

## 한국 서남부 농촌 경관 내 숲에 서식하는 나방 군집의 시간적 변화 양상

최세웅\*, 김남희<sup>1</sup>, 신보라<sup>2</sup>, 이재영, 장범준

목포대학교 환경교육과, <sup>1</sup>국립농업과학원 곤충산업과, <sup>2</sup>국립농업과학원 유기농업과

### Trend of temporal change in moth communities in forests of the agricultural landscape of southwestern South Korea

Sei-Woong Choi\*, Nang-Hee Kim<sup>1</sup>, Bora Shin<sup>2</sup>, Jae-Young Lee and Beom-Jun Jang

Department of Environmental Education, Mokpo National University, Muan 58554, Republic of Korea

<sup>1</sup>Division of Industrial Insect, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea

<sup>2</sup>Organic Agriculture Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Republic of Korea

#### \*Corresponding author

Sei-Woong Choi

Tel. 061-450-2783

E-mail. choisw@mokpo.ac.kr

Received: 4 September 2019

Revised: 18 September 2019

Revision accepted: 18 September 2019

**Abstract:** The aim of the present study was to investigate the temporal changes of moth communities in two forest types of the agroecosystem in the southwestern part of Korea, an isolated hillock forest and a continuous mountain forest. Temporal changes in the numbers of moth species and individuals at both forests showed no significant difference, although the numbers of individuals in the isolated hillock forest were decreased. The relationship between changes in moths and body size based on wingspan revealed that the larger moths decreased more in the isolated hillock forest, whereas no effect of body size on change of moths was observed in continuous mountain forest samples. Non-metric multidimensional scaling resulted in the grouping of moth communities by forest types and 10-year time intervals. In the future, long-term monitoring is needed to track the changes in moth communities in agroecosystems. Additionally, we need to investigate the effect of other ecological variables on changes in moth diversity.

**Keywords:** agroecosystem, moths, forest, body size

## 서 론

한국 농촌 경관은 전통적으로 논과 밭이 어우러진 패치와 다양한 크기의 마을 숲 또는 주변 산림과 연결된 복잡한 구조를 나타내고 있다. Choi *et al.* (2009)은 2006년부터 2007년까지 서식지 유형에 따른 나방 다양성 차이를 비교한 결과 농경지 주변 숲보다 산림지대 숲에 서식하는 나방 다양성이 높다고 보고하였으며 우점종의 먹이 식물 분석

을 통하여 서식지 유형이 종 분포와 밀접한 관련이 있다고 보고하였다. Kang *et al.* (2009)은 농업경관에서 딱정벌레 군집 특성 역시 서식지 유형에 따라 차이가 있다고 보고하였으며, Kim *et al.* (2018)은 농촌 경관을 구성하는 다양한 서식지 유형에 서식하는 곤충 다양성이 숲에서 가장 높고 과수원, 논밭 순으로 나타난다고 보고하여 곤충다양성은 농업생태계내에서도 서식지 유형에 따라 차이가 있다는 것을 보여 주었다. 하지만 우리나라를 포함한 전 지구적으

