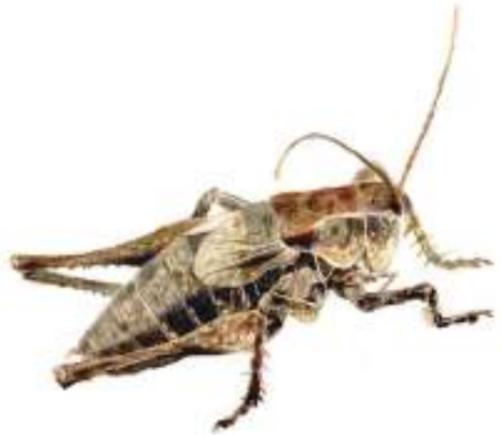


가 라 지
는 ————— 의
것 들 의
— 초 상



목차

- 4 발간사
- 5 서론

계절별 변화

겨울

- 9 기후가 생물의 상호작용을 방해할 때
___ 겨울철 먹이를 위협받는 하늘다람쥐
- 11 겨울이 따뜻해지고 짧아질 때
___ 사라지는 한라산의 구상나무
- 13 하얀 눈이 사라질 때
___ 위장색이 더 위험해진 하얀 족제비
- 15 동면하는 겨울이 짧아질 때
___ 겨울철 동면동물들에게 혼란이
- 17 수온이 높아질 때
___ 바뀌는 바다숲의 풍경
- 19 겨울이 충분히 춥지 않을 때
___ 흰개미와 목조문화재

봄

- 23 해양생태계가 변화할 때
___ 일찍이 번식하는 갯가래
- 25 생물들의 계절 리듬이 달라질 때
___ 벌레를 잃어버리는 조류들
- 27 봄이 당겨질 때
___ 봄의 감각을 잃은 경칩개구리와 양서류를 위협하는 항아리곰팡이균
- 29 일러지는 봄을 따라 이른 꽃이 필 때
___ 생강나무와 생태 엃박자
- 31 봄 가뭄이 지속될 때
___ 빈번해지고 커지는 산불

서식지별 변화

- 57 숲이 변하면
___ 달라지는 나비의 분포
___ 고지대로 밀려나는 거미들
- 63 습지가 변하면
___ 확산되는 외래식물과 정착하는 외래어종
- 69 나무리

여름

- 35 도시가 더워질 때
___ 늘어나는 매미와 소음이 되어버린 매미 소리
- 37 여름이 더 더워질 때
___ 더 많아지는 해충들
- 39 열대 기후로 변할 때
___ 한국에 놀러왔은 남쪽나라 새들
- 41 높은 기온이 세포에 영향을 미칠 때
___ 빠르게 늙는 도마뱀
- 42 외래종이 고유생태계를 대체할 때
___ 민들레와 닮은 서양금혼초
- 45 약해진 숲이 균형을 잃었을 때
___ 광릉긴나무좀이 옮기는 참나무시들음병

가을

- 49 아열대 외래종이 거침없이 확산할 때
___ 꿀벌들의 적이 된 등검은말벌
- 51 ‘철 없는 모기’가 극성을 부릴 때
___ 생존권마저 위협받는 대만 원주민
- 53 습지가 육지가 될 때
___ 멸종위기에 처한 식충식물, 자주망귀개

- 67 바다가 변하면
___ 먹이 찾아가는 길이 험난해진 장수거북

발간사

생명다양성재단

기후가 변화하면 모든 것이 변합니다. 이 세상의 조건 자체가 달라진다는 걸 의미하는데 세상에 속한 그 어느 것도 그대로일 수 없습니다. 그리고 그중에서도 가장 큰 영향을 받는 존재는 다름 아닌 생명입니다. 생명은 그 속성상 자신이 놓인 환경에 맞춰 적응하며 살아가기에 물과 온도와 계절의 변화에 더욱 민감하고 또 취약할 수밖에 없습니다. 왜냐하면 수많은 세월 동안 진화의 과정을 거치며 일궈낸 자연의 '노하우'가 단기간에 혼란에 빠지게 되는 것이기 때문입니다. 더욱이 엄청나게 복잡하고 정교하게 얽히고설킨 생태계에 속해서 살아가는 이상, 생명이 겪게 될 변화는 실로 다양하고, 엄청나고 또 예측 불허일 것입니다.

기후변화라는 시대적 화두는 인간의 존재를 위협하는 것으로 흔히 회자되고 있습니다. 그 문제를 일으킨 장본인으로서 인류는 그 누구보다 막중한 책임감을 가지고 속히 행동해야 할 의무가 있습니다. 하지만 동시에 인류가 일으킨 이 커다란 문제가 인류 외 모든 나머지 생명에게도 말로 다 할 수 없는 영향을 끼치고 있다는 사실도 늘 명심해야 합니다. 특히 그 문제에 어떠한 기여도 하지 않은 생물들이기에 더욱 헤아리고 그 다양한 양상을 파악하고 최대한 경감시키기 위해 노력해야 합니다. 이번 보고서는 바로 그러한 취지를 받들어 기후변화가 다양한 생명에게 끼치는 다양한 영향을 집중적으로 조사하였습니다. 이러한 작업을 통해 기후위기의 시급성은 물론, 얼마나 많은 생명이 여기에 달려있는지를 함께 깨닫고 생각해보는 계기가 되기를 바랍니다.

그린피스

봄의 시작을 알리던 개구리의 울음소리가 겨울부터 들려옵니다. 여름철 우리를 괴롭히던 모기 소리가 늦가을에도 들려옵니다. 멀게만 느껴지던 기후변화는 이미 우리 눈앞에서 펼쳐지고 있습니다.

과학자들은 기후변화와 서식지 파괴가 지금처럼 지속된다면 세기말까지 지구상 생물종의 50%가 멸종해 인류가 6차 대멸종 위기에 처할 수 있다고 경고합니다. IPCC(기후변화에 관한 정부간 협의체)는 지난 8월 제6차 평가보고서를 펴내 기후변화가 예측보다 훨씬 더 빠르고 심각하게 진행되고 있음을 알렸고, 바로 지금 영국 글래스고에서는 즉각적인 국제적 기후 행동을 끌어내기 위한 ‘유엔기후협약 26차 당사국 총회(COP26, 2021년 10월 31일~11월 12일)’가 열리고 있습니다. 이번 COP26에 참석한 보리스 존슨 영국 총리의 말처럼 “지구 종말 시계는 자정 1분 전이며, 우리는 지금 당장 행동해야 합니다.”

우리에게는 아직 최악의 상황을 막을 기회가 있습니다. 기후변화로 더 많은 생태계가 파괴되고 회복 불가능한 상황이 초래되기 전에 ‘2050년 탄소중립’을 위한 행동에 나선다면 말입니다. 이 보고서가 정부를 움직이는 투표의 힘을 가진 시민, 기업을 움직이는 소비자인 여러분에게 기후위기의 현주소를 알려 정부와 기업의 탄소감축 움직임을 이끌어내는 데 기여하기를 바랍니다.

서론

“고양이가 늘어나면 꽃이 늘어난다. 모두가 잘 알다시피, 고양이는 쥐를 잡아먹는다. 쥐는 무리를 지어 땅벌이 땅속에 지은 벌집을 부숴 꿀과 새끼 벌을 잡아먹는다. 벌은 들판에 핀 꽃송이를 오가며 꽃들의 수정 매개체 역할을 한다. 고양이의 개체수가 늘어나 더 많은 쥐를 잡아먹으면, 쥐들이 벌집을 습격하는 횟수가 줄어들어 든다. 이는 곧 땅벌의 개체수 증가로 이어지고, 꽃의 수정 횟수도 늘어난다. 결국 고양이의 개체수 증가가 꽃의 개체수 증가로 이어진 것이다.”

찰스 다윈의 <종의 기원>에서 찾아볼 수 있는 이 이야기는 생태계 속 동식물 간의 복잡한 관계망을 설명하고 있다. 대다수 식물은 동물에 필요한 영양소를 제공하며, 벌과 나비는 식물의 수정 매개체 역할을 한다. 식물은 동물의 개체수를, 포식자는 다른 동물의 개체수를 조절한다. 어느 한 생물 종의 개체수가 과다하지도 과소하지도 않게 조절되는 절묘한 균형이 생태계를 유지하고 있다.

그러나 이 균형은 오늘날 급격하게 무너지고 있다.

생물다양성 과학기구 IPBES(Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services)의 조사에 따르면, 2019년까지 전 세계 800만 종의 생물이 발견되었으나 수십 년 내에 100만 종이 멸종할 것으로 예상된다. 또한 100만 종 중 50만 종 이상은 장기 생존을 위한 서식공간을 잃었다. 이는 생물이 자연적으로 멸종하는 속도보다 약 수십, 수백 배 빠르다. 생태계에는 인류가 아직 발견하지 못한 생물도 상당할 것으로 추정되나, 인류가 알기도 전에 멸종 위기에 처한 것이다.

기후변화는 생물들이 빠른 속도로 멸종하는 주요 원인이다. 2021년 8월에 발표된 기후변화에 관한 정부간 협의체 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)의 6차 보고서에 따르면, 현재까지 세계 평균기온은 산업화 이전보다 1.09°C 올랐다. 그에 따라 그린란드의 빙상은 1992년부터 1999년 기간 대비 약

6배 빠른 속도로 녹고 있으며, 해수면은 1960년대 후반부터 상승하기 시작해 최근 매년 4.8mm씩 오르고 있다. 다양한 생물들이 오랜 시간에 걸쳐 적응한 환경이 급변하자 서식지를 잃고 멸종 위기에 처하는 것이다. 여기에 더해 인간의 개발로 인한 서식지 파괴, 외래종 유입 등 생태계를 파괴하는 현상이 반복되며, 탄소를 흡수하던 자연환경이 탄소를 배출하기 시작해 기후변화를 가속시키는 악순환이 벌어지고 있다.

기후변화에 따른 생물다양성 손실이 가시화되어 세계 곳곳에서 생태계에 대한 조사를 진행하고 있지만, 조사 내용들이 하나의 자료로 정립되지 않았다. 그에 따라, 기후변화로 위협받고 있는 생물들에 대한 정보를 얻는 데 많은 어려움이 있다. 특히 기후변화로 영향받는 국내 생물종이 구체적으로 연구된 보고서는 부재한 상황이다.

이에 본 보고서는 기후변화에 따른 우리 주변의 생태계 변화를 대중에게 보다 쉽게 알리기 위해, 봄·여름·가을·겨울의 사계절 및 서식지를 바탕으로 기후변화로 인해 멸종 위기에 처한 생물들을 소개하고 있다. 한반도의 모든 생물 분류군을 담기 보다는 우리에게 가장 와 닿거나 상징적인 의미를 가진 생물들, 생태계 파괴 현상 등을 위주로 선정했다.

단 하나의 종이 멸종해도, 생태계 속 균형은 큰 영향을 받게 된다. 과학자들은 기후변화로 인한 생물다양성의 손실이 지속된다면 세기말에는 지구상 생물종의 50%가 멸종해 인류가 6차 대멸종에 처할 수 있다고 말한다. 본 보고서의 발행을 통해, 기후변화를 막을 2050 탄소중립 이행과 온실가스 배출 감축을 촉구하는 바다.

겨울



반달가슴곰



하늘다람쥐



쇠족제비

기후가 생물의 상호작용을 방해할 때 9
 __ 겨울철 먹이를 위협받는 하늘다람쥐

겨울이 따뜻해지고 짧아질 때 11
 __ 사라지는 한라산의 구상나무

하얀 눈이 사라질 때 13
 __ 위장색이 더 위험해진 하얀 족제비

동면하는 겨울이 짧아질 때 15
 __ 겨울철 동면동물들에게 혼란이

수온이 높아질 때 17
 __ 바뀌는 바다숲의 풍경

겨울이 충분히 춥지 않을 때 19
 __ 흰개미와 목조문화재

기후가 생물의 상호작용을 방해할 때

주로 숲 속에서 볼 수 있는 하늘다람쥐(*Pteromys volans*)는 낙엽수의 잎, 꽃차례, 씨앗, 꽃봉오리 등을 먹는 초식동물로, 숲에 특화된 동물이다. 해외에서는 러시아, 중국, 일본 등지에서 서식하며 국내에서는 제주도와 울릉도 및 도서 지역을 제외한 전국에서 찾아볼 수 있다. 날개와 비슷한 형태의 피막을 가지고 있어서 보통 7~8m, 멀리는 30m나 되는 거리를 정확하게 날아갈 수 있는 특징을 지녔다.^[1]

날다람쥐로도 잘 알려진 하늘다람쥐가 기후변화로 인해 위협을 받고 있다. 달라진 기후가 생물간 상호작용을 방해하여 하늘다람쥐가 겨울철 먹이를 얻는 것이 힘들어졌기 때문이다. 겨울철 먹이량의 급감은 동면을 하는 하늘다람쥐에게는 종의 생존을 결정짓는 중요한 요소이다.

겨울철 먹이를 위협받는 하늘다람쥐

핀란드에서 하늘다람쥐의 개체 수에 영향을 미치는 요인을 조사한 결과, 겨울철 먹이량이 포식자 등 다른 요인에 비해 더 명확한 영향을 미치는 것으로 나타났다.^[2] 하늘다람쥐들이 겨울철에는 주로 낙엽수의 꽃차례를 먹으며 겨울을 나는데, 이 먹이량에 따라 하늘다람쥐의 다음 봄 번식률이 달라지며 이어지는 여름 번식 가능 여부도 결정된다.

