

DOI: 10.20103/j.stxb.202509142375

戈峰, 门兴元, 鞠倩, 于凯, 张兴瑞, 李卓, 梁潇以, 张玉娇. 农田生态服务区构建原理、方法及应用. 生态学报, 2025, 45(24): 12518-12526.

Ge F, Men X Y, Ju Q, Yu K, Zhang X R, Li Z, Liang X Y, Zhang Y J. Construction principles, methods, and practical applications of agroecological service stations. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(24): 12518-12526.

农田生态服务区构建原理、方法及应用

戈 峰^{1,*}, 门兴元¹, 鞠 倩², 于 凯³, 张兴瑞¹, 李 卓¹, 梁潇以¹, 张玉娇¹

1 山东省农业科学院植物保护研究所山东省农业有害生物绿色防控重点实验室, 济南 250100

2 山东省花生研究所, 青岛 266100

3 烟台市农业技术推广中心, 烟台 264001

摘要: 随着农业可持续发展理念的不断深化, 集约化农业正面临保障粮食安全与维护生态系统的双重挑战。在反思传统农业模式与探索未来可持续发展路径的基础上, 提出在农田景观中规划“农田生态服务区”的可持续理念, 强调通过生态编辑与生态工程技术, 依托非作物生境构建以“生态岛-廊道”为基本单元的“农田生态服务区”, 进而整合形成区域生态服务网络, 促进非作物生境与农田有机融合。该体系可协同提升生物多样性保护、有害生物调控、传粉服务、水土保持和景观美化等多重生态服务功能, 进而推动农田景观由单一生产空间向生产与生态服务并重的复合系统转型。系统阐述了农田生态服务区的概念内涵, 论述其构建原理、方法与实践应用, 并提出相应评价体系, 以为农业绿色转型和生态文明建设提供理论框架与实践路径。

关键词: 农田生态服务区; 功能植物; 非作物生境; 生态岛-廊道网络; 生物多样性保护

Construction principles, methods, and practical applications of agroecological service stations

GE Feng^{1,*}, MEN Xingyuan¹, JU Qian², YU Kai³, ZHANG Xingrui¹, LI Zhuo¹, LIANG Xiaoyi¹, ZHANG Yujiao¹

1 Shandong Key Laboratory for Green Prevention and Control of Agricultural Pests, Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China

2 Shandong Peanut Research Institute, Qingdao 266100, China

3 Yantai Agricultural Technology Extension Center, Yantai 264001, China

Abstract: With the deepening of the concept of sustainable agricultural development, intensive agriculture is facing the dual challenge of ensuring food security and maintaining ecosystem integrity. Building on a critical re-examination of conventional agricultural models and the urgent need to identify sustainable development pathways for the future, this paper proposes the concept of “agroecological service stations” planned within farmland landscapes as a sustainable approach, which emphasizes the strategic use of non-crop habitats and the application of ecological editing and ecological engineering. Through an “ecological island-corridor” configuration, these zones use ecological islands and ecological corridors as basic units to construct a regional ecological service network that organically integrates non-crop habitats with farmland within agricultural landscapes, thereby jointly enhancing multiple ecosystem services—including biodiversity conservation, pest regulation, pollination enhancement, soil and water conservation, and landscape improvement—and transforming farmland landscapes from a space devoted solely to production into a multifunctional agroecosystem that balances food production with ecological services. The paper systematically elaborates the conceptual connotation of agroecological service stations,

基金项目: 国家重点研发计划 (2023YFD1400800); 山东省顶尖人才“一事一议”项目 (2023YSYY-006); 国家自然科学基金联合基金 (U24A20412)

收稿日期: 2025-09-14; **采用日期:** 2025-12-12

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

discusses their construction principles, methods, design, and practical applications, and proposes a corresponding evaluation system, with a view to providing theoretical frameworks and practical strategies for agricultural green transition and ecological civilization.

Key Words: agroecological service stations; functional plant; non-crop habitats; ecological island-corridor network; biodiversity conservation

自 20 世纪 90 年代以来,我国传统集约化农业普遍依赖大面积单一品种种植,导致农田景观的单一化、有益生物栖息地缩减、生物多样性数量下降及生态调控功能衰退,进而削弱农田在生物控害、传粉支持、分解循环、水土调节等方面生态服务能力,对国家粮食安全、生态安全和食品安全构成严峻威胁。在此背景下,如何通过景观重塑提升农田生态系统的服务功能,已成为农业可持续发展领域的核心议题。

国际上已形成广泛共识,即通过主动设计与配置生态化景观要素可有效改善农田生态功能,如荷兰的“国家生态网络”(National Ecological Network, NEN)、欧盟的“农业环境计划”(Agri-Environment Schemes, AES)等,均强调利用花带等非作物生境,为有益生物提供栖息地^[1]。国内相关研究虽起步稍晚,但亦取得了突破性重要进展:戈峰最早提出了通过调节农田生态系统或区域性农田生态系统的作物与非作物生境的生态调控理论^[2-3],并于 2014 年进一步发展出基于生态服务功能的昆虫生态调控技术,通过种植功能植物(如蛇床草)改造农田景观,成功实现了涵养天敌与害虫控制^[4]。欧阳芳等量化评估表明,农业昆虫所提供的生态调节服务价值巨大,相当于当年国内生产总值的 3.7%^[5],凸显了其在农田生态系统中的关键作用。越来越多的研究证实,科学管理非作物生境是提升农田生态服务功能的有效途径^[6]。

