

基于水下光照条件和种子库分布指示沉水植物恢复区: 以金湖为例

徐超 厉恩华 杨娇 马雨 张苗 冯伟松 梁小民 王海军

INTEGRATING UNDERWATER LIGHT CONDITION AND SEED BANK TO INDICATE SUBMERSED MACROPHYTE RESTORATION ZONE: LAKE JINHU AS A CASE

XU Chao, LI En-Hua, YANG Jiao, MA Yu, ZHANG Miao, FENG Wei-Song, LIANG Xiao-Min, WANG Hai-Jun

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7541/2020.129>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

洱海底泥特性对七种沉水植物生长的影响

GROWTH OF SEVEN SUBMERSED MACROPHYTES CULTURED ON FIVE SEDIMENT MIXTURES FROM THE LAKE ERHAI

水生生物学报. 2017, 41(2): 428–436 <https://doi.org/10.7541/2017.53>

高邮湖沉水植物分布格局及其与水环境因子的关系

DISTRIBUTION OF SUBMERGED PLANTS AND ITS RELATIONSHIP WITH ENVIRONMENTAL FACTORS IN GAOYOU LAKE

水生生物学报. 2019, 43(2): 423–430 <https://doi.org/10.7541/2019.052>

硅酸盐矿物麦饭石对沉水植物生理生态的影响

EFFECTS OF MEDICAL STONE ON THE GROWTH OF SUBMERGED MACROPHYTES

水生生物学报. 2019, 43(6): 1353–1361 <https://doi.org/10.7541/2019.159>

蜡质标本制作与保存对沉水植物稳定同位素的影响

EFFECTS OF PREPARATION AND PRESERVATION OF HERBARIUM SPECIMENS ON STABLE ISOTOPES OF SUBMERGED MACROPHYTES

水生生物学报. 2019, 43(3): 589–594 <https://doi.org/10.7541/2019.071>

高产岩藻黄素的海洋硅藻筛选及光照条件优化

STRAIN AND LIGHT SELECTION IMPROVED FUCOXANTHIN CONTENT IN THE DIATOM

水生生物学报. 2020, 44(4): 912–919 <https://doi.org/10.7541/2020.108>

洪泽湖大型水生植物群落结构和时空格局的GIS模拟

MAPPING SPATIOTEMPORAL TRENDS IN THE ABUNDANCE AND DISTRIBUTION OF MACROPHYTES IN HONGZE LAKE

水生生物学报. 2018, 42(6): 1153–1162 <https://doi.org/10.7541/2018.141>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

doi: 10.7541/2020.129

基于水下光照条件和种子库分布指示沉水植物恢复区:以金湖为例

徐超^{1,2} 厉恩华³ 杨娇³ 马雨^{1,2} 张苗^{1,2}
冯伟松¹ 梁小民¹ 王海军^{1,4}

(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. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国科学院测量与地球物理研究所, 武汉 430072; 4. 云南大学生态学与环境学院高原湖泊生态与治理研究院, 昆明 650504)

摘要: 研究以湖北枝江金湖(由东湖和刘家湖组成)为例, 综合水下光照条件和沉水植物种子库分析, 探讨沉水植物可恢复区的判别方法。研究分别于2018年6月和12月对金湖开展了综合调查, 并在6月开展了种子库调查。结果表明, 金湖富营养化问题较严重, 6月各位点水深-透明度比值均低于沉水植物生长的阈值需求, 范围为0.13—0.25, 平均为0.17; 12月部分位点的水深-透明度比值达到了沉水植物生长的阈值需求, 范围为0.18—0.95, 平均为0.44。各位点沉水植物种子库密度范围为0—200 ind./m², 平均为24 ind./m²。根据金湖的水下光照条件和沉水植物种子库分布情况, 结合湖底地形, 建议在冬春季透明度较高的时期降低水位, 进行沉水植物恢复工作。通过水下地形、光照条件和种子库的综合分析, 对金湖的沉水植物恢复区进行了划分, 结果显示东湖的东南部、东湖的西岸、刘家湖的西部和东岸作为沉水植物恢复区较为合适。该研究有望为湖泊沉水植物的恢复提供定量化的参考建议, 提高生态修复工程效果和降低管理成本。

关键词: 沉水植物恢复; 水下光照条件; 种子库; 水位调控; 金湖

中图分类号: Q178.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2020)05-1111-08

沉水植物对于维持淡水湖泊生态系统健康起着至关重要的作用, 是水生态系统中重要的生产者, 能有效调节水体营养水平和减少沉积物再悬浮, 从而改善湖泊水质^[1, 2]。然而, 由于受富营养化、过度渔业和江湖阻隔等多重胁迫的影响, 世界各地湖泊沉水植物大范围退化^[3]。其中, 营养物质的大量输入导致的浮游藻类大量生长和水体透明度降低, 是沉水植物消失的主要原因^[4, 5]。沉水植物大量消失, 使得许多湖泊由结构复杂和功能健全的清水稳态转变为结构单一和功能退化的浊水稳态^[2]。

恢复沉水植物是湖泊生态重建的重要手段之一。通过降低水体的营养浓度来恢复湖泊沉水植物的方法, 已被广泛应用^[3, 6]。但是也存在着诸如水体营养浓度回弹等问题^[7, 8]。通过降低水位来改善水底的光照情况, 是恢复沉水植物的另一个有效手段^[7, 9—11]。然而, 在沉水植物实际恢复过程中, 湖

