

# 闽江福州段自生草本植物生态位和种间联结研究

谢婉丽<sup>1</sup>, 王奇悦<sup>1</sup>, 王秋雪<sup>1</sup>, 甘婉怡<sup>1</sup>, 武艳芳<sup>2</sup>, 黄柳菁<sup>1\*</sup>

(1. 福建农林大学风景园林与艺术学院, 福州 350002; 2. 棕榈生态城镇发展股份有限公司, 郑州 450000)

**摘要:** 为了解闽江福州段自生草本植物群落的功能、组成和演替趋势, 采用生态位测定、方差比率(VR)、 $\chi^2$  检验等方法, 结合联结系数(AC)、Spearman 秩相关检验和 M. Godron 稳定性测定法, 研究了自生草本植物群落生态位、种间联结特征和群落稳定性。结果表明, 自生草本植物群落优势种的生态位相似性和生态位重叠指数普遍较低, 种间竞争不激烈。重要值和生态位宽度较大的物种多为入侵植物, 易对乡土植物造成威胁。群落优势种总体上呈不显著正联结;  $\chi^2$  检验结果、联结系数、Spearman 秩相关结果正联结优势不明显, 表明群落优势种的种间联结性较弱、稳定性较差, 各物种趋于独立分布。M. Godron 分析结果表明, 群落目前处于不稳定状态。城市沿江立地条件差, 且存在水淹干扰和人为干扰现象, 导致自生草本植物群落不稳定, 仍处于演替前期。

**关键词:** 闽江; 自生植物; 生态位; 种间联结; 群落稳定性

doi: 10.11926/jtsb.4866

CSTR:32235.14.jtsb.4866

## Niche and Interspecific Association of Spontaneous Herbaceous Plants in Fuzhou Section of Minjiang River

XIE Wanli<sup>1</sup>, WANG Qiyue<sup>1</sup>, WANG Qiuxue<sup>1</sup>, GAN Wanyi<sup>1</sup>, WU Yanfang<sup>2</sup>, HUANG Liujing<sup>1\*</sup>

(1. College of Landscape Architecture and Art, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Palm Eco-Town Development Co., Ltd. Zhengzhou 450000, China)

**Abstract:** In order to understand the function, composition and succession trend of autoherbous community in Fuzhou section of the Minjiang River, the ecological niche, interspecific association and community stability of autoherbous communities were studied by using niche determination, variance ratio (VR),  $\chi^2$  test, association coefficient (AC), Spearman rank correlation test and M. Godron stability methods. The results showed that niche similarity and niche overlap index of dominant species in autoherbous communities were generally low, and inter-specific competition was not intense. Most of the species with large importance value and niche width were invasive plants, which were easy to threaten native plants. The dominant species in the community showed no significant positive association on the whole. The results of  $\chi^2$  test, association coefficient, and Spearman rank correlation showed that the positive association was not obvious, indicating that the interspecific association and stability of the dominant species in the community were weak, and each species tended to distribute independently. The results of M. Godron analysis showed that the community was currently in an unstable state. Due to the harsh conditions along urban river, flooding interference and human disturbance, the autoherbous community was unstable and still in the early stage of succession.

**Key words:** Mingjiang; Autoherbous plant; Ecological niche; Interspecific association; Community stability

收稿日期: 2023-10-30 接受日期: 2024-01-08

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)资助

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 32071578), and the Project for Natural Science in Fujian (Grant No. 2021J01133).

作者简介: 谢婉丽(1998年生), 女, 硕士研究生, 主要从事植物生态学研究。E-mail: wanlinine@163.com

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huanglj@fafu.edu.cn

河岸带又称河岸缓冲带,是指水陆交界区的两侧,受河流影响直至消失的地带,是水陆物种源和野生动植物的重要栖息地,也是全球生态恢复研究的热点区域<sup>[1]</sup>。河岸植被是河岸带生态系统功能正常发挥及维持健康的水道和景观连通性的先决条件<sup>[2]</sup>。而城市河岸带由于周边区域人口密集、城市化进程快速,河岸植被缓冲带结构易遭到破坏,导致生物多样性损失、河岸生境退化<sup>[3]</sup>。闽江位于中亚热带和南亚热带的过渡区,是福建省最大的独流入海河流,其对于维护流域生态安全发挥着重要作用<sup>[4]</sup>。近年来人类对闽江沿岸进行大规模的开发利用,如开挖土地、建设道路、农业耕种等,加之属于感潮河段,沿岸存在不同程度的水淹干扰,导致闽江福州段植被受到人为干扰和水文胁迫的双重影响,面临着生境高度异质性的危险,亟需研究与保护。

物种的生态位、种间联结、群落稳定性特征常用于反映群落中不同物种对资源的竞争关系以及群落间的稳定共存关系<sup>[5-6]</sup>。其中,生态位是种群在群落内时间和空间上所占据的地位及种间功能关系和相互作用的综合反映<sup>[7]</sup>;种间联结是不同物种间在特定空间分布中的相互关系<sup>[8]</sup>,有助于认识和分析群落的形成和演替;群落稳定性是群落内部各种关系综合作用的结果,反映了外部条件改变时,群落自我调节、保持稳定的能力。

随着城市建设的不断发展,大量土地逐渐沦为闲置地,这些地区通常因缺乏人工管理而形成自然荒野景观<sup>[9]</sup>,成为自生植物的主要生存空间,这些自生植物在城市生态系统中发挥着重要作用,有助于维护城市的生态平衡,为当地的鸟类和昆虫提供了栖息地和食物来源<sup>[10]</sup>。尤其等<sup>[9]</sup>和李雨晗等<sup>[11]</sup>对自生植物生态位和种间联结的研究表明群落总体呈显著不联结,群落结构不稳定,存在人为干扰等现象,需要加强生态修复工作,增强群落稳定性。因此,研究沿江自生植物的生态位、种间联结和群落

稳定性,有助于揭示自生植物群落的分布模式和群落演替,具有重要意义。

因此,本研究以闽江福州段自生草本植物为对象,研究该区域内自生草本植物的种间关系、群落稳定性特征以及群落演替进程,为闽江福州段植被生态恢复与重建提供有益参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

闽江位于 116°23'~119°35'E, 25°23'~28°16'N,流域面积  $6.01 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,水系发达,干支流自西向东流经 36 个县(市)。闽江流域属于亚热带海洋性季风气候,四季分明,温暖湿润<sup>[12]</sup>。闽江以南平、水口为界分为上游、中游、下游三段。本研究进行植物调查的河段为闽江下游。闽江下游主要流经福州,长度约为 115 km,年平均降水量为 900~2 100 mm,年平均气温为 20 °C~25 °C,丰富的水热资源为植物的生长提供了良好条件,存在大量自生植物资源<sup>[13]</sup>。

