

青藏高原生态系统发育与生物多样性

张玉波¹, 杜金鸿¹, 李俊生¹, 李俊清², 王伟¹

1. 中国环境科学研究院, 北京 100012

2. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育重点实验室, 北京 100083

摘要 青藏高原是全球海拔最高的独特地域单元, 对中国乃至北半球生态安全具有重要意义。本文通过分析青藏高原的地貌形成过程和气候条件, 对青藏高原的生态系统与生物多样性进行基本判断, 进而提出在气候变化背景下, 建立涵盖青藏高原全境的生态监测体系、构建天地一体化监测体系和信息平台、生态建设项目的监测与评估 3 项建议, 以整体提高青藏高原地区生态系统和生物多样性应对全球气候变化的能力。

关键词 青藏高原; 生态系统; 生物多样性; 气候变化

青藏高原南起喜马拉雅山脉南缘, 北至昆仑山、阿尔金山和祁连山北缘, 西部为帕米尔高原和喀喇昆仑山脉, 东及东北部与秦岭山脉西段、黄土高原相接, 总面积为 250 万 km²。青藏高原平均海拔大于 4000 m, 核心部分更超过 5000 m, 是目前地球上分布面积最大、纬度最低、海拔最高、形成时代最新的巨型地貌单元, 被誉为“世界屋脊”, 因其“高”和“寒”而被称为地球“第三极”^[1]。青藏高原独特的地理和气候条件, 孕育了独特的生态系统和生物区系, 成为世界上高海拔地区生物多样性最丰富的地方, 特有物种丰富, 珍稀濒危物种多, 是高寒生物自然种质资源库^[2]。正确认识青藏高原的生态系统与生物多样性及其形成的地质与气候背景, 对于开展青藏高原生态保护、保障青藏高原生态安全具有重要意义。

1 青藏高原地貌的形成

青藏高原是世界上最年轻的高原。2.4 亿年前, 印度板块开始向北向亚洲板块挤压, 由此引起昆仑山脉和可可西里地区的隆起。随着印度板块不断向北推进, 并不断向亚洲板块下方插入, 青藏高原在此阶段形成^[3]。在 1000 万年前, 青藏地区并不太高, 一般海拔约 1000 m。距今 200 万~300 万年以来, 原始高原受到南北两侧水平运动的压力, 导致垂直方向上大幅度抬升, 这段时间高原平均上升了 3500~4000 m。距今 1 万年前, 高原抬升速度更快, 以 7 cm/a 的平均速度上升, 使之成为当今地球上的“世界屋脊”^[4]。青藏高原的差异性隆起对其自身及毗邻地区自然环境的演化和分异影响深刻, 一些全球性的重大环境事件也与青藏高原隆升为主体的构造

运动联系密切^[6-7]。青藏高原隆升到一定高度后, 开始成为阻碍北半球正常西风环流的屏障, 将以爬越高原为主的行星风系变为以绕流为主, 并促使亚洲环境格局发生重大转型, 形成季风控制的气候格局并导致亚洲内陆干旱化和黄土的广泛分布^[4]。青藏高原的隆升和相应的气候变化造就了大量的水系, 主要为平行造山带流动的纵向河流, 形成了以雅鲁藏布江、班公湖-怒江、西金乌兰-金沙江、康西瓦等板块缝合带为界的多个板块拼合构造格局^[5]。青藏高原湿地资源极其丰富, 素有“中华水塔”之称的三江源就处于青藏高原的腹地。伴随高原隆升, 河流下切形成了壮观的峡谷并携带走了大量的陆源碎屑物质, 沉积在远离高原的各种类型的盆地中和冲积平原上, 最终形成了现今青藏高原的整体轮廓、构造-沉积格局和亚洲重大水系格局^[8]。

总体来说, 青藏高原地势呈西高东低的特点。青藏高原高山大川密布, 地势险峻多变, 地形复杂, 其平均海拔远远超过同纬度周边地区, 这也成为划分青藏高原地貌的重要依据。本地区的典型地貌有冰川地貌、冰原地貌、高山地貌、高原丘陵地貌、侵蚀中山地貌、高原低山丘陵地貌、湖盆地貌及河谷地貌等。

