公园尺度下地面生苔藓植物多样性分布格局及其影响因素*

董 磊[1,2] 方 平[1,2] 周智杰[1,2] 左 勤[3] 王嘉楠[1,2] 赵德先[1,2]

1 安徽农业大学林学与园林学院 合肥 230036
2 国家林业和草原局安徽合肥城市生态系统定位观测研究站 合肥 230036
3 深圳市中国科学院仙湖植物园 广东深圳 518004

摘要:【目的】探究公园尺度环境特征对地面生苔藓植物多样性的调控作用,揭示公园内外环境因子驱动苔藓植物多样性的空间分异,为城市苔藓植物多样性保护与管理提供依据。【方法】以合肥市主城区 16 个公园作为研究区域,调查地面生苔藓植物,分析其在城市空间中分布特征、物种多样性、群落组成及其影响因素。【结果】1)共调查到地面生苔藓植物 16 科 23 属 36 种,其中藓类 34 种,苔类 2 种。优势科为丛藓科和青藓科;优势属为凤尾藓属、青藓属和真藓属;优势种为细叶小羽藓和扭口藓。2)物种丰富度受公园总面积、绿地面积及邻近 100 m 缓冲区水体面积的正向驱动,而物种丰度与不同距离(50~1 000 m)缓冲区绿地及 200 m 缓冲区水体面积呈显著正相关。3)冗余分析显示,与市中心的距离和公园面积是城市公园苔藓植物群落组成的主要驱动因子。【结论】公园环境特征对苔藓植物的生存和发展有重要影响。在未来城市苔藓植物的保护与应用实践中,可考虑“核心生境管理-外围缓冲区优化”协同策略,综合考量内部和外部环境特征的共同作用,加强城市苔藓植物多样性保护和利用。

关键词:城市绿地;苔藓植物;物种多样性;影响因素;合肥主城区
DOI:10.12169/zgcsly.2025.01.26.0003

Distribution Pattern of Ground Bryophyte Diversity and Its Influencing Factorson at the Park Scale

Dong Lei[1,2] Fang Ping[1,2] Zhou Zhijie[1,2] Zuo Qin[3] Wang Jianan[1,2] Zhao Dexian[1,2]

(1. School of Forestry and Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; 2. Anhui Hefei Urban Ecosystem Research Station of National Forestry and Grassland Administration, Hefei 230036, China; 3. Fairy Lake Botanical Garden, Shenzhen & Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518004, GuangDong, China)

Abstract:【Objective】To explore the regulating effects of park environmental characteristics on ground bryophyte diversity and reveal the spatial differentiation of bryophyte diversity driven by environmental factors inside and outside parks, with the aim to provide a basis for conservation and management of urban bryophyte diversity.【Method】This study investigates ground bryophytes across 16 parks in the core area of Hefei City, and analyzes their distribution patterns, species diversity, community composition and influencing factors in the urban environment.【Result】1) A total of 36 bryophyte species in 23 genera of 16 families are investigated, including 34 mosses and 2 liverworts. The dominant families include

收稿日期:2025-01-26
* 基金项目:安徽省高校科研项目(2022AH050915);安徽农业大学自然科学青年基金(K2137004);安徽农业大学人才科研项目(rc372103)
第一作者:董磊(1999-),男,硕士生,研究方向为城市生物多样性。E-mail:donglei@ stu. ahau. edu. cn
通信作者:赵德先(1991-),男,博士,讲师,研究方向为城市生态。E-mail:zhaodexian@ 163. com

Pottiaceae and Brachytheciaceae, the dominant genera are *Fissidens*, *Brachythecium*, and *Bryum*, and the dominant species include *Haplocladium microphyllum* and *Barbula unguiculata*; 2) Species richness is positively driven by the total park area, green space area, and water body coverage within a 100-meter buffer zone, whereas species abundance exhibits significant correlations with the green space area of the buffer zone at different distances (50–1 000 meters) and the water area within a 200-meter buffer zone; and 3) Redundancy analysis (RDA) identifies that the distance from the city center and park area are the main drivers of bryophyte community composition in urban parks. 【Conclusion】 The park environmental characteristics have an important impact on the survival and development of bryophytes. For future urban bryophyte conservation and application, a synergistic strategy integrating "core habitat management" and "peripheral buffer zone optimization" is proposed, emphasizing the combined effects of internal and external environmental characteristics to enhance biodiversity conservation and utilization.

