

doi: 10.7541/2016.71

春季不同程度低水位对四种沉水植物生理的影响

刘俊初 于 丹 刘春花

(武汉大学生命科学院, 梁子湖湖泊生态系统国家野外科学观测研究站, 武汉 430072)

摘要: 为了解不同沉水植物对春季低水位的生理响应, 在2014年春季开展为期3个月的控制实验, 研究不同程度的春季低水位, 包括极低水位(水深18 cm)、较低水位(36 cm)和低水位(54 cm)对3种乡土沉水植物微齿眼子菜、穗花狐尾藻和菹草的最大光化学量子产量(F_v/F_m)、总叶绿素含量和可溶性糖含量的影响, 并与外来种伊乐藻作对比。结果显示, 随着水位的降低, 微齿眼子菜、菹草和伊乐藻 F_v/F_m 显著升高, 而穗花狐尾藻的 F_v/F_m 无显著变化; 在3种水位下伊乐藻的 F_v/F_m 都明显高于其他3种植物。微齿眼子菜和菹草总叶绿素含量也随着水位降低有升高趋势, 而穗花狐尾藻和伊乐藻的总叶绿素含量随水位没有显著变化。所有水位下微齿眼子菜总叶绿素含量最高, 穗花狐尾藻最低, 菹草只在低水位下显著低于伊乐藻。微齿眼子菜、菹草和伊乐藻的可溶性糖含量随着水位的降低而下降, 穗花狐尾藻的可溶性糖含量随着水位的降低有升高趋势。在低水位和较低水位下穗花狐尾藻和菹草的可溶性糖含量分别是所有植物中的最小和最大, 但在极低水位下4种沉水植物的可溶性糖含量无明显差异。以上结果表明, 春季极低水位对微齿眼子菜、伊乐藻和菹草不产生胁迫, 但对穗花狐尾藻产生了胁迫; 伊乐藻潜在光合能力强于乡土种, 在春季浅水区具备较强的入侵性。

关键词: 低水位; 沉水植物; 胁迫; 生理响应

中图分类号: Q494

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2016)03-0532-06

气候变化是水文学的主要影响因子, 随着全球气候变化, 在未来有可能导致更严重和更频繁的洪水和干旱^[1], 如19世纪晚期以来, 我国大多数湖泊都表现出水位的强烈波动变化^[2]。水位是影响水生植物生长和繁殖的一个重要生态因子, 也是影响沉水植被分布格局和物种多样性的重要因子^[3], 可改变本地种和外来种的竞争平衡^[4]。沉水植物为了适应水位变化, 株高、叶片长度和数量、生物量及分配格局、叶绿素与光合特征、繁殖体数量等也会相应的随之改变^[3, 5-7]。这些研究多是在夏季或秋季开展的, 同时水位变化尤其是水深较大, 有的甚至达到6 m^[3]。另一方面, 由于适当的降低水位能有效提高重建沉水植被的成功率^[8]; 湖泊在经历水位降低后, 减少了优势种的竞争, 沉水植被的多样性增加^[9], 也会促进或抑制一些外来种的入侵^[10, 11]。因此, 水位降低常被用来作为管理或恢复水生植被的方法之一, 但是, 水位降低的措施是否有效因种而

异^[10]。沉水植物外来种是如何响应低水位的? 尤其是春季低水位对其生理特征有何影响, 目前研究还较少。

微齿眼子菜(*Potamogeton maackianus*)和穗花狐尾藻(*Myriophyllum spicatum*)是长江中下游湖泊主要的沉水植物^[12], 微齿眼子菜在冬季保持绿色, 春夏季进入旺盛生长^[13]。菹草(*P. crispus*)是秋季萌发, 冬、春季生长, 分布广泛, 是长江中下游湖泊的优势种^[14]。伊乐藻(*Elodea nuttallii*)原产美洲温带, 1986年由南京地湖所从日本引入我国, 多以植株碎断扩散, 目前已成为太湖优势种^[15]。本研究选取这4种沉水植物, 从生理角度(包括最大光化学量子产量、总叶绿素含量和可溶性糖含量)来探讨不同程度的春季低水位对这些沉水植物生理的影响, 试图回答以下问题: 哪种乡土沉水植物不适宜春季低水位生长? 春季低水位能否对外来种的生长有抑制作用? 本实验可为乡土种在水体中的恢复利用和外来

