传粉昆虫专栏

中国昆虫多样性监测与研究网进展*

王明强[1,2,3,10**] 罗阿蓉[1,3] 周青松[1] DOUGLAS Chesters[1] 陈婧婷[1,3]
郭士琨[1,3] 杨娟娟[1,3] 郭鹏飞[4] 李 逸[5] 张 峰[6] 彭艳琼[7]
罗世孝[8,9] 葛斯琴[1,3] 白 明[1,3] 肖治术[3,11] 陈 军[1,3]
周红章[1,3] 余建平[10] 朱朝东[1,3,11***]

（1. 中国科学院动物研究所，动物进化与系统学（院）重点实验室，北京 100101；2. 中国科学院成都生物研究所，山地生态恢复与生物资源利用重点实验室，生态恢复与生物多样性保育四川省重点实验室，成都 610041；3. 中国科学院大学，生命科学学院，北京 100049；4. 贵州中医药大学，贵阳 550000；5. 中国科学院植物研究所，北京 100093；6. 南京农业大学昆虫学系，南京 210095；7. 中国科学院西双版纳热带植物园，勐腊 666303；8. 中国科学院华南植物园，标本馆，广州 510650；9. 南岭生态系统与生物多样性研究院（韶关），韶关 512023；10. 钱江源国家公园综合行政执法队，衢州 324000；11. 中国科学院动物研究所，农业虫害鼠害综合治理国家重点实验室，北京 100101）

摘 要 昆虫在生态系统过程和服务功能中起到关键作用，因此监测昆虫多样性变化有着重要意义。我们需要应用不同的技术来提高昆虫监测的效率。围绕昆虫多样性和昆虫介导的生态系统过程，本文对国内外昆虫多样性监测与研究进展、存在的问题和趋势进行了综述，并介绍了中国昆虫多样性监测网（Sino BON–昆虫网）的规划和进展。考虑到昆虫多样性监测与研究趋势和成本，建议中国昆虫多样性监测与研究网规划长期监测硬件系统主要使用被动收集装置。研究人员将在这个平台上，评估昆虫多样性现状、分析种群和群落水平的变化趋势，并开展昆虫多样性或生态学相关研究工作。我们在 Sino BON–昆虫网内，结合主要生态区、森林类型和当地组份设立取样点，针对目标功能类群设计监测流程，进而执行短期和长期昆虫多样性研究和监测项目。为有效监测昆虫多样性，我们考虑了不同仪器装备。该平台将用于科学分析和评价我国昆虫多样性特点、变化趋势及其驱动因子（包括栖息生境、气候和土地利用变化等），提出昆虫多样性保护、管理和资源可持续利用的科学决策建议，为中国国家与地方决策和管理提供科学咨询。

关键词 昆虫多样性监测与研究网；规划；研究进展

Progress on the Sino BON-Insects diversity monitoring network

WANG Ming-Qiang[1,2,3,10**] LUO A-Rong[1,3] ZHOU Qing-Song[1] DOUGLAS Chesters[1]
CHEN Jing-Ting[1,3] GUO Shi-Kun[1,3] YANG Juan-Juan[1,3] GUO Peng-Fei[4] LI Yi[5]
ZHANG Feng[6] PENG Yan-Qiong[7] LUO Shi-Xiao[8,9] GE Si-Qin[1,3] BAI Ming[1,3]
XIAO Zhi-Shu[3,11] CHEN Jun[1,3] ZHOU Hong-Zhang[1,3] YU Jian-Ping[10]
ZHU Chao-Dong[1,3,11***]

(1. Key Laboratory of Zoological Systematics and Evolution, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Key Laboratory of Mountain Ecological Restoration and Bioresource Utilization & Ecological Restoration and Biodiversity Conservation Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 3. College of Life Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. College of Medicine, Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang 550000, China; 5. Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China; 6. Department of Entomology, College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 7. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla 666303, China; 8. Herbarium, South

*资助项目 Supported projects：中国科学院 B 类先导科技专项（XDB310304）；国家自然科学基金项目（32100343, 32070465）；国家杰出青年科学基金项目（31625024）；中国科学院动物进化与系统学重点实验室经费（2008DP173354）

**第一作者 First author，E-mail：wangmq@cib.ac.cn

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：zhucd@ioz.ac.cn

收稿日期 Received：2022-05-17；接受日期 Accepted：2022-09-11

China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 9. Nanling Institute for Ecosystem and Biodiversity (Shaoguan), Shaoguan 512023, China; 10. Qianjiangyuan National Park, Quzhou 324000, China; 11. State Key Laboratory of Integrated Pest Management, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract This paper reviews current progresses on insect diversity monitoring in China and gives a brief introduction to the planning and progress of the Insect Diversity Monitoring Network, China (Sino BON–Insects). Because insects play a key role in ecosystem processes it is important to monitor their diversity over the long term. Different monitoring technologies are required to improve the efficiency of such monitoring. Considering both the trend and cost of long-term monitoring, we propose incorporating major monitoring technologies, equipment and management into a long-term monitoring platform in Sino BON–Insects. Researchers will use this platform to assess the current status of insect diversity, analyze population and community-level trends, and carry out relevant studies on insect diversity or ecology. We plan to implement Sino BON–Insects across major eco-regions, forest types and local assemblages, set up sampling sites, and design monitoring protocols, standards and technologies to target functional groups, before carrying out both short-term insect diversity research projects and long-term monitoring. A range of equipment required to monitor insects effectively is discussed. Results from Sino BON–Insects will help analyze and assess changes in insect diversity across China and identify the key drivers of such changes. This will lead to scientific reports and suggestions on the conservation management and the sustainable use of insect diversity, which might also contribute to policy making and highlight the fundamental role insects play in supporting both ecosystem function and the economy in China.

Key words insect diversity monitoring network; planning; research progress

监测生态系统中的昆虫多样性具有极其重要的意义。首先，无论是从物种丰富度还是生物量来看，昆虫在动物中所占比例最大（Pimentel and Andow，1984；Stork，2018）。据 Catalogue of Life 网站（https://www.catalogueoflife.org/）数据显示，截至 2021 年 4 月，全球已记述昆虫 940 985 种，约占动物界物种数量的 69%。昆虫通过诸如传粉、媒介及植食等相互作用，在生态系统中发挥着关键作用（Strong *et al.*，1984）。例如，由于传粉昆虫的减少，美国和巴西每年由于粮食减产而导致的直接经济损失估计分别为 570 亿美元（Losey and Vaughan，2006）和 120 亿美元（Giannini *et al.*，2015）。另外，由于昆虫对气候环境敏感，开展长期、全面的昆虫多样性监测，有助于应对全球变化，提前做出预警（Kaspari *et al.*，2015）。昆虫不仅包括重要的传粉功能类群，也包括了其它重要的生物防治资源和环境监测指标生物（Bonada *et al.*，2006），在保持生态系统平衡中发挥着重要作用（Losey and Vaughan，2006）。昆虫作为其它资源在医药保健和轻工原料等方面也能被人类加以利用（尤民生，1997）。因此，昆虫多样性的监测和保护对生物多样性保护、生态系统稳定和农林生产等方面均有重要意义。

目前全球昆虫的数量和多样性正处于下降趋势（Hallmann *et al.*，2017；Lister and Garcia，2018；Eisenhauer *et al.*，2019）。近年来，随着《生物多样性公约》的倡导，各国开始注重对昆虫多样性监测与研究提供资金资助，使得相关工作得以逐步开展。

1 昆虫多样性监测与研究概述

目前，全球倡导生物多样性监测网络并付诸行动（Pereira and David Cooper，2006），昆虫多样性研究工作者通过国际合作也取得一定的进展（Basset *et al.*，2012）。任何一类生物的多样性监测都有难度，但因为昆虫是地球上物种最多，难以鉴定的类群最多，其监测工作难度更高。与其它类群相比，昆虫多样性和种群动态监测还存在其特有的挑战，与处于静态的植物不同，多数昆虫能够飞翔移动；与体型相对较大的鸟类不同，很多昆虫体型微小，而且有不少种类在夜间活动；与具有良好监测基础的脊椎动物比较，世界上大多数昆虫仍然缺乏长期的监测。正是由于昆虫这种活动能力强、活动规律多变及鉴定困难等特点，导致昆虫多样性监测历史数据很少，从

