

DOI: 10.20103/j.stxb.202409202285

常满, 李晓鹏, 张彤, 伍先成, 陆思羽, 毛薇. 成都绕城绿道自生植物扩散特征及其与栽培植物的共存. 生态学报, 2025, 45(18): - .

Chang M, Li X P, Zhang T, Wu X C, Lu S Y, Mao W. Spread characteristics of urban spontaneous plants and their coexistence with the cultivars along Chengdu ring road greenway. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(18): - .

成都绕城绿道自生植物扩散特征及其与栽培植物的共存

常 满¹, 李晓鹏^{1,*}, 张 彤², 伍先成², 陆思羽², 毛 薇²

¹ 西南交通大学建筑学院, 成都 611756

² 成都市花木技术服务中心, 成都 610031

摘要: 城市化建设导致荒野空间日益缩减, 园艺栽培植物成为城市绿地主力军, 大面积高消耗、同质化的人工植物景观不利于生态系统功能的发挥。自生植物生命力顽强, 是城市荒野重要组成部分且更加经济节约。为探索可维持较高生物多样性的低维护群落营建模式, 本研究以成都绕城绿道为例, 于 2024 年 4、5 月采用均匀取样法和典型样方法, 对自生植物群落扩散特征及其与栽培植物的共存格局进行调研分析。研究表明: 1) 共记录植物 316 种, 其中自生植物占 74.68% (236 种, 包括 60 种栽培逸为自生的植物), 以乡土植物为主; 栽培植物占 25.32% (80 种), 以国外外来植物为主。2) 群落面积随物种多度增加极显著扩大 ($P < 0.001$), 面积随一、二年生植物 (如春飞蓬) 多度增加扩散最为显著 ($P < 0.001$)。不同生境中群落自然分布面积无显著差异, 但物种数差异显著 ($P < 0.05$)。3) 自生植物优势种生态位宽度大于栽培植物, 自生植物之间多呈正联结, 其与栽培植物联结度适中, 不同栽培植物群落的均匀度指数差异极显著 ($P < 0.001$)。本研究为城市野趣、低维护自生植物群落景观营建提供参考, 从多样性维持和观赏性的角度探讨自生植物与栽培植物共同营建群落的可能性, 为自生植物群落景观优化提供参考。

关键词: 自生植物; 群落分布; 多样性; 栽培与自生; 低维护景观

Spread characteristics of urban spontaneous plants and their coexistence with the cultivars along Chengdu ring road greenway

CHANG Man¹, Li Xiaopeng^{1,*}, ZHANG Tong², WU Xiancheng², LU Siyu², MAO Wei²

¹ School of Architecture, Southwest Jiao Tong University, Chengdu 611756, China

² Chengdu Flower and Tree Technical Service Center, Chengdu 610031, China

Abstract: Urbanization has resulted in the reduction of wilderness spaces, making horticultural plants the predominant constituents of urban greenspace. This extensive, resource-intensive, and uniform artificial plant landscape hinders the fulfillment of ecosystem functions. Urban spontaneous plants have strong vitality. They are important components of urban wilderness, offering greater economic benefits. In order to explore the low-maintenance community model that sustains high biodiversity, this study took the Chengdu ring road greenway as an example. The dispersal characteristics of spontaneous plant communities and their coexistence patterns with the cultivated plants were investigated and analyzed by employing the uniform sampling method and typical sample method in April and May 2024. The results showed that: 1) A total of 316 plant species were recorded, with 74.68% being spontaneous plants (236 species, including 60 species were escaped from cultivated plants), predominantly indigenous; while cultivated plants accounted for 25.32% (80 species), predominantly non-indigenous. 2) The community area expanded significantly with the increase of species abundance ($P < 0.001$), and the

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目 (52108065)

收稿日期: 2024-09-20; **网络出版日期:** 2024-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: penguinlee26@126.com

area spread most significantly with the increase of the abundance of annual and biennial plants ($P < 0.001$). Overall, no difference was found among the area of communities in different habitats, but the number of species supported by distinct habitats was significantly different ($P < 0.05$). 3) Niche width of the dominant species of spontaneous plants was generally larger than that of cultivated plants, and most of the spontaneous plants were positively associated. Their association with cultivated plants was moderate, and the community evenness indices of different cultivated plants were significantly different ($P < 0.001$). This study provides a reference for the landscape construction of urban wild and low-maintenance spontaneous plant communities. It explores the possibility of co-construction of spontaneous and cultivated plants from the perspective of diversity maintenance and ornamental value, which provides reference for the landscape optimization of spontaneous communities.

Key Words: spontaneous plants; community distribution; diversity; cultivated vs. spontaneous; low-maintenance landscape

在全球城市化浪潮席卷之下,栖息地破碎化问题日益凸显,自然生境和荒野空间急剧缩减^[1]。在城市建设过程中,原本生物多样的荒野地被人工种植的简化栖息地所取代,单一化种植模式不仅削弱了地域特色,还使得城市景观趋于同质化、本土生态系统遭受重创^[2]。与此同时,全球气候变化引发的极端天气进一步加剧了园林栽培植物的养护难度,增加了维护成本^[3]。在全球气候变暖、水资源减少和生物多样性下降等生态危机下,城乡绿化与植物景观营建方式也应不局限于以往单一的艺术视觉审美标准,而应具有更大的韧性和生态价值。在此背景下,曾经被视为“杂草 (weeds)”清除的自生植物 (spontaneous plants/vegetation)^[4] 以其顽强的生命力和野趣之美,近年来得到国内外学者的广泛关注与认可,其在当地生态系统中发挥不可替代的作用。相较于传统草坪,自生植物具有更低的修剪和灌溉需求,可维持更高的生物多样性,将自生植物融入城市景观营建被视为基于自然的解决方案 (Nature-based Solutions, NbS) 之一^[5-6]。2021 年 6 月国务院发布《关于科学绿化的指导意见》的公文^[7],强调乡土种植、节约绿化、见缝插绿;2022 年《昆明-蒙特利尔生物多样性框架》的提出让再野化成为主流^[8],亟需恢复城市的自发野性空间。自生植物成为实现这些愿景的关键。

国内外学者已从宏观的城市范围^[9-10]、道路绿地^[11]、河流廊道^[12-13]、公园绿地^[14]至微观的墙体裂缝生境^[15]等对自生植物的物种组成、群落结构、分布格局及其影响机制展开研究。自生植物蕴含丰富的乡土植物资源^[16-17],虽然在不同生境中分布广泛,但城市化建设已对部分偶见种造成了严重威胁^[18]。在城市绿化实践中,自生植物因无序生长而不被大众所青睐。为此,学者提出通过割草、允许部分自然演替等方式来提升自生植物群落景观效果^[4],德国一项实验也初步证实了荒置地上引入观赏植物的可行性^[19]。然而,目前已有研究多聚焦于自生植物响应城市化的分布及多样性特征,很少从群落构建的视角探讨其群落自发扩散特征以及与栽培植物形成的共存格局。

“绿道” (green way) 作为一种特殊的线形绿色开敞空间,是包含线性元素的绿色土地网络,在促进物种交流迁徙、保护生物多样性与改善区域环境中发挥着不可或缺的作用^[20]。成都作为公园城市“先行示范区”,于 2020 年确立了以土地综合整治和生态修复为抓手,开展农用地整治、建设用地整治和生态修复^[21]。以其为目标建成的环城生态公园,旨在优化城市生态布局、遏制城市无序蔓延。绕城绿道是环城生态公园的核心构成,也是天府绿道体系的重要组成部分。然而,当前仍存在植被覆盖度低、群落结构单一、农业生态系统遭到破坏等问题。因此,如何在确保城市生态环境得到有效保护的前提下,探索绿道的可持续发展路径,已成为亟待解决的关键议题。

基于以上背景,本研究以成都绕城绿道为例,首先从群落扩散面积角度探索不同生活型自生植物的物种多度、不同生境支撑其多样性情况,再通过生态位比较、种间联结等分析挖掘自生植物与栽培植物的共存关系,以期探寻可维持较高生物多样性的低维护群落模式,为城市绿道及其他绿地可持续、高韧性植物景观营建提供参考。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究地概况

研究所在地位于四川省成都市(102°54′—104°53′E, 30°05′—31°26′N),属于亚热带季风性湿润气候,年平均气温为 16℃,四季分明,温暖湿润。年降雨量丰富,为城市提供了充足的水资源,适宜的气候条件也为天府绿道的植被生长提供了良好的自然环境。成都天府绿道总规划长度约为 1.69 万 km,由区域级、城区级、社区级三级绿道体系构成,形成了“一轴、两山、三环、七带”的结构布局,是全球规模最大的绿道系统之一^[22]。作为天府绿道“三环”中的关键一环,环城生态公园包括绕城绿道及其串联的七大楔形绿地。绕城绿道沿成都市四环路(绕城高速公路)两侧各 500m 范围修建,全长总计约 102km^[23]。本研究选取成都绕城绿道作为研究样段,对其两侧绿地以及楔形绿地中的青龙湖湿地公园和北湖生态公园进行调研分析(图 1)。

