

doi: 10.7541/2019.173

# 长江中下游湖泊水生植被的生态水位管理策略

袁赛波<sup>1,2</sup> 张晓可<sup>3</sup> 刘学勤<sup>1</sup> 王洪铸<sup>1</sup>

(1. 中国科学院水生生物研究所淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072;

2. 武汉市城市防洪勘测设计院有限公司, 武汉 430000; 3. 安庆师范大学, 安庆 246011)

**摘要:** 近年来, 湖泊生态水文调控受到较大的关注, 但有关水生生物的水文需求还缺乏系统研究。文章较系统地总结了长江中下游湖泊水生植物分布及水位现状、水位波动对水生植物的影响及水生植物的水位波动需求模式, 介绍了以水生植物为指标的湖泊生态水位评估新方法, 针对不同功能类型的湖泊, 提出了相应的生态水位管理建议。

**关键词:** 水位波动; 水生植被; 物种多样性; 功能定位; 生态水位

**中图分类号:** Q948.8

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-3207(2019)增-0104-06

长江中下游分布着数千个浅水湖泊, 总面积达15770 km<sup>2</sup>, 占全国湖泊总面积的20%以上<sup>[1]</sup>。这些湖泊历史上均与长江干流自由连通, 具有春汛、夏洪、秋平、冬枯的自然水位波动节律。但是, 干支流梯级水库的建设和江湖阻隔改变了湖泊的自然水位波动节律, 导致湖泊物种多样性下降、水生动物资源衰退<sup>[1, 2]</sup>。过去, 湖泊水位调控主要以防洪、灌溉和渔业生产为目的。近年来, 生态水位调控逐渐受到重视, 故如何评估湖泊生态水位并通过水位调控维持湖泊生态系统健康是目前湖泊管理中急需解决的问题。水生植物是湖泊生态系统的重要组成部分, 对水位变化的响应敏感, 是生态水位评估的理想指示生物<sup>[3]</sup>。本文系统总结了水位波动对水生植物的影响, 介绍了以水生植物为指标的湖泊生态水位评估新方法, 以期为湖泊生态水位评估及水位管理提供定量操作依据。

## 1 湖泊水生植物分布及水位现状

### 1.1 水生植物分布现状

基于2011—2015年对19个湖泊(包括两湖平原湖群的洞庭湖、梁子湖、洪湖、东湖、斧头湖、

西凉湖、沉湖, 赣皖湖群的鄱阳湖及其6个子湖、升金湖、石门湖、武昌湖、破罡湖, 苏皖湖群的巢湖)的调查, 总结了长江中下游湖泊湖滨带湿生、挺水和沉水植物的分布现状。从种类数来看, 湿生植物最多, 达163种, 其次为沉水植物和挺水植物, 分别为19种和13种。沉水植物盖度和生物量均较高, 分别为60%和933 g/m<sup>2</sup>; 湿生植物盖度和生物量居中, 分别为51%和712 g/m<sup>2</sup>; 挺水植物盖度和生物量均较低, 分别为21%和586 g/m<sup>2</sup>。

### 1.2 湖泊水位波动现状

近年来, 由于人为干扰, 长江中下游湖泊的自然水位波动节律已发生显著变化<sup>[1, 4]</sup>。以长江干流的水位波动作为参考, 根据水位波动节律的不同, 将这些湖泊划分为3大类, 分别为近自然波动、间歇性波动和水库型波动湖泊(图1)。

近自然波动湖泊的水位波动节律与长江干流相近, 常有较大的波动幅度。该类湖泊包括所有的通江湖泊及少数阻隔湖泊, 如石门湖和升金湖。间歇性波动湖泊水位波幅中等, 汛前水位较低且稳定, 多数湖泊仅丰水期与主湖(或干流)连通, 如大湖池和蚌湖。水库型波动湖泊主要是阻隔湖泊, 水位波