而难以开展与昆虫有关的多样性的研究（Ollerton *et al.*，2014）。即便有着较高的监测难度，但是对于昆虫的多样性监测已经势在必行。这不仅是由于目前全球昆虫多样性受到严重威胁（Hallmann *et al.*，2017；Lister and Garcia，2018；Eisenhauer *et al.*，2019），更重要的是针对那些关键的功能昆虫群，如传粉昆虫、媒介昆虫及植食性昆虫具有重要的生态学意义。

1.1 传粉昆虫多样性监测

世界自然保护联盟从 1948 年成立之初就开始关注野生蜜蜂濒危问题。英国自 1962 年先后组织实施了 90 余项观测计划，并于 1976 年正式启动了英国蝴蝶观测计划（The UK Butterfly Monitoring Scheme，UKBMS），目前已经运行 46 年，旨在评估英国蝴蝶种群的现状和趋势（http://www. ukbms. org/）。《生物多样性公约》秘书处从 2000 年开始组织实施了“国际传粉者行动”（International Pollinator Initiative）（https://www.cbd.int/agro/pollinator.shtml）。2004 年，欧洲蝴蝶保护组织（www.bc-europe.eu）成立，这在欧洲的蝴蝶监测工作中发挥了重要作用。在中国，蝴蝶监测起步较晚，但随着国外蝴蝶监测技术的成功案例引入我国，我国先后在江苏、安徽、秦岭等地区建立了区域尺度的蝴蝶监测网络，进一步健全了蝴蝶观测体系。这些案例为我国蝴蝶多样性监测与保护提供了数据基础，也为今后全国范围内的蝴蝶监测网络构建积累了宝贵经验（马方舟等，2018）。

随着地理区域的增大，实施有意义并可持续的监测项目的难度将大大增加。我国幅员辽阔，地形多样，传粉昆虫资源尤为丰富，同时其整体多样性也受到环境变化的影响（Liu *et al.*，2018）。要保证切实可行的监测，需要有足够的人力和财力的投入。例如，LeBuhn 等（2013）提出：设立足够的监测点，如 200 到 250 个，每个点 5 年监测 2 次，约花费 200 万美元，将可以得到每年传粉物种 2%-5%的多度变化。但 Tepedino 等（2015）认为，这并不是合理利用资源的好方法。设计一些与类群广泛的多样性和多度相关的替代方案可能可以大大简化监测流程并降低成本。

1.2 媒介昆虫多样性监测

媒介昆虫可通过叮咬、滋扰或污染食物等行为，传播流行性乙型脑炎、莱姆病、登革热等恶性疾病，对人畜及野生动物的健康造成严重威胁。随着全球气候持续变暖，部分重要媒介昆虫的分布地域已明显的扩张，繁殖速度与侵袭力也随之增强，同时病原体的外潜伏期缩短，进而明显增高了虫媒疾病的传播风险（Wu *et al.*，2011；刘起勇，2013）。因此，对于媒介昆虫物种多样性开展长期监测并掌握其种类发生、地区分布、种群动态消长的特点及变化趋势，有助于对媒介昆虫种群的有效控制。美国 2007 年就已经运用遥感技术（Remote sensing techniques）对节肢动物虫媒传染病的监测（Kalluri *et al.*，2007）。我国各级疾病预防控制中心（Centers for disease control，CDC）的基本职能之一就是对病媒生物进行监测。在实际工作中不断完善监测策略，才能适应不同时期的虫媒传播疾病防控需求（刘起勇，2013）。最近，新型冠状病毒（Coronavirus disease 2019，COVID-19）在全球大流行，严重危害了人类的生命健康和干扰了人们的正常生活，但至今仍然不清楚病毒是通过何种媒介生物传播至人类（Zhou and Shi，2021）。由此，在未来面对其他未知病毒的潜在威胁时，包括媒介昆虫在内的病媒生物多样性监测尤为重要。

1.3 植食性昆虫多样性监测

昆虫是具有活动能力的异养生物，尤其是植食性昆虫。它们对植物具有高度依赖性，并在长期的进化过程中与植物形成了互作关系。以鳞翅目昆虫为例，生态系统通常由于鳞翅目幼虫的大暴发，从而造成重大损失（MacLean，2015；Goergen *et al.*，2016）。近年来，有关植食性昆虫的监测以及植物和植食性昆虫之间相互作用的研究也逐渐受到了重视，并取得了很好的进展。分子手段作为未来多样性监测工作的主要发展方向之一，能快速界定物种多样性，尤其对数量大且极难鉴定的类群（如鳞翅目幼虫）的监测

能发挥重要作用。通过分子手段高效鉴定植食性昆虫的多样性，能提升了植物与昆虫之间的互作关系研究效率。在江西新岗山大样地的工作中，研究人员已经构建了基于 DNA 条形码的鳞翅目植食者的物种界定流程，并量化分析了鳞翅目幼虫与植物的互作关系，认为鳞翅目植食者的多样性和共存概率与植物多样性高度相关（Wang *et al.*，2019，2022），两者的网络结构显著受到植物的系统发生和功能性状的调节（Wang *et al.*，2020）。还有研究表明，膜翅目的一些物种多样性可能随其寄主植物多样性丧失而下降（Dinnage *et al.*，2012；Guo *et al.*，2021）。昆虫多样性监测工作还可以与环境变化相结合，为昆虫多样性的保护奠定坚实的基础，提供相关科学建议（Landis *et al.*，2012）。

2　中国昆虫多样性监测与研究进展

目前我国的昆虫多样性监测与研究工作与植物和脊椎动物的相比，还不够系统，发展也相对迟缓。在中国科学院推动建设生物多样性监测与研究网络以来，相关部门和研究单位已经开始立足现有工作基础推进（王明强等，2022），针对昆虫多样性研究的难点开展了新技术的整合工作，其中的重要部分是要整合多种监测手段。

2.1　监测手段

针对不同类群或不同生物学习性的昆虫，通常采取不同的取样手段（表 1）。例如，针对飞行能力较强的昆虫类群，可以采用昆虫飞行阻断器列阵方法。该方法早在 20 世纪 50 年代就开始在昆虫采集中得到应用（Chapman and Kinghorn，1955），目前该手段已广泛应用在倒木（腐木）昆虫（Saproxylic insects）的多样性研究中（Grove，2002）。针对多在地表活动的昆虫，通常采用地表昆虫诱集列阵方法，即地表陷阱法（Pitfall traps）。该方法应用非常普遍，早在 20 世纪 20 年代就已经有应用陷阱法进行昆虫调查的记录（Hertz，1927；Barber，1931），是地表节肢动物多样性调查最常用的手段之一（周红章等，2014）。对于生活在土壤内的昆虫，可以利用深度土层节肢动物的取样装置（Subterranean sampling devices，SSD）进行取样（López and Oromí，2010）。马来氏网列阵方法具有采集效率高和适用范围广等众多优点（http://blog.sciencenet.cn/blog-536560-780229.html）。另外，吸虫塔法和基于捕虫电网的自动计数设备及预警模型也是有效的取样手段（Yoshimoto and Gressitt，1963；Wiktelius *et al.*，1984）。

针对传粉昆虫的监测有人工巢管法（Nest traps）（Staab *et al.*，2018）和色盘法（Pan traps）。人工巢管法操作方便，能诱集野生蜂类并在室内研究自然状态下蜂类的生活史、性比、营巢规律等生物学的基本特性，同时也为研究昆虫幼虫发育起点温度和有效积温等方面提供很好的活体材料（Tscharntke *et al.*，1998；Tylianakis *et al.*，2006；Staab *et al.*，2016）。色盘法近年来已经被广泛用于对不同生境下的传粉性蜜蜂群落进行生物多样性监测（Tscharntke *et al.*，1998；Tylianakis *et al.*，2006；Staab *et al.*，2016）。色盘法的另一个优势是通常能够同时诱集到同种昆虫的雌雄个体，大大提高了对雌雄异形的昆虫类群的鉴定力（Masner and Huggert，1989）。各种监测手段的优缺点和适用情况见表 1。