Keywords: urban green space; bryophyte; species diversity; influencing factor; core area of Hefei City

苔藓植物体矮小常被忽视，却是城市生物多样性和生态系统中重要的组成部分，在水分循环、养分循环、为生物提供栖息场所等方面扮演着重要的角色[1-2]。由于其结构对环境变化反应灵敏，被广泛用作城市环境监测的理想指示生物之一[3]。近年来，针对苔藓植物多样性驱动机制的研究多聚焦于微生境尺度，已明确植被覆盖、土壤理化性质、人为干扰、小气候等可以塑造苔藓植物多样性分布格局[4]。在植被类型中，林冠郁闭度、地被覆盖等植被因子可能通过光照或养分可利用性、局部生境的温湿度等对苔藓植物物种多样性分布产生影响[5]。土壤的理化性质，如土壤持水能力、基质 pH 值以及有机质含量等，直接或间接影响苔藓植物物种的定殖和生长[6]。此外，温度和湿度等小气候也是影响苔藓植物多样性的关键环境因子[5]。

然而，城市苔藓植物的生存可能受到更高尺度环境因子的约束，尤其是公园作为城市绿地的核心单元，其内外部的景观特征尚未被系统纳入研究框架。公园的外部环境特征，如公园周边用地类型可通过改变区域环境温湿度而影响苔藓植物。有研究发现在距离花园 1 000 m 范围内区域，不透水地表面积的增加会导致区域温度升高、相对湿度降低，影响花园内苔藓植物的生存[7]。而公园内部绿色空间的土地利用类型也可能通过调节局地小气候（如降温增湿）影响苔藓植物的定殖和发展[8]。相对于微生境尺度，公园尺度环境特征对苔藓植物多样性的探讨仍然不多，公园周边和内部土地利用是如何影响苔藓多样性还缺乏研究。

基于此，本研究以合肥市城区城市公园苔藓植物为研究对象，旨在揭示公园尺度环境特征对地面生苔藓植物多样性的调控作用，重点回答公园内外环境因子如何影响苔藓植物多样性的空间分异，以期为苔藓植物在城市中保护与管理等提供依据。

1　研究区概况

合肥市（30° 56′ N—32° 33′ N，116° 40′ E—117°58′E）是安徽省省会，属亚热带季风湿润气候，季风明显，四季分明；年平均气温为 15.7 ℃，年平均降水量约为 1 000 mm，年日照时数约为 2 000 h，年平均无霜期为 228 d，平均相对湿度为 77%。合肥是国家首批命名的 3 个国家园林城市之一，也是国家森林城市。合肥市建成区绿地面积 22 926 hm^2，建成区绿地率 40.37%，绿化覆盖率 46.04%，其中公园绿地达 9 771 hm^2[9]，适宜开展研究工作。

2　研究方法

2.1　样地设置和苔藓调查

基于合肥市绿地空间分布特征，按照环路选取 16 个公园作为研究地点（一环内 5 个、一环与二环间 5 个、二环外 6 个），以确保抽样具有代表性（表 1）。将各公园苔藓生境划分为 4 类：乔木林地、灌木林地、草地、铺装间缝。乔木林地以人工林为主，植被群落复层结构；灌木林地为较高强度管理的灌木丛绿地，存在人工修剪特征；草地多为人工草坪，较为开阔；铺装间缝指在公园道路、广场、停车场等区域地

面铺装间缝土壤表面开展调查。各生境设置 3 个 10 m×10 m 样地，每个样地布设 5 个 20 cm×20 cm调查样方（间距≥1 m），共建立 192 个样地 960 个样方。

表 1 所选公园信息一览表

样地编号	名称	经度（E）	纬度（N）	建成年份	面积/ hm^2
G01	杏花公园	117°16′31. 79″	31°52′10. 02″	1998	23. 2
G02	琥珀潭公园	117°16′3. 33″	31°51′37. 70″	1991	5. 2
G03	包公园	117°17′45. 12″	31°51′24. 78″	1984	28. 7
G04	逍遥津公园	117°17′42. 93″	31°52′0. 02″	1949	41. 1
G05	和平广场	117°18′40. 00″	31°51′30. 93″	1999	5. 0
G06	合燃公园	117°15′1. 87″	31°50′46. 07″	2010	0. 9
G07	半岛公园	117°11′26. 51″	31°51′22. 82″	2016	17. 4
G08	四里河生态公园	117°15′12. 66″	31°52′48. 65″	2017	13. 3
G09	庐州公园	117°13′44. 72″	31°53′7. 91″	2016	31. 7
G10	天鹅湖公园	117°13′18. 43″	31°47′46. 46″	2004	3. 4
G11	疊街公园	117°18′28. 58″	31°47′35. 59″	2019	14. 3
G12	瑶海公园	117°18′59. 56″	31°53′35. 34″	1990	15. 9
G13	学林公园	117°22′58. 59″	31°54′4. 07″	2022	21. 7
G14	紫云山公园	117°19′55. 48″	31°44′17. 13″	2019	23. 8
G15	翡翠公园	117°11′49. 99″	31°46′42. 82″	2006	19. 0
G16	四季花海 A 区	117°09′26. 21″	31°52′4. 86″	2014	28. 7