收稿日期: 2018-09-29; 修订日期: 2019-03-28

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC0407200); 中国科学院特色研究所项目(支撑长江经济带可持续发展的生态环境保护战略对策研究)资助; 国家自然科学基金(41371054和51579234)资助 [Supported by the National Key Research and Development Program (2018YFC0407200); the Programme for Feature Institutes of Chinese Academy of Sciences (the Strategic Countermeasures of Ecological and Environmental Protection in Supporting Sustainable Development of the Yangtze Economic Belt); the National Natural Science Foundation of China (41371054, 51579234)]

作者简介: 袁赛波(1990—), 女, 湖南长沙人; 博士研究生; 主要研究方向为水文生态学。E-mail: yuansaiibo\_ihb2013@163.com

通信作者: 刘学勤(1979—), 男, 副研究员; 主要从事河流-泛滥平原生态学及水文生态学研究。E-mail: xqliu@ihb.ac.cn

幅较小,可细分为2类。一类是反季节水位波动湖泊,冬春季水位较高,汛前因防洪需要排水,水位逐渐降至最低;汛后则闭闸蓄水,保持较高水位,如巢湖和梁子湖<sup>[1,5]</sup>。另一类是全年水位稳定的湖泊,主要是城郊湖泊。

## 2 水位波动节律改变对水生植物的影响及机制

在长期的进化过程中,水生植物逐渐形成了与周期性水文过程相适应的形态特征、生活史对策和物候节律<sup>[6,7]</sup>,水位波动节律的改变必然会对水生植物产生重要影响<sup>[1]</sup>。研究表明,自然水位波动节律的改变导致湖泊异质性减小、物种多样性下降、水生植物资源衰退<sup>[1,8-10]</sup>。以巢湖为例,建闸后水位波动型式由近自然波动变为水库型波动,全年波幅从2 m降至1 m,导致水生植被严重退化,盖度由建闸前的25%下降到目前的不足1%<sup>[11,12]</sup>。下面从水位波动型式、水位波动幅度、水位高低等方面来阐述水位波动节律改变对水生植物的影响及机制。

### 2.1 水位波动型式的影响

水位波动型式对湖泊水生植物的影响是各水位波动参数共同作用的结果。2—3月为植物萌发期,反季节水位波动和全年水位稳定的水库型湖泊此时水位均较高,妨碍植物萌发<sup>[12]</sup>;近自然和间歇性波动湖泊此时水位较低且稳定,利于植物萌发。4—6月是植物快速生长期,反季节波动的水库型湖泊此时水位较低,利于湿生植物生长,但对沉水和挺水植物不利;全年水位稳定的水库型湖泊6月水位小幅度上涨,利于沉水和挺水植物生长;近自然波动湖泊此时水位逐渐上涨,可促进沉水和挺水植物生长<sup>[13,14]</sup>,但常阻碍湿生植物生长<sup>[5]</sup>;间歇性波动

湖泊4—5月水位较低且稳定,利于湿生植物生长,6月开始水位快速上涨,对各类植物均造成不利影响<sup>[4]</sup>。7—9月,3种波动型式湖泊水位均较高,利于水生植物向湖滨带扩张。10—11月是植物种子或繁殖体扩散期,2类水库型波动湖泊此时水位仍较高,不利于种子或繁殖体形成与扩散<sup>[12]</sup>;其他2种波动型式的湖泊水位逐渐降低,种子或繁殖体可随水流扩散。在各水位波动参数综合作用下,长江中下游湖泊水生植物的分布呈现如下格局:水库型波动湖泊各类植物物种多样性和生物量均较低;间歇性波动湖泊挺水和沉水植物物种多样性和生物量较低,但湿生植物物种多样性和生物量均较高,如苔草(*Carex spp.*)在蚌湖分布区内生物量就可达891 g/m<sup>2</sup>;近自然波动湖泊各类植物物种多样性和生物量均较高<sup>[4,5]</sup>。

