研究论文

公民科学在深圳城市公园蝴蝶多样性保护中的应用*

程 纹[1,2] 吕明聪[3] 张婷婷[3] 董 慧[1,2]

1 深圳市中国科学院仙湖植物园 广东深圳 518004

2 深圳市南亚热带植物多样性重点实验室 广东深圳 518004

3 山东农业大学 山东泰安 271017

摘要：为分析公民科学在自然教育和城市生物多样性保护中的作用，以公民科学在深圳城市公园蝴蝶多样性保护中的应用为例，结合调查数据及国内外相关案例，归纳总结公民科学在科学传播，科研数据收集与监测，参与制定城市保护策略等方面的优势和影响。结果表明，通过参与公民科学项目，城市居民可以成为生物多样性保护的积极参与者，促进城市生态系统的健康和可持续发展。因此，公民科学项目的组织和实施需联合政府、学术机构和社区组织等利益相关者力量，有的放矢地在数据质量控制、参与者培训课程和项目管理质量方面进行改进、完善，推动城市生物多样性保护措施的有效实施。在此基础上，从 4 个方面提出未来的公民科学在城市生物多样性保护方面的应用前景。

关键词：公民科学；城市公园；蝴蝶多样性；深圳

DOI：10.12169/zgcsly.2023.07.14.0003

Application of Citizen Science to Butterfly Diversity Protection in Shenzhen Urban Parks

Cheng Wen[1,2] Lyu Mingcong[3] Zhang Tingting[3] Dong Hui[1,2]

(1. Fairy Lake Botanical Garden, Shenzhen & Chinese Academy of Science, Shenzhen 518004, Guangdong, China; 2. Shenzhen Key Laboratory of Southern Subtropical Plant Diversity, Shenzhen 518004, Guangdong, China; 3. Shandong Agricultural University, Tai'an 518004, Shandong, China)

Abstract: To analyze the role of citizen science in nature education and urban biodiversity conservation, this paper investigates the application of citizen science in the conservation of butterfly diversity in Shenzhen's urban parks. Based on the investigation data and the relevant cases at home and abroad, the advantages and impacts of citizen science in the fields such as science communication, scientific data collection and monitoring, and participation in the development of urban conservation strategies are summarized. The results show that through participating in citizen science projects, urban residents can be the active actors in biodiversity conservation and promote the healthy and sustainable development of urban ecosystems. In this sense, the organization and implementation of citizen science projects require the collaboration with stakeholders such as governments, academic institutions and civil organizations to make specific efforts in data quality control, participant training and project management quality, so as to promote the effective implementation of urban biodiversity conservation measures. Based on the above

收稿日期：2023-07-14

* 基金项目：国家重点研发计划“政府间国际科技创新合作”重点专项项目（2021YFE0193200）；欧盟地平线 2020 计划项目（CLEARING HOUSE）”；科技基础资源调查专项（2018FY100403）；国家自然科学基金青年基金（31801996）

第一作者：程纹（1987- ），女，硕士，工程师，研究方向为城市生物多样性。E-mail：chengwen@szbg.ac.cn

通信作者：董慧（1981- ），女，博士，正高级工程师，研究方向为城市生物多样性。E-mail：donghui@szbg.ac.cn

discussions, it is proposed from 4 perspectives that citizen science will provide a broader prospect for urban biodiversity conservation.

Keywords: citizen science; urban park; butterfly diversity; Shenzhen

公民科学（Citizen Science）是借助公众志愿者无偿进行数据采集、分析的一种科研方式[1]，可海量收集目标主体的时空动态数据，在生物多样性监测与研究中越来越重要[2-3]。通过互联网公共数据库，全球不同区域的公众可随时随地分享采集的物种信息，为生物多样性研究提供广域的尺度案例，在全球生物多样性指标量化和联合国可持续发展目标建立方面起到关键作用[4-7]。近年来，公民科学在城市生物多样性研究中应用广泛，如在英国[8]、瑞士[9]、中国深圳[10]等地开展的数据收集项目，利用公众收集的物种信息和生态数据，了解城市生态现状及存在问题，提升社会对于生物多样性的关注和保护[11]。

