



지구 온난화에 따른 국내 멸종위기 야생동물의 민감도 및 취약성 분석

김진용* · 홍승범*** · 신만석*

*국립생태원 융합연구실 연구원
***국립생태원 융합연구실 선임연구원

Analysis of Sensitivity and Vulnerability of Endangered Wild Animals to Global Warming

Kim, Jin-Yong*, Hong, Seongbum*** and Shin, Man-Seok*

*Researcher, Division of Ecosystem Services and Research Planning, National Institute of Ecology, Seocheon, South Korea
***Senior Researcher, Division of Ecosystem Services and Research Planning, National Institute of Ecology, Seocheon, South Korea

ABSTRACT

Loss of favorable habitats for species due to temperature increase is one of the main concerns of climate change on the ecosystem, and endangered species might be much more sensitive to such unfavorable changes. This study aimed to analyze the impact of future climate change on endangered wild animals in South Korea by investigating thermal sensitivity and vulnerability to temperature increase. We determined thermal sensitivity by testing normality in species distribution according to temperature. Then, we defined the vulnerability when the future temperature range of South Korea completely deviate from the current temperature range of species distribution. We identified 13 species with higher thermal sensitivity. Based on IPCC future scenarios RCP 4.5 and RCP 8.5, the number of species vulnerable to future warming doubled from 3 under RCP4.5 to 7 under the RCP8.5 scenario. The species anticipated to be at risk under RCP 8.5 are flying squirrel (*Pteromys volans aluco*), ural owl (*Pteromys volans aluco*), black woodpecker (*Dryocopus martius*), tawny owl (*Strix aluco*), watercock (*Gallicrex cinerea*), schrenck's bittern (*Ixobrychus eurhythmus*), and fairy pitta (*Pitta nympha*). The other 10 species showing very narrow temperature ranges even without normal distributions and out of the future temperature range may also need to be treated as vulnerable species, considering the inevitable observation scarcity of such endangered species.

Key words: Climate change, Endangered wild animals, IPCC future scenario, Vulnerability, Thermal sensitivity.

1. 서 론

전 지구의 평균기온은 지난 과거 100년 동안 약 0.85°C 상승하였으며, 앞으로 미래에는 이러한 추세가 더욱더 가속화 될 것으로 예상이 되고 있다 (IPCC, 2013). 기온은 야생동물의 생활사에 직·간접적으로 영향을 주는 중요한 요인으로서, 체온에 영향을 주어 대사활동에 영향을 미치는 직접적인 요인 (Cossins, 2012)과 기온에 의한 서식환경의 변화가 야생동물에게 영향을 주는 간접적인 요인으로 크게 구분되어 진다 (Landis et al., 2013). 이러한 직·간접적인 영향은 야생동물의 생물계절학적인 변화와 서식범위 이동(Range shift)과 같은

시·공간적인 변화를 초래하게 되며, 결과적으로 개체군의 감소 혹은 멸종의 원인이 되기도 한다 (Pereira et al., 2010; Dawson et al., 2011). 대부분의 야생동물은 식물에 비해 이동성이 높으므로 환경변화에 어느 정도 대처능력을 발휘할 수 있을 것으로 예상할 수 있겠으나, 특정 먹이와 특정 서식지를 선호하는 특이종 (specialist)의 경우 일반종 (generalist)에 비해 환경 변화에 대한 대처 능력은 현저하게 낮아질 수 있다. 국내외적으로 멸종위기 야생동물 (endangered wild animals)로 지정되어진 종들은 환경변화에 취약하여 개체군 유지에 위협을 받고 있는 종들로서 대부분이 특이종으로 구성되어져 있다. IUCN (International Union for Conservation

† Corresponding author: sbhong@nie.re.kr (1210, Geumgang-ro, Maseo-myeon, Seocheon-gun, 325813, South Korea)
Received May 11, 2018 / Revised July 13, 2018 1st, August 27, 2018 2nd / Accepted August 30, 2018

of Nature and National Resources)은 위협에 처한 종들을 여러 단계로 나누어 IUCN Red List에 분류하여 국제적으로 관리하고 있으며, 국내의 경우는 환경부에서 멸종위기 동물을 1, 2급으로 등급을 나누어 관리하고 있다. 환경부에서 지정한 멸종위기 동물 1급은 자연적 혹은 인위적 위협요인으로 개체수가 크게 줄어 멸종위기에 처한 종, 2급은 자연적 혹은 인위적 위협요인으로부터 개체수가 크게 줄어 현재의 위협요인이 완화되지 않을 경우 멸종위기에 처할 우려가 있는 종이라 명시하고 있다. 멸종위기 야생동물은 개체수가 적고 서식지 특이종 (habitat specialist)인 경우가 많아 외부환경과 서식지 변화에 매우 취약한 것으로 알려져 있으므로 (Preston et al., 2008), 차후 기후변화가 지속될 경우 다른 종들에 비해 심각한 영향을 받을 수 있을 것으로 예상된다. 이에 국내외적으로 기후변화에 의한 멸종위기종의 분포 및 영향에 대한 연구의 필요성이 언급되고 있지만, 국내의 경우 멸종위기 야생동물의 기후변화 영향에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다.

