

광릉 숲 나비류의 생활주기 변화분석 및 문제점

권태성* · 변봉규¹ · 강승호² · 김성수³ · 이봉우¹ · 김영길

국립산림과학원 산림생태과, ¹국립수목원 산림생물조사과, ²한국유용곤충연구소(주), ³동아시아환경생물연구소

Analysis on Changes, and Problems in Phenology of Butterflies in Gwangneung Forest

Tae-Sung Kwon*, Bong-Kyu Byun¹, Seung-Ho Kang², Sung-Su Kim³, Bong-Woo Lee¹
and Young-Kul Kim

Division of Forest Ecology, Korea Forest Research Institute, 57 Hoegi-ro, Dongdaemun-gu, Seoul 130-712, Korea

¹Division of Forest Biodiversity, Korea National Arboretum, 51-7 Jikdong-Ri, Soheul-Eup, Pocheon City, Prov. Gyeonggi 487-821, Korea

²Korea Beneficial Insect Lab., 236 Jangam-Ri, Iljuk-Myeon, Anseong City, Prov. Gyeonggi 456-913, Korea

³Research Institute for East Asian Environment and Biology, 4-301 Hyundai Prime Apartment, Gu-ui 3dong, Seoul 143-203, Korea

ABSTRACT : In order to find phenological change of butterflies due to global warming, we analyzed weekly monitoring data of butterfly at Gwangneung forest in 1958 and 2004. It was tested whether the timing of first flight and mean flight of butterflies in 2004 became earlier due to global warming compared with those in 1958 and whether the duration of flight period became longer. No significant difference was found in timing of first flight and in duration of flight period between 1958 and 2004. Furthermore, species showing delayed timing of mean flight was more abundant than species showing earlier timing of mean flight. Hence, the results do not confirm the predicted changes of phenology due to global warming. We discussed reasons on the non-apparent phenological changes despite the increase of temperature, and the problems and solutions in butterfly study on Korean butterfly fauna in utilization of butterflies as indicator for global warming.

KEY WORDS : Global warming, Climate change, Insect, Arthropod, Life cycle

초 록 : 지구온난화로 인한 나비 생활주기 변화를 파악하기 위해 광릉 숲에서 1958년과 2004년에 주별로 조사한 나비모니터링 자료를 분석하였다. 본 연구에서는 1958년에 비해 2004년에 나비류의 최초 출현시기와 평균 출현시기가 빨라졌는지, 출현기간이 길어졌는지를 검토하였다. 최초발생시기와 발생기간에서는 차이가 나타나지 않았고, 평균 출현시기에서는 느려진 종들이 오히려 많았다. 따라서 본 연구에서는 지구온난화로 예상되는 나비류 생활주기의 변화를 확인할 수 없었다. 기온 증가에도 불구하고, 예견되는 생활주기 변화가 나타나지 않은 원인을 검토하였다. 아울러 국내의 나비를 지구온난화 지표로 적절하게 활용하기 위해, 현재 나비상 연구에 있어서 문제점과 해결책을 검토하였다.

검색어 : 지구온난화, 기후변화, 곤충, 절족동물, 생활사

*Corresponding author. E-mail: insectcom@chol.com

최근 지구온난화로 인한 영향이 생물권에서 뚜렷하게 나타나고 있다(Parmesan and Yohe, 2003). 곤충은 변온성 동물로 분포나 생활주기가 기온과 매우 밀접한 연관을 가지기 때문에, 기후변화 영향을 민감하게 나타내는 지표 생물이다. 곤충류 중에서는 나비류에 대한 기후변화의 영향 연구가 가장 활발하게 진행되고 있다. 이와 같은 일련의 연구를 통해 북반구 나비류 35종의 분포가 35-240 km 가량 북상한 것으로 보고되고 있으며(Parmesan *et al.*, 1999), 호주 고유종 나비류는 80% 이상이 가장 낮은 기온변화를 예상하는 기후시나리오 하에서도 감소될 것으로 예측되었다(Beaumont and Hughes, 2002). 나비의 생활주기 역시 변하고 있다. 급격한 기후변화로 인해, 나비류의 출현시기가 빨라지고 출현기간이 길어지는 현상이, 영국(Roy and Sparks, 2000), 스페인(Stefanescu *et al.*, 2003), 북미(Folister and Shapiro, 2003)에서 보고되었다.

우리나라에서는 아직 기후변화와 관련된 나비류의 생활주기 변화에 대한 연구가 아직은 없는 상태이나, 나방류의 경우에는 솔나방의 세대수가 과거의 1세대에서, 1990년대 후반에 2세대로 증가된 것이 보고된 바 있다(Kwon *et al.*, 2002). 이러한 사실은 국내에 서식하는 다른 곤충들에서도 유사한 생활주기의 변화가 일어날 가능성이 있음을 나타내고 있다. 최근의 조사자료를 과거자료와 비교했을 때, 광릉과 앵무봉 나비들의 상대밀도는 지구온난화의 영향을 받았을 가능성이 높은 것으로 나타났다(Kwon T.S. *et al.*, unpublished observation). 본 연구는 광릉의 2004년 나비조사자료를 46년 전인 1958년의 조사자료와 비교하여, 지구온난화의 영향이 나비류의 생활주기에 영향을 주었는지를 밝히고자 수행되었다. 조사자료를 이용하여, 기온 상승시 예견되는 나비 출현시기의 빨라짐과 출현기간의 길어짐이 나타났는지를 검토하였다.