蝴蝶可作为城市生物多样性保护的典型案例[12-15]。蝴蝶多样性受幼虫寄主植物和成虫蜜源植物资源的影响。城市由于人工培育[16]、热岛效应[17]和异质性极高等环境特点，能为传粉者提供充足的食物来源[18]和多样化的栖息地[19]，许多城市实施的低杀虫剂政策也为维持传粉昆虫多样性创造了有利条件[20]，开花植物种类丰富的城市由此成为传粉昆虫生存的“庇护所”[21]。此外，城市化对不同功能性状传粉者具有过滤作用，尤其会减少地下筑巢、独居性和早春活动的传粉者的多样性[22]。因此，在城市绿地中选择适宜的植物种类[23-26]和维护多样化的栖息地[19]，可以更好地保护城市传粉昆虫多样性。

随着全球进入城市时代，城市在保护生物多样性方面的作用日益显著，在城市区域内开展基于公民科学方式的蝴蝶多样性观测，对于理解蝴蝶多样性、传粉系统的演化过程、传粉者嵌入生态网络等问题以及相关数据的调查、积累具有重要意义。

1　深圳城市绿地蝴蝶多样性研究

1.1　深圳城市绿地资源

过去 40 年间，深圳市生态系统格局发生了剧烈变化。从 1979 年以森林生态系统为主，到目前已演变为以森林和城镇生态系统为主。在深圳的陆域生态系统中，城镇生态系统面积占比约为 49%、森林生态系统面积占比约为 44%、湿地及其他生态系统面积占比约为 4%和 3%。城镇和森林生态系统占据绝对优势，造就了深圳多样的植被类型，包括 13 个植被型和 98 个群系，为蝴蝶等传粉昆虫提供了大量的食物来源和长期稳定的栖息场所，使得蝴蝶群落更为复杂，区域内的蝴蝶丰富度和多度差异性不显著，物种多样性更为丰富。镶嵌于深圳城区的 1 238 个（不含深汕特别合作区）公园绿地，为蝴蝶创造了开花植物较多和花期连续的高质量生态环境，支持多种类、大数量的蝴蝶分布及生存。

1.2　深圳蝴蝶多样性研究现状

城市公园是人类活动的重要生态空间，是城市绿地网络中重要的生物潜在生境。2015 年 6 月，深圳市仙湖植物园与马来西亚大学合作，开展深圳城市公园绿地蝴蝶多样性研究[27]。研究选取深圳 10 个公园绿地作为调查样地，利用网捕法采集样线两侧 5 m 内的蝴蝶，共采集蝴蝶标本 1 933 只，隶属于 5 科 72 种。结果表明：深圳城市公园蝴蝶多样性与公园年龄和城市梯度负相关；蝴蝶物种丰富度和多度受生境规模的影响，通常栖息地面积越大，物种丰富度越高；在花圃、绿篱、树林和野地 4 种生境中，低维护区的蝴蝶多样性指数最高。因此，尽可能扩大城市公园的面积，并保留低维护区生境斑块对蝴蝶多样性保护具有积极意义。

但是仅依靠专业科学家承担调查任务，难以在短时间内获取大量物种信息。而利用公民科学的方式开展同类研究，可以动员更多公众力量参与调查，提高数据采集的效率和范围，覆盖更多区域和生物群落。同时还能加强对公众环保意识的宣传教育，提高公众参与生物多样性保护的积极性和意愿。

2　案例分析：以公民科学的方式开展深圳城市绿地蝴蝶多样性调查及保护研究

2.1　通过科学传播引发公众的科学兴趣

科学传播，又称科学普及（Science popularization），

是指通过合适的方法、媒介、活动和对话等方式，促使普通公众、科学从业人员、传播者以及决策者之间形成有效互动，引发普通公众的科学兴趣并积极参与科学问题讨论，进而加深对科学的理解。

从 2016 年起，基于前期深圳公园绿地蝴蝶多样性研究成果，深圳市仙湖植物园陆续开展了蝴蝶相关的科学传播，举办了“数蝶日”和“筑梦仙湖”青少年研学夏令营等面向不同年龄阶段人群的自然教育活动。公众通过观察、记录和提交结果等步骤参与城市蝴蝶多样性研究，成为“公民科学家”。同时，深圳市仙湖植物园编写了深圳市首批自然学校教材《蝴蝶——大自然的舞者》，并设计制作了“蝴蝶识别卡”“蝴蝶物种调查工具包”等自然教育素材和文创产品（图 1）。研究者希望以蝴蝶作为引领大众探索城市昆虫多样性的切入点，让公民从关注蝴蝶这种个别物种开始，保护和珍惜城市自然。



