

기후변화가 곤충에 미치는 영향에 관한 국내외 연구 분석¹⁾

박 해 철²⁾

농업과학기술원 유용곤충과

곤충과 기후의 관계

곤충은 변온동물로서 자신의 에너지(온도)와 수분균형을 유지해야만 한다. 대사율과 수분 손실률은 내부 생리의 부분적인 기능일지라도 최종적으로 환경조건에 의존하는데, 가장 중요한 것이 온도와 습도이다. 특히 온도의 변화에 의하여 곤충의 활동성은 달라질 수밖에 없다. 따뜻해지면 더 활동적이지만, 더 차가워지면 느리게 활동한다. 각각의 개체들은 최적 온도와 임계 온도를 갖고 있으며, 만일 더 춥거나 또는 더 덥거나 하는 상황이 오면 그 개체는 죽게 된다. 다행히 개체들 가운데는 온도에 대한 변이가 있어서 기후 극단에서도 개체군 내의 일부는 살아남아 다음 세대를 이어나가기도 한다. 대개 곤충은 종마다의 발육시기마다 성장하는 데 한계가 되는 온도인 발육영점온도를 갖고 있으며, 그 온도 이상으로 성장에 유효한 온도를 누적시킨 유효적산온도를 계산해 낼 수 있다. 따라서 최근에 벌어지는 최한월의 기온상승은 이들의 유효적산온도를 이전보다 빠르게 채워 원래보다 더 이른 시기에 성충이 발생할 수 있게 하는 요인이 되기도 한다.

곤충은 여러 가지 적응방식을 이용하여 기후 변화 속에서 생존해 왔다. 극단적으로 건조된 환경에서 곤충들은 단지 밤에만 활동을 하고, 열을 반사하기 위해 흰색이나 강한 원색의 몸색깔을 가질 수 있다. 일부는 땅을 파고 그 속에서 직접적인 태양광선을 피하며, 또 다른 곤충들은 그늘을 찾아 쉬다가 이른 아침이나 저녁의 황혼기에만 날아다닌다. 이 같은 행동적 적응 말고도 내부의 장기 구조를 변형하여 수분을 최대한으로 조절하는 종들도 존재하며, 거저리과의 일종은 사막에 내리는 이슬을 몸으로 받아 물방울을 만들 줄 아는 경우도 있다. 또한 극단적인 추위는 더위의 경우보다 대개의 곤충에서는 생존가능성이 더 높다. 그 이유로 곤충은 에너지를 거의 사용하지 않고 산소를 거의 요구하지 않는 수준의 비활동성 상태로 휴면을 할 수 있기 때문이다(Arnett and Jacques, 1985).

이처럼 곤충의 삶 속에서 기후의 문제는 그들의 생존에서 가장 중요한 문제 중의 하나이다.

최근의 기후변화의 실정을 보면, 전 지구적으로는 이산화탄소 농도가 산업혁명 이전 280 ppm에서 2000년에는 370 ppm으로 약

1) Analysis of the Research Data and Trend concerning Climate Change and Insects

2) PARK, Hae-Chul, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Science and Technology;
E-mail: culent@chol.com



그림 1. 백일홍 꽃에서 일광욕을 즐기는 줄점팔랑나비.

30% 증가하였고, 지구의 평균기온은 지난 1세기 동안 약 0.6°C 상승하였으며, 2100년에는 1990년 대비 $1.4\sim 5.8^{\circ}\text{C}$ 의 상승이 예상된다. 이에 비하여 우리나라는 최근 100년 동안 평균기온 상승폭이 1.5°C 로 전 세계 평균기온의 상승폭보다 높으며, 1990년대의 겨울은 1920년대에 비하여 약 한달 정도 짧아졌다.

그렇다면, 기후온난화가 곤충에게는 어떤 영향을 미칠 것인가?

요즘의 기후변화는 곤충 다양성에 직접 및 간접적으로 영향을 미치는 주요 요인이라 한다(Samways, 2005). 따라서 선진국의 주도로 벌이고 있는 기후와 곤충의 관련 연구의 동향을 파악해 보고, 우리들도 앞으로 어떤 연구를 하는 것이 바람직할지 생각해 보는 기회를 갖도록 하겠다.

곤충에 미치는 기후변화의 영향에 대한 연구 사례

최근의 기후온난화의 증거로 거론되고 있는 다양한 사례들이 있다. 먼저 국부적인 지역 개체군의 북쪽으로는 확장이나, 대륙적 규모의 지역적 이동, 주기적 이동집단의 문제 발생, 새로운 미집의 발생 및 확장과 같은 가시적인 영향이 있다. 또한 집단유전학

의 측면에서 유전자 수준의 기후 변화인자 탐지 등을 들 수 있다. 아울러, 지구온난화가 식물의 화학이나 조성의 변화에 영향을 미치고, 먹이사슬 속에서 식식성 곤충에 끼치는 영향도 나타나고 있다. 이와 더불어 지역 군집 내에서 기후변화에 따라서 곤충 간에도 다른 영향을 받고 있으며, 상위 영양단계의 상호작용에서도 문제가 생겨나고 있다. 이들에 대한 증거나 추정된 사례를 다루면서 그 가능성을 소개하고자 한다.