야생동물의 기온에 대한 민감도는 분류군별, 그리고 종별로 다양하게 나타난다. 그러므로 기후변화에 의한 영향을 파악하기 위해서는 각 종의 민감도 파악이 중요하다. 기온에 대한 민감도가 높은 종을 온도 특이종 (thermal specialist)이라 하며, 특히 기후변화에 취약할 가능성이 높은 종으로 언급되고 있다 (Ghalambor et al., 2006; Sheldon et al., 2011). 온도 특이종은 일반종에 비해 비교적 위도 및 고도별 온도 분포 범위가 좁아 낮은 온도 내성 (thermal tolerance)의 특성을 보이며 (Angilletta, 2009), 이로 인해 온도의 변화가 발생했을 때 일반종에 비해 낮은 확산 능력을 보인다 (Janzen, 1967; Sheldon et al., 2011). 그러므로 차후 기후변화에 의한 영향을 효과적으로 파악하기 위해서는 각 종들의 온도 내성 및 특이성 유무를 파악하여 민감도가 높은 종의 선별이 필요할 것이다.

본 연구는 국내 환경부 멸종위기 야생동물로 지정된 포유류, 조류, 양서·파충류, 곤충류를 대상으로 온도에 대한 민감도를 파악하고 차후 기후변화 시나리오에 의한 취약성 여부

를 파악하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 국내 서식하는 멸종위기 야생동물 중 포유류, 조류, 양서·파충류, 곤충류의 현재 온도 분포를 확인하고, 이중 온도 특이종을 선별한 후, RCP 시나리오 8.5에 의한 2070년 한반도 평균 기온의 범위를 벗어나는 종을 분석하였다.

2. 방법

2.1 멸종위기 야생동물 자료

멸종위기 야생동물의 한반도 분포를 파악하기 위한 야생동물의 위치자료는 전국자연환경조사 3차 자료 (National Institute for Environmental Research, 2013)를 활용 하였다. 제3차 전국자연환경조사는 2006년에서 2012년까지 전국을 대상으로 1:25,000 지형도의 824개 도엽을 기준으로 실시되었다. 도엽은 세부적으로 1개 도엽 안에 9개의 격자(2'30" × 2'30", 약 17.3 km²)로 조사단위를 나누었으며, 9개의 격자 단위 안에서 동물상 분포조사가 수행되었다 (Kim et al., 2013a). 분포자료는 출현/비출현 자료로 종이 출현한 위치를 GPS로 기록하는 방식으로 조사되었다. 분석에 활용된 분류군은 포유류, 조류, 양서·파충류, 곤충류였으며, 환경부 멸종위기 야생동물 I급, II급에 해당하는 종 중에 전국자연환경조사에서 발견된 종을 대상으로 선별하였다 (Table 1).

2.2 한반도 현재 및 미래 기온 자료

현재와 미래의 기온자료는 WorldClim (<http://www.worldclim.org>)에서 제공하는 생물기후적 변수 (bioclimatic variables, Bioclim)를 사용하였다. 현재 기온 자료는 WorldClim에서 제공하는 Bioclim의 1960년에서 1990년 동안의 전 세계 관측 자료를 통해 생성된 자료를 사용하였으며 (Hijmans et al., 2005), 미래 기온자료는 영국 헤들리 연구소의 HadGEM2-AO를 통해 예측된 2070년의 시간적 범위에서 대표농도경로 (Representative Concentration Pathways, RCP) 시나리오 중에서 RCP 4.5와 RCP 8.5를 선택하여 사용하였다. WorldClim

Table 1. Number of species for each taxonomic group used in the analysis.

Taxonomic Group	No. of species (Endangered Class I)	No. of species (Endangered Class II)	Total
Mammal	5	5	10
Avian	9	37	47
Herptile	2	5	7
Insecta	0	10	10

에서 추출된 19개의 Bioclim 변수 중에서 온도와 관련된 3개의 변수인 연평균온도 (Bio1), 가장 따뜻한 분기의 평균온도 (Bio10) 그리고 가장 추운 분기의 평균온도 (Bio11)를 분석에 이용하였다. 포유류와 조류 (털새), 양서·파충류, 곤충류는 연평균온도 (Bio1)를 조류 중 여름철새는 가장 따뜻한 분기의 평균온도 (Bio10), 겨울철새는 가장 추운 분기의 평균온도 (Bio11)를 적용하여 현재의 기온과 미래 기온 시나리오 자료를 추출하였다. 미래 기온 시나리오 중 RCP4.5 시나리오의 경우는 전 세계적인 온실기체 저감 정책이 매우 적극적으로 실현될 것을 가정한 것으로서 가장 이상적인 시나리오이며, RCP8.5의 경우 지금까지 온실기체 증가 추세가 저감 없이 앞으로 계속 지속될 것이라고 가정한 것으로 가장 부정적인 시나리오이다.

2.3 멸종위기 야생동물의 민감도 및 취약성 분석

멸종위기 야생동물의 민감도를 확인하기 위해, 각 종의 온도분포가 정규분포 (normal distribution)를 보이는지 여부를 확인하여 온도 특이적 성향을 파악하였다. 온도 분포가 정규분포를 보인다는 것은 다른 환경 요인에 의한 영향이 있음에도 불구하고 특정 온도를 중심으로 중심극한의 성향을 보인다는 것이므로, 정규분포를 보인 종을 온도에 민감하게 반응하는 종으로 판단하였다. 정규분포는 Shapiro-Wilk와 Kolmogorov-Smirnov test를 사용하여 P-value가 0.05 초과인 경우에 정규분포를 보이는 것으로 판단하였으며, 두 가지의 정규분포 test 방법을 Sigmaplot 13 (Systat Software, inc)을 이용하여 표본수에 의한 자동 선택방식으로 하였다.

