

全球气候变化对野生动物的影响

彭少麟, 李勤奋, 任 海

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

摘要: 人类活动所引起的温室气体增加以及由此造成的全球气候变化和对全球生态环境的影响正越来越引起人们的关注。在全球气候变化对野生动物影响的研究中发现, 随着全球气温变暖, 野生动物的分布区整体上向北移, 物候期提前, 动物的繁殖及其种群大小, 不同的种类做出不同的响应, 有的受益于全球变暖, 繁殖增加, 成活率高, 种群壮大; 有的受制于这一变化, 种群逐渐缩小甚至面临灭绝的威胁。总的来看, 全球气候变暖将使更多的野生动物无所适从。因此, 加强对气候变化在不同层面对野生动物影响机制的研究, 调整野生动物保护措施, 对野生动物及其生境的保护, 维持生态系统多样性将显得十分重要。

关键词: 全球气候变化; 野生动物; 影响

Impact of Climate Change on Wildlife

PENG Shao-lin, LI Qin-fen, REN Hai (South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(7): 1153~1159.

Abstract: There is little doubt that the global climate is experiencing exceptional changes. The rate of warming during the 20th century was the greatest in the last 1000 years, with the 1990s being the warmest decade. And there is already clear evidence to show that wildlife from poles to tropics is being affected by climate change. In this approach the habitat, population distribution range, phenology and reproductive behavior of wildlife were mainly considered. First, the habitats in different region changed in different ways response to the warmer climate. For most species the habitat became less suitable with the uneven precipitation in tropical region, higher temperature in polar region, drying in wetland and the upgrade of the sea level. On the other hand, extreme climate events, which take great effect on wildlife, incline with the increasing temperature. An exception is the temperate region in which the wildlife benefits from the warmer climate with the expectation of a larger suitable range to accommodate. Answering to the changing climate and habitat, the population of wildlife dynamics on size and distribution aspects, as a whole the distribution range shift northward in latitude and upgrade in altitude. For the species live or spend crucial period of life history in sensitive region, such as Arctic, Antarctic, wetland, marine and coastal areas, the disappearing habitat means a smaller size population in the end can maintain. Second, long-term datasets indicate that climate change have impacted inside mechanism of wildlife. Biological events, for example, reproductivity were detected changed. The results varied from species to species. Some species, e. g. the Caribou, may benefit from climate warming, with the northern latitudes and more vegetation to use. Wherever, it is also predicted that some species may inevitably suffer from extinction even if the environment can support a larger population owing to the inside mechanism can not adapt to the changing environment. Third, the frequent dynamics of populations result in frequent dissolution and reform of communities. The relationships between the members become slack. However, research work on large

基金项目: 国家自然科学基金重大资助项目(39899370); 广东省自然科学基金重大资助项目(980952); 广东省自然科学基金团队资助项目(003031)

收稿日期: 2002-04-28

作者简介: 彭少麟(1956~), 男, 广东潮阳人, 博士, 研究员。从事生态学研究。E-mail: slpeng@scib.ac.cn

scale, such as community and ecosystem, were weak. Ecosystems are characterized by inherently complex relationships and feedbacks, which are further complicated when climate change scenarios are superimposed. Furthermore, the future management of wildlife, ecosystems, protected sites and reserves, and the formulation of associated policies, requires the development of a predictive capability which can deliver scenarios for change. Therefore, conservationists and environmental planners must be careful when making decisions about wildlife management in the context of global climate conditions.

Key words: climate change; wildlife; impact

文章编号:1000-0933(2002)07-1153-07 中图分类号:Q958 文献标识码:A

全球气候已发生变化是毫无疑问的^[1]。现在全球的平均气温为 14.3℃,相对于一个世纪以前升高了 0.6℃,并且近 10a 是自有记载以来最热的一个时期^[2]。这主要是由于人类的活动而使大气 CO₂ 浓度增加所致。据大量的证据表明,20 世纪 90 年代初大气 CO₂ 浓度为 350μmol/mol,比工业革命前增加 70μmol/mol。而且许多科学家坚信,大气 CO₂ 浓度还将继续增加。如以目前的 CO₂ 排放率进行计算,到本世纪中后期,其浓度将是现在的 2 倍^[3~5]。因此可以肯定,在未来的一个世纪全球气候还将继续变化^[6]。