### 1.2 群落调查

2023 年 3 月—8 月,在预调查的基础上,沿闽江福州段沿岸设置 35 个 10 m×10 m 的样地,位置分布见图 1。样地位于自然或半自然生境中自生草本植物生长分布较好的地段,且距江边不超过 10 m<sup>[11]</sup>,每块样地内尽量选取没有人工栽培植物、具有代表性的 3 个 1 m×1 m 的草本样方进行调查,共计 105 个样方。记录每个样方中自生草本植物的物种名称、盖度、株数等指标,并记录每个样方经纬度、海拔、坡度、坡向等生境指标。所记录样方的海拔跨度为 0.90~27.17 m,坡度为 2°~35°,包含大部分坡向类型,部分样地由于潮水涨落,存在不同程度的水淹干扰。

同时,调查还发现样地存在不同程度的人为干扰现象(表 1)。借鉴已有研究的干扰度分级分类标

表 1 样地主要人为干扰方式和干扰内容

Table 1 Main artificial disturbance ways and disturbance contents of sample

| 干扰方式<br>Disturbance way | 干扰内容<br>Disturbance content | 干扰形式<br>Disturbance form | 干扰强度<br>Interference intensity | 样地数<br>Sample number |
|-------------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------------|----------------------|
| 踩踏                      | 小径、泥土裸露、岩石裸露                | 践踏                       | 1 微弱                           | 11                   |
| 复垦                      | 菜地、农田                       | 翻新平整                     | 2 中度                           | 7                    |
| 工程建设                    | 硬质地基、建筑物                    | 开挖浇筑                     | 3 较强                           | 3                    |
| 工程开挖                    | 硬质防护、绿植性防护                  | 开挖                       | 3 较强                           | 4                    |
| 公园化利用                   | 园路、公园绿化                     | 建设                       | 3 较强                           | 10                   |

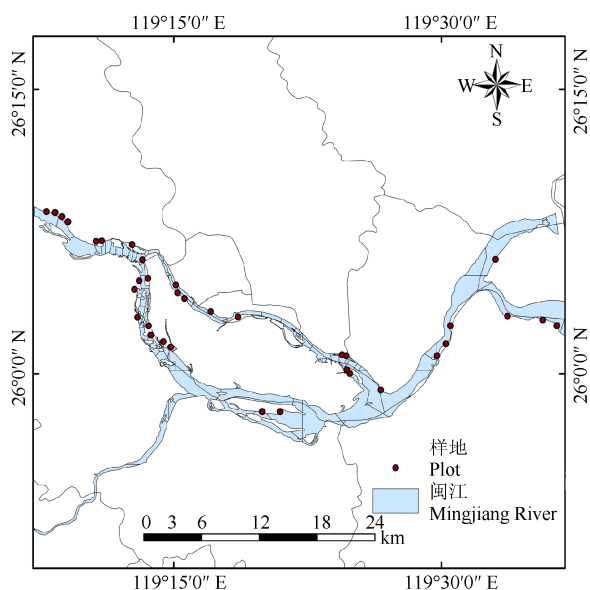


图1 研究区域

Fig. 1 Study area

准、土地利用现状分类标准(GB/T 21010—2017)、城市用地分类与规划建设用地标准(GB 50137—2011)等资料及前人相关研究<sup>[14-16]</sup>并结合研究区的实际情况,确定样地的主要人为干扰方式。

### 1.3 数据处理

重要值=(相对多度+相对盖度+相对频度)/3×100%。

对重要值排前20的物种进行生态位和种间联结分析。利用 Levins 指数( $B_L$ )和 Shannon 指数( $B_S$ )计算物种的生态位宽度,采用 Pianka 生态位重叠指数( $O_{ik}$ )和 Schoener 生态位相似性指数( $C_{ik}$ )测定物种间生态位重叠程度和生态位相似性<sup>[17-18]</sup>。

采用 Schluter 提出的方差比率法( $VR$ )检验草本植物群落物种间的总体联结性,在独立性假设条件下  $VR$  期望值为1,即种间总体无关联;若  $VR>1$ ,表示物种间总体呈正关联;若  $VR<1$ ,表示物种间总体呈负关联。并用统计量  $W$  来检验总体联结是否显著<sup>[19]</sup>。 $W$  统计量落入  $\chi^2$  分布的 90% 置信区间  $\chi^2_{0.95}<W<\chi^2_{0.05}$  中表示关联不显著,反之则表示关联显著。

种间联结性分析。考虑取样非连续性,以 Yates 连续校正公式纠正的  $\chi^2$  统计量进行定性分析。由于  $\chi^2$  值不能定量区分联结强度,AC 联结系数能反映种间联结性的相对强弱, Spearman 秩相关系数能进一步分析由  $\chi^2$  所测结果并反映物种间显著性和关联强度<sup>[20]</sup>,故结合 AC 联结系数和 Spearman 秩相关系数来测定种间联结性。选取的种间关联性分

析的物种重要值均大于2,可以有效地克服上述指数存在的缺陷。

采用 M. Godron 法<sup>[21]</sup>分析群落稳定性。对闽江福州段自生草本植物群落的物种数量倒数百分率和对应的累积相对频度,建立平滑曲线模型( $y=ax^2+bx+c$ ,其中  $y$  表示某一群落物种累积相对频度,  $x$  表示群落中物种总数倒数的累积),再与直线  $y=100-x$  相交,得到交点坐标。交点坐标即为植物群落的稳定性比值。计算出的交点坐标越接近群落稳定点坐标(20, 80),该植物群落越稳定。

采用 Excel 2019 和 R 4.3.1 进行数据处理。其中生态位和种间联结性分析用 R 4.3.1 spaa 程序包进行计算和绘图。群落稳定性用 MATLAB R2022b 进行绘图。

## 2 结果和分析

### 2.1 优势种的重要值和生态位

本研究共调查自生草本植物 122 种,隶属于 37 科 96 属,以菊科、禾本科植物为主。将植物按照重要值由大到小进行排序,对前 20 种植物(表 2)进行分析可知,闽江福州段沿岸自生草本植物中菊科植物有 6 种,分别是鬼针草(*Bidens pilosa*)、小蓬草(*Erigeron canadensis*)、假臭草(*Praxelis clematidea*)、黄鹌菜(*Youngia japonica*)、一点红(*Emilia sonchifolia*)、艾(*Artemisia argyi*);禾本科植物有 3 种,分别是牛筋草(*Eleusine indica*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、芦苇(*Phragmites australis*)。自生草本植物优势种生态位宽度变化较大,其中 Levins 生态位宽度( $B_L$ )为 3.63~51.93, Shannon 生态位宽度( $B_S$ )为 1.46~4.09。在闽江优势自生草本植物中,生态位宽度最大的是鬼针草,其  $B_L$  和  $B_S$  分别为 51.93 和 4.09;芦苇的最小,  $B_L$  和  $B_S$  分别为 3.63 和 1.46。Levins 和 Shannon 生态位宽度排序基本一致,但重要值与生态位宽度的变化趋势不一致,如春蓼(*Persicaria maculosa*)重要值较大,但生态位宽度较小。