재료 및 방법

조사지

본 연구는 경기도 포천시 소재한 광릉숲 일대를 중심으로 수행되었다. 광릉 숲은 서울에서 북동쪽으로 약 8 km 가량 떨어져 있으며(37.45.8N, 127.9.24E), 국내에서는 보기 힘든 극상림에 가까운 울창한 자연림과 매우 다양한 수종의 인공림으로 구성된 곳이다. 광릉 숲은 총 2,223 ha이며, 이중 986 ha는 조림지이다. 조림지는 주로 잣나무

(*Pinus koraiensis*), 리기다소나무(*P. rigida*), 낙엽송(*Larix leptolepis*), 전나무(*Abies holophylla*)로 구성되어 있다(KFRI 1994). 광릉숲의 자연림은 졸참나무(*Quercus serrata*), 신갈나무(*Q. mongolica*), 서나무(*Carpinus laxiflora*), 층층나무(*Cornus controversa*)와 소나무(*P. densiflora*)로 구성되어 있다(Oh *et al.*, 1991).

기상자료

자동기상관측장비를 이용한 광릉 숲의 기상조사는 1997년부터 실시하였다. 따라서 1958년과 2004년 기후 변화는 광릉과 가장 인접한 서울 기상관측소의 자료를 이용하였으며, 기상자료는 기상청으로부터 제공 받았다(KMA, 2007). 2004년도 광릉의 기상자료는 자동기상관측장비(Campbell Scientific Co. Ltd.)에서 측정된 것이다. 일일평균 기온을 이용하여, 5°C 이상이 나비류 성장에 유효한 온도란 가정 하에 GDD (Growth Degree Days, 유효적산일도, Hill *et al.*, 1999)를 계산하였다.

나비의 조사

광릉에서 Kim과 Shin (1960)은 1958년에 4월부터 10월 사이에 주별로 나비상을 조사하여, 총 27일에 걸쳐 조사를 실시하였다(Table 1). 이 연구의 목적은 광릉에 서식하는 나비상을 정리하는 것과 종별 출현시기를 파악하는 것이었다. 이를 위해 1,200 ha의 면적에서 다양한 연구자에 의해 채집된 나비표본을 통해 전체 종목록을 작성했을 뿐 아니라, 출현시기 조사를 위해 수목원 관내의 임도(약 6 km)의 정해진 조사구역에서 주별로 포충망을 이용한 채집법에 의한 정량적인 조사를 병행하였다(Kim S.S., Personal Communication). 본 연구에서는 후자의 정량적인 자료를 분석에 이용하였다.

본 연구자들은 선조사법으로(Pollard and Yates, 1995) 광릉에서 1998년부터 11년간 나비모니터링을 실시하고 있다. 그러나 연도별로 조사회수는 주별, 격주, 월별, 계절별로 상이하게 이루어져 균일하지 않다. 따라서 조사자료 중 주별로 조사가 이루어진 2004년의 조사자료를 본 연구에 이용하였다. 2004년도에 나비조사는 광릉의 야생동물원에서 학술보존림으로 이어지는 4 km의 임도(Route 1)와 외국수목원내 임도 1.5 km (Route 2)에서 실시하였다(Fig. 1). Route 1에서는 8회, Route 2에서는 25회로 총 33회의 조사를 실시하였다(Table 1). 모든 조사는 맑은 날에 실시하였고, 조사는 오전 10시에 개시하였다. 조사구간을 약 시속 2 km의 속도로 천천히 걸어가면서 길

Table 1. Date for surveying butterflies in the years of 1958 and 2004. Weeks for the dates were calculated by dividing number of days from 1 April by seven. The dates with asterisk indicate the survey dates conducted along Route 1. Weeks with blanked data in one of two study periods were adjusted (Adj.) by value of median of adjacent weeks.

Week	Adj. Week	Year	
		1958	2004
2	2.5	4/12	
3	"	4/18	4/17
4	4.0	4/25	4/24*
5	5.0	5/2	4/29
6	6.5	5/9	
7	"	5/15	5/14
8	8.5	5/23	
9	"	5/28, 5/30	5/27, 5/31
11	11.0	6/12, 6/13	6/11
12	12.0	6/20	6/16, 6/22*
13	13.0	6/28	6/24
14	14.0	7/5	6/30, 7/6
15	15.5	7/11	
16	"		7/14
17	17.0	7/25	7/23
18	18.0	8/2	7/28, 7/29*
19	19.5		8/9
20	"	8/16	8/11, 8/13*
21	21.0	8/24	8/20
22	22.0	8/30	8/25, 8/26*
23	23.5		9/6
24	"	9/13	9/10*, 9/14
25	25.5	9/20	
26	"	9/27	9/23*, 9/24
27	27.5	10/4	9/30
28	"		10/8
29	30.0		10/13*, 10/14
30	"	10/25	10/21
31	"		10/28

좌우 폭 5 m 이내에 발견되는 나비류의 종별 개체수를 기록하였다. 종 확인이 어려운 경우에는 채집하여 종을 확인 후 풀어주었다.