泊各区域水深透明度等因素各不相同, 往往由于缺乏对恢复区进行科学的划分, 导致栽种的沉水植物成活率较低。因此划分合适的沉水植物恢复区尤为重要。Wang等^[7]通过对长江中下游20个湖区的调查, 发现在3—6月, 当透明度: 水深<0.45时, 沉水植物将无法生长, 并给出了沉水植物分布的关键期模型。利用此经验模型可以根据水体透明度大致估算恢复沉水植物所需要的水深条件。其他因素如沉水植物种子库在沉水植物恢复中也有重要作用, 利用沉积物中种子库恢复受损湖泊的沉水植物, 是生态恢复中的一个重要手段^[12]。因此我们选取透明度-水深之比和沉水植物种子库密度作为沉水植物恢复区划分的两个关键因子, 以金湖为例, 指示合适的沉水植物恢复区。

金湖位于长江中游, 地处鄂西山区与江汉平原的过渡地带, 湖北省西部, 是枝江市最大的湖泊。

收稿日期: 2019-04-24; **修订日期:** 2019-10-25

基金项目: 中国科学院青年创新促进会优秀会员(2014312); 国家重点研发计划(2018YFD090085)资助 [Supported by the Youth Innovation and Promotion Association, Chinese Academy of Sciences (2014312); The National Key Research and Development Program of China (2018YFD090085)]

作者简介: 徐超(1993—), 男, 硕士研究生; 主要研究方向为浅水湖泊沉水植物修复。E-mail: xuchao3091@live.com

通信作者: 梁小民(1961—), 男, 高级实验师; 主要从事湖泊环境科学研究。E-mail: liangxm@ihb.ac.cn

由于受到水产养殖、农业种植和上游工业园区等面源污染的影响,目前金湖的水质总体上只达到Ⅳ类水标准,富营养化问题严重。为此我们在金湖开展了深入调查,通过分析金湖不同时期透明度和水深情况以及沉水植物种子库的分布,确定合适的沉水植物恢复区,为金湖湿地公园的综合治理提供理论依据和建议。

1 材料与方法

1.1 研究区域和采样点设置

金湖(111°46' E—111°50' E, 30°26' N—30°28' N),面积5.77 km²,分为刘家湖和东湖两部分,两湖水系相通。该地区属温暖湿润的亚热带季风气候,年均气温约19℃,年平均降水量1039.4 mm。2018年6月8日—6月14日和2018年12月10日—12月14日对金湖进行了两次全面调查,并在6月进行了种子库调查。共设置30个采样点(S1—S30)和20个加测点(S1'—S20',图1)。

1.2 样品采集与测定方法

在30个采样点采集各1 L水样带回实验室中用于分析总氮、总磷和叶绿素。水温、溶解氧、pH和电导率用YSI ProPlus(Yellow Spring Inc., 美国)在半水深处进行原位测量。水深用SM-5型便携式超声波测深仪(Speedtech, 美国)测量,透明度用Secchi盘测量。用1/40 m² Van Veen采泥器(Hydrobios, 德国)采集沉积物用于分析沉水植物种子库。加测点只测量水深、透明度、采集沉积物。总氮用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法测定(普析, TU-1810, 北京),总磷使用钼锑抗分光光度法测定,浮游藻类叶绿素 a 的测定使用GF/C滤膜(Whatman, GE Healthcare UK Limited, Buckinghamshire, 英国)过滤水样,然后将滤膜于90%丙酮中,在4℃下

萃取20—24h,再用分光光度计测定其在加10%盐酸前后650和750 nm处的吸光度。所采集沉积物带回实验室进行种子萌发实验,用小孔径(小于0.2 mm网孔)筛对土样进行浓缩,用剔除杂质和其他种子的沙子作为基质,开展为期6周的种子库萌发实验,最后统计幼苗数量。用M9多普勒流速仪(Yellow Spring Inc., 美国)对湖底地形进行测量。

1.3 数据处理与分析

数据分析采用Microsoft Excel 2016、ArcGIS 10.2和R 3.4.4。基础数据处理在Microsoft Excel 2016中完成,理化数据分析用R 3.4.4完成,用ArcGIS 10.2分别对透明度和水深的比值、沉水植物种子库密度进行空间插值分析,图表绘制由R 3.4.4和ArcGIS 10.2完成。

2 结果

2.1 金湖湖底地形与水质

金湖地形整体上呈现东部深和西部浅的情况。即东湖较深、刘家湖较浅。东湖平均水深为1.80 m,刘家湖平均水深为1.33 m。对于单个湖区而言,与长江流域普通浅水湖泊湖底地形相似,从岸边向湖中央逐渐加深。而广阔的湖区中央深度基本一致,湖底地形较为平坦(图2)。

根据我们2018年的调查,金湖年平均水深为1.65 m,透明度为0.44 m,总氮为0.54 mg/L,总磷为0.05 mg/L,浮游藻类叶绿素 a 为39.29 $\mu\text{g/L}$ 。

金湖主要富营养化参数从时间分布上来看,金湖各样点水深6月和12月基本相同(图3A);12月金湖平均透明度(0.68 m)要高于6月(0.25 m)(图3B);6月浮游藻类叶绿素 a 平均为69.81 $\mu\text{g/L}$,显著高于12月的8.76 $\mu\text{g/L}$ (图3C)。6月各样点的平均总氮为1.27 mg/L略高于12月的1.11 mg/L(图3D)。6月各

