

# 公众科学：整合科学研究、生态保护和公众参与

张健<sup>1\*</sup> 陈圣宾<sup>2</sup> 陈彬<sup>3</sup> 杜彦君<sup>3</sup> 黄晓磊<sup>4</sup> 潘绪斌<sup>5</sup> 张强<sup>6</sup>

1 (Department of Renewable Resources, University of Alberta, Edmonton, Canada T6G 2H1)

2 (环境保护部南京环境科学研究所, 南京 210042)

3 (中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093)

4 (中国科学院动物研究所动物进化与系统学国家重点实验室, 北京 100101)

5 (中国检验检疫科学研究院植物检疫研究所, 北京 100029)

6 (广东省昆虫研究所, 广州 510260)

**摘要:** 公众科学(citizen science)即公众参与式科学研究, 指包含了非职业科学家、科学爱好者和志愿者参与的科研活动, 其范围涵盖科学问题探索、新技术发展、数据收集与分析等。随着信息和网络时代的到来, 公众科学在生态保护和环境监测等领域中的作用也受到越来越多的重视。依据公众在科学研究过程中的贡献和参与程度, 公众科学项目可分为契约型、辅助型、合作型、共创型和学院型等不同类型与模式。在大量公众科学项目的基础上, 已经建立了多个公众科学平台, 提供此类项目的基本信息、方法和技术等。公众科学的成果已经在科学研究, 特别是生态学和环境保护等方面发挥了重要的作用。尽管中国的公众科学在鸟类和植物监测方面已经有了良好的开端, 并积累了大量经验, 但依然存在起步晚、参与度不高、数据质量控制薄弱、项目管理和信息整合能力差等不足。为发展中国公众科学, 需要多渠道争取经费支持, 进行广泛宣传, 发展相关组织、发展平台和技术, 积极寻找公众科学成果出口, 并加强国际合作; 同时充分利用每一个有志于科学研究的公民的力量, 积极推动中国在生态保护和环境监测等科学研究领域的良性发展。为此我们建立了中国公众科学网站平台(<http://www.gongzhongkexue.org>), 希望能作为一个连接公众、科学家、政府、非政府组织和志愿者团体等的桥梁和纽带。

**关键词:** 全民科学, 环境保护, 保护生物学, 生物多样性, 环境监测, 鸟类监测, 植物监测

## Citizen science: integrating scientific research, ecological conservation and public participation

Jian Zhang<sup>1\*</sup>, Shengbin Chen<sup>2</sup>, Bin Chen<sup>3</sup>, Yanjun Du<sup>3</sup>, Xiaolei Huang<sup>4</sup>, Xubin Pan<sup>5</sup>, Qiang Zhang<sup>6</sup>

1 Department of Renewable Resources, University of Alberta, Edmonton, Canada T6G 2H1

2 Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042

3 State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093

4 Key Laboratory of Zoological Systematics and Evolution, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101

5 Institute of Plant Quarantine, Chinese Academy of Inspection and Quarantine, Beijing 100029

6 Guangdong Entomological Institute, Guangzhou 510260

**Abstract:** Citizen science, also known as “public participation in scientific research”, is defined as scientific activities in which non-professional scientists participate as volunteers in data collection, analysis and dissemination within a scientific project. With the advent of the information age, citizen science projects, especially in ecological conservation and environmental monitoring, are rapidly expanding our knowledge of the world around us, and contributing to management and policy decisions. Citizen science projects can be classified into five types of models: contractual, contributory, collaborative, co-created and collegial projects. In China, public participation in science related activities has had a long history, but current contributions in citizen science are limited because of relatively low public participation, and the weaknesses in data quality

收稿日期: 2013-05-09; 接受日期: 2013-09-03

基金项目: 环保公益性行业科研专项(201209027)和“十二五”国家科技支撑计划课题(2012BAC01B08)

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: zjian@ualberta.ca

control, data management and analysis. Recently, citizen science has been applied to bird watching and plant monitoring, with some positive and negative experiences. To better increase citizen science activities and enhance such contributions to academic research, improvements are urgently required in financial support, the development of project platforms, the application of new technology, and international collaboration. We believe that the enhancement of citizen science will greatly promote the development of ecological conservation, environmental monitoring and related research fields. To help with this we have established a platform for China citizen science projects (<http://www.gongzhongkexue.org>) to promote communication and cooperation among scientists, governments, other organizations and the public.

**Key words:** citizen science, environmental conservation, conservation biology, biodiversity, environmental monitoring, bird watching, plant monitoring

公众科学(citizen science)也称公众参与式科学研究(public participation in scientific research), 指包含了非职业科学家、科学爱好者和志愿者参与的科研活动(Bonney *et al.*, 2009a), 其范围涵盖科学问题探索、新技术发展、数据收集与分析等(Miller-Rushing *et al.*, 2012)。相较于传统科研项目, 公众科学项目一般由公众和科学家合作发起, 以公众广泛参与为其鲜明特征(Silvertown, 2009)。随着信息和互联网技术的发展, 公众科学项目对于传播科学知识、提高公众对科学的理解正发挥着越来越重要的作用, 并直接影响政府的管理和决策行为(Shirk *et al.*, 2012)。

当前, 人类正面临急剧恶化的生存环境(如全球气候变化、生境破碎化和环境污染)和健康问题, 亟需制定相应的对策以应对这些变化。准确了解各种状态与变化并提出合理的对策, 依赖于高质量的科学数据(Hochachka *et al.*, 2011; Michener & Jones, 2012; Hampton *et al.*, 2013)。收集和整理数据, 往往需要耗费大量时间和精力, 仅靠科学家是不够的, 有些数据甚至是科学家无法获得的。如果公众能够参与科学数据的收集、整理和分析, 则是一个有效的补充。

公众科学的迅速发展吸引了学术界的密切关注。2012年8月, 在美国举办的“科学研究中的公众参与”会议吸引了大约300名各行各业的参与者, 被视为公众科学发展的里程碑(Benz *et al.*, 2013)。随后, *Frontiers in Ecology and the Environment*以专刊的形式, 系统总结了公众科学在生态学研究中的历史、贡献、存在的问题和未来的方向(Dickinson *et al.*, 2012; Miller-Rushing *et al.*, 2012; Newman *et al.*, 2012), 指出公众科学的时代已经来临(Henderson, 2012)。

与欧美国家相比, 中国在公众科学项目的设立、开展和延续上都存在很大差距, 影响了中国相关领域科学研究工作的广度和深度。中国在经济高速发展的过程中, 面临着环境污染、生境破坏、生物多样性丧失等生态环境问题, 应对这些严峻的问题, 除依赖政府和科学家的力量外, 整合科学研究、生态保护和公众参与的公众科学无疑是一个有效途径。本文主要总结了公众科学在生态学研究 and 环境保护中的发展历史和现状, 并重点论述了在中国的发展状况、存在的问题及未来的发展方向等, 以期推动公众科学在中国的发展。

