

建立我国昆虫传粉长期监测体系的探讨

高 洁, 张 颖*

北京林业大学经济管理学院 北京

【摘要】昆虫传粉在生态系统中扮演着至关重要的角色,不仅维持植物繁殖和生态多样性,还对农业生产 and 全球粮食安全具有深远影响。近年来全球昆虫种群数量急剧下降,不仅威胁生态系统的稳定,还对农业产量和全球粮食安全构成严重挑战。为应对这一危机,建立长期昆虫传粉监测体系显得尤为重要。我国在昆虫传粉监测领域的研究起步较晚,尚未形成全国性的监测网络。本文探讨了建立我国昆虫传粉长期监测体系的背景、现状与挑战,并提出了相应的策略与方法。研究建议,通过设计科学的监测指标体系、合理布局监测网络、加强数据管理与共享、应用新技术等手段,构建一个全面、系统的昆虫传粉长期监测体系,并且指出随着技术的进步和公众参与的增强,昆虫传粉监测体系将朝着更加智能化、系统化和全球化的方向发展,为全球生态安全和可持续发展贡献力量。

【关键词】昆虫传粉; 长期监测; 生态保护; 数据共享; 气候变化

【基金项目】国家重点研发计划: 政府间国际合作创新项目: 野生传粉昆虫下降对生物多样性和生态系统服务的影响及应对策略 (2022YFE0115200)

【收稿日期】2025 年 2 月 15 日

【出刊日期】2025 年 3 月 13 日

【DOI】10.12208/j.aee.20250001

Discussion on establishing long-term monitoring system of insect pollination in China

Jie Gao, Ying Zhang*

School of Economics and Management, Beijing Forestry University, Beijing

【Abstract】 Insect pollination plays a vital role in ecosystems, not only maintaining plant reproduction and ecological diversity, but also having a profound impact on agricultural production and global food security. The dramatic decline in insect populations worldwide in recent years not only threatens the stability of ecosystems, but also poses a serious challenge to agricultural yields and global food security. In order to deal with this crisis, it is particularly important to establish a long-term monitoring system for insect pollination. The research on insect pollination monitoring in China started late, and no national monitoring network has been formed. This paper discusses the background, present situation and challenge of establishing a long-term monitoring system for insect pollination in China, and puts forward corresponding strategies and methods. The study suggests that a comprehensive and systematic long-term monitoring system of insect pollination should be built by designing a scientific monitoring index system, rationally arranging monitoring networks, strengthening data management and sharing, and applying new technologies. It also points out that with the progress of technology and the enhancement of public participation, the monitoring system of insect pollination will develop in a more intelligent, systematic and global direction. Contribute to global ecological security and sustainable development.

【Keywords】 Insect pollination; Long-term monitoring; Ecological protection; Data sharing; Climate change

1 建立昆虫传粉长期监测体系的背景

昆虫传粉是生态系统中的重要环节,直接关系到植物繁殖的成功与生态多样性的维持。全球约

1.1 昆虫传粉的生态与经济重要性

作者简介: 高洁, 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 资源环境统计

*通讯作者: 张颖, 博士, 教授, 主要研究方向: 资源、生态环境价值评价与核算, 区域经济学。

80%的开花植物依赖昆虫完成授粉过程, 其中, 数量最多的传粉昆虫有膜翅目、双翅目、鳞翅目、鞘翅目和半翅目等^[1]。昆虫通过在不同植物之间传播花粉, 促进了植物的繁殖和基因交流。这种传粉不仅维持了植物的物种多样性, 还增强了植物种群的适应能力和抗逆性。通过跨越空间和时间的基因流动, 昆虫为植物种群提供了更加丰富的遗传多样性, 从而促进了整个生态系统的健康。

昆虫传粉服务还对其他生态过程具有重要作用。许多昆虫通过参与传粉, 间接推动了食物链的稳定和生态系统的运作^[2]。例如, 传粉的植物为多种食草动物提供了食物源, 这些食草动物又为捕食者提供了食物, 维持了物种间的食物关系和生态平衡。此外, 植物的繁殖不仅为自身提供了繁衍机会, 也为其他生物提供了栖息地和栖息资源, 因此, 昆虫的传粉活动在保障生态多样性、促进物种共生和维持生态平衡方面具有不可替代的作用。

昆虫传粉不仅是自然界物种繁衍的基础, 也是农业和经济产生了影响深远。全球约 75% 的作物至少部分依赖昆虫完成授粉, 尤其是水果、坚果、油料作物等, 昆虫传粉在这些作物的生产中起到了至关重要的作用^[3]。昆虫传粉通过提高作物的产量和质量, 直接增强了农业生产的稳定性和经济效益。例如, 苹果、樱桃、咖啡、蓝莓、杏仁等作物的产量和品质在很大程度上取决于昆虫传粉的效率。如果缺乏昆虫帮助, 这些作物的生产将大幅下降, 甚至无法结出果实。

昆虫传粉对全球粮食安全具有重要意义^[4]。传粉昆虫的健康直接影响到作物的产量和质量, 从而对全球食品供应链产生重要影响。尤其是在某些地区, 昆虫传粉对作物的依赖程度极高, 因此昆虫数量的下降可能会导致粮食价格上涨、供应链中断, 甚至引发粮食短缺。此外, 昆虫传粉的服务对农业的可持续发展也至关重要。昆虫传粉可以减少对人工授粉的依赖, 降低农业生产成本, 提高作物的生物多样性, 促进农业生态系统的长期稳定^[5]。

