

中国生物多样性适应气候变化策略研究*

何霄嘉¹ 张于光² 张九天¹ 李迪强²

(1 中国 21 世纪议程管理中心 北京 100038 2 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所 国家林业局森林生态重点实验室 北京 100091)

摘要 全球气候变化不仅给人类社会可持续发展带来严峻挑战,而且严重威胁到生物多样性及生态安全。我国是生物多样性最为丰富的国家之一,气候变化已经在对动物分布、行为和迁移,植物物候、植被和群落结构等方面造成了影响,并增加了珍稀濒危物种的灭绝风险,同时对生态系统的功能方面也造成了明显影响。未来气候变化将成为生物多样性丧失的主要驱动力之一。世界很多国家都在制定生物多样性适应气候变化的策略和采取适应行动,加强生物多样性的保护。本文在分析国外适应策略的基础上,结合中国生物多样性的现状,提出了适应气候变化的策略建议,包括制定生物多样性适应气候变化的国家战略,开展气候变化对生物多样性的影响监测和评估,针对敏感物种的就地保护和迁地保护,针对气候变化将导致退化生态系统开展恢复与重建,重点关注生物多样性适应气候变化优先区的保护,通过科学研究和国际合作,促进生物多样性适应气候变化技术的提高,期望为我国生物多样性保护和应对气候变化提供支持。

关键词 生物多样性;气候变化;适应策略

中图分类号 Q143 X176 文献标识码 A 文章编号 1673-6273(2012)20-3966-04

Study on Strategies of How Biodiversity Adapt to Climate Change in China*

HE Xiao-jia¹, ZHANG Yu-guang², ZHANG Jiu-tian¹, LI Di-qiang²

(1 The Administrative Centre for China's Agenda 21, Beijing 100038, China;

2 Institute of Forestry Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

ABSTRACT : Global climate change is not only a serious challenge to the sustainable development of human society, but also a serious threat to biological diversity and ecological security. China is one of the countries with the richest biodiversity in the world. Climate change already has an impact on animals' distribution, behavior and migration, plants' phenology, vegetation and community structure, and increases the risk of extinction of rare and endangered species. At the same time, it also causes a significant effect on the degradation of ecosystem functions. In the future, climate change will become the main driving forces of biodiversity loss and one of the major threats to biodiversity. In order to strengthen the protection of biodiversity, many countries are in the development of biodiversity strategies and adaptation action to climate change. On the basis of the analysis of adaptation strategies abroad, and combined with the status of biodiversity, policy recommendations on adaptation to climate change have been put forward, which include developing a national strategy for biodiversity adaptation to climate change, strengthening monitoring and evaluation of the impact of climate change on biodiversity, strengthening *in situ* conservation and *ex situ* conservation of the species, strengthening rehabilitation and reconstruction of degraded ecosystems, enhancing biodiversity protection efforts to adapt to climate change priority areas, and strengthening scientific research and international cooperation and exchanges. All of the above suggestions may provide support for China's biodiversity conservation and addressing climate change.

Key words: Biodiversity; Climate change; Adaptation strategy

Chinese Library Classification(CLC): Q143, X176 **Document code**: A

Article ID:1673-6273(2012)20-3966-04

生物多样性是生物与环境形成的生态复合体以及与此相关的各种生态过程的总和,包括生态系统、物种和基因三个层次。生物多样性是人类赖以生存的条件,是经济社会可持续发展的基础,是生态安全和粮食安全的保障。我国是世界上生物多样性最为丰富的 12 个国家之一,由于受人类活动的影响,生物多样性受到严重威胁,而且大幅降低生物多样性丧失速度的

目标都没有实现。据估计,我国野生高等植物濒危比例达 15-20%,其中,裸子植物、兰科植物等高达 40%以上。野生动物濒危程度不断加剧,有 233 种脊椎动物面临灭绝,约 44%的野生动物呈数量下降趋势,非国家重点保护野生动物种群下降趋势明显^[1]。

全球气候变化已成为一个不争的事实,越来越多的证据表

* 基金项目 国家重点基础研究发展计划“应对气候变化科技成果集成与服务平台建设”(2010CB955905)