자료분석

생활주기 분석에 이용된 조사일은 주(week)로 변환하여 사용하였다(예; Pollard, 1991; Stefanescu *et al.*, 2003).

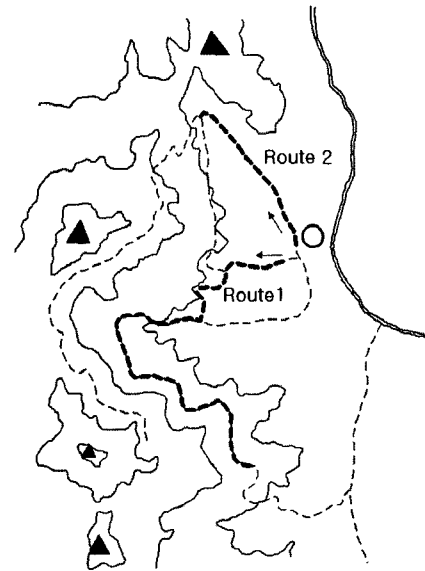


Fig. 1. Study routes for butterfly monitoring in Gwangneung forest. Hatched lines are forest roads and thick lines of them are the study routes. Circle represent Forest Museum in the National Arboretum.

주는 연도별로 달라지기 때문에, 4월 1일부터 누적된 일수를 7로 나누어 통일하였다. 주별로 비교했을 때, 조사가 수행되지 않은 주가 두 조사기간 간에 서로 다르게 발생하는 경우가 있는데, 이때는 인접한 주들의 중간 값(Table 1의 Adj. week)으로 나타내었다. 최초 발생시기(first flight)는 나비류의 각종이 조사시기별로 처음 발견된 주로, 평균 발생시기(mean flight)는 발생한 주들을 개체수를 이용하여 평균값으로 나타내었다(Stefanescu *et al.*, 2003). 최초 조사가 1958년과 2004년 모두 4월중순이었다. 따라서 이른 봄에 성충으로 우화하는 갈구리나비와 멧노랑나비, 성충으로 월동하여 이른 봄에 출현할 가능성이 높은 청띠신선나비, 빨나비, 네발나비의 경우 최초 출현시기가 조사 시기 보다 빨랐을 가능성이 있으므로, 이들 종들은 최초 발생시기의 분석에서 제외하였다. 발생기간(flight period)은 최초로 발생한 주부터 마지막으로 발생한 주까지의 기간(주 단위로 환산)으로 산정하였다(Roy and Sparks, 2000).

개체수가 적은 경우 조사된 결과만으로 생활주기의 전체적인 양상을 파악하기가 어렵기 때문에, 채집 또는 발견된 개체수가 양 조사기간 모두 10개체 이상이었던 14종에 대해 분석을 하였다. 1958년에 비해 2004년의 발생시기가 1주 이상 빨라진 것을 ‘단축(earlier)’, 1주 이상 느려진 것을 ‘지연(delayed)’으로 분류하였고, 발생기간의 경우에는 1주 이상 짧아진 것을 ‘감소(shorter)’, 1주 이상 늘어난 것을 ‘증가(longer)’로 분류하였으며, 범주별로 빈도

(종수)를 비교하였다. 지구온난화로 과거에 비해 '단축'과 '증가'의 빈도(종수)가 늘어날 것이 예상되며, 이 가설에 대한 검정은 두 범주에 대한 적합성(fitness of goodness)을 X^2 -검정을 이용하여 분석하였다. 귀무가설은 '두 범주의 빈도가 같다.'이며, X^2 값은 Yate 보정을 하여 사용하였다(Zar, 1999). 생활주기변화에 대한 나비류 세대수의 작용이 있는지를 파악하기 위해, 세대수를 년 1세대를 갖는 단세대와 년 2세대 이상을 갖는 다세대로 구분하여, 위의 생활주기 변화의 범주(예, 단축과 지연, 감소와 증가)와의 2×2 분할표(contingency table)를 작성하여 Fisher Exact 검정(양측)을 하였다. 월동형에 따른 영향은 월동충태 4가지 범주(난, 유충, 성충, 번데기)와 생활주기 변화 범주의 4×2 (최초출현시기, 출현기간) 또는 3×2 (평균출현시기) 분할표에 대해, Log-Linear Analysis (StatSoft, 1999)로 분석을 하였다. 분석은 STATISTICA 통계프로그램(ver. 6.1)을 이용하였다. 나비류의 월동충태와 세대수는 Joo *et al.* (1997)을 참조하였다.

