城市生物多样性

青岛城市公园绿地自生植物多样性及其在异质生境中的分布特征*

李玉璇[1] 侯娅平[1] 赵聪聪[1] 胡远东[1,2] 原英东[3]

1 东北林业大学园林学院 哈尔滨 150001

2 黑龙江寒地园林植物种质资源开发与景观生态修复重点实验室 哈尔滨 150001

3 青岛市市政工程设计研究院有限责任公司 青岛 266000

摘要:【目的】基于青岛城市公园绿地生境异质性视角揭示自生植物多样性构成与空间分异机制，为城市公园绿地的生物多样性维持以及低维护、可持续绿地景观的营造提供参考。【方法】以青岛中心城区 10 个典型城市公园绿地的自生植物为研究对象，采用均匀网格取样法，解析自生植物多样性组成及其在异质生境中的分布特征，并揭示其主要驱动因素。【结果】1）在 3 种生境和 10 种微生境中共记录自生植物 283 种，隶属 70 科 210 属，主要以乡土物种为主；草本植物最多（229 种），占总物种数量的 80.92%；秋季高频物种数多于春季。2）秋季较春季的物种多样性指数差异显著，种植池微生境（HS-P）的多样性指数在两季均表现较好。3）管理强度、绿地率、栽培植物多样性等因素对自生植物物种多样性组成的影响显著。【结论】青岛城市公园绿地的自生植物物种组成丰富；公园绿地异质性生境显著影响自生植物多样性分布，且受到季节变化干扰；狗尾草与酢浆草对公园特征因子的响应模式存在显著差异。研究结果为滨海山地城市公园绿地管理提供了新视角，可构建季节动态的“功能-风险”双维度评估框架，系统权衡植物的生态服务功能与季节适应性，以指导城市可持续景观的实践。

关键词：城市公园绿地；自生植物；生境异质性；微生境

DOI：10.12169/zgcsly.2025.02.25.0001

Diversity of Spontaneous Vegetation and Their Distribution Characteristics in Heterogeneous Habitats in Qingdao's Urban Park Green Spaces

Li Yuxuan[1] Hou Yaping[1] Zhao Congcong[1] Hu Yuandong[1,2] Yuan Yingdong[3]

(1. School of Landscape Architecture, Northeast Forestry University, Harbin 150001, China; 2. Key Laboratory of Plant Resources Development and Landscape Ecological Restoration in Heilongjiang Cold Region, Harbin 150001, China; 3. Qingdao Municipal Engineering Design Research Institute, Qingdao 266000, China)

Abstract:【Objective】This study uncovers the distribution pattern and driving mechanism of spontaneous vegetation diversity from the perspective of habitat heterogeneity in Qingdao's urban park green spaces, thereby providing references for the maintenance of biodiversity and the creation of low-maintenance and sustainable green landscape in the urban parks.【Method】The spontaneous vegetation are taken from 10 typical urban park green spaces in the central area of Qingdao as the research objects. The uniform grid

收稿日期：2025-02-25

*基金项目：黑龙江省自然科学基金（LH2023E007）

第一作者：李玉璇（2002-），女，硕士生，研究方向为风景园林规划与设计、城市生物多样性。E-mail：yuxuan9205@126.com

通信作者：原英东（1986-），男，硕士，高级工程师，研究方向为风景园林规划与设计。E-mail：yingdong-123@163.com

sampling method is used to analyze the diversity composition of spontaneous vegetation and their distribution characteristics in heterogeneous habitats, and thus reveal the main driving factors.【Result】1) A total of 283 species of spontaneous vegetation are recorded in 3 habitats and 10 microhabitats, belonging to 210 genera in 70 families, many of which are native species. Herbaceous plants dominate with 229 species, accounting for 80.92% of the total. High-frequency species are more numerous in autumn than in spring; 2) The species diversity index in autumn is significantly more varied in autumn than that in spring, and the diversity index of planting pond microhabitat performs well in both seasons. 3) Factors such as management intensity, green space ratio, and cultivated plant diversity have significant effects on the species diversity of spontaneous vegetation.【Conclusion】The species composition of spontaneous vegetation in urban park green space of Qingdao is rich. The heterogeneous habitat of park green space significantly affected the distribution of spontaneous vegetation diversity and was disturbed by seasonal changes. There were significant differences in the response patterns of *Setaria viridis* and *Oxalis corniculata* to park characteristic factors. These findings provide a new perspective for managing coastal mountain urban parks. Based on the findings, a seasonally dynamic "function – risk" dual-dimension evaluation framework could be constructed to systematically weigh the ecological services and seasonal adaptability of plants, so as to guide the practices of sustainable landscaping in cities.

Keywords: urban park green space; spontaneous vegetation; habitat heterogeneity; microhabitat

城市植被是城市生物多样性的重要组成部分，并在我国 2024 年发布的《中国生物多样性保护战略与行动计划》中将其作为重要保护对象。作为城市植被的重要组成部分，自生植物凭借其强环境适应性与生命力，不仅展现出独特的生态价值，更对维持城市生态系统稳定及提升生物多样性具有重要意义[1]。自生植物指未经人工栽培而在城市环境中自发定居生长的植物群体[2]，城市公园绿地不仅是城市生物的关键栖息地，也是维持和保育生物多样性的重要载体。自生植物因其独特的生态服务功能和“野态”景观价值，探索城市公园绿地自生植物多样性分布格局及其驱动因素，对理解城市化进程下生物多样性的形成和维持机制具有重要意义，充分认识其价值可为城市再野化、低维护和可持续公园绿地景观营建提供自然解决方案[3]。