目前大量的气候模型被应用到对未来气候变化的预测上^[5],不同的模型预测的结果不尽相同^[6],但预测的总体趋势是一致的^[7]。将现有的对未来 100a 有关气候变化的预测结果归纳如下:(1)全球平均气温将上升 1.5~4.5℃,高纬度地区温度上升幅度大于低纬度地区^[6],全球气候带将向极地方向发生一定程度的位移;(2)最低温度的增加幅度比最高温度的增幅大,冬季增温比夏季增温明显,春季转暖时间提前而秋季变冷时间推迟;(3)全球降雨量总体上增加,但降雨的分布格局将发生改变,降雨量可能因不同的地区和不同的季节而有很大的区别^[6];(4)由于蒸散作用所损失的水分远大于降雨增加的量,因此中纬度内陆地区的夏季干旱将明显增加;(5)极端气候事件出现的频率与强度增加,并且在不同的纬度或地区出现的频率可能不同^[1,7]。

野生动物是生态系统的重要成员,其种群的兴衰会影响到其生存的生态系统的稳定性。全球气候变化的地域之广阔,影响之深远已使野生动物受到很大的冲击,从极地到赤道热带、从海洋到内陆,到处都显示着变化的迹象。这些变化已引起许多科学家的关注,并对其进行了广泛的研究,针对不同地区的气候与物种变化也提出了许多模拟模型并应用于实践的预测当中。

1 全球气候变化对野生动物生境的影响

生境是生物生活的空间及其全部生态因子的总和。包括光照、温度、水分、空气等非生物因子和食物、天敌等生物因子,各生态因子相互关联、相互影响,共同对生物产生影响。这些生态因子的作用并不是等同的,在不同条件下其重要性不同;并且各种因子随着时间、空间条件的变化,因子的作用方式也可能发生改变。全球气候变暖直接的后果是温度升高^[2],但由于不同地带温度升高的不平衡性,及其连带的其它气候因子相应的改变,加上这些地带本身环境的差异,温度的升高对这些不同地带的野生动物生境产生不同的影响结果。

1.1 极地

地球的南北极,因为对全球气候变化极为敏感而被称为“早期报警系统”^[8]。已有模拟结果显示,极地是受气候影响最显著的区域^[9,10],并且北极地区的植被受的影响更大。有资料表明,在过去的 30a 中,全球气温升高 0.3℃,北极温度上升 2℃。通过 HadCM2Gsa1 模型预测,到 2070~2090 年,大气 CO₂ 倍增时,全球气温将升高 1.7℃,而北极将升高 4℃,也有模型预测将上升 7℃^[11]。冻原是极地的地带性植被类型,随着全球气温的升高,其分布区整体向北转移。但在北半球,由于北冰洋的阻挡,冻原的北界延伸受到很大限制,而南界则会大幅度向北转移。这就预示着,将有大面积的冻原在气候变暖过程中消失。HadCM2Gsa1 的预测结果是,CO₂ 倍增时,40%~57%的冻原将消失,被其南部的森林代替^[11]。

由于北极受人类直接干扰少,由气候变化引起的生境变化比较容易与其它因素区分;另外,对于生物量变化在时间序列数据对比研究也比较容易进行。因此,北极被认为是研究气候变化对野生动物影响的一个理想区域。极地温度升高的另一显著效应是植物生长期延长,生物量增加,野生动物的食物增加^[12]。

1.2 热带 与北极相比,对热带的气候预测有很大的不确定性。模拟结果表明,热带及副热带地区的气温上升比高纬度地区要缓慢,到目前为止还未出现很显著的变化。整体上降雨将增加,但部分地区降雨将减少。气候变化对山地的影响比较明显,云雾林中雾出现的频率会降低,云雾林面积将减少,当云的形成区转移到山顶之上时,这些云雾林也就面临着消失^[13]。大风与龙卷风出现的频率与强度在部分地区会增加。因此在今后的时间里,湿润的地区会变得更加湿润,干旱的地区将更加干旱。