1.2 研究方法

采用均匀取样法和典型样方法,在绿道每隔 250m 设置一个样点(高架桥区段除外)(图 1)。以样点为中心根据自生植物的生长情况以及生境的类型设置一至多个样方,样方面积大小根据优势自生植物群落自然分布情况或栽培植物群落边界设置,即:以群落中的优势物种(自生植物、栽培植物或逸为自生的栽培植物)种群分布的斑块边缘或道路等硬质边线作为群落的边界,以此确定群落面积。此外,在自生植物群落分布较多的区段相应地增加样方数量作为典型样方进行记录。调研时间为 2024 年的 4、5 月,在设置的样方内记录自生植物和栽培植物的物种名、多度、高度、盖度等信息,同时记录生境类型并进行样方编号(人工防护林和景观林除外)。最终得到样点 308 个、样方 319 个、生境类型 11 种,各样方面积介于 0.5—525m²之间,面积最小的样方位于硬质铺装缝隙,最大的样方为玉石湿地公园维护程度较低的水湿洼地。

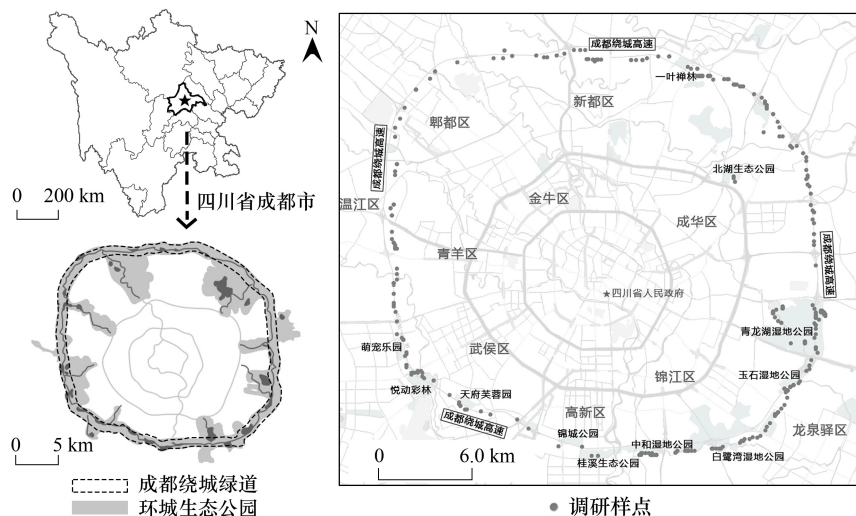


图 1 研究地及样点设置

Fig.1 Study site and sampling design

1.3 数据计算及统计方法

1) 频度(Frequency)^[24]:

$$F = (S_i / N) \times 100\%$$

式中, S_i 为物种*i*出现的样方数, N 为总样方数。

2) 物种丰富度(richness):

$$R = S$$

式中, S 为物种数。

3) Shannon-Wiener 多样性指数:

$$H = - \sum_{i=1}^s (P_i \ln P_i)$$

式中, P_i 为物种 i 占总个体数的比例。

4) Pielou 均匀度指数:

$$E = 1 - \sum_{i=1}^s (N_i/N)^2 / \left(1 - \frac{1}{s}\right)$$

式中, S 为物种数, N_i 为物种 i 的个体数, N 是所有物种的总个体数。

5) 生态位宽度 (niche width) 采用 Levins 生态位宽度指数计算公式:

$$B_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^r (P_{ij})^2}$$

式中, $P_{ij} = n_{ij}/N_i$, 即 i 在第 j 个资源状态下的个体数占该物种所有个体数的比例。样方代表资源位, r 即样方数。

6) 重要值 = (相对多度 + 相对盖度 + 相对频度) / 3。

样方整理及数据计算运用 R 语言 (4.4.1) 的 `vegan` 包和 `spaa` 包^[25], 物种数、Shannon-Wiener 多样性指数的均值比较采取 Duncan 检验法 ($\alpha = 0.05$) 运用 R 语言的 `agricolae` 包进行; 如数据呈正态分布, 则采用单因素方差分析来统计各生境中自生植物多样性和均匀度的差异性。当数据不呈正态分布时, 则采用非参数检验 Kruskal Wallis ANOVA (`kruskal.test` in R)。统计图由 Excel 和 R 语言 `ggplot2` 和 `ggpubr` 等包绘制。生态位和种间联结性分析用 R 的 `spaa` 包进行计算和绘图。借助形色、花伴侣、百度识图、iPlant 植物智, 参考《四川省植物志》、《中国植物志》对自生植物物种进行识别, 其中, 乡土植物 (native species) 为自然分布于四川地区的物种, 外来植物 (alien species) 指由人类有意或无意引进的四川省范围以外的物种, 分为国外外来和国内外来植物, 通过查询植物志和文献确定^[26]。入侵植物为在中华人民共和国环境保护部和中国科学院联合发布的《中国外来入侵物种名单》中的物种。调研地绕城绿道中人为栽植的栽培植物名录由绿道工作人员提供。

2 结果与分析

2.1 成都绕城绿道植物组成概况

绕城绿道共记录植物 316 种, 隶属于 86 科, 243 属。其中自生植物 236 种 (74.68%), 包括 176 种完全自生的植物、6 种自播地被、4 种逸为自生的农田蔬菜以及 50 种逸为自生的观赏植物 (图 2); 人工种植的栽培植物 80 种 (25.32%), 例如金鸡菊 (*Coreopsis basalis*)、秋英 (*Cosmos bipinnatus*)、矢车菊 (*Centaurea cyanus*) 等。有一些自生特性的植物如白茅 (*Imperata cylindrica*)、紫苜蓿 (*Medicago sativa*)、黄花草木樨 (*Melilotus officinalis*)、红花酢浆草 (*Oxalis corymbosa*) 因在绕城绿道由人为栽植, 在本研究中算作栽培植物。在自生植物科组成上 (图 3), 菊科 (*Asteraceae*) 植物最多, 39 种 (16.53%), 常见的如艾 (*Artemisia argyi*)、野艾蒿 (*Artemisia lavandulaefolia*)、苣荬菜 (*Sonchus oleraceus*)、黄鹌菜 (*Youngia japonica*) 等; 其次为禾本科 (*Gramineae*)

31 种 (13.14%), 如双穗雀稗 (*Paspalum distichum*); 豆科 (*Fabaceae*) 11 种 (4.6%)。自生植物生活型中, 多年生

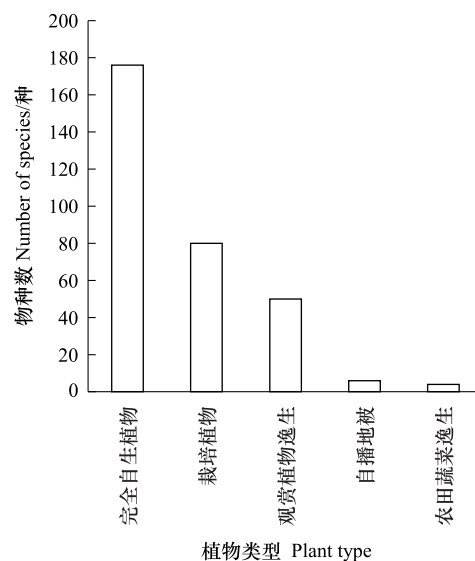


图 2 植物类型统计

Fig.2 Statistics of plant types

草本植物 90 种 (38.14%), 一、二年生草本植物 (包括一年生和二年生) 87 种 (36.86%), 乔木 18 种 (7.63%), 灌木、半灌木 18 种 (7.63%), 草质、木质藤本分别为 14 种 (5.93%) 和 4 种 (1.69%), 蕨类 5 种 (2.12%) (图 4)。236 种自生植物中, 有 181 种 (76.69%) 为四川本土的乡土植物, 如中华苦蕒菜 (*Ixeris chinensis*)、刺儿菜 (*Cirsium arvense* var. *integrifolium*) 等; 49 种 (20.76%) 国外外来植物, 包括香丝草 (*Erigeron bonariensis*)、春飞蓬 (*Erigeron philadelphicus*) 等; 6 种 (2.54%) 国内外来植物, 例五节芒 (*Miscanthus floridulus*) 等。80 种栽培植物中, 仅有 28 种 (35%) 为乡土植物, 例如蝴蝶花 (*Iris japonica*)、麦蓝菜 (*Gypsophila vaccaria*) 等; 天人菊 (*Gaillardia pulchella*)、银合欢 (*Leucaena leucocephala*) 等 39 种 (48.75%) 为国外外来植物; 国内外来植物 13 种 (16.25%), 如锦绣杜鹃 (*Rhododendron × pulchrum*)。相比较而言, 绕城绿道中自生植物以乡土植物为主, 而栽培植物以国外外来植物为主 (图 5)。入侵植物有 13 种 (4.11%), 包括钻叶紫菀 (*Symphytotrichum subulatum*)、鬼针草 (*Bidens pilosa*) 等。