作者简介:何霄嘉(1982-),女,博士,助理研究员,主要研究方向:应对气候变化战略与科技管理 E-mail: hexiaojia@acca21.org.cn

(收稿日期:2012-02-23 接受日期:2012-03-18)

明,气温升高、降水格局变化及其他气候极端事件对生物多样性造成明显影响。全球气候变化背景下生物多样性的丧失不仅影响生态系统的结构、功能和稳定性,而且也将影响到生态系统为人类社会提供生态产品和服务的功能以及生态系统对气候变化的反馈调节功能^[2]。因此,气候变化不仅给人类社会可持续发展带来严峻挑战,而且严重威胁到生物多样性及生态安全。面对气候变化的不可逆性,生物多样性如何适应气候变化带来的不利影响,是《生物多样性公约》和《联合国气候变化框架公约》以及各国国内必须面对的问题,已经受到国际社会越来越强烈的关注,成为全球环境领域的研究热点和政治焦点之一。本研究试图通过气候变化对生物多样性的影响事实,在分析国外生物多样性适应气候变化策略的基础上,结合我国生物多样性保护的实际情况,研究我国生物多样性适应气候变化的策略,为我国生物多样性保护和适应气候变化提供依据。

1 气候变化对中国生物多样性的影响

明显的气候变化已经对物种及生态系统层面的生物多样性造成了不利影响,而更多的气候变化将不可避免的进一步改变生物多样性。与全球情况类似,气候变化对我国生物多样性产生了一定影响。气候变化对生物多样性的影响不仅表现在物种水平上,也扩展到了生态系统水平上,包括影响生态系统结构(例如:优势种、物种组成)和功能(例如:生产力、分解、养分循环)等。

1.1 气候变化对我国的动物分布、行为和迁移产生影响

已经观察到大量气候变化对动物分布、行为和迁移产生影响的案例。如与上世纪中期相比较,青海湖有豆雁(*Anser fabalis*)、灰头鹀(*Turdus rubrocanus*)、白头鹎(*Circus aeruginosus*)等26种鸟类从湖区消失,近20年来,气候变化使我国120种鸟分布范围改变,其中东洋界的88种,古北界的12种,广布鸟类20种^[3],绿孔雀(*Pavo muticus*)在历史上分布于湖南、湖北、四川、广东、广西和云南,由于气候变化和人类活动影响,目前仅分布在云南西部、中部和南部,华南梅花鹿(*Cervus nippon kopschi*)在20世纪30年代广泛分布在东部,由于人类活动和气候变化,目前分布范围极大减小^[4],青海省大杜鹃(*Cuculus canorus* Linnaeus)物候有提早趋势,绝鸣期均推迟,始、绝鸣期间隔日数延长^[5],气温上升,使郑州黄河湿地鸟类多样性呈上升趋势,部分东洋种鸟类分布区向北扩散到郑州黄河湿地^[6]。

1.2 气候变化引起植物物候、植被和群落结构等发生变化

已经观察到大量气候变化引起植物物候、植被和群落结构等发生变化的事实。1985~2005年气候变化使甘肃省玛曲县华灰早熟禾(*Poa attenuata* Trin)抽穗期、开花期、成熟期、黄枯期提前^[7],气候变暖使长白山岳桦-苔原过渡带中岳桦分布主要以幼苗和幼树为主,整个岳桦种群整体向上迁移,岳桦-苔原过渡带变宽,岳桦向苔原侵入程度加剧^[8],贺兰山东西两侧腾格里与毛乌素两大沙漠南缘带植被覆盖随降水与气温变化而随之变化^[9],黑龙江省1961-2003年间气候变化造成分布在大兴安岭的兴安落叶松及小兴安岭及东部山地的云杉(*Picea asperata* Mast.)、冷杉(*Abies* Mill)和红杉(*Sequoia* Endl.)等树种的可能分布范围和最适分布范围均发生了北移^[10]。