외국의 연구와 사례

1. 곤충 개체군의 지리적 범위 확장과 이주

기후변화는 군집의 구성원인 곤충들의 계절현상에 영향을 미친다. 곤충은 온도 변화에 민감하므로 기온이 상승되면, 이론적으로는 극지 또는 보다 높은 고도 쪽으로 지리적 범위를 이동하는 직접적인 반응을 보일 수 있다(Samways, 2005). 특히, 지역적인 온난화와 더불어 나비 종들의 지리적 범위가 극쪽으로 이동하고 있다는 사실이 밝혀졌다. 일부의 이주성 종들은 매년 기후변화에 빠르게 반응할 수 있지만 대부분의 정주성 종은 그 같이 신속한 대응을 할 수 없다. Parmesan 등(1999)은 35종의 비 이주성 유럽 나비 종을 샘플로 조사하여 이들의 65%가 북으로 이주를 하였고 지난 세기 동안 $35\sim 240\text{ km}$ 정도 북으로 이동을 하였으며, 단지 3%만 남쪽으로 이주해 왔음을 분석해 내었다. 즉, 정주성 종들도 온난화 경향에 대한 반응은 느리지만 분포의 변화는 개체군의 수준에서 일어나고 있으며, 대규모 지역에 걸쳐서 이 같은 종의 전체 분포 범위가 극쪽을 향하고 있다는 증거를 제공하였다. 또한, 영국에서는 지난 40년 동안 서식지의 북한계 지역이 더 북쪽으로 이동하였음이 잠자리와 실잠자리무리 37종에서도 확인되었다(Hickling *et al.*, 2005).

지구온난화에 따른 지리적 범위의 확장과 관련해서 개체의 구조적 특징의 새로운 경향이 분석되었다. 영국에서 기후변화로 확장 중인 2종의 나비 *Pararge aegeria*와 *Hesperia comma*에서 경계부 개체군을 조사해 본 결과, 그들의 몸무게가 10~20% 증가되었음을 확인하였다. 즉, 더 멀리 날기 위한 강력한 날개를 가질 수 있는 큰 가슴의 개체가 진화적 이익을 가졌다고 볼 수 있었다. 이주성이 강한 메뚜기류의 장시형과 단시형의 사례처럼 이주의 중요한 성공 요인이 구조에 있음을 밝혔다(New Scientist, 2001).

곤충 중에서 장거리를 주기적으로 이주하는 종으로 제왕왕나비(monarch butterfly)는 캐나다로부터 멕시코로 장거리를 이동하는 것으로 유명하다. 이 나비는 미국의 로키 산맥 동부에서 봄부터 가을까지 살다가 12월이면 2천 5백 마일이나 떨어진 멕시코에 있는 오야델전나무 숲으로 이동을 하여 겨울을 난다. 그런데 최근 이 종이 50년 안에 절멸위기가 닥치게 될 것이라 추정 연구가 나왔다. 겨울철에 비가 증가될 것으로 예측되어 나비의 월동에 적당한 미기후가 아니라 너무 차고 습해지기 때문이다. 온도와 습도에 대하여 내성범위가 좁아서 동결온도와 강수량의 조합을 통한 기후변화는 이 나비에 치명적인 영향을 미치게 될 것으로 내다보았다(Oberhauser and Peterson, 2003).

2. 변화되는 곤충의 계절현상

최소한 나비에서 출현기와 활동기간이 북부의 한랭 지역에서부터 지중해에 이르기까지 기후온난화로 뚜렷이 변화되었음이 밝혀졌다. 영국에서는 온도와 3가지의 생물계절적 지수(성충비행활동기간, 최초발생일, 최고발생일)의 관계를 분석해 본 결과, 지난 20년 동안 대부분의 영국 나비들의 최초발생일이 앞당겨졌으며 최고발생일도 관계가 깊

었다. 물론 다화성 종은 활동기간이 더 길어졌다. 따라서 기온과만 관계를 지어볼 때, 1°C가 상승하면 대부분의 나비들에서 최초 및 최고발생일이 2~10일 정도 앞당겨질 수 있을 것으로 예측하였다(Roy and Sparks, 2000). 위도가 더 낮은 미국의 캘리포니아에서도 23종의 나비에서 최초발생일 평균이 31년 동안 더 빨라졌는데 평균 24일이 당겨진 종도 있었다. 또한 이 같은 변화에 영향을 주는 기후 조건은 주로 겨울의 온도와 강수량인 것으로 밝혀졌다(Forister and Shapiro, 2003). 또한, 저위도 지역인 스페인 서북부에서 1988년에서 2002년 사이에 조사된 17종의 나비에서 최초출현일이 빨라졌고, 19종 가운데 8종은 성충활동의 평균일수가 늘어났다. 이러한 변화는 2월, 3월, 6월 온도가 평균 1~1.5°C 증가된 것과 대비되었다. 즉, 봄의 높은 온도가 이들의 발생을 촉진시켰고, 반면에 강수량은 그 반대의 작용을 하였다. 이러한 계절 현상적 반응은 유사한 먹이를 먹는 종 또는 생물학적 직계 사이에서도 같게 나타나지는 않았다. 따라서 지중해가 더 건조해질 것으로 예상되는 상황에서 종내 개체군의 풍부성에 기후변화의 영향이 미칠 수 있으며, 이로부터 다화성 종들은 휴면 현상이나 이주행동과 같은 국부적인 계절적 적응을 선호하는 자연선택이 강하게 일어날 것이라 예측하였다(Stefanescu *et al.*, 2003).