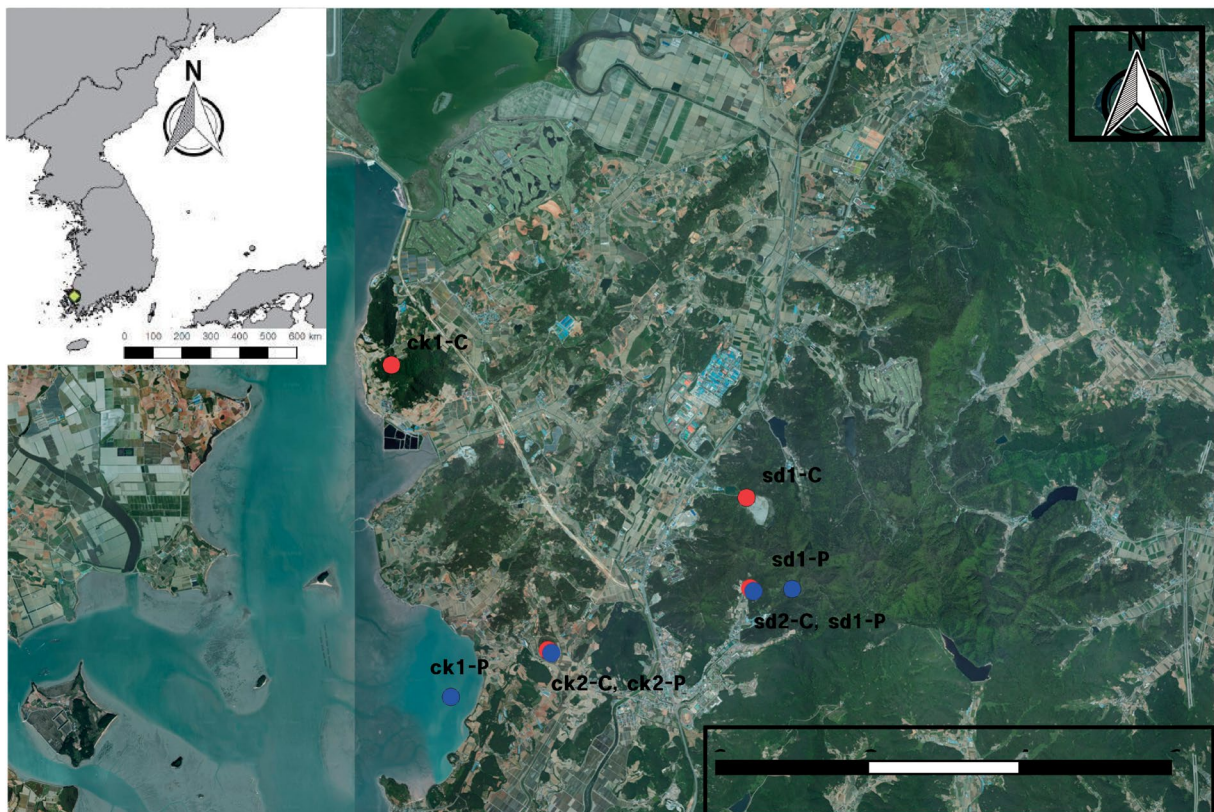
로 이루어지고 있는 농업 집중화는 경관 구조를 균일하게 만들어 농업 생산성 향상에 기여하고 있지만 기존 다양한 형태와 크기로 이루어진 패치의 감소와 이곳에 서식하는 생물을 더 위협에 처하게 하는 결과를 불러 일으키고 있다 (Tilman *et al.* 2002). 농업 생태계에는 비록 다양성이 자연 생태계에 비해 높지 않지만 1차 소비자 역할을 하는 초식 곤충부터 포식성 곤충, 부식성 곤충 등 다양한 곤충이 서식하고 있으며 이들은 생태계 서비스에 많은 기여를 하고 있다. 그러나 농업 집중화로 인한 작물 재배 양상과 농약 사용은 농업 생태계 생물다양성에 큰 위협을 주고 있다 (Benton *et al.* 2002; Tscharntke *et al.* 2007).

최근 육상 및 담수 생태계 종 다양성 양상을 살펴본 결과 많은 생물 종이 지속적으로 줄어들고 있다고 보고하고 있다. 예를 들어 Dirzo *et al.* (2014)은 1970년 이후 452종의 육상 무척추동물이 약 45% 감소추세를 보인다고 보고하고 있으며 교란된 지역과 덜 교란된 지역의 나방 다양성을 비교한 결과 덜 교란된 지역은 교란된 곳보다 평균 7.6배

높은 것으로 나타나, 교란된 지역의 나비목 곤충 풍부도가 더 뚜렷하게 감소 추세를 보이는 것으로 나타났다. 이 연구 목적은 농촌 경관 내에서 농경지로 고립되어 있는 숲과 연속되어 있는 산림 속 숲에 서식하는 나방의 종 다양성 양상이 최근 10년 동안 어떻게 변화했는가를 알아보는 것이다. 농촌 경관에서도 경관 내 숲에서 나방 다양성이 높은 것을 볼 수 있었는데 (Choi *et al.* 2009), 10년이라는 시간 동안 농촌 경관 내 서로 다른 두 산림 유형의 나방 다양성이 어떻게 변화해 나가는가를 살펴봄으로써 국제 연구에서 보고된 교란 정도에 따라 초식곤충 다양성 감소가 달리 나타나는지 살펴볼 수 있을 것으로 기대한다.