野外调查中只采集样方内地面生苔藓植物，同步记录生境参数与地理坐标。采用 1 cm×1 cm 方格网，记录样方中每一种苔藓植物盖度（cm^2）。将疑难样本带回实验室，通过体式显微镜（Olympuscx23，中国）和双目生物显微镜（Leica DM4 B，德国）对苔藓植物叶片的叶缘、叶尖及叶细胞和孢蒴的蒴柄、蒴帽及蒴齿等进行观测，根据形态查阅专业书籍鉴定物种。苔藓物种命名依据为《苔藓名词及名称（新版）》[10]、物种 2000 中国节点（Species 2000）和美国密苏里植物园 Tropicos 植物资料库等。

2.2 环境因子选取

将环境变量分为公园外部和内部环境特征。外部环境特征包括与市中心距离，以及 50、100、200、500 和 1 000 m 的周边缓冲区土地利用类型（绿地、水体和不透水表面）。基于 Landsat 8 影像数据，利用 ArcGIS 10. 6 进行与市中心距离的测量和多环缓冲区分析并量化土地面积。内部环境特征包括公园总面积、公园绿地面积、空气相对温度和湿度、土壤 pH 值和温度。公园总面积和公园绿地面积利用 ArcGIS 完成计算。空气相对温度和湿度采用温湿度数据记录仪（TR-74Ui，日本）于 2023 年 5—6 月的晴朗日（7：00—18：00）在各生境进行 5 min 间隔监测，监测距离地面上方的 10 cm 空间范围。在安徽农业大学校园内设置对照点，使用测量点与对照点的比值作为相对小气候数据。表层土壤 pH 值和温度可能会影响苔藓植物的生长[11]，通过便携式 pH 计（三信 pH5F，中国）原位测定。

2.3 数据处理与分析

苔藓植物科、属组成按物种数量分为单种、寡种、多种科属，多种科属定义为优势科属。将重要值>10%的物种定义为优势种[12]。相对频度为某种苔藓植物样地内频度占所有频度的比例，相对盖度为某种苔藓植物盖度占总盖度的比例。物种多样性采用物种丰富度（物种数量）和丰度（总盖度）表征。苔藓物种丰富度和丰度空间分布通过 ArcGIS 可视化。利用线性回归建立模型探究苔藓物种丰富度和丰度（对数处理）与环境特征的关系。运用 R 语言（R version 4. 3. 1）lm 函数建立回归分析，ggplot 函数绘制线性拟合图。基于苔藓物种丰度分布进行聚类分析，并绘制每个公园物种堆叠柱形图，柱形长度代表优势苔藓植物的绝对丰度值。基于冗余分析（RDA）分别探讨苔藓植物空间分布、物种组成与环境因子的关系，利用 mantel 函数检验物种组成和环境因子关系的统计学意义，结合蒙特卡洛置换检验评估因子相关性和显著值。

3　结果与分析

3.1　苔藓植物种类组成

合肥城市公园绿地共记录到地面生苔藓植物 36 种，隶属于 16 科 23 属，其中藓类植物 14 科 21 属 34 种，苔类植物 2 科 2 属 2 种。在 16 科中，单种科（种数 = 1）数量占比最高，为 62.5%（10 科），寡种科（2≤种数≤5）有 4 科，多种科（种数≥6）数量最少，仅有丛藓科、青藓科 2 科。在 23 属中，除凤尾藓属、青藓属和真藓属各包含 4 种，其他属均只包含 1~2 种（表 2）。

表 2　合肥城市公园地面生苔藓植物科属组成

类别		科数	科数占比/%	属数	属数占比/%	种数	种数占比/%
科组成	单种科（种数=1）	10	62.5	10	43.5	10	27.8
	寡种科（2≤种数≤5）	4	25	6	26.1	14	38.9
	多种科（种数≥6）	2	12.5	7	30.4	12	33.3
属组成	单种属（种数=1）			16	69.6	16	44.4
	寡种属（2≤种数≤3）			4	17.4	8	22.2
	多种属（种数≥4）			3	13.0	12	33.3

