

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201406014

赵湘江, 田昆, 岳海涛. 水位变化对高原湿地湖滨带优势植物水葱的生长胁迫[J]. 广西植物, 2015, 35(3):303—308

Zhao XJ, Tian K, Yue HT. Growth stress of *Scirpus tabernaemontani* of dominant plant in plateau wetland lakeshore to water level fluctuating[J]. Guihaia, 2015, 35(3):303—308

水位变化对高原湿地湖滨带优势植物水葱的生长胁迫

赵湘江¹, 田 昆^{2,3*}, 岳海涛²

(1. 西南林业大学 环境科学与工程学院, 昆明 650224; 2. 国家高原湿地研究中心, 昆明 650224; 3. 重庆大学, 重庆 400044)

摘 要: 干旱等引起的水位变化使大面积湖泊湿地湖滨带退化消失, 其对湿地植物及其群落的影响是近年来的研究热点, 对生长于零地面水位环境水葱(实验组)的生长特性(相对生长速率、基茎、分枝数)和抗性相关物质(茎丙二醛、脯氨酸含量)进行研究, 与正常水环境(淹水约 20 cm)下生长的水葱(对照组)进行对比, 以揭示地面水位变为零(干旱)对水葱生长产生的影响。结果表明: 不同实验时间段, 水葱的相对生长速率不同, 5 月, 实验组和对照组分别为 $2.00 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $3.18 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$; 6 月中上旬, 分别为 $2.35 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $2.44 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$; 6 月中下旬, 分别为 $0.95 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $0.99 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$; 7 月之后, 分别为 $0.02 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $0.05 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。实验组水葱平均分枝数为 2.94 枝/丛, 对照组为 4.86 枝/丛; 实验组水葱基径为 5.15 mm, 对照组为 7.33 mm; 实验组水葱茎的相对含水量为 73.28%, 对照组为 75.28%; 实验组水葱平均丙二醛、脯氨酸含量分别为 $10.27 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $9.44 \mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$, 对照组分别为 $6.46 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $6.40 \mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。实验组和对对照组水葱除了茎相对含水量差异不显著, 其余指标均差异显著(对照组优于实验组), 这表明地面水位变为零相对不利于水葱生长, 会降低主要植物为水葱的湿地生态系统的生产力, 最终加速该种湿地生态系统退化演替。研究结果可为揭示气候变化(干旱)对湿地挺水植物的生长以及对高原湿地生态系统的影响提供科学依据。

关键词: 零地面水位; 水葱; 生长特性; 丙二醛; 脯氨酸

中图分类号: Q945.78 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2015)03-0303-06

Growth stress of *Scirpus tabernaemontani* of dominant plant in plateau wetland lakeshore to water level fluctuating

ZHAO Xiang-Jiang¹, TIAN Kun^{2,3*}, YUE Hai-Tao²

(1. College of Environmental Science and Engineering, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 2. National Plateau Wetlands Research Center, Kunming 650224, China; 3. Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Drought result in water level fluctuating led to large area lakeshore of wetland degenerate and disappear, the effects on wetland plants and communities had become one of the research hotspot in recent years, but the study on the growth(heights, relative growth rate, diameter, branches, relative moisture content) and resistance(the contents of MDA and proline) of *Scirpus tabernaemontani* that came from ground water level was zero(experimental group), compared with the *S. tabernaemontani* grew in normal water environment(control group, flooding about 20 cm), so as to reveal the impacts of *S. tabernaemontani* growth to zero ground water level(drought). The relative growth rate of *S. tabernaemontani* varied in different periods, the experimental group and control group were $2.00 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ and $3.18 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ in May, $2.35 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ and $2.44 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ in early June, $0.95 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ and $0.99 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ in

收稿日期: 2014-07-22 修回日期: 2014-09-10

基金项目: 国家“973”计划前期研究专项(2012CB426509); 国家自然科学基金(40971285, 31370497); 云南省科技创新人才计划项目(2012HC007); 云南省生态学优势特色重点学科(群)建设项目。

