



进展与综述 REVIEWS

野生动物友好型农业研究与实践进展

王盈霖¹, 周学红^{1*}, 王 强², 张 伟¹(1. 东北林业大学野生动物与自然保护地学院, 哈尔滨 150040;
2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 哈尔滨 150040)

稿件运行过程

收稿日期: 2025-02-19

修回日期: 2025-10-23

**关键词:** 野生动物友好型农业;

生态标签;

生物多样性;

生态农业;

农业景观;

可持续性发展

Keywords: Wildlife-friendly farming

(WFF);

Eco-label;

Biodiversity;

Eco-agriculture;

Agricultural landscape sus-

tainable development

中图分类号: Q958.12; S181

文献标志码: A

文章编号:

2310-1490(2026)-02-0252-13

DOI: 10.12375/ysdwxb.202502009

摘 要

全球人口增长带来的粮食需求增加,导致农业用地不断扩张与农药化肥过量使用,这是造成野生动物生境丧失、破碎化及质量下降的主要原因之一。野生动物友好型农业(wildlife-friendly farming, WFF)作为一种新兴农业模式,为缓解农业发展与野生动物保护之间的矛盾提供了可行路径。本研究综述了国内外相关研究和实践经验,梳理了WFF的起源与概念,分析了其在实践中的进展,并详细阐述了通过改造农业景观为野生动物提供栖息地的多种策略,借助经济激励手段促进野生动物保护与控制农药化肥过度使用所形成的正反馈循环,以及野生动物智慧监测技术在WFF的应用前景,并总结了当前国内外WFF的经济和社会实践。尽管WFF在小范围内的成功案例已展现出明显优势,但在更广泛的实施过程中仍面临诸多挑战,包括农业景观中野生动物监测技术落后、欠缺对气候变化的考量,以及市场机制低效、政策支持和公众意识不足等。未来,WFF需充分利用人工智能监测设备、区块链等先进技术,增强其实际应用的可行性;因地制宜,结合不同地理区域的生态与经济需求,在政策、经济和社会层面加强协调合作,以支持可持续农业和野生动物保护的协同目标,最终实现农业地区经济利益与野生动物保护的双赢。

Progress in Research and Practice of
Wildlife-Friendly FarmingWANG Yinglin¹, ZHOU Xuehong^{1*}, WANG Qiang², ZHANG Wei¹(1. College of Wildlife and Protected Area, Northeast Forestry University,
Harbin 150040, China;

基金项目: 国家重点研发计划项目(2023YFF130500206)

第一作者简介: 王盈霖(2000—),女,硕士研究生;主要从事野生动物保护经济学研究。E-mail:176161079117@163.com

* 通信作者: 周学红, E-mail: xuehong_zhou2012@126.com

2. Chinese Academy of Sciences Northeast Institute of Geography and Agroecology, Harbin 150040, China)

Abstract: The increasing food demand driven by global population growth has led to the agricultural expansion and the excessive use of pesticides and fertilizers, which is one of the main reasons for the loss, fragmentation and quality degradation of wildlife habitats. Wildlife-friendly farming (WFF) provides as a promising model to reconcile the contradiction between agricultural development and wildlife conservation. This paper reviews the relevant research and practical experiences at home and abroad, and combs the origin and concept of WFF, and analyzes its progress in practice, and elaborates strategies to provide wildlife habitats by modifying agricultural landscapes, promoting wildlife conservation by means of economic incentives, and controlling the positive feedback loop formed by the excessive use of pesticides and fertilizers, and the application prospect of wildlife intelligent monitoring technology in WFF, and summarized the current economic and social practice of WFF at home and abroad. Despite the successful cases have demonstrated obvious benefits, there are still challenges to the wider implementation of WFF, including insufficient wildlife monitoring in agricultural landscapes, lack of climate change adaptation, inefficient market mechanisms, inadequate policy support and low public awareness. In the future, efforts should focus on advanced technologies such as AI monitoring equipment and block chain to enhance the feasibility of its practical application, and strengthen collaboration at policy, economic, and social levels to synergize sustainable agriculture and wildlife conservation, and ultimately achieve a win-win situation for the economic benefits of agriculture areas and wildlife conservation.