3. 기후변화가 곤충유전자에 미치는 영향

미국의 유전학자로서 60년째 북미의 초파리 유전자를 연구해 온 맥스 레비탄 박사는 진화생태학 잡지에서 미국의 북부지역에서 채집한 초파리들 사이에서 높은 기온을 견디게 하는 유전자를 지닌 초파리들이 1970년대보다 2~3배 이상 많이 발견되었다고 한다. 이 같은 빈도는 예전에 미국 남부지역의 초파리들이 나타내던 수준이었다. 이 같은

고온저항성 유전자를 지닌 초파리의 출현빈도가 늘어난 것은 광범위한 기후변화의 영향이라고 제시하였다(Levitan, 2003).

4. 먹이사슬에서 상호작용의 문제

곤충은 소비자로서 지구온난화에 영향을 받은 식물과 상대를 하게 된다. 식물과 곤충의 관계에서 기후온난화의 영향을 얼마나 받게 되는지 밝혀야 할 필요가 있다. 지금까지 정보로는 지구온난화가 식물의 화학성분과 구조의 변화를 야기한다(Porter, 1995). 특히 이산화탄소의 농도가 높아져 식물 내의 탄소 축적이 높아지는 반면에 식물조직에서 질소의 농도는 15~25% 정도까지 떨어지는 것으로 알려졌다. 즉, 이산화탄소의 증가로 식물의 탄소: 질소의 비율을 더 크게 만들어 식물 내의 질소는 많은 식식성 곤충에게 제한요인으로 작용하게 된다. 따라서 식식성 곤충들은 식물 내의 떨어진 질소로 인하여 성장률의 제한을 받게 되는 반면에 탄소가 주를 이루는 2차 대사화합물의 농도는 더 높아져서 식물의 화학적 방어를 돕게 되어 식식성 곤충은 섭食的 저해를 받게 될 수 있다. 한 예로 농작물 탄닌의 경우 높은 이산화탄소 농도에서 그런 반응을 보이는 것으로 확인되었다. 이처럼 식식성 곤충들은 질소 농도가 낮은 식물질을 먹어야 하므로 먹는 양 자체는 더 증가될 것으로 예상된다. 특히, 씹는 입을 가진 식식성 곤충의 경우 더 분명하게 나타난다. 참나무류의 잎 사이에 갭도를 만드는 굴엽성 종들은 이산화탄소의 증가에 따라서 갭도의 폭이 25% 넓어졌음이 확인되었는데, 이 경우 잎의 질소 농도는 11% 이상 감소되었다고 한다. 반면에 액즙성인 복숭아혹진딧물의 경우에는 이산화탄소와 온도의 증가에 따라서 풍부성이 높아진다는 실험 결과가 있으나, 그 반대로 식물과 진딧물의 종 사이의 반응이 유의성 있게

나타나지 않는 것도 있어서 아직 많은 연구가 수행될 필요가 있다(Emmerson *et al.*, 2005). 또한 1차 소비자인 식식성 곤충들이 장기간의 관점에서는 기온과 대기의 이산화탄소의 농도 변화에 따라서 어떻게 반응하는 지는 거의 정보가 없다.

포식자와 기생자 곤충들이 2~3차 소비자로서 기후변화의 영향을 얼마나 받는지에 대한 정보는 거의 없다. 극히 일부의 문헌에서 이산화탄소의 증가가 쥔시나방의 기생자에 영향을 미치지 않았고, 복숭아혹진딧물의 기생물이 이산화탄소의 높은 농도에서 변하지 않았다고 한다. 반면에 수리적 모델을 사용한 연구에서는 높은 온도와 같은 환경변화가 숙주와 기생자의 발생률에 영향을 미친다고 제시하였다. 그 같은 차이로 숙주와 기생자 두 개체군 사이의 동조를 깨뜨리게 되어 개체군 동태에 주요한 효과를 미치게 될 수 있을 것이라고도 주장한다. 또 다른 각도에서 상위의 영양단계 문제를 접근하고 있다. 그 실례로서 지구온난화로 인하여 곤충의 페로몬 매개 행동에 주목하였다. 사시나무에 사는 진딧물의 일종(*Chaitophorus stevensis*)에서 이산화탄소와 오존의 농도 증가에 따른 경보페르몬의 작용을 시험해 보았다. 그 결과, 이산화탄소의 농도가 높아진 환경에서는 경보페르몬에 대한 도피반응이 약해지는 반면에, 오존의 농도가 풍부한 환경에서는 오히려 도피반응이 증대되었다. 이 같은 점은 페르몬에 의한 행동반응이 기후변화에 영향을 받을 수 있으므로, 미래의 환경에서는 곤충피식자-곤충포식자의 상호작용이 영향을 받을 수 있다는 점을 암시하는 것이라 볼 수 있다. 따라서 곤충과 그들의 자연천적 간의 상호작용이 이들 가스의 농도 변화로 영향을 받을 수도 있음을 제시하였다(Mondor *et al.*, 2004). 이처럼 기후변화는 먹이사슬을 통한 식물과 식식성 곤충과

포식자나 기생자에 이르는 3차 관계에 영향을 미칠 수 있음이 확인되고 있는 실정이다.