作者简介: 赵湘江(1988-), 男, 河南南阳人, 硕士研究生, 主要从事湿地生态学研究, (E-mail)852240037@qq.com。

通讯作者: 田昆, 博士, 教授, 主要从事湿地生态、土壤生态、恢复生态及自然保护研究, (E-mail)tlkunp@126.com。

late June, $0.02 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ and $0.05 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ after July respectively. The average number of branches of experimental group was 2.94 branches per plexus and control group was 4.86 branches per plexus. The diameter of experimental group was 5.15 mm and the control group was 7.33 mm. The relative moisture content of *S. Tabernaemontani* was 73.28% in experimental group and 75.28% in control group. The average content of MDA in the experimental group was $10.27 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ and the control group was $6.46 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$. The average value of proline content was $9.44 \mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ in experimental group and the control group was $6.40 \mu\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$. These indexes differences were all significant except for relative moisture content between experimental group and control group(The control group was better than that of the experimental group), which showed that zero ground water level was not conducive to *S. tabernaemontani*'s growth, would decrease the productivity of wetland ecosystem that was mainly *S. tabernaemontani*, and would accelerate this wetland ecosystem degradation succession. This article would provide scientific basis for revealing the serious effects on the growth of wetland aquatic plants and plateau wetland ecosystem result from climate chang(drought).

Key words: zero ground water level; *Scirpus tabernaemontani*; growth characteristics; MDA; proline

气候变化和人类活动影响下,湿地退化的水文特征大都表现为地表水与地下水位下降(Brooks, 2009),归根结底是有水到无水环境的变化(赵魁义等, 2008),当前许多湿地植物处于间歇性有水或零地面水位环境(付为国等, 2008)。云南省连年干旱,多数湖泊湿地水位下降,导致许多挺水植物的生长环境变为零地面水位(刘永等, 2006; 张刘东等, 2013)。云南高原湖泊湿地干湿季分明, 6—9 月份为明显湿季、降水后湖水上涨, 11 月至翌年 5 月份为明显干季、降水少、湖水逐步退落,使得许多自然湿地湖滨带植物特别是广布于世界各地,环境适应能力强的优势种水葱(*Scirpus tabernaemontani*),一年中大部分时间都生长于零地面水位环境(郭绪虎等, 2013; 付春平等, 2006)。袁桂香等(2011)研究发现水深 60 cm 对水葱的生长繁殖有显著抑制作用;吴建强等(2006)也指出水葱耐淹能力强,完全淹水 22 d 依然生长旺盛,这些均涉及水淹问题,而地面水位变为零对水葱的生长有何影响,由此引起的湿地生态系统过程,我们并未知晓。逆境条件下,植物在细胞水平上最明显的生理效应是膜系统结构和功能的破坏,植物体内自由基大量产生引发的膜脂过氧化是导致植物组织伤害的重要诱因,但通常植物可以通过调整体内保护酶的活性并共同协调作用清除自由基,保护细胞膜免遭氧化伤害;或增加渗透调节物质的含量,降低细胞渗透势,维持细胞膨压基本不变等途径来响应逆境(贺少轩等, 2009)。丙二醛含量反应植物细胞膜的受伤害程度,脯氨酸是目前所知植物体内分布最广的渗透调节物质,两者为植物抗逆性生理评价的重要指标(王满莲等, 2014)。

研究水葱茎的丙二醛和脯氨酸含量,可以反映生长环境对水葱产生的生理胁迫。

水葱为莎草科多年生宿根挺水草本植物,自然界中常生长在沼泽地、沟渠、池畔、湖畔浅水中,具有较好的景观效果和水质净化效果。近年来,云南高原湖泊湿地挺水植物分布面积丧失较为严重,并向着湿生沼泽化草甸演替,这与干旱引起的地表积水水位变化有很大联系(肖德荣等, 2007; 郭正刚等, 2007)。前人有关水位变化对湿地挺水植物的研究主要集中在生物量地下地上分配、可塑性反应、适应性等方面(郭雪莲等, 2008; Coops *et al.*, 1996; Mauchamp *et al.*, 2001),而关于水位下降对湿地挺水植物生长特性等影响的研究较少,以及挺水植物对水位变化的生理响应(抗性物质变化)也缺乏研究。本文对干旱引起的湖泊湿地湖滨带地面水位为零环境下,代表性优势挺水植物水葱的生长特性和抗逆性进行模拟研究,分析湖滨带地面水位变为零对水葱生长产生的影响及其生理胁迫,以揭示气候变化(干旱)对湿地挺水植物及其高原湿地生态系统的影响。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地($102^{\circ}45' \text{ E}$, $25^{\circ}04' \text{ N}$)位于滇池流域,海拔 1 946 m。该地春季干燥少雨,日温变化大,月均气温多在 20°C 以下;夏季降雨量占全年雨量的 60%,平均气温 22°C ;秋冬季日照充足,天晴少雨,每月晴天平均在 20 d 左右,日照 230 h 左右,雨日 4

d 左右, 全月降雨量占全年的 3%~5%。年均气温 15℃, 年均日照 2 200 h, 年降水量 1 035 mm, 年温差为全国最小, 日温差较大, 紫外线强度较高。

