

# 基于课程的公民科学项目 及其 STEM 学习效果研究

王丽慧\*

(中国科普研究所, 北京 100081)

**[摘要]** 公民科学指普通公众参与科学研究并为科学家收集资料, 既是科学研究积累资源的方式, 也是公众提升科学素质、进行非正式科学学习的重要途径。基于课程的公民科学项目与 STEM 学习密切相关, 可以为学生提供在课堂之外进行实践性学习的机会, 对参与者的科学知识、实践技能和科学态度都会产生影响。对面向青少年的公民科学项目的学习效果的评估研究表明, 项目可以增长参与者的科学知识, 影响其科学态度, 并塑造其对科学的观念。

**[关键词]** 公民科学 STEM 科学学习

**[中图分类号]** G315; N4 **[文献标识码]** A **[DOI]** 10.19293/j.cnki.1673-8357.2020.04.008

公民科学 (Citizen Science) 也译作公众科学, 是指普通公众与科学家合作, 为专业的科学研究收集资料和数据的行为。欧美国家有历史悠久的公众参与传统, 史密森学会 1848 年开始的气候观测项目是比较早的有组织的公民科学项目, 促成了气象学学科的发展<sup>[1]</sup>。最近 20 多年, 随着互联网的普及, 以及科研工作对大量非专业人员参与的需求, 公民科学逐渐发展起来并成为重要的研究趋势。公民科学还被称为公众参与科研 (Public Participation in Scientific Research)、众包 (Crowdsourcing) 等, 相对而言, 公民科学这一术语更具普遍性, 既包括非专业人员参与科研项目以帮助科学家收集资料完成研究任务<sup>[2]</sup>, 也包括公民参与社区环保等与科学决策民主化相关的内

容<sup>[3]</sup>。本文主要从公众参与科学研究的角度来探讨相关问题。

目前, 欧美国家有很多大规模志愿者参与的科学研究项目, 如 eBird、Galaxy Zoo 等。美国国家科学基金会 (NSF) 早在 1992 年就开始资助康奈尔大学鸟类学实验室 (CLO) 以及自然地图等以青少年为主的公众参与科研项目, 这些项目既为科学家解决了收集大范围资料的问题, 也为参与者提供了科学学习的机会。公民科学项目发展迅速, 目前已形成了有专门的协会、学术期刊以及众多志愿者参与的状况。欧盟、澳大利亚等国家和地区也逐渐建立了相应的公民科学项目平台, 例如 Zooniverse 作为世界最大的公民科学平台, 聚集了大量项目, 吸引了超过 100 万的志

收稿日期: 2019-11-21

\* 作者简介: 王丽慧, 中国科普研究所副研究员, 研究方向: 科普理论、科学文化, E-mail: wanglihui1001@sina.com。

愿者参与。欧盟、德国还发布白皮书和绿皮书，呼吁各国系统地开展公民科学研究。我国也有公众超新星搜寻、中国自然观察等公民科学项目。

公民科学对科学、教育和社会发展等方面都有不可忽视的影响，提升参与者的STEM教育也是其功能之一。公民科学项目一方面注重志愿者对科学研究的数据贡献，另一方面也关注志愿者的科学学习和社会教育。公民科学可以为STEM教育提供良好的非正式科学学习环境，从STEM教育的目标和效果来看，学生也需要接受除了课堂教育外的多角度学习<sup>[4]</sup>。

## 1 公民科学的类型和特点

### 1.1 公民科学项目的类型

依靠志愿者收集数据、处理数据，从而推进科学研究是公民科学的首要目标，在这个过程中非专业人士可以学习处理与科学研究相关的社会问题，提升自身的科学素质以及对科学研究的理解。同时，公民科学也为公众提供了参与科学研究和科技事务的机会，让他们在与科学相关的领域有一些话语权。

从项目的具体操作过程来看，国外公民科学项目已经形成一整套非常完善的程序，包括项目的启动、运行和评估，以及项目产出成果的集成和使用。一般来说，整个项目包括以下步骤：选择或定义研究问题，收集信息和资源，开发关于可能的问题答案的解释（假设），设计数据收集方法（实验和观测），收集数据，分析数据，解释数据并得出结论，传播结论，讨论结果并提出新问题。这样的一套项目流程对于参与者非常有效，他们除了收集数据，还可以在参与互动的过程中通过自己的观察来促进科学研究的进展，

