•生物编目•

生物多样性信息资源. I. 物种分布、编目、系统发育与生活史性状

王 昕^{1,2} 张凤麟^{1,2} 张 健^{1,2*}

1 (浙江天童森林生态系统国家野外科学观测研究站, 浙江宁波 315114)

2 (华东师范大学生态与环境科学学院, 上海 200241)

摘要: 物种分布、编目、系统发育与生活史性状等是生物多样性研究的数据基础, 在物种起源与进化、生物多样性保护等研究中发挥着重要作用。近年来, 大量数据共享平台的建设极大地促进了生物多样性信息学的蓬勃发展, 但这些海量的、高异构性的数据资源也使得研究人员无从下手。如何高效选择和有效利用这些资源, 成为生态学家和保护生物学家面临的一大挑战。针对现有的生物多样性数据零散分布的现状, 本文将这些数据从物种分布、编目、系统发育与生活史性状4个方面进行整理, 分别选取一些代表性的数据库如: 全球生物多样性信息网络(GBIF)、世界植物种名录(The Plant List)、Open Tree of Life、植物性状数据库(TRY), 对其数据类型、采集方式、范围、获取方式等进行描述, 并对相关研究成果进行简要介绍。在各部分中, 针对我国生物多样性数字平台的构建等方面的工作与成果, 我们也进行了简要描述。通过这些数据资源的整理, 希望为研究人员了解和使用这些数据库提供桥梁和纽带, 能够进一步促进国内研究人员对这些数据库的有效利用, 并通过科研人员与公众等的参与, 促进数据共享平台的构建与完善, 进一步推动生物多样性的研究和保护领域的发展。

关键词: 生物多样性信息学; 宏生态学; 物种编目; 系统发育; 功能性状; 数据共享

Biodiversity information resources. I. Species distribution, catalogue, phylogeny, and life history traits

Xin Wang^{1,2}, Fenglin Zhang^{1,2}, Jian Zhang^{1,2*}

1 Tiantong National Station for Forest Ecosystem Research, Ningbo, Zhejiang 315114

2 School of Ecological and Environmental Sciences, East China Normal University, Shanghai 200241

Abstract: Species distribution, catalogues, phylogeny, and life history traits are the data basis of biodiversity studies, playing critical roles in understanding species origins, evolution, and conservation biodiversity. Recently, a large number of scientific data-sharing platforms have been created, greatly contributing to the development of biodiversity informatics. However, it is difficult for most researchers to deal with big data with high complexity and heterogeneity. Determining how to select and utilize these data accurately and effectively becomes a huge challenge for ecologists and conservation biologists. To better deal with existing problems related to scattered distributed data, we classify biodiversity data resources into four groups (species distribution, catalogues, phylogeny and life history traits), and select representative databases (e.g. Global Biodiversity Information Facility, The Plant List, Open Tree of Life, and The Plant Trait Database (TRY) for demonstration. For each database, data type, and sampling design, geographic coverage and data availability are reported, and selected publications using these datasets are briefly introduced. Meanwhile, we describe recent achievements on the construction of China's biodiversity digital platforms in each section. Overall, we hope that this paper provides a starting point for researchers to be familiar with these databases and use them correctly, and could have the potential to stimulate the development of related fields in research and conservation of biodiversity under the efforts of researchers and the public.

收稿日期: 2017-06-25; 接受日期: 2017-10-06

基金项目: 中组部“千人计划”青年人才项目和国家自然科学基金(31670439)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: jzhang@des.ecnu.edu.cn

Key words: biodiversity informatics; marcoecology; species catalogue; phylogeny; functional trait; data sharing

物种是生物多样性研究的基本单位(洪德元, 2016)。世界上有多少个物种存在? 物种是怎样起源的? 各个物种是如何分布的? 它们的分布范围在过去、现在和未来是怎样变化的? 这些都是生物多样性研究的基本问题(Brown, 1995; Hortal et al, 2015)。回答这些问题依赖于大范围的、高质量的关于物种分布、编目、系统发育与生活史性状等方面的数据。这些数据的收集至少可以追溯到林奈、达尔文、华莱士、洪堡时代。然而, 它们大多零散地分布在标本馆、博物馆、书籍、研究报告和研究论文中。近年来, 随着生物多样性信息学(Biodiversity Informatics)的蓬勃发展(Soberón & Peterson, 2004; 马克平, 2014; 张健, 2017), 大量的开放数据库和论文数据存储机构应运而生。大量的数据资源通过新的处理模式, 在科学的进步和信息资源管理方面呈现出前所未有的机遇, 为这些数据的整理、标准化、共享和深入挖掘等提供了可能(Hampton et al, 2013; 张健, 2017)。

生物多样性数据的大量涌现和数字化, 一方面为生物多样性研究者提供了诸多机遇, 有助于我们深入地研究物种起源和进化、生物多样性维持等理论问题, 也有助于我们快速准确地应对濒危物种保护、保护区管理等实践问题(张健, 2017), 另一方面也为生物多样性研究带来了挑战。首先, 这些数据资源零散地分布在不同的网络平台、研究论文中, 给研究人员的检索和更新带来了极大的困难。第二, 由于生物多样性本身的复杂性, 研究方法多种多样, 测量和记录的信息在不同的研究中也千差万别, 这就导致大部分数据库结构复杂、变量繁多, 个人很难在短期内对数据库有比较全面的了解, 很有可能出现对数据库的误用和滥用。第三, 这些零散的数据库之间还存在很多重复, 研究人员需要花费很多时间和精力来筛选。综上所述, 如何高效选择和有效地利用这些海量的生物多样性数据资源, 成为生态学家和保护生物学家在大数据时代面临的一大难题。

鉴于上述问题, 本文把与物种有关的数据库从物种分布、物种编目、系统发育和生活史性状4个方面进行分类, 并在其中选取一些有代表性的数据库资源, 对其发展历程、使用情况、使用方法等进

行简要介绍。鉴于邵广昭等(2014)已对海洋生物多样性的信息资源进行了较全面的总结, 我们的介绍将主要集中在陆地生态系统。另外, 生物多样性的研究也离不开与之紧密联系的环境要素, 张凤麟等(待发表)对这方面进行了总结。这些介绍既可以为研究人员了解和使用这些数据库提供桥梁, 也可以帮助我们了解生物多样性信息学的进展, 为我国相关领域的研究提供参考。

1 物种分布

历史的和当前的物种分布数据不仅可以作为物种的起源和分化等的重要证据, 也可以用来探究生物多样性维持机制, 分析当前的生物多样性保护现状、预测未来气候变化和人类活动影响下的物种灭绝风险等(张文驹和陈家宽, 2003)。在这一部分, 我们选取了5个应用较为广泛的物种分布数据库来详细介绍, 并对其他的39个与物种分布相关的数据库进行了简单整理(附录1)。

1.1 全球生物多样性信息网络(GBIF)数据集

全球生物多样性信息网络(Global Biodiversity Information Facility, GBIF; <http://www.gbif.org/>)成立于2001年, 是一个由政府资助的向全球提供生物多样性数据的机构。GBIF不仅包括物种名录和地理空间数据, 还包括原始标本和观测数据、蛋白质序列数据等(纪力强等, 2004; Yesson et al, 2007)。这些数据来自于分布世界各地的标本馆、博物馆、植物园、实验室以及公众科学(citizen science)等的数据库(张健等, 2013)。到2017年5月为止, 该数据库已经包括了动物、植物、真菌、细菌和古细菌等在内的170多万物种, 包含3万多个数据集、7亿多条记录。其中, 与动物相关的数据最多, 占72%以上, 其次为与植物相关的数据, 占24%以上。为促进中国的生物多样性数据的共享和GBIF数据在中国的利用, 中国科学院生物多样性委员会代表中国科学院于2013年9月正式加入GBIF, 成立了GBIF中科院节点(<http://www.gbifchina.org/>)。目前, 中国区域的数据总计超过354万条。

根据GBIF网站的不完全统计, 至2017年5月, 基于该数据库发表的研究论文或报告已有2,200多篇, 其中28篇在*Nature*、*Science*、*PNAS*等多个刊物

上发表(<http://www.gbif.org/mendeley>)。随着GBIF数据的不断增加, 基于该数据库发表的论文数量也在逐年上升(图1)。这些研究工作涉及新物种的发现、物种新分布记录、大尺度的生物多样性分布、保护规划、生物入侵、全球变化对生物多样性的影响等方面(GBIF, 2016)。例如, Zanne等(2014)利用从GBIF获取的全球范围内32,223种植物物种的物种分布数据, 结合系统发育、功能性状、气候等数据分析了植物在全球范围的迁移过程中是如何进化而抵御寒冷气候的。Van Kleunen等(2015)用来自大陆和岛屿的843个区域的13,168种植物物种的地理分布信息, 分析了在人类影响下全球范围的外来植物种入侵状况, 其中近4,000个物种的地理分布数据来自GBIF。Kerr等(2015)整合了GBIF数据库中的北美和欧洲共243,000个地理观察值, 研究气候变化对熊蜂属(*Bombus*) 67个物种地理分布的影响。

尽管GBIF数据获得了部分生态学家的关注, 然而很多生态学家还对GBIF数据在研究类群(taxon)和研究区域上的代表性持怀疑的态度。Meyer等(2015)整合了世界范围内21,170个陆地脊椎动物的15,700万份样点记录和物种分布图数据, 其中包括陆地鸟类9,712种, 陆地哺乳动物5,270种和两栖动物6,188种, 发现这些数据存在着极大的区域偏差, 尤其是在很多非西方国家, 如中国、印度、俄罗斯、印度尼西亚等。因此, 在GBIF数据的使用中, 研究人员还需要对数据进行多次核查, 尽可能地纠正或

删除一些错误的记录, 如地理坐标错误、同种异名问题等, 并与其他物种分布数据进行比较来评估数据质量(Meyer et al, 2016; Stropp et al, 2016)。

GBIF的数据面向公众开放, 在注明数据来源的前提下, 公众可以免费使用这些数据。目前的主要下载方式包括: (1)通过注册账号从GBIF网站直接下载; (2)用R语言的相关软件包下载, 如`rgbif` (Chamberlain, 2017; <https://CRAN.R-project.org/package=rgbif>)和`dismo` (Hijmans & Elith, 2017; <https://CRAN.R-project.org/package=dismo>); (3)用开源软件ModestR (García-Roselló et al, 2014; <http://www.ipez.es/ModestR/>)来下载和清理数据。

1.2 美国森林资源清查与分析项目(FIA)数据

美国森林资源清查与分析项目(Forest Inventory and Analysis, FIA; <https://www.fia.fs.fed.us/>)是美国林业部(U.S. Forest Service)下属的一个研究项目, 主要目的是向公众提供森林资源信息, 并对现有的管理方式和政策的可持续性进行评估。FIA自1928年开始, 已经有将近90年的历史, 经历了以森林木材为主的单项监测到多项资源监测再到现在的森林资源调查和森林健康监测3个阶段(肖兴威等, 2005)。目前, FIA采用三阶抽样布设样地, 以州为单位进行森林资源的清查, 每个州每年调查1/5的固定样地, 共监测样地超过20万个(Bechtold & Patterson, 2005)。调查数据包括物种名、胸径、树高、生长情况、林冠特征和环境条件等指标, 并对各样地的生物量、碳储量等进行估计。

基于这些数据, 近年来已经开展了森林管理、物种保护、气候变化适应对策等方面的很多工作, 对树木生长模型的改进有着重要的作用, 也为政府制定合适的物种优先保护政策提供了科学依据。例如, Caspersen等(2000)用美国东部5个州的20,000多个FIA样地数据来估计土地利用方式的改变对美国森林碳积累的作用。Zhu等(2012)选取了FIA中美国东部43,334个样地中的92个物种的分布数据, 研究了气候变化条件下成年树种和幼年树种的分布范围变化。Woodall等(2012)整合了FIA中美国48个州和阿拉斯加海岸共137,426个调查样地的数据, 分析了基于样地调查和模型估计的森林碳储量差异。Zhang等(2016)利用FIA和GBIF中7,465种北美植物物种的分布数据, 对气候变化、土地利用方式改变对北美植物灭绝风险的影响进行了研究。

图 1 基于 GBIF 数据在 2011–2016 年之间发表的论文统计 (数据来源: <http://www.gbif.org/mendeley>)

Fig. 1 The number of papers published between 2011–2016 using the GBIF data (Data source: <http://www.gbif.org/mendeley>)

FIA的数据对于公众是完全开放的,用户可以直接从网站下载普查地点的分布图,以及各个州2000年以前的森林调查数据(https://www.fia.fs.fed.us/tools-data/other_data/index.php),也可以在FIA DataMart下载2000年后的全部数据(<https://www.fia.fs.fed.us/tools-data/index.php>; <https://apps.fs.usda.gov/fia/datamart/>)。另外,由Ethan White研究组开发的工具The Data Retriever (<http://www.data-retriever.org/>)提供了两种方式来下载包括FIA数据在内的60多个生态学相关的数据集:一种是R语言包rdataretriever;另一种是基于命令行界面。