국내의 지구온난화 영향 추정 사례

국내에서 기후변화와 곤충에 대한 연구는 전무하다고 보아야 할 것이다. 다만, 나비의 분포 변화에 대하여 김(1999, 2001)에 의하여 그 가능성과 경험적 자료를 제시하여 경각심을 제고하였으나, 그로부터 수년이 지난 시점에도 아직 집중적인 조사 또는 실험이 체계적으로 이루어지고 있다는 정보를 듣지 못했다. 따라서 이번에도 김(1999, 2001, 개인교신)과 필자를 비롯한 야외조사자들의 경험 자료들을 종합하여 기후변화가 우리나라 곤충에 미쳤을 것으로 추정되거나, 그 가능성이 높은 현상에 대하여 사례를 들어 제안하는 수준으로 글을 마치고자 한다.

1. 난지성 이주나비의 문제

먼저 난지성 나비들의 국내 진입의 문제이다. 우리나라의 나비는 253종이 토착하고 있다고 보고, 이들 가운데 구북계가 238종이고 동양구계가 15종으로 15.9:1의 비율로 한지성 나비가 난지성 나비에 비하여 상대적으로 월등히 높은 분포를 갖고 있다(김, 1999). 그런데, 토착된 종 이외에 태풍 등의 영향으로 우리나라의 제주도나 남해안에 날아드는 나비들(미접; 迷蝶)이 있고, 이들 중에 일시적으로 생활사가 이루어지는 나비(우산접; 遇産蝶)들이 최근에 늘어가는 경향을 보여주고 있다. 이 같은 이주 나비들은 우리나라의 나비 기록이 시작된 이래로 정리해 본 결과, 총 4과 19종이었다. 이들이 국내로 날아온 최초 확인 기록을 보면, 1970년 이전이 9종, 1971~1999년까지 6종, 2000년 이후가 4종(돌담무늬나비, 대만왕나비, 뽕족부전나비, 검은데노랑나비)으로 확인되었다. 이들 가운데는 1981년 나비학회가 만들

어진 후에 확인된 것이 많아서 수적으로 이주종이 늘고 있다고 단정하기는 어렵다. 그렇다 하더라도 최근에 새로 이주되는 종들이 계속적으로 증가하고 있다. 일본에서도 1960년 이후에 미접이 증가되고 있으며(桐谷, 2000), 일본산 나비 중 몇 종이 한국내로 이주할 가능성이 있음을 일본학자에 의해 제시된 바 있다(Junichi, 2000). 또한, 그 나비의 일부가 국내에서 확인(김성수 개인교신)된 바로 볼 때, 남방성 나비의 국내 이주 현상은 지구온난화와 관련을 지을 수 있다고 판단된다.

2. 한지성 나비 종의 쇠퇴와 북쪽으로의 이동

우리나라에서 비교적 생물학적 정보나 분포 기록이 많이 밝혀진 분류군은 분명 나비류임에 틀림없다. 이들 가운데는 1990년 들어서 급격히 감소추세에 있거나 분포지가 현격히 축소되는 종들이 있었다. 그 동안 멸절위기 나비의 분석 가운데, 박 등(2002)은 남한산 나비류 212종을 평가하여 최소한 20%가 환경 위협에 취약한 보전의 대상이라 하였다. 그런데, 이들의 위협 요인이 서식처 파괴나 해당 종의 특이 요인 등으로 설명하기에는 어려운 종이 여럿 되었다. 특히, 분포특성을 분석해 볼 때, 구북구광역계 중에서도 태백산맥형에 속하는 24종 중 13종인 절반 이상(54.17%)이 위협 대상종이었다. 그 이유는 이들이 과거에는 태백산맥으로부터 전국에 광역분포를 하였지만 현재는 대부분이 태백산맥 쪽으로 쇠퇴한 상황이기 때문이라는 점에서 우리나라의 온난화와의 관련이 있음을 암시한다고 볼 수 있었다(Park *et al.*, 2002).