近年来有关自生植物的研究呈现全球化、多尺度趋势，并逐渐开始重视其生态服务功能和价值的应用研究。国外的研究主要包括城市自生植物多样性及分布特征[4]、自生植物的生态服务功能[5]和景观偏好[6]等。国内的研究近十几年开始出现，主要研究内容包括不同尺度和生境类型的自生植物组成、分布格局与成因等多个方面。例如在宏观尺度上揭示哈尔滨[7]、北京[8]等平原城市温带气候区自生植物的组成规律；在生境类型上，都江堰渠系廊道[9]、桂林市环城水系[10]等滨水空间上不同生境植物构成差异明显。但现有研究大多局限于单一城市或同类生境，缺乏滨海山地城市微生境尺度上的系统性分析。青岛作为典型的滨海山地城市，其公园绿地兼具崖壁、滩涂、填海区等独特生境，为探究自生植物多样性对异质性生境的响应与适应提供了天然实验室。尽管部分学者已在本地开展了相关调查[11-13]，但基于城市公园绿地生境异质性视角揭示自生植物多样性分布格局及其驱动机制的研究仍鲜有报道。基于此，本研究聚焦青岛市中心城区，以 10 个城市公园绿地的自生植物为研究对象，系统解析滨海山地城市微生境单元中公园绿地自生植物的多样性构成与空间分异机制，以期为青岛这座滨海山地城市的公园生物多样性维持及其低维护、可持续绿地景观营造提供参考。

1　研究区概况

青岛市（35°35′—37°09′N，119°30′—121°00′E）位于山东半岛东南部，濒临黄海，全市总面积 11 295 hm^2，地处北温带季风区域，温度适中，雨量充沛，多年年均气温 12.8～13.9 ℃，年降水量为 450.5～1 093.8 mm，适宜的气候和良好的生态环境为植被生长提供了极佳条件。本研究以市南区、市北区、李沧区、崂山区、青岛西海岸新

区、城阳区为研究区域。

2 研究方法

2.1 样地选择

本研究根据公园面积、类型及在中心城区的分布位置，在青岛市中心城区范围内选取 10 hm^2 以上不同类型的城市公园作为研究区域，排除郊野公园、生态公园、自然（类）公园等自然度极高的公园绿地。最终确定 10 个城市公园作为调查样地（图 1），包括综合公园（3 个）、专类公园（3 个）、游园公园（2 个）和社区公园（2 个）等多个公园绿地类型。

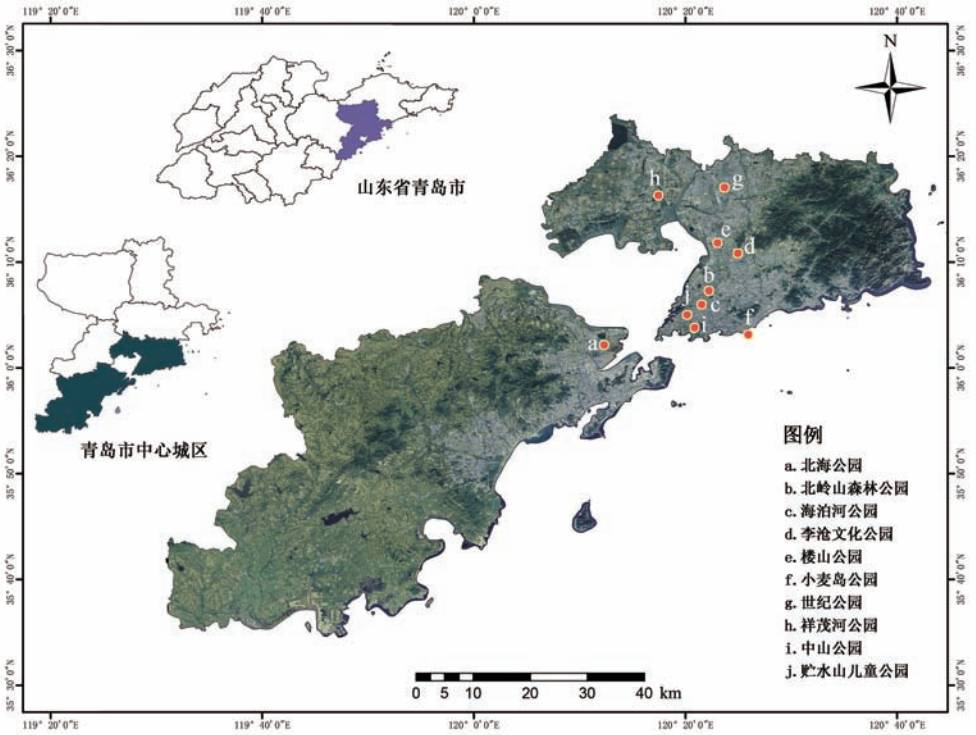


图 1 研究区域示意图

2.2 样方设置

采用均匀取样法设置样方，运用 ArcGIS 10.8 在每个公园的南北方向设置等距网格，对网格的交叉点进行布点，剔除水面、硬质铺装和不可达区域后确定最终调研样点，10 个公园共设置 195 个样点（图 2），并于春、秋两季进行调查。以样点为中心设置 10 m×10 m 大样方，并在样方的 4 个角点与中心共布设 5 个 1 m×1 m 小样方，设置春季调查样方 893 个、秋季调查样方 908 个。

2.3 公园绿地生境类型划分

根据已有研究[2,14-15]以及实地调查结果，将公园绿地划分为 3 个一级生境类型和 10 个微生境类型（表 1，图 3）。

表 1 生境类型划分

一级生境	编码表达	微生境	编码表达
绿色空间	GS	乔-灌-草	GS-T-B-L
		乔-草	GS-T-L
		灌-草	GS-B-L
		草地	GS-L
		观赏花带	GS-O
		路缘	GS-RS
滨水空间	WS	自然驳岸	WS-N
		人工驳岸	WS-A
硬质空间	HS	硬质缝隙	HS-GC
		种植池	HS-P

