

북극 육상생태계가 변하고 있다

극지연구소 생명과학연구본부 책임연구원
김상희(sangheekim@kopri.re.kr)

필자의 말,

필자는 2016년 다산과학기지를 다녀온 이래 현재까지 5차례 북극 스발바르 제도에 위치한 지구상 최북단 도시 롱이어비엔에서 스발바르에서 연구를 수행해 왔다. 2017, 2018년에는 청소년 북극체험단인 다산주니어 단장으로서 어린 학생들에게 북극 연구와 환경을 알려줬으며 북극 육상에서 일어나고 있는 기후변화를 함께 체험했다. 매년 더 많은 로벤 빙하(Vestre Lovénbreen)가 녹아 빙하 용융수가 두꺼운 얼음 아래로 시냇물처럼 속절없이 흘러가고 그 많던 눈이 흔적도 없이 사라져 돌길이 드러나고 있는 기지 주변 풍경들이 눈에 선하다.

2018년 다산주니어에 참가한 학생이었던 정예원 대한민국 청소년의회 매거진 편집장이 세계 각국 100여 명의 일러스트레이터들과 함께 멸종위기 동물들을 보호하기 위한 영문 일러스트 잡지를 발간한다고 해서 추천서를 써준 적이 있다. 정예원 학생이 멋지게 영문으로 번역해 실어줬는데, 국문은 아래와 같다.

“세계 각지에서 백여 개의 손과 마음이 모여 아름다운 책을 완성한 걸 축하합니다. 저를 포함해서 KOPRI 연구자들은 과학적 연구를 통해 남북극 생물의 가치를 알리고 극지의 환경과 생물들을 지키고 보호하고자 노력 중입니다. 기후변화는 갈라파고스, 아마존 같이 생태적 가치가 높은 지역의 생물들의 지역적 절멸을 일으킬 것이라고 하는데 남북극 또한 그렇습니다. 특히 고립된 얼음환경에 사는 고유종들은 온도 상승과 외래종 유입이라는 이중고에 놓여 있습니다. 고립된 극한 환경에 적응해 온 생물들은 침입자들이 몰려오면 무방비로 노출될 수밖에 없기 때문입니다. 북극곰, 눈표범처럼 죽어서 남길 가족도 없는, 있었는데도 모른 채 멸종 중인 모든 남북극 생물들에게 관심을 가져주시기를 바랍니다.

여러분들의 붓과 펜이 멸종위기종들의 울타리를 만들어주시기를 바라며...”

추천서를 써준 후 5년이 지난 지금, 다산과학기지 주변은 동토가 녹아 발이 푹푹 빠지는 푸르른 늪지가 펼쳐지고 있고 빙하는 먼 산꼭대기에만 남았다. 썩어 썩어 빙하 밑에 감춰져 있던 후기 중생대 해양생물화석이 산등성이에 눈 대신 흙먼지가 쌓이는 것을 바라보고 있다.

기후변화 상황에서 지구 환경을 나눠 쓰고 있는 모든 생물들은 피해자이자 이 재앙적인 변화의 증인들이다. 우리 인간들은 동시에 가해자이기도 하다. 누군가가 멸종위기종들의 울타리를 만들어주시기를 기다리는 대신, 이미 늦지 않았기를 바라며 우리 모두 울타리를 세우는 데 온 힘을 다해야 한다.

- I. 종 다양성의 가치
- II. 북극생물들과 생태계가 처한 상황
- III. 기후변화가 야기하는 새로운 위협
- IV. 선제적 대응을 위한 과학적 조사와 제도적 노력

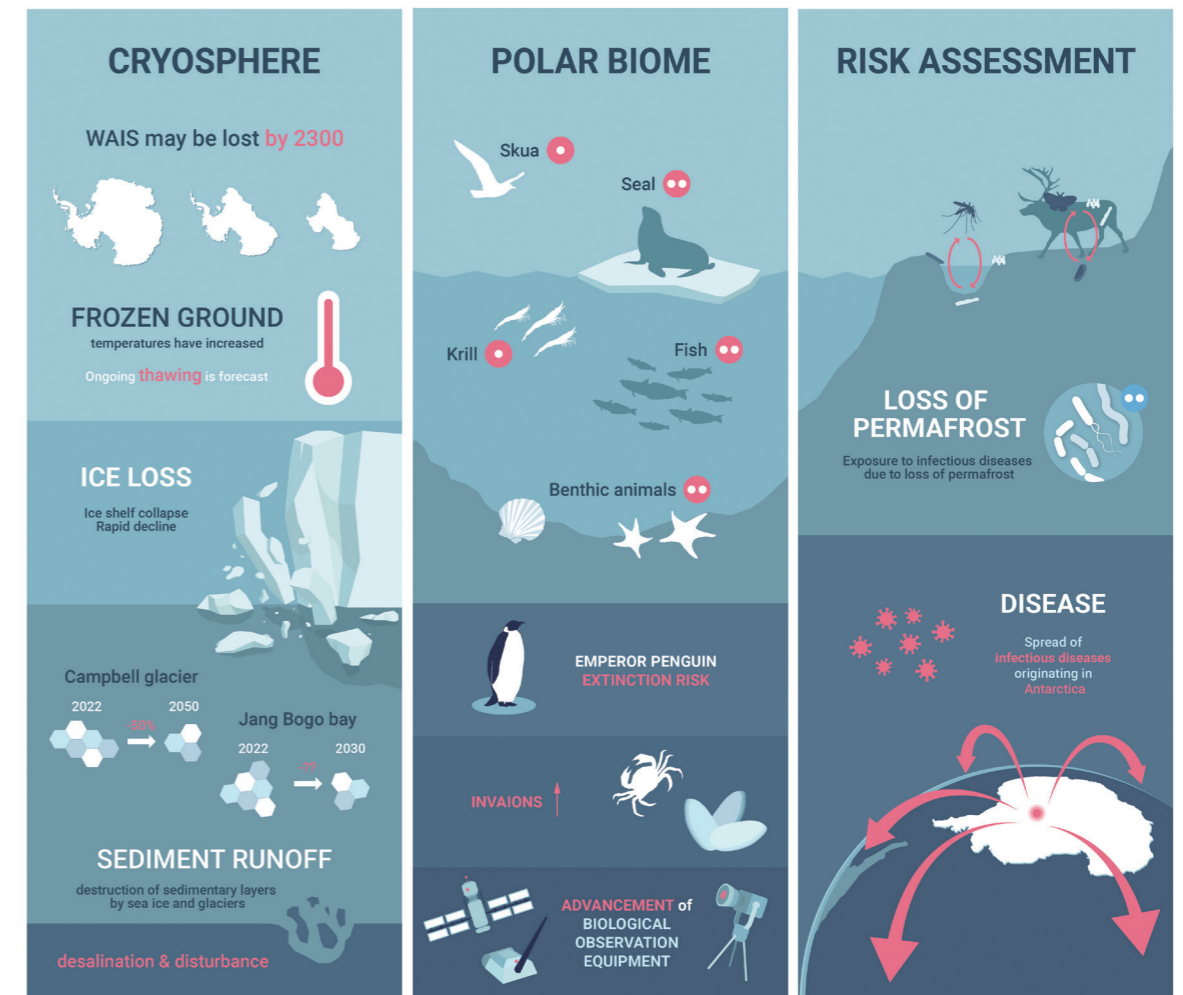
I 종 다양성의 가치

기후학자들은 현재 기후변화가 어떤 한계를 넘어선다면 돌이킬 수 없는 지점인 티핑 포인트 근처에 왔다고 한다. 피해는 미래세대에서 터지는 폭탄 돌리기와 같아서 세대 간의 정의 문제라고도 말한다. 오늘날 세계 어린이들이 어른 세대에 비해 심각한 기후 현상을 겪을 확률이 7배 이상일 것으로 예상되기 때문이다. 이제까지 기후변화를 대표해왔던 global warming보다 훨씬 많이 사용되기 시작한 global heating이라는 단어가 2021년 옥스퍼드 영어사전에 새로이 등재되기도 했다. 과학자들은 지구 평균 표면 온도 상승폭을 산업화 이전인 19세기 후반과 비교해 1.5도로 억제해야만 한다고 경고하고 있다. 현재까지 1.1도 상승한 상태이나, 불행하게도 5년 내에 1.5도 더 높아질 전망이다. 1.5도는 안전하다는 뜻이 아니라 기후변화에 적응할 시간을 벌 수

있는 마지노선을 의미한다.

