림 수종별로 나방의 군집 종조성의 차이를 확인하기 위하여 NMS를 사용하여 각 산림의 유형별과 각 지역별로 구분하여 비교한 결과 축1은 36%를, 축2는 23%의 변이를 설명하고 있으며, 축1과 축2를 종합하여 59%의 변이를 설명하고 있다 (Fig. 5). 각 지역의 나방의 군집분석에 의한 결과는 NMS 결과상으로는 중복되는 부분이 많지 않음을 볼 때, 각각의 지역에 따른 지리적인 차이에 의해 구분되어 졌다고 볼 수 있지만, 각 지역 내에서의 임상간의 나방의 군집구조 차이는 뚜렷이 구분되어지지 않고 있으므로, 통계학적으로 이를 나타내기 위해서, 쏘렌슨 거리측정(Sorensen distance measure) 방법에 의해, MRPP분석법을 이용하였고, 그 결과 지역별로 구분된 값은 NMS 결과와 유사하게, 4지역 간에 뚜렷한 구분이 되어졌지만(Chance-corrected within-group agreement; A = 0.16297, $P < 0.001$), 지역 내 산림유형별 차이는 명확히 구분되지는 않았다(A = 2.544 $P > 0.05$ Fig. 5).

고 찰

본 연구는 3개지역 6개 조사지에서 지난 2년간 정량적으로 포획된 나방데이터를 한 개의 메타데이터집합(meta data set)(본연구에서 얻어진 데이터는 가장 초보적인 데이타임)으로 작성하였고 생태학적인 의미를 찾아보고자 하였다. 한국 고유생물종(MOE, 2005) 도감에 따르면 신갈나무림과 소나무림에는 잎말이나방과, 포충나방과, 누에나방과, 박각시과등 다양한 종류의 나방류가 서식하고 있다. 하지만 세 지역에서 채집되는 나방류의 전체를 이용해 연구 결과 도출하기에는 어려움이 있다. 이런 이유로 본 연구의 중점 조사대상을 나방류 전체가 아닌 세 지역에서 공통적으로 주로 채집되는 5개과인 명나방과, 밤나방과, 재주나방과, 자나방과, 불나방과로 한정하여 진행하였다. 이 연구의 조사 내용이 마무리됨에 따라, 나방류 곤충상의 대략적인 발생양상을 파악할 수 있었고, 각 지역마다, 식생유형별 서식 곤충 종이 실제로 보여준 차이를 나타냈다(본결과에서는 임상별 차이가 없음). 이번 조사의 연구대상인 대시류(大翅類: Macrolepidoptera)는 분류 동정의 용이성과 수적 풍부도, 산림과의 연관성으로 인해 외국에서도 생태계 변화 추이를 검사하는데 좋은 대상으로 여겨지고 있다. 이번 연구에서도 다양한 종이 확인되었으며, 식생의 변화에 따른 종 구성 및 풍부도의 변화가 관찰되었다. 특히, 채집 이후 표본 제작과 종 동정을 동시에 할 수 있어서, 비교적 쉽게 결과를 도출 할 수 있다는 점을 알 수 있었다.

본 연구지의 하나인 남산은 장기생태를 연구하는 세계 어느 곳에서도 없는 도심의 한가운데 위치한 매우 특성있는 조사지역으로서, 식생구조가 단순하고 나방자원의 유입이 매우 한정되어 있는 지역이었으며, 차기 도심화 및 열섬현상으로 인한 삼림의 쇠퇴와 이에 따른 곤충의 변화상에 대한 모니터링이 매우 의미 있는 연구지가 되리라 예상된다. 또한, 지리산에선 고도와 조사지점의 식생의 차이로 인하여 각 지점에서 우점하거나 구성하는 나방종이 차이가 있을 것으로 예상되었으나 본 조사에서는 식생에 따른 차이가 아닌 고도에 따른 차이만이 나타났다. 이 점은, 기주식물로 인한 식생의 영향이 있었을 것으로 파악된다. 월악산의 경우, 각 식생별로 월별 우점종을 산출해본 결과, 유충이 다식성이어서 생태적 요구조건이 까다롭지 않은 종(예를 들면, 날개물결가지나방, 털뿔가지나방), 낙엽 등의 풍부한 먹이 자원이 있는 종(예를 들면, 갈색줄수염나방, 넓은띠담흑수염나방)이 대부분이었다. 다만, 7월의 소나무림에서

우점종으로 선출된 벼애나방과 9월 신갈나무림에서 우점적으로 발생한 가을뾰족날개나방은 특이한 경우로 생각해 볼 수 있는데, 소나무림의 하부 식생에 의한 것으로 보인다. 후자는 실제로 참나무림과 연관이 있는 종으로, 월악산 일대 참나무림의 특색을 보여주는 요소로 여겨진다.