2.2　监测进展

中国已经建立多个具有一定的代表性的大型昆虫多样性监测样地，位于我国主要的自然区域（冯晓娟等，2019）。例如北京东灵山（Yu *et al.*，2010；Zhang *et al.*，2012；Warren-Thomas *et al.*，2014）、卧龙自然保护区（Yu *et al.*，2008；Luo *et al.*，2013；Yu *et al.*，2013）、神农架自然保护区（周红章等，2000）、长白山地区（董百丽等，2005；任炳忠等，2006）、天目山地区（秦春燕等，2013）、漓江（Chen *et al.*，2014）及江西新岗山（Bruelheide *et al.*，2014；Wang *et al.*，2019）等地。

从 1998 年起，Yu 等（2004，2006，2010）以位于北京东灵山定位站周边的暖温带森林生态系统作为研究地区，基于长期固定监测样地开展地表甲虫多样性研究。东灵山大样地建立完成后，2011 年开始对大样地内地表甲虫多样性进

表 1　一些主要的昆虫监测技术概览

Table 1　Overview of the main insect diversity monitoring technologies

监测方法 Techniques	优点 Strength	缺点 Weakness	针对类群 Target groups	适用生境 Habitats	收集周期 Sampling period
飞行阻断器 Flight intercept trap	采集方便；适用多种生境；能采集大部分飞行类昆虫；标本干净 Convenient for collection; applying to various habitats; most of insects could be covered; samples with relative higher cleanliness	采集类群有一定的局限性；只有在森林中能取得较好效果 Sampling limitation for insect groups; only suitable for sampling in forest	飞行能力较弱的昆虫 Insects with weak ability in fly	森林 Forest	1-2 周 1-2 weeks
地表陷阱 Pitfall trap	廉价；设置简便；适用于多种生境 Low-costs; convenient for setting; applying to various habitats	采集类群局限性很大；人力需求较高；需要较为频繁的收集；标本易腐烂 Sampling limitation for insect groups; high labour costs; high frequency for collection; specimen perishable	地表昆虫，尤其甲虫 Aboveground insects, especially for ground beetle	森林，灌丛，草地 Forest, shrub forest and grassland	3-5 d 3-5 days
人工巢管 Nest trap	廉价；设置简便；适用于多种生境；可获取重要的生物学和生活史信息 Low-costs; convenient for setting; applying to various habitats; abundant information on insect life history	采集类群局限，仅针对膜翅目昆虫；处理标本周期长，耗费人力 Sampling limitation for insect groups; only for hymenopteran insects, time consuming; high labour costs	独栖性膜翅目昆虫及其寄生蜂 Solitary hymenopteran insects and their parasitoids	森林，灌丛，草地 Forest, shrub forest and grassland	1 个月 1 month
深土层昆虫取样 Subterranean sampling device	容易发现未知物种 Great potential for recognizing new species	采集效率较低；耗费人力 Low collection efficiency; high labour costs	土壤昆虫 Soil insects	森林，灌丛，草地 Forest, shrub forest and grassland	1-2 个月 1-2 months
色盘诱集 Pan trap	廉价；设置简便；适用于多种生境 Low-costs; convenient for setting; applying to various habitats	采集类群具有一定的局限性；收集频繁 Sampling limitation for insect groups; high frequency for collection	飞行类传粉昆虫 Insect pollinator	森林，灌丛，草地 Forest, shrub forest and grassland	1-2 d 1-2 days
马来氏网 Malaysia trap	采集效率高；需要人力少；简便、可持续收集；适用于各类昆虫；适用多种生境；标本干净，利于提取 DNA High collection efficiency; low labour costs; simplicity; sustainability for collection; applying to multiple insect groups and various habitats; samples with relative higher cleanliness; great potential power for DNA extraction	样本处理较为复杂 Complex for sample processing	各类昆虫 Multiple insect groups	森林，灌丛，草地 Forest, shrub forest and grassland	1-2 周 1-2 weeks
吸虫塔 Suction trap	采集效率高；需要人力少；可持续收集 High collection efficiency; low labour costs; simplicity; sustainability for collection	昂贵；适用生境有一定局限 High-costs; Habitat limitation for collection	各类昆虫 Multiple insect groups	灌丛，草地 Shrub forest and grassland	1-2 周 1-2 weeks

行了调查，获得了大量监测数据。基于长期监测样地的数据，在局域尺度上，探讨了干扰（森林砍伐和人工种植林）对地表甲虫物种多样性的影响（Yu *et al.*，2004，2006，2010）。四川都江堰样地昆虫多样性及种间互作监测的示范研究队伍从 2013 年开始，重点监测 4 个昆虫功能群（潜叶类、虫瘿类、食果类/食种子类、传粉蜜蜂类）的多样性及其与植物之间的相互关系（Li *et al.*，2020）。自 2009 年以来，在公益性行业（农业）科研专项经费项目的资助下，作物蚜虫综合防控技术研究与示范推广研究团队在我国东北、华北、华中、华东和西北等地布点安装了 34 台吸虫塔，构建了基于吸虫塔的蚜虫监测预警网络系统，初步形成覆盖我国小麦和大豆主产区的吸虫塔网络系统。吸虫塔网络的构建和完善，同时也为其它小型迁飞性昆虫监测、种群动态、生物多样性和生物信息学等研究提供数据。

榕树被国内外公认为热带雨林中的关键植物类群（许再富，1994；Shanahan *et al.*，2001）。中国科学院西双版纳植物园 1999 年率先开始研究该地区的隐头果内的榕小蜂多样性，最近的研究证实，气候变化能通过多营养级互作影响榕小蜂群落（Aung *et al.*，2022）。蜜蜂作为最重要的传粉昆虫之一，虽然中国养蜂协会对我国人工饲养蜂群数量进行间断的统计，但是统计数据难于揭示其长期变化动态（Mashilingi *et al.*，2022）。横断山区和云贵高原是我国野生蜂最丰富的区域之一，2005 年至今，在该区域已经开展了传粉蜂多样性同环境变化互作关系的研究（Xie *et al.*，2008；Xie and An，2014）。2014-2015 年，在德国 SURUMER 项目资助下，中国科学院动物研究所在云南纳版河流域对橡胶林、混交林传粉蜜蜂进行了研究（Liu *et al.*，2017）。2015 年，在中国科学院和中国环境保护部的资助下，相同的团队在东北大小兴安岭地区，结合农业产量开展传粉昆虫本底调查。不过，这些零散的、短期的工作尚未从多样性监测的角度来研究传粉昆虫变化情况。2015 年 9 月，中国昆虫学会设立传粉昆虫专业委员会，并结合生物多样性监测与研究网络昆虫子网（Sino BON-Insects），开始设计并推动传粉昆虫监测方案。2019 年 4 月 21 日，科技基础资源调查专项“中国东部传粉昆虫资源调查与评估”项目启动，着眼中国东部农业生态区，重点关注东南和西北之间的胡焕庸线区域中农林交错带传粉昆虫资源开展协同攻关。同期执行的“青藏高原农牧昆虫资源调查与可持续利用评估”课题中也把传粉昆虫多样性本底调查与监测作为子专题给予了支持。