미래온도에 따른 멸종위기 야생동물의 취약성 진단은 온도에 민감한 서식분포를 보이는 종들의 주요 온도 범위와 미래 한반도의 평균온도 분포 변화와의 대조를 통해 이루어졌다. 즉, 민감종의 서식 온도 영역이 변화된 한반도의 온도 영역에서 벗어날 때 (error bar 10-90% 범위 기준) 취약성이 높을 것으로 판단하였다. 각 종의 한반도 온도 분포 범위와 미래 한반도 평균온도 분포 범위는 모두 사분위수 (quartile)의 값으로 표현하였다. 박스 그래프에서 각 error bar의 끝인 10%와 90%의 범위를 넘어서는 점들로 표현된 값들은 그래프에서 제외하였다.

3. 결과

포유류 10종에 대한 분석 결과, 정규분포를 보인 종은 하늘다람쥐 (*Pteromys volans aluco*, n=243) 1종으로 확인되었다 ($p = 0.200$). RCP 4.5 시나리오에 의한 2070년 평균 온도

범위의 하위 10%를 벗어나는 종은 총 6종으로 담비 (*Martes flavigula*, n=636)와 대륙사슴 (*Cervus nippon hortulorum*, n=4) 사향노루 (*Moschus moschiferus parvipes*, n=1) 산양 (*Naemorhedus caudatus*, n=158) 토끼박쥐 (*Plecotus auritus*, n=1) 하늘다람쥐로 나타났으며, RCP 8.5 또한 동일한 결과를 보였다 (Fig. 1).

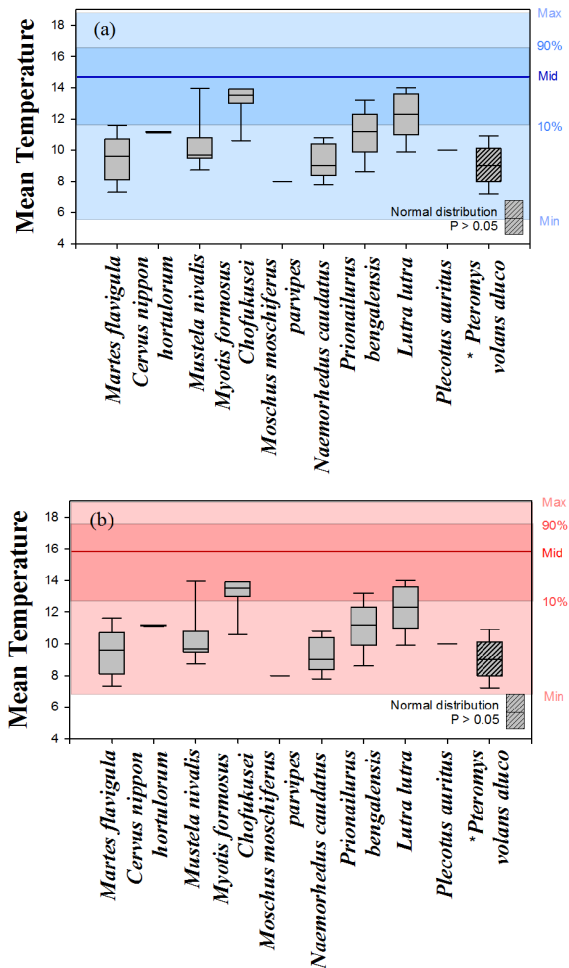


Fig. 1. Temperature distribution range of mammal in relation to (a) mean annual temperature of RCP 4.5 and (b) mean annual temperature of RCP 8.5 in 2070. (*normal distribution)

조류 (털새) 14종에 대한 분석 결과, 정규분포를 보인 종은 검은머리족새 (*Emberiza aureola*, n=7)와 긴점박이올빼미 (*Strix uralensis*, n=6), 까막딱다구리 (*Dryocopus martius*, n=33), 알락개구리매 (*Circus melanoleucos*, n=7), 올빼미 (*Strix aluco*, n=27) 총 5종으로 확인되었다 ($p = 0.05$, $p = 0.292$, $p = 0.143$, $p = 0.412$, and $p = 0.063$, respectively).

RCP 4.5 시나리오에 의한 2070년 평균 온도 범위의 하위 10%를 벗어나는 종은 긴점박이올빼미와 까막딱다구리 두 종으로 나타났다 (Fig. 2(a)). RCP 8.5 시나리오에서는 총 4종으로 쇠검은머리쑥새 (*Emberiza yessoensis*, n=13)와 올빼미가 추가 되었으며, RCP 시나리오 4.5와 8.5에서 확인된 하위 10%를 벗어나는 종 중 정규분포를 보인 종은 긴점박이올빼미와 까막딱다구리, 올빼미로 3 종으로 나타났다 (Fig. 2(b)).