숲 특화 동물인 하늘다람쥐는 숲이 없으면 살 수 없다. 산림 벌채, 댐 건설 등으로 서식지를 잃었기에, 환경부는 이미 하늘다람쥐를 '멸종위기 야생생물 II급'으로 지정했다. 설상가상으로 기후변화로 인해 하늘다람쥐의 생존과 직결된 겨울 먹이량까지 급감해, 하늘다람쥐의 삶은 위협받고 있다.



© Alexander Ganse / Naturalist

숲에 서식하는 하늘다람쥐

[1] 국가문화유산포털. [웹사이트]. URL: <http://www.heritage.go.kr/>

[2] Sselonen, V., Hongisto, K., Hänninen, M. et al. (2020). Weather and biotic interactions as determinants of seasonal shifts in abundance measured through nest-box occupancy in the Siberian flying squirrel. *Sci Rep* 10, 1446.

겨울이 따뜻해지고 짧아질 때

서식지를 이동할 수 없는 식물은 기후변화에 어떤 영향을 받을까? 과학자들이 한반도의 산림생태계를 연구한 결과, 북방계 식물의 생육지(생물이 나서 자라는 곳)는 감소하거나 사라지고 남방계 식물의 분포 한계선은 점점 더 북상할 것으로 예측되었다.^[1] 100년 동안 지구의 온도가 3℃가량 오르면 기후대(열대, 온대, 한대 등 공통의 기후 특성에 따라 구분한 지대)는 매년 10km의 속도로 이동하는데 해당 기후에 서식하는 식생(지표를 덮고 있는 식물의 집단)은 2km 정도밖에 이동할 수 없는 것으로 추정한다. 따라서 기후대의 이동속도를 따라잡지 못하는 식물들은 절멸의 위기에 처하는 것이다.^[2]

우리나라에서 기후위기에 의한 쇠퇴를 가장 잘 목격할 수 있는 곳은 한라산의 구상나무 숲이다. 구상나무(*Abies koreana*)는 소나무과 전나무속에 속하며 한라산뿐만 아니라 지리산, 덕유산, 속리산 등 해발 1,000m 이상의 고산 지대에만 분포하는 아고산대 식물로, 지구의 기온이 떨어진 빙하기에는 한반도 전역까지 분포를 확장했다가 빙하기가 끝나고 다시 기

사라지는 한라산의 구상나무

온이 상승하자 산꼭대기에 남게 된 '빙하기 잔존 식물'이다.^[3] 구상나무는 우리나라에만 자생하는 한국 특산종으로, 세계에서 가장 큰 숲을 이루고 있는 한라산의 숲이 줄어들고 있기 때문에 2011년 세계자연보전연맹(IUCN)의 적색목록(red list)에 위기종으로 등재되었다.^[4]

국립산림과학원은 한라산의 구상나무 숲이 지난 20년간 39%가량 사라졌다고 밝혔다.^[5] 한라산의 구상나무가 사라지는 원인은 다양하게 볼 수 있지만, 많은 과학자들은 기후변화로 겨울철 평균 기온이 상승해 줄어든 적설량으로 토양에 공급되는 수분량이 줄어들고, 봄철 가뭄의 빈도와 기간이 증가한 것을 주요한 원인으로 꼽는다.^{[3][5]} 적설량이 줄어들자 뽕뽕 언눈이 서서히 녹지 못하고 빠르게 녹아내려 토양에 충분히 스며들지 못하게 되고, 이로 인해 식물의 수분 스트레스를 유발하는 것이다. 이 밖에 2012년 제주를 강타한 태풍 볼라벤 등 잇따른 강풍과 불규칙한 기상변화 역시 약해진 구상나무를 빠르게 쓰러뜨렸다.^[3]

자연 상태에서 늙은 나무가 죽고, 어린 나무가

[1] 국립수목원. (2010). 한반도 기후변화 적응 대상식물 300. 포천: 국립수목원.
 [2] 공우석. (2020). 기후위기, 더 늦기 전에 더 멀어지기 전에. 파주: 이다복스.
 [3] 국립산림과학원. (2016). 한라산 구상나무, 왜 죽어가고 있는가. 서울: 국립산림과학원.
 [4] IUCN redlist. [웹사이트]. (2011). URL: <https://www.iucnredlist.org/species/31244/9618913>
 [5] 국립산림과학원. (2019). 전국 멸종위기 고산 침엽수림 현황과 보전 방안.
 [6] 공우석. (2002). 한반도 고산식물의 구성과 분포. 대한지리학회 제37권 제4호 2002, 357-370.

새로운 숲을 형성하는 것은 자연스러운 일이다. 문제는 이러한 변화가 어디에서도 찾아볼 수 없었던 속도로 진행되고 있다는 점이다. 구상나무 숲이 빠른 속도로 사라질 때, 연쇄적으로 일어나는 생태계의 변화를 예측할 수 없기에, 기후위기는 우리에게 위협적이다.

구상나무뿐만 아니라 한라산 정상부에 살고 있는 돌매화나무, 들쭉나무, 시로미 등은 1만 2천년 이전 빙하기 때 추위를 피해 저위도로 내려왔다가 후빙기를 거치며 기온이 다시 상승하자 한라산의 산꼭대기를 피난처로 삼은 북방계 식물이다.^[6] 이들의 존재는 한반도의 생

물다양성 뿐만 아니라 자연사적으로 큰 의미가 있는데, 기후위기에 따른 자연의 변화를 예측하려면 과거의 변화를 알아야 하기 때문이다. 이처럼 구상나무를 비롯해 생물지리학적으로 중요한 많은 고산식물들 역시 멸종위기에 처했다. 1만 2천 년 전 높은 산 정상부 피난처에 남게 된 피난민들이 다시 찾아온 지구의 온난화에 발 없이 묶인 것이다. 모든 것이 멈춘 것 같은 겨울도 그 환경에 적응한 생물들에게는 중요한 시간이다. 겨울은 겨울다워야 한다.



고사한 한라산 구상나무

©이영환

하얀 눈이 사라질 때

기후변화는 동물의 먹이나 번식뿐 아니라 외형적 특성에도 영향을 미친다. 그 대표적인 예로 족제비가 있다. 쇠족제비(*Mustela nivalis*)는 이름 속 ‘쇠’(‘작다’는 뜻의 순우리말)를 보면 알 수 있듯이 족제비과 동물 중에서 가장 작은 종이다. 20~25cm의 작은 몸집이지만 소형 설치류와 땃쥐류뿐만 아니라 두더지, 다람쥐, 소형 조류까지도 사냥하는 육식동물이다.^[1]

쇠족제비 중에는 일 년 내내 갈색 털을 갖고 사는 쇠족제비 아종(*M.n. vulgaris*)이 있는 반면, 겨울이 되면 흰색 털로 털갈이를 해 눈이 쌓인 환경에서 위장색으로 몸을 숨기는 쇠족제비 아종(*M.n. nivalis*)이 있다.

폴란드에서 20년간 족제비의 분포를 조사 비교한 결과, 눈이 쌓이는 기간이 짧아질수록 겨울 털갈이를 하는 쇠족제비 아종의 개체수가 줄어드는 것을 발견했다.^[2] 이는 해당 쇠족

위장색이 더 위험해진 하얀 족제비

제비 아종이 눈이 쌓이지 않았음에도 흰색으로 털갈이를 했기 때문이다. 흰 눈 배경에서의 흰색 털은 효과적인 위장색이지만 눈이 쌓이지 않은 환경에서 흰색 털은 되려 눈에 잘 띄는 색이 된 것이다. 기후변화로 인해 족제비에게 생물계절학적 불일치 현상(phenological mismatch)이 일어난 것으로 해석할 수 있다. 아주 작은 포유류인 쇠족제비에게는 다양한 포식자의 먹잇감으로서 다양한 천적이 있기에, 기후변화에 따라 특정 아종만 번성하고 일부 아종은 개체 수가 줄어드는 자연선택이 일어날 것을 예측할 수 있다.

한국에 서식하는 멸종위기 2급의 무산쇠족제비(*M. n. mosanensis*) 또한 겨울에는 흰색으로 털갈이를 하는 종이다. 따라서 무산쇠족제비도 기후변화로 인해 개체 수나 분포에 직접적인 영향을 받을 수 있다.



눈 속의 흰 쇠족제비

© Александр Гончаров / Naturalist

[1] 김영준. (2017.08.09). [애니칼럼] 쥐 잡는 쥐, 16cm의 포식자 쇠족제비. 한국일보.

[2] Atmeh, K., Andruszkiewicz, A. & Zub, K. (2018). Climate change is affecting mortality of weasels due to camouflage mismatch. Sci Rep 8, 7648.

동면하는 겨울이 짧아질 때

기후변화는 외부 온도에 심하게 영향을 받는 변온동물들에게 더욱 영향이 클 것으로 예상되지만, 항온동물인 포유류들의 행동생태에도 영향을 끼친다. 특히 동면을 하는 포유동물들에게서 이러한 변화가 나타나는데, 해외의 연구사례를 보면 마멋(Marmot), 다람쥐, 불곰 등과 같은 대표적 동면동물들이 기온 상승으로 동면 기간이 변화하거나 아예 동면을 하지 않는 경우가 관찰되었다.

한국에 서식하는 반달기슴곰(*Ursus thibetanus ussuricus*)도 예외가 아니다. 국립공원관리공단에 따르면 멸종위기종 복원 사업의 일환으로 지리산에 방사된 반달기슴곰들이 동면에 늦게 들어갈 뿐 아니라 그 기간도 보름 정도 짧아졌다. 이는 눈이 적게 오고 겨울 평균기온이 높아진 것이 원인으로 추정된다. 동면동물들의 동면 기간이 짧아지는 것은 해당 동물들의 개체수 뿐 아니라 사람에게도 영향을 준다. 아직 먹이가 충분치 않은 상황에서 바깥으로 나온 동물들이 먹이를 찾아 더 넓은 곳을 돌아다니자, 사람과 접촉하는 일이 늘어나기 때문

겨울철 동면동물들에게 혼란이

이다.^[1] 실제로 러시아에서는 예년보다 일찍 깨어난 곰들이 먹이가 부족한 탓에 강한 공격성을 갖고 사람에게 피해를 준 사례가 있었다.

기후변화는 동면동물들의 겨울 뿐 아닌 다른 계절의 생존율에도 영향을 미친다. 북미 연구에 따르면 기후변화로 인해 마멋의 여름 생존율도 낮아지는 것으로 드러났다. 여름 가뭄이 심화되면 마멋이 선호하지 않는 식물들이 늘어나기에, 번식은 줄어들고 사망률은 높아지는 것으로 나타났다.^[2] 동면동물들은 동면에 들어가기 전 많은 먹이를 먹고 에너지를 비축해두어야 한다. 이 중에서도 먹는 먹이가 한정적인 동물들에게는 기후변화가 더욱 치명적일 것이다.

먹이가 없는 겨울에 신진 대사를 낮추어 동면을 하고, 먹잇감이 다시 풍부해지는 봄에 깨어나 먹이를 먹도록 전략적으로 진화한 동면동물들이 기후변화로 큰 혼란을 겪고 있다.



동면 기간이 짧아지는 반달기슴곰

[1] 김정진. (2020). 지리산에 서식하는 반달기슴곰 (*Ursus thibetanus ussuricus*)의 생태적 특성과 보전에 관한 연구 (Doctoral dissertation, 제주대학교 대학원).

[2] Armitage, K. (2013). Climate change and the conservation of marmots. *Natural Science*, 5, 36-43.

수온이 높아질 때

바뀌는 바다숲의 풍경

기후변화는 우리 눈에 보이는 육지뿐 아니라 보이지 않는 물속에도 커다란 영향을 미치고 있다. 해수온은 기온보다 안정적이어서 잘 변하지 않기 때문에, 해수온이 1~2℃ 상승했을 때 해양 생물이 느끼는 것은 기온이 5~10℃ 상승했을 때 육상 생물이 느끼는 것과 비슷하다고 볼 수 있다.^[1]

우리나라 연평균 수온은 갈수록 가파르게 상승하고 있다. 국립수산과학원 자료에 따르면 1968년부터 2018년까지 50년 동안 한국 연근해의 표층 수온은 약 1.23℃ 올랐다.^[2] 바다별로는 동쪽 연안이 1.43℃로 가장 많이 상승했고, 서쪽 연안은 1.23℃, 남쪽 연안은 1.03℃가 상승했다. 같은 기간 전 세계 바다 표층 수온은 평균 0.49℃ 오른 것을 감안하면, 한국의 상승폭은 세계 평균의 2.5배에 달한다.

수온의 상승은 바다숲의 풍경을 바꾸어 놓고 있다. 수온이 올라가면 온대성 해조류로 분류되는 갈조류(다시마, 미역, 툇 등)는 줄어들고 열대/온대 혼성 해조류인 홍조류(김, 우뚝가사리 등)나 녹조류(가시파래 등)가 증가한다. 이를 수치화한 것이 갈조류에 대한 홍조류와 녹조류를 합한 값의 비율 [(R+C)/P ratio]이다. 값이 3보다 작을 때는 온대성 내지 한대성의 해조류상을, 6이상이면 열대성의 해조류상을 나타내고, 그 중간값이면 혼합 해조류상을 나타낸다. 해양수산부에서 실시한 국가 해양생태계종합조사(2015~2020)의 분석 결과 우리나라의 60%에 해당하는 해역에서 (R+C)/P 비율이 증가하였고, 이 비율이 증가한 해역은 평균적으로 4.5와 6 사이의 열대에 가까운 혼합성 해조류상을 나타냈다. 6년간 따뜻한 바다를 선호하는 해조류가 확대되고 있다는 의미다.^[3]

수온의 상승은 해조류를 생산하는 어민들에게도 직접적인 피해를 준다. 수온이 평년보다 1~2℃ 가량 높았던 2020년의 겨울은 해조류의 성장과 수확에 치명적인 영향을 주었다. 김의 성장을 방해하는 김파래가 김에 부착하는 사례가 발생했고, 미역에는 싹녹음(고수온으로 인해 양식의 초기단계에서 나타나는 병해) 등이 나타나 수확량이 크게 줄었다.^[4]

이외에도 수온 증가에 따른 해양생태계의 변화는 특정 해양생물의 복상, 아열대 어종의 잦은 출현, 어류의 감소와 무척추동물의 증가 등 다양한 형태로 나타난다. 또한 이런 변화들이 과도한 어업에 의한 해양 생태계 교란과 오염 등과 맞물릴 때, 그 파장은 더 급격하고 위험한 형태로 발생할 수 있다.



