

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 (4): 18-26.

乡村生物多样性中昆虫传粉服务功能保护对策研究

付甜甜 郝培尧*

摘要: 【目的】昆虫传粉服务功能对乡村生物多样性至关重要, 亦是中国乡村生态振兴的基础。目前, 昆虫传粉服务功能的快速衰退对乡村生物多样性造成威胁, 亟待对其保护对策展开深入研究。【方法】通过文献分析, 针对国际上昆虫传粉功能保护研究进行系统性梳理。【结果】基于传粉昆虫科学研究协同不同尺度乡村景观特征, 已形成“国际—国家—地方”的多层级保护策略体系, 其保护途径包括乡村生态系统传粉服务评估、传粉者友好型乡村景观格局优化、作物生境与非作物生境协同管控及多元的支撑措施体系。【结论】提出针对中国农业景观规划实践中传粉昆虫及其传粉服务功能保护策略的优化建议: 深化基于传粉昆虫的乡村生物多样性保护政策体系; 推动基于传粉者友好型的乡村景观多样性规划; 完善基于传粉服务功能提升的生态基础措施。

关键词: 生态系统服务; 传粉服务价值评估; 传粉昆虫保护政策; 乡村景观多样性; 传粉者网络

基金项目: 国家重点研发计划课题“城市生态空间控制和布局优化技术”(编号 2022YFC3800203)

中图分类号: TU981; Q16

文献标识码: A

文章编号: 1673-1530(2023)04-0018-09

DOI: 10.12409/j.fjyl.202301030004

收稿日期: 2023-01-03

修回日期: 2023-02-20

开放科学 (资源服务)
标识码 (OSID)



乡村生物多样性对自然生态系统的稳定和城乡公众福祉具有重要支撑作用, 是实现中国乡村振兴重大战略的关键支点^[1-2]。在中国城乡一体化进程中, 乡村作物生境及非农半自然生境等快速丧失、破碎, 严重影响了乡村生物多样性的稳定。全球约 87.5% 的开花植物由动物传粉, 超过 70% 的农作物依赖以昆虫为主的传粉服务^[3-4]。传粉昆虫及其授粉服务对乡村生物多样性和农业生态系统服务功能具有重要影响^[5-7]。传粉昆虫是帮助虫媒植物传播花粉, 将雄蕊花粉传播到不同植株的雌蕊柱头, 完成异花授粉过程的昆虫类群总称, 包括膜翅目 (Hymenoptera)、双翅目 (Diptera)、鞘翅目 (Coleoptera)、鳞翅目 (Lepidoptera) 等数十类^[8]。近年因栖息地的丧失、烟碱类等化学药剂的污染、外来物种的入侵与全球气候变暖等多种因素胁迫, 全球多个地区的传粉昆虫数量和多样性急剧下降^[9-11]。传粉昆虫的种群数量的急剧下降会导致乡村生物多样性及其生态系统服务严重丧失。2000 年联合国《生物多样性公约》第五次缔约方大会 (COP5) 正式通过了《国际传粉者倡议》(International Pollinator Initiative, IPI), 强调了传粉昆虫是维持生物多样性和生态系统功能稳定的关键驱动因素, 将传粉昆虫的保护和授粉的可持续利用作为促进农

业生态系统可持续发展的优先事项。

在此背景下, 传粉昆虫保护成为全球乡村生物多样性研究关注的重点和热点, 英国、爱尔兰、德国、美国等多个国家已相继形成了昆虫传粉保护措施体系^[12]。然而中国对乡村景观中昆虫传粉服务的保护体系亟待提升^[13]。本研究聚焦于乡村景观中昆虫传粉服务功能保护体系, 分析当前乡村生物多样性中昆虫传粉服务功能研究重点与方向, 旨在为中国乡村生物多样性保护、乡村可持续发展与乡村景观规划设计提供理论支持。

1 昆虫传粉功能已成为乡村生物多样性的热点

1.1 多尺度乡村生态系统昆虫传粉功能研究

昆虫传粉功能的相关研究始于以粮食生产为核心的农业生态领域^[14]。传粉昆虫是农业生态系统中的关键种, 具有维持植物遗传多样性, 提高作物产量和质量以及控制农作物病虫害等多方面作用^[15-17]。2006 年, 蜂群崩溃综合征 (Colony Collapse Disorder) 暴发, 促使欧美多个国家开始进一步对传粉昆虫开展系统研究。相关研究涉及昆虫学 (Entomology)、农业综合学 (Agriculture Multidisciplinary)、生态学 (Ecology)、植物学 (Botany) 等多学科, 涵盖传粉昆虫的基因演化机制^[18]、个体层

面生物学特征^[16]、访花行为、野生种的驯化和 管理^[16-17], 以及群体层面昆虫多度、丰富度^[4, 16-19]、种群动态变化与管理^[16, 20]、传粉昆虫种群病虫害传播机制^[21-22] 等多个层面。

乡村景观以农田、园地等作物生境为主, 明显有别于城市和自然区域。2016 年生物多样性和生态系统服务政府间科学政策平台 (Intergovernmental Science Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES) 首次发布全球范围传粉专题评估成果——《传粉者、授粉和粮食生产评估报告》(The Assessment Report on Pollinators, Pollination and Food Production), 强调了环境要素对昆虫传粉服务的影响, 进一步推动了乡村景观中昆虫传粉功能的研究^[23]。相关研究重点不仅关注以粮食系统为中心的作物生境、非作物生境中的生物多样性, 亦包括生态系统与管理活动之间的相互影响^[2, 7], 并在研究内容上体现出空间尺度特征。在乡村及其与城市和自然交错区域等区域尺度上, 相关研究着重关注景观异质性、连通性、作物及非作物生境的数量与质量等对传粉昆虫多样性、传粉服务功能的影响, 特别关注受城镇化影响严重、空间格局变化较大的城乡过渡区^[4, 24-25]。在景观尺度 (1 km×1 km), 乡村景观通常包含若干个自然村, 相关研究较为关注农业与林业相

结合的农林复合生态系统中传粉昆虫物种多样性、空间分布、群落多样性及质量等。在农田、草地、林地与树篱等景观要素为主的局地尺度（100 m×100 m），相关研究则侧重于群落之间的传粉昆虫物种多样性，植物与传粉者网络结构特征等，其中蜜粉源植物种类与丰富度对乡村生态系统传粉服务的驱动机制为重点内容^[26-28]。乡村生物多样性中昆虫传粉服务功能的保护还应针对不同尺度的乡村景观进行针对性重构和提质^[13, 29-30]。

总体来看，乡村景观中昆虫传粉服务功能的研究从早期对传粉昆虫存量、行为等的关注逐渐拓展，具有从关注以农业生产为主体的农业生态系统向包括非农半自然生境生物多样性的乡村生态系统拓展的趋势^[31-33]，关注重点也从局部农业管理措施逐渐转移至乡村景观的全尺度、全方位协同管控^[34-35]。

1.2 多层级的昆虫传粉服务功能保护政策体系

随着乡村景观中昆虫传粉服务功能多尺度影响机制的研究深入，乡村景观中昆虫传粉服务功能多尺度的管控受到政府管理部门的高度重视，因此各国、各级政府开始颁布相关政策以突破跨地区甚至跨国的行政管制隔阂，逐步形成了与多尺度传粉昆虫保护需求相呼应的“国际—国家—地方”多层级保护政策体系。

国际层级上保护政策多侧重于国际合作倡议，以《国际传粉者行动计划》（*International Pollinator Initiative-Plan of Action*）与《抢救传粉媒介联盟宣言》（*Declaration of the Coalition of the Willing on Pollinators*）为代表^[8, 36]，二者均强调将传粉者保护纳入主要政策以指导国家、地方级别的传粉者保护行动，并倡议建设信息与技术共享平台，促进各国的合作研究^[36]。此外，2016年IPBES发布的《传粉者、传粉与粮食生产评估报告》，直接强调了国家与社会群体在解决传粉者数量下降问题中的中心作用，影响了多国后续有关传粉者健康保护、农药生产和使用等相关政策的制定和实施^[37-38]。