1.3 北美繁殖鸟类调查(BBS)数据及其他鸟类数据

北美繁殖鸟类调查(North American Breeding Bird Survey, BBS; <https://www.pwrc.usgs.gov/bbs/>)是一个长期、大规模地追踪北美鸟类种群现状和发展趋势的公众科学项目。BBS成立于1966年,主要监测北美繁殖鸟类种群的分布格局与数量变化(Sauer et al, 2012)。监测区域覆盖美国和加拿大大陆,有超过4,100条监测路线,监测鸟类超过650种。数据采集方式为:在每年鸟类繁殖的高峰期,沿着长约39.43 km的监测路线进行调查,每条路线设置大概50个记录点,在每个记录点,调查者在3 min内按照样点法记录距调查者约400 m范围内所有听到和看到的鸟类个体。

研究人员利用这些数据已经做了很多工作。例如, Meehan等(2010)选取BBS中265条线路记录的数据,分析在农业用地中,不同农作物的种植对中西部地区161种陆地鸟类丰富度和数量造成的影响。Stegen和Vellend (2013)整合了BBS中295条线路的监测数据,研究了25年间美国繁殖鸟类时间和空间周转(turnover)的驱动力。Fristoe (2015)选取BBS中2,274个繁殖鸟类群落的物种组成、丰度和地理分布数据,分析北美留鸟和候鸟在能量使用上的差异。Schipper等(2016)基于BBS中768条监测线路近40年的监测数据,对519种北美鸟类的种群动态进行了研究。与FIA相似, BBS的数据也是完全公开的,调查所得的原始数据和鸟类趋势估计资料都可以通过BBS网站(<http://www.pwrc.usgs.gov/bbs/dataentry/>)或The Data Retriever工具下载。

除BBS外,通过公众科学的方式来观察和记录鸟类多样性及其动态的项目还有很多(附录1)。例如,美国康奈尔鸟类学实验室和奥杜邦学会(Audubon

Society)于2002年发起的eBird项目(<http://ebird.org/content/ebird/>)和1900年由奥杜邦学会组织的圣诞节鸟类调查(Christmas Bird Count, CBC, <http://www.christmasbirdcount.org>)。这两个项目的主要目的都是收集以北美为主的各种鸟类观察数据,提供各时空尺度的鸟类多度和分布信息。据统计, eBird目前已有440多万份鸟类的照片数据、24万份声音数据和约4.6万份视频记录。研究人员利用这两个数据集也开展了很多工作。如La Sorte等(2016)采用eBird中353种鸟类的物种分布数据,分析了中纬度的极端气候对北美迁移鸟类的影响。Lafferty等(2013)采用CBC中78种鸟类的不同时空的数据,研究了加州南部鸟类的时空变化以及影响因素。这两个数据库都是面向公众完全开放的。

1.4 国际自然保护联盟(IUCN)物种空间分布数据

国际自然保护联盟(International Union for Conservation of Nature, IUCN)发布的全球濒危物种红色名录(<http://www.iucnredlist.org/>),将物种按照濒危程度划分为不同的等级,被认为是物种多样性健康状况的最具权威的指标,已经成为各个国家、地区及各类保护组织制定物种保护优先名录的重要依据。物种濒危等级划分的一个重要依据是各个物种的空间分布数据(<http://www.iucnredlist.org/technical-documents/spatial-data>)。2017版全球红色名录评估的85,000多个物种中大约2/3(~5万种)有空间分布数据。数据范围覆盖陆地、海洋、淡水等生态系统,包括哺乳动物、两栖动物、爬行动物、鱼类、鸟类和种子植物等。其中,鸟类的分布数据需通过国际鸟类联盟(BirdLife International)来获得。

基于IUCN濒危物种红色名录数据,研究人员已经开展了很多与濒危物种保护、保护规划、自然保护区管理、保护风险评估等相关的工作。例如, Rodrigues等(2004)使用IUCN数据库中11,633个陆地脊椎动物的物种分布范围图,对全球保护区域网络的有效性进行了评估。Grenyer等(2006)利用IUCN中全球范围内现存鸟类、哺乳动物和两栖动物共19,349个物种的分布数据,分析了稀有种和受威胁物种的分布情况和保护问题。Lenzen等(2012)整合了IUCN红色名录中171,828条有关国家、物种和受威胁原因等的记录,共6,964种动物物种的数据,针对国际贸易对发展中国家生物多样性造成的威胁进行了研究。Visconti等(2016)基于IUCN中所有现

存的陆生食肉动物和有蹄类动物中的长鼻目、奇蹄目、偶蹄目等共440个物种的分布数据,对物种响应全球变化进行了预测。

对于IUCN中的物种分布范围图可通过IUCN网站提供的工具包 IUCN Red List Toolbox for ArcMap、EOO Calculator、Mapbatcher等进行数据处理(<http://www.iucnredlist.org/technical-documents/red-list-training/iucnspatialresources>)。另外, Jenkins等(2013)把这些不同类群的物种分布数据进行了叠加,获得了各个类群物种多样性的全球分布图,并通过Biodiversity Mapping网站(<http://biodiversitymapping.org>)共享这些GIS的图层。

1.5 生物多样性对陆地生态系统的响应(PREDICTS)数据集

不同于以上4个数据集,生物多样性对陆地生态系统的响应(Projecting Responses of Ecological Diversity In Changing Terrestrial Systems, PREDICTS)是一个通过元分析(meta-analysis)的方法从已发表的文献或数据源来获得数据的研究项目(<http://www.predicts.org.uk/>),由英国自然史博物馆的Andy Purvis等发起。PREDICTS主要收集和整理在不同程度的人类干扰(土地利用方式的改变、环境污染、物种入侵等)下生物多样性变化的数据,目标是整合成一个具有地理学和分类学代表意义的数据库(Hudson et al, 2014, 2017)。PREDICTS中,数据分类群包括:脊椎动物、无脊椎动物和植物;生物多样性测量值包括:物种丰富度、丰度、均匀度、生物量等。项目调查全球和局域(local)尺度的生物多样性响应,包括特定国家和特定生物区系的响应。目前, PREDICTS包含来自26,000多个样点的320万条记录,内容覆盖超过47,000个物种(Hudson et al, 2017)。

尽管PREDICTS建立到现在只有几年的时间,基于该数据库已有13篇论文发表,其中1篇发表在*Nature*、1篇在*Science*、1篇在*Nature Communications*等(<http://www.predicts.org.uk/pages/outputs.html>)。Newbold等(2015)基于PREDICTS的11,525个样点的26,953个物种的数据,研究了人类活动对局域尺度的生物多样性的影响。Newbold等(2016)利用PREDICTS更新的200万份记录、40,000个陆生物种的数据,分析了人类干扰背景下的生物多样性完整性。Gray等(2016)整合了PREDICTS中全球359个陆

地保护区内部和周边的13,669个脊椎动物、无脊椎动物和植物物种的分布数据,对全球范围保护区内外的物种丰富度的差异进行比较,结果发现保护区内的物种丰富度和多度比保护区外分别高出10.6%和14.5%。这些研究工作和成果有助于理解区域和局域尺度上人为活动影响生物多样性变化的规律和机理,可为制定国家和全球尺度上有效的保护政策提供参考。

PREDICTS数据是完全公开的,定期会发布新版本。目前的版本是2016年12月更新的,可以通过以下链接直接下载: <http://data.nhm.ac.uk/dataset/the-2016-release-of-the-predicts-database>。

2 物种编目

物种编目是研究生态和进化的基础(Hebert & Gregory, 2005)。公信度高的、使用广泛的物种编目数据库对于生物多样性科学的发展有着至关重要的作用(洪德元, 2016)。为此,本部分选取了三个全球范围内使用比较广泛的物种编目数据库进行介绍。

2.1 世界植物种名录

世界植物种名录(The Plant List, TPL)是一个收录世界所有已知植物名称的网上植物搜索引擎(<http://www.theplantlist.org/>)。该网站于2010年建立,由英国邱园(Royal Botanic Gardens, Kew)和美国密苏里植物园(Missouri Botanical Garden)联合创办并提供技术支持。该名录主要基于他们长期建设维护的数据库,并整合其他全球及地区性数据库,包括被子植物、裸子植物、蕨类植物和苔藓植物。TPL提供绝大部分植物的拉丁接受名(accepted names)、异名(synonym)、未解决名称(unresolved names)以及误用名称(misapplied names),并依据数据源完整程度为每个名称标注星级可信度,包括从可信度最高(经过同行审查)的“★★★”到较低(例如存疑名称)的“★”,供读者选择。目前,该数据库共收集了642个科和17,020个属的植物名称。其中,植物拉丁名有106万个,其中接受名35万个,占33%;异名47万个,占44%(表1)。用户可以通过选择不同的分类群来浏览植物列表,也可以输入植物的接受名或异名来查询其相关的信息。

该数据库因为覆盖全球物种且可信度较高,在近年来被研究人员广泛使用。例如, Joppa等(2013)基于TPL校正的10万多个物种数据评估了当前保护

表 1 世界植物种名录(The Plant List)中的接受名、异名和未评估名数量及其比例

Table 1 The numbers and proportion of accepted names, synonyms and unassessed names of different kinds of plants in The Plant List

分类 Classification	接受名数量 Number of accepted names (%)	异名数量 Number of synonyms names (%)	尚未评估名数量 Number of unassessed names (%)
被子植物 Angiosperms	304,419 (32.0)	430,346 (45.2)	216,132 (22.7)
裸子植物 Gymnosperms	1,104 (23.7)	3,356 (72.2)	191 (4.1)
蕨类植物 Pteridophytes	10,620 (22.4)	14,503 (30.6)	22,316 (47.0)
苔藓植物 Bryophytes	34,556 (56.8)	22,419 (36.9)	3,830 (6.3)

区网络对生物多样性保护的有效性。Zanne等(2014)使用该数据对3万多个物种名称进行了校正,分析了物种的性状是如何响应不同气候梯度的。Van Kleunen等(2015)使用该数据库对1万多个物种名称进行校正,用以研究全球范围内的植物入侵问题。邱园2016年5月发布的《世界植物现状报告》也采用该数据库作为重要参考(RBG Kew, 2016)。

该数据库面向大众完全公开,目前的版本是v1.1。对于少量的植物名称的查询和校正,可以直接通过登录网站来操作;对于批量的数据则需要借助于其他软件来进行处理。我们了解到的方法有以下3种:(1)通过R语言“Taxonstand”包来处理(Cayuella et al, 2012),可以自动对植物名称进行标准化并修正拼写错误(王钧杰等, 2015);(2)通过在线网站Plantminer (<http://www.plantminer.com/>)或对应的R语言包“tpl” (<https://github.com/gustavobio/tpl>);(3)通过R语言包“plantlist”(Zhang, 2017),可以查询植物的科属,并可以基于中文名来查询其学名。

2.2 整合分类学信息系统

整合分类学信息系统(Integrated Taxonomic Information System, ITIS),是一个专门提供生物物种分类信息的机构(<https://www.itis.gov/>),由多个美国联邦机构发起,目前已扩充到北美洲,并逐渐向全球扩展。为提供准确、可靠的物种名称数据,ITIS建立了一系列的标准和规范。不同于TPL只有植物类群的数据,ITIS数据类型还包括了其他几乎所有的生物类群。目前,ITIS收集了包括维管植物、苔藓、地衣和海洋生物等不同类群的73万个拉丁名名称、12万个英文名名称,包含完整物种命名信息、分类阶元、数据源及相关文献等数据(邵广昭等, 2014)。

研究人员利用这些数据开展了物种鉴定、保护、生物入侵和物种分类等方面的工作。例如,Frieswyk等(2007)使用ITIS数据对466种植物名称进行校正,提出了一种在不同空间尺度下筛选和评估

优势种的新方法。Naisbit等(2012)基于ITIS校正的1,077个物种对食物网结构的决定因素进行研究。由各国生物学家协力编辑的生命大百科全书(Encyclopedia of Life, EOL, <http://www.eol.org/>)也采用ITIS的数据作为重要参考。

为了方便ITIS数据的使用,ITIS网站提供了两种工具(<https://www.itis.gov/tools.html>):一种是Taxon Compare,这个工具可以把已有的学名列表和ITIS数据库中的学名进行比较;另一种是Taxonomic Workbench,这个工具主要用于新数据的提交。另外,R语言包“ritis”提供了数十个方程(functions),以方便研究人员进行数据的核查和校正(<https://github.com/ropensci/ritis>)。

2.3 全球生物物种名录

全球生物物种名录(Catalogue of Life, CoL)是一个具有综合性和权威性的全球物种索引网站(<http://www.catalogueoflife.org>)。CoL与物种2000(Species 2000, <http://www.sp2000.org/>)和ITIS等多个组织都有很深入的合作,旨在减少重复工作,更好地利用资源,创建一个普遍认可和标准一致的生物物种名录(王利松等, 2010)。CoL的数据来自全球170多个物种分类数据库和300多位专家的贡献。迄今为止已经收集了包括动物、植物、微生物等共1,686,879种现存物种和50,896个灭绝物种学名、分类等级以及分布信息,并且还在不断更新中。为了促进我国物种编目信息的发展和更好的应用,我国于2006年创建了物种2000中国节点(<http://www.sp2000.org.cn/>),由中国科学院生物多样性委员会、植物研究所、动物研究所、微生物研究所、海洋研究所等共同维护和管理,迄今为止已经收录了80,390个物种的信息(马克平, 2015)。在物种2000中国节点的推动下,我国还进一步创建了专门收集高等植物种类的中国高等植物信息系统(<http://www.etaxonomy.ac.cn/>)。