热带与副热带地区的许多岛屿,在全球气候变化中受到很大的威胁。海平面的上升,使海岛淡水资源受到污染,从而迅速地影响到海岛植被,使原有的海岛生境受到破坏。

在对热带生态系统的生物多样性的研究中发现,1年生作物随着气温升高,成熟加快,但在富 CO_2 条件下,热带作物表现出的长势却不如温带^[14]。因此逐渐升高的 CO_2 浓度以及由此引起的气温升高对热带某些植物可能产生负面影响,使生产力下降,生活于其中的某些野生动物的食物来源将受到影响。

在热带,由于很难分清是气候、土地利用结构还是其它因素引起的生态环境的变化,极大地限制了在区域尺度上对气候引起的微小变化的研究。

1.3 温带 气候变化对野生动物的影响并非总是消极的。在温带地区,随着气温的升高,植物生长期将延长^[15], CO_2 浓度的升高使植物的光合作用速率加快,这将增加生物量的积累^[16];同时温带植被向北扩展,这三项综合起来会在一定范围内对野生动物的承载力有很大改观。但温带的内陆地区可能没那么乐观,主要是由于内陆降雨减少,草原会更加干旱,面积不断扩大,有部分草原将趋向于荒漠化。

1.4 沿海与海岸带 在上个世纪,全球海面温度尽管比大气温度上升缓慢,但还是明显升高,期间海平面上升了18cm。这一变化主要发生在过去的40~50a中。在气候变化过程中,海面的变化是相当复杂的,目前对这些变化还不是很了解。除气温升高与海平面上升带来的直接影响外,海洋环流、极端气候事件的强度与分布、以及更为复杂的海洋环境的物理与化学变化都会发生。目前,最显著的例子就是海水变暖而使珊瑚白化的现象^[17]。

海洋环流关系到一些动物的食物来源及幼体传播。海面下的水体流动同样起着很重要的作用,例如将含氧高的水送入深海,并将营养丰富水转入上层以供分布在上层的动物利用。温度的升高可能会加强海水的分层现象,削弱海面水的混合力度,从而切断生活在海底的生物的营养供给^[18~20]。一些气候模型已用于对海岸及海水流通体系可能引起的复杂变化进行探讨,尽管目前证据还不确凿,人们普遍认为近10a来El Niño现象与人类活动引起的气候变化有关。

全球变暖使海平面上升,并通过3个途径影响到海岸带:淹没海岸地,使淡水盐渍化,加剧对海岸线的侵蚀。

1.5 湿地 湿地主要受高温与降雨量变化的影响。在内陆地区,随着温度的升高,湿地将大面积缩小^[21,22]。对海岸湿地,海平面的上升会增加其被淹没的频率与深度,从而改变其生态学过程,给湿地生态系统造成很大的威胁。在多数地区,通常由于近海岸筑有防御工事,限制了海岸湿地植被相应地向陆地方向的移动,从而随着海平面的上升,这类生境逐渐缩小。

2 对野生动物分布的影响

当温度和降水格局发生变化时物种的分布会随之发生变化,因为物种总是倾向于分布在气候条件最适宜的区域^[23]。但是到目前,气候变化对野生动物分布影响的精确生物学机制还没有搞清,现在只是通过多年的观察结果,结合气候模型来初步揭示其变化规律^[24]。气候变化对野生动物分布的影响,除了温度升高而使其受到直接的温度胁迫外,大多数都是由温度升高引起其它环境因子改变,而使其重新分布^[23]。

2.1 温度的直接影响 温度是影响地球物种最关键的因子之一。特定的物种分布在特定的温度带内。这样,全球气温的升高也必然影响到物种的分布。对移动能力不同的动物,全球气候变化对其分布的影响结果不同^[6]。移动能力较强的动物,随着气温的升高,分布区向北移动^[20],当温度变化在其忍受范围之内时,其分布范围因其分布边界的移动而扩大。例如在不列颠岛上一种蛱蝶(*Ladoga camilla*)和弧蝶(*Polygonia calbum*)在1950~1980年间,气温升高了大约0.5℃,它们的分布区极大地扩展了^[6]。移动性差的物种,温度的升高对其种群构成直接的胁迫,使其种群变小,分布范围缩小。