图 1 深圳市仙湖植物园举办的蝴蝶科学传播活动以及创作的蝴蝶科普教材

除了自然教育活动，围绕蝴蝶多样性保护的学术交流，也逐渐引发市民关注。2017 年 7 月，被誉为植物学最高学术水平的“奥林匹克盛会”——第 19 届国际植物学大会（IBC）在深圳召开，国家主席习近平在致大会贺信中表示“我国要加强生态文明建设，努力建设美丽中国，广泛开展植物科学研究国际合作交流，同各国一道维护人类共同的地球家园”。会议期间举行了专题研讨会“城市公园：管理和植物配置对昆虫多样性的影响（Urban parks：effects of management and planting schemes on insect diversity）”和卫星会议“城市蝴蝶多样性与亚洲超级城市的人居环境（Urban Butterfly Diversity and Human Wellbeing in Asia's Megacities）”，吸引了参会同行及不同年龄和层次的深圳市民参加，说明普通公众已有意向参与科学观点讨论（图 2）。

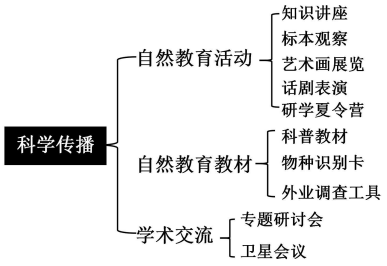


图 2 蝴蝶相关知识科学传播的多种方式

2.2 构建以专业志愿者为主的蝴蝶多样性观测网络

公民科学自身面临着一些挑战，如数据收集的规范性、数据的精确性与可靠性、数据如何验证等。为了促使公民科学在知识生产中发挥更为积极的作用，需要规范公民科学项目的设计、指导和实施，通过系统的组织、培训，推进一种“负责任”式的公民科学，即参与公众具有责任性、参与行为符合规范性、提交数据保证真实性和完整性等。

2016 年，生态环境部（原环境保护部）自然生态保护司启动了蝴蝶多样性观测工作，以蝴蝶为指示生物类群，建立了首个国家级的蝴蝶多样性观测网络，2018 年，深圳市正式加入这一观测网络。深圳蝴蝶多样性观测样区设立了包括城市建成区和郊区共 7 条样线，长度为 5 km。蝴蝶观测采用样线法（Line transects）记录蝴蝶的种类、数量和生境状况。为了引入更多的社会力量参与大规模的数据收集，深圳市仙湖植物园招募了一批志愿者参与观测工作，并开展了多次观测知识和技能培训，为深圳城市生物多样性保护培养了一大批专业的民间力量。在专业志愿者的协助下，2018 年 4—11 月，在观测样区共记录了 62 种蝴蝶共 1 538 只（图 3）。

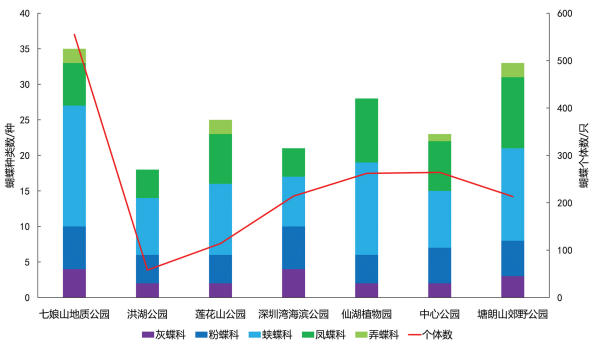


图 3 深圳蝴蝶物种及数量记录情况

2022 年，民间保护组织“爱栖自然”面向深圳的自然爱好者们招募了 20 名蝴蝶探索家，围绕蝴蝶与城市生物多样性及气候变化议题，开展一系列的线上分享、线下工作坊、实地观测记录和科普宣传活动，共同建立深圳的蝴蝶观察记录试点。项目结束后，拥有不同专业背景和观测经验的公众参与者的反馈各不相同：蝴蝶观测经验丰富的资深“志愿者”开始有意识地去积累观测数据；初次接触的公众则开始主动学习蝴蝶种类辨识。

2.3　组织以公众志愿者为主的蜜源植物调查活动

在公民科学中，公众对知识生产的首要作用表现为对“数据的收集贡献”。公众群体分布的广泛性、差异性和地域性等都为特定性数据的广泛收集提供了可能性。此外，科学技术的发展在吸收广泛的受众、激励志愿者、改进数据收集、控制数据质量、证实模型结果、提高决策效率等方面具有潜在作用[28]。