높아진 수온에서 성장을 방해 받는 김

[1] 최재천, 최용상. (2011). 기후변화 교과서. 환경재단 도요새. p.207.

[2] 국립수산과학원. (2019). 수산분야 기후변화 평가 백서.

[3] 해양수산부. (2021). 2020년 국가 해양생태계 종합조사 해양생태총서.

[4] 한국해양수산개발원. (2020). 이상 고온으로 해조류 공급차질 우려, 수급관리체계 재정비 필요. KMI 동향분석, Vol.166.

겨울이 충분히 춥지 않을 때

흰개미는 목재, 잎터미, 토양 등에서 죽은 식물의 셀룰로스를 먹고 사는 바퀴목 흰개미아목에 속하는 곤충이다. 봄이 되면 날개를 단 흰개미들이 결혼비행(생식이 가능한 여왕개미나 수개미가 단체로 날고, 비행 중에 교미하는 활동)을 통해 새로운 군체로 번식하는데, 이들은 나무에 작은 구멍을 내고 새로운 서식처를 마련한다. 대부분의 흰개미 종들은 열대와 아열대 지역에 서식하는데, 우리나라에서는 주로 일본흰개미(*Reticulitermes speratus*)와 대만흰개미(집흰개미, *Coptotermes formosanus*)가 관찰된다. 이들은 소화기관에 공생하는 미생물을 통해 셀룰로스를 소화한다. 이러한 특성으로 흰개미는 자연생태계에서 부패한 산물을 분해하는 분해자로 여겨지지만, 동시에 목조 문화재와 건축물을 위협하는 해충으로도 여겨진다.^[1]

전 세계적으로 흰개미에 의한 경제적 피해는 매년 약 400억 달러에 달하며, 미국에서는 매년 60만 채의 목조 가옥이 흰개미 피해를 입는 것으로 알려져 있다.^[2] 국내의 경우, 1970

흰개미와 목조문화재

년대 흰개미에 의한 목조 문화재에 대한 피해가 확인된 이후 피해 사례는 점차 증가하고 있다. 문화재청에 따르면 2006년부터 2009년까지 매년 흰개미 피해를 받은 목조문화재가 증가했으며, 2012년 기준으로 국가지정문화재 321건, 시·도지정문화재 2,019건이 흰개미 피해를 입은 것으로 확인되었다. 경북궁과 창덕궁, 창경궁, 덕수궁 등도 예외는 아니었다.

과학자들은 흰개미에 의한 목조 문화재 피해가 늘어나는 이유 중 하나로 기후변화를 지목하고 있다. 주로 열대나 아열대 지역에 서식하며 겨울을 휴면 상태로 월동하지 않는 흰개미의 분포 한계선은 겨울철 최저기온에 의해 결정되는데, 기후변화로 겨울 기온이 상승하면서 분포 지역 및 범위 또한 바뀐 것이다.^[1] 한반도의 기후가 점차 아열대화됨에 따라 흰개미의 국내 확산 범위와 활동가능기간 역시 증가했고, 최근 부산항과 평택항을 통해 유입된 붉은불개미(*Solenopsis invicta*)처럼 외래 흰개미가 유입될 가능성 역시 커지고 있다.^[3]

[1] 문화재청. (2012). 문화재 생물피해관리 매뉴얼.
 [2] 김시현, 이상빈. (2019). 외래흰개미의 유입에 따른 목조문화재의 위협. 문화재방재학회 논문집, 4(2), 8, 139-147.
 [3] 김민선, 김충식. (2020). 숲가꾸기 사업과 흰개미 피해를 받은 문화재와의 관련성에 관한 연구, 문화재지 53권 제2호, 2020(6), 24~35.
 [4] KBS news 목조문화재 흰개미 피해 확산 [웹사이트]. (2021). URL: <https://news.kbs.co.kr/news/view.do?ncd=5225515>
 [5] Ashton LA, Griffiths HM, Parr CL, Evans TA, Didham RK, Hasan F, Teh YA, Tin HS, Vairappan CS, & Eggleton P. (2019). Termites mitigate the effects of drought in tropical rainforest. Science, 363(6423), 174-177.

우리나라에서 위도가 가장 높은 강원도 고성군 죽왕면에 위치한 왕곡마을에는 19세기 전후로 지어진 전통 한옥이 모여있다. 5개의 봉우리가 둘러싼 이 마을은 6.25 전쟁을 거치면서도 별다른 피해 없이 본래의 모습을 유지해 2001년 국가민속문화재로 지정되었다. 그러나 이 목조 문화재는 최근 흰개미 피해로 골머리를 앓고 있다. 왕곡마을 가옥 55채 중 20채가 흰개미 피해를 입었으며, 피해 가옥 중에는 당장 무너져도 이상하지 않을 정도로 심각한 상황에 처한 곳도 있다.^[4]

본디 죽은 나무와 잎을 분해하는 흰개미의 활동은 생태계에 중요한 역할을 한다. 2019년 국제학술지 사이언스에는 열대우림의 흰개미가 기후변화로 인한 가뭄 피해를 완충한다는

연구 결과가 실리기도 했다.^[5] 가뭄 속에서도 흰개미가 활동하는 구역은 다른 구역에 비해 잎의 분해와 그에 따른 영양소 순환, 토양 수분, 어린 식물의 생존율이 모두 높았던 것이다.

우리는 흰개미를 탓할 수 없다. 흰개미는 숲의 나무와 경북궁의 기둥을 구분하지 못하기 때문이다. 흰개미로 인한 목조 문화재의 피해는 인간 활동이 야기한 기후위기로 인해 나타난 예상하지 못한 현상이다. 기후변화로 촉발되는 태풍과 폭설, 홍수, 가뭄 등의 이상기후 또한 목조 문화재에 큰 위협 요인인 점을 생각할 때, 왕곡마을의 한옥뿐 아니라 전 세계 많은 목조 문화재를 더는 볼 수 없는 날이 올지도 모를 일이다.



© Kim HyunTae / iNaturalist

한반도의 목조문화재를 위협하는 흰개미

봄



괭이갈매기

박새

북방산개구리

해양생태계가 변화할 때 23
 ___ 일찍이 번식하는 괭이갈매기

생물들의 계절 리듬이 달라질 때 25
 ___ 벌레를 잃어버리는 조류들

봄이 당겨질 때 27
 ___ 봄의 감각을 잃은 경칩개구리와 양서류를 위협하는 항아리곰팡이균

일러지는 봄을 따라 이른 꽃이 필 때 29
 ___ 생강나무와 생태 엃박자

봄 가뭄이 지속될 때 31
 ___ 빈번해지고 커지는 산불

해양생태계가 변화할 때

일찍이 번식하는 꿩이갈매기

빨간 부리와 쫘지깃 끝의 검은 띠가 특징인 꿩이갈매기(*Larus crassirostris*)는 우는 소리가 마치 고양이 울음소리 같아 '꿩이(고양이)'라는 명칭이 붙은 우리나라의 텃새다.

바닷새인 꿩이갈매기는 매년 먹이를 구하거나 새끼를 키우기에 가장 적합한 4월~8월까지 육지를 떠나 섬에서 집단으로 번식을 한다. 번식 시기는 먹이의 가용성에 영향을 받는데, 멸치 등 어류가 해류를 타고 이동하다 꿩이갈매기 번식지 근처에서 번성하면 꿩이갈매기도 번식을 시작한다. 따라서 꿩이갈매기의 번식 시기는 주변 해양생태계의 환경을 반영한다고 볼 수 있다.

국립공원공단이 2003년부터 2020년까지 17년간 꿩이갈매기의 번식 시작 시기를 조사한 결과, 한반도 삼면의 모든 바다에서 번식 시기가 점점 더 빨라진 것으로 밝혀졌다.^[1] 특히

2020년 남해 홍도에서의 첫 번식일은 3월 29일로, 2003년의 첫 번식일인 4월 11일과 비교해 13일이나 빨라졌다.

국립공원공단은 기후변화로 인한 온도 상승이 꿩이갈매기의 번식 시기를 앞당기고 있다고 보고 있다. 꿩이갈매기가 번식하는 섬 인근의 기온과 수온 자료를 분석한 결과 모두 점차 상승해온 경향을 보였기 때문이다.

수온의 변화는 플랑크톤의 분포나 양에 영향을 미치고, 이를 먹이로 하는 어류에도 영향을 미친다. 이에 따라 어류를 주 먹이로 하는 상위포식자인 꿩이갈매기도 부모새가 새끼에게 먹이 공급을 원활히 할 수 없게 되는 등 번식 성공률에 영향을 받게 된다. 실제로 꿩이갈매기의 번식밀도, 한배 산란수 및 알 크기는 2011년 이후 모두 감소하는 경향을 보였다.



새끼를 양육 중인 꿩이갈매기

국립공원공단

[1] 국립공원공단. (2020.05.12). 한려해상 홍도 꿩이갈매기 산란, 첫 조사 이후 가장 빨라.

생물들의 계절 리듬이 서로 달라질 때

배 가운데 세로줄이 마치 넥타이를 맨 것 같은 모습을 한 박새(*Parus major*)는 도심의 공원에서 쉽게 관찰되는 우리나라 텃새이다.

몸집이 작은 새들은 비교적 외부 환경 변화에 민감하다. 큰 조류들은 번식 전 미리 먹이를 많이 먹어 번식하는 동안 쓸 에너지를 몸 안에 비축해둘 수 있지만, 작은 새들은 그렇지 않아 번식하는 동안의 온도 변화에 더욱 민감하다고 알려져 있다. 우리나라에 사는 작은 조류인 박새류도 예외가 아니다. 박새, 곤줄박이, 진박새, 쇠박새 등이 속하는 박새류 무리는 환경 변화에 민감하여 기후변화 ‘지표종’으로 불린다.

일찍이 네덜란드에서는 기후변화로 나방 유충의 먹이가 되는 새순이 일찍 돌아나 박새 새끼의 먹이인 나방 유충이 박새의 산란 전에 출현했다가 사라지는 현상이 보고된 바 있으며, 영국에서도 비슷한 결과가 나타났다.^[1]

최근 연구에서는 국내의 박새류들에게도 이와 같은 현상이 일어난다고 밝혀졌다. 소백산

벌레를 잃어버리는 조류들

국립공원에서 박새류(박새, 곤줄박이, 쇠박새, 진박새, 노랑배진박새, 북방쇠박새) 산란시기를 2011년부터 2020년까지 10년간 조사한 결과, 산란시기가 점점 빨라지는 경향을 보였다.^[2] 2020년에는 2011년에 비해 무려 19일이나 빨라진 4월 2일 첫 산란이 관찰되었다. 박새류가 산란을 준비하는 3월의 평균기온 또한 상승하는 경향을 보였다.

이렇게 산란시기가 달라지면 새끼들의 먹이가 출현하는 시기와 맞지 않아 새끼들의 생존에 커다란 위협일 수밖에 없다. 곤줄박이와 나비목 유충(곤줄박이의 주 먹이)을 연구한 결과, 기온이 상승할수록 나비목 유충의 최대 발생 시기는 곤줄박이 새끼들의 최대 성장 시기와 달라졌다. 나비목 유충과 곤줄박이의 생물계절성 불일치(생물마다 계절에 따른 생태적 변화가 서로 불일치하게 되는 것)가 증가한 것이다.^[3]

해당 연구에서 관찰한 바에 따르면 새끼 새에게 물어다 줄 먹이가 없어지자 당황한 어미 새들은 대체재로 메뚜기, 거미 등을 먹이로 주지

만, 나비목 유충만큼 영양분이 풍부하지 않아 새끼들의 건강에 부정적인 영향을 줄 것으로 예측된다.

이러한 위협은 박새뿐만 아니라 곤충을 주 먹이원으로 삼는 모든 조류들에게 영향을 미친다. 특히 한 지역에 머무는 텃새와 달리 이동하는 철새들에게도 많은 영향을 줄 것으로 보인다.

철새들은 기온 상승과 상관없이 밤낮의 길이를 이동의 기준으로 삼는다. 철새들은 이른 봄

에 월동지(추운 겨울을 나는 자리)에서 번식지로 이동하는데 번식지의 봄 기온이 상승하면 곤충이 가장 풍부해지는 시기가 앞당겨지게 된다. 밤낮의 길이에 맞춰 번식지로 향한 철새들이 도착할 즈음에는 먹을 것이 별로 없게 된다. 한반도에서 몽골, 시베리아, 동남아를 오가는 철새들은 가뜰이나 장거리 비행으로 지쳐 있는데, 중간중간 쉬어 갈 곳인 서식지들이 파괴되고, 기후변화로 먹이마저 줄어들면서 더욱 힘든 삶을 살게 되었다.