植物园是人类了解植物、利用植物和保护植物的重要场地。传统的昆虫多样性监测与研究工作更多侧重于昆虫种类及多样性的监测，长期的昆虫与植物相互关系网研究很少，其中一个最大的限制因子是昆虫学家们很难知道监测点的植物类群。植物一直是植物园的主要组成，大部分植物园都具有清晰的植物家底。植物园引种植物与昆虫之间形成良性的适应，特别是能完成种子到种子的世代更替对保护生物多样性具有重要意义。比如一项在南非的纳塔尔国家植物园中的节肢动物进行的监测结果显示，这种方法能够给予大量未知种和变种准确的定位（Clark and Samways，1997）。中国科学院西双版纳热带植物园保存上万种植物，有多样的生境，与植物有密切关系的蝴蝶种类也非常丰富，一年期系统监测到蝴蝶 5 科 126 属 218 种 6 015 头，7-8 月种类和数量达到最高峰；1 月种类最少，而 5-6 月数量最低（李金涛等，2022）。中国科学院华南植物园在引种与迁地保护植物的同时也对园内植物的物候、园内的鸟类及重要昆虫类群进行观察与监测。发现昆虫与鸟类的多样性和群落随着植物的变化而存着某种波动关系（任海等，2006）。因此，把核心大样地周边城市的代表植物园纳入中国生物多样性昆虫监测网，在开展昆虫多样性比较研究的基础上再进行“植物-昆虫”食物网的探索研究，将为研究植物与昆虫互作网络多样性及环境变化对植物与昆虫关系的影响提供基础数据。

此前，我国已经展开了一些病媒昆虫的专项调查工作。2006 年，中国 CDC 在福建、海南、广东及广西等省份开展了埃及伊蚊 *Aedes aegypti* 的调查；在辽宁、河北、山西、陕西、

四川及我国北部及西部边界开展了白纹伊蚊 *Ades albopictus* 的调查工作（Wu *et al*.，2011）。我国已于 2014 年正式运行“全国重要病媒生物监测系统”网络（http：//114.255.133.162/bmjc/）。但监测工作仍面临监测体系不完善及科研力量薄弱等问题（刘起勇，2015）。

3 中国昆虫多样性监测与研究网规划与建议

中国生物多样性监测与研究网络（Sino BON）由中国科学院在“十二五”计划期间安排专门经费开始建设，目标是通过多种方法从整体上对中国生物多样性的变化开展长期的监测与研究。为进一步提高生物多样性监测与研究能力，在“十三五”期间，中国科学院又加大了投入，增加了一系列仪器设备。Sino BON 包括 10 个专项网和 1 个综合监测管理中心，其中包括了“昆虫多样性监测与研究专项网”（图 1）。中国昆虫多样性监测与研究围绕物种多样性和生态功能群，建设了包括主要监测技术、设备、运行管理完善的“昆虫多样性监测与研究专项网”，致力于建设我国昆虫多样性与功能昆虫群长期监测的重要硬件平台、昆虫多样性现状评估、趋势分析和科学研究的专项网络。目前，在全国范围内迫切需要组建一支昆虫多样性监测与研究的专业监测队伍和科研队伍，建设昆虫物种信息数据共享平台，促进我国昆虫多样性的研究和资源可持续利用；整合不同的类群专家，组成不同功能昆虫群的研究团队，提高物种鉴定的效率。

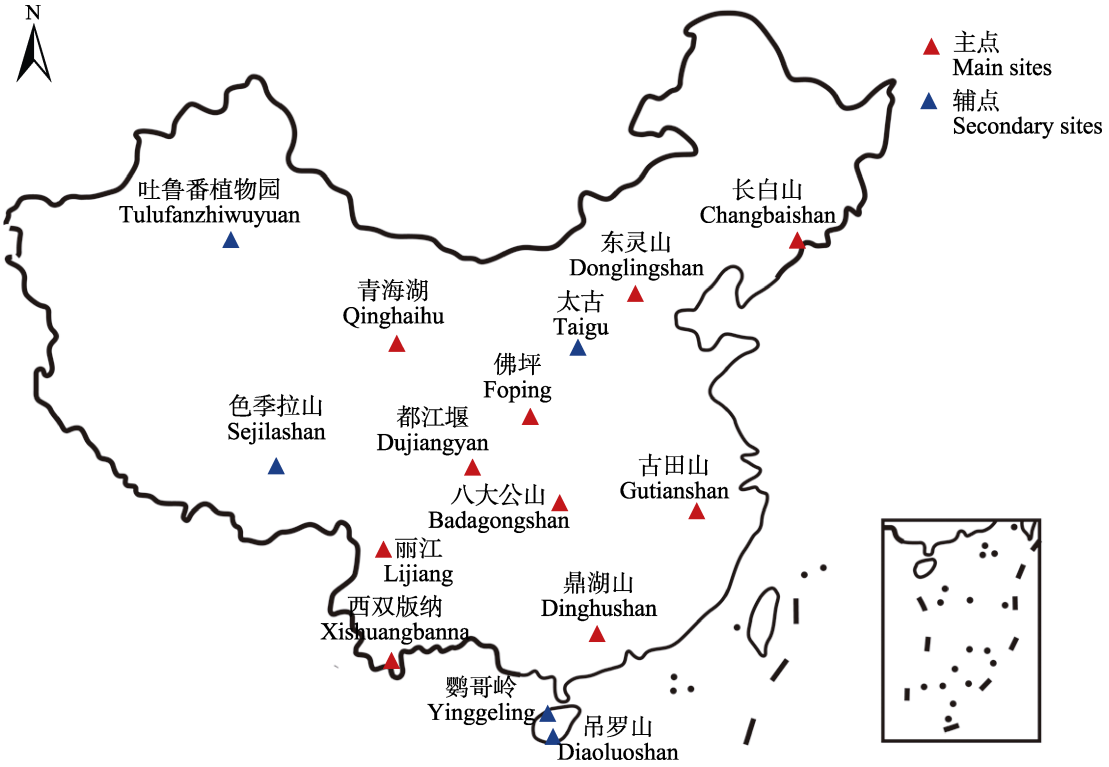

图 1 中国昆虫多样性监测网络布局图

Fig. 1 Distribution of the insect diversity monitoring network in China

地图来源：标准地图服务 http://bzdt.ch.mnr.gov.cn/index.html（审图号：GS 京（2023）0320 号）。
Source: Standard map service http://bzdt.ch.mnr.gov.cn/index.html.

“昆虫多样性监测与研究专项网”监测和研究的对象理论上包括监测区域内的所有昆虫。在实际工作中将针对昆虫的不同门类、昆虫食性与行为的多样化程度（如有植食性、捕食性、菌生性、腐生性、寄生性等）、昆虫生态功能群（分解功能群、植食性功能群、捕食性功能群、寄生

性功能群、传粉功能群、食果功能群、土栖功能群）以及昆虫的生活方式和活动场所（空中、地表、地下、水下、树冠、树干等），结合昆虫习性（夜行性、晨昏型、日间型等），设计相应的昆虫监测手段和方法，也将根据具体目标确定对某些类群进行重点监测。未来监测网应不断补充研究不同地理区系、不同生境中媒介昆虫的多样性组成和特点，将为有效防控人畜和人兽共患的虫媒传染性疾病提供必要的基础科研支撑。

随着国际社会对生物多样性的重视，昆虫多样性监测方法和研究技术发展已经取得了长足进步。昆虫的生物学习性以及种群较大的特点，给昆虫多样性监测与研究提供了可能和便利。巴拿马圣洛伦佐森林的昆虫多样性研究就涉及了多种多样性监测方法和设施（Basset *et al.*，2012）。同时，多样性监测工作高度重视并鼓励新方法和新设施的开发研究（Didham *et al.*，2010）。因此，“昆虫多样性监测与研究专项网”需要整合不同的方法，尽量避免特定方法取样的偏向性，以获取有区系代表性的昆虫物种样本；以比较成熟的昆虫野外监测仪器设备为主，同时也发挥自身优势和学科特点，针对不同昆虫功能类群自行设计、定制一批具有自主创新与自我研究思路的监测装备；综合运用分子生物学技术、计算机信息技术、数码影像技术、3D 形态识别与分析技术等现代科学技术手段，建立比较领先的昆虫多样性监测与研究、鉴定和服务平台，从基因、物种、种群、群落等水平上对昆虫多样性进行全面、多层次监测与分析，逐步完善昆虫多样性专项监测网络平台。