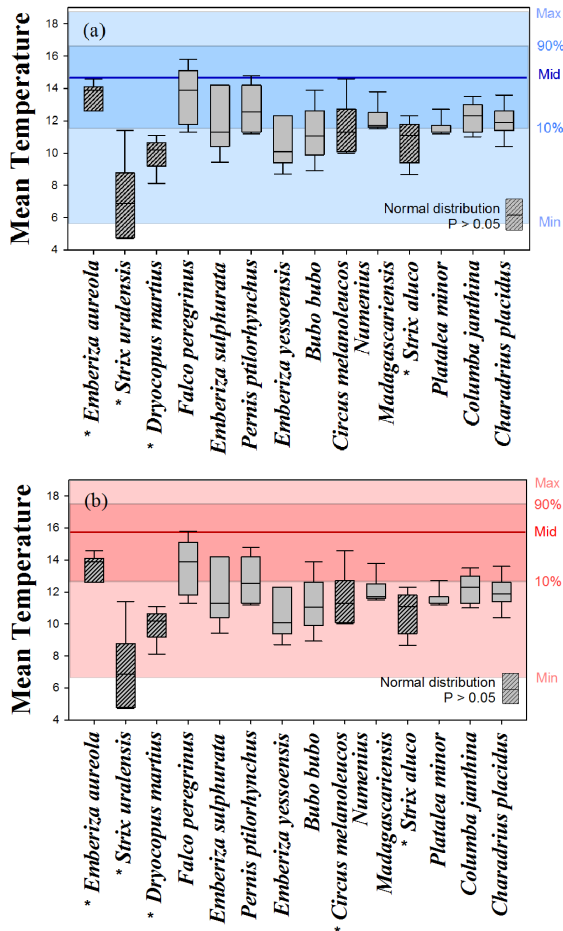


Fig. 2. Temperature distribution range of avian (resident) in relation to (a) mean annual temperature of RCP 4.5 and (b) mean annual temperature of RCP 8.5 in 2070. (*normal distribution)

조류 (여름철새) 9종 중 뜰부기 (*Gallix cinerea*, n=12)와 큰덤불해오라기 (*Ixobrychus eurhythmus*, n=7) 팔색조 (*Pitta nympha*, n=38) 3종이 정규분포를 보였다 ($p = 0.476$, $p = 0.249$, and $p = 0.062$, respectively). RCP 4.5 시나리오에 의한 2070년 여름철 평균온도를 벗어나는 종이 단 한 종도

발견되지 않았다 (Fig. 3(a)). 그에 반해, RCP 8.5 시나리오에서는 무려 8종이 여름철 평균기온의 하위 10%에서 벗어나는 것으로 확인 되었다 (Fig. 3(b)). 해당되는 8종은 긴꼬리딱새 (*Terpsiphone atrocaudata*, n=78)와 노랑부리백로 (*Egretta eulophotes*, n=167), 뜰부기, 새매 (*Accipiter nisus*, n=395), 새호리기 (*Falco subbuteo*, n=618), 섬개개비 (*Locustella pleskei*, n=45) 조롱이 (*Accipiter gularis*, n=119), 큰덤불해오라기, 팔색조로 나타났으며, RCP 시나리오 하위 10%를 벗어나는 8종 중에 정규분포를 보인 종은 뜰부기와 큰덤불해오라기, 팔색조 3종으로 나타났다.

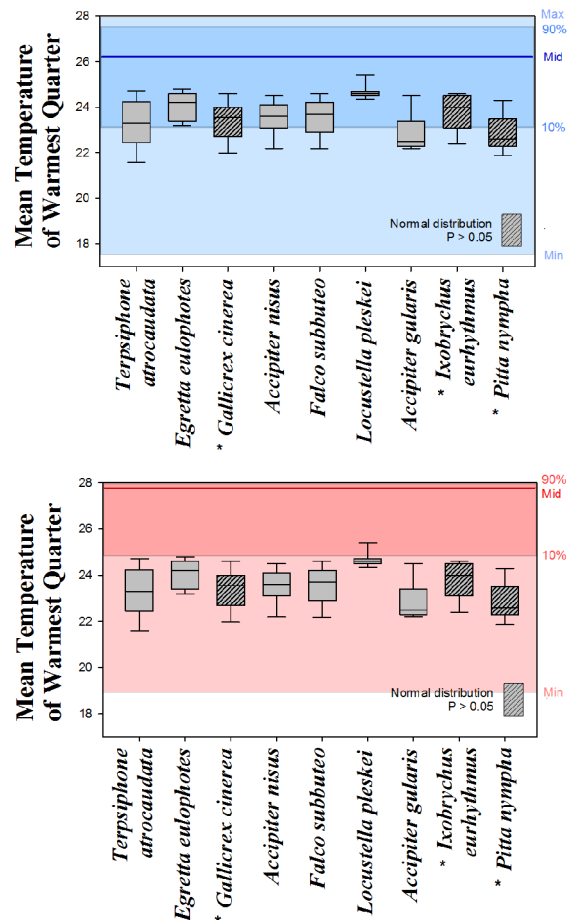


Fig. 3. Temperature distribution range of avian (summer migrant) in relation to (a) mean annual temperature of RCP 4.5 and (b) mean annual temperature of RCP 8.5 in 2070. (*normal distribution)

조류 (겨울철새) 23종을 분석한 결과, 정규분포를 보인 종은 개리 (*Anser cygnoides*, n=81)와 잣빛개구리매 (*Circus*

cyaneus, n=38) 2종 이었다 ($p = 0.200$, $p = 0.200$). RCP 4.5 시나리오에서 개리 (*Anser cygnoides*)와 두루미 (*Grus japonensis*, n=460) 재두루미 (*Grus vipio*, n=1568) 3종이 겨울철 평균 기온 하위 10%를 벗어나는 것으로 나타났으며 (Fig. 4(a)), RCP 8.5 시나리오에서는 참수리 (*Haliaeetus pelagicus*, n=3)가 추가 되었다 (Fig. 4(b)). 하위 10%를 벗어나는 위 4종 중 정규분포를 보이는 종은 확인되지 않았다.