## 재료 및 방법

농촌 경관 중 농경지에 둘러싸인 숲과 농촌 경관과 인접한 산림지에 위치한 숲의 나방 군집 다양성 변화를 알아보



**Fig. 1.** Map of the study sites in the southwestern part of Korea: an isolated hillock forest (ck. Hill at Chungkye-myon surrounded by agricultural land; ck1, ck2) and a continuous mountain forest (sd: Mountain Seungdalsan, Chungkye-myon; sd1, sd2). P and C after the site name indicate the intervals from 2006 to 2008 and from 2016 to 2018, respectively.

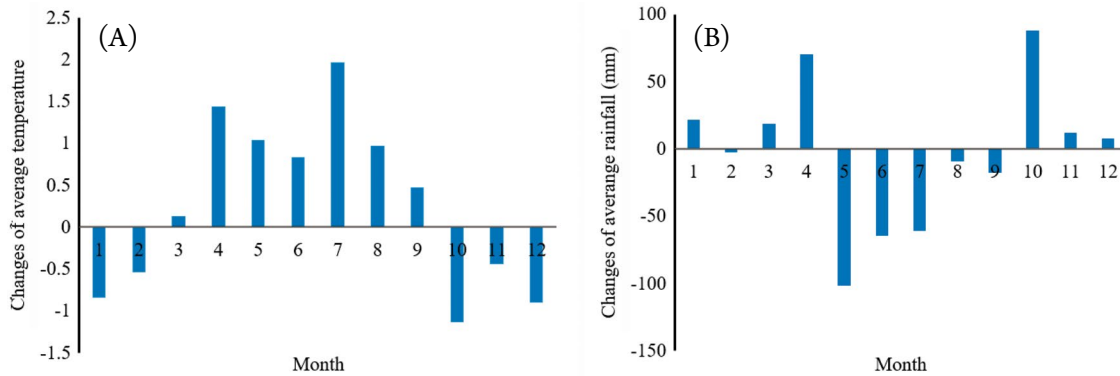


Fig. 2. Changes in average temperature (A) and total rainfall (B) between 2006~2008 and 2016~2018 at Mokpo, South Korea.

기 위하여 전남 무안 일대에서 각각 2지점씩 총 4지점을 선정하였다(Fig. 1). 조사는 5월부터 10월까지 월 1회 조사를 실시하였으며 조사기간은 2006년부터 2008년까지 그리고 2016년부터 2018년까지 10년 간격으로 3년씩 이루어졌다. 조사지 주변 기온과 강수량 변화는 조사지와 가장 가까운 목포시 기상자료를 이용하여 조사기간 동안 기온과 강수량 변동 양상을 살펴보았다. 그 결과 지난 10년 전에 비하여 겨울에는 더 추워지고 강수량이 늘어나며 여름에는 더 더워지고 강수량이 줄어드는 경향을 나타내고 있다(Fig. 2).

나방은 각 조사 지점에 자외선등 트랩(Ultraviolet Light trap, BioQuip, USA) 1개씩을 설치하였다. 자외선등 트랩은 22 watt 원형 자외선등을 12 Volt 배터리로 연결하여 해가 진 뒤 5시간 동안 자외선등에 유인되는 나방을 잡는 방법으로 설치한 다음날 트랩 안에 채집된 나방을 수거하였다. 수거한 나방은 나비목 관련 문헌자료를 이용하여(Kononenko et al. 1998; Kim et al. 2001; Shin 2001; Kim et al. 2016) 종 수준까지 동정하였다.

2006~2008년과 2016~2018년으로 나누어 얻어진 나방 자료는 조사지 유형에 따라 종과 개체수를 구분하여 다양성 변화를 살펴보았다. 서식지 유형과 시간에 따라 종과 개체수가 어떻게 변화했는지 paired t-test를 통해 검증하였다. 또한 과거와 현재 개체수 합계를 통하여 늘어나거나 줄어드는 종을 조사하였다. 조사대상 종은 개체수가 6개체 이상인 종을 대상으로 하였으며 이들의 날개편 길이를 이용하여 대형종(날개편 길이 30 mm 이상)과 소형종(날개편 길이 30 mm 미만)으로 구분한 뒤 개체수 증감에 나방 크기가 영향을 미치는지 교차분석을 통하여 알아보았다. 이들 통계분석은 SPSS (IBM SPSS, 2017) 프로그램을 이용

하였다.