### 2.2 优势种生态位相似性指数与生态位重叠指数

从表 3 可知,闽江自生草本植物群落优势种 190 个种对的生态位相似性( $C_{ik}$ )为 0.00~0.45,平均为 0.08,生态位相似性为 0.10~0.50 的种对有 52 个(占 27.37%), 0.00~0.10 的有 53 对(占 27.89%),  $C_{ik}$  为 0 的有 85 对(占 44.44%)。匙叶合冠鼠曲(*Gamochaeta pensylvanica*)和附地菜(*Trigonotis peduncularis*)

表 2 自生草本植物优势种的重要值和生态位宽度

Table 2 Importance value and niche width of dominant species of autoherbous plants

| 编号<br>No. | 植物<br>Species                            | 重要值<br>Importance value /% | 生态位宽度 Niche width |                   |
|-----------|------------------------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------|
|           |                                          |                            | Levins ( $B_L$ )  | Shannon ( $B_S$ ) |
| 1         | 鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>                 | 31.81                      | 51.93             | 4.09              |
| 2         | 小蓬草 <i>Erigeron canadensis</i>           | 24.73                      | 27.65             | 3.73              |
| 3         | 酢浆草 <i>Oxalis corniculata</i>            | 15.83                      | 25.62             | 3.42              |
| 4         | 牛筋草 <i>Eleusine indica</i>               | 11.11                      | 24.71             | 3.27              |
| 5         | 假臭草 <i>Praxelis clematidea</i>           | 10.51                      | 19.95             | 3.11              |
| 6         | 少花龙葵 <i>Solanum americanum</i>           | 8.40                       | 14.82             | 2.85              |
| 7         | 黄鹌菜 <i>Youngia japonica</i>              | 8.05                       | 12.12             | 2.75              |
| 8         | 一点红 <i>Emilia sonchifolia</i>            | 5.57                       | 12.37             | 2.57              |
| 9         | 狗尾草 <i>Setaria viridis</i>               | 5.50                       | 12.19             | 2.57              |
| 10        | 红花酢浆草 <i>Oxalis corymbosa</i>            | 4.79                       | 9.16              | 2.29              |
| 11        | 春蓼 <i>Persicaria maculosa</i>            | 4.74                       | 5.84              | 1.82              |
| 12        | 艾 <i>Artemisia argyi</i>                 | 4.43                       | 7.45              | 2.23              |
| 13        | 飞扬草 <i>Euphorbia hirta</i>               | 4.26                       | 9.96              | 2.35              |
| 14        | 匙叶合冠鼠曲 <i>Gamochaeta pensylvanica</i>    | 4.10                       | 6.45              | 2.05              |
| 15        | 短叶水蜈蚣 <i>Kyllinga brevifolia</i>         | 4.07                       | 6.36              | 2.04              |
| 16        | 葎草 <i>Humulus scandens</i>               | 3.66                       | 7.08              | 2.07              |
| 17        | 附地菜 <i>Trigonotis peduncularis</i>       | 3.63                       | 7.15              | 2.05              |
| 18        | 香附子 <i>Cyperus rotundus</i>              | 3.14                       | 4.65              | 1.66              |
| 19        | 喜旱莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i> | 3.00                       | 5.63              | 1.83              |
| 20        | 芦苇 <i>Phragmites australis</i>           | 2.91                       | 3.63              | 1.46              |

表 3 自生草本植物优势种对的生态位相似性指数

Table 3 Niche similarity index of dominant species pairs of autoherbous plants

| 植物<br>Species | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20 |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| 1             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| 2             | 0.40 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| 3             | 0.25 | 0.31 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| 4             | 0.24 | 0.24 | 0.19 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| 5             | 0.25 | 0.27 | 0.13 | 0.38 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| 6             | 0.15 | 0.27 | 0.25 | 0.14 | 0.07 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| 7             | 0.05 | 0.10 | 0.27 | 0.16 | 0.11 | 0.23 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| 8             | 0.11 | 0.16 | 0.17 | 0.16 | 0.28 | 0.06 | 0.00 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| 9             | 0.16 | 0.17 | 0.08 | 0.18 | 0.11 | 0.11 | 0.00 | 0.19 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| 10            | 0.03 | 0.08 | 0.22 | 0.06 | 0.00 | 0.33 | 0.45 | 0.00 | 0.00 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| 11            | 0.02 | 0.00 | 0.02 | 0.02 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| 12            | 0.13 | 0.04 | 0.10 | 0.13 | 0.15 | 0.05 | 0.07 | 0.00 | 0.12 | 0.00 | 0.00 |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| 13            | 0.10 | 0.11 | 0.12 | 0.24 | 0.25 | 0.05 | 0.07 | 0.11 | 0.18 | 0.06 | 0.00 | 0.14 |      |      |      |      |      |      |      |    |
| 14            | 0.05 | 0.05 | 0.29 | 0.11 | 0.03 | 0.21 | 0.21 | 0.00 | 0.00 | 0.25 | 0.02 | 0.00 | 0.06 |      |      |      |      |      |      |    |
| 15            | 0.08 | 0.30 | 0.12 | 0.13 | 0.12 | 0.11 | 0.08 | 0.10 | 0.02 | 0.03 | 0.00 | 0.05 | 0.08 | 0.05 |      |      |      |      |      |    |
| 16            | 0.14 | 0.08 | 0.03 | 0.06 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.06 | 0.06 | 0.00 | 0.17 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |      |      |      |      |    |
| 17            | 0.02 | 0.13 | 0.12 | 0.00 | 0.00 | 0.34 | 0.26 | 0.00 | 0.00 | 0.34 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.42 | 0.20 | 0.00 |      |      |      |    |
| 18            | 0.01 | 0.04 | 0.00 | 0.06 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.17 | 0.00 | 0.37 | 0.00 | 0.21 | 0.00 |      |      |    |
| 19            | 0.12 | 0.09 | 0.03 | 0.03 | 0.14 | 0.08 | 0.00 | 0.09 | 0.20 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.16 | 0.00 | 0.00 |      |    |
| 20            | 0.08 | 0.01 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.15 | 0.14 | 0.00 |    |

1~20 见表 2。下同

1–20 see Table 2. The same below

(0.42)、红花酢浆草(*Oxalis corymbosa*)和黄鹌菜(0.45)生态位相似性比较高。喜旱莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)和附地菜、狗尾草和芦苇、香附子(*Cyperus rotundus*)和喜旱莲子草、春蓼和狗尾草等种对的  $C_{ik}$  为 0。

从表 4 可见, 自生草本植物优势种的生态位重叠值( $O_{ik}$ )为 0.00~0.68, 平均为 0.11,  $O_{ik}$  大于 0.50 的种对有 3 个(占 1.58%), 0.10~0.50 的有 64 对(占

33.68%), 0.00~0.10 的有 52 对(占 27.37),  $O_{ik}$  值为 0 的有 71 对(占 37.37%)。附地菜和匙叶合冠鼠曲(0.59)、黄鹌菜和红花酢浆草(0.62)、短叶水蜈蚣(*Kyllinga brevifolia*)和小蓬草(0.68)的生态位重叠值较高。鬼针草、小蓬草等 7 入侵种与 13 本地种的生态位重叠值为 0.00~0.68, 中位数为 0.06, 平均为 0.12。本地种之间的生态位重叠值为 0.00~0.48, 中位数为 0.04, 平均为 0.09。