### 2.2 水位波动幅度的影响

水位波动幅度影响水生植物物种多样性。在中等波幅(约5 m)时,水生植物物种多样性达最高。波幅较小的湖泊物种多样性不高,主要有以下原因。第一,栖息地稳定性虽较高,但植物种内种间竞争激烈,且易遭受外来物种入侵。第二,较小的波幅导致湖滨带面积萎缩,湿生植物优势物种常为耐旱性强的低矮植物,如狗牙根(*Cynodon dactylon*)。第三,挺水植物易扩张,使整个湖泊呈现沼泽化趋势<sup>[15]</sup>。此外,水位波动幅度也影响水生植物生物量和盖度。随波幅的增加,湿生植物分布区内生物量和盖度增加,沉水植物分布区内生物量和盖度下降<sup>[1,4]</sup>。波幅较大的湖泊,湖滨带面积常较大,可为湿生植物提供广阔的栖息地,藨草(*Phalaris arundinacea*)等湿生植物常为主要优势种<sup>[4,5,16]</sup>,如藨草在升金湖分布区内生物量可高达835 g/m<sup>2</sup>。

### 2.3 水位高低、变化速率、发生时机及持续时间的影响

各水位波动参数分别在植物不同生活史阶段对植物的萌发、生长和繁殖产生影响<sup>[17,18]</sup>。春季萌发期持续高水位会妨碍水生植物萌发<sup>[12]</sup>。生长期水位变化速率过快会导致植物来不及进行形态适应而死亡<sup>[13,19]</sup>。淹没时机发生在湿生和挺水植物生活史完成之前,将影响湿生和挺水植物种子或繁殖体的形成与扩散<sup>[4]</sup>。秋季萌发期露滩时机发生过早(即淹没持续时间过长)将造成苔草等湿生植物无法萌发<sup>[5,20]</sup>。

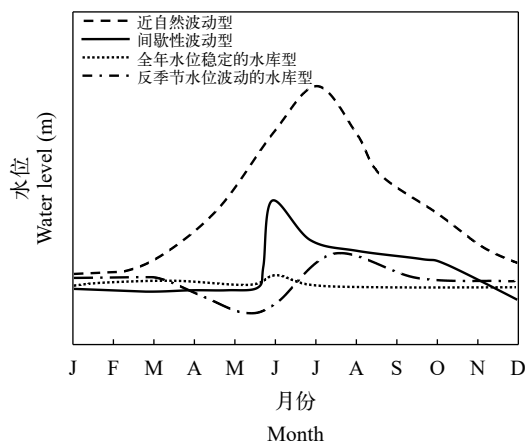


图1 长江中下游湖泊的三种水位波动型式

Fig. 1 Three types of water level fluctuations in Yangtze-floodplain lakes

## 3 典型水生植物的水位波动需求

各种水生植物不同生活史阶段对各水位波动

要素的需求存在差异<sup>[5, 6, 18]</sup>。因此,我们从生活史的角度建立了长江中下游湖泊不同生活型水生植物的水位波动需求模式(图2)。

### 3.1 湿生植物的水位波动需求

以苔草为代表的湿生植物一年内具有两轮生活史<sup>[21]</sup>,初春开始萌发,4月快速生长,5月开始开花结果。夏季汛期被淹没,地上部分逐渐腐烂,地下部分休眠。汛后洲滩显露,再次萌发开始秋冬季生活史。整个生活史过程,其萌发的迟早、生长期的长短、生长状况等与水位波动有密切的关系。研究表明,湿生植物适宜生长在1—5月水位较低且稳定、波动幅度中等(5—6 m)的间歇性波动湖泊。萌发期对土壤含水率的耐受下限和上限分别为5%和50%,最适值为15%—30%;在水下不能萌发。快速生长期淹没水深不超过幼苗茎部,水位上涨速率不超过平均生长速率(约1.2 cm/d)。夏季淹没并非湿生植物完成生活史必需的条件,但淹没能消除不耐淹的物种,削弱种间竞争。为保证春夏季生活史顺利完成,最适淹没时机为5月以后。露滩时机需在11月之前,以保证秋冬季生活史顺利进行,秋季萌发对土壤含水率的需求与春季基本一致<sup>[5, 22]</sup>。