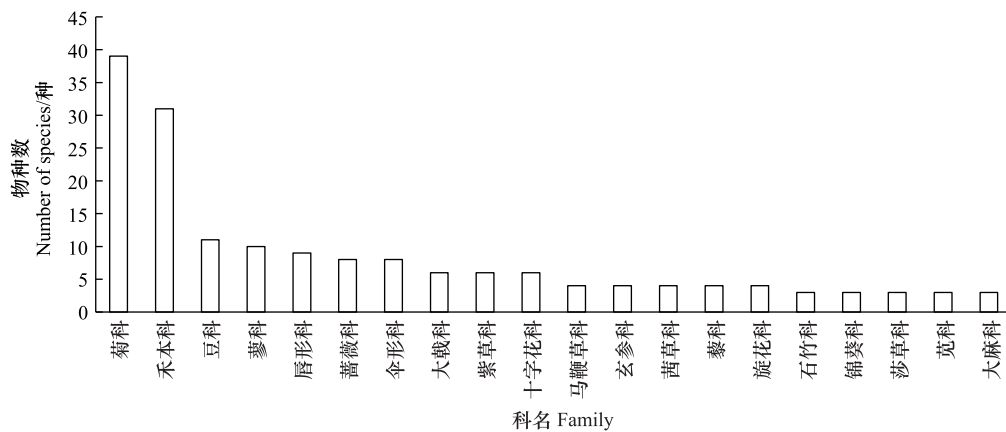


图 3 自生植物科组成

Fig.3 Family composition of spontaneous plants

2.2 群落自然扩散特征

2.2.1 不同生活型物种的多度与群落面积

多度 (abundance) 衡量了物种在群落中的个体数^[24], 反映了物种在群落中的组成结构和丰富度。选取各样方中多度最多的物种为代表, 本研究的多度排名前 20 的物种见表 1, 探究其不同生活型物种的多度与群落面积之间的关系。总体上当多度增加时, 群落扩散面积呈极显著增加趋势 ($P < 0.001$)。乔木如羊蹄甲 (*Bauhinia purpurea*)、构树 (*Broussonetia papyrifera*) 等植株冠幅整体较大, 伴随株树 (多度) 增加, 群落面积变化值最大; 其次为灌木及半灌木, 如接骨草 (*Sambucus javanica*)。因乔灌优势种群落面积整体上远小于草本群落, 且样方数量较少, 变化趋势不显著。而草本植物单株所形成面积较小, 群落面积随多年生草本植物多度增加趋势最小, 其中, 多年生草本植物空心莲子草 (*Alternanthera philoxeroides*) 和一、二年生草本植物小蓬草 (*Erigeron canadensis*)、春飞蓬、棒头草 (*Polypogon fugax*) 为多度最大的物种代表, 其群落面积扩大随物种多度的增加极为显著 ($P < 0.001$) (图 6)。

2.2.2 不同生境下自生群落分布与多样性特征

绕城绿道中依据环境条件、生境基质、位置以及栽培植被的占比不同可分为 11 个生境类型。因绿道两旁

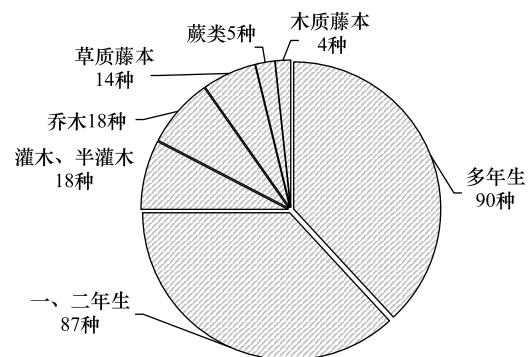


图 4 自生植物生活型统计

Fig.4 Life form statistics of spontaneous plants

多为栽培植物种植地,道路旁-草花种植地(R-H)的样方数最多且以栽培植物为主。群落面积在不同生境下的分布总体无显著差异,对不同生境的群落面积平均值进行排序(表2),面积平均值在6—12.9之间,道路旁-荒置地(R-W)最大,其次为道路旁-草花种植地(R-H)和道路旁-灌丛(R-B);林灌丛(B-L)、硬质-铺装(H-P)生境受人工干扰程度高,呈破碎化,群落面积较小。各生境的土壤、湿度、光照等条件不同,支撑物种数也不同,Duncan 检验得出物种数在不同生境之间存在显著差异($P<0.05$)。对于物种数而言,林下-草坪(U-L)最高,其次是林下-灌丛(U-B)、种植池(P-B)生境。含物种数最多的U-L与物种数最少的H-P生境之间有显著差异($P<0.05$)。U-B的Shannon-wiener指数最高,其次为R-B、水湿-水边地(W-W)和U-L生境,与指数最小的H-P生境之间存在显著差异($P<0.05$)。W-W和H-P生境平均面积值较小,因边缘效应和景观异质性,W-W的Shannon-wiener指数与H-P生境有显著差异($P<0.05$)。道路旁-草花种植地(R-H)同质化现象明显,其物种丰富度和群落多样性平均值都不高。

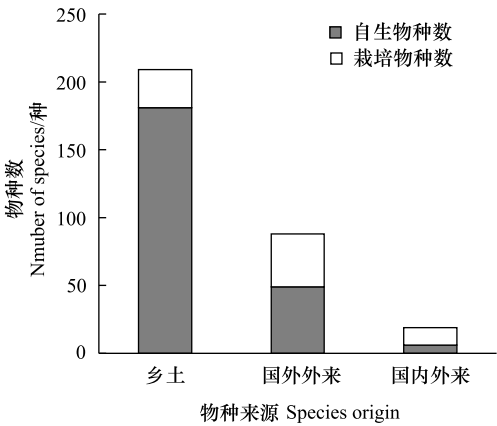


图5 自生与栽培物种来源比较
Fig.5 Species origin comparison of spontaneous and cultivated plant species

表1 多度排名前20的物种
Table 1 Top 20 most abundant species

排序 Sort	物种 Species	多度/株 Abundance	生活型 Life form	类型 Type	排序 Sort	物种 Species	多度/株 Abundance	生活型 Life form	类型 Type
1	白茅	2000	多年生草本	栽培	11	狗牙根	533	多年生草本	栽培
2	马蹄金	1600	多年生草本	自播地被	12	玉簪	500	多年生草本	栽培
3	白车轴草*	1350	多年生草本	自播地被	13	葎草	500	草质藤本	自生
4	小蓬草*	1200	一、二年生草本	自生	14	大滨菊	457	多年生草本	栽培
5	红花酢浆草*	1200	多年生草本	自播地被	15	紫娇花	427	多年生草本	栽培
6	春飞蓬	1000	一、二年生草本	自生	16	紫菀蓐	375	多年生草本	栽培
7	积雪草	960	多年生草本	自生	17	棒头草	360	一、二年生草本	自生
8	马唐	960	一、二年生草本	自生	18	苏门白酒草*	350	一、二年生草本	自生
9	狗尾草	700	一、二年生草本	自生	19	酢浆草	320	多年生草本	自生
10	空心莲子草*	640	多年生草本	自生	20	异叶黄鹌菜	300	一、二年生草本	自生

* 为入侵植物

表2 生境分类依据及群落平均面积
Table 2 Habitat classification rules and average community size

生境类型 Habitat type	特征描述 Description	样方数 Quadrat number	群落面积平均值 Average community area
道路旁-荒置地 Roadside-Wasteland	无人工种植栽培植物的荒置地块,多为草本自生植物,更具野趣	59	12.9±6.92
道路旁-草花种植地 Roadside-Herbaceous planting area	以栽培草本花卉为主的观赏花带,有自生植物生长	112	12.82±9.87
道路旁-灌丛 Roadside-Bushwood	草本和灌木组团,自生结合栽培	24	11.31±5.43
道路旁-草坪 Roadside-Lawn	人工草坪,有自生植物生长,多为草本植物	37	10.78±7.16
林下-灌丛 Understory-Bushwood	林下环境的草本和灌木组团,自生结合栽培	10	10.54±6.81