## 1 公众科学的历史

公众科学虽是一个较新的术语, 但其社会基础却有着相当长的历史。20世纪之前的科学活动大部分是由兴趣爱好者主导(Porter, 1978)。例如, 如果没有18世纪之前的植物学爱好者收集的大量植物标本, 就没有经典植物分类学的奠基人林奈(Carl Linnaeus)发展和完善植物分类系统的可能。另外, 在农业、林业和畜牧业生产中, 公众也积累了大量有科学和应用价值的科学数据。

进入20世纪之后, 科学逐渐变成一种职业, 科学研究活动也逐渐被职业科学家主宰(Porter, 1978)。这个时期, 在以博物学、考古学、天文学等为代表的研究领域, 出现了一些大范围的公众科学长期项目, 并获得迅猛发展。例如, 美国国家气象局(US National Weather Service)的合作观察者项目(Cooperative Observer Program)从1890年开始收集天气数据, 在过去的120多年, 来自这个项目的数据已被广泛地用于天气预报、天气监测、极端天气预警和气候变化等研究。创立于1900年的奥杜邦学会(National Audubon Society)的圣诞节鸟类调查

(Christmas Bird Count, CBC), 到目前已经进行了 113 次; 从 1900 年到 2012 年, 参与人数从 27 人发展到 6 万多人, 调查区域从 25 个增加到 2,200 多个。创立于 1966 年的北美繁殖鸟类调查(North American Breeding Bird Survey, BBS)计划也是一个长期、大尺度、多国合作的鸟类监测项目, 主要跟踪调查北美繁殖鸟类种群的分布格局与数量变化(Sauer *et al.*, 2012)。到目前为止, BBS 计划在北美大陆已有 4,100 多条固定样线, 记录了 400 多种鸟类; 调查所得的原始数据包含了 420 种鸟类的趋势估计等资料(Sauer *et al.*, 2012)。

最近 20 年间, 信息和互联网技术极大地促进了公众科学的发展。通讯工具、交通工具、互联网、移动计算机等技术变革使得科学家、爱好者和志愿者能够更加容易地收集和整理数据, 科学家和公众更方便交流与合作。到目前为止, 在著名公众科学网站 [www.citizenscience.org](http://www.citizenscience.org) 注册的生态学和环 境科学相关领域的项目已达 175 个, 研究内容涉及动植物监测、入侵种调查、大气质量调查、水质调查、气候变化监测等。迅速增加的公众科学项目, 也促进了公众科学相关的研究论文的发表。基于 ISI Web of Science 数据库的统计表明, 仅 2012 年发表的文章就有 112 篇, 占 2002–2012 年期间公众科学文章总数的 40%(图 1)。

## 2 公众科学的现状

### 2.1 公众科学项目的类型、过程和特点

依据科学研究过程中公众参与的贡献大小, Bonney 等(2009a)将公众科学项目分为 3 种类型: 辅助型(contributory)、合作型(collaborative)和共创型(co-created)。Shirk 等(2012)又增加了契约型(contractual)和学院型(collegial), 并且认为, 从契约型、辅助型、合作型、共创型到学院型, 公众参与的程度逐渐加深。在契约型项目中, 公众邀请科学家开展特定的科学研究, 并汇报相关的报告和结果(Shirk *et al.*, 2012); 辅助型项目一般由职业科学家设计, 公众主要参与数据的收集和记录(Bonney *et al.*, 2009a; Shirk *et al.*, 2012); 合作型项目由职业科学家设计, 公众不但参与数据收集和记录, 也参与数据分析、实验设计和信息传播等过程(Bonney *et al.*, 2009a; Shirk *et al.*, 2012); 共创型项目由职业科

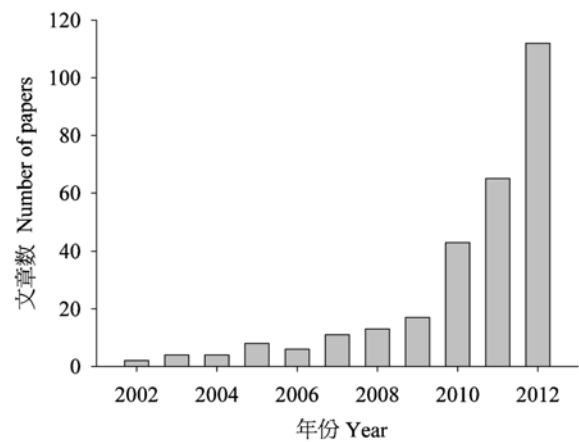


图 1 在 2002–2012 年期间发表的关于公众科学的文章数量。根据 ISI Web of Science 数据库检索, 检索词为 Topic (“citizen science”), 检索时间范围为所有年份(检索日期: 2013 年 4 月 29 日)。

Fig. 1 The number of peer-reviewed publications with the key word “citizen science” as determined in a search of the Web of Science (accessed on April 29, 2013)

学家和公众共同设计, 公众全面参与项目的各个环节(Bonney *et al.*, 2009a; Shirk *et al.*, 2012); 而在学院型项目中, 公众能够独立开展研究, 并对某一科学领域有所贡献, 如业余分类学家发现新的物种(Shirk *et al.*, 2012)。实际上, 公众科学项目在实施的过程中, 其类型可能发生一定的改变, 比如随着公众对项目相关知识的掌握愈加熟练, 参与程度相应深入, 项目类型可能从辅助型变成合作型; 另外, 有些公众科学项目可能是上述各类型的组合型(Tweddle *et al.*, 2012)。

发展和执行高质量的公众科学项目需要详细的设计与规划。基于美国康奈尔鸟类学实验室(the Cornell Lab of Ornithology)的经验, Bonney 等(2009a, b)和 Shirk 等(2012)描述了公众科学项目的参与模式(表 1)。公众的参与可以贯穿于科学过程的各个阶段, 从科学问题的提出、实验设计、数据收集和分析到成果发表和转化等。公众参与的程度及其可能性随公众科学项目类型的不同而变化。Tweddle 等(2012)详细描述了公众科学项目开展的过程及其主要工作内容。在开始之前, 主要确定所要研究的科学问题, 并分析是否适用公众科学的方法; 若适用, 则选择合适的类型, 比如是辅助型还是共创型。在项目的第一阶段, 主要工作是组建团

队、确定项目目标、明确资金或资源、征集项目参与者。在项目的第二阶段, 主要工作是设计调查方案、确定数据要求和技术要求, 以及对调查方案进行检验与修改, 并努力发展支撑体系, 如网站等。在第三阶段, 主要工作是推动和宣传项目, 同时接收数据并进行快速反馈。最后阶段主要是进行数据分析、结果汇报、经验总结和数据共享等工作。

总体而言, 成功的公众科学项目一般具有以下 5 个重要特点: (1) 简易: 项目目标和方法易于理解, 数据上传的网站简易清晰; (2) 反馈: 参与者知晓他们的数据用途, 定期更新调查数据等, 数据能为参与者所获取; (3) 传播: 传播策略对招募新的参与者

和赢得其信任是非常关键的, 主要包括新闻稿、网络推广、科学出版和教育输出; (4) 方案: 科学家必须确定建立清晰的工作方案, 将参与者紧密联系起来; (5) 持续性: 需保持项目的连续性, 包括基本工作框架正常运行, 数据能够得到分析和发表 (Devictor *et al.*, 2010; Parsons *et al.*, 2011; Pandya, 2012)。