在植物资源有限且高度人工化的城市景观中，在理解蝴蝶生态位、生态过程的基础上，明晰当地蝴蝶和植物物种间的联系，分析蝴蝶与植物间的相互作用强度，将有助于识别和有效利用植物以维持城市蝴蝶群落。为广泛收集城市公园蜜源植物传粉网络数据，同时向公众传播传粉昆虫和蜜源植物保育、传粉者友好花园营造等在城市景观中提升生物多样性的自然理念，2023 年 6 月，深圳市仙湖植物园与红树林保护基金会（MCF）、公园之友、爱栖自然共同策划开展了“蜜源植物在哪里——深圳蜜源植物调查公民科学项目”，号召深圳公众利用观测小程序和手机 APP 记录深圳城市绿地蜜源植物。本次调查持续 3 个月，启动 1 个月后，共有来自深圳宝安区、龙华区、坪山区、盐田区、罗湖区、南山区、大鹏新区、光明区等 8 个区的 164 人参与调查（图 4），提交了 791 条记录和 1 301 条图片素材；记录的植物类型包含乔木类 34 种，灌木类 98 种，草本类 170 种；按样地类型统计，共观察公园 232 次，绿化带 94 次，动植物园 35 次，林地 24 次，居住区 55 次，荒山荒地 99 次，水体（水生植物 9 种），其他类型生境 33 次；按微环境划分，共观察花圃 276 次，绿篱 71 次，林地 56 次，野地 118 次；共记录传粉者 67 种，主要分布在昆虫纲，共 8 目 66 种，记录鸟类（红耳鹎）1 种。公众调查记录还将与深圳市仙湖植物园科研人员同期开展的“深圳蜜源植物传粉网络结构特征和重要蜜源植物识别研究”数据进行融合、比对，以确定深圳城市绿地中蝴蝶蜜源植物的配置情况，为在城市绿地中营造“万物并育，和谐共生”的传粉者友好花园提供参考。

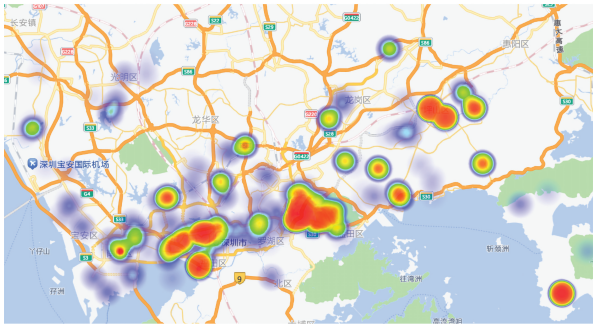


图 4　深圳蜜源植物调查公民科学项目调查范围热力图

2.4　通过调查问卷研究公众对蝴蝶的意识状况

公众对于野生动物的看法和态度受到个体与自然的接触程度和直接体验的影响。在快速城市化背景下，了解公众对“城市自然”的意识状况对制定城市生物多样性保护策略具有重大意义，这些策略有利于提升城市生物多样性和居民福祉[29]，并更有可能得到居民支持[30]，而公众对“城市自然”的意识状况是一个快速发展的研究领域[31-34]。邓恩等[30]提出的“鸽子悖论”（pigeon paradox）认为，在城市中与野生动物（包括非本地物种）互动的频率和质量会影响居民的亲自然实践，并将最终决定解决地球生物多样性紧急情况的努力是否成功[35-36]。居民在城市绿地中与野生动物的互动，将塑造居民与自然的情感联结，并影响他们对野生动物的看法和生态保护态度[34-38]。

在高度城市化的超级城市中，蝴蝶是城市生物多样性中引人瞩目的存在。Voon-Ching Lim 等[10]通过对 1 774 名城市公园使用者的面对面访谈，评估了包括深圳在内的 9 个东亚和东南亚超级城市的公众对蝴蝶的熟悉程度、看法和态度等状况。研究表明，共有 79% 的受访者在他们的城市看到过蝴蝶，主要地点为城市公园里。而在看到过蝴蝶的受访者中，超过 50% 的受访者对蝴蝶持积极态度。公众与自然的联系和对蝴蝶的态度

