

# 闽江福州河段江心洲异质土壤生境 湿地植物群落的物种多样性特征

李祖婵, 玄 锦, 王秋雪, 彭书婷, 吴雅华, 黄柳菁<sup>①</sup>

(福建农林大学风景园林与艺术学院, 福建 福州 350002)

**摘要:** 为了探究闽江福州河段江心洲湿地植物群落的物种多样性以及异质土壤生境对物种多样性的影响, 本研究采用样方调查法对闽江福州河段 5 个江心洲的湿地植物进行调查。结果表明: 闽江福州河段 5 个江心洲共有湿地植物 130 种, 隶属于 55 科 112 属, 其中, 菊科 (Asteraceae) 和禾本科 (Poaceae) 为优势科, 乡土种和外来入侵种分别有 111 和 19 种。闽江福州河段江心洲 3 种土壤生境湿地植物群落的物种组成存在明显差异, 其中, 洲中央沙质林地湿地植物种数远高于洲岸泥质滩涂和洲岸沙质滩涂, 洲岸泥质滩涂与洲岸沙质滩涂的湿地植物种数基本持平。方差分析结果表明: 总体上看, 不同土壤生境的整体物种多样性指数存在显著差异。洲中央沙质林地的整体物种多样性指数显著高于洲岸沙质滩涂和洲岸泥质滩涂, 而后二者的整体物种多样性指数较低且二者间差异不显著。在同一植物层次上, 洲中央沙质林地乔木层、灌木层和草本层均能够维持较高的多样性水平; 洲岸泥质滩涂乔木层能够维持较高的多样性水平, 而灌木层和草本层多样性水平较低; 洲岸沙质滩涂乔木层、灌木层和草本层的多样性均处于较低水平。枫杨 (*Pterocarya stenoptera* C. DC.) 为洲岸泥质滩涂的指示种, 白花鬼针草 (*Bidens pilosa* var. *radiata* Sch.-Bip.) 为洲中央沙质林地的指示种。土壤环境反映了闽江福州河段江心洲异质土壤生境湿地植物群落的结构特征及其物种多样性的明显差异, 而人类活动的干扰是导致异质土壤生境外来入侵种数存在明显差异的重要影响因子。针对不同的土壤生境, 建议建设生态驳岸, 延长水陆交错带, 优先修复洲岸沙质滩涂; 顺应自然趋势, 增加自然种植, 修复洲岸泥质滩涂; 退耕还林还草, 减少人为干扰, 修复洲中央沙质林地。

**关键词:** 闽江; 江心洲; 湿地植物; 物种多样性; 土壤生境

中图分类号: Q948.15<sup>+</sup>6; Q948.3 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2023)01-0010-09

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2023.01.02

**Species diversity characteristics of wetland plant communities in heterogeneous soil habitats of central bars in Fuzhou Reach of Minjiang River** (LI Zuchan, XUAN Jin, WANG Qiuxue, PENG Shuting, WU Yahua, HUANG Liuqing<sup>①</sup> (College of Landscape Architecture and Art, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2023, 32(1): 10-18

**Abstract:** To explore the species diversity of wetland plant communities and effects of heterogeneous soil habitats on species diversity in central bars of Fuzhou Reach of Minjiang River, wetland plants in 5 central bars of Fuzhou Reach of Minjiang River were investigated by using sampling survey method. The results show that there are 130 species of wetland plants belonging to 112 genera of 55 families in 5 central bars of Fuzhou Reach of Minjiang River, in which, Asteraceae and Poaceae are the dominant families, and there are 111 native species and 19 alien invasive species. There are obvious differences in species composition of wetland plant communities in 3 soil habitats of central bars in Fuzhou Reach of Minjiang River, in which, the numbers of wetland plant species in sandy forest land of central bar are

收稿日期: 2022-06-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(32071578); 福建省自然科学基金项目(2021J01133); 福建农林大学学科交叉融合项目(YSYL-xkjc-8)

作者简介: 李祖婵(1995—), 女, 广东茂名, 硕士研究生, 主要从事湿地植物生态学方面的研究。

<sup>①</sup>通信作者 E-mail: huanglj@fafu.edu.cn

引用格式: 李祖婵, 玄 锦, 王秋雪, 等. 闽江福州河段江心洲异质土壤生境湿地植物群落的物种多样性特征[J]. 植物资源与环境学报, 2023, 32(1): 10-18.

greatly higher than those in mudflat of bank and sandy beach of bank, and the numbers of wetland plant species in mudflat of bank and sandy beach of bank are basically equal. The result of analysis of variance shows that there are significant differences in overall species diversity indexes among different soil habitats in general. The overall species diversity indexes of sandy forest land of central bar are significantly higher than those of sandy beach of bank and mudflat of bank, while those of the latter two are relatively low and there are no significant differences between them. At the same plant level, arbor layer, shrub layer, and herb layer in sandy forest land of central bar can maintain relatively high diversity levels; arbor layer in mudflat of bank can maintain relatively high diversity levels, while its shrub layer and herb layer maintain low diversity levels; the diversity levels of arbor layer, shrub layer, and herb layer in sandy beach of bank are relatively low. *Pterocarya stenoptera* C. DC. is the indicator species of mudflat of bank, and *Bidens pilosa* var. *radiata* Sch.-Bip. is the indicator species of sandy forest land of central bar. Soil environment reflects the structural characteristics of wetland plant communities and the obvious differences of species diversity in heterogeneous soil habitats of central bars in Fuzhou Reach of Minjiang River, while the disturbance of human activities is an important factor affecting the obvious difference of alien invasive species number in heterogeneous soil habitats. For different soil habitats, it is suggested to preferentially restore sandy beach of bank by building ecological revetments and extending the ecotone between water and land; restore mudflat of bank by following the natural trend and increasing natural planting; restore sandy forest land of central bar by returning farmland to forest and grassland and reducing human interference.