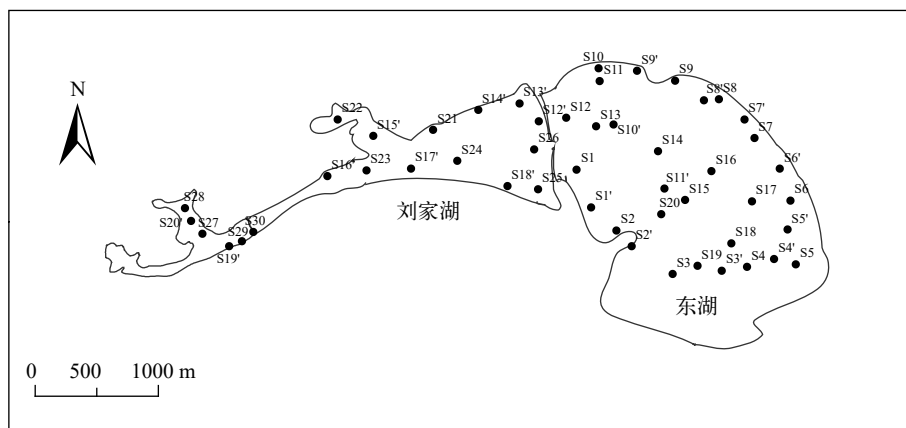


图1 金湖采样点分布

Fig. 1 Sampling sites of Lake Jinhu

样点的平均总磷为 0.11 mg/L , 显著高于12月的 0.04 mg/L (图 3E)。

从空间分布上来看, 东湖的水深整体略高于刘家湖(图 3A); 东湖年平均透明度为 0.41 m , 低于刘家湖的 0.52 m (图 3B)。东湖和刘家湖的年平均浮游藻类叶绿素 a 含量基本相等, 分别为 39.31 和 $39.26\text{ }\mu\text{g/L}$ (图 3C)。刘家湖的总氮和总磷分别为 1.46 和 0.09 mg/L , 整体要高于东湖的 0.92 和 0.07 mg/L (图 3D、3E)。

2.2 金湖主要富营养化参数之间的关系

从金湖主要富营养化参数的回归关系可以看

出, 透明度和总氮的关系不大(图 4A); 无论是6月还是12月, 金湖的透明度和总磷都有显著的正相关关系(图 4B); 12月透明度与浮游藻类叶绿素 a 有显著负相关关系(图 4C); 12月浮游藻类叶绿素 a 和总磷有显著负相关关系, 但6月和12月的浮游藻类叶绿素 a 均与总氮无显著相关关系(图 4D、4E); 12月的总磷和总氮有显著正相关关系(图 4F)。