当前,野生动物面临生境丧失与破碎化、环境污染、外来物种入侵及气候变化等多重威胁^[1],其中生境丧失与环境质量下降等问题与现代农业的快速发展密切相关^[2]。然而,农业活动与野生动物保护之间并非全然对立,而是存在相互支持的可能。野生动物为农业系统提供了病虫害控制、授粉及种质资源等重要生态服务,而包含传统农业在内的某些农业生产模式也为野生动物提供了栖息环境与食物资源,二者实际上可形成协同共生的关系。在全球人口持续增长的背景下,如何在保障粮食安全的同时,协调农业生产与全球生物多样性保护,已成为一项重要课题^[3-4]。在此形势下,野生动物友好型农业(wildlife-friendly farming, WFF)作为一种旨在协同推进农业生产与生态保护的发展模式,其研究、推广与实践显得尤为迫切。

WFF通过一系列生态友好的生产与管理措施,在促进野生动物及其栖息地保护的同时,具备提升农业经济效益的潜力^[5-6]。这一模式不仅涉及生态保护与食品安全,也与气候变化适应和农业生态系统的可持续管理紧密相关。面对农业集约化带来的生物多样性衰退、化学农药和肥料过度使用等挑战,越来越多消费者倾向于选择有利于生态平衡、支持

农场生物多样性的农产品。这为以市场机制为支撑的WFF模式提供了发展空间,使其被视为重塑农业与生物多样性关系的重要路径^[7]。习近平总书记指出,“推进农业绿色发展是农业发展观的一场深刻革命”^[8]。作为人口大国,中国在确保粮食安全与推进农业现代化的进程中,必须统筹好发展与保护的关系,走生态优先、绿色发展之路。为此,本研究系统梳理了国内外关于WFF的研究进展与实践经验,结合我国实际情况进行归纳与总结,以期对相关领域的政策制定、生产实践及后续研究提供参考。

1 野生动物友好型农业研究进展

1.1 起源与概念演进

WFF的理念与实践,根植于20世纪下半叶全球日益增强的环保意识。1962年,雷切尔·卡森在《寂静的春天》中揭示了化学农药对生态环境的深远危害,该书成为推动20世纪70年代公众关注环境问题的重要催化剂之一^[9]。至1990年地球日20周年之际,欧美社会对环境问题的关注达到空前高度^[10]。在此背景下,传统农业开始向可持续农业(sustainable agriculture)转型,旨在实现环境健康、社会公平和经济可行的协同发展^[11-12]。

公众环保意识的觉醒为绿色消费市场的形成奠定了基础。自20世纪80—90年代末,生产者和营销者开始主动迎合具有环保意识的消费者,注重改进产品以满足社会责任及消费者对绿色产品的需求^[13]。这一市场转向虽然一度导致生态产品鱼龙混杂,但客观上也推动了生态农产品的兴起与绿色营销的发展,并逐渐获得政策层面的认可与支持^[14]。一种能在维持农业生产的同时,通过采取环境友好措施来提升农田生物多样性的新型农业模式,逐渐受到重视^[15]。这类新型农业实践在后续的政策支持下,逐步展现出显著的生态与经济效益^[16]。

在此过程中,WFF的概念逐渐明晰。它特指在保障农产品产出的前提下,于不同空间尺度开展生物多样性保护的农业实践^[17]。尽管有机农业也可以促进农业环境与生物多样性保护,但二者在理念与指向上存在差异。与严格规范生产过程(如禁用某类合成化学品)的“有机”概念相比,“野生动物友好”更强调针对特定目标物种或类群采取直接的、定制化的保育措施^[18]。WFF可被视为环境友好型农业(environmentally friendly farming)的一个具体分支,通过认证机制冠以“野生动物友好型标签”后,此类产品可进入市场^[19],生态标签的市场机制将野生动物保护的部分非使用价值转化经济价值,通过绿色营销为农业产品提供溢价,形成经济激励机制,从而为农业生产者的参与保护提供了内在动力^[7]。

Treves *et al.*^[20]于2010年首次界定出3种野生动物友好型标签,后经Mameno *et al.*^[21]进一步细化,形成以下分类体系:(1)支持性标签,出售野生动物友好型农产品的收入部分或全部被用于捐赠环保组织;(2)产出性标签,表明农业生产过程被认证能够保护特定野生动物或其栖息地;(3)投入性标签,指采用了改进的WFF生产方法,但未说明对特定野生动物或栖息地有益。这一分类框架为理解与规范此类产品的市场标识奠定了理论基础。

1.2 野生动物对农业景观的生境利用

农业发展是驱动全球土地利用变化的核心因素。根据联合国粮农组织(FAO)统计,2023年全球农业用地面积已达48亿hm²,占陆地总面积的三分之一以上^[22]。随着农业用地持续扩张,许多野生动物种群已逐渐适应并依赖农业景观。除常见的鸟类外,爬行动物^[23-24]、两栖动物^[24-25]、蝙蝠^[26]、鱼类^[27]及多种无脊椎动物^[28-29]的生存均与人工管理下的栖息