收稿日期: 2015-05-04; 修订日期: 2015-12-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(31170339)资助 [Supported by the Natural Science Foundation of China (31170339)]

作者简介: 刘俊初(1989—), 男, 湖南株洲人; 硕士研究生; 主要研究方向为水生植物生态学。E-mail: 228423967@qq.com

通信作者: 刘春花, 副教授; E-mail: liuchh@163.com

种的控制与管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

2013年12月初,从武汉大学梁子湖湖泊生态系统国家野外科学观测研究站的实验水泥池中采集微齿眼子菜、穗花狐尾藻、菹草和伊乐藻的顶枝(同一水生环境的同生群中),每株长度为15 cm,带回温室进行生根培养。经过两周左右的培养后,大部分断枝生根,选取大小一致的健康植株移栽到120 L实验桶中(底泥为湖泥,15 cm厚,水深为54 cm),每个实验桶种植1种植物,每种植物种植12株,进行预培养。

1.2 实验设计

本实验在武汉大学梁子湖国家站玻璃温室中进行。在预培养一个月后,每个实验桶中植株均长成了稳定的群落,再通过细塑料软管利用虹吸原理将水缓缓抽至设定水位。实验设为3个处理,低水位(水深为54 cm),较低水位(水深为36 cm),极低水位(水深为18 cm),每个处理6个重复。实验用桶总共为72个。实验于2014年2月开始,2014年4月结束。每天清理杂草、水绵,补充水位,做好管理工作。在实验期间,温室白天最高温度为27℃,最低温度为8.5℃,日平均温度约为15.7℃,用全自动量程照度计(ZDS-10F-2D型,上海嘉定学联仪表厂)测得温室水面的光照为2000 lx左右,水下18 cm的光照强度为(1770±25) lx, 36 cm的光照强度为(1160±10) lx, 54 cm的光照强度为(839±30) lx。

1.3 数据收集与分析

每个实验桶选取植株主枝上完全展开的第3片健康叶片,叶片与底泥的距离基本一致,一共选择6片,于清晨太阳尚未照到植物叶片时用水下调制叶绿素荧光仪(DIVING-PAM, Walz, Effeltrich, Germany)测定最大光化学量子产量 F_v/F_m ,此时叶片经过充分暗适应,测定结果代表植物在实验设计水位的最大潜在光合作用能力,可一定程度上反映其在实验水位的生理状态^[16]。另取0.1 g新鲜叶片,用丙

酮法测定总叶绿素含量,平行测定3次^[17]。在剩余的植物群落中,每个实验桶取若干新鲜植株(随机选取整株地上部分植物体,≥100 g),在70℃烘箱中72h烘干至恒重,然后用10000 r/min粉碎机打成粉末状,蒽酮法测定可溶性糖含量^[18]。

采用SPSS Statistics v19.0统计软件进行统计分析,用Sigmaplot 12.5进行作图。在方差分析之前首先检验方差齐次性,不满足方差齐次性的数据都进行了转换,其中菹草的可溶性糖含量,穗花狐尾藻的总叶绿素经过log对数转换,微齿眼子菜,伊乐藻和菹草的最大光化学量子产量(F_v/F_m)通过arcsine转换^[19]。数据转换后首先利用双因素方差分析(Two-way ANOVA)检验不同处理对于各项指标的影响,若有显著差异,则再通过One-way ANOVA的方法对不同水位和物种之间的差异进行分析。