尽管已有研究证明了非作物生境的生态效益,当前仍缺乏一套系统化、可操作且能够保障农作物稳产高产的前提下,实现农田生态系统的整体优化的技术路径与推广范式。现有实践多侧重于局部技术或单一功能,未能形成从原理、设计到评价的完整体系,难以在更大尺度的农业生产中系统复制与推广应用。在此背景下,本文提出“农田生态服务区”(Agroecological Service Stations, ASS)的概念框架,旨在通过生态编辑与工程化设计,在农田景观中构建以“生态岛-廊道”为基本单元的服务区网络,促进非作物生境与作物生产的有机融合。本研究首次系统阐述了农田生态服务区的概念内涵与理论基础,详细介绍了其设计原理与构建方法,并结合不同农业景观中的实践案例,论证了其在提升生物多样性、强化害虫调控、促进传粉服务、改善水土保持及增强景观美学等多重服务功能方面的综合效益。在此基础上,进一步提出了相应的功能评价体系,并就该模式的推广潜力、现实挑战及其对农业绿色转型与可持续发展的政策与实践意义进行了深入探讨。

1 农田生态服务区的概念、结构单元及生态服务功能

1.1 农田生态服务区概念

农田生态服务区是指在农业景观尺度上,以非作物生境为基础,通过科学的生态设计与空间改造,构建形成的具有稳定结构与特定服务功能的区域单元。该区域不仅能够减少病虫害的孳生地,为天敌昆虫、传粉昆虫、鸟类、两栖动物及土壤动物等农田有益生物提供栖息、繁殖、扩散与营养补充等关键生态位,从而系统提升农田生态系统的生物调节服务(如害虫控制、传粉支持、水土保持),而且能够提供文化服务(如景观美学、科普教育)和支持服务(如农业劳作休憩)等多种功能,是实现农田生产与生态服务协同发展的重要空间载体。

1.2 常用于构建农田生态服务区的非作物生境

非作物生境是指未被耕作或未直接用于农作物生产的区域^[7],是构建农田生态服务区的重要空间基础。常见的非作物生境类型及其生态功能主要包括:(1) 林地、防风林及灌木篱墙:为寄生蜂等寄生性天敌、蜘蛛与步甲等捕食性节肢动物和鸟类提供越冬或避难的栖息场所,并可提供替代猎物、花粉和花蜜等资源;(2) 喷水灌带、田垄和田埂:具有涵养和助迁瓢虫、草蛉、食蚜蝇、寄生蜂和青蛙等多种有益生物的功能;(3) 田间边

缘区(农田边界带):作为作物生境与非作物生境的过渡带,能够促进步甲、蜘蛛、蚯蚓、土壤动物等有益生物向农田内部迁移;(4) 休耕地与草地:在轮作系统中为有益生物提供临时栖息地,并有助于维持土壤健康;(5) 沟渠、河流与坑塘等水域生境:为水生和湿生植物提供生存空间,同时支撑青蛙等两栖类和水生昆虫的生存;(6) 村庄:常作为瓢虫、鸟类等许多有益生物的越冬场所。这些生境通过结构互补与功能衔接,共同构成服务农田生态系统的空间网络。

1.3 农田生态服务区的结构单元

为提升农田景观中非作物生境的生态功能,需通过生态设计将其整合为具有系统作用的“农田生态服务区”。该区域通常由生态岛(斑块)和生态廊道构成,并与农田主体空间相互镶嵌,形成“斑块-廊道-农田”复合格局,从而促进生态过程整体运转,显著增强生物控害、传粉支持、土壤保育等生态系统服务。

(1) 生态岛(ecological island)是农田生态服务区的基本空间单元,指通过生态工程营建的、以功能植物与生物反应器为核心的非作物生境斑块。功能植物为天敌昆虫和传粉昆虫等提供食物、栖息与转移条件,同时避免成为病虫害传播的桥梁^[8-9];生物反应器则用于益微生物、促进土壤改良。生态岛不仅补充了农田生境,更是提升生物多样性、强化自然控害功能的关键支撑。

(2) 生态廊道(ecological corridor)是指线状或带状、能连接孤立生境单元的空间结构。在农田景观中配置生态廊道可连接农田和生态岛,为天敌等有益生物提供迁移与扩散通道,增强种群稳定性与抗干扰能力,并为扩散能力较弱的物种构建连续的栖息地网络,从而形成“岛-廊-田”有机联动的生态格局。

