

# 调蓄性湖泊近岸带生态修复植物 耐涝特性研究

李 霞<sup>1</sup>, 瞿海波<sup>2</sup>, 陈云飞<sup>3</sup>, 李卫忠<sup>3</sup>, 宗俊勤<sup>4\*</sup>

(1. 江苏省水利科学研究院, 江苏 南京 210029; 2. 江苏省灌溉总渠管理处, 江苏 淮安 223200;  
3. 常州市金坛区水利局, 江苏 金坛 213200; 4. 江苏省中国科学院植物研究所 南京中山植物园, 江苏 南京 210014)

**摘要:**为筛选和发掘调蓄性湖泊近岸带适宜的生态修复植物,在对江苏省河湖植物群落调查和功能分析的基础上,以常用的芦苇为对照,以花叶芦竹、黄菖蒲、再力花、香蒲、梭鱼草和美人蕉等近岸带生态修复植物为材料,研究1个月的水涝胁迫对其生长的影响。研究可为湖泊近岸带植物群落恢复与生态功能提升提供现成的植物材料和理论依据。

**关键词:**生态修复; 植物; 湖泊近岸带; 生物量

中图分类号: Q945.78

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2023)07-0012-0005

## Research on the waterlogging tolerance characteristics of ecological restoration plants in the coastal zone of regulating and storage lakes

LI Xia<sup>1</sup>, QU Haibo<sup>2</sup>, CHEN Yunfei<sup>3</sup>, LI Weizhong<sup>3</sup>, ZONG Junqin<sup>4\*</sup>

(1. Jiangsu Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China;

2. General Irrigation Canal Management Division, Huai'an 223200, China;

3. Changzhou Jintan District Water Conservancy Bureau, Changzhou 213200, China;

4. Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences, Nanjing Botanical Garden MEM.SUN YAT-SEN, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** Based on the previous investigation on community structure and function of ecological restoration plants, *Phragmites australis* was the control group, six aquatic plants frequently growing near the shoreline of the lake and river, including *Arundo Donax* Var. *Versicolor*, *Iris pseudacorus*, *Thalia dealbata* Fraser, *Typha orientalis*, *Pontederia cordata*, and *Canna indica* were waterlogged for one month through simulating flood stress to study the effect of waterlogging stress on ecological restoration plants, which could provide a theoretical basis for the restoration of plant communities and the improvement of ecological functions in the nearshore zone of lakes.

**Key words:** ecological restoration; nearshore zone of lakes; plant; biomass

收稿日期: 2023-03-14

基金项目: 江苏省水利科技项目(2019061)

作者简介: 李霞(1987—),女,工程师,硕士,研究方向为河湖管理。E-mail:544436827@qq.com

通信作者: 宗俊勤(1980—),男,研究员,硕士,研究方向为水土保持。E-mail:zongjq1980@163.com

湖泊近岸带是湖泊流域中水域与陆地相邻生态系统间的过渡带,在涵养水源、蓄洪防旱、促淤造地、维持生物多样性和生态平衡以及生态旅游等方面均有十分重要的作用,是湖泊天然的保护屏障,是健康的湖泊生态系统的重要组成部分和评价标志<sup>[1-4]</sup>。随着工农业发展、人口增长以及人类的不合理开发活动等,越来越多的湖泊近岸带结构受到干扰。

修复重建受损湖泊近岸带生态系统的总目标是达成近岸生态系统的良性循环以及提升其自我净化能力。植物作为生态系统的基础,需对其进行合理配置,形成耐扰动的植被体系。植物不但可以保持水土,防止水土流失,还可以去除污染物,促进污水中营养物质的循环和再利用,还能绿化土地,改善区域气候,促进生态环境的良性循环<sup>[5]</sup>。很多多年生草本植物拥有发达的匍匐茎和根状茎,具有广泛适应性和强大的恢复生长能力,可以迅速覆盖地面,是水土保持和环境改善的先锋植物。而再力花、菖蒲、芦苇等在水质净化和生态修复上被广泛应用,但对其耐涝特性研究较少。由于不同植物对水深有不同的适应性,不同的植物群落对水质改良有不同的生态效果,而目前市场上常用的植物种类有限,因此有必要对乡土水土保持植物进行筛选和评价,以确定适合用于湖泊近岸带生态修复的植物种类。