2 青藏高原气候特征

在距今 3500~7000 年的冰后期阶段, 青藏高原海拔约 4000 m, 气温比当今高出 3~5℃, 降水也较当今丰富, 冰川大量退缩, 多年冻土自上而下融化深度达 15~20 m, 高原边缘的多年冻土厚度在 15 m 以内的全部融化。在此之后, 高原进入

收稿日期: 2016-11-22; 修回日期: 2016-12-18

基金项目: 环保公益性行业科研专项(201509042)

作者简介: 张玉波, 助理研究员, 研究方向为保护生物学, 电子信箱: votreami@163.com; 王伟(通信作者), 副研究员, 研究方向为自然保护地生态保护与管理, 电子信箱: wangwei@craes.org.cn

引用格式: 张玉波, 杜金鸿, 李俊生, 等. 青藏高原生态系统发育与生物多样性[J]. 科技导报, 2017, 35(12): 14-18; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2017.12.001

新冰期,气温显著下降^[9]。根据古木、历史文献、档案史料和近代的气候资料,公元初至5世纪西藏地区以寒冷为主,从6世纪至12世纪西藏进入一个相对温暖的时期,12世纪末以后进入小冰期,尤其是17世纪中期为近数百年来最寒冷期,年平均气温要比现今低约1℃^[10]。直到19世纪前期高原以维持偏冷为主,冰川继续向前推进。近百年高原进入升温早中期,温度明显上升^[11]。

青藏高原的隆起,迫使大气环流改变路径,建立了包括东南、西南和高原季风在内的季风气候系统,对全球生态因子的空间分异和生态多样化的地区分化产生了巨大的持续性影响^[12-13]。总体上,本地区辐射强烈,日照多,气温低,积温少。大部分地区的最暖月均温在15℃以下,1月和7月平均气温都比同纬度东部平原低15~20℃^[14-15]。

青藏高原气候的主要特征包括:大气干洁,太阳辐射强;气温低,日较差大,年变化小;降水少,地域差异大^[16]。高原年降水量自藏东南>4000 mm向柴达木盆地冷湖逐渐减少,冷湖降水量仅17.5 mm^[17]。以雅鲁藏布江河谷的巴昔卡为例,降水量极为丰沛,平均年降水量达4500 mm,是最少降水量的200倍,是中国最多降水中心之一^[18]。

青藏高原可分为喜马拉雅山南翼热带山地湿润气候地区、喜马拉雅山南翼亚热带湿润气候地区、藏东南温带湿润高原季风气候地区、雅鲁藏布江中游(即三江河谷、喜马拉雅山南翼部分地区)温带半湿润高原季风气候地区、藏南温带半干旱高原季风气候地区、那曲亚寒带半湿润高原季风气候地区、羌塘亚寒带半干旱高原气候地区、阿里温带干旱高原季风气候地区、阿里亚寒带干旱气候地区及昆仑寒带干旱高原气候地区等13个气候区^[19]。

3 青藏高原生态系统与生物多样性

3.1 现状

上述特有的地理和气候条件,使青藏高原发育出独特的并具有高寒地区典型特征的生态系统与生物多样性。本地

区的生态系统主要包括草地、湿地、荒漠及森林4种类型。

青藏高原草地面积达128.7×10⁴ km²,是中国天然草地分布面积最大的区域,主要位于青藏高原东北部、海拔4000 m以上的区域。该区域年降水量为300~700 mm,年均气温3~4℃,主要草地类型为高寒草甸和高寒草原^[20]。

青藏高原沼泽与河湖湿地主要分布在三江源区、羌塘高原东部和南部、若尔盖地区,总面积为13.19×10⁴ km²,是中国重要的湿地分布区之一。近30年来,青藏高原湿地总体面积减少,景观多样性下降,但湖泊湿地的深度与水量在增加^[21]。

青藏高原荒漠生态系统主要分布于青藏高原的最西部与西北部,海拔在4200~4500 m,具有高寒和干旱的生态环境。年降水量仅20~100 mm,且大多为固态降水;太阳辐射强烈,冬季多大风,蒸腾作用剧烈。植物比高寒草原分布更为稀疏(覆盖度不到10%),种类也更少^[22]。

青藏高原的森林生态系统所处纬度较低,在25°N~30°N,处于高原的南缘和东缘。青藏高原地区是中国重要的林区,还是中国少有的原始林区,森林类型主要有亚高山暗针叶林带、松林、亚热带长绿阔叶林、低山热带森林、落叶阔叶林和落叶松林等。青藏高原虽然森林类型多样、树种繁多,但森林覆盖率低,而且分布不均匀^[23-25]。