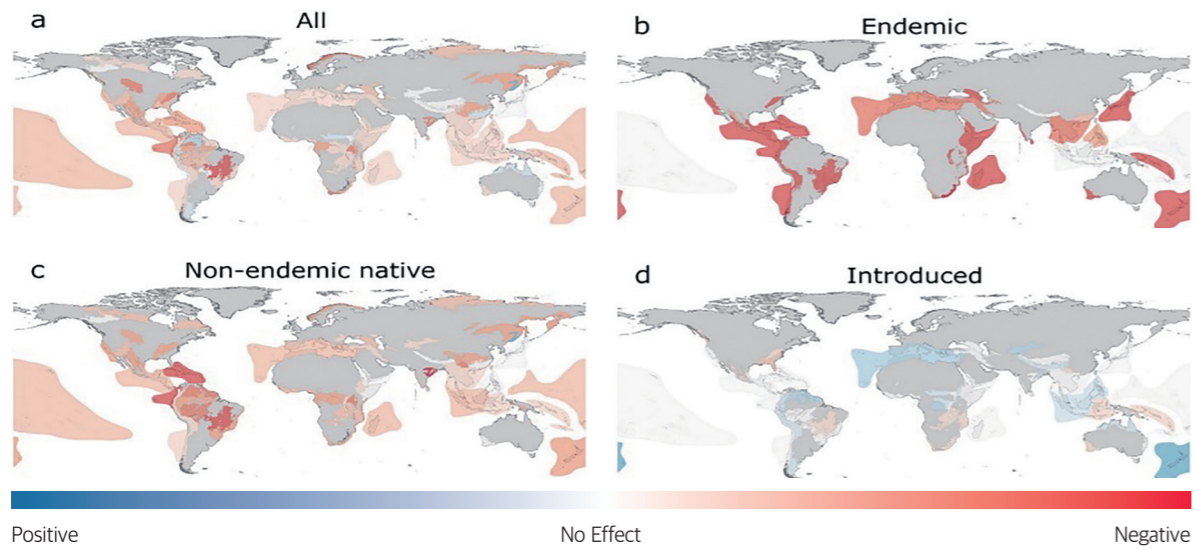
1도가 단순한 숫자 1로만 이해된다면, 1.1도 상승으로 야기된 지구 곳곳에서 일어난 이상기후를 돌아보자. 올해 유례없는 폭염으로 인도와 파키스탄이 50도까지 치솟았고, 유럽 전역에서 고온으로 인해 화재와 산불이 발생했다. 영국, 스페인, 포르투갈 등에선 45도 넘는 더위에 사망자가 수백 명이 발생했다는 보도가 이어지고 있다. 과거 2003년에도 폭염으로 유럽에서 7만 명이 사망한 바 있는데, 페테리 탈라스 세계기상기구(WMO) 사무총장은 2060년대까지 이런 폭염이 지속될 것이며 미래에는 이런 종류의 폭염이 일상이 될 것이고 우리는 훨씬 더 강한 극단을 보게 될 것이라고 경고했다.

그림 1 본 연구진의 극지생태계 연구 총괄 사업 모식도



(세부사업명: 지구 온난화에 따른 북극 유해 미생물의 잠재적 위험성 평가)

그림 2 기후변화는 지구 생물들에 부정적 영향을 미친다



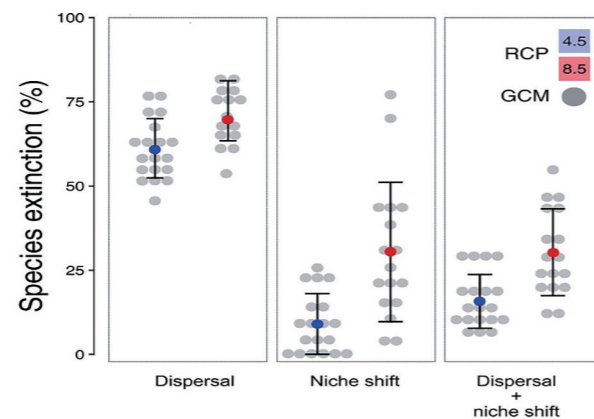
*출처: Manes et al., 2021

생물들 또한 같은 어려움을 겪고 있다. 기후변화와 서식지 파괴가 계속된다면 금세기 말까지 지구상 생물종의 50%가 멸종하는 6차 대멸종 위기에 처할 수 있다고 경고하고 있다. 전 세계 곳곳에서 발생하고 있는 꿀벌 집단 실종 현상이 대표적인 예다. 유엔식량농업기구(FAO)에 따르면 꿀벌은 세계 식량의 90%를 차지하는 100대 작물 중 기종의 수분을 담당하고 있는데 현재까지 40%의 벌이 사라졌으며, 이 실종은 식량난과 영양실조로 이어져 한해 142만 명의 사람이 사망할 것이라는 연구 결과가 있다. 미국환경보호국(EPA)은 바이러스 감염, 전기장에 의한 교란, 살충제, 꿀벌응애류 같은 해충 감염, 개화 시기 변화 등이 복합적으로 작용한 결과로 분석하고 있으며, 정확한 원인을 파악하기 위해 노력하는 동시에 이에 따른 대안을 다양하게 모색하고 있다. 국지적으로는 기후변화와 농경지 확장 등에 의한 서식지 파괴로 생태계 균형이 깨져 전국 각지 도심에 대벌레, 러브버그가 집단 발생하고 너구리가 사람을 공격하는 일도 빈번히 발생하고 있다.

기후변화에 의한 종의 이동속도를 연구한 Chen et al(2011)이 영국에서 대표적인 분류군들인 거미 85종, 나비 29종, 땅딱정벌레 59종, 메뚜기 22종 등을 25년간 추적한 결과를 보면, 생물들이 10년간 11~16.9km로 더 높은 위도로 이동한 것을 알 수 있다. 이는 이전 보고보다 약 2~3배 빠른 속도다. 그러나 다수의 종들이 기후변화 속도를 따르지 못하고 있다는 것이 문제인데, 이동속도가 0인 생물들을 포함해 많게는 절반에 이르는 종들이 환경변화에 적응하지 못하고 감소 추세종이 되고 있다는 우려스러운 결과를 전하고 있다. 또한 생물 간 반응 차이가 너무 커서 개

별 종에 대한 더 상세한 생리적, 생태학적 데이터와 환경 정보가 필요하다고 결론을 내렸다. 전 세계 생물다양성이 풍부한 273개 지역을 조사한 Manes 박사의 2021년 논문은 더 충격적이다. 토양고유종의 34%, 해양고유종의 54%가 멸종위기에 처해 있으며 섬은 100%, 산악지역은 84%가 멸종위기에 있다고 예상했다. 반면 도입된 종들은 영향을 받지 않거나 기후변화의 혜택을 받을 수 있다고 예측했으며 이는 고유종이 기후변화에 특히 취약함을 알려준다. 단순 이동만으로는 조사된 종들의 70%가 멸종위기에 처할 것으로 보이며, 만약 확산과 함께 먹이, 서식지 형태 같은 생태적 지위 이동(niche shifts)이 같이 일어나는 경우는 멸종을 30%로 낮출 수 있을 것이라고 예상했다.