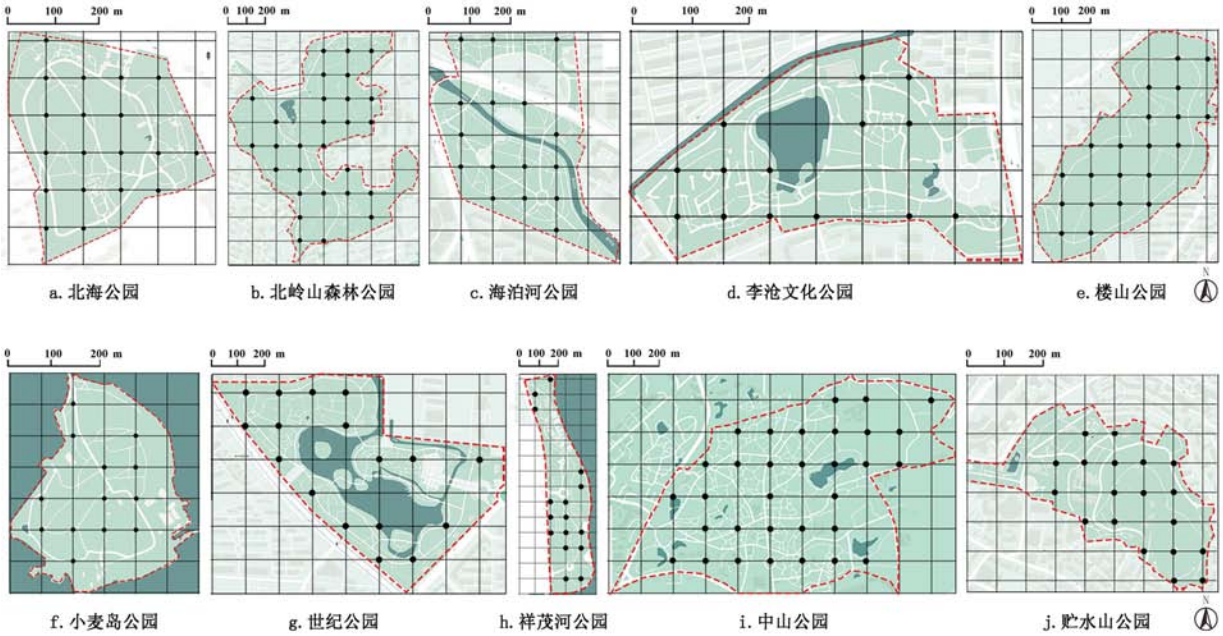


图 2　调查样点设置示意



图 3　各微生境特征示意

2.4　影响因子选择

研究选取整体特征、绿地和水体斑块特征、环境因素特征 4 大类特征环境因子进行调查。整体特征因子包括建成年限、公园面积、公园周长、周长面积比；绿地斑块特征因子包括绿地斑块平均面积、绿地斑块周长、绿地破碎度、绿地斑块数量、绿地斑块总面积、绿地率；水体斑块特征因子包括水域数量、水域面积、水域斑块周长、水域破碎度、水域平均面积、水域率；环境因素特征因子包括栽培植物多样性、城市化强度、管理强度。

2.5　数据处理与分析

物种多样性采用频度、Patrick 丰富度、Simpson 多样性指数、Shannon-Weiner 多样性指数和 Pielou 均匀度指数[16-17]。各多样性指数计算借助 PAST3 结合 Excel 完成；运用 SPSS26.0 进行单因素方差分析、Duncan 检验（$\alpha = 0.05$）等数据分析；相关图表采用 Graphpad Prism9.0 及 R 语言包绘制。对所有影响因子进行标准化处理之后，将其与自生植物物种丰富度指数进行斯皮尔曼相关性分析。

3　结果与分析

3.1　自生植物物种组成特征

本次调查共记录自生植物 283 种，隶属 70 科 209 属（表 2），单种科（物种数 = 1）数量占比最高，为 45.71%（32 科）；寡种科（2≤种数≤4）次之，占比为 34.29%（24 科）；中等科（5≤

种数≤14）占比为 15.71%（11 科）；多种科（种数≥15）最少，仅有 3 科，占比 4.29%，分别为菊科（Asteraceae）、禾本科（Poaceae）、豆科（Fabaceae）。

表 2 青岛市公园绿地自生植物科、属组成

	数目/比例/%		
	科	属	种
单种科（种数=1）	32/45.71	32/15.31	32/11.31
寡种科（2≤种数≤4）	24/34.29	48/22.97	66/23.32
中等科（5≤种数≤14）	11/15.71	53/25.36	77/27.21
多种科（种数≥15）	3/4.29	76/36.36	108/38.16
总计	70	209	283

从生活型特征（表 3）可知，草本植物最为丰富，共 229 种，其中多年生草本物种数有 115 种（40.64%），一二年生草本有 114 种（40.28%）；其次是灌木 21 种（7.42%）；乔木和藤本物种数相近，分别为 19 种（6.71%）、13 种（4.59%）；蕨类最少，仅 1 种（0.35%）。物种来源方面（表 4），乡土物种最多有 203 种（71.73%）；外来植物共有 80 种，包括国内外来物种 41 种（14.49%）、国外外来物种 39 种（13.78%）。

表 3 青岛市公园绿地自生植物生活型特征

生活型	物种数	种占比/%	物种举例
多年生草本	115	40.64	野艾蒿（*Artemisia lavandulifolia*）、蒲公英（*Taraxacum mongolicum*）
一二年生草本	114	40.28	凹头苋（*Amaranthus blitum*）、藜（*Chenopodium album*）
灌木	21	7.42	黄荆（*Vitex negundo*）、野蔷薇（*Rosa multiflora*）
乔木	19	6.71	黄连木（*Pistacia chinensis*）、山槐（*Albizia kalkora*）
藤本	13	4.59	常春藤（*Hedera nepalensis* var. *sinensis*）、凌霄（*Campsis grandiflora*）
蕨类	1	0.35	蕨（*Pteridium aquilinum* var. *latiusculum*）
总计	283	100	