2.2 对湿度的影响 由气候变化引起的降雨格局的改变,使部分地区变得更加干旱,加上温度升高蒸散作用加强,使大气及土壤湿度降低,尤其是湿地生态系统,从而使栖居于其中的野生动物不得不改变其处境,转移到适合的生境中去^[25]。对 Brazil 的洪泛森林(flooded forest)和 Pantanal 的长期监测表明,在全球急剧变暖的近几十年,这两个湿地生态系统大面积缩小,其中的野生动物分布区也随着缩小,有的甚至已消失。

2.3 通过对植被的影响 植被是野生动物赖以生存的场所,也是野生动物的食物来源。气候变化引起植被分布的改变,相应地也会引起生存于其中的动物分布的改变^[26]。

2.4 通过对种群大小的影响 在一定范围内,动物的分布范围与种群大小有很大的关系。当生境的变幅在其忍受范围之内时,种群的大小与分布范围呈正相关。对那些受益于全球气候变化的动物种群,其分布范围会随着种群的壮大而扩展。例如近年来频繁的极端气候事件,尤其是干旱,常会引起一些昆虫的大暴发,从分布中心向更大范围扩展。

另外,全球气候变化也会通过作用于野生动物的食物链锁关系而影响其种群的分布。北美以云杉蚜虫为食的鸣鸟(warbblers)随着蚜虫的分布区向北扩展也作相应的迁移。在过去的 24a 中,云杉蚜虫的两种主要捕食者(Cape May 和 Baybreasted Warblers)的分布区已明显地向北移动。模型预测显示,在未来的气候变化趋势下,这些捕食者将要从北纬 50°以下的低纬度地区消失^[27]。

3 全球气候变化对野生动物物候的影响

物候是生物长期生活于特定生境,经过适应,其发育节律与自然周期相协调的现象。特定生境中的生物,其生活史与其生境的自然节律相协调,譬如鸟类的产卵、昆虫的孵化、迁徙动物的第一次出现、植物的开花等现象出现的时间与大气温度、降水、土壤温湿度、光照等因子有关。但不同的物种对这些因子的敏感程度不同,这些因子的长期改变也常会引起其物候的变化,最终影响到繁殖力、竞争力以及物种间的相互作用。

在全球气候变化中,温度升高使野生动物的物候发生改变^[28,29],最主要的是各物候期提前。英国的 Sparks 分析了 23 a 的蝴蝶与气候的观察数据发现,几乎所有的蝴蝶种类随着气温升高,羽化时间提前^[30]。Rochamsted Zusect Survey 对蛾类的调查得出了相似的结果。对候鸟及两栖动物的观察研究也表明,其迁徙与产卵时间随着气候的变暖而提前^[30]。但不同的物种对气候变化的反应存在着差异,同一种动物由于分布空间不同,且各年度间气候变化不同,其物候变化也存在着空间与时间上的差异。气候变化引起的这些物候的变化,最终对种群动态及群落结构产生什么样的影响,现在还有待于进一步研究。

4 对野生动物繁殖的影响

动物的繁殖期是对气候最敏感的时期,微小的气候变化都有可能影响到其繁殖的成功率。如前所述,全球气候变化已使野生动物生境的生物因子和非生物因子都受到不同程度的影响,生存于其中的野生动物的繁殖也受到了影响^[29,31,32]。这种影响可能是正向的也可能是负面的,关键看动物繁殖的限制因子在全球气候变化中的变化方向。当限制因子变得对动物有利时,其繁殖的机会增加,繁殖后代的成功率也会增加,种群逐渐壮大;反之,动物的繁殖会进一步受限制,繁殖后代的成功率减小。加拿大北疆的阿拉斯加是北美驯鹿(*Rangifer tarandus tranti*)的繁殖地,气候变暖使该地区牧草返青提前枯黄延迟,可利用牧草生物量增加,驯鹿的膘情转好,受孕期与产期提前,加上哺乳期大量而鲜嫩的牧草供应,幼鹿的成活率提高。有报道说,气候变化对野生动物繁殖生境的改变也会影响到其繁殖欲望,进而影响到种群的繁殖速率^[33]。如北极的野鸭,在干旱年份筑巢的欲望明显降低,从而使其繁殖率降低^[11]。

