

지구온난화가 포유류에 미치는 영향¹⁾

김 원 명²⁾
국립환경과학원

서 언

2002년 유엔 정부간기후변화위원회(United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC)에서 기후변화에 관한 일련의 보고서들과 지구온난화를 전 세계에 알리고 전 미국 부통령이었던 엘고어에게 2007년 노벨평화상을 안긴 영화 겸 베스트셀러 '불편한 진실'을 통하여 지구온난화가 전 세계의 관심을 고조시켰지만, 지구온난화의 원인진단과 위험성 예측결과에 대한 과대평가 논란은 여전히 진행 중이다. 하지만 이러한 논란에도 불구하고 거대한 기후변화의 위험을 막기에는 어찌하면 너무 늦은 것인지도 모르겠다.

코스타리카의 나무개구리(*Atelopus varius*)와 황금두꺼비(*Bufo periglenes*)가 인간이 야기한 지구 기후변화로 인한 첫 번째 희생자가 되었다는 사실은 이미 알려진 사실이다. Cynthia Rosenzweig *et al.*(2008)에 따르면 지구 생태계 변화의 약 90%가 지구 온난화의 영향이라는 과학적인 연구결과를 내놓았다. 이 보고서는 28,800종에 이르는 동식물과 829개의 환경변화에 대해 수집한 자료를 토대로 1970년부터 2004년까지 역사적 변화

의 추이를 분석한 결과, 지구표면온도는 이 기간 동안 평균 0.6도 상승한 것으로 밝혀냈다. 적어도 1970년대부터 지구생태계의 변화가 기온이 상승한 지역에서 관찰되고 있고 이는 해양과 대륙에서 동시에 일어나고 있다고 한다.

또한 지구 온도 상승으로 남극의 펭귄 숫자가 50% 가까이 급감했고, 아프리카 호수의 어류도 줄어들었다. 유럽과 미 대륙에서는 꽃이 일찍 피거나 철새들의 이동이 빨라졌고, 개체수가 급감한 북극곰이 서로를 잡아먹는 이례적인 현상도 나타나고 있다. 또한 야생 동식물의 행태 및 개체군 크기 변화의 90%는 오로지 지구 온난화로만 설명될 수 있고, 북극의 동토층이나 빙하가 녹거나 강줄기가 바뀌는 것과 같은 환경 변화의 95%는 지구 온도 상승과 관계가 있는 것이라고 한다. 눈과 얼음이 예년보다 빨리 녹으면서 봄철에 물의 양이 줄어들고 여름 가뭄 현상이 심화되는 등 지구 곳곳에서 물 부족 현상이 확산되고 있다고도 지적했다. 그동안 지구 온난화의 실상을 알리는 수많은 보고서들이 나왔지만, 인간 활동으로 초래된 기후 변화가 지구 생태계의 급격한 변화와 실질적으로 연관이 있음을 과학적으로

1)The Impact of Global Warming on Mammals

2)KIM, Won-myong, National Institute of Environmental Research, Environmental Research Center, Kyongseodong, Seogu, Incheon 404-170, Korea; E-mail: scrofakim@me.go.kr

밝힌 것이다.

이처럼 기후변화는 전 지구적인 차원에서 이미 시작되었고 이에 대응하는 지구 생태계의 변화가 진행중인 것만은 틀림없는 사실로 받아지고 있다.

기후변화는 생물개체의 성장과 행동에 영향을 미치고 개체군의 크기와 연령구조 등을 변화시키며, 종구성, 중간관계 및 영양흐름 및 수계의 변화 등 생태계 구조와 기능에도 심각한 영향을 미친다(IPCC, 2002).

본고에서는 기후변화에 따른 생물종의 서식환경의 변화와 이로 인한 포유동물들의 생존과 행동습성의 변화 등에 대하여 지금까지 밝혀진 연구사례들을 중심으로 서술하고자 하였다.

기후변화에 따른 동물의 적응과 한계

생태학에서 가장 간단한 질문중 하나가 ‘왜 어떤 동물은 특별한 지역에만 분포하고 다른 지역에는 서식하지 않는가?’라는 것이다. 이 질문에 대한 해답으로 그 지역의 연간 평균 강수량과 기온을 가지고 생물종의 분포를 설명하는 가설이 통설로 여겨지고 있다(Caughley and Sinclair, 1994).