한지성 나비로서 좀더 구체적인 자료가 있는 종이 바로 붉은점모시나비이다. 이 종은 국내에서는 1919년에 처음 기록되었으며 북방계 나비로서 남부지방에 넓지만 점이적으

로 분포지를 갖고 있었다. 이 중에 대해서 나비연구가들 사이에서도 법적보호종으로 부적합하다는 주장(김과 홍, 1990)이 있어 왔다. 그 이유는 이들의 서식지 가운데는 인위적인 파괴가 가능치 않은 곳들도 있고, 파괴되더라도 인접한 곳으로 이동하는 특성이 있으며, 산발적인 국소 집단 가운데 대발생하여 집단 크기가 커진 경우가 종종 있어 왔기 때문이다. 또한 2000년 이후에 새롭게 알려진 강원 지역에서는 이들의 발생량이 최근 2년간 대규모라고 볼 수 있다는 점도 보전가치를 헛갈리게 하는 측면이었다. 하지만, 이들의 분포지를 분석해 볼 때, 과거 70년대까지의 기록을 보면 서부해안을 제외하고는 산발적인 분포를 하면서 30개소의 분포지를 기록했었으나(Kim, 1976), 1991년 이전에는 20개 지역, 그리고 1992~1997년에는 4개 지역(박과 김, 1997)의 서식지만이 확인되었다. 물론 현재도 소수의 개체가 발견되는 미확인 지역이 일부있겠으나, 남부에서는 경남 구룡지역 2곳에서 잔존이 확인(고 등, 2004)되었을 뿐으로 남부 개체군의 대부분은 쇠퇴하였다고 보는 것이 타당할 것이다. 따라서 남아 있는 가장 큰 집단은 강원 산간지역에 국한한다. 이러한 성충의 비행활동 정보, 유충의 먹이가 되는 기린초가 다년초로서 전국에 산재해 있다는 점, 그리고 성충의 선호하는 서식지 경관이 아직 적지 않다는 점 등으로 볼 때, 서식처의 파괴만이 그들의 급감요인이라고 볼 수는 없다. 오히려 이들의 분포 양상의 변화는 서식지 이동으로 보여지며, 이는 유럽이나 북미 등지에서 일어나고 있는 지구온난화에 따른 나비의 이동과 매우 유사한 모습을 보이고 있다고 판단된다.

3. 나비 이외의 곤충군에서 나타나는 현상들

나비 이외의 분류군에서도 사실 산발적으

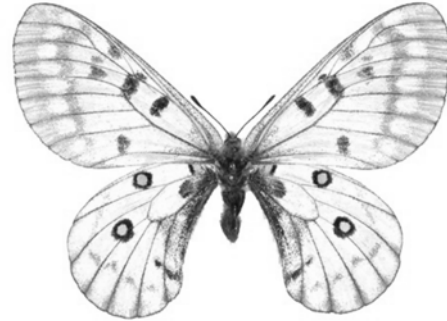


그림 2. 붉은점모시나비 등면.

로 기후변화의 영향일 것으로 심증이 가는 종들이 있으며, 흥미로운 정보가 나타나고 있지만, 이들에 대한 과거 정보가 충분치 않은 경우가 많으며, 또한 있다 하더라도 구체적으로 정리되어 있지 못한 경우가 대부분이다. 부족함 속에서 두 가지 사례만을 제시해 보고자 한다.

된장잠자리는 우리나라의 각지와 부속도에서 채집이 가장 흔히 되는 잠자리의 일종이다. 1906년 Ichikawa에 의하여 제주도에서 기록된 이래로 해방 전에도 Doi(1932)에 의하여 무등산, 북한산, 밀양, 평양과 Haku(1937)에 의하여 대구, Asahina(1937)에 의하여 함북 나남, 함남 보천보, 평북 구장 등지에서 넓게 채집된 바 있다(이, 2001 재인용). 해방 이후에도 비슷한 양상을 보이다가 특히 1997년경부터 7월 중순에 서울을 비롯한 중부지방의 도심 공터에서 때로 군무하는 것으로 각종 언론의 주목을 받았다. 이러한 원인에 대한 설들이 난무하였으나, 남부지방의 출현기록과 간이 실험 자료(오, 2002; 백유현 개인교신)를 근거로 분석해 보면, 이들의 남부집단은 빠르면 경남 사천부근에서 4월 말부터 5월 초에 보이며, 모내기철인 6월 초의 날씨에서는 그의 2세대가 주로 논에서 30~40일 정도 걸려 대량으로 발생할



그림 3. 뽕장잠자리.

수 있었다. 따라서 중부 도심의 7월 중순 개체들은 이들의 2세대나 3세대 가량으로 추정된다. 얼마 전까지는 이들의 원집단은 동남아시아로부터 와서 우리나라의 남쪽에서부터 번식하게 되며, 빠른 세대의 순환을 통하여 한반도 북부까지 이동을 하며 겨울을 넘기지 못하고 소멸할 것으로 추정해 왔다. 하지만, 이들 성충의 비행집단의 크기가 워낙 대규모다 보니 일부의 집단이 남부에서 월동할 가능성도 있을 것으로도 추정한 바 있다(이, 2001). 뽕장잠자리의 애벌레의 분류학적 연구는 공(1987)이 처음으로 강원 고성과 양양 및 제주의 용수에서 채집된 애벌레를 근거로 하였다. 그 후 분포상 보고 자료에서는 뽕장잠자리 애벌레의 이른 시기 채집기록이 나타나 있으나, 해당 조사자를 개인적으로 확인해 본 결과, 확신을 주지는 못하였다. 다만, 이들의 애벌레는 다른 잠자리류에 비하여 몸피부가 매우 약하며, 기존의 연못같은 곳에서는 밀잠자리 등과 같은 다른 잠자리들에 의하여 포식되거나 경쟁에 밀릴 가능성이 높으며, 이에 따라서 경쟁자가 빈약한 논을 중심으로 빠르게 증가하는 것으로 추측된다(오치경, 개인교신). 이를 반증할 자료로서 성충의 대발생 이후에도 그 주위의 연못에서 확인되는 유충의 양은 그리 많지 않았다고 한다(심하식, 개인교신). 또한, Ishida(1969)는 이 종의 유충은 낮은