1.3 气候变化使生态系统结构和功能发生的变化

气候变化使生态系统结构和功能发生变化,导致脆弱的生态系统功能退化。从20世纪60年代以来,青藏高原江河源区草地和湿地区域性衰退,出现草甸演化为荒漠,高寒沼泽化草甸草场演变为高寒草原和高寒草甸化草场等现象^[11],青海省干旱半干旱区,气候变暖加剧牧草的生长发育受阻,产草量下降,同时,优良牧草在草场中的比例下降,杂类草的数量和比例上升,草场朝不良方向演替,呈现退化趋势;1971-2000年近30年来若尔盖湿地暖干化趋势明显,导致湿地的地表水资源减少,湿地面积大幅减少、沼泽旱化、湖泊萎缩,并且加速了草地退化和沙化,使生物多样性丧失,出现湿地环境逆向演变的趋势^[12]。

1.4 气候变化加剧有害生物危害 增加珍稀濒危物种灭绝风险

气候变化和人类活动的叠加,导致有害生物范围改变、危害加剧,也增加了珍稀濒危物种的灭绝风险。病虫害爆发的频率和面积都将伴随气温的升高而增加和北迁^[13],气温升高增加森林中的病虫害,例如油松毛虫已由原来的河北、山西和向内蒙古迁移,白蚁也由热带和亚热带扩展到北京、天津等温带地区^[13]。像非典型肺炎、禽流感等影响野生哺乳动物和人类生命的传染性疾病发生的频次和范围将伴随气候变化而增加^[14]。气候变暖使入侵植物加拿大一枝黄花入侵范围增加^[15]。气候变化,特别是极端气候事件的发生,加剧了珍稀濒危物种的灭绝风险,例如,西双版纳的傣族“龙山”在过去的30年中有55种物种灭绝^[2]。由于气候变化,新疆准噶尔盆地南缘的天然梭梭群落初萌植物幼苗大量夭亡、梭梭种群年龄结构普遍呈现衰退^[16]。

2 未来气候变化对中国生物多样性的影响

气候变化是威胁生物多样性的一个主要因素,预计到本世纪中期,变化的温度和降水将成为生物多样性丧失的主要驱动力^[17]。因此,未来气候变化将进一步对我国生物多样性产生更深刻影响,包括对生物物候、分布范围、种间关系、栖息地、生态系统、有害生物等都将产生影响^[17]。许多模型预测结果显示未来气候将促使北美和欧洲的许多植物、昆虫、鸟和哺乳动物向北或高处迁徙^[18-20]。在中国,鹅猴羚(柴达木盆地)、鹅猴羚(南疆亚种)、草原斑猫、蒙古野驴、石貂、野骆驼目前分布区东部、东北和南部一些区域范围将缩小,新适宜分布范围将向西面和西北方向扩展^[21]。已有很多模型用于预测各种气候变化情景对我国植被的影响^[22],结果表明我国的植被分布模式将发生改变,尤其是其原有的优势种可能灭绝或者被适应于新的气候条件的其它物种取代^[23],例如到本世纪末,东北的落叶松将消失^[24],红松、云杉和冷杉将彻底被阔叶树种替换^[23]。

未来的气候变化将使一些物种灭绝。未来气候变化将使一些物种分布范围极大缩小或破碎化,还将通过食物链对濒危物种造成间接影响,使物种脆弱性增加,进一步将导致物种灭绝风险增加。低气温变化情景下(温度升高0.8-1.7℃)下全球将有18%物种灭绝,中等变化情景(温度升高1.8-2.0℃)将有24%的物种灭绝,较高变化情景下(大于2.0℃)将有35%的物种灭绝^[25]。

3 中国生物多样性适应气候变化的策略建议

生物多样性适应气候变化是指生物多样性各要素应对气候变化影响的脆弱性所进行的各种调整过程、行为和措施及活动,包括自然适应和人为适应^[26]。面对气候变化对生物多样性

带来的不利影响越来越明显,世界各和相关组织越来越意识到制定适应策略和采取适应行动,已经越来越迫切。目前,已经在国家或区域层面等采取了一系列的生物多样性适应气候变化的策略,如芬兰、澳大利亚等国制定了生物多样性适应气候变化的国家战略,在自然保护区的保护和管理^[27,28]、物种的保护管理^[29]、生物多样性的监测和规划^[28,30]以及政策法律^[31]等方面都具有不同的适应策略。在分析国外适应策略的基础上,结合我国生物多样性保护的现状和需要,提出我国生物多样性适应气候变化的策略建议。

