

汉江中段伊乐藻过度生长的生态调控研究

李建^{1,2}, 丁洪亮³, 颜剑⁴, 操瑜⁵, 尹炜^{1,2}

- (1.长江水资源保护科学研究所, 湖北 武汉 430051;
- 2.长江水利委员会湖库水源地面源污染生态调控重点实验室, 湖北 武汉 430051;
- 3.汉江水利水电(集团)有限责任公司, 湖北 武汉 430048;
- 4.湖北汉江王甫洲水力发电有限责任公司, 湖北 襄阳 441800;
- 5.中国科学院武汉植物园, 水生植物生物学实验室, 湖北 武汉 430074)

摘要:汉江中游丹江口至王甫洲江段近年来伊乐藻(*Elodea nuttallii*)过度生长,对水生生态系统平衡和水电站运行造成较大影响。基于伊乐藻生长与关键生境要素的响应关系,构建控制伊乐藻过度生长的生态调控方案。采用野外调查和受控试验观测方法,探明伊乐藻生长的环境影响因子及其阈值。结果显示,伊乐藻形成单一优势群落的临界水深为3.0~3.5 m,生长极限深度的光照强度阈值为400~500 lx,生长水温在3~30℃,其中10℃可能是伊乐藻由慢速向快速生长转变的温度阈值;影响伊乐藻生长分布的临界流速约为0.14 m/s,流速越大对其生长越不利。研究表明:(1)大坝加高蓄水后,丹江口至王甫洲江段下泄流量和水温等条件变化,可能是促进伊乐藻过度生长的重要原因,通过丹江口水库联合王甫洲水电站开展生态调控伊乐藻过度生长具有可行性;(2)根据伊乐藻萌发和定植规律,每年春季(2~4月)和秋末(10~11月)是开展水生态调度以控制伊乐藻过度生长的最佳时机,建议丹江口水库下泄流量峰值不小于1 500 m³/s,或达到最小下泄流量的2~3倍(峰值流量不低于1 000 m³/s),每次调度持续时间不少于5 d,调度过程不少于2次。

关键词:伊乐藻;生态调度;生长控制;光照强度;下泄流量;汉江

中图分类号: X171.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2023)04-0029-06

伊乐藻(*Elodea nuttallii*)隶属于水鳖科、伊乐藻属,与我国淡水水域常见的黑藻(*Hydrilla verticillata*)和苦草(*Vallisneria spiralis*)同属水鳖科,是一种原产于美洲的优质、速生、高产沉水植物。中国的伊乐藻最早从日本引种到太湖后全面扩散(许经纬等, 2007)。伊乐藻为多年生沉水草本植物,雌雄异株,引种至中国的伊乐藻全部为雄性植株,营养体繁殖是其唯一的繁殖方式(连光华和张圣照, 1996)。在自然条件下,伊乐藻表现出以年为周期的发育节律(雷泽湘等, 2006),在春季和夏初大量生长,夏季高温期生长停滞,水柱上部茎节常常直接衰亡并形成特化休眠芽,在秋季可再度生长,形成新的群落;同时,水柱下部的横走茎隐藏在水底表层,待水温回升后继续萌发生长进入新一轮生长周期。

2014年以来,汉江中游干流丹江口至王甫洲江段出现一种新的生态现象,以外来沉水植物伊乐藻为优势种的水草过度生长,严重挤占本地沉水植物生存空间,影响水生生态系统的群落结构,其来源于部分近岸区域早年水产养殖草料,在养殖过程中扩散至汉江河道内。汛期时,在不同河段生长的伊乐藻同时被洪水冲刷至下游王甫洲库区,大量伊乐藻断枝缠绕成团,严重影响王甫洲水利枢纽工程的行洪、发电和航运等功能。在其生长末期,伊乐藻大量死亡后迅速分解(谢林申和莫妙兴, 2012),在生长期吸收的营养盐又释放回水体,成为内源污染,影响汉江水源地的水质安全。

