

# 气候变化下西藏高寒湿地生态系统 研究的意义和特点

刘伟龙, 赵慧, 王小丹, 程根伟

(中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

**摘 要:** 高寒湿地为水生生物的生存提供了多样的栖息地。其中水生植物是水生生态系统中的初级生产者, 可为众多的鱼类、水生动物和鸟类提供食料和庇护场所, 也对水环境健康具有独特的指示作用。西藏是中国高寒湿地分布最广的省区之一, 由于其特殊的地理位置和交通条件所限, 水生植物研究目前尚处于起步阶段。随着气候变化在全球范围的影响日益显著, 未来西藏水生植物的研究将会成为一个新的研究热点。通过梳理国内外水生植物的研究结果, 对西藏水生植物的种类、分布、结构特征等进行了阐述, 认为高寒湿地水位波动未来将更为频繁, 水生生物的生存环境同时会发生较大的改变, 水生植物的分布区可能会呈微弱扩大趋势, 繁殖方式将从以前以无性繁殖为主转向无性与有性结合的方式, 水生植物物候不确定性也会增加。提出了未来西藏水生植物研究应关注的重点, 以期通过水生植物生理生态学及物候学的研究, 反演和预测未来气候变化的趋势特征, 为高寒湿地的研究提供一个新的视角。

**关键词:** 高寒; 湿地; 水生植物; 气候变化; 西藏

**中图分类号:** S718. 55

**文献标志码:** A

近年来, 大量监测和模拟结果表明, 以全球气候变暖为主要特征的全球气候变化已成为事实, 并在高纬度和高海拔地区温度升幅更大<sup>[1-2]</sup>。气候变化将导致高寒区生物的生存空间大幅度缩小, 种群数量减少、栖息地斑块化加剧, 敏感种退化风险增大<sup>[3]</sup>。整个高寒区的生态系统始终处于一种极为脆弱的不平衡状态。同时, 持续的气温上升, 加速了高寒区域的冰雪消融, 导致湿地湖泊等冰覆盖期缩短, 对生物的萌发、生长、繁殖等形成潜在威胁, 生物区系的分布边界均呈现向高纬度移动的趋势<sup>[4]</sup>。

## 1 西藏高寒湿地的类型及分布

西藏高原是青藏高原的重要组成部分, 发育有

完整的高寒沼泽、高寒草甸和高寒湖泊, 具有生态蓄水、水源补给、气候调节等重要的生态功能, 是研究全球变化对水生生态系统影响的关键区域<sup>[5]</sup>。西藏平均海拔高约 4 000 m, 发育了高山深谷、河谷平原、湖泊湿地、山丘盆地等多样的地形地貌, 其中湿地(不含水稻田面积)面积约为  $6.53 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 是中国湿地资源最为丰富的省区之一<sup>[6]</sup>(图 1)。

西藏湿地分布与大气降水分布规律基本吻合。藏北羌塘高原以湖泊湿地为主, 中部和东部多为河流湿地。西藏湿地大体可划分为河流湿地、湖泊湿地、沼泽湿地和人工湿地(主要指水库)。其中, 湖泊湿地总面积  $3.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 主要由咸水、微咸水和盐水组成的永久性咸水湖为主, 沼泽湿地总面积  $2.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 河流湿地  $1.43 \times 10^4 \text{ km}^2$ <sup>[6]</sup>, 人工湿地

收稿日期(Received date): 2014 - 04 - 15; 改回日期(Accepted): 2014 - 06 - 15。

基金项目(Foundation item): 中国科学院西部行动计划西藏项目第四课题(KZCX2 - XB3 - 08 - 04); 国家自然科学基金(41371067)。[Supported by the West-action Program in Chinese Academy of Science(KZCX2 - XB3 - 08 - 04) and National Natural Science Foundation of China(41371067).]

作者简介(Biography): 刘伟龙(1976 - ), 男, 汉族, 陕西, 博士, 副研究员。主要从事浅水湖泊生态学、高寒湿地水生植物生理生态学研究。

[Liu Weilong (1976 - ), male, Ph D, Associate professor, mainly engaged in the study on ecology of shallow lakes and physiological ecology of macrophytes in alpine wetland.] E-mail: wlliu@imde.ac.cn