2 结果

水位对 F_v/F_m ,总叶绿素含量和可溶性糖含量都有显著影响(表1)。只有微齿眼子菜、菹草和伊乐藻的 F_v/F_m 随着水位的降低显著升高,而穗花狐尾藻的 F_v/F_m 在不同水位下没有显著变化(图1A);水位变化对穗花狐尾藻和伊乐藻的总叶绿素含量无明显影响;微齿眼子菜的总叶绿素含量在较低水位下明显小于极低水位,二者皆与低水位无明显差异;菹草的总叶绿素含量在低水位下明显小于极低水位,但二者皆与较低水位无明显区别(图1B)。随着水位的下降,微齿眼子菜、菹草和伊乐藻的可溶性糖含量有下降的趋势,而穗花狐尾藻的可溶性糖含量却有上升的趋势;微齿眼子菜的可溶性糖含量在低水位下显著大于较低水位和极低水位,而后二种水位之间无明显差异;菹草的可溶性糖含量在极低水位下明显小于低水位和较低水位,而后二种水位之间无明显差异;伊乐藻的可溶性糖含量在低水位下明显大于极低水位下,而其余水位下相互间无明显差异;穗花狐尾藻的可溶性糖含量在低水位下明显小于极低水位,其余水位下相互间无明显区别(图1C)。

表1 水位和物种对 F_v/F_m 、总叶绿素和可溶性糖含量的双因素检验的 F 值和显著度

Tab. 1 Effects of water level and species on F_v/F_m , total chlorophyll and soluble sugar contents

因变量 Dependent	水位 Water Level	物种 Species	水位×物种 Water level×Species (W×S)
最大光化学量子产量 F_v/F_m	53.39***	81.25***	12.62***
总叶绿素Total chlorophyll	12.35***	225.31***	2.02
可溶性糖含量Soluble sugar	14.53***	43.47***	11.31

Note: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$

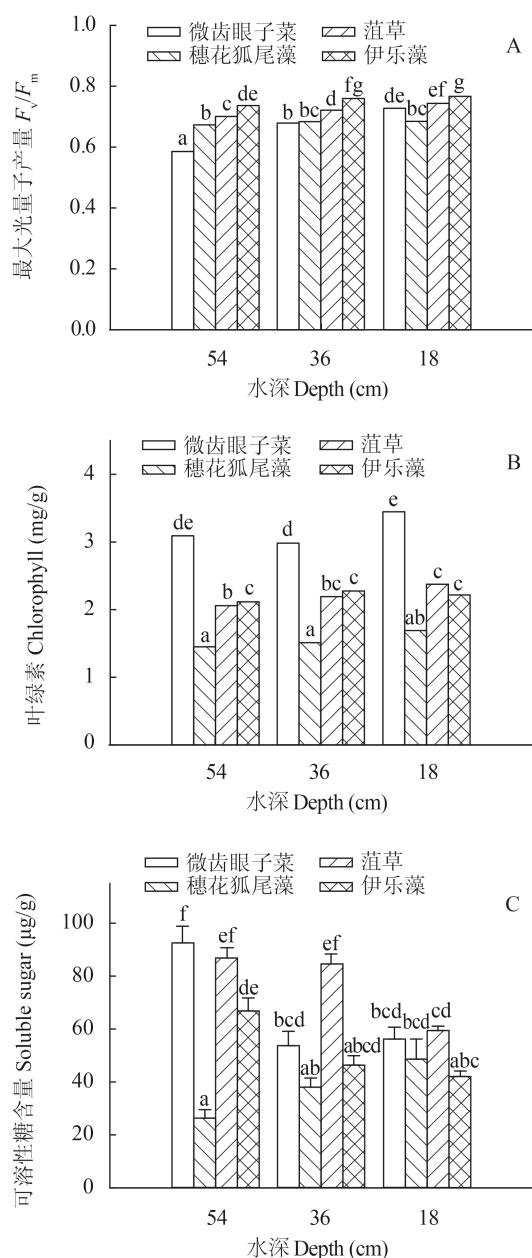


图1 不同水位处理对微齿眼子菜、穗花狐尾藻、菹草、伊乐藻 F_v/F_m 、总叶绿素和可溶性糖含量的影响

Fig. 1 Effects of water level on F_v/F_m , total chlorophyll content and soluble sugar of *P. crispus*, *M. spicatum*, *P. maackianus* and *E. nuttallii*