2.3 基于透明度-水深之比的空间插值分析

6月, 各点位透明度-水深之比都小于 0.45 , 不具备沉水植物生长的条件。从空间分布来看, 东湖的西南部和刘家湖的西部透明度-水深之比较高

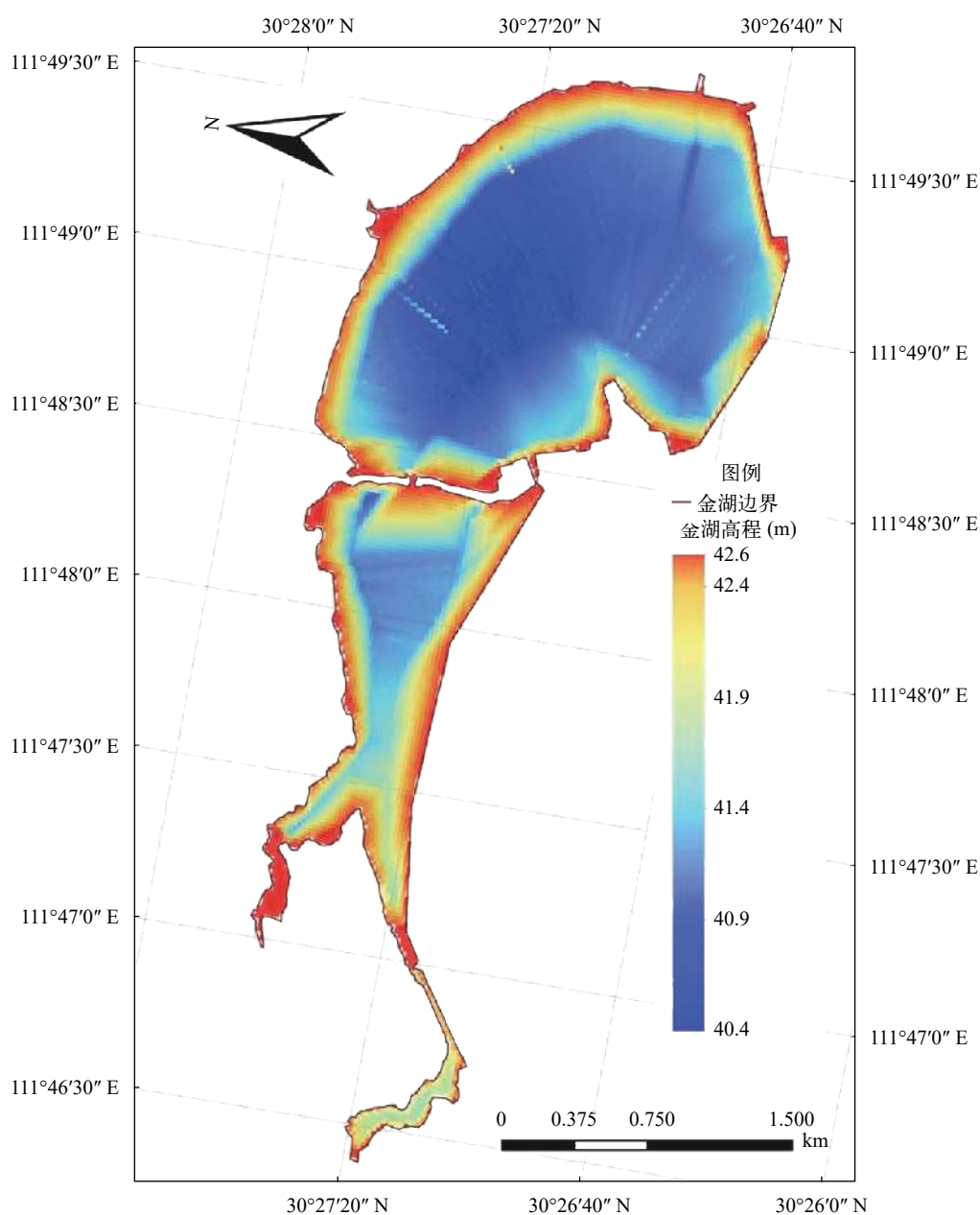


图2 金湖湖底地形

Fig. 2 Elevation map of Lake Jinhu

(图 5A)。12月,透明度-水深比值整体都要高于6月,其中东湖的南半部、刘家湖的大部分透明度:水深之比 >0.45 ,具备沉水植物生长的条件(图 5B)。

2.4 金湖沉水植物种子库空间分布格局

在全部50个采样点中,有沉水植物种子的采样点有17个,占总数的34%。共有两种沉水植物,苦草(*Vallisneria natans*)和菹草(*Potamogeton crispus*)。其中苦草占绝对优势。

从沉水植物种子库的空间分布来看,东湖的东南部分种子库密度较高,高于 40 ind./m^2 ;东湖的西南部和刘家湖的西部种子库密度较低,普遍低于 10 ind./m^2 或者没有种子库分布;而东湖的西岸和刘

家湖的东岸,沉水植物种子库也有较高的分布,约为 30 ind./m^2 (图 6)。

3 讨论

总体来看,金湖的富营养化问题较严重。从区域分布来看,刘家湖总氮和总磷整体略高于东湖,尤其是刘家湖西部为最高,这可能是靠近居住区,受到生活污水的污染较严重。从时间分布来看,6月全湖的营养水平高于12月,6月全湖的浮游藻类数量都处在很高的水平,各位点的透明度都很低,平均只有 0.3 m 左右。从金湖主要水质参数之间的相关关系来看,透明度和总氮关系不明显,但和总