© Irina Bobyleva / Naturalist

넥타이를 맨 모습을 한 박새

[1] Cresswell, W., McCleery, R. (2003). How great tits maintain synchronization of their hatch date with food supply in response to long-term variability in temperature. *Journal of Animal Ecology* 72, 356-366.

[2] 국립공원공단. (2020.04.20). 소백산 박새류 산란, 첫 조사한 2011년 이후 가장 빨라.

[3] 정민수. (2020). 기후변화가 곤줄박이 (*Sittiparus varius*) 의 번식생태와 생물계절성 불일치에 미치는 영향 (Doctoral dissertation, 서울대학교 대학원).

봄이 당겨질 때

산개구리(북방산개구리, *Rana uenoi*)는 경칩(3월 5일) 무렵 깨어나 '경칩 개구리'라고도 불린다. 그러나 해가 갈수록 출현일이 눈에 띄게 빨라지고 있어 더 이상 경칩 개구리라고 불릴 수 없게 되었다. 이화여대 행동생태연구실 장이권 교수 연구팀에 따르면, 산개구리가 2016년에는 2월 중순 이후에 처음 관찰되었으나, 2020년에는 1월 말에도 나타났다.^[1] 경칩보다 한 달 이상 빨리 나타난 것이다.

평소보다 빨리 깨어나는 개구리들이 늦은 한파에 폐죽음을 당하는 경우도 있으나, 아직 동면 기간의 단축이 개구리들의 생존에 미치는 영향은 연구된 바가 없다. 다만 기후변화가 주변 환경에 민감한 변온동물인 양서류들의 건강 상태를 나쁘게 해 외부 전염병이나 기생충에 더욱 취약하게 만든다고 알려져 있다.^[2]

그 예시로 기후변화로 야기된 겨울철 가뭄으로 약해진 북미의 양서류들이 전염병에 집단 감염되어 폐죽음 당한 것을 들 수 있다. 겨울

봄의 감각을 잃은 경칩개구리와 양서류를 위협하는 항아리곰팡이균

철 가뭄으로 습지의 수위가 낮아진 것이 그 원인이었는데, 수위가 낮아지며 해당 지역에 서식하는 양서류들의 알과 올챙이가 햇볕(자외선)에 노출되어 허약해졌다. 면역력이 약해진 상황에서 글로벌 무역의 부산물로 수입된 각종 외래 질병들의 습격은 양서류의 생존에 치명적인 한 방을 날렸다.

이 사례에서 북미 양서류들이 집단으로 감염된 전염병은 항아리곰팡이병으로, 사실 한국에서 유래된 곰팡이가 원인이 된 질병이다. 이 질병은 한국산 무당개구리가 애완용으로 수입되면서 옮겨진 것으로 항아리곰팡이균은 무당개구리와는 오래전부터 함께 살아왔기 때문에 치명적인 질병은 아니었다. 그러나 북미의 양서류에게는 처음 접하게 된 질병이었고, 저항성이 없던 그들은 속수무책으로 당하게 되었다.



산란시기가 빨라지고 있는 북방산개구리

[1] 권세라, 구교성, 서재영, 김현정, & 장이권. (2020). 기후변화 지표종 북방산개구리 (*Rana uenoi*) 의 5 년간 산란일 변화. 한국환경생태학회 학술발표논문집, 2020(1), 58-58.

[2] Bosch, J., Carrascal, L. M., Durán, L., Walker, S., & Fisher, M. C. (2007). Climate change and outbreaks of amphibian chytridiomycosis in a montane area of Central Spain; is there a link?. *Proceedings. Biological sciences*, 274(1607), 253-260.

일러지는 봄을 따라 이른 꽃이 필 때

어떤 식물들은 봄이 찾아오면 잎보다 꽃을 먼저 피운다. 아직 차가운 기운이 가시지 않은 이른 봄, 바짝 마른 가지에서 잎보다 노란 꽃을 먼저 틔우는 생강나무(*Lindera obtusiloba*)는 전국 산지에서 자라는 녹나무과의 식물이다. 김유정의 소설 「동백꽃」에 등장하는 꽃이 바로 강원도에서 '산동백'이라는 이름으로도 불리는 생강나무의 꽃이다.

가을이 되면 생강나무는 꽃눈 속에 꽃을 틔울 만반의 준비를 마치고 겨울을 맞는다. 그리고 봄의 신호를 받으면, 저장해두었던 에너지를 이용해 진달래와 앞다투어 꽃을 피운다. 잎보다 꽃을 먼저 피우는 이러한 전략은 더 많은 꽃이 피는 시기를 피해 꽃가루받이를 돕는 곤충을 불러모으려는 것이다.

개화 시기와 같은 '식물계절(식물의 계절적 현상, phenology)'은 매년 주기적으로 반복되는 생활사로 온도와 강수량 등 기후조건에 매우 민감하게 반응하고 식물을 자원으로 이용하는 동물 생태계까지 영향을 미치기 때문에, 기후 위기에 따른 생태계의 영향을 예측하는데 중

생강나무와 생태 엇박자

요한 지표로 여겨진다. 또한 식물계절의 변화는 식물 생산량과 증발산(증발과 증산에 의해 지표면에서 수증기가 대기 중으로 올라가는 것) 등에 변화를 주어 지면과 대기간의 에너지 교환에 영향을 미치고, 지표면 거칠기를 바꾸어 풍속을 변화시키는 등 미기후(지면에 접한 대기층의 기후로 농작물의 생산과 밀접한 관계가 있음)에 영향을 미치기도 한다.

국립공원연구원이 2019년 지리산, 설악산 등 전국의 국립공원을 조사한 결과, 생강나무의 개화 시작일은 2년 전보다 2주가량 앞당겨졌다.^[1] 또한 전국 10개의 수목원에서 2009년부터 2019년까지 10년간 생강나무를 포함한 낙엽활엽수를 관찰한 바에 따르면 낙엽활엽수의 잎과 꽃, 열매가 달리는 시기가 앞당겨지는 경향이 확인되었다.^[2]

생강나무의 빨라진 개화는 생태계의 어떠한 변화를 가져올까. 같은 철에 공존해야 하는 생물들이 서로 시간을 맞추지 못하는 '생태 엇박자(ecological mismatch)' 현상은 생태계 전반에 혼란을 가져올 수 있다. 지구상에 있는 식

[1] 국립공원연구원. (2019). 국립공원 기후변화 생태계 모니터링(2019년).

[2] 국립수목원. (2019). 기후변화와 한국 산림의 식물계절.

[3] 김현정. (2016). 화분매개자의 역할과 보호. 자연보존, 175, 8-17.

물의 75%가 꿀벌의 수분으로 번식을 하고, 인류 식량의 98%를 공급하는 100대 농작물의 71%가 곤충의 화분 매개에 의존하고 있다. 여기서 꽃이 꿀벌을 비롯한 수분 매개 곤충의 활동 시기보다 더 빨리 피게 되면, 곤충이 충분히 성장하지 못한 채로 봄을 맞이한다. 결국 식물의 번식과 곤충의 생존 모두에 영향을 미친다.^[3]

1980년대 이전에는 개나리가 피고 나서 약 30일 후에 벚꽃이 개화했다. 2010년 이후에는 그 간격이 일주일로 줄었다. 이처럼 꽃이 빨리 피는 것에 더해 꽃들이 동시다발적으로 피는

현상이 벌어지면, 벌이 순차적으로 꿀을 구할 수 있는 기회를 잃어 곤충 생태에 영향을 준다.

2021년 서울 벚꽃은 관측 이래 99년 만에 가장 이른 시기인 3월 24일에 피었다. 꼭 기말고사 기간에 만개한다고 하여, 벚꽃의 꽃말이 기말고사라는 우스갯소리는 이제 옛말이다. 이제 개나리와 생강나무, 벚꽃이 같은 시기에 만개한다. 곰곰이 생각해보면 기이한 이 풍경을 예민하게 알아차리지 못한다면, 인류는 지구 상에서 조용히 사라지는 생물들과 그로 인한 재앙을 피하기 어려울 것이다.



© onidas-Naturalist / naturalist

잎보다 노란 꽃을 먼저 피운 생강나무

봄 가뭄이 지속될 때

통상 2월 1일부터 5월 31일까지는 봄철 산불조심기간이다. 우리나라는 산림보호법에 따라 대기가 건조해지는 봄과 가을에 산불조심기간을 두어 산불을 예방하는 노력을 한다. '5월에 아까시나무꽃이 피기 시작하면 산불도 끝이 난다'라는 옛말도 이 같은 산불 발생의 경향성을 보여준다.

그러나 최근 한국의 산불은 기후위기로 인해 그 양상이 바뀌고 있다. 산불이 봄과 가을 특정 시기에 집중되지 않고 연중화, 대형화 되고 있는 것이다.^[1] 산림청에 따르면 산불조심기간 외에 발생한 산불의 비율이 1990년대 10%에서, 최근 47%까지 증가했다.^[2] 강수량·적설량과 강수일수가 감소해 대기와 나무가 건조해지자 겨울부터 초여름까지 긴 시간 동안 봄 가뭄이 지속되어, 언제든지 산불이 커지기 좋은 조건이 된 것이다. 2019년 4월 4일, 식목일을 하루 앞두고 인제, 고성, 속초, 강릉 등지에서 동시다발적으로 산불이 발생해 3일간 2,832ha의 숲을 태운 대형 산불은 '태풍급의 건조한 강

빈번해지고 커지는 산불

풍'이 피해를 키운 주요한 원인이었다.^[3] 불규칙한 대형 산불의 발생은 비단 한반도만의 일이 아니다. 2019년 가을 발생하여 이듬해 봄에 진화된 호주 산불은 한반도 면적의 약 85%에 달하는 숲을 파괴했는데, 과학자들은 기후위기로 인해 대기가 건조해지고 강수량이 줄어들자, 자연적으로 내리는 비로 산불이 멈추지 않아 피해가 이례적으로 컸다고 밝혔다. 이 자연재해로 인해 코알라 서식지 30%가 파괴되었으며, 곤충을 포함하여 최소 10억 마리의 동물이 목숨을 잃었다. 광택유황앵무새와 같은 보호종은 서식지가 파괴되어 멸종 위험에 빠졌다.^[4]

산불은 직접적으로 생물의 서식지인 숲을 파괴하여 생물다양성을 위협할 뿐만 아니라 이산화탄소를 대기 중으로 배출하여 다시 기후위기를 가속화하는 악순환을 야기한다. 또한, 뜨거워진 땅은 토양 미생물의 조성을 바꾼다. 1996년과 2000년, 강원도에서 발생한 대형산

불 피해지의 생태계 변화 양상을 조사한 결과, 토양이 다시 회복하는 데에 100년의 시간이 걸리는 것으로 나타났다.^[5] 국내에서는 아직 산불피해로 인한 생물다양성의 변화에 대한 연구가 진행된 바 없으나, 토양의 변화가 식물생태계와 식물자원을 이용하는 동물생태계에 연쇄적인 영향을 미칠 것은 분명하다.

지구상에 존재하는 생물종의 절반은 숲에 산다.^[6] 이상기후에 따른 산불과 같은 자연재해로 인해 지구의 생물다양성은 그 어느 때보다 위협받고 있다.



©Kiran Ridley / Greenpeace

2019년 가을부터 이듬해 봄까지 지속된 호주의 산불

[1] 김한솔. (2020. 07. 13). 더 커지고, 오래가고, 연중 끊이지 않고...산불이 심상찮다. 한겨레.

[2] 산림청 기후위기속 과학적 산불 대응 전략 발표 [웹사이트]. (2021). URL: https://fmc.forest.go.kr/fmc/showTwbbsContDetail.do?bbrssId=BBR55_0010&twbbsNo=4000_78

[3] 행정안전부. (2019). 2019 강원 동해안 산불백서.

[4] 신혜연. (2020. 01. 14). 코알라 등 10억마리 집어삼킨 호주 산불... "3월은 돼야 잡힐듯". 중앙일보.

[5] 국립산림과학원. (2015). 산불피해지 생태계 변화 모니터링 및 복구관리기술 개발.

[6] Below the canopy [website]. (2019). URL: <https://www.wwf.org.uk/below-the-canopy>

여름



서양금혼초



갈색여치



검은이마직박구리

도시가 더워질 때 35
 ___ 늘어나는 매미와 소음이 되어버린 매미 소리

여름이 더 더워질 때 37
 ___ 더 많아지는 해충들

열대 기후로 변할 때 39
 ___ 한국에 눌러앉은 남쪽나라 새들

높은 기온이 세포에 영향을 미칠 때 41
 ___ 빠르게 늙는 도마뱀

외래종이 고유생태계를 대체할 때 42
 ___ 민들레와 닮은 서양금혼초

약해진 숲이 균형을 잃었을 때 45
 ___ 광릉긴나무좀이 옮기는 참나무시들음병

도시가 더워질 때

기후변화로 장마철이 점차 짧아지고 집중호우가 더 자주 발생해, 고온다습한 날이 늘어나고 있다. 이러한 변화는 여름 도시의 온도를 더욱 증가시켜 도심 열섬현상(Urban Heat Island effect, UHI)을 심화시킨다. 도시의 환경적인 변화는 곧 도시에 서식하는 생물상과 그들의 생활사에도 영향을 미치는데, 대표적인 것이 매미다.

도시와 교외 지방 그리고 시골지역에서 말매미(*Cryptotympana atrata*)와 참매미(*Oncotympana fuscata*)의 탈피각을 조사한 결과에 따르면, 매미들은 도시와 인근 교외 지역에서 압도적으로 높은 밀도를 보여주었다.^[1] 즉 열섬현상이 심한 곳에서 더 많이 살고 있는 것이다.

