

DOI:10.12171/j.1000-1522.20240388

# 北京市朝阳区公园绿地中外来入侵植物与 本地植物群落特征对比

张倩倩 曲晨晖 梁婉婷 付琪瑶 侯继华

(北京林业大学生态与自然保护学院, 北京 100083)

**摘要:**【目的】外来植物的入侵对城市公园绿地的生物多样性和生态系统稳定性构成威胁。本研究旨在探讨公园绿地中不同生境下外来植物入侵现状及其与本地优势种及常见种的种间关系,为制定有效的防控措施和生态安全管理策略提供科学依据。【方法】本研究以朝阳区10个外来植物分布广泛的公园为研究区域,通过 $\alpha$ 多样性、生态位宽度、生态位重叠和种间联结指数分析不同生境中外来入侵植物的多样性和生态位宽度,以及外来入侵植物与本地优势种及常见种的生态位重叠和种间联结。【结果】(1)北京市朝阳区公园绿地的草地、林地和湿地生境中共记录到31种外来入侵植物,隶属于13科24属,其中菊科植物占比最大;外来入侵植物和本地植物的多样性指数在不同生境中均无显著差异,外来入侵植物的丰富度、Shannon-Wiener多样性指数、Simpson优势度指数在3种生境中均显著低于本地植物;(2)药用蒲公英是3种生境内生态位宽度最大的外来入侵植物,但与本地优势种及常见种之间的生态位重叠程度低;(3)3种生境内的外来入侵植物与本地优势种及常见种的生态位重叠与种间联结程度均较低,种间竞争能力较弱。【结论】目前北京市朝阳区公园绿地中外来入侵植物的入侵程度较低,植物群落处于不稳定的早期演替阶段,种间关系松散,尚未形成稳定结构。因此,应加强外来入侵植物的监测与管理,优化本地草本植物群落结构,提高其稳定性与抗入侵能力。

**关键词:** 生境; 外来入侵植物; 本地植物; 生态位; 种间联结

**中图分类号:** Q948.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1522(2025)03-0116-12

**引文格式:** 张倩倩, 曲晨晖, 梁婉婷, 等. 北京市朝阳区公园绿地中外来入侵植物与本地植物群落特征对比 [J]. 北京林业大学学报, 2025, 47(3): 116-127. Zhang Qianqian, Qu Chenhui, Liang Wanting, et al. Comparison of alien invasive plant and native plant community characteristics in park green space of Chaoyang District, Beijing [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2025, 47(3): 116-127.

## Comparison of alien invasive plant and native plant community characteristics in park green space of Chaoyang District, Beijing

Zhang Qianqian Qu Chenhui Liang Wanting Fu Qiyao Hou Jihua

(School of Ecology and Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** [Objective] The invasion of alien plants poses threats to the biodiversity and ecosystem stability in urban park green space. This study aimed to explore current status of alien plant invasion in different habitats within park green space and their interspecific relationship with native dominant and common species, providing a scientific basis for effective control and ecological safety management strategies. [Method] This study was conducted in ten parks with widespread distribution of alien plants in Chaoyang District, Beijing. Using  $\alpha$ -diversity, niche breadth, niche overlap, and interspecific association indices, we analyzed the diversity and niche breadth of alien invasive plants in different habitats, as well as the niche

收稿日期: 2024-11-19 修回日期: 2024-12-24

基金项目: 朝阳区生物多样性规划编制及调查和评估。

第一作者: 张倩倩。主要研究方向: 入侵生态学, 植物功能性状。Email: zhang723212@163.com 地址: 100083 北京市海淀区清华东路35号北京林业大学生态与自然保护学院。

责任作者: 侯继华, 博士, 教授。主要研究方向: 植物功能性状。Email: houjihua@bjfu.edu.cn 地址: 同上。

本刊网址: <http://j.bjfu.edu.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

overlap and interspecific association between alien invasive plants and native dominant and common species. [Result] (1) A total of 31 species of alien invasive plants belonging to 13 families and 24 genera were recorded in the grassland, woodland, and wetland habitats of park green space in Chaoyang District, Beijing, with the largest proportion belonging to the Asteraceae family. There were no significant differences in species diversity of alien invasive plants and native plants across different habitats. However, the species richness, species diversity measured by Shannon-Wiener index, and Simpson's dominance index of alien invasive plants were significantly lower than those of native plants in three habitats. (2) *Taraxacum officinale* had the largest niche breadth among the alien invasive plants in all three habitats, but its niche overlap with native dominant and common species was low. (3) The niche overlap and interspecific association between alien invasive plants and native dominant and common species were low in all three habitats, indicating weak interspecific competitive ability. [Conclusion] Currently, the invasion of alien invasive plants in the park green space of Chaoyang District, Beijing, is relatively low, and the plant communities are in an unstable early succession stage with loose interspecific relationship and no stable structure formed. Therefore, it is necessary to strengthen the monitoring and management of alien invasive plants, optimize the herbaceous plant community structure, and improve its stability and resistance to invasion.

**Key words:** habitat; alien invasive plants; native plants; niche; interspecific association

外来入侵植物是指通过有意或无意的人类活动被引入到自然分布区之外,能够成功定殖并对生态系统造成危害的植物<sup>[1]</sup>。城市绿地作为城市生态系统的重要组成部分,尤其是公园绿地,对于外来植物的入侵抵抗力尤为脆弱<sup>[2]</sup>。生物抵抗假说<sup>[3]</sup>认为,物种组成越丰富的群落,空余生态位越少,资源利用率越高,抵御外来植物入侵的能力越强,从而表现出较高的生态稳定性。相比之下,物种组成越简单的群落,由于空余生态位较多,资源利用效率低,竞争压力较小,因此更容易被外来植物入侵。频繁的人类活动对公园绿地植物群落造成了不同程度的干扰,不仅破坏了生态系统的稳定性,还降低了本地植物的多样性,因而导致群落空余生态位的出现,为外来入侵植物的成功定殖提供了条件<sup>[4-5]</sup>。李沛蓉等<sup>[6]</sup>对运城盐湖湿地入侵植物的调查发现,在人为干扰程度频繁的区域,外来入侵植物的种数较多,进而对当地的生态平衡构成威胁。El-Barougy等<sup>[7]</sup>对埃及尼罗河三角洲沿岸城市不同栖息地的外来入侵植物树牵牛(*Ipomoea carnea*)的研究发现,其在受干扰的生境中的生存概率最高,导致区域内本地植物的多样性逐渐减少。因此,在人为干扰较强的生境中,外来植物的成功入侵会对本地植物群落的多样性和稳定性构成严重威胁<sup>[8]</sup>。

植物群落中物种间的相互关系是生态学研究热点问题之一,主要包括物种对生境中有限资源的竞争关系及不同物种之间稳定共存的机制。这些关系通常通过物种的生态位特征<sup>[9-10]</sup>和种间联结<sup>[11-12]</sup>来揭示。基于这一方法,郭朝丹等<sup>[13]</sup>发现,在弄岗

国家级自然保护区内,以广西澄广花(*Orophea polycarpa*)、麻竹(*Dendrocalamus latiflorus*)、秋枫(*Bischofia javanica*)和人面子(*Dracontomelon duperreanum*)为本地优势植物的4种生境中,外来入侵植物与本地优势植物生态位重叠和种间联结程度均较低,种间竞争较弱。Nan等<sup>[14]</sup>发现,长江流域内被喜旱莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)入侵的干旱与潮湿生境中,喜旱莲子草的生态位宽度均最大,大多数物种彼此之间竞争较少,群落结构处于不稳定的发展阶段。通过生态位和种间联结的分析,不仅能够深入理解外来入侵植物与本地植物对资源的竞争和共存策略,还能准确评估群落的结构及其稳定性。这种分析为评估外来入侵植物对生态系统的潜在影响、监测其生态后果,以及制定有效的群落恢复和管理措施提供了宝贵的科学依据。