在国家层级上，保护政策则聚焦于保护原则与策略方面的顶层设计，主要涉及科学

表 1 作物生境及非作物生境传粉服务价值评估要素		
Tab. 1 Factors involved in the assessment of the value of pollination services in crop and non-crop habitats		
评估类型	评估方法	评估要素
传粉服务功能价值评估	空间制图、遥感解译、生态系统长期监测数据	地形、地质、土壤和气候信息；植物多样性；昆虫飞行距离；昆虫传粉效率、生态系统类型多样性等
		传粉昆虫多样性指数、昆虫群时空分布特征、生境变化特征、外来入侵物种风险、植物-传粉媒介的相互作用网络等
风险评估	生态系统长期监测数据	

研究、监督管理、监测评估等方面。其多依托本国生物多样性行动计划、环境土地管理计划等本国国情进行本土化，因此也体现出一定的差异。如法国传粉战略指出土壤条件、森林腐烂木材对传粉友好型生境建设的重要性^[39]；西班牙与挪威的相关政策则特别强调了预防外来入侵物种的必要性^[40]。受到IPBES评估报告的影响，国家层级传粉多样性保护政策的制定到实施逐渐形成了“国际倡议—专题评估—政府关注—限制性措施”的新模式^[23]。

保护政策于地方层级上多侧重于具体农业产区的土地管理与公众引导以落实国家层级政策。在土地管理方面，重点在建设之中加强当地传粉物种种群与栖息地保护、恢复^[40-41]，如完善当地传粉者栖息地网络和多尺度的绿色传粉走廊体系，以及将传粉者群落整合至生物多样性保护网络中。公众引导方面则强调提高公民的传粉者保护意识，如美国所有州均指定了“传粉者周”（Pollinator Weeks），并有5个州的立法机构通过了“传粉者周”法案^[37]。

2 乡村景观中昆虫传粉服务功能保护途径

随着研究的持续深入，且在相关保护政策的支持与推动下，昆虫传粉服务功能的提升已经成为乡村景观规划设计的重要内容，逐步形成涵盖乡村生态系统传粉服务评估、传粉者友好型乡村景观格局优化、作物生境与非作物生境协同管理以及多元支撑措施体系全流程的保护技术体系。

2.1 乡村生态系统传粉服务评估

2.1.1 乡村生态系统传粉服务需求与价值评估

传粉服务需求与价值评估旨在明确昆虫传粉服务对人类经济发展的潜在影响，帮助

决策后期维持或增强乡村生物多样性中昆虫传粉服务功能保护的人力、物力和财力投入^[30, 42-43]。早期的传粉服务评估方法大多是基于经济价值的定量化评估，结合空间和时间的研究相对较少。近年来，土地利用结合生态系统服务制图得到了更加广泛的关注，以土地利用数据为基础，借助InVEST-Pollination等软件构建传粉服务需求评价模型^[30, 33]，深入评估传粉昆虫对农作物的产量影响，实现传粉服务功能时空层面的对比综合评估^[14, 30, 44]。

传粉服务价值的评估往往与农业生产相联系，因此相关研究在传粉服务需求评估的基础上，结合乡村景观中资源的空间分布与传粉昆虫的丰富度、筑巢适宜性等因子，将景观要素纳入授粉服务的测绘和评估（表1），对传粉昆虫为农业生产所提供的最高作物生产力进行预测与空间制图^[33, 42-43]。如《威尔士东南部传粉者绿色基础设施行动计划》（*Green Infrastructure Action Plan for Pollinators in South East Wales*）结合其东南部的传粉服务需求图、关键地点传粉昆虫生物多样性地图与传粉昆虫的授粉服务区域图等多类型数据，量化威尔士东南部不同区域的传粉服务价值，为分区域制定传粉昆虫保护措施提供科学基础^[45]。

2.1.2 乡村生态系统栖息地资源评估

农业景观中作物授粉依赖于传粉昆虫从非农业地区（如森林中的筑巢栖息地）到农田（觅食栖息地）的移动，评估传粉者栖息地资源的数量及空间有助于保护策略的精准制定。区域尺度上，生态系统的异质性、栖息地类型数量评估是主要内容，以航空影像与实地调研为主要手段，确定现有栖息地、潜在传粉者栖息地、栖息地碎片化的区域和对传粉者重要的连通走廊等^[14, 38]。景观尺度上，蜜粉源植物的空间分布格局、栖息地空间的连通性与栖息地质量等被作为主要评估内容，

表 2 作物生境及非作物生境传粉昆虫物种多样性评估要素
Tab. 2 Factors involved in the assessment of the diversity of insect pollinator species in crop and non-crop habitats

评估类型	评估途径	相关指标/变量
传粉者个体信息库	实地调研	物种、生殖策略、访花对象、幼虫发育的微型栖息地环境、物种总体状况趋势等
传粉昆虫资源	实地调研、公民科学	传粉昆虫的多样性、丰富度、均匀度、优势度及群落结构、空间分布特征、随时间变化趋势等
区域指示性昆虫	资源调查	个体数量、种类或群落等变化、分布的范围、对环境的敏感性、昆虫分类的技术性、指示性昆虫在调查和分析过程中的成本等
珍稀物种	参考物种名录、实地调查	物种特有性、濒危物种指数、濒危物种种群趋势
传粉昆虫生境	实地调查、访谈	边界宽度、边界景观结构、开花植物资源丰富度、周边土地管理措施、农药使用频率、周边景观异质性等
外来入侵物种	资源调查	已知新发现外来入侵物种数量、未监管的外来入侵物种比例、实施干预或管理的外来物种数量

表 3 欧美国家基于传粉昆虫的生物多样性提升典型案例^[40]
Tab. 3 Typical cases of rural landscape biodiversity improvement based on insect pollinators in European and American countries^[40]

行动计划	年份	国家/地区	土地类型	区域连通措施
促进蜜蜂及其他传粉者健康的国家战略（National Strategy to Promote the Health of Honey Bees and Other Pollinators）	2015	美国	农田、公共和私人土地、城市、保护区、森林	高速公路边缘的“路权”计划；国家传粉者花园网络
威尔士传粉者行动计划（Action Plan for Pollinators in Wales）	2013	威尔士	农田、乡村、城市、自然保护区、道路边缘、公共绿地	生态系统方法；“B线”项目；道路边缘野花带倡议
英格兰为蜜蜂及其他传粉者健康的国家战略（National Pollinator Strategy: for bees and other pollinators in England）	2014	英格兰	农田、乡村、城市、棕地、保护区、道路边缘	全国范围内连通花卉丰富的栖息地；“B线”项目
爱尔兰传粉者行动计划（All Ireland Pollinator Plan）	2015	爱尔兰	农田、城市、公共土地、公路网、保护区、私人土地	自然网络；推广绿色线性元素
苏格兰传粉战略（Pollinator Strategy for Scotland）	2017	苏格兰	农田、乡村、城市、林地、保护区、公共土地、公路、铁路、河堤	多尺度联通，国家生态网；“B线”项目
法国，授粉者之国（法语：Plan national d'actions “France Terre de pollinisateurs”）	2016	法国	农田、森林、湿地、草地、道路边缘、城市绿地、军事用地、私人花园、保护区、工业领地、文化遗址	全域农田内的生境保护网络
昆虫保护行动纲领（德语：Aktionsprogramm Insektenschutz）	2019	德国	农田、城市、河岸、联邦土地、军事用地、道路基础设施、文化遗产	保护和恢复跨土地利用、走廊、踏脚石的生态网络

如基于物种分布、农业系统模式、地貌特征、开发强度识别高价值农田^[46]。相关研究证实了森林对农田内传粉昆虫物种丰富度的提高作用，农林复合系统是高价值的栖息地类型。局地尺度上，乡村生态系统栖息地资源评估以群落间生物多样性为重点，以摸底单一生境内具体的蜜粉源植物、传粉昆虫为重点，并常联动微观尺度上对适宜传粉者繁衍生存的最优群落结构研究，探索生态系统内部结构对传粉者网络的支撑作用^[35, 47]。