매미들이 처음부터 높은 열에 잘 적응하고 번성했던 것은 아니다. 연구 결과, 열섬효과가 높은 지역에 사는 매미들은 열 스트레스를 조절하는 유전자가 더 많이 발현되어있는 것을

늘어나는 매미와
소음이 되어버린 매미 소리

확인할 수 있었다. 즉, 사람으로 인한 온도 환경 변화가 매미와 같은 작은 곤충의 유전자 발현마저 변화시키고 있는 것이다.^[2]

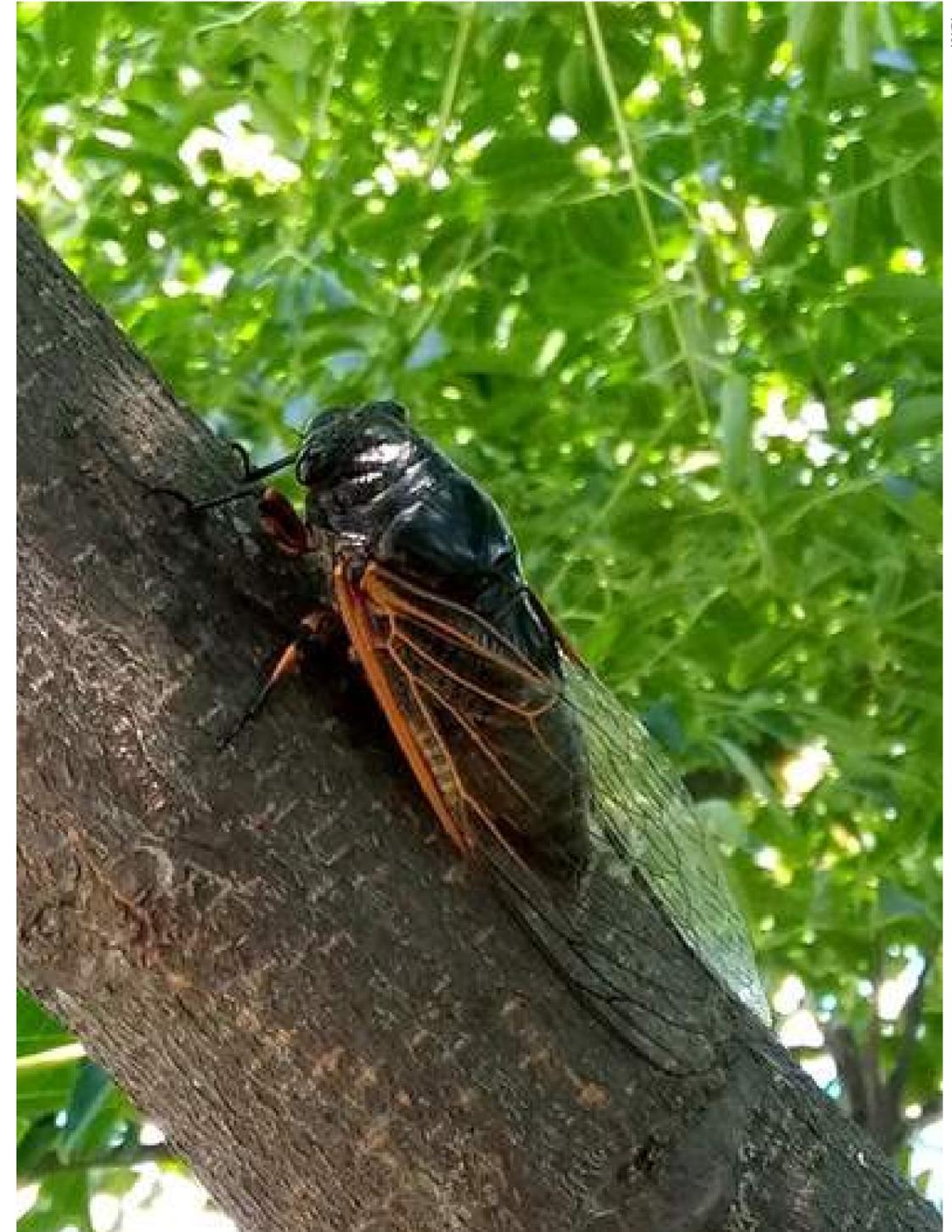
이 같은 현상과 더불어, 도시에서 매미들의 울음소리는 더 빨리 들리고 더 늦게 끝나게 되었다. 매미류 생물계절 변화 연구에서 1960년~2017년(57년간) 서울의 참매미 초성(울음소리가 시작되는 시기), 종성(울음소리가 끝나는 시기) 시기의 변화를 분석하였을 때, 연간 기온이 상승함에 따라 초성 시기가 점점 빨라지고 종성 시기가 점점 늦어지는 것을 확인할 수 있었다고 한다.^[3]

매미들의 밀도가 집중되고 울음소리를 내는 시기가 빨라지면서 도심지역에 사는 시민들은 더욱 시끄러운 매미 소리에 고통받게 되었다. 여름의 상징처럼 느껴지던 기분 좋은 매미 소리가 가면 갈수록 시끄러운 소음으로 느껴지게 되는 이유, 기후변화에 있었다.

[1] Nguyen. (2018). How does urban heat island phenomenon contribute to cicada population abundance in metropolitan Seoul?. 이화여자대학교 박사학위논문.

[2] 생명다양성재단 유튜브 [마지막 수업 5-2] 매미는 왜 도시에서 시끄러운가/생태학자 장이권. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=lyKU4jZB9Qg>

[3] 김윤재, 기경석, & 김호국. (2017). 기후변화에 의한 매미류 생물계절 변화 탐색적 연구. 한국환경생태학회 학술대회논문집 27(2), 43~43.



더위에 늘어나는 도심 속 말매미

여름이 더 더워질 때

기후변화로 한 해 평균 기온이 오르면서, 이전에는 해충이 아니었던 곤충들이 해롭게 변하는 사례가 빈번하게 보고되고 있다. 갈색여치(Paratlanticus ussuriensis)는 원래부터 한국 중부 및 북부지역 숲에 사는 토종 곤충으로 과거에는 해충 피해 사례가 많지 않았다. 그러나 갈색여치가 부화하고 성장하기 좋은 환경이 조성되자, 그 개체수가 급증해 포도나무, 복숭아 농가 등 과수원에 커다란 피해를 주고 있다. 이러한 돌발해충들의 발생 시기는 이상고온으로 점점 빨라지는 추세에 있다고 보고된다.

여름철, 해외에서 우리나라로 날아오던 곤충들이 더 일찍 날아와 피해가 커지는 사례들도 발견된다.^[1] 흰등멸구, 벼멸구, 흑명나방 등 중국에서 날아오던 해충들이 그러한데, 중국 남부의 기온이 올라가 이들이 번식·성장하기 좋은 조건이 갖추어지면 우리나라로 날라 들어오기 시작한다. 따라서 중국 남부가 일찍 따뜻해지면 이들이 더 일찍 날아오게 되는 것이다.

더 많아지는 해충들

이것이 문제가 되는 이유는 이들이 일찍 날아오면 더 많은 세대가 번식할 수 있기 때문이다. 한 달만 그 시기가 앞당겨져도 한 세대가 더 번식할 수 있는 시간이 주어진다고 알려져 있다. 따라서 원래 7월에 한국으로 날아와 2세대까지 번식하던 해충들이 6월에 날아오게 되면 3세대까지 번식하게 되고, 그만큼 더욱 많은 피해를 초래한다.

세대 수가 늘어나는 것은 원래 우리나라에 서식하는 곤충들도 마찬가지이다. 소나무, 잣나무 등에 피해를 주는 솔나방은 원래 1년에 1회 발생하는 곤충이다. 그러나 연평균 온도의 증가와 여름 도심 열섬현상으로 최근에는 연 2회 발생하는 것으로 보고되고 있다.^[2]

기온 변화는 온도에 비교적 민감한 수서곤충(민물에서 사는 곤충)들의 생활사도 변화시키는데, 그에 따라 개체수가 빠르게 증가할 수도 있다. 최근 한강 하류에서 폭발적으로 번식해

시민들에게 혐오감을 준다고 보도되었던 하루살이(동양하루살이)의 대번성도 이와 무관하지 않다.

사실 '해충'은 철저히 인간적인 관점에서 곤충들을 바라본 것이다. 그 숫자가 엄청나게 많아져 농작물에 피해를 주거나 다른 피해를 끼칠

때 '해충'이라는 이름표를 붙이는 것이다. 기후변화로 숫자가 엄청나게 늘어나고 자주 발생하면서 우리에게 더 많은 영향을 줄 뿐, 이들의 대번성과 그에 따른 피해 역시 우리가 불러들인 상황이다.



© 국립생물자원관

기후변화로 해충이 되어가는 갈색여치

[1] 김광호, 이관석, 박창규, 서보운, 김양표, & 최병렬. (2016). 유아등 자료를 통해 살펴본 주요 비래해충 비래시기 변화. 2016 한국응용곤충학회 임시총회 및 추계학술발표회 자료집, 142.

[2] Choi, W. I., Park, Y. K., Park, Y. S., Ryoo, M. I., & Lee, H. P. (2011). Changes in voltinism in a pine moth *Dendrolimus spectabilis* (Lepidoptera: Lasiocampidae) population: Implications of climate change. *Applied Entomology and Zoology*, 46(3), 319-325.

열대 기후가 지속될 때

한국에 늘러왔은 남쪽나라 새들

따뜻해진 기후는 그동안 한국에 정착해 살지 않았던 생물종들이 우리나라에 터를 잡고 살 수 있도록 만들었다. 마치 관광객처럼 우리나라를 들르던 철새들이 아예 늘러살고 있거나, 그동안 나타나지 않던 열대 조류들이 한국에서 번식하게 된 것이다.

최근 국내에서 검은이마직박구리, 붉은부리찌르레기, 팔색조, 물뺨, 호사도요, 긴꼬리딱새 등 6종의 변화를 분석한 결과, 조류 서식지가 북상하고 있다는 것이 밝혀졌다.^[1] 특히 긴꼬리딱새와 물뺨은 관찰된 날짜와 위도, 기온 간에 분명한 상관관계를 보여, 기후 환경에 따라 서식지를 확장하거나 이동하는 것이 확인되었다.

물뺨은 대만 등 동남아 국가에서 서식하는 대표적인 열대 조류다. 대만에서는 물뺨을 희귀 조류로 분류하고 서식지 보전을 위해 항공전 고속철도 노선까지 변경시킬 정도로 보호

에 노력을 기울이고 있다. 이러한 물뺨이 지난 2013년, 국내 경남 창녕 우포늪에서 번식했다. 그 이후로 남부 지역 습지대에서 물뺨의 번식 사례가 계속해서 보고되고 있다.

국제 멸종위기종인 팔색조에게서도 비슷한 양상이 나타났다.^{[2][3]} 팔색조는 겨울을 동남아에서 보내고 여름에는 중국 남동부나 우리나라, 일본으로 올라와 번식하는데, 최근 남해와 거제에서 팔색조 개체수가 증가한 양상이 보고되었다. 기존에 종종 목격은 되었지만 번식하지 않던 경남 금산에서도 처음으로 번식까지 확인되었다. 팔색조의 개체수 증가는 정확한 원인이 밝혀지지 않았지만, 철새들의 서식지가 북상하고 있는 연구 결과와 일맥상통하는 현상이다.

검은이마직박구리와 호사도요는 관찰되는 날짜와 기온 간의 직접적인 상관관계는 없는 것으로 나타났지만, 서식지가 확장되는 양상이

관찰됐다.^[1] 연구자들은 이를 두고 우리나라보다 더 낮은 위도의 중국에서 서식하던 조류들이 기후변화로 중국 서식지에서 살기 어려워지자 한반도까지 서식지를 넓혀가는 것이라고 해석했다. 중국 남부에 주로 분포하는 검은이마직박구리는 한국 서해의 섬에서 번식하는 경우가 늘어나고 서울, 대전 등에서 길을 잃은 것으로 보이는 모습이 종종 포착되었다. 또한

제주에서는 집단 서식을 하며 텃새로 자리 잡는 모습까지 보고되고 있다.^[4]

이런 귀한 새들이 우리나라에 자리 잡은 것은 반가운 일일 수도 있다. 그러나 그들의 달라진 서식지가 생태계 전체에 어떤 영향을 미칠지 모른다는 점에서 분명 두려움을 느껴야 하는 문제이기도 하다.



© 국립생태원

한반도에서 발견되는 범위가 점차 확대되는 팔색조

[1] 박현우, 박도영, & 최순규. (2018). 한국에서 조류의 분포 변화-기후와 환경 변화에 대한 대응으로. 에너지기후변화교육, 8, 235-253.

[2] 국립공원공단. (2020.08.10). 한려해상국립공원 찾은 멸종위기종 팔색조 지난해보다 증가.

[3] 국립공원공단. (2021. 08. 06). 한려해상에서 멸종위기종 긴꼬리딱새, 팔색조 번식 포착.

[4] 제주환경운동연합. (2020). 2019 기후변화에 따른 제주 생태계 변화 보고서.

