

研究报告

DOI:10.14188/j.ajsh.20260015

浙江温州市鹿城区公园外来入侵植物的入侵特征与谱系多样性研究

谢雨荷¹, 孙悦¹, 吴棣飞², 刘金亮¹, 金鑫杰¹, 张永华^{1*}

(1. 温州大学 生命与环境科学学院, 浙江 温州 325035;

2. 温州市鹿城区园林绿化管理中心, 浙江 温州 325000)

摘要: 城市绿地(如城市公园)面临较高的外来物种引入风险。研究城市公园内外来入侵植物的入侵特征与谱系多样性,有助于评估外来植物对城市生态系统的影响,并为制定有效的防控措施提供科学依据。2023年7月至2024年4月使用样方法对浙江省温州市鹿城区33个公园进行了外来入侵植物的调查。通过对比不同公园类型的物种丰富度和谱系多样性,结合入侵植物的原产地、生活型、入侵等级和主要入侵途径,对外来植物的入侵特征进行了分析。结果表明,33个公园共识别出48种外来入侵植物,隶属于36属22科。大部分入侵植物原产美洲,菊科丰富度最高,一年生草本为主要生活型。有意引入的入侵植物比例较高,如喜旱莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)、白车轴草(*Trifolium repens*)、凤眼蓝(*Pontederia crassipes*)等;恶性入侵物种最多,如鬼针草(*Bidens pilosa*)、加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis*)、大藻(*Pistia stratiotes*)等。各类型公园间虽物种丰富度存在显著差异,但谱系多样性指标均未呈现统计学差异,表明外来植物集中来自少数优势谱系。本研究建议根据不同公园类型的特征,实施差异化的外来入侵植物防控策略,从源头上防控外来植物的入侵,重点关注出现频次高和恶性入侵植物,降低其对生态系统的负面影响。

关键词: 入侵植物;谱系多样性;入侵特征;城市公园;沿海城市**中图分类号:** Q948.**文献标志码:** A**文章编号:** 2096-3491(2026)03-0300-14

Invasion characteristics and phylogenetic diversity of alien invasive plants in parks of Lucheng District, Wenzhou, Zhejiang

XIE Yuhe¹, SUN Yue¹, WU Difei², LIU Jinliang¹, JIN Xinjie¹, ZHANG Yonghua^{1*}

(1. College of Life and Environmental Science, Wenzhou University, Wenzhou 325035, Zhejiang, China;

2. Wenzhou Lucheng District Landscaping Management Center, Wenzhou 325000, Zhejiang, China)

Abstract: Urban green spaces, such as urban parks, are at a high risk of alien species introduction. Understanding the invasion characteristics and phylogenetic diversity of alien invasive plants within urban parks is crucial for assessing their impact on urban ecosystems and for formulating effective control and prevention strategies. From July 2023 to April 2024, we surveyed alien invasive plants in 33 parks located in the Luocheng District of Wenzhou City, Zhejiang using the quadrat sampling method. We analyzed invasion characteristics by comparing species richness and phylogenetic diversity metrics across different park types, combined with information regarding the plant origin, life form, invasion level, and

收稿日期: 2026-04-21 修回日期: 2026-05-31 接受日期: 2026-06-15

作者简介: 谢雨荷(1999-),女,硕士生,研究方向为生物多样性,E-mail:1581634729@qq.com

* 通信作者: 张永华(1988-),男,博士,副教授,研究方向为植物生态学,E-mail: zhangyehua@wzu.edu.cn

基金项目: 温州鹿城区城市绿地外来入侵物种调查(KH2310001)

引用格式: 谢雨荷, 孙悦, 吴棣飞, 等. 浙江温州市鹿城区公园外来入侵植物的入侵特征与谱系多样性研究[J]. 生物资源, 2026, 48(3): 300-313.

Xie Y H, Sun Y, Wu D F, et al. Invasion characteristics and phylogenetic diversity of alien invasive plants in parks of Lucheng District, Wenzhou, Zhejiang [J]. Biotic Resources, 2026, 48(3): 300-313.

primary introduction pathways. The results revealed a total of 48 alien invasive plant species, belonging to 36 genera and 22 families, with the majority originating from the Americas. The Asteraceae family exhibited the highest species richness, and annual herbs were the predominant life form. A high proportion of invasive plants resulted from intentional introduction (e. g., *Alternanthera philoxeroides*, *Trifolium repens*, *Pontederia crassipes*) and included some of the most worst invasive species (e. g., *Bidens pilosa*, *Solidago canadensis*, *Pistia stratiotes*). Although species richness varied significantly among park types, none of the phylogenetic diversity metrics showed statistically significant differences, suggesting that the alien plants were concentrated within a few dominant phylogenetic lineages. This study advocates for the implementation of differentiated control strategies for alien invasive plants based on the characteristics of various park types. Prevention efforts should prioritize controlling introductions at the source, focusing on high-frequency and the worst invasive species to mitigate their negative impacts on the ecosystem.

Key words: invasive plants; phylogenetic diversity; invasion characteristics; urban parks; coastal city

0 引言

外来植物入侵是指非本地植物通过自然或人为方式进入新环境,并在该地区定殖、扩散,进而对当地生态系统、物种多样性、社会经济乃至人类健康造成威胁^[1]。城市作为人类聚居的核心区域,其外来植物入侵问题越来越受到人们的关注^[2]。高频率的人类活动、园艺绿化中的频繁引种,以及城市生态环境的破碎性和开放性,为外来植物的扩散和定殖提供了便利条件^[3-4]。其中,城市公园作为城市绿色基础设施的重要组成部分,不仅承载着生态服务功能,也是外来植物定居与扩散的高风险区域^[5-6]。公园内生态环境相对封闭,却常受到人为干扰,这种特征使得公园成为外来植物在城市中扩散和建立的关键节点。因此,城市公园的外来入侵植物多样性与形成机制的研究是管控城市外来植物入侵的关键。

根据《中国外来入侵植物名录》的统计,中国目前记录的外来入侵植物达95科466属845种,其中包括确认为入侵种的239种,另有225种为待观察种类^[7]。浙江省作为东南沿海的重要开放省份,共记录到46科106属166种外来入侵植物^[8]。2011年,对温州的县市区进行了系统的外来入侵植物调查,发现温州地区已有64种入侵植物,隶属于28科52属^[9]。但针对温州市主城区(如鹿城区),特别是城市公园系统的外来入侵植物的调查与研究仍然是空白。

谱系多样性(phylogenetic diversity, PD)作为群落生态学中的一种有力工具,为物种组合的进化和生态特征提供新的视角^[10-11]。相比传统的分类学指标,谱系多样性不仅衡量群落中物种的丰富度,还能揭示物种间的进化距离,反映它们在生态适应性上的差异及生态位重叠的潜在程度^[11]。近年来,相关研究不断增多。例如,基于中国尺度数据比较“引入-归化-入侵”连续体,发现入侵植物往往呈谱系聚

集,入侵过程可能存在对特定谱系的筛选作用^[12]。在多尺度分析中进一步指出,入侵外来植物在较细空间尺度上谱系聚集更明显,且该格局与气候因子(尤其是温度)显著相关,表明环境过滤可塑造入侵群落的谱系结构^[13]。此外,在城市绿地尺度,北京城市公园研究显示,森林、湿地和草地生境的草本群落入侵性存在差异,且入侵性与本地群落系统发育多样性、谱系结构及其与入侵植物的谱系距离在不同生境中呈现不同响应,生境异质性可能影响系统发育相关的入侵过程^[14]。然而,现有研究多集中于宏观尺度,对小尺度城市公园系统内部不同公园类型之间入侵植物谱系差异的比较仍相对不足,尤其缺乏针对温州市主城区的实证资料。