2.1.3 传粉昆虫物种多样性评估

传粉昆虫物种多样性评估以关键（稀有、濒危或具有代表性）传粉昆虫物种为核心对象，一般包括蜜蜂类、蝴蝶类、区域指示性昆虫等。其中，蜜蜂类为农业生态系统中授粉能力最突出的传粉昆虫类群，提供了主要的授粉服务功能^[16, 33]。评估内容与方法综合了传粉昆虫的个体、种群、群落以及传粉生态系统等不同尺度的指标数据与结论^[16]（表 2），为乡村景观优化提供基础数据，实现了对关

键传粉昆虫物种单体和昆虫群落的全面保护^[10]。

2.2 传粉者友好型乡村景观格局优化

传粉昆虫的活动空间范围相对有限，增强栖息地连通性和农田景观异质性^[4, 7]，调整景观格局，优化资源分布^[31, 48-50]，营建促进传粉者移动的走廊或高质量的栖息地，是提升乡村景观传粉服务功能的重要举措^[31, 51]。

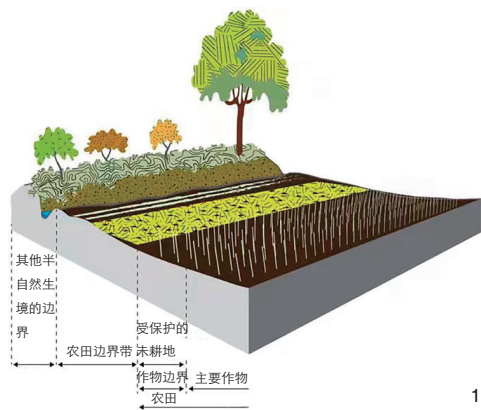
2.2.1 农业景观空间连通性的调控

农业景观空间连通性对传粉昆虫生物多样性具有重要影响^[5, 49]。尽管农业景观是乡村景观的主体要素，但仅局限于对农田的保护干预而不考虑与其他类型土地的景观连接性和异质性，亦不利于传粉者友好型乡村景观格局的提升保护^[40, 51]。构建区域协调的城乡融合型生态网络已成为提高乡村传粉服务功能的重要举措^[7]。基于此，欧美国家或地区制定了以农田为主要土地管理对象的针对性保护干预措施体系（表 3）^[40]，旨在保护和恢复景观连通度更高的传粉者友好型栖息地^[51]。如英格兰、苏格兰、威尔士与爱尔兰共同打造贯穿乡

村和城镇的“昆虫通道”——B 线（B-Lines），其基于跨越乡村、城市等在内的广阔土地，恢复原生植物并营建新的蜜粉源区域，计划恢复至少 15 万 hm² 的传粉者栖息地，构建全国性的传粉者网络。

2.2.2 农业景观空间异质性水平的提高

农业景观中，景观异质性对传粉昆虫多样性有着重要影响，不同区域内的高异质性景观组合为传粉昆虫提供更为丰富多样的食源与筑巢资源，非作物生境占比较高的复杂景观支持了传粉昆虫群落的多样化^[52-53]，有利于乡村生态系统中昆虫传粉服务功能的提高^[7, 40, 54-55]。因此，传粉者友好型管理需要综合考虑高异质性的空间配置^[40, 52, 55]。如适当增加非作物生境与植物群落的构成比例，在保护原有优势物种的基础上丰富植物种类，维护高质量栖息地，改善现有人工林的林分结构等^[53-55]。《欧盟共同农业政策》（Common Agriculture Policy）明确要求，耕地大于 15 hm² 时须保留至少 5% 的包含休耕地、农田边界带、



1 农田边界带的典型模式^[64]
Typical model of field margins^[64]

农林复合生境、覆盖作物等在内的生态重点区域^[56]。英国《康威镇传粉者行动计划》（*Conway Pollinator Action Plan*）以农业生产区域种植斑块为核心，协调自然区域、建成区域等高异质性景观资源，系统规划构建了完善的区域性城乡传粉者网络，打造传粉者通向种植斑块中同类食源的跳板通道，以维持较高的传粉昆虫丰度与多样性^[57]。

2.3 作物生境与非作物生境协同管控

维持传粉者生物多样性的资源存在于大面积的自然和半自然生境中，在集约化管理的农业生态系统中，传粉昆虫群体能够在非作物生境和农田间来回转移扩散，更有利于乡村景观的物种多样性的提升^[58]，因此乡村景观传粉服务功能的提升依赖于对作物生境和非作物生境的协同管控。

2.3.1 作物生境的管控重点

生产性农业景观是乡村景观的主导基质，乡村景观传粉服务功能的提升不仅依赖于农业景观、自然景观、聚落景观等要素，也受耕作制度、养护方式等影响^[59]。

1) 化学药剂的管控。农业生产中广泛使用的新烟碱类农药等化学药剂中的有效成分易导致蜜蜂神经中枢损伤、幼蜂发育不良、觅食困难、存活与繁殖能力降低等多种危害^[59]。农业生产中应尽量减少传粉昆虫与新烟碱类药剂接触的机会，如采用有机种植方式，或尽可能减少化学药剂使用，亦可在喷洒药剂前修剪植株、去除花朵等^[58-59]。此外，通过优化农田景观格局，调动害虫天敌实现生态控

害也可减少杀虫剂的使用^[53]。

2) 多样化作物种植方式。提高农业景观中作物种类的多样化能够在物候期为传粉昆虫提供充足的花粉和花蜜资源，如采用豆科作物轮作^[60]、间作条播、混播一年生作物、选择抗病虫害和具有不同花部特征的作物等措施^[61]。欧盟共同农业政策对作物多样性做了明确规定，耕地面积为 10~30 hm² 的农场必须种植至少 2 种作物，大于 30 hm² 则种植至少 3 种作物^[56]。

3) 覆盖作物（*cover crop*）的应用。覆盖作物以豆科、禾本科与十字花科作物居多，可有效控制田间杂草，提高土壤微生物活性，减少杀虫剂的使用，改善土壤质量，为传粉昆虫提供适宜的筑巢场地。蜜粉源类的覆盖作物亦可于休耕期为传粉昆虫提供充足的食物，非花期时还可作为益虫种群栖息地和食物来源，维持“作物—害虫—天敌”完整互作有机整体^[53]。覆盖作物的种类可选择一年生混播组合（白三叶、长柔毛野豌豆、大麦等），在经济作物收割后播种，或播种于未收割作物中（覆播），并将刈割时间推迟到益虫种群建立稳定之后。