从物种多样性来看,青藏高原有维管束植物1500属、12000种以上,约占中国维管束植物总种数的40%;脊椎动物方面,在整个青藏高原有鱼类3目、5科、45属、152种,陆栖脊椎动物共有1047种,约占中国该类动物总数的43.7%;在已列出的中国濒危及受威胁的1009种高等植物中,青藏高原有170种以上,在已列出的中国濒危及受威胁的301种陆栖脊椎动物中,青藏高原已知有95种^[26]。青藏高原4种主要生态系统类型的代表物种见表1。

近些年来,随着一系列国家重大生态保护项目的实施,如天然林保护工程、退耕还林还草工程、生物多样性保护工程,自然保护区体系建设等,青藏高原的生态系统退化和生物多样性丧失得到了有效遏制^[27-28],生态系统及其功能得到

表1 青藏高原4种主要生态系统类型的代表物种

Table 1 Representative species of 4 main ecosystem types on the Qinghai-Tibetan Plateau

生态系统类型	植物群落建群种	鱼类	两栖/爬行类	鸟类	哺乳类
草地	高山蒿草(<i>Kobresia pygmaea</i>)、高原蒿草(<i>Kobresiapusilla</i>)、 青藏蒿草(<i>Kobresiatibetica</i>)、 刚毛杜鹃(<i>Rhododendron setosum</i>)、 金露梅(<i>Potentilla fruticosa</i>)	—	西藏山溪鲵(<i>Batrachuperus tibetanus</i>)、 西藏齿突蟾(<i>Scutigera boulengeri</i>)、 刺胸齿突蟾(<i>Scutigera mammatus</i>)、 大鲵(<i>Andrias davidianus</i>)、 青海沙蜥(<i>Phrynocephalus vlangalii</i>)、 秦岭滑蜥(<i>Scincella tsinlingensis</i>)、 高原蝮(<i>Gloydus monticola</i>)	高原山鹑(<i>Perdix hodgsoniae</i>)、 雉鸡(<i>Phasianus colchicus</i>)、 粉红胸凤头鹦鹉(<i>Eolophus roseicapillus</i>)、 赤颈鹑(<i>Turdus ruficollis</i>)、 黄腹柳莺(<i>Phylloscopus affinis</i>)、 红眉朱雀(<i>Carpodacus pulcherrimus</i>)	藏羚(<i>Pantholops hodgsonii</i>)、 野耗牛(<i>Bos mutus</i>)、 石貂(<i>Martes foina</i>)、 藏狐(<i>Vulpes ferrilata</i>)、 赤狐(<i>Vulpes vulpes</i>)、 兔狲(<i>Felis manul</i>)、 白唇鹿(<i>Cervus albirostris</i>)、 马麝(<i>Moschus chrysogaster</i>)、 高原盼鼠(<i>Mvospalax baileyi</i>)、 藏鼠兔(<i>Ochotona thibetana</i>)

表1 青藏高原4种主要生态系统类型的代表物种(续)
Table 1 Representative species of 4 main ecosystem types on the Qinghai-Tibetan Plateau (continued)