### 3.2 挺水植物的水位波动需求

挺水植物萌发、生长和繁殖也受水位波动控制<sup>[14, 23]</sup>,但由于其生活史、生长速率和生存策略等

方面与湿生植物存在较大差异<sup>[3, 14]</sup>,所以水位波动需求也与湿生植物不同。研究表明,芦苇等挺水植物适宜生长在水位波动幅度巨大的近自然波动湖泊。萌发期(2—3月)对淹没水深的耐受上限可达80 cm<sup>[24]</sup>。快速生长期(4—6月)对水分需求较大,因此需要水位上涨,耐受上限为平均生长速率(约2 cm/d)<sup>[3, 4]</sup>。挺水植物可通过伸长茎、叶、节等获取更多的光照和氧气,以适应快速的水位上涨<sup>[4, 14]</sup>。成熟期(7—9月)淹没不会影响其种群的稳定和维持。10月至次年1月挺水植物成熟,对露滩时机无严格需求,只需维持一定的水位下降速率,保证种子存活所需的水分即可。

### 3.3 沉水植物的水位波动需求

沉水植物对水位波动的需求主要是满足萌发、生长和繁殖对水下光照的需求。研究表明,沉水植物适宜生长在波幅较小的近自然或水库型波动湖泊,整个生活史均保持淹没<sup>[4]</sup>。沉水植物在萌发期(2—3月)需要浅水条件,可在水深约2倍透明度以上区域萌发<sup>[25]</sup>;快速生长期(4—6月)需要一定的水位上涨,可获得更大的发展空间;扩张期(7—9月)高水位有利于分布范围的扩展;种子扩散期(10—11月)水位逐渐降低,利于扩大种子扩散范围;越冬期(12月至次年1月)需要低水位,利于改善底质理化环境,为来年萌发创造条件<sup>[3, 4]</sup>。