지구상의 모든 동물은 그들이 분포하고 있는 지역의 기온과 강수량 등 물리적 환경조건에 따라 생존하고 번식에 필요한 먹이와 은신처 등을 구할 수 있도록 다양한 기작을 통하여 형태학적, 생리학적 및 행동학적으로 진화해왔다. 더불어 기후변화에 적응하는 능력에 있어서 동물마다 고유한 한계를 가지고 그들 고유의 방식으로 적응해 가고 있다.

하지만 자연계에서 일반적으로 종의 진화는 1만년 또는 그 이상의 긴 시간이 요구되지만, 급격한 진화과정이 없는 상태에서 지구온난화가 지금과 같은 추세로 진행된다면

몇 백년 이내에 급격한 기후변화에 적응하는 능력은 순전히 생물종 각각에 달려 있다고 할 수 있다. 어떤 동물들은 단지 몇 세대 내에 빠른 기후변화에 적응하기 위하여 유전적으로 변화를 가져온다고 일부 과학자들은 믿고 있다. 특히 빨리 번식할 수 있는 다람쥐나 일부 조류와 곤충과 같이 몸집이 작은 동물들은 생존기회를 증대시키기 위하여 새로운 행동패턴에 맞추어 진화하는 움직임이 보이고 있다고 한다. 이러한 유전적인 적응은 여름철 기온의 상승보다는 계절의 길이 변화에 맞추어 변화한다.

반면 번식속도가 느린 대형동물들은 새끼를 많이 낳고 짧은 생활사(life cycles)를 갖는 소형동물들에 비하여 유전적으로 빨리 적응할 수 없기 때문에 기후변화에 대응하기가 매우 어렵다. 이러한 동물들은 만일 적절한 서식지가 사라지거나 개체군이 반응할 수 있는 것보다 더 빠르게 서식지의 위치가 변경된다면 사라지게 될 것이다.

지역적인 기후변화에 따른 생물종의 반응은 서식범위의 확산 및 이동과 번식시기를 바꾸어 생존할 수 있겠지만 그렇지 못한 종은 멸종위기에 처하거나 멸종되어 가고 있다. 일반적으로 조류는 탄광이나 유독가스를 탐지하는 카나리아와 같이 기후변화에 민감하게 반응하여 다른 적절한 서식지로 쉽게 이주할 수 있다고 생각할 수 있겠지만, 기후변화로 인한 해면상승과 습지의 감소 등으로 인해 둥지를 잃게 되는 철새나 바닷새들은 생존에 상당한 영향을 받게 된다.

포유동물의 경우, 평균기온이 상승함에 따라 많은 종들에게 적절한 서식환경선이 산 위쪽으로 또는 극지방으로 점점 더 가까이 다가가고 있다. 하지만 더 높은 곳에 서식하기에 적절한 땅이 없거나, 생태계나 생물종이 적응하기에 너무 급격히 변화되는 곳에서는 지역적인 멸종 또는 심지어 전 지구적

인 멸종을 가져올 수 있다.

과학자들은 극지방에 서식하는 포유동물과 해양포유류 및 고산지역에 적응되어 있는 동물들과 동면을 하는 동물들이 기후변화에 따른 영향에 가장 취약한 것으로 평가하고 있다. 미국 Oregon 대학의 William Bradshaw 교수는 지구온난화가 극한 추위로 인한 추위 스트레스보다는 성장하기에 좋은 온화한 계절의 기간이 길어진 북반구에서 더 빨리 진행된다고 한다. 과거 40년 동안 동물들의 서식범위가 북쪽으로 확대되었고 번식기가 더 빨라졌다. 이러한 서식지 확산과 번식기의 변화는 표현적 유동성(phenotypic plasticity; 번식시기 및 이주시기의 변경 등) 또는 변화된 환경조건에 반응하기 위하여 행동학적 형태학적 및 생리학적으로 적응하려는 개체의 능력에 영향을 미쳐왔다.

이러한 전체적인 행동학적 변화와 더불어 빠른 기후변화에 적응하기 위하여 어떤 종들은 유전자 수준에서 진화론적 변화가 있음을 과학자들은 지적한다.

이러한 변화가 모든 동물들에게 해당되는 것은 아니지만 기후변화로 인한 여름철 고온에 적응하려고 유전적인 변화를 가져온 사례는 극히 드물다고 한다. 기후변화에 적응하는 방식은 개체의 번식잠재력을 극대화하는데 있는 것으로 보고 있다.