### 2.2 公众科学的贡献

随着公众科学项目的迅猛发展, 多个公众科学项目平台应运而生。这些平台提供了关于公众科学项目的基本信息、开展公众科学项目的方法、技术等(表2)。基于对这些项目产出的分析, 我们认为公

表1 公众科学项目的发展模式(Bonney *et al.*, 2009a; Shirk *et al.*, 2012)

Table 1 Models for developing a citizen science project (Bonney *et al.*, 2009a; Shirk *et al.*, 2012)

科学研究的步骤 Steps in scientific process	契约型 Contractual	辅助型 Contributory	合作型 Collaborative	共创型 Co-created	学院型 Collegial
选择或定义研究问题 Choose or define question(s) for study	√			√	√
收集信息和资源 Gather information and resources	(√)			√	√
提出假说或解释 Develop explanations (hypotheses)				√	√
设计数据收集方法 Design data collection methodologies			(√)	√	√
收集样品、记录数据 Collect samples and/or record data		√	√	√	√
分析样品 Analyze samples			√	√	√
分析数据 Analyze data		(√)	√	√	√
解释数据、得出结论 Interpret data and draw conclusions	(√)		(√)	√	√
宣传研究结果或转换科研结果到实践 Disseminate conclusions/translate results into action	(√)	(√)	(√)	√	√
讨论研究结果、提出新的问题 Discuss results and ask new questions	√			√	√

√ 表示公众参与其中; (√)表示公众可能参与其中。  
√ Public involve in step; (√) public sometimes involve in step.

表2 已有的部分公众科学项目资源网站

Table 2 A selection of projects and websites that provide cyberinfrastructure, tools, and information for project developers and participants

网站 Websites	提供的资源 Resources
Citizen Science Central: <a href="http://www.citizenscience.org">www.citizenscience.org</a>	项目开发、文献数据库、讨论组等相关的工具 Toolkit for project development, tips and tools, reference database, conference proceedings, searchable project list, discussion forum, news feed, professional network
SciStarter: <a href="http://www.scistarter.com">www.scistarter.com</a>	项目搜索工具、项目添加工具等 Project finder and add project tools, editor's picks, member and site blogs
中国自然标本馆: <a href="http://www.cfh.ac.cn">www.cfh.ac.cn</a>	生物多样性基础数据支持, 公众科学项目数据存储、物种鉴定、编目和分类管理、团队协作等功能支持 Tools for biodiversity data collection, species identification, and group cooperation
CitSci.org: <a href="http://www.citsci.org">www.citsci.org</a>	制作数据输入表格的工具 Tools for creating customized data-entry forms so that volunteers can submit data
Data Observation Network for Earth: <a href="http://www.dataone.org">www.dataone.org</a>	数据管理、数据标准化、数据分析和可视化的工具 Tools on data management and data standards that will enable the integration of data from diverse studies and taxa, data analysis and visualization tools
The Public Laboratory for Open Technology and Science: <a href="http://www.publiclaboratory.org">www.publiclaboratory.org</a>	工具、方法、会议信息 Tools and methods, information on conferences
iSpot: <a href="http://www.ispot.org.uk">http://www.ispot.org.uk</a>	各种动植物类群监测网络平台 Species identification and monitoring

众科学主要有以下3个方面的贡献:

(1)对生态研究的贡献。景观生态学和宏生态学(macroecology)的发展可以帮助我们更深入地理解大尺度物种分布格局及其内在机制。通过卫星图片和其他遥感技术, 可以获取大量大尺度数据, 但是相应的地面调查数据极其缺乏, 限制了相关研究的发展。拥有庞大的数据收集团队的公众科学项目恰好能够弥补这个缺口, 成为重要的数据源(图2)。比如将已发表数据与公众科学数据结合, 或单独利用公众科学数据, 可给出某一地区的物种名录, 并对其生物多样性进行描述(Lepczyk, 2005; Hochachka & Flink, 2012)。Stegen等(2013)利用北美繁殖鸟类调查提供的数据分析了鸟类群落在空间和时间尺度上的物种周转及其环境驱动因素。由于不少公众科学项目持续时间长, 区域范围大, 其观测记录也是研究全球气候变化生物效应理想的数据。如基于1900年开始的圣诞节鸟类调查对254种鸟类监测数据的分析表明, 从1975年到2004年, 它们的分布区北界、分布区中心和丰度中心平均每年分别向北迁移1.48、0.45和1.03 km(La Sorte & Thompson, 2007); 基于康奈尔鸟类学实验室管理的几个研究项目收集的大量不同鸟类种群的数据(Bonney *et al.*, 2009b), 研究人员分析了鸟类种群的时空变化

规律、繁殖成功率与环境变化的关系、传染性疾病在动物种群间的传播模式、酸雨对鸟类种群动态的影响、鸟类窝卵数季节变化的纬度格局等大量科学问题。同样, 公众科学数据还能够揭示某一物种在气候变化背景下的进化适应性。例如 *Cepaea nemoralis* 这种分布在欧洲的对外界温度非常敏感的蜗牛, 从1950年到2009年, 由于气候变化的影响, 其不同区域种群的外壳的某些颜色和带型的比例发生了明显的变化(Silvertown *et al.*, 2011)。此外, 公众科学数据也可用于研究物种迁徙的路线和物候, 如Howard和Davis(2009)利用公众科学项目3年的数据, 发现了黑麦金斑蝶(*Danaus plexippus*)从加拿大到墨西哥的两条主要秋季迁徙路线。

(2)对生态保护的贡献。公众科学项目可通过科学家与市民、农民等的合作来研究生物多样性保护、入侵物种管理和环境污染等生态和环境问题(Field *et al.*, 2003)。公众科学在生物多样性监测方面具有得天独厚的优势, 是监测稀有种和入侵种的一种有效途径。如消失的瓢虫(The Lost Ladybug Project)项目发现了被认为灭绝的物种 *Coccinella novemnotata* (Losey *et al.*, 2007; 表1)。在美国芝加哥, 650多名志愿者对233种珍稀濒危植物的990个种群进行了监测(Havens *et al.*, 2012)。Gallo和Waitt