之间呈正相关，表明城市公园中的蝴蝶在建立人与自然的连接方面发挥着关键作用，有助于提升城市居民的亲自然实践以及对城市生物多样性保护的支持度。张卫哲等[39]依托深圳市仙湖植物园的动、植物科普资源，设计关于蝴蝶在内的主题式自然教育学习单。学习单是一种带有提问或帮助记录信息的表格，本质上属于问卷调查的一种形式，可以促进使用者更好地进行自主性探究学习（图 5）。通过对 213 位公众提交的学习单信息分析，评估学习单使用者对蝴蝶相关知识的了解程度及自然联结性。结果发现，超过 50%的公众曾到访过植物园并在植物园内进行蝴蝶观察，使用学习单的公众在自然联结分值上要显著高于未使用者，并表示愿意重游植物园，参与更多蝴蝶多样性调查项目，真实记录蝴蝶活动。透过学习单的调查，可以促进公众形成喜爱蝴蝶、亲近自然、支持蝴蝶多样性保护的环境态度，产生较强的公民科学项目参与意愿。



图 5 蝴蝶主题的自然教育学习单

3 公民科学在项目中的优势与注意的问题

3.1 公民科学在深圳蝴蝶多样性保护研究中的经验优势

1）增加数据采集量和质量。收集蝴蝶物种信息，工作量庞大，然而对公众而言，观察、拍照、并上传照片至规定的 APP 上，操作并不困难，能快速汇集丰富的蝴蝶物种信息，为相关研究提供海量且准确的蝴蝶物种数据。中国幅员辽阔，地貌和气候复杂多样，蝴蝶分布现状在不同城市具有不同特征，公民科学模式适合推广到其他城市，用以扩大数据采集范围，提高数据采集量和质量。

2）打造本土自然保护团队。公民科学为招募志愿者提供蝴蝶相关科学知识的课程培训，帮助公众提高调查和数据采集技能，协助建立调查团队，制定保护计划和行动方案。经过长期的调查体验以及和专业组织的沟通协作，逐渐形成深圳本土的自然保护团队，可以运用到本区域内类似生物多样性研究项目中。

3）增强社区参与和自治能力。科学研究落实到社区的日常管理和工作中，自下而上地增强社区的参与性，促进社区的自我管理和自我保护，保证项目的可持续性和有效性，提高城市生物多样性保护力度以及生态系统的韧性和适应性。

4）促进科学研究和保护管理。参与公民科学活动可以增强对自然环境的认识与理解，促进科学研究和保护管理。公民科学活动产生的数据还可以为保护政策和管理决策的制定提供科学依据，帮助决策者了解生态系统的状态和变化，制定科学、适用、民主化的保护措施和政策。

3.2 公民科学项目应注意的问题

由于公民科学的参与者来自不同的背景和经验水平，数据的质量和准确性存在一定差异，会出现物种名称鉴定有误、生境未准确区分等情况；调查过程中存在重复记录的可能，影响数据的可靠性和科学性；公民科学项目需要一定规模的资金和资源的持续支持，否则难以保证项目长期开展。因此，全球各国的政府、科研机构、民间组织以及散落于各个角落的个人，在未来相当长的时期应注意以下问题：

1）数据质量控制。加强公民科学项目数据采集和处理的规范化管理，在数据采集开始前建立严格的数据质量控制体系，加强数据核查和验证。

2）参与者培训和支持。培训参与者并提供持续的支持和反馈机制，能在一定程度上确保参与者正确收集和报告数据，以及加深对贡献数据的科学理解。

3）项目管理和可持续性。长期的公民科学项

目需要良好的项目管理和资源支持，包括人力、技术和经费。确保项目的可持续性和有效运行则需要建立合适的管理机制和寻找持续的资金来源。

4）数据隐私和伦理问题。公民科学项目涉及大量的数据收集和共享，因此务必要确保参与者的隐私和数据安全。例如涉及地理位置、身份等个人敏感信息，涉及到珍稀濒危物种保护的生态敏感数据以及外来入侵物种分布的生物安全数据。同时，需要考虑数据使用的伦理和法律问题，确保数据的合法性和透明性。

4　公民科学在自然教育和城市生物多样性保护中的应用前景

从近年来的公民科学项目中可见城市居民是保护生物多样性的主力军。公众在与专家一起应对不确定性的交互过程中，发挥地方性专长，开展知识生产；通过接触原创性的科学工作，了解科学家在做什么研究、如何做研究，从而提高环保意识，推动相关政策出台，促进在全球范围内建立伙伴关系，共同保护城市生物多样性。因此，未来的公民科学将为城市生物多样性保护提供更广阔的前景。