**Key words:** Minjiang River; central bar; wetland plant; species diversity; soil habitat

湿地被誉为“地球之肾”,在维持生物多样性和承担生态服务功能等方面发挥重要的作用<sup>[1-2]</sup>。湿地植物的物种多样性与水土保持密切相关,是群落生境和自然保护的重要生态学标准,能反映植物群落的功能特性<sup>[3]</sup>。研究发现,土壤是影响湿地植物群落时空分布的主导因子<sup>[4]</sup>,而异质土壤是维持植物多样性的基本要素,土壤空间异质性与植物的物种多样性存在正相关关系<sup>[5]</sup>。在河岸带和河口湿地等湿地类型中,湿地植物多样性受到异质土壤的影响<sup>[6-7]</sup>。福州市江心洲湿地周期性水土差异较大,湿地植物受河流水动力引起的土壤性质极易变化的影响,与土壤空间异质性的关系更为紧密<sup>[8]</sup>。

江心洲作为水陆交替的过渡地带,是河流湿地生态系统的重要节点,发挥着独特的生态系统功能<sup>[9]</sup>。但由于边界隔离效应,江心洲受河流水动力的侵蚀作用,土壤理化性质极易发生变化。江心洲由于其独特而又脆弱的生态环境、较简单的植物群落结构以及较弱的抗干扰能力,其湿地生态系统一旦受到干扰破坏就难以恢复<sup>[10-11]</sup>。

闽江作为福建省内第一大河,流域内的湿地植物丰富<sup>[12]</sup>。近年来,由于人们对闽江江心洲湿地的保护不够重视以及不合理开发利用湿地资源,闽江江心洲部分土地转换为牧场、耕地、园林绿化苗圃和建筑用地等,土壤理化性质随之发生改变,其原有植被和

生境受到不同程度的破坏,甚至其湿地生态系统结构和功能发生进一步退化。由于闽江江心洲生态环境敏感而又脆弱,其土壤理化性质极易改变,加上疏于管理,其生态系统结构和功能不断退化。因此,闽江江心洲湿地亟需加强保护,寻找适宜于闽江江心洲湿地不同土壤环境的生境修复措施尤为重要。而湿地植物群落的物种多样性与水土环境关系密切,不仅是衡量湿地生态系统价值的重要指标,还可反映植物群落的稳定程度和生境差异<sup>[13-14]</sup>。了解闽江江心洲湿地植物群落的物种多样性与异质土壤生境间的关系,才能更有针对性地保护和修复闽江江心洲湿地生境,维持闽江江心洲植物群落的物种多样性,更好地建设闽江生态流域。闽江福州河段江心洲湿地作为福建省闽江湿地的重要组成部分,发挥重要的生态服务功能。但目前对闽江福州河段江心洲的研究主要集中在重金属污染等方面<sup>[15]</sup>,对湿地植物的研究很少,缺乏该区域生境与植物群落的物种多样性的相关性研究,其中,土壤是影响闽江江心洲湿地植物植被特征的重要影响因子,其对闽江福州河段江心洲湿地植物群落的物种多样性的影响有待探究。

为了探究闽江江心洲湿地植物群落的物种组成以及异质土壤生境对湿地植物群落物种多样性的影响,本研究以闽江福州河段 5 个江心洲为研究区,调查研究区内 3 种土壤生境的湿地植物,分析异质土壤

生境湿地植物群落的物种组成和物种多样性的变化规律,以期为修复闽江江心洲湿地生境、维持湿地植物群落的物种多样性以及平衡湿地生态系统提供理论依据。

## 1 研究区概况和研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区共涉及闽江福州河段5个江心洲(表1),隶属于福建省福州市闽侯县。闽江流域位于中国东南沿海福建省境内(东经116°23′~119°35′、北纬25°23′~28°16′),为福建省内第一大入海河流,长577 km,流域面积60 092 km<sup>2</sup>,上游三大支流沙溪、建溪和富屯溪在南平汇合,进入闽江干流,流经福州市

区后经马尾自西向东流入东海<sup>[16]</sup>。闽江福州河段位于闽江下游,长120 km,流域面积约8 000 km<sup>2</sup>,地处中亚热带和南亚热带过渡区,气候暖热潮湿,雨热同期,年均气温19℃,年降水量达1 300 mm,湿地生态系统发育良好<sup>[17]</sup>。闽江福州河段江心洲湿地植物群落较为简单,植被种类单一,主要的乔木种类有枫杨(*Pterocarya stenoptera* C. DC.)、乌桕[*Triadica sebifera* (Linn.) Small]和榕树(*Ficus macrocarpa* Linn. f.)等;主要的灌木种类有女贞(*Ligustrum lucidum* Ait.)、银叶柳(*Salix chienii* Cheng)和构[*Broussonetia papyrifera* (Linn.) L'Hér. ex Vent.]等;主要的草本种类有荇草[*Arthraxon hispidus* (Trin.) Makino]、鸭跖草(*Commelina communis* Linn.)和火炭母[*Persicaria chinensis* (Linn.) H. Gross]等。

表1 闽江福州河段5个江心洲  
Table 1 Five central bars in Fuzhou Reach of Minjiang River

| 编号 No. | 江心洲 Central bar    | 面积/m <sup>2</sup> Area | 经度 Longitude           | 纬度 Latitude          |
|--------|--------------------|------------------------|------------------------|----------------------|
| 1      | 中房洲 Zhongfang Bar  | 655 082                | E119°11'25"-119°12'24" | N26°06'30"-26°06'55" |
| 2      | 绿洲 Lvzhou Bar      | 208 276                | E119°12'36"-119°12'59" | N26°06'20"-26°06'38" |
| 3      | 古山洲 Gushan Bar     | 506 532                | E119°12'56"-119°13'42" | N26°06'09"-26°06'28" |
| 4      | 厚美沙洲 Houmeisha Bar | 722 637                | E119°12'24"-119°13'04" | N26°04'57"-26°05'46" |
| 5      | 大洋鹭洲 Dayanglu Bar  | 353 216                | E119°13'08"-119°13'13" | N26°13'07"-26°37'59" |

### 1.2 研究方法

1.2.1 样地设置及调查 根据土壤特征<sup>[18]</sup>以及土壤是否直接受到河流水动力和潮汐的侵蚀作用,并结合实地勘察,闽江福州河段中房洲、绿洲、古山洲、厚美沙洲和大洋鹭洲5个江心洲土壤生境类型主要有3种,分别为洲岸沙质滩涂、洲岸泥质滩涂和洲中央沙质林地。其中,洲岸沙质滩涂是指较新淤积、发育较浅的沙质土壤,且直接受到河流水动力和潮汐的侵蚀作用;洲岸泥质滩涂是指较新淤积、发育较浅的泥质土壤,且直接受到河流水动力和潮汐的侵蚀作用;洲中央沙质林地是指发育较成熟的沙质耕作土壤,且没有直接受到河流水动力和潮汐的侵蚀作用。