标注相同字母的处理间无显著性差异(Tukey test, $P>0.05$), 不同字母的处理间有显著性差异(Tukey test, $P<0.05$)

Same letters indicate insignificant differences among treatments (Tukey test, $P>0.05$), and different letters indicate significant differences (Tukey test, $P<0.05$)

物种对 F_v/F_m 、总叶绿素含量和可溶性糖含量都有显著影响(表1)。伊乐藻的 F_v/F_m 明显大于其他三种植物;菹草的 F_v/F_m 在极低水位下与微齿眼子菜无明显差异,而在低水位和较低水位下皆显著大于微齿眼子菜和穗花狐尾藻的 F_v/F_m ;在低水位

下和极低水位下微齿眼子菜的 F_v/F_m 分别明显低于和高于穗花狐尾藻,而在较低水位下二者无明显区别(图1A)。微齿眼子菜的总叶绿素含量在所有水位下都显著大于其他三种植物,而穗花狐尾藻的总叶绿素含量显著小于其他三种植物;菹草在低水位时总叶绿素含量显著低于伊乐藻,但在较低水位和极低水位处理下二者没有显著差别(图1B)。在低水位下微齿眼子菜和菹草、菹草和伊乐藻的可溶性糖含量无明显区别,但都明显大于穗花狐尾藻;在较低水位下微齿眼子菜、穗花狐尾藻和伊乐藻的可溶性糖含量无明显区别,但都明显小于菹草的可溶性糖含量;在极低水位下4种植物之间的可溶性糖含量无显著差别(图1C)。

此外,不同水位和物种对 F_v/F_m 的影响存在显著的交互作用,而对总叶绿素含量和可溶性糖含量无明显的交互作用(表1)。

3 讨论

植物叶片的 F_v/F_m 在胁迫条件下会有所下降^[20],如前人研究表明沉水植物苦草随着水深的减少 F_v/F_m 降低,相对于2 m水深,在浅水处(0.6 m)苦草叶片由于受到强光照的影响,PS II原初光能转化效率低,PS II潜在活性受损,光合作用原初反应过程受抑制^[6]。水位的降低对一些沉水植物而言也是一种胁迫因子^[7],同样也可能会影响到沉水植物的 F_v/F_m 。在本实验中微齿眼子菜、菹草、伊乐藻3种沉水植物随着水位的升高, F_v/F_m 逐渐降低。这可能是由于本研究是在春季开展,光照相对于夏季要低的多,而且水下54 cm的光照强度只有 (839 ± 30) lx低于菹草、狐尾藻、金鱼藻、轮叶黑藻、篦齿眼子菜等沉水植物的光补偿点^[21, 22],而且伊乐藻的最适生长光强为5300 lx左右^[23],因此在本实验中水位增加形成的低光胁迫导致这三种植物的 F_v/F_m 下降,尤其是微齿眼子菜的 F_v/F_m 下降的更为明显,在低水位时仅有0.58。另一方面也说明春季的极低水位反而有利于这3种沉水植物 F_v/F_m 的增加。穗花狐尾藻的 F_v/F_m 没有随水位变化而显著变化,其原因可能是由于穗花狐尾藻的叶生物量主要集中在靠近水面部分,能在上层形成较强的竞争阳光能力^[21],较小的水位变化对其获得的光照影响不大,因而对 F_v/F_m 的影响也不明显。

叶绿素含量的高低在很大程度上反映了植物的光能吸收、转化和传递能力,且叶绿素含量与叶片光合速率、外界环境条件等密切相关,通常可通过测定叶绿素含量来表征植物生长状况^[24]。沉水植物的光合色素含量与光照有明显的相关性^[25]。