(3) 功能植物(functional plants)指具备生态调控功能、用于将非作物生境改造成为生态岛、生态廊道的植物类群,通常能够:涵养天敌(如蛇床草),吸引并保育天敌昆虫^[8,10];提供蜜源(如紫云英、苜蓿、油菜等),支持传粉昆虫并兼具景观美化作用;诱集害虫(如香根草),降低作物虫口密度;固土护坡(如豆科作物、苕麻等),减轻水土流失;提供栖息环境(如乔木、灌木),供鸟类筑巢与栖息;兼具观赏与生态功能(如向日葵、万寿菊等),在美化景观的同时为昆虫提供资源。此外,功能植物常具土壤改良、固氮、水土保持等功能,并可兼顾观赏与药用价值,实现生态、美学与经济价值的融合。

实践中,常在田埂、沟渠、农田边界等非作物生境种植功能植物,构建由“生态岛-生态廊道”组成的服务区(图1)。生态岛可提升天敌昆虫、鸟类、两栖动物等有益生物的多多样性与存量;生态廊道则促进其向农田内部扩散,从而抑制害虫种群、减少农药依赖。结合景观设计,该模式还能同步提升农田的生态价值与美学价值,最终实现生态功能与景观和谐统一。

1.4 农田生态服务区的功能

农田生态服务区的核心生物组分包括功能植物、天敌昆虫、传粉昆虫、鸟类、两栖动物、土壤动物等。该体系强调“生态集成”与“多功能复合”,其基本特征表现

是通过引入功能植物和有益生物等生态要素,系统提升农田生物多样性,在保障农业生产的同时,实现生态调控、景观美化与休闲教育等多重价值,并借助生态系统自我调节机制降低化学投入,持续改善农业环境。农田生态服务区的主要功能包括:(1) 生境改造与病虫害源头控制:通过系统改造非作物生境,优化生境结构与植被组成,减少病虫害孳生场所,从而直接降低病虫害发生基数。(2) 生物控害功能强化:在非作物生境中配置功能植物,为天敌昆虫、鸟类等有益生物提供繁殖、迁移中转及越冬场所,持续增强对农田有害生物的自然控制能力。(3) 传粉服务提升:通过种植蜜源植物、设置“昆虫旅馆”等措施,为传粉昆虫提供营养资源和栖息生境,有效提高作物授粉效率与结实率^[11]。(4) 美学与景观价值融合:搭配具有观赏价值的植物群落,构建层次丰富、季相分明的景观格局,在吸引传粉者与天敌的同时,提升公众生态认知与农田美学体验。(5) 水土保持

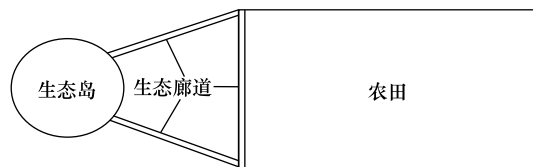


图1 农田景观中生态服务区(生态岛-生态廊道)与农田结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of agroecological service stations (ecological islands-ecological corridors) and farmland structure in agricultural landscapes

与土壤养护:借助根系发达、覆盖度高的植被带或生态岛建设,增强土壤固持能力与水源涵养功能,减轻水土流失,维护农田土壤健康。

1.5 农田生态服务区配置比例

欧美等国家在农田景观的非作物生境配置方面形成了较为明确的实践框架与政策指引。如荷兰的“国家生态网络”(NEN)、欧盟的“农业环境计划”(AES)、德捷边境生物多样性研究中心等,均强调通过人工配置生态景观,为有益节肢动物提供栖息、繁衍与迁移的场所,从而促进农业可持续发展^[12]。英国和德国的应用实践表明,田间生态廊道(如树篱、缓冲带等)可增强生物迁移,提高农田生态系统的连通性。欧洲的生物多样性策略普遍要求在农田景观中保留不少于 20% 的半自然栖息地(semi-natural-habitats),以通过生境异质性提升生态系统的稳定性^[13]。荷兰的研究则建议,将半自然栖息地比例维持在约 22%,有助于实现生态效益和经济效益平衡。

中国的研究表明,区域尺度上土地利用类型的大小、形状与空间格局(如田块规模、多年生边缘生境比例等)显著影响天敌的控害效能^[14]。小田块和高比例的边缘生境为天敌提供更的栖息地和食物资源,从而增强生态控害功能^[15]。如在山东省域,农田景观中生境斑块类型越多、斑块密度越高,越利于天敌瓢虫、麦蚜的寄生蜂种群数量增长;在县域尺度上,维持 30%—45% 的非作物生境可显著提升寄生蜂对蚜虫的控制效果^[16]。这说明农田景观设计需结合害虫-天敌系统的生态需求,因地制宜优化作物与非作物生境的空间配置。