높은 기온이 세포에 영향을 미칠 때

빠르게 늙는 도마뱀

많은 사람들이 기후변화로 더워진 여름을 겪으면서 힘들어하지만, 파충류 등 변온동물들은 항온성 포유동물인 우리보다 더욱 힘든 여름을 보내고 있다. 수많은 변온동물이 이상 기온으로 폐사하고 있으며, 그중에서도 온도에 따라 성별이 결정되는 종들은 성비 불균형으로 짝을 못 찾아 멸종 위기에 처해있다. 최근에는 개체수의 감소뿐 아니라 충격적인 변화도 보고되었다. 우리에게는 텍수염 도마뱀 혹은 비어디 드래곤으로 알려진 사막 도마뱀 (*phrynocephalus przewalskii*)을 대상으로 한 중국 연구진의 조사 결과에 따르면 이상기온과 폭염은 도마뱀들을 빨리 '늙게' 만든다.^[1]

기후변화가 도마뱀을 포함한 변온동물의 노화를 빠르게 하는 이유는 기온이 높아질수록 그들이 빠르게 성장하기 때문이다. 이렇게 빨리 성장하게 되면, 유전자가 산화적 손상을 입게 되고 염색체 말단에 있는 텔로미어의 길이가 짧아지게 된다. 텔로미어는 유전정보가 반복적으로 나열된 염색체의 말단 영역으로 DNA를 보호해 세포의 퇴화 속도를 늦추는 역할을 해 노화를 막는다. 본 연구에서 밝혀진 것처럼 기후변화가 생물의 노화에도 영향을 미친다는 것은 매우 놀랍고도 두려운 사실이 아닐 수 없다.



© 王桂輝 / naturalist

더위에 수명이 짧아지는 사막도마뱀

[1] Zhang, Q., Han, X., Hao, X., Ma, L., Li, S., Wang, Y., & Du, W. (2018). A simulated heat wave shortens the telomere length and lifespan of a desert lizard. *Journal of thermal biology*, 72, 94-100.

외래종이 고유생태계를 대체할 때

민들레와 닮은 서양금혼초

생물다양성협약(CBD)에 따르면 생물다양성의 주요 위협 요인은 개발로 인한 서식지 파괴, 오염, 인구 증가, 남획과 남용과 더불어 외래종의 확산 등이 있다. 여기서 외래종이란 해당 지역 생태계에 고유하지 않은 식물, 동물, 병원체 및 기타 유기체를 의미한다. 일부 외래종들은 경쟁, 포식 또는 병원체 전파를 통해 기존 생태계에 자리 잡았던 자생종을 위협하고, 지역 생태계의 균형을 깨 생물다양성에 부정적인 역할을 미친다. 17세기 이후, 원인이 알려진 모든 동물 멸종 사례의 약 40%는 외래종 유입에서 기인했다고 한다.^[1]

6월이 되면 제주의 목장과 도로를 따라 노란색 서양금혼초(*Hypochaeris radicata*) 꽃이 만개해, 흡사 노란 융단을 깔아놓은 듯 보인다. 서양금혼초는 얼핏 자생종인 민들레를 닮아 제주에서는 흔히 개민들레라고도 불리지만, 이는 80년대 목초 종자와 혼합되어 비의도적으로 한국에 들어온 것으로 추정되는 외래종이다. 환경부는 이 식물이 농장에 피해를 입힌다고 판단하여 2009년 서양금혼초를 생태계교란생물로 지정했다.^[2] 한 번 농장에 침입하면 제거가 어려울 뿐 아니라, 잎이 땅에 바짝 붙어 자라기에 소를 비롯한 가축이 뜯어 먹기도 어렵고 말에게 절름병을 유발하기 때문

이다. 400여 종의 귀화식물(외국의 자생지로부터 인간의 매개에 의해 의식적 또는 무의식적으로 우리나라에 옮겨져 여러 세대를 반복하면서 토착화된 식물) 중 현재까지 단 16종만이 그 유해성을 입증받아 법정 교란식물로 지정된 것을 고려하면 서양금혼초가 사람에게 주는 피해는 분명해 보인다. 그러나 외래종이 자생생태계에 주는 영향은 이보다도 더 크고, 측정하기 어렵다.

서양금혼초는 일찍이 고향 모로코를 떠나 남극을 제외한 모든 대륙과 대만, 하와이, 뉴질랜드 등 전 세계 많은 섬에 성공적으로 침입했으며, 그 서식 환경도 저지대부터 고지대, 척박한 화산지대까지 다양하다.^[3] 국내에는 제주 뿐 아니라 서울, 서산, 영광, 울릉도, 지리산, 덕유산 등 전역에서 발견된다.

이들은 기후위기로 인해 취약해진 자생 생태계에 들어와 새로운 우점종이 될 가능성이 높다. 제주에서는 이미 목장지대와 중산간지대 뿐만 아니라 한라산 아고산대에서도 서양금혼초가 발견되는데^[4], 한라산은 한라개승마, 구름떡썩, 쯤민들레와 같이 전 세계에서 한라산에만 자생하는 특산종이 20종이 넘는^[5] 중요한 자생생태계이기 때문에 이러한 외래종의

침입이 생물다양성에 미칠 영향은 더 크다. 또한 많은 초본식물(줄기에 목재를 형성하지 않는 식물)이 서양금혼초로 대체된 자생 생태계는 초본과 곤충의 상호작용을 포함하여 곤충을 먹는 새와 포유류 등, 소비자의 먹이 그물에도 예측하기 어려운 변화를 일으킬 가능성이 높다.

지구상에 존재하는 동물은 약 150만 종 이상으로 추정되며, 그 가운데 곤충이 약 100만 종을 차지한다. 그 많은 곤충 중에서 30만 종 이상은 풀을 먹는 초식성 곤충이다. 이 중 대다수는 자신이 먹거나 서식지로 활용하는 기주식물(주식)이 정해져 있다. 간혹 적응력이 뛰어난 곤충은 기주식물 이외의 식물을 먹기도 하지만, 보통은 다양한 식물이 내뿜는 모든 방어 물질에 적응할 수 없기 때문에 특정 기주식물에 맞추어 적응한다. 북미원산의 돼지풀이 도입된 이후, 돼지풀을 먹고 사는 돼지풀잎벌

레가 함께 국내에서 관찰되는 것은 이런 사실을 잘 보여준다.^[6]

흔히 외래종이라 하면 베스나 황소개구리와 같이 '자생종을 먹어 치우는 무시무시한 이미지'를 상상하기 쉽다. 그러나 많은 경우 외래종들은 그 외형이 자생종과 닮았기에, 자생종의 생태학적 지위(niche)를 대체해도 변화를 알아차리기 어렵다. 그에 따라 생태계에 미치는 영향도 측정하기 어렵다.

기후위기와 세계화는 예측하지 못한 외래종의 유입과 확산을 가속화할 것이다. 그리고 외래종의 유입과 확산은 지구상의 생물다양성을 위협한다. 우리가 민들레와 같이 흔히 볼 수 있는 자생 생태계의 고유한 생물종을 소중히 여겨야 하는 이유가 바로 여기에 있다.

[1] Secretariat of the Convention on Biological Diversity. (2006). Global Biodiversity Outlook 2. Montreal, 81 + vii pages.

[2] 국립생물자원관 한반도의 생물다양성 [웹사이트]. URL: <https://species.nibr.go.kr/>

[3] Invasive Species Compendium [Website]. (2021). URL: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/27895>

[4] Tae-Bok Ryu, Mi-Jeoung Kim, Chang-Woo Lee, Deok-Ki Kim, Dong-Hui Choi, Hyohyemi Lee, Hye-Ran Jeong, Do-Hun Lee, & Nam-Young Kim. (2017). Distribution characteristic of invasive alien plants in Jeju Island. *Journal of Ecology and Environment*, 41:24.

[5] 공우석. (1998). 한라산 고산식물의 분포 특성. *대한지리학회 제33권 제2호* 1998, 191-208.

[6] 정부회. (2018). *먹이식물로 찾아보는 곤충도감*. 서울: 상상의숲.



민들레와 닮은 서양금혼초

약해진 숲이 균형을 잃었을 때

우리나라 숲의 약 30%를 차지하는 참나무류 나무에 피해를 가하는 참나무시들음병(*Raffaelea quercus-mongolicae*)은 소나무재선충병과 함께 한국의 숲을 위협하는 대표적인 산림병해충으로 여겨진다. 이 병은 매개충인 광릉긴나무좀(*Platypus koryoensis*)을 통해 곰팡이의 일종이자 병원균인 라펠리아(*Raffaelea quercus-mongolicae*)가 참나무류에 침투해 발생하는 병이다. 상수리나무, 졸참나무, 굴참나무 등 국내 참나무류에 모두 발병하지만 그 중에서도 신갈나무의 피해가 크다. 병원균에 감염된 나무는 곰팡이의 증식으로 인해 수분 통로인 도관이 막혀 수분상승이 어려워지고, 잎이 붉게 말라 죽게 된다. 감염된 나무 5그루 중 1그루가 고사하는 것으로 알려져 있다.^[1]

병원균을 옮기는 매개충인 광릉긴나무좀은 예전부터 우리나라 생태계에 존재했던 토착종으로 여겨지나, 2004년 이전까지는 참나무시들음병이 보고되지 않았다. 그러나 2004년 이후, 광릉긴나무의 개체수와 밀도가 폭발적으로 증가해 병이 함께 확산된 것으로 보고 있다.^[2]

광릉긴나무좀이 옮기는 참나무시들음병

아직 긴 시간에 걸친 폭넓은 연구 자료가 쌓이지 않아, 광릉긴나무좀이 2000년대에 들어 증가한 이유를 한 가지 이유로 설명하기는 어렵다. 다만, 일본의 경우 기온이 높고 강수량이 적은 해에 참나무시들음병의 피해가 많이 발생하는 경향이 있어, 기온·강수량과 참나무시들음병의 확산은 분명한 관계가 있는 것으로 파악된다. 국가적인 방제가 시작된 이후, 참나무시들음병의 피해 정도는 각 연도별 기후양상에 따라 증가와 감소를 반복하고 있다. 피해목의 수는 점차 감소하는 추세지만 발생 지역은 전국적으로 확대되고 있다.^[1]

일반적으로 병해충은 약해진 나무에 침투한다. 최근에는 외견상 건강한 나무가 고사하는 사례도 빈번히 발생되고 있으나 기후위기로 인한 가뭄으로 수분 스트레스 등을 받아 쇠약해진 나무는 수액의 생산량이 감소해 매개충의 공격에 쉽게 노출된다. 그렇게 되면 쇠약한 나무 주변의 건강한 나무도 영향을 받는다.

기후변화로 연중 따뜻한 시기가 길어지면서

곤충의 번식 횟수가 증가하자, 그동안 국내에서 큰 문제가 되지 않았던 아열대성 곤충으로 인한 피해 사례도 늘어나기 시작했다. 남방계 속 곤충에 속하는 광릉긴나무좀 역시 따뜻해진 기온 속에서 보다 활발하게 활동할 것으로 보인다.

일반적으로 참나무시들음병을 방제하기 위해 곤충 트랩이나 화학적 약제를 사용하여 매개충을 잡는다. 이 과정에서 숲에 서식하는 다른

곤충종과 그들이 상호작용하는 또 다른 생물들도 영향을 받는다. 전염병으로 인한 생물다양성 감소와 전염병 대응으로 인한 생물다양성 감소 중 어느 쪽이 생태계에 더 큰 피해를 줄 것인지 우리는 알기 어렵다. 다만 어느 쪽이든 인류는 기후위기를 초래하여 맞닥뜨리게 된 변화를 오롯이 겪어내야 할 것이다.



광릉긴나무좀에 의한 산림 피해 모습

[1] 국립산림과학원. (2010). 참나무시들음병 발병생태 및 방제연구.

[2] 한국농촌경제연구원. (2018). 기후변화에 따른 산림병해충 영향과 대응과제.

가을



자주망귀개



등검은말벌



이집트숲모기

아열대 외래종이 거침없이 확산할 때 ___ 꿀벌들의 적이 된 등검은말벌	49
‘철 없는 모기’가 극성을 부릴 때 ___ 생존권마저 위협받는 대만 원주민	51
습지가 육지가 될 때 ___ 멸종위기에 처한 식충식물, 자주망귀개	53

아열대 외래종이 거침없이 확산할 때

이상 기후로 토종 생물들은 점점 취약해지고 외부 침입에 대한 생태계의 저항력은 약해지고 있다. 이런 가운데 국제 무역의 지속적인 증가는 외래종이 우리나라로 쉽게 들어올 수 있는 환경을 만들었다. 환경부에 따르면 2011년 1,109종으로 집계된 외래생물이 2018년에는 2,160종으로, 매년 약 20%씩 증가했다.^[1] 외래종은 생태계에 커다란 교란과 피해를 안겨줄 뿐만 아니라 경제·사회적인 피해와 공중보건의 문제를 발생시키기도 한다.