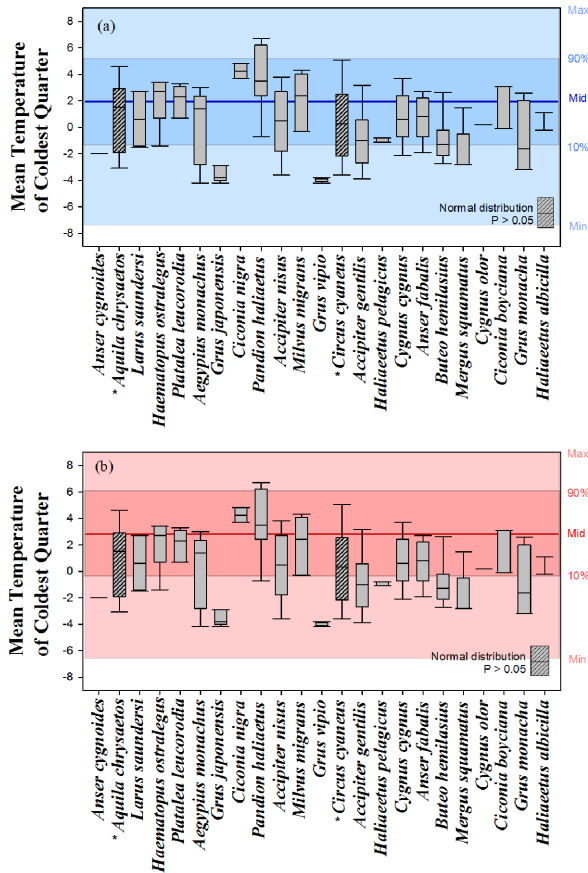


Fig. 4. Temperature distribution range of avian (winter migrant) in relation to (a) mean annual temperature of RCP 4.5 and (b) mean annual temperature of RCP 8.5 in 2070. (*normal distribution)

양서·파충류 7종에서는 남생이 (*Mauremys reevesii*, n=27)만이 정규분포를 보였다 ($p = 0.102$). RCP 4.5 시나리오에 의한 평균 온도의 하위 10%를 벗어나는 종은 수원 청개구리 (*Hyla suweonensis*, n=2) 한 종으로 나타났다 (Fig. 5(a)). RCP 8.5 시나리오에서는 총 4종으로 크게 증가하였으며, 확인된 종은 금개구리 (*Rana chosonicus*, n=163)와 맹꽁이 (*Kaloula borealis*, n=331) 수원청개구리, 표범장지뱀 (*Eremias argus*,

n=45) 이었다 (Fig. 5(b)). 위에서 언급한 하위 10%를 벗어나는 종 중 정규분포를 보이는 종은 확인되지 않았다.

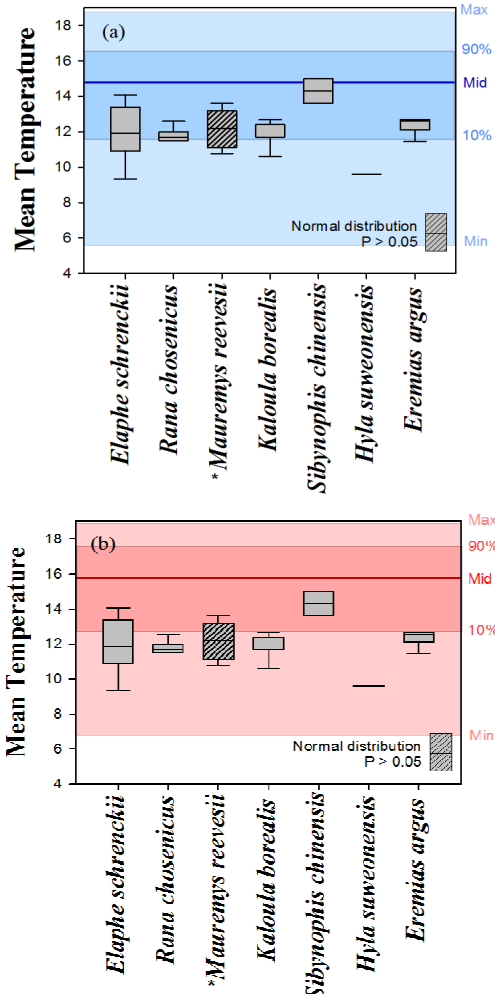


Fig. 5. Temperature distribution range of herptile in relation to (a) mean annual temperature of RCP 4.5 and (b) mean annual temperature of RCP 8.5 in 2070. (*= normal distribution)

곤충류 10종에 대한 분석 결과, 큰수리팔랑나비 (*Bibasis striata*, n=23) 1종이 정규분포를 보였다 ($p = 0.200$). RCP 4.5 시나리오에서 총 3종 멋조롱박딱정벌레 (*Damaster mirabilissimus*, n=1)와 물장군 (*Lethocerus deyrolli*, n=2), 쌍꼬리부전나비 (*Spindasis takanonis*, n=2)으로 확인되었으며 (Fig. 6(a)), RCP 8.5 시나리오에서는 붉은점모시나비 (*Parnassius bremeri*, n=135)와 왕은점표범나비 (*Fabriciana nerippe*, n=12) 두 종이 추가 되었다 (Fig. 6(b)). 미래 시나리오에서 하위 10%를 벗어나는 종 중 정규분포를 보이는 종은

발견되지 않았다.