2.3.2 非作物生境的管控重点

非作物生境不受周期性耕作的影响，相比于作物生境具有更高的稳定性，可为传粉昆虫提供必要的食物来源^[2]。

1) 农林复合生境管理。农林复合生态系统相对单一林地和农田具有更为复杂的结构和功能，不仅可为传粉昆虫提供充足的食源

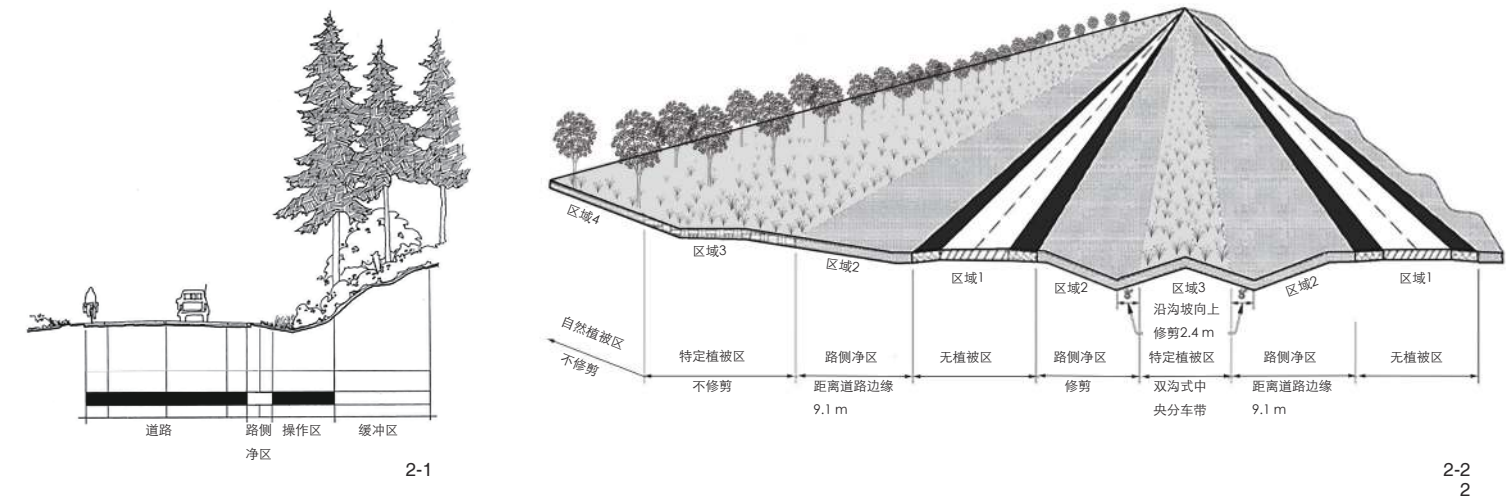
表 4 影响农田边界带传粉昆虫保护管理要点

Tab. 4 Key points in insect pollinator conservation and management affecting field margins

一级对象	二级对象	管理要点
景观结构	景观类型	周边的土地利用，如草地、土地、林地
	景观格局	周边 1 km 半径内的高景观异质性的农业景观等
空间形态	边界宽度	因地制宜，一般边界宽度≥3 m
	边界面积	因地制宜，在每 100 hm ² 农田内的占比等
土壤类型	土壤的理化性质	石灰质土壤的占比、营养有机物的含量等
植被特征	栽植类型	昆虫野花带、树篱、禾草带、复层防风林、防护林等
	群落特征	植物多样性、乔灌木面积占比、植被层高度、植被层覆盖度等
日常养护	农田边界	割草时间的管理、每年田间刈割次数、农田边界的绿篱管理
	周围环境	相邻田地的有机管理、减少杀虫剂的使用等

与筑巢环境，还能有效减少其与农药等化学药剂的接触机会，并提升捕食性天敌发挥生态控害的潜能，对维持较高的传粉昆虫多样性和传粉服务功能具有显著价值^[62]。开放且光照充足的林地边缘在“边缘效应”作用下，往往拥有较为丰富的花粉与花蜜资源，为林地内部筑巢的传粉昆虫向周边农田等进行短距离扩散带来更多的机会^[63]。因此，林地边缘成为农林复合生态系统管理的重要对象，维护林地边缘生境的高度异质性也成为维持区域传粉者网络稳定的关键举措^[7, 63]。在农林复合生境管理中，通常以林地边缘为关注重点，通过补植低矮的灌木或蜜粉源草本花卉、清除入侵植物及定期砍伐林地枯木等低成本措施，加强农田与半自然栖息地的连通性^[35, 63]。部分热带国家建议田地的边界距离林地边缘至少保证 10~30 m 宽度^[40]。

2) 农田边界带（*field margins*）管理。农田边界带即农田与其他区域分隔的过渡带，一般包括草带、灌木篱、沟渠、田埂等半自然带状景观要素（图 1）^[64]，其景观结构特征对维持乡村生物多样性和传粉服务功能具有重要影响^[64-65]（表 4）。农田边界带内所营建的昆虫野花带、树篱带、禾草带等，在分隔单一栽植作物的农田的同时，借助“微型保护区”影响传粉昆虫在农田中的穿透和扩散，为农业益虫打造高质量“踏脚石生境”，为周边农作物带来高质量的授粉服务^[40, 65-66]。多年生野花带能维持最稳定的野生传粉者群落尺度为 800~8 000 m²，且其与农田的距离应控



2 华盛顿州（2-1）与印第安纳州（2-2）基于传粉功能提升的道路边缘修剪维护方式^[70]
Roadside boundary maintenance based on pollination function enhancement in Washington (2-1) and Indiana (2-2)^[70]

表 5 大尺度传粉昆虫监测项目
Tab. 5 Large-scale insect pollinator monitoring network

区域/国家	监测项目名称	开始年份	监测物种
全球	国际传粉者行动（International Pollinator Initiative）	2000	传粉昆虫
欧盟	欧洲蝴蝶测绘（Mapping European Butterflies）	1995	蝴蝶
	欧盟共同关注的物种和栖息地的监测方法与监测系统（EU-Wide Monitoring Methods and Systems of Surveillance for Species and Habitats of Community Interest）	2004	传粉昆虫
	大尺度生物多样性风险评估及评估方法检验（Assessing Large Scale Risks for Biodiversity with Tested Methods）	2004	传粉昆虫
	蝴蝶监测计划（Butterfly Monitoring Scheme）	1976	蝴蝶
英国	新千年蝴蝶计划（the Butterflies for the New Millennium）	1995	蝴蝶
	2030年健康蜜蜂计划（Healthy Bees Plan 2030）	2020	蜜蜂
	英国传粉者监测计划（UK Pollinator Monitoring Scheme）	2021	传粉昆虫
美国	蜜蜂年度报告及5年一次的农业普查（The NAAS Annual Honey Report, and the 5-yearly Census of Agriculture）	1947	蜜蜂
德国	蝴蝶监测计划（Butterfly Monitoring Scheme）	2005	蝴蝶
比利时与法国	比利时和法国野生蜜蜂调查（The Survey of Wild Bees in Belgium and France）	约1980	蜜蜂
中国	全国蝴蝶多样性观测网络（China BON-Butterflies）	2016	蝴蝶

制在 30 m 以内^[66]。多个欧洲国家已在系列农业环境计划中明确，鼓励农民在农田区建立昆虫野花带，提高农田边界植物种数和密度^[66]。同时在欧美地区已研发推广了针对传粉昆虫需求的系列商品化野花组合，种类多为蜜源植物与寄主植物^[66]。其中植物选择以不同花期的乡土植物作为建群种，综合考虑花型、花色、蜜粉含量等多个因素，筛选当地昆虫偏好的植物种类，配比优质蜜粉源花卉，形成用于蜂类、蝶类等传粉昆虫的生境保护的混

播野花组合^[20, 66-67]。

3）道路边缘管理。穿越农田及乡村的道路周边区域被认为是传粉者保护的重点空间。恢复与优化道路边缘生境的授粉服务可以促进传粉昆虫进行更远距离的飞行，提高周边物种多样性和邻近农田作物的产量^[35]。道路边缘授粉服务受植物丰富度、宽度、周边农作物类型及土地利用、养护措施（如割草、植被更新等）的共同影响^[35, 67-69]。道路边缘多为非农作物耕种区，具备更高的植物丰富度与

更多样的蜜粉源花朵，传粉昆虫在访问花粉时易产生集中效应^[35]。多国已营建了一系列道路沿线的传粉者友好型生境^[70]。植物修剪是保障道路行车安全的重要措施，但对其周边昆虫传粉可能产生负面影响^[71]，应采取针对性的技术措施。如美国华盛顿州和印第安纳州建议在保证司机具有清晰行车视线的前提下，将定期割草范围限定在划定的路侧净区内（图 2），每年至少修剪 2 次，在交通流量较大的道路附近，割草频率可提高至 3~5 次；非道路净区的割草频率 1 年不超过 2 次，并通过延长割草周期观察原生植被恢复状况，优化割草频率^[70]。

2.4 多元并举系统性支撑措施体系

2.4.1 周期性动态监测评估反馈

目前世界上多个国家已相继建立起传粉昆虫监测和评价体系（表 5），通过监测评估传粉昆虫多样性，评估野生传粉昆虫的灭绝风险，并建立相应的红色清单，推动传粉昆虫保护建设^[45]。部分国家实现了生态系统服务层面的传粉服务功能长期监测，通过监测追踪传粉功能服务保护的实施情况与成效，为进一步实现乡村景观传粉服务功能提升提供科学的数据支撑^[36, 72]。