3.1 制定生物多样性适应气候变化的国家战略

《生物多样性公约》缔约国大会多次强调国家生物多样性适应战略,世界上很多国家已经制定了生物多样性适应气候变化的国家战略和规划,用于指导生物多样性应对气候变化,如荷兰制定了《生物多样性气候变化适应战略》,澳大利亚制定了《国家生物多样性和气候变化规划》等。我国也应尽快制定中国生物多样性适应气候变化的国家战略,从国家层面上指导生物多样性适应气候变化的工作。

在生物多样性适应气候变化国家战略中,需要加强退化生态系统的恢复与重建,包括通过种植适应性较强的先锋物种,人工启动演替,配置优化结构的群落,逐步恢复植被,降低气候变化对自然生态系统影响的风险^[33],加强生物多样性适应气候变化优先区的保护力度,综合我国未来气候变化的情景分析、有关气候变化影响与我国生物多样性脆弱性关联度的分析,确定我国生物多样性适应气候变化的优先区域,加大保护力度,包括受气候变化影响严重的我国北部与西部地区与生态系统本底脆弱区的叠加区域、青藏高原、西南山地的高海拔地带、西北和西南的河流、湖泊和湿地等淡水生态系统等,需要加强国际合作和交流,通过国际合作,共同行动,共同适应气候变化,并在行动中互相学习各方研究成果和经验。

3.2 加强气候变化对生物多样性的影响监测,提高生物多样性适应气候变化的科技支撑能力

长期以来我国在生物多样性保护和管理方面缺乏系统的监测,特别是缺乏对气候变化影响监测的针对性,无法有效开展适应性的管理和实施保护对策。因此,急需开发气候变化对生物多样性影响的监测技术,建设监测网络,建立动态监测、分析预测和决策支持的体系,特别是对变化敏感的(脆弱的)生态系统、敏感种和关键种、引起经济重要变化的物种和重要的生态系统服务功能进行监测;评估气候变化对我国重要生态系统、物种、遗传资源及相关传统知识的影响。

为有效适应气候变化,需要加强生物多样性应对气候变化的基础研究,包括加强气候变化对不同生态系统和不同类型物种响应的机制、风险评估和响应研究,在生物多样性保护和自然保护区管理中建立适应气候变化的技术体系,研究气候变化脆弱物种的就地保护、迁地保护、栖息地恢复保护技术,研究气候变化影响栖息地的恢复和保护技术及其对策,对保护区周边进行监测管理,建立保护区灾害防御体系。

3.3 加强物种的就地保护和迁地保护,增强自然保护区适应气候变化的能力

针对气候变化对物种局地影响脆弱性增加,开展物种就地保护,增强物种在原分布区的适应能力。加强珍稀濒危物种的

繁育,扩大珍稀濒危物种的种群数量,提高自然适应能力。针对气候变化将引起一些濒危物种灭绝的风险,建立物种遗传保护对策,增强濒临灭绝物种的适应能力。针对气候变化将使物种适应新栖息地,开展物种迁地保护,帮助物种适应气候变化的不利影响^[32]。

科学规划和建设自然保护区,把适应气候变化对策纳入到自然保护区管理目标中,增强自然保护区适应气候变化的能力。自然保护区是生物多样性保护的有效途径,截至2010年,全国已经建立各种类型、不同级别的自然保护区2588个,陆地自然保护区面积约占国土面积的14.9%。我国自然保护区规划和设计主要依据典型性、多样性、稀有性、自然性、脆弱性等方面确定,并没有考虑气候变化下各个特征的变化。为了适应气候变化,在规划设计中必须根据气候变化对保护区保护功能和各个特征的潜在影响,选择有代表性的范围与区域,合理划分核心区、缓冲区和外围区,并且考虑使保护区能够在目前和将来都能有效保护生物多样性,使物种或生态系统新适宜范围与以前适宜范围保持一定的连通性,在现有保护区系统的基础上,建立保护区之间廊道,发展保护区群和保护区网络,在保护区管理目标和战略中都需要考虑适应气候变化。

