基于公众科学的城市绿地生物多样性研究进展*

黄雅凌[1] 傅伟聪[1] 陈梓茹[2] 任 维[1] 董建文[1]

1 福建农林大学风景园林与艺术学院 福州 350100
2 福建理工大学建筑与城乡规划学院 福州 350118

摘要：城市绿地的生物多样性对城市生态环境具有重要价值，利用公众科学进行相关研究具有独特优势，但基于公众科学的城市绿地生物多样性研究尚未得到系统性回顾。文章通过 CiteSpace 软件对中国知网和 Web of Science 数据库中 2004—2023 年的文献进行系统性筛选和分析，结果发现：近 20 年来公众科学在城市绿地生物多样性研究中呈增长趋势，尤其在近 5 年关注度急剧上升；现有的公众科学项目以美国居多，如 iNaturalist 和 ebird；论文发表数量在美国、英国、澳大利亚等国家较为集中，而亚洲和非洲地区的国家在发表频次上与欧美国家存在一定差距；研究内容聚焦于物种监测、生境改造、生态教育等；公众科学与技术手段如大数据和人工智能的结合提高了数据分析的科学性、准确性。未来研究应着力提高公众科学素养，深化大数据应用，并强调跨学科合作，推动生物多样性保护和研究的持续发展。

关键词：公众科学；城市绿地；生物多样性；公众参与
DOI：10.12169/zgcsly.2024.07.01.0002

Research Progress in the Biodiversity of Urban Green Space Based on Citizen Science

Huang Yaling[1] Fu Weicong[1] Chen Ziru[2] Ren Wei[1] Dong Jianwen[1]

(1. College of Landscape Architecture and Art, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350100, China; 2. College of Architecture and Planning, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

Abstract: Biodiversity in urban green spaces is important for urban ecological environment, and citizen science is a useful and advantageous approach to conduct related research. However, the research on biodiversity in urban green spaces based on citizen science has not been systematically reviewed. The paper makes a systematic review and analysis of the literature in 2004-2023 retrieved from the CNKI and Web of Science databases using CiteSpace. The results indicate that citizen science has been increasingly applied in the research on the biodiversity in urban green spaces in the last 20 years, especially in the latest 5 years. The United States boasts the largest citizen science projects, such as iNaturalist and ebird. Paper publications are more concentrated in the United States, the United Kingdom, and Australia, while there is a certain gap between Asian and African countries and European countries and the United States in terms of publication frequency. The research focuses on species monitoring, habitat modification, and ecological education. The combination of citizen science and technological means such as big data and

收稿日期：2024-07-01
* 基金项目：国家重点研发计划项目（2021YFE0193200）；“地平线 2020 战略计划：CLEARING HOUSE-Collaborative Learning in Research, Information-sharing and Governance on How Urban tree-based solutions support Sino-European urban futures”（821242）
第一作者：黄雅凌（2000- ），女，硕士生，研究方向为风景园林规划设计。E-mail：wwwhyling125@163.com
通信作者：傅伟聪（1989- ），男，博士，副教授，硕士生导师，研究方向为风景园林规划设计。E-mail：weicongfufj@163.com

artificial intelligence has improved the scientific accuracy of data analysis, and future research should be focused on the scientific literacy of the public, the application of big data, and the interdisciplinary cooperation, in order to promote the sustainable development of biodiversity conservation and its related research.

Keywords: citizen science; urban green space; biodiversity; public participation

公众科学（Citizen Science）是一种让普通公众参与科学研究的方式，通常在专业科学家和科学机构的指导下进行[1]，参与者主要负责数据的收集和初步分析。这种科研方式可以追溯到 1900 年美国奥杜邦学会（National Audubon Society）的圣诞节鸟类调查（Christmas Bird Count，CBC），这是现代意义上最早的公众科学项目[1]。自 20 世纪 60 年代以来，公众科学项目在生态学研究、环境保护和环境教育方面作出了重要贡献，凸显了普通公众在科学研究中的优势。1992 年，随着康奈尔大学鸟类实验室（The Cornell Lab of Ornithology，CLO）的成立，“公众科学”的概念被正式确定[2]。公众科学已在多个领域展现出独特的优势，如环境监测、生物多样性研究、气候变化研究和健康科学等方面[3-4]。