농촌 경관 내 조사지 유형별 종 다양성 양상 변화를 알아보기 위하여 Hill지수를 이용하였다. Hill지수는 3가지 단계로 나누어 계산할 수 있다(Chao et al. 2014). 지수가 0인 경우 개체수가 작은 종에게 가중치를 주는 방법이며 지수 값이 커질수록(1, 2) 개체수가 많은 종에게 가중치를 더 주어 계산을 한다. 이 결과는 Hill지수가 0인 경우 종 다양성을 이용한 값과 동일한 양상을 나타내며 지수가 1인 경우 Shannon지수를 이용한 다양성 결과, 2인 경우 Simpson지수를 이용한 다양성 결과값과 동일한 양상을 나타낸다(Chao et al. 2014). 다양성 양상을 구하는 데에는 R 프로그램(ver. 3.4.3, R Development Core Team) iNEXT 패키지를 이용하였다(Hsieh et al. 2015).

2006~2008년과 2016~2018년으로 나방 자료를 통하여 농경지에 둘러싸인 숲과 산림지에 위치한 숲의 나방 군집 다양성이 조사지 유형, 시간에 따라 어떠한 양상을 띠는지 Non-metric Multidimensional Scaling (NMDS) 방법으로 분석하였다. NMDS 방법은 다양한 군집, 장소 등 다차원의 정보를 보통 2개 차원으로 줄여 자료를 보기 쉽고 이해할 수 있도록 만드는 방법이다. 이 방법은 거리값을 이용하는 다른 방법과는 달리 거리값을 순위자료로 이용하여 종들 간 차이와 환경 요소간의 공간적 차이를 선형으로 만들어 다양한 자료를 분석할 수 있는 장점을 지니고 있다(McCune and Grace 2002). NMDS 분석을 하기 위하여 전체 4개 조사 지점에 2006년부터 2008년 그리고 2016년부터 2018년 6년 자료를 연도별로 구분한 결과 604종을 확인하였다. 이들 604종 중 6개 지점 이하로 출현하는 449종을 제거한 155종과 24개 조사 지점을 서식지 유형(농경지 숲, 산림지 숲), 조사 년도, 과거(2006~2008)와 현재(2016~2018) 등



으로 나는 자료로 분석하였다. 분석은 PC-ORD (ver. 7.08, McCune and Mefford 2018)를 사용하였으며 분석에 사용한 거리 측정값은 Sørensen지수를 사용하였다.

## 결 과

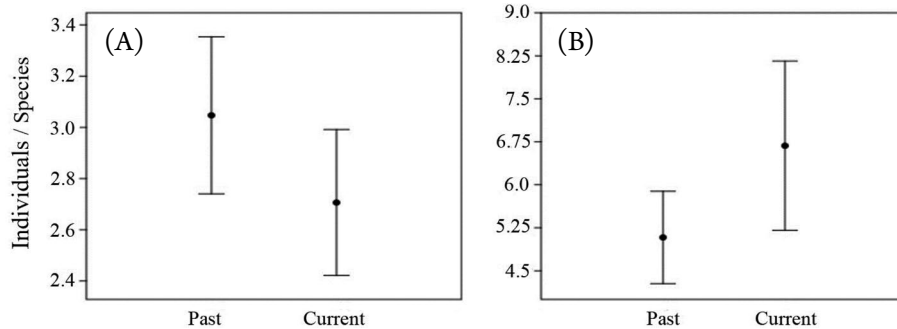
농경지 주변 숲 경관에서 출현한 나방은 2006~2008년에는 237종 1,100여 개체, 2016~2018년에는 260종 977개체로 종 수는 늘어나고 개체수는 줄어들었지만 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다 (Table 1; 종수  $t=0.03, p=0.97$ ; 개체수  $t=0.56, p=0.59$ ). 산림 숲에서 출현한 나방은 2006~2008년에는 340종 2,617개체였으며 2016~2018년에는 364종 3,441개체로 종수와 개체수 모두 증가하였으나 통계적으로 유의한 값을 나타내지 않았다 (종수  $t=0.35, p=0.73$ ; 개체수  $t=0.76, p=0.45$ ).