表 4 青岛市公园绿地自生植物物种来源

物种来源	物种数	种占比/%
乡土物种	203	71.73
国内外来物种	41	14.49
国外外来物种	39	13.78

将物种频度大于 5%的物种定义为高频物种。秋季出现的高频物种数高于春季（表 5）。春季高频物种共 14 种，国外外来物种有 3 种，包括小蓬草（*Erigeron canadensis*）（13.85%）、扁穗雀麦（*Bromus catharticus*）（10.17%）、一年蓬（*Erigeron annuus*）（7.82%），其余均为乡土物种。秋季高频种有 17 种，含耳草（*Hedyotis auricularia*）（6.39%）1 种国外外来物种和具芒碎米莎草（*Cyperus microiria*）（6.17%）1 种国内外来物种。另外，酢浆草（*Oxalis corniculata*）、鸭跖草（*Commelina communis*）和黄鹌菜（*Youngia japonica*）在春、秋两季均为高频种。

表 5 不同季节出现频度>5%的自生植物

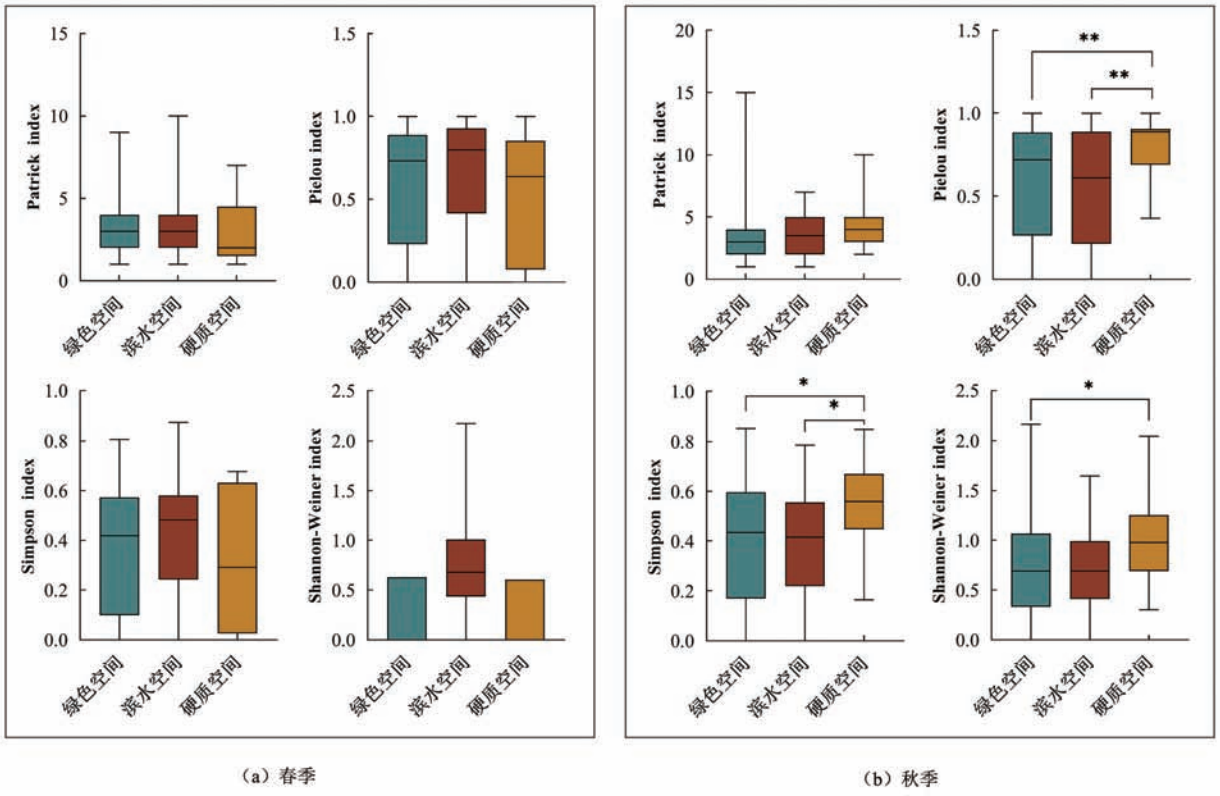
序号	春季		秋季	
	物种	频度/%	物种	频度/%
1	黄鹌菜	24.25	马唐（*Digitaria sanguinalis*）	31.72
2	荠（*Capsella bursa-pastoris*）	19.89	狗尾草（*Setaria viridis*）	29.63
3	蒲公英	16.65	酢浆草	16.19
4	小蓬草	13.85	鸭跖草	13.99
5	附地菜（*Trigonotis peduncularis*）	11.96	朴树（*Celtis sinensis*）	12.22
6	扁穗雀麦	10.17	铁苋菜（*Acalypha australis*）	11.12
7	阿拉伯婆婆纳（*Veronica persica*）	9.72	桑（*Morus alba*）	9.58
8	泥胡菜（*Hemisteptia lyrata*）	9.16	牛筋草（*Eleusine indica*）	9.47
9	野艾蒿	7.82	黄鹌菜	9.25