温州地处中国东南沿海,山地、河网、湿地与城市建成区交错分布,兼具沿海开放城市、亚热带湿润气候和多类型绿地等特征,是开展城市生物多样性研究,尤其是植物多样性与外来植物入侵研究的重要区域^[9]。鹿城区是温州市的政治、经济、文化中心,人口密集、城市建设强度较高,公园绿地受到居民游憩、道路交通、园林养护和周边建成环境等多重人为活动影响。城市公园不仅是维持城市植物多样性的重要载体,也是居民日常休闲游憩和接触自然的主要场所,其植物群落组成与生态安全状况直接影响城市生态服务功能和居民生活品质^[15]。然而,外来入侵植物的定殖和扩散可能改变公园植物群落组成,降低本土植物多样性,并对城市绿地生态功能造成威胁。因此,本研究基于温州市鹿城区城市公园外来入侵植物的全面调查,对外来入侵植物种类、分布、入侵特征及谱系结构进行系统评估,以期揭示城市公园外来入侵植物多样性分布格局与形成机制,并为防控城市入侵植物危害提供一定的科学依据。

1 区域自然概况

1.1 地理位置

浙江省温州市地处东南沿海,位于东经 $119^{\circ}37' \sim 121^{\circ}18'$,北纬 $27^{\circ}03' \sim 28^{\circ}36'$,东濒东海,南邻福建省宁德市,北与台州市毗连,西与丽水市接壤,总面积 11784 km^2 ^[9]。鹿城区位于东经 $120^{\circ}30' \sim 120^{\circ}50'$ 、北纬 $27^{\circ}55' \sim 28^{\circ}10'$,是温州市的政治、经济、文化中心。辖区面积 290.8 km^2 。截至2022年10月,鹿城区辖12个街道、2个镇,全区共88个社区、80行政村;鹿城区户籍总人口为80.26万人,常住人口为119.16万人(https://www.lucheng.gov.cn/art/2021/3/17/art_1506230_19324505.html)。

1.2 气候条件

温州市鹿城区属亚热带海洋季风气候;一月最冷,平均气温 7.6°C ,七月最热,平均气温 27°C ,全年平均气温 18°C ,极端气温最高 41.3°C ,最低 -4.5°C ;无霜期约280 d;年降水量 $1100 \sim 2200 \text{ mm}$ 。冬无严寒,夏无酷暑,光照足量,雨水充沛,温和湿润,为外来植物入侵提供了良好的环境条件(https://www.lucheng.gov.cn/art/2017/6/27/art_1506228_19324300.html)。

2 研究方法

2.1 区域划分

对鹿城区12个城市街道内的33个主要公园的入侵植物进行调查。根据《温州市城市绿地系统规划(2021—2035年)》^[16]及《城市绿地分类标准(CJJ/T 85-2017)》^[17],将公园依据类型划分为四类,分别为自然郊野公园(郊野公园(EG14))、城市公园(综合公园(G11)和专类公园(G13))、社区公园(社区公园(G12)) and 口袋公园(游园(G14))。调查公园的信息与区域见表1。

2.2 植物数据的调查

本研究在2023年下半年7月—10月和2024年上半年3月—4月,在温州市鹿城区开展了入侵植物调查,调查覆盖鹿城区12个城市街道,共计33个公园。选择了干扰活动频繁的公园主道路、湖边和绿化区域以及公园边缘、裸地、林下等特殊微生境,依据公园大小设立2个至5个 $20 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ 的大样方,在每个大样方内设置5个 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的陆地样方。若发现水体入侵植物,则在该公园内额外设立1~3个 $20 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ 的大样方,并在这些水体大样方内设置3个 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的水体小样方。调查区域包括2个自然郊野公园(13个陆地大样方)、9个城市公园(57个陆地大样方和2个水体大样方)、16个社区

公园(96个陆地大样方和5个水体大样方)以及6个口袋公园(35个陆地大样方和4个水体大样方)。本次调查共设计1005个陆地小样方,33个水体小样方,共计1038个小样方。大样方用于划定小样方的抽样范围,小样方选择随机设置在高度为2 m以下的植株位置上。记录小样方内的入侵植物的种类、株数,同时记录样方的海拔、经纬度。外来植物的识别参考《中国外来入侵植物名录》^[7],形成初步名录。

2.3 植物数据的分析

在初步形成外来植物名录的基础上,通过中国外来入侵物种信息系统(<http://www.iplant.cn/ias/>)确定入侵植物及其入侵等级。入侵植物的原产地、生活型及主要入侵途径则参考《温州植物志》(中国林业出版社,2017)、《浙江植物志》(浙江科学技术出版社,1993)^[18]及《中国植物志》。其中,《温州植物志》用于本研究科名、属名和种名的规范与确定。最后形成外来入侵植物名录最终版,与浙江外来入侵植物进行比较分析。

具体根据形态与生物学特征,将外来植物划为草本、木本和藤本。入侵等级依据《中国外来入侵植物名录》的分类标准,划分为恶性入侵植物(1级)、严重入侵植物(2级)、局部入侵植物(3级)、一般入侵植物(4级)^[7]。入侵途径则分为有意引入、无意传入和自然扩散三类,指示人类干扰在外来植物入侵过程中的作用^[19]。

2.4 谱系多样性与统计分析方法

本研究选取以下3个常用的谱系多样性指标:Faith谱系多样性指数(Faith's phylogenetic diversity, Faith's PD)、最近亲缘指数(nearest taxon index, NTI)和净亲缘关系指数(net relatedness index, NRI)^[20-22]。使用R语言中picante包计算谱系多样性指标^[23]。

由于谱系距离类指标受物种丰富度影响显著,为避免不同样地物种数差异对谱系结构判断的干扰,本研究在计算NTI和NRI时采用保持样方物种丰富度不变的零模型(richness),通过随机化生成同等物种数条件下的谱系距离期望分布,从而在相同物种数约束下评估观测群落谱系结构相对于随机组装的偏离程度。上述谱系多样性分析基于陆地大样方的丰度矩阵,并在计算平均系统发育距离(mean pairwise distance, MPD)和系统发育距离(mean nearest taxon distance, MNTD)时考虑物种丰度加权,其对于检测系统发育结构变化具有更高的灵敏度^[24]。

Faith谱系多样性指数:衡量群落所覆盖的总系

表1 温州市鹿城区33个主要公园的相关信息
Table 1 Information of the 33 major parks in Lucheng District, Wenzhou City

所属街道	公园名称	公园类型	经纬度	海拔/m
五马街道	1. 中山公园	社区公园	120°40′01″E, 28°00′42″N	20
	2. 海坛山公园	社区公园	120°39′30″E, 28°01′30″N	18
	3. 墨池公园	社区公园	120°39′26″E, 28°01′15″N	26
	4. 华盖山公园	社区公园	120°39′42″E, 28°01′07″N	11
松台街道	5. 江心屿	城市公园	120°38′36″E, 28°01′49″N	22
	6. 郭公山公园	社区公园	120°38′25″E, 28°01′19″N	12
	7. 水心湾滨水公园	社区公园	120°38′51″E, 28°00′18″N	5
	8. 九山公园	社区公园	120°38′42″E, 28°00′42″N	24
广化街道	9. 江滨公园	社区公园	120°37′54″E, 28°01′26″N	17
	10. 翠微山公园	城市公园	120°37′30″E, 28°01′06″N	12
	11. 黄龙山公园	城市公园	120°37′04″E, 28°01′08″N	25
双屿街道	12. 卧旗山公园	城市公园	120°35′57″E, 28°01′32″N	56
	13. 牛岭山公园	城市公园	120°35′20″E, 28°25′00″N	27
丰门街道	14. 戴宅山上伊公园	自然郊野公园	120°34′38″E, 28°01′37″N	20
仰义街道	15. 凤凰山休闲乐园	自然郊野公园	120°35′3″E, 28°04′06″N	33
大南街道	16. 马鞍池公园	城市公园	120°39′26″E, 28°00′17″N	21
	17. 巽山公园	社区公园	120°39′45″E, 28°00′15″N	30
蒲鞋市街道	18. 温州大学学院路校区	社区公园	120°41′10″E, 28°00′24″N	12
滨江街道	19. 中央绿轴上陡门浦公园	城市公园	120°41′35″E, 28°00′54″N	18
	20. 杨府山公园	城市公园	120°42′14″E, 28°00′33″N	21
七都街道	21. 七都岛中岛生态园	城市公园	120°46′29″E, 27°59′34″N	8
南汇街道	22. 绣山公园	社区公园	120°41′53″E, 27°59′50″N	9
	23. 桥儿头滨水公园	口袋公园	120°39′50″E, 27°59′52″N	10
	24. 府西—世纪湾滨水公园	口袋公园	120°41′27″E, 27°59′43″N	28
	25. 锦江湾滨水公园	口袋公园	120°41′23″E, 27°59′27″N	28
	26. 吕浦滨河公园	口袋公园	120°40′13″E, 27°59′57″N	20
	27. 惠民湾滨河公园	口袋公园	120°41′24″E, 27°59′05″N	25
	28. 世纪公园	社区公园	120°41′44″E, 27°59′20″N	28
	29. 葡萄棚滨水公园	社区公园	120°38′45″E, 27°59′25″N	4
南郊街道	30. 民主桥滨水公园	口袋公园	120°38′53″E, 27°59′36″N	8
	31. 庄头滨水公园	社区公园	120°40′10″E, 27°59′27″N	6
	32. 汇昌河水上-滨水公园	社区公园	120°38′57″E, 27°59′57″N	6
	33. 三板桥滨水公园-方正滨水公园	社区公园	120°39′32″E, 27°59′53″N	19