결과 및 고찰

광릉과 서울의 기온, 강수량, 및 유효적산일도는 Table 2와 같다. 1958년의 서울 평균 기온은 11.6°C 인데 비해, 2004년에는 13.4°C로서 1.8°C 가량 증가하였으며, 기온

을 토대로 유효적산일도(GDD)를 계산해 본 결과, 1958년은 3,077일도 인데 비해 2004년은 3,522일도로 약 423일도 가량 증가하였다. 이러한 유효적산일도의 증가는 나비류의 출현 시기를 앞당기고 출현기간을 길게 하고, 나아가 출현회수의 증가를 일으킬 것으로 예상된다. 2004년도 광릉 숲의 연평균 기온은 서울에 비해 3.2°C 가량 낮았다. 광릉 숲이 서울외곽에서 불과 8 km 떨어진 곳임에도 이처럼 기온차가 심하게 나는 것은 서울의 도시열섬효과 때문일 것이다. 따라서 광릉 숲에서 두 조사연도간의 기온차이는 1.8°C 보다는 낮은 수준이었을 것으로 추정된다. 강수량이 많아지면 기온이 낮아지는 것과 비슷한 효과를 나타내는 데(Pollard and Yates, 1995), 1958년 서울의 강수량은 1,324 mm였으며, 2004년의 강수량은 서울이 1,499 mm, 광릉이 1,434 mm로 약간 많은 수준이었다.

나비류 조사에서는 1958년과 2004년에 광릉 숲에서 총 103종의 나비류가 발견되었으며, 1958년에는 86종이 채집되었고, 2004년에는 66종이 관찰되었다. 이중 양 조사기간 모두 10개체 이상 관찰된 나비류는 멧팔랑나비(*Erynnis montanus*) 등 14종이었으며, 이 종들의 생활사 특성은 Table 3과 같다. 갈구리나비 등 6종은 성충이 일년에 1회 발생하며, 거꾸로여덟팔나비 등 8종은 2회 이상 발생하였다. 월동시 충태는 성충으로 월동하는 것이 3종, 유충이 7종으로 가장 많았고, 번데기는 3종, 알은 모시나비 1종이었다. 이들 나비류의 먹이식물은 주로 초본류였으며, 관목

Table 2. Temperature (Temp.), growth degree days above 5°C (GDD), and rainfall of the study site. The weather data of Gwangneung (GN) in 1958 is not available, so data of Seoul is represented for comparison between the study years. The value in bottom of table is annual average in average (Av.) temperature, annual maximum in maximum (Max.) temperature, annual minimum in minimum (Min.) temperature, and summation in GDD and rainfall.

Month	Av. Temp. (°C)			Max. Temp. (°C)			Min. Temp. (°C)			GDD (5°C)			Rainfall (mm)		
	Seoul		GN	Seoul		GN	Seoul		GN	Seoul		GN	Seoul		GN
	1958	2004	2004	1958	2004	2004	1958	2004	2004	1958	2004	2004	1958	2004	2004
1	-6.0	-1.6	-6.5	8.6	8.1	7.8	-18.2	-16.7	-23.6	0	0	0	55	19.8	12.5
2	-0.8	2.3	-1.3	14.1	18.7	19.1	-12.4	-7.8	-17.1	2.3	17.2	3.5	7.7	54.6	72
3	3.7	6.3	2.8	21.5	18.7	20.4	-11.2	-5.6	-15.6	45	88.8	25.9	25.6	27.6	26.5
4	10.8	13.1	10.0	27.3	27.3	28.9	1.3	2.7	-4.7	175.4	244.3	154.7	142.3	74.1	82
5	16.3	17.6	15.7	29.9	27.6	28.5	7.3	8.8	0.6	351	391	332.7	23.8	168.5	141
6	22.2	23.2	21.2	37.2	32.5	34.7	13.2	14.6	6.8	517.4	546	486.9	39.3	138.1	28.5
7	25.6	24.8	23.9	34.4	34.5	37	19.4	19.5	17.2	639.4	615.2	585	383.8	510.7	601.5
8	23.8	26.1	24.2	33.2	36.2	37.4	16.2	18.7	13.2	582.5	654.6	595.6	193.9	193.3	160
9	19.8	21.7	19.2	28.8	31.3	31.6	6.6	12.8	7.9	443.4	502.3	426	243.1	198.7	205.5
10	12.7	15.2	10.3	25	25.6	27.1	-1.8	5.3	-2.8	240.8	317.3	160	120.1	6.5	12
11	6.7	9.1	4.9	18.9	21.5	22.8	-3.3	0.2	-6.5	65.7	124.4	45.1	49.6	80	65.5
12	4.0	1.9	-2.7	12.1	16.2	15.4	-3.2	-8.3	-17.3	14.2	21.3	0.9	41.2	27.2	28.5
Value	11.6	13.4	10.2	37.2	36.2	37.4	-18.2	-16.7	-23.6	3077.1	3522.4	2816.3	1325.4	1499.1	1435.5

Table 3. Life characteristics of the butterfly species used for this study. Data were obtained from Joo *et al.* (1997).