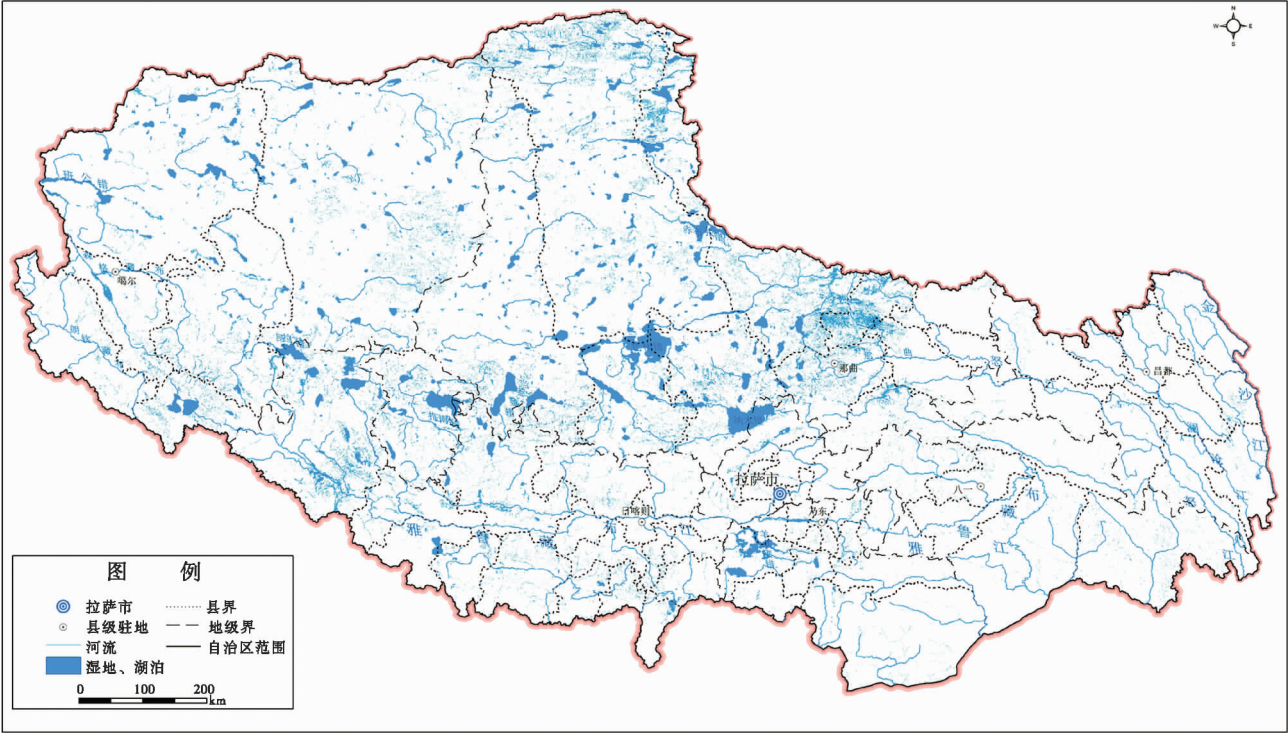


图 1 西藏自治区湿地分布

Fig. 1 The wetland distribution in Xizang(Tibet) Autonomous Region

主要是由于农业灌溉和发电需要等形成的人工水体,所占比重很小(图 2)。从行政区划分布来看,藏北那曲地区的湿地分布面积居西藏第一,而昌都地区的湿地分布最少,只有  $0.10 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

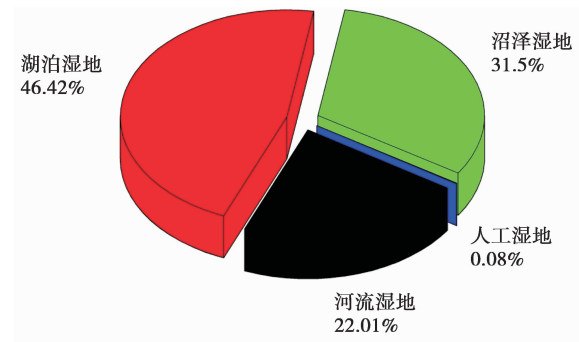


图 2 西藏各类湿地比重

Fig. 2 The distribution area of different wetlands in Tibet

2 西藏高寒区湿地水生植物

水生植物是西藏高寒水生生态系统的重要组成部分。西藏水生植物的种群、结构与分布格局是长期以来物理地球化学变化的直接产物。由于西藏特殊的地理位置和交通条件所限,有关西藏水生植物

研究,尚处于起步阶段。随着气候变化在全球范围的影响日益显著,未来西藏湿地及其水生生物的功能和格局将会发生重大变化。

2.1 西藏湿地植物的种类

1902 年,Hemsley 和 Pearson 在研究和整理西藏植物标本后,出版了有关西藏植物研究的第一本比较系统而全面的著作( *Flora of Tibet or High Asia* ),其中涉及到部分沼泽植物,但并未提到具体的种类和分布区域<sup>[7]</sup>,是西藏植物研究的启蒙书。目前较为权威的植物学专著《西藏植物志》(1983—1987 年)中<sup>[8]</sup>,记载西藏产水生植物 98 种 2 变种 2 栽培种。另外《西藏植被》中,有专门章节列出了水生植被的介绍,认为西藏水生植被皆为种类简单的草本植物,沉水植物为主要的优势种和建群种,其中红线草( *Potamogeton pectinatus* ) 群系、小茨藻( *Najas minor* ) 群系、梅花藻( *Batrachium trichophyllum* ) 群系和黄花狸藻( *Utricularia aurea* ) 群系为主要的植物群系( form ),该著作还涉及到部分高山冰缘植被<sup>[9]</sup>,其分类主要以经典分类系统为依据。2003 年,王东通过实地考察和文献分析得出,青藏高原共计有水生植物 133 种、2 亚种和 3 变种,归 63 属 29 科,其中增补了西藏水生植物新记录种 12 个,新记录属 8 个,新记录科 2 个<sup>[10]</sup>。2010 年开展的西藏第二次湿地资