目前,控制伊乐藻的方式主要包括物理方法(物理拦截、机械打捞和生态调度)、化学方法(主要是草甘膦等除草剂)和生态方法(放养草食性鱼类草鱼、团头鲂等)(张嘉琦等, 2013;蔡树伯等, 2015)。物理拦截方法已在王甫洲库区应用,在电站取水口格栅前布置一道拦污排,但随着水草堆积数量越来越多,部分水草挤过拦污排进入取水口,导致拦截效果有限;机械打捞方法也作为应急措施被应用,但由于库区水草量大面广,打捞成本较高,而且在大流量过境时因水草漂浮物过多无法全部及时打捞;化学方法

收稿日期:2021-07-20 修回日期:2022-08-23

基金项目:国家重点研发计划项目(2019YFC0408901);国家自然科学基金(U2040210)。

作者简介:李建,1985年生,男,博士,教授级高级工程师,主要从事生态水文研究。E-mail: lijian2750@foxmail.com

通信作者:尹炜,1978年生,男,博士,教授级高级工程师,主要从事水资源保护研究。E-mail: 2000yinwei@163.com

无法在此河段应用,因为汉江干流是老河口市、谷城县、襄阳市等城市的饮用水水源地,采用化学方法的水环境风险较大;生态方法虽然被广泛推荐,但在库区大范围增殖放流草食性鱼类是否有效果仍需研究,实施效果具有不确定性。生态调度方法是通过水库调度调节河道流量、流速和水位,改变伊乐藻适宜生长环境,从而抑制伊乐藻过度生长。

以外来沉水植物伊乐藻为优势种的水草过度生长已经对汉江水生生态系统平衡、王甫洲水利枢纽正常运行和水源地水质安全等造成较大影响,研究优势种伊乐藻的生长规律和关键生境因素,阐明生态现象的产生原因,提出相应对策措施,具有重要的科学意义和现实需求。当前,以生态调度方法控制水草生长的研究和实践相对较少,亟需探讨其生长控制的可行性和实际效果,在此基础上提出生态调度最佳方案。本研究旨在通过野外调查和现场试验,了解伊乐藻的生长规律和时空分布特征,探讨影响其生长的关键生境因素,明晰防控其过度生长的生态调控指标阈值,从生态调度的时机、方式和持续时间等方面提出生态调度方案,以期为汉江丹江口至王甫洲江段伊乐藻过度生长控制生态调度提供参考。

1 材料和方法

1.1 区域概况

汉江中游干流丹江口至王甫洲江段长约 35 km,位于丹江口水库和王甫洲水利枢纽之间。丹江口水库是南水北调中线工程水源地,2013 年完成大坝加高工程,蓄水位由原来的 157 m 增加至 170 m(吴淞高程),总库容增加至 339 亿 m³,水库水面面积 1 050 km²,2014 年 12 月 12 日丹江口水库向南水北调中线工程供水。王甫洲水利枢纽是一个以发电为主,结合航运,兼有灌溉、养殖、旅游等综合效益的大(二)型水利工程,水库正常蓄水位 86.23 m,总库容 3.095 亿 m³。电站为低水头径流式电站,总装机 109 MW,年发电量 5.81 亿 kW·h。

1.2 调查方法

2020 年共计开展 4 次水草调查,时间分别为 6 月、7 月、8 月和 10 月。为获得较为准确的伊乐藻总生物量数据,对其分布较为集中区域开展样带调查(图 1)。样带垂直于河岸,从岸边向河道中间开展样点沉水植物采集,直至无沉水植物分布为止,单个样点采用 1/5 m² 沉水植物采样夹采集水草,洗净淤泥,去除杂质,现场称湿重作为生物量,取样带上多个样点的平均值作为该区域单位面积生物量。