中国是全球农业第一大国, 也是虫媒作物种植比例最高的国家之一。中国农业科学院蜜蜂研究所分析了 1961-2018 年中国 84 种主要农作物的种植变化情况和昆虫传粉所产生的经济价值, 结果表明, 过去 60 年中国虫媒作物种植面积和产量增长更多,

中国农业对传粉昆虫的依赖度越来越高; 在农作物价格记录完整的 1991-2010 年间, 昆虫传粉产生的经济价值占比逐年上升, 2010 年中国农业昆虫传粉产生的经济价值为 1061 亿美元 (2010 年美元兑人民币汇率年平均中间价 6.7695, 折合人民币 7182 亿元), 占中国 84 种农作物总产值的 19.1% (全球平均水平为 9.5%); 如果野生传粉昆虫全部消失, 中国需要饲养 2680~15200 万群蜜蜂 (至少为目前养蜂数量的 3 倍以上) 才能满足农作物授粉需要^①。

近年来, 我国昆虫种群数量呈现显著下降趋势。例如, 2000-2023 年, 中国本土中华蜜蜂数量减少 53%, 其中云南、四川等传统养蜂区种群密度下降达 70%^[6]。长江中下游的蝴蝶种群数量在 10 年内下降 48%, 云南西双版纳的夜间蛾类生物量减少 62%^[5]。这种下降趋势主要由农业集约化、土地使用变化和杀虫剂使用等因素引起。此外, 气候变化、极端天气事件如极端降水和火灾等也对昆虫种群数量产生了负面影响。昆虫种群数量下降也对其他生物的影响和生态系统功能产生一系列影响, 昆虫数量的减少会导致众多迁徙食虫动物的种群数量显著下降, 特别是那些以昆虫为唯一或主要食物来源的动物, 例如候鸟、蝙蝠和鱼类等生物。同时昆虫数量的减少可能通过影响生态系统的功能及其栖息地来产生更广泛的生态后果。

1.2 昆虫数量下降的全球危机

近年来, 全球昆虫种群数量呈现出急剧下降的趋势。在中国, 这一现象同样令人担忧。昆虫数量的减少主要受到土地利用、气候变化和农药使用等因素的影响^[6,17]。

随着城市化进程的加速, 大面积的自然栖息地被开发为农田、城市和工业区。昆虫的生存空间不断被压缩, 原本丰富多样的生态环境被单一化的土地利用模式所取代, 导致昆虫种群的多样性和数量大幅减少^[7]。其次, 气候变化对昆虫的生存构成了重大威胁。全球变暖导致的温度上升、降水模式改变以及极端天气事件的增多, 都会干扰昆虫的生命周期和迁徙规律^[8]。部分昆虫无法适应快速变化的环境条件, 从而面临种群崩溃的风险。农业生产中大量使用化学农药和化肥也对昆虫种群造成了严重影响。此外, 化肥的过度使用还会改变土壤的微生物环境, 间接影响昆虫的食物链^[9]。

^①资料来源: <https://academic.oup.com/jee/advance-article-abstract/doi/10.1093/jee/toab100/6288403>

传粉昆虫数量的下降引发了多重危机。首先, 农作物的授粉效率大幅降低, 尤其是对依赖昆虫授粉的水果、蔬菜和坚果等作物, 直接导致产量下降和农作物的质量问题。其次, 农业生产的成本上升, 由于需要人工授粉或者使用其他替代方法, 生产成本大幅增加。此外, 传粉昆虫的减少也会破坏生态系统的食物链, 影响其他物种的生存, 进一步威胁生物多样性。全球食品供应的稳定性和粮食安全也受到威胁, 引发了各个国家关注^[10]。

1.3 昆虫传粉长期监测的必要性

为了应对昆虫数量下降带来的风险, 各国科学家和政策制定者普遍认识到建立长期昆虫传粉监测体系的重要性。昆虫传粉服务是生态系统中一个动态变化的过程, 受到气候变化、环境污染、农业管理等多种因素的影响。通过长期监测, 可以帮助我们全面了解昆虫种群的动态变化, 识别出潜在的环境压力源, 及时采取有效的保护和干预措施。

长期监测体系的核心目标是收集并分析昆虫数量、物种多样性、传粉效率等数据, 从而评估昆虫传粉的健康状况及其变化趋势。这种数据不仅能帮助我们了解昆虫种群在不同时间段和空间上的变化, 还可以揭示昆虫传粉服务的质量和效率。通过这些数据, 我们可以确定哪些区域和物种受到了威胁, 哪些环境因素对昆虫数量产生了显著影响, 从而为生物多样性保护、农业生产和生态恢复提供科学依据。

在我国, 昆虫传粉长期监测体系的建立将填补国内相关领域的空白。目前, 我国缺乏统一、系统的昆虫传粉监测网络, 这使得我们无法全面评估昆虫传粉服务的健康状况。通过建立覆盖全国的监测体系, 可以更好地掌握昆虫种群的变化趋势, 为生态