统发育分支长度。也就是说,它反映群落中所有物种所代表的演化历史总长度,是谱系多样性的总体指标。值越大,表明群落中的物种谱系差异越大,演化历史覆盖更广。NRI用于量化群落内所有物种两两间MPD相对于随机期望的偏离程度,主要反映群落在较深谱系层次上的聚集或分散趋势。

式中,NRI_{sample}为样方群落的净亲缘关系指数;

$$NRI_{sample} = -1 \times \frac{MPD_{sample} - MPD_{randsample}}{SD(MPD_{randsample})}$$

(1)

MPD_{sample}为观测群落的平均系统发育距离;MPD_{randsample}为零模型随机化后平均系统发育距离的期望值;SD(MPD_{randsample})为其标准差。NRI>0表示谱系聚集,NRI<0表示谱系分散。

NTI用于量化群落中每个物种与其最近亲缘物种的系统发育距离(mean nearest taxon distance, MNTD)相对于随机期望的偏离程度,主要反映群落在谱系末端的局部聚集或分散趋势。

式中,NTI_{sample}为样方群落的最近亲缘指数;MNTD_{sample}为观测群落的平均最近亲缘距离;

$$NTI_{\text{sample}} = -1 \times \frac{MNTD_{\text{sample}} - MNTD_{\text{rand sample}}}{SD(MNTD_{\text{rand sample}})} \quad (2)$$

MNTD_{rand sample} 为零模型随机化后平均最近亲缘距离的期望值;SD(MNTD_{rand sample})为其标准差。NTI>0 表示末端谱系聚集,NTI<0 表示末端谱系分散。

由于方差不齐,本研究采用非参数的 Kruskal-Wallis 检验不同城市公园类型之间(陆地大样方层面)的外来入侵植物物种丰富度、PD、NRI、NTI 差

异进行整体性比较^[25]。检验过程使用 R 包 rstatix 完成。若差异显著,则进一步采用 Dunn 检验进行两两比较,并使用 Bonferroni 法对 P 值进行多重校正。此外,本研究使用 ggpubr 包绘制箱线图以直观展示各类型公园在不同多样性指标下的差异。

3 结果与分析

经调查分析,温州市鹿城区现有外来入侵植物 48 种,隶属于 36 属,22 科。具体见表 2。

表 2 温州市鹿城区外来入侵植物名录
Table 2 List of alien invasive plants in Lucheng District, Wenzhou City

科	种	生活型	原产地	入侵等级
苋科 (Amaranthaceae)	喜旱莲子草 (<i>Alternanthera philoxeroides</i>)	多年生草本	美洲	1
	反枝苋 (<i>Amaranthus retroflexus</i>)	一年生草本	美洲	1
	刺苋 (<i>Amaranthus spinosus</i>)	一年生草本	美洲	1
	绿穗苋 (<i>Amaranthus hybridus</i>)	一年生草本	美洲	2
	凹头苋 (<i>Amaranthus lividus</i>)	一年生草本	欧洲	2
天南星科 (Araceae)	大藻 (<i>Pistia stratiotes</i>)	多年生草本	美洲	1
菊科 (Asteraceae)	藿香蓟 (<i>Ageratum conyzoides</i>)	一年生草本	美洲	1
	大狼把草 (<i>Bidens frondosa</i>)	一年生草本	美洲	1
	鬼针草 (<i>Bidens pilosa</i>)	一年生草本	美洲	1
	一年蓬 (<i>Erigeron annuus</i>)	二年生草本	美洲	1
	小蓬草 (<i>Erigeron canadensis</i>)	一年生草本	美洲	1
	苏门白酒草 (<i>Erigeron sumatrensis</i>)	二年生草本	美洲	1
	加拿大一枝黄花 (<i>Solidago canadensis</i>)	多年生草本	美洲	1
	钻叶紫菀 (<i>Symphyotrichum subulatum</i>)	一年生草本	美洲	1
	野茼蒿 (<i>Crassocephalum crepidioides</i>)	一年生草本	非洲	2
	香丝草 (<i>Erigeron bonariensis</i>)	二年生草本	美洲	2
	裸柱菊 (<i>Soliva anthemifolia</i>)	一年生草本	美洲	3
	黄秋英 (<i>Cosmos sulphureus</i>)	一年生草本	美洲	4
	鳢肠 (<i>Eclipta prostrata</i>)	一年生草本	非洲	4
	苦苣菜 (<i>Sonchus oleraceus</i>)	一年生草本	欧洲	4
藜科 (Chenopodiaceae)	土荆芥 (<i>Chenopodium ambrosioides</i>)	二年生草本	美洲	1
旋花科 (Convolvulaceae)	三裂叶薯 (<i>Ipomoea triloba</i>)	一年生草本	美洲	1
	牵牛 (<i>Ipomoea nil</i>)	一年生草本	美洲	2
商陆科 (Phytolaccaceae)	垂序商陆 (<i>Phytolacca americana</i>)	多年生草本	美洲	1
雨久花科 (Pontederiaceae)	凤眼蓝 (<i>Pontederia crassipes</i>)	一年生草本	美洲	1
马鞭草科 (Verbenaceae)	马缨丹 (<i>Lantana camara</i>)	多年生木本	美洲	1
伞形科 (Apiaceae)	野胡萝卜 (<i>Daucus carota</i>)	一年生草本	欧洲	2
	南美天胡荽 (<i>Hydrocotyle verticillata</i>)	多年生草本	美洲	2
牻牛儿苗科 (Geraniaceae)	野老鹳草 (<i>Geranium carolinianum</i>)	一年生草本	美洲	2
豆科 (Leguminosae)	白车轴草 (<i>Trifolium repens</i>)	多年生草本	非洲	2
	草木樨 (<i>Melilotus officinalis</i>)	二年生草本	亚洲	4
禾本科 (Poaceae)	铺地黍 (<i>Panicum repens</i>)	多年生草本	欧洲	2
	双穗雀稗 (<i>Paspalum distichum</i>)	多年生草本	美洲	3
	丝毛雀稗 (<i>Paspalum urvillei</i>)	多年生草本	美洲	3

