

봄 출현 나방의 지역별 종 다양성 양상과 출현에 미치는 기후영향 연구

노 동 호 · 김 성 수¹ · 최 세 응*

목포대학교 환경교육과, ¹동아시아환경생물연구소

Regional Diversity Pattern of Spring Moths and Climatic Effects on Moth Catches

Dong-Ho Noh, Sung-Soo Kim¹ and Sei-Woong Choi*

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

¹Research Institute for East Asian Environment and Biology, Gangdong-gu, Seoul 05239, Korea

Abstract - We investigated the diversity pattern of spring moths across two regions of South Korea, Yongin city (middle part) and Muan gun (southern part) and the effects of climatic variables on moth species richness and abundance. Moths were weekly collected using UV light trap in April from 2013 to 2015. Climatic factors included growth degree day with base temperature 8 (GDD8), average temperature, precipitation, duration of sunshine, wind speed, and snow cover. The climatic effects on moth species richness and abundance were analyzed by short (0~3 weeks before collecting) and long (4~12 weeks before collecting) time periods, respectively. The diversity of spring moths showed the similar pattern of species composition at family level. However the dominant family differed depending on the region: Geometridae at middle part and Noctuidae at southern part. In addition the dominant species of Noctuidae occurred early in April and that of Geometridae moths occurred later in April. Three short-term climatic factors, GDD8, duration of sunshine, and precipitation one week before collecting were significant on moth species richness and abundance, while only one long-term climatic factor, temperature four weeks before collecting was significantly affected on moth species richness. We found that both Geometridae and Noctuidae were dominant in spring moth fauna across South Korea and they were different in the dominance and flying time in April. The occurrences of spring moths were largely affected by warmth and precipitation. The current global warming could affect the occurrence of spring moths and this should be monitored consistently.

Key words : spring, moths, temperature, precipitation, snow cover

서 론

지구 온난화는 전 지구에서 나타나는 현상으로 지난 130년(1880~2012)간 기온이 $0.85 \pm 0.21^\circ\text{C}$ 상승하였고(IPCC

2013), 우리나라도 지난 80년간 기온이 1.5°C 상승하였다(KMA 2015). 최근의 기온상승은 생물계절(phenology), 개체군 동태, 생활사, 분포범위 등 동식물의 생활사와 생존에 다양한 변화를 일으키고 있다(Bale *et al.* 2002; Parmesan 2006; Forrest and Miller-Rushing 2010; Jenouvrier and Visser 2011). 곤충은 수명이 짧은 변온동물로 온도의 변화에 빠른 반응을 나타낸 결과 분포범위의 북상(Parmesan

* Corresponding author: Sei-Woong Choi, Tel. 061-450-2783, Fax. 061-450-2789, E-mail. choisw@mokpo.ac.kr

1996; Parmesan *et al.* 1999), 봄 출현시기의 앞당김(Roy and Sparks 2000; Stefanescu *et al.* 2003), 생존율 향상(Crozier 2004; Mutschinda *et al.* 2011), 다화성(multivoltinism) 종의 증가(Bale *et al.* 2002; Pöyry *et al.* 2011) 등이 보고되고 있다. 앞으로도 지속적인 기온상승이 예상되는데(IPCC 2013) 이러한 기온상승은 생태계에 부정적인 영향을 줄 것으로 예측되고 있다. Bale and Hayward(2010)는 월동곤충에 대한 기후변화 영향의 예측을 검토한 결과 1~5°C 온도 상승은 곤충의 생존율을 감소시킨다고 하였다. Mattila *et al.*(2009)은 밤나방과(Noctuidae) 나방의 월동 단계 분포 변화를 조사한 결과, 알로 월동하는 종들은 겨울 동안 온도 변화에 잘 견디는 경향이 있어 생존율이 높은 반면 번데기와 애벌레로 월동하는 종들은 기후가 따뜻해짐에 따라 적설량 감소와 공기 온도에 노출될 가능성이 높아 사망률이 높아질 것으로 보고하였다.

An and Choi (2013)는 남부지방에서 이른 봄에 출현하는 나방 생존에 기후요인이 미치는 영향을 알아본 결과 온도와 습도가 중요한 역할을 한다고 보고하였다. 이에 이번 연구의 목적은 한반도 중부와 남부지방에서 위도에 따른 봄 출현 나방의 다양성이 어떻게 다른지를 이해하고, 온도와 기타 기상 조건이 나방 출현에 어떻게 영향을 미치는 가를 알고자 하였다. 이 연구에서 얻어진 결과는 앞으로 지속적인 모니터링을 통하여 봄에 출현하는 나방의 다양성 변화가 지역과 온도 등의 환경변화에 따라 달라지는지의 여부를 감시할 수 있을 것으로 기대한다.