그림 3 분산, 생태적 지위 이동 또는 둘 다 일어날 때 멸종 예측



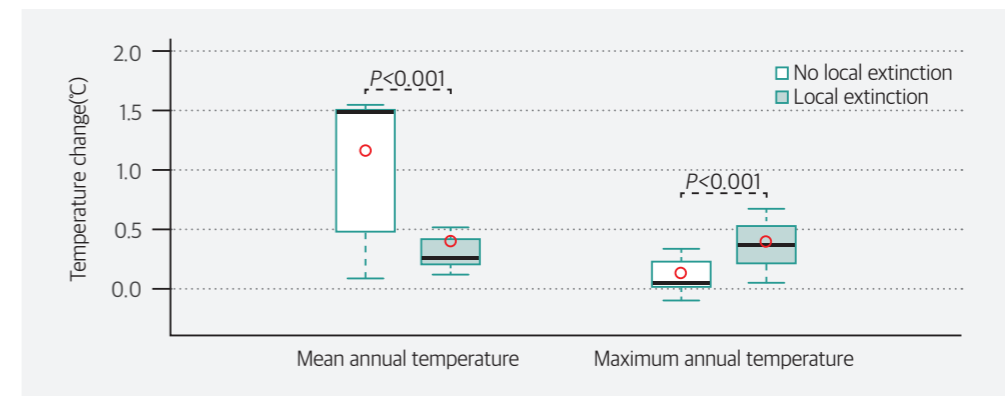
출처: Román-Palacios and Wiens, 2020

그렇다면 많은 환경변화에서 생물 멸종에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 무엇인가?

이에 대한 답을 미국 아리조나대학 연구팀 Román-Palacios가 2020년 연구에서 제시했다. 이들은 27개 논문에서 전 세계에 분포한 538종의 동식물데이터를 사용해 최근 멸종과 관련된 기후변화 연관성을 분석했다. 조사에 따르면 538종 중 44%는 이미 한 곳 이상의 지역에서 멸종됐는데, 놀랍게도 멸종은 평균 연간기온변화는 작지만 가장 높은 수준의 기온 상승폭이 있던 곳

에서 일어났다. 며칠 동안 35도가 지속되는 것보다 하루 동안 38도가 더 큰 영향을 미친다는 것이다. 결국 평균기온 상승폭은 생물에게는 많은 변수의 일부라는 중요한 사실을 알려주고 있다. 또한 <그림 3>에서는 2070년까지 멸종한 것으로 예상되는 538종을 조사해 미래 기후의 다양한 예측값을 넣었을 때, 생태적 지위 이동이 분산보다 종 멸종을 피하는 데 더 중요하다는 결과를 보여준다.

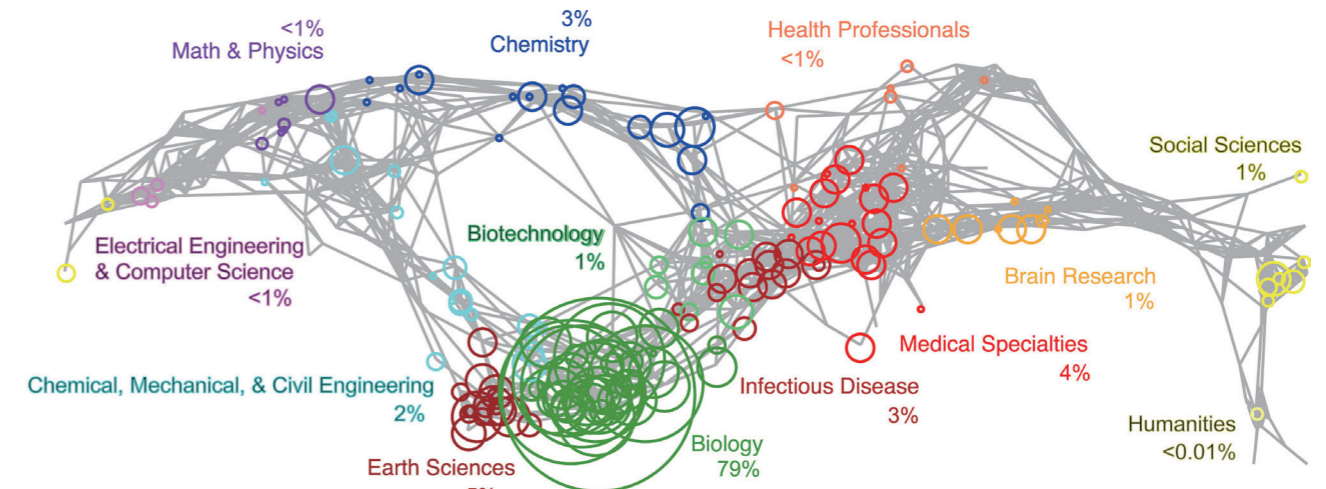
그림 4 연간 평균기온보다 상승한 최대 기온이 생물 멸종에 더 강력한 영향을 미친다



스웨덴 스톡홀름대학의 스톡홀름총격복원력센터는 생물다양성 소실 문제를 21세기 당면한 가장 중요 현안으로 뽑았다. 생물이 감소했다는 것은 감소한 수만큼 이미 사라진 상태, 즉 죽은 상태의 확인일 뿐으로 대부분의 경우 복원이 불가능함을 의미한다. 예를 들어 구상나무가 줄어드는 이유를 밝히기 위해 나이트 등

을 살펴보니 환경변화로 이미 30~40년 전부터 성장 저하가 일어나고 있었는데 40년이 지난 현재 멸종을 목격하고 있는 셈이다. 종 멸종은 공생 관계의 붕괴와 먹이망의 붕괴, 새로운 포식자의 침입을 허용해 생태계 전체를 약화시키는 재앙으로 이어진다.

그림 5 종다양성 정보는 광범위한 학문 분야에 기여하고 있다



세계에서 가장 큰 종다양성 데이터 네트워크인 GBIF(Global Biodiversity Information Facility)를 이용한 20년간의 자료 분석 결과 종다양성 데이터가 다양한 학문 분야에 가교역할과 통합에 기여하고 있음을 보여줬다(Heberling 등, 2021). 인간이 야기한, 적어도 심화시킨 온난화로 인해 6번째 대멸종에 들어선 현재, 효과적인 지구 스튜어드십(Earth stewardship)을 위해 포

괄적이고 광범위한 종다양성 데이터 확보가 중요함을 확인했다. 이 같은 이유로 미래기후 시나리오 연구의 3분의 1이 종 분포를 예측하는 데 집중하고 있다. 엄청나게 복잡하고 정교하게 짜인 생물망은 곧, 지구생태계를 떠받치는 안전망이라는 것을 인식해야 한다.

II 북극생물들과 생태계가 처한 상황

그럼 북극 육상생태계와 생물다양성의 현주소는 어떠하며 향후 어떻게 될 것인가?

IPCC 2019에 의하면 북극 온도의 상승속도는 과거 20년간 전 지구 평균 온도 상승속도보다 2배 이상이고, 이 같은 북극의 빠른 변화는 동식물의 분포와 다양성에 전반적인 영향을 끼치고 있다. 무엇이, 언제, 어떻게, 얼마나 변하고 있는지 알려면 광범위하고 지속적인 관측 자료가 필요하다.