源调查成果《中国西藏高原湿地》中,记录了西藏湿地高等植物 591 种,隶属 65 科 205 属,其中沉水植物有 35 种,隶属 24 属 18 科。其中,以禾本科、菊科、莎草科、豆科、毛茛科、十字花科和玄参科植物居多<sup>[6]</sup>,这是目前最为详尽的关于西藏湿地及水生植物研究的背景资料。

可以看出,各个文献之间的统计数据差别很大,主要是在不同历史时期,采样与调查的技术、方法与考察路线差异较大,而且对水生植物或湿地植物的分类概念存在一定分歧,加之分类学的不断发展,新的物种也不断被发现和命名,因此,目前西藏水生植物种类尚无被学界普遍认可的数据。如果严格按照经典植物分类学划分,《西藏植物志》的 98 种记载较为可靠,但刘务林等对湿地所有植物的记载可能更为详尽全面。

## 2.2 水生植物分布特征

西藏地势整体呈西北高、东南低走势,藏北羌塘高原海拔 4 500 ~ 5 000 m,藏东南海拔不足 1 000 m<sup>[11]</sup>,水分也呈现从东南向西北递减的特点<sup>[12-15]</sup>,气候相应的依次为热带山地季风湿润气候、亚热带山地季风湿润气候、高原温带季风半湿润、半干旱气候—高原亚寒带季风半湿润、半干旱和干旱气候—高原寒带季风干旱气候等类型,但在局部地区出现多种小气候并存的局面<sup>[16]</sup>。水生植物的分布也依次为暖温性、温性、寒温性种类,且植物的种类逐渐减少。在南北方向上,由于冈底斯山与念青唐古拉山东西纵贯青藏高原,加之高山垂直地形的影响,导致水资源的分布极为不均<sup>[17]</sup>,因而水生植物的分布具有很大的不确定性。随着纬度增加,水生植物的种类更加单一<sup>[10]</sup>。

随着海拔高度的上升,水生植物由暖温性种类向温性、寒温性种类转化,植物多样性也逐步降低,群落类型向单一化方向发展<sup>[18]</sup>。西藏水生植物大多为温带性种,但高原局部形成的小气候和微地貌形成的沼泽和浅水湖泊也为湿地其他类型的水生植物提供了良好的场所。水生植物群落在这些水体中的分层结构不明显,以同科植物形成的单优群落为主。另外,部分水生植物如眼子菜科的植物甚至可以分布在 5 000 m 以上的湖泊和湿地中,这可能是植物在对高寒环境的一种极端适应能力,在未来研究中应给予重视。

## 2.3 水生植物多样性

西藏水生植物的多样性与水体温度密切相关,

在藏南、藏东南水温较高的水体中,水生植物种、属数量较多,物种多样性相对较高。而在藏北羌塘高原水面较大的湖泊或湿地中,水生植物多样性则很低。近年来调查发现,藏北高原的水体中,水生植物的生态型不断的由沉水植物向浮叶植物和挺水植物转化,主要是由于水温的上升,植物适应性也可能相应增加,同时,水体中营养物质的增加也是一个值得关注的问题。在西藏的湖泊中,由于水深浪大,且多为贫营养湖泊,几乎没有水生植物的生存。少数湖泊周边的湖湾中,沉水植物的分布多以眼子菜科(*Potamogetonaceae*)的植物为主。

## 2.4 高寒湿地植物特征

西藏的高海拔、高辐射、低温多变的气候下,植物形成了一系列的适应特征。多数植物的生态位较广,对环境的忍耐阈值较高。例如,青藏高原草地植物叶片的 P 含量具有较高的变异系数,这是高寒植物群落对区域气候条件及营养条件的适应性表现之一<sup>[19]</sup>。研究还发现,青藏高原某些禾本科植物种子体型大小随海拔升高而减小,但其丰富度却相对提高<sup>[20]</sup>。大多数水生植物的主要依靠无性方式进行繁殖<sup>[21]</sup>。在部分高海拔地区,某些水生植物花期和结实期滞后,与低海拔地区相同种类相比,植物的生长速度较快,生物量较高,可能与较高的透明度带来较高效率的光合作用有关<sup>[22]</sup>。研究发现,眼子菜科的丝叶叶子菜(*Potamogeton filiformis*),随着海拔的上升,植株逐渐变得低矮,茎不分枝,节间缩短,叶、花梗、花序变得短而细小。笔者在调查中发现,部分风浪较小的水域,沉水植物的生长高度甚至可以到达 5 m,而一旦水深超过一定限度后,沉水植物无法生存,可能主要是由于光合作用无法提供足够的能量供植物在贫营养化的湖泊中生存。