재료 및 방법

1. 나방 조사

이 연구는 한국의 남부와 중부 지역에서 조사자가 접근하기 좋은 지점을 선정하여 이루어졌다. 남부지방 조사지점은 전라남도 무안군 청계면 야산 주변(34°52'16.2"N~34°58'46.8"N, 126°22'37.4"E~126°28'30.5"E)으로 굴참나무, 졸참나무 등 낙엽활엽수와 소나무, 사스레피나무 등 상록수림이 분포하고 있으며 중부지방은 경기도 용인시 청덕동 야산 주변(37°17'04.1"N~37°18'27.4"N, 127°08'03.5"E~127°10'08.1"E)으로 졸참나무 등 낙엽활엽수가 우점하고 있다(Fig. 1). 조사지역별로 5개 지점을 선정하여 조사하였으며 조사지점은 적어도 20 m 이상 떨어져 있어 각 트랩에 의한 영향을 최소화하였다.

나방 조사는 2013년부터 2015년까지 3년간 이루어졌으며 매해 4월 한 달 동안 일주일 간격으로 이루어져 총 29회

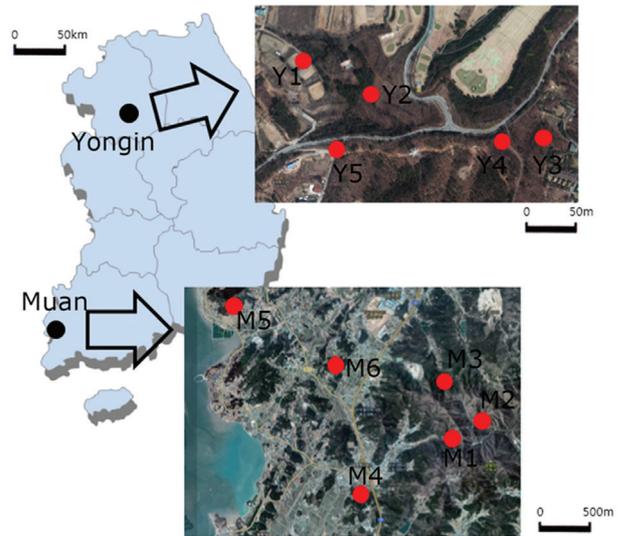


Fig. 1. Study sites for spring moths from two areas of South Korea. Muan, Jeonnam (southern part) and Yongin, Gyeonggi (middle part).

Table 1. Survey dates of Cheonggye, Muan, Jeonnam and Chungdeok, Yongin, Gyeonggi, South Korea

Year	Date of collecting					
	Julian week	14	15	16	17	18
2013	Muan	4.1	4.7	4.16	4.22	4.28
		4.4	4.10	4.19	4.25	
	Yongin	4.2	4.7	4.16	4.22	4.28
		4.4	4.9	4.19		4.30
2014	Muan	4.1	4.7	4.13	4.22	4.28
		4.4	4.10	4.16	4.25	
	Yongin	4.1	4.7	4.13	4.22	4.28
		4.4	4.10	4.16	4.25	
2015	Muan	3.31	4.6	4.14	4.20	4.27
			4.9	4.17	4.23	4.30
	Yongin	3.30	4.6	4.13	4.20	4.27
			4.9	4.15	4.23	4.30

야간채집을 하였다(Table 1). 나방은 22와트 UV light Trap (BioQuip Co., U.S.A)을 지면으로부터 1.0~1.5 m 높이에 설치한 후 저녁 7:30분부터 12:30분까지 5시간 동안 채집하였다.

채집된 개체들은 미소나방(Microlepidoptera)류는 제외하고 대형 나방(Macrolepidoptera)을 대상으로 분류하였으며, 국내외의 문헌들을 참고하여 종(species) 수준까지 동정하였

다. 채집된 표본은 동정한 뒤 건조표본으로 제작하여 목포대학교 환경교육과 환경생물표본보관실(온도 20°C, 상대습도 50%)에 보관하였다.

2. 기상자료와 분석

2013~2015년 동안 기상자료는 조사지점과 가장 가까운 목포기상대와 수원기상대 자료를 참고하였다. 무안군 청계면과 인접한 목포의 기후는 하계에는 해양성 기후, 동계에는 대륙동안형 기후대로 크게 온대동계건조기후대에 속한다. 연평균 기온은 13.9°C이며 연평균강수량은 1087.7 mm이다. 용인시 청덕동과 인접한 수원의 기후는 여름이 무덥고 겨울은 비교적 한랭한 대륙성 기후의 특성이 나타난다. 연평균 기온은 13.1°C이며 연평균강수량은 1029.1 mm이다 (KMA 2015).

