

우리나라 농촌경관에 서식하는 나비 모니터링 조사 방법 비교 연구

최세웅*

목포대학교 환경교육과 환경생태학실험실

Comparison of butterfly monitoring methods in agricultural landscapes in Korea

Sei-Woong Choi*

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

*Corresponding author

Sei-Woong Choi
Tel. 061-450-2783
E-mail. choisw@mokpo.ac.kr

Received: 5 March 2019

Revised: 18 March 2019

Revision accepted: 18 March 2019

Abstract: Global warming has a significant impact on diverse ecosystems including agroecosystem through; changing of phenology, physiology and distribution. Monitoring of biological responses emanating from global warming is required to understand the challenges of biological diversity conservation posed by climate change. The Korean government selected four butterfly species as indicators of climate change in agroecosystem: *Papilio xuthus*, *Pieris rapae*, *Colias erate*, and *Eurema mandarina*. The aim of this study was to investigate the different monitoring methods of the butterflies in Korea and suggest a suitable monitoring method to track the population trends of butterflies in the agroecosystem. Butterfly monitoring was conducted in eight sites throughout Korea from April to October, 2018 using three survey methods: point census at rice paddy area, point census at the border between rice paddy and hill and line transect along the rice paddy and hill. Each method took approximately 30 min. to count the butterflies. A total of 4,691 butterflies and 92 species were counted. The most dominant species was *Pieris rapae* with a total count of 1,205 individuals followed by *Polygonia c-aureum*, *Zizeeria maha*, *Colias erate*, *Cupido argiades* and *Papilio xuthus*. Among the three census methods, the total number of species and individuals when using line transect method was statistically higher than in the other methods. However, the numbers of the four butterflies indicators showed no difference throughout three census methods. Based on the number of species and the total individuals butterflies in agroecosystem, we advocate for the application of line transect method as it can find more butterflies in agroecosystem. In addition, we advised for the implementation of education programs on the line transect method in butterfly identification to participants of the national monitoring program.

Keywords: agroecosystem, global warming, indicators, butterfly, line transect

서론

농업생태계는 지구 표면적의 약 40%를 차지하여 육상생태계에서 중요한 생태적 역할을 담당하고 있다(Zhang *et al.* 2007). 농업생태계는 생산을 목표로 하기 때문에 특정 생물종이 우점하고 종 다양성이 낮으며 외부 충격이나 교란에 대한 저항성이 매우 낮은 특성을 지니고 있다(Odum 1969). 지구적인 농업 확대는 자연 서식지 감소와 파편화 등 생태계에 부정적 영향을 초래하지만 농업생태계를 구성하는 구성원들은 영양물질 순환, 유기물 분해, 물 순환 등과 같은 토양과 연관된 과정과 먹이망 구성, 유전자 흐름, 식량 생산 등으로 생태계에 긍정적인 영향을 미치고 있다(Söderström *et al.* 2001; Westphal *et al.* 2003; Tscharnitke *et al.* 2005; Moonen and Bärberi 2008; Garback *et al.* 2014).

최근 지구온난화로 인한 기후변화는 생태계 전반에 많은 영향을 미치고 있다(Vitousek 1994; Traill *et al.* 2010). 식물 개화와 동물의 출현, 이동 시기와 같은 생물계절과 분포의 변화는 생물다양성과 생태계 군집 구조를 변화시키는 것으로 알려져 있다(Andrew *et al.* 2013). 농업생태계도 지구온난화로 인하여 외래동식물의 침입, 병해충 확산 가능성이 높아지면서 작물 생장에 방해가 받거나 잡초, 병해충 관리를 위한 영농활동 비용 증가와 같은 경제적 피해가 증가하고 있다. 지구온난화로 인한 기후변화가 농업생태계에 어떠한 영향을 미치는가를 효과적으로 감시하기 위한 수단으로 기후변화에 비교적 민감하게 반응하는 곤충 지표종을 선정하고 이들을 대상으로 장기적이고 안정적인 실태조사를 실시할 필요성이 전 세계적으로 높아지고 있다(Asher *et al.* 2001; Thomas 2005; van Swaay *et al.* 2008). 우리나라 농촌진흥청에서는 2017년 농업부문 기후변화 지표종 30종을 선정하였고(Kim *et al.* 2018), 이 중 나비류는 호랑나비(*Papilio xuthus*), 배추흰나비(*Pieris rapae*), 노랑나비(*Colias erate*), 남방노랑나비(*Eurema mandarina*) 4종이다

(Fig. 1).