生态系统类型	植物群落建群种	鱼类	两栖/爬行类	鸟类	哺乳类
湿地	栗褐苔草(<i>Carex brunnea</i>)、木里苔草(<i>Carex muliensis</i>)、乌拉草(<i>Carex meyeriana</i>)、发草(<i>Deschampsia caespitosa</i>)、华扁穗草(<i>Blymus sinocompressus</i>)	花斑裸鲤(<i>Gymnodiptychus eckloni</i>)、厚唇裸重唇鱼(<i>Gymnodiptychus pachycheilus</i>)、骨唇黄河鱼(<i>Chuanchia labiosa</i>)、极边扁咽齿鱼(<i>Platypharodon extremus</i>)、东方高原鳅(<i>Triplophysa orientalis</i>)、墨曲高原鳅(<i>Triplophysa moquensis</i>)	岷山蟾蜍(<i>Bufo minshanicus</i>)、高原林蛙(<i>Rana kukunoris</i>)、红原沙蜥(<i>Phrynocephalus vlangalii hongyuanensis</i>)、秦岭滑蜥(<i>Scincella tsinlingensis</i>)、高原蝮(<i>Gloydus monticola</i>)	黑颈鹤(<i>Grus nigricollis</i>)、黑鹳(<i>Ciconia nigra</i>)、胡兀鹫(<i>Gypaetus barbatus</i>)、秃鹫(<i>Aegypius monachus</i>)、大天鹅(<i>Cygnus cygnus</i>)、小天鹅(<i>Cygnus columbianus</i>)、灰鹤(<i>Grus grus</i>)、白鹳(<i>Ciconia ciconia</i>)、白尾鹳(<i>Circus cyaneus</i>)	黑唇鼠兔(<i>Ochotona curzoniae</i>)、喜马拉雅旱獭(<i>Marmota himalayana</i>)、藏狐(<i>Vulpes ferrilata</i>)、赤狐(<i>Vulpes vulpes</i>)
	垫状驼绒藜(<i>Ceratoides compacta</i>)、藏亚菊(<i>Ajaniatibetica</i>)	—	青海沙蜥(<i>Phrynocephalus vlangalii</i>)	毛腿沙鸡(<i>Syrhaptes paradoxus</i>)、领岩鸚(<i>Prunella collaris</i>)、角百灵(<i>Eremophila alpestris</i>)、灰眉岩鸚(<i>Emberiza cia</i>)、白头鸦(<i>Pycnonotus sinensis</i>)	藏狐(<i>Vulpes ferrilata</i>)、藏野驴(<i>Equus kiang</i>)、子午沙鼠(<i>Meriones meridianus</i>)、毛足鼠(<i>Phodopus</i>)、五趾跳鼠(<i>Allactaga sibirica</i>)、拉达克鼠兔(<i>Ochotona ladacensis</i>)、柯氏鼠兔(<i>Ochotona koslowi</i>)
森林	乔松(<i>Pinus griffithii</i>)、高山松(<i>Pinus densata</i>)、云南松(<i>Pinus yunnanensis</i>)、铁杉(<i>Tsuga chinensis</i>)、大果红杉(<i>Larix potaninii var. macrocarpa</i>)、西藏柏(<i>Cupressus torulosa</i>)、祁连圆柏(<i>Sabina przewalskii</i>)	—	大鲵(<i>Andrias davidianus</i>)、细痣疣螈(<i>Tylosotriton asperrimus</i>)、华西蟾蜍(<i>Bufo andrewsi</i>)、西藏齿突蟾(<i>Scutiger boulengeri</i>)、菜花原矛头蝮(<i>Protobothrops jerdonii</i>)	四川山鹧鸪(<i>Arborophila rufipectus</i>)、棕颈犀鸟(<i>Aceros nipalensis</i>)、藏马鸡(<i>Crossoptilon harmani</i>)、黑头角雉(<i>Tragopan melanocephalus</i>)、红胸角雉(<i>Tragopan satyra</i>)、红腹角雉(<i>Tragopan temminckii</i>)、黑鹇(<i>Lophura leucomelanos</i>)、棕尾虹雉(<i>Lophophorus impejanus</i>)、白尾梢虹雉(<i>Lophophorus sclateri</i>)、大绯胸鸚鵡(<i>Psittacula alexandri</i>)	大熊猫(<i>Ailuropoda melanoleuca</i>)、川金丝猴(<i>Rhinopithecus roxellanae</i>)、羚牛(<i>Budorcas taxicolor</i>)、鬣羚(<i>Capricornis sumatraensis</i>)、赤斑羚(<i>Naemorhedus baileyi</i>)、林麝(<i>Moschus berezovskii</i>)、马麝(<i>Moschus chrysogaster</i>)、白唇鹿(<i>Cervus albirostris</i>)、小熊猫(<i>Ailurus fulgens</i>)、小爪水獭(<i>Aonyx cinerea</i>)、金猫(<i>Catopuma temminckii</i>)、云豹(<i>Neofelis nebulosa</i>)、长尾叶猴(<i>Semnopithecus entellus</i>)