传统研究方法在城市绿地生物多样性研究中已取得许多重要成果。研究者们对城市绿地的生态格局进行精确分析[5]，经过长期监测和实地调查揭示了城市绿地中不同栖息地类型对物种多样性的影响[6-8]。然而，这些方法通常依赖于专家和研究团队，成本较高且覆盖范围有限。随着公众科学的引入，生物多样性研究在广度和深度上都有了显著提升，并形成较为成熟的平台体系[9]。相关研究利用这些平台收集的大量数据，分析了城市绿地中物种分布、丰富度和季节性变化等关键生态指标，这些平台不仅帮助科学家了解城市绿地中的生物多样性，还促进公众对生态保护的认识和参与。尽管城市绿地生物多样性研究的重要性日益凸显[10]，但基于公众科学的城市绿地生物多样性分析尚未得到系统性回顾。

本研究以 2004—2023 年为时间区间，分别在中国知网（CNKI）和 Web of Science（WoS）两个平台的核心数据库，对包含“公众科学”“城市绿地”“生物多样性”“哺乳动物”“啮齿动物”“蝴蝶”“鸟类”“昆虫”等关键词进行检索，再对不同关键词单独检索进行补充。遵循 PRISMA 声明的指南进行透明、系统化的文献检索和筛选[11]，最终获得 1867 篇英文期刊论文和 87 篇中文期刊论文，采用文献计量学方法进行定性和定量分析，以便系统性回顾公众科学在城市绿地生物多样性研究中的应用，分析其研究现状、热点与趋势，并探讨未来研究方向，为未来的研究提供参考。

1　研究现状

1.1　发表论文使用的公众科学平台

康奈尔大学鸟类实验室开发的 ebird 平台是第一个利用互联网技术实现全球数据收集和分享的公众科学平台之一[12-13]。尽管 eBird 在全球范围进行数据采集，但其收集的数据绝大多数来自北美地区的鸟类[14]。eBird 之后，更多公众科学平台在城市绿地生物多样性研究中涌现出来，例如 2008 年推出的 iNaturalist、2010 年推出的 Project Noah，其中 iNaturalist 以其公众参与度和庞大数据量成为全球最成功的公众科学项目之一[15]。

中国的公众科学项目目前还处于起步阶段，但也展现出积极的发展趋势和潜力。中国自然标本馆（CFH）是由中国科学院植物研究所发起的生物多样性信息平台，已经积累了 6 万多种植物 1 400 多万张图片数据，提供了强大的数据支撑[16]。再如，山水自然保护中心在三江源地区长期从事自然保护工作，与当地政府、社区和民间组织保持着密切合作关系[17]。中国观鸟记录中心则由全国观鸟组织发起，专门关注鸟类学研究，每条观鸟记录都经过鸟类专家的整理和审查，确保其准确性。

此外，还有专注于单种生物种类研究的小型公众科学项目。如 FrogID 由澳大利亚博物馆开发，通过用户录制的青蛙叫声监测种群[18]。而 The Great Sunflower Project 则鼓励用户记录向日葵上的传粉者活动，以研究传粉者健康。具体公众科学使用平台信息如表 1 所示。

表 1 国内外主要公众科学使用平台

公众科学项目	主要研究对象	发表论文数量	网址
iNaturalist	多物种	481	https：//www. inaturalist. org/
ebird	鸟类	452	https：//ebird. org/
Zooniverse	综合性项目	98	https：//www. zooniverse. org/
中国观鸟记录中心	鸟类	47	www. birdreport. cn
BugGuide	北美昆虫和其他无脊椎动物	22	https：//bugguide. net/
中国生物多样性监测与研究网络（Sino BON）	多物种	17	https：//www. plantplus. cn/sinobon/
FrogID	青蛙和蟾蜍	10	https：//www. frogid. net. au/
SciStarter	综合性项目	9	https：//scistarter. org/
Nature's Notebook	多物种	9	https：//www. usanpn. org/nn
Biodiversity4All	多物种	7	https：//www. biodiversity4all. org/
HerpMapper	两栖动物和爬行动物	5	http：//www. herpmapper. org/
iSpot	多物种	4	https：//www. ispotnature. org/
Picture Pile	环境监测和灾害响应	2	http：//www. picturepile. org/
The Great Sunflower Project	蜜蜂和其他传粉者	2	https：//www. greatsunflower. org/
NatureWatch NZ	多物种	2	https：//inaturalist. nz/
MammalWeb	哺乳动物	1	https：//www. mammalweb. org/
中国自然标本馆	植物	—	www. CFH. ac. cn
Project Noah	多物种	—	https：//www. projectnoah. org/