RCP 4.5 시나리오에 의해 2070년에 취약할 것이라고 예상된 종은 멸종위기 야생동물 I급에 총 5종, II급에 9종으로 확인되었고, RCP 8.5에서는 그보다 증가한 I급 7종, II급 23종으로 확인되었다 (Table 2). 그 중 정규분포를 보인 종은 II급에서만 확인이 되었고 RCP 4.5에 3종, 8.5에 7종으로 나타났다. 포유류는 RCP 4.5와 8.5에서 I, II급 모두 동일한 종수를 보였으며, 텃새에서는 I급 종이 확인 되지 않았고 II급만 RCP 4.5에 2종 RCP 8.5에 4종이 확인되었다. 여름철새는 RCP 8.5에서만 I급이 1종, II급이 7종으로 나타났다. 겨울철새는 RCP 4.5에서 I급 2종, II급 1종으로 나타났으며, 8.5에서는 각 2종

으로 확인되었다. 양서류는 RCP 4.5와 8.5 모두 I급 1종이 확인되었고, RCP 8.5에서 II급 3종으로 증가하였다. 곤충류는 II급 종만 확인 되었고, RCP 4.5에서 3종, 8.5에서 4종으로 나타났다 (Table 2).

4. 고찰

멸종위기 야생동물을 대상으로 RCP 시나리오 4.5에 따른 2070년 한반도 평균기온 분포 범위에서 벗어나고 정규분포를 보이는 종을 확인한 결과, 하늘다람쥐와 긴점박이올빼미, 까막딱다구리 3종으로 확인되었고 모두 환경부 멸종위기 동

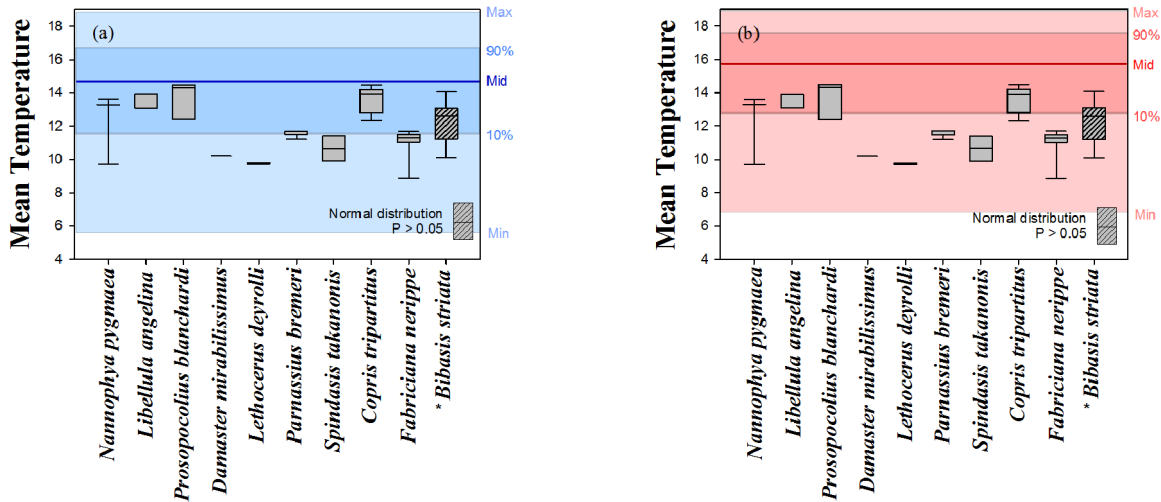


Fig. 6. Temperature distribution range of insecta in relation to (a) mean annual temperature of RCP 4.5 and (b) mean annual temperature of RCP 8.5 in 2070. (*= normal distribution)

Table 2. Number. of species detected from the analysis of vulnerability according to RCP scenario 4.5 and 8.5 in 2070.

Taxonomic Group	RCP 4.5		RCP 8.5	
	Endangered Class I	Endangered Class II	Endangered Class I	Endangered Class II
Mammal	3 (0)	3 (1)	3 (0)	3 (1)
Avian				
resident	0 (0)	2 (2)	0 (0)	4 (3)
summer migrant	0 (0)	0 (0)	1 (0)	7 (3)
winter migrant	2 (0)	1 (0)	2 (0)	2 (0)
Herptile	1 (0)	0 (0)	1 (0)	3 (0)
Insecta	0 (0)	3 (0)	0 (0)	4 (0)
Total	5 (0)	9 (3)	7 (0)	23 (7)

※ Bracket indicates the Number of species with normal distribution

물 II급에 해당하는 종이였다. 이 3종은 전 세계적인 온실기체 저감 정책이 매우 적극적으로 실현될 것을 가정한 시나리오에서 취약할 가능성이 높은 종으로 분석되어 기후변화에 가장 취약할 가능성이 높은 종으로 판단된다. 그 중 텃새에 해당하는 긴점박이올빼미와 까막딱다구리는 그 분포 영역이 백두대간과 같이 규모가 크고 울창한 산림에 서식하는 것으로 알려져 있다 (Lee et al., 2000; Kim et al., 2013b). 본 연구의 결과에서도 또한 그 온도 분포 영역이 다른 종에 비해 눈에 띄게 낮은 온도를 중심으로 분포하였으므로 (Fig. 2), 서식지 제약에 의한 영향으로 기온 또한 영향을 받은 것으로 생각되며, 차후 기후변화로 인한 서식지 감소 및 개체수 감소가 예상된다. 하늘다람쥐는 전국의 산림 지역에 넓게 분포하는 것으로 알려져 있으나 (Jeon et al., 2014), 야행성에 나무구멍을 주로 이용하는 습성으로 인해 쉽게 눈에 띄지 않는 특성이 있다 (Hanski et al., 2000). 본 연구에서 하늘다람쥐의 온도 분포 범위가 비교적 낮은 것으로 확인되었으나, 현재의 육안 조사 방법으로는 국내 분포 조사에 한계가 있었을 것으로 예상된다. 또한, 국내에서 하늘다람쥐의 선호 수종 등 기초적인 서식 환경에 대한 연구가 이미 수행되었지만 (Cho et al., 2013), 차후 기후변화에 의한 영향을 파악하기 위해서는 분포 범위와 선호 서식지에 대한 좀 더 정밀한 조사가 선행되어야 명확한 결론을 도출할 수 있을 것이라 판단된다.