1.2 实验设计

2013 年 4 月下旬, 自滇池湖滨带取生长健壮、长势一致、无病虫害的水葱, 移栽至试验池(2.0 m×1.2 m×0.8 m)中, 基质为河砂(约 15 cm 厚), 株行距 20 cm, 常规栽培管理, 待水葱完全发出新芽(静养 1.5 月, 新芽约 30 cm)后开始实验。设置实验池(地面水位为零)和对照池(保持 20 cm 左右水深), 各 3 个平行, 每个池中有水葱 24 株(4 株/行×6 行)。实验池底部有排水系统, 每次加足量水均会在 2 min 内达成零地面水位, 土壤由于毛管持水力会保持湿润, 每 2 d 补水 1 次, 实验期间土壤重量含水量为(21.29±1.78)%; 对照池严格控水, 每两天补充蒸发散失水分, 每 6 d 更换池中水。实验时间自 5—10 月, 期间除株高需连续测量外, 其余指标测定均在水葱生长旺季结束后进行。

1.3 测定方法

1.3.1 株高、基茎、分枝数测定 2013 年 10 月初, 用卷尺测量水葱株高(精确到 0.1 cm); 基茎测定部位为高于土面 5 cm 处, 每株用游标卡尺交叉测定 2 次(精确到 0.01 mm); 观测每株水葱的分枝数, 实验组和对照组分别求平均值。5 月 28 日至 6 月 29 日期间, 用卷尺测定两组池中各株水葱株高(每株测量最高分枝), 每 2 d 测定 1 次, 之后 9 月底再测量 1 次。相对生长速率=(株高 II—株高 I)/间隔天数, 单位为 cm·d⁻¹。

1.3.2 茎相对含水量测定 茎相对含水量根据 RWC(%)=(鲜重—干重)/(饱和重—干重)×100%公式来计算。茎剪下后马上称鲜重, 然后把称完鲜重的茎放入装有蒸馏水的烧杯中, 黑暗处放置 24 h 后称饱和重, 之后在鼓风烘箱中于 80℃烘干 48 h 称干重。

1.3.3 抗性相关物质测定 丙二醛含量测定用硫代巴比妥酸法(郝再彬等, 2004)。脯氨酸含量测定用磺基水杨酸法(张宪政, 1990)。实验池和对照池每个平行中分别取 3 株具有代表性的水葱测量其茎的丙二醛、脯氨酸含量, 再求平均值。

1.4 数据统计分析

利用 Excel 2003 软件整理数据, 用 SPSS11.5 分析软件进行方差分析和差异性分析, 显著性差异水平为 $P=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 地面水位变为零对水葱株高、相对生长速率的影响

水葱生长旺季结束后, 正常水位环境中生长的水葱株高为 148.4 cm, 零地面水位生长的水葱株高为 121.9 cm, 前者是后者的 1.22 倍。不同实验时间段, 水葱的相对生长速率不同(图 1), 5 月 1—30 日, 实验组和对照组平均生长分别为 2.00 和 3.18 cm·d⁻¹; 5 月 31 日至 6 月 15 日, 分别为 2.35 和 2.44 cm·d⁻¹; 6 月 16—30 日, 分别为 0.95 和 0.99 cm·d⁻¹; 7 月之后, 分别为 0.02 和 0.05 cm·d⁻¹。