在我国的实践中,基于功能植物的非作物生境改造展现出良好的控害效果。麦田采用蛇床草(1 m)与小麦(30 m)条带种植,可使 16.5 m 范围内的麦蚜维持在防治阈值以下^[17];花生田采用蛇床草(1 m)与花生(20 m)伴生种植,可实现对花生蚜的全程控制^[18];棉田中蛇床草(1 m)与棉花(15 m)配置,可将棉蚜数量降低 34%—57%,控害效果与常规化学防治相当^[19—20];在果园周围设置约 5% 的“生态岛”,并通过显花植物廊道连接,可促进天敌向果园内转移扩散,减少杀虫剂用量 50% 以上。

综合国际经验与我国实证,建议在我国区域性农田景观中规划 3%—5% 的非作物生境作为农田生态服务区的基础配置比例,其中一般农田可取 3%,果园等多年生系统可适当提高至 5%,以期在保障生产的同时,实现生态功能的持续提升。

2 构建生态服务区的基本原理

(1)生态系统服务原理:生态系统服务指人类从生态系统中直接或间接获得的各类惠益,涵盖供给、调节、支持及文化服务等多重功能^[21]。该原理揭示了人类福祉与生态系统功能之间的紧密依存关系,为农田生态服务区的构建提供了理论依据,并突出了其在协同提升农田生产与生态服务功能中的核心价值。

(2)景观生态学原理:景观生态学注重“格局-过程-尺度”之间的相互作用,强调景观异质性、斑块动态与边界效应等关键概念。在农田生态服务区规划中,应基于该原理优化景观空间配置,在保障农业生产的基础上,合理增加生态岛与廊道的规模、提升其连通性、降低生境破碎化,从而促进天敌多样性维持与关键生态过程的流动。

(3)可持续农业原理:可持续农业以维护生态平衡、保护生物多样性、促进资源循环和保持土壤健康为核心目标。在生态服务区建设中,需将这些原则系统融入生态设计,使其在提高土地生产力的同时,协同实现水土保持、生物多样性保育与资源高效循环等复合功能。

(4)“服务区”类比原理:借鉴交通系统中“服务区”的概念,可在农田或区域生态网络中设置具有类似功能的生态服务区,通常由缓冲带、林地、湿地或沟渠等非作物生境构成。其主要功能包括为动植物提供栖息地与食物资源、为农田系统补充生态要素、维持天敌种群与自然控害能力,并兼具景观美化与休闲服务价值。

(5)广义生态位原理:广义生态位理论强调物种的生存与分布由其生态位(资源利用方式)和栖息地(物理环境)共同决定。根据这个原理,可通过农田生态服务区引进新的有利生态元(如功能植物、有益生物)、去

除有害生态元(如病虫害孳生地)、改变现有的生态元配置(如景观格局、种植结构),从而系统性增强景观尺度的生态服务功能^[4]。

(6) 岛屿生态学理论:涵盖 2 个主要学说。一是,连通度与生境破碎化理论强调非作物生境作为天敌与传粉昆虫在作物与非作物生境间迁移的“桥梁”。只有保持适当的景观连通度,才能有效维持有益生物种群,进而发挥其对害虫的生物控制与传粉服务功能^[22];二是,生境丧失理论指出非作物生境在农业景观中需维持一定比例(研究显示阈值约在 30% 左右),才能有效支持天敌种群存续,低于该阈值时,生物控害功能将显著衰退甚至丧失^[23]。基于上述理论,可通过合理设计生态廊道,将作物生境与非作物生境有机连接为功能整体,从而全面提升农田景观的生态服务能力。

3 生态服务区的主要构建方法

3.1 生态岛-廊道网络设计

农业集约化导致有益生物栖息地缩减、种群衰退及控害功能下降。为此,有必要通过合理配置功能植物,系统构建农田生态服务区,以重塑农田景观生态格局。具体措施包括:优化农田与非作物生境的空间布局,构建连通、完整的“生态岛-廊道”网络;优先保护对控害有关键作用的有益生物群落;结合遥感、物联网等现代监测技术与配套政策支持,实现服务区的动态化、精细化管理。最终形成集生态调控、环境美化与社会文化功能于一体的现代可持续农田景观。

3.2 区域尺度非作物生境配置

区域尺度的景观格局对天敌种群维持和害虫调控具有显著作用。研究表明,景观边界密度与捕食性、寄生性天敌种群密度显著正相关,且农田景观构成对天敌的影响大于对害虫的影响,合理的非作物生境布局有助于增强生态控害^[16]。例如山东省小麦系统中,邻近防护林的麦田内瓢虫数量随防护林面积增加而上升,说明适度扩大非作物生境有利于天敌保育^[24]。因此,从田块、县域到省域等多尺度上,科学配置非作物生境的面积与空间结构,是指导功能植物区域化布局的重要理论基础。

3.3 功能植物时空配置

明确功能植物在农田“作物-害虫-天敌”食物网中的作用,是服务区有效建设的核心。目前,稳定同位素标记^[25]、铷元素标记^[26—27]、肠道内含物分子检测^[28—29]和生态能学方法^[30]等技术,已可定量解析天敌的来源、迁移路径、取食对象和取食量等。相关研究揭示了华北农田中瓢虫、食蚜蝇、草蛉、寄生蜂等优势天敌在小麦、玉米、花生、棉花和苹果等主要作物及其非作物生境间的季节性转移控害规律。这些成果为功能植物在时间(物候匹配)与空间(生境镶嵌)提供了科学依据,从而实现对天敌的涵养、储备与促进其迁移,持续提升控害能力。