于2021年10月至12月,采用样方调查法调查闽江福州河段上述5个江心洲湿地植物群落。选取人为干预较小或无人干预的,能较好反映湿地植物群落基本特征的原生自然植被区域作为调查样地<sup>[19-20]</sup>。

沿闽江福州河段上游至下游方向,分别在中房洲、绿洲、古山洲、厚美沙洲和大洋鹭洲设置样地,每

个江心洲分别设置3种不同土壤生境样地,共15个样地。在样地中,根据每个江心洲主要的湿地植物群落情况设置乔木样方(面积10 m×10 m)、灌木样方(面积5 m×5 m,在有灌木分布的乔木样方内沿对角线随机选取1或2个灌木样方)和草本样方(面积1 m×1 m,在有草本分布的灌木样方内沿对角线随机选取1或2个草本样方),累计设置乔木样方36个,灌木样方37个,草本样方43个。在乔木样方内调查胸径大于等于1 cm的乔木,记录乔木的种名、数量、高度和胸径;在灌木样方内调查记录所有灌木的种名、数量、高度和基径;在草本样方内调查记录所有草本的种名、数量、高度和盖度。其中,高度采用测高仪(精度1 cm)或卷尺(精度0.1 cm)测量,胸径采用围尺(精度1 mm)测量,盖度参考文献<sup>[21]</sup>中的方法测量。采用GPS定位仪记录样地的经度、纬度、海拔和小生境等生境指标。

参考《中国入侵植物名录》<sup>[22]</sup>确定外来入侵种。  
1.2.2 物种多样性计算方法 计算各土壤生境中乔木层、灌木层和草本层湿地植物的频度、重要值<sup>[23-24]</sup>以及整体和各层次的物种多样性指数<sup>[25]</sup>。

### 1.3 数据处理和分析

利用 EXCEL 2016 软件进行数据处理和绘图。利用 SPSS 26.0 软件, 采用单因素方差分析比较闽江福州河段江心洲异质土壤生境湿地植物群落物种多样性指数间的差异, 方差分析前进行方差齐性检验, 并采用最小显著差异 (LSD) 法进行多重比较。利用 R4.2.0 软件, 使用 indisppecies 软件包对不同土壤生境类型的湿地植物进行指示种分析, 以闽江福州河段江心洲湿地植物物种丰富度矩阵为因变量, 主要通过 multipatt 函数寻找显著标志物, 筛选出异质土壤生境植物群落的指示种。

## 2 结果和分析

### 2.1 闽江福州河段江心洲异质土壤生境湿地植物群落的物种组成

调查结果显示: 闽江福州河段 5 个江心洲共有湿

地植物 130 种, 隶属于 55 科 112 属, 其中, 菊科 (Asteraceae) 和禾本科 (Poaceae) 为优势科, 乡土种和外来入侵种分别有 111 和 19 种。各土壤生境湿地植物群落的物种组成见表 2, 乡土优势种及其重要值见表 3, 外来入侵种及其土壤生境分布见表 4。

由表 2 可知: 洲中央沙质林地的湿地植物种数共 100 种, 隶属于 45 科 91 属, 其中乡土种和外来入侵种分别为 85 和 15 种, 均远高于洲岸沙质滩涂和洲岸泥质滩涂; 洲岸泥质滩涂与洲岸沙质滩涂的湿地植物种数基本持平, 其中洲岸泥质滩涂的乡土种数略高于洲岸沙质滩涂, 而其外来入侵种数略低于洲岸沙质滩涂。

由表 3 可知: 洲岸沙质滩涂乔木层的主要乡土优势种为枫杨、楝 (*Melia azedarach* Linn.) 和构, 灌木层的主要乡土优势种为女贞和银叶柳, 草本层的主要乡土优势种为鸭跖草和水蓼 [*Persicaria hydropiper* (Linn.) Spach]; 洲岸泥质滩涂乔木层的主要乡土优

表 2 闽江福州河段江心洲不同土壤生境湿地植物群落的物种组成

Table 2 Species composition of wetland plant communities in different soil habitats of central bars in Fuzhou Reach of Minjiang River

| 土壤生境类型<br>Soil habitat type              | 科数<br>Number of families | 属数<br>Number of genera | 种数<br>Number of species | 乡土种数<br>Number of native species | 外来入侵种数<br>Number of alien invasive species |
|--|--------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------------|--|
| 洲岸沙质滩涂 Sandy beach of bank               | 25                       | 46                     | 47                      | 40                               | 7  |
| 洲岸泥质滩涂 Mudflat of bank                   | 29                       | 47                     | 48                      | 44                               | 4  |
| 洲中央沙质林地 Sandy forest land of central bar | 45                       | 91                     | 100                     | 85                               | 15   |

表 3 闽江福州河段江心洲不同土壤生境乔木层、灌木层和草本层重要值排名前 5 的乡土优势种

Table 3 The top five native dominant species in importance value in arbor layer, shrub layer, and herb layer of different soil habitats in central bars in Fuzhou Reach of Minjiang River

| 科<br>Family       | 种类<br>Species                    | 不同土壤生境乡土优势种的重要值/% <sup>1)</sup><br>Importance value of native dominant species in different soil habitats <sup>1)</sup> |        |        |
|-------------------|----------------------------------|---|--------|--------|
|                   |                                  | Bs  | Bm     | CB     |
| 乔木层 Arbor layer   |                                  |   |        |        |
| 大戟科 Euphorbiaceae | 乌柏 <i>Triadica sebifera</i>      | 5.444   | 32.377 |        |
| 胡桃科 Juglandaceae  | 枫杨 <i>Pterocarya stenoptera</i>  | 33.465  | 29.961 |        |
| 楝科 Meliaceae      | 楝 <i>Melia azedarach</i>         | 27.630  |        | 10.950 |
| 桑科 Moraceae       | 构 <i>Broussonetia papyrifera</i> | 26.926  | 4.535  | 11.039 |
|                   | 榕树 <i>Ficus microcarpa</i>       |   |        | 32.347 |
| 杨柳科 Salicaceae    | 银叶柳 <i>Salix chienii</i>         |   | 24.374 |        |
| 榆科 Ulmaceae       | 朴树 <i>Celtis sinensis</i>        | 6.535   | 3.183  | 10.396 |
| 樟科 Lauraceae      | 樟 <i>Cinnamomum camphora</i>     |   |        | 12.659 |
| 灌木层 Shrub layer   |                                  |   |        |        |
| 豆科 Fabaceae       | 木蓝 <i>Indigofera tinctoria</i>   |   |        | 7.445  |
| 胡桃科 Juglandaceae  | 枫杨 <i>Pterocarya stenoptera</i>  | 6.340   | 9.794  |        |
|                   | 乌柏 <i>Triadica sebifera</i>      |   | 16.667 |        |
| 木犀科 Oleaceae      | 女贞 <i>Ligustrum lucidum</i>      | 35.835  | 23.579 | 10.143 |
| 桑科 Moraceae       | 构 <i>Broussonetia papyrifera</i> |   |        | 23.578 |