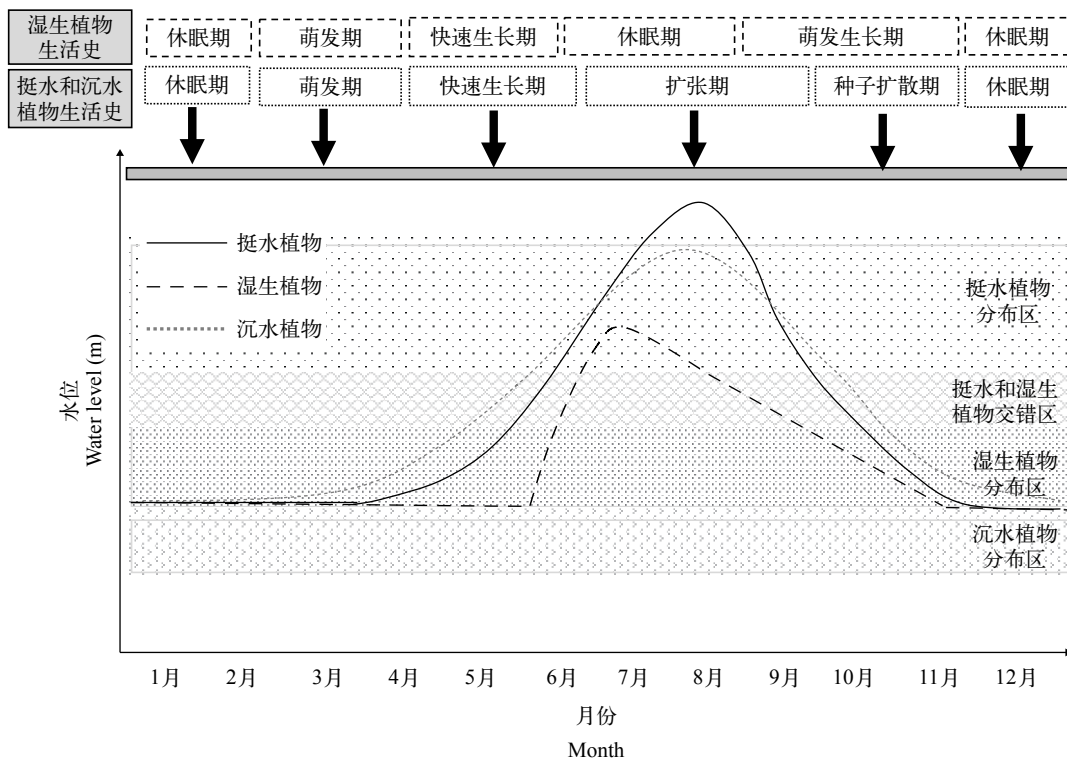


图2 长江中下游湖泊不同生活型植物的水位波动需求模式

Fig. 2 The requirement mode of water level fluctuation of different life form plants in Yangtze floodplain lakes



## 4 生态水位评估方法及管理策略

### 4.1 湖泊生态水位评估新方法

生态水位评估是湖泊水资源管理及生态系统保护和修复面临的重要难题, 目前国际上采用的计算方法主要有水文资料法、形态分析法和生物最小空间需求法<sup>[26-28]</sup>。上述方法存在2个主要缺点, 一是计算多基于水文资料, 湖泊生物及生态系统需求的权重很小; 二是以计算湖泊最低生态水位为主, 未考虑水位变化的过程。因此有必要研发基于湖泊生物群落及生态系统水位波动需求的评估方法。

基于以上背景, 我们提出1种新的生态水位评估方法, 即以湖泊水生植物作为代表类群, 以植物不同生活史阶段对水位和透明度的需求为标准, 计算不同植被覆盖度目标下的湖泊生态水位过程线。该方法的主要依据有2点, 一是水生植物对水位波动的响应十分敏感, 沿湖底呈明显的环带状分布(图3); 二是以植被覆盖度为指标, 易于跟踪监测。该方法的具体评估步骤是: (1)依据水位和 underwater 地形, 建立湖泊水位-面积关系; (2)依据植物萌发的水深范围, 建立萌发期水位与潜在萌发区域面积关系; (3)设定植被盖度目标, 求算该盖度下的萌发期水位值; (4)依据幼苗生长期、生长扩散期、成熟期、种子扩散期、休眠期植物的水位需求计算不同时期的水位范围; (5)依据实际监测数据, 对模型进行验证, 估算误差范围<sup>[3]</sup>。

该方法有以下优点: (1)通过水位-植被覆盖度关系, 可较准确地计算不同植被盖度下的生态水位。计算依据水生植物的水位需求, 弥补了现有计算中生物及生态系统权重不足的缺陷。(2)计算生

态水位过程线, 突破了以往技术只计算最低生态水位的限制, 有望使湖泊生态水位管理达到精细化。(3)可依据不同管理目标对生态水位过程线进行调整, 有利于开展湖泊水位适应性管理, 可广泛应用于亚热带地区浅水湖泊生态水位评估。

### 4.2 湖泊生态水位管理策略

湖泊生态水位管理策略的制定, 首先需要对湖泊进行功能定位, 清晰的功能定位有助于湖泊管理和生态修复工程的开展。其次, 要考虑水生植物等重要生物群落的水位波动需求, 以保护和恢复湖泊生态系统。因此, 针对长江中下游不同功能类型的湖泊, 我们提出以下生态水位管理策略: (1)以渔业生产为主的湖泊: 以渔业生产为主的湖泊在长江中下游湖泊中占多数<sup>[29]</sup>, 在水位管理中主要考虑增加沉水植物资源量以促进渔业发展。例如, 洪湖当前水位呈反季节波动, 建议降低春季水位, 提升夏季水位, 以保证沉水植物顺利萌发生长; 同时, 也建议加大年水位波动幅度, 以控制挺水植物过度生长, 缓解沼泽化进程。(2)自然保护区湖泊: 保护区湖泊常常把湿生植物和珍稀候鸟等作为保护目标。因此, 对于阻隔的保护区湖泊, 建议控制冬春季水位较低且稳定, 促进湿生植物发展, 为候鸟等动物提供充足的食物; 对于大型通江湖泊, 建议维持自然水位波动节律, 保持较大的水位波动幅度, 为湿生植物和候鸟创造广阔的栖息地。(3)水源地湖泊: 水源地湖泊对水质要求较高, 这类湖泊的水位管理一方面要考虑增加沉水植物以增强水体自净能力, 维持较好的水质; 另一方面也需增加湖滨带挺水植物, 以削减水体营养负荷。因此, 建议水源地湖泊春季维持低水位, 夏季维持高水位。(4)城郊景观湖泊: 景观湖泊的水位管理不仅要满足湿生和挺水植