북극 식물의 성장과 분포는 상대적으로 가장 많이, 광범위하게 조사되고 있는 항목이다. 2020년 Jenkins와 Bjorkman 연구팀이 각각 인공위성기반 원격탐사방법과 위치기반조사법(plot-based method)으로 북극 지역의 개엽, 개화, 낙엽시기를 조사했다. 그 결과, 갈수록 더 이른 녹화가 발생하고 있다고 보고했는데 낙엽이 지는 시기적 변화보다 봄에 일어나는 식생 변화가 더 컸다. 종들과 서식 위치로 보다 자세히 나누어 보니 변화 방향과 정도가 종마다 다르게 나타났다. 이는 기후변화에 적응 반응이 다르다는 것을 보여주는 결과다. 이 때문에 현재까지의 식생 조사 결과들은 전 북극에서 동일한 경향을 보이지 않았는데, 이것이 북극 식생이 변화하고 있지 않다는 것을 의미하는 것이 아니라 생태계와 기후의 특정 조건에 의존하는 지역적이고 강한 변화 경향이 있다는 것을 의미한다고 과학자들은 강조하고 있다. 문제는 점점 더 많은 열대, 온대생물들이 더위를 피해 북쪽으로 이동(Poleward bound)하고 있다는 사실이다. Wasowicz 연구팀이 이주식물(non-native)과 외래식물(invasive)을 합쳐 총 341종을 북극에서 찾아냈는데 이주종 정착과 외래종 침범이 많이 진행된 지역으로 알래스카, 북아일랜드, 러시아 북극의 서쪽을 꼽았으며, 설상가상으로 그 중 188종이 토착화한 것을 확인했다.

전체 동물의 97%를 차지하는 무척추동물의 경우는 어떨까? 북극의 무척추동물 다양성 모니터링은 말 그대로 20년 전이나 오늘날이나 매우 중요한 과제로 남아있다. 즉, 큰 진전이 없다는 뜻이다. 북극이사회(Arctic Council)는 Circumpolar Biodiversity

Monitoring Program (CBMP)를 통해 북극 무척추동물 군집과 집단에서 일어나고 있는 변화에 대해 이해해야 한다고 명시했는데, Christensen 박사는 2020년에 무척추동물들이 식물 수분, 토양영양순환, 포유류/새 기생, 먹이 공급원 등 매개체로서의 생태적 역할을 고려한다면 이들이 식물에 비해 덜 연구되고 덜 모니터링되고 있다고 지적했다.

북극에서 가장 잘 기록되고 있는 지역에 속하는 그린란드, 스발바르, 북대서양 지역에서 Gillespie 박사팀이 2,519종의 육상 절지동물을 조사한 결과에 따르면 Muscid fly의 80%가 1996년 이후부터 급감했는데, 이들은 북극 지역에서 중요한 수분 매개자이며 유생은 담수계에 중요역할을 하는 종이다.

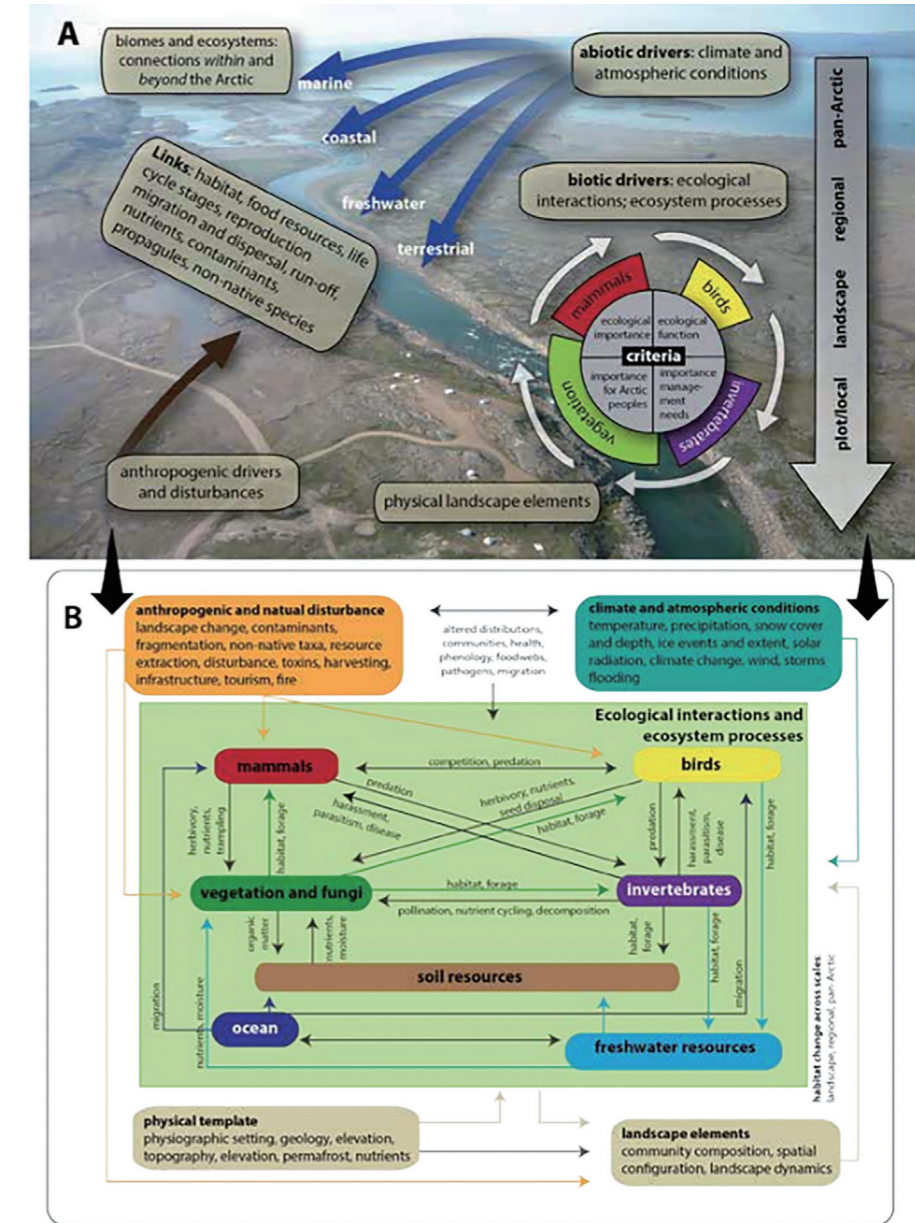
대표적인 육상 분해자(decomposer)인 톱토기 역시 위도에 따라 감소하고 있는데 가장 심각한 감소는 거미종류에서 발견되고 있다. 기후변화로 봄이 일찍 시작되는 전형적인 이상기후에 따른 서식지 변화가 주요 원인으로 보인다. 결국 주요종, 서식지, 생태학적 역할, 먹이(key species, habitats, ecological role, treats) 같은 핵심 정보가 많을수록 북극생물 다양성에 대한 효과적인 보호대책을 세울 수 있다. 지표가 되는 서식지에서 연속적인 모니터링을 위해 툰드라 지역에 서식하는 절지동물을 연구하는 연구자들이 협업 플랫폼을 구축 중이다.

북극 포유류 상황은 애매해 잠시 동안의 순기능으로 착각할 만한 데이터들도 있다. 예를 들면 사향소(muskoxen)는 2013년보다 2017년에 증가했고 북극 전 지역에서 주머니쥐(lemming)은 5년간 뚜렷한 변화가 없었다. 그러나 사향소들을 군집 수준으로 세세히 들여다보면 23개 군집은 증가, 9개는 안정, 6개는 감소, 17개는 관측 데이터 없음으로 나타났으며, 캐나다 북쪽 가장 자리를 포함하는 낮은 북극 툰드라 지역과 러시아 지역에 서식하는 주머니쥐들은 감소하고 있다. 대체로 사향소 군집의 유전자 다양성 연구에서 여러 번의 병목현상과 국지절멸 현상(bottle neck and extirpation events)으로 유전적 다양성이 낮아지고 있어서 감염성 질병에 취약성이 우려되고 있다. 이 같은 현상은

원래 서식지에서 자발적이든/인위적이든 소수가 이주해 정착한 생물들이 보이는 양상이다. 현재의 북극 기후변화는 적응과 복원력을 초과하는 빠른 속도가 문제지만 점점 기후변화에 의해

운 좋게 서식지를 옮기더라도 근본적으로 해결되는 게 아니라는 것을 보여준다.