Species	Korean name	Occurrence (month)	Generation	Overwinter	Food
<i>Anthocharis scolymus</i>	갈구리나비	4-6	1	pupae	herb
<i>Araschnia burejana</i>	거꾸로여덟팔나비	5-8	2	pupae	herb
<i>Argynnis paphia</i>	은줄표범나비	6-9	1	larvae	herb
<i>Daimio tethys</i>	왕자팔랑나비	5-8	2~3	larvae	herb
<i>Erynnis montanus</i>	멧팔랑나비	4-5	1	larvae	tree
<i>Kaniska canace</i>	청띠신선나비	1-12	2	adult	herb
<i>Libythea celtis</i>	빨나비	1-12	1	adult	tree
<i>Limenitis camilla</i>	줄나비	5-9	2~3	larvae	shrub
<i>Minois dryas</i>	굴뚝나비	6-8	1	larvae	herb
<i>Neptis sappho</i>	애기세줄나비	5-9	2~3	larvae	herb
<i>Papilio macilentus</i>	긴꼬리제비나비	5-8	2	larvae	herb
<i>Parnassius stubbendorffii</i>	모시나비	5-6	1	egg	herb
<i>Pieris melete</i>	큰줄흰나비	4-10	3~4	pupae	herb
<i>Polygonia c-aureum</i>	네발나비	1-12	2~4	adult	herb

류나 교목류를 섭취하는 나비류는 3종에 불과하였다. 이 종들의 1958년과 2004년의 시기별 성충발생상황은 Fig. 2와 같다. 최초 출현시기(timing of first appearance)를 비교한 결과 출현시기가 빨라진 종은 4종인데 비해, 느려진 종은 3종으로 통계적인 차이는 없었다(Table 4, $p > 0.05$). 평균 출현시기(timing of mean appearance)의 경우에는 빨라진 종이 1종인데 비해, 느려진 종이 9종으로 오히려 훨씬 많아 예상과 상반되게 나타났으며, 두 범주간의 통계적인 차이가 있었다($X^2 = 6.4$, $df = 1$, $p < 0.05$).

출현기간(duration of flight period)의 경우에는 길어진 종이 7종인데 비해, 짧아진 종이 6종으로 차이가 없었다($p > 0.05$). 따라서 지구온난화로 예견되는 나비의 출현시기가 빨라지는 현상이나, 출현기간이 길어지는 현상을 본 연구에서 확인할 수 없었다. 나비류의 세대수나 월동형에 따른 생활주기 변화의 차이는 나타나지 않았다(Table 4). 월동형과 세대수는 기후변화 영향의 차이를 일으킬 것으로 예견되는 중요한 생태특성이거나(Dennis, 1993), Stefanescu *et al.* (2003)의 연구에서도 별다른 차이가 나타나지 않

Table 4. Number of butterfly species showing early or delayed flight, and longer or shorter flight period in comparison of 1958. The 14 abundant species with ten or more individuals in both of the study years (i.e. 1958 and 2004) were used for identifying phenology of butterfly flight. Change with one week or more was analyzed. See text for methods of the statistical tests for interaction of variables (generation and stage in winter), or goodness of fit (total).

Item	Group	Timing				Duration	
		First Flight		Mean Flight		Flight Period	
		Earlier	Delayed	Earlier	Delayed	Longer	Shorter
Generation	1	1	2	1	3	3	3
	2 or more	3	1	0	6	4	3
	Sig. of Interaction	ns		ns		ns	
Stage in winter	Egg	1	0	0	0	1	0
	Larvae	2	3	0	4	2	5
	Pupae	1	0	0	3	1	1
	Adult	-	-	1	2	3	0
	Sig. of Interaction	ns		ns		ns	
Total	Sum	4	3	1	9	7	6
	Sig. of fitness of goodness	ns		$p < 0.05$		ns	