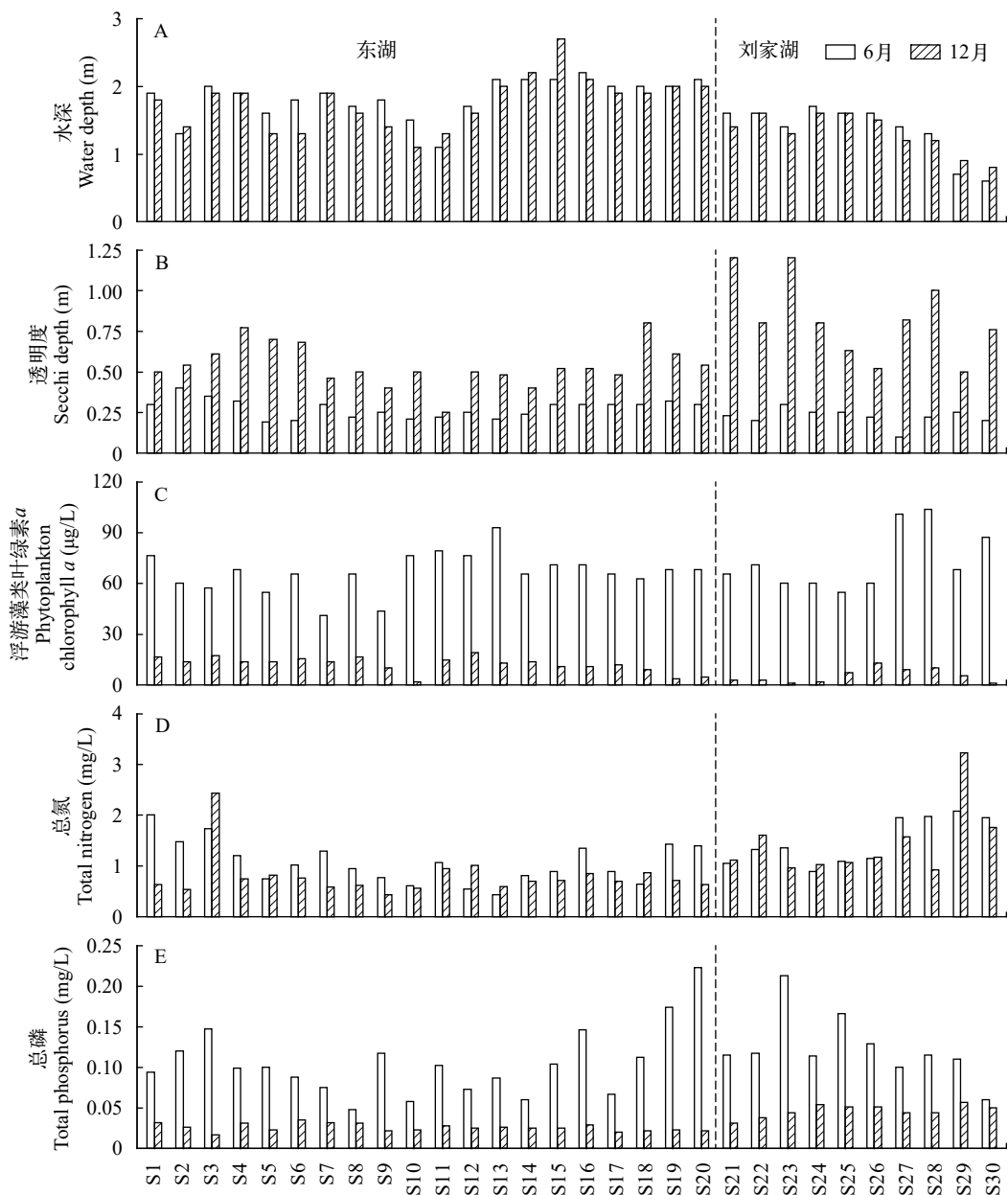


图3 6月和12月金湖各样点富营养化参数

Fig. 3 Eutrophication variables of various sampling sites in Lake Jinhu in June and December

磷有负相关关系, 浮游藻类含量也与总磷有负相关关系, 这与Wang等^[13]对长江中下游45个湖泊的调查结果有很大差异。我们依据王海军等^[14]给出的经验公式计算了金湖的藻类浊度和非藻类浊度, 发现6月非藻类浊度占比为78.8%, 12月非藻类浊度占比高达83.2%, 这说明影响金湖透明度的主要原因是非藻类浊度因素如无机悬浮颗粒等含量过多。这与王海军等^[14]对长江中下游浅水湖区的调查结果类似。风浪扰动和底层鱼类活动都会促进湖泊无机颗粒的再悬浮, 因此降低湖泊非藻类浊度、提高水体透明度的一个重要手段是清除鲤、鲫等底层鱼类。

从我们对全湖6月份透明度-水深比值的插值分析来看, 全湖没有适宜沉水植物生长的光照条件,

因此如果在夏季恢复沉水植物, 必须要降低水位。以夏季平均透明度为0.3 m计算, 要使水下光照达到沉水植物生长的要求, 则必须将沉水植物恢复区水位降低到0.67 m以下。可以选择岸边较浅的区域, 能有效减少降低水位的成本。12月全湖透明度较高, 东湖的南半部、刘家湖的大部分都符合沉水植物生长的水下光照条件, 因此, 在冬季恢复沉水植物较好, 考虑到幼苗前期需要较多的光照, 可以在冬季适当降低水位, 投放沉水植物种子, 等到春天正好迎来沉水植物的生长季, 综合成本也较低。