그림 6 북극에 사는 주요 생물 및 비생물 요소와 이들의 주요 상호작용



북극에서 주요소비자(Key consumer)라 불리는 새들의 상황은 어떨까? 대부분의 북극새들이 따뜻한 지역을 오가는 철새들이라 오히려 넓은 지역의 환경변화와 인간활동에 의한 여러 영향에 노출돼 있고 더 크게 영향을 받는다. 새들은 무척추동물들에 비해 상대적으로 조사가 많이 되고 있는 편이다. Smith 연구팀은 2020년 논문에서 88종을 포함하는 육

상 tundra birds에 대해 보고했는데, 도요류와 물새떼가 속하는 섭금류에서 뚜렷한 감소 양상을 보였다. 멸종 가능성이 있는 에스키모쇠부리도요(Eskimo curlew; Numenius borealis), 심각한 멸종위기에 처한 시베리아흰두루미(Siberian crane; Leucogeranus leucogeranus)와 붉은가슴도요 아종(spoon-billed subspecies of the red knot), 거의 멸종위기에 처한 흰머

리거위 아종(western Palearctic subpopulation of the lesser white-fringed goose) 등이 있으며 뇌조는 31개 조사지역 중 10개 지역에서 뚜렷한 감소가 관찰됐고 5개 지역에서는 반대로 증가하고 있었다.

북극의 아이콘, 북극곰의 미래는 어떨까?
북극 야외탐사에서 조심해야 하는 안전수칙의 반은 북극곰을 만났을 때의 대처방법이다. 순백의 거대하고 둥글둥글한 외양과는 달리 북극곰은 무자비한 북극 육상의 최상위 포식자여서, 엄지손톱보다 크게 보이면(곰은 순간 시속 40km로 달릴 수 있다) 이미 피하기엔 늦었으니 여러 명이 손을 잡고 크게 보이도록 대형을 짜거나 정면을 응시하지 말고 뒤를 보이지 않게 옆걸음으로 물러서야 하며, 총을 소지한 안전요원과 필수 동행해야 한다는 등이다.

대표적인 기후변화에 의한 멸종위기종이지만 유전자 측면에서 논하자면 북극곰은 살아남을 것이다. 2011년 Ceiridwen 팀이 미토콘드리아 DNA를 통해 연구한 바에 따르면 현재 북극곰들의 조상은 영국 인근 아일랜드에 살던 암컷 불곰인 것으로 밝혀졌다. 기존에는 알래스카 지역의 불곰이 북극곰의 조상으로 여겨졌다. 연구팀은 빙하기로 인해 북대서양이 얼어붙자 고대 북

극곰이 아일랜드 지역으로 이주하면서 불곰과 마주쳤을 것이라고 추측했다. 기후변화 덕분에 두 종이 만나 교배에 성공함으로써 불곰의 날렵함을 갖춘 현대 북극곰으로 진화하는 데 기여한 것으로 보인다.

그렇다면 현재의 기후변화가 북극곰에게 또 한 번의 진화 기회를 주게 될까? 이종 간 교배는 드물지만 종종 일어나는 현상이며 노새, 라이거처럼 후대 번식은 불가능하다는 것이 상식이다. 북극곰은 북극의 얼음지대에 살고 흰색이며 육식이다. 반면 불곰은 유라시아 지역과 북미, 캐나다 북부에 서식한다. 북극곰과 가깝게 살긴 하나 짙은 갈색 털을 가지고 잡식성이며, 이빨 구조를 비롯한 생태학적 습성도 완전히 다르다. 그런데 최근 캐나다 북부에서 피즐리, 그롤라라고 불리는 북극곰과 불곰 간에 교배종들이 번식에 성공해 새끼를 낳고 있는 것이 보고되고 있다. 2009년 연구 결과를 통해 10만 년 전에도 당시 북극곰과 불곰 사이에 광범위한 교잡이 있었음이 확인되었고 현존하는 불곰들은 모두 고대 북극곰 유전자를 10% 가지고 있는 것으로 알려졌다. 이 같은 이유로 일부에서는 현재의 북극곰을 불곰과 교배시켜 생태적 적응 능력을 바꾸어 얼음 서식지가 줄어들어도 살아남을 수 있게 하자는 의견도 있다. 그러나 오랫동안 북극곰을 연

구하고 보존 노력을 계속해 온 Steven Amstrup은 “북극곰은 짧게는 2만 년, 길게는 15만 년 동안 진화해왔기 때문에 북극 얼음이 완전히 사라질 50년 안에 북극곰을 진화시키는 것은 불가능

하다”고 지적했다. 만에 하나 교배 노력이 성공해 북극곰이 더 이상 순백의 북극곰이 아니라면 사람들의 관심과 노력이 집중될 지도 의심스럽다.

III 기후변화가 야기하는 새로운 위협

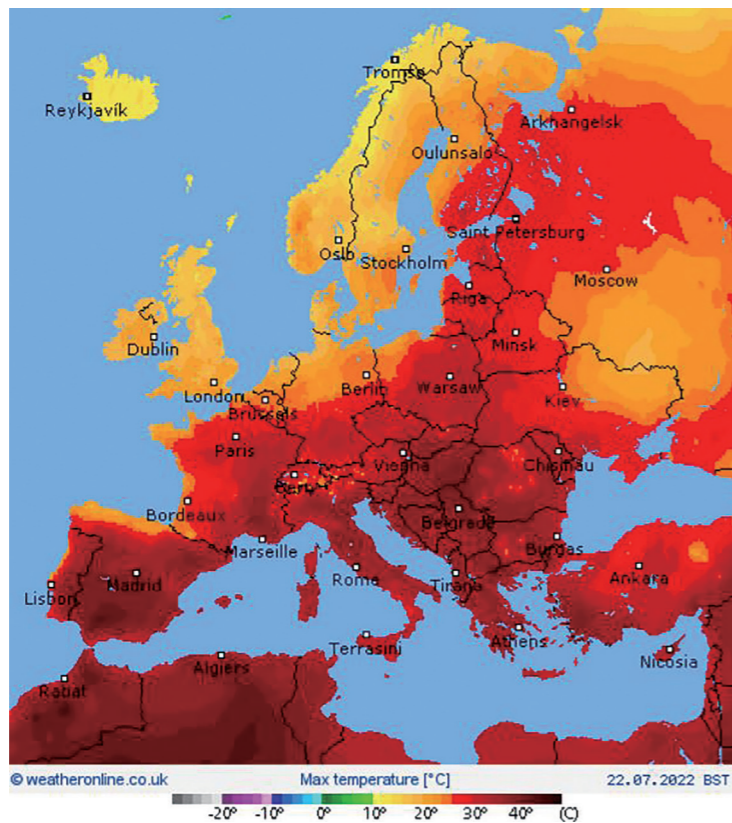
이상기온은 개인의 건강도 위협한다. 지구온난화로 인한 기온 상승 및 이주가 신경질환의 발생 또는 악화에 영향을 미친다는 연구 결과들이 쏟아지고 있다. 기온 상승이 알츠하이머, 치매 환자의 불안, 우울증과 같은 증상을 발전시키고 다발성 경화증 환자의 인지능력 및 운동기능을 저하시키고 사망률을 증가시켰으며 진드기 매개 뇌염 발생률을 높인 것으로 나타났다. 또한 분석된 연구의 대부분은 부유한 국가에서 수행됐는데, 저소득 국가들에서는 기후변화의 영향이 불균형적으로 나타날 가능성이 크다고 한다.