1.2 论文发表数量的时间变化特征

年度发表文章的数量表示了该领域重视和热点程度随时间变化的趋势。由图 1 可知，从 2004 年开始，国内外研究整体呈现增长趋势，前期缓慢而稳定，2018 年开始发文量急剧增加；外文近 20 年发文量近乎指数增加，其中在 2015 年，2019 年增幅较大，2021 年出现一波爆发式的增长，年发文量超过 200 篇。中国历年发表在外文期刊上的出版物数量与发表在国内期刊的数量是相当的，且在 2007—2009 年以及 2013、2014 年出现断层，但是 2019 年外文发表数量迅速增加，明显超过国内期刊数量。整体可以反映出国内基于公众科学的城市绿地生物多样性研究前期发展速度较慢。但无论国内外，总体增长速度都是逐步加快，这表明城市绿地生物多样性在公众科学方面的研究正处于发展的新兴阶段。

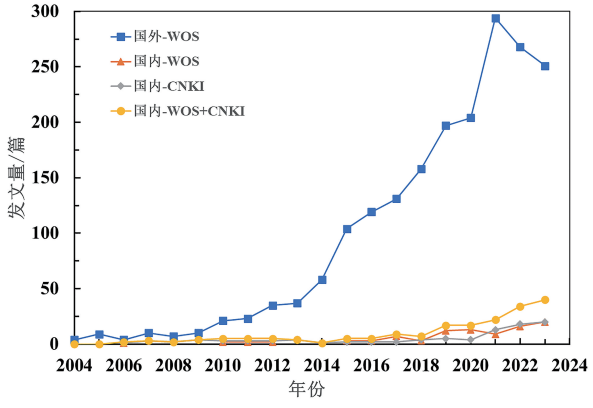


图 1 近 20 年来国内外发表研究成果数量趋势分析

1.3 论文发表的主要地区

在 WoS 数据库，发文频次在 200 以上的国家地区有 3 个，即美国、英国、澳大利亚，三者也是最早在该领域发表论文的国家；其次是德国、加拿大、法国、西班牙等（图 2）。美国、英国和澳大利亚在生物多样性研究领域都表现出突出的国际合作能力，其中美国与多个欧洲和亚太国家保持合作，包括澳大利亚、立陶宛、列支敦士登、意大利等；英国则侧重于与爱尔兰、丹麦等欧洲及英联邦国家的合作；澳大利亚的合作对象主要集中在亚太地区，也有和英美、丹麦等欧美国家进行合作。亚洲地区在发文方面表现突出的主要有中国、日本和印度，发布频次分布在 20 以上。南非在非洲地区乃至世界范围内表现较好，发表频次为 63，位居前 10。东亚和东南亚国家在地理和文化上的亲近性促进了它们之间较为紧密的科研合作，而西亚和非洲地区与澳大利亚、东南亚以及欧洲等地区国家均建立了多维度的学术交流与协作关系。这些合作关系不仅增强各国在科学研究中的互补性，也促进了全球范围内生物多样性保护的进程。

2 研究热点与趋势

2.1 关键词聚类分析

如图 3~4 所示，Q 值分别为 0.719 9 和 0.809 2，S 值为 0.935 8 和 0.958 2，因此图示的聚类结构相互独立且保持一定的联系，结果具有信服力。