表 4 自生草本植物优势种生态位重叠指数

| 植物<br>Species | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20 |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| 1             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| 2             | 0.35 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| 3             | 0.31 | 0.30 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| 4             | 0.34 | 0.22 | 0.27 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| 5             | 0.37 | 0.25 | 0.11 | 0.45 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| 6             | 0.24 | 0.40 | 0.28 | 0.14 | 0.05 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| 7             | 0.04 | 0.07 | 0.34 | 0.13 | 0.09 | 0.31 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| 8             | 0.20 | 0.20 | 0.24 | 0.21 | 0.31 | 0.06 | 0.00 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| 9             | 0.29 | 0.03 | 0.10 | 0.24 | 0.12 | 0.11 | 0.00 | 0.23 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| 10            | 0.05 | 0.08 | 0.26 | 0.11 | 0.00 | 0.42 | 0.62 | 0.00 | 0.00 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| 11            | 0.01 | 0.00 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| 12            | 0.27 | 0.04 | 0.26 | 0.14 | 0.14 | 0.02 | 0.05 | 0.00 | 0.10 | 0.00 | 0.00 |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| 13            | 0.21 | 0.16 | 0.16 | 0.38 | 0.42 | 0.05 | 0.04 | 0.10 | 0.16 | 0.08 | 0.00 | 0.11 |      |      |      |      |      |      |      |    |
| 14            | 0.12 | 0.03 | 0.38 | 0.13 | 0.02 | 0.04 | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.06 | 0.01 | 0.00 | 0.06 |      |      |      |      |      |      |    |
| 15            | 0.14 | 0.68 | 0.18 | 0.12 | 0.11 | 0.18 | 0.03 | 0.09 | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.02 | 0.06 | 0.06 |      |      |      |      |      |    |
| 16            | 0.31 | 0.11 | 0.08 | 0.06 | 0.04 | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.04 | 0.00 | 0.13 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |      |      |      |      |    |
| 17            | 0.06 | 0.29 | 0.20 | 0.00 | 0.00 | 0.48 | 0.31 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.59 | 0.21 | 0.00 |      |      |      |    |
| 18            | 0.03 | 0.09 | 0.00 | 0.09 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.15 | 0.00 |      |      |    |
| 19            | 0.25 | 0.19 | 0.05 | 0.04 | 0.20 | 0.06 | 0.00 | 0.07 | 0.27 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |      |    |
| 20            | 0.17 | 0.02 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.07 | 0.07 | 0.11 | 0.00 |    |

2.3 优势种的种间联结

2.3.1 总体联结性

对自生草本植物优势种总体联结性进行分析可知, 方差比率  $VR=1.07>1$ , 说明优势草本植物整体呈正联结, 统计量  $W=110.18$ , 卡方临界值  $\chi^2_{(0.95, 103)}=80.58$ ,  $\chi^2_{(0.05, 103)}=127.69$ ,  $W$  统计量落入  $\chi^2$  分布的 90%置信区间  $\chi^2_{0.95}<W<\chi^2_{0.05}$  中, 说明闽江自生草本植物优势种总体关联不显著。

2.3.2 种对间联结性

$\chi^2$  检验结果表明(图 2), 20 种自生草本植物优势种构成的 190 个种对中, 呈正联结的有 74 对, 占总种对数的 38.94%; 极显著正联结 4 对, 分别为附地菜和红花酢浆草、黄鹌菜和红花酢浆草、牛筋草和假臭草、牛筋草和飞扬草(*Euphorbia hirta*), 占总

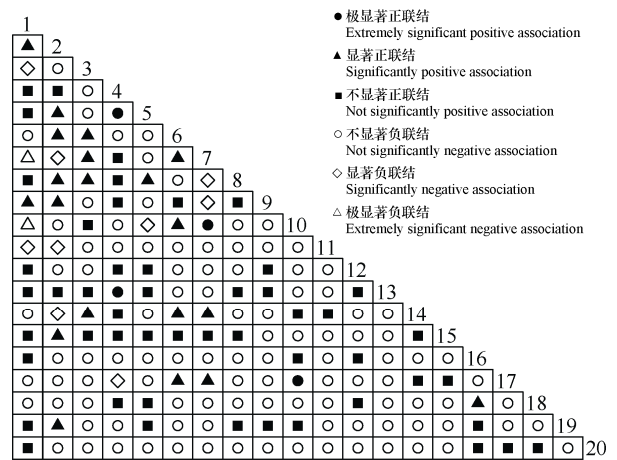


图 2 自生草本植物优势种种间联结性  $\chi^2$  检验半矩阵图

Fig. 2 Semi-matrix diagram of interspecific association of dominant species of autoherbous plants by  $\chi^2$  test

种对数的 2.11%; 显著正联结 20 对, 占总种对数的 10.53%。呈负联结 116 对, 占总种对数的 61.05%; 极显著负联结的种对有鬼针草和黄鹌菜、鬼针草和红花酢浆草 2 对, 占总种对数的 1.05%; 显著负联结 9 对, 占总种对数的 4.74%。正负联结的比值为 0.64, 负联结占优势。

由图 3 可见,  $AC \geq 0.67$  的种对有 6 对, 分别为鬼针草和狗尾草、鬼针草和喜旱莲子草、鬼针草和芦苇、小蓬草和喜旱莲子草、酢浆草和匙叶合冠鼠曲、黄鹌菜和红花酢浆草, 占比 3.16%;  $0.33 \leq AC < 0.67$  的种对有 19 对, 占比 10.00%;  $0.00 \leq AC < 0.33$  的有 49 对, 占比 25.79%;  $-0.33 \leq AC < 0.00$  的有 33 对, 占比 17.37%;  $AC < -0.67$  的有 66 对, 占比 34.74%。

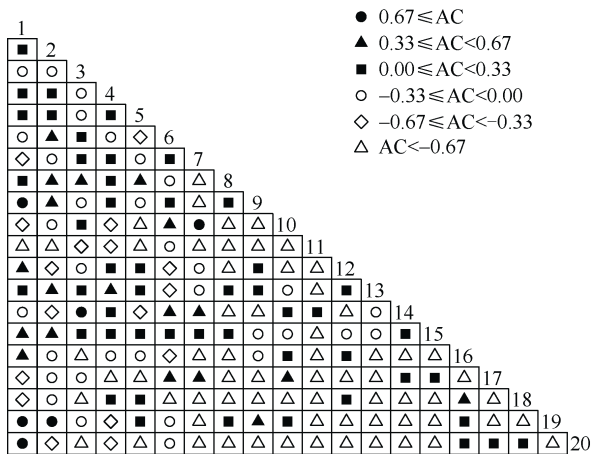


图 3 自生草本植物优势种间联结性 AC 值半矩阵图

Fig. 3 AC semi-matrix diagram of interspecific association of dominant species of autoherbous plants