미국 스탠퍼드대학교 지구시스템과학과의 Marshall Burke 교수 연구팀은 네이처 기후변화(Nature Climate Change)라는 과

학잡지를 통해 자치주, 멕시코 지자체를 대상으로 기온과 자살 간의 관계를 분석했다. 이에 따르면 멕시코에서 월간 평균기온이 1도 올라갈 때마다 자살률이 상승하는 결과가 나타나, 기후변화와 정신건강에 상관관계가 있음을 보여줬다. 더 나아가 온도 상승을 막지 못해 RCP 8.5단계(Representative Concentration Pathways scenario 8.5; 현재 추세로 온실가스가 배출되는 경우)가 되면 2050년까지 미국 자치주와 멕시코에서 총 4만 명의 추가 자살을 초래할 수 있다고 경고했다.

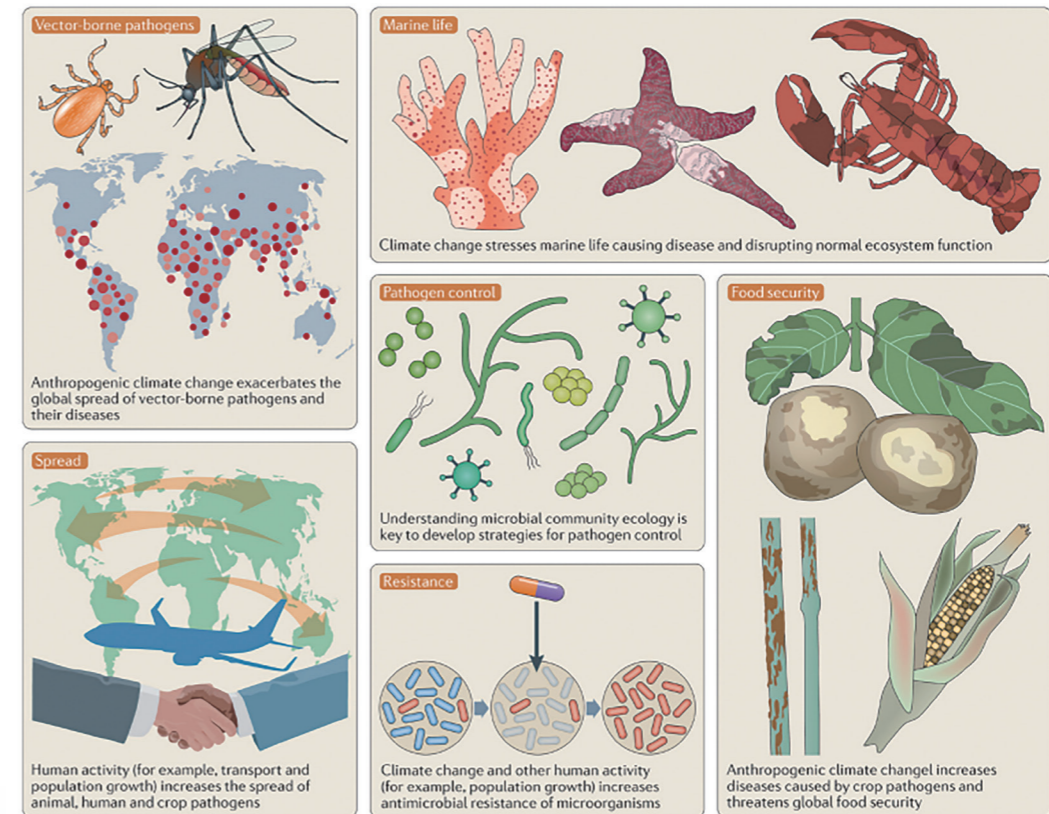
세계보건기구(WHO)와 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)에서는 감염병의 발생 횟수와 빠른 발생 주기변화 원인이 기후변화이며, 폭염, 홍수, 가뭄 등에 의한 감염병 매개체의 서식 환경 변화, 분포 변화 등을 통해 기후변화가 인류 건강을 위협할

그림 7 2022년 유럽을 휩쓴 폭염



출처: weatheronline.co.uk

그림 8 인간활동이 야기한 기후변화가 병원균 발생을 증가시키고 있다



것이라고 언급해 왔다. 전 세계를 공포와 불안에 몰아넣은 코로나19는 아직도 진행형이다. 수의학저널에 따르면 지난 80년간 유행한 인수공통감염병 중 약 70%가 야생동물에 의한 것이라 했고, 프란치스코 교황은 "코로나19는 기후변화에 대한 자연의 응답 중 하나일 수 있다"고 말했다. Liu 박사는 브릭스(BRICS)에서 코로나19 팬데믹 기간 중 사망자의 30%는 코로나19 감염에 의한 것으로 추정하고 있다. BRICS는 브라질, 러시아, 인도, 중국, 남아프리카공화국 등 5개국을 말하는데 전 세계 인구의 40% 이상, 전 세계 국민 총소득의 약 25%, 전 세계 빈곤층의 약

50%, 그리고 전 세계 질병의 약 40%를 차지한다. 사실 코로나19가 감염병에 의한 사망의 이례적인 예는 아니라는 게 중요하다. 1990년과 2019년 감염병에 의한 사망자 수는 각각 전 세계 감염병 사망자의 39%와 32%를 차지하며 주요인은 하기도 감염, 결핵, 설사 질환이었다. Morens 박사팀도 2004년 감염병에 의한 사망이 전 세계 사망 원인의 약 25%를 차지하며 인류의 생존에 중요한 도전이라고 보고한 것을 종합해 볼 때 사망자 3명 중 1명은 감염성 질환으로 인해 사망한 것으로 보인다.

그림 9 북극 해빙이 녹고 야생동물들 간의 접촉이 늘면서 새로운 감염병 통로가 발생하고 있다



북극 생태계도 예상치 못한 관심을 받고 있다. 2014년에 3만 년 전의 영구동토층에서 진핵생물인 아메바를 감염시키는 거대 DNA 바이러스(Pithovirus sibericum)가 보고됐다. 이들은 인간에게 해를 끼치지 않는 아메바들만 감염시키는 것으로 보고됐으나 온도 증가에 따라 영구동토층 또는 빙하에 묻혀있던 고대(古代) 유해 미생물이 기후변화로 인해 방출될 가능성을 보여줬다. 실제로 2016년 서시베리아 영구동토층에 매장된 사체 기원으로 추정되는 탄저균에 의해 2,300여 마리 순록이 집단 사망하고 러시아 유목민이 사망한 사례가 보고됐다. 미국 데이비스 캘리포니아주립대 연구팀은 북극 해빙이 감소하면서 '물개 전염성 급성염증 바이러스(PDV)'가 북태평양과 북대서양에 이르기까지 광범위하게 확산하고 있다는 사실을 사이언티픽 리포트(Scientific Reports)에 발표했다. 이 바이러스는 홍역과 관련이 있는데 피부질환, 기침, 폐렴, 발작 등을 일으키고 사망에 이르게 까지 한다. 트레이시 골드스타인 데이비스 캘리포니아주립대 박사는 "해빙 감소로 바다 야생동물들이 새로운 서식지를 찾아 이

동하면서 새로운 감염병 이동 통로가 생기고 있으며 궁극적으로 이동 거리 증가, 스트레스 등으로 질병에 취약해질 것"이라고 언급했다. 순록, 물범 등의 멸종은 이들 동물에 의존해 살아가는 북극 지방 원주민의 생계를 위협할 것이며 시간이 갈수록 북극 지방의 환경과 동물, 주민들의 상황이 계속 열악해질 것이라는 경고가 나오고 있다. 북극 해빙은 10년마다 12%의 해빙이 감소하고 있다. 과학자들은 해빙이 감소함에 따라 병원체 확산이 더 진행될 것으로 보고 있다.