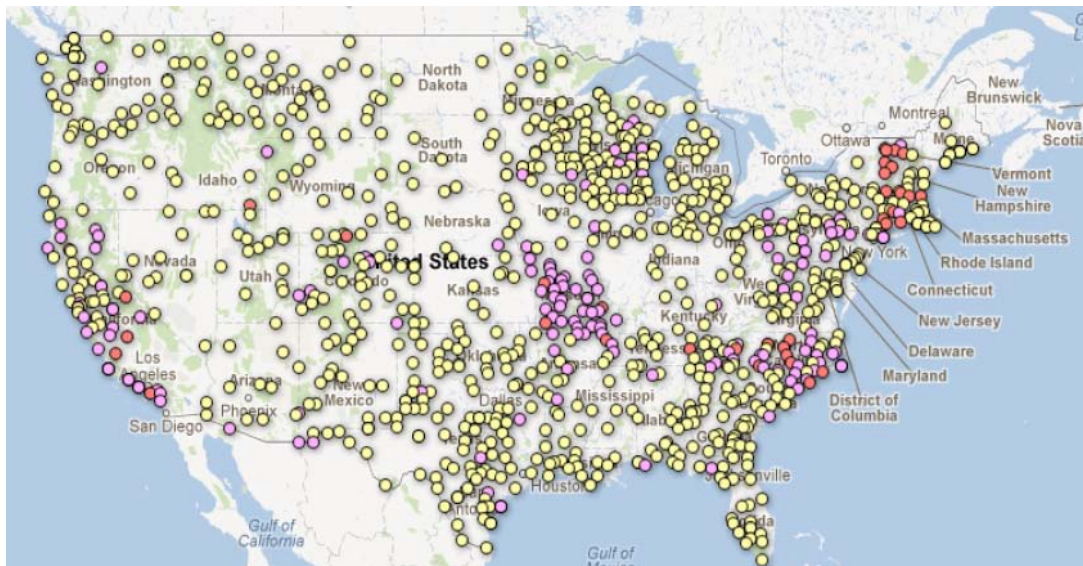


图2 美国23个公众科学项目的全部观测点的分布图(Wiggins *et al.*, 2013; 本图的使用已得到Andrea Wiggins博士的许可)。不同颜色的圆点代表不同的公众科学项目。

Fig. 2 The distribution of monitoring sites in 23 selected citizen science projects in USA (After Wiggins *et al.*, 2013. Used by permission of Dr. Andrea Wiggins). Different colors of dots stand for different citizen science projects.

(2011)利用德克萨斯入侵种(The Invaders of Texas)公众科学项目所收集的数据来监测入侵植物分布区和分布范围的变化。同样,公众科学还能为生物多样性履约提供有用数据,如在法国《生物多样性公约》(Convention on Biological Diversity)中的指标“选定物种丰度和分布的变化趋势”的数据即完全由公众科学项目提供(Levrel *et al.*, 2010)。另外,公众科学项目也能够监测大型工程如高速公路对野生动物活动可能造成的影响(Lee *et al.*, 2006)。

公众科学在环境领域前景广阔,可以提供很多关于环境要素和环境污染方面的信息。如美国国家航空航天局的地球观察(NASA's Earth Observatory)项目(包括空气质量监测、河流水质监测、降雨监测3个子项目)(<http://earthobservatory.nasa.gov/Experiments/CitizenScientist/index.php>)、英国的“国家氨监测网络”(The National Ammonia Monitoring Network)(Mackechnie *et al.*, 2011)以及Roy等(2012)列举的古天气(Old Weather)项目、户外实验室网络(Open Air Laboratories Network)项目。夜中全球(GLOBE at Night)项目志愿者可以利用星图量化天空辉光监测光污染的程度(Kyba *et al.*, 2013)。环境参数测定的精确性是公众科学项目成功与否的决定因素。Hoyer等(2012)发现专业生物学家和志愿者采集和测定的水体总磷、总氮和叶绿素含量之间没有显著差异。只要运用得当,志愿者采集的数据完全可以用于常规的环境管理。

(3)对环境教育的贡献。公众科学有助于提高公众的科学素养和环境保护意识(Jordan *et al.*, 2011)。一方面,参与项目的系统观测能够提高公众对生态系统的认识,比如,公众科学项目可以丰富志愿者的鸟类生物学和生态学方面的知识(Brossard *et al.*, 2005; Evans *et al.*, 2005),提高志愿者对入侵物种的辨认能力,了解入侵物种对环境的不利影响(Delaney *et al.*, 2008; Jordan *et al.*, 2011),并能够增加对科学的认识和对自然美的感受(Jordan *et al.*, 2011)。另一方面,公众科学项目还可提高志愿者对公共事务的参与意愿(Nerbonne & Nelson, 2004),甚至走入中学课堂,成为正式教育的一部分(Zoellick *et al.*, 2012)。但是,在有些情况下,志愿者对环境的态度和对科学过程的理解(Brossard *et al.*, 2005; Jordan *et al.*, 2011)或者对待入侵物种的行为(Jordan *et al.*, 2011)并没有显著改变,因此在项目设

计时,应该考虑科学目标、教育目标和参与动机之间的潜在冲突。

### 3 公众科学面临的挑战和机遇

#### 3.1 挑战

尽管公众科学已经在生态学研究、生态保护、环境教育等领域显现出明显的优势,但公众科学项目的开展也面临着诸多挑战,如数据质量和管理工作、经费支持、长期监测等。

数据质量和管理工作是大尺度数据调查都会面临的问题,很多公众科学项目也不例外。在公众科学项目中,参与者的专业知识、实践经验、培训等都可能影响数据的质量(Dickinson *et al.*, 2010; Cox *et al.*, 2012)。Fitzpatrick等(2009)在调查一种低密度分布的害虫时发现,相比较专业人士来说,公众参与者所获数据的质量还是有一些差距。Gardier等(2012)比较了3个与瓢虫相关的公众科学项目的数据质量,发现验证式公众科学是最有效的数据收集方法(表3)。与专业人员相比,参加公众科学的志愿者容易错误地识别稀有物种(Cox *et al.*, 2012)。这些问题在其他植物和动物监测中也同样存在(Dickinson *et al.*, 2010),并且是不可避免的(Chen *et al.*, 2013)。Crall等(2011)的分析表明,志愿者在物种鉴定中的表现不受年龄、经验、教育程度和科学素养等的影响,而与志愿者的实践经验相关。同时,大多数公众科学项目的监测样点存在着极大的采样偏差(Dickinson *et al.*, 2010),大多数志愿者会选择在自己生活区附近的区域参与公众科学项目,导致大部分公众科学数据来自人口集中的区域。这些潜在的数据质量问题,也会导致数据管理和分析中面临很多限制。因此,一些学者开始发展数学模型来克服这些数据的缺陷(Yu *et al.*, 2010)。

尽管数以万计的志愿者在无偿地收集数据,但维持一个运行良好的公众科学项目也需要一定的经费,用于项目管理、志愿者培训、活动宣传、数据管理、平台建设等;但这些花费远远低于仅由科学家参与的研究项目(表3, 4, Gardiner *et al.*, 2012; Kaartinen *et al.*, 2013)。以美国康奈尔鸟类学实验室为例,他们管理的公众科学项目每年的花费近100万美元(Bonney *et al.*, 2009b),这些经费主要来自于美国国家自然科学基金会。因此,开展公众科学项目,需要国家和政府的多方面支持才能保证其长期



表3 传统科学、验证式公众科学和直接式公众科学的比较(Gardiner *et al.*, 2012)Table 3 The comparison among traditional science, verified citizen science, and direct citizen science (Gardiner *et al.*, 2012)

类型 Type of science	定义 Definition	花费 Cost	数据质量 Data quality	信息传播 Information dissemination
传统科学项目 Traditional science	科学家执行研究活动 Scientists conduct all aspects of the research process	高 High	高 High	慢 Slow
验证式公众科学项目 Verified citizen science	科学家和公众共同执行研究活动 Scientists and citizens conduct the research process together	中等 Medium	中等 Medium	中等 Medium
直接式公众科学项目 Direct citizen science	完全由公众执行的研究活动 Citizens conduct all aspects of the research process	低 Low	低 Low	快 Fast