# 3 西藏水生植物变化预测

## 3.1 水生植物分布面积将小幅上升

气候变化对水生生态系统的影响日益明显<sup>[23-27]</sup>,特别在高纬度水域,轻微的气候变化都可能使水生生物的生物多样性和物候发生显著改变<sup>[28-29]</sup>。同时,由于高寒区域的冰雪消融加速,导致湿地湖泊等冰覆盖期缩短,水生生物的分布边界出现向高纬度移动的趋势<sup>[30]</sup>。通过对 1961—2007 年青藏高原四季平均气温时间序列变化数据分析得出,青藏高原四季平均气温变化均呈现出显著增暖

趋势,12月至次年5月青藏高原降水量随着气候变暖呈增多趋势<sup>[31]</sup>。气候变暖使西藏年度内降水不均匀性的增加、日照时数的延长以及气温与地温的升高,造成西藏湿地变化程度加剧<sup>[32]</sup>。从1990—2006年左右,西藏湖泊面积呈增加趋势,沼泽湿地均不同程度的退化,连通性总趋势降低,斑块近期破碎度加剧,羌塘高原湿地总面积增加最为显著<sup>[33]</sup>。遥感监测结果表明,由于气温升高,处在食物链不同阶的生物已产生连锁响应,冰雪融化导致高寒区浮游植物暴发的高峰期已经提前了2个月<sup>[4]</sup>。

在未来气候变化的影响下,频繁的冻融很可能使西藏某些冻融区成为沼泽湿地,加之风化速率的增加形成的可用性营养物质的支持,以前植物分布较少或水生植物不存在的区域可能发展成为湿地,同时水生植物的分布范围将北移和扩大,但由于湖泊面积的增加和水位上升,将会抵消部分增加的湿地面积,但总体而言,水生植物的分布区将会呈微弱扩大趋势。

### 3.2 某些水生植物的繁殖策略将会改变

绝大多数高纬度或高海拔水域生物的生态幅比低纬度水域的低2~4倍,气候变化将导致高寒水域生物的原来的生存空间大幅度缩小,种群数量减少、栖息地斑块化加剧,敏感种退化风险增大。在青藏高原,冬季的升温可能会使冬季休眠植物所需的低温满足时间推迟,从而导致草原返青期推后,继续升高的气温可能会逆转现在多数植物生长季延长的现象,大大缩短植物生长季,导致在一年中的某些时期出现牧草短缺现象,将对畜牧业的发展产生不可估测的影响<sup>[34]</sup>。不可避免的是,与水环境息息相关的水生植物原来的生长期将受到较大影响,特别是水位波动和淹水时间变化将明显影响植物有效光资源的供给,从而对植物的种子库产生决定性的作用<sup>[33]</sup>。另外,全球CO<sub>2</sub>浓度的增加,影响水气界面的扩散平衡,在一定程度上将会改变了水体的化学性质,同时不断升高的CO<sub>2</sub>将会导致水生植物生物量逐步升高,引起碳在水体中的沉积,从而改变植物的形态特性及繁殖策略<sup>[13]</sup>。

气候变化直接影响到湿地水文、土壤、水气土界面的物质与能量交换,特别对新增的湿地,水生植物的先锋种繁衍将会面临严重挑战。西藏湿地多为地理隔离湿地,湿地之间彼此连通性较差,鸟类的携带的种子传播,将会成为新增湿地中水生植物先锋种建成的主要途径。另一方面,随湿地的扩张,畜牧业

也会随之扩张,迁徙的牛羊粪便中携带的未消化的种子也成为湿地植物增加的潜在来源。同时,部分连通性较好的湿地,植物的种子或茎、根等有性繁殖器官通过河流的季节性水文变化,成为部分湿地的植物直接的繁殖方式。

### 3.3 水生植物物候不确定性增加

气候变化将对植物个体的生理生态特性、种群、群落、生态系统乃至整个生物圈产生巨大影响<sup>[35]</sup>,植物物候对气候变化的响应最为直观、敏感,低温生存条件下的植物物候对气候变化尤为敏感<sup>[36]</sup>。植物在年周期中有顺序地进行着各个物候期的变化,是一个有机体与外界环境不断进行物流与能流的交换与积聚的过程<sup>[37-38]</sup>。气候持续变化可能导致物种间原来协同发展演化的默契状态渐次失衡,引发食物链断裂。例如植物成熟时间和秋季霜冻时间重叠,导致繁殖能力受到抑制<sup>[39-40]</sup>;物候变化不同步,也可能导致物种间相互作用脱节<sup>[41]</sup>,加大种间竞争,致使某些物种淘汰灭亡<sup>[42]</sup>。