서식지 변화나 환경변화에 따른 나비 개체군 증감을 알기 위하여 영국을 포함한 유럽과 북미 등 많은 나라에서 모니터링이 이루어지고 있다(Pollard and Yates 1993; van Swaay *et al.* 2008). 농업생태계를 포함한 다양한 서식지에 서식하는 나비류를 조사하기 위하여 선 조사법(line transect)을 실시하고 있다(Pollard *et al.* 1995). 선 조사법은 일정한 경로를 따라 좌우 5 m에 출현하는 나비류를 세는 방법이다. 한국 농촌 경관은 논과 밭을 중심으로 넓은 경작지와 함께 마을숲(maeulsoop; village forest)이나 산림이 연결된 다소 복잡한 경관 구조를 지니고 있는데, 이러한 경관구조에 서식하는 나비류를 조사하기 위하여 선 조사법을 통한 연구가 이루어졌다(Kim *et al.* 2007; Kim *et al.* 2013; Choi and An 2015).

넓은 논과 밭 등 경작지로 이루어진 농촌생태계에서는 관찰자가 특정한 지점에서 주변 일정한 반경 안에서 관찰되는 새나 포유류, 비행성 곤충 등을 측정하는 점 조사방법(point census)도 있다. 이 방법은 관찰자가 한 곳에 머물거나 특정한 몇개 지점을 이동하면서 서식지에서 관찰되는 새나 다른 비행성 생물인 나비류를 세는 것으로 조사자 이동이 어려운 서식지에서도 효과적으로 종 수와 개체수를 셀 수 있다(Kitahara and Watanabe 2003). 이 연구에서는 농촌 경관을 구성하고 있는 숲, 과수원, 농경지 등과 같은 다양한 서식지 구성 요소를 지닌 곳에서 출현하는 나비를 모니터링하기 위하여 서로 다른 조사방법을 함께 실시한 후, 종 다양성과 풍부도 측면에서 어떠한 방법이 더 효율적인가를 밝혀내어 특정 조사방법을 제안하고자 하였다.

재료 및 방법

농촌 경관에 서식하는 농업생태계 기후변화지표 나비류 출현 양상을 알아보기 위하여 강원(홍천), 경기(남양



Fig. 1. Four butterfly indicators of climate change on agroecosystem in Korea. (A) *Papilio xuthus*, (B) *Pieris rapae*, (C) *Colias erate*, (D) *Eurema mandarina*.

주, 양평, 안성), 충북(제천, 단양), 전남(무안, 해남) 등 8지역에서 2018년 4월부터 10월까지 조사를 실시하였다. 조사는 각 지역에서 논으로 이루어진 지역(농지), 논, 밭 또는 과수원, 주변 야산을 포함하는(산지) 곳을 대상으로 2개 조사 지점을 선정 후 조사방법을 점 조사(농지), 점 조사(산지), 선 조사(산지)로 나누어 나비를 조사하였다. 나비류는 농업생태계 기후변화 지표종으로 선정된 4종 이외에도 관찰되는 모든 나비를 포함하였다.

점 조사(point census method)에서는 조사자가 위치한 주변 30 m 반경 내에서 관찰된 나비류를 30분간 육안으로 관찰한 후 기록하는 방법을 이용하였다. 선 조사(line transect method)에서는 미리 정해진 경로를 따라 30분간 이동하면서 좌우 5m 반경에 출현하는 나비류를 관찰하여 기록하는 방법을 이용하였다. 일부 육안으로 동정이 어려운 푸른부전나비류는 채집이 가능한 경우 채집 후 동정하였으며 채집이 불가능한 경우 푸른부전나비류로 동정한 뒤 분석에서는 제외하였다.

8개 조사지점에서 관찰한 나비 종 수와 개체수가 조사방법(농지 점 조사, 산지 점 조사와 산지 선 조사) 간에 차이가 있는지 알아보기 위하여 분산분석(ANOVA; Analysis of Variance) 방법을 통하여 차이를 검정하였다($\alpha=0.05$). 사후분석에는 Tukey를 이용하였으며 통계분석은 PAST 프로그램(Hammer *et al.* 2001)을 이용하였다.

결과 및 고찰

한국 북부(강원 홍천), 중부(경기 남양주, 양평, 안성, 충북 제천, 단양), 남부(전남 무안, 해남) 등 8지역에서 2018년 4월부터 10월까지 월 1~2회씩 조사를 실시한 결과 총 92종 4,691개체가 확인되었다(Table 1). 가장 개체수가 많

았던 종은 배추흰나비로 1,205개체가 확인되었으며 네발나비(*Polygona c-aureum*) 952개체, 남방부전나비(*Zizeeria maha*) 446개체, 노랑나비 191개체, 암떡부전나비(*Cupido argiades*) 188개체, 푸른부전나비(*Celastrina argiolus*) 159개체, 호랑나비 140개체 순으로 나타났다. 농업생태계 기후변화지표종으로 선정된 배추흰나비, 노랑나비, 호랑나비, 남방노랑나비 중 배추흰나비, 노랑나비, 호랑나비는 우리나라 전역에서 많은 수로 관찰되어 농업생태계에서 환경변화를 감지하는데 유용한 것으로 나타났다. 한편 남방노랑나비는 남부 지방에서만 관찰되었고 중부와 북부 지방에서는 아직까지 서식하지 않은 것으로 나타났다.

나비류 다양성은 충북 단양에서 48종 535개체로 가장 높았으며 경기도 양평 40종 850개체, 강원도 홍천 39종 213개체, 충북 제천 38종 391개체로 나타났다(Table 1). 남부 지방인 무안에서는 21종 396개체로 가장 낮았다. 조사방법에 따른 나비류 다양성은 선 조사가 68종 2,719개체로 나타났으며 산지 점 조사에서는 76종 1030개체, 농지 점 조사에서는 39종 942개체가 확인되었다. 나비류 종 수에 대한 조사방법 간 분산분석 결과 조사방법($F_{2, 21} = 12.72$,

Table 1. Summary of number of butterfly species (and individuals) at eight sites of agroecosystem in Korea. Point (Agr.): point census method at rice paddy site, Point (Mixed): point census method at mixed site with rice paddy, orchard and hill, Line transect: line transect method at mixed site with rice paddy, orchard and hill.

	Point (Agr.)	Point (Mixed)	Line transect	Total
Hongcheon	11 (32)	22 (75)	29 (106)	39 (213)
Danyang	17 (59)	37 (137)	35 (339)	48 (535)
Jaecheon	15 (94)	28 (81)	23 (216)	38 (391)
Yangpyung	15 (294)	28 (235)	34 (321)	40 (850)
Namyangju	18 (144)	26 (157)	31 (341)	37 (642)
Ansung	9 (157)	18 (88)	21 (982)	26 (1,227)
Muan	7 (123)	13 (91)	19 (182)	21 (396)
Haenam	4 (39)	19 (166)	24 (232)	28 (437)

Table 2. ANOVA analysis results of three survey methods to total numbers of species and individuals counted from eight agroecosystem sites in Korea.

Variable	Sum of squares	df	Mean squares	F	p	
Species	Between groups	1002.08	2	501.04	12.72	0.00024
	Within groups	826.88	21	39.38		
	Total	1828.96	23	0.0002		
Individuals	Between groups	250758	2	125379	4.45	0.024
	Within groups	591976	21	28189.3		
	Total	842734	23	0.002		

$p < 0.01$)에서 차이가 나는 것으로 나타났다. 사후검정결과 농지 점 조사는 다른 조사법과 차이가 있는 것으로 나타났다. 나비류 개체수에 대해서는 조사방법 ($F_{2,21} = 4.45$, $p < 0.05$)에서 차이가 있는 것으로 나타났다 (Table 2). 사후검정결과 농지와 산지 점 조사는 선 조사와 차이가 있는 것으로 나타났다 (Fig. 2).

농업생태계 기후변화 지표종 4종을 대상으로 조사방법 간 차이를 알아본 결과 종수 ($F_{2,20} = 0.86$, $p = 0.43$)와 개체수 ($F_{2,20} = 3.05$, $p = 0.07$) 모두에서 차이가 나지 않는 것으로 나타났다 (Table 3, Fig. 2).

선 조사법은 한번 적절한 설계가 이루어진다면 야외에

서 쉽게 사용할 수 있는 장점을 지녔지만 조사하고자 하는 경로가 되도록 반듯한 선을 유지하고 정확한 관찰 거리와 각도를 유지하는 것이 주의해야 할 두 가지라고 제안하고 있다 (Anderson *et al.* 1979). 이러한 선 조사법은 최근 시민과학자와 같은 비전문가들이 참여한 모니터링 방법에서도 전문가들이 수년간 조사한 결과와 크게 다르지 않거나 생물 계절을 나타내는 데에는 더 나은 결과도 도출되어 나비 모니터링을 위한 효과적인 방법으로 제시되고 있다 (Dennis *et al.* 2017). 점 조사법 역시 야외에서 쉽게 사용할 수 있는 조사법으로 소리를 내거나 크기가 비교적 큰 새 개체군이나 군집에서는 효율적으로 조사가 가능하

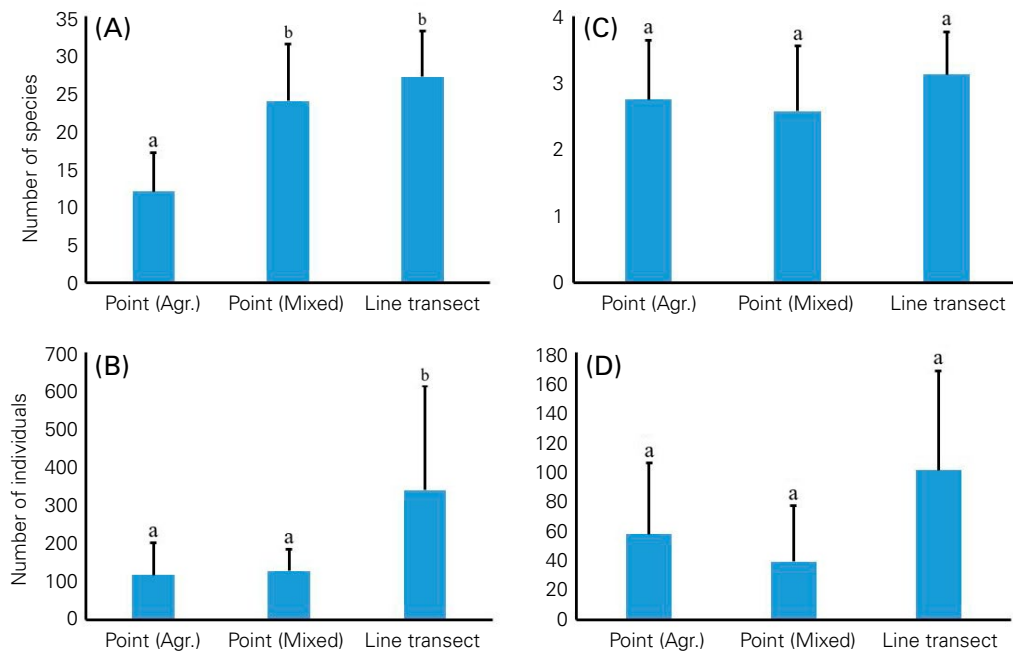


Fig. 2. Average number of butterfly species and individuals (with standard deviation) counted using three survey methods across Korea. Different alphabets above error bars indicate the statistically difference at $p < 0.05$. (A) Total number of butterfly species, (B) Total number of individuals, (C) Number of indicator species, (D) Number of indicator individuals.

Table 3. ANOVA analysis results of three survey methods based on four butterfly indicators counted from eight agroecosystem sites in Korea.