或者关注那些能激发好奇心的主题。

公民科学项目具有多样性和异质性，可以根据不同方法进行分类，根据志愿者参与项目的程度和方式，公民科学项目可以概括为贡献型、合作型、共创型、契约型和学院型等形式<sup>[5]</sup>。而从更广泛的公众参与科学角度来看，可大致归为下述几类：数据收集项目、数据处理项目、基于课程的项目和社区科学项目（见表1）<sup>[6]</sup>。

表1 公民科学项目的类型

类别	特征	典型项目
数据收集项目	志愿者（是否接受过科学训练的人都可以）为科学研究收集数据	E-bird 项目 加利福尼亚自然地图项目
数据处理项目	基于互联网的数据分类、记录（转录）和解释，也称为“众包”	Zooniverse 项目 DigiVol Digitization 项目
基于课程的项目	针对 K-12 学生开发，通常属于公民科学项目的子项目，青少年在教育者或父母监督指导下收集数据并提交给总项目	BirdSleuth 项目 君主斑蝶监测项目 GLOBE 项目
社区科学项目	以当地的区域性议题为核心的项目，目标是通过公众的参与来影响公共卫生、环境健康或自然历史保护政策或地方决策过程	西奥克兰环境指标项目 澳大利亚水表计划 Safecast 项目

### 1.2 公民科学项目的特点

随着公民科学的发展，其展现出覆盖范围广、参与者众多、国际合作趋势明显等特点。公民科学覆盖到大范围的学科，包括生物学、医学、天文学、生态学、环境科学等，这些学科需要大量非专业人员参与资料收集与整理，其中很多项目是在全球范围内开展的。公民科学项目数量和参与者规模呈跨越式增长，例如 Zooniverse 项目的志愿者已超过百万，为公众提供了参与科学研究的重要途径。

从上表各类项目的特征看，数据收集项目中，参与者需要按照项目组织者的要求完成基本数据的收集，早期的公民科学项目如史密森学会的气象观察项目、全美奥杜邦学会的圣诞鸟类调查都属于此类。数据处理项目则更多体现出公民科学与互联网快速发展的关联，项目需要参与者熟练地使用计算机进行数据分类或者处理，参与者需要具备一

定的科学知识。而社区科学项目从性质上看,属于科学决策民主化范畴的内容,项目涉及公民权利、公民参与等,内容与日常的公共卫生、环境健康等问题息息相关。

基于课程的项目对象是学生,因此在 STEM 学习上更有针对性,对参与者的相关知识和态度的影响也更明显。而且这一类型的项目通常负载着更重要的非正式科学教育功能,对学生的资料收集要求并没有成人那么高。与此同时,这类项目大部分还为学生配备了支持调查的培训活动、方案和材料等。项目对学生富有吸引力,并与他们的生活环境紧密相连,提供了良好的学习机会,是推进校外 STEM 教育的重要途径。

## 2 公民科学项目的 STEM 学习效果评估

### 2.1 STEM 教育

1986 年,美国提出 STEM 教育的理念,并一直致力于培养学生的 STEM 素养。随着 STEM 教育的发展,以科学教育为核心、注重培养学生的科学知识和实践技能的教育理念也不断演进,更加关注培养学生的综合性多学科思维能力。2018 年 12 月,美国发布了“北极星战略”<sup>[7]</sup>,该战略回顾了美国 STEM 教育的进展,提出新的 5 年战略愿景:所有美国人都将终身受益于高质量的 STEM 教育,美国将成为 STEM 素养、创新和职业领域的全球领导者。为此,需要通过建立坚实的 STEM 素养,增强 STEM 教育的多样性、公平性和包容性,储备未来的 STEM 劳动力来实现上述的愿景。

STEM 教育越来越受到重视,为提升科学技术能力的学习方式提供了契机。除了学校课堂之外,非正式场所的科学学习也在营造整个 STEM 教育生态系统中占据越来越重要的地位,提升 STEM 素养需要加强学校、企

业、科研机构等各组织之间的联系,提供专业的资源,这也意味着鼓励学习者参与到科研项目的实践中,进行实际操作的学习体验,让学生真正融入并理解各门学科的内涵。在这一点上,公民科学项目与 STEM 教育的目标一致。

基于此,根据课程设计的公民科学项目在培养学生各种能力的同时,也需要对 STEM 学习效果进行评价和定位。从现有的公民科学项目的评估框架来看,评估和参与者当前的乃至终生的 STEM 学习密切关联。根据 NSF 非正式科学教育效果评估的框架,评估非正式科学教育的指标主要包括知识、态度、行为、技能、参与和动机。可见,公民科学项目可以成为课堂科学教育目标和学生之间的重要联系桥梁和纽带,学习效果也是显示公民科学项目成绩的重要指标。