기후변화에 따른 생물학적 물리적 환경변화

기후변화가 동물에 미치는 영향을 파악하기 위해서 지구 생태계의 생물학적 변화와 물리적인 환경변화에 대한 전체적인 변화양상을 파악해 볼 필요가 있다. 이에 대하여 IPCC가 2002년 발간한 기후변화와 생물다양성에 관한 기술보고서에서 기후변화가 생태계에 미치는 영향을 평가하기 위하여 지

금까지 관찰된 생물학적인 변화와 물리적인 환경변화의 지표로 제시한 주요사항을 아래와 같이 기술하고 있다.

- 20세기 들어서 해수면의 평균높이가 19세기에 비하여 1~2mm 정도 높아졌고
- 북반구의 중위 및 고위도 지역의 호수나 강이 얼어 있는 기간이 20세기에 약 2주 정도 짧아졌으며,
- 북극의 해빙의 두께와 범위가 봄과 여름에 1950년에 비하여 10~15% 범위가 줄어들었고 늦여름부터 초가을까지 두께가 40%나 줄어들었다.
- 극지역 이외의 빙하가 폭넓게 후퇴하였고 극지방과 고산지역의 영구동토지역이 녹아내리고 있다
- 지구 전체에 대한 적설지역에 대한 인공 위성관측이 시작된 1960년에 비하여 10%의 면적이 줄어들었다.
- 엘리뇨 현상이 과거 100년전과 비교하였을 때 최근 20~30년에 더 자주 발생하고 지속적이고 강도가 세어지고 있다.
- 식물의 성장계절이 북반구, 특히 고위도에서 40년 전부터 매 10년마다 1~4일 정도씩 길어지고 있다.
- 식물과 동물의 서식범위가 극지방으로 이동하고 있고 식물, 곤충, 조류 및 어류의 서식한계의 고도가 높아지고 있다.
- 북반구에서 식물의 꽃이 일찍 피고 철새들이 일찍 도래하고 번식시기가 일찍 시작되고 곤충이 출현하고 있다.
- 산호초의 백화현상이 발생하는 빈도가 엘리뇨 발생기간 동안 증가한다.

이상에서 기술된 기후변화의 양상은 인간 활동으로 야기된 온실가스효과의 영향이라고 결론짓고 있으며, 인간의 생활패턴과 획기적인 온실가스 절감기술이 개발되지 않고서는 미래에도 지속적으로 악화될 것으로 예측하고 있다.

기후변화로 멸종위기에 처하게 된 포유동물들

북극곰(*Ursus maritimus*)

북극곰은 지구 온난화로 멸종위기에 처한 동물이 될 처지에 놓일 수 있다고 한다. 2006년 알래스카에서 너무나 먼 거리를 수영한 나머지 탈진하여 익사한 북극곰 4마리가 과학자들에게 발견되었는데 발견당시 주변에 북극곰이 설만한 유빙이 없었다. 이 지역에서 과거 2001~2005년 기간 동안 북극곰을 관찰한 결과 육지에서 생활하는 기간이 길고 해변에 모여 있고 고래 사체를 먹는 등 북극곰의 습성이 변하고 있다고 한다.

현재 전 세계적으로 20,000~25,000마리의 북극곰이 살고 있는 것으로 추정하고 있지만, 현재의 속도로 지구온난화가 진전된다면 2050년에는 3분의 2인 16,000마리가 사라질 것으로 예상되며 2100년경에는 거의 멸종할 것으로 예측하고 있다.

북극의 빙하는 10년 마다 약 9%정도가 녹아 사라지며 이 같은 추세가 지속될시 21세기말에는 북알래스카나 러시아 지역의 북극곰은 거의 사라질 전망이다. 캐나다 섬 북부 지역과 그린란드 서쪽해안에 서식하고 있는 북극곰만 살아남을 것으로 예상하고 있다. 또한 빙하로 덮여 있던 바다와 동토지대가 노출되면서 결과적으로 빙하에 적응되어 있던 북극 생물들이 사라지게 될 수도 있다.

이처럼 북극곰이 멸종위기에 처하게 된 것은 지구온난화로 북극의 얼음이 녹고 있기 때문이다. 북극곰은 회색곰과는 달리 육지에서 순록을 사냥하는데 적응되어 있지 못하다. 주로 얼음위에서 생활하면서 숨을 쉬러 올라오는 물범을 잡아먹는 북극곰에게 얼음은 생존을 위한 필수불가결한 서식조건이다.