有关全球气候变化对野生动物繁殖影响的生理机制的探讨还比较少,但有证据表明,气候变化已在这个层面上影响了野生动物的繁殖。如加里福尼亚海滨繁殖的海鸟的繁殖能力与对雏鸟的抚育能力随着全球的变暖而降低^[34]。北美云杉蚜虫产卵量随着温度升高而增加,当温度由 15℃ 上升到 25℃ 时,其产卵量将增加 50%^[27]。

繁殖成功率是生物在特定生境中生存与繁殖能力综合作用的结果。从以上可以看出,气候变化在对野生动物繁殖的影响中起着双重作用,一方面是对动物本身繁殖力的影响,另一方面影响其后代的成活率。当气候变化

还在成年动物忍受范围之内,还没有对成体构成显著影响的时候,可能对幼体来说就已达到致命的强度,使其成活率降低。有关这方面的研究报道较少,这一结果只是基于对动物繁殖研究的基础上的一种推测。

5 对种群大小的影响

种群变动由出生与迁入和死亡与迁出两组数据决定。影响出生、死亡和迁移率的一切因素都同时影响种群的数量动态。气候变化主要是通过影响动物的生境及其繁殖率来进一步影响这几个变量,最后影响到其种群的波动。

随着全球气候的变暖,地带性植被类型的分布边界将向北移动,并伴随着一定面积的扩张,这就为野生动物生存提供了很大的空间,使其种群个体数量增加。但在极地完成生活史或在极地进行繁殖的动物,极地面积的缩小会给这些动物带来很大的冲击。据估计,北极冻原现有 840~1040 万的鹅在这里繁殖。由于泰加林及北部森林(boreal forest)向冻原的转移,到 2070~2099 年其数量将缩减一半^[10]。生活在其它特定生境中(如湿地、云雾林、南极冰川等)的动物,生境的改变对其构成的影响更深刻。对哥斯达尼加云雾林保护区的研究发现,动物种群的数量随着湿度的变化而变化。最明显的是在 1987 年的高温、干旱时期,对 30km² 面积的 50 种青蛙和蟾蜍的调查中发现已有 20 种消失^[35]。气候变化对不同种类的野生动物影响不同。一些种可能会通过增加种群密度来抵消其生境的缩小给种群大小带来的影响。但总的影响趋势是一致的,既生境的缩小会伴随着种群的缩小。多种模型预测得出相同的结论。但在研究广布种时遇到一个很棘手的问题是,在其分布区的某一地段进行调查时,很难确定该地段数量的波动是由于气候变化驱动下动物的重新分布造成还是种群个体数量发生变化的结果。