表 5（续）

序号	春季		秋季	
	物种	频度/%	物种	频度/%
10	一年蓬	7.82	牛膝（*Achyranthes bidentata*）	8.37
11	阴地蒿（*Artemisia sylvatica*）	6.48	求米草（*Oplismenus undulatifolius*）	8.37
12	中华苦荬菜（*Ixeris chinensis*）	5.59	婆婆针（*Bidens bipinnata*）	6.50
13	鸭跖草	5.36	耳草	6.39
14	酢浆草	5.03	具芒碎米莎草	6.17
15	—	—	牵牛（*Ipomoea nil*）	6.17
16	—	—	木防己（*Nephroia orbiculata*）	6.06
17	—	—	萝藦（*Cynanchum rostellatum*）	5.15

3.2　不同生境类型的自生植物多样性分布特征

由图 4 可知，春季滨水空间的各多样性指数均值均最高，硬质空间的各多样性指数均值均最低，且各生境类型的所有多样性指数无显著性差异。秋季则与之相反，硬质空间的 4 项指数均值均高于绿色空间与滨水空间；硬质空间与绿色空间的 Simpson 指数和 Shannon-Wiener 多样性指数具有显著差异（$P<0.05$）、Pielou 均匀度指数的差异显著（$P<0.01$）。3 种生境大类之间的 Patrick 丰富度指数相近，无显著差异（$P>0.05$）。



注：* 表示 $P<0.05$，** 表示 $P<0.01$，*** 表示 $P<0.001$；下同。

图 4　春秋季节不同生境类型的自生植物物种多样性

10 种微生境类型的自生植物多样性指数如图 5 所示，春季各微生境类型之间的 Patrick 丰富指数无显著差异（$P>0.05$）；种植池生境（HS-P）的 Patrick 丰富度指数、Simpson 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数最高，而草地生境（GS-L）的 Simpson 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数最低；灌-草生境（GS-B-L）与草地生境（GS-L）的 Pielou 均匀度指数具有显著差异（$P<0.01$）；自然驳岸（WS-N）的 Pielou 多样性指数最高（0.67）。

秋季较春季的物种多样性指数差异（图 6）明显，各微生境类型之间的 4 个指数存在较大差异。

种植池生境（HS－P）的 Simpson 多样性指数、Pielou 均匀度指数最高；草地生境（GS－L）Pielou 均匀度指数最低；人工驳岸生境（WS－A）在 Patrick 丰富度、Simpson 多样性、Pielou 均匀度 3 个指数上均为最低。草地生境（GS－L）与种植池生境（HS－P）、路缘生境（GS－RS）在 Pielou 均匀度上存在显著差异（$P<0.01$），与乔－灌－草（GS－T－B－L）生境之间存在极显著差异（$P<0.001$）。