保护和农业可持续发展提供更精准的参考依据。

2 昆虫传粉长期监测体系的现状与挑战

2.1 全球昆虫传粉监测的现状

全球范围内, 昆虫传粉的重要性日益受到关注, 各国已经开展了多项长期监测项目, 以了解昆虫种群动态及其传粉服务的变化趋势。其中最具代表性的是欧洲、北美等地建立了相对完善的监测评价体系去掌握传粉昆虫的现状, 进行了国家级和跨国合作项目^[11]。这些项目不仅收集了丰富的长期数据, 也为昆虫种群的保护和政策制定提供了科学依据。

在欧洲, “蜜蜂监测计划”是一个重要的长期项目, 旨在跟踪蜜蜂及其他传粉昆虫的种群变化。通过每年固定的样方调查、花粉陷阱和标准化的昆虫采样方法, 该计划持续提供有关蜜蜂健康和数量变化的详细数据。该计划的成果促使英国政府出台了一系列蜜蜂保护政策, 如限制特定农药的使用、推广蜜蜂友好型栖息地建设等, 有效减缓了蜜蜂种群下降的趋势, 并为传粉昆虫保护提供了科学依据, 通过数据驱动的方式重塑了政策制定、公众认知与国际合作模式。美国的“国家传粉者健康监测计划”同样是一个卓有成效的项目。该计划不仅监测蜜蜂, 还包括蝴蝶、甲虫、蛾类等多种传粉昆虫。通过卫星遥感、基因分析和大数据技术, 该项目实现了昆虫种群与环境变化的长期联动分析。这为制定针对昆虫保护的农业政策和栖息地恢复项目提供了强有力的支持。此外, 联合国环境规划署和粮农组织也积极推动全球传粉昆虫的保护行动, 倡导建立全球传粉数据库, 鼓励各国共享监测数据和技术经验。通过这些国际合作, 全球昆虫传粉监测逐渐形成了一套标准化、系统化的操作流程(表1)。

表 1 全球部分昆虫传粉监测与保护项目

年份	项目名称	地区	主要目标	监测方式	关键成果
2000	蜜蜂监测计划 (Bee Monitoring Scheme)	英国	研究蜜蜂及其他传粉昆虫的种群动态, 监控蜜蜂健康	标准化昆虫采样、花粉陷阱、长期观察站	揭示了蜜蜂种群大幅下降的趋势, 推动了蜜蜂保护政策的出台
2008	国家传粉者健康监测计划 (National Pollinator Health Monitoring Program)	美国	监测蜜蜂、蝴蝶、甲虫等传粉昆虫的健康与种群动态	卫星遥感、基因分析、大数据技术	为美国农业政策提供了重要数据, 推动了传粉昆虫保护立法
2010	国际传粉昆虫保护计划 (International Pollinator Initiative)	全球	促进全球范围内的传粉昆虫保护, 收集和共享传粉数据	各国共享监测数据、跨国合作	促进了全球昆虫传粉数据的交流与合作, 推动了昆虫保护国际政策
2013	蜜蜂健康监测计划 (Bee Health Monitoring Programme)	欧洲	评估蜜蜂健康状况, 监测蜜蜂种群变化和农业政策	标本采集、传感器技术、农田监测	提供了欧洲地区蜜蜂健康和种群变化的详细数据, 支持政策决策

续表 1 全球部分昆虫传粉监测与保护项目

年份	项目名称	地区	主要目标	监测方式	关键成果
2015	传粉者网络计划 (Pollinator Partnership Network)	北美	通过合作网络监测和保护多种传粉昆虫, 推动生态修复	跨国网络合作、社区参与、农业与生态结合监测	在多地建立了传粉昆虫监测网络, 促进了农业与生态保护的合作
2017	全球传粉昆虫保护数据库 (Global Pollinator Database)	全球	建立全球性的昆虫传粉数据库, 整合不同国家和地区的数据	数据库建设、数据共享平台	为全球昆虫保护提供了统一的数据库支持, 提升了科研合作与监测效率
2018	欧洲昆虫监测计划 (European Insect Monitoring Program)	欧洲	跟踪并研究昆虫种群及其生态功能, 尤其是传粉昆虫的变化	长期采样、数据记录与分析、遥感技术	监测到传粉昆虫物种丧失, 推动了欧盟昆虫保护政策的加强
2020	全球传粉者监测平台 (Global Pollinator Monitoring Platform)	全球	推动全球范围内对传粉者的长期监测与合作, 提升数据准确性	卫星遥感、人工智能、大数据分析	提供了跨区域数据共享与实时监测, 推动了全球传粉保护行动
2021	全球传粉昆虫保护与监测计划 (Global Pollinator Protection & Monitoring Program)	全球	保护全球传粉昆虫, 构建长期、全球性的监测与保护网络	传感器技术、无人机监测、基因组学分析	提高了全球合作, 加强了政策层面的传粉昆虫保护举措

2.2 我国昆虫传粉监测的进展

我国是传粉昆虫资源最丰富的国家之一, 但前期研究起步晚, 关注的昆虫种类较少, 在传粉昆虫现状、趋势、所受的威胁、传粉服务价值和保护利用等方面仍落后于欧美等国家^[12,13]。但近年来, 我国在昆虫传粉监测领域取得了一定进展, 尤其是在农业、生态保护和生物多样性保护方面。随着对昆虫传粉重要性认识的加深, 越来越多的科研机构 and 地方政府开始积极开展昆虫传粉监测工作。表 2 是我国进行的关于昆虫传粉监测的项目和计划。