2013~2015년 동안 1월부터 4월까지의 평균기온, 최고기온, 최저기온, 강수량, 평균풍속, 상대습도, 일조시간, 운량, 신적설 등의 기상자료를 수집하여 분석에 사용하였다. 유효적산온도(growth degree day, GDD)를 1월 1일부터 4월 30일까지 기저온도를 5°C부터 10°C까지 달리하여 계산한 다음 두 지역 간 차이가 유의하게 나타나지 않은 ($p > 0.05$) 8°C를 (GDD8) 변수로 포함하였다. 나방 군집에 기후요소가 미치는 효과를 단기(채집 0~3주전)와 장기(채집 4, 8, 12주전)로 나누어 분석하였다. 회귀분석을 실시하기 전 다중공선성(multicollinearity) 우려가 있는 독립변수(기후요소)를 배제하기 위하여 단기효과와 장기효과의 기후요소 간 상관관계를 분석하여 통계적으로 의미가 있게 나타난 ($r > 0.80$) 변수를 순차적으로 제거하였다. 각 기후요소 간의 상관관계를 분석하여 중복되는 요소를 제거한 결과 단기효과에서는 GDD8, 평균 바람속도(채집주), 일조량(채집주), 강수량(채집 1주전), 강수량(채집 2주전), 상대습도(채집 3주전), 장기효과에서는 평균기온(채집 4주전), 평균 바람속도(채집 4주전), 강수량(채집 8주전, 12주전), 신적설(4주전), 최대기온(채집 12주전), 일조량(채집 12주전)등 요인을 포함하였다. 제거된 독립변수를 제외하고 남은 독립변수(기후요소)와 종속변수(개체수, 종수) 간의 단기효과와 장기효과에 관하여 다중회귀분석(multiple regression analysis)을 실시하였다. 모든 분석은 PAST 3.01 (Hammer *et al.* 2001)을 이용하였다.

결 과

온도는 1월부터 4월로 갈수록 따뜻해지는 양상을 나타내지만 무안의 기온이 3년 모두 따뜻하였다(2013, $F = 1.59$, $p < 0.05$; 2014, $F = 1.47$, $p < 0.05$; 2015, $F = 1.55$, $p < 0.05$).

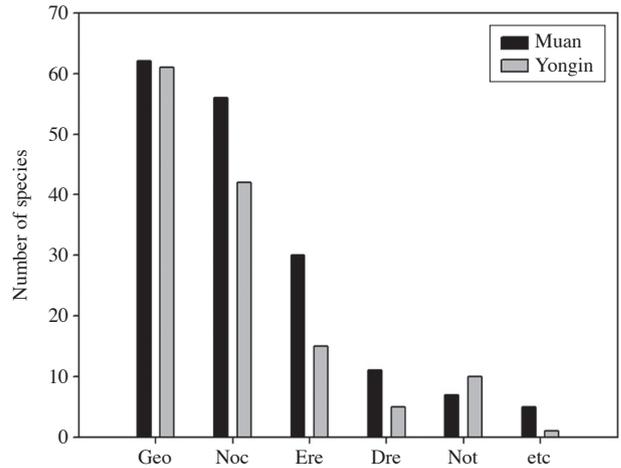


Fig. 2. Number of species by families of spring moths from two areas of South Korea from 2013 to 2015. Muan, Jeonnam (southern part) and Yongin, Gyeonggi (middle part). Geo. Geometridae, Noc. Noctuidae, Ere. Erebidae, Dre. Drepanidae, Not. Notodontidae, Epi. Epiplemidae, etc. Saturniidae, Sphingidae, Thyrididae (Muan), Nolidae (Yongin).