表4 传统科学、验证式公众科学、直接式公众科学项目的费用比较: 以收集一个瓢虫捕捉器为例(Gardiner *et al.*, 2012)Table 4 The comparison among the costs of traditional science, direct citizen science, or verified citizen science: collecting one lady beetle trap sample as an example (all currency in US\$) (Gardiner *et al.*, 2012)

费用类型 Type of costs	费用(美元) Costs (US\$)		
	传统科学 Traditional science	验证性公众科学 Verified citizen science	直接式公众科学 Direct citizen science
实验材料费用 Traps and fence cost	4.17	4.17	4.17
旅行费用 Travel to field site	85.46	0.00	0.00
参与者收集捕捉器的工资 Student payment for collecting trap samples	34.00	0.00	0.00
参与者收集数据的工资 Student payment for collecting data	0.00	4.25	0.00
科学家帮助参与者培训的工资 Researcher investment to train students	2.99	2.99	0.00
调查者邮寄数据给科学家的费用 Mailing cost	0.00	1.61	0.00
举行培训班的花费 Hosting volunteer training workshops	0.00	9.89	9.89
网站开发和维护 Website development and maintenance	0.00	17.38	17.38
每个捕捉器的总花费 Total cost per trap	126.62	40.29	31.44

健康地发展。

在生态学和环境科学领域, 长期监测数据对于认识自然现象、探索自然规律等发挥着极其重要的作用, 这样的数据无论是在传统科学还是在公众科学中都是非常缺乏的。长期监测项目的成功开展需要良好的项目设计和多方面的长期协作, 也离不开高水平的公众参与。因此, 通过各种途径, 包括政府的支持、社会筹集经费等, 来确保项目的可持续性, 将是公众科学项目面临的一大挑战。

### 3.2 信息时代的机遇

互联网和智能移动终端的普及给公众科学的发展提供了巨大机遇。互联网的应用使得诸如生物多样性调查、监测这样海量人力资源投入的科学活动, 可以通过信息化支撑平台让专家和公众参与者突破地域阻隔而形成密切的协作网络, 各种即时通讯工具和论坛、微信、微博等新媒体的兴起, 也为公众科学的开展(如活动宣传、志愿者招募、志愿者培训等)提供了前所未有的便利(Stafford *et al.*,

2010); 科研工作者也可利用数据库和信息处理技术极大地提高数据加工整理、积累和挖掘分析的效率, 提高数据质量和产出。

智能移动终端如移动设备、无线传感器网络(Wireless Sensor Networks)、手机应用程序、手持仪器等正在逐渐应用到公众科学项目中(Dickinson *et al.*, 2010; Newman *et al.*, 2012)。比如, 蝙蝠监测项目iBats开发的手机应用程序已经用于蝙蝠的监测, 用户可以通过手机直接连接到超声波监测设备, 并自动发送带有地理位置信息的蝙蝠声音文件到iBats网站(图3a)。植物物候监测项目BudBurst也开发了手机应用程序, 用于植物物候数据的记录(图3b)。

在公众科学信息化平台建设和终端工具的开发中, 可以建立简单、灵活的数据收集标准, 推广高效率的技术和工具并和网络信息系统整合, 这将大大减少公众科学项目存在的数据质量和数据管理问题(Silvertown, 2009), 降低公众参与的门槛, 提高工作效率, 增加公众参与的机会。



(a) iBats手机应用程序

(b) BudBurst手机应用程序

图3 智能终端技术在公众科学项目中的应用。(a) iBats手机应用程序(<https://sites.google.com/site/ibatsresources>)允许用户通过手机直接链接到超声波监测设备,自动发送带有地理位置信息的蝙蝠声音文件到iBats网站;(b) BudBurst手机应用程序(<http://budburst.org/gomobile.php>)主要用于报告植物物候的变化。

Fig. 3 The application of new techniques in citizen science projects. (a) iBats smartphone app (<https://sites.google.com/site/ibatsresources>), which allows a smartphone to be directly connected to the ultrasonic detector and the geo-referenced sound files can then be automatically uploaded onto the ibats website; (b) BudBurst smartphone App (<http://budburst.org/gomobile.php>), which uses a smartphone to monitor plants as the season changes.

## 4 公众科学在中国的现状

随着中国经济水平的提高、互联网和数码相机的普及,越来越多的社会公众参与到野外观察、数据采集和分享工作中,以各种自然生态类论坛为主要表现形式。许多省市都成立了观鸟协会,一些植物、昆虫、两栖和爬行动物爱好者建立自己专门的网络论坛进行交流,如福建省观鸟会(<http://www.fjbirds.org>)、陕西观鸟协会(<http://www.sxbird.org/>)、厦门观鸟协会(<http://xmbirds.org/bbs>)、深圳观鸟协会(<http://www.szbird.org.cn>)、成都观鸟协会(<http://www.scbirds.org.cn>)。中国的生态学家和保护生物学家也在积极地推动公众科学的开展(斯幸峰和丁平,2011)。我们以较为成熟的鸟类监测和植物监测作为例子进行简单总结。

### 4.1 鸟类监测

在中国大陆,鸟类研究者近几十年来已经开展了大量的研究工作,但与欧美国家相比,在鸟类种类组成与数量变化等方面仍缺乏长期、大尺度的监测工作(斯幸峰和丁平,2011)。尽管有很多地方性或国家级的观鸟组织,但是限于观鸟者的个人经验、数据的规范性等问题,这些观测记录很难应用到科学研究中。

从2002年起,中国观鸟记录中心([\[ker.net/birdtalker/report/index.asp\]\(http://birdtalker/report/index.asp\)\)开始组织观鸟爱好者观测并记录鸟类活动。在每份记录中,都包含了观测地点、观测日期、记录者、观测者、天气状况、观测装备、环境与路线以及详细的鸟种信息。鸟种记录包括鸟种编号、中文名、拉丁名和个体数,有些记录还附有照片、音频或视频。每条观鸟记录都经过鸟类专家的整理和审查,以保证准确性。中国鸟类学会还把每年的数据汇总,形成了观鸟年报\(2002–2012年\)。由中国观鸟记录中心的年度统计数据可看出\(图4\),从2002年到2012年,已经有1,600多人提交了3万多条观测记录,涉及5,200多个观测点和1,260多种鸟类。李雪艳等\(2012\)以《中国观鸟年报》\(2003–2007\)为数据源,通过与原分布范围的比较,发现有多种鸟类向高纬度和高海拔迁移,并且在新疆出现了多种水鸟新记录,包括一批内地罕见的海鸟记录。然而,由于数据的质量和数量、采样点偏差、采样季节差异等问题,这些数据在科学研究中的使用价值还有待商榷。其他的鸟类观测计划还有“全国沿海水鸟同步调查”,这是全国沿海地区的观鸟会及观鸟志愿者于2009年共同发起的一项调查工作。各地鸟友约定在每个月的同一天,分赴当地沿海进行水鸟调查,然后把结果汇总在一起,目的是了解沿海湿地水鸟及对湿地有依赖的鸟类的种群数量、迁徙动态等信息\(](http://birdtal-</a></p>
</div>
<div data-bbox=)



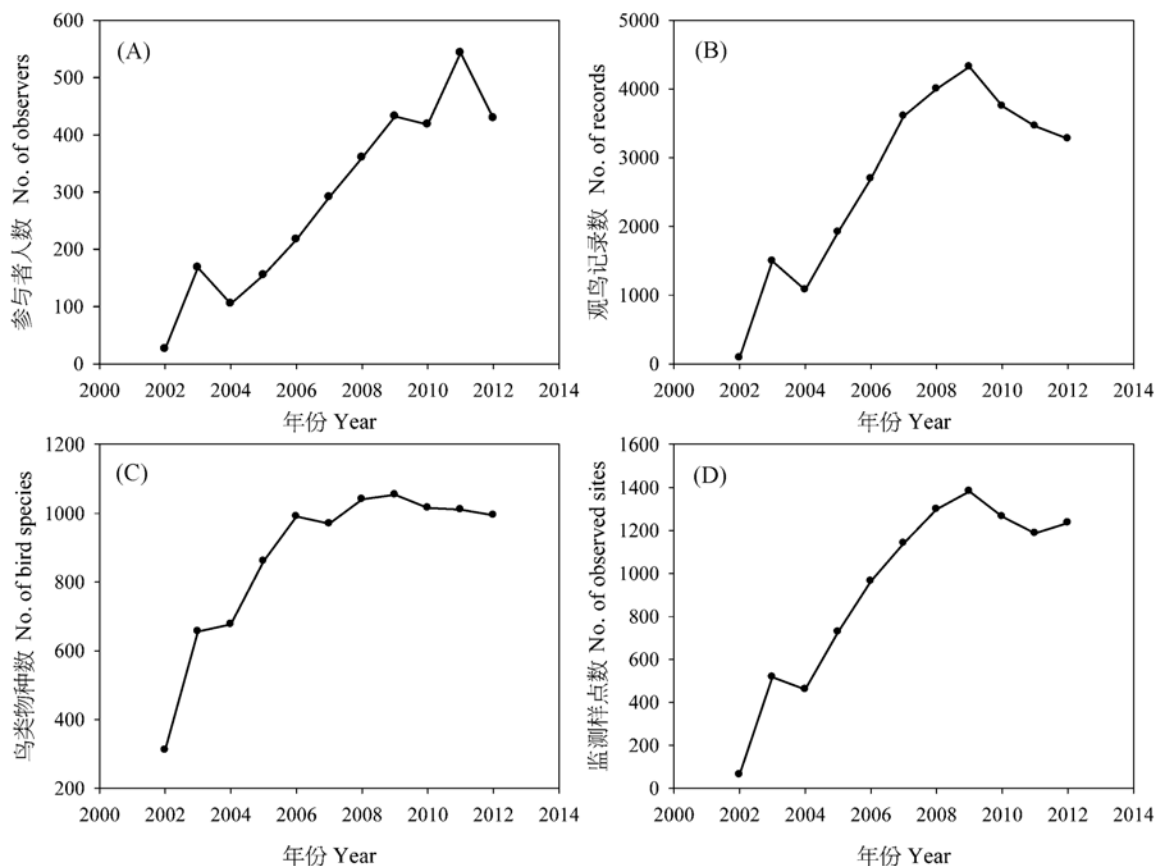


图4 中国观鸟记录中心年度数据统计(2002–2012)。(A) 参与者人数; (B) 观鸟记录数; (C) 鸟类物种数; (D) 监测样点数(数据来源: <http://birdtalker.net/birdtalker/report/statistics.asp>)。

Fig. 4 Summary of China Birding Records between 2002 and 2012: the trends of recent ten years on (A) the number of observers; (B) the number of birding records; (C) the number of bird species; and (D) the number of observed sites (Data source: <http://birdtalker.net/birdtalker/report/statistics.asp>).

com.cn/sybjzx/syxwzx/syjj/200909/t2009090-5\_434816.shtml)。2012年12月,在中华社会救助基金会的支持下,“让候鸟飞”公益基金正式成立,计划支持全国的护鸟志愿者团队开展日常鸟类巡护、鸟网清除、非法贸易举报、伤鸟救助、环境教育宣传等工作,为候鸟在中国的迁徙保驾护航(<http://www.free.ngo.cn/>)。斯幸峰和丁平(2011)提出建立中国繁殖鸟类调查(Chinese Breeding Bird Survey, Chinese BBS)计划的构想,并给出了具体的实施建议,特别强调了公众科学在该项工作中的重要作用。

相较于中国大陆,台湾鸟类多样性监测已经开展了很多工作,并强调公众的参与。相关的科学项目主要包括台湾繁殖鸟类调查(Taiwan Breeding Bird Survey)、台湾鸟类生产力与存活率监测(Monitoring Avian Productivity and Survivorship Program,

Taiwan)、台湾外来鸟种监测网(AIS Stop)。以2009年开始推动的台湾繁殖鸟类调查计划为例,至2012年已有近250位志愿者参与到350多个观测点的工作。

#### 4.2 植物监测

自20世纪90年代起,网络信息技术在中国逐渐普及,公众参与植物多样性调查监测工作有了新的平台。全国各地的网友利用数码摄影技术进行野外观察和记录,利用论坛平台进行交流和资料积累的公众参与新模式逐渐兴起。进入21世纪后,网络和数码相机更加普及,这种模式迅速推广,出现了很多全国性、地区性的论坛,参与互动的网友数量迅速增加,形成了公众科学的良好群众基础。然而缺乏有效的学术支持机制和资料更新机制,成为制约公众科学发展的主要瓶颈。

中国科学院植物研究所2007年开始建设的中国自然标本馆(<http://www.cfh.ac.cn>)生物多样性信息平台, 已逐步建立起以物种名称与分类系统为核心的生物多样性基础数据支持, 包含在线自然观测数据管理、在线物种鉴定协作、自动化编目管理等内容的生物多样性科学共同体信息化协作新模式, 形成了公众参与生物多样性调查监测的有效机制, 并通过培训班、网络交流等途径加以推广, 取得了良好成效。在这个过程中, 分类学家和公众参与者形成了广泛的协作网络, 极大提高了调查和发现的能力。截至2013年10月底, 在“中国自然标本馆”生物多样性信息平台上已有8,500多个注册账号, 野外调查照片超过390万张, 其中有GPS坐标的照片超过97万张, 已鉴定的物种或种下阶元超过3.1万个, 其中一半以上的资料由非专业的公众参与者发布, 积累了大量物种分布和形态变异信息。植物调查志愿者和分类学家还共同发现了一个植物新种深裂长蒴苣苔(*Didymocarpus dissectus*)(Fang *et al.*, 2013)。这些都体现了公众科学信息化的优势和发展方向。