4 结论

随着人类文明的进步,人类生活生产活动对全球气候变化产生的影响愈来愈明显。全球气候变化是一个不可逆的过程,它对地球生态系统带来巨大的挑战。在全球气候变化的大背景下,我国生态系统的结构与功能的稳定性也接受着前所未有的严峻考验,生物多样性及生态安全方面已敲响了警钟。为了应对气候变化可能会给我国可持续发展等方面带来的诸多不利影响,我们应该及时制定并完善相应的国家战略规划,从宏观层面上指导我国生物多样性适应气候变化的工作,并且要提高气候变化对生物多样性影响的监测及物种多样性保护方面的能力,多管齐下,最大程度地维护我国物种多样性及整体生态系统在全球气候变化过程中的结构与功能的稳定性。

参考文献(References)

- [1] 《中国生物多样性保护战略与行动计划》编写委员会. 中国生物多样性保护战略与行动计划[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011
<China's biodiversity protection strategy and action plans> Writing Committee. China's biodiversity protection strategy and action plans [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2011
- [2] 牛书丽, 万师强, 马克平. 陆地生态系统及生物多样性对气候变化的适应与减缓[J]. 学科发展, 2009, 24(4): 421-427
Niu Shu-li, Wan Shi-qiang, Ma Ke-ping. Acclimation and Mitigation of Terrestrial Ecosystem and Biodiversity to Climate Change[J]. Disciplinary Development, 2009, 24(4): 421-427
- [3] 杜寅, 周放, 舒晓莲, 等. 全球气候变暖对中国鸟类区系的影响[J]. 动物分类学报, 2009, 34(3): 664-674
Du Yin, Zhou Fang, Shu Xiao-Lian, et al. The Impact of Global Warming on China Avifauna [J]. Acta Zootaxonomica Sinica, 2009, 34(3): 664-674
- [4] 气候变化国家评估报告编写组. 气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2007
Climate change national assessment report Editorial Group. Climate