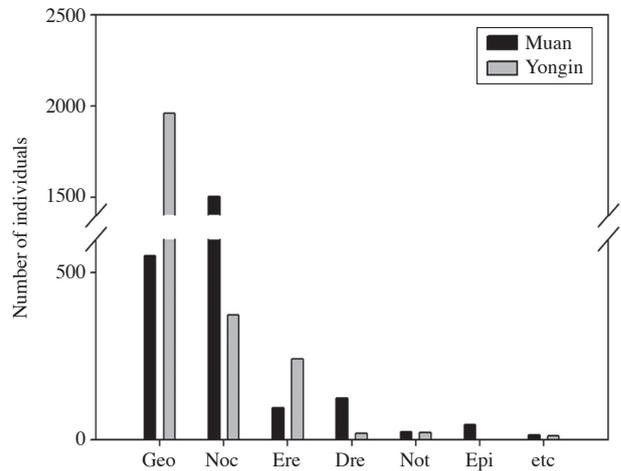


Fig. 3. Number of individuals by families of spring moths from two areas of South Korea from 2013 to 2015. Muan, Jeonnam (southern part) and Yongin, Gyeonggi (middle part). Geo. Geometridae, Noc. Noctuidae, Ere. Erebidae, Dre. Drepanidae, Not. Notodontidae, Epi. Epiplemidae, etc. Saturniidae, Sphingidae, Thyrididae (Muan), Nolidae (Yongin).

2013년부터 2015년까지 4월 한 달 동안 두 지역에서 채집한 결과, 총 10과 241종 4,978개체를 채집하였다. 남부지역인 무안에서는 총 9과 171종 2,353개체, 중부지역인 용인에서는 총 6과 134종 2,625개체를 채집하였다. 연간 채집결과는 무안에서는 2013년에 56종 719개체, 2014년 124종 1,423개체, 2015년 74종 211개체였고, 용인에서는 2013년에 42종 366개체, 2014년 119종 2,148개체, 2015년 34종 111개체가

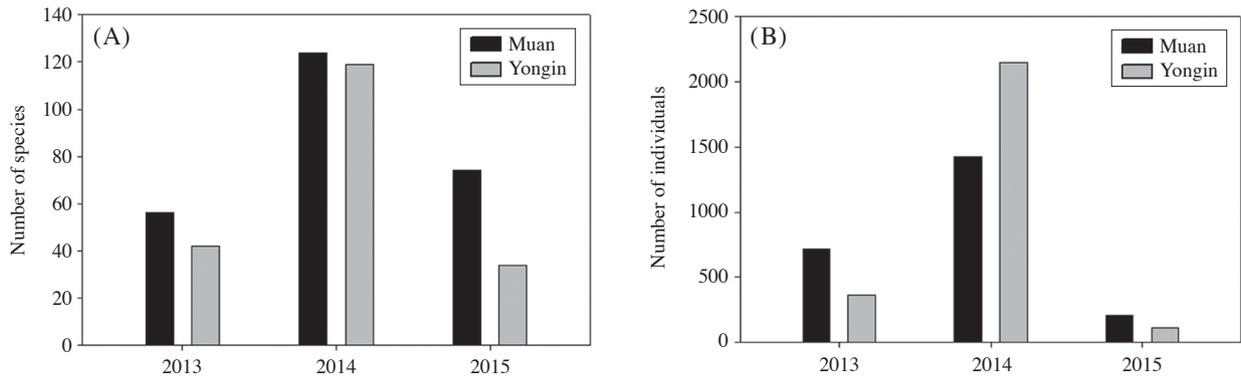


Fig. 4. Yearly change of numbers of species (A) and individuals (B) of spring moths from two areas of South Korea from 2013 to 2015. Muan, Jeonnam (southern part) and Yongin, Gyeonggi (middle part).

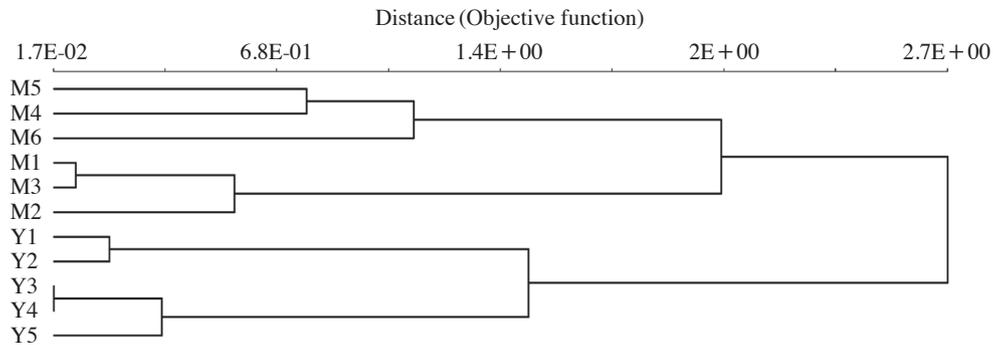


Fig. 5. Dendrogram of spring moths from Muan (southern part, M1-M6) and Yongin (middle part, Y1-Y5) of South Korea from 2013 to 2015. Dendrogram was plotted based on Sørensen distance measure with Ward linkage method.