目前,大多数关于外来入侵植物和本地植物关系的研究聚焦于自然或半自然环境。城市公园绿地作为高度人工化的生境,其植被与自然生境显著不同,主要为人工植被或不同干扰程度的次生植被,群落多样性和稳定性低,对外来植物的入侵抵抗力尤为脆弱<sup>[15]</sup>。然而,关于城市公园绿地中不同生境内外来入侵植物与本地植物相互作用的研究仍然较为匮乏。因此,研究公园绿地群落中外来入侵植物与本地植物之间的相互作用,有助于加深我们对外来入侵植物的资源利用策略及其与本地植物之间的关系的理解,对于城市生物多样性保护具有指导意义。

北京市朝阳区人口密集,人口和货物流动频繁,

原生植被严重破碎化,外来植物的入侵问题严重<sup>[4]</sup>。本研究以朝阳区10个外来入侵植物分布广泛的公园为研究区域,旨在:(1)明确朝阳区公园内不同生境中外来入侵植物现状;(2)明晰外来入侵植物在不同生境中的资源利用能力及其与本地优势种及常见种之间的关系。通过本研究,可以进一步认识在高度人工化的城市公园绿地生境中,外来入侵植物的入侵现状,及其与本地植物的关系,为城市公园绿地外来入侵植物的防控和城市生态安全管理措施的制定提供科学依据。

## 1 研究区域与研究方法

### 1.1 研究区域

北京市朝阳区地处北京市中南部,位于 $39^{\circ}49' \sim 40^{\circ}05'N$ ,  $116^{\circ}21' \sim 116^{\circ}38'E$ 之间,面积约 $470.8 \text{ km}^2$ 。地势较为平坦,平均海拔 $34 \text{ m}$ ,属温带大陆性半湿润季风气候,四季分明,年平均降水量 $581 \text{ mm}$ ,且降水集中于夏季。依据文献资料与前期样线调查的结果,本研究选取了朝阳区10个外来入侵植物分布广泛的公园作为研究区域(图1)。依据公园内植物的可用光照与水分特征,将公园绿地的生境类型划分为3类,即草地、林地和湿地。

草地是指以草本植物为主体,乔木层郁闭度在 $0.2$ 以下,且不与水体相邻的稀疏林地和草坪。常见植物群落以狗尾草(*Setaria viridis*)、荩草(*Arthraxon hispidus*)和蛇莓(*Duchesnea indica*)等为优势种。

林地是指以木本植物为主体,郁闭度 $0.2$ 以上,不与水体相邻的乔木林地或灌木林地。植被覆盖率较高但结构较为单一,以槐(*Styphnolobium japonicum*)、绦柳(*Salix matsudana 'Pendula'*)、油松

(*Pinus tabuliformis*)等华北常见植物为优势种的人工林群落。

湿地是指公园内包含水体及水陆过渡带的区域,如湖泊、池塘、河流等水体周边。常见植物群落以芦苇(*Phragmites australis*)、香蒲(*Typha orientalis*)等湿生植物为主,同时分布有莲(*Nelumbo nucifera*)、浮萍(*Lemna minor*)等水生植物。

### 1.2 样方调查

2023年6—9月,通过样线和样方法对外来入侵植物进行详细调查。鉴于大多数外来入侵植物主要分布在草本层,且草本层对环境因子的响应较为敏感,能够较快反映入侵植物的扩散和生态效应,本研究重点聚焦于草本层植被。因此,分别在公园内典型的草地、林地和湿地生境中设置取样点,每个取样点设置5个 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的草本样方,记录样方内的草本层植物种类、株数、盖度和高度,同时记录样方的生境类型、距离道路的距离、经纬度、坡度和海拔等基础信息。在10个公园内总计布设102个样点和510个样方,其中草地、林地和湿地3种生境中分别布设样点38、38和26个,样方数量分别为190、190和130个(表1)。

依据《中国外来入侵植物名录》<sup>[16]</sup>确定所调查的植物是否为外来入侵植物,并进一步明确其原产地和入侵等级,入侵等级分为四级:恶性入侵(1级)、严重入侵(2级)、局部入侵(3级)以及一般入侵(4级)。

### 1.3 数据分析与处理

$\alpha$ 多样性采用丰富度( $D$ )、Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ )、Simpson优势度指数( $R$ )、Pielou均匀度指数( $J$ )<sup>[17]</sup>表征。

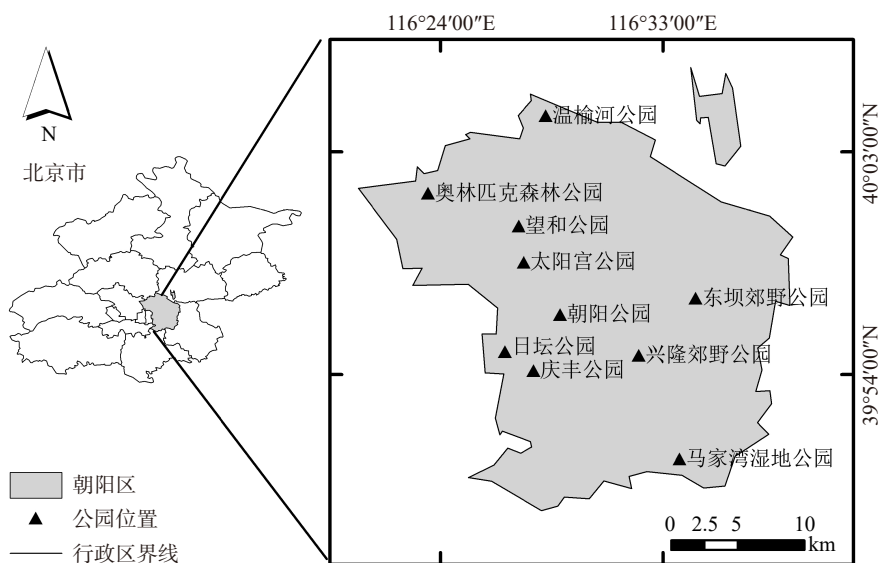


图1 北京市朝阳区公园调查样点地理空间分布

Fig. 1 Geographical spatial distribution of survey sampling points in Chaoyang District parks, Beijing

表 1 不同生境类型下各公园取样点统计

Tab. 1 Statistics in sampling points in various parks under different habitat types

公园名称	取样点			总计
	草地	林地	湿地	
日坛公园	3	3	0	6
朝阳公园	2	2	2	6
太阳宫公园	3	3	3	9
庆丰公园	3	3	0	6
望和公园	3	3	0	6
奥林匹克森林公园	6	9	9	24
兴隆郊野公园	3	3	0	6
马家湾湿地公园	3	3	3	9
东坝郊野公园	6	3	0	9
温榆河公园	6	6	9	21
总计	38	38	26	102

$$D = S \quad (1)$$

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (2)$$

$$R = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2 \quad (3)$$

$$J = H' / \ln S \quad (4)$$

式中:  $S$  为样方内出现的外来入侵植物的物种数,  $P_i$  为第  $i$  种外来入侵植物的个体数占样方内所有外来入侵植物总个体数的比例。

物种在群落中的优势度采用重要值反映<sup>[17]</sup>。

外来入侵植物的生态位宽度采用 Shannon-Wiener 生态位宽度指数( $B_S$ )计算<sup>[18]</sup>; 外来入侵植物与本地优势种及常见种(重要值排名前十的本地植物)之间的生态位重叠度采用 Pianka 生态位重叠指数( $O_{ik}$ )计算<sup>[19]</sup>。

$$B_S = -\sum_{j=1}^r P_{ij} \lg P_{ij} \quad (5)$$

$$O_{ik} = \sum_{j=1}^r P_{ij} P_{kj} / \sqrt{\sum_{j=1}^r P_{ij}^2 \sum_{j=1}^r P_{kj}^2} \quad (6)$$