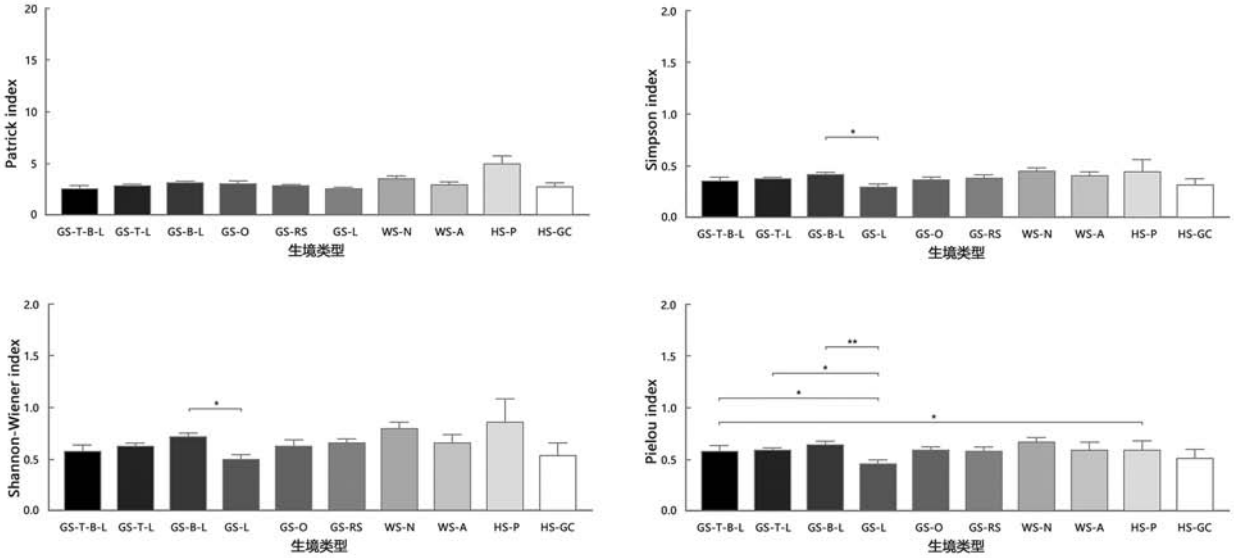


图 5 春季 10 类微生境类型的自生植物物种多样性

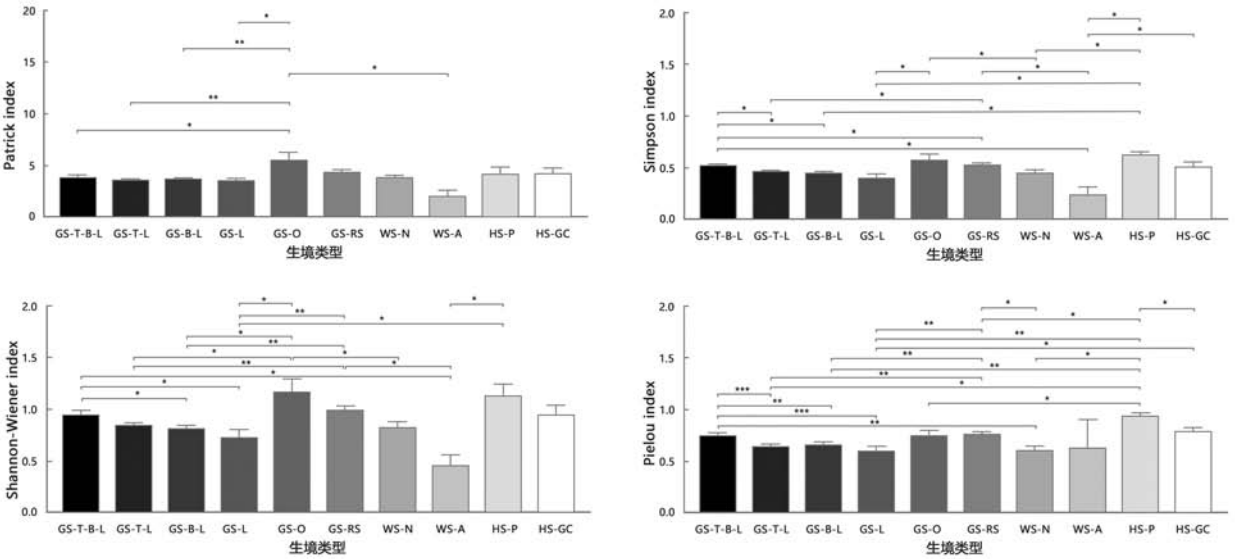


图 6 秋季 10 类微生境类型自生植物物种多样性

3.3 公园绿地自生植物多样性分布格局的关键影响因素

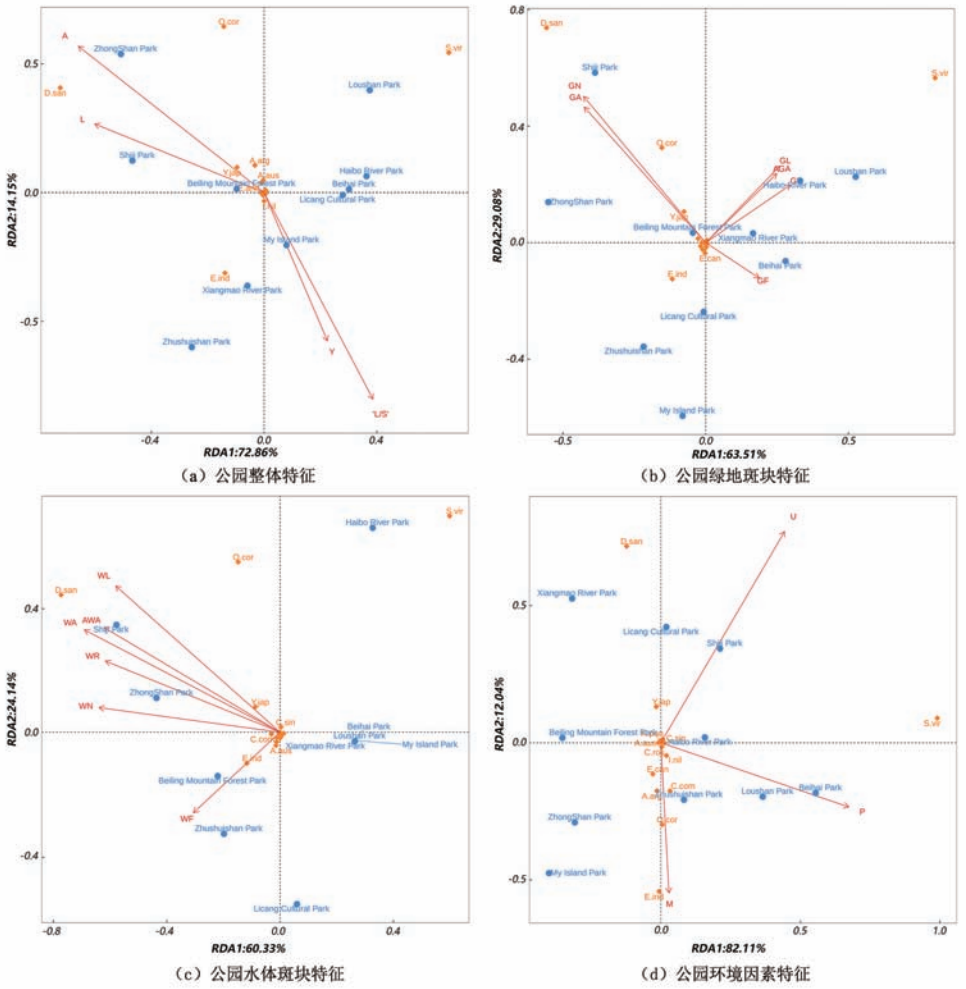
从表 6 可以看出：管理强度与自生植物多样性呈极显著负相关（$P<0.01$）；绿地率与自生植物多样性呈显著正相关（$P<0.05$），栽培植物多样性和绿地斑块总面积与自生植物多样性呈显著负相关（$P<0.1$）。

RDA 结果（图 7）表明：贮水山公园与小麦岛公园聚集在 RDA2 的负半轴，与建成年限、周长面积比、绿地破碎度、管理强度等环境因子关系密切。从自生植物与不同影响因子间的相关关系可以看出，狗尾草与绿地破碎度、城市化强度呈正相关，且与城市化强度相关性最强；酢浆草与水体斑块特征中的所有影响因子（除水域破碎度）相关性最强。