对水生维管束植物物候研究中发现,提高湿地中的平均水位和营养水平后,挺水植物东方香蒲(*Typha orientalis*)的新叶生长、开花和结实的物候期和生物量会发生明显改变,同时季节性水位波动也会改变滨水植物生长和开花物候<sup>[43]</sup>。西藏水生植物大多生活在海拔高、低氧、高辐射等湿地环境中,气候变化将进一步加剧湿地环境改变,特别是春季融冰时间提前,深秋结冰时间延迟后,湿地无冰期将会明显增加,水生植物的休眠(春化)阶段、生长、结实等各个生活周期都会发生相应的变化,进而引起以水生植物为食或栖息场所的水生动物种群结构的变化,根据水生植物物候的变化,也可从另外一个角度来反演和预测气候变化轨迹。但目前对西藏乃至青藏高原水生植物物候研究鲜有涉及,需要进一步开展多方面深入的研究。

## 4 结 语

目前大量的研究主要集中在陆生植物和少数低海拔区域水生植物生理生态方面,对高寒湿地的研究大多从宏观尺度对湿地的面积、变化进行阐述<sup>[44-47]</sup>,对水生植物个体或群落的进行控制试验模拟的研究较少<sup>[48-49]</sup>。IPCC第5版报告指出,基于各方面的研究证据,连续25年来气候正在变化,大气和海洋升温,全球平均海平面上升,冰川和冰盖融

化的速度比之前更快,这将对西藏的水资源造成显著的影响。可以预测的是,未来西藏湿地水文过程将更为复杂,湿地水位波动将更为频繁,水生生物的生存环境将会发生较大的改变,加之水生植物较陆生植物对环境因子的变化更为敏感,因此,研究高寒湿地水生植物对环境变化的生理生态响应,可以加深理解气候变化对高寒湿地生态系统的影响,为青藏高原气候变化的研究提供一个新的视角。