Spearman 秩相关分析结果表明(图 4), 极显著正联结的有 2 个种对, 分别为黄鹌菜和红花酢浆草、红花酢浆草和附地菜, 占总种对数的 1.05%。极显著负联结的有 3 个种对, 分别为鬼针草和黄鹌菜、鬼针草和红花酢浆草、小蓬草和春蓼, 占总种对数的 1.58%。Spearman 秩相关分析结果与  $\chi^2$  检验结果相比, 正联结种对数减少, 负联结种对数增加, 且极显著和显著水平关联种对高于  $\chi^2$  检验结果。AC 联结系数检验结果与  $\chi^2$  检验结果相比, 极显著负联结种对数由 2 对增至 66 对。

## 2.4 自生草本植物群落稳定性分析

由图 5 可知, 直线方程  $y=100-x$  与平滑曲线方程  $y=-0.0096x^2+1.6x+32$  交点为(29.50, 70.50), 决定

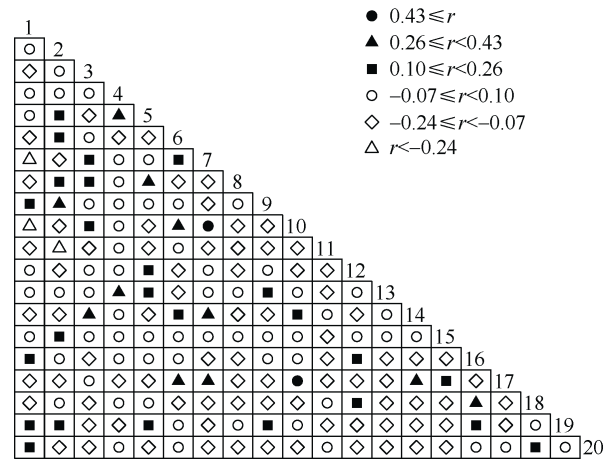


图 4 自生草本植物优势种间联结性 Spearman 秩相关检验半矩阵图

Fig. 4 Semi-matrix diagram of interspecific association of dominant species of autoherbous plants by Spearman rank correlation test

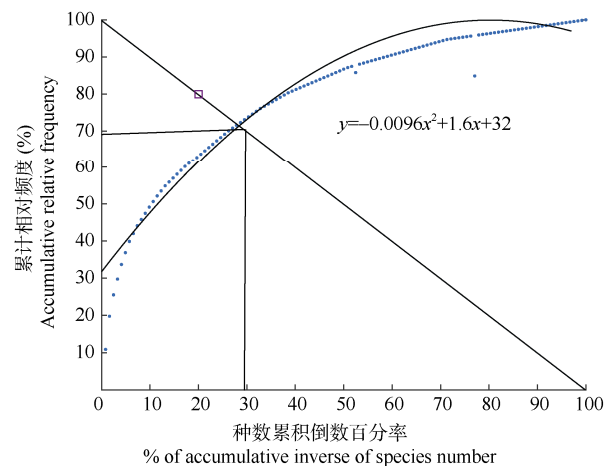


图 5 群落稳定性分析

Fig. 5 Community stability analysis

系数  $R^2=0.9653$ , 拟合效果较理想, 与稳定点坐标 (20, 80) 的欧氏距离为 13.435 0, 偏离较远。

## 3 讨论和结论

### 3.1 自生草本植物优势种重要值与生态位特征

物种重要值和生态位宽度能反映物种在群落中的地位 and 作用<sup>[22]</sup>。在闽江福州段自生草本植物中重要值和生态位宽度较大的植物是鬼针草、小蓬草、酢浆草、牛筋草、假臭草, 入侵植物所占比例为 35%, 随着入侵程度的增加, 植物群落多样性和丰富度将会降低<sup>[23]</sup>。通常物种重要值和生态位宽度越大, 与其他物种间生态位重叠越大<sup>[24]</sup>。在闽江福州段自生草本植物中春蓼等物种重要值较高, 但生

态位宽度较小,说明重要值大小不是决定生态位宽度大小的唯一因素,这与大多数学者的研究结果一致<sup>[11,24]</sup>。此外,生态位宽度也受物种分布频度<sup>[25]</sup>、资源位占有量<sup>[26]</sup>等因素的影响。

生态相似性和生态位重叠值是反映物种之间竞争关系的重要指标,生态位重叠程度越大,说明物种间的生活型和对环境资源的生态需求越相似,竞争可能越激烈<sup>[27]</sup>。闽江福州段自生草本植物优势种生态位相似性和生态位重叠程度普遍较低,说明物种分布较独立,种间关系较稳定。本研究的结果表明入侵种与本地种的生态位重叠指数为 0.00~0.68,中位数为 0.06。张亚芬等<sup>[28]</sup>综合分析了国内已报道的入侵植物与本地植物间的 Pianka 生态位重叠值的频度分布,认为其中位数为 0.315,对比可知闽江福州段自生草本植物入侵种与本地种的生态位重叠值处于较低水平,进一步说明群落内部各物种间(包括外来种和本地种)的竞争较弱。本研究还表明入侵种与本地种的生态位重叠值略高于本地种之间的生态位重叠值,主要原因一是外来植物入侵导致本土植物间的生态位重叠值下降,增加本地植物与外来植物之间的竞争;二是入侵种如鬼针草、小蓬草本身具有较高的生态位宽度,但因群落普遍受到不同程度的干扰,群落各物种尚未形成稳定的协调搭配关系。

### 3.2 自生草本植物优势种种间联结特征

种间联结性可以作为衡量群落结构稳定性的指标,在植物群落的生命周期中发挥着重要作用<sup>[29]</sup>。种对的正负联结之比越大,群落越稳定<sup>[30]</sup>。对闽江福州段自生草本植物优势种种间联结特征进行分析,结果表明其总体关联强度为不显著正联结, $\chi^2$ 检验、联结系数、Spearman 秩相关系数分别为 0.64、0.64、0.25,说明优势种物种间关联性较低,群落结构相对松散、稳定性不高。

本研究中 $\chi^2$ 检验、联结系数、Spearman 秩相关系数分析结果之间存在一定差异,例如红花酢浆草和附地菜在 $\chi^2$ 检验、Spearman 秩相关系数表现为极显著正关联,而在 AC 联结系数中表现为显著正关联,这与不同检验方式导致不同结果有关。AC 联结系数检验结果与 $\chi^2$ 检验结果相比,显著负联结种对数明显增加。原因主要有 2 个方面:第一, $\chi^2$ 检验是由物种在样方中的有-无数据得来,在一定程度上弱化了种间关联,不可避免地会损失信息量<sup>[31-32]</sup>;第二,在 AC 联结系数中,当  $a=0$  时,AC 夸大了 2