本研究根据江苏地区的气温及季节性降水等特点,对河湖植物群落在水涝胁迫下的生长情况进行比较,采用隶属函数法对其耐涝能力进行评价,以期恢复近岸带植物群落与提升生态功能提供植物材料和理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

以芦苇(*Phragmites australis*)为对照,对花叶芦竹(*Arundo donax* 'Versicolor')、黄菖蒲(*Iris pseudacorus*)、再力花(*Thalia dealbata* Fraser)、香蒲(*Typha orientalis*)、梭鱼草(*Pontederia cordata*)和美人蕉(*Canna indica*)等进行水涝胁迫处理,具体材料见表1。选取带单芽的健康根茎种植于装有沙:土=1:4基质的塑料花盆中,每盆种植5株,花盆高21 cm,直径16 cm,每份材料种植12盆。材料种植后置于光照良好的玻璃温室中预培养,培养期间根据天气情况进行适当的水肥管理,以保证材料的正常生长。材料培养1个月后,每份材料挑选

生长状态基本一致的6盆用于开展耐涝性胁迫处理试验。

表1 供试禾草种类及来源

材料	学名	编号	来源
花叶芦竹	<i>Arundo donax</i> 'Versicolor'	P1	江苏南京
黄菖蒲	<i>Iris pseudacorus</i>	P2	江苏南京
再力花	<i>Thalia dealbata</i> Fraser	P3	江苏南京
香蒲	<i>Typha orientalis</i>	P4	江苏南京
芦苇	<i>Phragmites australis</i>	P5	江苏金坛
梭鱼草	<i>Pontederia cordata</i>	P6	江苏南京
美人蕉	<i>Canna indica</i>	P7	江苏南京

### 1.2 试验设计

试验于2022年7月中旬至9月中旬在江苏省中国科学院植物研究所草业研究中心温室内进行,试验期间日最大光照强度范围为398.6~867.5  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,日最高气温平均值为29.5  $^{\circ}\text{C}$ ,日最低气温平均值为21.5  $^{\circ}\text{C}$ 。以按照天气情况正常浇水的材料为对照,参考高艳芝等<sup>[6]</sup>的方法,对材料进行水涝胁迫处理。培养期间利用土壤水分测定仪测定以保持正常生长材料的土壤水分在45%左右,另外及时对耐涝处理的材料进行补水以保证桶内水面始终保持特定的高度,每3 d换水一次,试验结束后测定相关指标。

### 1.3 测定指标

水涝胁迫60 d后,用直尺测量材料的自然高度,重复3次,求平均值即为株高。随机选取健康、生长一致的植株10株,测量倒第3~4功能叶的最长、最宽和最厚处,分别求其平均值即分别为材料的叶长、叶宽和叶厚。将处理后的材料从花盆中取出,洗去土壤等杂质并80  $^{\circ}\text{C}$ 恒温烘干至恒重后,分出烘干的根系后称重即得到根系干重;收获材料的剩余部分重量即为地上部分干重;地上部干重和根系干重之和即为植株干重。利用凯氏定氮法、钼锑抗分光光度法和火焰分光光度计法分别测定植物的地上部和地下部的全氮、磷、钾的含量。

### 1.4 分析方法

用Excel 2016将测得的指标分别与各自的对照相比较,转换成相对值(各指标的相对值=处理测定值/对照测定值 $\times 100\%$ ),并利用SPSS 20.0软件对数

据进行方差分析,设定显著性水平 $P<0.05$ 。利用模糊数学中求隶属函数的方法对数据进行换算,换算公式为 $F_{ij}=(X_{ij}-X_{jmin})/(X_{jmax}-X_{jmin})$ ,其中, $F_{ij}$ 为*i*种类*j*指标的隶属函数值, $X_{ij}$ 为*i*种类*j*指标水涝处理后材料和对照间的比值, $X_{max}$ 和 $X_{min}$ 分别为各种类指标的最大值和最小值,通过计算水涝胁迫下各指标的隶属函数值及其平均值,对供试材料的耐涝性进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 水涝胁迫对生态修复植物生物量的影响