伊乐藻总生物量(t)= 单位面积生物量(kg/m²)× 分布面积(m²)/1000

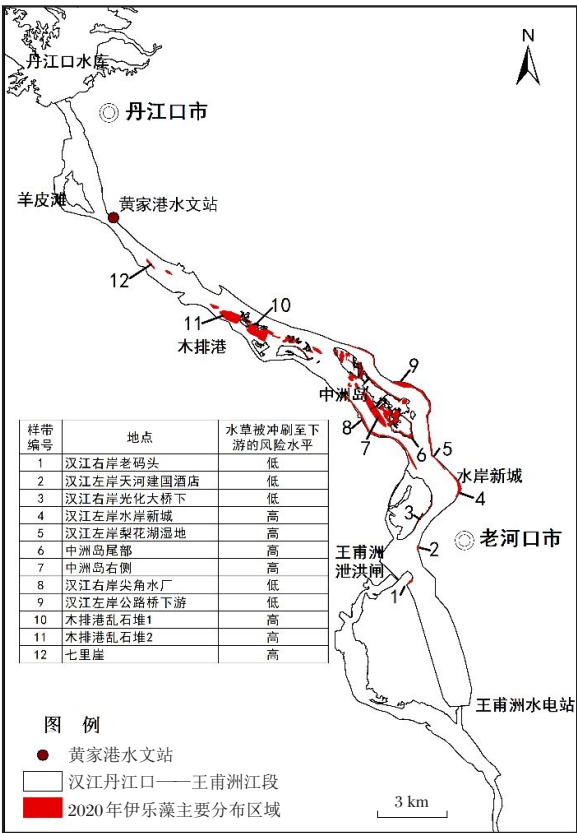


图 1 研究区域及样带调查位置

Fig.1 Study area and location of survey transects

1.3 光照与水深受控试验

由于光照随水深迅速衰减,为了解伊乐藻在河道中生长的深度极限(光照强度阈值),本研究在王甫洲电站坝前水域开展了原位受控试验;该位置水流速小,透明度约 1.6 m。试验在 2020 年 7-8 月开展,以伊乐藻冠层和基部的茎干为试验材料,设置了 1、2、3、5、7 m 共 5 个水深梯度,定期观测不同水深下光照强度和伊乐藻生长情况。光照采用 HOBO 光照记录仪,伊乐藻长度测量需要将试验桶提至水面以上用尺子进行测量。悬挂试验系统见图 2 所示。

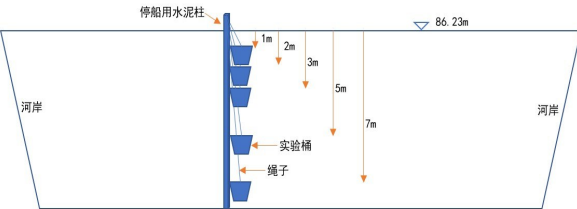


图 2 悬挂试验系统剖面

Fig.2 Schematic diagram of the suspension experiment system

2 结果与分析

2.1 伊乐藻的时空分布特征

2.1.1 空间分布 2020年伊乐藻主要分布在木排港至王甫洲泄水闸之间的江段,其中水岸新城、中洲岛、木排港附近浅水区域分布密度最高(图1)。测算结果表明,2020年伊乐藻总分布面积约2.02 km²。其中,汛期伊乐藻暴露在冲刷路径上,极易被冲刷至王甫洲坝前的高风险区域,分布面积约1.72 km²,岸边或者回水区在汛期不易被冲刷至下游的低风险区域,分布面积约0.30 km²。2020年伊乐藻最大平均生物量为10 kg/m²,生长高峰期生物量达到1.3万t,仅为2019年生长旺盛期总生物量的30%;其中,低风险区域的生物量有0.18万t,高风险区域的生物量达1.12万t。对有伊乐藻分布的河岸带岸坡剖面调查显示,水深小于2.5 m的区域,伊乐藻为单优群落,平均生物量达10 kg/m²。随着水深增加,伊乐藻平均生物量逐渐下降,伊乐藻常与菹草、篦齿眼子菜等共存。当岸边水深超过3.5 m时,伊乐藻分布较少(图3)。调查发现,中洲岛尾部等少数区域水体透明度可到4.0 m,但超过3.5 m的水域仍有伊乐藻分布。