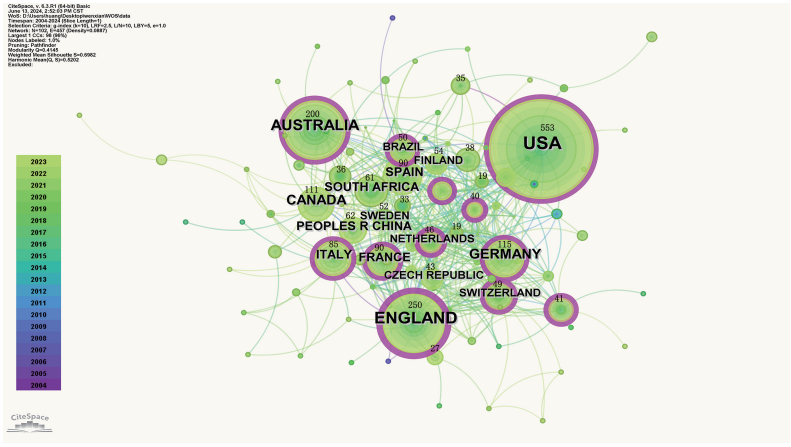
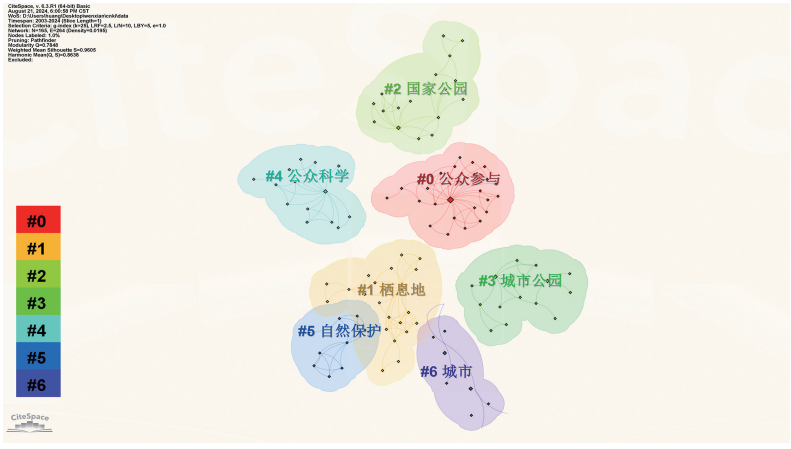
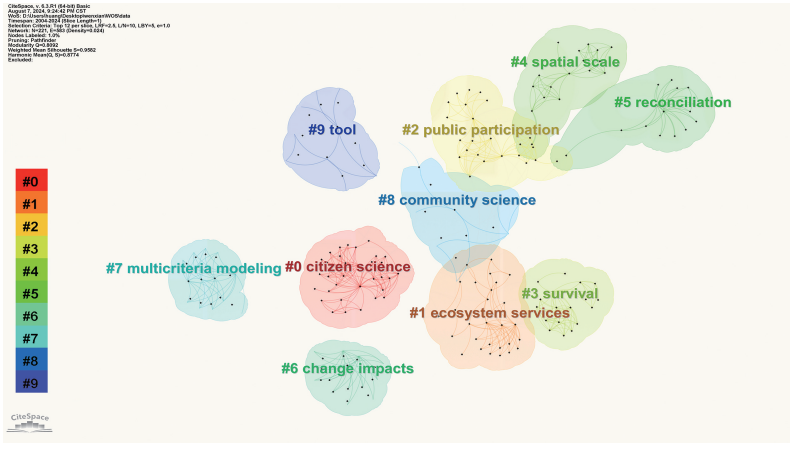


图 2　发文国家地区统计图谱分析



注：聚类序号用来标识不同的聚类，聚类大小与聚类中关键词的数量有关。

图 3　CNKI 关键词聚类图谱



注：聚类序号用来标识不同的聚类，聚类大小与聚类中关键词的数量有关。

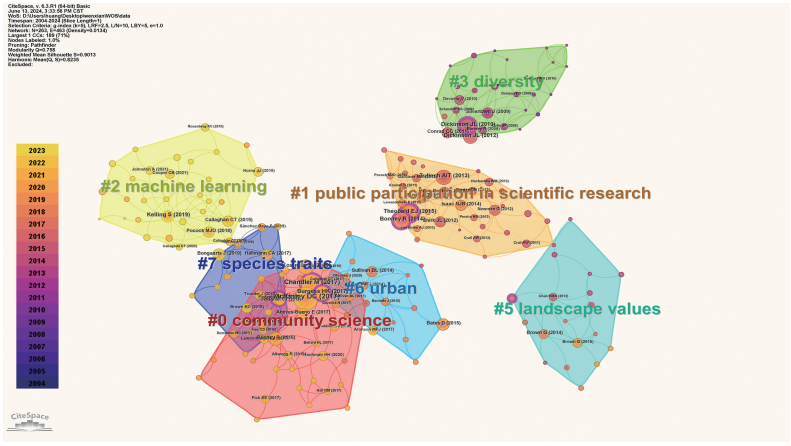
图 4　WoS 关键词聚类图谱

根据分析结果，CNKI 和 WoS 数据库上发表的论文有许多相似之处，其中 CNKI 中的高频关键词如“公众参与”“公众科学”等，与 WoS 中的“community science”“public participation”等关键词存在明显的对应关系，但 CNKI 文献更倾向于具体的实践和应用，城市更新、营建路径等具体项目或地区的关键词体现其关注实际操作和应用效果；另外，关键词之间关联性较强，热点

