

太湖水生植被生态恢复技术研究进展——以水专项研究成果为例

谢立莹¹, 薛庆举²

(1. 辽宁省兴城市环境保护监测站, 辽宁兴城 125100; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 江苏南京 210008)

摘要 水生植被作为湖泊等水体重要的初级生产者之一, 在维持湖泊水生生态系统结构与功能中具有重要作用。太湖作为我国三大富营养湖泊之一, 蓝藻水华等水环境问题非常突出, 而其中的水生植被也存在退化现象。针对太湖等水体中水生植被的修复已存在迫切的需求, 但由于水生植被修复的各个环节均存在一定的技术瓶颈, 致使前期大部分水生植被修复工程均未取得较大突破。基于此, 在“十一五”和“十二五”期间, 国家水体污染控制与治理科技重大专项(简称水专项)设立了数个课题用于研发水生植被修复相关的各项技术, 但大部分技术仍相对分散, 未形成体系。在梳理“十一五”和“十二五”水专项各个课题水生植被修复相关技术的基础上, 结合国内外已有相关技术研发现状, 以太湖流域水生植被现状及生态修复技术存在问题为导向, 对其中的关键技术进行了集成, 形成了太湖湖体水生植被恢复成套技术。最后, 结合目前技术研发现状, 对今后相关技术的研究方向提出建议。

关键词 水专项; 观测技术; 生境改善; 群落构建; 长效管理

中图分类号 X 171.4 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)14-0018-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.14.005



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Advances in Aquatic Vegetation Ecological Remediation Techniques of Lake Taihu—Based on the Cases of the Water Project
XIE Li-ying¹, XUE Qing-ju² (1. Environmental Protection Monitoring Station of Xingcheng City, Liaoning Province, Xingcheng, Liaoning 125100; 2. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008)

Abstract As one of the important primary producers of lake ecosystem, aquatic vegetation plays an important role in maintaining the structure and function of lake ecosystem. The eutrophic Lake Taihu, which confronted with serious cyanobacteria blooms, also experienced obvious aquatic vegetation degradation. Thus, there is an urgent need for aquatic vegetation restoration in Lake Taihu. However, due to the technical bottlenecks in each link of aquatic vegetation restoration, most aquatic vegetation restoration projects have not made great breakthroughs in the early stage. Therefore, during the 11th and 12th Five-year Plan period, the National Major Science and Technology Program for Water Pollution Control and Treatment (hereinafter referred to as the Water Special Project) has set up several projects for the research of various technologies related to aquatic vegetation restoration, but most of the technologies are still relatively dispersed and have not formed a system. Therefore, based on the relevant technologies of aquatic vegetation restoration in various Water Special Projects during this period, guided by the current status of aquatic vegetation in Lake Taihu and existing problems in ecological restoration technologies, integrated the key technologies and formed a complete set of aquatic vegetation restoration technologies for Lake Taihu. Finally, based on the status of technology research and development, some suggestions on future research direction of related technologies are put forward.

Key words Water Special Project; Observation techniques; Habitat improvement; Community assembly; Long-term effective management

水生植被是指在生理上依附于水环境, 至少部分生殖周期发生在水中或水表面的植物类群, 通常被用来代指一些大型水生植物, 包括除小型藻类之外的所有水生植物类群^[1]。水生植被作为湖泊等水体生态系统的重要组成部分, 在维持水生生态系统功能以及水生生态健康过程中扮演着至关重要的角色^[2-3]。首先, 作为水生生态系统中重要的初级生产者, 可为食物链中的初级消费者提供食物; 其次, 水生植物可在白天进行光合作用释放氧气, 提高水体溶氧量, 在夜间进行呼吸作用消耗氧气形成叶片局部低氧环境, 促进相关微生物对氮、磷等元素在不同形态之间的转化^[4]; 第三, 水生植物不仅可通过根系或其他部位的吸收、过滤和固定等作用, 改善水质, 影响沉积物-水界面的物质交换, 加速水体悬浮物与藻体沉降, 并抑制沉积物再悬浮, 还可通过化感作用抑制藻类生长^[5-8]; 第四, 为附着生物、底栖动物以及鱼类等提供栖息场所, 增加生态位, 提高湖泊生态系统的生物多样性稳定性^[9-11]。因此, 水生植物的分布通常是健康水体不可或缺的

必要条件, 这也是水生植被消失后, 富营养化湖泊出现水质恶化、蓝藻水华爆发的最根本原因^[12-13]。

太湖作为我国的第三大淡水湖, 水面面积达 2 338 km², 是我国三大富营养化湖泊之一。《太湖流域水环境综合治理总体方案》中指出, 在“十一五”开始之前, 2005 年时太湖流域城镇化率已高达 73%, 全流域国内生产总值约占全国 GDP 的 11.6%, 人均生产总值是全国平均水平的 3.4 倍, 单位国土面积经济收益约为全国平均水平的 57 倍。但随着经济的快速发展, 大量的污染物也随之排入太湖流域。2005 年, 太湖流域水环境综合治理区废污水排放总量为 33.14 亿 m³, 总氮和总磷排放总量分别为 14.16 万和 1.04 万 t。加之资源的不合理开发和利用, 整个流域成为我国生态环境退化最为严重的地区之一, 湖体水质急剧恶化, 蓝藻水华呈常态暴发, 而水生植被亦退化严重。结合历史资料发现, 在 20 世纪 50 年代, 高等水生植物在太湖湖内广泛分布, 1960 年的调查共记录 66 种维管植物, 1981 年与 1961 年相比优势种变化不大, 但东太湖水生植物物种减少了 6 种^[14-15]。进入 20 世纪 90 年代, 北部湖区的水生植被明显退化, 仅竺山湖有少量残存, 东北部湖区及东部湖区水生植被反而持续扩张, 从 2002 年开始, 东太湖菰和芦苇分布区面积锐减, 浮叶植被和沉水植被分布区面积及生物量显著上升, 荇菜、伊乐藻、马来眼子菜

基金项目 国家水体污染控制与治理科技重大专项项目(2018ZX07208-008)。

作者简介 谢立莹(1972—), 女, 辽宁兴城人, 工程师, 从事环境监测研究。

收稿日期 2021-06-16

等成为优势种^[16-17]。到 2014 年,已有累计 23 种水生植物从太湖消失,北部湖区水生植被几乎消失,但东太湖仍然存在水生植被过量生长的问题^[3]。

针对水生植被出现的退化等问题,在“十五”及更早期,国内学者已在许多湖泊开展了水生植被恢复工作,但一直没有大的突破。所有这些工作,在工程实施期,水生植物的生长状况均较好,并对水质起到了一定的改善作用,但在工程结束后,特别是在软围隔撤除之后,刚刚建立起来的以高等水生植物为优势的生态系统便立刻崩溃^[18-19]。鉴于此,根据《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》要求,水体污染控制与治理科技重大专项(以下简称“水专项”)针对制约我国社会经济发展的重大水污染科技瓶颈问题,在“十一五”和“十二五”期间设立了近 10 个课题,用于重点突破水体水生植被修复等相关的关键技术和共性技术,并通过一系列的工程示范,达到示范区区域环境改善的目标。在经过近 10 年的研究和探索之后,水专项结题项

目已积累了众多的水生植被修复相关的关键技术。因此,该研究在充分调研水专项已有相关技术的基础上,对现有技术进行了集成,并对相关技术的重大应用效果进行了分析,以期对相关研究和工程项目实施提供技术支撑,实现水专项研发技术的进一步应用和推广。

1 技术需求与集成路线

该技术集成以太湖流域水生植被现状及生态修复技术存在问题为导向,基于水生植被生态修复过程,针对不同修复流程中存在的问题提出对应的科技需求,筛选出相应的关键技术,最终形成一整套的水生植被修复集成技术。当前,太湖流域水生植被存在的问题主要包括生物多样性降低、分布区域缩减以及部分区域生物量过高等方面,而水生植被生态修复技术在生态修复流程的不同步骤均存在需要进一步深入研究或重点突破的需求。水生植被修复过程一般可包括问题分析、生境改善、群落构建以及后期管理等步骤,其中的主要问题如表 1 所示。

表 1 太湖水生植被修复技术存在问题及技术需求			
Table 1 Problems and technical requirements of aquatic vegetation remediation in Lake Taihu			
主要流程 Main process	技术需求 Technical requirement	现存问题 Existing problem	可解决的问题 Solvable problem
问题分析 Problem analysis	水生植被现状调查方法(技术)	传统人工调查方法结果受点位选取影响大,且监测精度低、工作量大、成本高,长时间序列、高频率的调查更是无法实现	—
生境改善 Habitat improvement	水生植被生境改善技术	生境条件与水生植被之间的相互关系以及生境条件阈值仍不明确	生物多样性降低、分布区域缩减
群落构建 Community building	水生植被群落构建技术	缺少针对敞水区不同生境条件的水生植被构建技术;构建群落成活率相对较低,对环境条件的变化抗性较弱;缺少针对不同物种的引种定植技术	—
后期管理 Post managment	水生植被群落长效管理技术	水生植被群落构建后缺乏长期稳定的后期管理成套技术,这也是水生植被无法长期维持的原因之一	生物量过高

基于“十一五”和“十二五”期间研发的水生植被修复技术,将太湖水生植被恢复成套技术主要分为水生植被现状观测技术、水生植被生境改善技术、水生植被群落构建技术以

及水生植被群落管理技术等 4 项关键技术,每项关键技术包含的单项技术如图 1 所示。

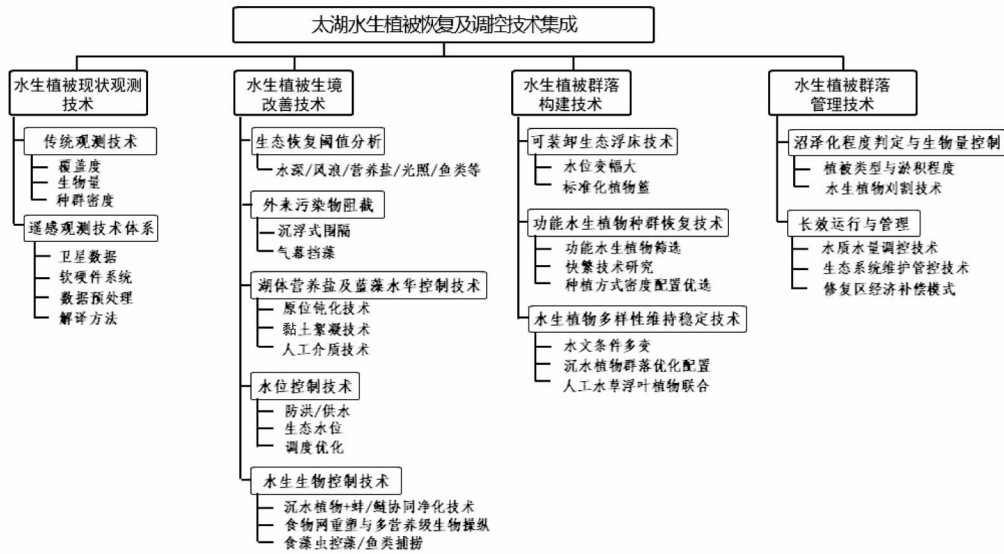


图 1 水生植被修复集成技术拓扑图

Fig.1 The topology picture of aquatic vegetation remediation integrated technology

2 关键技术研究进展

2.1 水生植被现状观测技术 目前,水生植被调查方法仍以

传统方法为主^[20],但传统方法不仅费时费力,还具有制图周期长,不能快速、大尺度地监测水生植物变化等特点。而遥

感技术在此领域的应用便很好地填补了这一缺陷,遥感技术是在 20 世纪 60 年代发展起来,并在 90 年代开始得到广泛应用的一项对地观测技术^[21-22]。水专项“太湖流域环境与生态综合管理平台建设与运行机制研究”课题便基于此项技术开展了太湖水生植被遥感监测方法研究,研发了太湖水生植被遥感反演模型和定量监测技术,形成了水生植被遥感反演模型和动态监测业务化运行体系,并构建了自动分析系统,支撑了由水质目标管理向水生态目标管理转变的技术需求^[23]。

针对太湖区域,该技术选取高时间分辨率的 MODIS 作为太湖水生植被遥感监测的主要数据源,而环境卫星等数据作为辅助数据。通过多源、多时相、遥感数据进行处理、分析、评价和制图,结合实地核查,验证遥感监测水生植被模型与水生生态系统评价方法的实用效果,在长期业务化运行的基础上形成太湖区域水生植被快速、准确、连续、动态监测业务化体系,并以此来开展太湖水生态评价和监测^[23]。

2.2 水生植被生境改善技术 水生植被的生长受多种环境因子的影响,如水体营养盐含量、风浪、光照、食物网结构以及沉积物理化特征等^[24-26]。所以,要恢复水生植物群落,首先要清楚不同水生植物物种生长环境各项指标的适宜范围,之后才能针对性地开展生境改善工作。水专项“太湖湖体氮磷污染与蓝藻水华控制技术与工程示范”课题便通过水生植物恢复所需环境条件的诊断分析及其阈值确定,提出生态恢复所需的生境条件包括水深、营养盐浓度、光照条件、鱼类组成、底泥中有机物含量、风浪大小等 6 项。同时,确定了太湖恢复水生植物所需生境条件的阈值,包括水深不宜超过 2 m,总氮浓度不宜超过 2 mg/L,总磷浓度不宜超过 0.1 mg/L,风浪吹程不宜太大;鱼类组成中,不能有草鱼,对于底栖鱼类和专吃浮游动物的鱼类,如青鱼、鲤鱼、鲫鱼和鳊鱼,在恢复初期也要控制^[27]。

适宜的生境条件是水生植被恢复是否成功的关键,但早期的水生植被恢复多以水生植物种植本身为重点,反而忽视了生境条件改善对水生植被恢复的重要作用^[19]。鉴于此,“十一五”水专项设立了“太湖湖体氮磷污染与蓝藻水华控制技术与工程示范”等课题,研发了可遏制蓝藻水华发生的一系列营养盐阻断技术以及外来污染物阻截技术,有效降低水体中的营养盐负荷与外源污染^[27]。其中,营养盐阻断技术主要包括原位钝化技术、黏土絮凝技术和人工介质技术。同时,一些相关课题也对水位控制技术和水生生物调控技术进行了研究。水位控制技术主要是通过调水方案优化以及生态水位研究,获取对湖体水质和水生植被生长改善最为显著的调度方案。除以上生境改善技术之外,水生生物调控(生物操纵)技术在水生植被恢复,特别是富营养化水体蓝藻水华治理中也常常被用到^[28-30]。水生生物调控技术主要是基于 Shapiro^[31]和谢平^[32]提出的经典和非经典生物操纵概念发展起来的,目前已成为控制富营养化湖泊蓝藻水华的重要方法之一,相关技术已在水专项“湖荡湿地重建与生态修复技术及工程示范”以及“太湖贡湖生态修复模式工程技术研究与综合示范”等课题中得到应用。

2.3 水生植被群落构建技术 目前,针对水体污染等问题研发的水生植被群落构建技术主要包括原位种植、生态浮床和人工湿地等相关技术^[33-35],各项技术已被广泛应用于复合生态池、净化塘和城市湖泊等水体的生态修复中^[36]。水专项中通过“调水引流工程水质保障与湖体水质改善关键技术及综合评估”与“太湖贡湖生态修复模式工程技术研究与综合示范”等课题的研究与示范,研发了一种适用于水位变化大流速水域的圆形可装卸生态浮床技术、高藻敞水区生态调控和水生植被重建技术以及水文条件多变区域沉水植物生物多样性维持稳定技术等一系列技术,为大水面水生植被恢复提供了技术支撑^[37-38]。

一种适用于水位变化大流速水域的圆形可装卸生态浮床技术中生态浮床主要由骨干支架、仿生型填料、可方便拆卸的标准化植物篮以及水生植物等部分构成,其中所栽植的水生植物可根据季节及不同需求进行更换,同时可营造出一定的景观效果,既不影响航运,还能够产生一定的经济效益^[37]。高藻敞水区生态调控和水生植被重建技术则是针对透明度低、水体氨氮含量高的水域沉水植物较难恢复等问题研发的水生植被群落构建技术,主要由沉水植物快繁技术、种植密度和方式优化选取以及水质改善技术等几部分组成^[38]。水文条件多变区域沉水植物生物多样性维持稳定技术通过原位及室内模拟实验,合理配置沉水植物群落,结合人工水草与浮叶植物来降低风浪等对沉水植物群落稳定性的影响,实现了沉水植物存活率的提高^[38]。

2.4 水生植被群落长效管理技术 水生植物群落的形成并非一朝一夕,在水生植物构建配置完成后,为了使群落趋于稳定,需要对水生植物群落的周边环境包括湖泊物理环境、水文环境、生物环境进行控制和管理,这也是水生植物群落恢复后能够长效稳定维持的关键^[39-40]。

基于“十一五”期间“太湖水源地水质保护技术及工程示范与东太湖沼泽化防治”水专项课题,建立了湖泊各区域沼泽化程度判定技术体系,在水生植被水质净化区设立合理的水生植物刈割时间和刈割程度,达到既从湿地内移除大量汇集于植物体内的营养盐,又降低由于植物腐烂可能引起的水体二次污染的目的^[41]。另外,“十二五”期间“太湖贡湖生态修复模式工程技术研究与综合示范”课题,针对生态修复工程建成后缺乏长效管理、难以长期稳定运行的问题,研究形成了整装成套的社会化运作的长效运行管理模式,为太湖流域的大规模生态建设提供技术支撑^[38]。

3 应用示范案例

“十一五”期间,该成套技术支撑了太湖金墅水源保护区综合治理示范工程,该工程总面积约为 42 km²,其中水域面积约 20 km²,陆域面积约 22 km²。在工程实施后,河道沉水植被的覆盖率达到 90%左右,透明度保持 1.5 m 以上,水质基本达到国家地表水Ⅲ类。在东太湖滨岸静水 A 区(16 350 m²)、近岸小风浪 B 区(114 937 m²)以及湖心大风浪 C 区(114 937 m²)应用实施后,A 区年处理污水 1.9×10⁵ m³,对 NO₂⁻-N 和 PO₄³⁻-P 的去除率分别达 79.8%和 50.9%,生

物多样性显著提高,水生植被实现自我维持,水质与水体透明度均得到显著提高;B 区植被覆盖率达 80% 以上,生物多样性显著提高,水质得到改善,并在示范工程内出现清洁种——大茨藻;C 区水生植被覆盖率在 30% 以上,水质得以初步改善,生物多样性提高,也出现水生植物清洁种^[41]。

在“十二五”期间,在太湖贡湖湾建成面积为 2.32 km² 的大规模、大范围具有清水产流功能的生态修复综合示范区。通过模式工程技术体系的示范应用,有效地改善了示范区水体生态环境,提高了水生植物的成活率和建群效率,增强了生态系统的稳定性。综合示范区已经稳定运行近 3 年,水质在短期内由初期的劣 V 类提高到 IV 类,氮磷浓度得到有效削减,透明度提高到 70 cm 以上,水生植物种数超过 50 种,水生植被覆盖率 50% 以上。生物多样性大幅提升,水生生态系统稳定,已建成太湖流域水生植物种源库 53 300 m²,成功保育原生水生植物 57 种;建设完成建筑面积 1 500 m² 的研究和展示基地,管理和研究队伍已组建完成,形成水质、气象监测能力,并展示了水专项有关的太湖流域生态治理的成果^[38]。

在太湖流域之外,该成套技术也得到了推广应用,如浅水湖泊生态系统构建技术与优化管理研究,在洋澜湖生态修复区应用悬浮物削减与抑制和营养盐削减与控制两项关键技术,实现了健康水生态系统构建和水质改善,生态修复成套技术在安徽省焦岗湖、湖北省武山湖湿地公园、贵州人民公园等生态修复工程中均得到了推广应用,并取得了明显的水质和生态改善效果。

4 建议

4.1 进一步开展水生植被监测新方法的研究 水生植被传统调查方法和遥感监测方法均具有其各自的优缺点。传统调查方法耗时、耗力,覆盖区域不够全面,只能获得调查点位的信息;遥感监测方法能够覆盖所有区域,数据获取更简单,但却不够精细,不能准确反应特定物种的信息。所以,应继续深入开展水生植被现状监测方法的研究,为水生植被群落研究和管理提供重要支撑。

4.2 进一步开展水生植被恢复生境改善技术的研究 首先,应继续开展环境因子对水生植被生长影响机理的研究,在此基础上,确定太湖水生植被潜力恢复区;其次,加强与分子生物学等相关技术的结合,从微观方面研究水生生物与生境条件之间的相互关系;第三,重点研究敞水区水生植被恢复生境条件改善技术;第四,进一步评估生物调控技术对原有生态系统影响的研究,比如鱼类人工放流等。

4.3 进一步开展水生植被群落构建技术的研究 目前,水生植物恢复的研究仍集中在湖泊沿岸带或河道区域,而针对敞水区的研究非常匮乏,所以今后应加强对浅水湖泊敞水区水生植物恢复技术的研究;另外,应加强一些特有种恢复技术的研究,进一步增加水生植物的生物多样性。

4.4 进一步完善水生植被恢复后管理技术的研究 水生植被恢复成功之后,大部分工程在前期对水质和水体生态系统均具有较好的改善作用,但时间一长,修复后的生态系统都存在崩溃或变差的趋势,这与修复后的管理措施密切

相关。而相对水生植物的恢复技术研究,恢复之后水生植物群落管理技术的研究仍较少。

4.5 加快湖泊水生植被修复统一标准的制定 目前,关于湖泊水生植被现状监测、群落恢复、后期管理以及评价的国家和地方标准仍相对匮乏,统一标准的制定可以进一步完善水生植被恢复研究,规范相关工程的实施,并评价修复的效果,最终指导我国湖泊生态修复工程建设。

参考文献

- [1] 刘建康.高级水生生物学[M].北京:科学出版社,1999.
- [2] SØNDERGAARD M,JOHANSSON L S,LAURIDSEN T L,et al.Submerged macrophytes as indicators of the ecological quality of lakes[J].Freshwater biology,2010,55(4):893-908.
- [3] 赵凯,周彦锋,蒋兆林,等.1960 年以来太湖水生植被演变[J].湖泊科学,2017,29(2):351-362.
- [4] ZOU L P,SUN R R,LIU J Y,et al.Effects of sediments nutrition status on the growth of *Potamogeton crispus*[J].Applied mechanics and materials,2013,316/317:469-474.
- [5] HORPPILA J,NURMINEN L.Effects of submerged macrophytes on sediment resuspension and internal phosphorus loading in Lake Hiidenvesi (southern Finland)[J].Water research,2003,37(18):4468-4474.
- [6] SCHNEIDER S,MELZER A.Sediment and water nutrient characteristics in patches of submerged macrophytes in running waters[J].Hydrobiologia,2004,527(1):195-207.
- [7] 鲜敏鸣,陈海东,邹惠仙,等.四种沉水植物的克藻效应[J].湖泊科学,2005,17(1):75-80.
- [8] XIE D,YU D.Turion production and nutrient reserves in *Potamogeton crispus* are influenced by sediment nutrient level[J].Aquatic biology,2011,14(1):21-28.
- [9] CARPENTER S R,LODGE D M.Effects of submersed macrophytes on ecosystem processes[J].Aquatic botany,1986,26:341-370.
- [10] JIAN Y X,LI B,WANG J B,et al.Control of turion germination in *Potamogeton crispus*[J].Aquatic botany,2003,75(1):59-69.
- [11] STEFFENHAGEN P,ZAK D,SCHULZ K,et al.Biomass and nutrient stock of submersed and floating macrophytes in shallow lakes formed by rewetting of degraded fens[J].Hydrobiologia,2012,692(1):99-109.
- [12] QIN B Q,YANG L Y,CHEN F Z,et al.Mechanism and control of lake eutrophication[J].Chinese science bulletin,2006,51(19):2401-2412.
- [13] BORNETTE G,PUJALON S.Response of aquatic plants to abiotic factors:A review[J].Aquatic sciences,2011,73(1):1-14.
- [14] 中国科学院南京地理研究所.太湖综合调查初步报告[M].北京:科学出版社,1965.
- [15] 孙顺才,黄漪平.太湖[M].北京:海洋出版社,1993.
- [16] 秦伯强,胡维平,陈伟民,等.太湖水环境演化过程与机理[M].北京:科学出版社,2004.
- [17] 谷孝鸿,张圣照,白秀玲,等.东太湖水生植物群落结构的演变及其沼泽化[J].生态学报,2005,25(7):1541-1548.
- [18] 秦伯强,胡维平,刘正文,等.太湖梅梁湾水源地通过生态修复净化水质的试验[J].中国水利,2006(17):23-29.
- [19] 秦伯强.湖泊生态恢复的基本原理与实现[J].生态学报,2007,27(11):4848-4858.
- [20] 崔心红,陈家宽,李伟.长江中下游湖泊水生植被调查方法[J].武汉植物学研究,1999,17(4):357-361.
- [21] 梅安新,彭望球,秦其明,等.遥感导论[M].北京:高等教育出版社,2001.
- [22] 戴前伟,杨震中.遥感技术在环境监测中的应用[J].西部探矿工程,2007(4):209-211.
- [23] 江苏省环境监测中心.太湖流域环境与生态综合管理平台建设与运行机制研究(2008ZX07101-014)[R].2008-2011.
- [24] VESTERGAARD O,SAND-JENSEN K.Alkalinity and trophic state regulate aquatic plant distribution in Danish lakes[J].Aquatic botany,2000,67(2):85-107.
- [25] ZHAO D H,LI M T,JIANG H,et al.Spatio-temporal variability of aquatic vegetation in Taihu Lake over the past 30 years[J].PLoS One,2013,8(6):1-7.
- [26] SCULTHORPE C D.Biology of aquatic vascular plants[M].London,United Kingdom:Edward Arnold Publishers,1967.

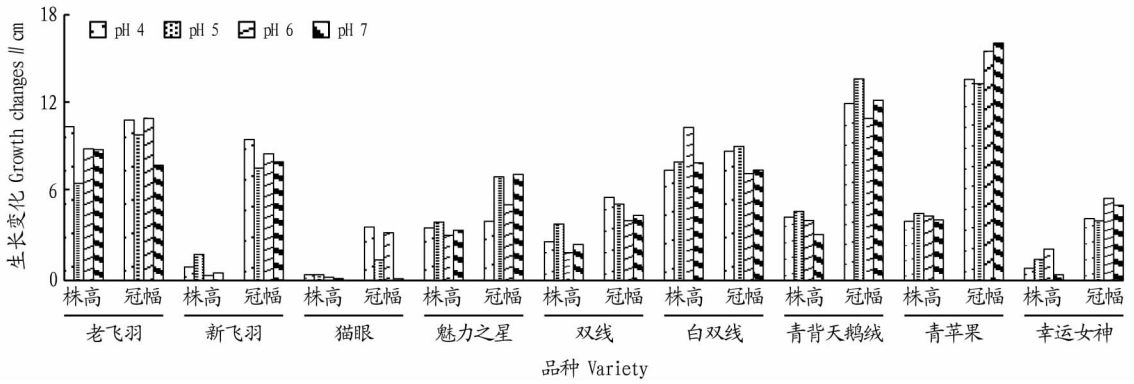


图1 施用不同 pH 的肥料 60 d 后试验竹芋株高和冠幅变化

Fig.1 Changes of plant height and width growth of calathea varieties after irrigating with recipes of different pH level for 60 days

在竹芋生产过程中,种植者普遍希望竹芋可以尽快达到可售状态,即拥有足够叶片数量,植株达到相应高度以及相应冠幅尺寸。根据试验结果,试验竹芋品种的生长势对营养液的 pH 需求不同,虽然无显著差异 ($P < 0.05$),但也说明在生产上每个竹芋品种对于营养液 pH 的要求有所不同。研究表明,竹芋生长施用的营养液 pH 大多保持在 $6.0 \sim 6.5^{[8-10]}$,可以保证竹芋正常生长。该试验进一步探究不同营养液 pH 对于不同竹芋品种生长速度的影响,证明了试验品种在 pH $7.0 \sim 7.5$ 的肥料下,长势都不是最佳,且可以初步将不同品种的竹芋划分为喜酸性品种 (pH $4.0 \sim 4.5$)、偏酸性品种 (pH $5.0 \sim 5.5$) 和中性品种 (pH $6.0 \sim 6.5$)。在之后的竹芋规模化、标准化生产过程中,可以根据不同的竹芋品种,制定适合各个品种的营养液 pH,以达到竹芋最优生长水平。

3 结论

不同竹芋品种在灌溉相同 EC、不同酸碱度 (pH $4.0 \sim 7.0$) 的营养液 60 d 后,植物生长没有出现明显生理病害,如黄叶、焦边、烂根等不良现象,只是对其生长速度产生影响。在以后的生产试验过程中,可以进一步研究对不同竹芋品种灌溉适宜的 pH、不同 EC 的营养液对竹芋生长及品质的影响,为提质增效降本提供科学依据。4 个处理青背天鹅绒和青苹果的基质 pH 在 $5.0 \sim 5.5$;其余 6 个品种的基质 pH 在 $3.9 \sim 4.2$;推测竹芋的根系可能有改变基质酸碱度的作用,可以在之后的研究中继续探索,进一步了解竹芋根系对于各类营养元素的吸收机理。

从不同竹芋品种处理后的生长高度和冠幅综合判断,可以初步将这 9 个竹芋品种划分为喜酸性品种 (pH $4.0 \sim 4.5$)、偏酸性品种 (pH $5.0 \sim 5.5$) 和中性品种 (pH $6.0 \sim 6.5$)。其中喜酸性品种为老飞羽、新飞羽和猫眼,偏酸性品种为魅力之星、青背天鹅绒、双线和白双线,中性品种为青苹果和幸运女神。在以后的竹芋规模化生产中,可以利用这些品种特性,灌溉适合的 pH 营养液,细化水肥管理,可以加快竹芋的生长速度、提高温室周转率,从而进一步提高温室的生产经济效益。

参考文献

- [1] 陈容茂. 竹芋科观叶植物及其引种栽培[J]. 福建热作科技, 1990, 15(1): 34-35.
- [2] 欧全明, 梁欣. 竹芋类观赏植物的栽培管理[J]. 中国园艺文摘, 2010, 26(4): 104, 126.
- [3] 李艳, 张显, 李逢梅, 等. 不同营养液及其 pH 值对欧洲报春生长及光合速率的影响[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(2): 33-36.
- [4] 崔佳维, 余纪柱, 张红梅, 等. NFT 条件下不同营养液 pH 值对 4 种叶菜生长和营养品质的影响[J]. 长江蔬菜, 2021(18): 68-72.
- [5] 赵敏, 马万征, 邹长明, 等. 不同 EC 和 pH 值的营养液对温室黄瓜生长发育的影响[J]. 绥化学院学报, 2019, 39(11): 142-146.
- [6] 张晓琳, 顾俊杰. 上海地区竹芋温室栽培管理[J]. 中国花卉园艺, 2009(16): 31-32.
- [7] ABDULLAH Y, SCHNEIDER B, PETERSEN M. Occurrence of rosmarinic acid, chlorogenic acid and rutin in Marantaceae species[J]. Phytochemistry letters, 2008, 1(4): 199-203.
- [8] 李春华, 李天纯. 观赏竹芋温室栽培种植指南[J]. 农业工程技术(温室园艺), 2010(9): 48, 50.
- [9] 王男男, 王殿武, 陈延华, 等. 固体酸调配营养液对竹芋生长和地上部对养分吸收的影响[J]. 北方园艺, 2016(19): 96-100.
- [10] 郑芝波, 李巧红, 叶智东, 等. 12 个竹芋品种生态适应性研究与利用[J]. 广东农业科学, 2014, 41(5): 108-111.
- [11] 陈容茂. 竹芋科观叶植物及其引种栽培[J]. 福建热作科技, 1990, 15(1): 34-35.
- [12] 欧全明, 梁欣. 竹芋类观赏植物的栽培管理[J]. 中国园艺文摘, 2010, 26(4): 104, 126.
- [13] 李艳, 张显, 李逢梅, 等. 不同营养液及其 pH 值对欧洲报春生长及光合速率的影响[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(2): 33-36.
- [14] 崔佳维, 余纪柱, 张红梅, 等. NFT 条件下不同营养液 pH 值对 4 种叶菜生长和营养品质的影响[J]. 长江蔬菜, 2021(18): 68-72.
- [15] 赵敏, 马万征, 邹长明, 等. 不同 EC 和 pH 值的营养液对温室黄瓜生长发育的影响[J]. 绥化学院学报, 2019, 39(11): 142-146.
- [16] 张晓琳, 顾俊杰. 上海地区竹芋温室栽培管理[J]. 中国花卉园艺, 2009(16): 31-32.
- [17] ABDULLAH Y, SCHNEIDER B, PETERSEN M. Occurrence of rosmarinic acid, chlorogenic acid and rutin in Marantaceae species[J]. Phytochemistry letters, 2008, 1(4): 199-203.
- [18] 李春华, 李天纯. 观赏竹芋温室栽培种植指南[J]. 农业工程技术(温室园艺), 2010(9): 48, 50.
- [19] 王男男, 王殿武, 陈延华, 等. 固体酸调配营养液对竹芋生长和地上部对养分吸收的影响[J]. 北方园艺, 2016(19): 96-100.
- [20] 郑芝波, 李巧红, 叶智东, 等. 12 个竹芋品种生态适应性研究与利用[J]. 广东农业科学, 2014, 41(5): 108-111.
- [21] 中国科学院南京地理与湖泊研究所. 太湖湖体氮磷污染与蓝藻水华控制技术工程示范(2009ZX07101-013) [R]. 2011.
- [22] 刘恩生. 生物操纵与非经典生物操纵的应用分析及对策探讨[J]. 湖泊科学, 2010, 22(3): 307-314.
- [23] 刘敏, 徐敏娟, 许迪亮, 等. 鲢、鳙非经典生物操纵作用的研究进展与应用现状[J]. 水生态学杂志, 2010, 31(3): 99-103.
- [24] 张曼, 邵小龙, 王一帆, 等. 生物操纵方法对水绵(Spirogyra)的调控效应[J]. 环境科学学报, 2019, 39(3): 722-729.
- [25] SHAPIRO J. Biomanipulation: The next phase-making it stable[J]. Hydrobiologia, 1990, 200/201(1): 13-27.
- [26] 谢平. 鲢、鳙与藻类水华控制[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [27] 楼春华, 战楠, 夏妍, 等. 一种模块式沉水植物定植毯及其安装方法: CN201911096075.3 [P]. 2020-01-10.
- [28] 刘娅琴, 邹国燕, 李祥甫, 等. 不同营养状态水体中生态浮床对浮游植物群落的影响[J]. 环境科学研究, 2015, 28(4): 629-637.
- [29] 曹笑笑, 吕宪国, 张仲胜, 等. 人工湿地设计研究进展[J]. 湿地科学, 2013, 11(1): 121-128.
- [30] 郭雅倩, 薛建辉, 吴永波, 等. 沉水植物对富营养化水体的净化作用及修复技术研究进展[J]. 植物资源与环境学报, 2020, 29(3): 58-68.
- [31] 河海大学. 调水引流工程水质保障与湖体水质改善关键技术及综合评估(2008ZX07101-008) [R]. 2008-2011.
- [32] 水专项管理办公室. 太湖贡湖生态修复模式工程技术研究与综合示范(2013ZX07101-014) [R]. 2013-2015.
- [33] 殷红桂, 唐子夏, 唐可欣, 等. 大型水生植物在水质修复过程中的应用现状及发展[J]. 环境科技, 2017, 30(1): 67-70.
- [34] 高海龙, 程寒飞, 詹茂华, 等. 太湖水生植物研究进展[J]. 湿地科学, 2019, 17(1): 9-15.
- [35] 中国科学院南京地理与湖泊研究所. 太湖水源地水质保护技术及工程示范与东太湖沼泽化防治(2008ZX07101-012) [R]. 2008-2011.

(上接第 21 页)