如表2所示,在水涝胁迫下供试材料花叶芦竹、黄菖蒲、再力花、香蒲、芦苇(对照物)、梭鱼草、美人蕉等7种生态修复植物与地上部干重相对值介于74.27%~183.20%,其中梭鱼草、花叶芦竹、再力花地上部干重相对值分别达到183.20%、161.11%和159.52%,显著高于其他植物( $P<0.05$ ),黄菖蒲、香蒲和美人蕉表现次之,表现最差的芦苇的地上部干重相对值仅为74.27%。表明水涝胁迫抑制了芦苇地上部分的生长,对芦苇的伤害最大,而对梭鱼草、花叶芦竹、再力花影响较小。

国内外对湿地植物用于人工湿地废水处理系统和生态系统修复中研究较多(如迟韵阳等、许巧玲等、Wang等<sup>[7-9]</sup>对美人蕉、再力花、花叶芦竹等多种植物水质净化效果进行了比较,为人工湿地选择出高性能的植物种类),而对湿地植物耐涝性研究较少。本试验中,水涝胁迫对花叶芦竹、黄菖蒲、再力花、香蒲、梭鱼草的根系生长具有一定的促进作用,其增幅由大到小依次为再力花、梭鱼草、黄菖蒲、花叶芦竹、香蒲,而芦苇和美人蕉的根系生长则明显受到水涝胁迫的抑制,这可能是由于芦苇和美人蕉在水涝胁迫下,根系处于缺氧的土壤中,这种根际缺氧直接导致根系有氧呼吸受到抑制而出现供能不足,抑制了地上部分的生长,而地上部分长势不良又无法提供足够的光合产物给根系,必然导致材料根系生长受阻<sup>[10-11]</sup>。

### 2.2 水涝胁迫对生态修复植物形态的影响

不同植物由于植物自身结构以及耐涝能力不同,所以在水涝胁迫时植物生长受到的抑制程度不同。形态特征的调整包括叶片数量和长度的增加、形状和生长方式的变化、茎部结构的改变使茎伸长以增加植株高度等,其实质为通过植物部分组织器

表2 水涝胁迫下不同生态修复植物干重

品种	各指标相对值		
	地上部分/%	根系/%	植株/%
花叶芦竹	161.11±67.35a	107.22±69.45abc	127.88±67.8ab
黄菖蒲	142.67±6.71ab	124±14.06abc	129.27±10.06ab
再力花	159.52±62.23a	155.1±65.77a	156.22±63.55a
香蒲	138.39±34.69ab	106.52±7.22abc	110.8±1.15ab
芦苇(对照)	74.27±21.24c	82.11±4.35c	78.04±8.82b
梭鱼草	183.2±40.34a	141.03±33.04ab	150.84±23.39a
美人蕉	104.75±54.31bc	89.32±13.84bc	94.61±26.69b
平均值	137.77	115.04	121.10
变异系数/%	25.83	22.20	22.66

注:同列不同小写字母a、b、c表示相同指标不同材料间差异显著( $P<0.05$ )。

官的伸长达到使植物与外界进行气体交换的目的。水涝胁迫下,除美人蕉外株高相对值(0.79)显著低于对照物( $P<0.05$ ),其他6种植物株高相对值均大于1.0(1.17~1.83),由大到小依次为香蒲、梭鱼草、

黄菖蒲、芦苇、花叶芦竹、再力花;7种植物叶长相对值由大到小依次为香蒲( $P<0.05$ )、黄菖蒲( $P<0.05$ )、梭鱼草( $P<0.05$ )、花叶芦竹( $P<0.05$ )、再力花( $P<0.05$ )、芦苇( $P<0.05$ )和美人蕉( $P<0.05$ )。梭鱼草和

再力花叶宽相对值分别为1.35( $P<0.05$ ),其余4种植物叶宽相对值在0.77~1.09,且香蒲、梭鱼草、黄菖蒲、芦苇、花叶芦竹、再力花叶宽相对值并无显著性差异( $P<0.05$ )。香蒲和芦苇叶厚相对值均为1.30,显著高于对照物( $P<0.05$ ),花叶芦竹和黄菖蒲叶厚相对值分别为0.76和0.77,显著低于对照物叶厚相对值,剩余3种植物与对照物相比差异不显著( $P<0.05$ )。供试材料中再力花株高、叶长、叶宽、叶厚、地上和地下(除总氮外)指标均显著高于芦苇,而美人蕉则呈现相反趋势,其他5种植物通过改变形态特征适应水涝环境,这可能与不同植物生长周期、花期有关,见图1。