相对集中，具有一定的系统性和清晰的主流研究方向。而 WoS 平台的研究热点更加发散，创新性较强。以物种举例，CNKI 的文献研究物种较为单一，除植物外，主要集中在鸟类和蝴蝶两个物种上。相比之下，WoS 平台的研究范围更加广泛，涉及物种更加多样化，涵盖了各种植物、哺乳动物、昆虫和海洋生物。这种差异可能反映了不同学术环境和研究资源的影响。

2.2 文献共被引网络图谱分析

研究前沿代表一个领域的最新理论与技术，它在该研究领域最新产生的引文和被引文献中形成[19]。如图 5 所示，共被引网络被划分为多个聚类簇团，每个聚类簇即可代表一个研究前沿。



注：色谱代表文献的时间趋势，黄色代表早期文献，紫色对应近期文献。

图 5 文献共被引网络图谱分析

community science 为最大聚类首位标识词，高频共被引时间集中在 2016—2019 年。该聚类文献多数聚焦于社区科学的实践及其在促进公众参与科学研究中的应用。在本聚类的文献中，iNaturalist 作为一个卓越的公众科学平台，在生物多样性监测和数据收集方面为公众提供了丰富的参与机会。

排名第二的聚类显示最高标识词是 public paticipation in scientific research，集中在 2011—2015 年。该聚类群组强调公众科学在生态监测和生物多样性研究中的关键作用，展示了公众科学数据如何有效用于评估物种分布变化、监测种群趋势，并支持保护工作[20-22]。

标签为 machine learning 的第三大聚类整体共被引时间在 2016—2023 年，体现该研究热点更具前瞻性和应用潜力。该聚类研究主题集中在利用机器学习技术来优化公众科学数据的分析方法，提高物种分布预测的准确性并促进生态保护策略的制定[23-24]。该聚类不仅在数量上呈现增长，而且在研究深度和广度上也具有明显扩展，反映出机器学习技术在生态学研究中的日益重要性。

Top 8 Keywords with the Strongest Citation Bursts

Keywords	Year	Strength	Begin	End	2004 - 2024
保护	2009	1.19	2009	2010	
自然保护	2009	1	2009	2015	
公众参与	2007	1.65	2017	2019	
环境教育	2018	0.82	2018	2021	
城市	2009	0.52	2019	2021	
启示	2020	0.68	2020	2022	
生态学	2021	0.74	2021	2022	
新加坡	2021	0.74	2021	2022	

(a)

Top 20 Keywords with the Strongest Citation Bursts

Keywords	Year	Strength	Begin	End	2004 - 2023
public participation	2007	11.22	2011	2015	
conservation	2010	6.95	2011	2012	
community	2004	5.33	2011	2016	
gardens	2011	5.27	2011	2015	
volunteers	2011	5.01	2011	2015	
tool	2011	4.24	2014	2016	
governance	2015	4.59	2015	2020	
ecological research	2015	4.58	2015	2017	
range	2015	4.14	2015	2017	
mortality	2016	4.55	2016	2019	
community-based monitoring	2008	5.14	2017	2019	
values	2018	4.73	2018	2019	
wildlife	2018	4.65	2018	2020	
big data	2020	4.42	2020	2021	
community science	2019	14.06	2021	2023	
populations	2015	4.56	2021	2022	
biodiversity monitoring	2022	4.64	2022	2023	
habitat use	2012	4.51	2022	2023	
space	2019	4.27	2022	2023	
temperature	2022	4.21	2022	2023	

(b)

注：(a) 图为 CNKI 平台；(b) 图为 Wos 平台。Year 代表关键词首次出现的时间点；Begin 代表关键词爆发起始时间；End 则是关键词突变结束年份。深蓝色区间代表被讨论和引用的时间段，而红色区间代表关键词在某时间段内具有显著突现强度。

图 6 关键词时序演变特征表

2.3　热点时序演变特征

CiteSpace 的突发词可以反映不同时期的研究前沿热点以及发展趋势。突变词来源于某些年份发表文献中骤增的专业术语，由于样本量和数据特性的不同，CNKI 数据集的突变关键词数量只有 8 个。WoS 数据集的突变关键词数量约为 20 个时能够更全面地体现不同时期的研究特色和发展趋势。