从沉水植物种子库的空间分布来看, 可以通过降低水位的方法, 使东湖的东南部、东湖的西岸和刘家湖的东岸依靠本底沉积物中的种子库, 自行恢复其沉

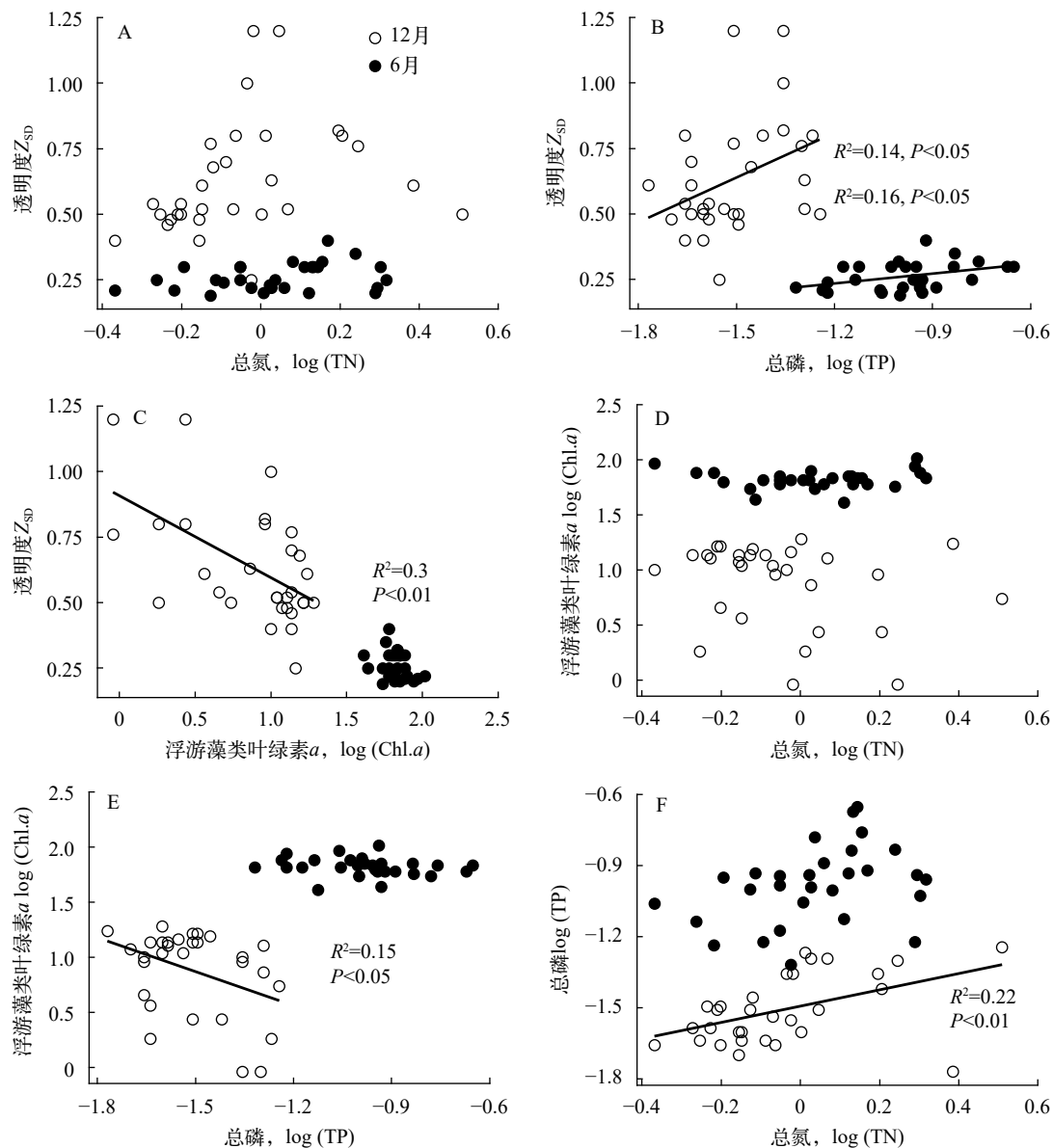


图4 6月和12月金湖富营养化基本参数之间的关系($n=30$)

Fig. 4 Regressions among key environmental variables of Lake Jinhu in June and December

水植物群落。综合透明度-水深情况和沉水植物种子库情况,结合金湖的湖底地形,将东湖的东南部、东湖的西岸、刘家湖的东岸和西部作为沉水植物恢复区较为合适(图7),B区和C区由于具有一定的沉水植物种子库资源,可采用冬季降低水位的方法,使其自然恢复。而A区由于种子库资源匮乏,应采用冬季降低水位和人工投放种子相结合的方法,对此区域的沉水植物群落进行恢复。若有条件将水

位降得足够低,则可在全湖范围内恢复沉水植物。

基于水深-透明度之比的经验模型,不同于以往模型需要大量详细的生理资料和环境参数的特点,运用较少的变量便可以对沉水植物的分布和生物量做出预测。在国内外都有大量应用^[7, 15-22]。基于透明度-水深之比与沉水植物生物量的经验模型,辅以沉水植物种子库的分布情况,可以用较少的参数,确定沉水植物可以生长的大致区域,为沉

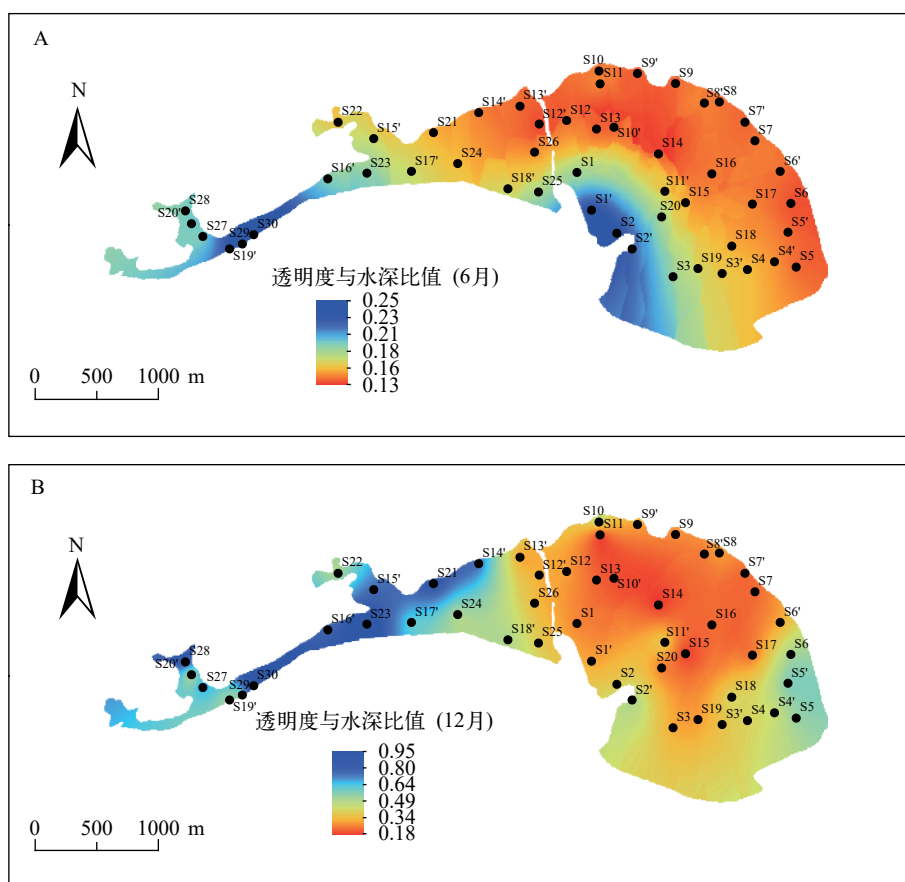


图5 6月和12月金湖透明度-水深比值的空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of the ratio of Secchi depth to water depth in Lake Jinhu in June and December