续表

生境类型 Habitat type	特征描述 Description	样方数 Quadrat number	群落面积平均值 Average community area
林下-草坪 Understory-Lawn	林下环境的人工草坪,有自生植物生长,多为草本植物	6	10.13±5.67
水湿-洼地 Wetland-Puddle	地形中间低四周高,土壤较为湿润	9	10.11±8.27
水湿-水边地 Wetland-Waterside	人工或自然形成的水域边缘	6	9.47±13.15
硬质-铺装 Hard-Pavement	嵌草铺装、铺装裂缝、砾石地	8	8.89±7.34
种植池 Planting bed	多为乔木、草本种植池,以栽培植物为主	8	6±1.67
林灌丛 Bushland	自然演替或和栽培植物形成的乔灌丛复层群落	35	5.61±4.46

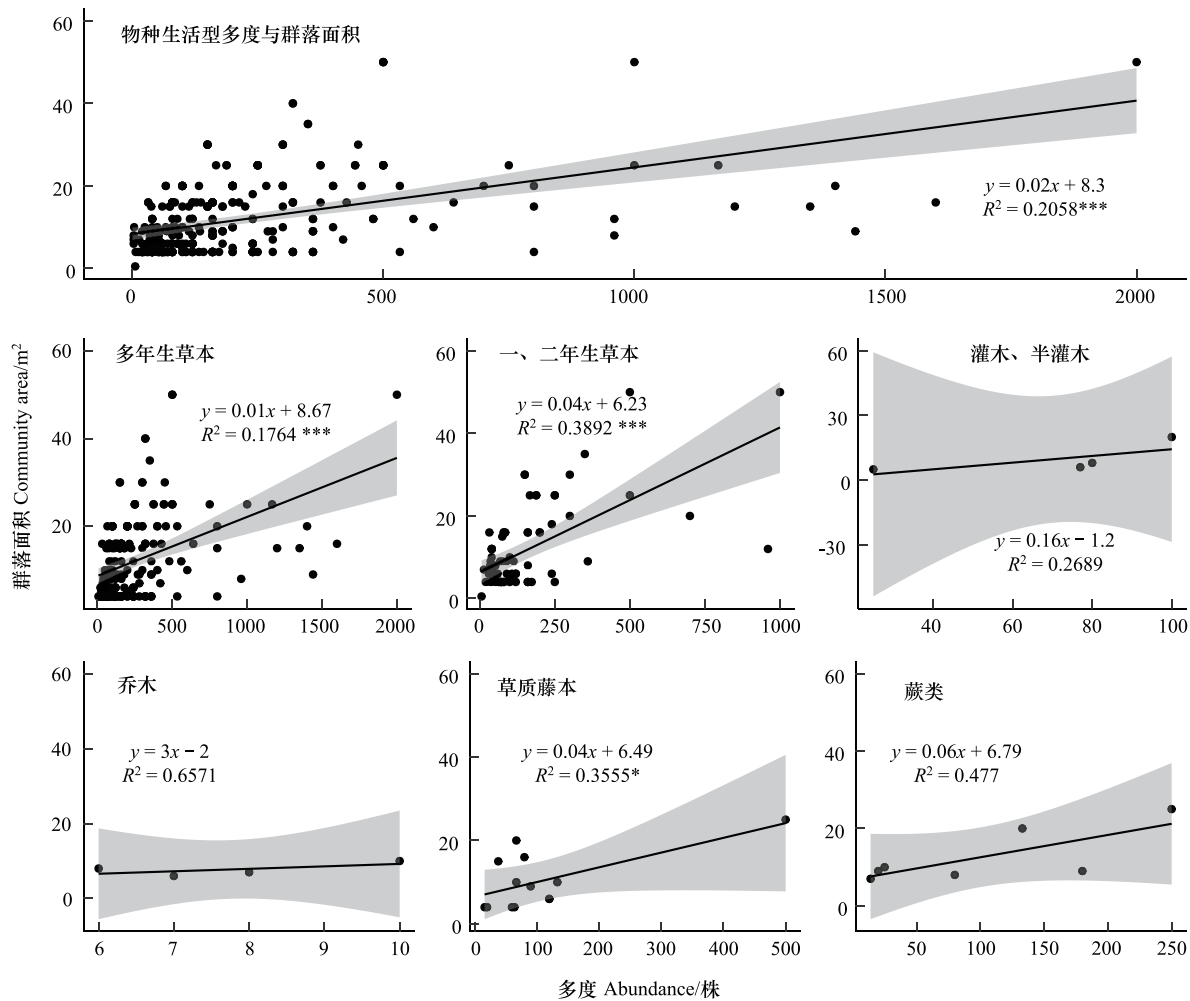


图 6 不同生活型的优势种群落多度与群落面积回归分析

Fig.6 Regression analysis of species' abundance and community area with distinct life forms

*** $P < 0.001$, ** $P < 0.05$; R^2 表示模型拟合程度;阴影区域表示 95%的置信区间

2.3 自生植物与栽培植物的共存格局

2.3.1 自生植物与栽培植物生态位比较及种间联结

重要值前 10 的自生植物和栽培植物生态位宽度比较见表 3。其中,栽培植物主要为国外外来植物,自生

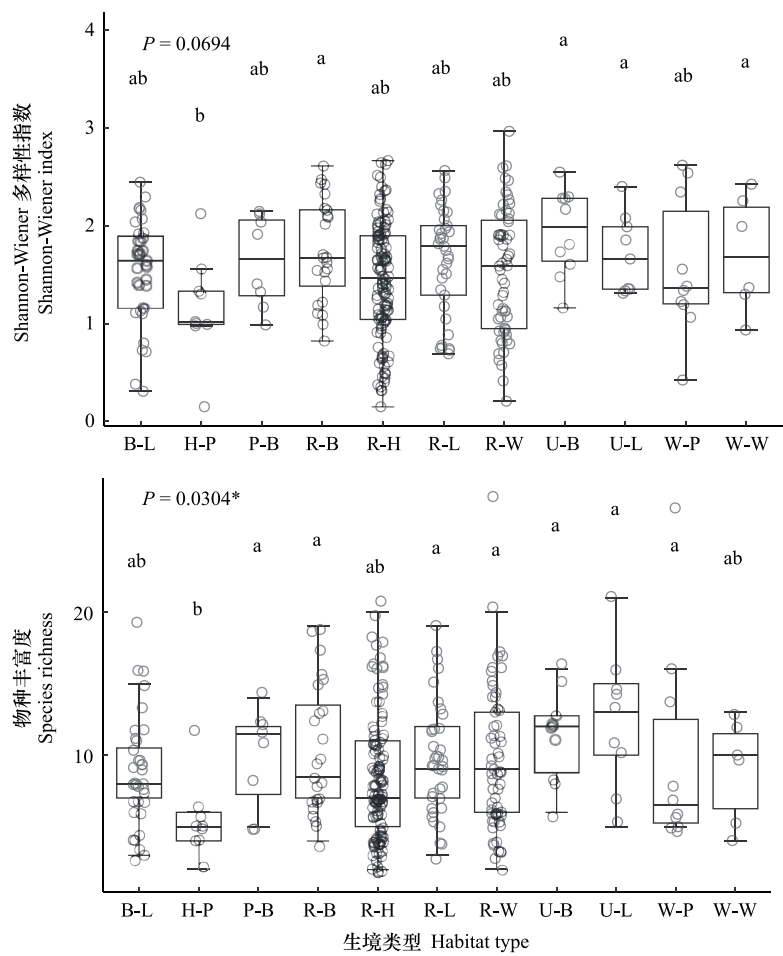


图 7 不同生境下群落 Shannon-wiener 指数和物种丰富度比较

Fig.7 Comparison of Shannon-wiener index and species richness of communities in different habitats

不同小写字母表示不同生境之间差异显著 ($P<0.05$) ; B-L: 林灌丛; H-P: 硬质-铺装; P-B: 种植池; R-H: 道路旁-草花种植地; R-L: 道路旁-草坪; R-B: 道路旁-灌丛; R-W: 道路旁-荒置地; U-L: 林下-草坪; U-B: 林下-灌丛; W-P: 水湿-洼地; W-W: 水湿-水边地

植物多为乡土植物。整体而言自生植物的生态位宽度比栽培植物大,其中白车轴草的生态位最大,为 52.82,其次为构树 40.70 和菊科的苣荬菜 38.82、黄鹌菜 36.03。栽培植物中紫苜蓿的生态位宽度最大,为 27.82。

表 3 重要值前 10 的栽培植物与自生植物生态位宽度

Table 3 Niche width of the top 10 cultivated and spontaneous plants with the largest importance value