동남아, 중국 남동부지역에 살던 아열대성 곤충인 등검은말벌(*Vespa velutina*)은 2003년 부산에서 처음으로 발견된 이후로 분포지역을 걷잡을 수 없이 넓혀 나가고 있다. 등검은말벌이 어떻게 한국으로 들어왔는지는 정확히 추적할 수 없지만, 무역 상선 등에 실려 들어왔을 가능성이 높다고 판단된다.^[2]

등검은말벌은 기후변화로 인해 빠른 속도로 확산하고 있다. 한반도의 연평균 기후가 오르

꿀벌들의 적이 된 등검은말벌

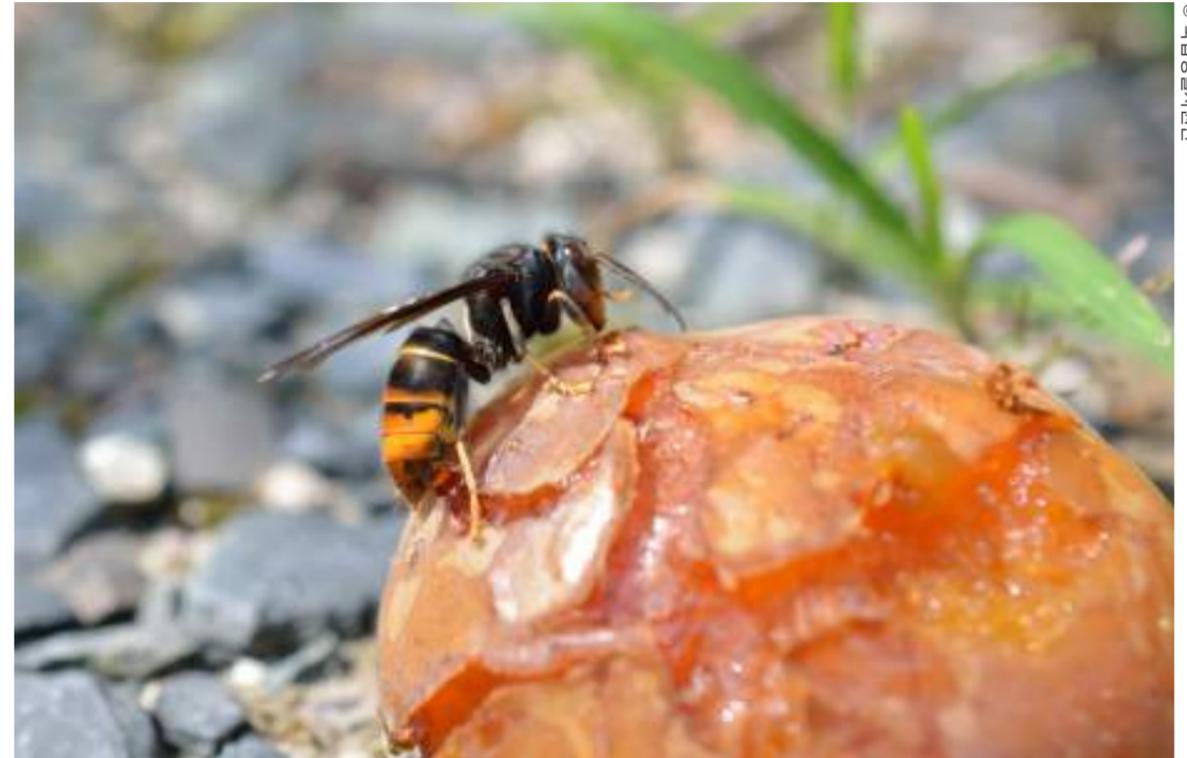
자, 따뜻한 기후에 적응하던 등검은말벌이 보다 쉽게 적응한 것이다. 농촌진흥청이 안동대 연구팀과 함께 전국 말벌실태조사를 한 결과 전체 말벌 개체수 중 등검은말벌이 차지하는 비율이 2018년 49%에서 2020년 72%로 크게 증가했다.^[3] 해당 연구 결과를 통해 농촌진흥청은 등검은말벌을 기후변화 영향을 판단할 수 있는 지표로 보고 분포 변화를 지속적으로 모니터링하겠다고 밝혔다.

공격성이 강한 등검은말벌은 토착 말벌과의 경쟁을 통해 심각한 생태계 교란을 일으키고 있다. 또한 꿀벌 포식자로서 양봉가의 피해는 물론 화분 매개에 있어 꿀벌 의존도가 높은 과수 채소 농가에까지도 막대한 피해를 입히고 있다. 등검은말벌은 2021년 양봉업계에 연간 1,500억 원 정도의 피해를 미쳤는데, 이는 양봉산업 전체 생산액의 30%에 달하는 양으로 그 어느 해보다도 가장 큰 피해 규모다.

이 외래종 말벌을 비롯한 열대, 아열대의 외래

생물들이 한반도에 정착하고 있다는 것은 거의 매년 기사화가 되고 있다. 기후가 변하면서 이제는 남부지방뿐 아니라 경기 강원 등 북부 지역까지 그 분포와 피해가 확산되고 있다.^[4] 정부와 학계에서는 방제 대책을 서둘러 마련

한다고 하지만 그보다 근본적인 원인인 기후 변화가 계속되는 이상 또 어떤 외래 생물이 한반도에 정착할지는 미지수이다.



© 국립생물자원관

꿀벌들의 새로운 적이 된 등검은말벌

[1] 환경부. (2019.08.30). 제2차 외래생물 관리계획(2019~2023) 수립 보도자료.
[2] 정철의. (2012). 외래 침입 생물, 등검은말벌, *Vespa velutina nigrithorax* Buysson (Hymenoptera: Vespidae) 의 분포지역 확대. *Journal of Apiculture*, 27(2), 87-93.
[3] 농촌진흥청. (2020). 기후변화로 등검은말벌 늘고 다른 말벌은 줄어.
[4] 박정준, 정철의. (2016). CLIMEX 모델을 이용한 외래 침입 해충, 등검은말벌 (*Vespa velutina nigrithorax*) 의 분포 위험 예측. *Journal of Apiculture*, 31(4), 293-303. .

‘철 없는 모기’가 극성을 부릴 때

전통적으로 여름에 우리를 괴롭혔던 모기가 정작 여름에 나타나지 않고 봄과 가을에 더 극성을 부리고 있다. 모기의 적정 활동 온도는 25~27℃로, 기온이 30℃ 이상 올라가면 활동하기 어렵다. 따라서 낮 최고 기온이 섭씨 33도 이상인 폭염 일수가 증가하면 모기의 활동이 줄어든다. 근래에 여름 모기가 뜸해진 까닭도 최근 10년 새 여름철 폭염일수가 3~4일 늘어난 데 있었던 것이다.

여름철 모기가 줄어들어도 1년 내내 발생하는 모기의 전체 개체수가 줄어든 것은 아니다. 모기들은 지나치게 더워진 여름 대신 따뜻해진 봄과 가을에 더욱 생장이 촉진되어 빠르게 성충으로 우화하였다. 연구자들은 한반도 남부의 아열대화가 가속화되면 겨울에도 모기가 활동할 수 있다고 말한다. 실제로 제주도는 이미 겨울 모기들의 활동량 증가로 겨울 방역이 활발히 이루어지고 있다.^[1]

모기의 활동 시기뿐 아니라 분포도 변화하고 있다. 흰줄숲모기, 작은집빨간모기 등 주로 따

생존권마저 위협받는 대만 원주민

뜻한 남부에서만 출현하던 모기들이, 연평균 기온이 오르자 전국적으로 활동하게 된 것이다. 이들의 생활사와 분포 변화는 우리를 가려움으로 고통받게 할 뿐 아니라 위험한 질병들을 가져다줄 수 있다는 점에서 더욱 유의해야 한다. 흰줄숲모기는 지카바이러스 감염증과 뎅기열, 치쿤구니아열 등을 매개하고, 작은집빨간모기는 일본뇌염을 매개하는 모기종이다.

실제로 대만에서는 고산지대에 살지 않던 이집트숲모기가 점점 고도가 높은 지역으로 분포를 넓혀가, 고산지대에 거주하는 대만 원주민의 삶을 위협하고 있다.^[2] 고산지대는 교통 접근성이 열악해 의료시설로의 접근성이 낮아 주로 저소득층이 거주하고 있는데, 뎅기열과 같은 모기 매개 질병이 퍼지는 것은 그들에게 커다란 위협이 될 수밖에 없다. 기후변화가 작은 곤충들의 생활사와 분포를 달라지게 하고, 나아가 소수민족의 생존권마저 위협하고 있는 셈이다.



새로운 전염병을 옮길 수 있는 이집트숲모기

© Cheryl Harleston López Espino / Naturalist

[1] 이수현. (2011). 제주도 기후변화와 매개체 (모기) 분석 (Doctoral dissertation, 제주대학교 대학원).

[2] Liu, B., Jiao, Z., Ma, J., Gao, X., Xiao, J., Hayat, M. A., & Wang, H. (2019). Modelling the potential distribution of arbovirus vector *Aedes aegypti* under current and future climate scenarios in Taiwan, China. *Pest management science*, 75(11), 3076-3083.

습지가 육지가 될 때

화려한 자줏빛의 한라부추 꽃이 제주 1,100고지 습지의 가을을 알릴 때, 물가 근처에서도 새끼손톱만큼 작고 양증맞은 자주땅귀개(*Utricularia uliginosa*)의 꽃이 자신의 존재를 알린다. 흔한 들풀처럼 생겨 꽃을 피우기 전까지는 발견하기 어렵지만, 이 식물은 환경부가 지정한 멸종위기종이다.^[1]

자주땅귀개는 땅속 또는 땅 위에 통발처럼 생긴 작은 포충낭을 만들어 미세한 수서곤충들을 잡아먹으면서 필요한 양분을 얻는 식충식물이다. 자주땅귀개와 같은 통발속(속: 과와 종 사이에 있는 생물 분류의 한 단위)에 속하는 땅귀개, 이삭귀개 역시 포충낭을 가진 식충식물인데, 이들 식충식물들은 보통 습지에 서식한다.^[2] 습지에서 식충식물이 발견되는 데는 특별한 이유가 있다. 습지는 산성화된 물과 토양으로 인해 혐기성 조건(산소가 없는 상태)이 형성되기 때문에 식물이 얻을 수 있는 양분이 부족하다. 때문에 이러한 환경에서 식물은 물과 토양이 아닌 곤충 섭취를 통해 안정적으로 양분을 얻도록 진화한 것이다. 이렇듯 습지

멸종위기에 처한 식충식물, 자주땅귀개

생태계에 적응하여 진화한 자주땅귀개와 같은 습지 식충식물은 기후위기로 인한 습지 감소에 직접적인 영향을 받을 것으로 예상된다.^[3] 2016년부터 2020년까지 국립습지센터가 전국의 내륙습지를 대상으로 조사한 자료에 따르면 5년간 사라진 내륙습지는 58개소로 그중 약 20%가 자연적인 원인으로 소실되었다고 한다.^[4] 일반적으로 습지는 공사와 개발, 논과 밭 등으로의 개간 등 인위적인 원인으로 소실, 훼손된다. 육지화 또는 초지화 천이와 같이 자연적인 요인은 빠르게 일어나지 않는다. 그러나 지난 5년간 사라진 내륙습지 5곳 중, 1곳은 빠른 천이로 인해 사라진 것으로 보고되었다. 국내에서 기후위기와 습지 파괴에 대한 명확한 인과관계를 밝히는 연구는 진행되지 않았기 때문에 습지가 사라지는 이유를 기후위기만으로 보기는 어렵다. 하지만 장기적으로 볼 때, 기후위기로 인해 건조해진 기후가 국내의 많은 내륙습지를 육지화시킬 가능성이 크다.^[5] 천성산의 밀밭늪에는 일반적으로 습지 가장자리에서 보이는 큰키나무인 오리나무가 습지 한가운데서 자라기 시작했는데, 습지가 이미 오리

나무가 자랄 수 있을만큼 육화가 진행된 것으로 보인다.^[6]

한때 쓸모없다고 여겨졌던 습지는 생물다양성의 보고이자 이산화탄소 흡수를 통한 기후위기 완화, 홍수조절, 오염물질 정화 등 다양한 기능을 수행하는 생태계로 밝혀졌다. 전 세계 생물종의 40% 이상이 습지에 서식한다.^[7]

다양한 서식지 없이 생물다양성은 보존될 수 없다. 습지 대신 생기는 땅과 숲은 오랜 시간 동안 습지생태계에 맞게 적응한 생물들의 터전이 될 수 없기 때문이다. 생물다양성은 서식지 다양성의 중요성을 함께 이해해야 보존할 수 있다.



습지 환경에 맞춰 독특하게 진화한 자주땅귀개

[1] 국가생물다양성정보공유체계 [웹사이트]. URL: <https://www.kbr.go.kr/>

[2] 현진오. (2015. 09. 30). 보일 듯 말듯 작은 식충식물, 자주땅귀개. 사이언스타임즈.

[3] 국립생물자원관. (2017). 한눈에 보는 멸종위기 야생생물.

[4] 국립생태원. (2020). 제2차 전국내륙습지 모니터링.

[5] 홍성범, 정현모, 신만석, 김진용, & 장인영. (2019). 온도 상승에 따른 우리나라 습지식물의 기후변화 부적응 리스크. 한국기후변화학회지 Vol. 10, No. 4, 309-316.

[6] 남종영. (2012. 06. 22). 왜 습지가 사라지나, 오리나무는 알고 있다. 한겨레.

[7] UNEP [website]. URL: <https://www.unep.org/news-and-stories/story/wetlands-and-biodiversity-theme-world-wetlands-day-2020>

숲



숲이 변하면

나비는 온도의 변화에 민감하게 반응하는 변온 동물이다. 우리나라에 서식하는 나비들도 기온 변화에 민감하게 반응해, 남쪽에 서식하던 나비들이 기온 변화 속도와 발맞추어 북쪽으로 올라오고 있다. 산림과학원에서 제시한 나비 분포 유형의 분류 기준에 따르면, 한반도의 나비들은 북방계(남방한계선이 한반도에 있는 종)와 남방계(북방한계선이 한반도에 있는 종)로 나눌 수 있는데, 이 남방계 나비들의 북방한계선은 60년 전에 비해 약 95km 북상했다.^[1] 해마다 1.6km씩 북쪽으로 올라오는 것이다. 이는 우리나라 기온 증가속도(지도상 온도가 같은 지점을 연결한 등온선이 북상하는 평균 속도, 1.5km/year)와 거의 비슷하다.

