

不同品种路易斯安娜鸢尾 对水体氮磷的削减和耐淹能力研究

王业宇¹,王金东¹,徐敏月¹,符佳豪²,汤诗杰²,原海燕^{2*}

(1. 江苏省骆运水利工程管理处,江苏 宿迁 2238001;

2. 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:为使路易斯安娜鸢尾在河湖堤岸生态建设和面源氮磷污染拦截修复中更好地发挥优势,对不同品种路易斯安娜鸢尾的氮磷净化、拦截及耐淹能力进行评价研究。结果表明:不同路易斯安娜鸢尾品种在富营养化水体中的适应性、氮磷削减能力和耐淹能力存在不同程度差异,其中被调查的15个品种中L4和L9无论从生长适应性、氮磷削减率还是耐淹能力方面均表现最优。本研究旨在为在不同河湖生态环境修复时,有针对性地选择路易斯安娜鸢尾进行实际应用提供理论和应用依据。

关键词:路易斯安娜鸢尾;富营养化水体;氮磷削减;耐淹

中图分类号:R735

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2023)04-0047-0005

Study on nitrogen and phosphorus reduction and flooding tolerance of different varieties of Louisiana Iris

WANG Yeyu¹, WANG Jindong¹, XU Minyue¹, FU Jiahao²,
TANG Shijie², YUAN Haiyan^{2*}

(1. Luoyun Hydraulic Project Management Division of Jiangsu Province, Suqian 223800, China;

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

Abstract: In order to give full play to the advantages of Louisiana Iris in the ecological construction of river and lake banks, as well as the interception and restoration of nitrogen and phosphorus pollution from non-point sources, it is necessary to evaluate the purification, interception, and flooding resistance of different varieties of Louisiana Iris in eutrophic water body. The results show that varying differences exist in adaptability, nitrogen and phosphorus reduction, as well as flooding tolerance in different varieties of Louisiana Iris. Among the 15 varieties investigated, L4 and L9 were the best in terms of growth adaptability, nitrogen and phosphorus reduction rate and flooding tolerance. The purpose of this study is to provide theoretical basis and application foundation for the targeted selection of Louisiana Iris for practical application in the restoration of ecological environment in different rivers and lakes.

Key words: Louisiana Iris; eutrophic water body; nitrogen and phosphorus reduction; flooding tolerance

收稿日期: 2022-08-02

项目基金: 江苏省水利科技项目(2021078)

作者简介: 王业宇(1969—),男,高级工程师,主要从事河湖管理及治理研究。E-mail:jssqw2y@sina.com

通信作者: 原海燕(1979—),女,副研究员,博士,主要从事植物种质资源抗逆性评价与利用研究。E-mail:
yuanhaiyan416@163.com

N、P等营养盐作为藻类生长的物质基础是水体富营养化的主要来源,工业废水、农业面源污染及生活污水的过度排放对河湖生态环境造成了很大影响,水体富营养化已成为最主要的水环境问题之一^[1-3]。据研究者调查的96个欧洲湖泊和水库有80%受N、P污染^[4]。我国许多河流、湖泊也存在不同程度富营养化,75%以上的湖泊、水库富营养化加剧,其中,富营养化和超富营养化湖泊达湖泊总量66%和22%^[5]。在富营养化水体净化修复当中,利用植物尤其水生植物治理富营养化水体^[6],已受到水体污染治理工作者的广泛关注,选择氮磷削减能力强、观赏价值高、管护成本低的植物进行修复,一方面可净化水体,同时可达到美化水体的效果。

路易斯安娜鸢尾(*Louisiana Iris*)是鸢尾科鸢尾属多年生常绿草本植物,原产路易斯安娜州、佛罗里达州等墨西哥湾地区以及密西西比河三角洲流域的沼泽地,花色丰富绚丽,旱湿两栖,四季常绿,是湿地绿化、美化、净化环境的先锋水生花卉,也是打造花海、景观的最好花种之一。在利用水生植物修复富营养化水体中使用水生常绿路易斯安娜鸢尾进行修复是许多研究者选择的材料之一^[7-8],但从植物学的角度研究者在使用时仅限于路易斯安娜鸢尾这个种的层面上,对其品种差异和修复特性了解较少。路易斯安娜鸢尾具有丰富的品种,为使其更有效地应用于不同氮磷污染水体修复,有必要对其品种间氮磷削减和耐淹能力差异进行研究。为此,该试验选择推广应用较多的15个路易斯安娜鸢尾品种为试料,研究其水体氮磷削减和耐淹能力。