수온에서 월동을 하지 못한다고 한 것으로 보아(공, 1987 재인용) 중부지방의 대규모 비행집단은 동남아에서 이주해 온 개체들에 의하여 연속 발생된 집단으로 보는 것이 아직까지는 더 타당할 것으로 판단되지만 좀더 확신을 하기 위해서는 주로 만든 지 얼마 되지 않아 이들의 천적이 거의 없는 연못에 대한 이른 봄 조사가 수행되어야 할 것으로 판단된다. 어찌 되었든, 90년 중순부터 제기된 7월 중순의 대량 발생은 아무래도 지구온난화가 이들 집단의 크기를 증대시키는 데 힘을 보태지 않았을까 생각해 볼 수 있다.

또 다른 분류군으로 무당벌레과의 *Menochilus sexmaculatus*를 들 수 있다. 이 종은 분포기록상으로 볼 때, 난지성 종으로 동남아에서 뉴기니아 일대까지 서식하면서 일본에서도 큐슈, 시코쿠, 혼슈와 오키나와에 살며 오키나와와 대만 등지에서는 우리의 칠성무당벌레만큼 매우 흔한 종이였다. 그런데, 이 종은 Paik(1985)에 의하여 국내에도 분포하는 것으로 올려졌으나, 그가 확증표본으로 삼은 표본들을 확인한 결과, 무당벌레(*Harmonia axyridis*)의 변이형에 대한 오류이었다. 그래서 한국곤충명집(ESK and KSAE, 1994)에는 이 종을 기록하지 않았으나, 최근의 표본조사 과정에서 부산의 김해지역에서 소수의 개체가 확인되었다(박해철, 미발표). 사실, 이 종은 필자에 의하여 제주도를 비롯한 국내 남부 해안에 도착 또는 이주해 올 가능성에 대한 관심을 두고 오랜 기간 모니터링을 해왔지만 확인치 못하였다가 부산의 고신대 표본실에서 90년대 후반의 김해 표본을 확인한 것이다. 다만, 그 후의 계속된 개체들이 확인되지 않고 있으며 본인 역시 그 지역에 대한 적극적인 조사를 시도하지 못하였다. 따라서 정착과 확산에 대한 향후의 조사가 필요한 시점이라고 말할 수 있다.

기후변화와 곤충 연구는 어떻게 해야 할까?

케펜의 기후 구분에 의하면, 온대기후와 냉대기후의 경계선은 최한월 평균기온이 -3°C 로서 그 이상이면 온대기후이고, 그 보다 더 추우면 냉대기후이다. 우리나라는 최한월 평균기온이 -3°C 의 등온선 분포가 태안반도에서 시작하여 차령산맥을 따라서 내륙에서는 남부로 만곡하다가 동해안에서는 높이 치켜 올라간 등온선이 그려지므로 냉대기후가 더 넓게 나타난다고 볼 수 있다. 그런데, 최근에는 특히 겨울철(12~2월) 평균기온이 전국적으로 $0.4\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ 상승해 연평균기온의 상승을 주도했고, 최한월인 1월의 평균기온이 서울, 대구, 포항에서 0.9°C 상승해 지난 1백 년간의 전세계 평균기온 상승 폭인 1°C 에 육박했다고 한다(중앙일보 2001-08-29). 이는 우리나라에 사는 곤충에게 겨울의 적응에 혼란을 가져오고 있다고 볼 수 있다. 종마다의 발육단계에서 성장하는 데 한계가 되는 온도인 발육영점온도를 넘길 수 있는 유효한 온도를 가진 날 수가 겨울에도 많아지고 있기 때문이다. 이에 따라서 곤충의 발생시기가 앞당겨질 가능성이 높아지고 있고, 한편으로는 현실로 드러나고 있다.

그러나 지구 기후변화의 원인과 영향을 결정할 수 있는 연구를 하기는 쉽지 않다. 매우 분화된 변수들이 이에 관련되어 있기 때문이다. 개별 곤충, 개체군, 군집에 대한 지구기후변화의 영향은 많고 다양하며 변이가 많다. 또한 지구기후변화는 단순히 온도를 뛰어넘는 문제로서 기후 양상, 리듬, 그리고 집중성 역시 변화되는 문제이다. 따라서 기후변화는 환경오염, 경관의 단편화 및 감소와 같은 국부적이지만 곤충의 삶에 강력한 영향을 미치는 요소에 대하여 상승효과를 미칠 수 있다. 아울러 기후변화의 문제는 거대

하고 복합적인 변화로서, 곤충을 비롯한 모든 생물에게 더욱더 중요한 작용을 하여 자연의 개체군과 군집의 변화뿐 아니라 작물이나 의학과 관련된 곤충의 다양성에 강하게 작용을 한다(Samways, 2005). 즉, 생태학적 관점뿐 아니라 응용생물학적 관점을 포함한 모두에서 곤충의 생존과 번영에 대한 모든 측면의 변화가 유도될 수 있다. 따라서 가장 큰 문제는 그 변화가 우리의 생태계와 인류 생존에 긍정적으로 작용할 것인지 아니면 부정적일 것인지를 끊임없이 모니터링해야 하고, 그에 맞는 대책을 수립할 수 있어야 할 것이다.

문제는 선진국들이 기후변화의 곤충에 대한 영향을 조사하고, 연구해 온 반면에 우리들은 이제야 그 같은 논의의 재료를 찾고 있는 시점에 서 있다는 것이다. 특히, 국내의 곤충 분류와 현장생태학적 연구가 미흡한 우리들에게는 현재와 비교해 볼 과거의 정보 조차도 빈약한 실정이다. 그렇다고 언제까지 다른 나라에서 연구된 결과를 통해 우리의 상황을 간접 유추하고 평가할 수는 없다. 좀 더 구체적인 상황 정보를 모으고, 한반도의 국부적 기후변화에 맞는 대책이 필요하다. 따라서 몇 가지 방향에서 연구의 수행이 필요함을 제시하고자 한다.

먼저, 우리의 기후변화 연구는 그 동안의 변화에 대한 증거가 될 곤충군에 대한 분포 분석과 생태학적 연구가 필요하다. 앞에서 언급된 종들이나 분류군에 대한 보다 정밀한 조사가 필수적이고, 청띠제비나비(백과김, 1996)나 무늬박이제비나비(백 등, 1997) 등 남방성으로 확대가 예상되는 종에 대한 추가 조사도 있어야 한다. 어떤 무리보다도 많은 정보량을 갖고 있으므로 몇 년 내의 단기간 조사로도 최소한 확증할 수 있는 정보를 얻을 수 있을 것으로 판단되기 때문이다.

그 다음으로, 기후변화의 영향을 민감하게

받을 수 있는 환경에서 살고 있는 종이거나 환경변화의 임계범위 폭이 매우 좁은 종들에 대한 연구이다. 그 대상으로서 아고산성 나비의 연구가 한 방편일 수 있다. 특히, 한라산의 정상부에 가까운 1,100 m 이상의 아고산대 풀밭에는 산지형 나비들이 고립되어 있다. 그 중 가락지나비, 산굴뚝나비, 산꼬마부전나비는 한반도의 동북부지역을 제외하고는 제주도 한라산의 정상부에만 고립된 종이다(주와 김, 2002). 이들이 기후 온난화에 반응할 수 있는 시나리오는 좀더 높은 고도로 올라가는 방법 밖에는 있을 수 없고, 식초의 생육여부에 따라서 그들 집단의 생존이 달려 있다. 이외에도 한라산에서는 아고산에 고립된 반면, 본토에서는 비교적 분포범위가 넓은 종들도 여럿 있다. 이들의 고산집단과 본토집단의 비교 연구를 통하여 장기간의 모니터링을 수행하는 것도 바람직하다.

단순히 기후변화와 곤충 자체의 1차원적인 관계 이외에도 작물과 그의 해충 또는 화분매개곤충에 대한 상호작용의 문제, 그리고 천적과 같은 자원곤충의 문제 등 다단계의 먹이 사슬에 대한 기후변화 연구 역시 수행될 필요가 있다. 이 분야는 특히 변해가는 작물 재배 환경에서 발생하는 해충의 문제도 해결할 수 있는 좋은 방편일 수도 있기 때문이다. 위생해충인 모기뿐 아니라 응애나 진드기들의 연구도 시급히 수행되어야 할 대상이다. 최근 새로운 곤충매개형 질병이 늘어나고 있고 향후에 증가될 것으로 예측되기 때문이다.

이외에도 생리나 분자수준의 연구도 함께 진행되어야 한다. 고온저항성 유전자의 발굴과 평가는 단순히 기후변화의 문제뿐 아니라 향후 온실 등의 고온을 요구하는 작물의 재배에서 관련된 곤충에게 이용될 수 있는 연구의 단서가 제공될 수도 있다. 또한 모기와 같은 보전해충의 분포 확장이나 대발생

등의 문제를 예측하는 정보로도 활용이 가능하다.