캐나다의 허드슨만과 제임스만에서 얼어있던 바다는 이른 봄부터 녹기 시작하고 늦가

을부터 다시 얼기를 반복한다. 이 시기는 얼음위에 있는 북극곰들이 물범과 물고기를 손쉽게 잡는 시기이다. 또한 체내에 지방을 축적하고 체중을 불리는 시기이기도 하다. 그러나 얼음이 적고 이용할 수 있는 먹이가 적은 따뜻한 계절 동안 에너지를 축적하는 것이 점점 어려워지고 있다. 먹이를 구할 수 없는 기간이 길어짐에 따라 전체적인 체력이 떨어지게 되고 이것은 임신하고 있거나 새끼를 양육하고 있는 어미나 새끼들에게 특히 위험하다. 허드슨 만에서 새끼들의 사망원인이 먹이부족이나 양육하고 있는 어미의 지방축적이 부족한 것이 주요원인인 것으로 밝혀지고 있다.



[사진설명] 녹아내리고 있는 유빙위의 북극곰.

바다코끼리(*Odobenus rosmarus*)

기후변화로 위협을 받고 있는 해양동물로 바다코끼리를 들 수 있다. 미국 해안경비대 소속 쇄빙선이 2004년 여름 캐나다 해안을 순항하다가 해안에서 멀리 떨어진 곳에서 혼자 수영하고 있는 새끼 바다코끼리를 발견하였다. 지구온난화로 얼음이 북쪽으로 너무 빨리 떠나려가 어미가 새끼를 포기한 것으로 추정하고 있는데 이는 새끼와 절대로 떨어지지 않는 바다코끼리의 새끼양육행태를 고려할 때 유래를 찾아보기 힘든 사건이다.

과학자들은 바다코끼리가 케나 대협조개를 잡아먹는 수심이 얇은 대륙붕 지역에서 계절적으로 매우 빠르게 녹고 있는 얼음들을 발견하였다. Wood Hole 해양지리연구소에 따르면 바닷물의 온도가 최근 2년 전보다는 같은 시기와 같은 장소에서 약 6도 정도 더 높게 관측되었는데, 따뜻한 난류가 배링해에서 알래스카 북쪽의 대륙붕으로 이동하게 되어 해빙이 빠르게 녹고 있다고 한다.

바다코끼리 어미가 먹이를 찾아 바닷속으로 다이빙할 때 유빙은 새끼의 유일한 쉼터로 이용되기 때문에 유빙의 존재여부는 바다코끼리의 생존과 직결될 수 있다.

2년생 이하의 바다코끼리 새끼는 혼자 스스로 먹이를 찾지 못할 뿐만 아니라 어떻게 먹는지도 모르며, 오로지 어미의 젖에만 의존한다.

유빙이 먼 바다로 떠내려가서 유빙이 남아있는 곳은 수심이 약 3,000 m 정도로 어린 바다코끼리가 먹이를 구하기에는 너무 깊다. 바다코끼리는 주로 수심이 200 m 이내에서 먹이를 구할 수 있다. 만일 유빙이 너무 빨리 먼 바다 쪽으로 떠내려가면 어미가 먹이를 구할 때 쉴 수 있는 장소가 없어지고 새끼는 어미로부터 격리되게 된다. 만일 바다코끼리나 다른 유빙과 관련된 해양포유류가 바다 밑과 휴식처로 이용할 수 있는 유빙이 없어진다면 또한 얇은 물에서 어린 새끼를 돌보는데 적응하지 못한다면 이러한 종은 상당히 감소하게 될 것이다.

미국 어류 및 야생동물청은 지구온난화 특히 빙하가 녹고 해수면의 온도상승으로 인하여 북극곰과 함께 바다코끼리도 멸종위기종법(Endangered Species Act)에 등재하는 것을 검토하고 있다.

동면하는 동물들

지구 온난화는 동면하는 동물들에게 동면

패턴에 영향을 미치는 것으로 보고하고 있다. 기후온난화로 마모트, 다람쥐, 불곰 등과 같은 대표적인 동면동물들은 동면기간이 줄어들거나 아니면 아예 동면에 들지 않는다. 이것은 굶주림과 다른 포식자에게 잡혀먹게 되는 개체수가 늘어나게 될 수 있음을 의미한다.