2.4.2 全方位公众参与共治共享

除科学、完善的政策体系外，欧美国家还有政府、企业、社会组织和民众共同参与

的治理模式，通过调动种植者以及公众积极性，自下而上地推动乡村传粉昆虫与传粉服务功能保护工作^[11, 46]。如着重宣传农业、森林、城市等区域的野生传粉者保护方法与途径，为不同群体制作使用指南或技术手册；将保护野生传粉昆虫和生态系统服务、可持续管理等内容纳入中、高等教育；组织利益相关者研讨会，加强农民、科学家、公益组织、风景园林师与种子生产商等群体的知识共享等。或是采用经济激励，如英国环境、食品和农村事务部（the UK Department for Environment, Food and Rural Affairs）鼓励农民和土地所有者参与昆虫生境的营建，通过《环境土地管理计划》（*Environmental Land Management Scheme*）资助种植和提供指导。

3 对中国乡村景观中昆虫传粉服务保护的启示

中国作为农业大国，是全球传粉昆虫物种多样性最丰富的地区之一，保护与提升乡村景观传粉服务功能不仅关系到农业可持续发展与乡村振兴，还对维持全球生物多样性稳定具有重要意义。目前，中国在传粉昆虫的生物学和行为学、围绕农业生产的传粉昆虫保育实践等方面已经取得了巨大进展，并建设了以蝴蝶为指示生物类群的国家级观测网络^[73]。总体来看，中国相关保护研究尚未关注从昆虫个体到生境单元到生态系统的全要素覆盖，尚未形成贯穿区域、景观、局地的乡村昆虫传粉服务功能全尺度研究体系，存在研究周期短、多种类乡村生物多样性长期监测和数据共享平台缺失的不足，并体现出科学研究向政策与技术措施体系转换薄弱的问题^[13]。

3.1 深化基于传粉昆虫的乡村生物多样性保护政策体系

探索建立中国特色的乡村昆虫传粉服务功能保护政策体系，明确相关保护底线^[11, 13, 51]，提升引导指导作用；加大对传粉者友好型农业模式的支持力度，完善相关激励机制，通过多元参与促进传粉者友好型技术措施体系研发；强化宣传教育并鼓励公众参与传粉者的调查和保护工作^[11, 51]。

3.2 推动基于传粉者友好型的乡村景观多样性规划

围绕乡村景观传粉功能服务的全要素、全尺度，构建本土化的乡村景观传粉服务功能评估体系^[1-2]。将昆虫传粉服务价值纳入农业景观生态价值核算的评价体系中。推行长周期、渐进式规划模式，建立“服务监测-景观规划”的动态机制，推进乡村景观规划的科学性和有效性^[29, 74-75]。未来，识别中国乡村景观中传粉服务功能保护与提升的关键空间，协同各层级国土空间规划中的农业空间布局、乡村规划以及生态空间规划、全域土地综合整治、农业景观等专项规划是工作重点^[76-77]。

3.3 完善基于传粉服务功能提升的生态基础措施

开展中国乡村景观昆虫传粉服务功能摸底，探究中国不同区域、不同类型乡村景观传粉服务功能的特征与差异，明确多类型乡村景观中传粉服务功能优化的目标，有针对性地细化生态管理措施体系框架。借鉴先进保护经验，构建基于传粉功能提升的乡村生态基础设施及技术体系^[46, 74-75, 78]。进一步建立传粉功能长效监测平台和信息共享平台，通过建立典型乡村示范点、示范区，提升乡村景观昆虫传粉服务保护效力及影响力。

参考文献 (References):

[1] 袁嘉, 杜春兰. 城市植物景观与关键种的协同共生设计框架: 以野花草甸与传粉昆虫为例[J]. 风景园林, 2020, 27 (4): 50-55.
YUAN J, DU C L. Design Framework of Collaborative Symbiosis Between Urban Plant Landscape and Keystone Species: Taking Wildflower Meadows and Pollinators as a Case Study[J]. Landscape Architecture, 2020, 27 (4): 50-55.
[2] 陈思淇, 张玉钧. 乡村景观生物多样性研究进展[J]. 生物多样性, 2021, 29 (10): 1411-1424.
CHEN S Q, ZHANG Y J. Research Progress on Biodiversity in the Rural Landscape[J]. Biodiversity Science, 2021, 29 (10): 1411-1424.
[3] BONGAARTS J I. Summary for Policymakers of the Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services[J]. Population and Development Review, 2019, 45 (3): 680-681.
[4] WENZEL A, GRASS I, BELAVADI V V, et al. How Urbanization is Driving Pollinator Diversity and Pollination: A Systematic Review[J]. Biological Conservation, 2020, 241(C): 108321.

[5] 边振兴, 张宇飞, 果晓玉, 等. 低山丘陵区农业景观格局对害虫-捕食性天敌食物网的影响[J]. 生态环境学报, 2022, 31 (1): 79-88.
BIAN Z X, ZHANG Y F, GUO X Y, et al. Effects of Agricultural Landscape Patterns on the Food Web of Pests and Predatory Natural Enemies in Low Mountain and Hilly Areas[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2022, 31 (1): 79-88.
[6] 杨培, 彭艳琼, 赵荣华, 等. 大蜜蜂的生物学特性、面临威胁与保护策略[J]. 生物多样性, 2018, 26 (5): 476-485.
YANG P, PENG Y Q, ZHAO R H, et al. Biological Characteristics, Threat Factors and Conservation Strategies for the Giant Honey Bee *Apis dorsata*[J]. Biodiversity Science, 2018, 26 (5): 476-485.
[7] 刘娅萌, 卢训令, 丁圣彦, 等. 不同农业景观背景下载传粉昆虫群落的分布差异[J]. 生态学报, 2020, 40 (7): 2376-2385.
LIU Y M, LU X L, DING S Y, et al. Distribution Patterns of Pollination Insect Community Under Different Agricultural Landscape Context[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(7): 2376-2385.
[8] 谢正华, 徐环李, 杨璞. 传粉昆虫物种多样性监测、评估和保护概述[J]. 应用昆虫学报, 2011, 48 (3): 746-752.
XIE Z H, XU H L, YANG P. Notes on Monitoring, Assessing and Conserving Pollinator Biodiversity[J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2011, 48 (3): 746-752.
[9] HALLMANN C A, SORG M, JONGEJANS E, et al. More than 75 Percent Decline over 27 Years in Total Flying Insect Biomass in Protected Areas[J]. Plos One, 2017, 12 (10): e0185809.
[10] DICKS L V, BREEZE T D, NGO H T, et al. A Global-Scale Expert Assessment of Drivers and Risks Associated with Pollinator Decline[J]. Nature Ecology & Evolution, 2021, 5 (10): 1453-1461.
[11] 邹晓春, 龚燕兵. 传粉者友好型城市: 现状与展望[J]. 生物资源, 2021, 43 (6): 597-605.
ZOU X C, GONG Y B. Pollinator-Friendly Cities: Current Status and Perspectives[J]. Biotic Resources, 2021, 43 (6): 597-605.
[12] 毛江涛, 徐文婷, 葛结林, 等. 乡村生态景观生物多样性研究热点和趋势: 基于文献计量研究[J]. 生态学报, 2022, 42 (9): 3869-3877.
MAO J T, XU W T, GE J L, et al. Research Hotspots and Trends of Rural Ecological Landscape Biodiversity Based on Bibliometrics[J]. Journal of Ecology, 2022, 42 (9): 3869-3877.
[13] 钟乐, 杨锐, 付彦荣. 基于政策文本分析的中国城市生物多样性治理进展研究[J]. 中国园林, 2022, 38 (9): 51-56.
ZHONG L, YANG R, FU Y R. Research on the Progress of Urban Biodiversity Governance in China Based on Policy Text Analysis[J]. Chinese Landscape Architecture, 2022, 38 (9): 51-56.
[14] KOLJAB B, LARAPAUINE S, MICHAEL R, et al. Pollinator Guilds Respond Contrastingly at Different Scales to Landscape Parameters of Land-Use Intensity[J]. Ecology and Evolution, 2022, 12 (3): 8708.
[15] 侯丽, 詹帅, 周欣, 等. 中国昆虫基因组学的研究进展[J]. 应用昆虫学报, 2017, 54 (5): 693-704.
HOU L, ZHAN S, ZHOU X, et al. Advances in Research on

Insect Genomics in China[J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2017, 54 (5): 693-704.