## 参考文献 (References)

- [1] Hatfield - Dodds S. Climate Change All in the Timing[J]. *Nature*, 2013, 493(7430): 35 - 36
- [2] Larson C. Climate change Losing Arable Land, China Faces Stark Choice: Adapt or Go Hungry[J]. *Science*, 2013, 339(6120): 644 - 645
- [3] Cheung WWL, Lam VWY, Sarmiento JL, et al. Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios[J]. *Fish and Fisheries*, 2009, 10(3): 235 - 251
- [4] Wagner A, Hulsman S, Paul L, et al. A phenomenological approach shows a high coherence of warming patterns in dimictic aquatic systems across latitude[J]. *Mar Biol*, 2012, 159(11): 2543 - 2559
- [5] Zhang Jiping, Zhang Yili, Liu Fenggui, et al. Classification and distribution of alpine wetland of Damqu River Basin in the Source Region of the Yangze River [J]. *Wetland Science*, 2011, 9(3): 218 - 226 [张继平, 张懿钊, 刘峰贵, 等. 长江源区当曲流域高寒湿地类型划分及分布研究. *湿地科学* [J]. 2011, 9(3): 218 - 226]
- [6] Liu Wulin, Zhu Xuelin, et al. Plateau wetland in Tibet of China [M]. Beijing: Chinese Forestry Press, 2013. [刘务林, 朱雪林, 等. 中国西藏高原湿地[M]. 北京: 中国林业出版社, 2013.]
- [7] Hemsley WB, Pearson HHW. The flora of Tibet or high Asia: being a consolidated account of the various Tibetan Botanical Collections in the Herbarium of the Royal Gardens, Kew, together with an exposition, of what is known of the flora of Tibet[M]. London, 1902.
- [8] Wu Zhengyi. Flora Xizang: Vol. 2 [M]. Beijing: Science Press, 1985, 2 [吴征镒主编, 西藏植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1985, 2]
- [9] Team of Comprehensive Scientific Expedition to the Qinghai - Xizang (Tibet) Plateau, CAS. Vegetation of Xizang (Tibet) [M]. Beijing: Science Press, 1988. [中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏植被[M]. 北京: 科学出版社, 1988.]
- [10] Wang Dong. The Geography of Aquatic Vascular Plants of Qinghai - Xizang (Tibet) Plateau [D]. Wuhan University, Wuhan, 2003. [王东, 青藏高原水生植物地理研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2003.]
- [11] Li Yinhuai. Preliminary Discussion on Mechanism of the Genetation and Evolution of the Qinghai - Tibetan Plateau[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1984, 2: 127 - 138 [李荫槐, 青藏高原的形成和演化机制[J]. *地质科学*, 1984, 2: 127 - 138]
- [12] Zou Jingshan, Zhang Jiangqiu, Wang Ling. The Characteristics of precipitation and the variation of the climate in the Tibetan Region [J]. *Journal of Nanjing University: Natural Sciences*, 1995: 31 (4) 691 - 695 [邹进上, 张降秋, 王玲, 西藏地区降水特征及长期气候变化[J]. *南京大学学报: 自然科学版*, 1995: 31(4) 691 - 695]
- [13] Shu Shoujuan, Wang Yuang, Li Yang. Effect of topographic perturbation on the precipitation distribution in Tibetan Plateau[J]. *Advances in Water Science*, 2006, 17(5): 585 - 591 [舒守娟, 王元, 李艳. 西藏高原地形扰动对其降水分布影响的研究[J]. *水科学进展*, 2006, 17(5): 585 - 591]
- [14] Lin Zhiqiang, Tang Shuyi, He Xiaohong, et al. Features of Water Vapor Transfer In Rainy Season and Their Relations to Rainfall Anomalies over Tibetan Plateau[J]. *Meteorological Monthly*, 2011, 37(8): 984 - 990 [林志强, 唐叔乙, 何晓红, 等. 青藏高原汛期水汽输送特征与降水异常[J]. *气象*, 2011, 37(8): 984 - 990]
- [15] Huang Xiaqing, Luobu Ciren, Yang Yong, et al. Temporal and Spatial Variation of Precipitation Events Frequency and Intensity in Rainy Season during 1961—2007 in Tibet China[J]. *Journal of Desert Research*, 2013, 33(3): 1 - 9 [黄晓清, 罗布次仁, 杨勇, 等. 青藏高原汛期降水日数和强度的时空演变特征[J]. *中国沙漠*, 2013, 33(3): 1 - 9]
- [16] Zhang Yiguang, Huang zhaoying. The Climatic Zone of Tibet[J]. *Meteorological Monthly*, 1981: 6 - 8 [张谊光, 黄朝迎, 西藏气候带的划分问题[J]. *气象*, 1981: 6 - 8]
- [17] Yang Yichou, Li Bingyuan, Yi Zesheng, et al. The Formation and Evolution of landforms in the Xizang Plateau[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1982, 37(1): 76 - 87 [杨逸畴, 李炳元, 尹泽生, 等. 西藏高原地貌的形成和演化[J]. *地理学报*, 1982, 37(1): 76 - 87]
- [18] Li Juan, Lin Ping, Dong Yu, et al. Effects of morphology and physiology of wetland plants on plateaus at different altitudes[J]. *Plant Science Journal*, 2013, 31(4): 376 - 383 [李娟, 林萍, 董瑜, 等. 海拔梯度对高原湿地植物形态和生理学效应研究[J]. *植物科学学报*, 2013, 31(4): 376 - 383]
- [19] Yang Kuo, Huang Jianhui, Dong Dan, et al. Canopy leaf N and P stoichiometry in grassland communities of Qinghai - Tibetan Plateau, China[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(1): 17 - 22 [杨阔, 黄建辉, 董丹, 等. 青藏高原草地植物群落冠层叶片氮磷化学计量学分析[J]. *植物生态学报*, 2010, 34(1): 17 - 22]
- [20] Chen Xuelin, Yang Jianmei, Wang Wenmin. The seed size variation of 40 Gram inious Species in the Eastern Qinghai - Tibet Plateau [J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2011, 31(1): 9 - 14 [陈学林, 杨建美, 王文敏. 青藏高原东缘常见 40 种禾本科植物种子大小变异研究[J]. *植物研究*, 2011, 31(1): 9 - 14]
- [21] Pollux B JA, Jong M D E, Steegh A, et al. Reproductive strategy, clonal structure and genetic diversity in populations of the aquatic macrophyte *Sparganium emersum* in river systems[J]. *Molecular Ecology*, 2007, 16(2): 313 - 325
- [22] Hudon C, Lalonde S, Gagnon P. Ranking the effects of site exposure, plant growth form, water depth, and transparency on aquatic plant biomass[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sci-*