미국 콜로라도 로키산맥의 생물학실험실에서는 1970년대부터 마모트의 동면행동을 관찰해 왔다. 연구초기에 마모트는 5월 달까지 수 주 동안 동면하였으나 지금은 그 지역의 온도가 2.5°C 올라갔고 약 1달 가량 일찍 동면에서 깨어나는 것으로 조사되었다.

스페인 칸타브리안 산맥의 불곰들은 2007년도에는 동면을 하지 않았다. 미국에서 다람쥐도 동면을 하지 않았으며 겨울철에 많은 개체가 굶주림으로 사망하였다.

동면에서 일찍 깨어나는 동물이나 동면을 건너뛰는 문제는 그 동물의 신진대사와 관련이 있다. 동물이 동면할 때 그들의 신진대사가 상당히 떨어지게 되는데 심장박동이 늦어지게 되어 생명유지를 위해서 매우 적은 에너지만 필요하게 된다.

그러나 동면에서 깨어나면 그들의 신진대사는 동면 이전상태로 정상복귀 된다. 하지만 먹이지원은 전만큼 이용할 수가 없게 된다.

마모트가 기온이 따뜻해져 봄이라고 느끼고 동면에서 깨어나게 되지만 식물들은 아직 봄철 성장계절에 필요한 만큼 충분한 태양빛을 받지 못하여 싹을 틔우지 못한 상태이다. 따라서 마모트는 의지할 만한 먹이가 없게 된다. 이것이 굶주림으로 나타나게 된다. 이러한 형상은 기후온난화가 진행될수록 상황이 더욱 악화될 것이다.

2007년 1월에 러시아에서는 때 아닌 불곰 주의보가 내려졌다. 러시아의 불곰들이 너무 따뜻한 겨울날씨 때문에 충분한 동면을 하지 못하고 일찍 잠에서 깨어난 탓에 공격적

인 성향을 보이고 있다고 한다. 일반적으로 러시아 불곰은 10월부터 4월까지 동면하는데, 따뜻한 겨울날씨로 인하여 너무 일찍 동면에서 깨어난 곰들이 공격적으로 변하고 있기 때문이다. 모스크바의 2007년 1월 기온이 8.4°C로 이는 예년평균기온인 -20°C보다 훨씬 따뜻한 것으로 1894년부터 기온관측이 시작된 이래 가장 따뜻한 1월 기온인 것으로 조사되었다.

한편 우리나라의 국립공원관리공단에 따르면 지리산에 방사하였던 반달가슴곰들이 예년에 비하여 1~2개월 가량 동면시기가 늦추어 질뿐만 아니라 보름 정도 일찍 깨어나는 것으로 보고하고 있다. 이처럼 동면에 들어가는 시기가 늦추어지는 것은 적설량이 적고 기온이 높아졌기 때문인 것으로 추정하고 있다. 2007년 3월 지리산의 적설량은 2.7cm 이었는데 올해는 같은 기간에 적설량이 전혀 없었으며 평균 기온도 작년 3월 6.5°C였던 것이 올해는 7.1°C로 0.6°C가 높았다. 일찍 동면에서 깨어난 곰은 아직 먹이인 식물의 새싹이 나오지 않은 상태에서 먹이를 찾기 위하여 행동영역이 넓어지게 됨에 따라 사람과의 접촉으로 인한 마찰이 우려되며 생존의 위험도 높아질 수 있다. 이제 우리나라도 기후온난화의 영향에서 벗어날 수 없다는 반증이다.

우는토끼(*Ochotona princeps*)

미국 우는토끼는 지구온난화로 인한 서식지 감소로 사라지게 될 위험에 처해있다. 우는토끼는 주로 고산지대의 부서진 바위더미나 절벽아래로 떨어져 내린 돌무더기 사면(애추(崖錐); talus)에 산다. 우는토끼는 여러 가지 이유로 인하여 기후변화에 취약하다. 지표면의 온도가 올라가면 이동성 동물들은 더 위쪽으로 이동하거나 또는 위도상 더 북쪽으로 이동하는 것이 일반적인 현상이다.