뿔 뿔린 하늘은 거칠 것 없어 더 위험하다. 2014년 아시아 지역에서 발생한 조류인플루엔자 바이러스가 북극권에서 번식하는 야생 조류를 통해 유럽과 북아메리카 대륙으로 확산해 감염 대유행을 일으켰다. 이는 극지역에 서식하는 이동성 야생동물이 추후 유해 미생물 전파의 중간 숙주가 될 수 있고, 전파에 핵심적인 역할을 할 가능성을 내포하고 있으며 궁극적으로는 극지역 기후변화가 전 지구적으로 영향을 주는 감염병 발생으로 이어질 수 있다고 경고하고 있다.

IV 선제적 대응을 위한 과학적 조사와 제도적 노력

급격한 환경변화에 직면한 생물, 생태, 환경 보전과 효과적인 정책 수립에 있어 가장 큰 제약은 현재 상태의 생태계 군집구조와 변화 방향, 속도 등 생태계 반응 분석에 기준점이 돼줄 장기적이고 포괄적인 시계열 변화 정보의 부재다. 생태계 구성성물들은 복잡한 먹이망으로 연결돼 있고 구성성물들이 서식처 특성(sedimentology, morphology, physical drivers)에 크게 영향을 받는 scale-dependent 특성을 가지고 있어 단편적인 정보로는 비생물과의 상관관계를 제시하는 데 어려움이 있다.

북극이사회(Arctic Council)의 북극 식물 및 동물 보호 관련 실무그룹인 CAFF(Conservation of Arctic Flora and Fauna) 내 이니셔티브인 CBMP(Circumpolar Biodiversity Monitoring Program)는 북극 관련 통합 생물 다양성 모니터링 정보에 대한 범북극적 요구를 해결하기 위해 구성했고, 대상을 식생(vegetation), 무척추동물, 포유류, 새(bird)로 그룹을 나눠 조사해오고 있다. CBMP는 과학자, 관리자, 보호 단체, 정부 기관, 북극 지역 전문가 및 리더의 국제적 네트워크로 북극의 통합생태계를 포괄적으로 모니터링하기 위한 장기적이고 포괄적인 계획을 개발하고 구현하기 위해 협력 중이다.

약 400만 명의 인구가 거주하는 북극 지역의 원주민들은 고립된 지역에서 집단으로 생활하는 방식을 유지하고 있다. 따라서 감염성 질환이 발생할 경우, 해당 질병이 환북극권으로 급속히 퍼질 우려가 크기 때문에 효율적인 대처를 위해 질병 감시 체계의 필요성이 대두됐다. 북극이사회 옵서버 기관 회원인 International Union for Circumpolar Health(IUCH)는 2년마다 북극 원주민 및 거주민 관련 건강 및 질병 관련 연구 활동, 컨퍼런스, 국제협력 등의 내용을 포함한 옵서버 리포트를 북극이사회 각료회의에 제출하며 이슈화를 주도하고 있다. International Circumpolar Surveillance(ICS)는 환북극권의 병원, 공중 보건 기관 및 대조(reference) 실험실 간에 감염성 질병에 대한 자료를 수집, 비교 및 공유하는 네트워크를 형성하고 있다. 또한 지속가능한 발전 실무그룹(Sustainable Development Working Group;SDWG)은 질병 또는 전염병 발생, 자연적 질병 및 관련 증상에 대한 지식 및 대응 증진을 목표로 'One Arctic-One Health' 프로젝트를 진행 중이다. 우리나라도 제4차 과학기술기본계획에 신·변종 감염병 대응기술/기후변화 감시·예측·적응기술 개발을 국가 중점과학기술로 추진했고 과학기술정보통신부는 국가적 감염병 대응 역량 제고를 통해 국민의 건강 보호 및 의료복지 향상과 국제경쟁력 확보를 위한 신·변종 감염병 대응 플랫폼 핵심기술개발사업을 활발히 추진 중이다.

하지만 북극권 온도 상승, 동토층 붕괴 등으로 발생하는 유해 미생물의 출현, 분포와 확산, 감염력 등에 미치는 영향을 평가하는 연구는 아직 초기 단계로, 광범위한 지역적 조사와 정확한 탐지 방법을 기반으로 한 신속한 대처에는 갈 길이 멀다. 빠른 시일 내에 매년 무서울 정도로 온도가 증가하고 있는 북극에서 감염병 유발 가능성을 지닌 미생물의 분포 데이터를 확보하고 온도와 활성 간 상관성을 기반으로 잠재적 감염 위험성을 파악하는 것이 필요하다. 더 나아가 전파 가능 경로를 미리 예측해 선제적 대응으로 방역체계를 구축함으로써 눈에 보이지 않는 감염병과의 전쟁에서 승기를 잡을 수 있다.

극지연구소도 이러한 문제점을 인식하고 대응하기 위해, 환북극권 유해 미생물을 신속히 확인할 수 있는 분자 검출 방법 개발, 유해 미생물의 분포 및 감염 기작을 규명하는 '지구온난화에 따른 북극 유해 미생물의 잠재적 위험성 평가' 연구에 착수했고 극지방 감염병의 잠재적 위험성 평가 및 대비 방안을 위한 과학적 근거와 선제적 대응을 위해 노력 중이다.

지난 몇 해는 코로나19의 창궐로 전 세계 모든 나라들이 국경을 봉쇄했고 특히 해당 연구 수행을 위한 북극권 현장 활동이 어려웠다. 다행히 극지연구소에서는 2010년 이후로 북극을 기반으로 환경변화에 따른 미생물의 생태 기능 연구를 수행해 오고 있었으며 그동안 환북극권의 지역인 스발바르, 알래스카 카운실, 캐나다 캠브리지 베이, 러시아 체르스키, 그린란드 등에서 자료와 시료를 확보해 왔다. 어떤 종류의 유해 미생물이 얼마나 존재하는지를 분석할 수 있는 환경유전체 기반 분석법을 개발했으며 이 방법으로 알래스카 지역 영구동토지역에서 70여 종류의 항생제 내성 유전자와 병원성에 관여하는 600여 개의 발병인자 유전자들을 찾아냈다(Kim et al., 2022). 그린란드, 스발바르, 롱이어비엔 등 10곳에서 채취한 빙하, 눈, 수돗물, 퇴적물 등의 다양한 시료에 분리한 118개의 박테리아균들을 조사했는데 이들 중 일부는 암피실린, 카나마이신, 테트라사이클린 같은 임상적으로 중요한 8가지 항균제에 내성을 가지고 있었고 균주의 3분의 1은 독성과 관련된 용혈 작용을 보이고 있다는 2020년 Mogrovejo 박사 연구팀의 결과를 재확인했다.

북극 전 지역에서 더 많은 시료들을 확보하고 분석해 북극 지역의 토양 유래 유해 미생물 분포도를 그리고, 유전체 분석을 통해 병원성 관련 유전자들을 목록화하는 게 시급하다. 이를 위해 북극권 국가들, 특히 러시아와의 과학적 연구 협력이 중요하나 국제정세가 복잡한 상황에 놓여 있어 조심스러운 접근이 필요하다. 실제 러시아 야말(Yamal) 지역과 야쿠티아(Yakutia) 지

역에서 확보한 시료의 유전자 분석을 통해 13세기 이전부터 여러 종류의 탄저병이 여러 차례 이 지역을 휩쓸었다는 것이 밝혀졌다. 2016년 수천 마리의 순록 폐사사 원주민이 사망한 원인도 야말 지역 영구동토층에 보존돼 있던 탄저균에 감염된 순록 사체가 동토층 해동으로 노출되면서 탄저균이 방출된 것으로 추정하는 연구 결과가 있다. 본 연구팀은 원주민 코미(Komi)족이 거주하는 코미 공화국에 위치한 Bolshezemelskaja 툰드라에서 순록과 이들의 식량인 지의류의 모니터링 및 생태 연구를 전문적으로 수행하는 기관인 러시아과학위원회(Russia Academy of

Sciences)의 생물학 연구소(Institute of Biology)와 연구 관련 양해각서를 체결하고, 순록 분변을 포함한 시료를 제공받아 협력 연구를 진행 중이다. 또한 유해 미생물의 감염 기작을 밝히기 위해 유해 미생물에 속하는 세균 및 곰팡이를 분리해 배양 중이며, 이들 유해균들이 어떤 방식으로 동, 식물들을 감염시키고 부정적 영향을 끼치는지를 면밀히 연구 중이다. 앞으로 이러한 연구들이 활성화되어 기후변화에 따른 북극의 생태계 변화와 인간의 영향 등을 관찰·예측하여, 미래 인류의 생존 위협에 대응하는 노력이 요구된다.