RCP 8.5 시나리오 2070년의 평균 기온 범위를 벗어나며 정규분포를 보이는 종을 파악한 결과, 하늘다람쥐와 긴점박이올빼미, 까막딱다구리, 올빼미, 뜰부기, 큰덤불해오라기, 팔색조로 확인되었으며, RCP 4.5 시나리오에서 4종이 추가되었다. 이 종들은 모두 환경부 멸종위기 동물 II급으로써, 특정 온도 범위를 중심으로 분포하며 미래 RCP 8.5시나리오에 의한 평균 기온의 범위를 벗어나므로 차후 기후변화에 의한 온실기체 증가 추세가 저감 없이 지속될 경우 취약할 가능성이 높을 것으로 확인되었다. 이 중 텃새에 해당하는 올빼미의 경우, 국내에 흔하지 않은 텃새로 산림이 발달한 지역에 주로 분포하는 것으로 알려져 있으나, 비교적 강원도에서의 관찰 기록이 많다 (Kim et al., 2010). 또한, 먹이 포식의 습성상 산림에 인접한 밭과 농경지 같은 개방된 지역에서의 먹이 활동이 많으므로 (Kim et al., 2016), 기온과 더불어 이와 같은 서식지의 고려가 있어야 보다 명확한 기후변화의 영향을 파악할 수 있을 것으로 생각된다. 그 외 여름철새에 해당하는 3종의 경우, RCP 4.5 시나리오에서는 취약종이 확인되지 않았으나, RCP 8.5 시나리오에서 한 종을 제외한 모든 종이 취약할 것으로 예상되었다 (Fig. 3). 연 평균기온과 겨울철 평균기온의 경우 RCP 4.5와 RCP 8.5의 차이는 대략 1°C 정도로 나타

났으며 (Fig. 2 and 4), 여름철 평균기온의 경우 그 보다 큰 폭으로 대략 2°C 정도의 차이를 보였다 (Fig. 3). 이와 유사한 결과들은 이전 기후변화 연구를 통해서 이미 알려진 바 있으며, Boo et al. (2006)은 국내의 평균기온 증가로 인해 여름철 고온 발생과 빈도가 겨울철에 비해 더욱더 심할 것으로 예상하였다. 여름철새는 번식을 목적으로 한반도를 찾아오는 종들로서, 급격한 기온의 변화는 번식 실패의 요인으로 작용해 개체군의 감소로 이어질 수 있으므로 이에 대한 모니터링이 시급할 것으로 생각된다. 한편 확인된 종 중 팔색조는 현재 시민단체 등의 모니터링을 통해서 복상하고 있는 것으로 알려져 있는데 이러한 종들의 복상이 개체군 증가로 이어질지 감소로 이어질지는 차후 지속적인 모니터링을 통해 확인이 가능할 것으로 생각된다.

최종으로 확인된 7종외에, 정규분포를 보이지 않았지만 낮은 온도에 분포하는 특성을 보이며, 확인된 개체수가 적어 분포범위가 매우 좁은 종들이 다수 확인되었다. RCP 8.5 시나리오에서 확인된 종들은 포유류에서 대륙사슴과 사향노루, 토끼박쥐 3종, 조류에서 개리와 재두루미, 두루미 3종, 양서류에서 수원청개구리 1종, 곤충류에 멧조롱박딱정벌레와 물장군, 붉은점모시나비 총 10종이었다. 이 종들은 대부분 개체수가 극히 적은 멸종위기 I급에 해당하는 종들이라 국내에 많은 개체수가 존재하지 않으며, 온도 분포 또한 매우 좁아 온도 특이종의 특성을 띄고 있다 (Angilletta, 2009). 게다가 적은 개체수와 좁은 분포범위는 유전적 다양성의 저하의 위험도 내포하고 있으므로 (Reed and Frankham 2003), 차후 기후변화에 의해 매우 취약할 가능성이 높은 종이라 판단된다. 그러므로 이 종들 또한 기후변화에 따른 민감도와 취약성이 높은 종으로 취급해야 할 것으로 생각되며, 이에 대한 모니터링도 시급한 것으로 생각된다.

5. 결론

국내 환경부 멸종위기 야생동물로 지정된 포유류, 조류, 양서류, 파충류, 곤충류를 대상으로 온도에 대한 민감도를 확인한 결과, 총 13종이 민감한 것으로 나타났다. 이 종들을 대상으로 기후변화에 의한 취약성 여부를 판단한 결과, 하늘다람쥐와 긴점박이올빼미, 까막딱다구리는 온실가스의 저감 정책 하에서도 취약할 것으로 예상되는 종으로 확인되었다. 기후변화에 의한 온실기체 증가 추세가 저감 없이 지속될 경우 취약할 가능성이 높을 것으로 확인된 종은 하늘다람쥐와 긴점박이올빼미, 까막딱다구리, 올빼미, 뜰부기, 큰덤불해오라기, 팔색조 총 7종으로 확인되었다. 이 종들은 모두 환경부 멸종