有研究表明包括微齿眼子菜和穗花狐尾藻在内的4种沉水植物的叶绿素含量随着水深增加、光照降低有升高趋势^[13]。然而过低的光照也会抑制叶绿素的合成,如苦草和菹草在低光照下叶绿素含量显著下降^[26]。在本实验中,随着水深的增加,微齿眼子菜和菹草的叶绿素含量均有显著降低,这可能是由于在较深水处光照降低形成的低光胁迫抑制了叶绿素的合成。虽然伊乐藻和穗花狐尾藻的叶绿素含量随着水深的增加均有升高趋势,但差异不显著,这可能是由于穗花狐尾藻生物量主要集中在靠近水面部分,能在上层形成较强的竞争阳光能力^[21],同样,伊乐藻茎干也能够快速的伸长,在一定的时期能够产生大量的分枝并在水面形成茎叶覆盖层^[27]。

可溶性糖是一种渗透调节物质,其含量的增加可被认为是植物对胁迫的一种适应机制,如在高营养环境中,沉水植物苦草叶片中可溶性糖含量增加以应对由于被动吸收大量的氮素,游离氨基酸大量产生,大量氮积累对其产生的生理毒性^[28]、挺水植物水葱和芦苇以增加可溶性糖含量来抵抗污水的胁迫^[29]、海拔梯度的增加使黑三棱等4种湿地植物的可溶性糖含量增加^[30]等。本实验发现,随着水位的下降,微齿眼子菜、菹草和伊乐藻的可溶性糖含量有下降的趋势,而穗花狐尾藻却明显上升,说明极低水位对前三种沉水植物并不产生胁迫,只有穗花狐尾藻在极低水位时受到一定胁迫。

相对于春季极低水位,低水位处明显降低的 F_v/F_m 、叶绿素含量和明显增加的可溶性糖含量表明春季水位增加对微齿眼子菜、伊乐藻和菹草产生了胁迫,也说明这三种植物在春季适宜生长在浅水处;穗花狐尾藻的 F_v/F_m 及叶绿素对水位的变化不敏感,只有可溶性糖含量在极低水位时有明显升高,说明该种在浅水处受到胁迫,春季适宜生长在较深的水区。在春季水生植被恢复与保护中,三种乡土植物中菹草和微齿眼子菜适宜先在浅水区种植,穗花狐尾藻适宜在较深水区种植;另一方面,许多研究表明外来种的入侵与其高的光合能力有关^[31, 32], F_v/F_m 反映了潜在的光合能力,叶绿素含量也与光合能力密切相关^[24]。相比于其他三种乡土沉水植物,伊乐藻的 F_v/F_m 最大,而且在三种水位下其叶绿素含量仅次于微齿眼子菜。因此伊乐藻相对高的潜在光合能力可能使其比其他沉水植物更具竞争优势,从而提高其入侵能力,使其成为严重的入侵植物之一,造成其他植物的灭亡^[33]。如在我国,伊乐藻引种入太湖,现如今已成为该地区的建群优势种^[15]。因此在水生植被恢复或水污染治理

中要避免使用外来种伊乐藻,并对其做好防控工作以防大范围扩散。

参考文献:

- [1] Committee to Review the IPCC (Inter Academy Council). Climate Change Assessments: Review of the Processes and Procedures of the IPCC. The Report of the Inter Academy Council, Amsterdam, The Netherlands. 2010
- [2] Fang J Q. Lake level changes and their relationship with climatic fluctuations in the past decades in China [J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 1990, **3**: 9—14 [方金琪. 气候波动在我国近期湖泊变化中的作用. 海洋湖沼通报, 1990, **3**: 9—14]
- [3] Song X, Cao T, Zhu G R, *et al.* Adaptive comparison of *Potamogeton maackianus* and *P. malaianus* to various water depths in an experimental study [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2014, **23**(8): 1081—1089 [宋鑫, 曹特, 祝国荣, 等. 微齿眼子菜与马来眼子菜对水深变化的适应性比较研究. 长江流域资源与环境, 2014, **23**(8): 1081—1089]
- [4] Wei A H, Chow-Fraser P. Synergistic impact of water level fluctuation and invasion of *Glyceria* on *Typha* in a freshwater marsh of Lake Ontario [J]. *Aquatic Botany*, 2006, **84**(1): 63—69
- [5] Wang J W, Zou Y Y, Yu D. The diversity, niche breadth, and niche overlap of aquatic plants in the Oujiang River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2015, **39**(6): 1184—1197 [王金旺, 邹颖颖, 于丹. 瓯江流域水生植物多样性与生态位研究. 水生生物学报, 2015, **39**(6): 1184—1197]
- [6] Yang X, Zhang Q C, Sun S Y, *et al.* Effects of water depth on the growth of *Vallisneria spiralis* and photosynthetic system II photochemical characteristics of the leaves [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, **25**(6): 1623—1631 [杨鑫, 张启超, 孙淑云, 等. 水深对苦草生长及叶片PS II 光化学特性的影响. 应用生态学报, 2014, **25**(6): 1623—1631]
- [7] Yuan L Y, Li S C, Li W. The effects of water level fluctuation on the winter bud formation of submerged macrophyte *Vallisneria spiralis* [J]. *Journal of Jiangxi Normal University (Natural Science)*, 2013, **37**(4): 355—358 [袁龙义, 李守淳, 李伟. 水深变化对刺苦草冬芽形成的影响研究. 江西师范大学学报(自然科学版), 2013, **37**(4): 355—358]
- [8] Ma J M, Cheng S P, He F, *et al.* practice and implication of establishing aquatic vegetation in lake Yuehu in Wuhan, China [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2009, **33**(2): 222—229 [马剑敏, 成水平, 贺锋, 等. 武汉月湖水生植被重建的实践与启示. 水生生物学报, 2009, **33**(2): 222—229]
- [9] Van Geest G J, Wolters H, Roozen F C J M, *et al.* Water-level fluctuations affect macrophyte richness in floodplain lakes [J]. *Hydrobiologia*, 2005, **539**(1): 239—248