改善^[29-30],珍稀濒危物种的种群数量得到恢复^[31-34]。

3.2 气候变化对青藏高原生态系统的影响

过去几十年间,青藏高原气候呈现出暖湿化的变化趋势,1961—2007年年均温变率为0.37℃/(10 a),明显高于全

国同期水平(0.16℃/(10 a))^[27]。青藏高原植被返青期提前,枯黄期逐渐延后,生长季呈增长趋势^[28]。

有研究表明,未来青藏高原气候变化主要表现为:1) 气温升高,冬季升温更为显著;2) 降水增加,但有明显的南北差

异,北部增加明显,南部有减小趋势;3) 冰川退缩,冰川融水显著增加;4) 冻土面积减小,冻土活动层厚度增加;5) 极端天气气候事件增加^[29]。

在此背景下,未来100年青藏高原生态系统变化表现为:森林和灌丛将向西北扩展,高寒草甸分布区可能被灌丛挤占,面积缩小;高寒草原面积增加,而高寒草甸和沼泽草甸萎缩。青藏高原整体植被净初级生产力增加,种植作物向高海拔和高纬度地区扩展,冬播作物的适宜范围增加,复种指数提高^[30]。

4 结论及建议

青藏高原的隆起改变了地球特定区域的大气环流,并孕育了种类众多的生态系统和生物多样性,是全球生物多样性保护的重要区域。青藏高原上高寒环境下的生态系统非常脆弱,对全球气候变化和人类活动十分敏感。今后,对于青藏高原生态系统及生物多样性保护,应着力加强以下几个方面的工作:1) 建立涵盖青藏高原全境的生态监测体系。虽然中国在青藏高原已建立众多的生态监测站点,但是还存在盲点多、监测仪器落后、监测指标不完整等问题。今后,应在青藏高原西部盲点地区加强生态定位站建设,使用先进的气象、土壤、植被、水文监测仪器设备,完善监测指标体系。2) 综合利用卫星遥感、低空无人机遥感、地理信息系统、网络技术与云计算技术,构建天地一体化监测体系和信息平台,为政府决策、科学研究及公众提供大数据服务。3) 生态建设项目的监测与评估。中国已经在青藏高原部署和实施了一系列生态建设与环境保护工程项目,这些项目对于青藏高原生态保护的成效如何,在当前气候变化背景和经济背景发展下,在继续实施过程中如何调整和完善这些项目,亟需采用科学的方法和手段加以系统而全面回答。

参考文献 (References)