한편, 새로운 남방계 종들의 유입으로 북/남방계 나비들의 종 구성 비율도 점차 변화할 것으로 짐작된다. 한반도의 특성상 반도효과

달라지는 나비의 분포

(남쪽이 육지와 연결되어 있지 않아 남쪽에서의 새로운 종 이입이 차단됨)로 인해 지금까지는 종 구성 비율의 큰 변화가 없었지만, 한반도의 평균기온 증가가 계속된다면 반도효과에도 불구하고 남방계 나비들의 이입이 계속적으로 증가할 것이다. 2017년 산림과학원 연구보고서에 따르면 남방계/북방계 나비의 비율을 간접적으로 보여주는 군집온도지수 CTI(Community Temperature Index)가 한반도의 연평균기온이 섭씨 1도 올라갈 때 0.22 증가하는 것으로 추정하였다.^[1] 지금처럼 연평균기온이 계속 상승하면 앞으로는 흔히 않았던 남방계 나비들의 비율이 더욱 늘어난다는 이야기다.



© rajafish03 / iNaturalist

한반도의 남방계 나비 중 하나인 극남노랑나비

[1] 권태성, 이철민, 김은숙, 원명수 & 김성수. (2017). 한국나비 분포변화 분석. 국립산림과학원 연구보고서.

숲이 변하면

한국에만 약 700여종이 서식하고 있을 만큼 다양한 종이 있는 거미류는 해충 등을 잡아 먹으며, 무척추동물 생태계 속 먹이사슬 하위의 절지동물 발생밀도를 조절하는 포식자 역할을 하고 있다. 거미류의 일부 종들은 환경 및 기온의 변화에 민감해, 기후변화가 진행됨에 따라 종 풍부도(단위 지역에 존재하는 종의 수)나 분포가 달라질 것으로 예상된다.

생태계에서 차지하는 지위에 비해 거미에 관한 생태학적 연구나 분포 실태 파악은 미진하지만, 국립산림과학원은 2013년 기후변화 시나리오에 따라 산림거미의 종 풍부도와 분포의 변화를 예측한 바 있다.^[1] 기온에 민감한 17종의 산림거미를 선정해 기온에 따른 풍부도와 분포변화를 예측한 결과, 방울늑대거미, 족제비거미, 너구리거미 등 9종의 풍부도는 증가하고, 석줄톱니매거미, 청하꼬마접시거미, 먹눈꼬마거미 등 8종의 풍부도는 감소하는 것으로 나타났다. 풍부도가 감소하는 종들은 고도가 높아 온도가 비교적 낮은 곳으로 가면 분

고지대로 밀려나는 거미들

포 범위가 줄어들면서 풍부도도 점점 감소할 것으로 예측되었다.

최근 이러한 분포변화가 실제로 나타나 연구된 사례가 있다. 바로 왜납거미(남녘납거미, *Uroctea lesserti*)다. 왜납거미는 인가의 벽면이나 창고, 폐가의 벽면, 나무 등걸 등에 주머니 모양의 거미집을 짓고 산다. 분포 지역은 한반도, 일본, 중국 남부로, 전형적인 남방계 거미라고 할 수 있어, '남녘납거미'라는 이름으로 불리기도 한다.

2010년 '한국거미'학술지에 발표된 연구에 따르면 왜납거미는 12~14℃의 기온 경계선의 남쪽에 분포하는 것으로 알려져 있다.^[2] 따라서 이 기온 경계선이 북상할수록 왜납거미의 분포도 달라질 것으로 예상된다. 최근 왜납거미가 1996년 당시의 북방한계선보다 고위도 지방에서도 채집되고 있어, 그러한 예상이 현실로 나타나고 있다.^[3]



기후변화로 북상하고 있는 남녘납거미

[1] 국립산림과학원. (2013). 기후변화 시나리오 RCP 4.5와 8.5에 따른 산림거미의 분포와 풍부도의 변화 예측.

[2] 박영철. (2010). 한국산 납거미의 분포 특성과 그물집구조의 분석. 한국거미, 26(1), 49-59.

[3] 이형민, 김주필. (2018). 기후변화에 따른 한국산 납거미류(대륙납거미와 왜납거미)의 생물지리학적 분포에 관한 연구. 한국거미, 34(1), 7-13.

습지



습지가 변하면

습지는 물과 대지가 만나 이루는 다양한 공간으로 늪, 저수지, 호수, 하천, 갯벌 등 다양한 형태가 있다. 습지보전법에 따른 습지의 정의는 “담수, 기수 또는 염수가 영구적 또는 일시적으로 그 표면을 덮고 있는 지역”이며, 내륙 습지와 연안습지로 분류된다.^[1] 외래종에 의한 생태계 교란은 기후변화가 습지 생태계에 미치는 영향을 잘 보여준다.

한반도 평균기온이 증가하며 동남부지역에서 서식하던 난온대성 수생식물들이 우리나라의 습지에서 번성하고 있다. 외래종인 부레옥잠과 물상추가 낙동강 수역 전체로 확장되고, 마름, 노랑어리연꽃, 자라풀 등의 토종 식물들은 줄어들어 생태계가 변화하고 있다.

우리에게 친숙한 부레옥잠(*Eichhornia crassipes*)은 남아메리카 원산으로 하천, 호수 등을 뒤덮으면 빛과 산소 공급을 차단한다. 최근 우리 하천의 평균 수온이 상승하면서 부레옥잠을 비롯한 난대성 수생식물이 점차 번성하고 있는데, 이는 하천과 호수 생태계의 심각한 생태적 교란을 야기할 수 있다.

확산되는 외래식물과 정착하는 외래어종

외래종 식물뿐 아니라 동남아를 비롯한 해외어종들이 정착, 번성하는 것도 문제이다. 베스나 블루길 등 환경 변화에 강한 외래어종의 유입 및 정착은 우리에게도 익숙한 주제이다. 하지만 이제는 나일틸라피아(*Oreochromis niloticus*, 아프리카 원산)와 같은 새로운 외래어종의 정착 및 번식이 확인되고 있다.

대중들에게 잘 알려진 남미의 육식어종인 ‘피라니아(*Pygocentrus nattereri*)’는 본래 낮은 수온에서는 폐사해 한국에 정착할 수 없는 어종이다. 그러나 강원 횡성의 한 저수지에서 2015년에는 피라니아가 발견되었다. 국립생태원은 관광용으로 유통되는 외래어종이 관리 미비로 우리나라 수계에 유입되고, 기후변화로 수온이 지속적으로 상승해 외래어종이 생존할 수 있는 환경이 조성된다면 제 2의 베스, 블루길이 지속적으로 등장할 것으로 예상된다.^[2]



생태교란종이 된 외래식물 부레옥잠

© 葉子 / Inaturalist

[1] 국가법령정보센터 [웹사이트]. 습지보전법. URL: <https://www.law.go.kr>

[2] 국립생태원. (2021). 생태계에 대한 기후변화 리스크 평가. pp.134-173.

바다



바다가 변하면

먹이 찾아 가는 길이 더욱 험난해진 장수거북

장수거북(*Dermochelys coriacea*)은 지구상에 사는 거북류 중 가장 큰 거북이다. 짙은 회색이나 검은색을 띠는 등껍데기의 길이는 약 2.1m 정도이고, 무게는 540kg 정도다.^[1] 한국 영해에서도 서식하는 것이 확인된 장수거북은 큰 몸집때문에 느리다는 편견과 달리 물속에서는 시속 35km의 빠른 속도로 이동할 수 있다.

2015년 국제 학술지 'Deep Sea Research II'에 게재된 내용에 따르면, 장수거북은 따뜻한 수온의 해역에서 산란을 하고, 비교적 찬 수온 영역에서 먹이를 찾는데, 기후변화로 따뜻한 수온의 해역이 늘어나면서 먹이 활동을 하는 영역이 산란지에서 점점 더 멀어지고 있다.^[2] 즉, 산란을 한 장수거북이 이전보다 더 먼 거

리를 헤엄쳐야 하는 것이다. 물 속에서 재빠른 장수거북도 장거리 이동에는 많은 양의 에너지가 소모된다. 특히 산란 후 기력 회복을 위해 더 많은 에너지가 필요한데, 먹이를 찾기 위해 이동하는 경로가 길어지면 길어질수록 장수거북의 생존은 더 큰 위협을 받을 수밖에 없다.

위 연구가 이루어진 동태평양(Eastern Pacific Ocean)의 장수거북 개체군은 이미 90% 감소했다. 감소 원인은 장수거북 알의 남획, 해안 개발, 혼획 등으로 꼽힌다. 기후변화에 따른 채이(먹이 획득) 거리의 증가는 이미 멸종 위기에 처한 장수거북의 에너지 소모 증가로 이어져 더욱 그 위기가 가중될 것으로 예상된다.



© Alastair Rae

먹이 찾아가는 길이 험난해지는 장수거북

[1] 사이언스타임즈. (2013.08.13). 보호해야 할 바다거북.

[2] Willis-Norton, E., Hazen, E. L., Fossette, S., Shillinger, G., Rykaczewski, R. R., Foley, D. G., ... & Bograd, S. J. (2015). Climate change impacts on leatherback turtle pelagic habitat in the Southeast Pacific. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 113, 260-267.

마무리

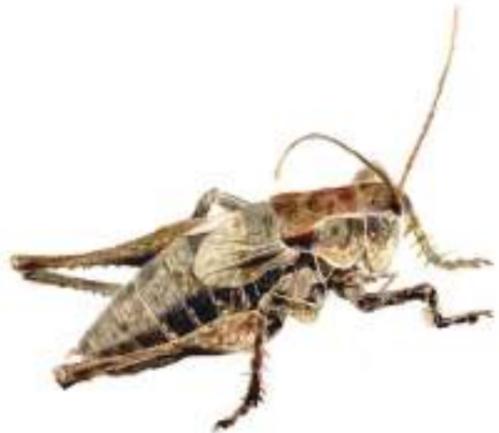
본 보고서는 기후변화가 우리 주변의 다양한 생물과 생물다양성에 미치는 영향에 대해 알아보기 위해, 한반도에 서식하는 생물을 중심으로 조사를 진행한 결과다. 해외의 사례여도 한국에서 같은 현상이 일어날 수 있는 경우 일부 포함했다. 또한 기후변화가 생물다양성에 미치는 영향에 대한 많은 연구 중 예측을 넘어 이미 현상으로 일어나 현장에서 직접 관찰된 사례를 중점적으로 서술했다. 이는 기후변화로 인한 생태계 파괴와 생물다양성의 위기가 미래의 어느 순간에 일어나는 일이 아닌, 지금 당장 여기에서 벌어지고 있다는 사실을 확인하기 위함이다.

이번 조사 결과, 기후변화는 폭염, 홍수, 쓰나미 등 다양한 이상기후 현상의 강도와 발생 빈도를 높여 생태계를 위협할 뿐 아니라 매우 다양한 방식으로 생물다양성에 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있었다. 계절 변화에 맞춰 짝지어진 먹이-천적 간의 긴밀한 상호작용이 어긋나면서 생물의 번식이 저해되거나 생존이 위협받는 현상, 주변 환경에 맞춰 효율적으로 진화된 동물의 생존 전략이 무용지물이 되거나 오히려 위협이 되어버리는 현상 등이 그 예로 확인됐다. 또한 기후변화는 종의 구성이 변화하는 현상, 생물의 분포 범위가 급변하는 현상, 특정 종이 급격하게 번성하며 일어나는 생태적 변화와 이로 인해 인간이 겪는 피해와도 깊은 연관을 나타냈다. 이러한 현상들이 해외뿐 아니라 우리 주위의 숲과 땅, 바다 등 국내 자연환경과 그 속의 생물에서 관찰됐다는 사실에 주목해야 한다.

지금 이 순간, 기후 변화로 벌어지는 생물다양성의 변화는 특정 종의 개체 수 증감과 같은 단순 생물상의 변화에만 한정되지 않는다. 오랜 시간에 걸쳐 진화를 통해 수많은 생물과 요소들이 영향을 주고받으며 형성된 생태계는 서로 밀접하게 연결되어 있기 때문에, 특정 종의 변화는 전체의 균형에 큰 균열을 가져올 수 있다. 일부분의 변화가 그와 연관된 생물들간의 관계를 무너뜨리고 생태계 전반에 영향을 미칠 수 있는 것이다. 우리는 얽히고설킨 '생명의 그물망(web of life)' 안에서 벌어지는 모든 현상을 완벽히 파악할 수 없다. 다만, 인간 또한 이 그물망의 일부이기에, 기후변화로 인한 생물다양성 파괴가 인간에게도 직접적인 영향을 미칠 것은 자명하다. 이것이 우리가 우리 모두를 위해 기후위기를 막아야 하는 이유다.

Disclaimer

본 보고서를 이용하는 경우 다음 사항에 유의하시기 바랍니다. 1. 본 보고서는 국내외에서 연구된 정보들을 근거로 한 사실로 작성된 것이므로 보고서 이후에 추가로 연구된 사항이 있는 경우에는 관련 내용과 차이가 발생할 수 있습니다. 2. 이에 따라, 그린피스와 생명다양성재단은 본 보고서의 정보이용자에 대해 어떠한 주의의무를 부담하지 않으며, 본 보고서를 이용할 경우 모든 책임은 정보 이용자에게 있습니다.



그린피스 동아시아 서울사무소
서울시 용산구 한강대로 257
청룡빌딩 6층(04322)
T : +82 2 3144 1994
F : +82 2 6455 1995

기획 및 제작 | 그린피스 동아시아 서울사무소, 생명다양성재단

디자인 | 생명다양성재단

그림 | 김희라

문의 | enquiry.kr@greenpeace.org

발간 | 2021년 11월

© 2021. 그린피스, 생명다양성재단 All Rights Reserved.