CoL是面向公众完全开放的, 科研人员利用网站的数据在生物多样性研究、数据库建设和物种保护方面做了很多的工作。例如, 在GBIF和网络生命大百科(<http://eol.org/>)等数据门户中, CoL的物种名录数据被用作主要的分类标准, 成为网站数据整理和比较的一个重要参考。Newbold等(2015)利用CoL数据对26,953个物种名称进行分类校正, 用以研究全球土地利用状况对局域(local)尺度的陆地生物多样性的影响。Camilo等(2011)基于CoL现存有效物种的学名和分类信息, 对地球陆地和海洋生态系统的总物种数量进行估计, 得出全球约有870万个真核物种存在的结论。

3 系统发育树

系统发育树或谱系树(phylogenetic tree)在研究生命起源、生物类群亲缘关系、生物地理分布、生

物多样性维持等方面发挥着重要的作用(Brooks et al, 1992; 鲁丽敏等, 2014)。近年来, 随着组学和计算机技术的快速发展, 以系统发育树为基础的生物地理学和生物多样性研究已经成为一个新的研究热点(Hall, 2013), 并且建立了很多覆盖不同类群、不同区域、不同分辨率的系统发育树。本部分分别从植物、鸟类、哺乳动物、两栖和爬行动物以及综合数据库这5个方面, 对系统发育数据进行简要总结(图2)。

3.1 植物

在植物群落生态学和宏生态学研究, 系统发育方法近年来的广泛流行部分得益于Campbell Webb等开发的两个工具: 一个是用来构建系统发育树的在线工具Phyloomatic (<http://phylodiversity.net/phyloomatic/>; Webb & Donoghue, 2005), 另一个是用来分析群落系统发育结构与性状进化的软件

图 2 不同类群的系统发育树。(a) 31,749 种种子植物(Zanne et al, 2014); (b) 9,993 种鸟类(Jetz et al, 2012); (c) 4,510 种哺乳动物(Bininda-Emonds et al, 2007); (d) 4,161 种两栖和爬行类动物(Pyron et al, 2013)。图中的系统发育树是分别从 4 个类群的系统发育树中随机选取 500 个物种而生成的。

Fig. 2 Phylogenetic trees of different taxa. (a) 31,749 species of seed plants (Zanne et al, 2014); (b) 9,993 species of birds (Jetz et al, 2012); (c) 4,510 species of mammals (Bininda-Emonds et al, 2007); (d) 4,161 amphibians and reptiles (Pyron et al, 2013). The phylogenetic trees showed here contain 500 species randomly sampled from the mega-phylogeny of each taxon.

Phylocom (<http://phylodiversity.net/phylocom/>; Webb et al, 2008)。Phyloomatic的早期版本使用Wikström的分化时间(Wikström et al, 2001)和BLADJ方法(Webb et al, 2008)来构建系统发育树,但由于这个方法所建的树分辨率相对较低,不能满足相关研究的需要。从2015年开始,Phyloomatic整合了Zanne等(2014)的进化树骨架,可以由此直接获得有枝长的进化树。Zanne等(2014)从GenBank中选取18S rDNA、26S rDNA、ITS、*matK*、*rbcL*、*atpB*和*trnL-F*这7个基因片段,采用最大似然法构建了全球范围内31,749个种子植物物种的系统发育树(图2a)。Burleigh等(2012)采用最大似然法构建了包含88个属的739个裸子植物物种的系统发育树,其中使用了质体、线粒体基因位点、18S rDNA、26S rDNA和内部转录间隔区(ITS)序列片段的共4,511,144个核苷酸信息。Lehtonen (2011)用简约法(parsimony)和最大似然法构建了蕨类植物2,656个分类群的系统发育树,数据包括来自GenBank中*atpA*、*atpB*、*rbcL*和*rps4*等4种基因的共5,166个分子序列。另外,进化生物学家也针对单个的科或属构建了一些非常详细的系统发育树,如:棕榈科(Faurby et al, 2016)、蔷薇亚纲(Sun et al, 2016)、毛茛科(Wang et al, 2016)、菊科(Fu et al, 2016)、五加科(Li & Wen, 2016)等。

我国科学家在植物不同类群、不同分类等级的生命树构建中也做了很多工作。2016年在*Journal of Systematics and Evolution*出版的“生命之树:中国项目”专刊对这方面的工作进行了介绍(Chen et al, 2016a),其中包括Chen等(2016b)基于6,098个物种和13,695个DNA序列构建的我国维管束植物属水平的系统发育树,代表323个科中的3,114个属,并提供了在线建树工具SoTree (<http://www.darwintree.cn/flora/index.shtml>)。

3.2 鸟类

鸟类系统发育树的研究已经有很长的历史(Dyke & Tuinen, 2004; Ericson et al, 2006; Hackett et al, 2008),由耶鲁大学Walter Jetz及其研究团队在2012年发表在*Nature*上的9,993种鸟类物种的进化树是其中最具有影响的工作之一(Jetz et al, 2012)。文中系统发育树是利用6,663种鸟类的基因信息等数据,采用贝叶斯方法构建而成(图2b),其中数据信息包括来自8种基因的核基因内含子,来自4种基因的核基因外显子和4种线粒体内的蛋白质编码基

因。该数据可以通过Birdtree网站(<http://birdtree.org/>)免费下载。基于这一数据,研究人员已在生物多样性保护和鸟类进化等方面开展了很多工作。基于Web of Science的统计,在4年多的时间内,该文章已经被引用567次,研究内容涉及鸟类进化(Jetz et al, 2014; Healy et al, 2014)、多样性纬度梯度(Smith et al, 2014; Pulido-Santacruz & Weir, 2016)、鸟类对气候变化的响应(Khaliq et al, 2014; Jarzyna & Jetz, 2017)等。除Birdtree外,Prum等(2015)对鸟类分化时间进行分析时,所采用的数据包括198种现存鸟类的基因序列,每种鸟提取超过390,000个碱基序列,最终构成 7.8×10^7 个碱基的数据集,进而用贝叶斯和最大似然法两种方法构建系统发育树。Jarvis等(2014)用最大似然法构建能够代表新鸟下纲中所有目的48种鸟类在基因组水平上的系统发育树,所用数据包括8,251个外显子、2,516个内含子等构成的4,180万个碱基对。Zhang等(2014)基于现存分化支上48种鸟类的不同大小的基因组数据,通过与哺乳动物、爬行动物、人类的基因进行比较,分析了现存鸟类基因组的进化和适应情况,发现鸟类蛋白质编码基因和基因非编码区域并不是中性进化,而是与适应的生活方式产生共变,并且与性状趋同进化。

3.3 哺乳动物

基于高分辨率的系统发育数据,研究人员开展了许多包括人类在内的哺乳动物起源和进化问题的研究,采用不同的方法构建了多个全球范围内哺乳动物系统发育树。例如,Bininda-Emonds等(2007)采用贝叶斯方法估计分化时间,用最大似然法决定分化支的长短,构建了包含4,510种哺乳动物的系统发育树(图2c)。O'Leary等(2013)用27个核基因数据,并结合4,541个性状数据和40个物种的化石数据构建了哺乳动物的系统发育树。Faurby等(2015)用启发式层次贝叶斯方法(heuristic-hierarchical Bayesian)构建了现存和第四纪末期灭绝的共5,747种哺乳动物的系统发育树。

3.4 两栖和爬行动物

在两栖和爬行类动物系统发育方面所做的工作有:Pyron等(2011)采用最大似然法对2,871个物种进行系统发育分析,分子数据来自每个抽样物种9个核基因和3个线粒体基因的12,712个碱基对序列,9个核基因分别是CXCR4、H3A、NCX1、POMC、RAG1、RHOD、SIA、SLC8A3和TYR;3个线粒体

基因分别是*cyt-b*、12S和16S。Fritz和Rahbek (2012) 结合6,111个两栖物种的分布数据构建了全球范围内的系统发育树, 并利用2,792个物种的系统发育分子数据进行重复分析, 发育树中包含了物种属水平的403个节点(nodes)。Pyron等(2013)利用来自12个基因的分子数据, 采用最大似然法构建了4,161个爬行动物的系统发育树(图2d)。其中, 7个为核基因, 分别是BDNF、c-mos、NT3、PDC、R35、RAG-1和RAG-2; 5个为线粒体基因, 分别是12S、16S、RNAs、*cyt-b*、ND2和ND4。

3.5 所有类群

以上述各个类群的系统发育树为基础, 科学家们开始构建地球上所有生物的生命之树(Hinchliff et al, 2015)。Open Tree of Life (OTL; <http://opentreelife.org/>)是一个应用自动化程序对已发表的系统发育树数据进行整合并重新构建而成的生命树, 目前整合了230多万个末端分支(tips)。数据来源于TreeBASE、Dryad和其他已发表的共3,062项研究中的6,810个发育树。OTL数据可以通过网站直接搜索相关分支免费下载, 也可以用R语言包rotl来进行数据下载、分析和可视化等(Michonneau et al, 2016; <https://github.com/ropensci/rotl>)。

4 物种的生活史性状

物种的生活史性状是生物对生长环境响应和适应的表现, 与生态系统功能之间有着密切的联系(McGill et al, 2006)。性状数据库的建立和分享对于研究物种生活史、生物多样性维持、种内及种间关系、生态系统功能等方面发挥着重要作用(Kraft et al, 2015; 刘晓娟和马克平, 2015; Kunstler et al, 2016)。本节从植物、鸟类、哺乳动物、两栖和爬行动物这4个类群来介绍有关其生活史性状的数据资源。

4.1 植物

植物生活史性状数据的收集至少可以追溯到丹麦植物学家Christen Raunkiaer (1860–1938)。近年来, 植物学家和生态学家也一直在收集和整理这些数据, 如: 邱园的植物种子信息数据库(<http://data.kew.org/sid/>)、木材密度数据(Chave et al, 2009)、北美植物分布与生活史数据(<http://plants.usda.gov/java/>)等。各种各样的植物性状数据库从一开始收集区域性零散的数据, 到现在整合全球范围内多种性状数据, 正朝着越来越广泛和全面的方向发展。

TRY (Plant Trait Database; <https://www.try-db.org/>)作为其代表之一, 建于2007年, 是一个收集全球范围内多种来源的植物功能性状, 并进行数据标准化的平台(Kattge et al, 2011)。TRY目前共收集了690万个性状记录, 记录内容超过260万个个体, 包括代表14万个物种的1,800余种性状。网站中大约一半的数据是与地理分布相关的, 测量点超过12,000个, 测量范围覆盖全球(图3a)。数据只有一小部分是公开的, 获取数据需要通过TRY提交申请。

近年来, 研究人员基于TRY数据已开展了很多工作(图3b)。例如: Newbold等(2015)利用了TRY中2,554种植物的株高等数据, 分析了样地水平的物种组成和多样性。Díaz等(2015)采用来自TRY中423个科的46,085种维管植物共50万个植物个体的80万个性状测量值, 在全球范围内对与植物生长、存活和繁殖至关重要的成年株高、比茎重、叶面积、比叶重、传播体质量等性状间的关系进行了分析。Kunstler等(2016)整合了TRY中木材密度、比叶面积和最大高度这3种性状信息和全球14万个监测样地中超过300万棵树的生长数据, 研究全球植物的功能性状对群落竞争强弱的影响。

除TRY外, 其他机构或研究组也在积极推动植物性状数据的收集、整理和贡献。如: EOL TraitBank (<http://eol.org/traitbank>)数据库, 其中的数据来自1,100多万份记录, 有超过170万物种的330个属性。Engemann等(2016)整合了美洲北部、中部和南部的67,413种维管植物的性状信息, 数据源来自BIEN (Botanical Information and Ecology Network)、TRY、北美植物分布与生活史数据等。Geng等(2017)发布了中国草地的两套植物物种性状数据, 一套数据包括来自173个样点的170个物种的13个叶性状, 另一套是来自82个样点的139个物种的叶片和细根相关的性状。Wang等(2017)整理了中国122个野外样点的1,215个植物物种的植物形态、物理、化学和光合作用等的功能性状数据, 这些样点从我国的寒温带至热带地区都有分布, 覆盖了荒漠、草原、森林等植被类型。

4.2 鸟类

鸟类的生活史性状数据大多以不同的形式和语言零散地分布在区域性的观鸟手册、研究论文、研究报告中。为便于鸟类研究者对这些数据的使用, Wilman等(2014)整合了58个数据源, 建立了全球几

TRY数据分布点(绿色)和机构所在地(红色)
Measurement sites (green) and Institutes (red) involved in TRY

图3 植物性状数据库TRY中的现有数据分布(<https://www.try-db.org/>)(a)和基于TRY数据在2011–2016年发表的论文统计(b)
Fig. 3 Current data occurrences involved in plant traits database TRY (<https://www.try-db.org/>)(a) and the number of papers citing data from TRY between 2011 and 2016 (b).