3.4 系统分析方法

农田生态服务区可视为一个动态可控的复杂系统,其优化管理可借助多目标规划、Bellman 动态规划和系统动力学等方法实现。系统模型通常包含以下目标函数和约束方程为:

$$\begin{aligned} \text{Opt } \{ & E(x, u), P(x, u), O(x, u), -L(x, u), -R(x, u) \} \\ \text{S.t } & S(x, u) > 0 \end{aligned}$$

式中, x 是系统变化的状态变量; u 为决策变量,代表各种生态措施; E, P, O 分别为系统的价值流、物质流和能量流的函数; L 为各种流的耗损值函数; R 为系统的生态风险分析函数; $S(x, u)$ 为约束条件,它是农业持续发展的各项指标,如农作物产量与品质、有益生物数量、土壤微生物活力与肥力以及能源耗竭值等。

4 生态服务区构建技术

4.1 生态编辑技术

生态编辑(Ecological Editing)是指以功能植物等生物要素为元件,对农田系统中“非作物生境-作物-害

虫-天敌”的生态关系进行定向插入、改造和组配的过程。通过引入或调整功能植物等生态编辑元件,可高效、精准地实现农田生态服务区的传粉、控害和养分循环等生态功能。如以将蛇床草作为核心编辑元件,在小麦-玉米轮作田、花生田和棉花田实施伴生种植,可有效控制主要害虫^[31]。在果园中配置二月兰、蛇床草、金盏菊等功能植物,形成花期衔接的植物序列,能够全年持续涵养瓢虫、草蛉、食蚜蝇等优势天敌,实现对果树全生育期害虫的持续生态控制^[32]。

4.2 “生态岛-生态廊道”景观设计技术

该技术是农田生态服务区空间构建的核心方法。生态岛主要指在非作物生境内设置的块状功能单元,如功能植物种植区、人工湿地、水塘或林地等,需具备一定面积与数量规模,以维持有益生物群落的长期稳定与控害功能。生态廊道则多沿田埂、林下、路边或沟渠布设,为条带状植物群落,用于保障天敌与其他有益生物迁移的连续性。通过生态岛与廊道的网络化镶嵌设计,并与农田生产格局有机融合,不仅能够维护农田内部的生态平衡,还可与周边林地、湿地及乡村绿地连接,形成区域尺度生态网络,从而整体提升农田景观的生态服务能力。

4.3 生态工程技术

强调运用系统工程方法,通过在农田中有序配置植物、动物、微生物等生物组分,并协同改造非生物生境,从而构建具备特定生态服务功能的农田生态服务区。该技术体系旨在同步优化传粉、控害和养分循环等生态服务与粮食、水果等农产品供给,最终形成具有生态合理性、经济可行性和社会可接受性的农业生态工程技术模式,推动农业生产与生态环境保护的协调发展。

5 主要农作物生态系统中生态服务区的设计与应用

5.1 小麦-玉米轮作生态系统

在农田周围、防护林、灌溉带及田垄上种植功能植物蛇床草等,构建麦田生态服务区。例如,在防护林下配置“益母草+夏至草”显花植物组合,使农田中天敌昆虫数量提升 48%、麦蚜数量下降 36%,还通过花期的景观叠加,田间美学价值,为生态旅游与休闲农业发展提供支持^[24]。

5.2 小麦-水稻轮作生态系统

在机耕路边设置由海桐、红叶石楠、紫薇等组成的景观植物带,通过花期衔接接续涵养捕食性天敌食蚜蝇及寄生性天敌茧蜂、姬蜂等,为其提供食源与栖息地,促进天敌种群数量增长。田间蛇床草可吸引天敌转移至小麦控制麦蚜,随后姬蜂迁移至稻田寄生稻螟虫;稻田周围香根草还能诱杀二化螟。该系统实现了跨作物、跨季节的天敌周年循环保护,使天敌种群数量提升 50%以上,实现生态经济效益双突破^[33]。

5.3 果园生态系统

在果园周边配置郁李、木槿、野蔷薇、紫薇等植物,形成面积占比 5%—10%的“生态岛”;在这些生态岛与果园之间种植蛇床草等功能植物,构建“生态廊道”。该“岛-廊”模式实现了对蚜虫实现全生育期生物控制,果园杀虫剂使用量减少 50%以上。果园内采用“蛇床草-二月兰-金盏菊”等复合带状种植,使蚜虫发生初期和高峰期的控害指数分别提高 32.71%和 47.56%;结合外围观赏花卉与步道建设,果园逐步发展为集生产、观光与生态功能为一体的复合系统^[32,34]。