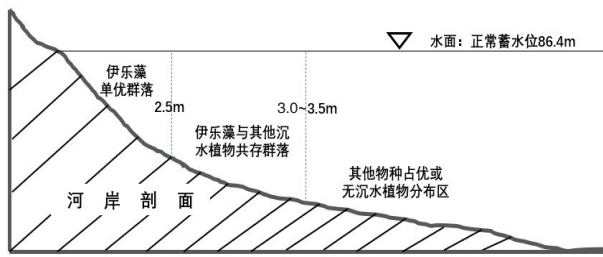


图3 伊乐藻沿岸坡分布

Fig.3 Distribution of *E. nuttallii* along the riverbank

2.1.2 时间分布 水岸新城区域的伊乐藻在6月已生长为茂密群落,植株平均高度50 cm,7月的群落植株高度最高已达170 cm,8月形成冠层团聚体,10月开始凋亡。中洲岛外侧大面积伊乐藻群落在8月形成了绿色丝状藻缠绕的冠层团聚体并浮于水面,至10月冠层基本凋亡。由于成群水鸟的栖息、觅食活动,将团聚体冲散,可见大量断枝和离散的小团聚体。调查发现,同一调查采样时期内,研究区域从中部江段(王甫洲泄洪闸至木排港)到上部江段(七里崖至丹江口坝下)存在一定的物候差异,7月中部江段的伊乐藻植株开花早于上部江段,8月中部江段的伊乐藻最先开始衰亡,10月中部江段未衰亡的伊乐藻最先开始萌生新芽,伊乐藻断枝开始新一轮漂流定植。

2.1.3 扩散过程 根据4次调查结果,推测2019–2020年丹江口至王甫洲江段伊乐藻“生长–死亡–漂浮扩散/原位沉降–营养体繁殖再生–群落更新”的整个生理过程大致为:2019年9–10月伊乐藻群落植株上部被汛期洪水冲走;2020年1月基部残留老根和冲刷至中部江段的伊乐藻开始再生恢复过程,4月起伊乐藻群落进入快速恢复和生长期,6月部分中部江段伊乐藻已达到生物量顶峰,7–8月大部分中部和上部江段伊乐藻达到生物量顶峰,其中部分群落受夏季水位调低和短时间高温热浪影响而死亡,8月底至9月中部江段的部分群落开始进入衰亡期,10月底大部分区域伊乐藻群落完成衰亡过程。由于2020年汛期没有大洪水冲刷影响,大部分伊乐藻在原位沉底腐烂,也有部分冲刷至下游,11月以后河底的伊乐藻根部休眠芽开始再生,河面上漂浮的伊乐藻断枝也开始新一轮定植。

2.2 水深和光强影响

监测表明,在伊乐藻生长季的7–8月,王甫洲电站坝前3 m水深处的平均光照强度为830 lx,而5 m和7 m水深处的光照强度日平均仅为337 lx和203 lx(图4)。伊乐藻在不同受控水深处的生长状况存在显著差异,在3 m处明显可以正常生长,而5 m和7 m处仅有少量植株存活,存在一定的偶然性,大部分植株无法存活。