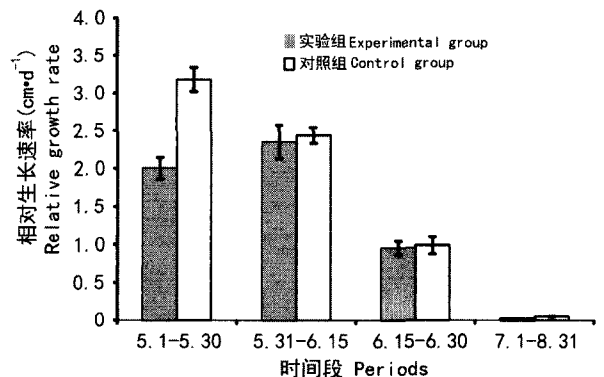


图 1 不同时间段水葱生长速率

Fig. 1 Growth rate of *Scirpus tabernaemontani* in different periods

2.2 地面水位变为零对水葱分枝数、基径及茎相对含水量的影响

对照组水葱分枝数(图 2:A)、基茎(图 2:B)、茎相对含水量(图 2:C)数值比实验组大。正常水位环境中生长的水葱平均分枝数为 4.86 枝/丛, 为零地面水位环境生长水葱(2.94 枝/丛)的 1.65 倍, 差异显著($P<0.05$)。生长旺季结束后, 实验组水葱基径为 5.15 mm, 对照组为 7.33 mm, 差异显著($P<0.05$)。实验组水葱茎相对含水量为 73.28%, 对照组为 75.28%, 无显著差异($P>0.05$)。

2.3 地面水位变为零对水葱茎丙二醛(MDA)、脯氨酸(Pro)含量的影响

零地面水位环境中生长的水葱丙二醛、脯氨酸含量分别高于正常水位环境中的水葱(图 3), 实验组水葱平均丙二醛含量为 10.27 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 对照组为 6.46 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 前者为后者的 1.59 倍, 差异显著

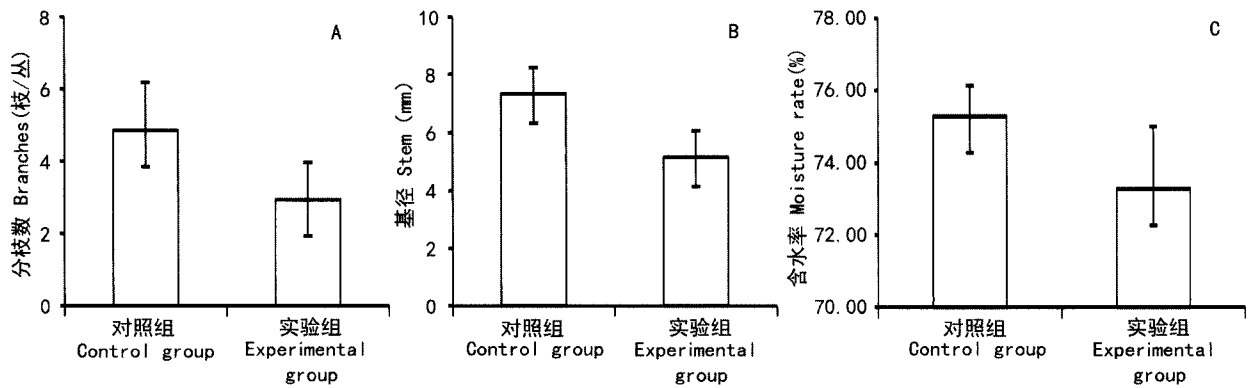


图 2 水葱分枝数、基径、茎相对含水量
Fig. 2 Branches, stem, moisture content of *S. tabernaemontani*

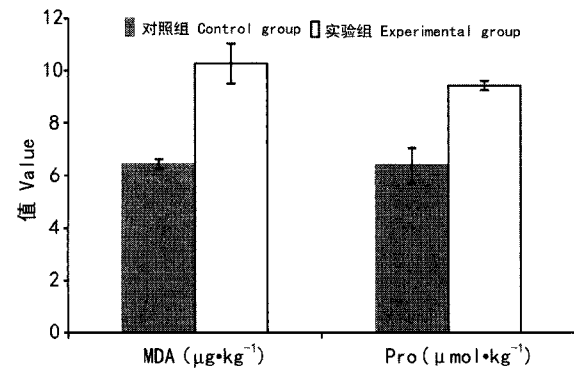


图 3 水葱 MDA、Pro 含量
Fig. 3 Contents of MDA and Pro of *S. tabernaemontani*

($P < 0.05$)。实验组水葱平均脯氨酸含量为 $9.44 \mu\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$, 对照组为 $6.40 \mu\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$, 前者为后者的 1.47 倍, 差异显著 ($P < 0.05$)。