5.4 茶园生态系统

采用“立体复合”的植被配置提升茶园自然控害能力。茶园外围种植高大乔木(如桂花、香樟、樱花、苦楝等),在梯壁与埂地配置矮生功能植物(如圆叶决明、黄花菜、紫云英等),形成多层次植被结构。该模式对小绿叶蝉 *Empoasca flavescens*、茶尺蠖 *Ectropis obliqua hypulina* 等主要害虫的自然控害效能达 88.2%,农药用量降低 50%以上,显著提高了茶园生态稳定性^[35]。

6 农田生态服务区的功能评价

开展功能评价是衡量农田生态服务区建设成效的重要环节。既可量化农田生态服务区在生物多样性保

护、害虫防控、授粉支持、水土保持和景观美化等方面的作用,也可为不同区域模式的比较与优化提供依据,推动精准化设计与推广。

功能评价主要涵盖以下六个维度:(1)生物多样性:监测功能植物、天敌昆虫、传粉昆虫、鸟类、两栖动物、土壤动物的种类与数量,反映生态服务区对多样性保护的贡献;(2)传粉效能:考察传粉昆虫的种类、数量及对作物座果率和产量的影响;(3)病虫害控制:比较生态服务区模式下害虫种群密度、作物受害率以及化学防治投入的减少量,评估生态控害效果;(4)土壤与水环境质量:通过土壤有机质、氮磷钾养分含量及水体氮磷、溶解氧和 pH 等指标,衡量土壤肥力与水环境健康;(5)景观与美学价值:利用景观斑块数量、边界复杂度及景观多样性,结合游客数量、观光收益等指标,评价其社会文化效益;(6)经济与社会效益:分析农作物产量、价格、成本的变化,以及公众对生态农业的认同度和对乡村振兴的促进作用。

实践中已逐步形成系统的综合评价框架。例如,张兴瑞^[36]基于田间调查,筛选出 22 个果园生态系统服务指标,并整合为六类复合指标:栖境供应(节肢动物丰度与多样性、植物覆盖度)、害虫防治(害虫与天敌丰度、益害比)、授粉(传粉昆虫丰度与座果率)、食物供给(果实产量与单果重)、碳固定(土壤有机碳和植株碳含量)、营养循环(土壤酶活性、养分含量及叶片营养水平)(图 2)。该体系实现了从单项指标到综合指标的层级集成,为果园及其他农田生态服务区的功能评价提供了方法论依据。

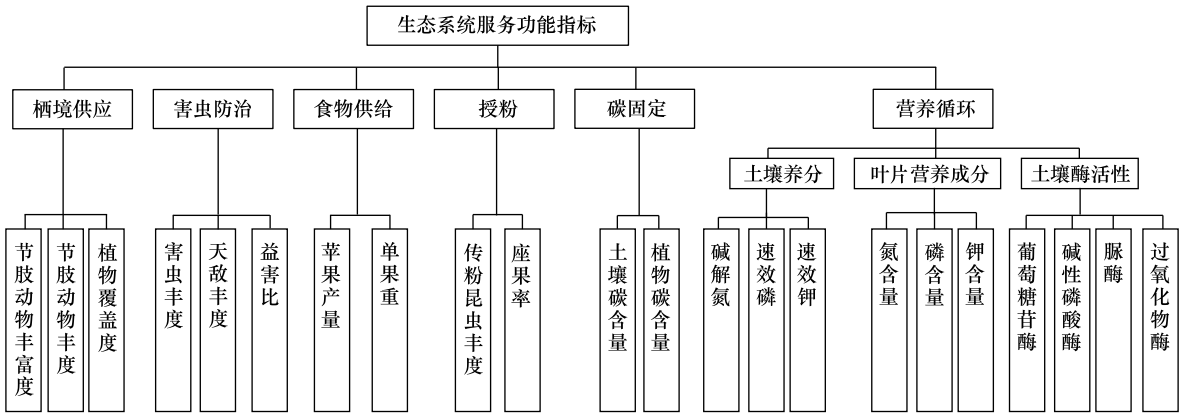


图 2 果园的生态系统服务功能指标体系^[36]

Fig.2 Indicator system of ecosystem service in orchards

7 展望

近三十年来,农业集约化和作物单一化种植显著削弱了农田景观的生态功能,导致有益生物生境破坏,自然控害能力下降,病虫害暴发频发,进而加剧对化学农药的依赖。在此背景下,系统重构非作物生境、构建农田生态服务区,已成为恢复农田生态平衡、推动农业可持续发展的必然路径。国际上,欧盟共同农业政策(Common Agricultural Policy, CAP)及其框架下的农业环境计划虽已关注非作物生境的保护与生态补偿,但仍缺乏对“农田生态服务区”这一系统性概念的明确界定与配套方法论。

本文首次系统提出了农田生态服务区的概念框架、理论基础与技术方法。该理念以生态服务理论为基础,强调通过有机嵌入功能植物、生态岛和廊道等结构性要素,将农田转化为融合生物多样性保护、病虫害自然调控、天敌授粉、水土保持、气候调节与景观美学等多重功能的综合性农业生态空间,其内涵贯穿生态保护、农业增效、环境美化与文化传承,外延则从单一农作区延伸至整个农业生态网络,具有突出的理论创新价值和广阔的应用前景。

未来,推动农田生态服务区从概念转化为大规模实践,还需在以下方面持续突破:

(1)技术体系区域化适配:针对不同区域气候、土壤和作物,筛选适宜功能植物与配置模式,形成因地制宜

宜的“农田-廊道-生态岛”组合,发展不同的生态服务区类型;

(2) 政策激励与生态补偿机制:建立健全以生态服务为导向的补偿政策,对农田生态服务区进行生态补偿,将功能植物配置纳入高标准农田建设,实现生态效益与经济效益协同提升;

(3) 社会参与与文化融合:通过科普、农旅融合与生态教育,增强公众认知与农民接受度,引导企业、社区等多方主体共同参与建设;

(4) 长效监测与动态优化:构建覆盖生态、经济与社会维度的长期监测体系,开展系统效益评估,支撑生态服务区的适应性管理与时序优化;

(5) 智能化技术融合:结合 AI 与信息技术,提升对农田生态网络的监测、预测与管理水平,推动智慧农业发展;

(6) 生态价值实现路径:推动生态农产品认证与市场溢价机制,提升农民收入,实现农田生态服务的价值转化与效益增值。

在全球绿色转型与可持续发展共识下,农田不仅是粮食生产的空间,更是维系区域生态安全与人居环境质量的关键载体。通过系统规划与科学设计,农田生态服务区有望成为平衡生产与生态、融合产业与文化、支撑绿色农业和乡村振兴的重要路径。其建设将成为我国农业绿色发展与生态文明建设的重要里程碑,并为实现人与自然和谐共生的愿景提供坚实支撑。

参考文献 (References):

- [1] Tschamtké T, Grass I, Wanger T C, Westphal C, Batúry P. Beyond organic farming-harnessing biodiversity-friendly landscapes. *Trends in Ecology & Evolution*, 2021, 36(10): 919-930.
- [2] 戈峰. 害虫生态调控的原理与方法. *生态学杂志*, 1998, 17(2): 38-42.
- [3] 戈峰. 害虫区域性生态调控的理论、方法及实践. *昆虫知识*, 2001, 38(5): 337-341.
- [4] 戈峰, 欧阳芳, 赵紫华. 基于服务功能的昆虫生态调控理论. *应用昆虫学报*, 2014, 51(3): 597-605.
- [5] 欧阳芳, 吕飞, 门兴元, 赵紫华, 曾菊平, 肖云丽, 戈峰. 中国农业昆虫生态调节服务价值估算. *生态学报*, 2015, 35(12): 4000-4006.
- [6] Gurr G M, Wratten S D, Landis D A, You M S. Habitat management to suppress pest populations: progress and prospects. *Annual Review of Entomology*, 2017, 62: 91-109.
- [7] Bianchi F J J A, Booij C J H, Tschamtké T. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2006, 273(1595): 1715-1727.
- [8] 戈峰, 梁潇以, 张兴瑞, 李卓, 鞠倩, 欧阳芳, 杨泉峰, 蔡志平, 苏文雯, 韩国栋. 功能植物蛇床草生态控害作用及其应用. *应用昆虫学报*, 2025, 62(3): 559-566.
- [9] 杨泉峰, 欧阳芳, 门兴元, 戈峰. 功能植物的作用原理、方式及研究展望. *应用昆虫学报*, 2020, 57(1): 41-48.
- [10] 杨泉峰, 欧阳芳, 门兴元, 戈峰. 北方富含天敌的功能植物的发现与应用. *应用昆虫学报*, 2018, 55(5): 942-947.
- [11] 欧阳芳, 赵紫华, 戈峰. 昆虫的生态服务功能. *应用昆虫学报*, 2013, 50(2): 305-310.
- [12] 刘芝若. 基于天敌昆虫栖息地营建的农林复合型生态景观规划设计——以北京市顺义区西小营农林地块为例[D]. 北京: 北京林业大学, 2021.
- [13] Mohamed A, DeClerck F, Verburg P H, Obura D, Abrams J F, Zafra-Calvo N, Rocha J, Estrada-Carmona N, Fremier A, Jones S K, Meier I C, Stewart-Koster B. Securing Nature's Contributions to People requires at least 20%—25% (semi-) natural habitat in human-modified landscapes. *One Earth*, 2024, 7(1): 59-71.
- [14] 张永生, 欧阳芳, 门兴元, 戈峰, 袁哲明. 区域农田景观格局对麦蚜种群数量的影响. *生态学报*, 2018, 38(23): 8652-8659.
- [15] 欧阳芳, 门兴元, 关秀敏, 肖云丽, 戈峰. 区域性农田景观格局对麦蚜及其天敌种群的生态学效应. *中国科学: 生命科学*, 2016, 46(1): 139-150.
- [16] Zhao Z H, Wang Y, He D H, Zhang R, Zhu M M, Dong F L. Effects of habitat loss and fragmentation on species loss and colonization of insect communities in experimental alfalfa landscapes: Effects of habitat loss and fragmentation on species loss and colonization of insect communities in experimental alfalfa landscapes. *Biodiversity Science*, 2011, 19: 453-462.
- [17] Liang X Y, Ouyang F, Zhang X R, Sun Y C, Li Z, Ge F. Increasing the proportion of flower strip area in farmland promotes natural enemies to enhance aphid biocontrol and wheat yield. *Entomologia Generalis*, 2024, 44(5): 1183-1192.
- [18] 韦夕平, 曲明静, 陈瑶, 鞠倩, 李伟. 花生-玉米间作田东亚小花蝽对花生蚜的控制作用. *应用昆虫学报*, 2024, 61(1): 120-128.