참고문헌

- Christensen, T., J. Payne, M. Doyle, G. Ibarguchi, J. Taylor, N.M. Schmidt, M. Gill, M. Svoboda, et al. (2013) "The Arctic terrestrial biodiversity monitoring plan" CAFF monitoring series report no. 7. CAFF International Secretariat, Akureyri, Iceland. https://caff.is/publications/view_document/256-arctic-terrestrial-biodiversity-monitoring-plan. ISBN 1.978-9935-431-26-4.

- Gillespie, M.A.K., M. Alfredsson, I.C. Barrio, J.J. Bowden, P. Convey, L.E. Culler, S.J. Coulson, P.H. Krogh, et al. "Status and trends of terrestrial arthropod abundance and diversity in the North Atlantic region of the Arctic" In Terrestrial biodiversity in a rapidly changing Arctic, eds. N.M. Schmidt, and H. Jóhannesdóttir, Ambio vol. 49, Special Issue. 2020 <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01162-5>.

- Gillespie, M.A.K., M. Alfredsson, I.C. Barrio, J. Bowden, P. Convey, S.J. Coulson, L.E. Culler, M.T. Dahl, et al. (2020). Circumpolar terrestrial arthropod monitoring: A review of ongoing activities, opportunities and challenges, with a focus on spiders. In Terrestrial biodiversity in a rapidly changing Arctic, eds. N.M. Schmidt, and H. Jóhannesdóttir, Ambio vol. 49, Special Issue., <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01185-y>.

- Taylor, J.J., Lawler, J.P., Aronsson, M. et al. (2020). Arctic terrestrial biodiversity status and trends: A synopsis of science supporting the CBMP State of Arctic Terrestrial Biodiversity Report. Ambio 49, 833-847 <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01303-w>

- Chen IC, Hill JK, Ohlemüller R, Roy DB, Thomas CD. (2011) "Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming" Science. Aug 19;333(6045):1024-6. doi: 10.1126/science.1206432. PMID: 21852500.

- Stella Manes, Mark J. Costello, Heath Beckett, Anindita Debnath, Eleanor Devenish-Nelson, Kerry-Anne Grey, Rhosanna Jenkins, Tasnuva Ming Khan, Wolfgang Kiessling, Cristina Krause, Shobha S. Maharaj, Guy F. Midgley, Jeff Price, Gautam Talukdar, Mariana M. Vale, (2021). Endemism increases species' climate change risk in areas of global biodiversity importance, Biological Conservation, Volume 257, 109070, ISSN 0006-3207,

- <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109070>.

- Heberling JM, Miller JT, Noesgaard D, Weingart SB, Schigel D. (2021). Data integration enables global biodiversity synthesis. Proc Natl Acad Sci U S A. Feb 9;118(6):e2018093118. doi: 10.1073/pnas.2018093118. PMID: 33526679; PMCID: PMC8017944.

- Cite as: Liu Q, Jing W, Liu M, Liu J. Health disparity and mortality trends of infectious diseases in BRICS from 1990 to 2019. J Glob Health 2022; 12:04028.

- Ceiridwen J. Edwards, Marc A. Suchard, Philippe Lemey, John J. Welch, Ian Barnes, Tara L. Fulton, Ross Barnett, Tamsin C. O'Connell, Peter Coxon, Nigel Monaghan, Cristina E. Valdiosera, Eline D. Lorenzen, Eske Willerslev, Gennady F. Baryshnikov, Andrew Rambaut, Mark G. Thomas, Daniel G. Bradley, Beth Shapiro, (2011). Ancient Hybridization and an Irish Origin for the Modern Polar Bear Matriline, Current Biology, Volume 21, Issue 15, Pages 1251-1258, ISSN 0960-9822, <https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.05.058>.

- Melbourne-Thomas, J., Audzijonyte, A., Brasier, M.J. et al. (2022). Poleward bound: adapting to climate-driven species redistribution. Rev Fish Biol Fisheries 32, 231-251 <https://doi.org/10.1007/s11160-021-09641-3>

- Bjorkman, A.D., M.G. Criado, I.H. Myers-Smith, V. Ravolainen, I.S. Jónsdóttir, K.B. Westergaard, J.P. Lawler, M. Aronsson, et al. (2020). Status and trends in Arctic vegetation: Evidence from experimental warming and long-term monitoring. In Terrestrial biodiversity in a rapidly changing Arctic, eds. N.M. Schmidt, and H. Jóhannesdóttir, Ambiovol. 49, Special Issue. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01161-6>.

- Jenkins, L.K., T. Barry, K.R. Bosse, W.S. Currie, T. Christensen, S. Longan, R.A. Shuchman, D. Tanzer, et al. (2020). Satellite-based decadal change assessments of pan-Arctic environments. In Terrestrial biodiversity in a rapidly changing Arctic, eds. N.M. Schmidt, and H. Jóhannesdóttir, Ambiovol. 49, Special Issue. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01249-z>.

- Wasowicz, P., A.N. Sennikov, K.B. Westergaard, K. Spellman, M. Carlson, L.J. Gillespie, J.M. Saarela, S.S. Seefeldt, et al. (2020). Non-native vascular flora of the Arctic: Taxonomic richness, distribution and pathways. In Terrestrial biodiversity in a rapidly changing Arctic, eds. N.M. Schmidt, and H. Jóhannesdóttir, Ambiovol. 49, Special Issue. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01296-6>.

- Burke, M., González, F., Baylis, P. et al. (2018). Higher temperatures increase suicide rates in the United States and Mexico. 8, 723-729. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0222-x>

- Mogrovejo DC, Perini L, Gostinčar C, Sepčič K, Turk M, Ambrožič-Avğuštin J, Brill FHH and Gunde-Cimerman N (2020). Prevalence of Antimicrobial Resistance and Hemolytic Phenotypes in Culturable Arctic Bacteria. Front. Microbiol. 11:570. doi: 10.3389/fmicb.2020.00570

- Román-Palacios, C., & Wiens, J. J. (2020). Recent responses to climate change reveal the drivers of species extinction and survival. Proceedings of the National Academy of Sciences, 117(8), 4211-4217.

- Heesoo Kim, Mincheol Kim, Sanghee Kim, Yung Mi Lee, Seung Chul Shin. (2022) Characterization of antimicrobial resistance genes and virulence factor genes in an Arctic permafrost region revealed by metagenomics, Environmental Pollution, Volume 294, 118634, ISSN 0269-7491, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118634>.

- (참고) 북극 해빙 감소로 바다동물 감염 바이러스 창궐 : 과학 : 미래&과학 : 뉴스 : 한겨레 (hani.co.kr) :2019-11-12 10:24 입력 2022.07.22 (11:18)

- (참고) 유럽의 '잔혹한' 여름...폭염 사망자 1,500명 넘어 : KBS NEWS 입력 2022.07.22 (11:18)

- (kbs.co.kr)

- (참고) 기후변화로 인한 기온 상승, 신경질환에도 영향 :메디칼 투데이 2021-12-17 14:38:48

- (mdtoday.co.kr)

- (참고) 더위가 정신 건강 위협한다 - Sciencetimes 2018.07.25 10:42