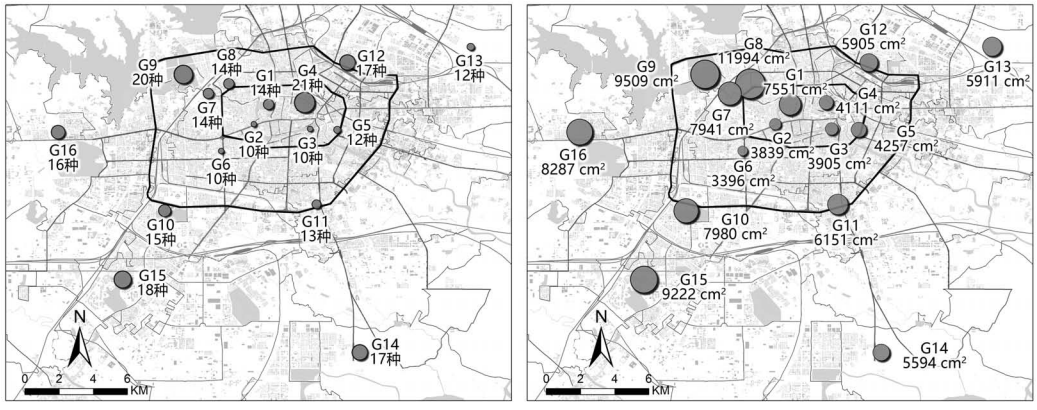
根据重要值排序，前 10 苔藓植物物种依次为细叶小羽藓、扭口藓、陈氏藓、小石藓、瘤根真藓、细叶真藓、小凤尾藓、拟小凤尾藓、皱叶毛口藓和鳞叶藓。其中重要值大于 10%的苔藓植物为细叶小羽藓和扭口藓，其重要值分别为 43.83%和 19.52%，两种苔藓植物在所有物种中占绝对的优势地位（表 3）。此外，本次调查中发现陈氏藓系在安徽省内首次报道。

表 3　合肥城市公园常见地面生苔藓植物（物种重要值>5%）

种名	拉丁名	频度	相对频度/%	盖度	相对盖度/%	重要值/%
细叶小羽藓	*Haplocladium microphyllum*	510	28.99	60 975	58.67	43.83
扭口藓	*Barbula unguiculata*	416	23.65	15 988	15.38	19.52
陈氏藓	*Chenia leptophylla*	134	7.62	4 492	4.32	5.97
小石藓	*Weissia controversa*	134	7.62	4 209	4.05	5.83

3.2　公园环境特征对苔藓物种丰富度和丰度的影响

合肥市城市公园地面生苔藓植物物种丰富度在 10~21 种（图 1）。逍遥津公园（21 种）、庐州公园（20 种）、翡翠公园（18 种）和紫云山公园（17 种）物种丰富度较高；琥珀潭公园（10 种）、包公园（10 种）和合燃公园（10 种）物种丰富度较低。公园的物种丰度与物种丰富度分布相似，总体丰度在 3 396~11 994 cm^2，其中四里河生态公园（11 994 cm^2）、庐州公园（9 509 cm^2）、翡翠公园（9 222 cm^2）、四季花海城市公园 A 区（9 509 cm^2）物种丰度较高；合燃公园（3 396 cm^2）、琥珀潭公园（3 839 cm^2）、包公园（3 905 cm^2）物种丰度较低。



注：圆圈大小表示数值大小。

图 1　苔藓植物物种丰富度（左）和丰度（右）空间分布

线性拟合结果（图 2）显示，地面生苔藓植物物种丰富度与周边 100 m 缓冲区水体面积(R^2 = 0.31，P = 0.024）、公园总面积（R^2 = 0.39，P = 0.009 6）和公园绿地面积（R^2 = 0.34，P = 0.006）均呈现显著正相关。