미국 우는토끼는 수많은 산지 지형 중에서 작고 격리된 '섬'과 같은 특수한 서식지에서만 살기 때문에 북쪽으로 이동할 수가 없다. 비록 드물긴 하지만 산지 지형 가운데 연속적으로 형성되어 있는 애추가 있지만 저지대에서는 바위의 크기가 직경 0.2~1 m 정도인 장소가 우는토끼에게 적합한 서식지이다. 우는토끼는 일반적으로 먼 거리를 이동하지 못하는데 약 1 km 이내의 행동권에서 평생을 지낸다. 우는토끼는 외부의 극한 기온을 이겨낼 수 있는 굴을 파지 않으며 동면도 하지 않고 바위틈에 있는 보금자리에서 생활한다. 더구나 일년 중 가장 더운 여름철에 겨울먹이로 풀을 갈무리하기 위하여 매우 활발하게 활동한다. 여름철에 더위가 심해지면 이 기간동안 가장 활발하게 활동하는 우는토끼는 심각한 열 스트레스로 인하여 죽을 수 있다. 우는토끼는 외부기온이 35°C 이상인 지역에서는 생존하지 못하는 것으로 알려져 있다. 하지만 우는토끼가 주로 서식하는 고산지역은 더위 때문에 죽는 것 보다는 오히려 겨울철 보금자리가 영하로 떨어지는 반복된 기온변화와 갈무리된 먹이의 질에 따라 사망할 수 있을 수 있다고 한다. 기후변화로 인하여 먹이식물이 더 일찍 시들어 버릴 경우 겨울철에 심각한 먹이부족 현상을 일으킬 수 있다. 또한 기후변화로 인하여 우는토끼의 서식지인 고산지대에 적설량이 적고 일찍 녹게 되어 보금자리 주위가 적설에 의한 절연효과가 없어지게 되어 기온이 더 떨어지게 된다(Ray, 2006).

결 언

최근 기상청이 우리나라의 최근 10년간 평균기온이 평년보다 0.6°C 상승했고, 겨울이 짧아지고 있다고 분석한 데 이어 지구온난화로 한반도의 산림생태계가 크게 변화할 것

이라는 지적이 제기되었다. 정부간 기후변화 협의체(IPCC)가 우려하는 최악의 시나리오 처럼 100년 뒤 기온이 6°C 높아지면 현재의 난대, 온대남부·중부·북부의 식생대는 북상하게 되고, 현재의 난대림 지대는 일부 아열대림 지대로 바뀔 것으로 예측하고 있다.

그렇게 된다면 한반도의 기후에 적응되어 있던 많은 동물들은 사라지게 되거나 북쪽으로 이동해버려 더 이상 볼 수 없을지도 모른다.

서식지의 물리적 환경변화로 인하여 동물들이 사라지게 된다면 그 곳에 사는 사람들의 생활도 상당히 변화될 수 밖에 없다. 미항공우주국(NASA) 고다르우주연구소의 Cythia Rosenzweig 박사는 “기후 변화는 이미 세계가 작동하는 방식을 바꾸고 있고, 이제 우리는 기후 변화를 완화시킬 뿐만 아니라 기후 변화에 적응하는 법을 터득해야 한다”고 말했다.

지구온난화에 대한 관심과 그 위험성을 깨우치기 위해 흔히 쓰이는 말이 있다. 개구리 한 마리를 끓고 있는 물에 넣는다. 냄비에 넣자마자 화들짝 놀라 곧바로 뛰쳐나온다. 이제 찬 물을 담은 냄비에 다시 넣고 조금

씩 열을 가하기 시작한다. 개구리는 뜨거워지는 온도를 느끼지 못하다 서서히 냄비 속에서 죽어간다.

이제 인류가 지구 온난화를 줄일 수 있는 비상한 대책을 빨리 준비하지 않으면 뜨거워지는 냄비 속에서 서서히 죽어가는 개구리 신세가 될 것이다.

참고문헌

- Caughley, G. and Sinclair, A. R. E., 1994. Wildlife ecology and management. Blackwell Science Publications.
- Cynthia Rosenzweig, David Karoly, Marta Vicarelli, Peter Neofotis, Qigang Wu, Gino Casassa, Annette Menzel, Terry L. Root, Nicole Estrella, Bernard Seguin, Piotr Tryjanowski, Chunzhen Liu, Samuel Rawlins, and Anton Imeson. 2008. Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. *Nature*, 453: 353-357.
- Ray, C., 2006. testing hypothesized links between climate change and the decline of the American pika. 2006 Project Report. pp. 1-8.
- United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC. 2002. Climate change and biodiversity. ICPP Technical Paper V.