일반적으로 신갈나무림은 소나무림보다 나방의 수도와 다양성이 더 높게 나타났는데, 이런 경향은 Fry & Lonsdale(1991) 이 밝힌 바와 같이, 신갈나무가 속하는 참나무류는 버드나무류와 더불어 중요한 식식성 곤충의 먹이자원으로, 이 수종들에 의존해 사는 곤충의 종류가 다른 수종보다 더 높은 군집의 다양성을 갖고 있음을 보여주었다. 각 종이 식생에 영향을 미치는 정도는 발생 정도도 중요한 척도이지만, 생물량도 중요 요소의 하나이다. 생물량을 고려한 분석은 별도의 분석법을 필요로 하기 때문에 이번 연구에서는 고려하지 않기로 하였다. 이런 경향들은 나방종의 세대수와도 상관이 있으므로, 각 종의 정확한 화기수를 파악하는 것도 필요하다. 이상의 자료는 나방 종 구성과 식생의 연관성을 직접 유추하기는 어려운데, 국내 나방 종의 기주 식물 해명도가 낮은 것이 부분적 이유이다. 일반적으로, 산림 면적과 숲의 연령은 나방 군집에 영향을 미치는 주요 변수로 작용한다(Brown and Hutchings, 1997). 각 지역의 두 식생군 모두에서 밤나방과, 자나방과가 우점과였는데, 이는 다른 조사 자료에서도 일반적인 현상으로, 두 분류군이 전체 나비목의 종조성에 큰 비율을 차지하기 때문이다. 소나무림에서 이들 두 과가 전체의 80%이상을 차지한 반면, 신갈나무림에서는 70%로 약간 낮았다. 이는 신갈나무림의 생물다양성이 높은 관계로 비슷한 생태적 지위를 가지는 종이 두 우점과 이외의 분류군에서 배출되었기 때문으로 생각된다.

Summervile 과 Crist (2003)는 산림생태계의 변화 추이 분석에 있어서 환경의 변화 양상에 나방 군집의 상응한 변화가 기대치 이하이므로, 전체 군집의 분석보다는 변화 추이에 유효한 소수 종을 선별하여 지표로 이용하는 것이 효율적이라 지적한 바 있다. 이를 위해, 환경 변화에 가장 민감하게 반응하는 분류군을 선정하는 것이 필요하다. 하지만, 나방 종의 생태적 요구에 기초한 환경민감도 지수의 개발은 국내에서는 여전히 요원한 일이다. 따라서, 가장 간단한 지표로 해당지역의 시기별 우점종이나 다화성 종들의 발생추이를 보는 것이 효과적이라 생각된다.

본 연구는 나방류에 의한 시공간적 분포를 장기간에 걸쳐 파악함으로써, 국가 장기 모니터링연구자들의 식생연구 및 토양과 기후 변화 연구에 관련된 나방류의 개체군 크기 변화에 관련된 원인규명을 생태학적으로 밝힐 수 있는 연구가 수행될 것으로 기대됨으로써, 나방의 개체군 변화 및 군집 변화 등 여러 가지 자연적인 변화와 식생의 반응에 초식자로서 아주 민감하게 반응하는 요소의 근본 원인을 밝힐 수 있는 연구이다. 각 조사지역별, 출현 시기에 대한 장기적인 조사를 통하여, 과별 또는 종별 특성에 대한 변동 추이를 검토한다면 환경변화에 따른 종 구성의 변화를 감지할 수 있을 것으로 예상한다. 그러나 나방류가 실질적으로 어떤 식물들을 기주 식물(host plant)로 이용하고 있는가 하는 부분은 좀 더 구체적인 연구가 수행 되어야 할 새로운 과제이면서도 매우 중요한 연구이다. 숲의 종류나 식물에 대해 전문가가 어떤 것인지 파악하는 것은 산림 생태계 내에서의 초식자들의 역할을 파악하는 것과 일맥 상통하며, 동시에 앞으로 장기 생태연구에 중요한 부분이라고 할 수 있다.

사 사

본 연구는 환경부 시행 국가 장기생태연구사업 지원과, 서울여자대학교의 지원으로 연구가 수행되었습니다.

Literature Cited

Allen, C.D., K.A. Macalady, H. Chenchouni, D. Bachelet, N. McDowell, M. Vennetier, T. Kitzberger, A. Rigling, D.D. Breshears, E.H. (Ted) Hogg, P. Gonzalez, R. Fensham, Z. Zhang, J. Castro, N. Demidova, J.H. Lim, G. Allard, S.W. Running, A. Semerci and N. Cobb. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. For. Ecol. Manag. 259: 660-684.