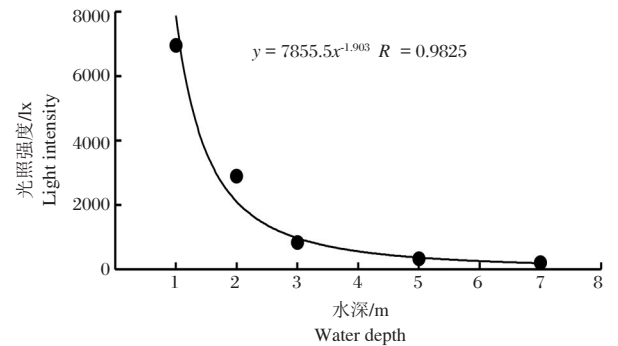


图4 王甫洲坝前水域光照强度随水深变化

Fig.4 Changes of light intensity with water depth below Wangfuzhou Dam

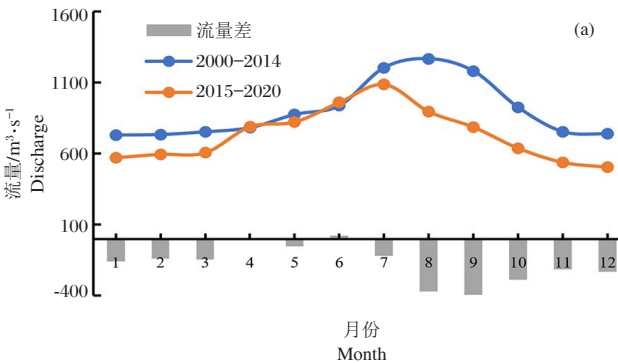
2.3 环境因子阈值

2.3.1 临界水深(光照强度) 周晓红等(2008)研究认为伊乐藻最适光照强度为自然光照的5%,在3 500~5 600 lx。2020年调查和试验观测表明,汉江丹江口至王甫洲区间河道沿岸带的伊乐藻分布受光照限制,岸边伊乐藻形成单一优势群落的临界水深为3.0~3.5 m,生长极限深度的光照强度阈值为400~500 lx。

2.3.2 临界水温 伊乐藻起源于北温带,对低温具有

较强的耐受性。受控试验发现,伊乐藻在水温 3~7℃ 的低温条件下仍然可以生长(朱伟等,2004;许经纬,2006)。研究表明,水温 10℃ 可能是伊乐藻由慢速向快速生长转变的温度阈值,当水温高于 30℃,伊乐藻开始衰亡(Kunii, 1982);夏季持续性的高温天气(如 1~2 周)并配合较低的水位,极易诱发河道中的伊乐藻调亡(靳萍等,2013;刘俊初等,2016)。根据黄家港水文站监测,大坝加高蓄水后,丹江口至王甫洲江段 4~5 月的水温可达到 10℃。现场观测表明,丹江口至王甫洲区间 4~5 月恰好是伊乐藻群落恢复快速生长阶段。综合已有研究和实际调查观测,初步确定汉江丹江口至王甫洲江段伊乐藻恢复快速生长的临界水温约为 10℃,开始衰亡的临界水温约为 30℃。

2.3.3 临界流速 槐文信等(2020)研究认为流速是影响沉水植物在水中覆盖度的重要因素。有研究发现,平均流速为 0.09 m/s 的水域,伊乐藻覆盖度可达 50% 以上,而平均流速为 0.14 m/s 的水域,伊乐藻覆盖度仅占 10% 以下(Heidbüchel & Hussner, 2020)。2020 年调查显示,有伊乐藻分布水域的平均流速约为 0.036 m/s,流速超过 0.1 m/s 的水域伊乐藻分布较少。综合已有研究成果和实际调查观测,初步确定影响伊乐藻生长分布的临界流速约为 0.14 m/s,流速越大,对伊乐藻定植越不利。



3 讨论

3.1 丹江口水库加高对伊乐藻生长环境的影响

2014 年是丹江口大坝加高蓄水的关键节点,分析丹江口坝下黄家港水文站 2000~2014 年与 2015~2020 年时间序列月均流量和水温,可在一定程度上反映丹江口水库大坝加高蓄水运行后,丹江口至王甫洲区间伊乐藻生长关键环境因子的变化情况。统计表明,丹江口大坝加高蓄水后坝下黄家港断面 7~9 月的汛期月均流量较加高蓄水前减少(图 5-a),这意味着在 7~9 月伊乐藻受大流量冲刷作用减弱,为其过度生长创造了有利条件。