1）公民科学项目将更注重数据整合和共享。通过整合不同项目的数据，全面、准确地了解城市生物多样性状况，促进跨地区和跨国家合作，加强全球城市生物多样性保护联动，制定更有效的保护策略。

2）公民科学将成为自然教育的重要组成部分。公民科学将逐渐融入学校和教育机构的课程中，学生通过实地观察和数据收集获取自然科学知识和科学方法，培养科学素养和社会责任感。公民科学还将推动社区之间、社区组织和居民之间的交流合作，促进社区居民积极参与城市生物多样性保护策略制定。

3）公民科学的发展将更注重跨学科合作。公民科学应联合生物学、环境科学、社会科学、数据科学等多个学科，共同研究和解决城市生物多样性保护中的复杂问题，为公民科学项目提供更全面、深入的研究视角。

4）公民科学项目开展形式将更加多元化。通过技术创新、数据整合、教育融入课程、社区合作和跨学科合作，公民科学将发挥更大作用，成为公众参与和教育的重要工具，提升公众对城市生物多样性的认识和保护意识。同时，公民科学还将与政府、学术机构和非政府组织等利益相关者合作，共同推动城市生物多样性保护策略的实施。

参考文献

[1] SILVERTOWN J. A new dawn for citizen science[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2009, 24(9): 467-471.

[2] SCHMELLER D S, HENRY P Y, JULLIARD R, et al. Advantages of volunteer-based biodiversity monitoring in Europe [J]. Conservation Biology, 2009, 23(2): 307-316.

[3] DICKINSON J L, ZUCKERBERG B, BONTER D N. Citizenscience as an ecological research tool: challenges and benefits [J]. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 2010, 41: 149-172.

[4] SULLIVAN B L, AYCRIGG J L, BARRY J H, et al. The eBird enterprise: an integrated approach to development and application of citizen science[J]. Biological Conservation, 2014, 169: 31-40.

[5] 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.

[6] CHANDLER M, SEE L D, COPAS K, et al. Contribution of citizen science towards international biodiversity monitoring [J]. Biological Conservation, 2017, 213: 280-294.

[7] FRITZ S, SEE L D, CARLSON T, et al. Citizen science and theunited nations sustainable development goals [J]. Nature Sustainability, 2019, 2(10): 922-930.

[8] BORDER J A, NEWSON S E, WHITE D C J, et al. Predicting the likely impact of urbanisation on bat populations using citizen science data, a case study for Norfolk, UK [J]. Landscape and Urban Planning, 2017, 162: 44-55.

[9] TAUCHER A L, GLOOR S, DIETRICH A, et al. Decline indistribution and abundance: urban hedgehogs under pressure [J]. Animals, 2020, 10(9): 1606.

[10] LIM V C, SING K W, CHONG K Y, et al. Familiarity with, perceptions of and attitudes toward butterflies of urban park users in megacities across East and Southeast Asia [J]. Royal Society Open Science, 2022, 9(11): 220161.

[11] 张淑菁, 王成. 近 20 年来欧洲城市生物多样性研究进展[J]. 中国城市林业, 2022, 20(6): 15-24.

[12] 韩丹, 韩丛海, 王成, 等. 北京不同城市区域蝴蝶多样性及优势种生态位差异[J]. 中国城市林业, 2023, 21(5): 74-81.

[13] CHEN I C, HILL J K, OHLEMÜLLER R, et al. Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming [J]. Science, 2011, 333(6045): 1024-1026.

[14]HODGSON J A,THOMAS C D,OLIVER T H,et al.Predicting insect phenology across space and time[J].Global Change Biology,2011,17(3):1289-1300.

[15]MAIR L,THOMAS C D,ANDERSON B J,et al.Temporal variation in responses of species to four decades of climate warming[J].Global ChangeBiology,2012,18(8):2439-2447.

[16]CORBET S A,BEE J,DASMAHAPATRA K,et al.Native or exotic? Double or single? Evaluating plants for pollinator-friendly gardens[J].Annals of Botany,2001,87(2):219-232.

[17]YOUNGSTEADT E,DALE A G,TERANDO A J,et al.Do cities simulate climate change? A comparison of herbivore response to urban and global warming[J].Global Change Biology,2015,21(1):97-105.

[18]HARRISON T,GIBBS J,WINFREE R.Forest bees are replaced in agricultural and urban landscapes by native species with different phenologies and life-history traits[J].Global Change Biology,2018,24(1):287-296.