物种均不出现的联结性,导致负联结种对要多于正联结种对<sup>[33]</sup>。Spearman 秩相关分析结果与 $\chi^2$ 检验结果相比,正联结种对数减少,负联结种对数增加,且极显著和显著水平关联种对高于 $\chi^2$ 检验结果。原因是 Spearman 秩相关分析检验灵敏度更高,能够深层次、定量反映种间联结的强度大小与显著程度<sup>[34]</sup>。因此,采用 Spearman 秩相关系数能对前 2 种方法进行相互补充,3 种检验方法能更准确地检验闽江福州段自生草本植物种间的关联性。

种间的正联结反映了物种具有相近生物学特性和相似生境,体现了生态位重叠和物种利用资源的相似性<sup>[35]</sup>。在闽江福州段自生草本植物优势种中,牛筋草和飞扬草、假臭草和一点红、小蓬草和狗尾草等种对在 3 种检验方法中均呈极显著或显著正联结,表现出对相似环境条件的适应性与资源偏好的同时,也表明牛筋草、一点红、狗尾草等本地种对飞扬草、假臭草、小蓬草等入侵植物有一定抵抗性,使各物种相互兼容进而呈现种间正联结。

由资源竞争导致种对间负联结,物种生态位重叠程度往往较高,而生境差异导致种对间负联结,生态位重叠程度往往较低<sup>[36]</sup>。本研究中春蓼和鬼针草、春蓼和小蓬草、芦苇和短叶水蜈蚣、芦苇和狗尾草等显著负联结种对的生态位重叠指数为 0.00,原因是芦苇、春蓼喜生于低湿沟地等土壤较为湿润的地方,鬼针草、短叶水蜈蚣、小蓬草等喜生于荒地、路边等较为干旱贫瘠的环境,生境差异较大,很难在一个资源位中同时出现,物种间潜在竞争较少。

### 3.3 自生草本植物的稳定性特征

利用 M. Godron 法对闽江福州段自生草本植物群落的稳定性进行分析,结果表明交点为(29.50, 70.50),与稳定点坐标(20, 80)偏离较远,说明该群落未达到稳定状态,与群落总体联结性和种对间联结性结论一致,三者可以相互印证说明群落的稳定状态。导致群落不稳定可能有以下 4 个原因:第一,物种组成以一年生草本植物为主,群落结构和功能不稳定,易导致鬼针草、小蓬草等具有较高繁殖力的外来植物入侵该区域群落。第二,植被正位于演替初期,在此过程中,群落物种组成和结构发生快速变化,种间关系不稳定。第三,群落受到人为干扰和水文胁迫的影响。随着闽江福州段开发利用强度增大,自生草本植物适宜生境骤减,仅存的生境又受到踩踏、农耕等干扰,对城市沿岸自生草本植

物的生存发展、群落演替造成不可逆的影响。并且,闽江福州段自生草本植物中菊科和禾本科占比最高,与王云霄等<sup>[37]</sup>对福州自生植物的调查结果一致,也反映了闽江沿岸立地条件差,先锋植物最先进入的特点<sup>[10]</sup>。此外,闽江福州段属于感潮河段,长期水淹会降低部分自生草本植物的存活率,弱化群落种间关系,坡度坡向的不同也会导致生境内的光照、土壤水分和养分以及土壤厚度等资源的差异性,进而导致物种间对资源的利用性竞争,种对间往往呈现负相关<sup>[38]</sup>,进而影响群落稳定性。第四,鬼针草等入侵植物可通过化感作用、繁殖能力和资源利用能力抑制或排斥本地物种,与本研究入侵种与本地种的生态位重叠值特征相印证。

本研究中,闽江福州段沿岸自生草本植物群落优势种总体呈不显著正联结,筛选出 20 种优势种,在由其组成的 190 对种对中,正负联结比值小于 1,结合群落稳定性分析,可知闽江福州段自生草本植物群落不稳定,仍处于演替前期。较差的立地条件和人为干扰导致群落种间关联性较低,群落结构较松散。鬼针草和喜旱莲子草等种对由于对环境资源需求较相似,产生生态位重叠进而呈现显著正联结。同时,鬼针草、小蓬草、假臭草等入侵植物能与较多物种表现出显著的正联结状态,其具有较强的适应能力或表型可塑性,能迅速占领生境,与本地植物产生竞争。因此,在闽江福州段沿岸自生草本植物的保护和建设中,有 2 点建议:一是可以采用低维护模式,减少人为干扰,并适度清理鬼针草、小蓬草等入侵性强、竞争激烈的种类,增强群落稳定性;二是采用替代控制法,考虑种植一点红、狗尾草等对假臭草、小蓬草等入侵植物有一定抵抗力和相似环境适应性的本土植物,或芦苇等对资源需求重合度较低的物种,以期实现对入侵种的生态控制,减少种间恶性竞争。

## 参考文献

- [1] CAPON S J, PETTIT N E. Turquoise is the new green: Restoring and enhancing riparian function in the Anthropocene [J]. *Ecol Manag Restor*, 2018, 19(S1): 44–53. doi: 10.1111/emr.12326.
- [2] KUGLEROVÁ L, KIELSTRA B W, MOORE R D, et al. Importance of scale, land-use, and stream network properties for riparian plant communities along an urban gradient [J]. *Freshw Biol*, 2019, 64(3): 587–600. doi:10.1111/fwb.13244.
- [3] GUO E H, YANG X T, CHEN L D. Research of resident's perceptions to ecological functions of riparian buffers and their preferences for river landscape [J]. *Chin Landscape Archit*, 2017, 33(1): 95–99. [郭二辉, 杨喜田, 陈利顶. 河岸带生态功能认知及河流景观偏好的调查研究 [J]. *中国园林*, 2017, 33(1): 95–99. doi: 10.3969/j.issn.1000-6664.2017.01.019.]
- [4] HE T, SUN Z G, LI J B, et al. Spatial distributions of total sulfur contents in plant-soil systems of the typical marshes with different flooding regimes in the Min River estuary [J]. *J Soil Water Conserv*, 2016, 30(5): 246–254. [何涛, 孙志高, 李家兵, 等. 闽江河口不同淹水环境下典型湿地植物-土壤系统全硫含量空间分布特征 [J]. *水土保持学报*, 2016, 30(5): 246–254. doi: 10.13870/j.cnki.stbxb.2016.05.041.]
- [5] ROUSSET O, LEPART J. Positive and negative interactions at different life stages of a colonizing species (*Quercus humilis*) [J]. *J Ecol*, 2000, 88(3): 401–412. doi:10.1046/j.1365-2745.2000.00457.x.
- [6] ZHANG L N, ZHU G Q, YANG K, et al. Niche and interspecific association of main woody plants in *Myrica nana* shrubland in central Yunnan, China [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2022, 46(11): 1400–1410. [张零念, 朱贵青, 杨宽, 等. 滇中云南杨梅灌丛主要木本植物生态位与种间联结 [J]. *植物生态学报*, 2022, 46(11): 1400–1410. doi: 10.17521/cjpe.2021.0305.]
- [7] JIANG H, ZHANG H, LONG W X, et al. Interspecific associations and niche characteristics of communities invaded by *Decalobanthus boissianus* [J]. *Biodiv Sci*, 2019, 27(4): 388–399. [江焕, 张辉, 龙文兴, 等. 金钟藤入侵群落的种间联结及生态位特征 [J]. *生物多样性*, 2019, 27(4): 388–399. doi: 10.17520/biods.2019007.]
- [8] RUAN P Z, WANG B, ZHONG Y Q, et al. Interspecific association and community stability analysis of dominant trees and shrubs in the concomitant community of *Camellia flavida* Hung T. Chang [J]. *Plant Sci J*, 2024, 42(2): 170–180. [阮梓臻, 王斌, 钟艺倩, 等. 淡黄金花茶伴生群落优势乔木的种间联结及群落稳定性分析 [J]. *植物科学学报*, 2024, 42(2): 170–180. doi: 10.11913/PSJ.2095-0837.23147.]
- [9] YOU Q, SHANG N, DAI W Y, et al. Interspecific associations and soil factors of volunteer plants in urban vacant land: A case study of Zhengzhou Beilonghu Park [J]. *J NW For Univ*, 2023, 38(5): 270–278. [尤其, 商妞, 代挽玉, 等. 城市闲置地自生植物种间联结及土壤因子分析——以郑州北龙湖公园为例 [J]. *西北林学院学报*, 2023, 38(5): 270–278. doi: 10.3969/j.issn.1001-7461.2023.05.35.]
- [10] WANG M, WANG H B. Distribution pattern of spontaneous species and influencing factors in three landuse types of Shanghai [J]. *J NW For Univ*, 2021, 36(6): 266–273. [王沫, 王红兵. 上海 3 种用地类型的自生植物分布格局及其影响因素 [J]. *西北林学院学报*, 2021, 36(6): 266–273. doi: 10.3969/j.issn.1001-7461.2021.06.38.]
- [11] LI Y H, DING Y F, ZHANG C W. Niche and interspecific association