多个项目重点关注了蜜蜂等传粉昆虫的健康状况、传粉对农业作物的影响以及不同生态系统中昆虫传粉网络的多样性与稳定性。例如, 多个科研机构开展了蜜蜂种群监测, 并评估了农田生态系统中昆虫传粉的变化趋势, 尤其是在农药使用、栖息地退化等压力因素影响下的变化。此外, 中国科学院和其他科研单位还通过长期固定样地监测, 建立了基于数据共享平台的生物多样性监测网络, 为传粉昆虫的保护和管理提供了科学依据。公众参与也在昆虫传粉监测中发挥了重要作用, “传粉昆虫公民科学项目”等项目通过鼓励公众参与数据收集, 不仅增强了社会公众对昆虫保护的认知, 还提升了科学素养, 为昆虫传粉监测体系的建设提供了更多的支持 (表 2)。

2.3 昆虫传粉监测面临的挑战

尽管昆虫传粉监测体系在全球和国内都取得了

长足进展, 但要真正实现长期有效的监测, 仍面临多重挑战。这不仅包括专业监测平台缺失、数据采集方法不统一等技术层面的难题, 气候变化和环境压力带来的不确定性。要构建一个系统、全面且可持续的监测体系, 需要各方的紧密合作和长期投入, 以确保昆虫传粉的生态功能得到有效保护和科学管理。

2.3.1 专业监测平台的缺失

目前, 我国尚未建立以传粉昆虫为主要对象的专业化监测平台, 这在一定程度上限制了该领域的系统性研究和长期数据积累^[14]。由于缺乏全国联动的监测体系, 现有的昆虫监测项目多局限于局部区域和短期调查, 尤其集中在生物多样性较高的地区, 如西双版纳和东部沿海等。虽然这些区域的研究提供了宝贵的基础数据, 但监测工作因缺少统一规划和协调, 导致数据在空间和时间上的不连续性, 也难以全面掌握我国不同生态区域的传粉昆虫种群动态, 从而无法形成完整、系统的评估和科学解读。

2.3.2 数据管理与共享不足

尽管我国部分科研机构已开始进行昆虫传粉的监测与数据收集, 但在数据管理、分析与共享方面仍存在较大问题^[15]。各项目的数据采集方法、标准和频率不统一, 导致不同地区、不同监测点的数据不具备较好的可比性和一致性。此外, 缺乏一个全国性的昆虫传粉数据平台, 限制了数据的共享与综合分析, 这也影响了监测结果的准确性和及时性。

表 2 我国部分昆虫传粉监测与保护项目

年份	项目名称	主要参与机构	监测目标	监测方式	关键成果
2005	蜜蜂种群监测项目	中国农业科学院、各地方农业研究所	评估蜜蜂种群的变化趋势, 监控蜜蜂健康与栖息地	样本采集、花粉陷阱、农田监测	首次系统性评估了蜜蜂种群的变化, 并为蜜蜂保护政策提供了数据支持
2009	昆虫传粉服务功能评估与监测	中国科学院、北京大学、华南农业大学	研究昆虫传粉对不同作物的影响, 探讨昆虫传粉的生态功能	基于农业作物的传粉实验、生态系统监测	提高了对昆虫传粉在农业生态系统中的重要性认知, 促进了相关政策出台
2013	中国生物多样性监测与研究网络 (Sino BON)	中国科学院	建立全国性的生物多样性监测与研究网络, 涵盖传粉昆虫等重要类群	长期固定样地监测、数据共享平台	形成了长期稳定的监测网络系统, 为生物多样性保护提供了科学支撑
2016	传粉和粮食生产评估报告	IPBES (生物多样性和生态系统服务政府间科学政策平台)	评估全球传粉者对粮食生产的影响	数据收集、综合分析	强调了传粉者对全球粮食安全的重要性, 呼吁加强传粉者保护
2018	中国东部传粉昆虫资源调查与评估	中国科学院动物研究所	调查和评估中国东部地区传粉昆虫的多样性和分布	实地采样、物种鉴定、数据分析	建立了中国东部传粉昆虫的基础数据库, 为保护和利用传粉昆虫资源提供科学依据
2018	传粉者监测方法探讨	武汉大学生命科学学院	探讨传粉者的监测方法, 评估不同方法的有效性	实地观察、群落水平监测、生态互作网络构建	为传粉者监测提供了方法学指导, 促进了传粉生态学研究的进展
2023	传粉昆虫公民科学项目	世界自然基金会 (WWF)、中国科学院动物研究所	通过公众参与收集上海地区传粉昆虫的数据, 提升公众对传粉者保护的意识	公民科学、实地观察、数据收集	增强公众科学素养, 提高对传粉昆虫保护的社会关注度