续表3 Table 3 (Continued)

| 科<br>Family        | 种类<br>Species                            | 不同土壤生境乡土优势种的重要值/% <sup>1)</sup><br>Importance value of native dominant species in different soil habitats <sup>1)</sup> |        |       |
|--------------------|--|---|--------|-------|
|                    |  | Bs  | Bm     | CB    |
|                    | 桑 <i>Morus alba</i>                      | 1.681   |        |       |
| 荨麻科 Urticaceae     | 苎麻 <i>Boehmeria nivea</i>                |   | 8.333  | 4.822 |
| 杨柳科 Salicaceae     | 银叶柳 <i>Salix chienii</i>                 | 28.352  |        |       |
| 鼠李科 Rhamnaceae     | 马甲子 <i>Paliurus ramosissimus</i>         | 9.899   |        |       |
| 五福花科 Adoxaceae     | 接骨木 <i>Sambucus williamsii</i>           |   | 8.333  |       |
| 芸香科 Rutaceae       | 九里香 <i>Murraya exotica</i>               |   |        | 4.708 |
| 草本层 Herb layer     |  |   |        |       |
| 禾本科 Poaceae        | 荩草 <i>Arthraxon hispidus</i>             |   |        | 8.581 |
|                    | 马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>          |   |        | 5.537 |
|                    | 五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>         | 6.150   | 5.529  |       |
|                    | 狗牙根 <i>Cynodon dactylon</i>              | 3.713   |        |       |
| 菊科 Asteraceae      | 艾 <i>Artemisia argyi</i>                 |   | 8.530  |       |
| 蓼科 Polygonaceae    | 火炭母 <i>Persicaria chinensis</i>          |   | 10.239 | 5.797 |
|                    | 水蓼 <i>Persicaria hydropiper</i>          | 8.515   |        |       |
| 葡萄科 Vitaceae       | 乌莓 <i>Causonis japonica</i>              |   |        | 3.557 |
| 莎草科 Cyperaceae     | 水葱 <i>Schoenoplectus tabernaemontani</i> |   | 13.349 |       |
| 茜草科 Rubiaceae      | 六叶葎 <i>Galium hoffmeisteri</i>           |   |        | 2.818 |
| 天南星科 Araceae       | 海芋 <i>Alocasia odora</i>                 | 3.670   |        |       |
| 鸭跖草科 Commelinaceae | 鸭跖草 <i>Commelina communis</i>            | 8.640   | 6.964  |       |

<sup>1)</sup> Bs: 洲岸沙质滩涂 Sandy beach of bank; Bm: 洲岸泥质滩涂 Mudflat of bank; CB: 洲中央沙质林地 Sandy forest land of central bar.

表4 闽江福州河段江心洲外来入侵种及其土壤生境分布  
Table 4 Alien invasive species in central bars of Fuzhou Reach of Minjiang River and their soil habitat distributions

| 科<br>Family        | 种类<br>Species                                  | 土壤生境 <sup>1)</sup><br>Soil habitat <sup>1)</sup> |
|--------------------|--|--|
| 大戟科 Euphorbiaceae  | 飞扬草 <i>Euphorbia hirta</i>                     | CB   |
| 豆科 Fabaceae        | 光荚含羞草 <i>Mimosa bimucronata</i>                | Bs, CB   |
| 禾本科 Poaceae        | 铺地黍 <i>Panicum repens</i>                      | Bs, Bm   |
|                    | 象草 <i>Pennisetum purpureum</i>                 | Bs   |
| 锦葵科 Malvaceae      | 赛葵 <i>Malvastrum coromandelianum</i>           | CB   |
| 菊科 Asteraceae      | 白花鬼针草 <i>Bidens pilosa</i> var. <i>radiata</i> | Bs, Bm, CB                                       |
|                    | 藿香蓟 <i>Ageratum conyzoides</i>                 | Bs, CB   |
|                    | 假臭草 <i>Praxelis clematidea</i>                 | Bm, CB   |
|                    | 金腰箭 <i>Synedrella nodiflora</i>                | CB   |
|                    | 香丝草 <i>Erigeron bonariensis</i>                | Bs, Bm   |
|                    | 小蓬草 <i>Erigeron canadensis</i>                 | CB   |
| 落葵科 Basellaceae    | 落葵薯 <i>Anredera cordifolia</i>                 | CB   |
| 茄科 Solanaceae      | 水茄 <i>Solanum torvum</i>                       | Bs   |
| 苋科 Amaranthaceae   | 刺苋 <i>Amaranthus spinosus</i>                  | CB   |
|                    | 土荆芥 <i>Dysphania ambrosioides</i>              | CB   |
|                    | 喜旱莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>       | CB   |
| 旋花科 Convolvulaceae | 变色牵牛 <i>Ipomoea indica</i>                     | CB   |
|                    | 五爪金龙 <i>Ipomoea cairica</i>                    | CB   |
| 酢浆草科 Oxalidaceae   | 红花酢浆草 <i>Oxalis corymbosa</i>                  | CB   |

<sup>1)</sup> CB: 洲中央沙质林地 Sandy forest land of central bar; Bs: 洲岸沙质滩涂 Sandy beach of bank; Bm: 洲岸泥质滩涂 Mudflat of bank.