续表

科	种	生活型	原产地	入侵等级
玄参科 (Scrophulariaceae)	阿拉伯婆婆纳 (<i>Veronica persica</i>)	一年生草本	亚洲	2
	直立婆婆纳 (<i>Veronica arvensis</i>)	一年生草本	欧洲	4
	蚊母草 (<i>Veronica peregrina</i>)	一年生草本	美洲	4
大戟科 (Euphorbiaceae)	斑地锦 (<i>Euphorbia maculata</i>)	一年生草本	美洲	3
	匍匐大戟 (<i>Euphorbia prostrata</i>)	一年生草本	美洲	4
车前草科 (Plantaginaceae)	北美车前 (<i>Plantago virginica</i>)	一年生草本	美洲	3
毛茛科 (Ranunculaceae)	刺果毛茛 (<i>Ranunculus muricatus</i>)	一年生草本	欧洲	3
茄科 (Solanaceae)	少花龙葵 (<i>Solanum americanum</i>)	一年生草本	美洲	3
石竹科 (Caryophyllaceae)	球序卷耳 (<i>Cerastium glomeratum</i>)	一年生草本	欧洲	4
	鹅肠菜 (<i>Stellaria aquatica</i>)	一年生草本	欧洲	4
十字花科 (Cruciferae)	臭芥 (<i>Coronopus didymus</i>)	一年生草本	美洲	4
酢浆草科 (Oxalidaceae)	红花酢浆草 (<i>Oxalis corymbosa</i>)	多年生草本	美洲	4
马齿苋科 (Portulacaceae)	土人参 (<i>Talinum paniculatum</i>)	多年生草本	美洲	4
荨麻科 (Urticaceae)	小叶冷水花 (<i>Pilea microphylla</i>)	一年生草本	美洲	4

3.1 物种组成

在调查到的 48 种入侵植物中以菊科种类最多 14 种, 占总数的 29. 17%; 其次是苋科 5 种, 占总数的 10. 42%; 禾本科和玄参科各 3 种, 占 6. 25%; 石竹科、豆科、大戟科、伞形科、旋花科各 2 种; 其余 13 科各 1 种(图 1)。

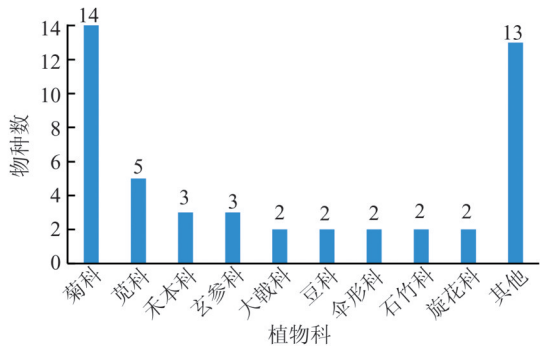


图 1 温州市鹿城区外来入侵植物的科组成

Figure 1 Family composition of alien invasive plants in Lucheng District, Wenzhou City

注:其他包括荨麻科、藜科、商陆科、马齿苋科、毛茛科、十字花科、酢浆草科、牻牛儿苗科、马鞭草科、茄科、车前草科、天南星科、雨久花科各 1 种。

Note: Others include Urticaceae, Chenopodiaceae, Phytolaccaceae, Portulacaceae, Ranunculaceae, Cruciferae, Oxalidaceae, Geraniaceae, Verbenaceae, Solanaceae, Plantaginaceae, Araceae, and Pontederiaceae, each represented by one species.

3.2 外来入侵植物公园分布

温州市鹿城区外来入侵植物公园分布情况见表 3。

调查结果(表 3)表明, 共有 14 种外来入侵植物, 在上、下半年均有记录, 分别为大狼把草 (*Bidens frondosa*)、鬼针草 (*Bidens pilosa*)、一年蓬 (*Erigeron annuus*)、小蓬草 (*Erigeron canadensis*)、苏门白酒草 (*Erigeron sumatrensis*)、加拿大一枝黄花 (*Solidago canadensis*)、钻叶紫菀 (*Symphytotrichum subulatum*)、马缨丹 (*Lantana camara*)、喜旱莲子草 (*Alternanthera philoxeroides*)、南美天胡荽 (*Hydrocotyle verticillata*)、野茼蒿 (*Crassocephalum crepidioides*)、红花酢浆草 (*Oxalis corymbosa*)、大藻 (*Pistia stratiotes*) 和凤眼蓝 (*Pontederia crassipes*)。共有 14 种外来入侵植物仅在上半年出现, 包括: 野胡萝卜 (*Daucus carota*)、野老鹳草 (*Geranium carolinianum*)、阿拉伯婆婆纳 (*Veronica persica*)、裸柱菊 (*Soliva anthemifolia*)、北美车前 (*Plantago virginica*)、刺果毛茛 (*Ranunculus muricatus*)、苦苣菜 (*Sonchus oleraceus*)、球序卷耳 (*Cerastium glomeratum*)、鹅肠菜 (*Stellaria aquatica*)、臭芥 (*Coronopus didymus*)、土人参 (*Talinum paniculatum*)、直立婆婆纳 (*Veronica arvensis*)、蚊母草 (*Veronica peregrina*) 和小叶冷水花 (*Pilea microphylla*)。而仅在下半年出现的外来入侵植物共有 20 种, 分别为: 藿香蓟 (*Ageratum conyzoides*)、土荆芥 (*Chenopodium ambrosioides*)、垂序商陆 (*Phytolacca americana*)、反枝苋 (*Amaranthus retroflexus*)、刺苋 (*Amaranthus spinosus*)、三裂叶薯 (*Ipomoea triloba*)、绿穗苋 (*Amaranthus hybridus*)、凹头苋 (*Amaranthus lividus*)、香丝草 (*Erigeron bonariensis*)、牵牛 (*Ipomoea nil*)、白车轴草 (*Trifolium repens*)、斑地

表 3 温州市鹿城区入侵植物公园分布情况
Table 3 Park distribution of invasive plants in Lucheng District, Wenzhou City

种	公园分布		总计	
	2024 年上半年	2023 年下半年	2024 年 上半年	2023 年 下半年
藿香蓟 (<i>Ageratum conyzoides</i>)	—	1、2、5、6、9、15、19、20、24~29、33	0	15
大狼把草(<i>Bidens frondosa</i>)	25	3、8、13、19、24~26、28、33	1	9
鬼针草(<i>Bidens pilosa</i>)	12、14、19	1、3、9、12~15、19、20、33	3	10
一年蓬(<i>Erigeron annuus</i>)	5	19、20、23	1	3
小蓬草(<i>Erigeron canadensis</i>)	1、9、11、12、16~20、26、28、33	11~13、15、25、28、31~33	12	9
苏门白酒草 (<i>Erigeron sumatrensis</i>)	1~3、5~7、9~28、30~33	1~5、8~15、19、20、22~26、28~30、33	30	24
加拿大一枝黄花 (<i>Solidago canadensis</i>)	12	8、20、21、25	1	4
钻叶紫菀 (<i>Symphyotrichum subulatum</i>)	18、19、25、30、33	1、2、4、5、14、18~21、23~25、28~33	5	18
土荆芥 (<i>Chenopodium ambrosioides</i>)	—	21	0	1
马缨丹(<i>Lantana camara</i>)	17	1、2、5、6、9、15、19、20、24~26、28、29、33	1	14
垂序商陆 (<i>Phytolacca americana</i>)	—	1~4、8~10、12~15、18、20、23、26、30	0	16
喜旱莲子草 (<i>Alternanthera philoxeroides</i>)	1、5、11、12、17、18、21、25、32	1~33	9	33
反枝苋 (<i>Amaranthus retroflexus</i>)	—	21	0	1
刺苋(<i>Amaranthus spinosus</i>)	—	21	0	1
三裂叶薯(<i>Ipomoea triloba</i>)	—	14	0	1
绿穗苋 (<i>Amaranthus hybridus</i>)	—	14	0	1
凹头苋(<i>Amaranthus lividus</i>)	—	3、13	0	2
野胡萝卜(<i>Daucus carota</i>)	10、20、21	—	3	0
南美天胡荽 (<i>Hydrocotyle verticillata</i>)	19、20、24、26~29	1、20、23、24	7	4
野苘蒿(<i>Crassocephalum crepidioides</i>)	5	1、6、10、11、23	1	5
香丝草(<i>Erigeron bonariensis</i>)	—	8、23	0	2
牵牛(<i>Ipomoea nil</i>)	—	12、14	0	2
野老鹳草 (<i>Geranium carolinianum</i>)	1~3、5、7、9、12~15、17~25、 27、28、30~32	—	24	0
白车轴草(<i>Trifolium repens</i>)	—	24	0	1
阿拉伯婆婆纳 (<i>Veronica persica</i>)	2、5、7~12、14、15、18~25、27、 28、30~32	—	23	0
裸柱菊(<i>Soliva anthemifolia</i>)	5、9、16、17、26、30、31	—	7	0
斑地锦(<i>Euphorbia maculata</i>)	—	1~9、12、14~20、22~29、31~33	0	28
北美车前 (<i>Plantago virginica</i>)	5、9、18~20、26	—	6	0
刺果毛茛 (<i>Ranunculus muricatus</i>)	16、2	—	2	0