2.3.3 技术应用的局限性

随着科技的不断进步, 遥感技术、无人机、人工智能等新兴技术在昆虫传粉监测中具有巨大潜力^[16]。然而, 目前这些技术在国内的应用尚处于探索阶段, 普及度不高。由于技术成本较高、操作复杂, 许多科研团队和地方政府尚未能够充分利用这些先进技术进行昆虫传粉监测。此外, 新技术的应用也需要相应的人才支持和技术培训, 这对于一些资源较为有限的地区和单位来说, 依然是一个挑战。

2.3.4 气候变化和环境压力的影响

气候变化、栖息地破坏、农药使用等环境因素对昆虫种群的影响, 已经成为昆虫传粉监测面临的重要挑战^[6,17]。气候变化引发的极端天气、温度波动和降水变化, 可能导致昆虫的生长周期、分布范围和传粉效率发生变化。而农药的过度使用和栖息地的破坏, 则直接威胁到昆虫的生存和繁殖。监测系统需要能够适应这些环境变化, 及时发现潜在的威胁, 并采取有效的应对措施。

3 建立昆虫传粉长期监测体系的策略与方法

建立科学、系统的昆虫传粉长期监测体系, 对于保护生态平衡和维持农业生产至关重要。随着全球范围内传粉昆虫数量的持续下降, 如何有效监测并及时发现昆虫种群的变化趋势, 成为生态保护领域的重大课题。一个完善的长期监测体系不仅需要明确的监测指标、合理的空间布局和高效的数据管理, 还应结合现代科技手段和环境压力源分析, 从而实现昆虫传粉网络的全面、长期和动态的跟踪。只有这样, 才能为传粉昆虫的保护提供科学依据, 并为全球生态安全和可持续发展贡献力量。

3.1 监测指标体系的设计

建立科学、系统的昆虫传粉长期监测体系, 首先需要明确关键的监测指标。昆虫传粉的生态过程复杂多样, 不同物种在传粉网络中承担不同功能, 因此在设计监测指标时, 需要涵盖昆虫多样性、丰度、以及传粉服务量化等方面。

关键物种的选择是监测体系的基础。典型的传粉昆虫有蜜蜂类、蝴蝶类、区域指示性昆虫等^[18]。我国常见的蜜蜂种类有中华蜜蜂、意大利蜜蜂等,

这些蜜蜂在农作物授粉中发挥着重要作用, 可作为关键物种进行监测。通过长期监测这些代表性物种的种群数量、季节性活动模式以及栖息地偏好, 可以反映传粉网络的健康状况。除了昆虫自身的特征外, 监测体系还应关注植物-昆虫相互作用的动态, 反映多方面指标。数据标准化是长期监测的关键。建立统一的记录方法和数据格式, 确保不同时间、地点和团队的监测数据具有可比性, 为后续的大规模分析提供坚实基础。同时, 这也为推动全球范围内的昆虫传粉数据库建设奠定了基础, 支持科学研究和政策决策。

3.2 监测网络的空间布局

合理的空间布局可以确保监测体系全面覆盖不同生态系统, 并捕获昆虫传粉的时空动态特征。样地选择应包括农田、森林、湿地、城市绿地等多种生境类型, 每个样地的面积和布设方式需要根据生态学 and 统计学原则确定。

长期监测体系不仅要考虑空间维度, 还需要重视时间尺度。通过每月或每季度的定期调查, 积累多年连续性数据, 从而揭示昆虫传粉的季节性变化和年际波动。采集频率和样本量的确定应依据统计学原理, 确保能够捕捉到细微但具有显著性的种群变化趋势。

3.3 数据收集与管理

监测体系的有效实施还需要强有力的数据收集与管理体的支持。传统的现场调查方法包括直接观察法、样点观察法、扫网法等^[19,20]。这些方法虽然可以提供物种多样性和生态行为数据, 但劳动强度大, 并且需要经验丰富的调查员^[21]。故自动化监测技术的发展为昆虫传粉的长期监测带来了革命性变革。远程摄像头和声学传感器可以不间断地记录昆虫活动, 并通过人工智能算法实现物种自动识别。此外, 无人机和高光谱成像技术可用于大尺度快速调查, 为昆虫栖息地评估和开花植物资源监测提供新思路。

数据存储和共享是长期监测体系的基础设施。建立国家级乃至国际性的昆虫传粉数据库, 实现数据的标准化存储、跨区域共享和开放获取, 将极大促进科学研究和政策决策, 为全球传粉网络的保护与管理提供有力支持。

3.4 长期监测数据的分析与环境压力源识别

长期监测数据的分析是评估昆虫传粉变化趋势

的重要手段。通过对昆虫种群和传粉服务的持续追踪, 能够揭示昆虫传粉网络的长期动态变化, 为预测潜在的生态风险提供科学依据。在变化趋势分析方面, 可以采用多种统计和生态建模方法。例如, 通过广义加性模型分析昆虫丰度和物种多样性的非线性变化, 揭示长期环境因子对昆虫群落的影响。同时, 物候变化分析可用于检测传粉昆虫与开花植物之间的时间不匹配情况, 这种不匹配通常是气候变暖所带来的潜在生态风险的表现^[22]。