表 6　不同影响因子下自生植物多样性差异

特征	影响因子	相关系数
整体特征	建成年限（Y）	−0. 20
	公园面积（A）	0. 26
	公园周长（L）	0. 20
	周长面积比（L/S）	−0. 27
绿地斑块特征	绿地斑块平均面积（AGA）	0. 26
	绿地斑块周长（GL）	0. 16
	绿地破碎度（GF）	−0. 26
	绿地斑块数量（GN）	0. 01
	绿地斑块总面积（GA）	0. 55 *
	绿地率（GR）	0. 73 **
水体斑块特征	水域数量（WN）	−0. 03
	水域面积（WA）	−0. 10
	水域斑块周长（WL）	0. 13
	水域破碎度（WF）	0. 18
	水域平均面积（AWA）	−0. 30
	水域率（WR）	−0. 23
环境因素特征	栽培植物多样性（P）	0. 60 *
	城市化强度（U）	−0. 17
	管理强度（M）	−0. 92 ***

注：***、**、* 分别代表 1%、5%、10%的显著性水平。



（a）公园整体特征　（b）公园绿地斑块特征

（c）公园水体斑块特征　（d）公园环境因素特征

注：D. san 马唐，A. aus 铁苋菜，O. cor 酢浆草，Y. jap 黄鹌菜，A. arg 艾，S. vir 狗尾草，E. ind 牛筋草，E. can 小蓬草，C. com 鸭跖草，C. sin 朴树，M. alb 桑，C. ros 萝藦，K. pan 栾，I. nil 牵牛，E. ann 一年蓬；Beihai Park 北海公园，Beiling Mountain Forest Park 北岭山森林公园，Zhushuishan Park 贮水山公园，Haibo River Park 海泊河公园，Licang Cultural Park 李沧文化公园，Loushan Park 楼山公园，My Island Park 小麦岛公园，Shiji Park 世纪公园，Xiangmao River Park 祥茂河公园，ZhongShan Park 中山公园。

图 7　各影响因子与常见物种组成的 RDA 分析

4 讨论

4.1 青岛市公园绿地自生植物多样性的组成特征

春、秋两季共记录自生植物 70 科 210 属 283 种，较北京[2]（242 种）、哈尔滨[7]（147 种）、郑州[18]（72 种）等以城市主城区为范围的研究相比，青岛市自生植物种类更加丰富。菊科与禾本科为优势科，生活型以草本为主（80.92%），且乡土植物占主导（71.73%），与前人的研究基本一致[19-20]。对于加拿大一枝黄花（*Solidago canadensis*）、小蓬草、一年蓬等外来入侵植物，应在花季前或开始时清除，以减少它们对城市绿地生态系统的负面影响[21]。物种频度上酢浆草、鸭跖草和黄鹌菜在春秋两季呈高频分布，其强繁殖力与适应机制（如春季萌发、秋季二次结实）保障了种群延续。

4.2 公园绿地异质性生境特征对自生植物多样性分布的影响

季节变化显著影响不同生境的自生植物多样性。春季滨水空间（WS）的各多样性指数均值均最高，其生态资源优势支撑了更多物种生存，这与包钰婷和黄瑞[22]的研究结果一致；自然驳岸（WS-N）的 Pielou 多样性指数最高（0.67），这是由于缺乏人为干扰，物种有更多机会自然繁衍和分布，从而可能导致物种数量和种类增加，进而提高物种的均匀度[23]；硬质空间（HS）的各多样性指数均值均最低，而种植池生境（HS-P）在物种丰富度、Simpson 和 Shannon-Wiener 多样性指数最高，其低维护管理模式筛选出抗逆性物种并形成稳定群落，有效维持生态系统功能；草地生境（GS-L）的 Simpson 与 Shannon-Wiener 多样性指数最低，其高强度养护管理抑制植物自然更新能力，导致生物多样性提升受限。秋季则与之相反，硬质空间（HS）的 4 项指数均高于其他两类生境大类，尤其是种植池生境（HS-P）的 Simpson 指数达到最高值，证实行道树种植池通过提供稳定生境成为自生植物重要栖息空间，这与马雯雯等[24]的研究一致；滨水空间的人工驳岸生境（WS-A）的物种丰富度、Simpson 及 Shannon-Wiener 多样性指数均为最低，表明单一环境无法支撑生态位分化与资源供给，显著抑制物种的多样性。

4.3 公园特征因子对自生植物多样性分布的影响

栽培植物多样性、管理强度和绿地率显著影响自生植物多样性。绿地率和栽培植物多样性对自生植物多样性有积极作用，一方面，可能是绿色空间为自生植物的生长提供了大量空间，这一结果不仅验证了种-面积关系在城市公园绿地生态系统中的适用性，也与 Beninde 等[25]的研究吻合；另一方面，栽培植物多样性则通过生境异质性提升群落多样性，该结果也与前人相似[26]。值得注意的是，公园管理强度作为人为干扰因子，对植物多样性产生显著负向影响，这一结果与梁红等[27]、张丽丽等[28]的研究一致。狗尾草在高度破碎化的生境中表现出显著遗传多样性[29]，其较强的基因流动能力和环境适应性使其与城市化强度呈正相关，这可能归因于该物种对破碎化环境的适应优势及低管理需求特性。烟台海岸带梯度研究进一步证实该物种具有较强的内稳性[30]，可作为滨海城市优势物种；酢浆草与公园水域斑块特征相关性最强，牛筋草、铁苋菜、鸭跖草等自生植物丰富度随水域率增加而提升，表明水域斑块可通过调节湿度、微气候及种子扩散等机制为湿地适应性植物创造关键生境条件。

因此，在未来景观规划中，依托水域斑块生境优势，优先于滨水或滨海区配置此类乡土植物群落。同时，可结合自然演替过程，将狗尾草与酢浆草通过“自生+引导”的方式构建草本层的生态群落，营建低维护荒野景观，推动生态系统进入自组织演替阶段。