在昆虫多样性监测与研究专项网规划中，以不同地带或地域建设具有一定规模的监测点列阵。视监测目标区域的尺度和大小，分设多个大样地，比如海拔、植物等物种多样性梯度，朝向等。每个大样地设置 20-60 个监测点。根据不同类群、不同监测目的和不同技术方法，形成不同的排列组合，以不同的地域地带展开。由于监测网多点同时进行，对人力、时间和运行经费投入需求量比较大，需要针对不同类群的昆虫采取不同的监测手段。整个监测网建议主要集成下列技术：昆虫飞行阻断器列阵方法（Chapman and Kinghorn，1955；Grove，2002）、马来氏网列阵方法（http://blog.sciencenet.cn/blog-536560-780229.html）、地表昆虫诱集列阵方法（Hertz，1927；Barber，1931；周红章等，2014）、传粉昆虫人工巢列阵方法（Tscharntke *et al.*，1998；Tylianakis *et al.*，2006；Staab *et al.*，2018）、吸虫塔法（Yoshimoto and Gressitt，1963；Stickland，1967；Wiktelius，1984；乔格侠等，2011）。

监测网推动基于 DNA 宏条形码（DNA metabarcoding）的物种多样性监测。宏条形码能批量处理昆虫样本，产生海量的序列数据。目前的生物信息学手段已经能够快速高效地处理这些数据，可以极大提高物种鉴定效率，同时降低单个物种鉴定成本。基于二代测序的宏条形码数据还可以被进一步挖掘，不仅能连通微观的基因层级的波动与宏观的生态变化趋势，还能更好的应用于生态管理与农业生产（Beng *et al.*，2016；Elbrecht *et al.*，2019）。DNA 宏条形码技术流程一般有四个主要步骤，分别是实验设计、采集、数据提取、数据处理。其中，为了监测的整体运行和系统化，有必要在混样之前做好图像采集工作，同样也需要分类学家对相应的类群进行检视（Hao *et al.*，2020）。综上所述，宏条形码手段能够提高昆虫监测的执行效率，也有利于监测的成果转化。

4　中国昆虫多样性监测的研究趋势和发展建议

自“第一届昆虫物种多样性监测研讨会（2015 年 9 月 21-23 日）”在中国哈尔滨成功举办以来，中国昆虫多样性监测与研究网络建设逐步形成了基本的设计思路和具体实施框架（图 1），为国内昆虫多样性监测与研究和保护奠定了一定的基础。总体上看，昆虫专项网应该选择我国主要自然区域、重要森林植被类型和具代表性的生态功能区，针对昆虫的不同门类，采用实时监测和快速鉴定等相应的手段和方法，开展长期监测研究。监测目的应该立足于发现并描述昆虫

多样性的基本组成和动态变化，建立数据共享平台，分析和评价昆虫多样性以及影响这些变化的关键因子（如栖息地、气候和人类活动等），同时提出并制定动物或生物多样性的整体保护、管理和资源可持续利用的科学决策与建议。

近年来，昆虫监测专项网在我国江西新岗山样地、云南高黎贡山（易浪等，2021）、云南勐腊保护区、广西崇左市自然保护区等地开展了相应的监测工作。在江西新岗山样地，研究人员通过长期监测已经发现植物多样性能够显著影响鳞翅目植食者和独栖性膜翅目昆虫等的多样性、群落构成和相应的食物网结构（Wang *et al.*，2019，2020；Guo *et al.*，2021）。在云南勐腊勐仑镇蝴蝶多样性监测分别选择保护区、片段化热带雨林、次生林、橡胶林和农田 5 种生境，基于样线法记录到蝴蝶 288 种，其中西双版纳热带雨林地区有 254 种，元江干热河谷地区有 143 种（Miao *et al.*，2021）；也有研究发现西双版纳纳板河区域森林内部和森林边缘的蜜蜂群落结构相似，但其多样性的驱动因素不同（Liu *et al.*，2017）。考虑到土壤动物对地下生态系统结构和功能维持重要性，已经有学者提出了应该对土壤动物空间格局和构建机制进行深入研究，以此多样性维持机制（高梅香，2018）。因此，专项网在多个区域开展了土壤动物的多样性调查，研究地点涉及南沙岛礁、西双版纳热带森林、江西新岗山、我国东北地区和俄罗斯远东比邻地区，监测对象包括了土壤线虫、白蚁、甲螨等。这些举措能够有助于揭示中国土壤动物多样性多尺度空间维持机制及其生态系统服务功能的变化和驱动因素，同时为科学保护土壤动物多样性和合理利用资源提供最基本的数据支持，促进资源可持续利用、土壤肥力和生态系统生产力的维持。

当然，我们仍需要加强昆虫多样性监测与研究网络的管理和协调，以加速中国昆虫多样性监测与研究网络建设与进程：

（1）既要肯定我国在昆虫多样性监测与研究方面取得的成绩和进展，同时也应意识到和国际同类型研究工作的差距和不足：监测不够系统、监测时间和周期短、持续性不足等问题。

（2）分类学人才是多样性监测中不可或缺的组成部分。目前国内从事传统分类学人员仍然在持续减少（Hong *et al.*，2022；Zhu *et al.*，2022）。尽管分子生物学技术为生物多样性监测提供了部分弥补选项，但我们仍需加强和引导传统分类学人才的培养。监测、调查和分类队伍的持续稳定也是多样性监测的关键因素。

（3）多样性监测方法和手段层出不穷，为了能够积累有效的多样性数据和规范地比较数据，同时也考虑和国际接轨的问题，建议将监测流程规范化，形成行业标准，充分保障多样性监测的科学性和有效性。

（4）从生态功能的角度，选择具有代表性或有显著意义的昆虫功能类群进行监测，如传粉昆虫等。结合我国生态文明建设战略，强化系统性监测水生、土生昆虫类群，如蜻蜓、毛翅目、弹尾虫等，为环境评估和保护提供支撑数据。同时，考虑到公众参与度和影响力，像蝴蝶等观赏昆虫也可列入监测目标。此外，相关的媒介昆虫，尤其是对人类健康、生产等方面有重要影响的类群也是监测的重点之一。目前的专家人力和经费并不允许同时监测所有昆虫。因此，为了避免浪费和将来的拓展，收集昆虫时可以多考虑使用马来氏网、吸虫塔等被动收集工具进行广谱、高效的调查和监测。

（5）加强学会的组织、协调和参与。加强协调和管理，如部门之间的合作互补、研究团队之间合作方式，有目的性地持续推进多样性调查与监测工作。建议在项目启动阶段就做好顶层设计，以自上而下的方式去推动实施，以防止多样性监测的零散、低效、浪费。

（6）加大公众参与力度，加大昆虫多样性保护宣传力度。公众参与在发达国家中已经取得了不俗的成绩，在效率、科学性、成本上达到可控平衡。科学家们有必要走出实验室，以科普的方式多参与公众和媒体活动（张健等，2013）。

（7）经费、队伍、监测技术的稳定是昆虫多样性监测与研究网有效运行并获得长期数据的有力保证。目前网络还没有形成稳定的财政支

持，建议从国家、部委层面推动项目的设计、经费的申请、落实和监管。

参考文献 (References)

Aung KMM, Chen HH, Segar ST, Miao BG, Peng YQ, Liu C, 2022. Changes in temperature alter competitive interactions and overall structure of fig wasp communities. *Journal of Animal Ecology*, 91(6): 1303–1315.

Barber HS, 1931. Traps for cave-inhabiting insects. *Journal of the Elisha Mitchell Scientific Society*, 46(2): 259–266.

Basset Y, Cizek L, Cuénoud P, Didham RK, Guilhaumon F, Missa O, Novotny V. Ødegaard F, Roslin T, Schmidl J, Tishechkin AK, Winchester NN, Roubik DW, Aberlenc HP, Bail J, Barrios H, Bridle JR, Castaño-Meneses G, Corbara B, Curletti G, Duarte Da Rocha W, De Bakker D, Delabie JHC, Dejean A, Fagan LL, Floren A, Kitching RL, Medianero E, Miller SE, Gama De Oliveira E, Orivel J, Pollet M, Rapp M, Ribeiro SP, Roisin Y, Schmidt JB, Sørensen L, Leponce M, 2012. Arthropod diversity in a tropical forest. *Science*, 338(6113): 1481–1484.

Beng KC, Tomlinson KW, Shen XH, Surget-Groba Y, Hughes AC, Corlett RT, Slik JWF, 2016. The utility of DNA metabarcoding for studying the response of arthropod diversity and composition to land-use change in the tropics. *Scientific Reports*, 6: 24965.

Bonada N, Prat N, Resh VH, Statzner B, 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative analysis of recent approaches. *Annual Review of Entomology*, 51: 495–523.

Bruelheide H, Nadrowski K, Assmann T, Bauhus J, Both S, Buscot F, Chen XY, Ding BY, Durka W, Erfmeier A, Gutknecht JLM, Guo DL, Guo LD, Hardtle W, He JS, Klein AM, Kuhn P, Liang Y, Liu XJ, Michalski S, Niklaus PA, Pei KQ, Scherer-Lorenzen M, Scholten T, Schuldt A, Seidler G, Trogisch S, Von Oheimb G, Welk E, Wirth C, Wubet T, Yang XF, Yu MJ, Zhang SR, Zhou HZ, Fischer M, Ma KP, Schmid B, 2014. Designing forest biodiversity experiments: General considerations illustrated by a new large experiment in subtropical China. *Methods in Ecology and Evolution*, 5(1): 74–89.

Chapman JA, Kinghorn JM, 1955. Window flight traps for insects. *The Canadian Entomologist*, 87(1): 46–47.

Chen K, Hughes RM, Xu S, Zhang J, Cai DS, Wang BX, 2014. Evaluating performance of macroinvertebrate-based adjusted and unadjusted multi-metric indices (MMI) using multi-season and multi-year samples. *Ecological Indicators*, 36: 142–151.

Clark TE, Samways MJ, 1997. Sampling arthropod diversity for urban ecological landscaping in a species-rich southern hemisphere botanic garden. *Journal of Insect Conservation*, 1(4): 221–234.

Didham RK, Basset Y, Leather SR, 2010. Research needs in insect conservation and diversity. *Insect Conservation and Diversity*, 3(1): 1–4.

Dinnage R, Cadotte MW, Haddad NM, Crutsinger GM, Tilman D 2012. Diversity of plant evolutionary lineages promotes arthropod diversity. *Ecology letters*, 15(11): 1308–1317.

Dong BL, Ji LZ, Wei CY, Wang M, Xiao DM, 2005. Relation ship between plant community and insect community in Korean pine broad-leaved mixed forest of Changbai mountain. *Chinese Journal of Ecology*, 24(9): 1013–1016. [董百丽, 姬兰柱, 魏春艳, 王淼, 肖冬梅, 2005. 长白山阔叶红松林植物群落与昆虫群落的相互关系研究. 生态学杂志, 24(9): 1013–1016.]

Eisenhauer N, Bonn A, Guerra C, 2019. Recognizing the quiet extinction of invertebrates. *Nature Communications*, 10(1): 1–3.

Elbrecht V, Braukmann TWA, Ivanova NV, Prosser SWJ, Hajibabaei M, Wright M, Zakharov EV, Hebert PDN, Steinke D, 2019. Validation of COI metabarcoding primers for terrestrial arthropods. *PeerJ*, 7: e7745.

Feng XJ, Mi XC, Xiao ZS, Cao L, Wu H, Ma KP, 2019. Overview of Chinese biodiversity observation network (Sino BON). *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 34(12): 1389–1398. [冯晓娟, 米湘成, 肖治术, 曹垒, 吴慧, 马克平, 2019. 中国生物多样性监测与研究网络建设及进展. 中国科学院院刊, 34(12): 1389–1398.]

Gao MX, Lin L, Chang L, Sun X, Liu D, Wu DH, 2018. Spatial patterns and assembly rules in soil fauna communities: A review. *Biodiversity Science*, 26(10): 1034–1050. [高梅香, 林琳, 常亮, 孙新, 刘冬, 吴东辉, 2018. 土壤动物群落空间格局和构建机制研究进展. 生物多样性, 26(10): 1034–1050.]

Giannini TC, Cordeiro GD, Freitas BM, Saraiva AM, Imperatriz-Fonseca VL, 2015. The dependence of crops for pollinators and the economic value of pollination in Brazil. *Journal of Economic Entomology*, 108(3): 849–857.

Goergen G, Kumar PL, Sankung SB, Togola A, Tamò M, 2016. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in west and central Africa. *PLoS ONE*, 11(10): e0165632.

Grove SJ, 2002. The influence of forest management history on the integrity of the saproxylic beetle fauna in an Australian lowland tropical rainforest. *Biological Conservation*, 104(2): 149–171.

Guo PF, Wang MQ, Orr M, Li Y, Chen JT, Zhou QS, Staab M, Fornoff F, Chen GH, Zhang NL, Klein AM, Zhu CD, 2021. Tree diversity promotes predatory wasps and parasitoids but not pollinator bees in a subtropical experimental forest. *Basic and*

Applied Ecology, 53: 134–142.

Hallmann CA, Sorg M, Jongejans E, Siepel H, Hofland N, Schwan H, Stenmans W, Müller A, Sumser H, Hörren T, Goulson D, de Kroon H, 2017. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE*, 12(10): e0185809.

Hao MD, Jin Q, Meng GL, Yang CQ, Yang SZ, Shi ZY, Tang M, Liu SL, Li YN, Li J, D Zhang D, Su XR, Shih C, Sun Y, Wilson JJ, Zhou X, Zhang AB, 2020. Using full-length metabarcoding and DNA barcoding to infer community assembly for speciose taxonomic groups: A case study. *Evolutionary Ecology*, 34(6): 1063–1088.

Hertz M, 1927. Huomioita petokuoriaisten olinpaikoista. *Luonnon Ystävä*, 31: 218–222.

Hong D, Zhuang W, Zhu M, Ma K, Wang X, Huang D, Zhang Y, Ren G, Bu W, Cai W, Ren D, Yang D, Liang A, Bai F, Zhang R, Lei F, Li S, Kong H, Cai L, Dai Y, Zhu C, Yang Q, Chen J, Sha Z, Jiang J, Che J, Wu D, Li J, Wang Q, Wei X, Bai M, Liu X, Chen X, Qiao G, 2022. Positioning taxonomic research for the future. *Zoological Systematics*, 47(3): 185–187.

Kalluri S, Gilruth P, Rogers D, Szczur M, 2007. Surveillance of arthropod vector-borne infectious diseases using remote sensing techniques: A review. *PLoS Pathogens*, 3(10): 1361–1371.

Kaspari M, Clay NA, Lucas J, Yanoviak SP, Kay A, 2015. Thermal adaptation generates a diversity of thermal limits in a rainforest ant community. *Global Change Biology*, 21(3): 1092–1102.

Landis DA, Fiedler AK, Hamm CA, Cuthrell DL, Schools EH, Pearsall DR, Herbert ME, Doran PJ, 2012. Insect conservation in Michigan prairie fen: Addressing the challenge of global change. *Journal of Insect Conservation*, 16(1): 131–142.

LeBuhn G, Droege S, Connor EF, Gemmill-Herren B, Potts SG, Minckley RL, Griswold T, Jean R, Kula E, Roubik DW, Cane J, Wright KW, Frankie G, Parker F, 2013. Detecting insect pollinator declines on regional and global scales. *Conservation Biology*, 27(1): 113–120.

Li HD, Tang L, Jia C, Holyoak M, Fründ J, Huang X, Xiao Z, 2020. The functional roles of species in metacommunities, as revealed by metanetwork analyses of bird–plant frugivory networks. *Ecology Letters*, 23(8): 1252–1262.