- ences, 2000, 57:31–42
- [23] Karvonen A, Rintamäki P, Jokela J, et al. Increasing water temperature and disease risks in aquatic systems: Climate change increases the risk of some, but not all, diseases[J]. *Int J Parasitol*, 2010, 40(13):1483–1488
- [24] Körner C, Basler D. Phenology under Global Warming[J]. *Science*, 2010, 327(5972):1461–1462
- [25] O'Reilly CM, Alin SR, Plisnier PD, et al. Climate change decreases aquatic ecosystem productivity of Lake Tanganyika, Africa[J]. *Nature*, 2003, 424(6950):766–768
- [26] Rassam G. Climate and aquatic biological resources program[J]. *Fisheries*, 2000, 25(9):25–25
- [27] Tian T, Su J, Flosser G, et al. Factors controlling the onset of spring blooms in the German Bight 2002–2005: Light, wind and stratification[J]. *Continental Shelf Research*, 2011, 31(10):1140–1148
- [28] Annani F, Alfarhan AH, Samraoui B. Aquatic Hemiptera of North-eastern Algeria: Distribution, Phenology and Conservation[J]. *Revue D Ecologie – La Terre Et La Vie*, 2012, 67(4):423–435
- [29] Chillasse L, Dakki M. Aquatic avifauna in the natural lakes of the Middle Atlas Moroccan Mountains. Wintering models, composition, phenology-period 1983–2003: National and international importance of reception sites and protection measures[J]. *Ostrich* 2007, 78(2):508–508
- [30] Neto JM, Encarnação V, Fearon P. Distribution, phenology and condition of Aquatic Warblers *Acrocephalus Paludicola* Migrating through Portugal[J]. *Ardeola*, 2010, 57(1):181–189
- [31] Li Lin, Chen Xiaoguang, Wang Zhenyu, et al. Climate change and its regional differences over the Tibetan Plateau[J]. *Advances in Climate Change Research*, 2010, 6(3):181–186 [李林, 陈晓光, 王振宇, 等. 青藏高原区域气候变化及其差异性研究[J]. 气候变化研究进展, 2010, 6(3):181–186]
- [32] Luo Lei. Analysis of climatic background of Wetlands degradation in the Qinghai–Xizang Plateau[J]. *Wetland Science*, 2005, 3(3):190–199 [罗磊, 青藏高原湿地退化的气候背景分析[J]. 湿地科学, 2005, 3(3):190–199]
- [33] Xing Yu, Jiang Qigang, Li Wenqing, et al. Landscape spatial patterns changes of the wetland in Qinghai–Tibet Plateau[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(3):1010–1015 [邢宇, 姜琦刚, 李文庆, 等. 青藏高原湿地景观空间格局的变化[J]. 生态环境学报, 2009, 18(3):1010–1015]
- [34] Zhang G, Zhang Y, Dong J, et al. Green-up dates in the Tibetan Plateau have continuously advanced from 1982 to 2011[J]. *PNAS*, 2013, 110(11):4309–4314
- [35] Breshears DD, Huxman TE, Adams HD, et al. Vegetation synchronously leans upslope as climate warms[J]. *P Natl Acad Sci USA*, 2008, 105(33):11591–11592
- [36] Xu Manhou, Xue Xian. Analysis on the effects of climate warming on growth and phenology of alpine plants[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2013, 27(3):137–141 [徐满厚, 薛娴. 气候变暖对高寒地区植物生长与物候影响分析[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(3):137–141]
- [37] Karpenstein–Machan M, von Buttlar C. Effects of climate change on phenology of agricultural crops in Lower Saxony – Opportunities for adaptation demonstrated through energy crop cultivation[J]. *Ber Landwirtschaft*, 2012, 90(3):335–353
- [38] Kovacova M, Schieber B. Aboveground biomass, energy content and phenology of *Veronica officinalis* L. (*Scrophulariaceae*) population under different canopy density of beech stand[J]. *Ekol Bratislava*, 2003, 22(2):119–131
- [39] Bokhorst S, Bjerke JW, Street LE, et al. Impacts of multiple extreme winter warming events on sub–Arctic heathland: phenology, reproduction, growth, and CO<sub>2</sub> flux responses[J]. *Global Change Biol*, 2011, 17(9):2817–2830
- [40] Wesolowski T. Blackcap *Sylvia atricapilla* numbers, phenology and reproduction in a primeval forest – a 33–year study[J]. *J Ornithol*, 2011, 152(2):319–329
- [41] Harrington R, Woiod I, Sparks T. Climate change and trophic interactions[J]. *Trends Ecol Evol*, 1999, 14(4):146–150
- [42] Winder M, Schindler DE. Climate change uncouples trophic interactions in an aquatic ecosystem[J]. *Ecology*, 2004, 85(8):2100–2106
- [43] Froend RH, McComb AJ. Distribution, productivity and reproductive phenology of emergent macrophytes in relation to water regimes at wetlands of South–Western Australia[J]. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 1994, 45(8):1491–1508
- [44] Zhang Fawei, Li Hongqin, Li Yingnian et al. Effects of grassland caterpillars on plant community structure of alpine Kobresia meadows and soil properties[J]. *Animal Husbandry and Feed Science*, 2008:14–22 [张法伟, 李红琴, 李英年, 等. 青藏高原高寒湿地地表能量分配的动态变化[J] (英文). 草业科学, 2008:14–22]
- [45] Xing Yu, Jiang Qigang, Li Wenqing, et al. Landscape spatial patterns changes of the wetland in Qinghai–Tibet Plateau[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(3):1010–1015 [邢宇, 姜琦刚, 李文庆, 等. 青藏高原湿地景观空间格局的变化[J]. 生态环境学报, 2009, 18(3):1010–1015]
- [46] Wang Genxu, Li Yuanshou, Wang Yibo, et al. Typical alpine wetland system changes on the Qinghai–Tibet Plateau in recent 40 years[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(5):481–491 [王根绪, 李元寿, 王一博, 等. 近40年来青藏高原典型高寒湿地系统的动态变化[J]. 地理学报, 2007:481–491]
- [47] Bai Junhong, Ouyang Hua, Xu Huifeng, et al. Advances in studies of wetlands in Qinghai–Tibet Plateau[J]. *Progress in Geography*, 2004, 23(4):1–9 [白军红, 欧阳华, 徐惠风, 等. 青藏高原湿地研究进展[J]. 地理科学进展, 2004, 23(4):1–9]
- [48] Ren Fei, Yang Xiaoxia, Zhou Huakun, et al. Physiology-biochemical responses of three plant species to experimental warming Using OTC in alpine meadow on Qinghai–Tibetan Plateau[J]. *Acta Bot. Boreal. – Occident. Sin*, 2013, 33(11):2257–2264 [任飞, 杨晓霞, 周华坤, 等. 青藏高原高寒草甸3种植物对模拟增温的生理生化响应[J]. 西北植物学报, 2013, 33(11):2257–2264]
- [49] Li Honglin, Xu Danghui, Du Guozhen. Effect of change of plant community composition along degradation gradients on water conditions in an alpine swamp wetland on the Qinghai–Tibetan Plateau