式中:  $B_S$  为物种  $i$  的生态位宽度,  $P_{ij}$  代表物种  $i$  在第  $j$  个样方的重要值占该物种所有重要值的比例,  $r$  为样方数。  $B_S$  取值范围为  $0 \sim \lg r$ ,  $B_S = 0$  表示  $r$  个样方中仅有 1 个样方有该物种分布<sup>[18]</sup>。  $O_{ik}$  为物种  $i$  和物种  $k$  的生态位重叠度指数,  $P_{ij}$  和  $P_{kj}$  分别为物种  $i$  和物种  $k$  在第  $j$  个样方的重要值占其在所有样方内重要值总和的比例。  $O_{ik}$  取值范围为  $0 \sim 1$ ,  $O_{ik} > 0.6$  时为显著重叠,  $O_{ik} > 0.3$  时生态位重叠具有意义,  $O_{ik} = 1$  代表物种  $i$  和物种  $k$  生态位完全重叠<sup>[19]</sup>。

外来入侵植物与本地优势种及常见种之间的种

间联结使用 Ochiai 指数(OI)、Spearman 指数( $r_s$ )和 Pearson 指数( $r_p$ )表示。

$$OI = a / \sqrt{(a+b)(a+c)} \quad (7)$$

$$r_s(i, k) = 1 - \frac{6 \sum_{j=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \sum_{j=1}^N (x_{kj} - \bar{x}_k)^2}{N^3 - N} \quad (8)$$

$$r_p(i, k) = \frac{\sum_{j=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \sum_{j=1}^N (x_{kj} - \bar{x}_k)^2}} \quad (9)$$

式中:  $a$  为 2 个物种同时出现的样方数,  $b$ 、 $c$  分别为 2 个物种单独出现的样方数。 OI 取值范围为  $0 \sim 1$ , 当  $a = 0$ , OI = 0 时, 表示两物种不同时出现在一个样方中; 当  $a$  与样方总数相等时, OI 为 1, 表示两个物种出现在同一类样方中; OI 值越高, 物种对同时出现的概率越大, 但不一定表示种间的正关联程度越高。  $N$  为总样方数,  $x_{ij}$  和  $x_{kj}$  分别是物种  $i$  和物种  $k$  在样方  $j$  中的多度值,  $\bar{x}_i$  和  $\bar{x}_k$  分别是物种  $i$  和物种  $k$  在所有样方中多度的平均值。  $r_s$  和  $r_p$  值域为  $[-1, 1]$ , 正值表示正相关, 负值表示负相关<sup>[11]</sup>。

重要值使用 Excel 统计计算。多样性指数的计算使用 R4.3.2 中的 vegan 包, 生态位宽度、生态位重叠和种间联结的计算则使用 R4.3.2 中的 spaa 包。使用 R4.3.2 中的 lme4 包建立线性混合效应模型, 分析生境对外来入侵植物与本地植物物种多样性的影响。其中, 以不同生境类型、植被类型(外来入侵植物和本地植物)为固定效应, 公园为随机效应。同时, 采用 Tukey's HSD 多重比较法检验不同处理间物种多样性的显著性差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 物种组成与多样性

调查中共记录外来入侵植物 31 种, 隶属于 13 科 24 属(表 2)。其中, 菊科最多, 有 10 种, 占比 32.26%; 从原产地来看, 来源于北美洲的最多, 有 11 种, 占入侵植物种类的 35.48%; 从入侵等级来看, 1 级入侵植物 5 种, 2 级入侵植物 11 种, 3 级入侵植物 3 种, 4 级入侵植物 12 种; 小蓬草(*Erigeron canadensis*)、鳢肠(*Eclipta prostrata*)、反枝苋(*Amaranthus retroflexus*)、苦苣菜(*Sonchus oleraceus*)、白车轴草(*Trifolium repens*)等 11 种外来入侵植物在 3 种生境中均有分布, 其中有 8 种属于一年生草本植物, 占比为 72.73%; 垂序商陆(*Phytolacca americana*)和长芒苋(*A. palmeri*)仅在草地生境发现; 粗毛牛膝菊(*Galinsoga quadriradiata*)、小酸浆(*Physalis minima*)、皱果苋(*A. viridis*)和紫茉莉

表2 朝阳区公园绿地外来入侵植物及其在不同生境的生态位宽度

Tab. 2 Alien invasive plants in park green space of Chaoyang District and their niche breadth in different habitats

生活型	科	物种	缩写	原产地	入侵等级	生境(生态位宽度)
一年生草本	菊科 Asteraceae	大狼把草 <i>Bidens frondosa</i>	Bf	北美洲	1	b(0)、c(0.995)
		小蓬草 <i>Erigeron canadensis</i>	Ec	北美洲	1	a(1.215)、b(1.430)、c(1.118)
		钻叶紫菀 <i>Symphotrichum subulatum</i>	Ss	北美洲	1	c(0.552)
		牛膝菊 <i>Galinsoga parviflora</i>	Gp	南美洲	2	b(0.559)、c(0.413)
		粗毛牛膝菊 <i>G. quadriradiata</i>	Gq	北美洲	2	b(0.933)
		婆婆针 <i>B. bipinnata</i>	Bb	美洲	3	a(0.265)、b(0.522)
		鳢肠 <i>Eclipta prostrata</i>	Ep	美洲	4	a(0)、b(0)、c(0.670)
一年或二年生草本	苋科 Amaranthaceae	反枝苋 <i>Amaranthus retroflexus</i>	Ar	北美洲	1	a(0.525)、b(0.773)、c(0)
		凹头苋 <i>A. blitum</i>	Ab	北非、中亚、西亚和欧洲	2	a(0.712)、b(0.835)、c(0.566)
		长芒苋 <i>A. palmeri</i>	Ap	北美洲	2	a(0.300)
		皱果苋 <i>A. viridis</i>	Av	美洲	2	b(0)
		小藜 <i>Chenopodium ficifolium</i>	Cf	欧洲	4	a(0.815)、b(0.540)、c(0.734)
	旋花科 Convolvulaceae	圆叶牵牛 <i>I. purpurea</i>	Ip	美洲	1	a(0.869)、b(1.154)、c(0.676)
		牵牛 <i>I. nil</i>	In	美洲	2	a(0.513)、b(0.883)
	紫茉莉科 Nyctaginaceae	紫茉莉 <i>Mirabilis jalapa</i>	Mj	美洲	2	b(0)
	大戟科 Euphorbiaceae	斑地锦草 <i>Euphorbia maculata</i>	Em	北美洲	3	a(1.242)、b(1.318)、c(1.160)
	锦葵科 Malvaceae	苘麻 <i>Abutilon theophrasti</i>	At	南亚	3	a(0.155)、b(0.3)
禾本科 Poaceae	虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	Cv	非洲	4	a(0.624)、b(0.429)、c(0.299)	
茄科 Solanaceae	小酸浆 <i>Physalis minima</i>	Pm	可能为热带美洲	4	b(0)	
一年或二年生草本	十字花科 Brassicaceae	北美独行菜 <i>Lepidium virginicum</i>	Lv	北美洲	2	c(0)
	豆科 Fabaceae	南苜蓿 <i>Medicago polymorpha</i>	Mp	北非、西亚、南欧	4	a(0.296)、c(0.295)
		黄香草木樨 <i>Melilotus officinalis</i>	Mo	西亚至南欧	4	a(0.279)、c(0.849)
	菊科 Asteraceae	苦苣菜 <i>Sonchus oleraceus</i>	So	西亚至南欧	4	a(0)、b(0.445)、c(1.121)
	豆科 Fabaceae	白车轴草 <i>Trifolium repens</i>	Tr	北非、中亚、西亚和欧洲	2	a(0.569)、b(0.701)、c(0)
		苜蓿 <i>Medicago sativa</i>	Ms	西亚	4	b(0)、c(0.409)
禾本科 Poaceae	黑麦草 <i>Lolium perenne</i>	Lp	欧洲	4	a(0.264)、c(0.296)	
多年生草本	菊科 Asteraceae	菊芋 <i>Helianthus tuberosus</i>	Ht	北美洲	4	c(1.206)
		药用蒲公英 <i>Taraxacum officinale</i>	To	欧洲	4	a(1.507)、b(1.599)、c(1.450)
	柳叶菜科 Onagraceae	月见草 <i>Oenothera biennis</i>	Ob	北美洲	2	c(0)
	莎草科 Cyperaceae	香附子 <i>Cyperus rotundus</i>	Cr	可能为印度	4	c(0)
	商陆科 Phytolaccaceae	垂序商陆 <i>Phytolacca americana</i>	Pa	北美洲	2	a(0)