乎所有现存鸟类(9,993种)的性状数据集,主要包括的性状有食性、生境偏好、体型大小等。该数据是以著名动物生态学家Charles Elton (1900–1991)的名字命名的数据库“EltonTraits”的一部分,可以通过*Ecology*杂志网站下载(<http://www.esapubs.org/archive/ecol/E095/178/default.php>)。该数据自发布到现在的3年时间内,已经获得了很多关注和应用。如:Belmaker和Jetz (2015)运用了EltonTraits中鸟类和哺乳动物饮食、体重、活动周期、觅食高度和水域/陆地觅食等6种性状数据,并将性状信息量化为物种在不同生态位中的作用,从而探究全球范围内影响鸟类和哺乳动物丰富度梯度的驱动因子。Keil等(2015)利用EltonTraits中鸟类和哺乳动物的饮食、体型大小、活动时间、白天的活动模式和水域/陆地觅食这些性状数据,作为衡量生物多样性的一个指标来分析栖息地损失和多样性降低之间的关系。Jarzyna和Jetz (2017)采用了EltonTraits中494种北美鸟类体型大小、饮食、觅食环境、栖息地类型等性状数据和北美BBS数据,对近50年来鸟类的功能多样性变化进行了研究。

4.3 哺乳动物

EltonTraits除包括鸟类数据外,也整合了5,400种哺乳动物的生活史和性状数据。这些数据来自176个不同的数据源,主要包括的性状有食性、生境偏好、体型大小等(Wilman et al, 2014)。另外, Kissling等(2014)通过整合PanTHERIA数据(Jones et al, 2009)、Price等(2012)整理的1,530种哺乳动物的食性数据和其他数据源,采用2,033种哺乳动物

的物种等级的性状数据,用分级外推的方法对其他3,331种哺乳动物的缺失信息进行补充,进而建立了一个综合的全球5,364种哺乳动物饮食偏好数据集“MammalDIET”。近年来,这些哺乳动物的生活史与性状数据已应用在气候变化条件下的生态系统组成与结构动态(Smith et al, 2009)、灭绝风险评估(Fritz et al, 2009; Pacifici et al, 2015)、功能多样性变化(Oliveira et al, 2016)和物种保护(Hilbers et al, 2016)等工作中。

4.4 两栖和爬行动物

相比较以上3个生物类群,在全球范围内,两栖和爬行动物的生活史性状数据整合的工作开展相对较晚。IUCN红色名录和AmphibiaWeb(<http://www.amphibiaweb.org/>)等虽然包括了部分关于两栖和爬行动物生活史的数据,但多以文本描述的形式来呈现,很难应用于数量化的分析。在欧洲,Trochet等(2014)整理了304篇文献中86种欧洲两栖动物生活史性状的数据,包括的性状有个体形态、繁殖策略、运动能力、生境偏好等44种;Grimm等(2014)对欧洲122种爬行动物的性状数据进行了整理,包括寿命、栖息环境、活动范围、性成熟期和形态等(<https://doi.org/10.5061/dryad.hb4ht>)。直到最近,Allen等(2017)在全球两栖和爬行动物的入侵潜力评估研究中,整理了5,716种两栖动物和9,046种爬行动物的生活史性状数据。其中两栖动物的性状数据包括体长、产卵量、卵的大小、性成熟期、生殖期限等;爬行动物的性状数据包括体重、幼体重量、产卵量、生殖方式等。部分数据可以通过Dryad

网站(<http://datadryad.org/resource/doi:10.5061/dryad.2d7b0>)获得。

基于上述这些生活史性状数据开展的研究工作有: Foden等(2013)基于7个性状分类的数据对6,204种两栖类物种并综合鸟类和珊瑚物种进行评估, 分析全球范围内最易受气候影响的物种。Garcia等(2014)整合了195个撒哈拉沙漠以南的两栖物种性状数据, 分析了气候变化对两栖动物分布的影响。Trakimas等(2016)基于两栖动物与扩散能力相关的身体大小、繁殖力、寿命、栖息环境专一性等数据, 对欧洲两栖动物的分布地理格局进行了分析。Tsianou和Kallimanis (2016)利用85种两栖动物的12种性状数据, 对两栖动物功能多样性的空间格局进行了研究。

5 小结

基于以上的关于物种分布、编目、系统发育和生活史性状相关数据库的建设和使用情况的介绍, 可以发现生物多样性研究人员在数据的搜集、整合、查询和利用等方面都已经做出了很多努力, 并取得了不少有影响力的研究成果。需要指出的是, 由于笔者知识有限和新的生物多样性数据不断涌现, 我们在正文部分所选取的这些数据库并不能覆盖这方面的所有进展, 也难以包括所有的生态系统类型。有关陆地生态系统物种分布的一些主要数据库我们也在附录部分进行了列举(附录1)。如: EOL网络生命大百科(<http://eol.org/>)、NatureServe提供的北美洲和拉丁美洲的物种分布和生活史数据(<http://www.natureserve.org/>)、AntWeb的全球蚂蚁数据(<https://www.antweb.org/>)、AnAge动物衰老和寿命数据库(De Magalhaes & Costa, 2009)等。海洋生物多样性的主要数据库(如: 世界鱼类数据库FishBase, <http://www.fishbase.org/>; 世界海洋生物物种登录WoRMS, <http://www.marinespecies.org/>), 邵广昭等(2014)已对其进行了较全面的总结, 在本文中我们未再涉及。

我国在促进生物多样性在线资源建设以及数据共享中也取得了诸多成果(王利松等, 2010; 马克平, 2014)。除文中已经提到的GBIF中国科学院节点、物种2000中国节点、中国高等植物信息系统、中国维管植物属水平的系统发育树、中国草地的两套物种性状数据等以外, 我国还构建了拥有超过

1,300万份的数字化标本的国家标本资源共享平台(National Specimen Information Infrastructure, NSII, <http://www.nsii.org.cn/2017/>)、中国自然标本馆(Chinese Field Herbarium, CFH, <http://www.cfh.ac.cn/>)、亚洲生物多样性保护与信息网络(ABCDNet, www.abcdn.org/)以及正在建设和完善中的亚洲植物多样性数字计划MAP (Mapping Asia Plants)等。这些都为我国在生物多样性信息学方面的发展提供了重要支持。

除了这些针对性较强的生物多样性数据网站外, 很多期刊都将已发表文章的数据放在专门进行数据储存和管理的机构, 如: Dryad (<http://datadryad.org>)和Figshare (<http://figshare.com/>)。同时, 也出现了越来越多的数据期刊, 如自然出版集团的杂志*Scientific Data*、出版商Pensoft创办的数据期刊*Biodiversity Data Journal*等(李俊洁和黄晓磊, 2016)。另外, 各种各样的公众科学项目也在不断地为生物多样性研究工作提供海量的数据(张健等, 2013), 如本文中介绍的北美繁殖鸟类调查(BBS)项目、eBird项目、中国自然标本馆(<http://www.cfh.ac.cn/>)等(附录1)。

总之, 大量生物多样性数据共享平台的发展以及不同类群、不同层级、不同维度的多样性数据的大量积累, 将极大地促进生物多样性科学的发展, 一方面有助于回答生物多样性的起源与维持等科学问题, 另一方面也极大地有利于解决当前面临的很多生物多样性保护的现实问题。同时, 面对数据库多而杂的问题, 除了数据资源的有效整理外, 未来数据库的发展需要更多的开放数据政策和标准统一的数据格式, 同时也需要更多的研究人员参与到数据获取、共享、管理和挖掘中来, 以此推动生物多样性信息学的发展。

参考文献

- Allen WL, Street SE, Capellin I (2017) Fast life history traits promote invasion success in amphibians and reptiles. *Ecology Letters*, 20, 222–230.
- Bechtold WA, Patterson PL (2005) The Enhanced Forest Inventory and Analysis Program: National Sampling 258 Design and Estimation Procedures. General Technical Report, SRS-80 edition. USDA Forest Service, Southern Research Station, Asheville, NC.
- Belmaker J, Jetz W (2015) Relative roles of ecological and energetic constraints, diversification rates and region history

- on global species richness gradients. *Ecology Letters*, 18, 563–571.
- Bininda-Emonds ORP, Cardillo M, Jones KE, Macphee RDE, Beck RMD, Grenyer R, Purvis A (2007) The delayed rise of present-day mammals. *Nature*, 446, 507–512.
- Brooks DR, Mayden RL, McLennan DA (1992) Phylogeny and biodiversity: conserving our evolutionary legacy. *Trends in Ecology and Evolution*, 7, 55–59.
- Brown JH (1995) *Macroecology*. Chicago University Press, Chicago.
- Burleigh JG, Barbazuk WB, Davis JM, Morse AM, Soltis PS (2012) Exploring diversification and genome size evolution in extant gymnosperms through phylogenetic synthesis. *Journal of Botany*, 2012, 292857.
- Camilo M, Tittensor DP, Sina A, Simpson AGB, Boris W (2011) How many species are there on earth and in the ocean? *PLoS Biology*, 9, e1001127.
- Caspersen JP, Pacala SW, Jenkins JC (2000) Contributions of land-use history to carbon accumulation in U.S. forests. *Science*, 290, 1148–1152.
- Cayuela L, Granzow-de la Cerda, Albuquerque FS, Golicher DJ (2012) Taxonstand: an R package for species names standardisation in vegetation databases. *Methods in Ecology and Evolution*, 3, 1078–1083.
- Chamberlain S (2017) *rgbif*: Interface to the Global “Biodiversity” Information Facility “API”. R package version 0.9.9. <https://CRAN.R-project.org/package=rgbif>. (accessed on 2017-11-30)
- Chave J, Coomes D, Jansen S, Lewis SL, Swenson NG, Zanne AE (2009) Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters*, 12, 351–366.
- Chen ZD, Lu AM, Zhang SZ, Wang QF, Liu ZJ, Li DZ, Wen J (2016a) The tree of life: China project. *Journal of Systematics and Evolution*, 54, 273–276.
- Chen ZD, Yang T, Lin L, Lu LM, Li HL, Sun M, Liu QX (2016b) Tree of life for the genera of Chinese vascular plants. *Journal of Systematics and Evolution*, 54, 277–306.
- De Magalhaes JP, Costa J (2009) A database of vertebrate longevity records and their relation to other life-history traits. *Journal of Evolutionary Biology*, 22, 1770–1774.
- Díaz S, Kattge J, Cornelissen JHC, Wright IJ, Lavorel S, Dray S, Gorné LD (2015) The global spectrum of plant form and function. *Nature*, 529, 1–17.
- Dyke GJ, Tuinen MV (2004) The evolutionary radiation of modern birds (Neornithes): reconciling molecules, morphology and the fossil record. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 141, 153–177.
- Engemann K, Sandel B, Boyle B, Enquist BJ, Jørgensen PM, Kattge J, Violle C (2016) A plant growth form dataset for the New World. *Ecology*, 97, 3243.
- Ericson PG, Zuccon D, Ohlson JJ, Johansson US, Alvarenga H, Prum RO (2006) Higher-level phylogeny and morphological evolution of tyrant flycatchers, cotingas, manakins, and their allies (Aves: Tyrannida). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 40, 471–483.
- Faurby S, Eisehardt WL, Baker WJ, Svenning JC (2016) An all-evidence species-level supertree for the palms (Arecaceae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 100, 57–69.
- Faurby S, Svenning JC (2015) A species-level phylogeny of all extant and late Quaternary extinct mammals using a novel heuristic-hierarchical Bayesian approach. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 84, 14–26.
- Foden WB, Butchart SH, Stuart SN, Vié JC, Akçakaya HR, Angulo A (2013) Identifying the world’s most climate change vulnerable species: a systematic trait-based assessment of all birds, amphibians and corals. *PLoS ONE*, 8, e65427.
- Frieswyk CB, Johnston CA, Zedler JB (2007) Identifying and characterizing dominant plants as an indicator of community condition. *Journal of Great Lakes Research*, 33, 125–135.
- Fristoe TS (2015) Energy use by migrants and residents in North American breeding bird communities. *Global Ecology and Biogeography*, 24, 406–415.
- Fritz SA, Bininda-Emonds ORP, Purvis A (2009) Geographical variation in predictors of mammalian extinction risk: big is bad, but only in the tropics. *Ecology Letters*, 12, 538–549.
- Fritz SA, Rahbek C (2012) Global patterns of amphibian phylogenetic diversity. *Journal of Biogeography*, 39, 1373–1382.
- Fu ZX, Jiao BH, Nie B, Zhang GJ, Gao TG, Chen ZD, Liu QX (2016) A comprehensive generic-level phylogeny of the sunflower family: implications for the systematics of Chinese Asteraceae. *Journal of Systematics and Evolution*, 54, 416–437.
- García RA, Araújo MB, Burgess ND, Foden WB, Gutsche A, Rahbek C (2014) Matching species traits to projected threats and opportunities from climate change. *Journal of Biogeography*, 41, 724–735.
- García-Roselló E, Guisande C, Heine J, Pelayo-Villamil P, Manjarrés-Hernández A, González Vilas L, González-Dacosta J, Vaamonde A, Granado-Lorencio C (2014) Using ModestR to download, import and clean species distribution records. *Methods in Ecology and Evolution*, 5, 708–713.
- GBIF (2016) GBIF Science Review. Global Biodiversity Information Facility. <http://www.gbif.org/resource/82873> (accessed on 2017-11-30)
- Geng Y, Ma W, Wang L, Baumann F, Kühn P, Scholten T, He JS (2017) Linking above- and belowground traits to soil and climate variables: an integrated database on China’s grassland species. *Ecology*, 98, 1471.
- Gray C, Hill SL, Newbold T, Hudson LN, Börger L, Contu S, Scharlemann JP (2016) Local biodiversity is higher inside than outside terrestrial protected areas worldwide. *Nature Communications*, 7, 12306.
- Grenyer R, Orme CDL, Jackson SF, Thomas GH, Davies RG, Davies TJ, Ding TS (2006) Global distribution and conservation