### 2.2 公民科学项目的科学学习效果评估

从目前公民科学项目的评估目标上看,大多数研究都比较关注项目的科学产出和个体学习效果这两个主要方面<sup>[8-9]</sup>。这也是与 STEM 教育效果联系最为紧密的部分。博尼等认为,项目的评估应该是有针对性的双向评估,需要同时评估项目科学贡献和教育效果,他们建议采用不同的评估方法,对项目参与者进行全方位的跟踪调查,可以同时使用前置评估、过程评估和总结性评估,以便充分了解项目的整体过程。美国 NSF 资助的公民科学项目,对科学教育目标也提出了要求,在 NSF 关于公民科学项目的报告中,博尼等将对个体教育效果的评价细化为:认识或理解、参与或兴趣、技能、态度、行为。具体内容涉及以下多个角度:项目参与者的参与时长、参与者访问网站的次数、参与者对科学内容的理解、参与者对科学过程的理解、参与者对科学有更好的态度、参与者的科学

技能、参与者对科学的职业兴趣<sup>[10]</sup>。

菲利普斯等的研究则更关注参与者的科学学习效果，这与非正式 STEM 教育的目标相契合。在为 CLO 项目撰写的评估指南中，他们认为，评估框架需要考虑学习效果和产出，并详细列出了评价学习效果的标准和具体内容，指出与 STEM 学习相关的诸如面向学生的公民科学项目是否成功、学生参与公民科学项目的动机、什么影响学生对科学的态度等都是需要评估的<sup>[9]</sup>。CLO 的公民科学项目评估框架关注到个体学习产出、结果和影响的评价，注重考查对参与项目的志愿者是否获得知识、增长兴趣和改变态度，框架参考了弗里德曼关于非正式科学学习的框架<sup>[11]</sup>，包含认识、情感和行为等角度的改变，这就与学生进行科学学习的目的结合起来。

基于课程的公民科学项目的目标人群是幼儿园到高中阶段的青少年，一般由教师和父母指导学生们收集数据并将数据提供给总项目，项目通常与学校科学课程保持一致。这类项目是 STEM 教育的重要组成部分，已经有大量实践，部分项目也进行了跟踪性评估。例如，康奈尔大学 TBN (The Birdhouse Network) 项目的前后调查显示，参与者关于鸟类学的知识获得明显提升；但是参与者对科学过程的理解则没有表现出提高，同样调查也没有发现参与者对科学态度有明显改变<sup>[12]</sup>。对美国、印度和哥斯达黎加三个国家公民科学志愿者的调查研究指出，参与项目的志愿者高度依赖于兴趣，但是参与意愿和实际行为之间存在差距，尤其是项目对参与者有个人价值和利益时参与度更高<sup>[13]</sup>。

### 3 公民科学项目为 STEM 教育提供实践机会

#### 3.1 公民科学项目提供科学实践的环境

公民科学为 STEM 教育提供了进行科学

学习的资源和平台，为参与科学实践提供了良好的环境。公民科学为学生和教师提供了观察和探索世界的机会，并通过这些活动积累了研究经验，提升了对科学的兴趣，这些是有效增强 STEM 学习的核心因素。STEM 学习在中小学科技教育中越来越重要，相关的训练能够增进学生的知识和技能，而公民科学项目恰好为他们提供了观察、交流和数据处理等技能，并且还能促进他们积极参与科学研究，锻炼了应对未来挑战的能力。另外，当代科技的迅速发展也表明，未来社会的发展，需要青少年能够进行批判性和创造性的思考，而这种批判和创新精神需要同时在校内外教育中慢慢渗透。

以青少年为主的公民科学项目，能够激发学生的兴趣，又能在一定程度上迎合他们的生活经历和文化习俗，因此无论是进行学术研究还是从情感上都能够吸引青少年，让他们在家庭和社会环境中进行 STEM 学习。作为 STEM 学习系统中不可或缺的一部分，与学校相比，校外活动能够提供不一样的体验，这种体验相比于课堂教育而言，更具吸引力，能够快速将课堂知识与对应的知识点联系起来。

提高 STEM 学习不能只依靠课堂知识，学生还需要通过深入参与科学研究来学习科学。但是，学生在校内参与到这种以学生为中心的沉浸式 STEM 主题体验的机会并不多，更缺少能将真实的科学实践与自己的生活、兴趣和学习环境联系起来的机会。公民科学项目为学生和教师都提供了既能联系生活又能深层次参与处理实际数据和科学问题的方法。同时，也让学生或者教师能够参与现实的科学研究，达到一种更广泛意义上的参与，这种参与既可以是基础的数据采集，也可以是深入的科学实践，让学生潜移默化地把生

活和玩耍的地方利用起来。对于教师来说,公民科学同样提供了优异的环境,让教师可以更轻松地帮助学生学习,通过共同合作来增强学生的学习效果。

### 3.2 案例分析

“院中的自然——面向学校的公民科学”(Nature in Your Back Yard—Citizen Science with Schools)是维也纳自然资源和生命科学大学的保护科学学家与奥地利 16 所学校合作的项目,目的是记录城市和农村中的生物多样性,研究园林管理与特定生物种群之间的相互关系。参与项目的学生可以访谈园林主人,观察刺猬、蝴蝶、鸟类和蜜蜂的觅食行为,并使用科学家提供的工具对花园进行探查。项目中科学教师的身份也很重要,他们是学生和科学家之间的中间人,教师在指导学生按照科学家的要求收集资料时,也需要衡量自身课程的教育目标。项目既为学生提供了实践机会,也提升了学生的兴趣。有研究<sup>[14]</sup>根据菲利普斯的评估框架对 428 名 8~18 岁参与项目的青少年进行评估,对参与者的兴趣、自我效能、动机、行为、态度进行评价。评估显示,大多数学生都对此项目感兴趣,学生的兴趣和动力以及对知识的掌握程度都有所提高。参与者明显对野生动物、自然环境和生物多样性有显著的兴趣,其中小学生的兴趣最高,而且也项目贡献了最多的数据。项目的前测和后测对比发现,参加项目后,参与学生对野生动物、自然环境和生物多样性的态度有所改进,参与者有未来继续参与项目的意愿。

依托 E-Mammal 的学生参与项目评估也体现出科学学习环境的重要性。E-Mammal 项目中,参与者上传自己利用隐形相机拍摄的野生动物照片,作为数据进行管理和存档,从而帮助科学家了解哺乳动物的状况并进行动物保护。基于这个平台,北卡罗拉多州自

然科学博物馆设计了学生、教师和科学家均能有所收获的课程,首先教师于 2014—2016 年接受为期三周的培训课程,由项目科学家教授器械操作和使用课程,然后教师将相关知识教授给学生,学生随后可以自主参与项目。美国、印度、墨西哥和肯尼亚共 28 所学校的学生参与这个项目,经过专家对学生收集的资料进行鉴定,确定分别发现了 13~37 种野生哺乳动物。这表明小学生在自然实践环境中所获得的数据,可以为科学家提供帮助。参与项目的教师反馈,学生对参与项目非常有兴趣,激发了他们学习科学的好奇心,通过鉴定所拍摄到的图片,学生了解到当地野生动物的历史,对生物多样性也有了更深刻的认识。同时,学生参与项目的体验也间接地影响到社区的动物保护<sup>[15]</sup>。

## 4 公民科学项目促进青少年的科学学习

### 4.1 公民科学项目利于全方位的学习

从公民科学项目对参与者科学学习的影响来看,参与者除了通过参与项目明显增长了事实性科学知识外,也在经历着不同方式的学习。传统课堂科学教育更注重传达知识,在体验和理解研究过程方面则相对较弱,因此非正式科学教育注重参与者对活动的直观体验,而公民科学正是促进非正式科学教育的良好途径。从科学学习的角度来说,参与科研项目对学习效果有多方面的影响,从而达到参与式学习、反应式学习和关联式学习<sup>[16]</sup>。

(1) 参与式学习。公民科学的基础是观察科学现象,收集和共享科学数据。参与者可以在这个过程中开展基础的研究工作,并将数据上传到 APP 上,让数据收集工作变得非常简单,很多观察可以在短时间内就完成。在这个过程中,参与者可以掌握科学技能和术语,同时可以形成对科学的新的理解。这

种开放的科学活动，让参与的学生、教师与科学家共同体直接交流，这一提出科学问题、获得解答的科学过程，是重要的参与式学习。

(2) 反应式学习。除了收集数据之外，提出问题也是公民科学的一个部分。虽然在参与过程中，大部分工作要按照科学家事先提供的方案，但是在这样的过程中，学生也会被激起好奇心并开始寻找问题的答案，这也是他们开始“探究”的起点。公民科学项目提供了一个优质的环境，让学生和教师都可以一步步地学习如何进行科学研究。

(3) 关联式学习。STEM学习通常都是发生在校外的环境中，如社区、博物馆、科学中心等，与学校所组织的科学活动不同的是，公民科学项目的参与者范围更大，学生可以与对同样问题有兴趣的其他人共同交流研究。这可以让学生的STEM实践更为直接，反过来也提高了学生在观察、技术用法等实践方面的技能。同时，由于能够近距离地了解科学家的行为，这种参与会潜在地影响学生的职业倾向。

#### 4.2 案例分析

“丢失的瓢虫”(The Lost Ladybug)项目是美国NSF资助康奈尔大学昆虫学系组织实施的保护本土瓢虫生物多样性的公民科学项目。全美的成人和青少年均可参与，他们在社区附近寻找瓢虫物种，拍照并提交给项目组的科学家进行鉴别，同时也提交瓢虫的发现区域和习性等相关资料。该项目从2008年启动至2019年10月14日，共收集到38563个瓢虫标本。项目随着持续时间的推移也会及时调整和转变策略，成人的参与程度逐渐增加，但青少年的科学教育仍是项目关注的重点。

该项目对成人和青少年参与者都进行了评估<sup>[17]</sup>，主要考察了以下几个方面：①项目

在多大程度上实现了其预期的科学学习影响？

②不同类型参与者的学习效果有何不同？(包括成人参与者、5~7岁儿童、8~12岁儿童)

③持续多年参与项目者有什么相关的结果、态度和动机？④什么策略能支持和激励参与者持续参与？

项目发现，项目在知识、技能和态度几个方面都明显对科学学习有影响。①从儿童的科学知识的学习效果来看，所有年龄段(5~12岁)的儿童在项目结束后都对瓢虫的生物学词汇和概念有深刻的了解，很多学生的知识涉及生物学知识的多个方面。②受年龄限制，儿童没有报告自己的技能学习情况。但与孩子一同工作的父母和老师都报告孩子们的技能有很大程度的提高，其中8~12岁年龄组儿童的科学技能维度更广。相对而言，与资料收集和理解研究目的相关的技能更强，而关于资料分析和推理的知识则相对较弱。③从科学态度和认同上看，儿童清楚地了解自己在科学过程中的作用，并知道自己的工作对科学家非常有帮助，同时也在一定程度上能帮助瓢虫。他们非常愿意搜索、查找、检查和处理瓢虫，也愿意在未来继续参与项目。

#### 5 结语

公民科学代表一种新的方法，科学家和志愿者能够在合作中创造相互学习的机会，尤其是能够促进参与者进行全方位的科学学习。回顾近年来公民科学和STEM教育的发展，二者的联系极为密切，尤其是在美国，当然这也与美国的公民科学项目率先通过非正式科学教育得到NSF的资助不无关系。从STEM教育角度来看，校内的课程传授给学生专业的知识体系，为他们未来进行相关科学研究打下了基础。而非正式的STEM学习则是终身的学习，对于学习者在态度、兴趣和行

为上的影响更加深远,也是能够最终影响个人职业选择和兴趣的关键。《新一代科学教育标准》提出:“科学学习不仅在于科学事实知识和概念的积累,还在于发展了对作为能够胜任的科学学习者的身份认同。”面向学生的公民科学项目,对于激发学生学习生涯早期的科学兴趣,建立学生对科学的认同尤为重要。公民科学项目对青少年的 STEM 学习有积极的推动作用,而公民科学所代表的趋势和方法对科学研究、科学传播和公民参与的影响则更为显著。在科学传播从缺失模型到公众理解科学,再到公众参与科学的路径演变中,公民科学项目为参与者提供了丰富的教育机会,提供了在更大范围的学科领域内的研究经验和产出科学研究成果,以及进行科学检验的机会。与此同时,公民科学为公众参与科学政策制定提供了机会和方法,也为科学研究、科学传播和科学民主化带来了新的思考切入点。