进一步的分析需要结合传粉昆虫的种群动态与栖息地环境数据, 以全面识别可能的环境压力源。土地利用变化是最常见的环境压力源之一, 农田扩张、城市化、栖息地破碎化都可能导致昆虫栖息地的丧失^[23]。遥感技术和地理信息系统被广泛应用于监测土地覆盖度和景观连通性的变化, 这些技术可以定量评估栖息地质量的下降, 为生态保护和管理措施的制定提供有力的支持。通过这些技术手段, 能够在大尺度上识别栖息地丧失的趋势, 从而及时采取保护措施。

此外, 农药和杀虫剂的使用对传粉昆虫的直接毒性效应^[24], 以及外来入侵物种的竞争或捕食压力^[25], 都是不容忽视的环境压力因素。长期监测数据能够揭示这些因子的累积效应, 帮助我们识别哪些环境压力源对昆虫种群构成了威胁, 并为制定生态友好的农业管理政策提供科学依据。通过跨学科的合作和技术的持续创新, 我们可以更有效地管理和保护昆虫传粉生态系统, 确保生态服务的可持续性和农业生产的稳定性。

3.5 新技术在昆虫传粉监测中的应用

新技术的应用为昆虫传粉长期监测提供了强有力的技术支持。遥感技术可以实时监测植被覆盖度、开花动态和环境胁迫因子, 为昆虫栖息地质量评估提供宏观视角。通过卫星影像和无人机图像的结合, 遥感技术能够在较大范围内捕捉到土地利用、植被变化和气候因素的影响, 这为昆虫栖息地的动态变化分析提供了精确数据, 并有助于制定科学的保护策略^[26]。遥感技术虽然能够实现大范围的植被覆盖度监测, 但在监测昆虫个体时精度有限, 难以准确识别小型昆虫的种类和数量。因此, 在实际应用中, 需要结合其他监测方法进行综合分析, 以提高监测结果的准确性。无人机技术在大尺度快速调查方面具有独特优势。配备高分辨率相机的无人机可以精细

监测花卉资源分布, 并通过计算机视觉技术自动识别植被类型和开花强度^[27]。这不仅提高了监测效率和准确性, 也有助于动态追踪昆虫栖息地的变化。人工智能技术, 尤其是基于深度学习的图像和声音数据分类模型, 进一步提高了昆虫物种识别的效率和准确性。通过结合自动化监测设备, AI 系统可以实现昆虫种类的实时识别, 并及时识别出异常事件, 如物种的突然减少或行为异常。这种智能化的监测方式不仅可以帮助研究人员更高效地收集昆虫数据, 还能在出现环境压力或昆虫种群变化时, 及时发出预警, 为全球范围内的长期监测网络建设提供坚实的技术支持。借助 AI 和自动化技术, 昆虫传粉监测可以更加高效和系统地进行, 促进生态保护和可持续农业管理的实施。

4 昆虫传粉长期监测体系的应用与前景

4.1 昆虫传粉监测对生态保护的应用

长期的昆虫传粉监测体系在生态保护领域发挥着关键作用, 为生态系统的健康评估和生物多样性保护提供了科学依据。首先, 系统化的监测数据能够揭示传粉昆虫种群的长期动态变化趋势, 进而识别因气候变化、栖息地丧失、环境污染及农业管理方式变化等因素导致的昆虫种群衰退。基于长期监测所得的数据, 生态学家能够建立数学模型, 量化环境因子对昆虫种群的影响, 并预测未来的种群变化趋势。这种数据驱动的分析为科学决策提供了基础, 使保护措施能够更具针对性和时效性。例如, 当监测数据显示某些关键传粉昆虫种群出现显著下降时, 可以采取适应性管理措施, 如恢复蜜源植物、建立生态廊道、优化农药使用模式及保护关键栖息地, 以维持传粉昆虫的种群稳定性和生态系统功能。

此外, 长期的传粉昆虫监测对于生物多样性保护和生态系统健康评估具有重要意义^[28]。传粉昆虫在促进植物繁殖、维持群落结构和调节生态系统功能方面发挥着不可替代的作用, 其种群变化往往是生态系统健康状况的重要指示因子。通过监测传粉昆虫的多样性、丰度及传粉效率, 可以评估植被群落的稳定性以及植物种群的繁殖成功率, 从而间接衡量生态系统的稳态性和恢复能力。

构建长期监测体系并加强数据共享, 不仅有助于提高对生态系统动态变化的理解, 还能为全球范围内的生物多样性保护政策提供科学依据, 推动生态修复和可持续管理策略的制定与实施。

4.2 昆虫传粉监测在农业生产中的应用

农业生产高度依赖昆虫传粉, 特别是果树、坚果、油料作物和部分蔬菜等作物的产量和品质直接受到传粉昆虫的影响。建立长期昆虫传粉监测体系, 有助于优化农业管理, 促进可持续农业的发展^[14]。

首先, 长期监测可以提供传粉昆虫种群动态的关键数据, 帮助农业生产者识别传粉限制因素。例如, 通过记录昆虫种群数量、活动模式和传粉效率的变化, 农户可以及时发现农田传粉不足的问题, 并采取适当措施加以干预。基于这些数据, 可以制定合理的农田管理策略, 例如种植蜜源植物以吸引传粉昆虫, 在苹果园周围种植紫花苜蓿等蜜源植物, 可在春季进行播种, 为蜜蜂等传粉昆虫提供丰富的食物来源, 吸引它们在花期为苹果花授粉, 从而提高苹果的坐果率和产量。这不仅能提高作物的授粉效率, 还能促进农田生态环境的健康。