势种为乌桕、枫杨和银叶柳,灌木层的主要乡土优势种为女贞和乌桕,草本层的主要乡土优势种为水葱 [*Schoenoplectus tabernaemontani* (C. C. Gmelin) Palla] 和火炭母;洲中央沙质林地乔木层的主要乡土优势种为榕树,灌木层的主要乡土优势种为构,草本层的主要乡土优势种为荩草。

由表4可知:外来入侵种的优势科为菊科,洲中央沙质林地的外来入侵种数最多,其中白花鬼针草 (*Bidens pilosa* var. *radiata* Sch.-Bip.) 的生境分布最广,在3种土壤生境类型中皆有分布。

闽江福州河段江心洲高频出现(频度>20%)的湿地植物见表5。由表5可知:出现频度大于30%的种类有5种,包括构、白花鬼针草、鸭跖草、枫杨和女贞,为3种土壤生境的共有种类,但主要分布的土壤生境不尽相同,构和白花鬼针草主要分布在洲中央沙质林地,鸭跖草主要分布在洲岸沙质滩涂和洲岸泥质滩涂,枫杨主要分布在洲岸泥质滩涂,女贞主要分布在洲中央沙质林地和洲岸沙质滩涂。其他出现频度较高的种类有楝、乌桕、火炭母、朴树 (*Celtis sinensis* Pers.)、艾 (*Artemisia argyi* Lévl. et Van.)、地桃花 (*Urena lobata* Linn.) 和藿香蓟 (*Ageratum conyzoides* Linn.)。

表 5 闽江福州河段江心洲高频出现的湿地植物  
Table 5 High-frequency wetland plants in central bars of Fuzhou Reach of Minjiang River

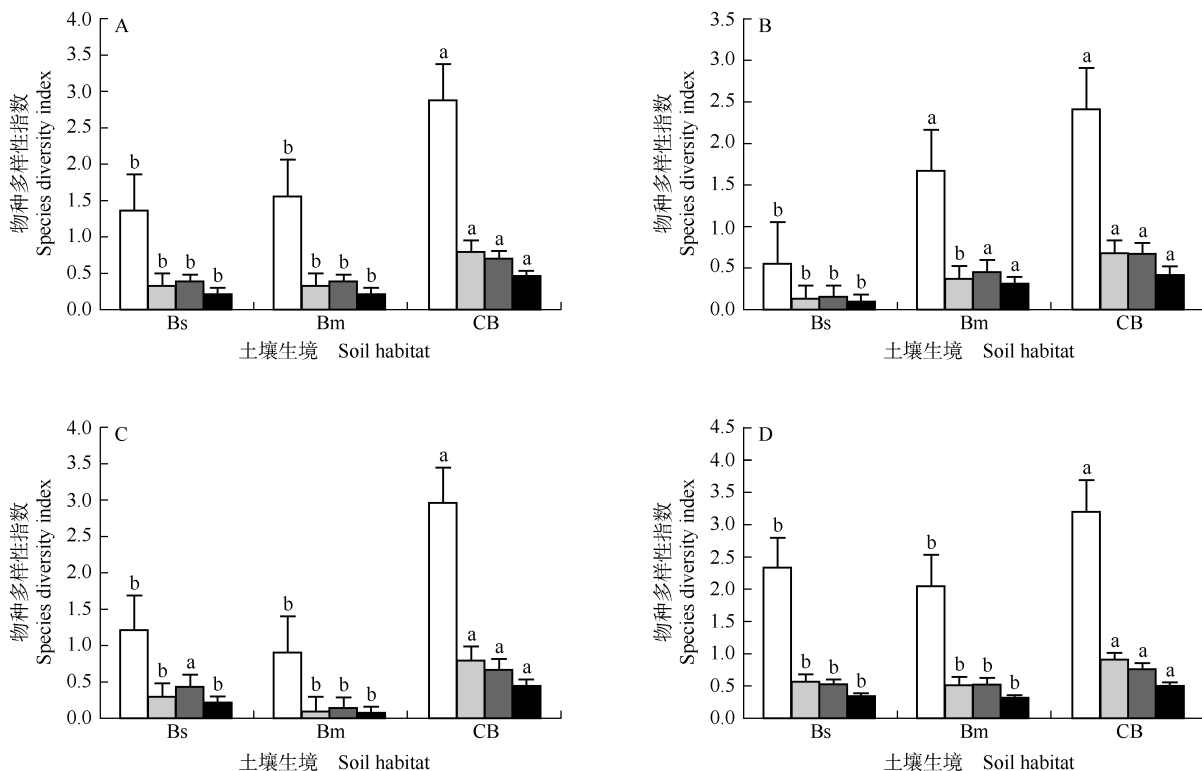
| 种类<br>Species                                  | 频度/%<br>Frequency | 土壤生境 <sup>1)</sup><br>Soil habitat <sup>1)</sup> |
|--|-------------------|--|
| 构 <i>Broussonetia papyrifera</i>               | 33.3              | Bs, Bm, CB                                       |
| 白花鬼针草 <i>Bidens pilosa</i> var. <i>radiata</i> | 33.3              | Bs, Bm, CB                                       |
| 鸭跖草 <i>Commelina communis</i>                  | 31.1              | Bs, Bm, CB                                       |
| 枫杨 <i>Pterocarya stenoptera</i>                | 31.1              | Bs, Bm, CB                                       |
| 女贞 <i>Ligustrum lucidum</i>                    | 31.1              | Bs, Bm, CB                                       |
| 楝 <i>Melia azedarach</i>                       | 26.7              | Bs, Bm, CB                                       |
| 乌柏 <i>Triadica sebifera</i>                    | 24.4              | Bs, Bm, CB                                       |
| 火炭母 <i>Persicaria chinensis</i>                | 22.2              | Bm, CB   |
| 朴树 <i>Celtis sinensis</i>                      | 22.2              | Bs, Bm, CB                                       |
| 艾 <i>Artemisia argyi</i>                       | 20.0              | Bs, Bm, CB                                       |
| 地桃花 <i>Urena lobata</i>                        | 20.0              | Bs, Bm, CB                                       |
| 藿香蓟 <i>Ageratum conyzoides</i>                 | 20.0              | Bs, CB   |

<sup>1)</sup> Bs: 洲岸沙质滩涂 Sandy beach of bank; Bm: 洲岸泥质滩涂 Mudflat of bank; CB: 洲中央沙质林地 Sandy forest land of central bar.