尽管有关气候变化对种群大小影响的精确机制还没有形成定论,但许多科学家经过多年的观察研究得出,极端气候事件是种群数量波动的一个很重要的驱动力^[23]。并且,作为全球气候变暖对物种的极端影响,物种的灭绝的可能性及速度将远高于以往,其原因是:①下一世纪全球变暖的速度是过去 10 万年中速度最快的,有些物种由于只在对气候变化的适应方面具有很强的保守性,即其对气候变化耐性的适应速率,远远慢于气候变化速率而使其面对迅速变化的气候而灭绝;②气候变化引起的种集变化,使得物种将面对外来种的压力,竞争力弱的物种很可能灭绝;③当物种适应气温升高而向高纬度与高海拔退缩时,种群随分布面积缩小而变的越来越小,它面对的环境及遗传的选择压力越大,易于灭绝^[6]。在对美国加州 Sierra Nera da 山地蝴蝶 20a 的研究中发现,是 3 次极端气候事件将其整个种群推向灭绝之路。1989 年冬季降雪少,蝴蝶在第二年春季出现的时间比往年提前,由于这时植物还未开花,多数因饥饿而死。时隔 1 年,同样的冬季少雪与春季的温暖,却遭到 5 月的一次罕见的暴风雪的袭击,造成大批死亡。1992 年 6 月 16 日, -5℃ 的反常温度,97% 的植物被冻死,尽管蝴蝶因进入蛹期而未受到直接的伤害,但多数却因找不到寄主而死亡^[23]。陈旭等根据显生宙各地质时期全球气候敏感沉积物和生物地理单元数据库发现,显生宙 5 次最大的生物集群绝灭事件中,古生代的 3 次与全球气候变化有着密切的联系^[36]。并非极端气候事件都会造成种群的缩小,也有许多种得益于这种气候的变化以及由此引起的植被和天敌种群的变化,而使种群快速扩张甚至发生种群暴发。随着全球变暖以及全球变化在未来时间里的延续,极端气候事件发生的频率会增加^[1],野生动物种群带来的影响将更强烈、更深远。

6 对野生动物群落组成与结构的影响

全球气候变化对野生动物种群分布与大小的影响,不可避免地影响到动物群落的组成与结构。譬如全球气温升高影响到海洋环流,使海洋生物的营养供给发生变化,进而影响到海洋生产力,并通过食物链最终影响到海洋动物群落结构^[8]。海鸟是这种变化系列中的一个很好的指示种。在 1949~1993 年间,加里福尼亚海水表层 200m 的浮游动物生物量降低近 70%,这意味着海鸟将不得不深入到更深的水层去寻找食物。从 1987 年开始对加里福尼亚南部 70500km 面积 159000 种海鸟进行的调查中发现,随着海平面及海水温度的上升,海鸟的丰富度降低,仅在 1987~1994 年间其数量下降 40%^[34]。

除了种群丰富度发生变化外,海鸟的群落组成也受到了影响。将 1987~1990 与 1995~1998 年间对加里福尼亚南部的数据对比发现,分别以不同种类的鸟为优势种的 4 个群落中有 3 个群落的组成发生了变化。在所设的 8 个对比中(4 个季节,2 个区域)有 5 个的群落组成与优势种发生变化。海岸优

势种(Sooty Shearwaters)及喜冷水种(Cassin's and Rhinoceros auklets)减少,而喜温水种(Black-petrel)却增加。并且在气候变暖过程中,喜温水种经常出现短期的爆发现象^[34]。

动物群落随着气候的变化其各组成种类之间的关系淡化。它们常因撤离其原有的生境而使旧的群落解体,并通过开拓新的领域而又重建新的群落。因此,在全球气候变化过程中旧群落的解体与新群落的形成过程将显得十分活跃。

7 结语

全球气候变化对野生动物的影响已引起各国科学家的关注,并从不同角度(如生境、分布、繁殖、种群大小和群落结构等)开展了广泛的研究。根据目前的研究情况,今后应从以下几方面加强对全球气候变化对野生动物影响的研究:

(1)模型的研究 尽管已经提出很多模型并应用到实际的预测当中,但在全球更广泛的区域以及对一些特殊生境的研究还很欠缺。这就要求投入更多的精力,选择尽可能反映自然真实情况的参数,设计实用于不同尺度的模型;进一步完善那些不太精确的气候模型,对现有模型扬长避短,发挥各自的优势。

(2)对野生动物生物学机制的研究 目前对野生动物如何从内部机制响应于全球气候变化的研究还基本是空白,然而只有摸清其生物学机制才能从根本上解释其生活史、种群、群落及其在生态系统中的变化状况,并作出相应的对策。

(3)生态系统 气候变化可能对—个物种有利,而不利于另一个物种,各个物种之间通过这种复杂的相互作用网,在更大的生态系统中,气候变化对野生动物最终的影响可能减弱也可能加强,动物在生态系统中的服务功能究竟如何变化也无从可知。因此,今后要加强在大的生态系统层面对野生动物变化的研究,评价其在生态系统中的功能,避免孤立地看待这些问题。