5 结论

青岛城市公园绿地的自生植物种类丰富，自生植物多样性分布受到公园绿地异质生境的显著影响，其中种植池微生境（HS-P）在春秋两季均表现出较好的多样性指数。提升城市绿地的生物多样性，不仅要关注乔-草（GS-T-L）等多物种生境，更要加强对种植池微生境（HS-P）的研究，给自生植物留以适当的生存空间，让自然做工，促进城市公园不同季节可持续、低成本景

观的建设。

管理强度、绿地率与栽培植物多样性是自生植物组成的关键影响因素，而狗尾草与酢浆草对不同公园特征影响因子表现出明显的差异化响应，这种差异化的物种-环境响应关系为精准化管理提供了生态依据。在城市公园绿地管理中，可构建“功能-风险”双维度评估框架，突破传统单一化管理模式，将植物生态服务效能构建与其扩散潜力纳入城市绿地管理系统，推动滨海城市园林的可持续景观构建。

参考文献

[1]罗萌,陈奥州,赵仁林,等.西安浐灞河流廊道不同生境自生植物多样性及群落类型[J].中国城市林业,2025,23(5):175-182.

[2]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.

[3]王沫,刘畅,李晓璐,等.近自然社区公园的生物多样性特征:以北京市中心城区为例[J].生态学报,2022,42(20):8254-8264.

[4]ZHU H Y,ZHAO CC,LI F N,et al.Distribution patterns of urban spontaneous vegetation diversity and their response to habitat heterogeneity:a case study of five cities in Heilongjiang Province,China[J].Plants,2024,13(21):2982.

[5]MOLINA J A,MARTÍN-SANZ J P,CASERMEIRO M Á,et al.Spontaneous urban vegetation as an indicator of soil functionality and ecosystem services[J].Applied Vegetation Science,2023,26(2):e12827.

[6]DE LA FUENTE DE VAL G.The effect of spontaneous wild vegetation on landscape preferences in urban greenspaces[J].Urban Forestry & Urban Greening,2023,81:127863.

[7]赵聪聪,徐小钰,胡远东.城市公园自生植物多样性及其在异质生境中的分布特征[J].中国城市林业,2024,22(5):66-74.

[8]李晓璐,张梦园,范舒欣,等.基于不同生境的北京城市公园绿地自生植物分布特征研究[J].环境科学研究,2024,37(10):2118-2125.

[9]韩瑞,杨青娟.都江堰渠系廊道自生植物生境及物种多样性研究[J].风景园林,2025,32(4):97-105.

[10]卢家锋,康秀琴,孟皓轩.桂林市环城水系不同生境自生植物物种组成及多样性研究[J].广西科学,2024,31(6):1101-1111.

[11]陶陶,包雷,许依宁,等.重庆市植物多样性评价与保护[J].中国城市林业,2025,23(1):136-142,152.

[12]马栋栋,吴海霞,王晓茜,等.青岛城市公园绿地多样性研究[J].山东林业科技,2012,42(2):52-54,41.

[13]牟之玥,姚文飞,员佳乐,等.青岛市八大关园林植物多样性及康养特性分析[J].城市建筑,2023,20(19):187-191.

[14]CHENG X L,PADULLÉS CUBINO J,BALFOUR K,et al.Drivers of spontaneous and cultivated species diversity in the tropical city of Zhanjiang,China[J].Urban Forestry & Urban Greening,2022,67:127428.

[15]梁新悦,游桂璇,祝珊,等.哈尔滨市高校校园绿地自生植物多样性及其在异质生境中的分布特征[J].中国园林,2023,39(12):138-144.

[16]李东哼,李文,董荣荣,等.哈尔滨城市工业废弃地自生植物多样性与分布特征[J].风景园林,2024,31(1):112-120.

[17]潘妮,闵钰婷,赵娟娟,等.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[J].生态学报,2024,44(9):3759-3774.

[18]翟泽淇.郑州市主城区边坡自生植物调查及景观营建初探[D].郑州:河南农业大学,2024.

[19]王沫,王红兵.上海 3 种用地类型的自生植物分布格局及其影响因素[J].西北林学院学报,2021,36(6):266-273.

[20]陈之涵,梁斯然,陈博熙,等.惠州城市公园绿地自生植物调查分析[J].热带农业科学,2023,43(11):114-118.

[21]XU Y,ZHANG X L,LIU X J,et al.Biodiversity and spatiotemporal distribution of spontaneous vegetation in Tangdao Bay national wetland park,Qingdao City,China[J].International Journal of Environmental Research and Public Health,2022,19(18):11665.

[22]包钰婷,黄瑞.成都 10 个城市公园自生植物物种组成与多样性研究[J].绿色科技,2023,25(17):53-57.

[23]杨阳,左佳萱,韩慧英.浐灞国家湿地公园近自然滨水空间植物多样性及群落组分[J].广西林业科学,2023,52(4):447-452.

[24]马雯雯,闫淑君,王云霄,等.城市行道树种植池自生植物区系研究:以福州市为例[J].河南科技学院学报(自然科学版),2021,49(3):39-47.

[25]BENINDE J,VEITH M,HOCHKIRCH A.Biodiversity in cities needs space:a meta-analysis of factors determining intra-urban biodiversity variation[J].Ecology Letters,2015,18(6):581-592.

[26]黄越,刘畅,李树华.基于城市自然保护的柏林景观规划评述及对我国的启示[J].风景园林,2015,22(5):16-24.

[27]梁红,达良俊,宋坤,等.生境片断化对城市残存森林木本植物物种丰富度的影响[J].华东师范大学学报(自然科学版),2022(3):17-26.

[28]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.

[29]虞意.景观破碎化对狗尾草遗传多样性影响研究[D].长沙:中南林业科技大学,2019.

[30]钟小瑛,任奕炜,衣华鹏,等.烟台海岸带地区狗尾草内稳性缓解 P 限制[J].中国环境科学,2023,43(10):5498-5507.