## 2.2 闽江福州河段江心洲异质土壤生境湿地植物群落的物种多样性

方差分析结果表明: 总体上看, 闽江福州河段江心洲湿地植物群落整体、乔木层、灌木层和草本层的物种多样性指数在不同土壤生境间差异显著。

闽江福州河段江心洲不同土壤生境湿地植物物种多样性指数的比较结果见图 1。由图 1 可知: 洲中央沙质林地整体物种多样性指数显著高于洲岸沙质滩涂和洲岸泥质滩涂, 且后二者间差异不显著。乔木层 4 个物种多样性指数由高到低依次为洲中央沙质林地、洲岸泥质滩涂、洲岸沙质滩涂, 且洲中央沙质林地和洲岸泥质滩涂中这 4 个物种多样性指数总体上显著高于洲岸沙质滩涂。灌木层 4 个物种多样性指数由高到低依次为洲中央沙质林地、洲岸沙质滩涂、洲岸泥质滩涂, 且总体上看, 洲中央沙质林地中这



□: Margalef 指数 Margalef index; ▨: Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index; ▩: Pielou 指数 Pielou index; ■: Simpson 指数 Simpson index.

不同小写字母表示同一指标在不同土壤生境间差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different lowercases indicate the significant ( $P < 0.05$ ) difference among different soil habitats of the same index. Bs: 洲岸沙质滩涂 Sandy beach of bank; Bm: 洲岸泥质滩涂 Mudflat of bank; CB: 洲中央沙质林地 Sandy forest land of central bar.

A: 整体 Overall; B: 乔木层 Arbor layer; C: 灌木层 Shrub layer; D: 草本层 Herb layer.

图 1 闽江福州河段江心洲不同土壤生境湿地植物群落的物种多样性指数比较  
Fig. 1 Comparison on species diversity indexes of wetland plant community in different soil habitats of central bars in Fuzhou Reach of Minjiang River

4个物种多样性指数显著高于洲岸泥质滩涂和洲岸沙质滩涂,而后二者间差异不显著。草本层4个物种多样性指数由高到低依次为洲中央沙质林地、洲岸沙质滩涂、洲岸泥质滩涂,洲中央沙质林地4个物种多样性指数显著高于洲岸沙质滩涂和洲岸泥质滩涂,且后二者间差异不显著。上述研究结果表明:乔木更适合生长于洲中央沙质林地和洲岸泥质滩涂,灌木和草本更适合生长于洲中央沙质林地。

### 2.3 闽江福州河段江心洲异质土壤生境的指示种

闽江福州河段江心洲3种土壤生境湿地植物指示种的分析结果显示:枫杨为洲岸泥质滩涂的指示种,指示值为0.730( $P < 0.05$ );白花鬼针草为洲中央沙质林地的指示种,指示值为0.895( $P < 0.01$ );洲岸沙质滩涂无显著指示种。

## 3 讨论和结论

### 3.1 闽江福州河段江心洲异质土壤生境湿地植物群落的物种组成特征分析

调查结果显示:闽江福州河段5个江心洲中共有130种湿地植物,隶属于55科112属。闽江福州河段江心洲3种土壤生境植物的物种组成存在明显差异,其中,洲中央沙质林地的湿地植物种数、乡土种数和外来入侵种数远高于洲岸泥质滩涂和洲岸沙质滩涂,而后二者的湿地植物种数和乡土种数持平。福建省连江县6个海岛植物资源的优势科为菊科和禾本科<sup>[26]</sup>,本研究调查的江心洲的生态系统介于陆地生态系统与海岛生态系统之间,其湿地植物的优势科与福建省连江县海岛植物资源的优势科一致。出现频度大于30%的构、白花鬼针草、鸭跖草、枫杨和女贞中,除构在中国南北各地均有分布外,其余4种植物均喜温暖湿润气候,符合福建省亚热带海洋季风气候条件和地理特征<sup>[27]</sup>。此外,本研究中外来入侵种的优势科为菊科,与福建省范围内主要入侵植物的优势科一致<sup>[28]</sup>。总体来看,海拔越低,外来入侵种的种类就越多,这与人类活动导致的土地利用和土壤理化性质的改变有一定的相关性<sup>[28]</sup>。调查发现,本研究中闽江福州河段江心洲的海拔较低(海拔0.20~20.56 m),受到了人类活动的严重干扰,外来入侵植物高达19种,占湿地植物总种数的14.6%,其中,白花鬼针草在3种土壤生境中皆有分布。据罗娅婷等<sup>[29]</sup>的研究结果,白花鬼针草具有自交亲和力,结实

量大,种子萌发率高且萌发快,因此,无论是水土条件良好的洲中央沙质林地,还是受河流水动力和潮汐的侵蚀作用、水土条件恶劣的洲岸滩涂皆能成功入侵。外来入侵种数在一定程度上可反映出植物群落受干扰的严重程度<sup>[30]</sup>。洲中央沙质林地的外来入侵种数远高于洲岸沙质滩涂和洲岸泥质滩涂,这说明与洲岸沙质滩涂和洲岸泥质滩涂相比,洲中央沙质林地植物群落受干扰程度较高。洲中央沙质林地的土壤条件较为肥沃稳定,且没有直接受到河流水动力和潮汐的侵蚀作用,乡土种和外来入侵种都有良好的生存环境,因而其湿地植物资源较为丰富。而洲岸泥质滩涂和洲岸沙质滩涂则不同,湿地植物的生存条件受河流水动力和潮汐的侵蚀作用,根系长期被冲刷和浸泡,绝大部分植物无法根植于此水文环境中,因此只有较少的湿地植物分布于这2种生境中。

### 3.2 闽江福州河段江心洲异质土壤生境湿地植物群落的物种多样性分析

植物群落多样性是植物及其与环境形成的生态复合体,不仅能够度量植物群落的结构特征,而且能指示环境的变化状况<sup>[31]</sup>。总体上看,闽江福州河段江心洲不同土壤生境的整体物种多样性指数,即Margalef指数、Shannon-Wiener指数、Pielou指数和Simpson指数存在显著( $P < 0.05$ )差异,其中,洲中央沙质林地维持较高的物种多样性,其植物物种更为丰富,均匀度更高,群落结构更为稳定,而洲岸沙质滩涂和洲岸泥质滩涂物种多样性较低且二者间差异不显著。郭舜等<sup>[6]</sup>对福建闽江河口湿地植物多样性的研究发现,土壤养分是影响湿地不同植物群落多样性的重要因子。在湿地生态系统中,水分状况直接影响土壤的理化性质,进而造成植物群落的差异<sup>[13]</sup>。洲中央沙质林地的生境条件较好,其土壤是淤积泥沙在成土因子综合作用下进一步熟化的结果,并向成熟耕作土壤方向发育<sup>[18]</sup>,土壤的保肥保水能力较好,且没有直接受到河流水动力和潮汐的侵蚀作用,给植物提供了良好的生长环境;而洲岸沙质滩涂和洲岸泥质滩涂的生境条件较差,其土壤主要是由较新淤积的泥沙组成,发育较浅<sup>[18]</sup>,在周期性河流水动力和潮汐的侵蚀作用下,土壤养分极易流失,只适于耐周期性水淹的少数植物生存,这导致了洲中央沙质林地的物种多样性水平高于洲岸沙质滩涂和洲岸泥质滩涂。