1 材料与方法

1.1 对人工配制富营养化水体的氮磷削减能力试验

1.1.1 供试植物

供试植物为路易斯安娜鸢尾15个栽培品种,分别为克莱德(L1)、缤纷(L2)、飓风派对(L3)、流行舞(L4)、怀西婚礼(L5)、快乐飞行(L6)、冰蓝(L7)、铜色婴儿(L8)、西班牙小球(L9)、尼尔教授(L10)、红瑞特(L11)、唤醒苏西(L12)、道格拉斯(L13)、巴拉塔里亚(L14)、塞西莉(L15)。植物材料均取自江苏省中国科学院植物研究所国家鸢尾属种质资源库。

1.1.2 栽培试验与评价方法

试验于2020年10月29日在江苏省中国科学院植物研究所温室遮雨棚下进行。供试植物用自来水清洗干净,去除泥沙及其他杂质后栽植于试验容

器进行水培。试验容器为半径10 cm,高30 cm的塑料圆盆,试验水体为自来水配制的1/4 Hoagland 营养液,营养液中TN设置为10 mg/L、TP为0.8 mg/L,劣V类超富营养化水,氮源为氯化铵(NH_4Cl),磷源为磷酸二氢钾(KH_2PO_4)。试验开始前,将清洗干净鸢尾材料先放入盛有自来水的塑料盆中培养1周,培养时将鸢尾用泡沫板固定在塑料盆上,每一品种定植3盆,每盆5株,以不栽植物水样为对照组。1周后添加试验水体(5 L/桶)进行试验,暴露前对每盆植物称重,试验周期为60 d,其间每隔7 d加少量自来水补充蒸发的水分,以保持缸内水样体积基本稳定。每20 d取水样1次,每次每盆取水样100 mL(取样前搅动多次使缸内水样混合均匀)。测定TN、TP,TN采用流动分析和光谱检测法;TP采用流量分析法。试验结束时,称取每盆植株鲜重。

1.2 路易斯安娜鸢尾耐淹能力评价

1.2.1 供试植物

路易斯安娜鸢尾15个栽培品种。

1.2.2 栽培试验与评价方法

2021年4月从江苏省中国科学院植物研究所国家鸢尾属种质资源库水塘里采集生长旺盛且大小均匀一致的成年植株,移栽到体积50 L的塑料桶,底部20 cm厚壤土固定,每桶6株,每个品种3桶,固定后进行完全淹水试验(水面高出植株顶部30 cm),水淹40 d后,调查植物生长适应情况和耐水淹能力,然后去掉桶中淹水至土壤表层,2周后观察其存活情况。

1.3 对农田水体的氮磷削减能力试验

1.3.1 供试植物

路易斯安娜鸢尾L4流行舞。

1.3.2 栽培试验与评价方法

试验于2021年10月25日将路易斯安娜鸢尾L4流行舞定植于农田排水沟中,排水沟为周边农田生活污水的接纳水体。排水沟底部宽、面宽、深分别为0.6 m、3 m、2 m。在渠底定植植物,株行距为20 cm×20 cm,每行定植5株,总定植长度为75 m,宽度为1 m。分别于2022年路易斯安娜鸢尾流行舞开花期间5月1日、5月7日、5月14日在排水沟下方25 m、50 m、75 m处收集水样测定TN、TP。

1.4 数据处理

采用SPSS 20进行数据分析,应用SigmaPlot 12.5进行绘图。相对生长率公式为

$$R=(W-W_0)/W_0 \quad (1)$$

式中: R 为相对生长率; W_0 为初始鲜质量; W 为最终鲜质量。

2 结果与讨论

2.1 不同品种在富营养化水体中生长及氮磷削减能力差异

如表1所示,供试植物在富营养化水体中均能正常生长,同时地上部翠绿油亮的叶片在冬季具有很高的观赏价值,经过秋冬季2个月的生长,其鲜质量等都有不同程度的增加,其中L3、L4、L9、L10生长最好,根系最发达,鲜质量比初始增加了29.88%、26.13%、24.57%和27.05%,而L2、L7、L13生长相对较慢,鲜质量比初始仅增加8.36%、10.26%和10.65%。由此可见,不同品种适应生存能力存在较大差异,因此,在净化与美化景观水体时可有针对性地选择和配植品种。