[19]FORTEL L,HENRY M,GUILBAUD L,et al.Decreasing abundance, increasing diversity and changing structure of the wild bee community (Hymenoptera:Anthophila) along an urbanization gradient[J].PLoS One,2014,9(8):e104679.

[20]DANIELS B,JEDAMSKI J,OTTERMANNS R,et al.A "plan bee" for cities:Pollinator diversity and plant-pollinator interactions in urban green spaces[J].PLoS One,2020,15(7):e0235492.

[21]LIANG H,HE Y D,THEODOROU P,et al.The effects of urbanization on pollinators and pollination:a meta-analysis[J].Ecology Letters,2023,26(9):1629-1642.

[22]GARBUZOV M,RATNIEKS F L W.Quantifyingvariation among garden plants in attractiveness to bees and other flower-visiting insects[J].Functional Ecology,2014,28(2):364-374.

[23]韩丹,王成,殷鲁秦.北京城市蝴蝶蜜源植物网络特征及重要蜜源植物识别[J].生态学报,2021,41(22):8892-8905.

[24]DMITRUK M,STRZAŁKOWSKA-ABRAMEK M,BO EK M,et al.Plants enhancing urban pollinators:nectar rather than pollen attracts pollinators of *Cotoneaster* species[J].Urban Forestry & Urban Greening,2022,74:127651.

[25]TEW N E,BALDOCK K C R,VAUGHAN I P,et al.Turnover in floralcomposition explains species diversity and temporal stability in the nectar supply of urban residential gardens[J].Journal of Applied Ecology,2022,59(3):801-811.

[26]BALDOCK K C R,GODDARD M A,HICKS D M,et al.A systems approach reveals urban pollinator hotspots and conservation opportunities[J].Nature Ecology & Evolution,2019,3(3):363-373.

[27]SING K W,DONG H,WANG W Z,et al.Can butterflies cope with city life? Butterfly diversity in a young megacity in southern China[J].Genome,2016,59(9):751-761.

[28]NEWMAN G,WIGGINS A,CRALL A,et al.The future of citizen science:emerging technologies and shifting paradigms[J].Frontiers in Ecology and the Environment,2012,10(6):298-304.

[29]LEPCZYK C A,ARONSON M F J,EVANS K L,et al.Biodiversity in the city:fundamental questions for understanding the ecology of urban green spaces for biodiversity conservation[J].BioScience,2017,67(9):799-807.

[30]DUNN R R,GAVIN M C,SANCHEZ M C,et al.The pigeon paradox:dependence of global conservation on urban nature[J].Conservation Biology,2006,20(6):1814-1816.

[31]BELAIRE J A,WESTPHAL L M,WHELAN C J,et al.Urban residents' perceptions of birds in the neighborhood:Biodiversity, cultural ecosystem services, and disservices[J].The Condor,2015,117(2):192-202.

[32]CAMPBELL-ARVAI V.Engaging urban nature:improving our understanding of public perceptions of the role of biodiversity in cities[J].Urban Ecosystems,2019,22(2):409-423.

[33]FUKANO Y,SOGA M.Why do so many modern people hate insects? The urbanization-disgust hypothesis[J].Science of the Total Environment,2021,777:146229.

[34]SOGA M,GASTON K J,KOYANAGI T F,et al.Urban residents' perceptions of neighbourhood nature:does the extinction of experience matter?[J].Biological Conservation,2016,203:143-150.

[35]MILLER J R.Restoration,reconciliation,and reconnecting with nature nearby[J].Biological Conservation,2006,127(3):356-361.

[36]SOGA M,GASTON K J.Extinction of experience:the loss of human-nature interactions[J].Frontiers in Ecology and the Environment,2016,14(2):94-101.

[37]CAMERON R W F,BRINDLEY P,MEARS M,et al.Where the wild things are! Do urban green spaces with greater avian biodiversity promote more positive emotions inhumans?[J].Urban Ecosystems,2020,23(2):301-317.

[38]ALCOCK I,WHITE M P,PAHL S,et al.Associations between pro-environmental behaviour and neighbourhood nature,nature visit frequency and nature appreciation:evidence from a nationally representative survey in England[J].Environment International,2020,136:105441.

[39]张卫哲,吴蒙,王青,等.植物园自然教育学习单应用效果评价[J].中国城市林业,2023,21(4):80-86.