3 讨论与结论

水分梯度是影响湿地生态系统形成、发育、演化和退化的决定性因素 (Gusewell *et al.*, 2003), 不同水分条件下生长和分布着不同的湿地植物群落。水位波动可以破坏现存的湿地植被, 导致湿地植物物种多度降低, 使植被类型发生相应变化 (徐治国等, 2006)。湿地水分条件和水位变化直接影响到湿地生态系统植物群落的分布及其生产量、群落的稳定性和物种多样性 (王海洋等, 1999)。水位环境变化是湿地生态系统退化的敏感指标, 其变化规律也预示了湿地生态系统的演替方向 (Schwerdtfeger *et al.*, 2009; 尚文等, 2012)。水葱的生长主要受环境条件控制, 尤其是水环境、土壤条件对其影响显著

(Grace *et al.*, 1999)。在气候因子 (温度、光照等)、土壤基质 (均为河砂) 一致的情况下, 水分便成为影响水葱生长的主导因子。

湿地生态系统退化的最直接表现是群落地上总生物量的减少 (李建玮等, 2012), 而分枝数、株高、基径、相对生长速率等与生物量密切正相关 (南红梅等, 2004)。水葱的适应性强 (岳海涛等, 2012), 实验中尽管基质为河砂, 但有水分就会发芽生长, 故实验组和对照组水葱的发芽率为 100%, 且发芽时间一致。生长旺季结束后, 实验组和对照组水葱的生长状况表现出明显差异, 实验组水葱株高、基茎、分枝数明显小于对照组, 可能与有效养分有关, 淹水条件下 (对照组), 水葱生长于还原环境, 土壤有机质和氮处于积累状态, 而地面水位为零 (实验组) 情况下, 矿化程度提高, 有机质分解, 有效养分含量下降 (田应兵等, 2005); 也可能由于淹水时水葱根部缺氧而导致乙烯的前体物质 1-氨基环丙烷-1-羧酸 (ACC) 积累, 促进乙烯合成, 进而促进水葱伸长生长。高地面水位会改变挺水植物水上部分的比例, 使净光合速率受到限制, 生长速率会较小 (Vretare *et al.*, 2000), 但本实验中, 20 cm 水深仅占水葱株高的 13.5%, 比例较小, 并没有在光合作用方面对水葱生长产生明显限制。前期, 实验组和对照组水葱的相对生长速率均较大, 6 月中旬以后明显减小, 7 月以后水葱基本停止生长, 这与水葱的生长习性有关, 也可能与环境温度变化有关, 董瑜等 (2013) 研究表明在一定范围内, 升温有利于水葱生长, 而 5—6 月中旬试验地平均气温比 6 月中旬以后高, 但整个过程中实验组水葱的相对生长速率均比对照组小。实验组水葱各项生长指标均比对照组差, 说明地面水位

变为零对水葱生长产生负面影响,会导致水葱生物量下降。张继义等(2003)研究指出水分条件变差,植被会向着植株低矮、生产力低的方向发展,该实验地面水位变为零对水葱影响的研究结果与之相符。