- of rare and threatened vertebrates. *Nature*, 444, 93–96.
- Grimm A, Ramírez AMP, Moulherat S, Reynaud J, Henle K (2014) Life-history trait database of European reptile species. *Nature Conservation*, 9, 45–67.
- Hackett SJ, Kimball RT, Reddy S, Bowie RC, Braun EL, Braun MJ, Huddleston CJ (2008) A phylogenomic study of birds reveals their evolutionary history. *Science*, 320, 1763–1768.
- Hall BG (2013) Building phylogenetic trees from molecular data with MEGA. *Molecular Biology and Evolution*, 30, 1229–1235.
- Hampton SE, Strasser CA, Tewksbury JJ, Gram WK, Budden AE, Batcheller AL, Porter JH (2013) Big data and the future of ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11, 156–162.
- Healy K, Guillerme T, Finlay S, Kane A, Kelly SB, McClean D, Cooper N (2014) Ecology and mode-of-life explain life-span variation in birds and mammals. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 281, 20140298.
- Hebert PD, Gregory TR (2005) The promise of DNA barcoding for taxonomy. *Systematic Biology*, 54, 852–859.
- Hijmans RJ, Elith J (2017) Species Distribution Modeling With R. R package Version 1.1–4. <https://CRAN.R-project.org/package=dismo> (accessed on 2017-11-30)
- Hilbers JP, Santini L, Visconti P, Schipper AM, Pinto C, Rondinini C, Huijbregts MA (2016) Setting population targets for mammals using body mass as a predictor of population persistence. *Conservation Biology*, 31, 385–393.
- Hinchliff CE, Smith SA, Allman JF, Burleigh JG, Chaudhary R, Coghill LM (2015) Synthesis of phylogeny and taxonomy into a comprehensive tree of life. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 112, 12764–12769.
- Hong DY (2016) Biodiversity pursuits need a scientific and operative species concept. *Biodiversity Science*, 24, 979–999. (in Chinese with English abstract) [洪德元 (2016) 生物多样性事业需要科学、可操作的物种概念. *生物多样性*, 24, 979–999.]
- Hortal J, de Bello F, Diniz-Filho JAF, Lewinsohn TM, Lobo JM, Ladle RJ (2015) Seven shortfalls that beset large-scale knowledge of biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 46, 523–549.
- Hudson LN, Newbold T, Contu S, Hill SLL, Lysenko I, De Palma A, Purvis A (2014) The PREDICTS database: a global database of how local terrestrial biodiversity responds to human impacts. *Ecology and Evolution*, 4, 4701–4735.
- Hudson LN, Newbold T, Contu S, Hill SLL, Lysenko I, De Palma A, Purvis A (2017) The database of the PREDICTS (Projecting Responses of Ecological Diversity in Changing Terrestrial Systems) project. *Ecology and Evolution*, 7, 145–188.
- Jarvis ED, Mirarab S, Abere AJ, Li B, Houde P, Li C (2014) Whole-genome analyses resolve early branches in the tree of life of modern birds. *Science*, 346, 1320–1331.
- Jarzyna MA, Jetz W (2017) A near half-century of temporal change in different facets of avian diversity. *Global Change Biology*, 23, 2999–3011.
- Jenkins CN, Pimm SL, Joppa LN (2013) Global patterns of terrestrial vertebrate diversity and conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 110, E2602–E2610.
- Jetz W, Thomas GH, Joy JB, Hartmann K, Mooers AO (2012) The global diversity of birds in space and time. *Nature*, 491, 444–448.
- Jetz W, Thomas GH, Joy JB, Redding DW, Hartmann K, Mooers AO (2014) Global distribution and conservation of evolutionary distinctness in birds. *Current Biology*, 24, 919–930.
- Ji LQ, Qiao HJ, Xie BG (2004) GBIF, The Global Biodiversity Information Facility: its organization, activities, programme and information services. In: *Advances in Biodiversity Conservation and Research in China VI: Proceedings of the Sixth National Biodiversity Conservation and Sustainable Utilization Conference* (ed. Ma KP), pp.79–141. China Meteorological Press, Beijing. (in Chinese with English abstract) [纪力强, 乔慧捷, 谢本贵 (2004) 全球生物多样性信息网络(GBIF)介绍: 组织、活动、项目和信息服务. 见: *中国生物多样性保护与研究进展VI——第六届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集*(马克平主编), 79–141页. 气象出版社, 北京.]
- Jones KE, Bielby J, Cardillo M, Fritz S, O'Dell J, Orme CDL, Purvis A (2009) PanTHERIA: a species-level database of life history, ecology, and geography of extant and recently extinct mammals. *Ecology*, 90, 2648.
- Joppa LN, Visconti P, Jenkins CN, Pimm SL (2013) Achieving the convention on biological diversity's goals for plant conservation. *Science*, 341, 1100–1103.
- Kattge J, Diaz S, Lavorel S, Prentice IC, Leadley P, Bönsch G, Cornelissen JHC (2011) TRY—a global database of plant traits. *Global Change Biology*, 17, 2905–2935.
- Keil P, Storch D, Jetz W (2015) On the decline of biodiversity due to area loss. *Nature Communications*, 6, 8837.
- Kerr JT, Pindar A, Galpern P, Packer L, Potts SG, Roberts SM, Pantoja A (2015) Climate change impacts on bumblebees converge across continents. *Science*, 349, 177–180.
- Khaliq I, Hof C, Prinzinger R, Böhning-Gaese K, Pfenninger M (2014) Global variation in thermal tolerances and vulnerability of endotherms to climate change. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 281, 20141097.
- Kissling WD, Dalby L, Fløjgaard C, Lenoir J, Sandel B, Sandom C, Svenning JC (2014) Establishing macroecological trait datasets: digitalization, extrapolation, and validation of diet preferences in terrestrial mammals worldwide. *Ecology and Evolution*, 4, 2913–2930.
- Kraft NJ, Godoy O, Levine JM (2015) Plant functional traits and the multidimensional nature of species coexistence. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*,

- 112, 797–802.
- Kunstler G, Falster D, Coomes DA, Hui F, Kooyman Robert M, Laughlin DC, Ruiz-Benito P (2016) Plant functional traits have globally consistent effects on competition. *Nature*, 529, 1–15.
- La Sorte FA, Hochachka WM, Farnsworth A, Dhondt AA, Sheldon D (2016) The implications of mid-latitude climate extremes for North American migratory bird populations. *Ecosphere*, 7, e01261.
- Lafferty KD, Rodriguez DA, Chapman A (2013) Temporal and spatial variation in bird and human use of beaches in southern California. *SpringerPlus*, 2, 38–51.
- Lehtonen S (2011) Towards resolving the complete fern tree of life. *PLoS ONE*, 6, e24851.
- Lenzen M, Moran D, Kanemoto K, Foran B, Lobefaro L, Geschke A (2012) International trade drives biodiversity threats in developing nations. *Nature*, 486, 109–112.
- Li JJ, Huang XL (2016) Analysis of publication trends of biodiversity data papers. *Biodiversity Science*, 24, 1317–1324. (in Chinese with English abstract) [李俊洁, 黄晓磊 (2016) 生物多样性数据论文发表趋势分析. *生物多样性*, 24, 1317–1324.]
- Li R, Wen J (2016) Phylogeny and diversification of Chinese Araliaceae based on nuclear and plastid DNA sequence data. *Journal of Systematics and Evolution*, 54, 453–467.
- Liu XJ, Ma KP (2015) Plant functional traits—concepts, applications and future directions. *Scientia Sinica Vitae*, 45, 325–339. (in Chinese with English abstract) [刘晓娟, 马克平 (2015) 植物功能性状研究进展. *中国科学: 生命科学*, 45, 325–339.]
- Lu LM, Sun M, Zhang JB (2014) Tree of life and its applications. *Biodiversity Science*, 22, 3–20. (in Chinese with English abstract) [鲁丽敏, 孙苗, 张景博 (2014) 生命之树及其应用. *生物多样性*, 22, 3–20.]
- Ma KP (2014) Rapid development of biodiversity informatics in China. *Biodiversity Science*, 22, 251–252. (in Chinese) [马克平 (2014) 生物多样性信息学在中国快速发展. *生物多样性*, 22, 251–252.]
- Ma KP (2015) Species Catalogue of China: a remarkable achievement in the field of biodiversity science in China. *Biodiversity Science*, 23, 137–138. (in Chinese) [马克平 (2015) 中国生物多样性编目取得重要进展. *生物多样性*, 23, 137–138.]
- McGill BJ, Enquist BJ, Weiher E, Westoby M (2006) Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends in Ecology and Evolution*, 21, 178–185.
- Meehan TD, Hurlbert AH, Gratton C (2010) Bird communities in future bioenergy landscapes of the Upper Midwest. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 107, 18533–18538.
- Meyer C, Kreft H, Guralnick R, Jetz W (2015) Global priorities for an effective information basis of biodiversity distributions. *Nature Communications*, 6, 8221.
- Meyer C, Weigelt P, Kreft H, Lambers JHR (2016) Multidimensional biases, gaps and uncertainties in global plant occurrence information. *Ecology Letters*, 19, 992–1006.
- Michonneau F, Brown JW, Winter DJ (2016) rotl: an R package to interact with the Open Tree of Life data. *Methods in Ecology and Evolution*, 7, 1476–1481.
- Naisbit RE, Rohr RP, Rossberg AG, Kehrli P, Bersier LF (2012) Phylogeny versus body size as determinants of food web structure. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 279, 3291–3297.
- Newbold T, Hudson LN, Arnell AP, Contu S, De Palma A, Ferrier S, Purvis A (2016) Has land use pushed terrestrial biodiversity beyond the planetary boundary? A global assessment. *Science*, 353, 288–291.
- Newbold T, Hudson LN, Hill SL, Contu S, Lysenko I, Senior R, Purvis A (2015) Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, 520, 45–50.
- O'Leary MA, Bloch JJ, Flynn JJ, Giallombardo A, Giannini NP, Cirranello AL (2013) The placental mammal ancestor and the post-K-Pg radiation of placentals. *Science*, 339, 662–667.
- Oliveira BF, Machac A, Costa GC, Brooks TM, Davidson AD, Rondinini C, Graham CH (2016) Species and functional diversity accumulate differently in mammals. *Global Ecology and Biogeography*, 25, 1119–1130.
- Pacifici M, Foden WB, Visconti P, Watson JE, Butchart SH, Kovacs KM, Corlett RT (2015) Assessing species vulnerability to climate change. *Nature Climate Change*, 5, 215–224.
- Price SA, Hopkins SS, Smith KK, Roth VL (2012) Tempo of trophic evolution and its impact on mammalian diversification. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 109, 7008–7012.
- Prum RO, Berv JS, Dornburg A, Field DJ, Townsend JP, Lemmon EM, Lemmon AR (2015) A comprehensive phylogeny of birds (Aves) using targeted next-generation DNA sequencing. *Nature*, 526, 569–573.
- Pulido-Santacruz P, Weir JT (2016) Extinction as a driver of avian latitudinal diversity gradients. *Evolution*, 70, 860–872.
- Pyron RA, Burbrink FT, Wiens JJ (2013) A phylogeny and revised classification of Squamata, including 4161 species of lizards and snakes. *BMC Evolutionary Biology*, 13, 93.
- Pyron RA, Wiens JJ (2011) A large-scale phylogeny of Amphibia including over 2800 species, and a revised classification of extant frogs, salamanders, and caecilians. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 61, 543–583.
- RBG Kew (2016) State of the World's Plants Report 2016. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Rodrigues ASL, Andelman SJ, Bakarr MI, Boitani L, Brooks TM, Cowling R, Yan X (2004) Effectiveness of the global protected area network in representing species diversity. *Nature*, 428, 9–12.
- 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.
- Schipper AM, Belmaker J, Miranda MD, Navarro LM, Böhring-Gaese K, Costello MJ, Martín-López B (2016) Contrasting changes in the abundance and diversity of North American bird assemblages from 1971 to 2010. *Global Change Biology*, 22, 3948–3959.
- Shao GZ, Li H, Lin YC (2014) Review of marine biodiversity information resources. *Biodiversity Science*, 22, 253–263. (in Chinese with English abstract) [邵广昭, 李瀚, 林永昌 (2014) 海洋生物多样性信息资源. 生物多样性, 22, 253–263.]
- Smith BT, McCormack JE, Cuervo AM, Hickerson MJ, Aleixo A, Cadena CD, Faircloth BC (2014) The drivers of tropical speciation. *Nature*, 515, 406–409.
- Smith MD, Knapp AK, Collins SL (2009) A framework for assessing ecosystem dynamics in response to chronic resource alterations induced by global change. *Ecology*, 90, 3279–3289.
- Soberón J, Peterson T (2004) Biodiversity informatics: managing and applying primary biodiversity data. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 359, 689–698.
- Stegen JC, Vellend M (2013) Stochastic and deterministic drivers of spatial and temporal turnover in breeding bird communities. *Global Ecology and Biogeography*, 22, 202–212.
- Stropp J, Ladle RJ, Ana AC, Hortal J, Gaffuri J, Temperley W, Dornelas M (2016) Mapping ignorance: 300 years of collecting flowering plants in Africa. *Global Ecology and Biogeography*, 25, 1085–1096.
- Sun M, Naeem R, Su JX, Cao ZY, Burleigh JG, Soltis PS, Chen ZD (2016) Phylogeny of the Rosidae: a dense taxon sampling analysis. *Journal of Systematics and Evolution*, 54, 363–391.
- Trakimas G, Whittaker RJ, Borregaard MK (2016) Do biological traits drive geographical patterns in European amphibians? *Global Ecology and Biogeography*, 25, 1228–1238.
- Trochet A, Moulherat S, Calvez O, Stevens VM, Clobert J, Schmeller DS (2014) A database of life-history traits of European amphibians. *Biodiversity Data Journal*, 2, e4123.
- Tsianou MA, Kallimanis AS (2016) Different species traits produce diverse spatial functional diversity patterns of amphibians. *Biodiversity and Conservation*, 25, 117–132.
- Van Kleunen M, Dawson W, Essl F, Pergl J, Winter M, Weber E, Wieringa JJ (2015) Global exchange and accumulation of non-native plants. *Nature*, 525, 100–103.
- Visconti P, Bakkenes M, Baisero D, Brooks T, Butchart SH, Joppa L, Maiorano L (2016) Projecting global biodiversity indicators under future development scenarios. *Conservation Letters*, 9, 5–13.
- Wang H, Harrison SP, Prentice IC, Yang Y, Bai F, Togashi HF, Ni J (2017) The China plant trait database: towards a comprehensive regional compilation of functional traits for land plants. *Ecology*, doi: 10.1002/ecy.2091.
- Wang JJ, Chen GK, Ma KP (2015) Tools for standardization of plant names. *Biodiversity Science*, 23, 252–253. (in Chinese) [王钧杰, 陈国科, 马克平 (2015) 植物学名校订工具. 生物多样性, 23, 252–253.]
- Wang LS, Chen B, Ji LQ, Ma KP (2010) Progress in biodiversity informatics. *Biodiversity Science*, 18, 429–443. (in Chinese with English abstract) [王利松, 陈彬, 纪力强, 马克平 (2010) 生物多样性信息学研究进展. 生物多样性, 18, 429–443.]
- Wang W, Dilcher DL, Sun G, Wang HS, Chen ZD (2016) Accelerated evolution of early angiosperms: evidence from ranunculalean phylogeny by integrating living and fossil data. *Journal of Systematics and Evolution*, 54, 336–341.
- Webb CO, Ackerly DD, Kembel SW (2008) Phylocom: software for the analysis of phylogenetic community structure and trait evolution. *Bioinformatics*, 24, 2098–2100.
- Webb CO, Donoghue MJ (2005) Phylomatic: tree assembly for applied phylogenetics. *Molecular Ecology Resources*, 5, 181–183.
- Wikström N, Savolainen V, Chase MW (2001) Evolution of the angiosperms: calibrating the family tree. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 268, 2211–2220.
- Wilman H, Belmaker J, Jennifer S, de la Rosa C, Rivadeneira MM, Jetz W (2014) EltonTraits 1.0: species-level foraging attributes of the world's birds and mammals. *Ecology*, 95, 2027.
- Woodall CW, Domke GM, MacFarlane DW, Oswalt CM (2012) Comparing field- and model-based standing dead tree carbon stock estimates across forests of the US. *Forestry*, 85, 125–133.
- Xiao XW, Yao CT, Chen XF (2005) Main points of forest resource inventory in US and guiding suggestions. *Forest Resources Management*, 34, 27–33. (in Chinese with English abstract) [肖兴威, 姚昌恬, 陈雪峰 (2005) 美国森林资源清查的基本做法和启示. 林业资源管理, 34, 27–33.]
- Yesson C, Brewer PW, Sutton T, Caithness N, Pahwa JS, Burgess M, Culham A (2007) How global is the global biodiversity information facility? *PLoS ONE*, 2, e1124.
- Zanne AE, Tank DC, Cornwell WK, Eastman JM, Smith SA, FitzJohn RG, Beaulieu JM (2014) Three keys to the radiation of angiosperms into freezing environments. *Nature*, 506, 89–92.
- Zhang G, Li C, Li Q, Li B, Larkin DM, Lee C (2014) Comparative genomics reveals insights into avian genome evolution and adaptation. *Science*, 346, 1311–1320.
- Zhang J (2017) Biodiversity science and macroecology in the era of big data. *Biodiversity Science*, 25, 355–363. (in Chinese with English abstract) [张健 (2017) 大数据时代的生物多样性科学与宏生态学. 生物多样性, 25, 355–363.]
- Zhang J, Chen SB, Chen B, Du YJ, Huang XL, Pan XB, Zhang