在同一植物层次上,洲中央沙质林地乔木层、灌木层和草本层的多样性水平较高;洲岸泥质滩涂乔木



层的多样性水平较高,而灌木层和草本层的多样性水平较低;洲岸沙质滩涂乔木层、灌木层和草本层的多样性均处于较低水平。在湿地生态系统中,土壤理化性质的变化会造成湿地植物群落物种多样性的差异<sup>[13]</sup>。洲中央沙质林地的土壤保肥保水能力较好,这是其乔木层、灌木层和草本层多样性水平较高的主要原因,而洲岸沙质滩涂土壤发育较浅,加上周期性河流水动力和流水的侵蚀作用,土壤养分极易流失,很难为植物提供充足的养分,因此,洲岸沙质滩涂各层次的多样性处于较低水平。洲岸泥质滩涂乔木层也能够维持较高的多样性水平,一方面可能是因为洲岸泥质滩涂虽面临与洲岸沙质滩涂一样的水土环境,但其土壤属于粘性土壤,能截留河水带来的部分养分,可为乔木幼苗生长发育提供养分;另一方面,土壤颗粒粗细可反映河流水动力的大小<sup>[32]</sup>,洲岸泥质滩涂的粘质土壤颗粒明显小于洲岸沙质滩涂的沙质土壤颗粒,该生境受到流水的侵蚀作用更弱,流水侵蚀对植物的冲刷力较小,为乔木幼苗的生长发育提供可能的生存空间。灌木层和草本层植物绝大多数属于林下植物,对光照等资源的响应更为敏感,而乔木层的空间郁闭度较高,灌木层和草本层植物缺乏光照,在一定程度上抑制了灌木层和草本层植物的生长<sup>[33-34]</sup>,因而导致洲岸泥质滩涂灌木层和草本层的多样性水平较低。

### 3.3 闽江福州河段江心洲异质土壤生境指示种分析

枫杨根系发达,不仅对淹水胁迫有很强的生态适应性,可耐长时间水淹,而且较耐土壤贫瘠,还具有一定的耐旱性<sup>[35-37]</sup>。因此,枫杨能够适应洲岸泥质滩涂长期的周期性水淹,既能忍受水淹胁迫,又能忍耐水位下降后的干旱胁迫,与此同时,枫杨还耐土壤贫瘠,即使洲岸泥质滩涂的土壤理化性质因河流水动力发生了变化,枫杨都能适应该土壤生境条件,这一生态习性导致了枫杨在洲岸泥质滩涂中分布广、数量较多,成为洲岸泥质滩涂的指示种。闫小红等<sup>[38]</sup>研究认为,白花鬼针草的果实(瘦果)具有干旱适应性,有助于其在原生境的种群延续以及新环境的扩散繁殖。与洲岸沙质滩涂和洲岸泥质滩涂相比,洲中央沙质林地相对远离闽江,土壤水分含量相对较低。白花鬼针草对干旱环境的自我调节能力及其生长、发育、繁殖没有受到水淹胁迫,使其在洲中央沙质林地较干旱的土壤生境中广泛分布,且数量繁多,成为洲中央沙质林地的指示种。

### 3.4 闽江福州河段江心洲异质土壤生境修复建议

洲岸滩涂受到河流水动力和潮汐的侵蚀作用,水土和沉积等物理条件的改变使得其景观和生态系统不断变化。洲岸沙质滩涂受江水的侵蚀作用最大,其生境更为敏感和脆弱,应优先对其进行生境修复。可通过建设生态驳岸和合理延长闽江江心洲水陆交错带修复洲岸沙质滩涂。

与洲岸沙质滩涂相比,洲岸泥质滩涂受到河流水动力和潮汐的侵蚀作用较小,河流冲刷速度较为缓慢,为增加自然种植提供了可能性。洲岸泥质滩涂的生境修复应顺应水文节律的自然趋势,合理增加自然种植,如种植既耐水淹又耐干旱的枫杨,同时保持闽江江心洲湿地的特有景观和生态系统。还可针对不同的鸟类,丰富栖息环境,保护鸟类需要的沼泽和灌木丛等栖息环境。

洲中央沙质林地受人类开垦活动的干扰尤为严重。经现场踏查发现,随着快速的城镇化,洲中央大部分的林地被用作耕地、牧场、园林绿化苗圃以及建筑用地等。基于洲中央沙质林地的生境修复,应通过退耕还林还草以及尽量减少人类活动干扰等措施调整洲中央土地利用,构建闽江江心洲弹性生态景观。

**致谢:** 福建农林大学金山学院刘佳佳和吴怡婧同学以及福建农林大学园林学院范娟同学参与闽江福州河段江心洲湿地植物调研,谨致谢忱!

#### 参考文献:

- [1] 姚新治,王鑫宇,胡永歌,等. 郑州沿黄湿地草本植物群落多样性研究[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(1): 186-191.
- [2] 刘俊娟. 丹江湿地植物多样性特征及其环境影响因素[J]. 西南农业学报, 2021, 30(12): 2811-2819.
- [3] 李静,王恒,胡杰,等. 宁武老师傅海湿地植物物种多样性及其与环境因子的关系[J]. 生态学杂志, 2021, 40(4): 950-958.
- [4] WANG R, HUANG W, CHEN L, et al. Anatomical and physiological plasticity in *Leymus chinensis* (Poaceae) along large-scale longitudinal gradient in Northeast China [J]. PLoS ONE, 2011, 6(11): e26209.
- [5] 余轩,王兴,吴婷,等. 荒漠草原植物多样性恢复与土壤生境的关系[J]. 生态学报, 2021, 41(21): 8516-8524.
- [6] 郭舜,黄启堂. 闽江河口湿地植物多样性与土壤养分和微生物因子关联分析[J]. 水土保持研究, 2021, 28(3): 30-37.
- [7] 余飞燕,叶鑫,周润惠,等. 金马河温江段河岸带不同生境植物物种多样性与土壤理化性质的动态变化[J]. 热带亚热带植物学报, 2021, 29(1): 1-8.
- [8] 卢洋. 漓江河心洲植被演替及其修复机制研究[D]. 北京: 北