续表				
种	公园分布		总计	
	2024年上半年	2023年下半年	2024年 上半年	2023年 下半年
少花龙葵 (<i>Solanum americanum</i>)	—	9、21	0	2
黄秋英(<i>Cosmos sulphureus</i>)	—	27	0	1
鳢肠(<i>Eclipta prostrata</i>)	—	3、8、11、20、21、27	0	6
苦苣菜(<i>Sonchus oleraceus</i>)	10、15、20、25	—	4	0
球序卷耳 (<i>Cerastium glomeratum</i>)	2、3、5、6、9、10、13、14、16~18、 20~23、26、27、31、33	—	19	0
鹅肠菜(<i>Stellaria aquatica</i>)	4、7、14、16、23	—	5	0
臭芥(<i>Coronopus didymus</i>)	5、9~11、14、21、26	—	7	0
匍匐大戟 (<i>Euphorbia prostrata</i>)	—	3	0	1
草木樨(<i>Melilotus officinalis</i>)	—	21	0	1
红花酢浆草 (<i>Oxalis corymbosa</i>)	1~20、22~33	6	32	1
土人参 (<i>Talinum paniculatum</i>)	1	—	1	0
直立婆婆纳 (<i>Veronica arvensis</i>)	9、16、17、33	—	4	0
蚊母草(<i>Veronica peregrina</i>)	1~3、7、8、11、13、18、22、27、 28、30、32	—	13	0
小叶冷水花 (<i>Pilea microphylla</i>)	30	—	1	0
大藻(<i>Pistia stratiotes</i>)	19	20、21、28、33	1	4
凤眼蓝(<i>Pontederia crassipes</i>)	19	19、23、33	1	3
铺地黍(<i>Panicum repens</i>)	—	5、12、19	0	3
双穗雀稗 (<i>Paspalum distichum</i>)	—	1	0	1
丝毛雀稗(<i>Paspalum urvillei</i>)	—	14、21	0	2

注：1~33 数字为表 1 公园序号。
Note: Numbers 1~33 indicate the park serial numbers listed in Table 1.

锦 (*Euphorbia maculata*)、少花龙葵 (*Solanum americanum*)、黄秋英 (*Cosmos sulphureus*)、鳢肠 (*Eclipta prostrata*)、匍匐大戟 (*Euphorbia prostrata*)、草木樨 (*Melilotus officinalis*)、铺地黍 (*Panicum repens*)、双穗雀稗 (*Paspalum distichum*) 和丝毛雀稗 (*Paspalum urvillei*)。

2023 年下半年较 2024 年上半年分布公园数量变化幅度超过 20 个公园的物种包括：红花酢浆草由下半年的 1 个公园增加至上半年的 32 个，斑地锦由下半年的 28 个减少至下半年无记录，喜旱莲子草由下半年的 33 个减少至 9 个，而野老鹳草和阿拉伯婆婆纳则分别由下半年的无记录增加至上半年的 24 个和 23 个公园。

3.3 外来入侵植物生活型、原产地、入侵等级以及入侵途径

在生活型构成上,48 种外来入侵植物以一年生草本植物为主,有 31 种,占总种数的 64.58%;二年生草本 5 种,占总数的 10.42%;多年生草本 11 种,占总种数的 22.92%;多年生木本 1 种,占总种数的 2.08%;无藤本植物(图 2)。

在原产地构成上,其原产地大部分都是美洲,为 35 种,占总种数的 72.92%;其次是原产地为欧洲的外来入侵植物 8 种,占总种数的 16.67%;再是原产地为非洲的外来入侵植物 3 种,占总种数的 6.25%;原产地为亚洲的外来入侵植物 2 种,占总数的 4.17%(图 2)。

在入侵等级构成上,其恶性入侵植物为17种,严重入侵植物为11种,局部入侵植物为7种,一般入侵植物为13种,分别占总种数的35.42%、22.92%、14.58%、27.08%(图2)。恶性入侵植物有土荆芥、喜旱莲子草、反枝苋、刺苋、垂序商陆、三裂叶薯、马缨丹、藿香蓟、大狼把草、鬼针草、一年蓬、小蓬草、苏门白酒草、加拿大一枝黄花、钻叶紫菀、大藻和凤眼蓝(表2)。

在入侵途径构成上,其有意引入为24种(占50.00%),无意引入为16种(占33.33%),自然传播为8种(占16.67%)(图2)。其中喜旱莲子草、红花酢浆草、大藻等植物是作为饲料植物而有意引入;加拿大一枝黄花、白车轴草、凤眼蓝等植物是作为观赏植物而被有意引入;土荆芥、刺苋、反枝苋、斑地锦、大狼把草、鬼针草等植物是随带土苗木、交通运输、货物传播、农作物种子、粮食贸易等途径无意引入;小蓬草、鳢肠、双穗雀稗则是通过风力、流水等自然传播方式从周边国家传入^[8,26-27]。

3.4 不同公园的物种丰富度与谱系多样性

Kruskal-Wallis非参数检验分析结果显示,四类公园的物种丰富度差异显著,社区公园的外来入侵植物物种丰富度显著低于自然郊野公园和城市公园($P<0.05$)。然而,谱系多样性指数(Faith's PD)、

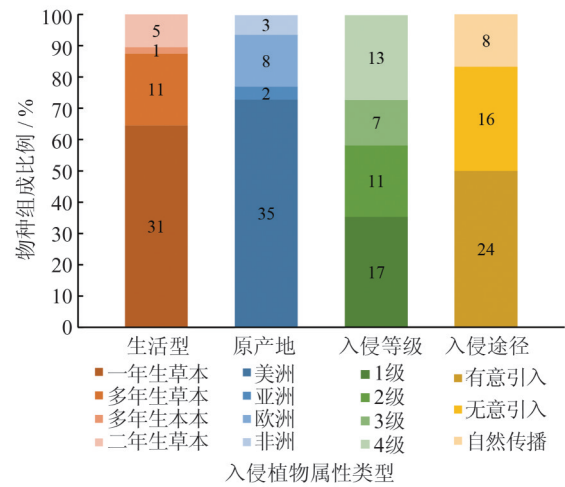


图2 温州市鹿城区外来入侵植物生活型、原产地、入侵等级和入侵途径

Figure 2 Life forms, origins, invasion levels, and introduction pathways of alien invasive plants in Lucheng District, Wenzhou City

净亲缘关系指数(NRI)和最近亲缘指数(NTI)均未出现显著差异($P>0.05$)(图3)。

4 讨论

4.1 入侵植物物种组成与公园分布格局

调查发现浙江省的外来入侵植物有166种隶属

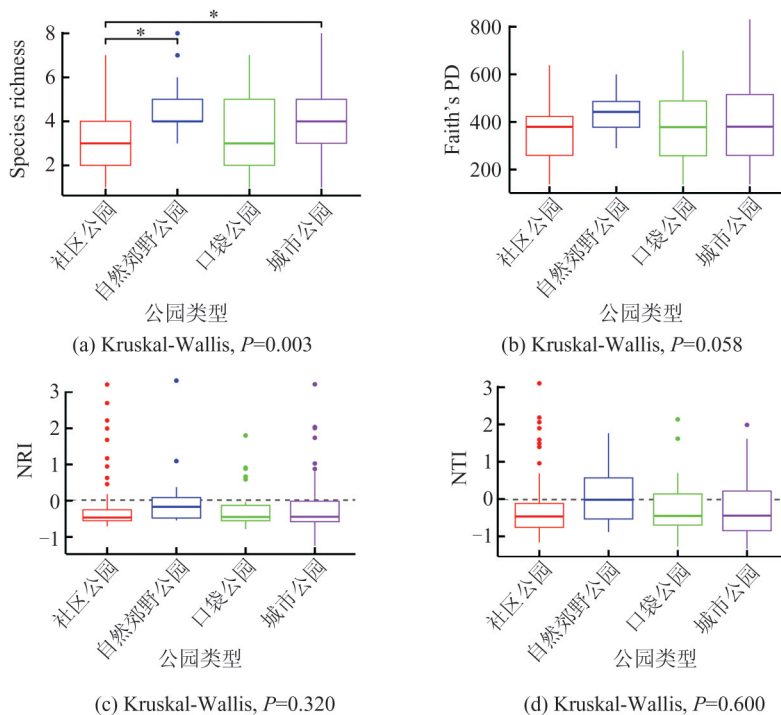


图3 入侵植物在不同类型公园中的物种丰富度与谱系多样性差异

Figure 3 Differences in species richness and phylogenetic diversity of invasive plants among different park types

注:星号表示显著性水平($*P<0.05$, $**P<0.01$, $***P<0.001$)。图(c)、(d)中虚线表示零值参考线。

Note: Asterisks indicate significance levels ($*P<0.05$, $**P<0.01$, $***P<0.001$). The dashed lines in panels (c) and (d) indicate the zero reference line.

于46科106属,被子植物中,双子叶植物为146种,单子叶植物为18种,以菊科、豆科、禾本科和苋科构成了浙江省外来入侵植物的主体^[8]。本次温州市鹿城区外来入侵植物调查情况与此基本一致,并与其他国家和地区(如苏丹、欧洲、加拿大、澳大利亚等)对于外来入侵植物物种组成的分析结果也相一致^[28-31]。但是在物种数上远不及浙江省,可能是由于本次所调查的区域小以及一些外来入侵植物还未传播至温州或还未形成种群而造成的。在外来入侵植物中,由于菊科植物的生物学特性,如产生的种子数目多、萼片转化为冠毛利于种子风媒传播、传粉方式多样、适应能力强等。因此,菊科植物在外来入侵植物中,往往比当地植物更占优势,成为外来入侵植物中的主要入侵植物^[32],如全年均有记录的外来入侵植物14种以菊科物种为主(8种,57.14%)。但在本次调查研究中发现,具有短生活史周期的草本入侵植物一般入侵性较弱,像仅在上半年出现的14种外来入侵植物多为入侵等级较低的物种(以3~4级为主,11种,占78.57%),野老鹳草、阿拉伯婆婆纳和球序卷耳等这类物种通常在春季完成生活史,对高温或强竞争环境的适应能力有限^[33]。

4.2 入侵植物的生活型与产地来源

本次温州市鹿城区公园调查到的入侵植物以草本植物为主(97.92%,一年生草本占64.58%),这与浙江省的入侵植物多为草本植物(81.14%)^[8]的研究结果相似。与木本植物相比,草本植物的特点有种子多、质量轻、传播率高、繁殖性强;有较高的开花频率且生活史短;繁殖方式多样;幼苗生长发育快速和成熟早^[34]。因此,当它们进入入侵地时,更有可能生存并适应入侵区域。例如,加拿大一枝黄花原产北美,于1935年作为观赏(庭院)植物引入上海,随后逸生并在我国多地扩散^[35]。该物种已被列入《重点管理外来入侵物种名录》(自2023年1月1日起施行)^[36]。其传入温州是在人为栽培植物过程中随附着土壤一并带入,并最终在当地成功定植。该物种在花果期可形成大量带冠毛的轻小种子(成熟单株可形成2万多粒),种子可随风发生远距离传播,从而促进其在入侵地的快速扩张,且其可通过地下根茎和茎基部的节进行无性繁殖,以产生新的个体^[37]。

温州市鹿城区公园外来入侵植物的调查发现35种入侵植物原产于美洲,并且其中一半的植物入侵等级达2级及以上。这与整个浙江省(美洲占比57.79%)^[8]以及国内其他省市(安徽、云南、内蒙古、

西藏、中国香港、京津冀、华南地区等)对于外来入侵植物的调查与原产地分析的结果大体一致^[38-44]。原产于美洲的植物能在鹿城区公园入侵的主要原因可能是两地的气候比较相似。同时多数入侵植物的原生存地的气候类型为亚热带季风和季风性湿润气候^[8],这与温州亚热带季风气候的条件相吻合。这就使得入侵植物更快地适应被入侵地的环境条件,更好地形成种群。东亚和北美洲的长期分离也可能导致两大洲之间生物物种的交流减少,缺乏相互依存和相互限制的生态关系^[45]。外来入侵植物不会受到天敌的制约,为外来植物的入侵、繁殖和扩散提供了有利条件。最重要的是中国近年来与美洲国家的进出口贸易达到鼎盛时期,特别是中国与美国的贸易往来非常频繁,这无疑为美洲植物入侵到中国提供了便利的传播方式和途径^[46]。

4.3 不同类型公园的入侵植物物种丰富度与谱系多样性

四类公园的外来入侵植物物种丰富度存在显著差异,其中社区公园的物种丰富度明显低于自然郊野公园和城市公园。这一差异可能与不同公园类型的绿地规模、景观结构和人为干扰强度有关。自然郊野公园通常拥有较大的连续绿地面积和较弱的人为干预能力,城市公园则因景观开放、人流量大而更易受到外来植物传入,从而支持更高的物种数量^[47-48]。相比之下,社区公园面积较小、绿化结构较简单且管理频繁,其外来植物定殖空间和传播路径受到限制,因此物种丰富度较低^[49-50]。然而,谱系多样性指标(Faith's PD、NRI和NTI)在不同公园类型之间均未出现显著差异。这表明虽然各公园的外来植物数量不同,但其在进化谱系上的分布格局大体一致。值得注意的是,NRI和NTI的总体取值多位于零值以下,表现出一定的谱系发散倾向,表明共存的外来入侵植物在亲缘关系上并非高度集中于少数近缘类群,而更可能来自相对较远缘的谱系。可能原因是区域内外来入侵植物的来源较为集中,主要属于少数具有强扩散能力与环境适应能力的优势谱系,如菊科、苋科、禾本科等在城市绿地中普遍存在^[51-52]。因此,不同公园类型虽在物种数量上有所差异,但谱系组成高度相似,未表现出显著的谱系多样性差异。

4.4 对城市公园外来入侵植物的防治与管理意见

对外来入侵植物的控制方法主要有物理清除、化学清除及生物防治等^[53]。单一方法使用对遏制

外来入侵植物的扩散效果较差。廖慧璇等^[54]提出利用生态防范的方式来对抗外来入侵植物,如土著植物控制、植物-微生物反馈、化感作用、生态环境调控机制,并结合传统的方式,一起解决处理外来入侵植物短期有效而后又重新爆发的难题。温州市地处沿海地区,对外贸易比较发达,外来植物的种子可能会随着货物及交通而进入境内。因此,首先应加强海关对外来货物(植物、动物、商品等)的检验和检疫。其次,对于外来植物应更新完善风险评估体系。建议建立完善的外来植物引种(园艺种等)的风险评估体系,且加强被引种地的实时监控与管理。再次,需要关注外来入侵植物的季节性动态。