Variable		Sum of squares	df	Mean squares	F	p
Indicator species	Between groups	1.22	2	0.61	0.86	0.44
	Within groups	14.09	20	0.70		
	Total	15.30	22	0.44		
Indicator individuals	Between groups	16900.3	2	8450.14	3.05	0.07
	Within groups	55336.6	20	2766.83		
	Total	72236.9	22	0.60		

다(Marsden 2008). 그러나 크기가 작은 나비류의 경우 선 조사법에 비하여 종 동정이나 움직이는 개체 확인이 어려운 점 등 샘플링 에러 발생 가능성이 더 크다고 여겨진다 (Kitahara and Watanabe 2003).

이번 농업생태계에 출현하는 나비류를 조사하기 위한 방법에서 선 조사법은 점 조사법보다 조사한 전체 종 수와 개체수에서 뚜렷하게 나은 결과가 나타났다. 비록 우리나라 농업생태계 기후변화 지표종으로 선정된 종을 대상으로 비교한 조사법에서는 종 수나 개체수에서 다른 조사 방법과 차이가 나타나지 않았지만 지표종을 포함한 전체 나비류를 대상으로 전국적 나비 모니터링을 실시하는데 일정 경로를 따라서 출현하는 나비류를 조사하는 선 조사법을 사용한다면 기후변화에 따른 생물상 변동을 효과적으로 파악할 수 있을 것으로 생각한다. 이러한 조사를 전국적으로 실시하여 효과적인 자료를 얻기 위해서는 조사를 실시하기 전 참여하는 모든 사람을 대상으로 조사방법과 나비류 동정 방법을 익히는 교육 프로그램이 필요하다고 제안한다.

적 요

지구온난화는 농업생태계를 포함한 지구상 다양한 생태계에 생물계절, 생리, 분포 등 변화를 줌으로써 큰 영향을 미치고 있다. 지구온난화로 인한 생물상 반응을 모니터링하는 것은 기후변화가 초래한 위기로 생물다양성을 보전할 수 있는 답을 얻기 위한 하나의 노력이다. 우리나라에서는 농업생태계 기후변화지표종으로 배추흰나비, 노랑나비, 호랑나비, 남방노랑나비 4종을 선정하였다. 이 연구에서는 농업생태계에서 나비를 모니터링하기 위한 서로 다른 방법을 적용한 후 가장 적절하게 여겨지는 방법을 제시하고자 실시하였다. 나비 모니터링은 전국에서 8지점을 대상으로 2018년 4월부터 10월까지 월 1~2회 실시하였다. 조사방법은 세가지로 농지에서 점 조사, 여러 농촌 경관과 산지를 포함하는 점 조사, 농지와 산지를 포함한 경로를 따라 조사하는 선 조사법이었으며 조사 시간은 모두 30분으로 동일하게 진행하였다. 조사결과 총 92종 4691개체가 확인되었으며 배추흰나비가 1205개체로 가장 우점하였으며 네발나비, 남방부전나비, 노랑나비, 암떡부전나비 순으로 나타났다. 세 방법 간 총 나비종 수와 개체수는 선 조사법에서 높았다. 기후변화지표종 4종을 대상으로 비교한 결

과에서는 조사방법간 통계적인 차이가 나타나지 않았다. 이 연구를 통하여 농업생태계에서 기후변화에 따른 나비상 변화를 모니터링하기 위하여 선 조사법을 이용하는 것이 종 다양성과 풍부도면에서 효율적이라고 판단하며 이 방법을 전국적으로 시행하기 위해서는 사전 교육이 반드시 필요하다는 것을 제안한다.

사 사

이 연구를 위하여 전국에서 나비 채집을 도와준 목포대학교 환경교육과 환경생태학실험실 김남희, 신보라, 이재영, 장범준 학생과 동아시아환경생물연구소 김성수, 주재성, 최수철 선생님께 감사를 드립니다. 이 연구는 농업과학원 과제(PJ01346303)지원으로 이루어졌습니다.