在水温方面,丹江口大坝加高蓄水后,黄家港断面冬、春季节平均水温升高、夏季平均水温降低(图 5-b),11 月至次年 3 月丹江口下泄水温平均升高 1℃,其中 1 月的升温幅度最大,为 1.9℃;4~10 月丹江口下泄水温平均降低 4.4℃,其中 6 月的降幅最大,达到 7.1℃。由此可见,大坝加高蓄水后,丹江口水库向汉江中下游下泄水体的水温产生了较为明显变化,而这种变化更有利于伊乐藻生长的温度阈值,为伊乐藻跨年度生长提供了有利条件。大坝加高蓄水后,丹江口至王甫洲江段流量和水温等条件的变化,可能是促进伊乐藻过度生长的重要原因,这为采用水库生态调度方式防控伊乐藻过度生长提供了可行性理论基础。

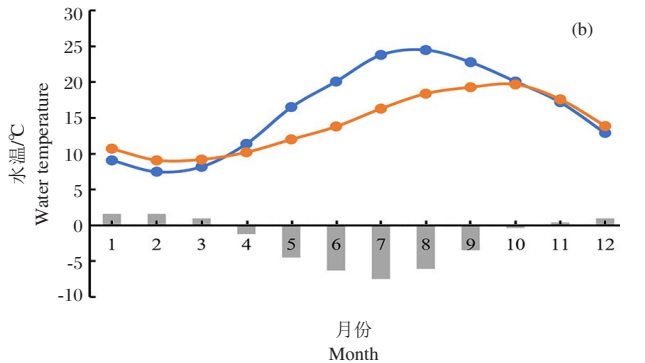


图 5 丹江口大坝加高蓄水后黄家港断面流量(a)和水温(b)的月变化

Fig.5 Monthly average change of water flow and temperature in the Huangjiagang section after high water level impoundment of Danjiangkou reservoir

3.2 控制伊乐藻过度生长的生态调度建议

根据伊乐藻生长状况调查和研究成果,在调度时机、调度方式和持续时间等方面提出控制伊乐藻过度生长的生态调度建议。

3.2.1 生态调度时机 建议在每年春季和秋末分别开展控制伊乐藻过度生长生态调度,具体措施包括:

(1)第一个生态调度时机是初春 2~4 月,2~3 月的月均水温不足 10℃,伊乐藻生长缓慢,到了 4 月,水温

将达到 10℃,伊乐藻由慢速增长转到快速增长阶段;该时期是控制伊乐藻过度生长的关键时期。春季生态调度主要目的是抑制伊乐藻恢复生长,通过增大流速、产生水位波动,干扰伊乐藻恢复生长的适宜生境条件。

(2)第二个生态调度时机是秋末 10~11 月,该时期的伊乐藻萌发休眠芽,等待合适条件开始新一轮生长,有些带休眠芽的伊乐藻随水流漂移定植形成

新的群落,在未发生秋汛年份,该时期可通过生态调度增加丹江口水库下泄流量,影响伊乐藻新枝定植条件,干扰新群落的形成。秋末生态调度主要目的是通过大流量脉冲将新萌发的枝芽冲刷至下游深水区,干扰新枝的定植条件,防止其来年快速形成新的优势种群。在发生秋汛的年份不需要再单独开展生态调度,在未发生秋汛的年份可以结合丹江口水库蓄水情况,适当开展基于流量脉冲的生态调度。

3.2.2 调度方式和持续时间 建议采用丹江口水库加大下泄流量调节并配合王甫洲水库水位波动调节的联合生态调度方式控制伊乐藻过度生长,具体措施包括:

(1)丹江口水库加大下泄流量调节。对以往的水文资料统计分析后发现,春季丹江口水库下泄流量(即王甫洲水库入库流量)较大且具有一定的波动性(极值比大于2),2016年和2018年春季1-3月最大流量分别为593 m³/s和1 030 m³/s,大小流量极值比分别为2.07和2.15(表1),王甫洲电站则未发生伊乐藻漂浮物堆积影响正常运行的事件。水动力数学模型模拟结果显示,当丹江口下泄流量达到1 500 m³/s时,伊乐藻大量分布的中洲岛等区域流速才能达到0.14 m/s的临界值。丹江口水库水量充足时,在不影响南水北调中线工程供水情况下,丹江口水库控制伊乐藻过度生长生态调度峰值流量不小于1 500m³/s,建议采用波动式流量下泄过程,每次调度持续时间不少于5 d,调度过程不少于2次;丹江口水库水量有限时,在不影响南水北调中线工程供水情况下,下泄流量不低于500 m³/s基础上,建议采用波动式下泄,其峰值流量按照2月最低流量的2.0~3.0倍进行设定(峰值流量不低于1 000 m³/s)。调度过程每次持续时间不少于5 d,调度过程不少于2次。

表1 2014—2020年王甫洲库区1-3月入库流量极值与藻灾发生情况

Tab.1 Maximum and minimum water inflow to Wangfuzhou reservoir and disaster occurrence caused by overgrowth of *E. nuttallii* from January to March, 2014-2020

年份	最大流量/m ³ ·s ⁻¹	最小流量/m ³ ·s ⁻¹	极值比	藻灾情况
2014	540	318	1.70	未发生
2015	908	363	2.50	未发生
2016	593	287	2.07	未发生
2017	495	374	1.32	发生
2018	1030	478	2.15	未发生
2019	665	495	1.34	发生
2020	1090	518	2.10	未发生

(2)王甫洲水库水位波动调节。考虑到王甫洲水库水位下降对发电和大坝安全的影响,水库水位下降幅度不能过大,统计2014年以来王甫洲实际运行水位,其最低水位为85.8 m,与正常蓄水位的差值为0.43 m,因此建议生态调度期间王甫洲水位最大降幅控制在0.5 m以内。

由于针对伊乐藻生长状况的调查时间较短,确定临界流速等阈值指标还需要通过更多调查观测数据进行验证和完善。未来,可结合连续调查观测、伊乐藻冲刷耐受试验和控制伊乐藻过度生长的生态调度试验,进一步完善调控指标和调度方案。

参考文献

蔡树伯,赵辉,陈建立, 2015. 北大港水库沉水植物过度生长控制技术研究[J]. 现代农业科技, (9):219,227.

槐文信,朱政涛,杨中华,等,2020. 基于水动力的植被消长模型及河道植被演替模拟[J]. 人民长江, 51(1):174-179.

靳萍,胡灵卫,靳同霞,等,2013. 伊乐藻光合能力对三种生态因子的响应[J]. 水生态学杂志, 34(1):25-29.

雷泽湘,徐德兰,黄沛生,等, 2006. 太湖沉水和浮叶植被及其水环境效应研究[J]. 生态环境, 15(2):239-243.

连光华,张圣照,1996. 伊乐藻等水生高等植物的快速营养繁殖技术和栽培方法[J]. 湖泊科学, 8(S1):11-16.

刘俊初,于丹,刘春花, 2016. 春季不同程度低水位对四种沉水植物生理的影响[J]. 水生生物学报, 40(3):532-537.

谢林伸,莫妙兴,2012. 富营养条件下水质对伊乐藻与菹草生物腐烂速率的影响[J]. 安徽农业科学, 40(30): 14630-14632.

许经伟, 2006. 伊乐藻和黑藻在不同营养底质条件下的生长反应及其种间竞争研究[D]. 武汉:中国科学院研究生院.

许经伟,李伟,刘贵华,等, 2007. 两种沉水植物黑藻和伊乐藻的种间竞争[J]. 植物生态学报, 31(1):83-92.

张嘉琦,方祥光,高晓月,等, 2013. 沉水植物过度生长的生物控制技术研究进展[J]. 农业环境与发展, 30(3):66-68.