Brown, Jr. K.S. and R.W. Hutchings. 1997. Disturbance, fragmentation and the dynamics of diversity in Amazonian forest butterflies. pp. 91-110. In Laurance, W. F., Bierrgaard. R. O. (eds.), Biological dynamics of tropical forest fragments. Chicago University Press, Chicago, USA.

Fry R. and D. Lonsdale. 1991. Habitat Conservation for Insects - a Neglected Green Issue. Amat. Entomol. 21: 260.

Gange, A. C. and V.K. Brown. 1989. Insect herbivory affects size and variability in plant populations. Oikos 56: 351-356.

Grimaldi, D. and M.S. Engel. 2005. Evolution of the insects. Cambridge University Press, U.K.

Huntly, H. 1991. Herbivores and the dynamics of communities and ecosystems. Ann. Rev. Ecol. Sys. 22: 477-503.

IPCC. 2007. Climate change 2007: the physical science basis. In Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, and H.L. Miller (eds.). Contribution

of working group I to the fourth assessment. Reprot of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge Univeristy Press, Cambridge, United Kingdom, New York, NY, USA.

Kang, D.Y., J.H. Oh, and W.T. Kwon. 2003. The research on the trends of climate change by observatory records in the recent Korean peninsula. J. Kor. Meteorol. Soc. 13: 396-397.

Kil,B.S., E.S. Jeon, Y.S. Kim, C.H. Kim, K.W. Yun, H.G. Yoo, B.S. Kim and H.C. Kim. 1998. Flora and Distribution of Mt. Nam Park, Seoul. Kor. J. Ecol. 21: 603-631.

Kitching, R.L., A.G. Orr, L. Thalib, H. Mitchell, M.S. Hopkins and A.W. Graham. 2000. Moth assemblages as indicators of environmental quality in remnants of upland Australian rain forest. J. Appl. Ecol. 37: 284-297.

Langor, D.W. and J.R. Spence. 2006. Arthropods as ecological indicators. For. Chron. 82: 344-350.

Lee, C.S., H.J. Cho, J.S. Mun, J.E. Kim and N.J. Lee. 1998. Ecological diagnosis on Mt. Nam in Seoul, Korea. Kor. J. Ecol. 21: 713-721.

Lim, J.H., J.H. Shin, D.K. Lee and S.J. Suh. 2006. Climate change impacts on forest ecosystems: Research status and challenges in Korea. Kor. J. of Agr. Forest and Meteorology 8, 199-207.

McCune, B. and J.B. Grace. 2002. Analysis of ecological communities. MjM Software Design. Gleneden Beach, OR.

McCune, B. and M.J. Mefford. 1999. PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data. Version 4.0. MjM Software Design, Gleneden Beach, OR, USA.

MOE [Ministry of Environment]. 2005. Endemic species of korea. pp.140-161. Nature Resources Division. Nature Conservation Bureau. MOE, Korea.

Muir, P.S., R.L. Mattingly, J.C. Tappeiner II, J.D. Bailey, W.E. Elliott, J.C. Hagar, J.C. Miller, E.B. Peterson, and E.E. Starkey. 2002. Managing for Biodiversity in Young Douglas-fir Forests of Western Oregon. Biological Science Report, USGS/BRD/BSR-2002-0006. USGS, Forest and Rangeland Ecosystem Science Center, Corvallis, OR.

Oliver, I. and A.J. Beattie. 1996. Invertebrate morphospecies as surrogates for species: a case study. Conserv. Biol. 10: 99-109.

Park, H.C. 2005. The research about the effects of the climate change on insects. J. Korea Nat. Conserv. 130: 38-47.

Parmesan, C. and G. Yohe. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. Nature 421: 37-42.

Parsons, G.L., G. Cassis, A.R. Moldenke, J.D. Lattin, N.H. Anderson, J.C. Miller, P. Hammond and T.D. Schowalter. 1991. Invertebrates of the H.J. pp.168. Andrews Experimental Forest, Western Cascade Range, Oregon. V: An annotated list of insects and other arthropods. U.S.D.A., U.S.F.S., P.N.W. Research Station, General Technical Report, PNW-GTR-290.

Schowalter, T.D., W.W. Hargrove and D.A. Crossley Jr. 1986. Herbivory in forested ecosystems. Ann. Rev. Ent. 31: 177-196.

Stamp, N.E. and T.M. Casey. 1993. Caterpillars. Chapman & Hall, New York.

Summerville, K.S. and T.O. Crist. 2003. Determinants of Lepidopteran community composition and species diversity in eastern deciduous forests: roles of season, ecoregion and patch size. Oikos 100: 134-148.

Wilson, E.O. 1992. The diversity of life. Norton, New York.

Yim, Y.J. and K.C. Yang. 1998. Vegetation changes Mt. Nam Park, Seoul. Kor. J. Ecol. 21: 589-602.