喜旱莲子草和斑地锦等物种,在下半年分布范围急剧增加,应作为下半年防控的重点对象。相比之下,部分仅在上半年出现且入侵等级较低的物种,多表现为阶段性发生,其对群落结构的长期影响相对有限^[35,55]。因而,在城市公园外来入侵植物管理中,应结合物种入侵等级及其季节动态特征,实施分级、分时段针对性防控措施。

不同类型公园的外来入侵植物物种丰富度存在差异,而谱系结构高度相似,说明区域内外来植物主要来自少数优势谱系。在此基础上,应重点加强对菊科、苋科、禾本科等高风险科群的监测与早期清除,在城市尺度建立针对优势谱系的外来植物预警机制^[54]。对于物种数量较高的自然郊野公园和城市公园,可加强入口、步道、水体边缘等高传播风险区域的巡查与管理,减少外来植物的输入与扩散。社区公园管理频繁、植被结构易受干扰,可通过补植本土植物、提高覆盖度、减少裸地等措施增强绿地的结构稳定性,以提高其对外来入侵植物的抵抗力。总体而言,在市区内应根据不同公园类型的特点,实施分区化管理策略,以提高外来入侵植物控制的效率与针对性。

参考文献

- [1] Foxcroft L C, Pyšek P, Richardson D M, et al. Plant invasion science in protected areas: progress and priorities[J]. *Biological Invasions*, 2017, 19(5): 1353-1378.
- [2] Potgieter L J, Gaertner M, Kueffer C, et al. Alien plants as mediators of ecosystem services and disservices in urban systems: a global review[J]. *Biological Invasions*, 2017, 19(12): 3571-3588.
- [3] Oduor A M O, Yang B F, Li J M. Alien ornamental plant species cultivated in Taizhou, southeastern China, may experience greater range expansions than native species under future climates[J]. *Global Ecology and Conservation*, 2023, 41: e02371.
- [4] Liu Y B, Ren Y H, Zhang H, et al. Characteristics of invasive alien plants in different urban areas: the case of Kunshan City, Jiangsu Province, China[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2025, 16: 1539457.
- [5] Hu S W, Jin C, Liao R Y, et al. Herbaceous ornamental plants with conspicuous aesthetic traits contribute to plant invasion risk in subtropical urban parks[J]. *Journal of Environmental Management*, 2023, 347: 119059.
- [6] Felappi J F, Sommer J H, Falkenberg T, et al. Urban park qualities driving visitors mental well-being and wildlife conservation in a Neotropical megacity[J]. *Scientific Reports*, 2024, 14: 4856.
- [7] 马金双, 李惠茹. 中国外来入侵植物名录[M]. 北京: 高等教育出版社, 2018.
Ma J S, Li H R. The checklist of the alien invasive plants in China[M]. Beijing: Higher Education Press, 2018.
- [8] 闫小玲, 寿海洋, 马金双. 浙江省外来入侵植物研究[J]. *植物分类与资源学报*, 2014, 36(1): 77-88.
Yan X L, Shou H Y, Ma J S. The alien invasive plants in Zhejiang Province, China[J]. *Plant Diversity and Resources*, 2014, 36(1): 77-88.
- [9] 胡仁勇, 丁炳扬, 陈贤兴, 等. 温州地区外来入侵植物的种类组成及区系特点[J]. *温州大学学报(自然科学版)*, 2011, 32(3): 18-25.
Hu R Y, Ding B Y, Chen X X, et al. Study on species composition and flora characteristics of alien invasive plants in Wenzhou[J]. *Journal of Wenzhou University (Natural Sciences)*, 2011, 32(3): 18-25.
- [10] Vigués Jorba J, Scherrer D, Duchenne F, et al. Differential responses of taxonomic, functional and phylogenetic multi-taxa diversity to environmental factors in temperate forest ecosystems[J]. *Ecological Indicators*, 2025, 178: 113855.
- [11] Tucker C M, Cadotte M W, Carvalho S B, et al. A guide to phylogenetic metrics for conservation, community ecology and macroecology[J]. *Biological Reviews*, 2017, 92(2): 698-715.
- [12] Qian H. Patterns of phylogenetic relatedness of non-native plants across the introduction-naturalization-invasion continuum in China[J]. *Plant Diversity*, 2023, 45(2): 169-176.
- [13] Banerjee A K, Tan F X, Feng H, et al. Invasive alien plants are phylogenetically distinct from other alien species across spatial and taxonomic scales in China[J].

- Frontiers in Plant Science, 2023, 14: 1075344.
- [14] Zhang Y F, Zhu Z Y, Yang X Q, et al. Effects of phylogenetic characteristics of herbaceous plant communities on the invasibility of different habitat communities in urban parks in Beijing[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2025, 15(5): 1800-1810.
- [15] Ayala-Azcárraga C, Diaz D, Zambrano L. Characteristics of urban parks and their relation to user well-being [J]. Landscape and Urban Planning, 2019, 189: 27-35.
- [16] 温州市住房和城乡建设局. 温州市城市绿地系统规划 (2021-2035 年)[EB/OL]. [2024-09-02]. https://zjj.wenzhou.gov.cn/art/2024/9/2/art_1229206191_4253872.html.
- [17] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市绿地分类标准 (CJJ/T85-2017) [EB/OL]. [2018-06-26]. https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/zc/wjk/art/2018/art_17339_236545.html.
- [18] 浙江植物志编辑委员会. 《浙江植物志》[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1993.
Editorial Board of Flora of Zhejiang. Flora of Zhejiang [M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1993.
- [19] Turbelin A J, Diagne C, Hudgins E J, et al. Introduction pathways of economically costly invasive alien species [J]. Biological Invasions, 2022, 24 (7) : 2061-2079.
- [20] Faith D P. Conservation evaluation and phylogenetic diversity [J]. Biological Conservation, 1992, 61 (1) : 1-10.
- [21] Exploring the phylogenetic structure of ecological communities: an example for rain forest trees [J]. The American Naturalist, 2000, 156(2): 145-155.
- [22] Webb C O, Ackerly D D, McPeck M A, et al. Phylogenies and community ecology[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 2002, 33 (2002): 475-505.
- [23] Kembel S W, Cowan P D, Helmus M R, et al. Pican-te: R tools for integrating phylogenies and ecology[J]. Bioinformatics, 2010, 26(11): 1463-1464.
- [24] Miller E T, Farine D R, Trisos C H. Phylogenetic community structure metrics and null models: a review with new methods and software[J]. Ecography, 2017, 40(4): 461-477.
- [25] Nwobi F N, Akanno F C. Power comparison of ANOVA and Kruskal-Wallis tests when error assumptions are violated [J]. Metodoloski Zvezki, 2021, 18 (2): 53-71.
- [26] 谢国雄, 徐正浩, 陈为民, 等. 杭州地区外来有害植物的入侵扩散途径·危害及防治对策[J]. 农业灾害研究, 2012, 2(3): 37-41, 51.
- Xie G X, Xu Z H, Chen W M, et al. The invasive and spread patterns, harmfulness, countermeasures of exotic harmful plants in Hangzhou district [J]. Journal of Agricultural Catastrophology, 2012, 2 (3) : 37-41, 51.
- [27] 殷茜, 汪洪江, 刘兴剑. 南京中山植物园外来入侵植物分布特征及其入侵途径[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2019(2): 128-134, 163.
Yin Q, Wang H J, Liu X J. An investigation of the invasive plants in Nanjing Botanical Garden Memorial Sun Yat-Sen [J]. Journal of East China Normal University (Natural Science), 2019(2): 128-134, 163.
- [28] Warwick S I, Cavers P B, Darbyshire S. A new series. The biology of invasive alien plants in Canada. Instruction for preparation accounts [J]. Canadian Journal of Plant Science, 2003, 83(4): 655-659.
- [29] Kriticos D J, Sutherst R W, Brown J R, et al. Climate change and the potential distribution of an invasive alien plant: *Acacia nilotica* ssp. *indica* in Australia [J]. Journal of Applied Ecology, 2003, 40(1): 111-124.
- [30] Omer A, Kordofani M, Gibreel H H, et al. The alien flora of Sudan and South Sudan: taxonomic and biogeographical composition [J]. Biological Invasions, 2021, 23(7): 2033-2045.
- [31] Vilà M, Basnou C, Pyšek P, et al. How well do we understand the impacts of alien species on ecosystem services? A pan-European, cross-taxa assessment [J]. Frontiers in Ecology and the Environment, 2010, 8 (3): 135-144.
- [32] 高末, 骆争荣, 戈丽清, 等. 温州菊科入侵植物的分布特点及其扩散特征[J]. 温州大学学报(自然科学版), 2008, 29(5): 17-24.
Gao M, Luo Z R, Ge L Q, et al. Distribution and spread characteristics of invasive plants of Compositae in Wenzhou [J]. Journal of Wenzhou University (Natural Sciences), 2008, 29(5): 17-24.
- [33] 侯方, 王国伟, 李瑜. 云南玉溪市红塔区园林绿地春夏秋三季杂草发生危害规律研究[J]. 中国园艺文摘, 2016, 32(9): 65-70.
Hou F, Wang G W, Li Y. Weeds occurrence and harm regularity research of garden green space in spring, summer and autumn at Hongta district, Yuxi city [J]. Chinese Horticulture Abstracts, 2016, 32(9): 65-70.
- [34] 黄建辉, 韩兴国, 杨亲二, 等. 外来种入侵的生物学与生态学基础的若干问题[J]. 生物多样性, 2003, 11 (3): 240-247.
Huang J H, Han X G, Yang Q E, et al. Fundamentals of invasive species biology and ecology [J]. Biodiversity