위기 야생동물 II급에 해당하는 종이였다. 본 연구에서 분석한 기온에 대한 민감도 분석은 관찰 자료가 적은 종의 경우 분석이 명확히 이루어지지 않는 특성을 가지고 있다. 즉, 개체수가 적어 관찰이 쉽지 않은 I급 멸종위기종들에게 매우 불리하게 작용했을 가능성이 크다. 이러한 종들의 좁고 한정된 분포는 사실상 기온의 변화에 더욱더 취약할 수밖에 없으므로 민감종으로 판단되지 않았지만 취약가능성의 여부를 파악하는 것이 중요하다. 국내 분포하는 개체수가 매우 적지만 RCP 8.5 시나리오에 따라 취약할 가능성이 높을 것으로 확인된 종은 포유류에서 대륙시슴과 사향노루, 토끼박쥐 3종, 조류에 개리과 재두루미, 두루미 3종, 양서파충류에 수원청개구리 1종, 곤충류에 멧조롱박딱정벌레와 물장군, 붉은점모시나비 3종으로 총 10종이 확인되었다. 이 종들은 대부분 멸종위기 I급에 해당하는 종으로 구성되었다. 차후 연구에서는 이를 보완하기 위해 기온 외의 서식환경 특성 분석 및 다양한 환경요소들과의 상호관계 규명, 그리고 대상종에 대한 지속적인 모니터링 등 추가적인 연구가 필요할 것이다.

사 사

본 연구는 환경부 국립생태원의 연구과제 생태계 기후변화 리스크 평가 및 적응대책 연구 (NIE-기반연구-2018-11)의 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Angilletta MJ. 2009. Thermal adaptation: a theoretical and empirical synthesis. Oxford University Press, London.
- Boo KO, Kwon WT, Baek HJ. 2006. Change of extreme events of temperature and precipitation over Korea using regional projection of future climate change. *Geophys. Res. Lett.* 33: L01701, doi: 10.1029/2005gl023378.
- Cho HJ, Kim DH, Kang TH, Kim IK, Lee JW. 2013. Basic Research on the Habitat Characteristics of Endangered Species *Pteromys volans*. *Korean J. Environ. Ecol* 27(5):544-549.
- Cossins A. 2012. Temperature biology of animals. Springer Science & Business Media. London.
- Dawson TP, Jackson ST, House JI, Prentice IC, Mace GM. 2011. Beyond predictions: biodiversity conservation in a changing climate. *Science* 332(6025):53-58.
- Ghalambor CK, Huey RB, Martin PR, Tewksbury JJ, Wang G. 2006. Are mountain passes higher in the tropics? *Janzens hypothesis revisited. Integr. Comp. Biol.* 46:5-17.
- Hanski IK, Stevens PC, Ihalempiä P, Selonen V. 2000. Home-range size, movements, and nest-site use in the Siberian flying squirrel, *Pteromys volans*. *J. Mammal* 81(3):798-809.
- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol* 25:1965-1978.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2013. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, London.
- Janzen DH. 1967. Why mountain passes are higher in the tropics. *Amer. Nat* 101(919):233-249.
- Jeon SW, Kim J, Jung H, Lee WK, Kim JS. 2014. Species Distribution Modeling of Endangered Mammals for Ecosystem Services Valuation-Focused on National Ecosystem Survey Data. *J. Kor. Soc. Env. Res. Tech* 17(1):111-122.
- Kim CH, Kang JH, Lee YK, Kim DW, Suh JH, Kim MJ. 2010. Distribution of the endangered birds species in South Korea. *Kor. J. Orni* 17:67-137.
- Kim CH, Kang JH, Kim M. 2013a. Status and Development of National Ecosystem Survey in Korea. *J. Environ. Impact Assess* 22(6):725-738. (in Korean with English abstract)
- Kim IK, Cho HJ, Han SW, Shin YU, Lee JW, Paek WK, Jin SD, Paik IH. 2013b. Study on the Grading Method of Baekdudaegan in South Korea by the Avifauna. *J. Asia-Pac Biod* 6(3):375-381.
- Kim WY, Choi WS, Park JC, Sung HC. 2016. Longitudinal Survey of *Strix aluco* During Breeding Season and Their Habitat in Korea - The First Reported Case Study. *Kor. Soc. Environ. Ecol* 30(6):1067-1072.
- Landis WG, Durda JL, Brooks ML, Chapman PM, Menzie CA, Stahl RG, Stauber JL. 2013. Ecological risk assessment in the context of global climate change. *Environ. tox. chem* 32(1):79-92.
- Lee WS, Goo TH, Park JY. 2000. A field guide to the birds of Korea. LG Evergreen Foundation.
- National Institute for Environmental Research. 2013. The second and third national ecosystem survey: 1997-2012.

- National Institute of Environmental Research, Incheon.
- Pereira HM, Leadley PW, Proença V, Alkemade R, Scharlemann JP, Fernandez-Manjarrés JF, Chini L. 2010. Scenarios for global biodiversity in the 21st century. *Science* 330(6010):1496-1501.
- Preston KL, Rotenberry JT, Redak RA, Allen MF. 2008. Habitat shifts of endangered species under altered climate conditions: importance of biotic interactions. *Glob. Chang. Biol* 14(11):2501-2515.
- Reed D. H, Frankham R. 2003. Correlation between fitness and genetic diversity. *Conserv. Biol* 17(1):230-237.
- Sheldon KS, Yang S, Tewksbury JJ. 2011. Climate change and community disassembly: impacts of warming on tropical and temperate montane community structure. *Ecol. Lett* 14(12):1191-1200.