注: a、b、c分别代表草地、林地和湿地生境。入侵等级根据《中国外来入侵植物名录》<sup>[18]</sup>确定。

(*Mirabilis jalapa*)仅在林地生境被记录到; 菊芋 (*Helianthus tuberosus*)、钻叶紫菀 (*Symphotrichum subulatum*)、月见草 (*Oenothera biennis*)、香附子 (*Cyperus rotundus*)、北美独行菜 (*Lepidium virginicum*)仅出现在湿地生境。

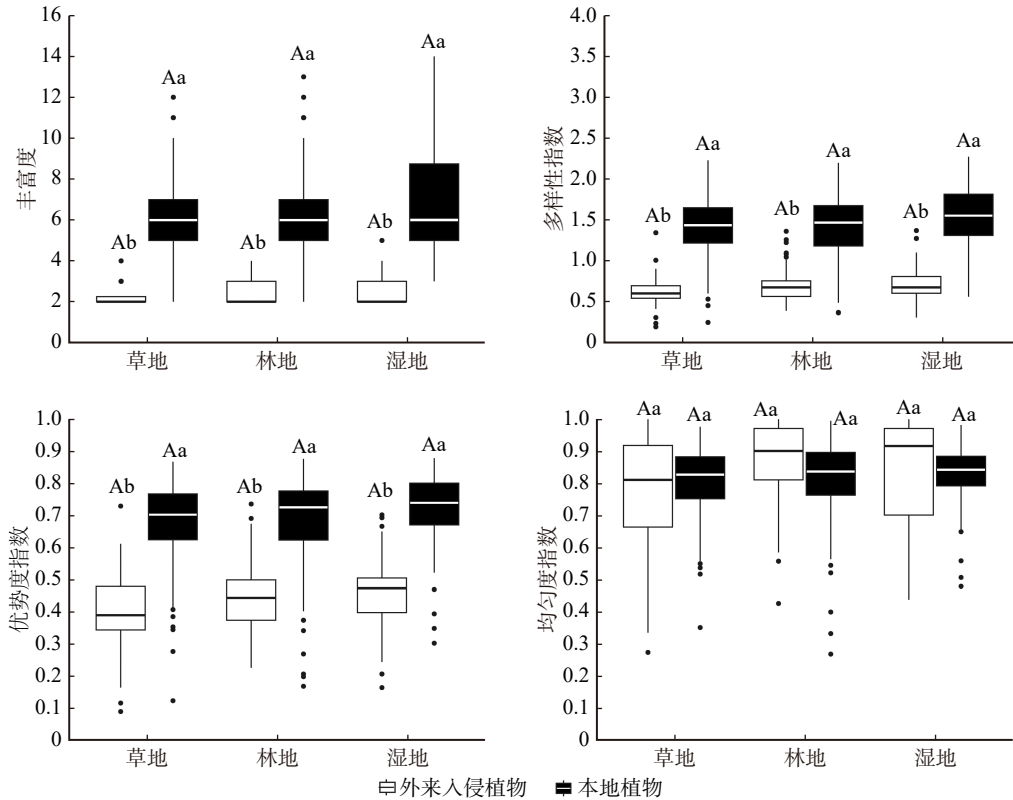
线性混合效应结果表明, 植被类型对丰富度、

Shannon-Wiener 多样性指数和 Simpson 优势度指数具有显著影响; 生境及其与植被类型的交互作用对 4 个多样性指数均未表现出显著影响(表 3)。其中, 在草地、林地和湿地生境中, 外来入侵植物的丰富度、Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 优势度指数均显著低于本地植物(图 2)。

表 3 生境和植被类型及其交互作用对  $\alpha$  多样性指数影响的线性混合效应模型

Tab. 3 Linear mixed-effects model of habitats and plant types and their interactions on the  $\alpha$  diversity index

多样性指数	生境		植被类型		生境 × 植被类型	
	F值	P值	F值	P值	F值	P值
丰富度	2.758	0.064	382.575	< 0.001	0.956	0.385
Shannon-Wiener多样性指数	2.650	0.071	484.558	< 0.001	1.206	0.300
Simpson优势度指数	2.265	0.105	404.719	< 0.001	2.215	0.110
Pielou均匀度指数	1.366	0.256	0.086	0.769	2.470	0.085



相同大写字母表示不同生境间差异不显著( $P \geq 0.05$ ); 不同小写字母表示同一生境下外来入侵植物与本地植物之间的差异显著( $P < 0.05$ )。

图 2 不同生境外来入侵植物与本地植物多样性

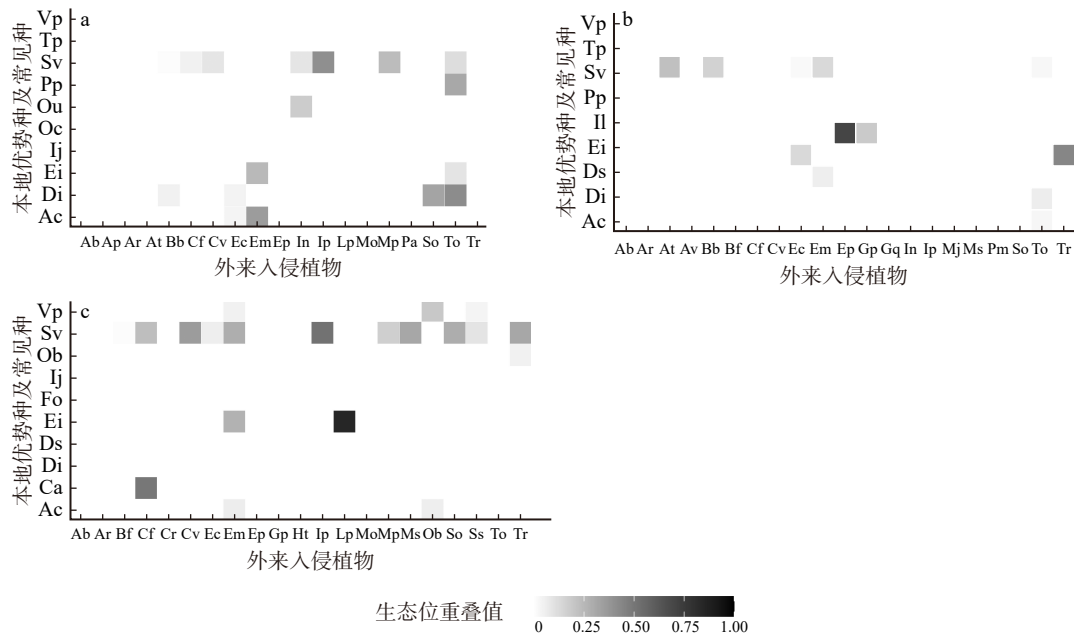
Fig. 2 Diversity of alien invasive plants and native plants in different habitats

2.2 生态位宽度和生态位重叠

外来入侵植物在不同生境中的生态位宽度存在差异(表 2)。草地、林地和湿地 3 个生境生态位宽度最高的物种均为药用蒲公英(*Taraxacum officinale*) (1.507、1.599、1.450)。其次为小蓬草(1.215、1.430、1.118)、凹头苋(*A. blitum*)(0.712、0.835、0.566)、小藜(*Chenopodium ficifolium*)(0.815、0.540、0.734)、圆叶牵牛(*I. purpurea*)(0.869、1.154、0.676)和斑地锦草(*Euphorbia maculata*)(1.242、1.318、1.160), 这些外来入侵植物在 3 种生境中的生态位宽度相对较广, 表明这些植物在群落中的资源利用能力强。