- [19] 戈峰, 门兴元, 李卓, 鞠倩, 张兴瑞, 梁潇以. 中国害虫生态防控的成就、技术突破与未来展望. 应用昆虫学报, 2025, 62(3): 549-558.
- [20] Yang Q F, Li Z, Ouyang F, Men X Y, Zhang K N, Liu M, Guo W, Zhu C G, Zhao W L, Reddy G V P, Ge F. Flower strips promote natural enemies, provide efficient aphid biocontrol, and reduce insecticide requirement in cotton crops. Entomologia Generalis, 2023, 43(2): 421-432.
- [21] 郑华, 李屹峰, 欧阳志云, 罗跃初. 生态系统服务功能管理研究进展. 生态学报, 2013, 33(3): 702-710.
- [22] Tscharntke T, Brandl R. Plant-insect interactions in fragmented landscapes. Annual Review of Entomology, 2004, 49: 405-430.
- [23] Samways M J. Insect conservation: a synthetic management approach. Annual Review of Entomology, 2007, 52: 465-487.
- [24] Dong Z K, Ouyang F, Lu F, Ge F. Shelterbelts in agricultural landscapes enhance ladybeetle abundance in spillover from cropland to adjacent habitats. BioControl, 2015, 60(3): 351-361.
- [25] Ouyang F, Cao J, Liu X H, Men X Y, Zhang Y S, Zhao Z H, Ge F. Tracing dietary origins of aphids and the predatory beetle *Propylea japonica* in agricultural systems using stable isotope analyses. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2015, 155(2): 87-94.
- [26] 蔡志平, 肖云丽, 欧阳芳, 戈峰, 张建萍. 定量评价天敌昆虫控害功能的铷元素标记技术. 应用昆虫学报, 2019, 56(2): 348-353.
- [27] Cai Z P, Ouyang F, Su J W, Zhang X R, Liu C L, Xiao Y L, Zhang J P, Ge F. Attraction of adult *Harmonia axyridis* to volatiles of the insectary plant *Cnidium monnieri*. Biological Control, 2020, 143: 104189.
- [28] Ju Q, Ouyang F, Gu S M, Qiao F, Yang Q F, Qu M J, Ge F. Strip intercropping peanut with maize for peanut aphid biological control and yield enhancement. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2019, 286: 106682.
- [29] 鞠倩, 欧阳芳, 乔飞, 戈峰. 应用肠道内含物定量评价天敌捕食作用的方法. 应用昆虫学报, 2020, 57(1): 218-225.
- [30] Gao F, Jifon J, Liu X H, Ge F. An energy budget approach for evaluating the biocontrol potential of cotton aphid (*Aphis gossypii*) by the ladybeetle *Propylaea japonica*. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2010, 136(1): 72-79.
- [31] Li Z, Chang C Y, Yuan Y Y, Zhang X R, Ge F. Functional plant, *Cnidium monnieri*, facilitates the conservation and the biocontrol performance of natural enemies. The Innovation Geoscience, 2023, 1(3): 100045.
- [32] Cai Z P, Ouyang F, Zhang X R, Chen J, Xiao Y L, Ge F, Zhang J P. Biological control of *Aphis spiraeicola* (Hemiptera: Aphididae) using three different flowering plants in apple orchards. Journal of Economic Entomology, 2021, 114(3): 1128-1137.
- [33] 刘晓微, 鲁艳辉, 杨亚军, 徐红星, 吕仲贤. 功能植物蛇床草和蚕豆协同涵养麦田捕食性天敌的效果评价. 应用昆虫学报, 2025, 62(3): 594-606.
- [34] Zhang X R, Ouyang F, Su J W, Li Z, Yuan Y Y, Sun Y C, Sarkar S C, Xiao Y L, Ge F. Intercropping flowering plants facilitate conservation, movement and biocontrol performance of predators in insecticide-free apple orchard. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2022, 340: 108157.
- [35] 李金玉, 尤民生, 尤士骏. 茶园生物多样性控害的研究进展. 应用昆虫学报, 2022, 59(4): 710-725.
- [36] 张兴瑞. 苹果园间作功能植物的控害与生态系统服务评估[D]. 北京: 中国科学院大学, 2023.