排序 Sort	栽培植物 Cultivated plants	重要值 Important value	生态位宽度 Niche width	物种来源 Species origin	排序 Sort	自生植物 Spontaneous plants	重要值 Important value	生态位宽度 Niche width	物种来源 Species origin
1	白茅	0.0919	14.59	乡土	1	白车轴草	0.1976	52.82	国外外来
2	紫苜蓿	0.0882	27.82	乡土	2	小蓬草*	0.1572	12.23	国外外来
3	金鸡菊	0.0456	10.31	国外外来	3	黄鹌菜	0.1234	36.03	乡土
4	美丽月见草	0.0308	9.18	国外外来	4	苣荬菜	0.1159	38.82	乡土
5	红花酢浆草*	0.0297	6.05	国外外来	5	空心莲子草*	0.1038	24.05	国外外来
6	柳叶马鞭草	0.0237	7.46	国外外来	6	酢浆草	0.0985	37.01	乡土
7	紫娇花	0.0181	5.90	国外外来	7	鼠曲草	0.0853	27.68	乡土
8	细叶美女樱	0.0157	4.42	国外外来	8	葎草	0.0836	20.34	乡土
9	矢车菊	0.0133	2.40	国外外来	9	棒头草	0.0756	20.81	乡土
10	麦蓝菜	0.0119	7.63	乡土	10	构树	0.0728	40.70	乡土

* 为入侵植物

45 对自生植物之间多表现为正联结,如小蓬草与黄鹌菜、白车轴草与苜蓿菜、空心莲子草与菰草等。表现为负联结的仅有 6 对,为酢浆草 (*Oxalis corniculata*) 与鼠曲草 (*Pseudognaphalium affine*)、白车轴草与菰草 (*Humulus scandens*)、酢浆草与菰草、酢浆草与棒头草、菰草与棒头草、菰草与构树。相反,45 对栽培植物中有 21 对呈负联结(图 8)。栽培植物与自生植物种间联结 100 对中,紫苜蓿、金鸡菊、美丽月见草 (*Oenothera speciosa*) 和细叶美女樱 (*Glandularia tenera*) 与大部分自生植物在 $-0.14 \leq AC \leq 0.15$,棒头草与柳叶马鞭草 (*Verbena bonariensis*) 的 $AC \geq 0.44$ 。生态位最宽的白车轴草只与菰草、白茅、细叶美女樱呈现较强负联结。

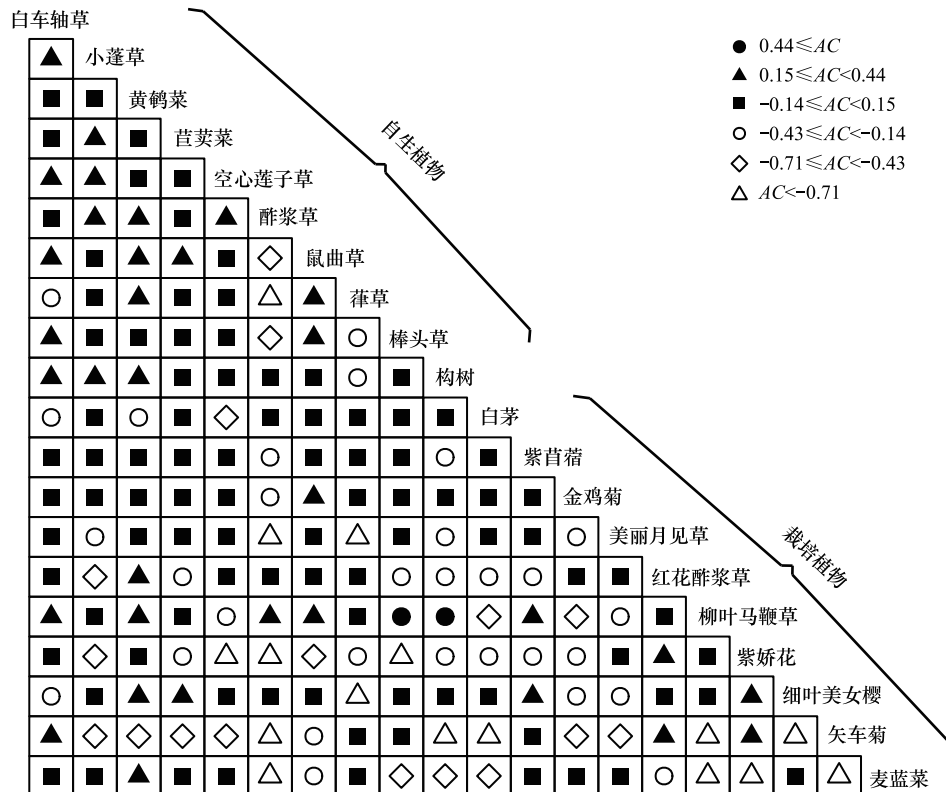


图 8 自生植物与栽培植物优势种间联结系数 AC 半矩阵图

Fig.8 AC half-matrix plot of linkage coefficients between dominant species of spontaneous plants and cultivated plants

2.3.2 栽培植物盖度与群落面积

植物群落盖度是描述植物群落结构及其重要性的主要指标之一^[27],栽培植物盖度大小凸显出其在群落中与自生植物的竞争关系。不同栽培植物盖度之间有显著差异 ($P < 0.05$),其中紫娇花 (*Tulbaghia violacea*) 平均盖度最大,为 29%,与最小的柳叶马鞭草平均盖度值 10% 之间有显著差异(图 9)。总体上栽培植物优势种盖度随群落面积的增加呈显著下降趋势 ($P < 0.05$)(图 10)。初步分析为伴随自生植物盖度增加,栽培植物盖度减少,说明自生植物的竞争力比栽培植物强。紫娇花盖度随群落面积增加下降趋势最大,其次为柳叶马鞭草、美丽月见草等,其中紫苜蓿盖度与群落面积呈显著负相关 ($P < 0.05$)。相反,矢车菊盖度随群落面积增大呈显著上升趋势 ($P < 0.05$),其次为麦蓝菜、红花酢浆草。

2.3.3 不同栽培植物群落支撑多样性的差异

总体上包含不同栽培植物的群落均匀度指数呈极显著差异 ($P < 0.001$),支撑的物种数与 Shannon-wiener 指数差异则不明显(图 11)。含有麦蓝菜、柳叶马鞭草和红花酢浆草的群落物种丰富度较高,且麦蓝菜的群落多样性最高,平均值为 2.1。细叶美女樱、金鸡菊、美丽月见草和紫娇花所形成的群落物种丰富度及 Shannon-wiener 指数较低,与麦蓝菜形成的群落物种丰富度和 Shannon-wiener 有显著差异 ($P < 0.05$)。白茅和紫苜蓿形