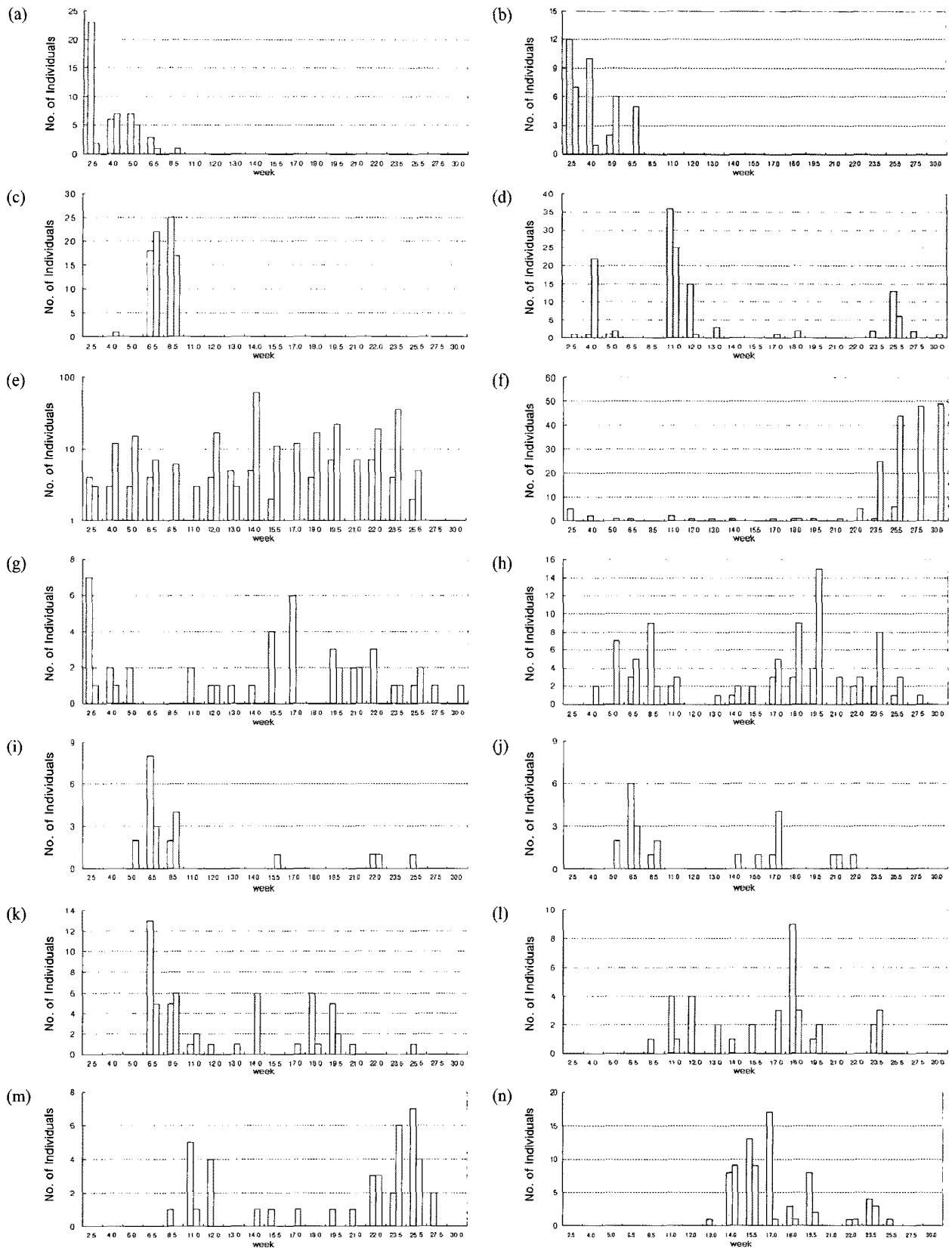


Fig. 2. Weekly occurrences of adult butterflies from 1 April. Survey dates for the weeks are shown in Table 1. Dark and open bars show number of adult butterflies collected in 1958 and observed in 2004, respectively. (a) *Erynnis montanus*, (b) *Anthocharis scolymus*, (c) *Parnassius stubbendorfii*, (d) *Libythea celtis*, (e) *Pieris melete*, (f) *Polygonia c-aureum*, (g) *Kaniska canace*, (h) *Neptis sappho*, (i) *Papilio macilentus*, (j) *Araschnia burejana*, (k) *Daimio tethys*, (l) *Limenitis camilla*, (m) *Argynnis paphia*, and (n) *Minois dryas*.

았다.

이에 반해, 최근 지구온난화로 나비류의 생활주기가 변하고 있음이 유럽과 북미지역에서 보고되고 있다. Roy와 Sparks (2000)는 1976년부터 1998년까지 23년간의 영국 나비모니터링사업(United Kingdom Butterfly Monitoring Scheme) 자료를 토대로, 20년 이상 출현한 35종의 나비류를 분석한 결과 최초 출현시기는 26종, 출현최성기는 27종에서 빨라졌으며, 출현기간은 25종에서 길어졌다고 보고하였다. 북부 유럽 뿐 아니라, 지중해 지역인 남부 유럽 지역에서도 유사한 현상이 나타나는데, 스페인의 북동부 지중해 연안지역 1개 조사지에서 1988년부터 2002년까지 15년간 조사한 나비자료를 분석한 결과, 최초 출현시기는 17종에서 빨라졌고, 평균 출현시기는 8종에서 빨라진 것으로 나타났다(Stefanescu *et al.*, 2003). 이러한 출현시기의 변화는 평균기온(2, 5, 6월)이 1~1.5°C 가량 상승한 것이 주요 원인이었다. 미국 캘리포니아에서는 나비류 23종의 최초출현시기가 31년 동안 평균 24일 가량 앞당겨졌다고 보고되었다(Forister and Shapiro, 2003)

우리나라의 기온은 100년 전에 비해 1.5°C 가량 증가하였는데, 도시열섬효과를 제거하면 0.9°C 가량 증가하였다(Kwon, 1993). 기온이 1°C 상승시 나비의 출현시기가 2-10일(Roy and Sparks, 2003) 또는 3-9일(van Strien *et al.*, 2008) 빨라지고, 3°C 상승시에는 10-40일 가량 빨라질 것으로 예상되었다(Sparks and Yates, 1997). 따라서, 광릉 나비류의 경우에 1-2주 가량 출현시기가 빨라진 종들이 많아질 것으로 예상되나, 본 연구에서는 이러한 현상을 확인할 수가 없었다. 조사는 두시기 모두 4월순수에 시작되어, 이른 봄에 출현하는 종들(멧팔랑나비, 갈구리나비, 큰줄흰나비, 네발나비, 빨나비, 청띠신선나비)의 경우에는 최초 출현시기가 조사 시작시기 보다 빨라질 가능성이 높다. Forister와 Shapiro (2003)의 연구결과에 따르면, 최초 출현시기가 빨라지는 현상은 이른 봄에 출현하는 나비류에서 가장 강하게 나타났다고 한다. 본 연구에서는 조사 시기 상의 문제로 인해, 이른 봄에 출현하는 종들을 분석에서 제외하였는데, 이것이 최초 출현시기가 과거에 비해 별다른 차이가 없는 결과에 다소 영향을 주었을 것이다.

그리고 최초 출현시기는 개체군의 밀도와 무관하지 않다. 밀도가 높아지면, 이른 시기에 발견될 가능성이 높아지기 때문에 최초 출현시기가 빠른 것으로 나타날 가능성이 높다(van Strien *et al.*, 2008). 따라서 과거에 비해 나비류의 풍부도가 많이 감소한 것이(Kim S.S., Personal Observation), 최초 발생시기 변화의 파악을 어렵게 하는 요인으로 작용할 수 있다. 분석대상인 14종의 나비류중

10종이 2004년에 비해, 1958년에 개체수가 높게 나타났다. 2004년에는 관찰되는 개체를 모두 기록한 것인데 반해, 1958에는 채집된 개체만을 기록한 것임에도 이러한 현상이 나타난 것을 감안하면, 분석대상 나비종들의 절대 밀도가 많이 감소하였을 가능성이 있는 것으로 사료된다. 조사회수가 상대적으로 적은 1958년(86종)에 비해 2004년(66종)의 종수가 더 적은 것은 일차적으로 낮아진 밀도가 원인일 것이다. 최근의 광릉 나비조사자료(1998-2007년)에서 조사량을 1958년에 비해 3-4배로 증가시켜야(약 5년 조사치) 종수가 1958년의 종수와 비슷한 수준이 된다(Kwon, unpublished). 1958년도에 조사된 개체수가 2004년에 비해 10개체 이상 많은 종들의 경우, 2004년 보다 최초 출현시기가 빠르거나(예; 굴뚝나비, 은줄표범나비, 줄나비) 같으며(예; 왕자팔랑나비), 느리게 나타난 종이 없는 것은(Fig. 2), 이러한 밀도와 최초 출현시기와의 관련성을 나타낸다 하겠다. 그러나 평균 출현시기의 경우에는 밀도의 영향을 받지 않기 때문에, 보다 정확한 생활주기 변화를 대변해 줄 수 있다(van Strien *et al.*, 2008). 그러나 본 연구에서는 평균 출현시기가 느려진 종이 9종으로 빨라진 종(1종)에 비해 월등히 많아, 예상과는 상반되게 나타났다. 많은 종들에서 평균 출현시기가 지구온난화와 역행해서 늦어진 이유는 현재로서는 뚜렷하지 않다.

본 연구가 다른 연구들(예; Forister and Shapiro, 2003; Penuelas *et al.*, 2002; Roy and Sparks, 2000; Sparks and Yates, 1997; Stefanescu *et al.*, 2003)과는 달리 시계열적인 조사 자료를 기반으로 하지 않고, 단순히 2개의 연도를 비교하고 있어 생활주기의 시간적인 변화를 구명하기에 최적이라고는 할 수 없다. 더구나 분석대상 나비의 종수(14종, 본 연구에서는 표본수가 됨)가 적어 통계적인 신뢰성이 떨어지기 때문에(Zar, 1999) 본 연구의 결과만으로 기후변화의 영향이 광릉에 서식하는 나비들의 생활주기에 영향을 미치지 않았다고 단정하기는 어려운 것으로 사료된다. 본 연구와 같이 2개 연도만의 생활주기를 비교하는 경우, 연도간의 심한 변이로 인해 기후변화의 영향이 가려질 가능성도 배제할 수는 없을 것이다. 그러나 기후변화의 생활주기에 대한 영향이 대부분 30년 이내에서 뚜렷하게 나타나며, 심지어 12-15년간의 짧은 기간(예; Stefanescu *et al.*, 2002; van Strien *et al.*, 2008)에서도 확인되고 있는 점을 고려하면, 본 연구가 46년이라는 상당히 긴 간격의 두개 연도를 비교하고 있어 생활주기의 변화가 뚜렷하게 나올 것으로 예상되었으나, 분석결과와는 그렇지 않았다.