#### 4.3 存在的问题和不足

与欧美国家近百年的现代公众科学发展历史和现状相比, 中国存在着起步晚、参与度不高、数据质量控制薄弱、管理和整合能力差等不足。随着中国公众经济水平、受教育程度、对生态环境问题的关注度以及网络参与度的提高, 开展公众科学活动的时期已经到来。但由于缺乏统一的组织、培训、数据整合和输出, 到目前为止, 仅有极少数据可以运用到科学研究、政府决策和管理工作中。目前较为典型的问题是数据共享不足以及科学家与公众的交流与合作缺乏。在欧美国家, 大部分成功的公众科学项目的数据是完全或部分公开的。数据公开对科学研究、科学知识传播、科普教育培养等起着积极的促进作用。然而, 中国公众科学项目的数据还缺乏透明性, 这也限制了公众科学项目的开展和持续。科学家参与到公众科学项目能够提高这类项目的质量(表3, 4; Gardiner *et al.*, 2012), 科学家也可帮助明确科学问题、制定调查方案、培训研究人员、管理和分析数据等。当前中国科学家与公众之间的交流合作还仅局限在极少数公众科学项目。

#### 4.4 积极推动公众科学在中国的发展

为有效推进中国公众科学的发展, 依据欧美国

家发展的经验和教训, 我们提出以下建议:

(1)广泛宣传: 通过传统新闻媒体、科学会议和网络平台, 积极宣传公众科学的运行模式, 吸引更多广泛的公众兴趣。

(2)有力组织: 逐渐建立起科学家、政府和非政府组织、公众之间的合作机制, 鼓励科学家在项目设计中更多地考虑公众参与。

(3)发展平台和技术: 以信息化为导向, 构建以网络平台为数据交换基础, 以适应性的观测技术为数据采集手段, 降低公众参与的难度和提高工作效率, 最终在数据整合的基础上, 对积累的数据进行综合分析; 我们建立了一个中国公众科学网站门户平台(<http://www.gongzhongkexue.org>), 希望能够推进相关工作的开展。

(4)寻找公众科学成果的出口: 为了实现公众科学的可持续性, 必须将观察成果服务于政府管理、科学研究、科普教育和生产实践。

(5)加强国际合作: 在生态保护和环境监测等方面与国际上活跃的公众科学项目合作, 并逐步在新兴的公众科学领域起主导和引领作用。

(6)多渠道经费支持: 希望政府和非政府基金机构能够为公众科学的开展提供一定的资助, 比如支持开展具体的公众科学项目或支持对已有公众科学数据的分析。

**致谢:** 三位匿名审稿专家和香港嘉道理农场暨植物园的张金龙博士提出许多宝贵的修改意见; 中国自然标本馆(<http://www.cfh.ac.cn>)在网站建设上提供了诸多便利。在此一并表示感谢。

#### 参考文献

- Benz S, Miller-Rushing A, Domroese M, Ballard H, Bonney R, DeFalco T, Newman S, Shirk J, Young A (2013) Workshop 1: Conference on Public Participation in Scientific Research 2012: an international, interdisciplinary conference. *Bulletin of the Ecological Society of America*, **94**, 112–117.
- Bonney R, Ballard H, Jordan R, McCallie E, Phillips T, Shirk J, Wilderman CC (2009a) *Public Participation in Scientific Research: Defining the Field and Assessing Its Potential for Informal Science Education*. A CAISE Inquiry Group Report. Center for Advancement of Informal Science Education (CAISE), Washington, DC.
- Bonney R, Cooper CB, Dickinson J, Kelling S, Phillips T, Rosenberg KV, Shirk J (2009b) Citizen science: a developing tool for expanding science knowledge and scientific literacy. *BioScience*, **59**, 977–984.

- Brossard D, Lewenstein B, Bonney R (2005) Scientific knowledge and attitude change: the impact of a citizen science project. *International Journal of Science Education*, **27**, 1099–1121.
- Chen G, Kery M, Plattner M, Ma K, Gardner B (2013) Imperfect detection is the rule rather than the exception in plant distribution studies. *Journal of Ecology*, **101**, 183–191.
- Cox TE, Philippoff J, Baumgartner E, Smith CM (2012) Expert variability provides perspective on the strengths and weaknesses of citizen-driven intertidal monitoring program. *Ecological Applications*, **22**, 1201–1212.
- Crall AW, Newman GJ, Stohlgren TJ, Holfelder KA, Graham J, Waller DM (2011) Assessing citizen science data quality: an invasive species case study. *Conservation Letters*, **4**, 433–442.
- Delaney DG, Sperling CD, Adams CS, Leung B (2008) Marine invasive species: validation of citizen science and implications for national monitoring networks. *Biological Invasion*, **10**, 117–128.
- Devictor V, Whittaker RJ, Beltrame C (2010) Beyond scarcity: citizen science programmes as useful tools for conservation biogeography. *Diversity and Distributions*, **16**, 354–362.
- Dickinson JL, Shirk J, Bonter D, Bonney R, Crain RL, Martin J, Phillips T, Purcell K (2012) The current state of citizen science as a tool for ecological research and public engagement. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **10**, 291–297.
- Dickinson JL, Zuckerberg B, Bonter DN (2010) Citizen science as an ecological research tool: challenges and benefits. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, **41**, 149–172.
- Evans C, Abrams E, Reitsma R, Roux K, Salmonsens L, Marra P (2005) The neighborhood nestwatch program: participant outcomes of a citizen-science ecological research project. *Conservation Biology*, **19**, 589–594.
- Fang W, Qiu YL, Huang J, Zhao B, Wei YG (2013) *Didymocarpus dissectus* sp. nov. (Gesneriaceae) from Fujian, eastern China. *Nordic Journal of Botany*, **30**, 1–5.
- Field DR, Voss PR, Kuczynski TK, Hammer RB, Radeloff VC (2003) Reaffirming social landscape analysis in landscape ecology: a conceptual framework. *Society and Natural Resources*, **16**, 349–361.
- Fitzpatrick MC, Preisser EL, Ellison AM, Elkinton JS (2009) Observer bias and the detection of low-density populations. *Ecological Applications*, **19**, 1673–1679.
- Gallo T, Waite D (2011) Creating a successful citizen science model to detect and report invasive species. *BioScience*, **61**, 459–465.
- Gardiner MM, Allee LL, Brown PM, Losey JE, Roy HE, Smyth RR (2012) Lessons from lady beetles: accuracy of monitoring data from US and UK citizen-science programs. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **10**, 471–476.
- Hampton SE, Strasser CA, Tewksbury JJ, Gram W K, Budden AE, Batcheller AL, Duke CS, Porter JH (2013) Big data and the future of ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **11**, 156–162.
- Havens K, Vitt P, Masi S (2012) Citizen science on a local scale: the Plants of Concern program. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **10**, 321–323.
- Henderson S (2012) Citizen science comes of age. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **10**, 283.
- Hochachka WM, Fink D (2012) Broad-scale citizen science data from checklists: prospects and challenges for macroecology. *Frontiers of Biogeography*, **4**, 150–154.
- Hochachka WM, Fink D, Hutchinson RA, Sheldon D, Wong WK, Kelling S (2011) Data-intensive science applied to broad-scale citizen science. *Trends in Ecology and Evolution*, **27**, 130–137.
- Howard E, Davis AK (2009) The fall migration flyways of monarch butterflies in eastern North America revealed by citizen scientists. *Journal of Insect Conservation*, **13**, 279–286.
- Hoyer MV, Wellendorf N, Frydenborg R, Bartlett D, Canfield DE Jr (2012) A comparison between professionally (Florida Department of Environmental Protection) and volunteer (Florida LAKEWATCH) collected trophic state chemistry data in Florida. *Lake and Reservoir Management*, **28**, 277–281.
- Jordan RC, Gray SA, Hoew DV, Brooks WR, Ehrenfeld JG (2011) Knowledge gain and behavioral change in citizen-science programs. *Conservation Biology*, **25**, 1148–1154.
- Kaartinen R, Hardwick B, Roslin T (2013) Using citizen scientists to measure an ecosystem service nationwide. *Ecology* (in press). <http://dx.doi.org/10.1890/12-1165.1>
- Kyba CCM, Wagner JM, Kuechly HU, Walker CE, Elvidge CD, Falchi F, Ruhtz T, Fischer J, Hölker F (2013) Citizen science provides valuable data for monitoring global night sky luminance. *Scientific Reports*, **3**, 1835.
- La Sorte FA, Thompson III FR (2007) Poleward shifts in winter ranges of North American birds. *Ecology*, **88**, 1803–1812.
- Lee T, Quinn MS, Duke D (2006) Citizen, science, highways, and wildlife: using a web-based GIS to engage citizens in collecting wildlife information. *Ecology and Society*, **11**, 11.
- Lepczyk CA (2005) Integrating published data and citizen science to describe bird diversity across a landscape. *Journal of Applied Ecology*, **42**, 672–677.
- Levrel H, Fontaine B, Henry P-Y, Jiguet F, Julliard R, Kerbirioub C, Couvet D (2010) Balancing state and volunteer investment in biodiversity monitoring for the implementation of CBD indicators: a French example. *Ecological Economics*, **69**, 1580–1586.
- Li XY (李雪艳), Liang L (梁璐), Gong P (宫鹏), Liu Y (刘阳), Liang FF (梁菲菲) (2012) Bird watching in China reveals bird distribution changes. *Chinese Science Bulletin* (科学通报), **57**, 2956–2963. (in Chinese with English abstract)
- Losey JE, Perlman JE, Hoebeke ER (2007) Citizen scientist rediscovers rare nine-spotted lady beetle, *Coccinella no-*