由图 6（a）可知，自然保护作为时间最长的研究热点从 2009 年持续到 2015 年，表明该时段研究者们更加关注城市绿地中生物多样性的保护。随着时间推移，研究热点逐渐转向公众参与和环境教育等，反映公众在生物多样性保护中的重要性得到了更多的认可和重视。近 5 年的突变词反映当前研究前沿聚焦于新加坡城市生物多样性保护经验，特别是其在花园城市建设、高密度绿道布局及全球“亲生物城市”规划中的领先地位与启示[25-26]。

由图 6（b）可知，公众参与在 2011—2015 年成为突出的研究主题，之后社区、花园和志愿者等概念备受关注。国际研究早已认识到公众与社区在生物多样性保护中的角色，这可能与西方国家成熟的参与机制有关。近 5 年的突变词表明，研究方法趋向数据驱动与科技辅助，反映公众参与生物多样性研究在新技术、大数据应用及跨领域研究上的努力和创新。

3　主要研究内容

3.1　物种监测与数据收集

通过手机应用和在线平台，由志愿者记录城市绿地的物种数据，为科学家提供长期、大尺度的生物多样性信息[27-28]。Callaghan 等[29] 基于 iNaturalist 平台数据，开发了多物种框架监测城市生物多样性，用于增强对城市生态系统中物种响应的理解，并积极推动了公众生物素养的提升及生态保护意识的增强。Spear 等[30] 通过 RASCals 项目，展现了公众科学在城市地区物种数据收集方面的效率，与传统方法相比效果显著，特别是适应城市环境的物种。

3.2　生境改造与管理

志愿者参与生境修复、外来物种移除和本地植物种植等活动，直接改善城市生态系统的健康。研究表明，公众参与的生境改造项目能够显著提升本地物种多样性和生态系统服务功能[31-32]。Cooper 等[33] 指出，整合公众参与和科学数据收集有助于恢复居住区生态系统的生态平衡并提升社区环境意识。社区绿化项目通过增加和改善小规模绿地，提升了城市生物多样性。

3.3　生态教育与公众参与

许多城市绿地项目结合学校教育、社区活动和公共讲座，进一步推动公众理解支持和生态知识的普及。Prévot 等[34] 和 Ballard 等[35] 研究表明，那些参与到明确关注生物多样性自然体验中的个体大概率会进一步参与未来的保护活动。

3.4　城市规划与政策制定

决策者运用公众科学数据进行科学评估，制定生物多样性保护和可持续的城市绿地管理政策。这些数据有助于识别生物多样性热点和关键生态廊道。例如 Blicharska 等[36] 在其研究中展示了公众科学数据如何为城市规划和政策制定提供支持，特别是在生物多样性保护方面。

3.5　技术与方法创新

随着科技进步，公众科学项目也在不断创新。如采用无人机和远程传感技术监测生物多样性，开发数据分析工具和模型以提高数据准确性。Matutini 等[37] 探索了公众科学数据在物种分布模型（SDM）中的应用，并提出改进方法。Feldman 等[38] 提供了一种创新的、数据驱动的方法论，强调公众科学在生态学研究中的潜力和重要性。

4　展望

4.1　公众科学与传统研究方法的差异

传统研究方法依赖专业人员进行系统化的数据收集，其优势在于数据的准确性和一致性，但受限于人力和资源，时空覆盖范围较小。公众科学则通过多样化参与者收集大量数据，覆盖更广泛的地理范围和时间跨度，为生态监测和生物多样性研究提供独特价值。公众科学通过低成本、高效的数据收集和分析，在资源有限的情况下取得显著成果，但由于广泛依赖非专业人员的参与，导致数据质量不一。有学者专门统计公众科学项目应用于科学研究的情况，分析得出多数公众科学项目尚未达到学术研究水平[39]。随着技术的发

展，越来越多的公众科学平台采用先进的数据验证和清洗技术，如 iNaturalist 平台通过图像识别技术和社区审核机制提高数据的准确性和可信度；研究者也通过统计模型和大数据分析进一步提取有价值的信息，弥补数据质量的不足。