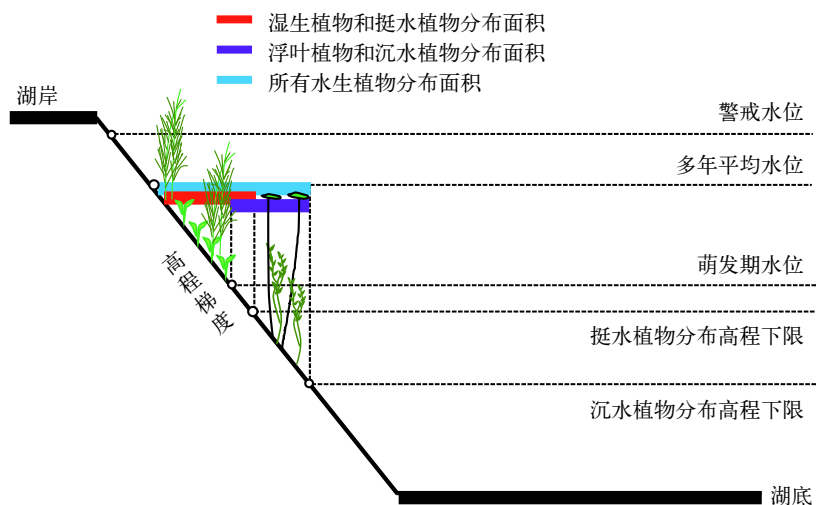


图3 浅水湖泊水生植物分布的高程梯度

Fig. 3 Elevational gradients of aquatic plants in shallow lakes

物的生长需求, 以保证湖滨带良好的景观, 同时也需满足沉水植物的生长需求, 以增强水体自净能力, 防止水体富营养化。因此, 建议该类湖泊适当降低春季水位, 小幅度提升冬季水位。