[16] MAXIME E. Increasing Wild Bee Richness and Abundance on Sequentially Flowering Cultivars of a Pollinator-Dependent Crop[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2022, 325: 107745.

[17] MATEOS-FIERRO Z, GARRATT M, FOUNTAIN M P D, et al. Wild Bees Are Less Abundant but Show Better Pollination Behaviour for Sweet Cherry than Managed Pollinators[J]. Journal of Applied Entomology, 2022, 146 (4): 361-371.

[18] POTTS S G, BIESMEIJER J C, KREMEN C, et al. Global Pollinator Declines: Trends, Impacts and Drivers[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2010, 25 (6): 345-353.

[19] FRÜND J, LINSSENMAIR K E, BLÜTHGEN N. Pollinator Diversity and Specialization in Relation to Flower Diversity[J]. Oikos, 2010, 119 (10): 1581-1590.

[20] FORISTER M L, HALSCH C A, NICE C C, et al. Fewer Butterflies Seen by Community Scientists Across the Warming and Drying Landscapes of the American West[J]. Science, 2021, 371 (6533): 1042-1045.

[21] BARTOMEUS I, DICKS L V. The Need for Coordinated Transdisciplinary Research Infrastructures for Pollinator Conservation and Crop Pollination Resilience[J]. Environmental Research Letters, 2019, 14 (4): 45017.

[22] 赵人镜, 刘家睿, 李雄. 2000—2020 年国内外乡村景观研究热点[J]. 风景园林, 2022, 29 (3): 12-18.

ZHAO R J, LIU J R, LI X. Domestic and Foreign Research Hotspots on Rural Landscape (2000—2020)[J]. Landscape Architecture, 2022, 29 (3): 12-18.

[23] 贾翔宇, 白彬, 张洁清, 等. IPBES 评估报告对全球生物多样性保护的影响: 以美国传粉者保护政策为例[J]. 生物多样性, 2018, 26 (5): 527-534.

JIA X Y, BAI B, ZHANG J Q, et al. The Effects of IPBES Deliverables on Global Biodiversity Conservation Strategy: An Analysis Based on the U.S. Pollinator Protection Policy[J]. Biodiversity Science, 2018, 26 (5): 527-534.

[24] EHSAN R, SHAHINDOKHT B, DONG P L. Estimating Landscape Structure Effects on Pollination for Management of Agricultural Landscapes[J]. Ecological Processes, 2021, 10 (1): 1-12.

[25] HERRERO-JAUREGUI C, ARNAIZ-SCHMITZ C, HERRERA L, et al. Aligning Landscape Structure with Ecosystem Services Along an Urban-Rural Gradient. Trade-offs and Transitions Towards Cultural Services[J]. Landscape Ecology, 2019, 34 (7): 1525-1545.

[26] WRATTEN S D, GILLESPIE M, DECOURTYE A, et al. Pollinator Habitat Enhancement: Benefits to Other Ecosystem Services[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2012, 159: 112-122.

[27] WEI N, KACZOROWSKI R L, ARCEO-GOMEZ G, et al. Pollinators Contribute to the Maintenance of Flowering Plant Diversity[J]. Nature, 2021, 597 (7878): 688-692.

[28] GLAUM P, WOOD T J, MORRIS J R, et al. Phenology and Flowering Overlap Drive Specialisation in Plant-Pollinator Networks[J]. Ecology Letters, 2021, 24 (12): 2648-2659.

[29] HOLLAND J M, DOUMA J C, CROWLEY L, et al. Semi-natural Habitats Support Biological Control, Pollination and Soil Conservation in Europe. A Review[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2017, 37 (4): 1-23.

[30] MILLARD J, OUTHWAITE C L, KINNERSLEY R, et al.

Global Effects of Land-Use Intensity on Local Pollinator Biodiversity[J]. Nature Communications, 2021, 12 (1): 2902.

[31] 戴漂漂, 张旭珠, 刘云慧. 传粉动物多样性的保护与农业景观传粉服务的提升[J]. 生物多样性, 2015, 23 (3): 408-418.

DAI P P, ZHANG X Z, LIU Y H. Conserving Pollinator Diversity and Improving Pollination Services in Agricultural Landscapes[J]. Biodiversity Science, 2015, 23 (3): 408-418.

[32] 张淑菁, 王成. 近 20 年来欧洲城市生物多样性研究进展[J]. 中国城市林业, 2022, 20 (6): 15-24.

ZHANG S J, WANG C. Urban Biodiversity Research Progress in Europe over the Last 20 Years[J]. Journal of Chinese Urban Forestry, 2022, 20 (6): 15-24.

[33] ERIC L, CLAIRE K, TALOY R, et al. Modelling Pollination Services Across Agricultural Landscapes[J]. Annals of Botany, 2009, 103 (9): 1589-1600.

[34] ZHANG X, ZHANG L X, WANG Y X, et al. Pollinators and Urban Riparian Vegetation: Important Contributors to Urban Diversity Conservation[J]. Environmental Sciences Europe, 2022, 34 (1): 78-88.

[35] MONASTEROLO M, POGGIO S L, MEDAN D, et al. High Flower Richness and Abundance Decrease Pollen Transfer on Individual Plants in Road Verges but Increase It in Adjacent Fields in Intensively Managed Agroecosystems [J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2022, 333: 107952.

[36] STOUT J C, DICKS L V. From Science to Society: Implementing Effective Strategies to Improve Wild Pollinator Health[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences, 2022, 377 (1853): 20210165.

[37] HALL D M, STEINER R. Insect Pollinator Conservation Policy Innovations at Subnational Levels: Lessons for Lawmakers[J]. Environmental Science and Policy, 2019, 93: 118-128.

[38] GEPPERT C, HASS A, FOLDESI R, et al. Agri-environment Schemes Enhance Pollinator Richness and Abundance but Bumblebee Reproduction Depends on Field Size[J]. Journal of Applied Ecology, 2020, 57 (9): 1818-1828.

[39] Plan National D'Actions. France Terre de Pollinisateurs[EB/OL]. (2015-05-21)[2023-02-06]. https://www.consultations-publiques.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Projet_de_plan_national_d_actions.pdf.

[40] VASILIEV D, GREENWOOD S. Pollinator Biodiversity and Crop Pollination in Temperate Ecosystems, Implications for National Pollinator Conservation Strategies: Mini Review[J]. Science of The Total Environment, 2020, 744: 140880.

[41] HALL D M, STEINER R. Policy Content Analysis: Qualitative Method for Analyzing Sub-national Insect Pollinator Legislation[J]. MethodsX, 2020, 7: 100787.

[42] 欧阳芳, 王丽娜, 闫卓, 等. 中国农业生态系统昆虫授粉功能量与服务价值评估[J]. 生态学报, 2019, 39 (1): 131-145.

OUYANG F, WANG L N, YAN Z, et al. Evaluation of Insect Pollination and Service Value in China's Agricultural Ecosystems[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39 (1): 131-145.

[43] 宋潇, 伍盘龙, 王飞, 等. 北京昌平农业景观传粉服务供给和需求评估研究[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26 (1): 16-26.

SONG X, WU P L, WANG F, et al. Evaluation of Pollination Service Supply and Demand of Agricultural Landscape in Changping District, Beijing[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2018, 26 (1): 16-26.

[44] SENAPATHI D, GODDARD M A, KUNIN W E, et al. Landscape Impacts on Pollinator Communities in Temperate Systems: Evidence and Knowledge Gaps[J]. Functional Ecology, 2017, 31 (1): 26-37.

[45] NEVILL A, OSBORNE A, ENGEL C, et al. Green Infrastructure Action Plan for Pollinators in South-East Wales[EB/OL]. (2015-12-11)[2023-02-06]. <https://www.monmouthshire.gov.uk/app/uploads/2016/12/GIAPP.pdf>.

[46] 汤西子. 城市边缘区小微生境保护规划: 欧盟高自然价值农田管控对我国城市区域生物多样性维持的启示[J]. 国际城市规划, 2021, 36 (2): 74-83.

TANG X Z. The Protection Planning of Small and Micro Habitats in Urban Fringe Areas: Enlightenment from the Management of High Natural Value Farmland in the EU to the Maintenance of Biodiversity in Urban Areas in China[J]. Urban Planning International, 2021, 36 (2): 74-83.

[47] AMY C, NOËL G, HATT S, et al. Flower Strips in Wheat Intercropping System: Effect on Pollinator Abundance and Diversity in Belgium[J]. Insects, 2018, 9 (3): 114.

[48] LOWICKI D, FAGIEWICZ K. A New Model of Pollination Services Potential Using a Landscape Approach: A Case Study of Post-Mining Area in Poland[J]. Ecosystem Services, 2021, 52: 101370.

[49] 刘云慧, 宇振荣, 罗明. 国土整治生态修复中的农业景观生物多样性保护策略[J]. 地学前缘, 2021, 28 (4): 48-54.

LIU Y H, YU Z R, LUO M. Strategies for Biodiversity Conservation in Agricultural Landscape During Land Rehabilitation and Ecological Restoration[J]. Earth Science Frontiers, 2021, 28 (4): 48-54.

[50] 王云才, 陈照方, 成玉宁. 新时期乡村景观特征与景观性格的表征体系构建[J]. 风景园林, 2021, 28 (7): 107-113.

WANG Y C, CHEN Z F, CHENG Y N. The Representation System of Rural Landscape Character and Personality in the New Era[J]. Landscape Architecture, 2021, 28 (7): 107-113.

[51] 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 (1): 1-11.

ARUHAN, ZHAG Q Y, LIU Y H. Comparative Analysis on the Protection Policies and Researches of Insect Pollinator Diversity in Western Countries and China[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2023, 39 (1): 1-11.

[52] 卢训令, 刘俊玲, 丁圣彦. 农业景观异质性对生物多样性与生态系统服务的影响研究进展[J]. 生态学报, 2019, 39 (13): 4602-4614.

LU X L, LIU J L, DING S Y. Impact of Agricultural Landscape Heterogeneity on Biodiversity and Ecosystem Services[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39 (13): 4602-4614.

[53] 江婷, 付道猛, 张万娜, 等. 农田景观格局对害虫天敌生态控害功能的调控作用[J]. 应用生态学报, 2019, 30 (7): 2511-2520.

JIANG T, FU D M, ZHANG W N, et al. Regulating Effect of Agricultural Landscape Pattern on Ecological Pest Control by Natural Enemies[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 30 (7): 2511-2520.

- [54] 边振兴, 杨玉静, 果晓玉, 等. 农业景观异质性地表节肢动物多样性影响的最优尺度分析[J]. 生态学杂志, 2022, 41 (3): 512-519.
- BIAN Z X, YANG Y J, GUO X Y, et al. Optimal Scale Analysis of the Effects of Farmland Landscape Heterogeneity on Soil Arthropod Diversity[J]. Chinese Journal of Ecology, 2022, 41 (3): 512-519.
- [55] 王小慧, 陈阜. 华北平原作物面积比例对农田景观异质性特征的影响[J]. 中国农业大学学报, 2022, 27 (7): 73-83.
- WANG X H, CHEN F. Effects of the Proportion of Crop Area on Farmland Landscape Heterogeneity in North China Plain[J]. Journal of China Agricultural University, 2022, 27 (7): 73-83.
- [56] Easthampton Massachusetts. Conway Pollinator Action Plan[EB/OL]. (2021-10-18)[2023-02-06]. <https://www.cornwall.gov.uk/environment/grow-nature/pollinator-action-plan/>.
- [57] 孙广芳, 邹大为, 闵梦月, 等. 农田传粉者生物多样性及其与不同土地利用方式的关系[J]. 江苏农业科学, 2018, 46 (21): 297-302.
- SUN G F, ZOU D W, MIN M Y, et al. Biodiversity of Pollinators in Farmland and Its Relationship with Different Land Use Patterns[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018, 46 (21): 297-302.
- [58] Llywodraeth Cymru Welsh Government. Healthy Bees Plan 2030[EB/OL]. (2020-12-10)[2023-02-06]. <https://nationalbeeunit.com/downloadDocument.cfm?id=1421>.
- [59] RADER R, CUNNINGHAM S A, HOWLETT B G, et al. Non-Bee Insects as Visitors and Pollinators of Crops: Biology, Ecology, and Management[J]. Annual Review of Entomology, 2020, 65: 391-407.
- [60] BAYLIS K, PEPLow S, RAUSSER G, et al. Agri-environmental Policies in the EU and United States: A Comparison[J]. Ecological Economics, 2008, 65 (4): 753-764.
- [61] 崔海霞, 宗义湘, 赵帮宏. 欧盟农业绿色发展支持政策体系演进分析: 基于 OECD 农业政策评估系统[J]. 农业经济问题, 2018 (5): 130-142.
- CUI H X, ZONG Y X, ZHAO B H. Analysis on Evolution and Policy System of EU Agricultural Green Development Support: Based on the Policy Evaluation of OECD[J]. Issues in Agricultural Economy, 2018 (5): 130-142.
- [62] BENTRUP G, HOPWOOD J, ADAMSON N L, et al. Temperate Agroforestry Systems and Insect Pollinators: A Review[J]. Forests, 2019, 10 (11): 981-1001.
- [63] REN P, DIDHAM R K, MURPHY M V, et al. Forest Edges Increase Pollinator Network Robustness to Extinction with Declining Area[J/OL]. Nature Ecology & Evolution: 1-23[2022-12-10]. <https://www.nature.com/articles/s41559-022-01973-y.pdf>.
- [64] MARSHALL E J P, MOONEN A C. Field Margins in Northern Europe: Their Functions and Interactions with Agriculture[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2002, 89 (1): 5-21.
- [65] SYBERTZ J, MATTHIES S, SCHAARSCHMIDT F, et al. Assessing the Value of Field Margins for Butterflies and Plants: How to Document and Enhance Biodiversity at the Farm Scale[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2017, 249: 165-176.
- [66] 吴学峰, 高亦珂, 谢哲城, 等. 昆虫野花带在农业景观中的应用[J]. 中国生态农业学报 (中英文), 2019, 27 (10): 1481-1491.
- WU X F, GAO Y K, XIE Z C, et al. Application of Wildflower Strips for Agricultural Landscaping[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019, 27 (10): 1481-1491.
- [67] 任一涵, 杨凡, 史琰, 等. 杭州地区构建蝶类生境的植物景观设计[J]. 风景园林, 2016, 23 (3): 105-114.
- REN Y H, YANG F, SHI Y, et al. Planting Design for Constructing Butterfly Habitat in Hangzhou[J]. Landscape Architecture, 2016, 23 (3): 105-114.
- [68] HOPWOOD J L. The Contribution of Roadside Grassland Restorations to Native Bee Conservation[J]. Biological Conservation, 2008, 141 (10): 2632-2640.
- [69] HENEBERG P, BOGUSCH P, REZAC M. Roadside Verges Can Support Spontaneous Establishment of Steppe-Like Habitats Hosting Diverse Assemblages of Bees and Wasps (Hymenoptera: Aculeata) in an Intensively Cultivated Central European Landscape[J]. Biodiversity and Conservation, 2017, 26 (4): 843-864.
- [70] Federal Highway Administration. Roadside Best Management Practices that Benefit Pollinators[EB/OL]. (2015-12)[2023-02-06]. https://www.environment.fhwa.dot.gov/env_topics/ecosystems/Pollinators_Roadsides/BMPs_pollinators_landscapes.aspx.
- [71] EBELING A, KLEIN A, SCHUMACHER J, et al. How Does Plant Richness Affect Pollinator Richness and Temporal Stability of Flower Visits?[J]. Oikos, 2008, 117 (12): 1808-1815.
- [72] BYRNE A, FITZPATRICK Ú. Bee Conservation Policy at the Global, Regional and National Levels[J]. Apidologie (Celle), 2009, 40 (3): 194-210.
- [73] 马方舟, 徐海根, 陈萌萌, 等. 全国蝴蝶多样性观测网络 (China BON-Butterflies) 建设进展[J]. 生态与农村环境学报, 2018, 34 (1): 27-36.
- MA F Z, XU H G, CHEN M M, et al. Progress in Construction of China Butterfly Diversity Observation Network (China BON-Butterflies)[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2018, 34 (1): 27-36.
- [74] 张洁瑕, 陈佑启, 郝晋珉, 等. 乡村振兴战略框架下的区域农业生态系统研究进展[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26 (5): 92-105.
- ZHANG J X, CHEN Y Q, HAO J M, et al. Research Advances on Regional Agricultural Ecosystem Under the Framework of Rural Revitalization Strategy[J]. Journal of China Agricultural University, 2021, 26 (5): 92-105.
- [75] 莫非, 徐悦, 付彦荣, 等. 蓝绿空间管理视角下伦敦城市生物多样性保护策略演变 (2002—2021 年) [J]. 风景园林, 2022, 29 (4): 101-106.
- MO F, XU Y, FU Y R, et al. The Evolution of Urban Biodiversity Conservation Strategies in London from the Perspective of Blue and Green Space Management (2002—2021)[J]. Landscape Architecture, 2022, 29 (4): 101-106.
- [76] 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.
- [77] 剧楚凝, 周佳怡, 姚朋. 英国绿色基础设施规划及对中国城乡生态网络构建的启示[J]. 风景园林, 2018, 25 (10): 77-82.
- JU C N, ZHOU J Y, YAO P. UK Green Infrastructure Planning and Its Inspirations to Construction of Urban and Rural Ecological Network in China[J]. Landscape Architecture, 2018, 25 (10): 77-82.