4.2 提升公众科学研究手段的对策

1）提高公众的科学素养和参与动机。公众参与生物多样性研究受诸多因素影响，公众的兴趣和动机至关重要，其中教育起到关键作用，通过互动式展示和教育项目，将科学知识融入到公众日常生活中，提高公众的科学素养和参与动机，从而影响其初始决策和长期参与度。例如，在公园或绿地中设计科普步道，结合二维码或增强现实技术（AR），让公众通过扫描获取实时的物种信息，增加学习的趣味性和便捷性。设置社区科学大使项目，以培训和支持志愿者的方式，促进基层科学传播，提升社区参与度。同时，通过制定和推广有利于公众参与的政策和激励机制，以显著提高公众参与度[40]。

2）结合大数据和人工智能技术深入探索公众科学，应对复杂的生态系统变化和保护需求。可通过机器学习和深度学习算法处理大量生态数据，揭示传统方法难以捕捉的生态模式。例如，AI 自动识别物种、监测绿地变化，并提高数据质量；利用机器学习算法预测物种分布，为城市规划提供科学依据；同时，研究人员需要设计更加严格的数据验证和清洗流程，以提高数据的可靠性。

3）注重跨学科合作。跨学科合作至关重要，需结合生态学、GIS、数据科学、社会学等多领域专家的协作，从不同角度解决复杂问题。推动创新教育方式的开发，如基于游戏化设计的学习平台，不仅能增加公众参与的乐趣，还能增强对生态问题的关注与理解。这种多领域协作的方式，使公众科学成为推动生物多样性保护和研究持续发展的重要工具。

参考文献

[1] HAKLAY M, DÖRLER D, HEIGL F, et al. What is citizen science? The challenges of definition [M]//The Science of Citizen Science. Cham: Springer International Publishing, 2021.

[2] 罗健，李健. 国外公民科学项目案例研究综述[J]. 科普研究，2021，16(6)：68-79，115.

[3] 张健，陈圣宾，陈彬，等. 公众科学：整合科学研究、生态保护和公众参与[J]. 生物多样性，2013，21(6)：738-749.

[4] O'GRADY M, MANGINA E. Citizen scientists—practices, observations, and experience[J]. Humanities and Social Sciences Communications, 2024, 11(1): 469.

[5] 王成. 中国城市生态空间：范围、规模、成分与布局[J]. 中国城市林业，2022，20(2)：1-7.

[6] WAGNER D L. Insect declines in the anthropocene[J]. Annual Review of Entomology, 2020, 65: 457-480.

[7] CARRUS G, SCOPELLITI M, LAFORTEZZA R, et al. Go greener, feel better? The positive effects of biodiversity on the well-being of individuals visiting urban and peri-urban green areas[J]. Landscape and Urban Planning, 2015, 134: 221-228.

[8] GIBB R, REDDING D W, CHIN K Q, et al. Zoonotic host diversity increases in human-dominated ecosystems[J]. Nature, 2020, 584(7821): 398-402.

[9] FRAISL D, SEE L D, CAMPBELL J, et al. The contributions of citizen science to the united nations sustainable development goals and other international agreements and frameworks[J]. Citizen Science: Theory and Practice, 2023, 8(1): 1-6.

[10] 王成，张昶，金佳莉. 森林城市群建设的评价指标[J]. 中国城市林业，2019，17(6)：1-6.

[11] MOHER D, LIBERATI A, TETZLAFF J, et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement[J]. International Journal of Surgery, 2010, 8(5): 336-341.

[12] CALLAGHAN C T, GAWLIK D E. Efficacy of eBird data as an aid in conservation planning and monitoring[J]. Journal of Field Ornithology, 2015, 86(4): 298-304.

[13] LAGOZE C. eBird: curating citizen science data for use by diverse communities [J]. International Journal of Digital Curation, 2014, 9(1): 71-82.

[14] SULLIVAN B L, WOOD C L, ILIFF M J, et al. eBird: a citizen-based bird observation network in the biological sciences[J]. Biological Conservation, 2009, 142(10): 2282-2292.

[15] MARTÍNEZ-SAGARRA G, CASTILLA F, PANDO F. Seven hundred projects in iNaturalist Spain: performance and lessons learned[J]. Sustainability, 2022, 14(17): 11093.

[16] 胡潜. 面向产业链的跨行业信息服务融合[M]. 武汉：武汉大学出版社，2022.

[17] 易松国. 高校教师创办社会工作机构口述史：第一卷[M]. 北京：中国社会出版社，2020.