其次, 昆虫传粉监测体系为精准农业提供数据支持, 推动农业向智能化方向发展。借助遥感、无人机和自动化传感器等技术, 农业生产者可以实时监测农田中的传粉活动, 在关键开花期评估传粉充足性, 必要时通过引入蜜蜂或其他传粉昆虫进行人工干预。这种数据驱动的农业管理方式, 不仅提高了作物授粉效率, 还能减少因传粉不足导致的减产风险。

随着技术的进步, 长期昆虫传粉监测将在农业可持续发展中发挥重要作用。基于长期监测数据的科学决策, 将有助于优化农田管理, 提高作物产量, 同时减少对生态环境的不利影响, 实现农业与生态系统的协调发展。

4.3 昆虫传粉监测在政策决策中的应用

昆虫传粉长期监测体系的建设, 不仅服务于生态和农业领域, 更为政府的环境保护政策和农业可持续发展战略提供了有力支撑^[29]。

在环境保护方面, 政府可以利用监测体系的数据, 制定和实施更加科学的环保政策。例如, 基于昆虫种群和栖息地变化的监测结果, 可以确定生态保护的重点区域, 并实施严格的保护措施。同时, 通过对农药使用和土地管理的合理管控, 可以减少对传粉昆虫的负面影响, 从而维持农业生态系统的稳定。

在农业政策方面, 昆虫传粉监测体系提供的长期数据, 有助于政府制定更加可持续的农业发展战略。例如, 可以通过政策引导鼓励农民采用有机种

植、减少农药依赖、保护农田生物多样性等措施。这不仅能够提升农作物的产量和品质,也为国家的粮食安全和生态环境保护奠定坚实基础。

构建长期昆虫传粉监测体系,并将其数据纳入环境管理和农业政策决策框架,不仅有助于保护传粉昆虫及其生态服务功能,推动农业生产方式向可持续方向转型,也为粮食安全和生态系统稳定提供坚实保障。

4.4 昆虫传粉监测的国际合作与数据共享

昆虫传粉服务的保护是全球生物多样性保护和生态安全的重要组成部分。由于气候变化、栖息地破坏、农药使用等因素对传粉昆虫的影响具有跨区域特征,建立国际合作机制并实现数据共享,对于提升全球范围内传粉昆虫监测的科学性和有效性至关重要。通过标准化的监测方法,各国可以共享数据,联合开展研究,共同制定科学的保护策略,以应对昆虫种群下降的全球性挑战。因此,推动国际合作和数据共享,是建立全球昆虫传粉长期监测体系的重要环节。

通过标准化的监测方法和跨国合作,国际间可以共享昆虫传粉数据,结合各自的研究成果,提升全球监测网络的质量和一致性。统一的监测数据不仅能够增强不同地区的对比分析,还能够促进全球范围内的科研协作,共同研究昆虫传粉服务的动态变化及其与环境因素的关系。这种跨国合作和数据共享机制,将为应对昆虫种群下降问题提供系统化、协同化的解决方案。

未来,中国的昆虫传粉长期监测体系也可以更加积极地参与到全球合作中,通过共享监测数据、联合开展科研项目,共同应对全球昆虫种群下降的挑战。这不仅有助于提升中国在国际生态保护领域的影响力,也为全球生态安全和可持续发展贡献中国智慧和力量。

4.5 昆虫传粉长期监测体系的未来发展前景

随着科技进步,昆虫传粉长期监测体系将朝着更加智能化、系统化和全球化的方向发展。随着物联网、大数据、人工智能等先进技术的不断进步,昆虫传粉监测的自动化水平将显著提升。自动化监测设备能够实时、连续地采集昆虫活动数据,而基于大数据分析的智能系统将为昆虫传粉动态提供更精确的预测和实时反馈。通过这些技术手段,监测体系的时效性、准确性和覆盖范围将得到极大改善,

从而为昆虫传粉服务的保护和生态管理提供更加科学的数据支持。

此外,公众参与和环境教育的作用也将愈加重要。随着公民科学项目的逐步推广,越来越多的普通民众将加入到昆虫传粉监测中来。这不仅能够为研究提供更广泛的数据来源,还能增强公众对传粉昆虫保护的认知和责任感。通过这些参与活动,公众在提升科学素养的同时,也能在保护传粉昆虫方面做出切实贡献。未来,政府、科研机构和公众的协同合作,将为昆虫传粉监测体系的完善与可持续发展奠定坚实的基础。

随着国际合作和数据共享的不断深化,全球昆虫传粉长期监测体系的建设将迎来更加广阔的发展前景。不同国家和地区可以共享监测成果与研究数据,推动全球范围内的传粉昆虫保护和生态安全战略。这种全球性的信息整合与合作,将为昆虫传粉服务的科学研究和生态保护提供强大的支持。