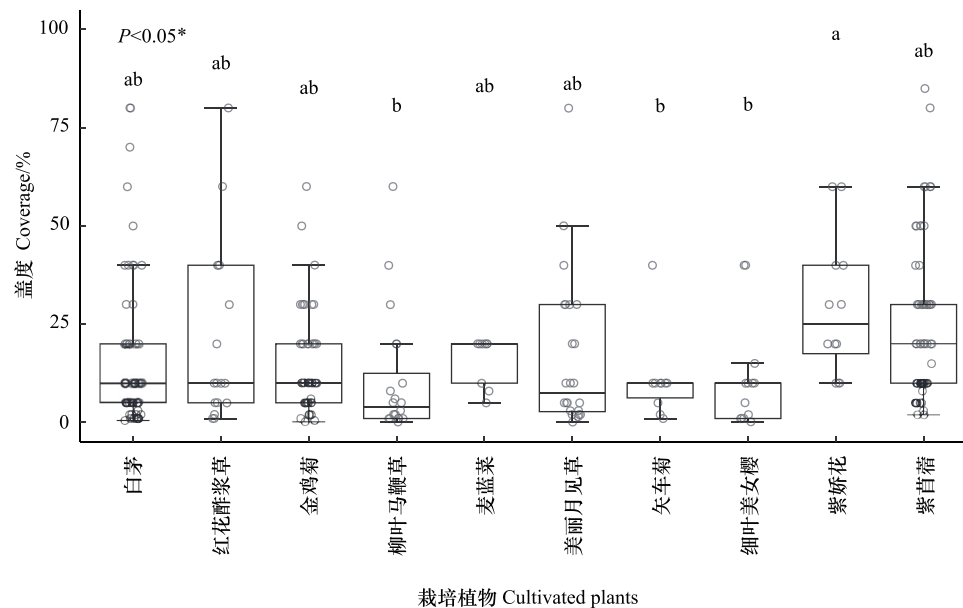


图9 不同栽培植物在群落中的盖度差异比较

Fig.9 Coverage comparison of different cultivated plants in communities

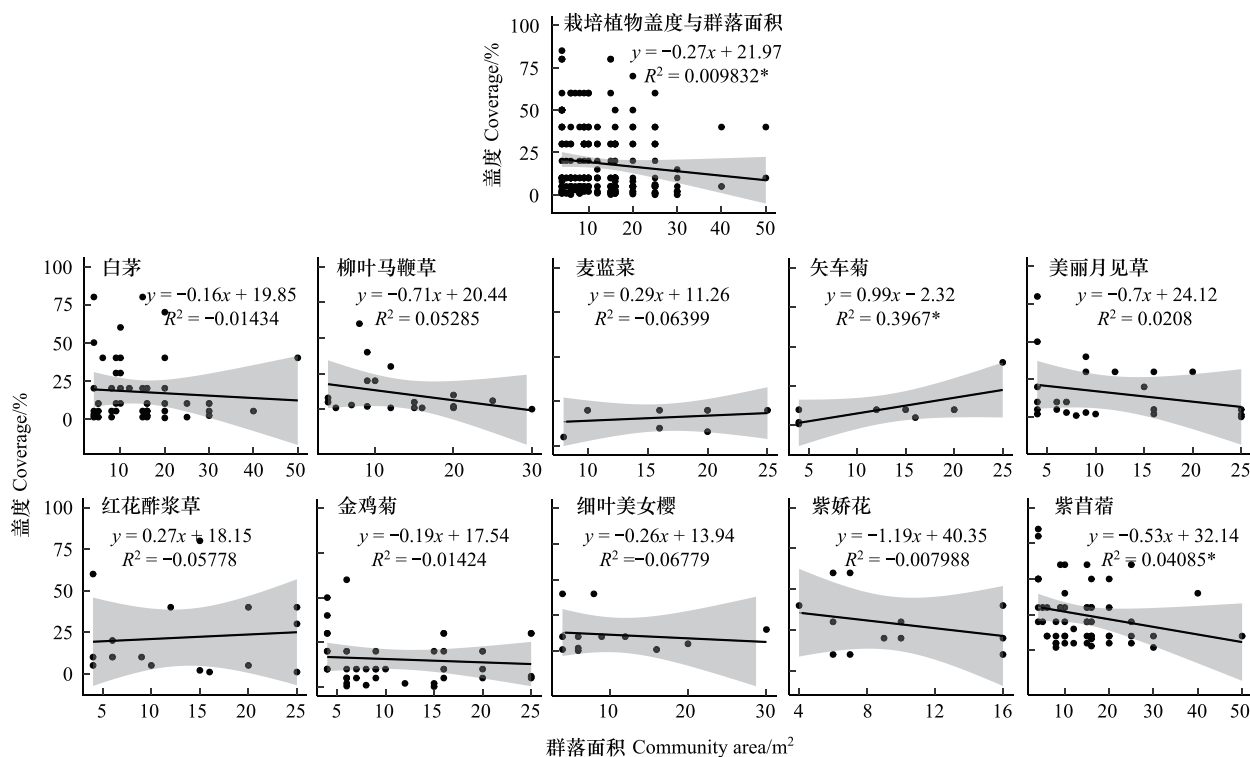
不同小写字母表示不同栽培植物在群落中的盖度之间差异显著($P < 0.05$)

图10 栽培植物盖度与群落面积回归分析

Fig.10 Regression analysis of the coverage and community area of cultivated plants

*** $P < 0.001$, ** $P < 0.05$; R^2 表示模型拟合程度; 阴影区域表示 95% 的置信区间成的群落均匀度指数较高,分别为 0.78 和 0.71,与其他栽培物种群落均匀度指数达到显著差异($P < 0.05$)。

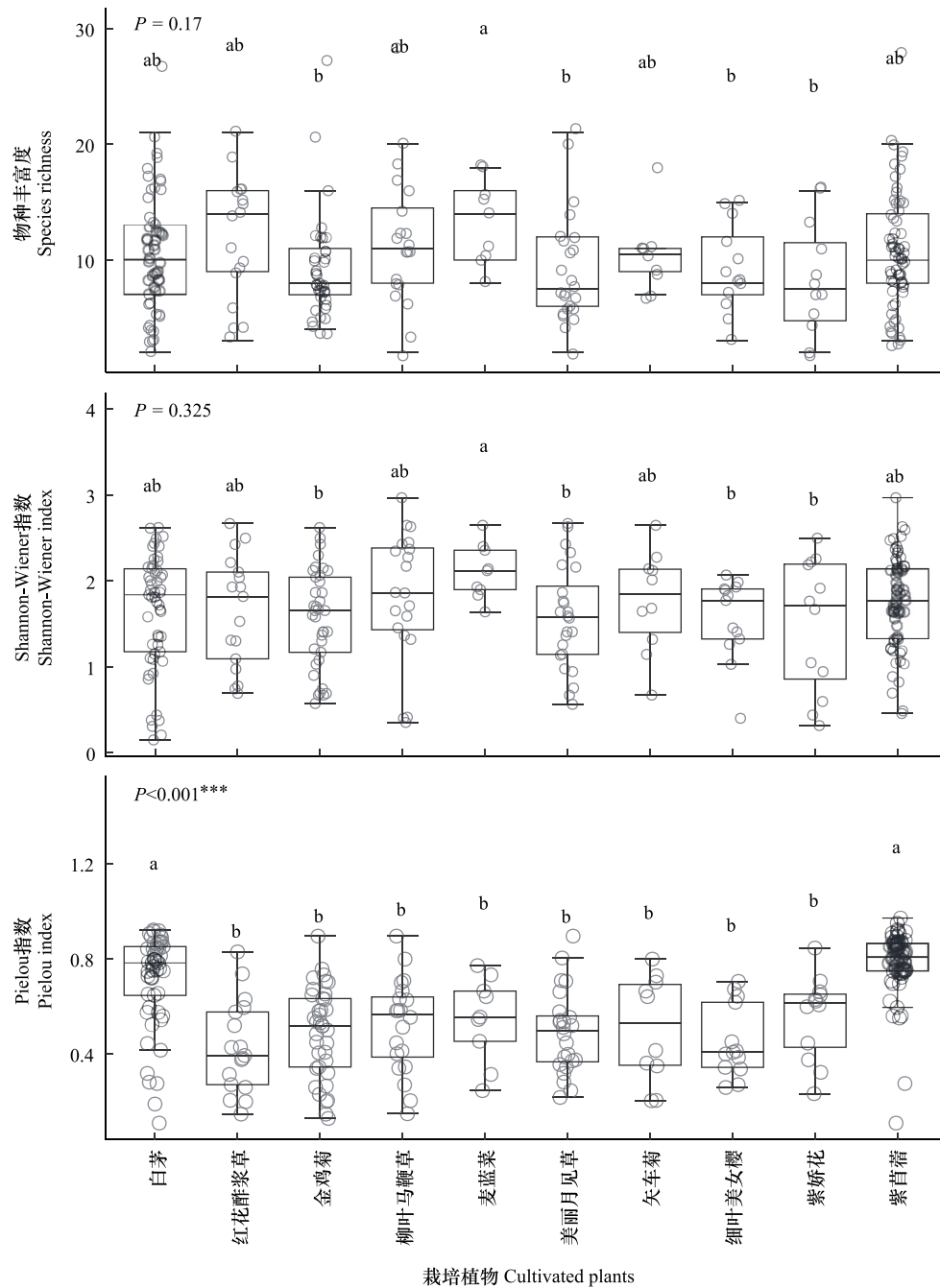


图 11 不同栽培植物群落的多样性指数比较

Fig.11 Comparison of diversity indices of plant communities containing different cultivated plants

不同小写字母表示不同栽培植物在群落中的多样性指数之间差异显著 ($P < 0.05$)

3 讨论

3.1 成都绕城绿道自生植物物种组成特征及应用

目前,众多学者对城市不同生境的自生植物开展研究,南方因气候、地理等自然因素,较寒冷干燥的北方而言为植物生长提供更适宜的环境条件。以成都为例,河流廊道记录自生植物 336 种^[16],四环路废弃地 237 种^[28],墙体 84 种^[29];相比北方城市如哈尔滨河流廊道 151 种^[12]、城市废弃地 168 种^[30],拥有更为丰富的自生植物种质资源。本次仅对成都四环绕城绿道调研记录 236 种,远多于北京城区 173 种^[31]。在物种来源上,

自生植物蕴含丰富且具有观赏潜力的乡土物种,如中华苦蕒菜、刺儿菜、泥胡菜(*Hemisteptia lyrata*)等,作为不同于园艺植物的野花草为市民提供了接触野趣自然的机会与乐趣。在科组成上,自生植物以菊科(39种)与禾本科(31种)为两大优势科,与前人研究结果一致^[32]。本研究发现,菊科植物在入侵植物中占比高达53.85%,需通过合理配置植物和定期生态监测以控制其扩散。其他一些菊科植物在花色和花型上可赏度较高,如黄鹌菜、苣荬菜、蒲公英(*Taraxacum mongolicum*)、翅果菊(*Pterocypsela indica*)、匙叶合冠鼠曲草(*Gamochaeta pensylvanica*)等,为营建野趣景观提供了更多选择。此外,豆科植物如野大豆(*Glycine soja*)、广布野豌豆(*Vicia cracca*)、救荒野豌豆(*Vicia sativa*)、紫苜蓿等因紫色花朵成为蝴蝶、蜜蜂等传粉昆虫的首选^[33]。鉴于杀虫剂和除草剂对生态系统的破坏,利用这类植物营建昆虫友好景观成为推动可持续发展的重要途径。在生活型方面,自生多年生草本植物(90种)多于一、二年生草本植物(87种),与前人结果不一致,究其原因绿道多为骑行者,驻足时间不长,植物群落受到人为干扰程度较公园和建成区环境相对较低^[34],这一特点使得多年生草本植物在绿道中得以更好地生长和扩散,未来仍需对多年生草本自生植物进行更好地保护和应用。