- [10] Cooke G D. Lake level drawdown as a macrophyte control technique [J]. *Journal of the American Water Resources Association*, 1980, **16**(2): 317—322
- [11] You W H, Yu D, Xie D, *et al.* Overwintering survival and regrowth of the invasive plant *Eichhornia crassipes* are enhanced by experimental warming in winter [J]. *Aquatic Biology*, 2013, **19**(1): 45—53
- [12] Cui X H, Xiong B H, Pu Y H, *et al.* Comparative study of regeneration and colonization ability in five submersed macrophytes [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, **24**(4): 502—505 [崔心红, 熊秉红, 蒲云海, 等. 5种沉水植物无性繁殖和定居能力的比较研究. 植物生态学报, 2000, **24**(4): 502—505]
- [13] You H. Study on the ecological adaptiveness of five submersed macrophytes to eutrophic water [D]. Thesis for Master of Science. Nanjing Agricultural University, Nanjing. 2006, 33—43 [游灏. 五种沉水植物对富营养化水体的生态适应性研究. 硕士学位论文, 南京农业大学, 南京. 2006, 33—43]
- [14] Xu W W, Hu W P, Deng J C, *et al.* Influence of harvesting *Potamogeton crispus* in a submerged plant community on the growth of submerged aquatic plants and their effects on water quality [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2015, **24**(7): 1222—1227 [徐伟伟, 胡维平, 邓建才, 等. 菹草生物量控制对群落中沉水植物生长及水质的影响. 生态环境学报, 2015, **24**(7): 1222—1227]
- [15] Xie Y. Study on purification capacity of the aquatic plant communities under different hydrodynamic conditions in water of Taihu Lake [D]. Thesis for Master of Science. Nanjing forestry university, Nanjing. 2012, 10—12 [谢宇. 不同水动力下太湖水生植物群落对水体净化能力研究. 硕士学位论文, 南京林业大学, 南京. 2012, 10—12]
- [16] Reto J S, Alaka S, Govindjee. Polyphasic chlorophyll *a* fluorescence transient in plants and cyanobacteria [J]. *Photochemistry and Photobiology*, 1995, **61**(1): 32—42
- [17] Arnon D I. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidases in *Beta vulgaris* [J]. *Plant Physiology*, 1949, **24**: 1—15
- [18] Zhang Z L, Qu W J. Experimental Manual of Physiology [M]. Beijing: Higher Education Press. 2004, 127—128 [张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社. 2004, 127—128]
- [19] Warton D I, Hui F K C. The arcsine is asinine: the analysis of proportions in ecology [J]. *Ecology*, 2011, **92**(1): 3—10
- [20] Wang L Z, Wang G X, Ge X G, *et al.* Influence of different sediment nutrients on growth and photosynthesis fluorescence character isotics of *Hydrilla verticillata* (L. f) Royle [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, **30**(2): 473—480 [王立志, 王国祥, 葛绪广, 等. 底质营养盐负荷对轮叶黑藻生长和光合荧光特性的影响. 生态学报, 2010, **30**(2): 473—480]
- [21] Su W H, Zhang G F, Zhang Y S, *et al.* The photosynthetic characteristics of five submerged aquatic plants [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2004, **28**(4): 391—395 [苏文华, 张光飞, 张云孙, 等. 5种沉水植物的光合特征. 水生生物学报, 2004, **28**(4): 391—395]
- [22] Chen K N. Study on biology and ecology of *Potamogeton pectinatus* L and its application for ecological restoration in Dianchi lake [D]. Thesis for Master of Science. Nanjing Agricultural University, Nanjing. 2002, 68—70 [陈开宁. 篦齿眼子菜生物、生态学及其在滇池富营养水体生态修复中的应用研究. 硕士学位论文, 南京农业大学, 南京. 2002, 68—70]
- [23] Jin P, Hu L W, Jin T X, *et al.* Responses of the photosynthetic capacity of *Elodea nuttallii* to three ecological factors [J]. *Journal of Hydroecology*, 2013, **34**(1): 25—29 [靳萍, 胡灵卫, 靳同霞, 等. 伊乐藻光合能力对三种生态因子的响应. 水生态学杂志, 2013, **34**(1): 25—29]
- [24] Chen R Z, Huang S Z, Song S Q, *et al.* Plant Physiology [M]. Guangzhou: Sun Yat-sen University Press. 1998, 33. [陈润政, 黄上志, 宋松泉, 等. 植物生理学. 广州: 中山大学出版社. 1998, 33]
- [25] Hussner A, Hofstra D, Jahns P, *et al.* Response capacity to CO₂ depletion rather than temperature and light effects explain the growth success of three alien Hydrocharitaceae compared with native *Myriophyllum triphyllum* in New Zealand [J]. *Aquatic Botany*, 2015, **120**(part B): 205—211
- [26] Li Q. Influence mechanism of environment factors on the growth and development of submerged macrophytes [D]. Thesis for Doctor of Science. Nanjing Agricultural University, Nanjing. 2007, 50—63 [李强. 环境因子对沉水植物生长发育的影响机制. 博士学位论文, 南京师范大学, 南京. 2007, 50—63]
- [27] Simpson D A. Displacement of *Elodea canadensis* Michx by *Elodea nuttallii* (Planch.) H. St. John in the British Isles [J]. *Watsonia*, 1990, **18**: 173—177
- [28] Guo H T, Cao T, Ni L Y. Effects of different nutrient conditions on the growth of a submerged macrophyte, *Vallisneria spiralis*, in a mesocosm experiment [J]. *Journal of Lake Science*, 2008, **20**(2): 221—227 [郭洪涛, 曹特, 倪乐意. 中等实验规模下不同营养环境对苦草(*Vallisneria spiralis*)生长的影响. 湖泊科学, 2008, **20**(2): 221—227]
- [29] Ma J, Qin X Y, Zhou X. Study of physiological and biochemical properties of four species of aquatic plants under stress of sewage [J]. *Journal of Green Science and Technology*, 2013, **5**: 52—55 [马佳, 覃晓燕, 周希. 四种水生植物在污水胁迫下的生理生化特性研究. 绿色科技, 2013, **5**: 52—55]
- [30] Li J, Lin P, Dong Y, *et al.* Effect of morphology and physiology of wetland plants on Plateaus at different alti-