- Q (2013) Citizen science: integrating scientific research, ecological conservation and public participation. *Biodiversity Science*, 21, 738–749. (in Chinese with English abstract) [张健, 陈圣宾, 陈彬, 杜彦君, 黄晓磊, 潘绪斌, 张强 (2013) 公众科学: 整合科学研究, 生态保护和公众参与. 生物多样性, 21, 738–749.]
- Zhang J, Kissling WD, He F (2013) Local forest structure, climate and human disturbance determine regional distribution of boreal bird species richness in Alberta, Canada. *Journal of Biogeography*, 40, 1131–1142.
- Zhang J, Nielsen SE, Chen Y, Georges D, Qin Y, Wang SS, Thuiller W (2016) Extinction risk of North American seed plants elevated by climate and land-use change. *Journal of Applied Ecology*, 54, 303–312.
- Zhang JL (2017) Plantlist: Looking up Families of Higher Plants. R package version 0.3.6. https://r-forge.r-project.org/R/?group_id=2052 (accessed on 2017-11-30)
- Zhang WJ, Chen JK (2003) Advances in study of the distribution area of species. *Biodiversity Science*, 11, 364–369. (in Chinese with English abstract) [张文驹, 陈家宽 (2003) 物种分布区研究进展. 生物多样性, 11, 364–369.]
- Zhu K, Woodall CW, Clark JS (2012) Failure to migrate: lack of tree range expansion in response to climate change. *Global Change Biology*, 18, 1042–1052.

(责任编辑: 纪力强 责任编辑: 时意专)

附录 Supplementary Material

附录1 陆地生态系统现有物种分布数据库的不完整列表

Appendix 1 Incomplete list of currently available datasets of species distribution in terrestrial ecosystems

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2017184-1.pdf>

王昕, 张凤麟, 张健: 生物多样性信息资源. I. 物种分布、编目、系统发育与生活史性状. 生物多样性 2017, 25 (11): 1223–1238

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2017184-1.pdf>

附录 1 陆地生态系统现有物种分布数据库的不完整列表.

Appendix 1 Incomplete list of currently available datasets of species distribution in terrestrial ecosystems

类群 Taxon	数据集 Datasets	数据描述 Data description	数据范围 Data coverage	已发表论文举例 Example of the published papers	网址 Website
植物 Plants	FIA (U.S. Forest Inventory and Analysis)	目前有 20 多万个永久监测样地, 主要监测木本植物	美国	Caspersen et al, 2000; Zhu et al, 2012; Woodall et al, 2012; Zhang et al, 2016	https://www.fia.fs.fed.us/
	BIEN (Botanical Information and Ecology Network)	整合了 500 多个数据源, 目前的版本 (BIEN v3.4) 包括 37 万多维管植物物种的 8 亿多条记录	美洲	Morueta-Holme et al, 2013; Blonder et al, 2015; Engemann et al, 2016; Morueta-Holme et al, 2016	http://bien.nceas.ucsb.edu/bien/
	RAINBIO (African RAIN forest community dynamics)	整合了 13 个数据源, 目前包括 25,356 种维管植物的 610,117 个调查记录	热带非洲	Bourobou et al, 2016; Dauby et al, 2016; Sosef et al, 2017	http://rainbio.cesab.org/
	USDA PLANTS	美国和加拿大维管植物在州或省等级的维管束植物分布数据, 包括约 5,000 个物种	北美	Brandt et al, 2013; Bradley et al, 2016; Galatowitsch et al, 2016	https://plants.usda.gov/java/
	Atlas of North American Trees	北美木本植物的地理分布图	北美	Critchfield & Little, 1966; Little & Viereck, 1971; Montoya et al, 2007; Qian et al, 2015	http://esp.cr.usgs.gov/data/atlas/little/
	NAPA	北美所有维管束植物在州等级	北美	Dawson et al, 2013;	http://bonap.org/

类群 Taxon	数据集 Datasets	数据描述 Data description	数据范围 Data coverage	已发表论文举例 Example of the published papers	网址 Website
	(BONAP's North American Plant Atlas)	和县域等级的分布数据		Boufford et al, 2014; Kleunen et al, 2015; Pyšek et al, 2015; Seebens et al, 2017	
	EU-Forest	249,410 个欧洲样地中共 588,983 个植物物种水平的分布 点数据及 589,657 个属水平的分 布点数据	欧洲	Mauri et al, 2017	http://www.nature.com/articles/sdata2016123
	AFE (Atlas Florae Europaeae)	欧洲本地植物和外来归化植物的 地理分布信息	欧洲	Ordonez & Svenning, 2015, 2017	https://www.luomus.fi/en/database-atlas-florae-europaeae
	sPlot	来自 130 个国家, 110 个数据库, 1,115,70 个样地的 100 多万份植 物分布记录	全球	Chytrý et al, 2016	http://www.idiv.de/splot
	eMonocot	全球单子叶植物多样性信息资 源包括 277,033 个分类群	全球	McInnes et al, 2013	http://www.e-monocot.org/
	WSCP (World Checklist of Selected Plant Families)	全球 173 个科的种子植物分布 信息	全球	Eiserhardt et al, 2015	http://apps.kew.org/wcsp/prepareChecklist.do?checklist=selected_families%40%40282091020151616535
	Global Plants on JSTOR	超过 200 万的植物物种标本	全球	Hou et al, 2016	http://plants.jstor.org/
	GIFT (Global Inventory of Floras and Traits)	分布在 2,308 个地理区域的 296,269 个植物物种分布信息	全球	Patiño et al, 2015; Weigelt et al, 2013; 2016	http://gift.uni-goettingen.de/

类群 Taxon	数据集 Datasets	数据描述 Data description	数据范围 Data coverage	已发表论文举例 Example of the published papers	网址 Website
	The Alwyn H. Gentry Forest Transect Data Set	全球六大洲共 226 个站点的胸径超过2.5cm的维管植物地理信息	全球	Kraft et al, 2011; Qian et al, 2013; Xu et al, 2015	http://www.mobot.org/mobot/research/gentry/welcome.shtml#bignon
	GlobalTreeSearch	全球 60,065 个乔木树种在国家等级的分布记录	全球	Beech et al, 2017	http://www.bgci.org/globaltree_search.php
	Plants of TAIWAN 台湾植物资讯整合查询系统	包含 12.5 万份数字化的标本记录	中国台湾		http://tai2.ntu.edu.tw/index.php
哺乳动物 Mammals	FAUNMAP (The Quaternary Faunal Mapping Project)	来源于 2,919 个站点的美国第四纪晚期哺乳动物分布信息	美国	Burn et al, 2003; Barnosky et al, 2012	http://www.ucmp.berkeley.edu/faunmap/
	SEM (Societas Europaea Mammalogica)	欧洲哺乳动物地理分布信息	欧洲	Heikinheimo et al, 2007	http://www.european-mammals.org/
	MaNIS (Mammal Networked Information System)	数据包括超过 200 万的哺乳动物标本, 观测记录和化石记录	全球	Richards et al, 2007; Glor & Warren, 2011	http://manisnet.org
鸟类 Birds	BBS (North American Breeding Bird Survey)	3,700 条的监测路线, 共监测超过 400 种鸟类	北美	Meehan et al, 2010; Stegen & Vellend, 2013; Auer & King, 2014; Fristoe, 2015; Schipper et al, 2016	https://www.pwrc.usgs.gov/bbs/
	BirdLife	超过 10,000 种鸟类的地理分布和分类信息	全球	Baillie et al, 2008; Beresford et al, 2011	http://datazone.birdlife.org/
	eBird	全球范围内共有超过 950 万份	全球	Boakes et al, 2010;	http://ebird.org/content/ebird/

类群 Taxon	数据集 Datasets	数据描述 Data description	数据范围 Data coverage	已发表论文举例 Example of the published papers	网址 Website
		的鸟类观察记录		Conrad et al, 2011; Sullivan et al, 2016	
	GAVIA (The Global Avian Invasions Atlas)	971 种外来鸟类在 230 个国家和地区 的共 27,723 份分布记录	全球	Dyer et al, 2017a; Dyer et al, 2017b; Seebens et al, 2017	http://dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.4234850
	中国观鸟记录中心	中国观鸟数据揭示鸟类分布变化 共有 1,299 种鸟类的观测记录	中国	Li et al, 2013; Hu et al, 2017	http://www.birdreport.cn/?AspxAutoDetectCookieSupport=1
	CBC (Christmas Bird Count)	北美的一项观鸟的公众科学项目	北美	Lafferty et al, 2013; Aagaard et al, 2014; Sofaer et al, 2014	http://www.christmasbirdcount.org
	ORNIS (Ornithological Information System)	共有超过 500 万的鸟类标本	全球	Sánchez-González et al, 2009; Lopes et al, 2011	http://ornisnet.org
两栖爬行类 Amphibians and Reptiles	GARD (Global Assessment of Reptile Distributions)	大约有 10,000 个物种的地理分布 数据和体长和体重等性状数据	全球	Feldman et al, 2015; Slavenko et al, 2016	http://www.gardinitiative.org/
	HerpNET	整合了全球范围内 1,800 万份报告 记录, 共编录了 1,799,255 个物种	全球	Graham et al, 2004	http://herpnet.org/
昆虫 Insects	GlobalAnts	整合了全球范围捏 8,934 个蚂蚁 物种的地理分布信息	全球	Dunn et al, 2009; Jenkins et al, 2011; Parr et al, 2017	http://globalants.org/

类群 Taxon	数据集 Datasets	数据描述 Data description	数据范围 Data coverage	已发表论文举例 Example of the published papers	网址 Website
	BAMONA (Butterflies and moths of North America)	共有北美的 7,304 个物种简介和 10,097 个图片信息	北美	Rosser et al, 2012; Williams et al, 2012	http://www.butterfliesandmoths.org/
	UKBMS (The UK Butterfly Monitoring Scheme)	英国的 71 种蝴蝶信息	英国	GONZÁLEZ-MEGÍAS et al, 2008; Willis et al, 2009; Oliver et al, 2015	http://www.ukbms.org/
多类群 Multiple taxa	GBIF (Global Biodiversity Information Facility)	共整合全球范围内 160 万个物种数的地理分布信息，共有 29,770 数据集	全球	Zanne et al, 2014; Van et al, 2015; Kerr et al, 2015	http://www.gbif.org/
	IUCN (International Union for Conservation of Nature)	共记录受威胁物种数超过 76,000 种，其中大约有 2/3 的物种有空间分布数据	全球	Rodrigues et al, 2004; Grenyer et al, 2006; Pereira et al, 2006; Lenzen et al, 2012; Visconti et al, 2016	https://www.iucn.org/
	PREDICTS (Projecting Responses of Ecological Diversity In Changing Terrestrial Systems)	共有超过 320 万份的物种分布记录，物种数超过 47,000	全球	Newbold et al, 2015; Newbold et al, 2016; Gray et al, 2016	http://www.predicts.org.uk/
	MOL (Map of Life)	共有 279 个数据集，844,971 个物种，555,744,036 份地理信息记录	全球	Jetz et al, 2012	https://www.mol.org/
	ABMI (Alberta Biodiversity Monitoring Institute)	追踪物种数超过 2,500 种，共有 1,656 个永久样地	加拿大阿尔伯塔省	Nielsen et al, 2009; Mayor et al, 2012; Zhang et al, 2013; Burton et al, 2014	http://www.abmi.ca/home.html

类群 Taxon	数据集 Datasets	数据描述 Data description	数据范围 Data coverage	已发表论文举例 Example of the published papers	网址 Website
	Swiss BDM (Biodiversity Monitoring Switzerland)	整合了超过 1,700 个物种的分布信息	瑞士	Altermatt et al, 2013; Chen et al, 2013	http://www.biodiversitymonitoring.ch/en/home.html
	NSII (National Specimen Information Infrastructure)	整合了 1,959 个科, 11,731 个属, 共 66,708 个物种的地理信息	中国	Hou et al, 2011; Yang et al, 2013	http://www.nsii.org.cn/2017/home.php
	NatureServe	超过 90 万份物种分布记录	北美	Dixon et al, 2014; Han et al, 2014; Armsworth et al, 2015; Schmitz et al, 2015	http://www.natureserve.org/getData/index.jsp
	ALA (Atlas of Living Australia)	数据来源于超过 6,700 万的分布点记录	澳大利亚	Elith et al, 2011; Booth et al, 2012; Harris et al, 2013	http://www.ala.org.au/
	Animal Movement (Movebank)	全球不同区域的研究者对动物进行追踪监测, 最后整合成的物种分布范围数据	全球	Dodge et al, 2013	http://www.movebank.org

参考文献

- Aagaard K, Lockwood J (2014) Exotic birds show lags in population growth. *Diversity and Distributions*, 20, 547–554.
- Altermatt F, Seymour M, Martinez N (2013) River network properties shape α -diversity and community similarity patterns of aquatic insect communities across major drainage basins. *Journal of Biogeography*, 40, 2249–2260.
- Armsworth PR, Larson ER, Jackson ST, Sax DF, Simonin P, Blossey B, Runge MC (2015) Are conservation organizations configured for effective adaptation to global change. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 13, 163–169.
- Auer SK, King DI (2014) Ecological and life-history traits explain recent boundary shifts in elevation and latitude of western North American songbirds. *Global Ecology and Biogeography*, 23, 867–875.
- Baillie JEM, Collen B, Amin R, Akcakaya HR, Butchart SHM, Brummitt N (2008) Toward monitoring global biodiversity. *Conservation Letters*, 1, 18–26.
- Barnosky AD, Hadly EA, Bascompte J, Berlow EL, Brown JH, Fortelius M (2012) Approaching a state shift in earth's biosphere. *Nature*, 486, 52–58.
- Beech E, Rivers M, Oldfield S, Smith PP (2017) GlobalTreeSearch: the first complete global database of tree species and country distributions. *Journal of Sustainable Forestry*, 1–36.
- Beresford AE, Buchanan GM, Donald PF, Butchart SHM, Fishpool LDC, Rondinini C (2011) Minding the protection gap: estimates of species' range sizes and holes in the Protected Area network. *Animal Conservation*, 14, 114–116.
- Blonder B, Nogués-Bravo D, Borregaard MK, Donoghue JC, Jørgensen PM, Kraft, NJB, Enquist BJ (2015) Linking environmental filtering and disequilibrium to biogeography with a community climate framework. *Ecology*, 96, 972–985.
- Boakes EH, Mc Gowan PJK, Fuller RA (2010) Distorted views of biodiversity: spatial and temporal bias in species occurrence data. *PLoS Biology*, 8, e1000385.
- Booth TH, Williams KJ, Belbin L (2012) Developing biodiverse plantings suitable for changing climatic conditions 2: using the atlas of living Australia. *Ecological Management and Restoration*, 13, 274–281.
- Boufford DE, Kartesz JT, Shi S, Zhou R (2014) *Packera serpenticola* (Asteraceae; Senecioneae), a new species from North Carolina, USA. *Systematic Botany*, 39, 1027–1030.
- Bourobou PH, Niangadouma R, Issembe Y, Couvreur T (2016) Two new records of palm species for Gabon: *Sclerosperma profizianum* Valk & Sunder and *Eremospatha quiquecostulata* Becc. *Biodiversity Data Journal*, 4, e10187.
- Bradley BA, Curtis CA, Chambers JC (2016) *Bromus* Response to Climate and Projected Changes with Climate Change. Springer International Publishing, Switzerland.
- Brandt AJ, De Kroon H, Reynolds HL, Burns JH (2013) Soil heterogeneity generated by plant-soil feedbacks has implications for species recruitment and coexistence. *Journal of Ecology*, 101, 277–286.
- Burns CE, Johnston KM, Schmitz OJ (2003) Global climate change and mammalian species diversity in U.S. national parks. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 100, 11474–11477.
- Burton AC, Huggard D, Bayne E, Schieck J, Sólomos P, Muhly T, Boutin S (2014) A framework for adaptive monitoring of the cumulative effects of human footprint on biodiversity. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186, 3605–3617.
- Caspersen JP, Pacala SW, Jenkins JC (2000) Contributions of land-use history to carbon accumulation in U.S. forests. *Science*, 290, 1148–1152.

- Chen GK, Kéry M, Plattner M, Ma KP, Gardner B (2013) Imperfect detection is the rule rather than the exception in plant distribution studies. *Journal of Ecology*, 101, 183–191.
- Chytrý M, Hennekens SM, Jiménez-Alfaro B, Knollová I, Dengler J, Jansen F, Ambarlı D (2016) European Vegetation Archive (EVA): an integrated database of European vegetation plots. *Applied Vegetation Science*, 19, 173–180.
- Conrad CC, Hilchey KG (2011) A review of citizen science and community-based environmental monitoring: issues and opportunities. *Environmental Monitoring and Assessment*, 176, 273–291.
- Critchfield WB, Little EL (1966) *Geographic Distribution of the Pines of the World* (No. 991). US Department of Agriculture, Forest Service, 97.
- Dauby G, Zaiss R, Blach-Overgaard A, Catarino L, Damen T, Deblauwe V, Dessin S, Dransfield J, Droissart V, Duarte MC, Engledow H, Fadeur G, Figueira R, Gereau RE, Hardy OJ, Harris DJ, de Heij J, Janssens SB, Klomberg Y, Ley AC, Mackinder BA, Meerts P, van de Poel JL, Sonké B, Sosef MSM, Stévant T, Stoffelen P, Svenning JC, Sepulchre P, van der Burgt XM, Wieringa JJ, Couvreur TLP (2016) RAINBIO: a mega-database of tropical African vascular plants distributions. *PhytoKeys*, 74, 1–18.
- Dawson W, Keser LH, Winter M, Pysek P, Kartesz J, Nishino M (2013) Correlations between global and regional measures of invasiveness vary with region size. *Neobiota*, 16, 59–80.
- Dixon AP, Faber-Langendoen D, Josse C, Morrison J, Loucks CJ (2014) Distribution mapping of world grassland types. *Journal of Biogeography*, 41, 2003–2019.
- Dodge S, Bohrer G, Weinzierl R, Davidson S, Kays R, Douglas D, Wikelski M (2013) The environmental-data automated track annotation (Env-DATA) system: linking animal tracks with environmental data. *Movement Ecology*, 1, 1–14.
- Dunn RR, Agosti D, Andersen AN, Arnan X, Bruhl CA, Cerdá X, Gotelli NJ (2009) Climatic drivers of hemispheric asymmetry in global patterns of ant species richness. *Ecology Letters*, 12, 324–333.
- Dyer EE, Cassey P, Redding DW, Collen B, Franks V, Gaston KJ, Blackburn TM (2017a) The global distribution and drivers of alien bird species richness. *PLoS Biology*, 15, e2000942.
- Dyer EE, Redding DW, Blackburn TM (2017b) The global avian invasions atlas, a database of alien bird distributions worldwide. *Scientific Data*, 4, 170041.
- Eiserhardt WL, Borchsenius F, Sandel B, Kissling WD, Svenning JC (2015) Late Cenozoic climate and the phylogenetic structure of regional conifer floras world-wide. *Global Ecology and Biogeography*, 24, 1136–1148.
- Elith J, Phillips SJ, Hastie T, Dudík M, Chee YE, Yates CJ (2011) A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17, 43–57.
- Engemann K, Sandel B, Boyle BL, Enquist BJ, Jørgensen PM, Kattge J, Svenning JC (2016) A plant growth form dataset for the New World. *Ecology*, 97, 3243.
- Feldman A, Bauer AM, Castro-Herrera F, Chirio L, Das I, Doan TM, Meiri S (2015) The geography of snake reproductive mode: a global analysis of the evolution of snake viviparity. *Global Ecology and Biogeography*, 24, 1433–1442.
- Fristoe TS (2015) Energy use by migrants and residents in North American breeding bird communities. *Global Ecology and Biogeography*, 24, 406–415.
- Galatowitsch SM, Larson DL, Larson JL (2016) Factors affecting post-control reinvasion by seed of an invasive species, *Phragmites australis*, in the central Platte River, Nebraska. *Biological Invasions*, 18, 2505–2516.
- Glor RE, Warren D (2011) Testing ecological explanations for biogeographic boundaries. *Evolution*, 65, 673–683.