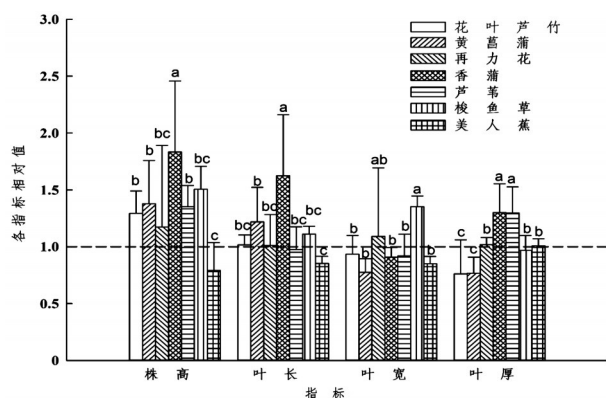


图1 水涝胁迫下生态修复植物形态

### 2.3 水涝胁迫对生态修复植物营养元素含量的影响

植物在水涝胁迫下体内营养元素含量的变化在一定程度上反应了水涝胁迫对植物生长的影响。本研究发现,除再力花外(地上和地下部分全氮相对值分别为1.14和1.42),其余6种生态修复植物地上部分(0.50~0.91)和地下部分全氮含量相对值(0.60~0.91)均显著降低( $P<0.05$ )。再力花和香蒲地上部分磷含量相对值分别为1.42和1.32,均显著增加( $P<0.05$ ),而其余5种植物地上部分磷含量相对值在0.65~0.92,均显著降低( $P<0.05$ );再力花、黄菖蒲和梭鱼草地下部分磷含量相对值分别为1.13、1.88、1.28,显著增加( $P<0.05$ ),其余4种植物地下部分磷含量相对值显著降低( $P<0.05$ )。再力花、香蒲和芦苇地上部分钾含量相对值分别为1.39、1.39、1.34,显著增加( $P<0.05$ ),其余3种植物地上部分钾含量显著降低( $P<0.05$ ),而黄菖蒲地下部分钾含量相对值为0.63,显著降低( $P<0.05$ ),再力花地下部分钾含量相对值为1.90,显著增加( $P<0.05$ ),其余4种植物地下部分钾含量相对值与对照物相比差异

不显著( $P<0.05$ )。不同植物材料比较表明,水涝胁迫下,再力花地上部分全氮含量、磷含量、钾含量,地下部分磷含量和钾含量均显著高于其他植物( $P<0.05$ ),美人蕉地下部分全氮含量和磷含量显著低于其他生态修复植物( $P<0.05$ ),见图2。

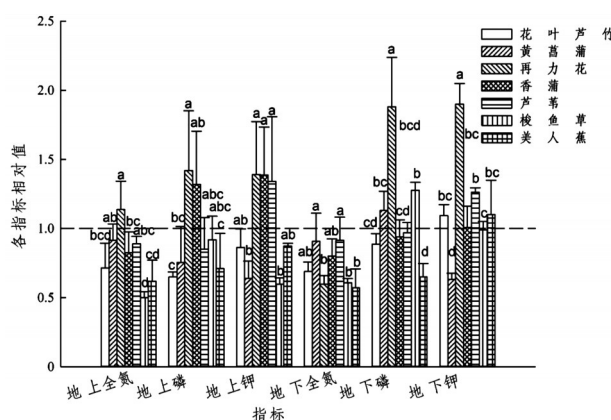


图2 水涝胁迫下生态修复植物营养元素

### 2.4 耐涝性综合评价

湿地植物的耐涝性评价方法有形态与解剖指标、生长指标、生理生化指标、分子生物学指标评价和综合评价法,在这些评价方法中综合评价法是应用最多的方法之一<sup>[12]</sup>。虽然隶属函数法评价指标多,具有一定的局限性,但仍在实物抗逆性综合评价中广泛应用。根据13个指标隶属函数的平均值(表3)分析7种生态修复植物的耐涝性强弱。再力花隶属函数平均值最大,达到了0.88,说明其在供试的7种生态修复植物中适应水涝胁迫的能力最强、受到的伤害最小。其他6种植物隶属函数值由大到小依次为:香蒲>梭鱼草>黄菖蒲>芦苇>花叶芦竹>美人蕉,表明7种生态修复植物中再力花耐涝能力最强,香蒲和梭鱼草次之,再次是黄菖蒲、芦苇和花叶芦竹,美人蕉的耐涝性最差。