表1 富营养化水体下不同品种鲜质量变化及相对生长率			
植物品种	初始鲜质量/g	最终鲜质量/g	相对生长率/%
L1	262±15.6	302±3.13	15.23
L2	275±2.01	298±14.82	8.36
L3	219±10.08	284±21.78	29.88
L4	340±4.02	429±6.26	26.13
L5	256±10.28	306±1.13	19.59
L6	242±1.78	288±16.54	19.21
L7	268±10.73	295±6.71	10.26
L8	273±18.63	311±31.34	13.71
L9	281±4.40	350±20.68	24.57
L10	215±15.87	274±17.09	27.05
L11	273±3.13	319±20.12	16.81
L12	335±15.03	379±1.78	12.91
L13	265±10.22	293±6.97	10.65
L14	283±8.81	323±0.44	14.31
L15	260±11.40	294±8.94	12.97

试验期间,15种路易斯安娜鸬尾对富营养化水体N、P均有不同程度的去除效果,图1和图2分别显示了试验不同时间15种路易斯安娜鸬尾对水体N、P的净化效果。从图1可以看出,15种植物对水体TN均有不同程度的去除效果,当植物种植2个月时,水体中TN质量浓度显著下降,其中L4、L5、L8、L9 4个品种对TN的削减能力最强,4种植物处理60d后水体的TN质量浓度降低为3.42 mg/L、3.24 mg/L、

3.59 mg/L、2.96 mg/L,TN质量浓度依次下降66.3%、68.1%、64.6%、70.8%。相较而言,试验前20 d氮去除效果不明显,20 d后,氮去除能力显著增加。有关氮去除机制,有研究报道植物从水中直接吸收氮不是植物去除水中氮的主要途径,其作用主要表现在促进根系微生物硝化/反硝化作用、与微生物的协同作用以及促进相关酶的活性等方面^[10],本研究中L4、L5、L8、L9较高的氮削减机制仍有待进一步研究。

不同路易斯安娜鸬尾不同时间对TP的削减能力与TN有所差异,如图2所示,培养20 d时,除L4、L9种植水体TP质量浓度显著下降外,其余品种种植水体TP质量浓度下降不显著。但随着种植时间的延长,水体TP质量浓度出现较显著的变化,生长40 d时15个品种种植水体TP质量浓度均显著下降,60 d时进一步下降,L4、L6、L9、L12 4个品种对TP的削减能力最强,TP质量浓度依次下降90.5%、82.6%、81.1%、81.1%。其中,15个品种中L4和L9对TN和TP的削减能力以及生长率相对最强,而L7和L13对TN和TP的削减能力以及生长率均相对较弱。这表明路易斯安娜鸬尾生物量的增加与其吸收水体中N、P存在一定的关系^[11]。