### 参考文献:

- [1] Wang H Z, Liu X Q, Wang H J. The Yangtze River floodplain: threats and rehabilitation [J]. *American Fisheries Society Symposium*, 2016, **84**: 263—291
- [2] Wang H Z, Wang H J, Liu X Q, *et al.* Holistic management strategy: integrate environmental-hydrological-ecological-economic measures to conserve and rehabilitate the Yangtze lake ecosystems [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, **24**(3): 353—357 [王洪铸, 王海军, 刘学勤, 等. 实施环境-水文-生态-经济协同管理战略, 保护和修复长江湖泊群生态环境. *长江流域资源与环境*, 2015, **24**(3): 353—357]
- [3] Liu X Q, Yang Z D, Yuan S B, *et al.* A novel methodology for the assessment of water level requirements in shallow lakes [J]. *Ecological Engineering*, 2017, **102**: 31—38
- [4] Zhang X K. Water level fluctuation requirements of plants in the Yangtze floodplain lakes [D]. Thesis for Doctor of Science. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan. 2013 [张晓可. 长江泛滥平原湖泊植物水位波动需求研究. 博士学位论文, 中国科学院水生生物研究所, 武汉. 2013]
- [5] Yuan S B, Yang Z D, Liu X Q, *et al.* Key parameters of water level fluctuations determining the distribution of *Carex* in shallow lakes [J]. *Wetlands*, 2017, (1-3): 1—10
- [6] Poff N L, Allan J D, Bain M B, *et al.* The natural flow regime [J]. *BioScience*, 1997, **47**: 769—784
- [7] Lytle D A, Poff N L. Adaption to natural flow regimes [J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2004, **19**: 94—100
- [8] Wang H Z, Wang H J. Ecological Effects of River-lake Disconnection and Restoration Strategies in the Mid-lower Yangtze River [A]. In: Wang Z Y (Eds.), *Ecological Management on Water and Sediment in the Yangtze River Basin* [M]. Beijing: Science Press. 2009, 379—396 [王洪铸, 王海军. 长江中下游江湖阻隔的生态学效应及修复方略. 见: 王兆印, 长江流域水沙生态综合管理. 北京: 科学出版社. 2009, 379—396]
- [9] Hu Z P, Ge G, Liu C L, *et al.* Structure of Poyang Lake wetland plants ecosystem and influence of lake water level for the structure [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2010, **19**(6): 597—605 [胡振鹏, 葛刚, 刘成林, 等. 鄱阳湖湿地植物生态系统结构及湖水对其影响研究. *长江流域资源与环境*, 2010, **19**(6): 597—605]
- [10] Hu Z P, Ge G, Liu C L. Cause analysis and early warning for wetland vegetation degradation in Poyang Lake [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, **24**(3): 381—386 [胡振鹏, 葛刚, 刘成林. 鄱阳湖湿地植被退化原因分析及其预警. *长江流域资源与环境*, 2015, **24**(3): 381—386]
- [11] Chen C C. A study of ecological water level requirement of Chaohu aquatic plant [J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2013, **2**: 4—7 [陈昌才. 巢湖水生植物对生态水位的需求研究. *中国农村水利水电*, 2013, **2**: 4—7]
- [12] Zhang X K, Liu X Q, Wang H Z. Developing water level regulation strategies for macrophytes restoration of a large river-disconnected lake, China [J]. *Ecological Engineering*, 2014, **68**: 25—31
- [13] Wu X D, Wang G X, Wei H N, *et al.* Growth responses of *Hydrilla verticillata* to increasing water levels [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2012, **24**(3): 384—390 [吴晓东, 王国祥, 魏宏农, 等. 模拟水位上升对黑藻生长的影响. *湖泊科学*, 2012, **24**(3): 384—390]
- [14] Wang Q L, Chen J R, Liu F, *et al.* Morphological changes and resource allocation of *Zizania latifolia* (Griseb.) Stapf in response to different submergence depth and duration [J]. *Flora*, 2014, **209**: 279—284
- [15] Zhang X K, Wan A, Wang H L, *et al.* The overgrowth of *Zizania latifolia* in a subtropical floodplain lake: changes in its distribution and possible water level control measures [J]. *Ecological Engineering*, 2016, **89**: 114—120
- [16] Hu D D, Ouyang H K, Dai Z H, *et al.* Investigation on community characteristics and  $\alpha$ -diversity of *Carex cinerascens* meadow steppe in Poyang Lake wetland [J]. *Pratacultural Science*, 2013, **30**(6): 844—848 [胡豆豆, 欧阳惠克, 戴征煌, 等. 鄱阳湖湿地灰化苔草草甸群落特征及多样性. *草业科学*, 2013, **30**(6): 844—848]
- [17] Wei H, Cheng S P, Wu Z B. Effects of hydrological characteristics on aquatic plants [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2010, **7**: 1—16 [魏华, 成水平, 吴振斌. 水文特征对水生植物的影响. *农业基础科学*, 2010, **7**: 1—16]
- [18] Webb J A, Wallis E M, Stewardson M J. A systematic review of published evidence linking wetland plants to water regime components [J]. *Aquatic Botany*, 2012, **103**: 1—14
- [19] Zhang X K, Liu X Q, Ding Q Z. Morphological responses to water-level fluctuations of two submerged macrophytes, *Myriophyllum spicatum* and *Hydrilla verticillata* [J]. *Journal of Plant Ecology*, 2013, **6**(1): 64—70
- [20] Jing L, Lu C, Xia Y, *et al.* Effects of hydrological regime on development of *Carex* wet meadows in East Dongting Lake, a Ramsar Wetland for wintering waterbirds [J]. *Scientific Reports*, 2017, **7**: 41761
- [21] Bernard J M. Life history and vegetative reproduction in *Carex* [J]. *Canadian Journal of Botany*, 1990, **68**: 1441—1448
- [22] Yuan S B, Yang Z D, Liu X Q, *et al.* Water level fluctuation requirements of a *Carex* hygrophite in Yangtze floodplain lakes [J]. *Ecological Engineering*, 2019, **129**:

- 29—37
- [23] Deegan B M, White S D, Ganf G G. The influence of water level fluctuations on the growth of four emergent macrophyte species [J]. *Aquatic Botany*, 2007, **86**: 309—315
- [24] Cao Y. Study on impact factor and technique of vegetation restoration for flood beaches wetlands along the Yangtze River [D]. Thesis for Doctor of Science. Nanjing Normal University, Nanjing. 2007 [曹昀. 江滩湿地植物恢复的影响因子与技术研究. 博士学位论文, 南京师范大学, 南京. 2007]
- [25] Wang H Z, Wang H J, Liang X M, *et al.* Empirical modelling of submersed macrophytes in Yangtze lakes [J]. *Ecological Modelling*, 2005, **188**(2): 483—491
- [26] Tharme R E. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers [J]. *River Research and Applications*, 2003, **19**: 397—441
- [27] Cui B S, Zhao X, Yang Z F. Eco-hydrology-based calculation of the minimum water level requirement for lakes [J]. *Acta Ecological Sinica*, 2005, **25**(7): 1788—1795 [崔保山, 赵翔, 杨志峰. 基于生态水文学原理的湖泊最小生态需水量计算. *生态学报*, 2005, **25**(7): 1788—1795]
- [28] Xu Z X, Chen M J, Dong Z C. Researches on the calculation methods of the lowest ecological water level of lake [J]. *Acta Ecological Sinica*, 2004, **24**(10): 2324—2328 [徐志侠, 陈敏建, 董增川. 湖泊最低生态水位计算方法. *生态学报*, 2004, **24**(10): 2324—2328]
- [29] Ye S W, Yang H B, Chen Y B, *et al.* Analysis on the development strategies and key techniques of ecological fisheries in the Three Gorges Reservoir, China [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2015, **39**(5): 1035—1040 [叶少文, 杨洪斌, 陈永柏, 等. 三峡水库生态渔业发展策略与关键技术研究分析. *水生生物学报*, 2015, **39**(5): 1035—1040]

## ECOLOGICAL WATER LEVEL MANAGEMENT STRATEGY FOR AQUATIC VEGETATION IN THE MID-LOWER YANGTZE SHALLOW LAKES

YUAN Sai-Bo<sup>1,2</sup>, ZHANG Xiao-Ke<sup>3</sup>, LIU Xue-Qin<sup>1</sup> and WANG Hong-Zhu<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China; 2. Wuhan City Flood Control Survey and Design Institute Limited Company, Wuhan 430000, China; 3. Anqing Normal University, Anqing 246011, China)

**Abstract:** Eco-hydrological regulation of lakes have received more and more attentions in recent years, but systemic research on hydrological requirements of aquatic organisms is still limited. We systematically summarized the current status of aquatic plants and water level in the mid-lower Yangtze shallow lakes, influences of water level fluctuations on aquatic plants, and the requirement mode of water level fluctuation of aquatic plants. We also introduced a new method assessing ecological water level in shallow lakes based on aquatic plants, and provided corresponding strategies of water level regulations for lakes with different functions.

**Key words:** Water level fluctuations; Aquatic vegetation; Species diversity; Functional orientation; Ecological water level