각 지역에서 출현한 종 당 개체수는 농경지 주변 숲 경관에서는 줄어든 반면 산림 숲 지역에서는 늘어나는 양상을 나타냈지만 두 지역 모두 통계적으로 차이를 나타내지

는 않았다 (Fig. 3; 농경지 주변 숲 paired  $t$ -test  $t=-1.03, p=0.31$ ; 산림 숲  $t=1.06, p=0.29$ ). 2006~2008년에 비해 2016~2018년까지 늘어나거나 줄어드는 종을 파악한 결과 농경지 주변 숲에서는 감소한 종이 54종, 늘어난 종이 36종으로 나타났으며 나방 개체수 증감에 날개편길이를 이용한 나방 크기가 관련이 있었다 (Table 2). 한편 산림 숲 지역에서는 감소한 종이 91종, 늘어난 종이 97종으로 나타

**Table 1.** Summary of moths in two different forest types in the southwestern part of Korea: an isolated hillock forest (ck. Hill at Chungkye-myon surrounded by agricultural land; ck1, ck2) and a continuous mountain forest (sd: Mountain Seungdalsan, Chungkye-myon; sd1, sd2). See Figure 1 for the location of the study sites

Site	Past (2006~2008)		Current (2016~2018)	
	Species	Individuals	Species	Individuals
ck1	194	675	176	420
ck2	135	425	177	557
Total	237	1,100	260	977
sd1	233	1,414	263	1,952
sd2	251	1,203	275	1,489
Total	340	2,617	364	3,441



**Fig. 3.** Changes in the numbers of individuals per species at two different forest types in the southwestern part of Korea. Past (2006~2008), Current (2016~2018). (A) Isolated hillock forest. (B) Continuous mountain forest.

**Table 2.** Summary of the change in moth population in relation to wingspan in the two forest types in the southwestern part of Korea

Forest type	Change	Wingspan		
		Large	Small	
Isolated hillock forest (Pearson Chi-square 205.35, $d.f. = 4, p < 0.001$ )	Decrease	Frequency Proportion	23 82.10%	31 50.00%
	Increase	Frequency Proportion	5 17.90%	31 50.00%
Continuous mountain forest (Pearson Chi-square 2.46, $d.f. = 1, p = 0.12$ )	Decrease	Frequency Proportion	46 54.80%	45 43.30%
	Increase	Frequency Proportion	38 45.20%	59 56.70%

났으며 나비 개체수 증감에 나방 크기는 관련이 나타나지 않았다(Table 2).

Hill지수를 이용한 예측 종수는 농경지 주변 숲에서는 2016~2018년 두 지점 간 종 다양성 양상에서 큰 차이를 나타냈지만 2006~2008년과 2016~2018년 양상에서는 큰 차이를 나타내지 않았다. 산림 숲 두 지점 간 시간에 따

른 종 양상 역시 2016~2018년 숲 한 지점을 제외하곤 모든 지수 값에서 큰 차이를 나타내지 않았다.

농경지 숲과 산림지 숲 간의 시간별 NMDS 분석결과 서식지 유형에 따라 나누어져 서식지 간 나방 군집에서 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있었으며(Final stress 10.17), 과거와 현재를 구분하는 시간 변수도 두 번째 축을 따라