草地、林地和湿地生境中的本地优势种及常见种(重要值排名前十的物种)分别与外来入侵植物组成 190、210 和 220 种对(图 3)。其中草地生境中外

来入侵植物与本地优势种及常见种的生态位重叠程度最高的药用蒲公英和蛇莓(0.298), 生态位显著重叠的种对数量占总物种对数量的比例为 0%; 林地生境中生态位重叠程度最高的为鳢肠和马蔺(*Iris lactea*)(0.707), 生态位显著重叠的种对数量占总物种对数量的比例仅为 0.48%; 湿地生境中生态位重叠程度最高的为黑麦草(*Lolium perenne*)和牛筋草(*Eleusine indica*)(0.707), 生态位显著重叠的种对数量占总物种对数量的比例为 0.45%。在 3 种生境中, 生态位宽度相对较宽的药用蒲公英、小蓬草、凹头苋、小藜、圆叶牵牛以及斑地锦草这些外来入侵植物与本地优势种及常见种之间的 Pianka 生态位重叠指数介于 0.020 ~ 0.389 之间, 表明物种之间生态位重叠程度低。



a、b、c 分别代表草地、林地、湿地生境。外来入侵植物的缩写见表 2；Ac. 地毯草 *Axonopus compressus*；Di. 蛇莓 *Duchesnea indica*；Ei. 牛筋草 *Eleusine indica*；Sv. 狗尾草 *Setaria viridis*；Vp. 早开堇菜 *Viola prionantha*；Jj. 旋覆花 *Inula japonica*；Pp. 草地早熟禾 *Poa pratensis*；Tp. 附地菜 *Trigonotis peduncularis*；Ds. 马唐 *Digitaria sanguinalis*；Ou. 求米草 *Oplismenus undulatifolius*；Oc. 酢浆草 *Oxalis corniculata*；Il. 马蔺 *Iris lactea*；Rc. 茜草 *Rubia cordifolia*；Ca. 藜 *Chenopodium album*；Fo. 羊茅 *Festuca ovina*；Ob. 沿阶草 *Ophiopogon bodinieri*

图 3 不同生境中外来入侵植物与本地优势种及常见种的生态位重叠

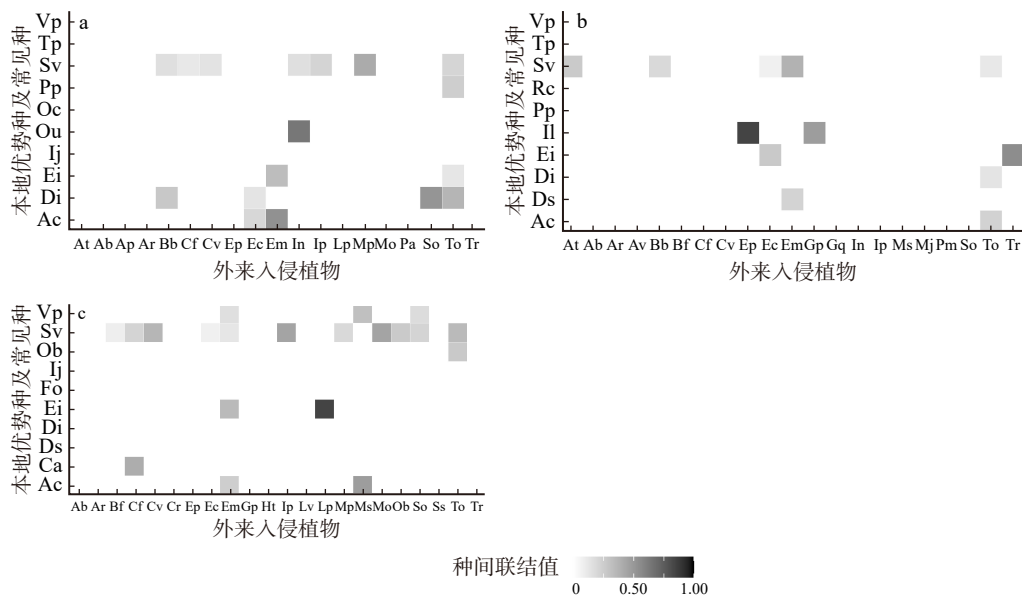
Fig. 3 Niche overlap between alien invasive plants and native dominant and common species across different habitats

### 2.3 种间联结

草地、林地和湿地 3 种生境下种对数 OI 指数为 0 的比例分别为 91.05%、94.29% 和 90.91%，表明 3 种生境下外来入侵植物与本地优势种及常见种的种间联结程度低(图 4)。但也存在一些物种对的种间联结程度较高，如草地生境的牵牛(*I. nil*)与求米草(*Oplismenus undulatifolius*)(0.50)；林地生境的

鳢肠与马蔺(0.71)；湿地生境的黑麦草与牛筋草(0.71)。

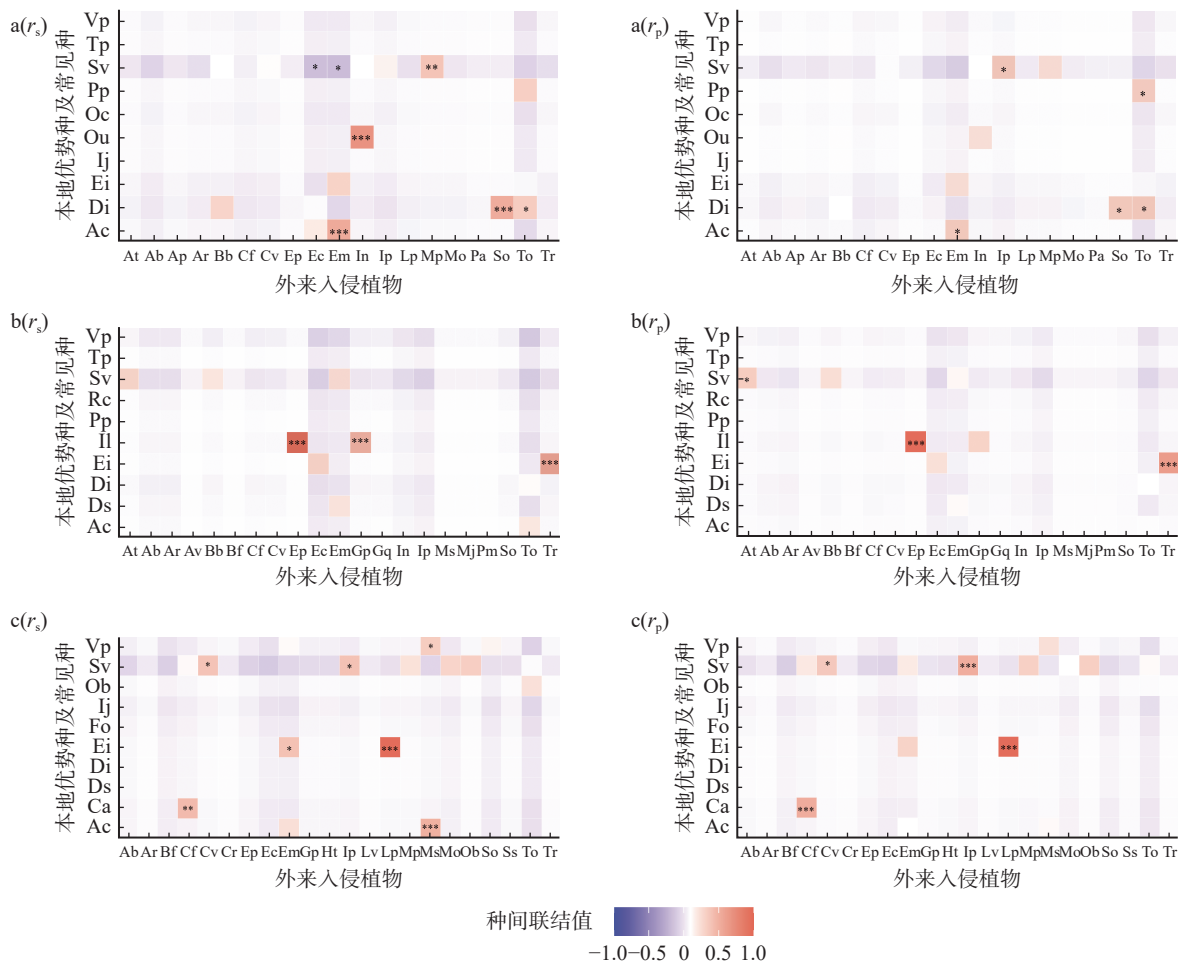
3 种生境中负相关的种对数量均多于正相关的种对数量(图 5)。Spearman 分析结果发现，3 种生境中呈现负相关的种对数量占各生境总种对数量的比例分别为 93.16%、95.24% 和 93.18%，显著相关的种对数量比例分别为 2.11%、1.43% 和 3.18% ( $P <$