植物在遭受逆境时,体内活性氧代谢会失衡,过多的活性氧能使植物器官(如叶片等)遭受伤害,在此过程中往往会发生膜脂过氧化,丙二醛(MDA)是细胞膜脂过氧化反应的重要产物(石贵玉等,2013),含量多少代表膜损伤程度的高低(李林玉等,2013),MDA 积累越多表明组织的保护能力越弱(王丽燕等,2005)。脯氨酸(Pro)是细胞中起无毒渗透保护作用的相溶性物质,被广泛地积累在各种器官中(Akihiro *et al.*,2007),其在植物细胞内的积累,可作为逆境胁迫的一个信号(Rai *et al.*,2003),是反映植物抗逆性的重要生理指标之一。Pro 是目前所知分布最广的渗透保护物质,以游离状态广泛存在于植物体内(张显强等,2004),在逆境条件下植物体往往会大量积累 Pro,积累的 Pro 可降低细胞渗透势,维持压力势,保持和稳定大分子物质,参与叶绿素合成,维持细胞正常功能(李忠光等,2010)。零地面水位环境中生长的水葱丙二醛、脯氨酸含量均显著高于正常水位环境中的水葱($P<0.05$),表明相对正常水位环境来说,地面水位变为零对水葱生长产生胁迫,成为水葱生长的逆境。舒美英等(2008)对水葱的抗旱性做了初步研究,发现水葱茎丙二醛、脯氨酸含量随干旱胁迫加重呈先增大后减小趋势,水葱丙二醛和脯氨酸含量随水位下降而升高,表明地面水位变为零虽对水葱生长产生胁迫,但不会导致水葱死亡,实验组和对照组水葱茎相对含水量无明显差异也说明了这一点。干旱、气候变化等引起的湿地地表积水水位下降(宋长春,2003),直接改变水葱等湿地挺水植物的生长环境,地面水位为零、土壤水分充足的生长环境对水葱产生负面影响,且地面水位消失后许多湖滨带水葱将长期生长于干涸地带,土壤逐渐干旱,最终会加速水葱为主要植物的湿地生态系统退化演替。在气候变化、干旱大背景下,地下水水位下降(土壤逐渐干旱)、湿地水文条件变差对湿地常见挺水植物(茭草、芦苇、香蒲、荸荠等)生长及群落演替的影响需加强研究。

参考文献：

Brooks RT. 2009. Potential impacts of global climate change on the hydrology and ecology of ephemeral freshwater systems of the forests of the northeastern United States[J]. *Clim Chang*, **95**

(3/4):469—483
 Coops H, van den Brink FWB, van der Velde G. 1996. Growth and morphological responses of four helophyte species in an experimental water-depth gradient[J]. *Aquat Bot*, **54**(1):11—24
 Dong Y (董瑜), Tian K (田昆), Guo XH (郭绪虎), *et al.* 2013. Impacts of regional climate change on chlorophyll fluorescence characteristics of plateau wetland plants in Napahai, Yunnan, China(不同区域气候条件影响下的纳帕海湿地植物叶绿素荧光特性)[J]. *Ecol & Environ Sci*(生态环境学报), **22**(4): 588—594
 Fu CP(付春平), Tang YP(唐运平). 2006. Study on effect of *Scirpus tabernaemontani* on purification of reclaimed water with high salt(水葱对高盐再生水的净化效果研究)[J]. *Chin Water & Wastew*(中国给水排水), **3**(5):40—42
 Fu WG(付为国), Li PP(李萍萍), Bian XM(卞新民), *et al.* 2008. Niche dynamics of population of vegetation community in succession process in Zhenjiang Inner-river wetland(镇江内江湿地植物群落演替进程中种群生态位动态)[J]. *Ecol & Environ*(生态环境), **17**(1):278—284
 Grace JB, Jutila H. 1999. The relationship between species density and community biomass in grazed and ungrazed coastal wetlands [J]. *Oikos*, **85**:398—408
 Guo XH(郭绪虎), Xiao DR(肖德荣), Tian K(田昆), *et al.* 2013. Biomass production and litter decomposition of lakeshore plants in Napahai wetland, Northwestern Yunnan Plateau, China(滇西北高原纳帕海湿地湖滨带优势植物生物量及其凋落物分解)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **33**(5):1 452—1 432
 Guo XL(郭雪莲), Lü XG(吕宪国), Dai GH(戴国华). 2008. Aboveground biomass dynamics within wetlands along a water level gradient in the Sanjiang Plain(三江平原不同水位梯度湿地地上生物量动态特征)[J]. *Ecol & Environ*(生态环境), **17**(5):1 739—1 742
 Guo ZG(郭正刚), Niu FJ(牛富俊), Zhan H(湛虎), *et al.* 2007. Changes of grassland ecosystem due to degradation of permafrost frozen soil in the Qinghai-Tibet Plateau(青藏高原北部多年冻土退化过程中生态系统的变化特征)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **27**(8):3294—3301
 Gusewell S, Bollens U, Ryser P, *et al.* 2003. Contrasting effects of nitrogen, phosphorus and water regime on first and second year growth of 16 wetland plant species[J]. *Funct Ecol*, **17**: 754—765
 Hao ZB(郝再彬), Cang J(苍晶), Xu Z(徐仲). 2004. Plant Physiology Experiment(植物生理实验)[M]. Harbin(哈尔滨): Harbin Institute of Technology Press(哈尔滨工业大学出版社)
 He SX(贺少轩), Liang ZS(梁宗锁), Wei LZ(蔚丽珍), *et al.* 2009. Growth and physiological characteristics of wild sour jujube seedlings from two provenances under soil water stress(土壤干旱对 2 个种源野生酸枣幼苗生长和生理特性的影响)[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*(西北植物学报), (7):1 387—1 393
 Li JW(李建玮), Wang LX(王立新), Wang W(王炜), *et al.* 2012. Characterization of degradation of wetland plant communities on floodplain in typical steppe region of Inner Mongolia Plateau, China(内蒙古高原典型草原区河漫滩湿地植物群落退化表征)[J]. *Chin J Plant Ecol*(植物生态学报), **36**(1):10—18
 Li LY(李林玉), Zhang SP(张时萍), Huang QC(黄群策). 2013. Effect of low-energy N^+ ion beam irradiation on the main