## 3 结 语

本研究中,虽然供试材料均为目前湖泊近岸带生态修复中常用的植物种类,但是不同的植物对水涝胁迫的适应性差异明显,通过室内水涝胁迫试验发现,供试的生态修复植物中再力花耐涝能力最强,香蒲和梭鱼草次之,再次是黄菖蒲、芦苇和花叶芦竹,美人蕉的耐涝性最差。研究结果为江苏省湖泊近岸带生态修复过程中适生植物的选择提供参考。

表3 水涝胁迫下不同生态修复植物隶属函数值

品种	地上部	根系	植株	株高	叶长	叶宽	叶厚	地上			地下			磷
								全氮	磷	钾	全氮	磷	钾	
花叶芦竹	0.80	0.34	0.64	0.48	0.21	0.28	0.00	0.34	0.00	0.33	0.35	0.38	0.73	0.38
黄菖蒲	0.63	0.57	0.66	0.57	0.48	0.01	0.01	0.65	0.13	0.05	0.99	0.76	0.00	0.42
再力花	0.78	1.00	1.00	0.37	0.21	0.55	0.48	1.00	1.00	1.00	0.08	1.95	2.02	0.88
香蒲	0.59	0.33	0.42	1.00	1.01	0.24	1.00	0.51	0.87	1.00	0.68	0.46	0.60	0.67
芦苇(对照物)	0.00	0.00	0.00	0.54	0.16	0.26	0.99	0.61	0.26	0.94	1.01	0.51	1.00	0.48
梭鱼草	1.00	0.81	0.93	0.69	0.34	1.00	0.38	0.00	0.35	0.00	0.11	0.99	0.57	0.55
美人蕉	0.28	0.10	0.21	0.00	0.00	0.14	0.46	0.18	0.08	0.34	0.00	0.00	0.75	0.20

参考文献:

[1] 金相灿. 湖泊富营养化控制和管理技术[M]. 北京:化学工业出版社,2001.

[2] 吕锡武,李彬,张仁峰. 湖泊“肾”之衰竭:湖滨湿地退化[J]. 生态经济,2009(8):16-19.

[3] 惠秀娟,杨涛,李法云,等. 辽宁省辽河水生态系统健康评价[J]. 应用生态学报,2011,22(1):181-188.

[4] 陈一迪,诸葛亦斯,石岳峰,等. 柴达木盆地湖泊天然生态水文特性辨识[J]. 水资源保护,2023,39(1):225-233.

[5] 於昌峰,顾扣泉,周涛,等. 改性植物单宁对铜绿微囊藻的去除效果与机理[J]. 水资源保护,2022,38(2):197-202.

[6] 高艳芝,宗俊勤,陈静波,等. 15份不同暖季型草坪草生长量对长期水淹和水涝胁迫的响应[J]. 草业科学,2015,32(3):354-362.

[7] 迟韵阳,付宇新,何素琳,等. 10种湿地植物对不同程度模拟污染水体的净化效果研究[J]. 南方林业科学,2021,49(3):37-41,69.

[8] 许巧玲,汪丽,张凤,等. 8种水生植物对高污染负荷水体除污能力的筛选[J]. 园艺与种苗,2021(12):49-52.

[9] WANG W,DING Y,WANG YH,et al. Intensified nitrogen removal in immobilized nitrifier enhanced constructed wetlands with external carbon addition [J]. Bioresource Technology,2016,218(10):1261-1265.

[10] 尹亮. 哈尔滨市农田退水生态治理措施中植物优化配置研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2018.

[11] 袁桂香. 水位梯度下挺水植物生存策略研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2010.

[12] 王萍,胡永红,王丽勉,等. 观赏植物耐涝性鉴定指标的种类及其评价方法[J]. 北方园艺,2007(11):78-81.