公民科学在科学研究和科学教育中发挥

了重要的作用,国外公民科学项目发展的经验可以为提升我国公民科学学习能力提供借鉴。随着我国人口受教育程度的提高,对科学研究感兴趣的公众越来越多,因此政府和科研部门可以在科研项目设计阶段加入公众参与的内容,组织和开展相关公共活动和对话。在以青少年为主的科学教育活动和项目中,可以设计直接让学生或者教师能够参与的实地研究,采取广泛意义上的参与方式,既可以是基础的数据采集,也可以是深入的科学实践,从而让学生潜移默化地强化科学实践训练。在公共治理方面,公众参与科学事务的领域和成果也不断扩展,尤其是在环境管理领域,可以在环境保护、卫生健康、生物安全等与公众自身发展更为相关的领域,充分借鉴国外的做法,进一步拓展公众参与的深度和广度,通过深入参与促进公民科学素质的提升。总之,公民科学作为一种快速发展的新兴趋势,在对科学学习效果和社会影响的探索中,还有非常多值得期待的地方。

## 参考文献

- [1] Wynn J. Citizen Science in the Digital Age: Rhetoric, Science, and Public Engagement[M]. Tuscaloosa: The University of Alabama Press, 2017.
- [2] Bonney R, Cooper C B, Dickinson J, et al. Citizen Science: A Developing Tool for Expanding Science Knowledge and Scientific Literacy[J]. Bioscience. 2009, 59(11): 977-984.
- [3] Irwin A. Citizen Science: A Study of People, Expertise and Sustainable Development[M]. London: Routledge, 1995.
- [4] Fenichel M, Schweingruber H A. Surrounded by Science: Learning Science in Informal Environments[M]. Washington, D. C: National Academy of Sciences, 2010.
- [5] Shirk J L, Ballard H L, Wilderman C C, et al. Public Participation in Scientific Research: A Framework for Deliberate Design [J]. Ecology and Society, 2012, 17(2): 29-48.
- [6] Bonney R, Phillips T B, Ballard H L, et al. Can Citizen Science Enhance Public Understanding of Science? [J]. Public Understand Science, 2016, 25(1): 2-16.
- [7] White House. Charting A Course for Success: America'S Strategy for Stem Education. [2018-12-04] [2019-11-14]. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2018/12/STEM-Education-Strategic-Plan-2018.pdf>
- [8] Bonney R, Shirk J L, Phillips T, et al. Next Steps for Citizen Science[J]. Science, 2014(343): 1436-1437.
- [9] Phillips T B, Ferguson M, Minarchek M, et al. User'S Guide for Evaluating Learning Outcomes in Citizen Science[EB/OL]. [2019-10-24]. <http://www.birds.cornell.edu/citscitoolkit/evaluation>.

(下转第 83 页)

---

(上接第 69 页)

- [10] Bonney R, Ballard H, Jordan R, et al. Public Participation in Scientific Research: Defining the Field and Assessing Its Potential for Informal Science Education. A CAISE Inquiry Group Report[R]. Washington, D. C: Center for Advancement of Informal Science Education ( CAISE ). 2009.
- [11] Friedman A J. Framework for Evaluating Impacts of Informal Science Education Projects Report From a National Science Foundation Workshop[EB/OL]. [2019-10-14]. [http://www.informalscience.org/sites/default/files/Eval\\_Framework](http://www.informalscience.org/sites/default/files/Eval_Framework).
- [12] Brossard D, Lewenstein B, Bonney R. Scientific Knowledge and Attitude Change: The Impact of a Citizen Science Project[J]. *International Journal of Science Education*, 2005, 27(9), 1099-1121.
- [13] Rotman D, Hammock J, Preece J, et al. Motivations Affecting Initial and Long-Term Participation in Citizen Science Projects in Three Countries[C]. *iConference 2014 Proceedings*, 2014: 110-124.
- [14] Kelemen-Finan J, Scheuchm M, Winter S. Contributions from Citizen Science to Science Education: An Examination of a Biodiversity Citizen Science Project with Schools in Central Europe[J], *International Journal of Science Education*, 2018, 40: 17, 2078-2098.
- [15] Schuttler S G, Sears R S, Isabel O, et al. Citizen Science in Schools: Students Collect Valuable Mammal Data for Science, Conservation, and Community Engagement[J]. *BioScience*, 2019, 69(1): 69-79.
- [16] Cornell Lab of Ornithology. Activating STEM Learning Out Of School[EB/OL]. ( 2017-05-10 ) [2019-10-20]. <https://citizenscience.org/wp-content/uploads/2017/05/AfterSchoolSTEM-170510.pdf>.
- [17] Jessica Sickler, M.S.Ed., Tammy Messick Cherry. Lost Ladybug Project Summative Evaluation Report[R]. Cornell University, Department of Entomology. 2012.

(编辑 颜 燕)