- physiological characteristics of rice with different chromosome sets in seedling period(低能 N^+ 离子束注入对不同染色体组倍性水稻幼苗期生理特性的影响)[J]. *Guihaia* (广西植物), **33**(2):164—170
- Li ZG(李忠光), Guo Y(郭颖), Yang SM(杨双梅), et al. 2010. Heat-shock-induced heat tolerance in maize seedlings and involvement of proline(热激诱导的玉米幼苗耐热性及其与脯氨酸的关系)[J]. *Guihaia* (广西植物), **30**(3):403—406
- Liu Y(刘永), Guo HC(郭怀成), Zhou F(周丰), et al. 2006. Role of water level fluctuation on aquatic vegetation in lakes(湖泊水位变动对水生植被的影响机理及其调控方法)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **26**(9):3117—3126
- Mauchamp A, Blanch S, Grillas P. 2001. Effects of submergence on the growth of *Phragmites australis* seedlings[J]. *Aquat Bot*, **69**(2):147—164
- Nan HM(南红梅), Wang JP(王俊鹏). 2004. Comparative study on the growth characteristics of 8 foreign alfalfa cultivars(8个引进苜蓿品种的生长特性比较研究)[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*(西北植物学报), **24**(12):2 261—2 265
- Rai SP, Iuthra R, Kumar S. 2003. Salt tolerant mutants in glyco-phytic salinity response (GSR) genes in *Catharanthus roseus* [J]. *Theor Appl Genet*, **106**(2):221—230
- Schwerdtfeger J, Johnson MS, Weiler M, et al. 2009. Isotopic Estimation of Water Balance and Ground Water-surface Water Interactions of Tropical Wetland Lakes in the Pantanal, Brazil [M]. San Francisco: American Geophysical Union
- Shang W(尚文), Yang YX(杨永兴). 2012. Degradation characteristics, patterns, and processes of lakeside wetland in Napahai of northwest Yunnan Plateau, Southwest China(滇西北高原纳帕海湖滨湿地退化特征、规律与过程)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **23**(12):3 257—3 265
- Shi GY(石贵玉), Liang SC(梁士楚), Huang YL(黄雅丽), et al. 2013. Physiological response of *Spartina alterniflora* seedlings to cadmium stress(互花米草幼苗对重金属镉胁迫的生理响应)[J]. *Guihaia* (广西植物), **33**(6):812—816
- Shu MY(舒美英), Lu WM(卢伟民), Cai JG(蔡建国), et al. 2008. 5 种湿地植物抗旱性的初步研究[J]. *Jiangsu Agric Sci* (江苏农业科学), (3):266—268
- Song CC(宋长春). 2003. Influence of global climate change on wetlands(湿地生态系统对气候变化的响应)[J]. *Wetl Sci*(湿地科学), **1**(2):122—127
- Tian YB(田应兵), Xiong MB(熊明标), Song GY(宋光煜). 2005. Restoration succession of wetland soils and their changes of water and nutrient in Ruogai Plateau(若尔盖高原湿地土壤的恢复演替及其水分与养分变化)[J]. *Chin J Ecol*(生态学杂志), **24**(1):21—25
- Ueda A, Yamane YY, Takabe T. 2007. Salt stress enhances proline utilization in the apical region of barley roots[J]. *Biochem & Biophys Res Comm*, **355**:61—66
- Vretare V, Weisner SEB. 2000. Influence of pressurized ventilation on performance of an emergent macrophyte(*Phragmites australis*)[J]. *Ecol*, **88**:978—987