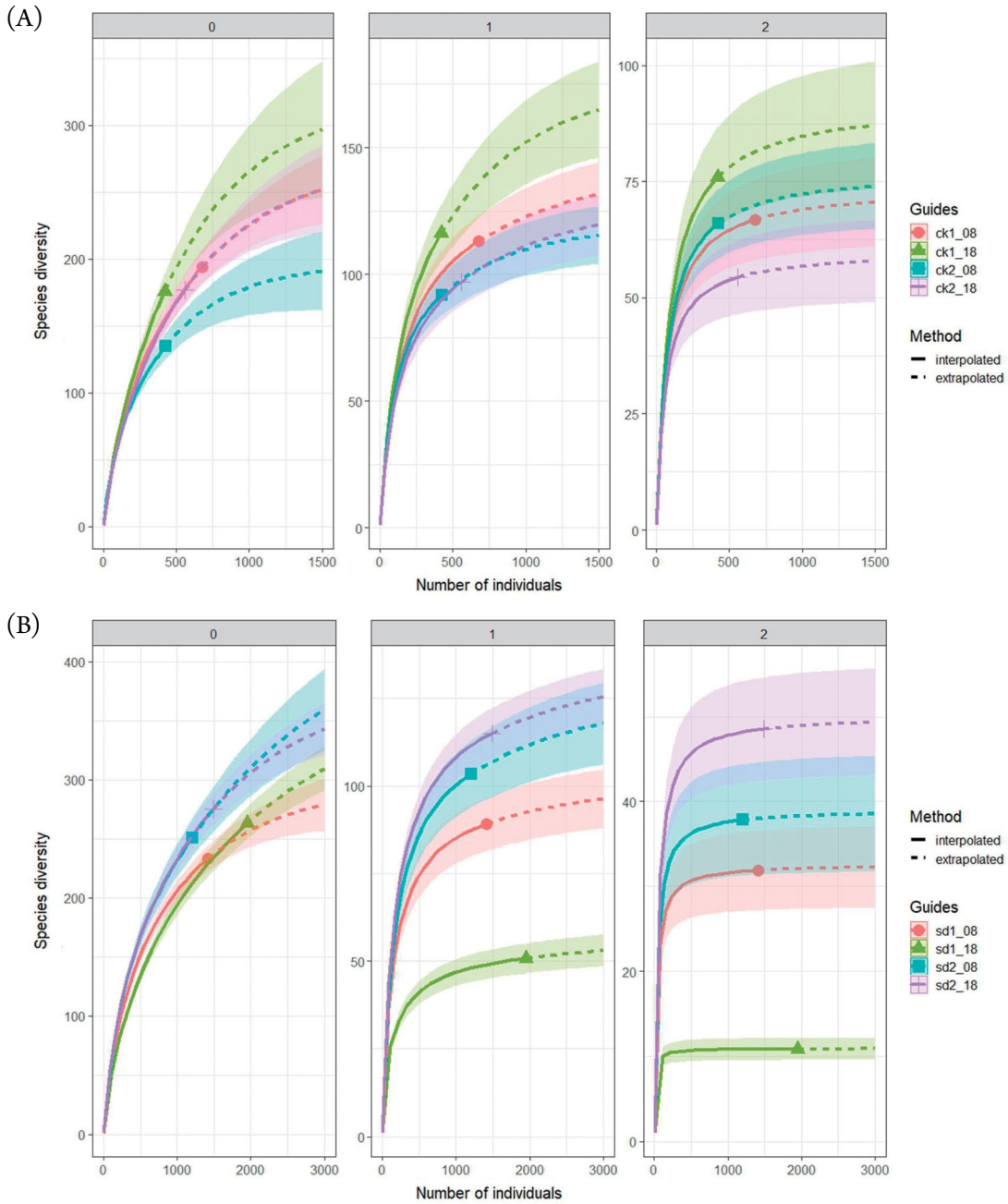
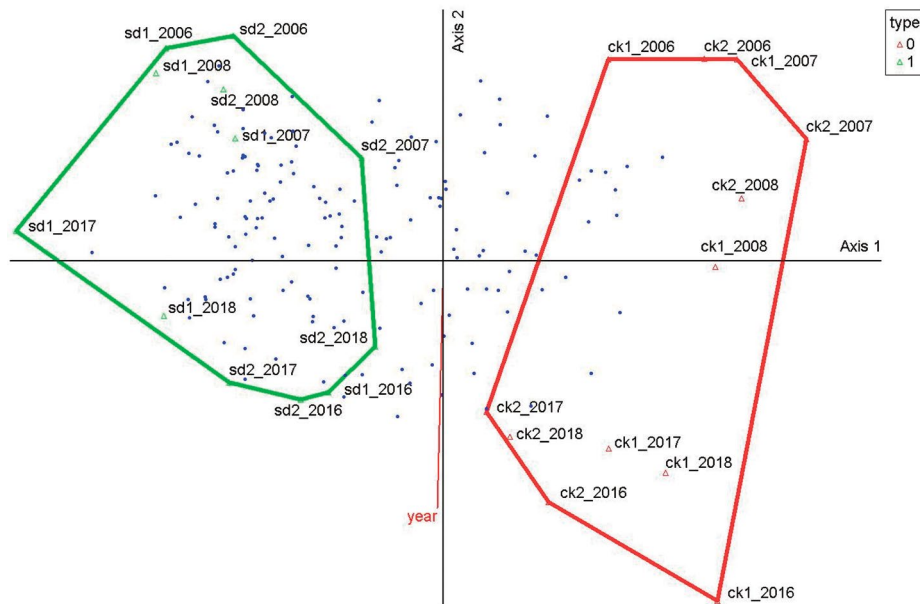


Fig. 4. Species accumulation curves of two different forest types in the southwestern part of Korea. (A) Isolated hillock forest. (B) Continuous mountain forest.



**Fig. 5.** NMDS ordination graph (final stress 10.17) of moth communities in two forest types in the southwestern part of Korea: an isolated hilllock forest (ck. Hill at Chungkye-myon surrounded by agricultural land; ck1, ck2) and a continuous mountain forest (sd: Mountain Seungdalsan, Chungkye-myon; sd1, sd2). The numbers after the site name indicate the survey year.

구분되는 것을 확인하여 시간에 따른 나방 군집 변화가 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

## 고 찰

한국 서남부 지역 농촌생태계를 구성하고 있는 경관 중 농경지 주변 숲과 산림지대 숲에서 출현한 나방은 기존 우리나라 연구 결과(Choi *et al.* 2009; Kim *et al.* 2018)와 마찬가지로 서식지 유형에 따라 군집 구성의 차이를 나타냈을 뿐만 아니라 시간적으로 차이가 있는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 5). Hill지수를 이용한 종 다양성 예측의 경우에도 관측된 값과 유사하게 10년 전과 후 큰 차이를 나타내지 않는 것으로 나타났다(Fig. 4). 시간적 변화 양상은 2006 ~ 2008년에 비해 2016 ~ 2018년에는 전체적으로 나방 풍부도가 증가하였지만 통계적으로 큰 차이를 나타내지 않아 증가 또는 감소로 평가하기는 힘들다. 하지만 이번 한국 서남부에서 연구는 지난 10년간 변화양상을 본 것으로 40년 이상 긴 시간을 두고 연구한 외국 결과(Dirzo *et al.* 2014; Hallmann *et al.* 2017)에서 감소 경향을 나타내는 것과는 차이가 있으며 더 긴 시간을 통한 나방 군집 구성 변화를 살펴볼 필요가 있다.

농촌 경관에서도 농경지 주변 산림에 서식하는 나방 종 수 변화가 산림 숲보다 더 급격한 변화를 겪고 있는 것으로 나타났다(Fig. 3). 특히 나방 종 증감에 영향을 줄 수 있는 생태학적 요인 중 날개편 길이를 이용한 나방 크기의 경우 농경지 주변 산림에서만 영향이 나타났으며 크기가 큰 나방 종이 작은 종보다 더 많이 감소한 것으로 나타났다. 이 결과는 인간 간섭이 많을 것으로 여겨지는 농경지 서식지에서 나방 군집이 영향을 받는데 그 영향은 나방 크기에 따라 다르게 나타나는 것으로 나타났다. Hambäck *et al.* (2007)은 나방 크기와 서식 밀도가 상관이 있다고 제안하였는데 크기가 큰 나방들은 높은 밀도를 유지하기 위해서는 큰 면적을 필요로 하고 크기가 작은 나방의 경우는 작은 면적에서도 높은 밀도를 유지한다고 제안하여 이번 연구에서 나타난 농경지 인근 숲과 같은 유형의 크기가 작은 숲의 경우 크기가 큰 나방의 풍부도가 더 많은 영향을 받았을 것으로 여겨져 유사한 결과라고 생각된다. 나방의 다른 생태학적 특성인 먹이식물 선호성, 출현 시기나 횡수, 서식지 특이성 등과 같은 요인도 나방 증감에 영향을 줄 수 있을 것으로 여겨지는데 이들이 우리나라 산림에서 영향을 미치는지에 대해서도 추후 조사해볼 필요가 있을 것으로 생각한다.

## 적 요

이 연구에서는 한국 서남부 농촌 경관 내에서 농경지로 고립되어 있는 숲과 연속되어 있는 산림 속 숲에 서식하는 나방의 종 다양성 양상이 10년 동안 어떻게 변화했는가를 알아보았다. 농경지 주변 숲 경관에서 나방 다양성은 과거와 현재 종수는 다소 늘어났지만 개체수는 줄어들었고 산림 숲에서 출현한 나방은 과거에 비해 현재 종수와 개체수 모두 증가하였지만 두 지역 모두 통계적으로 유의하게 나타나지 않았다. 나방 개체수 증감에 날개편 길이를 이용한 나방 크기를 살펴본 결과 농경지 주변 숲에서는 관련이 있었지만 산림 숲 지역에서는 관련이 나타나지 않았다. 농경지 숲과 산림지 숲 간의 시간적 공간적 분석결과 서식지 유형과 시간에 따라 나방 군집에서 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 추후 이러한 나방 군집 변화가 나방 크기 이외 다른 생태학적 요인과 영향을 받는지 그리고 장기적으로 어떻게 변화가 이루어지는지 살펴볼 필요가 있다.

## 사 사

이 연구를 수행하는 데 야외 조사에 도움을 준 목포대학교 환경생태학실험실 학생들에게 감사합니다. 이 연구는 목포대학교 연구년 교수 연구비 지원(2018년)으로 이루어졌습니다.

## REFERENCES

Benton TG, DM Bryant, L Cole and HQP Crick. 2002. Linking agricultural practice to insect and bird populations: a historical study over three decades. *J. Appl. Ecol.* 39:273-287.

Chao A, NJ Gotelli, TC Hsieh, EL Sander, KH Ma, RK Colwell and AM Ellison. 2014. Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecol. Monogr.* 84:45-67.

Choi SW, M Park and H Kim. 2009. Differences in moth diversity in two types of forest patches in an agricultural landscape in southern Korea - Effects of habitat heterogeneity. *J. Ecol. Field Biol.* 32:183-189.

Dirzo R, HS Young, M Galetti, G Ceballos, NJB Isaac and B Collen. 2014. Defaunation in the Anthropocene. *Science* 345:401-406.

Hallmann CA, M Sorg, E Jongejans, H Siepel, N Hofland, H Schwan, W Stenmans, A Müller, H Sumser, T Hörrén, D Goulson and H de Kroon. 2017. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLOS ONE* 12:e0185809.

Hambäck PA, KS Summerville, I Steffan-Dewenter, J Krauss, G Englund and TO Crist. 2007. Habitat specialization, body size, and family identity explain lepidopteran density-area relationships in a cross continental comparison. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 104:8368-8373.

Hsieh TC, KH Ma and A Chao. 2015. iNEXT: An R package for interpolation and extrapolation of species diversity (Hill numbers). <http://chao.stat.nthu.edu.tw/blog/software-download/>.

Kang BH, JH Lee and JK Park. 2009. The study on the characteristics of ground beetle (Coleoptera: Carabidae) community for conservation of biodiversity in agricultural landscape. *Kor. J. Env. Eco.* 23:545-552.

Kim NH, SW Choi, JS Lee, J Lee and KJ Ahn. 2018. Spatio-temporal changes of beetles and moths by habitat types in agricultural landscapes. *Korean J. Environ. Biol.* 36:180-189.

Kim SS, EA Beljaev and SH Oh. 2001. Illustrated Catalogue of Geometridae in Korea (Lepidoptera: Geometrinae, Ennominae). Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology & Center for Insect Systematics, Daejeon.

Kim SS, SW Choi, JC Sohn, T Kim and BW Lee. 2016. The Geometrid Moths of Korea (Lepidoptera: Geometridae). *Jung-haengsa, Seoul.* p. 499.

Kononenko VS, SB Ahn and L Ronkay. 1998. Illustrated Catalogue of Noctuidae in Korea (Lepidoptera). *Insects of Korea* 3. Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology & Center for Insect Systematics, Daejeon.

McCune B and JB Grace. 2002. Analysis of ecological communities. MjM Software, Gleneden Beach.

McCune B and MJ Mefford. 2018. PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data. Version 7.08. MjM Software, Gleneden Beach.

R Development Core Team. 2017. R: A language and environment for statistical computing. Ver. 3.4.3. R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>.

Shin YH. 2001. Coloured Illustrations of the Moths of Korea. Academybook, Seoul.

SPSS. 2017. IBM SPSS Statistics. IBM Corp.

Tilman D, KG Cassman, PA Matson, R Naylor and S Polasky. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418:671-677.

Tscharntke T, R Bommarco, Y Clough, TO Crist, D Kleijn, TA Rand, JM Tylianakis, S van Nouhuys and S Vidal. 2007. Conservation biological control and enemy diversity on a landscape scale. *Biol. Control* 43:294-309.