- of dominant herbaceous plants in the outer Qinhuai River, Nanjing City [J]. *J Nanjing For Univ (Nat Sci)*, 2023, 47(6): 203–210. [李雨晗, 丁彦芬, 张畅为. 南京外秦淮河优势草本植物生态位和种间联结性研究 [J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2023, 47(6): 203–210. doi: 10.12302/j.issn.1000-2006.202206025.]
- [12] PANG M Z. Cause of flood in Min River and protective measure of living things research [J]. *E China For Manag*, 2003, 17(2): 35–39. [庞闽志. 闽江水灾成因与生物防治措施研究 [J]. *华东森林经理*, 2003, 17(2): 35–39. doi: 10.3969/j.issn.1004-7743.2003.02.011.]
- [13] MA W W, YAN S J, WANG Y X, et al. Study on seed dispersal modes and landscape application strategies of spontaneous plants in street tree planting ponds: Taking Fuzhou City as an example [J]. *J Sichuan For Sci Technol*, 2021, 42(5): 107–114. [马雯雯, 闫淑君, 王云霄, 等. 行道树种植池自生植物的种子传播方式及园林应用策略研究——以福州市为例 [J]. *四川林业科技*, 2021, 42(5): 107–114. doi: 10.12172/202101230002.]
- [14] LIU F Q, WU T, JIANG G J, et al. Dynamic response of the coastline and coastal landscape patterns to hemeroby: A case study along the south coast of Yingkou [J]. *Acta Ecol Sin*, 2017, 37(22): 7427–7437. [刘富强, 吴涛, 蒋国俊, 等. 海岸线与海岸景观格局对人为干扰度的动态响应——以营口市南部海岸为例 [J]. *生态学报*, 2017, 37(22): 7427–7437. doi: 10.5846/stxb201609211902.]
- [15] TANG S J, YANG L, LIU M J, et al. Spatial pattern of the occurrence of *Mikania micrantha* in Dapeng Peninsula, Shenzhen [J]. *J Biosaf*, 2023, 32(3): 226–234. [唐尚杰, 杨龙, 刘美洁, 等. 深圳大鹏半岛薇甘菊的空间发生规律 [J]. *生物安全学报*, 2023, 32(3): 226–234. doi: 10.3969/j.issn.2095-1787.2023.03.005.]
- [16] SUN Y Z, WANG Z T, BAO Y, et al. Responses of plant community structure and stability to artificial disturbance in urban remnant mountains [J]. *Chin J Ecol*, 2023, 42(8): 1829–1840. [孙玉真, 王志泰, 包玉, 等. 城市遗存山体植物群落结构与稳定性对人为干扰的响应 [J]. *生态学杂志*, 2023, 42(8): 1829–1840. doi: 10.13292/j.1000-4890.202308.010.]
- [17] SCHOENER T W. Resource partitioning in ecological communities: Research on how similar species divide resources helps reveal the natural regulation of species diversity [J]. *Science*, 1974, 185(4145): 27–39. doi: 10.1126/science.185.4145.27.
- [18] PIANKA E R. The structure of lizard communities [J]. *Annu Rev Ecol Syst*, 1973, 4(1): 53–74. doi: 10.1146/annurev.es.04.110173.000413.
- [19] SCHLUTER D. A variance test for detecting species associations, with some example applications [J]. *Ecology*, 1984, 65(3): 998–1005. doi: 10.2307/1938071.
- [20] WANG B S, PENG S L. Studies on the measuring techniques of inter-specific association of lower-subtropical evergreen-broadleaved forests: I. The exploration and the revision on the measuring formulas of interspecific association [J]. *Acta Phytocool Geobot Sin*, 1985, 9(4): 274–285. [王伯荪, 彭少麟. 南亚热带常绿阔叶林种间联结测定技术研究: I. 种间联结测式的探讨与修正 [J]. *植物生态学与地植物学丛刊*, 1985, 9(4): 274–285.]
- [21] ZHENG Y R. Comparison of methods for studying stability of forest community [J]. *Sci Silv Sin*, 2000, 36(5): 28–32. [郑元润. 森林群落稳定性研究方法初探 [J]. *林业科学*, 2000, 36(5): 28–32. doi: 10.3321/j.issn:1001-7488.2000.05.005.]
- [22] XIAO Z L, CHEN Y P, JING S H, et al. Analysis of niche characteristics of main tree species in broad-leaved mixed forest in Yuan'an County of Hubei Province [J]. *South China For Sci*, 2020, 48(3): 12–19. [肖正利, 陈玉萍, 敬顺华, 等. 湖北远安县阔叶混交林乔木树种生态位特征分析 [J]. *南方林业科学*, 2020, 48(3): 12–19. doi: 10.16259/j.cnki.36-1342/s.2020.03.003.]
- [23] WANG X F, WANG T, WANG Q, et al. Effects of *Bidens alba* invasion on structure and species diversity of plant community [J]. *J Biosaf*, 2023, 32(4): 384–392. [王小飞, 王涛, 王琦, 等. 白花鬼针草入侵对植物群落结构及物种多样性的影响 [J]. *生物安全学报*, 2023, 32(4): 384–392. doi: 10.3969/j.issn.2095-1787.2023.04.011.]
- [24] CHEN L, XIN J N, SU Y, et al. Effects of heterogeneous habitats on community composition and niche characteristics of different plant populations in the desert steppe of China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2019, 39(17): 6187–6205. [陈林, 辛佳宁, 苏莹, 等. 异质生境对荒漠草原植物群落组成和种群生态位的影响 [J]. *生态学报*, 2019, 39(17): 6187–6205. doi: 10.5846/stxb201810182255.]
- [25] YIN C J, MA L, ZHU D H, et al. Species composition and niche characteristics of secondary plant communities on regenerated landslides after earthquake [J]. *Chin J Ecol*, 2022, 41(8): 1525–1534. [尹才佳, 马龙, 朱大海, 等. 地震滑坡体自然恢复后次生植物群落物种组成及生态位特征 [J]. *生态学杂志*, 2022, 41(8): 1525–1534. doi: 10.13292/j.1000-4890.202208.010.]
- [26] ZHENG X Y, ZHAO C, LIU Q Q, et al. Niche characteristics of understory herb layer in a mature Chinese fir plantation [J]. *Chin J Ecol*, 2018, 37(2): 332–338. [郑晓阳, 赵冲, 刘青青, 等. 成熟杉木人工林下草本层生态位特征 [J]. *生态学杂志*, 2018, 37(2): 332–338. doi: 10.13292/j.1000-4890.201802.031.]
- [27] LI Y F, TIE J, ZHANG G P, et al. Niche characteristics of an artificial *Pinus tabulaeformis* forest in Manghe National Nature Reserve of Shanxi [J]. *Chin J Ecol*, 2014, 33(11): 2905–2912. [李燕芬, 铁军, 张桂萍, 等. 山西蟒河国家级自然保护区人工油松林生态位特征 [J]. *生态学杂志*, 2014, 33(11): 2905–2912. doi: 10.13292/j.1000-4890.