- vemnotata*, in eastern North America. *Journal of Insect Conservation*, **11**, 415–417.
- Mackechnie C, Maskell L, Norton L, Roy D (2011) The role of ‘Big Society’ in monitoring the state of the natural environment. *Journal of Environmental Monitoring*, **13**, 2687–2691.
- Michener WK, Jones MB (2012) Ecoinformatics: supporting ecology as a data-intensive science. *Trends in Ecology and Evolution*, **27**, 85–93.
- Miller-Rushing A, Primack R, Bonney R (2012) The history of public participation in ecological research. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **10**, 285–290.
- Nerbonne JF, Nelson KC (2004) Volunteer macroinvertebrate monitoring in the United States: resource mobilization and comparative state structures. *Society and Natural Resources*, **17**, 817–839.
- Newman G, Wiggins A, Crall A, Graham E, Newman S, Crowston K (2012) The future of citizen science: emerging technologies and shifting paradigms. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **10**, 298–304.
- Pandya RE (2012) A framework for engaging diverse communities in citizen science in the US. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **10**, 314–317.
- Parsons J, Lukyanenko R, Wiersma Y (2011) Easier citizen science is better. *Nature*, **471**, 37.
- Porter R (1978) Gentlemen and geology: the emergence of a scientific career, 1660–1920. *The Historical Journal*, **21**, 809–836.
- Roy HE, Pocock MJO, Preston CD, Roy DB, Savage J, Tweddle JC, Robinson LD (2012) *Understanding Citizen Science and Environmental Monitoring. Final Report on Behalf of UK-EOF*. NERC Centre for Ecology and Hydrology and Natural History Museum.
- Sauer JR, Hines JE, Fallcon JE, Pardieck KL, Ziolkowski DJ, Link WA (2012) *The North American Breeding Bird Survey. Results and Analysis 1966–2011. Version 12.13.2011*. USGS Patuxent Wildlife Research Center, Laurel, USA.
- Shirk J, Ballard HL, Wilderman CC, Phillips T, Wiggins A, Jordan R, McCallie E, Minarchek M, Lewenstein BV, Krasny ME, Bonney R (2012) Public participation in scientific research: a framework for deliberate design. *Ecology and Society*, **17**, 29.
- Si XF (斯幸峰), Ding P (丁平) (2011) History, status of monitoring land birds in Europe and America and countermeasures of China. *Biodiversity Science (生物多样性)*, **19**, 303–310. (in Chinese with English abstract)
- Silvertown J (2009) A new dawn for citizen science. *Trends in Ecology and Evolution*, **24**, 467–471.
- Silvertown J, Cook L, Cameron R, Dodd M, McConway K, Worthington J, Skelton P, Anton C, Bossdorf O, Baur B, Schilthuizen M, Fontaine B, Sattmann H, Bertorelle G, Correia M, Oliveira C, Pokryszko B, Ożgo M, Stalażs A, Gill E, Rammul Ü, Sóllymos P, Féher Z, Juan X (2011) Citizen science reveals unexpected continental-scale evolutionary change in a model organism. *PLoS ONE*, **6**, e18927.
- Stafford R, Hart AG, Collins L, Kirkhope CL, Williams RL, Rees SG, Lloyd JR, Goodenough AE (2010) Eu-Social Science: the role of internet social networks in the collection of bee biodiversity data. *PLoS ONE*, **5**, e14381.
- Stegen JC, Freestone AL, Crist TO, Anderson MJ, Chase JM, Comita LS, Cornell HV, Davies KF, Harrison SP, Hurlbert AH, Inouye BD, Kraft NJB, Myers JA, Sanders NJ, Swenson NG, Vellend M (2013) Stochastic and deterministic drivers of spatial and temporal turnover in breeding bird communities. *Global Ecology and Biogeography*, **22**, 202–212.
- Tweddle JC, Robinson LD, Pocock MJO, Roy HE (2012) *Guide to Citizen Science: Developing, Implementing and Evaluating Citizen Science to Study Biodiversity and the Environment in the UK*. Natural History Museum and NERC Centre for Ecology & Hydrology for UK-EOF.
- Wiggins A, Bonney R, Graham E, Henderson S, Kelling S, Littauer R, LeBuhn G, Lotts K, Michener W, Newman G, Russell E, Stevenson R, Weltzin J (2013) *Data Management Guide for Public Participation in Scientific Research*. DataONE, Albuquerque, USA.
- Yu J, Wong WK, Hutchinson RA (2010) Modeling experts and novices in citizen science data for species distribution modeling. In: *Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Data Mining* (eds Webb GI, Liu B, Zhang C, Gunopulos D, Wu X), pp. 1157–1162. IEEE Computer Society, Washington, DC.
- Zoellick B, Nelson SJ, Schauffler M (2012) Participatory science and education: bringing both views into focus. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **10**, 310–313.

(责任编辑: 马克平 责任编辑: 周玉荣)