REFERENCES

- Anderson DR, JL Laake, BR Crain and KP Burnham. 1979. Guidelines for line transect sampling of biological populations. *J. Wildlife Manage.* 43:70-78.
- Andrew NR, SJ Hill, M Binns, MH Bahar, EV Ridley, MP Jung, C Fyfe, M Yates and M Khusro. 2013. Assessing insect response to climate change: What are we testing for? Where should we be heading? *PeerJ* 1:e11.
- Asher J, M Warren, R Fox, P Harding, G Jeffcoate and S Jeffcoate. 2001. The millennium atlas of butterflies in Britain and Ireland. Oxford University Press, Oxford. p. 456.
- Choi SW and JS An. 2015. Pattern of change of the local butterfly community in a rural area of southwestern part of Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 33:53-62.
- Dennis EB, BJT Morgan, TM Brereton, DB Roy and R Fox. 2017. Using citizen science butterfly counts to predict species population trends. *Conserv. Biol.* 31:1350-1361.
- Garbach K, JC Milder, M Montenegro, DS Karp and FAJ DeClerck. 2014. Biodiversity and Ecosystem services in agroecosystems. pp. 21-40. In *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems* (2nd ed.). Academic Press, Cambridge, Massachusetts.
- Hammer Ø, DAT Harper and PD Ryan. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeo. Electron.* 4:1-9.
- Kim DS, H Yi, YJ Kwon and MS Woo. 2007. The butterfly community dynamics at Mt. Midong, Cheongwon-gun, Chung-

- heongbukdo, Korean J. Environ. Biol. 25:319–325.
- Kim DS, DS Park, HS Oh, DH Kim and JC Jeong. 2013. Butterfly community monitoring on Wolchulsan National Park in Korea. Korean J. Environ. Ecol. 27:196–203.
- Kim MH, SW Choi, C Jung, KJ Ahn, YJ Oh, YJ Song, SI Kwon, J Eo and HK Nam. 2018. Indicator species of climate change in agroecosystem of Korea. National Institute of Agricultural Sciences. Wanju. p. 135.
- Kitahara M and M Watanabe. 2003. Diversity and rarity hotspots and conservation of butterfly communities in and around the Aokigahara woodland of Mount Fuji, Central Japan. Ecol. Res. 18:503–522.
- Marsden SJ. 2008. Estimation of parrot and hornbill densities using a point count distance sampling method. IBIS 141:327–390.
- Moonen AC and P Bärberi. 2008. Functional biodiversity: An agroecosystem approach. Agric. Ecosyst. Environ. 127:7–21.
- Odum EP. 1969. The strategy of ecosystem development. Science 164:262–270.
- Pollard E and TJ Yates. 1993. Monitoring Butterflies for Ecology and Conservation. Chapman & Hall, London.
- Pollard E, D Moss and TJ Yates. 1995. Population trends of common British butterflies at monitored sites. J. Appl. Ecol. 32:9–16.
- Söderstöm B, B Svensson, K Vessby and A Glimster. 2001. Plants, insects and birds in semi-natural pastures in relation to local habitat and landscape factors. Biodivers. Conserv. 10:1839–1863.
- Thomas JA. 2005. Monitoring change in the abundance and distribution of insects using butterflies and other indicator groups. Phil. Trans. R. Soc. B 360:339–357.
- Traill LW, MLM Lim, NS Sodhi and CJA Bradshaw. 2010. Mechanisms driving change: altered species interactions and ecosystem function through global warming. J. Anim. Ecol. 79:937–947.
- Tscharntke 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.
- Van Swaay CAM, P Nowicki, J Settele and AJ van Strien. 2008. Butterfly monitoring in Europe: methods, applications and perspectives. Biodivers. Conserv. 17:3445–3469.
- Vitousek PM. 1994. Beyond global warming: Ecology and global change. Ecology 75:1861–1876.
- Westphal C, I Steffan-Dewenter and T Tscharntke. 2003. Mass flowering crops enhance densities at a landscape scale. Ecol. Lett. 6:961–965.
- Zhang W, TH Ricketts, C Kremen, K Carney and SM Swinton. 2007. Ecosystem services and dis-services to agriculture. Ecol. Econ. 64:253–260.