of China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2012, 36(5): 403-410 [李宏林, 徐当会, 杜国祯. 青藏高原高寒沼泽湿地

在退化梯度上植物群落组成的改变对湿地水分状况的影响 [J]. 植物生态学报, 2012, 36(5): 403-410]

## Review and Evaluation of the Effect of the Climate Change on the High Altitude Wetland Ecosystem in Tibet Plateau

LIU Weilong, ZHAO Hui, WANG Xiaodan, CHENG Genwei

( Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** Wetlands at high altitude of Tibet Plateau offer a diversity of habitats to numerous aquatic organisms. Aquatic macrophyte is one of the integral parts of aquatic ecosystem, with plants providing food and shelter for other organisms that are in and close to the water. Thus, the plants in a water body may influence not only the ecosystem alone but also the surroundings. Aquatic plants sensitively respond to the environmental changes within a wetland. The tolerance limit of aquatic macrophytes is facing a great challenge in the context of climate change. It is, therefore, possible to quantify and project the climate scenario by analyzing the dynamics of these plants. The plants at high altitudes are believed to be particularly sensitive to long-term climate change because abiotic factors, especially climate, dominate with respect to biotic interactions. As the Earth's third pole, the Tibetan Plateau may be among the most sensitive to global climate change. The Plateau has experienced a pronounced warming in the past decades which has led to an accelerated glacier recession in recent years in the plateau, and the changing climate has placed additional pressure on already-vulnerable water ecosystems. As a result, snow, ice and frozen ground melting have brought sufficient water supply to some rivers or wetlands in the last three decades in the plateau. One of the prominent impacts is the water level fluctuation in the wetland. This has posed a significant impact on most wetlands which are recharged mainly from snow-melting, permafrost thawing, and percolated rainwater in the Tibetan Plateau. Consequently, the species, community and structure of the aquatic macrophytes have to adjust to the changing environment. However, few studies have been conducted in Tibet on the aquatic macrophytes on account of harsh climate, inconvenient transportation as well as the political controversy. In the hope of initiating a new perspective on climate change from aquatic macrophytes in the Tibetan Plateau, this paper presents and analyzes relevant literatures, the species identification, the plants distribution, the community structure and function to clarify the specious debate on aquatic macrophytes. It is suggested that the climate change will increase the distribution of certain macrophytes species along with the slightly expanded wetland. The water flow, bird and livestock could be the media to bring the seeds or other reproductive organs of the pioneer species in the new wetland. And the impact of climate warming on the timing of plant phenophases need to be stressed. Since the phenology of aquatic plants is easier influenced than its terrestrial counterparts, the linkage between climate change and aquatic plants can be used to better reestablish the historical climate or predict the future climate scenarios. Phenology, morphological plasticity and reproduction approaches of the aquatic macrophytes might be the key focus for the researchers in the future. The positive results of the potential research could uncover the correlation mechanism between climate change and aquatic ecosystem. Hopefully, the conclusion of this study will shed some light on predicting the climate change in the alpine biosphere from the perspective of aquatic macrophytes.

**Key words:** high altitude; wetland; aquatic macrophytes; climate change; Tibet Plateau