(4)保护机制 在传统的野生动物保护中,是通过将野生动物的分布中心进行围封,尽量避免负面的人为干扰以维护物种与生境的现状。在全球气候变化中,随着气候带的移动植物及动物种群也将进行迁移。这种定点的小范围的围封使动植物群落的迁移受到阻挡,很难随气候变化而作相应的调整;并且未来快速的气候变化将使部分陆地生态系统来不及达到气候条件的平衡状态,一些物种的更新和迁移速率将跟不上气候变化的步伐,加之现代陆地生态系统的“破碎化”,生态系统将处于各种各样的过度类型状态,它们将是不稳定的和脆弱的,野生动物的消失随之加剧。因此在未来的野生动物保护中,要将全球气候变化的思想溶入到野生动物保护机制中,要从长远角度来维护野生动物及其生境,以达到对生物多样性的保护。

参考文献

- [1] Yu L G (于连根) & Xu S Z (徐霜芝). Possible Ecological Effects of Global Warming. *Science and Technology Bulletin*(in Chinese)(科技通报), 1997, **13**: 75~80.
- [2] Mike H. Defining future climates-from scenarios to risk assessments. *Impacts of Climate Change on Wildlife*. Department of Zoology, University of Cambridge, Downing Street, Cambridge CB2 3EJ, UK, 2001. 8~9.
- [3] Peng S L (彭少麟). Global change and sustainability development. *Chinese Journal of Ecology*(in Chinese)(生态学杂志), 1998, **17**(2): 32~37.
- [4] Peng S L (彭少麟). Global change and its effect. *Ecology Science*(in Chinese)(生态科学), 1997, **16**(2): 1~7.
- [5] Easterling D R, et al. Maximum and minimum temperature trends for the globe. *Science*, 1997, **277**: 364~367.
- [6] Wu B H (吴榜华), Meng Q F (孟庆繁), Zhao Y G (赵元根), et al. Global climate change and biodiversity. *Journal of Jilin Forestry University*(in Chinese)(吉林林学院学报), 1997, **13**(3): 142~146.
- [7] Liu G H (刘国华), Fu B J (傅伯杰). Effect of global change on forest ecology system. *Journal of Natural Resources* (in Chinese)(自然资源学报), 2001, **16**(1): 71~77.
- [8] Wang Z P (王自磐). Marine biological processes in polar region and global climate change. *Donghai Marine Science*(in Chinese)(东海海洋), 1997, **15**(3): 29~36.
- [9] David A, Peter W and William R F. Effects of climate change on Antarctic sea ice and penguins. Edited by Green E R, Harley M, Spalding M and Zockler C. *Impacts of Climate Change on Wildlife*. RSPB, UK, 2001. 26~27.
- [10] Cristopher Zockler. Climate change in polar regions. Edited by Green E R, Harley M, Spalding M and Zockler C. *Impact of Climate Change on Wildlife*. RSPB, UK, 2001. 16.