- change national assessment report[M]. Beijing: Science Press, 2007
- [5] 祁如英. 青海省动物物候对气候变化的响应 [J]. 青海气象, 2006, 1: 28-31
- Qi Ru-ying. Qinghai animal phenology for climate change response [J]. Journal of Qinghai Meteorology, 2006, 1: 28-31
- [6] 李长看, 张光宇, 王威. 气候变暖对郑州黄河湿地鸟类分布的影响 [J]. 安徽农业科学, 2010, 38 (6): 2962-2963
- Li Chang-kan, Zhang Guang-yu, Wang Wei. Research on Impact of Global Warming on the Birds Distribution of Zhengzhou Yellow River Wetland[J]. Journal of Anhui Agri.Sci, 2010, 38 (6): 2962-2963
- [7] 姚玉璧, 张秀云, 段永良. 气候变化对亚高山草甸类草地牧草生长发育的影响[J]. 资源科学, 2008, 30(12): 1839-1845
- Yao Yu-bi, Zhang Xiu-yun, Duan Yong-liang. Impacts of Climate Change on Pasture Growth in Subalpine Meadows[J]. Resources Science, 2008, 30(12): 1839-1845
- [8] 周晓峰, 王晓春, 韩士杰, 等. 长白山岳桦 - 苔原过渡带动态与气候变化[J]. 地学前缘, 2002, 9(1): 227-231
- Zhou Xiao-feng, Wang Xiao-chun, Han Shi-jie, et al. The Effect of Global Climate Change on the Dynamics of Betula ermanii Tundra Ecotone in the Changbai Mountains[J]. Earth Science Frontiers, 2002, 9(1): 227-231
- [9] 马安青, 高峰, 贾永刚, 等. 基于遥感的贺兰山两侧沙漠边缘带植被覆盖演变及对气候响应[J]. 干旱区地理, 2006, 29(2): 170-177
- Ma An-qing, Gao Feng, Jia Yong-gang, et al. RS-based Study on the Change of Vegetation Cover and its Response to Climate Change in two Desert Marginal Zones at Both Sides of the Helan Mountain[J]. Arid Land Geography, 2006, 29(2): 170-177
- [10] 刘丹, 那继海, 杜春英, 等. 1961-2003 年黑龙江主要树种的生态地理分布变化[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(2): 100-105
- Liu Dan, Na Ji-hai, Du Chun-ying, et al. Changes in Eco-geographical Distributions of Major Forestry Species in Heilongjiang Province During 1961-2003 [J]. Advances in Climate Change Research, 2007, 3 (2): 100-105
- [11] 严作良, 周华坤, 刘伟, 等. 江河源区草地退化状况及成因 [J]. 中国草地, 2003, 25(1): 73-78
- Yan Zuo-liang, Zhou Hua-kun, Liu Wei, et al. Preliminary Discuss on Grassland Degradation in the Source Region of Yangtze and Yellow Rivers[J]. Grassland of China, 2003, 25(1): 73-78
- [12] 郭洁, 李国平. 若尔盖气候变化及其对湿地退化的影响[J]. 高原气象, 2007, 26(2): 422-428
- Guo Jie, Li Guo-Ping. Climate Change in Zoigê Plateau Marsh Wetland and Its Impact on Wetland Degradation[J]. Plateau Meteorology, 2007, 26(2): 422-428
- [13] Zhao T, Geng H, Zhang X, et al. Influence of Temperature Change on Forest Pests in China[J]. Forest Pest and Disease, 2003, 22: 29-32
- [14] Lin E D, Xu Y L, Wu S H, et al. China's National Assessment Report on Climate Change (): Climate Change Impacts and Adaptation[J]. Advances in Climate Change Research, 2007: 1673-1719
- [15] 吴春霞, 刘玲. 加拿大一枝黄花入侵的全球气候背景分析[J]. 农业环境与发展, 2008, 25(5): 95-97
- Wu Chun-xia, Liu Ling. The Global Climate Situation Analysis of Solidago Canadensis L. [J]. Agro-Environment & Development, 2008, 25(5): 95-97
- [16] 黄培祐, 李启剑, 袁勤芬. 准噶尔盆地南缘梭梭群落对气候变化的响应[J]. 生态学报, 2008, 28(12): 6051-6059
- Huang Pei-You, Li Qi-Jian, Yuan Qin-Fen. Effects of climate change on Haloxylon ammodendron community in southern edge of Zhunger Basin[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(12): 6051-6059
- [17] Sala O E, Chapin F S, Arnesto J J, et al. Biodiversity-Global Ziodiversity Scenarios for the Year 2100 [J]. Science, 2000, 287: 1770-1774
- [18] Fuller T, Morton D P, Sarkar S. Incorporating Uncertainty about Species' Potential Distributions under Climate Change into the Selection of Conservation Areas with a Case Study from the Arctic Coastal Plain of Alaska [J]. Biological Conservation, 2008, 141: 1547-1559
- [19] Virkkala R, Heikkinen R K, Leikola N, et al. Projected Large-scale Range Reductions of Northern-boreal Land Bird Species Due to Climate Change[J]. Biological Conservation, 2008, 141: 1343-1353
- [20] Lenoir J, Gegout J C, Marquet P A, et al. A Significant upward Shift in Plant Species Optimum Elevation during the 20th Century [J]. Science, 2008, 320: 1768-1771
- [21] 吴建国. 气候变化对 6 种荒漠动物分布的潜在影响[J]. 中国沙漠, 2011, 31(2): 464-475.
- Wu Jian-guo. Climate change on six desert animals distribution potential influence [J]. Journal of Desert Research, 2011, 31(2): 464-475.
- [22] Zhang Y, Zhou G. Terrestrial Transect Study on Driving Mechanism of Vegetation Changes[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2008, 51: 984-991
- [23] He H, Hao Z. Simulating Forest Ecosystem Response to Climate Warming Incorporating Spatial Effects in North-eastern China [J]. Journal of Biogeography, 2005, 32: 2043-2056
- [24] Leng W, He H. Predicting the Distributions of Suitable Habitat for Three Larch Species Under Climate Warming in Northeastern China [J]. Forest Ecology and Management, 2008, 254(3): 420-428
- [25] Thomas C D, Cameroni A, Green R E, et al. Extinction Risk from Climate Change[J]. Nature, 2004, 427: 145-148
- [26] 吴建国, 吕佳佳, 艾丽. 气候变化对生物多样性的影响: 脆弱性和适应[J]. 生态环境学报, 2009, 18(2): 693-703
- Wu Jian-guo, Lv Jia-jia, Ai Li. The impacts of climate change on the biodiversity: Vulnerability and Adaptation [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2009, 18(2): 693-703
- [27] Hannan L, Hansen L. Designing Landscapes and Seascapes for Change [C]// Lovejoy T E, Hannah L. Climate change and biodiversity. New Haven, Connecticut: Yale University Press, 2005: 329-341
- [28] Jonathan R M, Robin O, Dennis S O. A Review of Climate-Change Adaptation Strategies for Wildlife Management and Biodiversity Conservation[J]. Conservation Biology, 2009, 23(5): 1080-1089
- [29] Hoegh-Guldberg O, Hughes L, McIntyre S, et al. Assisted Colonization and Rapid Climate Change [J]. Science, 2008, 321: 345-346
- [30] Adger W N, Huq K, Brown D, et al. Adaptation to Climate Change in the Developing World[J]. Progress in Development Studies, 2003, 3: 179-195