- GONZÁLEZ-MEGÍAS ADELA, Menéndez R, Roy D, Brereton TOM, Thomas CD (2008) Changes in the composition of British butterfly assemblages over two decades. *Global Change Biology*, 14, 1464–1474.
- Graham CH, Ferrier S, Huettman F, Moritz C, Peterson AT (2004) New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. *Trends in Ecology and Evolution*, 19, 497–503.
- Gray C, Hill SL, Newbold T, Hudson LN, Börger L, Contu S, Scharlemann JP (2016) Local biodiversity is higher inside than outside terrestrial protected areas worldwide. *Nature Communications*, 7, 12306.
- Grenyer R, Orme CDL, Jackson SF, Thomas GH, Davies RG, Davies TJ, Ding TS (2006) Global distribution and conservation of rare and threatened vertebrates. *Nature*, 444, 93–96.
- Han X, Smyth RL, Young BE, Brooks TM, de Lozada AS, Bubba P, Turner WR (2014) A biodiversity indicators dashboard: addressing challenges to monitoring progress towards the Aichi biodiversity targets using disaggregated global data. *PLoS ONE*, 9, e112046.
- Harris RMB, Porfírio L, Hugh S, Lee G, Bindoff NL, Mackey B (2013) To be or not to be? Variable selection can change the projected fate of a threatened species under future climate. *Ecological Management and Restoration*, 14, 230–234.
- Heikinheimo H, Fortelius M, Eronen J, Mannila H (2007) Biogeography of European land mammals shows environmentally distinct and spatially coherent clusters. *Journal of Biogeography*, 34, 1053–1064.
- Hou C, Wikström N, Strijk JS, Rydin C (2016) Resolving phylogenetic relationships and species delimitations in closely related gymnosperms using high-throughput NGS, Sanger sequencing and morphology. *Plant Systematics and Evolution*, 302, 1345–1365.
- Hou Z, Sket B, Fiser C, Li S (2011) Eocene habitat shift from saline to freshwater promoted Tethyan amphipod diversification. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 108, 14533–14538.
- Hu R, Wen C, Gu Y, Wang H, Gu L, Shi X, Lu Z (2017) A bird's view of new conservation hotspots in China. *Biological Conservation*, 211, 47–55.
- Jenkins CN, Sanders NJ, Andersen AN, Arnan X, Brühl CA, Cerda X, Gove AD (2011) Global diversity in light of climate change: the case of ants. *Diversity and Distributions*, 17, 652–662.
- Jetz W, McPherson JM, Guralnick RP (2012) Integrating biodiversity distribution knowledge: toward a global map of life. *Trends in Ecology and Evolution*, 27, 151–159.
- Kerr JT, Pindar A, Galpern P, Packer L, Potts SG, Roberts SM, Pantoja A (2015) Climate change impacts on bumblebees converge across continents. *Science*, 349, 177–180.
- Kleunen MV, Dawson W, Essl F, Pergl J, Winter M, Weber E (2015) Global exchange and accumulation of non-native plants. *Nature*, 525, 100–103.
- Kraft NJB, Comita LS, Chase JM, Sanders NJ, Swenson NG, Crist TO, Stegen JC, Vellend M, Boyle B, Anderson MJ, Cornell HV, Davies KF, Freestone AL, Inouye BD, Harrison SP, Myers JA (2011) Disentangling the drivers of beta diversity along latitudinal and elevational gradients. *Science*, 333, 1755–1758.
- Lafferty KD, Rodriguez DA, Chapman A (2013) Temporal and spatial variation in bird and human use of beaches in southern California. *SpringerPlus*, 2, 1–14.
- Lenzen M, Moran D, Kanemoto K, Foran B, Lobefaro L, Geschke (2012) International trade drives biodiversity threats in developing nations. *Nature*, 486, 109–112.
- Li XY, Liang L, Gong P, Liu Y, Liang FF (2013) Bird watching in China reveals bird distribution changes. *Science Bulletin*, 58, 649–656.
- Little EL, Viereck LA (1971) *Atlas of United States trees* (Vol. 5). US Department of Agriculture, Forest Service.

- Lopes LE, De Pinho JB, Benfica CER (2011) Seasonal distribution and range of the Blackish-blue Seedeater (*Amaurospiza moesta*): a bamboo-associated bird. *Wilson Journal of Ornithology*, 123, 797–802.
- Mauri A, Strona G, San-Miguel-Ayanz J (2017) EU-Forest, a high-resolution tree occurrence dataset for Europe. *Scientific Data*, 4, 160123.
- Mayor SJ, Cahill JFJ, He F, Sólymos P, Boutin S (2012) Regional boreal biodiversity peaks at intermediate human disturbance. *Nature Communications*, 3, 1142.
- McInnes L, Jones FA, Orme CDL, Sobkowiak B, Barraclough TG, Chase MW, Savolainen V (2013) Do global diversity patterns of vertebrates reflect those of monocots. *PLoS ONE*, 8, e56979.
- Meehan TD, Hurlbert AH, Gratton C (2010) Bird communities in future bioenergy landscapes of the Upper Midwest. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 107, 18533–18538.
- Montoya D, Rodríguez MA, Zavala MA, Hawkins BA (2007) Contemporary richness of holarctic trees and the historical pattern of glacial retreat. *Ecography*, 30, 173–182.
- Morueta-Holme N, Blonder B, Sandel B, McGill BJ, Peet RK, Ott JE, Svenning JC (2016) A network approach for inferring species associations from co-occurrence data. *Ecography*, 39, 1139–1150.
- Morueta-Holme N, Enquist B, McGill BJ, Boyle B, Jørgensen PM, Ott JE, Peet RK, Šimová I, Sloat L, Thiers B, Violle C, Wiser S, Dolins S, Donoghue IJ, Kraft NJB, Regetz J, Schildhauer M, Spencer N, Svenning JC (2013) Habitat area and climate stability determine geographical variation in plant species range sizes. *Ecology Letters*, 16, 1446–1454.
- Newbold T, Hudson LN, Arnell AP, Contu S, De Palma A, Ferrier S, Purvis A (2016) Has land use pushed terrestrial biodiversity beyond the planetary boundary? A global assessment. *Science*, 353, 288–291.
- Newbold T, Hudson LN, Hill SL, Contu S, Lysenko I, Senior R, Purvis A (2015) Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, 520, 45–50.
- Nielsen SE, Haughland DL, Bayne E, Schieck J (2009) Capacity of large-scale, long-term biodiversity monitoring programmes to detect trends in species prevalence. *Biodiversity and Conservation*, 18, 2961–2978.
- Oliver TH, Marshall HH, Morecroft MD, Brereton T, Prudhomme C, Huntingford C (2015) Interacting effects of climate change and habitat fragmentation on drought-sensitive butterflies. *Nature Climate Change*, 5, 941–945.
- Ordonez A, Svenning JC (2015) Geographic patterns in functional diversity deficits are linked to glacial-interglacial climate stability and accessibility. *Global Ecology and Biogeography*, 24, 826–837.
- Ordonez A, Svenning JC (2017) Consistent role of Quaternary climate change in shaping current plant functional diversity patterns across European plant orders. *Scientific Reports*, 7, 42988.
- Parr CL, Dunn RR, Sanders NJ, Weiser MD, Photaki M, Bishop TR, Chick L (2017) GlobalAnts: a new database on the geography of ant traits (Hymenoptera: Formicidae). *Insect Conservation and Diversity*, 10, 5–20.
- Patiño, Sólymos, Carine, Weigelt, Kreft, Vanderpoorten (2015) Island floras are not necessarily more species poor than continental ones. *Journal of Biogeography*, 42, 8–10.
- Pereira HM, David Cooper H (2006) Towards the global monitoring of biodiversity change. *Trends in Ecology and Evolution*, 21, 123–129.
- Pyšek P, Manceur AM, Alba C, McGregor KF, Pergl J, Štajerová K, Lučanová M (2015) Naturalization of central European plants in North America: species traits, habitats, propagule pressure, residence time. *Ecology*, 96, 762–774.
- Qian H, Chen S, Mao L, Ouyang Z (2013) Drivers of β -diversity along latitudinal gradients revisited. *Global Ecology and Biogeography*, 22, 659–670.

- Qian H, Wiens JJ, Zhang J, Zhang Y (2015) Evolutionary and ecological causes of species richness patterns in North American angiosperm trees. *Ecography*, 38, 241–250.
- Richards CL, Carstens BC, Lacey Knowles L (2007) Distribution modelling and statistical phylogeography: an integrative framework for generating and testing alternative biogeographical hypotheses. *Journal of Biogeography*, 34, 1833–1845.
- Rodrigues ASL, Andelman SJ, Bakarr MI, Boitani L, Brooks TM, Cowling R, Yan X (2004) Effectiveness of the global protected area network in representing species diversity. *Nature*, 428, 9–12.
- Rosser N, Phillimore AB, Huertas B, Willmott KR, Mallet J (2012) Testing historical explanations for gradients in species richness in heliconiine butterflies of tropical America. *Biological Journal of the Linnean Society*, 105, 479–497.
- Sánchez-González LA, Navarro-Sigüenza AG (2009) History meets ecology: a geographical analysis of ecological restriction in the neotropical humid montane forests avifaunas. *Diversity and Distributions*, 15, 1–11.
- Schipper AM, Belmaker J, Miranda MD, Navarro LM, Böhning-Gaese K, Costello MJ, Martín-López B (2016) Contrasting changes in the abundance and diversity of North American bird assemblages from 1971 to 2010. *Global Change Biology*, 22, 3948–3959.
- Schmitz OJ, Lawler JJ, Beier P, Groves C, Knight G, Boyce JDA, Pierce DJ (2015) Conserving biodiversity: practical guidance about climate change adaptation approaches in support of land-use planning. *Natural Areas Journal*, 35, 190–203.
- Seebens H, Blackburn TM, Dyer EE, Genovesi P, Hulme PE, Jeschke JM (2017) No saturation in the accumulation of alien species worldwide. *Nature Communications*, 8, 14435.
- Slavenko A, Tallwin OJS, Itescu Y, Raia P, Meiri S, Thomas G (2016) Late Quaternary reptile extinctions: size matters, insularity dominates. *Global Ecology and Biogeography*, 25, 1308–1320.
- Sofaer HR, Sillett TS, Langin KM, Morrison SA, Ghalambor CK (2014) Partitioning the sources of demographic variation reveals density-dependent nest predation in an island bird population. *Ecology and Evolution*, 4, 2738–2748.
- Sosef MSM, Dauby G, Blach-Overgaard A, van der Burgt X, Catarino L, Damen T, Deblauwe V, Dessein S, Dransfield J, Droissart V, Duarte MC, Engledow H, Fateur G, Figueira R, Gereau RE, Hardy OJ, Harris DJ, de Heij J, Janssens S, Klomberg Y, Ley AC, Mackinder BA, Meerts P, van de Poel JL, Sonké B, Stévant T, Stoffelen P, Svenning JC, Sepulchre P, Zaiss R, Wieringa JJ, Couvreur TLP (2017) Exploring the floristic diversity of tropical Africa. *BMC Biology*, 15, 15.
- Stegen JC, Vellend M (2013) Stochastic and deterministic drivers of spatial and temporal turnover in breeding bird communities. *Global Ecology and Biogeography*, 22, 202–212.
- Sullivan BL, Phillips T, Dayer AA, Wood CL, Farnsworth A, Iliff MJ, Kelling S (2016) Using open access observational data for conservation action: a case study for birds. *Biological Conservation*, 208, 5–14.
- Van Kleunen M, Dawson W, Essl F, Pergl J, Winter M, Weber E, Wieringa JJ (2015) Global exchange and accumulation of non-native plants. *Nature*, 525, 100–103.
- Visconti P, Bakkenes M, Baisero D, Brooks T, Butchart SH, Joppa L, Maiorano L (2016) Projecting global biodiversity indicators under future development scenarios. *Conservation Letters*, 9, 5–13.
- Weigelt, Jetz, Kreft (2013) Bioclimatic and physical characterization of the world's islands. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 110, 15307–15312.
- Weigelt, Steinbauer, Cabral, Kreft (2016) Late Quaternary climate change shapes island biodiversity. *Nature*, 532, 99–102.

- Williams CM, Marshall KE, Macmillan HA, Dzurisin JDK, Hellmann JJ, Sinclair BJ (2012) Thermal variability increases the impact of autumnal warming and drives metabolic depression in an overwintering butterfly. *PLoS ONE*, 7, e34470.
- Willis SG, Hill JK, Thomas CD, Roy DB, Fox R, Blakeley DS, Huntley B (2009) Assisted colonization in a changing climate: a test-study using two UK butterflies. *Conservation Letters*, 2, 46–52.
- Woodall CW, Domke GM, MacFarlane DW, Oswalt CM (2012) Comparing field- and model-based standing dead tree carbon stock estimates across forests of the US. *Forestry*, 85, 125–133.
- Xu W, Chen G, Liu C, Ma K (2015) Latitudinal differences in species abundance distributions, rather than spatial aggregation, explain beta-diversity along latitudinal gradients. *Global Ecology and Biogeography*, 24, 1170–1180.
- Yang W, Ma K, Kreft H (2013) Geographical sampling bias in a large distributional database and its effects on species richness-environment models. *Journal of Biogeography*, 40, 1415–1426.
- Zanne AE, Tank DC, Cornwell WK, Eastman JM, Smith SA, FitzJohn RG, Beaulieu JM (2014) Three keys to the radiation of angiosperms into freezing environments. *Nature*, 506, 89–92.
- Zhang J, Kissling WD, He F (2013) Local forest structure, climate and human disturbance determine regional distribution of boreal bird species richness in Alberta, Canada. *Journal of Biogeography*, 40, 1131–1142.
- Zhang J, Nielsen SE, Chen Y, Georges D, Qin Y, Wang SS, Thuiller W (2016) Extinction risk of North American seed plants elevated by climate and land-use change. *Journal of Applied Ecology*, 54, 303–312.
- Zhu K, Woodall CW, Clark JS (2012) Failure to migrate: lack of tree range expansion in response to climate change. *Global Change Biology*, 18, 1042–1052.