参考文献

- [1] 金晓芳,钟锦如,耿江天,等.丰富多彩的传粉昆虫世界[J].生命世界,2024,(08):52-59.
- [2] Montoya J M, Solé R V. Small world patterns in food webs[J]. *Journal of theoretical biology*, 2002, 214(3): 405-412.
- [3] Klein A M, Vaissière B E, Cane J H, et al. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops[J]. *Proceedings of the royal society B: biological sciences*, 2007, 274(1608): 303-313.
- [4] Ollerton J, Winfree R, Tarrant S. How many flowering plants are pollinated by animals?[J]. *Oikos*, 2011, 120(3): 321-326.
- [5] 田晓林. 蚜蝉营养资源价值评价及肠道细菌研究[D]. 山东农业大学, 2011.
- [6] 陈晓,于福清,陆健,等.我国蜜蜂遗传资源保护现状与对策[J]. *中国农业科技导报*, 2023, 25(05): 1-7.
- [7] STEFANESCU C, PENUELAS J, FILELLA I, 2009. Rapid changes in butterfly communities following the abandonment of grasslands: A case study. *Insect Conservation and Diversity*, 2: 261-269.
- [8] HARRIS J E, RODENHOUSE N L, HOLMES R T, 2019. Decline in beetle abundance and diversity in an intact

- temperate forest linked to climate warming. *Biological Conservation*, 240: 108219.
- [9] GILBURN A S, BUNNEFELD N, WILSON J M, BOTHAM M S, BRERETON T M, FOX R, GOULSON D, 2015. Are neonicotinoid insecticides driving declines of widespread butterflies? *Peerj*, 3.
- [10] Garibaldi L A, Carvalho L G, Vaissière B E, et al. Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms[J]. *Science*, 2016, 351(6271): 388-391.
- [11] Bashir M A, Saeed S, Sajjad A. MONITORING HYMENOPTERA AND DIPTERA POLLINATORS IN A SUBTROPICAL FOREST OF SOUTHERN PUNJAB, PAKISTAN[J]. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 2013, 50(3).
- [12] Yao CC, Hou YX, Guo DX, Wan X, 2023. Diversity of pollinators and their relationships with environmental factors in typical forest-agriculture ecotone of Yaoluoping Nature Reserve. *J. Biol.*, 40(4): 70-75.
- [13] 姚晨晨, 侯银续, 郭东旭, 万霞, 2023. 鹳落坪保护区典型农林交错带传粉昆虫多样性及其与环境因子间的关系. *生物学杂志*, 40(4): 70-75.
- [14] 阿如汗, 张启宇, 刘云慧. 欧美主要国家与我国传粉昆虫多样性保护政策和研究比较分析[J]. *生态与农村环境学报*, 2023, 39(01): 1-11.
- [15] 罗小燕, 李强, 黄晓磊. 戴云山国家级自然保护区访花昆虫 DNA 条形码数据集[J]. *生物多样性*, 2023, 31(08): 129-134.
- [16] 王明强, 罗阿蓉, 周青松, 等. 昆虫多样性三十年研究进展[J]. *生物多样性*, 2022, 30(10): 121-149.
- [17] 田瑜, 兰存子, 徐靖, 等. IPBES 框架下的全球传粉评估及我国对策[J]. *生物多样性*, 2016, 24(9): 7.
- [18] 付甜甜, 郝培尧. 乡村生物多样性中昆虫传粉服务功能保护对策研究[J]. *风景园林*, 2023, 30(04): 18-26.
- [19] Cane J H, Minckley R L, Kervin L J, et al. Complex responses within a desert bee guild (Hymenoptera: Apiformes) to urban habitat fragmentation[J]. *Ecological Applications*, 2006, 16(2): 632-644.
- [20] Westphal C, Steffan-Dewenter I, Tschamtk T. Bumblebees experience landscapes at different spatial scales: possible implications for coexistence[J]. *Oecologia*, 2006, 149(2): 289-300.
- [21] Cane J H. Habitat fragmentation and native bees: a premature verdict?[J]. *Conservation Ecology*, 2001, 5(1).
- [22] Pawson S M, Brin A, Brockerhoff E G, et al. Plantation forests, climate change and biodiversity[J]. *Biodiversity and Conservation*, 2013, 22: 1203-1227.
- [23] 王明强, 罗阿蓉, 周青松, 等. 昆虫多样性三十年研究进展[J]. *生物多样性*, 2022, 30(10): 121-149.
- [24] 席欧彦, 王晨日, 古丽奴尔·吐拉西, 等. 伊犁河谷野果林传粉昆虫物种多样性及访花行为特征[J]. *新疆农业科学*, 2024, 61(01): 190-198.
- [25] 马玲. 入侵植物挥发物在调控植物与土著昆虫互动中的作用及机制[D]. 河南大学, 2021.
- [26] 郭党五. 探析大数据技术在测绘地理信息中的应用[J]. *通讯世界*, 2024, 31(10): 163-165.
- [27] 邓璐希, 唐莎莎, 邹婷婷, 等. 无人机影像用于监测湿地植物群落开花覆盖度与昆虫访花活动[J]. *植物科学学报*, 2021, 39(05): 467-475.
- [28] 邓立斌, 陈端吕, 邓丽群. 西藏雅鲁藏布大峡谷国家级自然保护区生态评价[J]. *林业科学*, 2011, 47(05): 1-6.
- [29] 胡丹, 李秀山, 常雪梅, 等. 南充市昆虫传粉网络及其对主要授粉作物传粉服务价值研究[J]. *昆虫学报*, 2024, 67(02): 255-269.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS