

농업생태계에 서식하는 나비 군집 다양성과 이들에 영향을 주는 지리적 위치 및 생태적 특징과의 관계

이재영, 최세웅^{1,*}

국립생태원, ¹목포대학교 환경교육과 환경생태학실험실

Relationship between butterfly community and geographic location and ecological traits inhabiting agroecosystems

Jae-Young Lee and Sei-Woong Choi^{1,*}

National Institute of Ecology, Seocheon 33657, Republic of Korea

¹Department of Environmental Education, Mokpo National University, Muan 58554, Republic of Korea

Contribution to Environmental Biology

- This research examines the ecological traits of butterfly communities in agroecosystems and their diversity in Korea, contributing to the field of environmental biology.

*Corresponding author

Sei-Woong Choi

Tel. 061-450-2783

E-mail. choisw@mokpo.ac.kr

Received: 7 December 2023

First revised: 21 December 2023

Second revised: 27 December 2023

Revision accepted: 27 December 2023

Abstract: This study investigated the diversity of butterfly communities inhabiting agroecosystems and examined the effect of latitude and longitude. The ecological characteristics of butterflies inhabiting rural ecosystems, such as habitat preference and food plant range, were also examined. This study was conducted from 2019 to 2022, selecting 10 locations nationwide and conducting line transect surveys every two weeks for four years, confirming a total of 112 species and 21,901 individuals. There was no difference in the number of species and individuals by region, but there was a clear difference in community composition. The most abundant species in rural ecosystems were *Pieris rapae*, *Polygonia c-aureum*, *Zizeeria maha*, and *Colias erate*, in that order. There was no significant difference in the number of species and individuals by latitude and longitude, indicating no peninsula effect. Habitat preference showed that butterflies preferring grasslands and forest edges were much more common than those preferring the forest interior, and the food breadth was mostly oligophagous, followed by monophagous and polyphagous. Butterflies inhabiting agroecosystems had ecological characteristics that preferred open spaces such as grasslands and forest edges or relatively diverse foods, due to the similarity of the environmental characteristics of the survey points. Through this study, we believe that continuous monitoring is necessary to determine whether climate change, which is currently underway and habitat change are affecting butterflies in agroecosystems.

Keywords: agroecosystem, butterfly, habitat, grassland, food breadth

1. 서 론

농업으로 사용되고 있는 경지 면적은 전 세계 국토면적의 약 11.6%를 차지하고 있으며 우리나라에서도 15.9%를 차지할 정도로 국토면적에서 높은 비중을 차지하고 있다(Choi *et al.* 2022). 농업생태계는 생태계서비스 측면에서 수분매개, 해충조절, 영양물질 순환, 토양 유지나 비옥도 유지 및 유전자원 공급원 등 다양한 생태계 기능을 제공하는 것으로 알려져 있다(MEA 2005). 하지만 농업생태계는 농작물 생산과 가축 사육을 목표로 하는 인위적 생태계로 농업 활동의 증가는 단일품종 확대와 과도한 비료 및 농약 사용 등으로 생물다양성과 이와 연관된 생태계서비스에 부정적 영향을 초래한다(Foley *et al.* 2005). 농업생태계 주변 경관 구조의 특징은 커다란 서식지가 여러 조그만 서식지로 쪼개지는 파편화가 많이 이루어진다는 것과 이러한 파편화는 생물다양성을 위협하는 주요한 요소이다(Saunders *et al.* 1991). 하지만 나라나 지역별로 차이가 나지만 경관을 구성하는 서식지의 크기, 모양, 배열과 각 구성요소의 비율 등은 농업생태계에서 생물다양성을 결정하는 데 중요한 역할을 한다(Paoletti 1995; Weibull *et al.* 2003; Tschardtke *et al.* 2005). 우리나라는 산지가 전 국토의 70%를 차지할 정도로 산이 많고 그 주변으로 농업활동이 유지되면서 농촌 경관은 논과 밭을 중심으로 한 넓은 경작지와 마을 주변에 인접한 마을숲(maelsop; village forest) 그리고 산림이 연결된 다소 복잡한 구조를 지니고 있다(Park 2006).

나비는 주간활동성으로 전 세계적으로 분포하고 초식성 곤충으로 화려한 날개색과 무늬를 지녀 잘 알려진 곤충이다. 한반도에는 약 280종이 분포하고 있으며 남한에는 약 200여 종의 나비가 분포하고 있다(Kim and Seo 2011). 나비의 생태학적 역할은 애벌레 기간 동안 다양한 식물을 먹는 초식곤충으로 그리고 곤충이나 새, 포유류 등의 먹이원이 되면서 성충으로 우화한 뒤 꽃을 방문하여 꽃가루를 매개하는 수분매개자로 작용한다(Gilbert and Singer 1975). 또한 나비는 서식지변화나 환경변화를 나타내는 지표종으로 많이 이용되고 있다. 농업생태계에서도 나비는 배추나 무 등 십자화과의 해충이나 벼의 해충으로도 알려져 있지만 성충의 경우 벌목, 파리목, 딱정벌레목 다음으로 많은 종이 수분매개를 위한 꽃을 방문하는 그룹이며 종 수준에서는 배추흰나비(*Pieris rapae*)는 꽃을 찾는 주요 종으로

알려져 있다(Choi and Jung 2015).

이 연구에서는 선 조사법(line transect method)을 통하여 우리나라 농업생태계에 서식하는 나비 군집이 위도별로 그리고 경도별로 어떠한 양상을 띠고 있는가를 알아보았다. 선 조사법은 농업생태계에 서식하는 나비류를 대상으로 기후변화에 따른 생물상 변동을 효과적으로 파악할 수 있는 조사 방법으로 제안하였다(Choi 2019). 우리나라 나비 종 분포는 대륙과 연결되어 있는 북쪽에서부터 남쪽으로 줄어드는 반도효과를 나타내고 있다(Choi 2004). 나비 종 분포가 농업생태계와 같은 변형된 생태계에서도 이러한 반도효과가 나타나는가를 확인하기 위하여 위도별 그리고 경도별로 종 수 변화를 살펴보았다. 또한 농업생태계 특성상 논과 밭 또는 과수원과 같은 개방된 공간으로 구성되어 있기 때문에 이러한 생태계 유형에 서식하는 종류가 어떠한 생태학적 특성을 지니는지 서식지 선호성과 먹이 범위를 통하여 알아보았다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사 지점

2019년부터 2022년까지 4년 동안 농업생태계에 해당하는 지점을 전국적으로 10지점을 선정하였다(Table 1). 조사 지점은 논 또는 밭이나 과수원으로 이루어진 지역(농지)과 야산을 포함하는(산지) 곳을 포함하고 있으며 조사 경로는 약 1km 내외이다. 이들 조사 지점을 대상으로 2주간격으로 선 조사법을 실시하였다. 선 조사법은 미리 정해진 경로를 따라 30분간 이동하면서 좌우 5m 반경에 출현하는 나비류를 관찰하여 기록하는 방법으로 육안으로 동정이 어려운 나비(예로 푸른부전나비류)는 포충망으로 채집 후 동정하는 것이다.

2.2. 분석

전국적으로 10개 조사 지점에서 관찰한 나비 종 수와 개체수가 조사 지점이 위치한 권역별로 차이가 있는지 알아보았다. 권역은 각 조사 지점의 위치를 기준으로 하였는데 위도 36°를 기준으로 남부권과 중부권으로 나누어 *t*-분석을 실시하였으며 위도와 경도에 따라 차이가 일정한 경향성을 띠고 있는지도 선형모델(linear model)을 사용

Table 1. Summary of the number of species and individuals collected from 10 sites from 2019 to 2022

Region	Sites	Longitude	Latitude	Number of species	Number of individuals
Middle	Ansung (AS)	127.270036	37.070688	24	1,818
	Namyangju (NYJ)	127.304194	37.558502	58	3,557
	Paju (PJ)	126.898080	37.905827	57	1,567
	Eumsung (ES)	127.681194	36.937902	39	2,360
	Danyang (DY)	128.344880	37.155950	58	2,040
	Yangku (YK)	127.939050	38.066616	60	1,758
Southern	Muan (MA)	126.423038	34.929369	38	2,519
	Sacheon (SC)	128.150741	35.096116	46	1,738
	Haenam (HN)	126.526047	34.379655	48	2,250
	Younggwang (YG)	126.480125	35.238222	35	2,294
Total				112	21,901

하여 알아보았다. *t*-분석과 선형모델은 PAleontological STatistics (PAST) 프로그램을 이용하였다(Hammer and Harper 2001).

조사 지역 간에 나비 군집 구성에 차이가 있는지 알아보기 위하여 NMDS (nonmetric multidimensional scaling) 를 통한 군집분석을 실시하였다. 군집분석에 사용한 데이터는 10개 지역에서 채집된 나비 종을 대상으로 분석을 실시하였다. 여기에서 사용한 유사도 지수는 Sorensen (Bray-Curtis)이었다. NMDS 분석에서 얻어진 결과를 바탕으로 사전에 남부권과 중부권으로 나눈 구분이 나비 군집 간 유사성에 차이가 있는지를 확인하기 위하여 Multiple response permutation procedure (MRPP) 분석을 실시하였다. NMDS와 MRPP 분석은 PC-ORD 프로그램(Ver. 7.08, McCune and Mefford 2018)을 이용하였다.

전국적으로 출현한 나비들의 서식지 선호와 먹이식물 범위 유형을 이용하여 특정한 서식지 유형을 선호하는지 그리고 이러한 선호가 권역에 따라 차이가 있는가를 확인하기 위하여 nested 분산분석(Analysis of variance, ANOVA) 방법을 통해 검정하였다($\alpha=0.05$). 서식지는 애벌레 서식지가 초지(grassland, GL), 숲 가장자리(forest edge, FE), 숲 내부(forest interior, FI)에 따라 구분하였으며 먹이식물 범위는 애벌레 먹이식물이 한 속에 속하는 경우(Monophagous, Mono), 한 과에 속하는 경우(Oligophagous, Oligo), 두 개 과 이상인 경우(Polyphagous, Poly)로 구분하였으며 여기에 사용한 정보는

Kim and Seo (2011)를 참조하였다. 사후분석에는 Tukey 를 이용하였으며 통계분석은 R (ver. 4.2.3, R Core Team 2023)을 이용하였다.

3. 결 과

2019년부터 2022년까지 4년 동안 전국 10개 지점에서 채집한 나비는 총 112종 21,901개체였다(Table 1). 종 수와 풍부도가 높은 곳은 남양주 58종 3,557개체와 단양 58종 2,040개체였다. 양구는 60종으로 가장 많았지만 개체수는 1,758개체로 풍부하지는 않았다. 남부지방의 영광과 무안은 각각 35종, 38종으로 낮았지만 개체수는 2,200~2,500개체로 많이 확인되었다. 이번 조사에서 가장 종 다양성이 낮은 곳은 안성으로 24종 1,818개체로 나타났다. 각 지점에서 확인된 종 수와 개체수는 상관관계가 높았으나 통계적으로 유의하지 않았다(correlation $r=0.83$, $p=0.08$). 개체수와 종 수를 권역별로 확인한 결과 개체수는 남부지방이 2,200.3 (± 164.96)으로 중부지방 2,183.3 (± 296.25)보다 약간 많았지만 권역 간 차이가 나타나지 않았다($t=0.04$, $p=0.97$). 종 수 역시 중부지방은 49.33 (± 5.98)종으로 남부 41.75 (± 3.12)보다 많았지만 통계적으로 차이는 나타나지 않았다($t=0.96$, $p=0.36$).

농업생태계에서 가장 많은 개체수로 확인된 종은 배추흰나비(*Pieris rapae*)였다. 그 다음으로 네발나비(*Poly-*

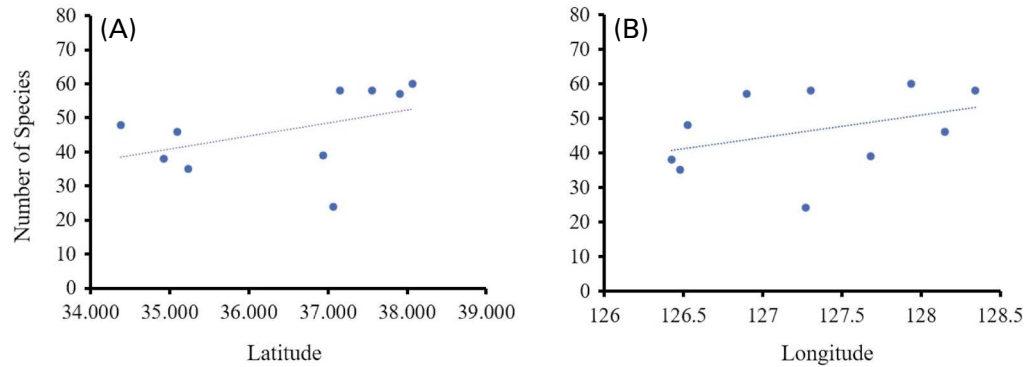


Fig. 1. Number of butterfly species along latitude (A) and longitude (B) in 10 study sites of agroecosystems in Korea.

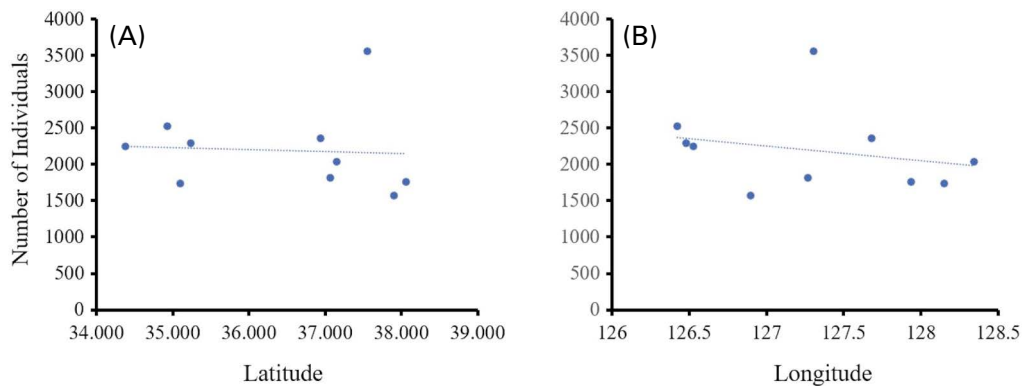


Fig. 2. Number of individuals of butterfly species along latitude (A) and longitude (B) in 10 study sites of agroecosystems in Korea.

gonia c-aureum), 남방부전나비 (*Zizeeria maha*), 노랑나비 (*Colias erate*) 순이었다. 권역별로는 남부지방에서는 배추흰나비, 남방부전나비, 노랑나비, 남방노랑나비 (*Eurema mandarina*), 네발나비 순으로 나타난 반면 중부지방에서는 배추흰나비, 네발나비, 남방부전나비, 노랑나비, 큰줄흰나비 (*Pieris melete*) 순으로 나타나 우점종에서 차이가 나타났다. 남부지방에는 분포하지만 중부지방에는 없는 종은 물결나비 (*Ypthima multistriata*) 등 14종, 중부지방에는 분포하지만 남부지방에는 없는 종은 회령푸른부전나비 (*Celastrina oreas*), 모시나비 (*Parnassius stubbendorffii*) 등 50종이었다. 전국적으로 분포하는 종은 48종이었다.

위도별로 종 수 분포 간 유의한 영향이 있는가를 알아본 결과 위도별로 증가하는 양상은 있었지만 통계적으로 유의하지는 않았다(종 수 = $-92.63 + 3.81 \times$ 위도, $t=1.35$, $p=0.21$, correlation $r=0.43$, Fig. 1). 개체수 역시 위도별

로 감소하였지만 통계적으로 유의하지는 않았다(개체수 = $3,224.5 - 28.39 \times$ 위도, $t=0.19$, $p=0.85$, correlation $r=-0.07$). 경도별로도 종 수와 개체수 영향을 알아본 결과 경도별로도 유의한 값이 나타나지 않았다(종 수 = $-777.53 + 6.47 \times$ 경도, $t=1.16$, $p=0.28$, correlation $r=0.38$; 개체수 = $27405 - 198.07 \times$ 경도, $t=0.72$, $p=0.49$, correlation $r=-0.25$, Fig. 2).

각 지점을 남부와 중부로 나누어 출현하는 종에 따른 군집의 차이를 알아본 결과 두 군집 사이는 뚜렷하게 구분되는 것을 확인하였다(Final stress 5.12, 40 number of iterations, MRPP A=0.13, $p<0.001$, Fig. 3). Final stress가 5~10 사이에 있는 것으로 나타나 군집분석 결과의 신뢰도가 높은 것으로 나타났다(McCune 1999; Dexter et al. 2018). 군집분석에서 얻어진 1번 축은 전체 자료의 74% 설명력을 가지며 2번 축은 18% 설명력을 가지고 있는 것으로 나타나 전체 설명력은 92%에 해당한다. 1번 축과 상관

관계가 0.5 이상 높은 상관을 보인 변수는 위도(-0.87)였으며 2번 축과는 높은 상관을 보인 변수는 없었다.

4년 동안 출현한 112종의 서식지 선호도를 조사하였다 (Table 2). 각 나비종의 애벌레 서식지 선호도를 조사 지점별로 분포하는 양상을 확인한 결과 농촌지역에 서식하는 종의 서식지 선호도는 초지 46종, 숲 가장자리 40종, 숲 내부 26종으로 나타났다(Fig. 4A). 농업생태계에 서식하는 나비들의 서식지 선호도는 초지와 숲 가장자리를 선호하

는 나비가 숲 내부를 선호하는 종보다 훨씬 많은 것으로 나타났다으며 권역별로는 서식지를 선호하는 경향에서 차이를 나타내지 않았다(Table 3). 또한 애벌레 먹이식물의 범위를 확인한 결과 단식성(Mono)은 43종, 협식성(Oligo)은 59종, 다식성(Poly)은 10종으로 확인되어 협식성인 먹이 범위를 지닌 나비류가 농업생태계에서는 가장 많이 출현하였고 단식성, 다식성 순서로 나타났다(Fig. 4B). 먹이 범위 폭의 차이 역시 권역별로는 차이를 나타내지 않았다 (Table 3).

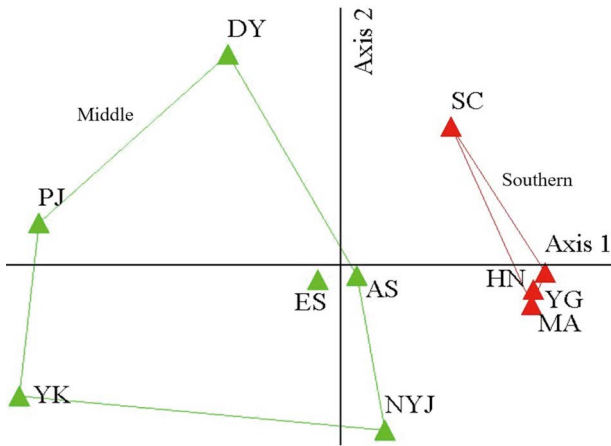


Fig. 3. NMDS graph for 112 butterfly species across 10 study sites of agroecosystems in Korea (Final stress 5.12 after 40 number of iterations). See Table 1 for site abbreviations.

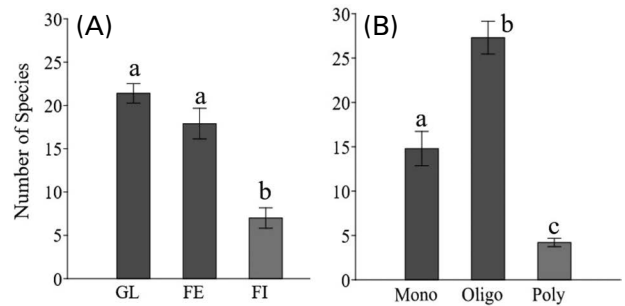


Fig. 4. Average numbers (\pm standard error) of butterfly species in habitat preference (A) and food breadth (B) that were found in 10 study sites of agroecosystems in Korea. GL. Grassland, FE. Forest edge, FI. Forest interior. Mono. Monophagous, Oligo. Oligophagous, and Poly. Polyphagous. Alphabets above the bar indicate a significant difference at $p < 0.05$.

Table 2. Summary of the numbers of species for habitat preferences and food breadth across 10 sites in Korea. GL. Grassland, FE. Forest edge, FI. Forest interior, Mono. Monophagous, Oligo. Oligophagous, and Poly. Polyphagous. Total is the total number of species occurring in each ecological trait

Region	Sites	Habitat preference			Food breadth		
		GL	FE	FI	Mono	Oligo	Poly
Middle	Ansung (AS)	15	8	1	7	15	2
	Namyangju (NYJ)	25	22	11	20	32	6
	Paju (PJ)	24	23	10	20	33	4
	Eumsung (ES)	17	19	3	11	24	4
	Danyang (DY)	24	25	9	26	28	4
	Yangku (YK)	25	23	12	19	34	7
Southern	Muan (MA)	20	13	5	9	26	3
	Sacheon (SC)	21	16	9	13	28	5
	Haenam (HN)	24	18	6	13	31	4
	Younggwang (YG)	19	12	4	10	22	3
Total		46	40	26	43	59	10

Table 3. Nested ANOVA analysis results of preference of butterfly habitats and food breadth across 10 study sites in agroecosystems of Korea

	Variable	df	Sum of squares	Mean square	F	p
Habitat	Habitat	1	1036.8	1036.8	49.48	<0.001
	Habitat: Region	1	44.8	44.8	2.14	0.16
	Residuals	27	565.8	21.0		
Food breadth	Food breadth	1	561.8	561.8	5.50	<0.05
	Food breadth: Region	1	17.1	17.1	0.17	0.69
	Residuals	27	2756.4	102.1		

4. 고 찰

우리나라에 분포하는 나비류 200여 종(Kim and Seo 2011) 중 56%에 해당하는 112종이 이번 조사에서 확인되어, 농업생태계에도 많은 나비류가 서식하는 것으로 나타났다. 조사 지역은 총 10개 지점으로 남부와 중부지방의 조사 지점 개수가 4개와 6개로 남부가 작았지만 각 권역별 종 수와 개체수는 통계적으로 큰 차이를 나타내지 않았다. 그러나 각 권역에서 출현하는 우점하는 나비의 종류나 출현종의 차이가 크게 나타났으며 군집분석 결과에서도 두 권역에서 구성종의 차이가 크게 나타났다. 두 권역에서 이러한 군집 구성 차이를 나타내게 한 요인은 우리나라가 남북으로 길게 뻗어 있는 지리적 특성으로 인하여 나비 종의 이주 및 서식지환경 차이가 큰 것으로 생각한다. 특히 한반도에 서식하는 나비는 반도효과로 인하여 구북구계의 종이주가 활발하여 유입이 많은 북쪽에서부터 남쪽으로 갈수록 종 수가 줄어드는 경향과 남방계 종이주는 비교적 많지 않지만 가능성이 높은 남쪽부터 점차 줄어드는 경향이 합쳐져서 나타난다(Choi 2004). 그러나 이번 조사에서 각 지점별 위도에 따른 종 수의 경향은 북쪽 위도에서 종 수가 많았고 경도에서도 동쪽으로 갈수록 많았지만 뚜렷한 경향성은 찾을 수가 없었다. 이러한 결과는 전국을 대상으로 한 연구 결과(Choi 2004)와 차이가 있는데 이번 조사는 조사 지점이 농촌이라는 것과 주로 서쪽에 분포되어 있다는 것이 가장 큰 요인이라고 생각한다. 나비 다양성은 서식지 다양성이 주요한 요인으로 작용하며(Wiggins 1999) 우리나라에서도 태백산맥을 중심으로 동쪽에서 다양한 지형학적 특성이 반도효과를 나타내게 한 주요 요인으로 나타났는데(Choi 2004) 이러한 서식지 다양성이 농촌경관에서는 작았던 것이 이전 전국적인 연구와 차이를 나타내게 한 요

인으로 생각한다.

이번 조사에서 확인된 농업생태계에 서식하는 나비류의 생태적 특성은 초지나 숲 가장자리를 선호하는 종이 많으며 한 과에 속하는 먹이식물을 먹는 습성을 가진 종이 많다는 것이다. 이번 조사에 포함된 농업생태계 경관은 주로 농경지이지만 주변으로 마을숲이나 산림지대에 접해 있어 애벌레 서식지의 특성과 밀접한 연관이 있는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 지리적 특성으로 초지나 숲 가장자리를 선호하는 종의 출현이 숲 내부를 선호하는 종보다 많았을 것으로 생각한다. 이러한 경향은 우리나라에 서식하는 나비 중 초지를 선호하는 종의 비율이 39%, 숲 가장자리를 선호하는 종의 비율은 31%, 그리고 숲 내부를 선호하는 종의 비율이 29%인 것(Kim and Seo 2011)과 비교하여도 초지와 숲 가장자리를 선호하는 종의 비율은 높고 숲 내부를 선호하는 종의 비율은 더 낮은 것을 볼 수 있다. 또한 애벌레 먹이 범위를 알아본 결과 단식성 비율이 38%, 협식성 비율이 53%, 그리고 다식성 비율이 9%로 협식성 비율이 높은 반면 우리나라 전체 나비류를 대상으로 알려진 먹이 비율은 단식성 46%, 협식성 44%, 다식성 10%로(Kim and Seo 2011), 단식성과 협식성이 많은 것으로 나타나 농촌에서 출현한 나비의 먹이선택성이 비교적 넓은 것으로 나타났다. 서식지 파편이 작을수록 분산이 적게 되어 단식성 초식곤충은 점차 작아질 것이며 협식성이나 다식성의 경우 파편의 크기가 작더라도 꽃이 피어 있거나 나비들이 좋아하는 주변 환경에서 유입되는 수가 늘어 축적됨으로써 종 풍부도가 늘어난다는 연구 결과(Steffan-Dewenter and Tscharrntke 2000)와 유사한 양상을 띠었다. 또한 단식성과 같은 전문종은 자신이 선호하는 특정한 서식지를 필요로 하는 반면 협식성이나 다식성과 같은 일반종은 다양한 서식지가 연결되거나 구성되어 있는 서식지 네트워크가 더

크게 작용하기 때문에(Steffan-Dewenter and Tscharrntke 2000; Thomas 2000) 농업생태계와 같은 파편화가 많이 이루어진 곳에서는 단식성보다는 협식성 나비가 더 많이 출현할 것으로 예상할 수 있다.

농업생태계에 출현하는 종 중 가장 흔히 볼 수 있는 종은 배추흰나비로 나타났다. 배추흰나비는 다양한 온도범위에서 자랄 수 있는데 16.5°C에서 30.5°C에서 성장속도가 증가하여 30.5°C에서 최대성장을 보인다고 했으나(Gilbert and Raworth 1996), 짧은 기간 동안 35°C까지도 성장이 이루어진다고 알려져 온도 범위 폭이 넓은 것으로 알 수 있다(Kingsolver 2000). 하지만 고온 환경에서 성장률은 전체 성장률에 다양하게 영향을 보이고 저온보다는 고온에서 선택압이 더 크게 작용한다(Kingsolver 2000)고 알려져 최근 기후변동이 큰 환경에서 배추흰나비 성장률에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다. 온도 영향과 함께 일년 중 출현횟수에 대해서도 기온상승과 밀접한 연관을 짓는데 1940년대 영국에서는 최대 3회 출현한다고 알려져 있다(Richards 1940). 우리나라에서도 위도에 따라 출현횟수가 달라질 수 있어 이에 대한 연구가 필요하다고 생각한다.

기후변화에 따라 다양한 생물종을 지표종으로 선정하여 기후변화 모니터링을 진행하고 있다(Dennis 1993; McGeoch 1998; Holt and Miller 2011). 우리나라도 농업생태계에 서식하는 생물을 대상으로 기후변화지표종을 선정했는데 나비류로는 배추흰나비, 호랑나비, 노랑나비, 남방노랑나비가 선정되었다(Kim *et al.* 2021). 남방노랑나비는 이번 조사에서도 남부지방에서만 발견된 종으로 앞으로 기후변화에 따라 중부지방에서의 출현 양상이 두드러질 가능성이 크다고 여겨진다. 이들 이외에 물결나비를 비롯한 14종은 남부지방에서만 발견되었던 종으로 이들의 출현 양상도 지속적으로 모니터링할 필요가 있다. 한편 물결나비는 전국에 분포하는 종이지만 이번 조사에서 남부지방에서만 발견되고 중부지방에서는 발견이 안 되었는데 중부지방 농업생태계에서만 관찰이 안 되는 이유가 서식지 변화에 의한 것인지 정밀한 조사가 필요하다.

적 요

농업생태계는 생태계서비스 측면에서 수분매개, 해충 조절, 영양물질 순환, 토양 유지나 비옥도 유지 및 유전자원 공급원 등 다양한 생태계 기능을 제공하지만 서식

지 파편화를 포함한 환경오염 등 생물다양성을 위협하기도 한다. 이 연구에서는 선 조사법을 통하여 농업생태계에 서식하는 나비 군집 다양성을 알아보고 이들이 위도와 경도에 따라 어떠한 양상을 띠고 있는가를 알아보았다. 또한 농업생태계에 서식하는 나비들의 서식지 선호성과 먹이식물 범위 등 생태학적 특성도 알아보았다. 이번 연구는 2019년부터 2022년까지 4년 동안 전국적으로 10지점을 선정하여 2주 간격으로 선 조사법을 실시하였으며 총 112종 21,901개체를 확인하였다. 권역별로 종과 개체수는 차이를 나타내지 않았으나 군집 구성에서는 뚜렷한 차이가 있었다. 농업생태계에서 가장 많은 개체수로 확인된 종은 배추흰나비(*Pieris rapae*)였으며 네발나비(*Polygonia c-aureum*), 남방부전나비(*Zizeeria maha*), 노랑나비(*Colias erate*) 순이었다. 위도별, 경도별로도 종 수와 개체수 변화는 유의한 결과를 나타내지 않아 반도효과가 나타나지 않았다. 서식지 선호도는 초지와 숲 가장자리를 선호하는 나비가 숲 내부를 선호하는 종보다 훨씬 많은 것으로 나타났으며 먹이 범주는 협식성이 가장 많았고 단식성, 다식성 순서로 나타났다. 농업생태계에 서식하는 나비는 조사 지점의 환경이 비슷하여 위도 구배가 나타나지 않았으나 초지나 숲 가장자리와 같은 개방된 공간이나 비교적 다양한 먹이를 선호하는 생태학적 특성을 지녔다. 이번 연구를 통하여 현재 진행되고 있는 기후변화에 따른 농촌 경관 변화가 나비류에 영향을 미치는지 지속적인 모니터링이 필요하다고 제안한다.

CRedit authorship contribution statement

JY Lee: Data curation, Writing - Review & editing. **SW Choi:** Data curation, Visualization, Writing - Original draft preparation, Supervision.

Declaration of Competing Interest

The authors declare no conflicts of interest.

사 사

이 연구를 위하여 전국에서 나비 채집을 도와준 목포대 학교 환경교육과 환경생태학실험실 조서운과 동아시아환

경쟁물연구소 김성수, 주재성, 이영준, 최수철, 나비마을 백유현, 전주아 선생님께 감사를 드립니다. 이 연구는 농업과 학원 과제(PJ01346303) 지원으로 이루어졌습니다.

REFERENCES

- Choi SC, JK Kim and JA Yang. 2022. Statistics of Korean Agriculture in the World. M. 172. Korea Rural Economic Institute. Naju, Korea. <https://library.krei.re.kr/pyxis-api/1/digital-files/401755dd-1b13-4925-b83d-473f3c0dffdd>
- Choi SW. 2004. Trends in butterfly species richness in response to the peninsular effect in South Korea. *J. Biogeogr.* 31:587–592. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2003.01007.x>
- Choi SW. 2019. Comparison of butterfly monitoring methods in agricultural landscapes in Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 37:82–87. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2019.37.1.082>
- Choi SW and C Jung. 2015. Diversity of insect pollinators in different agricultural crops and wild flowering plants in Korea: Literature review. *J. Apic.* 30:191–201. <https://doi.org/10.17519/apiculture.2015.09.30.3.191>
- Dennis RL. 1993. *Butterflies and Climate Change*. Manchester University Press. Manchester, UK.
- Dexter E, G Rollwagen-Bollens and SM Bollens. 2018. The trouble with stress: A flexible method for the evaluation of nonmetric multidimensional scaling. *Limnol. Oceanogr. Meth.* 16:434–443. <https://doi.org/10.1002/lom3.10257>
- Foley JA, R DeFries, GP Asner, C Barford, G Bonan, SR Carpenter, FS Chapin, MT Coe, GC Daily, HK Gibbs, JH Helkowski, T Holloway, EA Howard, CJ Kucharik, C Monfreda, JA Patz, IC Prentice, N Ramankutty and PK Snyder. 2005. Global consequences of land use. *Science* 309:570–574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- Gilbert LE and MC Singer. 1975. Butterfly ecology. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 6:365–395. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.06.110175.002053>
- Gilbert N and DA Raworth. 1996. Insects and temperature - a general theory. *Can. Entomol.* 128:1–13. <https://doi.org/10.4039/Ent1281-1>
- Hammer Ø and DA Harper. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. electron.* 4:1–9.
- Holt EA and SW Miller. 2011. Bioindicators: Using organisms to measure. *Nat. Educ.* 3:8–13.
- Kim MH, SK Choi, SW Choi, C Jung, YJ Oh, MK Kim, J Eo, SJ Yeob and JH Bang. 2021. Selection of 30 indicator species for climate change in agroecosystem using analytical hierarchy process (AHP) and expert questionnaire survey. *J. Clim. Change Res.* 12:421–429. <https://doi.org/10.15531/kscrcr.2021.12.5.421>
- Kim SS and YH Seo. 2011. *Life Histories of Korean Butterflies*. Sakyjeol. Paju, Korea.
- Kingsolver JG. 2000. Feeding, growth, and the thermal environment of cabbage white caterpillars, *Pieris rapae* L. *Physiol. Biochem. Zool.* 73:621–628. <https://doi.org/10.1086/317758>
- McCune B. 1999. PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 4. MjM Software Design. Gleneden Beach, Oregon, USA.
- McCune B and MJ Mefford. 2018. PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 7.08. Wild Blueberry Media. Corvallis, Oregon, USA.
- McGeoch MA. 1998. The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biol. Rev.* 73:181–201. <https://doi.org/10.1017/S000632319700515X>
- MEA. 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Wetlands and Water Synthesis*. Millennium Ecosystem Assessment. World Resources Institute. Washington, D.C., USA.
- Paoletti MG. 1995. Biodiversity, traditional landscapes and agroecosystem management. *Landsc. Urban Plan.* 31:117–128. [https://doi.org/10.1016/0169-2046\(94\)01040-F](https://doi.org/10.1016/0169-2046(94)01040-F)
- Park JC. 2006. Concept and case of village grove. *Keimyung Korean Stud. J.* 33:233–262.
- R Core Team. 2023. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.r-project.org/>
- Richards OW. 1940. The biology of the small white butterfly (*Pieris rapae*), with special reference to the factors controlling its abundance. *J. Anim. Ecol.* 9:243–288. <https://doi.org/10.2307/1459>
- Saunders DA, RJ Hobbs and CR Margules. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: A review. *Conserv. Biol.* 5:18–32. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1991.tb00384.x>
- Steffan-Dewenter I and T Tschardtke. 2000. Butterfly community structure in fragmented habitats. *Ecol. Lett.* 3:449–456. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2000.00175.x>
- Thomas CD. 2000. Dispersal and extinction in fragmented landscapes. *Proc. R. Soc. B-Biol. Sci.* 267:139–145. <https://doi.org/10.1098/rspb.2000.0978>
- Tschardtke T, AM Klein, A Kruess, I Steffan-Dewenter and C Thies. 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity-ecosystem service management. *Ecol. Lett.* 8:857–874. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00782.x>
- Weibull AC, Ö östman, and Å Granqvist. 2003. Species richness in agroecosystems: the effect of landscape, habitat and farm management. *Biodiver. Conserv.* 12:1335–1355. <https://doi.org/10.1023/A:1023617117780>
- Wiggins DA. 1999. The peninsular effect on species diversity: a reassessment of the avifauna of Baja California. *Ecography* 22:542–547. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.1999.tb01284.x>