a、b、c 分别代表草地、林地、湿地生境。

图 4 不同生境中外来入侵植物与本地优势种及常见种的 Ochiai 种间联结指数

Fig. 4 Ochiai interspecific association index between alien invasive plants and native dominant and common species across different habitats



a、b、c 分别代表草地、林地、湿地生境。rs 和 rp 分别代表 Spearman 和 Pearson 指数。颜色越深，表示物种的种间联结程度越高。

图 5 不同生境中外来入侵植物与本地优势种及常见种的 Spearman 和 Pearson 种间联结指数

Fig. 5 Spearman and Pearson interspecific association indices between alien invasive plants and native dominant and common species across different habitats

0.05)。Pearson 分析结果显示, 3 种生境中呈现负相关的种对数量占各生境总种对数量的比例分别为 95.26%、96.19% 和 93.64%, 显著相关的种对数量比例分别为 2.63%、1.43% 和 1.82%( $P < 0.05$ )。但总体而言, 3 种生境中的外来入侵植物与本地优势种及常见种种对间的负联结程度较低。

### 3 讨 论

#### 3.1 不同生境下外来入侵植物与本地植物物种多样性差异

本研究通过对北京市朝阳区公园绿地不同生境中外来入侵植物与本地植物的物种多样性对比分析发现:(1)外来入侵植物的多样性指数在不同生境之间均无显著差异, 可能是由于环境过滤效应、生态适应性和生物均质化共同作用的结果。人为管理使得公园生境条件趋于一致, 环境过滤效应筛选出适应这些条件的外来入侵植物, 使其在各生境中广泛分布<sup>[20]</sup>。同时, 许多外来入侵植物具有较强的适应能力和广泛的生存策略, 进一步增加了不同生境间的

物种组成相似度<sup>[21]</sup>。最终, 外来植物的扩散导致生物均质化<sup>[22]</sup>, 使得各生境的物种多样性趋同, 削弱了多样性指数的生境差异。(2)本地植物的多样性指数在不同生境之间未表现出显著差异, 这可能与城市公园绿地的建设和管护方式密切相关。公园绿地中栽培植物的广泛应用, 导致了不同公园绿地内植物群落组成的趋同<sup>[23]</sup>; 统一的管护措施可能也削弱了不同生境间物种多样性的差异<sup>[24]</sup>。(3)外来入侵植物的丰富度、Shannon-Wiener 多样性指数和 Simpson 优势度指数均远低于本地植物, 主要是因为本地植物在物种数量和生态适应性上的先发优势, 同时, 人为干扰进一步压制了外来植物的生长和生存空间。

#### 3.2 不同生境下外来入侵植物与本地优势种及常见种的生态位特征

生态位宽度能够有效反映出物种的生态适应性及其对环境资源的利用能力<sup>[25]</sup>, 其大小受多种因素的影响, 包括物种本身的生理生态适应性、种间竞争能力、资源利用效率以及分布空间等<sup>[26-27]</sup>。外来入侵植物药用蒲公英、小蓬草、凹头苋、小藜、圆叶牵

牛和斑地锦草在3种生境中的生态位宽度均较广,这一现象与其入侵特性密切相关。具体而言,这些植物的种子通常具有量大、质轻且体积小的特征,能够通过风力、附着在游客衣服或动物皮毛上等多种途径在公园内扩散传播,从而增加了在不同生境中的定殖可能性<sup>[28-29]</sup>;同时,其对气候、土壤和地形等环境因子的要求较低,而资源利用效率较高,对公园绿地内不同生境的适应能力强<sup>[1]</sup>。这些特点使它们能够迅速占领土壤、空间和资源,从而在生态系统中快速扩张,并在竞争中占据有利地位<sup>[30]</sup>。这一结果与其他学者的研究结果一致,即生态位宽度越大的植物在群落中分布越广泛,对环境资源利用越充分,也更容易处于优势地位<sup>[31]</sup>。

生态位重叠指数能反映生境中物种之间的生活习性的远近和对生境资源的生态需求异同<sup>[32]</sup>。林地中鳢肠与马蔺和湿地中黑麦草与牛筋草这两对外来入侵植物和本地优势种及常见种的生态位显著重叠,表明这两对物种分别在其环境资源利用方面具有较高的相似性,竞争激烈;相对而言,在草地生境中,外来入侵植物与本地优势种及常见种的生态位重叠值普遍偏低,且生态位显著重叠的种对数量占总物种对数量的比例为0%,即在该生境中,外来入侵植物与本地优势种及常见种之间存在较高的生态位分化<sup>[33]</sup>,物种间的相互作用较弱,资源利用差异大,种间竞争不激烈<sup>[12,34]</sup>。城市公园绿地中频繁的人为干扰活动导致本地优势种及常见种聚集在局部适宜的生境中,群落形成了可以容纳其他种群的空缺生态位,为外来植物的入侵创造了条件,提高了其入侵的成功率<sup>[35]</sup>。在外来植物的入侵过程中,本地植物为了提高生存能力,其资源需求发生分化,进一步降低了其与外来入侵植物的生态位重叠度,从而在一定程度上减少了种群间的资源竞争<sup>[36]</sup>。此外,多数关于生态位特征的研究发现,生态位宽度越宽的物种更容易与其他物种产生较高的生态位重叠<sup>[10]</sup>,然而本研究的结果与其不一致。在3种生境中,生态位宽度相对较宽的外来入侵植物与本地优势种及常见种之间的Pianka生态位重叠指数介于0.020~0.389之间,其中仅有小藜和藜(*Chenopodium album*) (0.363)与圆叶牵牛和狗尾草(0.389)这两对外来入侵植物和本地优势种及常见种的数值高于国内已报道的外来入侵植物与本地植物间的Pianka生态位重叠指数的中位数0.315,其余数值均低于0.315,属于中低水平<sup>[37]</sup>。这一结果表明这些外来入侵植物与本地优势种及常见种之间的竞争并不激烈。此外,城市公园绿地中的草地、林地和湿地生境均受到了一定程度的人为干扰,这些外来入侵植物能够在这些

受干扰的生境中广泛分布,光照、水分以及土壤养分等非生物因素的供应量均属于中高水平<sup>[38]</sup>,在这种资源相对充足的环境条件下,植物群落间的竞争可能相对较弱,这是因为非生物因素的充足可能减少了植物间对资源的竞争压力,从而降低了竞争的激烈程度。

### 3.3 不同生境下外来入侵植物与本地优势种及常见种的种间联结性

种间联结是植物群落重要的数量和结构特征之一,揭示了群落演替中植物替代关系的机制<sup>[39]</sup>。生态位特征与物种间的种间联结密切相关,它们可以共同反映群落的发展及演替趋势<sup>[40]</sup>。具体而言,正联结和负联结通常反映了不同物种资源需求的相似性或差异性,从而导致生态位重叠或分离<sup>[14]</sup>。本研究中,草地、林地和湿地生境中的外来入侵植物与本地优势种及常见种的种间联结均以负联结为主,这与物种间生态位重叠指数偏低的结果相一致<sup>[11,41]</sup>,表明二者在3种生境中均存在明显的生态位差异,对资源需求的差异较大。此外,联结程度反映了物种间竞争或合作关系强弱<sup>[42]</sup>,较低的联结度表明较弱的竞争性。在本研究的3种生境中,外来入侵植物与本地优势种及常见种的联结程度均较低,表明群落处在演替的早期阶段,其种间联结处于较松散的独立状态,物种之间还未形成稳定的种间关系,与外来入侵植物群落的普遍现状一致<sup>[10]</sup>。未来,随着群落演替进程的发展,物种间的关系会进一步发生变化,但外来入侵植物与本地植物在公园不同生境中是否都能形成稳定群落结构仍是一个未知问题。未来研究应继续关注这些物种的种间关系在群落演替过程中的动态演变,防止外来入侵植物完全占据本地植物的原有生态位。