광릉에서 1998년부터 비교적 장기간에 걸쳐 나비조사

를 하였지만, 연도별로 조사주기가 일정하지 않았고, 2004년만 제외하고는 조사간격이 길어 대다수 자료를 분석에 이용하지 못한 점은 아쉬움으로 남는다. 생활주기 분석에 이용되기 위해서는 주별 조사가 되어야 하고, 많은 조사장소에서 자료가 축적되어야 신뢰성 있게 생활주기 변화의 경향을 파악할 수 있을 것이다. 최근 지구온난화 진행이 가속되고 있어, 생물권에 대한 영향이나 예측을 위한 연구는 시급하다고 할 수 있다. 나비는 기후변화 영향 연구에 최적의 지표생물이며(Dennis, 1993; Parmesan *et al.*, 1999), 전문가와 나비동호인의 협력으로 진행되는 나비모니터링사업(Butterfly Monitoring Scheme) 자료를 기반으로 유럽과 북미에서는 활발하게 연구가 진행되는 데 비해(예; 영국, 핀란드, 덴마크, 스페인, 미국 플로리다주), 국내에서 나비류에 대한 연구는 매우 미미한 실정이다. 일부 정부부처의 연구기관에서 몇 개 조사지에서 지속적인 조사(산림청 국립산림과학원)를 하거나 전국을 대상으로 곤충상 조사의 일부과제로 나비류 서식실태 조사(환경부 국립환경연구원)를 하고 있으나, 기후변화 영향을 파악하기 위한 조사자료를 얻기에는 많이 부족한 실정이다. 기후변화 영향연구를 위해서는 주별로 조사된 전국 규모의 장기적인 나비조사 자료가 필요한 만큼, 지금부터라도 이를 위한 기반을 다져야 할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 국립산림과학원의 '지구환경변화에 대응한 장기생태 연구' 및 국립수목원의 '광릉숲 생물상 및 종보존' 과 '한반도산림생물표본인프라구축' 과제로 수행되었다.

Literature Cited

- Beaumont, L.J. and L. Hughes. 2002. Potential changes in the distributions of latitudinally restricted Australian butterfly species in response to climate change. *Glob. Change Biol.* 8: 954-971.
- Dennis, R.L.H. 1993. *Butterflies and climate change*. Manchester University Press, Manchester.
- Folister, M.L. and A.M. Shapiro. 2003. Climate trends and advancing spring flight of butterflies in lowland California. *Glob. Change Biol.* 9: 1130-1135.
- Joo, H.J., S.S. Kim and J.D. Son. 1997. *Butterflies of Korea*. Seoul. Gyohak Publishing Company. (in Korean)
- Hill, J.K., C.D. Thomas and B. Huntley. 1999. Climate and habitat availability determine 20th century changes in a butterfly's range margin. *Proceedings of the Royal Society of London series B-Biological Sciences* 266: 1197-1206.
- Kim, H.K. and Y.H. Shin. 1960. Notes on the butterflies of Kwangnung, Korea with special reference to seasonal succession. *J. Ewha Women Univ.* 1: 229-326. (in Korean)
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2007. Annual and monthly reports on meteorological observations. http://www.kma.go.kr/gw.jsp?to=sfc/sfc_03_01.jsp (accessed in May 2007)
- Kwon, T.S., Y.K. Park, K.S. Oh, Y.D. Kwon, S.C. Shin, C.S. Kim, J.D. Park and H.P. Lee. 2002. Increase in the number of generations in *Dendrolimus spectabilis* (Butler) (Lepidoptera : Lasiocampidae) in Korea. *Jour. Korean For. Soc.* 91(2): 149-155.
- Kwon, W.T. 2003. Changes of Korean climate of last 100 years and future prospects. *Korea Meteorological Administration News Letter* 2: 1-8. (in Korean)
- Oh, J.S., B.C. Lee, J.H. Shin and S.W. Oh. 1991. Vegetation and stand structure of Gwangneung natural forest in Korea. *Jour. Korean For. Soc.* 49: 50-64. (in Korean with English abstract)
- Parmesan, C., N. Phyholm, C. Stefanescu, J.K. Hill, C.D. Thomas, H. Descimon, B. Huntley, L. Kalla, J. Kullberg, T. Tammaru, W.J. Tennent, J.A. Thomas and M. Warren. 1999. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature* 399: 579-583.
- Parmesan, C. and G. Yohe. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37-42.
- Penuelas, J., I. Filella and P. Comas. 2002. Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region. *Glob. Change Biol.* 8: 531-544.
- Pollard, E. 1991. Changes in the flight period of the hedge brown butterfly *Pyronia tithonus* during range expansion. *J. Anim. Ecol.* 60: 737-748.
- Pollard, E. and T.J. Yates. 1995. *Monitoring butterflies for ecology and conservation*. Conservation biology series. Chapman & Hall, Institute of Terrestrial Ecology & Nature Conservation Committee.
- Roy, D.B. and T.H. Sparks. 2000. Phenology of British butterflies and climate change. *Glob. Change Biol.* 6: 407-416.
- Sparks, T.H. and T.J. Yates. 1997. The effect of spring temperature on the appearance dates of British butterflies 1883-1993. *Ecography* 20: 368-374.
- StatSoft. 1999. *Statistica volum III: statistics II*. (user manual). 3457-3474pp.
- Stefanescu, C., J. Penuelas and I. Filella. 2003. Effects of climatic change on the phenology of butterflies in the northwest Mediterranean Basin. *Glob. Change Biol.* 9: 1494-1506.
- van Strien, A.J., W.F. Plantenga, L.L. Soldaat, C.A.M. van Swaay and M.F. WallisDe Vries. 2008. Bias in phenology assessments based on first appearance data of butterflies. *Oecologia* 156: 227-235.
- Zar, J.H. 1999. *Biostatistical analysis* (4th edition). Prentice Hall International, INC. USA.