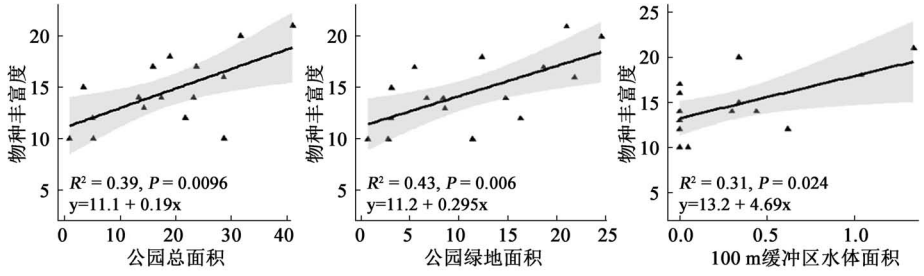


图 2 苔藓植物物种丰富度和公园环境特征之间的关系

地面生苔藓植物物种丰度主要受公园周边缓冲区绿地和水体面积的影响（图 3）。值得注意的是，经对数处理的苔藓植物物种丰度与公园周边 50 m（R^2 = 0.5，P = 0.002 3）、100 m（R^2 = 0.4，P = 0.008 6）、200 m（R^2 = 0.37，P = 0.012）、500 m（R^2 = 0.49，P = 0.002 5）、1 000 m（R^2 = 0.31，P = 0.025）缓冲区绿地面积均呈现显著正相关关系。除此之外，物种丰度还与公园周边 200 m 缓冲区水体面积呈正相关关系（R^2 = 0.34，P = 0.017）。

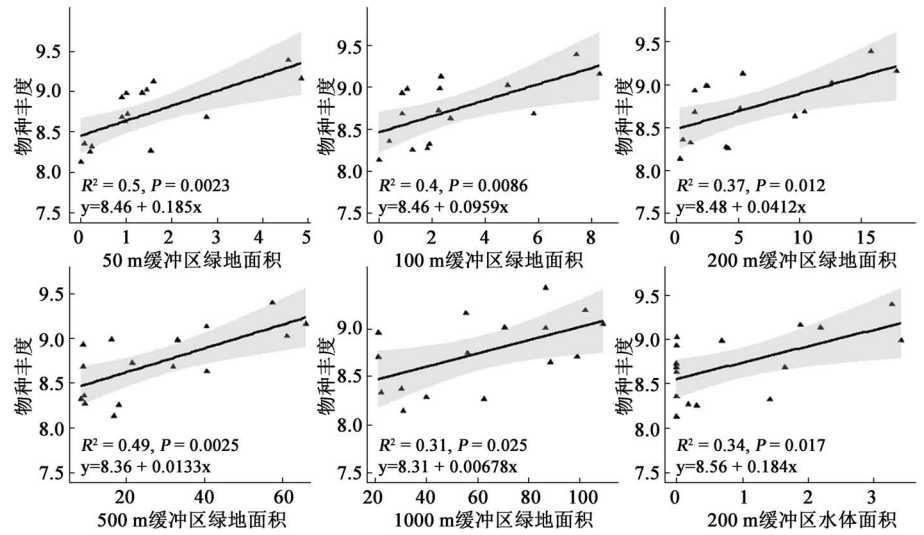


图 3 苔藓植物物种丰度和公园环境特征之间的关系

3.3 公园环境特征对苔藓群落组成的影响

基于物种相似性的聚类分析，合肥城市公园按苔藓植物组成可分为两类（图 4），其中四里河生态公园、杏花公园、半岛公园、庐州公园、翡翠公园、天鹅湖公园 6 个公园划分为第一类，合燃公园、逍遥津公园、包公园、琥珀潭公园、和平广场、瑶海公园、四季花海城市公园 A 区、疊街公园、学林公园、紫云山公园 10 个公园划分为第二类。堆叠柱形图显示各公园优势种的丰度，第一类公园地面生苔藓植物的总体丰度和细叶小羽藓占比相对于第二类公园较高。

冗余分析结果显示，环境因子共解释了苔藓植物群落组成变异的 43.48%，前两轴的解释率分别为 13.8%、10.7%（图 5）。Mantel 检验结果显示，苔藓植物群落变化与公园环境因子存在统计学意义的相关性（R = 0.326，P = 0.006）。结合蒙特卡洛置换检验结果，与市中心的距离（P = 0.001）和公园面积（P = 0.027）是影响苔藓植物在城市不同公园中分布的显著因子（P < 0.05）。根据样地与环境因子的排序结果，四里河生态公园、杏花公园、半岛公园、庐州公园、翡翠公园、天鹅湖公园等第一类公园样地多聚集