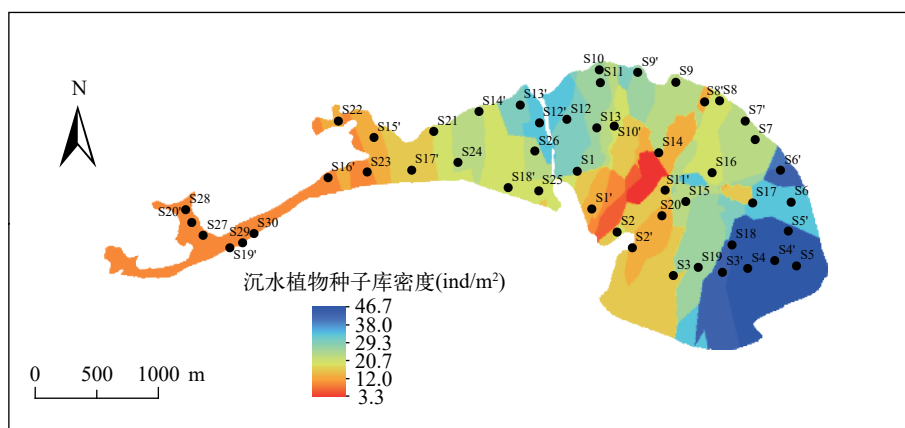


图6 金湖沉水植物种子库的空间分布格局

Fig. 6 Distribution patterns of submersed macrophyte seed bank in Lake Jinhu

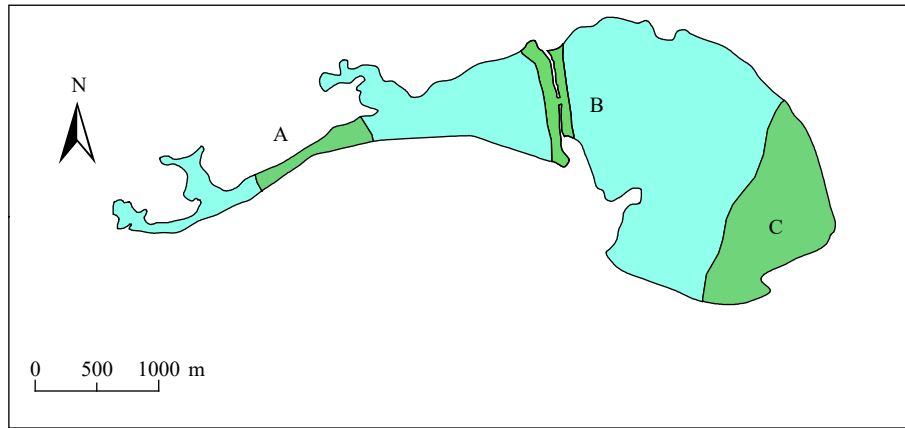


图 7 金湖沉水植物恢复区

Fig. 7 Submersed macrophyte restorable areas in Lake Jinhu

水植物恢复区的划分提供建议。在沉水植物恢复中有一定的应用价值。但此方法只能粗略估计沉水植物的适宜恢复区, 在自然条件下, 影响沉水植物生长的因素众多, 如湖底基质和鱼类牧食等, 因此在沉水植物恢复区划分时, 还应结合湖底基质、景观需求等要素综合考虑。

致谢:

和雅静在ArcGIS绘图方面进行了指导, 余红、邹时全、黄东明、姚凯胜、姚维林、梁磊和蒋威在调查时提供了帮助, 在此表示衷心感谢。

参考文献:

- [1] Jeppesen E, Søndergaard Ma, Søndergaard Mo, *et al.* The structuring role of submerged macrophytes in Lakes [M]. New York: Springer-Verlag, 1998: 197-216.
- [2] Scheffer M. Ecology of Shallow Lakes [M]. Dordrecht; Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998: 213-224.
- [3] Wang H J, Wang H Z, Liang X M, *et al.* Total phosphorus thresholds for regime shifts are nearly equal in subtropical and temperate shallow lakes with moderate depths and areas [J]. *Freshwater Biology*, 2014, **59**(8): 1659-1671.
- [4] Moore K A, Wetzel R L. Seasonal variations in eelgrass (*Zostera marina* L.) responses to nutrient enrichment and reduced light availability in experimental ecosystems [J]. *Journal of Experimental Marine Biology & Ecology*, 2000, **244**(1): 1-28.
- [5] Wang H J, Wang H Z, Liang X M, *et al.* Macrophyte species strongly affects changes in C, N, and P stocks in shallow lakes after a regime shift from macrophyte to phytoplankton dominance [J]. *Inland Waters*, 2016, **6**(3): 449-460.
- [6] Lauridsen T L, Jensen J P, Jeppesen E, *et al.* Response of submerged macrophytes in Danish lakes to nutrient loading reductions and biomanipulation [J]. *Hydrobiologia*, 2003, **506-509**(1-3): 641-649.
- [7] 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.
- [8] Jeppesen E, Meerhoff M, Jacobsen B A, *et al.* Restoration of shallow lakes by nutrient control and biomanipulation-the successful strategy varies with lake size and climate [J]. *Hydrobiologia*, 2007, **581**(1): 269-285.
- [9] Hellsten S, Riihimäki J. Effects of lake water level regulation on the dynamics of littoral vegetation in northern Finland [J]. *Hydrobiologia*, 1996, **340**(1-3): 85-92.
- [10] Li D H, Yang S, Fang T, *et al.* Recovery of aquatic macrophytes by use of water level regulation method in eutrophic lakes-A case study of Wuli Lake, Wuxi City [J]. *Environmental Science & Technology*, 2008, **31**(12): 59-62. [李敦海, 杨劭, 方涛, 等. 水位调控法恢复富营养化水体沉水植物技术研究——以无锡五里湖为例 [J]. *环境科学与技术*, 2008, **31**(12): 59-62.]
- [11] Hu S H, Shi S L, Mei S M, *et al.* Change of species diversity after the engineering of plant by the submerged macrophyte [J]. *Journal of Green Science and Technology*, 2019(2): 13-15. [胡胜华, 史诗乐, 梅劭明, 等. 沉水植物种植工程实施后物种多样性的变化——以武汉紫阳湖为例 [J]. *绿色科技*, 2019(2): 13-15.]
- [12] Ye C, Liu J, Yu H C, *et al.* General seed banks and seedling banks of 3 dominant submerged macrophyte community in east Taihu Lake [J]. *Ecology and Environment*, 2008, **17**(3): 1091-1095. [叶春, 刘杰, 于海婵, 等. 东太湖3种沉水植物群落区底泥种子库与幼苗库 [J]. *生态环境学报*, 2008, **17**(3): 1091-1095.]
- [13] Wang H J, Liang X M, Jiang P H, *et al.* TN:TP ratio and planktivorous fish do not affect nutrient-chlorophyll relationships in shallow lakes [J]. *Freshwater Biology*, 2010, **53**(5): 935-944.
- [14] Wang H J, Wang H Z, Pan B Z, *et al.* Variations of algal and non-algal turbidity among the Yangtze subtropical shallow lakes [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2017, **41**(2): 414-419. [王海军, 王洪铸, 潘保柱, 等. 长江亚热带浅水湖群藻类浊度与非藻类浊度的变异规律 [J]. *水*