- Science, 2003, 11(3): 240-247.
- [35] 董梅, 陆建忠, 张文驹, 等. 加拿大一枝黄花: 一种正在迅速扩张的外来入侵植物[J]. 植物分类学报, 2006, 44(1): 72-85.
- Dong M, Lu J Z, Zhang W J, et al. Canada goldenrod (*Solidago canadensis*): an invasive alien weed rapidly spreading in China[J]. Acta Phytotaxonomica Sinica, 2006, 44(1): 72-85.
- [36] 李飞飞, 郝强, 崔夏, 等. 对《重点管理外来入侵物种名录》中植物物种的解析与思考[J]. 植物科学学报, 2024, 42(2): 266-274.
- Li F F, Hao Q, Cui X, et al. Analysis and reflection of plant species in the Key Management List of Invasive Alien Species[J]. Plant Science Journal, 2024, 42(2): 266-274.
- [37] Huang H, Guo S L, Chen G Q. Reproductive biology in an invasive plant *Solidago canadensis* [J]. Frontiers of Biology in China, 2007, 2(2): 196-204.
- [38] 仇晓玉, 李洪池, 罗建. 西藏外来入侵植物区系、生活型及繁殖特性[J]. 高原农业, 2019, 3(6): 623-631, 649.
- Qiu X Y, Li H C, Luo J. Analysis of flora, life form and reproductive characteristics of invasive plants in Tibet[J]. Journal of Plateau Agriculture, 2019, 3(6): 623-631, 649.
- [39] 蒋奥林, 朱双双, 陈雨晴, 等. 中国香港外来入侵植物[J]. 广西植物, 2018, 38(3): 289-298.
- Jiang A L, Zhu S S, Chen Y Q, et al. Alien invasive plants in Hong Kong, China[J]. Guihaia, 2018, 38(3): 289-298.
- [40] 李嵘, 邓涛. 云南外来入侵植物现状和防控策略[J]. 西部林业科学, 2021, 50(5): 23-35.
- Li R, Deng T. Current status and control strategies of alien invasive plants in Yunnan Province[J]. Journal of West China Forestry Science, 2021, 50(5): 23-35.
- [41] 林建勇, 梁瑞龙, 李娟, 等. 华南地区外来入侵植物调查研究[J]. 广西林业科学, 2012, 41(3): 237-241.
- Lin J Y, Liang R L, Li J, et al. Study on the invasive alien plants in South China [J]. Guangxi Forestry Science, 2012, 41(3): 237-241.
- [42] 芮振宇, 钟耀华, 刘姚, 等. 安徽省外来植物入侵状况分析[J]. 生物安全学报, 2020, 29(1): 59-68.
- Rui Z Y, Zhong Y H, Liu Y, et al. The analysis on the alien invasive plants in Anhui Province [J]. Journal of Biosafety, 2020, 29(1): 59-68.
- [43] 石青, 陈雪, 罗雪晶, 等. 京津冀外来入侵植物的种类调查与分析[J]. 生物安全学报, 2017, 26(3): 215-223.
- Shi Q, Chen X, Luo X J, et al. Investigation and analysis on alien invasive plants in Beijing, Tianjin and Hebei Province [J]. Journal of Biosafety, 2017, 26(3): 215-223.
- [44] 王宜凡, 贺俊英. 内蒙古外来入侵植物种类调查及相关分析[J]. 生物安全学报, 2021, 30(4): 256-262.
- Wang Y F, He J Y. Species investigation and related analysis of the alien invasive plants in Inner Mongolia [J]. Journal of Biosafety, 2021, 30(4): 256-262.
- [45] 郭勤峰. 跨太平洋生物入侵研究展望[J]. 植物生态学报, 2002, 26(6): 724-730.
- Guo Q F. Perspectives on trans_pacific biological invasions [J]. Acta Phytocologica Sinica, 2002, 26(6): 724-730.
- [46] 赵云峰, 赵彩云, 朱金方, 等. 北京市典型公园外来入侵植物分布格局[J]. 生态学报, 2022, 42(9): 3656-3665.
- Zhao Y F, Zhao C Y, Zhu J F, et al. Distribution pattern of alien invasive plants in typical parks in Beijing [J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(9): 3656-3665.
- [47] Talal M L, Santelmann M V. Plant community composition and biodiversity patterns in urban parks of Portland, Oregon[J]. Frontiers in Ecology and Evolution, 2019, 7: 201.
- [48] Li X P, Li X L, Zhang M Y, et al. Urban park attributes as predictors for the diversity and composition of spontaneous plants — A case in Beijing, China[J]. Urban Forestry and Urban Greening, 2024, 91: 128185.
- [49] Ye Y, Qiu H F, Zhou X C, et al. Urban landscape pattern affects plant diversity in green spaces: evidence from street view imagery[J]. Global Ecology and Conservation, 2025, 57: e03395.
- [50] Winkler J, Pasternak G, Sas W, et al. Nature-based management of lawns - enhancing biodiversity in urban green infrastructure [J]. Applied Sciences, 2024, 14(5): 1705.
- [51] Dylewski Ł, Banaszak-Cibicka W, Maćkowiak Ł, et al. How do urbanization and alien species affect the plant taxonomic, functional, and phylogenetic diversity in different types of urban green areas?[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2023, 30(40): 92390-92403.
- [52] Zhang A Y, Hu X Y, Yao S H, et al. Alien, naturalized and invasive plants in China[J]. Plants, 2021, 10(11): 2241.
- [53] 陈宝雄, 孙玉芳, 韩智华, 等. 我国外来入侵生物防控现状、问题和对策[J]. 生物安全学报, 2020, 29(3): 157-163.
- Chen B X, Sun Y F, Han Z H, et al. Challenges in preventing and controlling invasive alien species in China

- [J]. Journal of Biosafety, 2020, 29(3): 157-163.
- [54] 廖慧璇, 周婷, 陈宝明, 等. 外来入侵植物的生态控制[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2021, 60(4): 1-11.
- Liao H X, Zhou T, Chen B M, et al. Ecological control of exotic invasive plants[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2021, 60(4): 1-11.
- [55] 朱碧华, 胡雪雁, 汪玉如. 南昌城市绿地春季杂草发生规律及防除利用[J]. 福建林业科技, 2013, 40(1): 110-113.
- Zhu B H, Hu X Y, Wang Y R. Law, control and utilization of spring weeds on the urban green land in Nanchang[J]. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2013, 40(1): 110-113.