[18] ROWLEY J J L, CALLAGHAN C T, CUTAJAR T, et al. FrogID: Citizen scientists provide validated biodiversity data on frogs of Australia[J]. Herpetological Conservation and Biology, 2019, 14(1): 155-170.

[19] CHEN C M, IBEKWE-SANJUAN F, HOU J H. The structure and dynamics of cocitation clusters: a multiple-perspective cocitation

analysis[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology,2010,61(7):1386-1409.

[20]顾燚芸,薛嘉祈,高金会,等.一种基于公众科学数据的区域性鸟类多样性评价方法[J].生物多样性,2024,32(7):138-148.

[21]BOIS S T,SILANDER J A,MEHRHOFF L J.Invasive plant atlas of new England:the role ofcitizens in the science of invasive alien species detection[J].BioScience,2011,61(10):763-770.

[22]SNÄLL T,KINDVALL O,NILSSON J,et al.Evaluating citizen-based presence data for bird monitoring[J]. Biological Conservation,2011,144(2):804-810.

[23]COOPER C B,HAWN C L,LARSON L R,et al.Inclusion in citizen science:The conundrum of rebranding[J]. Science,2021,372(6549):1386-1388.

[24]CALLAGHAN C T,ROWLEY J J L,CORNWELL W K,et al. Improving big citizen science data:Moving beyond haphazard sampling[J].PLoS Biology,2019,17(6):e3000357.

[25]陈婷,雍娟,何奥.新加坡城市生物多样性保护经验对我国的启示[J].城市建筑,2021,18(24):163-167.

[26]杨文越,邱宇欣.新加坡“亲生物城市”规划建设经验[J].科技导报,2022,40(22):33-42.

[27]REGA-BRODSKY C C,ARONSON M F J,PIANA M R,et al. Urban biodiversity:State of the science and future directions[J]. Urban Ecosystems,2022,25(4):1083-1096.

[28]CALLAGHAN C T,BINO G,MAJOR R E,et al.Heterogeneous urban green areas are bird diversity hotspots:insights using continental-scale citizen science data[J]. Landscape Ecology,2019,34(6):1231-1246.

[29]CALLAGHAN C T,OZEROFF I,HITCHCOCK C,et al.Capitalizing on opportunistic citizen science data to monitor urban biodiversity:a multi-taxa framework[J].Biological Conservation,2020,251:108753.

[30]SPEAR D M,PAULY G B,KAISER K.Citizen science as a tool for augmenting museum collection data from urban areas[J]. Frontiers in Ecology and Evolution,2017,5:86.

[31]赵建华,李小琦,邢君,等.公众参与下新西兰奥克兰植物园建设经验及启示[J].中国园林,2022,38(10):44-49.

[32]程纹,吕明聪,张婷婷,等.公民科学在深圳城市公园蝴蝶多样性保护中的应用[J].中国城市林业,2024,22(1):150-156.

[33]COOPER C B,DICKINSON J,PHILLIPS T,et al.Citizen science as a tool for conservation in residential ecosystems[J].Ecology and Society,2007,12(2):art11.

[34]PRÉVOT A C,CHEVAL H,RAYMOND R,et al. Routine experiences of nature in cities can increase personal commitment toward biodiversity conservation[J]. Biological Conservation,2018,226:1-8.

[35]BALLARD H L,DIXON C G H,HARRIS E M. Youth-focused citizen science:Examining the role of environmental science learning and agency for conservation[J]. Biological Conservation,2017,208:65-75.

[36]BLICHARSKA M,ORLIKOWSKA E H,ROBERGE J M,et al. Contribution of social science to large scale biodiversity conservation:A review of research about the Natura 2000 network[J].Biological Conservation,2016,199:110-122.

[37]MATUTINI F,BAUDRY J,PAIN G,et al.How citizen science could improve species distribution models and their independent assessment[J]. Ecology and Evolution,2021,11(7):3028-3039.

[38]FELDMAN M J,IMBEAU L,MARCHAND P,et al.Trends and gaps in the use of citizen science derived data as input for species distribution models:A quantitative review[J]. PLoS One,2021,16(3):e0234587.

[39]BORDEN K A,KAPADIA A,SMITH A,et al. Educational exploration of the zooniverse:Tools for formal and informal audience engagement[C]. Astronomical Society of the Pacific Conference Series,2013.

[40]王成.全域森林城市建设的基本内涵、必要性、可行性和实施路径[J].中国城市林业,2023,21(5):1-8.