었다.

무안에서 출현한 종 수는 자나방과(Geometridae) 62종 (36.3%), 밤나방과(Noctuidae) 56종 (32.7%), Erebiidae 30종 (17.5%), 갈고리나방과(Drepanidae) 11종 (6.4%), 재주나방과(Notodontidae) 7종 (4.1%), 박각시과(Sphingidae) 2종, 쌍꼬리나방과(Epiplemidae), 창나방과(Thyrididae), 산누에나방과(Saturniidae) 각각 1종씩 확인되었다. 개체수는 밤나방과 1,501개체 (63.8%), 자나방과 550개체 (23.4%), 갈고리나방과 125개체 (5.3%), Erebiidae 95개체 (4%), 쌍꼬리나방과 46개체 (2%), 기타 재주나방과 23개체, 창나방과 7개체, 박각시과 5개체, 산누에나방과 1개체가 조사되었다(Figs. 2, 3).

용인에서 출현한 종 수는 자나방과 61종 (45.5%), 밤나방과 42종 (31.3%), Erebiidae 15종 (11.2%), 재주나방과 10종 (7.5%), 갈고리나방과 5종 (3.7%), 흑나방과(Nolidae) 1종 (0.7%)이 조사되었다. 개체수는 자나방과 1,959개체 (74.6%), 밤나방과 374개체 (14.2%), Erebiidae 242개체 (9.2%), 재주나방과 20개체 (0.8%), 갈고리나방과 18개체 (0.7%), 흑나방과 12개체 (0.5%)가 조사되었다(Figs. 2, 3).

두 지역에서 채집한 나방 개체수를 알아본 결과 두 지역간 나방 다양성은 과(family)와 종(species) 수준에서 차이가 없는 것으로 나타났다(Mann-Whitney U-test, 종별 $Z = -0.64$, $p > 0.05$, 과별 $Z = -0.53$, $p > 0.05$)(Fig. 4). 그러나 무안과 용인 지역 11개 지점에서 채집한 종 중 3지점 이상 출현한 종을 대상으로 군집분석을 실시한 결과 지역별로 따로 묶여 봄 출현 나방 군집은 지역적 차이점이 있었다(Fig. 5).

봄 출현 나방에 영향을 주는 요인을 알아보기 위하여 회귀분석을 실시한 결과, 단기적으로는 종 수($F = 3.80$, $p < 0.001$)와 개체수($F = 2.58$, $p < 0.05$) 모두 동일한 요인으로 GDD8, 일조시간, 채집 1주전 강수량이 유의한 영향을 나타내었다. 한편 장기효과에는 종수에 채집 4주전 온도만 유의한 영향을 나타내었다($F = 1.861$, $p = 0.123$)(Tables 2, 3).

고 찰

우리의 이번 연구 목적은 봄에 출현하는 나방의 지역 간

Table 2. Multiple regression analysis between short-term climatic factors and moth species richness and abundance

		Coefficient	Standard error	R ²	t
Species richness	Constant	-6.277	20.275		-0.310
	GDD8	0.205	0.060	0.233	3.393**
	Wind speed	0.180	3.928	0.017	0.046
	Duration of Sunshine	0.489	0.212	0.017	2.310*
	Precipitation (-1)	-0.694	0.248	0.098	-2.792*
	Precipitation (-2)	-0.155	0.244	0.032	-0.635
	Relative Humidity (-3)	0.024	0.297	0.037	0.080
Abundance	Constant	58.621	304.500		0.193
	GDD8	2.174	0.908	0.029	2.395*
	Wind speed	57.254	58.984	0.001	0.971
	Duration of Sunshine	9.978	3.180	0.106	3.138**
	Precipitation (-1)	-8.280	3.731	0.051	-2.219*
	Precipitation (-2)	-2.131	3.663	0.021	-0.582
	Relative Humidity (-3)	-8.146	4.455	0.008	-1.828

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ **Table 3.** Multiple regression analysis between long-term climatic factors and moth species richness and abundance

		Coefficient	Standard error	R ²	t
Species richness	Constant	-3.828	21.271		-0.180
	Temperature (-4)	3.353	1.137	0.262	2.950**
	Wind speed (-4)	1.328	3.681	0.006	0.361
	Snow (-4)	1.942	3.895	0.000	0.499
	Precipitation (-8)	-0.695	0.570	0.018	-1.220
	Precipitation (-12)	-0.296	0.416	0.011	-0.712
	Max Temp (-12)	1.119	1.735	0.061	0.645
	Duration of Sunshine (-12)	0.066	0.376	0.001	0.176
Abundance	Constant	-112.340	349.460		-0.321
	Temperature (-4)	22.668	18.672	0.056	1.214
	Wind speed (-4)	-4.536	60.474	0.001	-0.075
	Snow (-4)	-13.580	63.987	0.001	-0.212
	Precipitation (-8)	-8.374	9.368	0.011	-0.894
	Precipitation (-12)	0.271	6.831	0.000	0.040
	Max Temp (-12)	0.399	28.511	0.007	0.014
	Duration of Sunshine (-12)	4.483	6.183	0.010	0.725

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

차이와 겨울의 어떤 기후요인이 영향을 미치는가를 알아보는 것이었다. 남부지방인 무안과 중부지방인 용인에서 출현한 나방의 과별 종 수와 개체수 구성이 비슷한 양상을 나타내었다. 그러나 과별 수준에서 무안군에서 가장 우점한 분류군은 밤나방과인 반면, 용인시에서는 자나방과로 나타났다. 무안군에서 밤나방과의 개체수가 눈에 띄게 많은 이유는 최우점종인 고동색밤나방 (*Orthosia odiosa*)과 아우점종인 곤은띠밤나방 (*Orthosia paromoea*)이 전체 개체수의 40.8%를 차지하고 있기 때문이다. 용인에서 자나방과의 개체수가 많은 것은 이 지역에 우점한 나방 5종(우수리가자나방 (*Metema mediorufa*), 끝짚룩노랑가지나방 (*Pareclipsis gracilis*), 이른봄애기물결자나방 (*Eupithecia clavifera*), 노랑무늬물결자나방 (*Idiotephria amelia*), 배털가지나방 (*Satoblophara par-*

vularia))이 자나방이고, 전체 개체수의 52.2%를 차지하고 있기 때문이다. Hikisz and Soszynsa-Maj (2015)는 겨울부터 봄까지 출현하는 나방의 특성을 살펴본 결과 자나방과 나방들은 일반적으로 겨울이 오기 전에 우화와 교미, 산란을 통해 알이 추운 겨울을 견디도록 한다. 이렇게 겨울을 지낸 알은 이른 봄에 비교적 경쟁이 없이 자원을 이용할 수 있는 장점을 가지게 된다. 한편 밤나방과의 *Conistra* spp.와 *Orthosia* spp.는 주로 이른 봄에 많이 나타나는데, 전자는 가을에 우화 후 성충으로 월동을 한 후 봄에 산란하고, 후자는 겨울 동안 나뭇잎, 수피(bark) 밑이나 땅 속에서 번데기로 월동한 후 이른 봄에 출현한다. 이들의 주 활동 시기가 비교적 다른 종들과의 경쟁이 덜한 이른 봄에 나타난다. 이러한 특성을 이번 연구에서도 확인하였다. 밤나방과의 종은 비교적 이른

봄이나 따뜻한 남부지방에서 많이 발견되지만 자나방과의 종은 밤나방과보다 출현 시기가 늦고 비교적 추운 중부지방에서 더 많이 분포하였다.

나방을 포함한 곤충과 같은 변온동물의 경우 온도변화에 영향을 많이 받는다(Choi and An 2008). 우리의 분석결과 남부와 중부 지역 모두 나방 출현은 온도(GDD8, 채집 4주전)에 영향을 더 받는 것으로 나타났다(Tables 2, 3). 연도별 출현 양상을 보면 무안과 용인 모두 다른 연도에 비해 2014년에 가장 많은 종 수와 개체수가 채집되었다. 2014년의 경우 1~4월까지의 평균온도가 다른 연도에 비해 약 1~3°C 가량 높았고, 주별 기온차가 가장 적었는데, 온난한 기온이 나방 출현에 영향을 주었을 것으로 생각한다. Crozier (2014)는 나비의 분포범위가 확장되는 원인을 파악하기 위하여 겨울 동안 애벌레를 이식하는 실험을 한 결과 겨울 온도가 애벌레 생존에 중요한 역할을 하는 것으로 확인하였다.

Altermatt (2012)는 기온의 상승이 나비의 생물계절에 영향을 미치지만 주변 서식지가 인공적인가 또는 자연적인가에 따라 생물계절에 차이가 있다는 것을 보고하였다. 결국 겨울 동안 온도가 상승하는 것은 애벌레 생존율을 높여 분포 범위가 확장하도록 하는 요인이 되지만 미소 서식지에 따라서 생물계절의 양상이 차이가 난다고 여겨지고 있다. Hill *et al.* (2002)은 어떤 생물이 지구온난화로 인하여 북상하거나 새로운 서식지를 차지하는 등 예전보다 전체 분포 범위가 확장되더라도 해당 서식지가 생존에 적절하지 않을 때는 분포 범위가 더 이상 늘어나지 않을 것이라고 보고하여 서식지의 적합성도 중요한 인자라고 보고하였다. 이번 연구에서는 각 조사지별 서식지 형태 및 식생에 대한 자료를 포함하지 않아 이에 관한 결과를 나타낼 수는 없었다. 추후 연구에서는 조사지별 서식지 형태 및 식생에 따라 봄에 출현하는 나방 다양성 양상 및 상관관계에 대하여 살펴볼 필요가 있다.

한편 겨울 강수량은 나방의 동태에 부정적인 영향을 미치는 것(Mutschinda *et al.* 2011)으로 알려졌는데 이번 연구에서도 채집 1주 및 2주전 강수량은 종 수와 개체수에 부정적인 영향으로 강수량이 많아질수록 종 수와 개체수는 줄어들었다. 한편 장기적 영향에서 적설량은 종 수에는 긍정적인 영향을 개체수에는 부정적인 영향이 있었지만 통계적으로 유의하지는 않았다. 적설(Snow cover)은 겨울 동안 곤충이 얼지 않도록 도움을 주는데 눈이 없는 곳에서는 바닥에 쌓인 나뭇잎이나 토양이 그 역할을 대신하기도 한다(Aitchison 2001). 비교적 적설량이 적거나 땅이 눈으로 덮여있는 기간이 짧은 우리나라에서는 눈이 나방의 월동에 미치는 영향은 상대적으로 적을 것으로 보인다.

봄에 출현하는 나방에게 미치는 기후의 영향은 평균온도와 적산온도가 큰 영향을 미치고, 채집 전 강수량이 적을수

록 나방의 다양성에 긍정적인 효과를 미치는 것으로 판단된다. 한반도 기온의 경향을 살펴보면 최근 10년간 각 계절별 기온 평년차에서 고온현상의 발생빈도가 상승하고 있으며, 1940년대를 제외한 최근까지의 기록에서 이상 저온현상의 발생이 크게 나타나지 않고 있는 것으로 확인되었다(KMA, 2009). 이러한 미래 기후 동향은 기온에 민감한 나방 종 및 개체수가 줄어드는 변화를 주고, 출현시기 역시 앞으로 당기게 될 것으로 예상된다. 기온 상승, 강우량 감소, 적설량 감소와 같은 기후 요인들의 변화로 인해 봄에 출현하는 동식물상의 변화가 예상되며, 봄 나방 개체군의 장기적인 조사는 생태계 변화 경향을 나타낼 수 있을 것으로 생각된다.

적 요

이 연구는 한국 중부지방 용인과 남부지방 무안에서 봄 출현 나방의 다양성 양상과 나방 종 및 개체수에 영향을 주는 기후 요인을 알아보기 위해서 이루어졌다. 나방은 2013년부터 2015년까지 4월 한 달 동안 일주일 간격으로 자외선등 트랩을 이용하여 채집하였다. 기후요인은 8°C를 기본으로 한 적산온도(GDD8), 평균온도, 강우량, 일조시간, 풍속, 신적설 등이다. 나방 종 수 및 개체수에 영향을 주는 기후요인은 단기(채집주부터 3주전까지)와 장기(채집 4~12주전)로 나누어 분석하였다. 봄 출현 나방은 과 구성에서 유사한 양상을 띠었지만 지역별로 우점한 과는 차이를 나타내었다. 자나방과는 중부지방에서 우점한 반면 밤나방과는 남부지방에서 우점하였다. 밤나방과의 우점종은 4월 초에 나타난 반면 자나방과의 우점종은 4월 말에 나타나 시간적인 차이도 나타내었다. GDD8, 일조시간, 채집 일주일 전 강우량 등 3개의 단기 기후요인은 나방 종 수 및 개체수에 영향을 준 요인으로 나타난 반면 채집 4주전 평균기온만 장기 기후요인으로 나방 종 수에 영향을 준 것으로 나타났다. 이 연구에서는 한국에서 봄 출현 나방으로 자나방과와 밤나방과 종이 우점하며 이들은 4월 중 우점도와 비행시기에 차이가 있는 것도 알 수 있었다. 봄 출현 나방은 따뜻함과 강우량에 영향을 받는 것으로 나타났다. 최근 기후변화는 봄 출현 나방에도 영향을 줄 수 있어 이에 대한 지속적인 감시가 필요할 것으로 생각한다.