- 京林业大学, 2016: 85-93.
- [9] CORRELL D L. Principles of planning and establishment of buffer zones[J]. *Ecological Engineering*, 2005, 24(5): 433-439.
- [10] SAUNDERS A, NORTON D A. Ecological restoration at Mainland Islands in New Zealand[J]. *Biological Conservation*, 2001, 99(1): 109-119.
- [11] SMALE M C, WHALEY P T, SMALE P N. Ecological restoration of native forest at Aratiatia, North Island, New Zealand[J]. *Restoration Ecology*, 2001, 9(1): 28-37.
- [12] 王 军, 严有龙, 王金满, 等. 闽江流域生境质量时空演变特征与预测研究[J]. *生态学报*, 2021, 41(14): 5837-5848.
- [13] 齐 睿, 王春平, 李子豪, 等. 不同积水生境对河南黄河湿地植物多样性的影响[J]. *生态学报*, 2021, 41(21): 8578-8588.
- [14] 夏莹莹, 郝丙青, 江泽鹏, 等. 广西油茶人工林下植物多样性区域变化规律[J]. *生态学报*, 2020, 40(10): 3507-3518.
- [15] 方 红, 陈秀玲, 张雪琼, 等. 闽江福州段与城市内河表层沉积物重金属污染特征研究[J]. *环境科学学报*, 2016, 36(4): 1160-1168.
- [16] 郭晓英, 陈兴伟, 陈 莹, 等. 气候变化与人类活动对闽江流域径流变化的影响[J]. *中国水土保持科学*, 2016, 14(2): 88-94.
- [17] 高 会, 李家兵, 何 涛, 等. 闽江河口典型植被群落带及交错带植物-土壤体系中硅素的分布特征[J]. *水土保持学报*, 2017, 31(1): 279-285.
- [18] 余 健, 廖媛媛, 张平究, 等. 长江下游江心洲土壤颗粒特征及分形规律[J]. *生态学杂志*, 2012, 31(3): 626-631.
- [19] 漆光超. 漓江水陆交错带植物群落分类的研究[D]. 桂林: 广西师范大学, 2018: 5-7.
- [20] 丁月萍. 桂林市叠彩区湿地植物群落生态学研究[D]. 桂林: 广西师范大学, 2020: 11-12.
- [21] 环境保护部. 生物多样性观测技术导则 陆生维管植物: HJ 710.1—2014[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2014: 2.
- [22] 马金双. 中国入侵植物名录[M]. 北京: 高等教育出版社, 2018: 2-176.
- [23] 马 洁, 薛建辉, 吴永波, 等. 贵州省喀斯特山地3种人工林林下植物多样性和地上部生物量及其相关性[J]. *植物资源与环境学报*, 2021, 30(1): 17-26.
- [24] 刘 端, 赵莉娜, 鲁丽敏, 等. 广西生物多样性保护优先区筛选[J]. *植物资源与环境学报*, 2022, 31(2): 1-9.
- [25] 杨佳伟, 刘学全, 彭晓宏, 等. 鄂北不同程度石漠化环境植物多样性与土壤物理性质[J]. *水土保持研究*, 2020, 27(6): 100-106, 115.
- [26] 何雅琴, 曾纪毅, 陈国杰, 等. 福建省连江县6个海岛维管植物资源调查与分析[J]. *热带作物学报*, 2021, 42(7): 2102-2108.
- [27] 唐淑玲, 陈新艳, 朱艺耀, 等. 福建被子植物分布新记录[J]. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2022, 51(1): 121-122.
- [28] 李志鹏, 赵 健, 陈业滨, 等. 福建省主要入侵植物空间分异及其影响因素[J]. *应用生态学报*, 2019, 30(8): 2682-2690.
- [29] 罗娅婷, 王泽明, 崔现亮, 等. 白花鬼针草的繁殖特性及入侵性[J]. *生态学杂志*, 2019, 38(3): 655-662.
- [30] 汤 娜, 王志泰, 包 玉, 等. 城市基质对城市遗存自然山体植物群落物种多样性的影响: 以贵阳市为例[J]. *生态学报*, 2022, 42(15): 6320-6334.
- [31] 李 强, 何国兴, 刘志刚, 等. 东祁连山高寒草甸植被特征和生物多样性对生境的响应[J]. *草地学报*, 2022, 30(1): 169-177.
- [32] 张保华, 何毓蓉, 徐 佩, 等. 紫色丘陵区小流域侵蚀沉积断面构型及土壤颗粒分形特征[J]. *水土保持学报*, 2004, 18(6): 136-139.
- [33] 高 钰, 李 旭, 苏兰蕊, 等. 山西省二郎山国家森林公园主要森林群落植物多样性研究[J]. *林业资源管理*, 2019(5): 150-156.
- [34] 曹晓栋, 杨 波, 黄 梅, 等. 贵州省宽阔水国家级自然保护区草本植物区系及物种多样性研究[J]. *西北植物学报*, 2021, 41(9): 1559-1569.
- [35] 庞宏东, 胡兴宜, 胡文杰, 等. 淹水胁迫对枫杨等3个树种生理生化特性的影响[J]. *中南林业科技大学学报*, 2018, 38(10): 15-20, 26.
- [36] 吕 茜, 魏 虹, 李昌晓. 土壤水分条件对枫杨幼苗光合生理的影响[J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2010, 32(3): 116-123.
- [37] 刘润红, 姜 勇, 常 斌, 等. 漓江河岸带枫杨群落主要木本植物种间联结与相关分析[J]. *生态学报*, 2018, 38(19): 6881-6893.
- [38] 闫小红, 曾建军, 周 兵, 等. 干旱胁迫对白花鬼针草异型瘦果萌发与幼苗生长的影响[J]. *生态学杂志*, 2019, 38(11): 3327-3334.

(责任编辑: 张明霞)