- 20141022.012.]
- [28] ZHANG Y F, ZHENG Z H, CHEN X B, et al. Niche characteristics of the invasive plant *Ageratum conyzoides* and its commonly associated weeds [J]. *Acta Ecol Sin*, 2022, 42(9): 3727–3737. [张亚芬, 郑子洪, 陈旭波, 等. 入侵植物藿香蓟与常见伴生杂草的生态位特征 [J]. *生态学报*, 2022, 42(9): 3727–3737. doi: 10.5846/stxb202104060881.]
- [29] LIU R H, CHEN L, TU H R, et al. Niche and interspecific association of main species in shrub layer of *Cyclobalanopsis glauca* community in karst hills of Guilin, southwest China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2020, 40(6): 2057–2071. [刘润红, 陈乐, 涂洪润, 等. 桂林岩溶山青冈群落灌木层主要物种生态位与种间联结 [J]. *生态学报*, 2020, 40(6): 2057–2071. doi: 10.5846/stxb201904090689.]
- [30] CHEN H Y, LAN M Y, SUN C X, et al. Community structure and interspecific association in different forest successional stages in north Guangdong [J]. *J For Environ*, 2022, 42(5): 465–473. [陈泓宇, 兰明钰, 孙传玺, 等. 粤北不同演替阶段森林群落结构与种间关联 [J]. *森林与环境学报*, 2022, 42(5): 465–473. doi: 10.13324/j.cnki.jfcf.2022.05.003.]
- [31] LUO Q H, SUN F, CUI Y, et al. Interspecific association among main plant species in the unstable slope with high-frequency debris flow [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2018, 24(4): 689–696. [罗清虎, 孙凡, 崔羽, 等. 泥石流频发流域失稳性坡面主要植物种间关联性 [J]. *应用与环境生物学报*, 2018, 24(4): 689–696. doi: 10.19675/j.cnki.1006-687x.2017.11005.]
- [32] XU M H, LIU M, ZHAI D T, et al. A review of contents and methods used to analyze various aspects of plant interspecific associations [J]. *Acta Ecol Sin*, 2016, 36(24): 8224–8233. [徐满厚, 刘敏, 翟大彤, 等. 植物种间联结研究内容与方法评述 [J]. *生态学报*, 2016, 36(24): 8224–8233. doi: 10.5846/stxb201505311092.]
- [33] GUO Q S, BAO F Q, WANG X F, et al. Interspecies connection of dominant tree species in *Cephalotaxus fortunei* communities [J]. *For Res*, 2008, 21(5): 662–668. [郭泉水, 包奋强, 王祥福, 等. 三尖杉所属群落优势乔木树种种间关系 [J]. *林业科学研究*, 2008, 21(5): 662–668. doi: 10.3321/j.issn:1001-1498.2008.05.013.]
- [34] JIAN X M, SHUI W, CHEN Y P, et al. Interspecific relationships of dominant species in the grassland community of moderately degraded Tiankeng of Yunnan, China [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2018, 29(2): 492–500. [简小枚, 税伟, 陈毅萍, 等. 云南中度退化的喀斯特天坑草地植物群落优势种种间关系 [J]. *应用生态学报*, 2018, 29(2): 492–500. doi: 10.13287/j.1001-9332.201802.005.]
- [35] GUO J B, DI X Y, LI S Q. Interspecific associations among dominant species in naturally colonized plant communities on coal gob piles of the Datong mining area in Shanxi, China [J]. *Chin J Ecol*, 2015, 34(12): 3327–3332. [郭俊兵, 狄晓艳, 李素清. 山西大同矿区煤矸石山自然定居植物群落优势种种间关系 [J]. *生态学杂志*, 2015, 34(12): 3327–3332. doi: 10.13292/j.1000-4890.2015.0303.]
- [36] ZHANG D M, ZHAO W Z, LUO W C. Niche and interspecific association of dominant plant species in saline-alkaline soils of desert steppe zone [J]. *Chin J Ecol*, 2018, 37(5): 1307–1315. [张东梅, 赵文智, 罗维成. 荒漠草原带盐碱地优势植物生态位与种间联结 [J]. *生态学杂志*, 2018, 37(5): 1307–1315. doi: 10.13292/j.1000-4890.201805.027.]
- [37] WANG Y X, YAN S J, MA W W, et al. Investigation and analysis of lawn spontaneous plant in Fuzhou National Forest Park [J]. *J Chin Urban For*, 2021, 19(6): 94–98. [王云霄, 闫淑君, 马雯雯, 等. 福州国家森林公园草坪自生植物调查分析 [J]. *中国城市林业*, 2021, 19(6): 94–98. doi: 10.12169/zgcsly.2020.09.25.0005.]
- [38] WANG W, GUO Q, KANG H J, et al. Community composition and interspecific association analysis of *Kobresia capillifolia* grassland [J]. *Acta Bot Boreali-Occid Sin*, 2015, 35(10): 2096–2102. [王伟, 郭倩, 康海军, 等. 线叶嵩草草地群落构成及种间关联分析 [J]. *西北植物学报*, 2015, 35(10): 2096–2102. doi: 10.7606/j.issn.1000-4025.2015.10.2096.]