- 生生物学报, 2017, 41(2): 414-419.]
- [15] Canfield D E, Langeland K A, Linda S B, *et al.* Relations between water transparency and maximum depth of macrophyte colonization in lakes [J]. *Journal of Aquatic Plant Management*, 1985(23): 25-28.
- [16] Duarte C M, Kalff J. Littoral slope as a predictor of the maximum biomass of submerged macrophyte communities [J]. *Limnology & Oceanography*, 1986, 31(5): 1072-1080.
- [17] Duarte C M, Kalff J, Peters R H. Patterns in biomass and cover of aquatic macrophytes in lakes [J]. *Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 1986, 43(10): 1900-1908.
- [18] Duarte C M, Kalff J. Patterns in the submerged macrophyte biomass of lakes and the importance of the scale of analysis in the interpretation [J]. *Canadian Journal of Fish Aquatic Science*, 1990, 47(2): 357-363.
- [19] Liang Y L, Liu H Q. Resources, Environment and Fishery Ecological Management of Macrophytic Lakes [M]. 1995: 172-177. [梁彦龄, 刘伙泉. 草型湖泊资源、环境与渔业生态学管理 [M]. 1995: 172-177.]
- [20] Janse J H, Van D E, Aldenberg T. A model study on the stability of the macrophyte-dominated state as affected by biological factors [J]. *Water Research*, 1998, 32(9): 2696-2706.
- [21] Håkanson L, Boulion V V. Empirical and dynamical models to predict the cover, biomass and production of macrophytes in lakes [J]. *Ecological Modelling*, 2002, 151(2): 213-243.
- [22] Squires M M, Lesack L F W, Huebert D. The influence of water transparency on the distribution and abundance of macrophytes among lakes of the Mackenzie Delta, Western Canadian Arctic [J]. *Freshwater Biology*, 2010, 47(11): 2123-2135.

INTEGRATING UNDERWATER LIGHT CONDITION AND SEED BANK TO INDICATE SUBMERSED MACROPHYTE RESTORATION ZONE: LAKE JINHU AS A CASE

XU Chao^{1,2}, LI En-Hua³, YANG Jiao³, MA Yu^{1,2}, ZHANG Miao^{1,2},
FENG Wei-Song¹, LIANG Xiao-Min¹ and WANG Hai-Jun^{1,4}

(1. State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Institute of Geodesy and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China; 4. Institute for Ecological Research and Pollution Control of Plateau Lakes, School of Ecology and Environmental Science, Yunnan University, Kunming 650504, China)

Abstract: Submersed macrophytes play an important role in maintaining lake ecosystem health and supporting fishery sustainability. The restoration of submersed macrophytes is an effective measure of ecological reconstruction in shallow lakes. However, assessment of the restorable zone of macrophytes is usually neglected in practical ecological restoration, resulting in low survival rates of introduced submersed macrophytes. In this study, Lake Jinhu (with two sub-areas, Donghu and Liujiahu), Zhijiang, Hubei Province, was studied as a case with the purpose of developing a method to assess the restoration zone of submersed macrophytes by integrating the underwater light climate and seed bank of submersed macrophytes. Two comprehensive surveys were carried out in June and December 2018. The seed bank of submersed macrophytes was analyzed in June. The ratio of Secchi depth to water depth and the seed bank distribution of submersed macrophytes were selected as the key factors to assess the restoration zones. The results suggested a serious eutrophication of Lake Jinhu. In June, the ratio of Secchi depth to water depth ranged from 0.13 to 0.25, with an average of 0.17, all much lower than the required thresholds for the regrowth of submersed macrophytes. In December, the ratio of Secchi depth to water depth ranged from 0.18 to 0.95, with an average of 0.44, mostly meeting the requirement for macrophyte growth. The density of the submersed macrophyte seeds ranged from 0 to 200 ind./m², with an average of 24 ind./m². Based on the underwater light climate and the spatial distribution of the seed bank, combined with the topography of the lake bottom, we suggest that the water level be lowered in winter and spring. The southeastern part of Lake Donghu, the western bank of Lake Donghu, and the eastern bank and the western part of Lake Liujiahu are zones suitable for the restoration of submersed macrophytes. The relevant findings are expected to benefit lake management in restoring submersed macrophytes by improving the efficiency of ecological restoration while lowering the cost of management.

Key words: Submersed macrophytes; Underwater light climate; Seed bank; Water level regulation; Lake Jinhu