- Wang HY(王海洋), Chen JK(陈家宽), Zhou J(周进). 1999. Influence of water level gradient on plant growth, reproduction and biomass allocation of wetland plant species(水位梯度对湿地植物生长、繁殖和生物量分配的影响)[J]. *Chin J Plant Ecol*(植物生态学报), **23**(3):269—274
- Wang LY(王丽燕), Zhao KF(赵可夫). 2005. Some physiological response of zeas under salt-stress(玉米幼苗对盐胁迫的生理响应)[J]. *Acta Agron Sin*(作物学报), **2**:264—266
- Wang ML(王满莲), Wei X(韦霄), Kong DX(孔德鑫), et al. 2014. Effects of drought stress and rehydration on physiological characteristics of *Ardisia corymbifera* var. *tuberifera* seedlings(干旱胁迫与复水对块根紫金牛生理特性的影响)[J]. *Guihaia* (广西植物), **34**(1):105—110
- Wu JQ(吴建强), Huang SF(黄沈发), Ruan XH(阮晓红), et al. 2006. Treatment of polluted river water using surface flow constructed wetlands in Xinyi River Floodplain, Jiangsu Province(江苏新沂河河漫滩表面流人工湿地对污染河水的净化试验)[J]. *J Lake Sci*(湖泊科学), **18**(3):238—242
- Xiao DR(肖德荣), Tisn K(田昆), Yang YM(杨宇明), et al. 2007. Plant diversity pattern and its driving forces in Napahai, a degraded plateau wetland in northwestern Yunnan, China(高原退化湿地纳帕海植物多样性格局特征及其驱动力)[J]. *Ecol & Environ*(生态环境), **16**(2):523—529
- Xu ZG(徐治国), He Y(何岩), Yan BX(闫百兴), et al. 2006. Effects of nutrients and water level fluctuation on wetland plants(营养物及水位变化对湿地植物的影响)[J]. *Chin J Ecol*(生态学杂志), **25**(1):87—92
- Yuan GZ(袁桂香), Wu AP(吴爱平), Ge DB(葛大兵), et al. 2011. Effects of water depth on the growth of four emergent macrophytes(不同水深梯度对4种挺水植物生长繁殖的影响)[J]. *Acta Sci Circumst*(环境科学学报), **31**(12):2 690—2 697
- Yue HT(岳海涛), Tian K(田昆), Zhang K(张昆), et al. 2012. Nitrogen removal ability of three emergent aquatic plants along plateau lakeside of Yunnan and their response to the sewage(云南高原湖滨带3种挺水植物对水体N的净化能力及响应)[J]. *Ecol Sci*(生态科学), **31**(2):133—137
- Zhang JY(张继义), Zhao HL(赵哈林). 2003. Review on the study of vegetation stability(植被(植物群落)稳定性研究评述)[J]. *Chin J Ecol*(生态学杂志), **22**(4):42—48
- Zhang LD(张刘东), Guo P(郭萍), Gong AM(龚爱民), et al. 2013. Trend analysis on ET_0 and climate drought of Kunming city in recent 60 years(昆明市近60年 ET_0 及气候干旱趋势分析)[J]. *J Irrig & Drain*(灌溉排水学报), **32**(6):125—127
- Zhao KY(赵魁义), Lou YJ(娄彦景), Hu JM(胡金明), et al. 2008. A study of current status and conservation of threatened wetland ecological environment in Sanjiang Plain(三江平原湿地生态环境受威胁现状及其保育研究)[J]. *J Nat Res*(自然资源学报), **23**(5):791—796
- Zhang XQ(张显强), Luo ZQ(罗在荣), Tang JG(唐金刚), et al. 2004. Effect of high temperature and drought stress on free proline content and soluble sugar content of *Taxiphyllum taxirameum*(高温和干旱胁迫对鳞叶鲜游离脯氨酸和可溶性糖含量的影响)[J]. *Guihaia* (广西植物), **24**(6):570—573
- Zhang XZ(张宪政). 1990. Research Method of Crop Physiology(作物生理研究法)[M]. Beijing(北京): Chinese Agriculture Press(中国农业出版社)