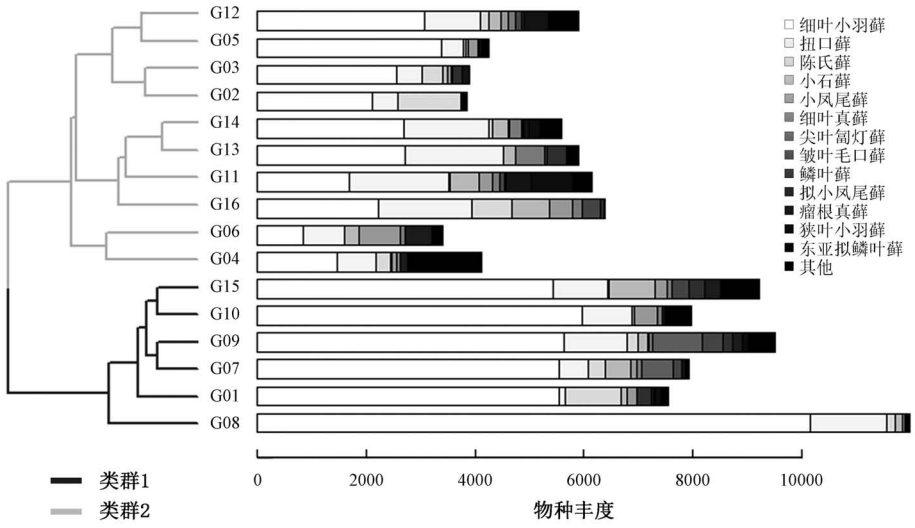
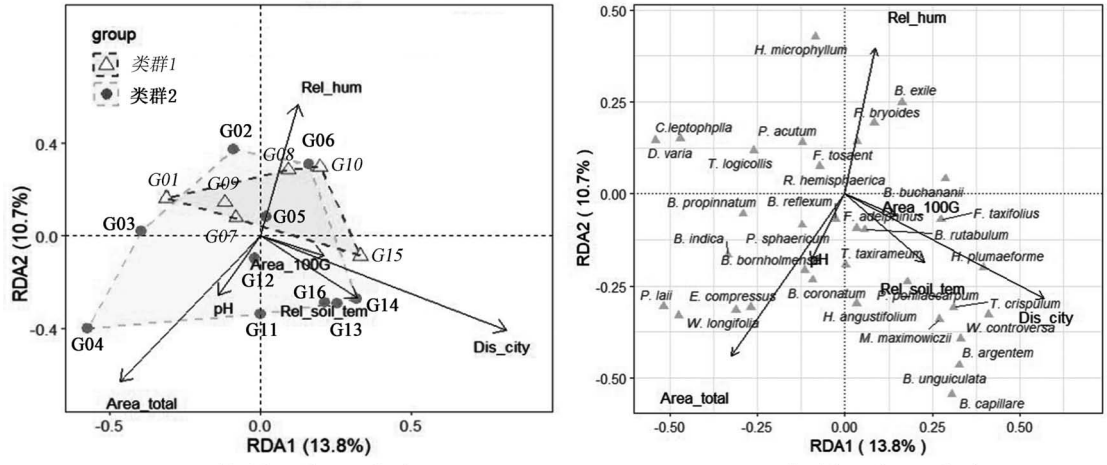


图 4　基于物种丰度的公园聚类分析与绝对丰度柱形图



(a) 样地与环境因子关系　　(b) 物种与环境因子关系

注：Dis_ city 为与市中心的距离；Area_ total 为公园面积；Rel_ hum 为空气相对湿度；Area_ 100G 为公园周边 100 m 缓冲区绿地面积；Rel_ soil_ tem 为土壤相对温度；pH 为土壤 pH 值。

图 5　苔藓植物群落组成与公园环境特征的 RDA 分析

在 RDA2 的正半轴，与公园总面积、空气相对湿度等环境因子关系密切。根据物种与环境因子的排序结果显示，与市中心的距离、公园总面积、相对湿度对苔藓植物分布影响较大。物种在第一、二象限分布较少，而在第三、四象限分布较多，说明调查到的苔藓植物物种大多已适应干旱环境条件。

4　讨论

合肥市城市公园地面生苔藓植物主要以藓类植物（34 种）为主，苔类植物（2 种）相对发现较少，部分科属种具有明显优势地位。丛藓科（Pottiaceae）和青藓科（Brachytheciaceae）是优势科，广泛分布于温带地区，具有典型的温带干旱和半干旱区系特征[13]。由此可见，城市苔藓植物耐旱性物种分布较广，这可能与城市的干热环境有关。在优势种中，细叶小羽藓和扭口藓为绝对优势种，出现频率和覆盖范围远高于其他物种，说明这两种苔藓植物对城市环境的高度适应性，未来可作为合肥地区生态修复、景观绿化、环境监测等优先应用物种。