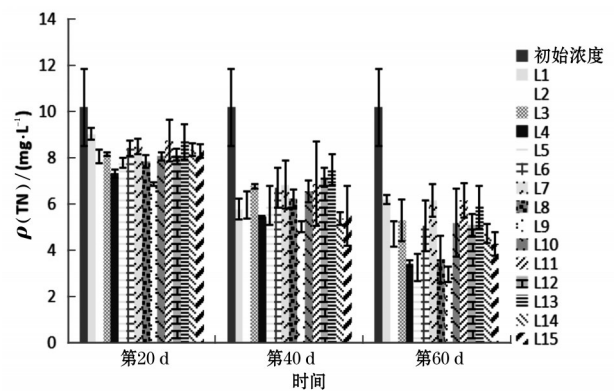


图1 15个路易斯南娜鸬尾品种对富营养化水体TN削减效果

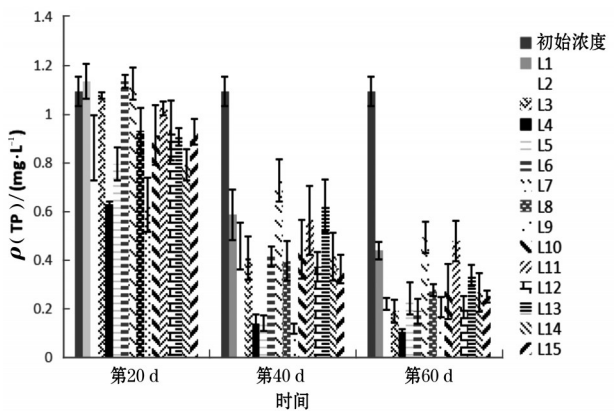


图2 15个路易斯南娜鸬尾品种对富营养化水体TP削减效果

2.2 不同品种的耐淹能力

水生植物在修复水体时经常面临水位的变化,长时间连续水淹可能会对不耐淹植物生长造成不利影响,对湖岸水土保持、环境保护以及景观质量等方面均存在潜在的威胁。路易斯安娜鸢尾喜湿也耐干旱,但遭受连续水淹时品种间是否存在差异、能否正常开花结果尚不清楚,本研究通过对15个路易斯安娜鸢尾品种开花前1个月淹水40 d的试验发现,15个路易斯安娜鸢尾品种中13个路易斯安娜鸢尾品种对完全水淹耐受能力较强,其中L2、L4、L7、L9耐水淹能力和长势最好,淹水40 d后花茎伸出水面最高,且开花数量最多,出水2周后叶片变绿,植株变高,存活率为100%(表2);L14生长较差,淹水40 d后叶稍未露出水面,存活率只有23.2%;L6耐淹能力最差,淹水40 d后所有植株基部腐烂,出水后植株全部死亡;其余品种耐淹能力也较强,出水2周后存活率为86.7%~93.3%。

表2 15种路易斯安娜鸢尾水淹条件下存活率

植物品种	存活率/%
L1	93.3
L2	100.0
L3	86.7
L4	100.0
L5	86.7
L6	0.0
L7	100.0
L8	93.3
L9	100.0
L10	86.7
L11	86.7
L12	86.7
L13	93.3
L14	23.2
L15	93.3

存活率是判断植物水淹耐受能力的重要指标,也是判断植物在河岸带可能的分布范围的重要标准^[12]。van Eck等^[13]对荷兰境内莱茵河河岸带植物的研究发现,植物在河岸带能够分布的最低水位线与植物在完全水淹处理下的存活率存在相关关系,即在完全水淹处理下,存活率低的植物物种只能分布在距江面相对较高的高海拔地段,而存活率高的

植物则可以分布在距江面更近的低海拔地段。这可能是由于河岸带不同海拔的地段在汛期遭受的水淹强度不同造成的,只有当植物物种能够耐受低海拔地段的水淹环境时,才可能在该地段存活^[14]。

2.3 对稻田污水N、P的削减能力

利用稻田现有沟渠构建生态沟渠,提升去污能力,具有排水和湿地系统的双重功效。由表3可以看出,本研究中排污沟种植25 m长度处污水TN、TP质量浓度接近排污口未种植植物处TN、TP质量浓度,当种植带超过50 m时,污水中TN和TP质量浓度显著下降,5月1—14日50 m和75 m处TN质量浓度显著下降35.5%~51.1%和43.1%~57.7%。污水中TP质量浓度变化趋势类似于TN,但L4流行舞对农田污水TP的削减幅度相对较低,5月1—14日种植带50 m和75 m处TP质量浓度分别下降16.1%~21.9%和17.2%~25.5%。金聪颖等^[8]研究表明稻田生态沟渠内种植鸢尾+菠菜氮磷去除率分别为92.27%和88.89%,但其未说明生态沟渠中植被带的宽度和长度。一般认为,植被带越宽,N、P截留转化效率越高。此外,净化效率的差异,除与植被带宽度有直接关系外,还与水体污染水平、植被类型、植被覆盖度、生长季节、水流速度等存在密不可分的联系^[15],本研究中在种植带50 m处N、P质量浓度才出现显著降低,可能与种植密度较低、植被带较窄、水流较快、拦截时间短等原因相关。

3 结 语

不同品种路易斯安娜鸢尾在富营养化水体中的适应性、氮磷削减能力和耐淹能力存在较大差异。从适生性上看,L3、L4、L9、L10生长最好,根系最发达,鲜质量比初始增加了29.88%、26.13%、24.57%和27.05%;从氮磷削减能力看,L4、L5、L8、L9 4个品种对TN的削减能力最强,L4、L6、L9、L12 4个品种对TP的削减能力最强,4种植物处理60 d后水体TN质量浓度依次下降66.3%、68.1%、64.6%、70.8%,TP质量浓度依次下降90.5%、82.6%、81.1%、81.1%;从耐淹能力看,L2、L4、L7、L9耐水淹能力和长势最好,存活率为100%。15个品种中L4和L9无论从生长适应性、氮磷削减率还是耐淹能力方面均具有较好效果。1 m宽、50 m长的稻田生态沟渠内种植L4,其花季可使污水中TN质量浓度降低35.5%~51.1%,TP质量浓度降低16.1%~21.9%。1 m宽沟渠对TN和TP的去除能力较低,可通过密植进一步提高氮磷拦截率。

表3 L4流行舞对稻田污水N、P削减效应

与排污沟 距离/m	测试项目					
	$\rho(\text{TN})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$			$\rho(\text{TP})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$		
	5月1日	5月7日	5月14日	5月1日	5月7日	5月14日
0	13.35±0.75a	15.99±0.30a	25.83±0.48a	0.0685±0.0004a	0.0799±0.0012a	0.1287±0.0006a
25	12.78±0.11a	14.78±0.14b	21.25±0.20b	0.0693±0.0004a	0.0791±0.0004a	0.1215±0.0004b
50	8.30±0.71b	10.30±0.77c	12.62±0.14c	0.0671±0.0001b	0.0692±0.0001b	0.1078±0.0022c
75	7.60±0.63b	8.27±0.12d	10.93±0.29d	0.0562±0.0011c	0.0590±0.0062c	0.1065±0.0002c

参考文献:

- [1] 马迎群,曹伟,赵艳民,等. 典型平原河网区水体富营养化特征、成因分析及控制对策研究[J]. 环境科学学报, 2022,42(2):174-183.
- [2] 陈小锋,揣小明,杨柳燕. 中国典型湖区湖泊富营养化现状、历史演变趋势及成因分析[J]. 生态与农村环境学报,2014,30(4):438-443.
- [3] 季永兴,韩非非,施震余,等. 长三角一体化示范区水生态环境治理思考[J]. 水资源保护,2021,37(1):103-109.
- [4] 赵倩,刘呈波,马成仓. 利用大型水生植物控制水体富营养化[J]. 农业环境与发展,2010,27(4):26-27.
- [5] 迟橙,龙岳林. 水生植物修复城市富营养化污水的研究进展[J]. 湖南农业大学学报,2009,35(1):51-55.
- [6] 张松贺,周甜甜,刘远思. 新开河4种水生植物表面附着微生物群落特征[J]. 水资源保护,2020,36(3):83-88.
- [7] 梁玉婷,杨星宇,杨兰芳,等. 湿地植物生长对去除富营养化水体总氮和硝氮的影响[J]. 湖北大学学报,2021,43(6):644-652.
- [8] 金聪颖,韩建华,刘文政,等. 不同植物配置的生态沟渠对稻田氮磷养分流失拦截效果分析[J]. 天津农林科技, 2020(3):4-5,7.
- [9] 黄亚,傅以钢,赵建夫. 富营养化水体水生植物修复机理的研究进展[J]. 农业环境科学学报,2005,24(增刊1): 379-383.
- [10] 张家洋,陈丽丽,李慧. 水生植物对富营养化水体除磷去氮的研究概述[J]. 西北师范大学学报,2013,49(1): 115-120.
- [11] DU L, CHEN Q, LIU P, et al. Phosphorus removal performance and biological dephosphorization process in treating reclaimed water by Integrated Vertical-flow Constructed Wetlands (IVCWs) [J]. Bioresource Technology, 2017 (243):204-211.
- [12] GIBBS J, GREENWAY H. Mechanisms of anoxia tolerance in plants. I. Growth, survival and anaerobic catabolism [Review][J]. Functional Plant Biology, 2003,30(1): 1-47.
- [13] VAN ECK W H J M, VALL DE STEEG H M, BLOM C W P M, et al. Is tolerance to summer flooding correlated with distribution patterns in river floodplains? A comparative study of 20 terrestrial grassland species [J]. Journal of Ecology, 2004, 107(2):393-405.
- [14] VERVUREN P J A, BLOM C W P M, DE KROON H, et al. Extreme flooding events on the Rhine and the survival and distribution of riparian plant species [J]. Journal of Ecology, 2003, 91(1):135-146.
- [15] 周胜杰,路斌,贾婷婷,等. 4种水培植物对富营养化水体中总氮、总磷去除率影响的研究[J]. 天津农学院学报,2017,24(1):44-47.