- [78] 何思源, 闵庆文. “保护兼容”理念源起、实践与发展[J]. 生态学报, 2022, 42 (15): 6041-6053.
- HE S Y, MIN Q W. The Origin, Practice and Evolvement of Conservation-Compatible Idea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42 (15): 6041-6053.

图表来源(Sources of Figures and Tables):

图 1 改绘自参考文献 [64], 图 2 改绘自参考文献 [70]; 表 3 改绘自参考文献 [40], 表 5 数据来源于 www.riegerhofmann.de, 其余表格均由作者绘制。

(编辑 / 李清清)

作者简介:

付甜甜 / 女 / 北京林业大学园林学院在读硕士研究生 / 研究方向为园林植物应用与园林生态、植物景观规划设计

郝培尧 / 女 / 博士 / 北京林业大学园林学院副教授、硕士生导师 / 本刊特约编辑 / 研究方向为园林生态、植物景观规划设计
通信作者邮箱: haopeiyao@bjfu.edu.cn

FU T T, HAO P Y. Research on Conservation Measures of Insect Pollination Service Function in Rural Biodiversity[J]. Landscape Architecture, 2023, 30(4): 18-26.
DOI: 10.12409/j.fjyl.202301030004.

Research on Conservation Measures of Insect Pollination Service Function in Rural Biodiversity

FU Tianian, HAO Peiyao*

Abstract:

[Purpose] Rural biodiversity is the focus of global biodiversity conservation, mainly including agricultural biodiversity and agricultural landscape biodiversity. Rural biodiversity involves a series of typical and specific issues such as crop habitat, non-agricultural semi-natural habitat and interaction between agricultural and non-agricultural ecosystems and human activities. Land cover change, land management and pesticide use caused by human activities have led to a sharp decline in both the species and number of pollinators worldwide, threatening agricultural development and overall ecological balance. In this context, several countries have promulgated a series of insect pollinator conservation strategies, and the conservation of pollinators in rural biodiversity has been included in the global agenda. However, there is still a lack of theoretical support for rural landscape biodiversity in China that fits the goal of diversified rural development, and the conservation and development of insect pollinator services in rural biodiversity conservation are facing new opportunities and challenges. The insect pollination service function is crucial to rural biodiversity and is the basis of ecological revitalization in China's countryside. At present, the rapid decline of the insect pollination service function has posed a threat to rural biodiversity. In view of this, it is urgent to conduct in-depth research on the conservation measures of the function, further improve the policy and spatial planning system for the conservation of rural pollinator diversity in China, and provide theoretical support for rural landscape biodiversity that fits the goal of diversified rural development.

[Methods] Based on the biodiversity conservation in rural landscape, this research reviews the conservation of the insect pollinator function in rural biodiversity through literature analysis, and systematically sorts out international researches on the conservation of the insect pollination function. Based on the progress of scientific research and related systemic conservation policies, the research discusses the policy strategies and management approaches with respect to the improvement of pollination services in rural landscape, with a focus on the system of measures to protect the aforesaid insect pollination services.

[Results] Research results show that insect pollinator conservation has become the focus of attention and research hotspot in global rural biodiversity, and a series of effective insect pollinator conservation measures have been developed in many countries such as the UK, Germany, Ireland and the US. Based on the scientific research on pollinators and the characteristics of rural landscapes at different scales, a multi-level conservation strategy system involving international, national, and local conversation and a whole-process insect pollination service function conservation technology system in rural landscape have been formed. In the overall strategic framework, national strategic guidance, regional master planning, and city-scale special planning serve as the main control pathways. As the research continues to deepen, and with the support and promotion of relevant conservation policies, the enhancement of

the insect pollination service function has been an important part of rural landscape planning and design. Among the conservation measures of the insect pollination service function in rural landscape, the four major concerns are the assessment of the pollination service function and the value of rural ecosystem, the optimization of pollinator-friendly rural landscape pattern, the synergistic management of crop and non-crop habitats, and the establishment of diversified systems of support measures. From thematic assessment to precise measures, a number of conservation methods have been adopted to improve the insect pollination service function in rural ecosystems. Specifically, the assessment of pollination services in rural ecosystems aims to clarify the potential impact of pollinators on rural landscape development, including the assessment of pollination service demand and value, and the assessment of habitat resources and pollinator species diversity. The conservation practice in rural landscape at the macroscopic scale mainly focuses on the optimization of rural landscape structure, while the implementation of pollinator-friendly landscape management measures at the small and medium scales focuses more on the implementation of pollinator-friendly landscape management measures, and the conservation measures at multiple spatial scales jointly regulate the landscape drivers in rural landscape systems.

[Conclusion] Relevant conservation researches in China fail to fully cover such elements as individual insects, habitat units and ecosystems, and are identified with a number of problems such as short research period, insufficient long-term monitoring and data sharing platforms for multi-species rural biodiversity, and poor conversion from scientific research to policy and technical measure systems. The research explores the influence of the spatial structure of landscape ecology on pollinator functions, and proposes that the methods of synergistic urban and rural spatial planning and landscape control should be the key research content in the future. Based on the comparison measures to protect the insect pollination service function in different countries, rural biodiversity management, the research puts forward proposes the following suggestions for optimizing the conservation strategies for pollinators and the pollination service function thereof in China's agricultural landscape planning practice: 1) Deepen the policy system of rural biodiversity conservation based on pollinators and explore the establishment of a rural pollinator service function conservation policy system with Chinese characteristics; 2) promote the pollinator-friendly planning of rural landscape diversity, and build a localized assessment system of the pollination service function of rural landscape; 3) improve the ecological infrastructure measures based on the enhancement of the pollination service function, and build rural ecological infrastructure and the technical system thereof based on the enhancement of pollination function.

Keywords: ecosystem service; rural landscape diversity; insect pollinator protection policy; evaluation of pollination service value; pollinator network

Authors:

FU Tianian is a master student in the School of Landscape Architecture, Beijing Forestry University. Her research focuses on the landscape plant application and landscape ecology, and plant landscape planning and design.

HAO Peiyao, Ph.D., is an associate professor and master supervisor in the School of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, and a contributing editor of this journal. Her research focuses on landscape ecology, and plant landscape planning and design.
Corresponding author Email: haopeiyao@bjfu.edu.cn