- tudes [J]. *Plant Science Journal*, 2013, **31**(4): 370—377 [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. 植物科学学报, 2013, **31**(4): 370—377]
- [31] Fan S F, Liu C H, Yu D, *et al.* Differences in leaf nitrogen content photosynthesis, and resource-use efficiency between *Eichhornia crassipes* and a native plant *Monochoria vaginalis* in response to altered sediment nutrient levels [J]. *Hydrobiologia*, 2013, **711**(1): 129—137
- [32] Zhu H, Ma R J. Comparison of photosynthetic characteristics between two hydrophytic invasive plants [J]. *Journal of Northwest A & F University* (Nat. Sci. Ed.), 2010, **38**(5): 193—198 [朱慧, 马瑞君. 2种水生入侵植物光合特性的比较. 西北农林科技大学学报, 2010, **38**(5): 193—198]
- [33] Zehnsdorf A, Hussner A, Eismann F, *et al.* Management options of invasive *Elodea nuttallii* and *Elodea canadensis* [J]. *Limnologica*, 2015, **51**(March): 110—117

THE PHYSIOLOGICAL EFFECTS OF SPRING LOW WATER LEVEL ON FOUR SUBMERGED MACROPHYTES

LIU Jun-Chu, YU Dan and LIU Chun-Hua

(The National Field Station of the Freshwater Ecosystem of Liangzi Lake, College of Life Sciences, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: To study effects of spring low water level on physiology (such as F_v/F_m , total chlorophyll content and soluble sugar) of different submerged macrophytes, three shallow water levels (18 cm, 36 cm and 54 cm) were treated with three native submerged plants *Potamogeton maackianus*, *Myriophyllum spicatum* and *P. crispus*, and an alien species *Elodea nuttallii*. The results showed that decreasing water levels increased the F_v/F_m of *P. maackianus*, *P. crispus* and *E. nuttallii* but not on *M. spicatum*. F_v/F_m of *E. nuttallii* was significantly higher than that of other three native species at all water levels. The total chlorophyll content of *P. maackianus* and *P. crispus* increased with decreasing water levels, while that of *M. spicatum* and *E. nuttallii* showed no significant change. The value of chlorophyll content of *P. maackianus* and *M. spicatum* was the highest and lowest at all water levels, respectively. The content of total chlorophyll of *P. crispus* was significant lower than that of *E. nuttallii* at 54 cm water depth, but other species had no significant difference. The soluble sugar of *P. maackianus*, *P. crispus* and *E. nuttallii* decreased with decreasing water level, while that of *M. spicatum* increased. The soluble sugar of *M. spicatum* was the highest and *P. crispus* was the lowest at both 54 cm and 36 cm depth. However, no significant differences of soluble sugar among four species were found at 18 cm water depth. The results suggest that extremely low water level had stressful impacts on *M. spicatum* but not on *P. maackianus*, *P. crispus* and *E. nuttallii*, and that the higher potential photosynthesis of *E. nuttallii* compared with native species would aid its invasive risk in shallow water in spring.

Key words: Shallow water level; Submerged macrophytes; Stress; Physiology