3.2 群落扩散及生境特征对生物多样性保护的启示

群落自然扩散面积与一、二年生和多年生草本植物多度呈极显著正相关($P<0.001$)。某些具备强大蔓延能力的优势种如春飞蓬、白茅、白车轴草以及入侵植物空心莲子草、鬼针草等是群落扩散的主导力量,若不对这些物种的扩散范围进行控制,则会过度占据生态位,导致同质化、群落结构单一化,进而削弱生物多样性,影响生态系统平衡。此外,伴随优势种逐渐适应城市化环境,加强对偶见种的保护和应用是恢复城市生物多样性及营建荒野景观的途径之一^[13]。绕城绿道虽然养护管理程度较低,但不同生境下群落自然扩散情况受前期规划设计对人工建植的植被影响较大。自生植物多是处于演替初期的草本阶段,在人工生境如草坪、草花种植地等空隙生长。因大面积自然生境被人工生境取代,林灌丛(B-L)生境多为栽植的乔木和自生灌丛、草本的组合,是面积平均值最小的生境(表2),乔灌优势种群落面积整体上也明显小于草本群落(图6)。为促进自生演替的顺利进行需有意识采取低干扰方式对一些目标群落进行保留和恢复。此外,对于生态修复与保护的重点区域,可充分利用乡土先锋木本自生植物如构树、枫杨(*Pterocarya stenoptera*)等进行生态恢复。

值得注意的是,群落面积越大并不代表其所支撑的物种也更丰富,环境条件和人为干扰等多种因素共同影响生物多样性。例如,水湿-水边地(W-W)与硬质-铺装(H-P)在群落面积相差不大的情况下,水边湿润的环境为自生植物提供了理想的生长条件,其Shannon-wiener指数显著高于硬质-铺装生境($P<0.05$)。水湿-水边地通常位于湿地与沟渠地带且游客活动量较少,为维护生态敏感区域的生物多样性与生态平衡,可保留自生植物栖息地,减少不必要的干扰。另一方面,硬质-铺装(H-P)生境中的植物虽然生长条件更为严苛,但能在其中顽强生长的植物展现出非凡生命力。垂直墙面中自发生长的植物也成为城市绿地空间的有益补充,为城市生态系统增添了新的活力^[15]。此外,林下空间作为绿道生态系统的重要组成部分,其多样性和物种组成受到郁闭度的影响^[35]。研究结果显示,林下-草坪(U-L)和林下-灌丛(U-B)两种生境的物种丰富度与Shannon-wiener多样性指数均较高。在绕城绿道这两类生境中,人为干扰程度相对较低,低维护的管理方式有利于草坪生物多样性的恢复与提升。因此,在绿道规划与管理中,应充分考虑不同生境的特点与需求,采取科学合理的保护措施,以促进绿道生态系统的健康与可持续发展。

3.3 自生植物和栽培植物的共存格局及其对群落营建的启示

成都绕城绿道中栽培植物的选择和空间布局与城市发展规划密切相关。因绕城绿道与农用地进行了系统整合,园林草本花卉如麦蓝菜、大滨菊(*Leucanthemum ×superbum*)、紫娇花等形成的草花种植地作为农业缓冲带在绕城绿道中最为常见。为改善土壤肥力,具有较强逸生能力的豆科植物紫苜蓿也得到较大面积应用。这些具有不同逸生能力的栽培植物为本研究挖掘其与自生植物的共存关系提供了较好样本。生态位与种间联结性从时空尺度表现为物种对资源的利用和竞争,以及物种之间的相互作用(互利或竞争)^[36]。与前人研究结果一致,生态位宽度与物种的重要值变化趋势并非总是一致^[37]。生态位宽度越大,物种越倾向于泛化种^[24]。在绿道中,自生植物相较于栽培植物展现出更高的泛化程度,例如白车轴草因较好的景观效果得到保

留且广泛蔓延,导致了景观同质化。相反,特化种如柔弱斑种草(*Bothriospermum zeylanicum*)对环境极为敏感,需要加强保护。种间正联结揭示了物种间相似的生物学特性和生境偏好^[38]。栽培植物之间多为负联结很大程度源于人工单一栽植,自生植物之间多呈正联结,体现出其对更多物种的“包容性”。针对由单一优势物种和入侵物种主导的大面积群落,可以撒播与其呈正联结的自生乡土植物种子,以提升群落多样性。

结合观赏性以及不同栽培植物群落支撑自生植物多样性情况,可以筛选出具有应用潜力的群落。紫苜蓿与多种自生植物形成正联结,展现较好景观效果。值得注意的是,其盖度与群落自然扩散面积呈显著负相关($P<0.05$),意味着更多自生植物出现在面积并不大的紫苜蓿群落中。因此,对紫苜蓿群落均匀度较高的区域可进行适度梳理,为其他自生植物留出空间。麦蓝菜群落 Shannon-wiener 指数和物种数较高,其盖度随群落面积的增加呈上升趋势,只和棒头草、酢浆草、鼠曲草表现较强的负联结,可与黄鹌菜、诸葛菜(*Orychophragmus violaceus*)、皱叶酸模(*Rumex crispus*)等搭配形成色彩丰富兼具野趣与观赏性的植物群落。从低成本、低维护的角度出发,在植物选择上可运用黄鹌菜代替金鸡菊与紫苜蓿形成黄紫互补色景观。禾本科植物如棒头草、狗尾草(*Setaria viridis*)作为部分白茅摇曳感的代替,可提升群落多样性。此外,需进一步挖掘自生植物的应用潜力。例如,蜈蚣凤尾蕨羽片独特,可作为肾蕨(*Nephrolepis cordifolia*)等栽培植物的替代。在绿道建设用地区域内,对于人流密集或是作为展览功能的入口、特色园区等需营造整洁有序的景观时,可结合少量自生植物增添自然风韵。在绿道两侧荒地中,利用逸生植物的繁殖和抗逆性优势^[39],如向日葵(*Helianthus annuus*)、山桃草(*Oenothera lindheimeri*)、葱莲(*Zephyranthes candida*)、细叶美女樱等观赏植物,点缀在以自生植物为主体的群落中,以提升公众对荒野地的接受度。研究表明适当保留自生植物也有益于农业生态系统的提升,减少水蚀、改善土壤物理性质^[40-41]。然而,目前非常遗憾的是,草本花卉形成的缓冲带会在夏季跟随农作物收割一起清除和修剪掉,变成光秃裸露的土地,生态效益无法再发挥。因此,农田缓冲带建设应注重生态功能的延续^[42],避免滥用一年生花卉,可提前采集多年生自生草本植物的种子与花种混合撒播,实施适度修剪和部分保留的措施,提高生态农业景观的异质性和连通性,为农田节肢动物等物种提供生存空间。

4 结论

本研究以成都绕城绿道为研究地,以自生植物自然扩散形成的群落特征为切入点和突破口,旨在挖掘自生植物群落自然扩散形成的多样性特征及其与栽培植物的共存格局,以此探寻自生与栽培群落的发展动态,探索可支撑较高生物多样性、利于荒野恢复的群落模式。共记录到 316 种植物,其中自生植物 236 种、栽培植物 80 种。群落扩散面积随一、二年生与多年生草本植物多度增加呈极显著扩大趋势;不同生境中群落自然分布面积总体差异不明显,但不同生境中物种数之间有显著差异。栽培植物与自生植物优势种对之间多为正联结,证明自生植物与栽培植物共同营建植物群落景观的可能性,但需根据其互利与竞争的特点科学采取管控和增补措施。依据自生植物群落分布以及其与栽培植物的共存特征进行合理的规划设计、群落改良和维护管理,有助于节约园林的落实,进一步实现可持续、低维护低投入的韧性绿地景观,在兼顾景观效果的同时发挥更多生态效益。

参考文献(References):

- [1] Dunnett N, Hitchmough J. The dynamic landscape: design, ecology and management of naturalistic urban planting. Oxford: Taylor & Francis, 2004.
- [2] Connop S, Nash C. Blandscaping that erases local ecological diversity. (2018-01-09) [2024-12-11]. <https://www.thenatureofcities.com/2018/01/09/blandscaping-erases-local-ecological-diversity/>.
- [3] Del Tredici P. Spontaneous Urban Vegetation: Reflections of Change in a Globalized World. *Nature and Culture*, 2010, 5(3): 299-315.
- [4] Kühn N. Intentions for the Unintentional: Spontaneous Vegetation as the Basis for Innovative Planting Design in Urban Areas. *Journal of Landscape Architecture*, 2006, 1(2): 46-53.
- [5] Sikorska D, Cieżkowski W, Babińczyk P, Chormański J, Sikorski P. Intended wilderness as a Nature-Based Solution: Status, identification and management of urban spontaneous vegetation in cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2021, 62: 127155.