- [1] 张懿铨, 李炳元, 郑度. 论青藏高原范围与面积[J]. 地理研究, 2002, 21: 1-8.
Zhang Yili, Li Bingyuan, Zheng Du. A discussion on the boundary and area of the Tibetan-Plateau in China[J]. Geographical Research, 2002, 21(1): 1-8.
- [2] Qiu J. China: The third pole[J]. Nature News, 2008, 454(7203): 393-396.
- [3] 孙鸿烈, 郑度, 姚檀栋, 等. 青藏高原国家生态安全屏障保护与建设[J]. 地理学报, 2012, 67: 3-12.
Sun Honglie, Zheng Du, Yao Tandong, et al. Protection and construction of the national ecological security shelter zone on Tibetan Plateau [J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67: 3-12.
- [4] Royden L H, Burchfiel B C, van der Hilst R D. The geological evolution of the Tibetan Plateau[J]. Science, 2008, 321(5892): 1054-1058.
- [5] 李吉均, 方小敏. 青藏高原隆起与环境变化研究[J]. 科学通报, 1998, 43(15): 1569-1574.
Li Jijun, Fang Xiaomin. Research on Tibetan Plateau uplift and environmental change[J]. Chinese Science Bulletin, 1998, 43(15): 1569-1574.
- [6] An Z S, Kutzbach J E, Prell W L, et al. Evolution of Asian monsoons and phased uplift of the Himalaya-Tibetan plateau since Late Miocene times[J]. Nature, 2001, 411: 62-66.
- [7] Chung S L, Lo C H, Lee T Y, et al. Diachronous uplift of the Tibetan plateau starting 40 Myr ago[J]. Nature, 1998, 394(6695): 769-773.
- [8] Yao T, Thompson L, Yang W, et al. Different glacier status with atmospheric circulations in Tibetan Plateau and surroundings[J]. Nature Climate Change, 2012(2): 663-667.
- [9] Kutzbach J, Prell W, Ruddiman W F. Sensitivity of Eurasian climate to surface uplift of the Tibetan Plateau[J]. The Journal of Geology, 1993, 101(2): 177-190.
- [10] Thompson Lo, Mosley-Thompson E, Davis M, et al. Holocene-late Pleistocene climatic ice core records from Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Science 1989, 246(4929): 474-477.
- [11] Liu X, Chen B. Climatic warming in the Tibetan Plateau during recent decades[J]. International Journal of Climatology, 2000, 20(14): 1729-1742.
- [12] Molnar P, England P, Martinod J. Mantle dynamics, uplift of the Tibetan Plateau, and the Indian monsoon[J]. Reviews of Geophysics, 1993, 31(4): 357-396.
- [13] Dupont-Nivet G, Krijgsman W, Langereis C G, et al. Tibetan plateau aridification linked to global cooling at the Eocene-Oligocene transition[J]. Nature, 2007, 445: 635-638.
- [14] Shenbin C, Yunfeng L, Thomas A. Climatic change on the Tibetan Plateau: potential evapotranspiration trends from 1961-2000[J]. Climatic Change, 2006, 76(3): 291-319.
- [15] 姚檀栋, 秦大河, 田立德, 等. 青藏高原 2 ka 来温度与降水变化——古里雅冰芯记录[J]. 中国科学(地球科学), 1996, 26(8): 348-353.
Yao Tandong, Qin Dahe, Tian Lide, et al. Changes of temperature and precipitation of Tibetan Plateau in 2k years: Records in Guliya Ice Cap[J]. Science in China (Earth Sciences), 1996, 26(8): 348-353.
- [16] Kang S, Xu Y, You Q, et al. Review of climate and cryospheric change in the Tibetan Plateau[J]. Environmental Research Letters, 2010, 5: 015101.
- [17] Xu Z, Gong T, Li J. Decadal trend of climate in the Tibetan Plateau—regional temperature and precipitation[J]. Hydrological Processes, 2008 22(16): 3056-3065.
- [18] 林振耀, 赵昕奕. 青藏高原气温降水变化的空间特征[J]. 中国科学(地球科学), 1996 26(4): 354-358.
Lin Zhenyao, Zhao Xinyi. Spatial features of changes of temperature and precipitation of Tibetan Plateau[J]. Science in China (Earth Sciences), 1996, 26(4): 354-358.
- [19] 林振耀, 吴祥定. 青藏高原气候区划[J]. 地理学报, 1981, 36(1): 22-32.
Lin Zhenyao, Wu Xiangding. Climatic division of Tibetan Plateau[J]. Acta Geographica Sinica, 1981, 36(1): 22-32.
- [20] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.
Xie Gaodi, Lu Chunxia, Leng Yunfa, et al. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau[J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(2): 189-196.
- [21] Zhao Z L, Zhang Y L, Liu L S, et al. Recent changes in wetlands on the Tibetan Plateau: A review[J]. Journal of Geographical Sciences, 2015, 25(7): 879-896.
- [22] Hu P, Liu Q, Heslop D, et al. Soil moisture balance and magnetic enhancement in loess-paleosol sequences from the Tibetan Plateau and