결론적으로, 앞에서 언급한 연구들이 개별적이고 독립적으로만 수행되어선 큰 효과를 보기 어려울 수도 있다. 가능한 한 한반도 기후온난화 연구란 거대한 틀 속에서 학제간, 관련 생물의 연관 연구로서 조직해 나가는 것이 더 바람직하다. 그 이유는 기후변화에 대한 각 생물종의 대응이 다를 수 있으며, 관련 생물의 상호작용에 따라서는 그 영향이 극대화되거나 축소될 수 있기 때문이다. 아울러 개별적 결과를 모아 전체적 결과를 조망하여 대책을 수립할 수 있게 하기 위해서는 종합적 연구가 바람직할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 고민수·이준석·김철학·김성수·박규택. 2004. 붉은점모시나비의 국내 분포정보 및 생태적 특성 조사. 한국응용곤충학회지 43(1): 7-14.
- 공동수. 1987. 한국산 잠자리목 유충의 분류학적 연구. 고려대학교 대학원 생물학과 석사학위청구논문, 195+Fig.179.
- 김용식·홍승표. 1990. 보호대상 한국산 주요나비에 대한 고찰. 한국인시류동호인회지 3: 9-16.
- 김성수. 1999. 지구 온난화에 따른 곤충 분포 변화. 논황논총 창간호: 159-168.
- 김성수. 2001. 기후변화와 나비분포변화. CLimate Bulletin 6(2): 3-5.
- 박규태·김성수. 1997. 한국의 나비. 생명공학연구소, 한국곤충분류연구회, pp. 13-143.
- 백문기·김종열. 1996. 청띠제비나비의 새로운 채집지. 한국나비학회지 9: 47.
- 백문기·오기석·이정석. 1997. 전남 오동도에서 채집한 무늬박이제비나비에 대하여. 한국나비학회지 10: 56.
- 오치경. 2002. 잠자리 사육시험 연구보고서. 구

- 레곤농업기술센터, 96pp.
- 이승모. 2001. 한반도산 참자리(蜻蛉)목 곤충지. 정행사, 서울. 229pp.
- 조복성. 1959. 나비류. 한국동물도감(I). 문교부, 서울. 197pp.
- 주흥재 · 김성수. 2002. 제주도의 나비. 정행사, 185pp.
- Arnett, R. H. and R. L. Jacques, Jr. 1985. Insect life: A field entomology manual for the amateur naturalist. Prentice-Hall, Inc., 354pp.
- Dennis, R. L. H. 1993. Butterflies and climate change. Manchester University Press, 302pp.
- ESK and KSAE. 1994. Check list of insects from Korea. Kon-Kuk University Press,
- Emmerson, M., M. Bezemer, M. D. Hunter and T. H. Jones. 2005. Global change alters the stability of food webs. *Global Change Biology*, 11: 490-501.
- Forister, M. L. and A. M. Shapiro. 2003. Climatic trends and advancing spring flight of butterflies in lowland California. *Global Change Biology*, 9: 1130-1135.
- Hickling, R., D. B. Roy, J. K. Hill, and C. D. Thomas. 2005. A northward shift of range margins in British Odonata. *Global Change Biology*, 11: 502-506.
- Junichi Yukawa, 2000. Global Warming and Insects. The Special Lectures for the Commemoration of the 30th Anniversary of the Entomological Society of Korea: p. 13. The Annual Joint Meeting of the Entomological Society of Korea and the Korean Society of Applied Entomology in Autumn, 2000.
- Kim, C. W. 1976. Distribution atlas of insects of Korea, 1. Lepidoptera. Korea Univ. Press, 200pp.
- Levitan, M. 2003. Climatic factors and increased frequencies of "southern" chromosome forms in natural populations of *Drosophila robusta*. *Evolutionary Ecology Research* 2003(4).
- Mondor, E. B., M. N. Tremblay, C. S. Awmack, and R. L. Lindroth. 2004. Divergent pheromone-mediated insect behaviour under global atmospheric change. *Global Change Biology*, 10: 1820-1824.
- Oberhauser, K. and A. Townsend Peterson. 2003. Modeling current and future potential wintering distributions of eastern North American monarch butterflies PNAS 100(24): 14063-14068.
- Paik, W. H. 1985. Keys to species of Coccinellidae (Coleoptera) of Korea. Educational-industrial complex '84-3. Agriculture Administration, 45pp.
- Park, H. C., S. S. Kim, M. A. Kim, J. C. Shon, Y. B. Lee, and S. J. Chang. 2002. Assessing species conservation values of butterflies for the designation of red lists in South Korea.
- Parmesan, C. N. Ryrholm, C. Stefanescu, J. K. Hill, C. D. Thomas, H. Descimon, B. Huntley, L. Kalla, J. Kullberg, T. Tammaru, W. J. Tenent, J. A. Thomas, and M. Warren. 1999. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature* 399: 579-583.
- Roy, D. B. and T. H. Sparks. 2000. Phenology of British butterflies and climate change. *Global Change Biology*, 6: 407-416.
- Samways, M. J. 2005. Insect diversity conservation. Cambridge University Press, 342pp.
- Stefanescu, C., J. Penuelas and I. Filella. 2003. Effects of climatic change on the phenology of butterflies in the northwest Mediterranean Basin. *Global Change Biology*, 9: 1494-1506
- Beefy butterfly warns of unpredictable climate change effects. copyright 2001. New Scientist, September 01, 2001. <http://www.climateark.org/articles/2001/3rd/bebuwarn.htm>