Li JT, Miao BG, Peng YQ, 2022. Butterfly diversity and variation in Xishuangbanna tropical botanical garden. *Journal of Environmental Entomology* (accepted). [李金涛, 苗白鸽, 彭艳琼. 2022. 西双版纳热带植物园蝴蝶的多样性及变化. 环境昆虫学报(已接受).]

Lister BC, Garcia A, 2018. Climate-driven declines in arthropod abundance restructure a rainforest food web. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(44): E10397–E10406.

Liu QY, 2013. The impacts of climate change on vector-borne diseases. *Chinese Journal of Hygienic Insecticides & Equipments*, 19(1): 1–7, 12. [刘起勇, 2013. 气候变化对媒介生物性传染病的影响. 中华卫生杀虫药械, 19(1): 1–7, 12.]

Liu QY, 2015. State-of-art analysis and perspectives on vector surveillance and control in China. *Chines Journal of Vector Biology and Control*, 2015(2): 109–113, 126. [刘起勇, 2015. 我国病媒生物监测与控制现状分析及展望. 中国媒介生物学及控制杂志, 2015(2): 109–113, 126.]

Liu XW, Chesters D, Dai QY, Niu ZQ, Beckschäfer P, Martin K, Zhu CD, 2017. Integrative profiling of bee communities from habitats of tropical southern Yunnan (China). *Scientific Reports*, 7: 5336.

Liu XW, Chesters D, Wu CS, Zhou QS, Zhu CD, 2018. A horizon scan of the impacts of environmental change on wild bees in China. *Biodiversity Science*, 26(7): 760–765. [刘秀微, Douglas Chesters, 武春生, 周青松, 朱朝东, 2018. 环境变化对中国野生蜜蜂多样性的影响. 生物多样性, 26(7): 760–765.]

López H, Oromí P, 2010. A pitfall trap for sampling the mesovoid shallow substratum (MSS) fauna. *Speleobiology Notes*, 2: 7–11.

Losey JE, Vaughan M, 2006. The economic value of ecological services provided by insects. *BioScience*, 56(4): 311–323.

Luo TH, Yu XD, Zhou HZ, 2013. Effects of reforestation practices on staphylinid beetles (Coleoptera: Staphylinidae) in southwestern China forests. *Environmental Entomology*, 42(1): 7–16.

Ma FZ, Xu HG, Chen MM, Tong WJ, Wang CB, Cai L, 2018. Progress in construction of China butterfly diversity bbservation network (China BON-Butterflies). *Journal of Ecology and Rural Environment*, 34(1): 27–36. [马方舟, 徐海根, 陈萌萌, 童文君, 王晨彬, 蔡蕾, 2018. 全国蝴蝶多样性观测网络 (China Bon-Butterflies) 建设进展. 生态与农村环境学报, 34(1): 27–36.]

MacLean DA, 2015. Impacts of insect outbreaks on tree mortality, productivity, stand development. *The Canadian Entomologist*, 148(S1): S138–S159.

Mashilingi SK, Zhang H, Garibaldi LA, An J, 2022. Honeybees are far too insufficient to supply optimum pollination services in agricultural systems worldwide. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 335: 108003.

Masner L, Huggert L, 1989. World review and keys to genera of the subfamily Inostemmatinae with reassignment of the taxa to the Platygastrinae and Sceliotrachelinae (Hymenoptera: Platygastridae). *Memoirs of the Entomological Society of Canada*, 121(S147): 3–216.

Miao BG, Peng YQ, Yang DR, Kubota Y, Economo EP, Liu C, 2021.

Climate and land-use interactively shape butterfly diversity in tropical rainforest and savanna ecosystems of southwestern China. *Insect Science*, 28(4): 1109–1120.

Ollerton J, Erenler H, Edwards M, Crockett R, 2014. Extinctions of aculeate pollinators in Britain and the role of large-scale agricultural changes. *Science*, 346(6215): 1360–1362.

Pereira HM, David Cooper H, 2006. Towards the global monitoring of biodiversity change. *Trends in Ecology & Evolution*, 21(3): 123–129.

Pimentel D, Andow DA, 1984. Pest management and pesticide impacts. International Journal of Tropical. *Insect Science*, 5(3): 141–149.

Qiao GX, Qin QL, Liang HB, Cao YZ, Xu GQ, Gao ZL, Xu WJ, Wu YQ, Li XJ, Zhao ZW, Cheng XY, 2011. A new aphid-monitoring network system based on suction trapping and development of "green techniques" for aphid management. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(6): 1596–1601. [乔格侠, 秦启联, 梁红斌, 曹雅忠, 许国庆, 高占林, 徐伟钧, 武予清, 李学军, 赵章武, 成新跃, 2011. 蚜虫新型预警网络的构建及其绿色防控技术研究. 应用昆虫学报, 48(6): 1596–1601.]

Qin CY, Zhang Y, Yu HY, Wang BX, 2013. Concordance among difference aquatic insect assemblages and the relative role of spatial and environmental variables. *Biodiversity Science*, 21(3): 326–333. [秦春燕, 张勇, 于海燕, 王备新, 2013. 不同类群水生昆虫群落间的一致性以及空间和环境因子的相对作用. 生物多样性, 21(3): 326–333.]

Ren BZ, Wu YG, Du XJ, Guan ZY, Li N, Yuan HB, 2006. Research on pollinators in north slope of Changbai mountain(Ⅲ)-Diversity of pollinators. *Journal of Northeast Normal University* (*Natural Science Edition*), 38(3): 96–100. [任炳忠, 吴艳光, 杜秀娟, 官昭瑛, 李娜, 袁海滨, 2006. 长白山北坡访花昆虫研究(III) - 访花昆虫多样性. 东北师大学报(自然科学版), 38(3): 96–100.]

Ren H, Li ZA, Shen WJ, Yu ZY, Peng SL, Liao CH, Ding MM, Wu JG, 2006. The changes of biodiversity and ecosystem services in forest restoration process in southren China. *Science in China Series C: Life Sciences*, 36(6): 563–569. [任海, 李志安, 申卫军, 余作岳, 彭少麟, 廖崇惠, 丁明懋, 邬建国, 2006. 中国南方热带森林恢复过程中生物多样性与生态系统功能的变化. 中国科学 C 辑, 36(6): 563–569.]

Shanahan M, So S, Compton SG, Corlett R, 2001. Fig-eating by vertebrate frugivores: A global review. *Biological Reviews*, 76(4): 529–572.

Staab M, Bruelheide H, Durka W, Michalski S, Purschke O, Zhu CD, Klein AM, 2016. Tree phylogenetic diversity promotes host-parasitoid interactions. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1834): 20160275.

Staab M, Pufal G, Tscharntke T, Klein AM, 2018. Trap nests for bees and wasps to analyse trophic interactions in changing environments-A systematic overview and user guide. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(11): 2226–2239.

Stickland RE, 1967. Insect suction trap for collecting segregated samples in a liquid. *Journal Agricultural Engineering Research*, 12(4): 319–321.

Stork NE, 2018. How many species of insects and other terrestrial arthropods are there on earth? *Annual Review of Entomology*, 63: 31–45.

Strong DR, Lawton JH, Southwood TRE, 1984. Insects on Plants: Community Patterns and Mechanisms. Oxford, UK: Blackwell Scientific Publicatons. 37.

Tepedino VJ, Durham S, Cameron SA, Goodell K, 2015. Documenting bee decline or squandering scarce resources. *Conservation Biology*, 29(1): 280–282.

Tscharntke T, Gathmann A, Steffan-Dewenter I, 1998. Bioindication using trap-nesting bees and wasps and their natural enemies: Community structure and interactions. *Journal of Applied Ecology*, 35(5): 708–719.

Tylianakis JM, Klein AM, Lozada T, Tscharntke T, 2006. Spatial scale of observation affects α, β and γ diversity of cavity-nesting bees and wasps across a tropical land-use gradient. *Journal of Biogeography*, 33(7): 1295–1304.

Wang MQ, Li Y, Chesters D, Bruelheide H, Ma K, Guo PF, Zhou QS, Staab M, Zhu CD, Schuldt A, 2020. Host functional and phylogenetic composition rather than host diversity structure plant-herbivore networks. *Molecular Ecology*, 29(14): 2747–2762.