苔藓植物物种丰富度和丰度在城市空间分布上存在不同，线性拟合分析表明，物种丰富度和丰度对公园外部和内部环境特征的响应存在差异。

公园苔藓总体物种丰富度主要受公园内部特征（总面积、绿地面积）及公园外部特征（周边100 m缓冲区水体面积）的正向驱动，这与“岛屿效应理论”（island biogeography theory）相吻合：更大面积的公园及绿地可能容纳更多异质生境，从而支持苔藓物种共存[14]。公园周边100 m缓冲区水体对物种丰富度有积极作用，一方面与水体的距离可能有利于苔藓植物的繁殖和传播[15]，另一方面水体可能通过对公园局部小气候的调节，从而对苔藓物种的生存有积极作用[16]。

在丰度方面，苔藓植物物种丰度不仅与公园周边200 m缓冲区水体面积相关，还与周边50、100、200、500、1 000 m缓冲区的绿地面积有关。有研究发现花园1 000 m范围以内的城市化导致温度升高、相对湿度降低，周边绿地可以有效减轻花园中苔藓植物干旱胁迫情况[7]。周边绿地、水体的分布可通过降低热岛强度、降低区域温度、增加空气相对湿度[17]为公园内部苔藓植物提供“生态缓冲区”。这一发现支持了“源-汇”景观理论在城市苔藓植物多样性保护中的应用潜力，即栖息地周边分布有更多的“源”（即蓝绿空间），那么这种景观格局更有利于苔藓植物的生存[18]。

冗余分析结果表明，城市公园苔藓植物群落组成的主要驱动因子是与市中心的距离和公园面积。与市中心的距离反映区域城市化水平，其负向效应与已有研究一致。高度城市化水平的区域伴随着镉、铅和锌等重金属元素胁迫，导致物种丰富度降低[19]。也有研究同样证明城市中心公园的苔藓植物物种数量要比郊区公园少[20]。上海的一项研究表明，与市中心距离是城市公园苔藓植物多样性分布格局的影响因子之一[21]。然而，本研究发现与市中心的距离没有对物种数量和盖度具有显著影响，但是对群落组成有一定影响，这可能与研究区域的空间限制有关，未来需扩大研究范围加以验证。公园面积越大生境可能越丰富，不仅对物种多样性有利，对群落组成差异的驱动也有作用[22-23]。尽管空气相对湿度常被视为苔藓群落构建的关键因子[24-25]，但其在本研究中并未呈现显著影响，可能是由于研究尺度与环境因素的关系。本研究中与城市距离、公园面积、公园周边用地特征均已间接表征区域小气候特征，可能掩盖了微气候直接驱动群落组成差异的独立效应。

根据环境因子对苔藓物种多样性的重要性，建议构建“核心生境管理-外围缓冲区优化”协同管理框架：1）内部生境管理：优先保护并丰富大面积公园中生境的多样性，以增强苔藓群落组成的韧性；2）外围景观调控：在重点物种保护公园周边50~1 000 m范围内关注“生态缓冲区”的营造，降低热岛效应等不利城市环境对公园内部生境的影响。本研究的关注点在于区域尺度环境对苔藓植物多样性的影响，未来研究可结合长期监测与实验模拟[26]，揭示多尺度环境因子对苔藓植物多样性的交互效应。

5 结论

合肥城市公园共调查到16科23属36种地面生苔藓植物，以藓类为主，其中细叶小羽藓和扭口藓适应城市环境，生长表现良好、分布广泛，是绝对的优势种。城市公园周边和内部的环境特征影响着苔藓植物多样性的发展。物种丰富度受公园内部特征（公园总面积和公园绿地面积）及邻近100 m缓冲区水体面积的影响；物种丰度则依赖于不同距离（50~1 000 m）缓冲区绿地与200 m缓冲区水体的正向调控。与市中心的距离和公园面积是驱动苔藓植物群落发展的主要驱动因子。在城市苔藓植物的生境营造中，应构建“核心生境管理-外围缓冲区优化”协同管理框架，综合考量外部环境特征与内部生境条件，以实现苔藓植物多样性的发展，从而提高城市生态系统服务功能和应用价值。

参考文献

[1]SLATE M L, ANTONINKA A, BAILEY L, et al. Impact of changing climate on bryophyte contributions to terrestrial water, carbon, and nitrogen cycles[J]. The New Phytologist, 2024, 242(6): 2411-2429.

[2]DEREGNIER R J, BROCK J M R, GASKETT A C. Bryo-zoophily: a new look at the ecology of moss and animal interactions[J]. New Zealand Journal of Botany, 2024: 1-25.

[3]DILRUKSHI H C, RUKLANI N S, RUBASINGHE S K. Cryptogams as bio-indicators for ecosystem monitoring in Sri Lanka: a comprehensive review and recommendations [J].

Environmental Monitoring and Assessment,2024,196(12):1231.
[4]艾尼瓦尔·吐米尔,维尼拉·伊利哈尔,买买提明·苏来曼.乌鲁木齐市苔藓植物多样性和分布及与环境因子的关系[J].干旱区资源与环境,2023,37(8):137-144.
[5]芦建国,景蕾.南京市公园绿地苔藓植物多样性及特点[J].浙江农林大学学报,2019,36(3):486-493.
[6]冯超,甘雨晨,贺晓,等.草原矿区苔藓植物多样性及其与土壤理化性质的关系[J].华东师范大学学报(自然科学版),2022(1):76-84.
[7]OISHI Y.Urban heat island effects on moss gardens in Kyoto,Japan[J].Landscape and Ecological Engineering,2019,15(2):177-184.
[8]GRIL E,SPICHER F,VANDERPOORTEN A,et al.The affinity of vascular plants and bryophytes to forest microclimate buffering[J].Journal of Ecology,2025,113(1):22-38.
[9]安徽省统计局,国家统计局安徽调查总队.安徽统计年鉴2024[M].北京:中国统计出版社,2025.
[10]吴鹏程,汪楣芝,贾渝.苔藓名词及名称:新版[M].北京:中国林业出版社,2016.
[11]ROLA K,PLÁŠEK V,ROŻEK K,et al.Effect of tree species identity and related habitat parameters on understorey bryophytes-interrelationships between bryophyte,soil and treefactors in a 50-year-old experimental forest[J].Plant and Soil,2021,466(1):613-630.
[12]段礼鑫,王秀荣,廖芳,等.湿地公园苔藓植物群落特征及其与环境因子的关系:以贵阳市为例[J].热带亚热带植物学报,2024,32(5):589-600.
[13]杨晓莉,赵允格,郭雅丽,等.黄土丘陵区两种丛藓科植物展叶时长及关键影响因子[J].应用生态学报,2022,33(7):1747-1754.
[14]杨子龙,罗光宇,雷富民,等.浙江象山沿海岛屿苔藓植物种-面积关系及物种丰富度影响因素[J].植物生态学报,2024,48(11):1486-1500.
[15]LÖBEL S,MAIR L,LÖNNELL N,et al.Biological traits explain bryophyte species distributions and responses to forest fragmentation and climatic variation[J].Journal of Ecology,2018,106(4):1700-1713.
[16]ZHOU X F,ZHANG S,ZHU D.Impact of urban water networks on microclimate and $PM_{2.5}$ distribution in downtown areas:a case study of Wuhan[J].Building and Environment,2021,203:108073.
[17]LIN Y,WANG Z F,JIM C Y,et al.Water as an urban heat sink:Blue infrastructure alleviates urban heat island effect in mega-city agglomeration[J].Journal of Cleaner Production,2020,262:121411.
[18]陈利顶,傅伯杰,赵文武."源""汇"景观理论及其生态学意义[J].生态学报,2006,26(5):1444-1449.
[19]BECKER D F P,LINDEN R,SCHMITT J L.Richness,coverage and concentration of heavy metals in vascular epiphytes along an urbanization gradient[J].Science of the Total Environment,2017,584:48-54.
[20]FUDALI E.Influence of city on the floristical and ecological diversity of bryophytes in parks and cemeteries[J].Research and Conservation,2006,1(2):131-137.
[21]吴相獐,雷富民,单壹壹,等.上海城市公园苔藓植物多样性分布格局及其环境影响因子[J].生物多样性,2024,32(2):62-72.
[22]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.
[23]王晶懋,刘晖,范李一璇,等.城市场地生境营造与植物群落设计评述[J].中国城市林业,2022,20(6):41-47.
[24]ILIĆM,IGIĆR,ĆUK M,et al.Environmental drivers of ground-floor bryophytes diversity in temperate forests[J].Oecologia,2023,202(2):275-285.
[25]ZHANG Y L,HE N P,LIU Y.Temperature factors are a primary driver of the forest bryophyte diversity and distribution in the southeast Qinghai-Tibet Plateau[J].Forest Ecology and Management,2023,527:120610.
[26]孙尚伟,孙振凯,张群,等.城市生态系统长期定位观测数据与服务评估的关系[J].中国城市林业,2024,22(3):62-70.