- [6] Turo K J, Spring M R, Sivakoff F S, Delgado de la flor Y A, Gardiner M M. Conservation in post-industrial cities: How does vacant land management and landscape configuration influence urban bees? *Journal of Applied Ecology*, 2021, 58(1): 58-69.
- [7] 中华人民共和国国务院. 国务院办公厅关于科学绿化的指导意见. (2021-06-02) [2024-12-11]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2021-06/02/content_5614922.htm
- [8] Brown C, Prestele R, Rounsevell M. An assessment of future rewilding potential in the United Kingdom[J]. *Conservation Biology*, 2024, 38(4): e14276.
- [9] 潘妮, 闵钰婷, 赵娟娟, 张曼琳, 白泽鹏, 卿晨, 李建. 城市建成区自生草本植物群落的物种多样性与功能多样性——以深圳市为例. *生态学报*, 2024, 44(9): 3759-3774.
- [10] Cervelli E W, Lundholm J T, Du X. Spontaneous urban vegetation and habitat heterogeneity in Xi'an, China. *Landscape and Urban Planning*, 2013, 120: 25-33.
- [11] Fagot M, De Cauwer B, Beeldens A, Boonen E, Bulcke R, Reheul D. Weed flora in paved areas in relation to environment, pavement characteristics and weed control. *Weed Research*, 2011, 51(6): 650-660.
- [12] 申沛鑫, 任术, 梁新悦, 胡远东. 哈尔滨城市河流廊道草本层自生植物多样性及分布特征. *风景园林*, 2024, 31(6): 28-36.
- [13] Li X P, Li Y L, Zhang S N, Lin R, Chen M K, Feng L. Driving effects of land use and landscape pattern on different spontaneous plant life forms along urban river corridors in a fast-growing city. *Science of The Total Environment*, 2023, 876: 162775.
- [14] 骆沁宇, 张梦园, 李晓璐, 范舒欣, 董丽. 北京城市绿地不同生境自生植物多样性特征及其功能性状组成. *生态学报*, 2024, 44(11): 4744-4757.
- [15] 陈春谛. 被遗忘的城市“生境”: 重庆市墙体自生植物调查分析. *生态学报*, 2020, 40(2): 473-483.
- [16] 李晓鹏, 冯黎, 黄瑞, 刘百川, 徐思慧. 成都城区河流廊道自生植物的物种组成及其响应不同生境的多度格局. *中国园林*, 2023, 39(8): 108-114.
- [17] 范秋云, 云英英, 梁伟红, 史佑海. 海口市城市公园自生植物多样性研究. *热带作物学报*, 2024, 45(4): 734-741.
- [18] Li X P, Zhang S N, Huang R, Feng L, Xu S H, Liu B C. Diversity and distribution variation of urban spontaneous vegetation with distinct frequencies along river corridors in a fast-growing city. *Journal of Environmental Management*, 2023, 333: 117446.
- [19] Köppler M R, Kowarik I, Kühn N, von der Lippe M. Enhancing wasteland vegetation by adding ornamentals: Opportunities and constraints for establishing steppe and prairie species on urban demolition sites. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 126: 1-9.
- [20] 蔡好, 董丽. 绿道生态价值研究进展及展望. *山东农业大学学报: 自然科学版*, 2018, 49(1): 110-116.
- [21] 罗秀丽, 李鹏山, 金晓斌, 洪步庭, 刘笑杰. 大都市郊区国土空间优化的国际经验与成都实践. *现代城市研究*, 2023, 38(1): 8-14.
- [22] 中国风景园林学会. 城市绿道|成都绿道: 面向公园城市的绿道网络体系(二). (2020-12-24) [2024-12-11]. https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzA4MjQ0MDcyNA==&mid=2651278392&idx=1&sn=2e0c5be2c0c70d9afed4b8f2b065d731&chksm=84764b43b301c255f3f2bf53da3c154b6055940c2b2ac7861dea2d23dca564de93fe4e6274c4&scene=27
- [23] 陈宇, 周叶子. 成都天府绿道与上海黄浦江绿道建设探析——国内优秀绿道建设探析. *国土绿化*, 2023(3): 50-53.
- [24] 张金屯. 数量生态学. 北京: 科学出版社, 2004: 16-23, 111-112, 123-125.
- [25] 张金龙, 马克平. 中国生物多样性保护与研究进展 X. 北京: 气象出版社, 2014: 165-173. <https://wereal.qq.com/web/reader/14d32090813ab96d7g013421kc81322c012c81e728d9d180>.
- [26] 马金双, 王瑞江, 王发国, 曾宪锋. 中国外来入侵植物志-第二卷. 上海: 上海交通大学出版社, 2020.
- [27] 牛翠娟, 娄安如, 孙儒泳, 李庆芬. 基础生态学(3版). 北京: 高等教育出版社, 2015: 151-152.
- [28] 包钰婷, 李晓鹏, 黄瑞. 成都四环路内工业废弃地自生植物生境及物种多样性. *风景园林*, 2024, 31(1): 103-111.
- [29] 孟郝蕾, 毛颖, 何婧怡, 胡昂. 成都市墙体自生植物资源调查及应用研究. *四川林业科技*, 2022, 43(5): 58-65.
- [30] 李东吁, 李文, 董荣荣, 胡远东. 哈尔滨城市工业废弃地自生植物多样性与分布特征. *风景园林*, 2024, 31(1): 112-120.
- [31] 刘昌, 邢韶华, 姚扬, 张红星, 王效科. 北京城区自生植物分布格局及其影响因素. *生态学报*, 2024, 44(2): 544-558.
- [32] 李晓鹏, 董丽, 关军洪, 赵凡, 吴思佳. 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. *生态学报*, 2018, 38(2): 581-594.
- [33] Wang H, Ran N, Jiang H Q, Wang Q Q, Ye M, Bowler P A, Jin X F, Ye Z M. Complex floral traits shape pollinator attraction to flowering plants in urban greenspaces. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2024, 91: 128165.
- [34] 陈晓双, 梁红, 宋坤, 达良俊. 哈尔滨城区杂草群落多样性及其分类体系. *应用生态学报*, 2014, 25(8): 2221-2228.
- [35] Liu T Y, Lin K C, Vadeboncoeur M A, Chen M Z, Huang M Y, Lin T C. Understorey plant community and light availability in conifer plantations and natural hardwood forests in Taiwan. *Applied Vegetation Science*, 2015, 18(4): 591-602.
- [36] Pulla S, Suresh H S, Dattaraja H S, Sukumar R. Multidimensional tree niches in a tropical dry forest. *Ecology*, 2017, 98(5): 1334-1348.
- [37] 谢婉丽, 王奇悦, 王秋雪, 甘婉怡, 武艳芳, 黄柳菁. 闽江福州段自生草本植物生态位和种间联结研究. *热带亚热带植物学报*, 2024: 1-11 [2024-12-11]. <https://link.cnki.net/urlid/44.1374.q.20240301.1142.008>
- [38] 徐满厚, 刘敏, 翟大彤, 刘彤. 植物种间联结研究内容与方法评述. *生态学报*, 2016, 36(24): 8224-8233.
- [39] 印丽萍, 严振汾, 宋绍伟, 孙红. 引进花卉植物的逸生及风险分析技术的改进. *植物检疫*, 2003(3): 136-140.
- [40] Kesser M M, Joubert W, Cavagnaro T R, De Bei R, Collins C. Long-term under-vine coverage by spontaneous vegetation changed plant community and soil dynamics without impacting yield at two South Australian vineyards. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2023, 356: 108629.
- [41] Beniaich A, Guimarães D V, Avanzi J C, Silva B M, Acuña-Guzman S F, dos Santos W P, Silva M L N. Spontaneous vegetation as an alternative to cover crops in olive orchards reduces water erosion and improves soil physical properties under tropical conditions. *Agricultural Water Management*, 2023, 279: 108186.
- [42] 刘威尔, 张鑫, 张娟, 刘云慧, 宇振荣. 农田缓冲带规划建设与天敌保护效果研究. *中国生态农业学报*, 2017, 25(2): 172-179.