사 사

이 연구를 수행하는 데 채집을 도와준 목포대학교 환경교육과 환경생태학실험실, 김남희, Pyae Pyae Thein, 홍경렬, 임

광진, 이재영에게 감사를 드립니다. 이 연구는 한국연구재단 중견핵심연구(KRF- 2015R1A2A2A01007338) 지원으로 이루어졌습니다.

REFERENCES

- Aichison CW. 2001. The effect of snow cover on small animals. pp. 229-265. In *Snow ecology* (Jones HG, J Pomeroy, DA Walker and R Hoham eds.). Camb Univ Press, Cambridge.
- Altermatt F. 2012. Temperature-related shifts in butterfly phenology depend on the habitat. *Glob. Chang. Biol.* 18:2429-2438.
- An JS and SW Choi. 2013. The role of winter weather in the population dynamics of spring moths in the southwest Korean peninsula. *J. Asia Pac. Entomol.* 16:49-53.
- Bale JS, GJ Masters, ID Hodkinson, C Awmack, TM Bezemer, VK Brown, J Butterfield, A Buse, JC Coulson, J Farrar, JE Good, R Harrington, S Hartley, TH Jones, RL Lindroth, MC Press, I Symrnioudis, AD Watt and JB Whittaker. 2002. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Glob. Chang. Biol.* 8:1-16.
- Bale JS and SAL Hayward. 2010. Insect overwintering in a changing climate. *J. Exp. Biol.* 213:980-994.
- Choi SW and JS An. 2008. Small-scale dynamics of moths in spring from a coniferous forest of southwestern Korea. *J. Ecol. Environ.* 31:83-87.
- Crozier L. 2004. Warmer winters drive butterfly range expansion by increasing survivorship. *Ecology* 85:231-241.
- Forrest J and AJ Miller-Rushing. 2010. Toward a synthetic understanding of the role of phenology in ecology and evolution. *Philos. Trans. R. Soc. Lond., B, Biol. Sci.* 365:3101-3112.
- Hammer Ø, DAT Harper and PD Ryan. 2001. PAST: Palaeontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4: 9pp.
- Hikisz J and A Soszynska-Maj. 2015. What moths fly in winter? The assemblage of moths active in a temperate deciduous forest during the cold season in central Poland. *J. Entomol. Res. Soc.* 17:59.
- Hill JK, CD Thomas, R Fox, MG Telfer, SG Willis, J Asher and B Huntley. 2002. Responses of butterflies to twentieth century climate warming: implications for future ranges. *Proc. R. Soc. Lond. B: Biol. Sci.* 269:2163-2171.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge.
- Jenouvrier S and ME Visser. 2011. Climate change, phenological shifts, eco-evolutionary responses and population viability: toward a unifying predictive approach. *Int. J. Biometeorol.* 55:905-919.
- Korea Meteorological Administration (KMA). 2015. Annual climatological report. <http://www.kma.go.kr>
- Korea Meteorological Administration (KMA). 2009. Trend analysis of climate change in the Korean peninsula. Korea Meteorological Administration, Seoul. 20pp.
- Mattila N, JS Kotiaho, V Kaitala, A Komonen and J Päävinen. 2009. Interactions between ecological traits and host plant type explain distribution change in noctuid moths. *Conserv. Biol.* 23:703-709.
- Mutshinda CM, RB O'Hara and IP Woiwod. 2011. A multispecies perspective on ecological impacts of climatic forcing. *J. Anim. Ecol.* 80:101-107.
- Parnesan C. 1996. Climate and species' range. *Nature* 382: 765-766.
- Parnesan C, N Ryrholm, C Stefanescu, JK Hill, CD Thomas, H Descimon, B Huntley, L Kaila, J Kullberg, T Tammaru, WJ Tennent, JA Thomas and M Warren. 1999. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature* 399:579-583.
- Parnesan C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 37: 637-669.
- Pöyry J, R Leinonen, G Söderman, M Nieminen, RK Heikkinen and TR Carter. 2011. Climate induced increase of moth multivoltinism in boreal regions. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 20: 289-298.
- Roy DB and TH Sparks. 2000. Phenology of British butterflies and climate change. *Glob. Chang. Biol.* 6:407-416.
- Stefanescu C, J Penuelas and I Filella. 2003. Effects of climatic change on the phenology of butterflies in the northwest Mediterranean Basin. *Glob. Chang. Biol.* 9:1494-1506.

Received: 14 December 2015

Revised: 30 December 2015

Revision accepted: 15 January 2016