周晓红,王国祥,冯冰冰, 2008. 光照对伊乐藻(*Elodea nuttallii*)幼苗生长及部分光能转化特性的影响[J]. 生态与农村环境学报, 24(4):46-52.

朱伟,陈清锦,张兰芳, 2004. 伊乐藻在冬季低温条件下对污染水体的净化效果[J]. 生态环境, 13(4):497-499.

Heidbüchel P, Hussner A, 2020. Falling into pieces: In situ fragmentation rates of submerged aquatic plants and the influence of discharge in lowland streams[J]. Aquatic Botany, 160: 103164.

Kunii H, 1982. The caritical water temperature for the active growth of *Elodea nuttallii* (Planch) St. John[J]. Japanese Journal of Ecology, 32(1):111-112.

Ecological Regulation of *Elodea nuttallii* Overgrowth in the Middle Hanjiang River

LI Jian^{1,2}, DING Hong-liang³, YAN Jian⁴, CAO Yu⁵, YIN Wei^{1,2}

- (1. Changjiang Water Resources Protection Institute, Wuhan 430051, P. R. China;
2. Key Laboratory of Ecological Regulation of Non-point Source Pollution in Lake and Reservoir Water Sources, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430051, P. R. China;
3. Hanjiang Water Conservancy and Hydropower (Group) Limited Liability Company, Wuhan 430048, P. R. China;
4. Hubei Hanjiang Wangfuzhou Hydropower Development Limited Liability Company, Xiangyang 441800, P. R. China;
5. Laboratory of Aquatic Plant Biology, Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, P. R. China)

Abstract: In recent years, a new ecological phenomenon has appeared in the Danjiangkou–Wangfuzhou section of the middle Hanjiang River. There is an overgrowth of aquatic plants and the dominant species is the exotic submerged macrophyte, *Elodea nuttallii*. The overgrowth of the aquatic weed has a severe impact on the Hanjiang River aquatic ecosystem health and the operation of Wangfuzhou hydropower station. Few studies have been reported on the ecological control of excessive *E. nuttallii* growth. In this study, we explored the growth and spatiotemporal distribution of *E. nuttallii* by field investigation and controlled experimental observation and analyzed the key environmental factors and their thresholds for *E. nuttallii* growth. Then, based on the response relationship between *E. nuttallii* growth and key habitat elements, we constructed an ecological regulation scheme to control *E. nuttallii* overgrowth. Results show that water depth, light intensity, water temperature and velocity were key factors affecting the growth and distribution of *E. nuttallii*. The critical water depth for the formation of a single dominant community of *E. nuttallii* near the riverbank was 3.0–3.5 m. The light intensity threshold for the deepest water depth of *E. nuttallii* growth was 400–500 lx. The water temperature range for the growth of *E. nuttallii* was 3–30°C, and the water temperature of 10°C may be the threshold from slow growth to fast growth of *E. nuttallii*. The critical flow velocity affecting the growth of *E. nuttallii* was about 0.14 m/s, and the higher the flow rate, the more unfavorable for *E. nuttallii* growth. In conclusion: (1) After increasing the water level of Danjiangkou reservoir, changes in water discharge and temperature from the reservoir resulted in the overgrowth of *E. nuttallii*. Therefore, control of *E. nuttallii* overgrowth is feasible using ecological scheduling of the discharge from Danjiangkou reservoir. (2) According to the germination and colonization rules, spring and late autumn are the best time to carry out ecological scheduling to control the overgrowth of *E. nuttallii*. During the ecological scheduled discharge, the peak flow of Danjiangkou reservoir is recommended to be no less than 1 500 m³/s, or 2–3 times the minimum flow discharge. The duration of each scheduled release should be no less than 5 days and the release should be scheduled no less than twice.

Key words: *Elodea nuttallii*; ecological regulation; overgrowth control; light intensity; flow discharge; Hanjiang River