- [11] Christoph Z and Igor L. Waterbirds on the edge: climate change impact on Arctic breeding waterbirds. Edited by Green E R, Harley M, Spalding M and Zockler C. *Impacts of Climate Change on Wildlife*. RSPB, UK, 2001. 20~25.
- [12] Brad G, David C D, Donald E R, *et al.* Effects of recent climate warming on Caribou habitat and calf survival. Edited by Green E R, Harley M, Spalding M and Zockler C. *Impacts of Climate Change on Wildlife*. RSPB, UK, 2001. 17~19.
- [13] Still C J, Foster P N and Schneider S H. Simulating the effects of climate change on tropical montane cloud forests. *Nature*, 1999, **398**:608~610.
- [14] Mark S, Stephen G and Christoph Z. Changes in tropical regions. Edited by Green E R, Harley M, Spalding M and Zockler C. *Impacts of Climate Change on Wildlife*. RSPB, UK, 2001. 28~29.
- [15] Menzel A and Fabian P. Growing season extended in Europe. *Nature*, 1999, **397**:659.
- [16] Keeling C D, Chin F J S and Whorf T P. Increased activity of northern vegetation inferred from atmospheric CO₂. *Nature*, 1996, **382**:146~149.
- [17] Kleypas J A, Buddemeier R W, Archer D, *et al.* Geochemical consequences of increased atmospheric carbon dioxide on coral reefs. *Science*, 1999, **284**:118~120.
- [18] Roemmich D and McGowan J A. Climate warming and the decline of zooplankton in the California Current. *Science*, 1995, **267**:1324~1326.
- [19] Smith R C, Ainley D, Baker K, *et al.* Marine Ecosystem Sensitivity to Climate Change. *BioScience*, 1999, **49**:393~404.
- [20] Veit R R, McGowan J A, Ainley D G, *et al.* Apex marine predator declines 90% in association with changing oceanic climate. *Global Change Biology*, 1997, **3**:23~28.
- [21] Larson D L. Effects of climate on numbers of northern prairie wetlands. *Climatic Change*, 1995, **30**:169~180.
- [22] Poeani K A and Johnson C W. Potential effects of climate change on a semi-permanent prairie wetland. *Climate Change*, 1993, **24**:213~232.
- [23] Parmesan C. Climate and species' range. *Nature*, 1996, **382**:765~766.
- [24] Parmesan C. Climate change and butterflies; introduction. Edited by Green E R, Harley M, Spalding M and Zockler C. *Impacts of Climate Change on Wildlife*. RSPB, UK, 2001. 11~12.
- [25] Parmesan D, Ryrholm N, Stefanescu C, *et al.* Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature*, 1999, **399**:579~583.
- [26] Masters G J, Brown V K, Clarke I P, *et al.* Direct and indirect effects of climate change on insect herbivores: Auchenorrhyncha (Homoptera). *Ecological Entomology*, 1998, **23**:45~52.
- [27] Jeff P. Climate change, warblers and spruce budworms. Edited by Green E R, Harley M, Spalding M and Zockler C. *Impacts of Climate Change on Wildlife*. RSPB, UK, 2001. 60~63.
- [28] Crick H Q P, Dudley C, Glue D E, *et al.* UK birds are laying eggs earlier. *Nature*, 1997, **388**:526.
- [29] Forchhamer M C, Post E and Srenseth N C. Breeding phenology and climate. *Nature*, 1998, **391**:29~30.
- [30] Sparks T, Humphrey C, Lan W, *et al.* Climate change and phenology in the United Kingdom. Edited by Green E R, Harley M, Spalding M and Zockler C. *Impacts of Climate Change on Wildlife*. RSPB, UK, 2001. 53~55.
- [31] Crick H Q P and Sparks T H. Climate change related to egg-laying trends. *Nature*, 1999, **399**:423~424.
- [32] Sorenson L G, Golberg R, Root T L, *et al.* Potential effects of global warming on waterfowl populations breeding in the Northern Great Plains. *Climate Change*, 1998, **40**:343~369.
- [33] Sorenson L G, Richard G, Michael G A, *et al.* Potential impacts of global warming on pothole wetlands and waterfowl. Edited by Green E R, Harley M, Spalding M and Zockler C. *Impacts of Climate Change on Wildlife*. RSPB, UK, 2001. 64~66.
- [34] Richard R V and K David Hyrenbach. Changes in seabird communities of the California Current, 1987-1999. Edited by Green E R, Harley M, Spalding M and Zockler C. *Impacts of Climate Change on Wildlife*. RSPB, UK, 2001. 34~37.
- [35] J Alan Pounds. Impacts of climate change on birds, amphibians and reptiles in a tropical montane cloud forest reserve. Edited by Green E R, Harley M, Spalding M and Zockler C. *Impacts of Climate Change on Wildlife*. RSPB, UK, 2001. 30~31.
- [36] Chen X(陈旭), Boucot A J, Ruan Y P(阮亦萍), *et al.* Correlation between geologically marked climatic changes and extinctions. *Earth Science Frontiers*(in Chinese)(地学前缘)1997, **4**(3~4): 123~128.