## 4 结 论

本研究通过对北京市朝阳区公园绿地不同生境中外来入侵植物与本地植物的物种多样性及其生态位特征和种间联结进行对比分析,得出以下结论。外来入侵植物和本地植物的多样性指数在不同生境之间均无显著差异,但外来入侵植物的丰富度、Shannon-Wiener多样性指数、Simpson优势度指数在3种生境下均显著低于本地植物。药用蒲公英在3种生境中的生态位宽度最大,对环境资源的适应性较强,但与本地优势种及常见种的生态位重叠程度较低,竞争关系较弱。在林地和湿地生境中,部分外来入侵植物与本地优势种及常见种之间的生态位显著重叠,物种之间环境资源利用方面具有较高的相似性,竞争程度相对较高;而在草地生境中,二者

的生态位重叠值普遍较低,物种间存在较高的生态位分化,竞争较弱,群落状态较为稳定。种间联结分析揭示外来入侵植物与本地优势种及常见种在3种生境中的种间联结均以负联结为主,联结程度较低,群落尚处于早期演替阶段,种间关系较为松散,未形成稳定的种间关系。综上所述,本研究揭示了朝阳区公园绿地不同生境中外来入侵植物现状及多样性的差异,以及外来入侵植物与本地植物的生态位特征及种间关系,为未来制定有针对性的外来入侵植物管理措施提供了科学依据。未来应开展长期定位监测,深入研究群落演替过程中种间关系的动态变化及形成机制,以便为城市绿地的生态安全管理提供更加科学的支持。

### 参 考 文 献

- [1] 马金双. 中国外来入侵植物志 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2021.  
Ma J S. Alien invasive flora of China[M]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University Press, 2021.
- [2] Gong C, Chen J, Yu S. Biotic homogenization and differentiation of the flora in artificial and near-natural habitats across urban green spaces[J]. Landscape and Urban Planning, 2013, 120: 158-169.
- [3] 刘艳杰, 黄伟, 杨强, 等. 近十年植物入侵生态学重要研究进展 [J]. 生物多样性, 2022, 30(10): 276-292.  
Liu Y J, Huang W, Yang Q, et al. Research advances of plant invasion ecology over the past 10 years[J]. Biodiversity, 2022, 30(10): 276-292.
- [4] 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.
- [5] Wang C, Wu B, Jiang K, et al. Canada goldenrod invasion affect taxonomic and functional diversity of plant communities in heterogeneous landscapes in urban ecosystems in East China[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2019, 38: 145-156.
- [6] 李沛蓉, 樊青卓, 李蓉蓉, 等. 运城盐湖湿地入侵植物多样性及区系特征 [J/OL]. 生态学杂志, 2024, 1-10 [2025-01-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1148.q.20240912.1754.013.html>.  
Li P R, Fan Q Z, Li R R, et al. Diversity and floristic characteristics of invasive plants in Yuncheng Salt Lake Wetland[J/OL]. Chinese Journal of Ecology, 2024, 1-10 [2025-01-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1148.q.20240912.1754.013.html>.
- [7] El-Barougy R F, Cadotte M W, Khedr A H A, et al. Heterogeneity in patterns of survival of the invasive species *Ipomoea carnea* in urban habitats along the Egyptian Nile Delta[J]. NeoBiota, 2017, 33: 1-17.
- [8] 李建, 庄春晓, 杨芳芳, 等. 深圳市建成区入侵植物特点及其对植物多样性的影响 [J]. 生态学杂志, 2024, 43(8): 2295-2303.  
Li J, Zhuang C X, Yang F F, et al. Characteristics of urban invasive plants and their effects on plant diversity in the built-up area of Shenzhen, China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2024, 43(8): 2295-2303.
- [9] Marcelino V R, Verbruggen H. Ecological niche models of invasive seaweeds[J]. Journal of Phycology, 2015, 51(4): 606-620.
- [10] 郭佳琦, 陈俊辰, 黄旬, 等. 喜旱莲子草入侵群落主要物种生态位和种间联结研究 [J]. 生态环境学报, 2021, 30(8): 1607-1616.  
Guo J Q, Chen J C, Huang X, et al. Niche characteristics and interspecific associations of the dominant species of the communities invaded by *Alternanthera philoxeroides*[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2021, 30(8): 1607-1616.
- [11] 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.  
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 Ecologica Sinica, 2016, 36(24): 8224-8233.
- [12] 姜倪皓, 张世浩, 张诗函. 哀牢山紫茎泽兰入侵群落主要物种种间联结及环境解释 [J]. 生态环境学报, 2022, 31(7): 1370-1382.  
Jiang N H, Zhang S H, Zhang S H. Interspecific associations and environmental interpretation of the dominant species of the communities invaded by *Ageratina adenophora* in Ailao Mountains[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2022, 31(7): 1370-1382.
- [13] 郭朝丹, 赵彩云, 李飞飞, 等. 天然林和人工林外来入侵和本地植物对比研究: 以弄岗国家级自然保护区为例 [J]. 生物多样性, 2022, 30(4): 45-57.  
Guo Z D, Zhao C Y, Li F F, et al. Comparative study of invasive and native herbs in natura forests and plantation forests: with Nonggang National Nature Reserve as an example[J]. Biodiversity Science, 2022, 30(4): 45-57.
- [14] Nan Q, Zhang Q, Li X, et al. Niche and interspecific association of the dominant species during the invasion of *Alternanthera philoxeroides* in the Yangtze River Basin, China[J]. Agriculture, 2023, 13(3): 621.
- [15] 袁敬泽. 城市绿地景观格局分析: 以北京市朝阳区为例 [D]. 长春: 东北师范大学, 2005.  
Yuan J Z. Landscape pattern analysis of urban green space: a case study of Chaoyang District[D]. Changchun: Northeast Normal University, 2005.
- [16] 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. A list of invasive alien plants in China[M]. Beijing: Higher Education Press, 2018.
- [17] 冯浩育, 陈思帆, 索奥丽, 等. 不同火烈度下山西太岳山油松林灌木层物种多样性和叶功能性状 [J]. 北京林业大学学报, 2024,