Wang MQ, Li Y, Chesters D, Anttonen P, Bruelheide H, Chen JT, Durka W, Guo PF, Hardtle W, Ma KP, Michalski SG, Schmid B, Von Oheimb G, Wu CS, Zhang NL, Zhou QS, Schuldt A, Zhu CD, 2019. Multiple components of plant diversity loss determine herbivore phylogenetic diversity in a subtropical forest experiment. *Journal of Ecology*, 107(6): 2697–2712.

Wang MQ, Yan C, Luo A, Li Y, Chesters D, Qiao HJ, Chen JT, Zhou QS, Ma K, Bruelheide H, Schuldt A, Zhang Z, Zhu CD, 2022. Phylogenetic relatedness, functional traits and spatial scale determine herbivore co-occurrence in a subtropical forest. *Ecological Monographs*, 92(1): e01492.

Wang MQ, Luo AR, Zhou QS, Chen JT, Xie TT, Li Y, Chesters D, Shi XY, Xiao H, Liu HJ, Ding Q, Zhou X, Luo YP, Lu YY, Tong YJ, Zhao ZY, Bai M, Guo PF, Chen SC, Nakamura A, Peng YQ, Zhao YH, Wei SH, Lin XL, Chen HY, Luo SX, Lu YH, Lu L, Yu JP, Zhou X, Zou Y, Lu H, Zhu CD, 2022. Research progress on

insect diversity. *Biodiversity Science*, 30(10): 22454. [王明强, 罗阿蓉, 周青松, 陈婧婷, 谢婷婷, 李逸, Douglas Chesters 石晓宇, 肖晖, 刘桓吉, 丁强, 周璇, 罗一平, 路园园, 佟一杰, 赵政宇, 白明, 郭鹏飞, 陈思翀, Akihiro Nakamura, 彭艳琼, 赵延会, 魏淑花, 林晓龙, 陈华燕, 罗世孝, 陆宴辉, 鲁亮, 余建平, 周欣, 邹怡, 路浩, 朱朝东, 2022. 昆虫多样性三十年研究进展. 生物多样性, 30(10): 22454.]

Warren-Thomas E, Zou Y, Dong L, Yao X, Yang M, Zhang X, Qin Y, Liu Y, Sang W, Axmacher JC, 2014. Ground beetle assemblages in Beijing's new mountain forests. *Forest Ecology and Management*, 334: 369–376.

Wiktelius S, 1984. Long range migration of aphids into Sweden. *International Journal of Biometeorology*, 28(3): 185–200.

Wu F, Liu QY, Lu L, Wang JF, Song XP, Ren DS, 2011. Distribution of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in northwestern China. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 11(8): 1181–1186.

Wang XW, Müller J, An LL, Ji LZ, Liu Y, Wang XG, Hao ZQ, 2014. Intra-annual variations in abundance and species composition of carabid beetles in a temperate forest in Northeast China. *Journal of Insect Conservation*, 18(1): 85–98.

Xu ZF, 1994. The key Ficus plants of tropical rainforest in the southern of Yunnan. *Biodiversity Science*, 2(1): 21–23. [许再富, 1994. 榕树——滇南热带雨林生态系统中的一类关键植物. 生物多样性, 2(1): 21–23.]

Xie ZH, Williams PH, Tang Y, 2008. The effect of grazing on bumblebees in the high rangelands of the eastern Tibetan Plateau of Sichuan. *Journal of Insect Conservation*, 12(6): 695–703.

Xie Z, An J, 2014. The effects of landscape on bumblebees to ensure crop pollination in the highland agricultural ecosystems in China. *Journal of Applied Entomology*, 138(8): 555–565.

Yi L, Dong YK, Miao BG, Peng YQ, 2021. Diversity of butterfly communities in Gaoligong region of Yunnan. *Biodiversity Science*, 29(7): 950–959. [易浪，董亚坤，苗白鸽，彭艳琼, 2021. 云南高黎贡山地区蝴蝶群落多样性. 生物多样性, 29(7): 950–959.]

Yoshimoto CM, Gressitt JL, 1963. Trapping of air-borne insects in the Pacific-Antarctic area. *Pacific Insects*, 4(4): 847–858.

You MS, 1997. Conservation and utilization of the insect diversity in China. *Biodiversity Science*, 5(2): 135–141. [尤民生, 1997. 论我国昆虫多样性的保护与利用. 生物多样性, 5(2): 135–141.]

Yu XD, Luo TH, Zhou HZ, 2004. *Carabus* (Coleoptera: Carabidae) assemblages of native forests and non-native plantations in Northern China. *Entomologica Fennica*, 15(3): 129–137.

Yu XD, Lü L, Luo TH, Zhou HZ, 2013. Elevational gradient in species richness pattern of epigaeic beetles and underlying mechanisms at east slope of Balang mountain in southwestern china. *PLoS ONE*, 8(7): e69177.

Yu XD, Luo TH, Zhou HZ, 2006. Effects of larch plantation regeneration on carabid assemblages (Coleoptera: Carabidae) in Southwestern China. *Forest Ecology and Management*, 231(1): 169–177.

Yu XD, Luo TH, Zhou HZ, 2008. Distribution of carabid beetles among 40-year-old regenerating plantations and 100-year-old naturally regenerated forests in Southwestern China. *Forest Ecology and Management*, 255(7): 2617–2625.

Yu XD, Luo TH, Zhou HZ, 2010. Distribution of ground-dwelling beetle assemblages (Coleoptera) across ecotones between natural oak forests and mature pine plantations in north China. *Journal of Insect Conservation*, 14(6): 617–626.

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(6): 738–749. [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(6): 738–749.]

Zhang S, Zhang Y, Ma K, 2012. Disruption of ant-aphid mutualism in canopy enhances the abundance of beetles on the forest floor. *PLoS ONE*, 7(4): e35468.

Zhou HZ, Yu XD, Luo TH, He JJ, Zhou HS, Ye CJ, 2000. Insect abundance and environmental effects in Shennongjia natural reserve, Hubei province. *Biodiversity Science*, 8(3): 262–270. [周红章, 于晓东, 罗天宏, 何君舰, 周海生, 叶婵娟, 2000. 湖北神农架自然保护区昆虫的数量变化与环境关系的初步研究. 生物多样性, 8(3): 262–270.]

Zhou HZ, Yu XD, Luo TH, Li XY, Wang FY, Li DE, Zhou Y, Zhao CY, 2014. Collecting methods and sampling techniques of ground dwelling and predating Carabids and Staphylinids beetles. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51: 1367–1375. [周红章, 于晓东, 罗天宏, 李晓燕, 王凤艳, 李德娥, 周毓灵子, 赵彩云, 2014. 土壤步甲和隐翅虫的采集与田间调查取样技术. 应用昆虫学报, 51(5): 1367–1375.]

Zhou P, Shi ZL, 2021. SARS-CoV-2 spillover events. *Science*, 371(6525): 120–122.

Zhu C, Luo A, Bai M, Orr MC, Hou Z, Ge S, Chen J, Hu Y, Zhou X, Qiao G, Kong H, Lu L, Jin X, Cai L, Wei X, Zhao R, Miao W, Wang Q, Sha Z, Lin Q, Qu M, Jiang J, Li J, Che J, Jiang X, Chen X, Gao L, Ren Z, Xiang C, Luo S, Wu D, Liu D, Peng Y, Su T, Cai C, Zhu T, Cai W, Liu X, Li H, Xue H, Ye Z, Chen X, Tang P, Wei S, Pang H, Xie Q, Zhang F, Zhang F, Peng X, Zhang A, Gao T, Zhou C, Shao C, Ma L, Wei Z, Luan Y, Yin Z, Dai W, Wei C, Huang X, Liu J, Chen X, Yi T, Zhang Z, Aishan Z, Li Q, Hu H, 2022. A joint call for actions to advance taxonomy in China. *Zoological Systematics*, 47(3): 188–197.