(下转第 3984 页)

- bone repair by mesenchymal stem cells from the bone marrow[J]. Ann. N. Y. Acad. Sci, 2005, 1049: 97-106
- [31] RA Kahler, M Galindo, and J. J. Westendorf. Lymphoid enhancer factor-1 and beta-catenin inhibit Runx2-dependent transcriptional activation of the osteocalcin promoter [J]. Biol. Chem, 2003, 278: 11937-11944
- [32] Guizhong Liu, Sapna Vijayakumar, Luca Grumolato, et al. Canonical Wnts function as potent regulators of osteogenesis by human mesenchymal stem cells[J]. JCB, 2009, 185: 67-75
- [33] Gaur T, CJ Lengner, H Hovhannisyan, R.A. Bhat, et al, Canonical WNT signaling promotes osteogenesis by directly stimulating Runx2 gene expression[J]. Biol.Chem, 2005, 280:33132-33140
- [34] Katoh M. Cross-talk of WNT and FGF signaling pathways at GSK3 β to regulate beta-catenin and SNAIL signaling cascades[J]. Cancer Biol Ther, 2006, 5: 1059-1064
- [35] Katoh M. WNT/PCP signaling pathway and human cancer [J]. Oncol Rep, 2005, 14:1583-1588
- [36] Arnsdorf EJ, Kwon RY, Jacobs CR. Mechanically induced osteogenic differentiation- the role of RhoA, ROCKII and cytoskeletal dynamics [J]. Cell Sc, 2009, 122: 546-553
- [37] McBeath R, Pirone DM, Nelson CM, et al. Cell shape, cytoskeletal tension, and RhoA regulate stem cell lineage commitment[J]. Dev Cell, 2004, 6: 483-495
- [38] Woods A, Beier F. RhoA/ROCK signaling regulates chondrogenesis in a context-dependent manner[J]. Biol Chem, 2006, 281: 13134-13140
- [39] Woods A, Wang G, Beier F. RhoA/ROCK signaling regulates Sox9 expression and actin organization during chondrogenesis[J]. Biol Chem, 2005, 280:11626-11634
- [40] Takada I, Mihara M, Suzawa M, et al. A histone lysine methyl-transferase activated by noncanonical Wnt signalling suppresses PPAR- γ transactivation[J]. Nat Cell Biol, 2007, 9(11):1273-1285

(上接第 3969 页)

- [31] Lovejoy T E. Conservation With a Changing Climate[C]// Lovejoy T E, Hannah L. Climate change and biodiversity. New Haven, Connecticut: Yale University Press, 2005: 325-328
- [32] 第二次气候变化国家评估报告编写委员会. 第二次气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2011
- The second national climate change assessment report Editorial Group. The second national climate change assessment report [M]. Beijing: Science Press, 2011
- [33] 科学技术部社会发展科技司. 中国 21 世纪议程管理中心. 适应气候变化国家战略研究[M]. 北京: 科学出版社, 2011
- The science and technology department social development slurry, China's agenda 21 management center[M]. National strategy to adapt to climate change. Beijing: Science Press, 2011