- 46(6): 38–47.
- Feng H Y, Chen S F, Suo A L, et al. Species diversity and leaf functional traits of shrub layer in *Pinus tabulaeformis* forest under different fire intensities in Taiyue Mountain, Shanxi Province of northern China[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2024, 46(6): 38–47.
- [18] 李婷婷, 容丽, 王梦洁, 等. 黔中喀斯特次生林主要物种的生态位及种间联结性动态变化 [J]. 热带亚热带植物学报, 2021, 29(1): 9–19.
- Li T T, Rong L, Wang M J, et al. Dynamic changes in niche and interspecific association of major species of karst secondary forest in Central Guizhou[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2021, 29(1): 9–19.
- [19] 吴会峰, 宋丽娟, 杜峰, 等. 黄土丘陵区草地主要种群生态位及其环境解释 [J]. 应用生态学报, 2017, 28(11): 3494–3504.
- Wu H F, Song L J, Du F, et al. Niche of main populations and environmental interpretation in grassland of Loess Plateau hilly region, China[J]. Journal of Applied Ecology, 2017, 28(11): 3494–3504.
- [20] 张丽丽, 郝培尧, 董丽, 等. 基于自生植物的城市公园草本层养护管理优化策略: 以北京市西城区为例 [J]. 风景园林, 2024, 31(6): 46–54.
- Zhang L L, Hao P Y, Dong L, et al. Optimization strategy for maintenance management of herbaceous layer in urban parks based on spontaneous plants: a case study of Xicheng District, Beijing[J]. Landscape Architecture, 2024, 31(6): 46–54.
- [21] 张梦园, 李坤, 邢小艺, 等. 北京温榆河-北运河生态廊道自生植物多样性对城市化的响应 [J]. 生态学报, 2022, 42(7): 2582–2592.
- Zhang M Y, Li K, Xing X Y, et al. Responses of spontaneous plant diversity to urbanization in Wenyu River-North Canal ecological corridor, Beijing[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(7): 2582–2592.
- [22] 陈国奇, 强胜. 人类活动是导致生物均质化的主要因素 [J]. 生态学报, 2011, 31(14): 4107–4116.
- Chen G Q, Qiang S. Human activities are the principle cause of biotic homogenization[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(14): 4107–4116.
- [23] 陈炳榕, 王飓风, 黄培璐, 等. 城市自生草本植物群落物种组成及其生物多样性特征研究: 以陕西杨凌城区为例 [J]. 园林, 2024, 41(6): 106–114.
- Chen B R, Wang J F, Huang P L, et al. Species composition and biodiversity characteristics of urban spontaneous herbaceous plant communities: a case study of Yangling urban area in Shaanxi Province[J]. Landscape Architecture Academic Journal, 2024, 41(6): 106–114.
- [24] 李晓鹏, 董丽, 关军洪, 等. 北京城市公园环境下自生植物物种组成及多样性时空特征 [J]. 生态学报, 2018, 38(2): 581–594.
- Li X P, Dong L, Guan J H, et al. Temporal and spatial characteristics of spontaneous plant composition and diversity in a Beijing urban park[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(2): 581–594.
- [25] 俞筱羿, 余瑞, 黄娟, 等. 贵州茂兰喀斯特森林四药门花群落优势种群生态位特征 [J]. 生态学杂志, 2017, 36(12): 3470–3478.
- Yu X Y, Yu R, Huang J, et al. Niche characteristics of dominant plant populations of *Loropetalum subcordatum* community in Maolan karst forest, Guizhou[J]. Journal of Ecology, 2017, 36(12): 3470–3478.
- [26] 胡宁宁, 崔雨昕, 孙萌, 等. 秦岭西段典型森林群落灌木层优势种群生态位与种间联结 [J]. 生态学杂志, 2024, 43(12): 3595–3604.
- Hu N N, Cui Y X, Sun M, et al. Niche and interspecific association of dominant species in shrub layers of typical forest communities in the western part of the Qinling Mountains[J]. Chinese Journal of Ecology, 2024, 43(12): 3595–3604.
- [27] 马正岩, 宋志娟, 王志琦, 等. 洛川旱地苹果园自然草被群落特征研究 [J]. 果树学报, 2022, 39(12): 2301–2308.
- Ma Z Y, Song Z J, Wang Z Q, et al. A study on the community characteristics of natural cover grasses in apple orchard in Luochuan County[J]. Journal of Fruit Science, 2022, 39(12): 2301–2308.
- [28] 顾建中, 史小玲, 向国红, 等. 外来入侵植物斑地锦生物学特性及危害特点研究 [J]. 杂草科学, 2008(1): 19–22, 42.
- Gu J Z, Shi X L, Xiang G H, et al. Research on the biological characteristics and harm characteristics of the invasive plant *Euphorbia maculata*[J]. Journal of Weed Science, 2008(1): 19–22, 42.
- [29] 肖俞, 李宇然, 段禾祥, 等. 高黎贡山外来植物入侵现状及管控建议 [J]. 生物多样性, 2023, 31(5): 126–134.
- Xiao Y, Li Y R, Duan H X, et al. Invasion status and control measures for alien plants within the Gaoligong Mountains[J]. Biodiversity Science, 2023, 31(5): 126–134.
- [30] 胡璐玮, 张澜媛, 原雪姣, 等. 北京外来入侵植物的演变、分布特征及影响因素 [J]. 生物安全学报(中英文), 2024, 33(3): 250–259.
- Hu L Y, Zhang Y Y, Yuan X J, et al. Evolution, distribution characteristics and influencing factors of alien invasive plants in Beijing[J]. Journal of Biosafety, 2024, 33(3): 250–259.
- [31] 孙杰杰, 江波, 吴初平, 等. 浙江省檫木林生境与生态位研究 [J]. 生态学报, 2019, 39(3): 884–894.
- Sun J J, Jiang B, Wu C P, et al. Study on the habitat and niche of *Sassafras tzumu* (Hemsl.) Hemsl. in Zhejiang Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(3): 884–894.
- [32] 郑超超, 伊力塔, 张超, 等. 浙江江山公益林物种间关系及CCA排序 [J]. 生态学报, 2015, 35(22): 7511–7521.
- Zheng C C, Yilita, Zhang C, et al. Interspecific relationship and canonical correspondence analysis of the dominant species in ecological service forest of Jiangshan City in Zhejiang

- Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(22): 7511–7521.
- [33] 彭文俊, 王晓鸣. 生态位概念和内涵的发展及其在生态学中的定位 [J]. *应用生态学报*, 2016, 27(1): 327–334.
- Peng W J, Wang X M. Concept and connotation development of niche and its ecological orientation[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(1): 327–334.
- [34] Tsafack N, Wang X, Xie Y, et al. Niche overlap and species co-occurrence patterns in carabid communities of the northern Chinese steppes[J]. *ZooKeys*, 2021, 1044: 929–949.
- [35] Hierro J L, Maron J L, Callaway R M. A biogeographical approach to plant invasions: ecology and evolution of an invasive ruderal in native and introduced ranges[J]. *Journal of Ecology*, 2005, 93(1): 5–15.
- [36] 陈彤, 刘文莉, 张崇邦, 等. 加拿大一枝黄花入侵对本土植物群落动态的影响及其机制 [J]. *植物生态学报*, 2012, 36(3): 253–261.
- Chen T, Liu W L, Zhang C B, et al. Effects of *Solidago canadensis* invasion on dynamics of native plant communities and their mechanisms[J]. *Journal of Plant Ecology*, 2012, 36(3): 253–261.
- [37] 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.
- 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 Ecologica Sinica*, 2022, 42(9): 3727–3737.
- [38] Luo Z, Chen X, Xia G, et al. Extrinsic environmental factors, not resident diversity itself, lead to invasion of *Ageratum conyzoides* L. in diverse communities[J]. *Ecological Research*, 2018, 33(6): 1245–1253.
- [39] Keil P, Wiegand T, Tóth A B, et al. Measurement and analysis of interspecific spatial associations as a facet of biodiversity[J]. *Ecological Monographs*, 2021, 91(3): e01452.
- [40] Shao L, Zhang G. Niche and interspecific association of dominant tree populations of *Zelkova schneideriana* communities in eastern China[J]. *Botanical Sciences*, 2021, 99(4): 823–833.
- [41] 马丰丰, 潘高, 李锡泉, 等. 桂西南喀斯特山地木本植物群落种间关系及 CCA 排序 [J]. *北京林业大学学报*, 2017, 39(6): 32–44.
- Ma F F, Pan G, Li X Q, et al. Interspecific relationship and canonical correspondence analysis within woody plant communities in the karst mountains of Southwest Guangxi, southern China[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2017, 39(6): 32–44.
- [42] 杜雨霜, 吴刘萍, 陈杰, 等. 崩岗生态修复不同人工林林下入侵植物和本土植物对群落稳定性的影响 [J]. *生态学报*, 2024, 44(4): 1588–1600.
- Du Y S, Wu L P, Chen J, et al. Effects of understory invasive plants and native plants on community stability in Benggang ecological restoration of different artificial forests[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2024, 44(4): 1588–1600.

(责任编辑 孟瑶 李契  
责任编辑 崔国发)