- Chinese Loess Plateau[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2015, 409(1): 120-132.
- [23] 卢航, 刘康, 吴金鸿. 青海省近20年森林植被碳储量变化及其现状分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2013, 22(10): 1333-1338.
- Lu Hang, Liu Kang, Wu Jinhong. Change of carbon storage in forest vegetation and current situation analysis of Qinghai Province in recent 20 years[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2013, 22(10): 1333-1338.
- [24] 贺东北, 柯善新, 陈振雄, 等. 西藏森林资源特点与林业发展思考[J]. *中南林业调查规划*, 2014, 33(3): 1-4.
- He Dongbei, Ke Shanxin, Chen Zhenxiong, et al. The Characteristics of forest resources and thoughts on forestry development in Tibet[J]. *Central South Forest Inventory and Planning*, 2014, 33(3):1-4.
- [25] 屈红军, 朱颖. 我国天然林保护工程一期实施效果概述[J]. *林业科技开发*, 2012, 26(6): 5-8.
- Qu Hongjun, Zhu Ying. The review of the effect of natural forest protection program of China[J]. *China Forestry Science and Technology*, 2012, 26(6): 5-8.
- [26] 杨博辉, 郎侠, 孙晓萍. 青藏高原生物多样性[J]. *家畜生态学报*, 2005, 26(6): 1-5.
- Yang Bohui, Lang Xia, Sun Xiaoping. Biodiversity on the Tibetan Plateau[J]. *Acta Ecologiae Animalis Domastici*, 2005, 26(6): 1-5.
- [27] 郭焱, 周旺明, 于大炮, 等. 长江上游天然林资源保护工程区森林植被碳储量研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2015, 24(增刊1): 221-228.
- Guo Yan, Zhou Wangming, Yu Dapao, et al. Research on forest vegetation carbon storage under the national forest protection project in the upper reaches of Yangtze River[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, 24(Suppl 1): 221-228.
- [28] 路飞英, 石建斌, 张子慧, 等. 阿尔金山自然保护区藏羚羊, 藏野驴和野牦牛的数量与分布[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2015, 51(4): 374-381.
- Lu Feiying, Shi Jianbin, Zhang Zihui, et al. Surveys of Tibetan antelope, kiang and wild yak in Arjinshan Nature Reserve, Xinjiang, China [J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2015, 51(4): 374-381.
- [29] 陶蕴之, 吕一河, 李凤全, 等. 西南天然林保护工程区生态成效评估[J]. *生态与农村环境学报*, 2016, 32(5): 716-723.
- Tao Yunzhi, Lü Yihe, Li Fengquan, et al. Assessment of ecological effect of the natural forest protection project in southwest China[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2016, 32(5): 716-723.
- [30] 祁威, 摆万奇, 张懿铨, 等. 生态工程实施对羌塘和三江源国家级自然保护区植被净初级生产力的影响[J]. *生物多样性*, 2016, 24(2): 127-135.
- Qi Wei, Bai Wanqi, Zhang Yili, et al. Effects of ecological engineering on net primary production in the Qiang Tang and Sanjiangyuan national nature reserves on the Tibetan Plateau[J]. *Biodiversity Science*, 2016, 24(2): 127-135.
- [31] 陆军, 肖文发. 西藏雅鲁藏布江中游斑头雁的越冬种群数量、分布和活动区[J]. *生态学*, 2010, 30(15): 4173-4179.
- Lu Jun, Xiao Wenfa. Population, distribution and home range of wintering bar-headed goose along Yaluzangbu River, Tibet[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(15): 4173-4179.
- [32] 严旬. 野生大熊猫现状, 面临的挑战及展望[J]. *兽类学报*, 2005, 25(4): 402-406.
- Yan Xun. Status, challenge and prospect of wild giant pandas[J]. *Acta Theriologica*, 2005, 25(4): 402-406.
- [33] 任宝平, 黎大勇, 刘志瑾, 等. 滇金丝猴数量分布变迁、家域、食性研究进展及保护现状[J]. *动物学杂志*, 2016, 51(1): 148-150.
- Ren Baoping, Li Dayong, Liu Zhijin, et al. Overview on populations and distribution, home range, diet and conservation status of Yunnan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus bieti*) [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2016, 51(1): 148-150.
- [34] 李继荣, 曹建, 杨芳, 等. 青海省黑颈鹤的研究/生态分布与保护现状[J]. *动物学研究*, 2014, 35(增刊1): 76-79.
- Li Jirong, Cao Jian, Yang Fang, et al. Distribution and conservation status of Black-necked Crane (*Grus nigricollis*) in Qinghai, China: A Review[J]. *Zoological Research*, 2014 35(Suppl 1): 76-79.

Ecosystem development and biodiversity of Tibetan Plateau

ZHANG Yubo¹, DU Jinhong¹, LI Junsheng¹, LI Junqing², MENG Wei¹

1. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

2. The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract The Tibetan Plateau is the highest and special geographical unit in the world and is of a great importance to China's and even global ecological security. This paper analyzes the formation processes of the present landform and climate frames, as well as the development of the ecosystem and the biodiversity of the Tibetan Plateau. Under the background of the global climate change, we make three suggestions to enhance our capacity to tackle the climate change, 1) building an ecological monitor system covering the whole Tibetan Plateau, 2) establishing a space-ground monitor system and an information platform and 3) monitoring and evaluating ecological conservation projects.

Keywords Qinghai-Tibetan Plateau; ecosystem; biodiversity; climate change

(编辑 王志敏)