地密切相关。部分物种对生境变化的适应性较强,即使原生环境发生显著改变,仍能继续利用农业景观。例如,在美国加利福尼亚中央谷地(Central Valley),尽管90%的季节性淹没湿地已消失,但每年仍有约35万只滨鸟和近300万只鸭类依赖该区域的农业生境^[30]。对两栖类与爬行类来说,农业景观不仅可提供庇护场所,还能通过维持其猎物种群而成为重要的食源地^[24]。人工管理的牧场同样具有生态承载潜力,例如在肯尼亚,野生食草动物常将牧区作为躲避天敌或寻找食物的场所^[31]。此外,农业系统所提供的高营养、高能量食物资源,也吸引了许多大型哺乳动物进入农业景观。例如,野猪(*Sus scrofa*)常在稻田及其周边区域觅食^[32],狼(*Canis lupus*)等食肉动物在自然食物匮乏时会捕食家畜^[33],亚洲象(*Elephas maximus*)也会取食营养丰富、热量高的人工种植的经济作物^[34]。这些现象表明,农业景观已成为许多野生动物生存策略中的重要组成部分,同时也反映出农业生产与野生动物活动之间复杂而密切的相互作用关系。

1.3 农业环境污染对野生动物的影响

野生动物在利用农业景观获取资源的同时,也不可避免地暴露于农业生产所带来的各类污染物威胁之中。其中,农药和化肥的过量使用所导致的生境质量退化及通过生物富集与食物链放大引发的中毒风险尤为突出^[4,35-36]。农业化学品的依赖程度正不断加深。数据显示,截至2021年,全球单位面积粮食作物产量增长了106%,这与灌溉土地面积增加97%有关,但同期氮肥、磷肥及杀虫剂的施用量却分别增加了638%、203%和854%^[37]。这种增产严重依赖化学投入品的模式,直接加剧了农业面源污染。过量使用杀虫剂导致靶标害虫产生抗药性,迫使反复使用更高剂量或更强毒性的药剂,从而推高生产成本并破坏了自然生态系统的害虫控制机制^[38],更对非靶标野生动物造成广泛毒害。处于食物链高位的食腐动物和食肉动物,因生物富集效应而风险最高^[35-40]。全球多地报告了相关案例:多种秃鹫的种群衰退与农药中毒密切相关^[41];南美洲安第斯神鹫(*Vultur gryphus*)的数量减少也被证实与农药暴露有关^[42];2006—2016年美国马萨诸塞州野生动物诊所接诊的红尾鵟(*Buteo jamaicensis*)体内普遍检出第二代抗凝血灭鼠药(second-generation anticoagulant rodenticides, SGARs)残留^[40];我国野生达乌尔黄鼠

(*Spermophilus dauricus*)肌肉组织中也曾检出有机氯农药^[43]。此外,农药污染还可造成两栖动物发育畸形,甚至引发个体死亡^[44]等。更为严重的是,农药有时被蓄意用于非法毒杀野生动物,此类事件常造成非靶标生物的大规模死亡,甚至危及家畜、宠物和公共安全^[42]。除农药和化肥污染外,农机的燃油使用还会增加温室气体^[45]。同时,农业塑料污染,尤其是残留地膜,也对鸟类构成了多重威胁^[46-47]。鸟类不仅面临被塑料缠绕致死的风险,还可能因误食塑料碎片而遭受健康损害。由于无法消化塑料,这些碎片会造成鸟类消化系统梗阻、损伤及营养不良。此外,摄入微塑料还会引发炎症,并减少食物摄入量,甚至导致排卵延迟^[47]。

1.4 野生动物友好型农业与集约化农业

野生动物与人类在利用农田及其周边生态系统时产生的冲突,其根源常在于现有农业管理模式的局限,这使得采用WFF是一个富有吸引力的方向。但从社会需求看,WFF所涉及的推迟收获、采用更符合自然规律的耕种方式和减少使用化肥农药等措施可能导致农作物大幅度减产,这与全球人口增长和粮食消费增加的趋势相悖。WFF实施方式常被称为土地共享政策,而与之呈现对比的是集约化农业所代表的土地节约策略。后者指在土地利用过程中,划定专用于农业生产的区域以提升产量,同时划出其他区域留作野生动物保护区。一些研究提出,WFF不能完全替代原生生境^[48],而集约化农业通过集中生产能够节省出大面积原生生境,从而更好地保护生物多样性并保障农业产出^[49]。例如,Segre *et al.*^[50]研究显示,在62%的情景模拟中,土地节约策略比土地共享策略表现更好,并且经济上更可预测。从生物多样性角度看,对人类农业景观适应良好的物种可能更适应类似于野生动物友好型的土地共享策略,而对栖息地有着更高要求的物种则可能更需要土地节约策略所保留的完整生境^[49,51]。此外,人与野生动物的冲突本身也可能对WFF的实施构成挑战^[52],导致这些物种对友好型农业景观利用不充分。

在全球人口持续增长的大背景下,集约化农业毋庸置疑是解决粮食问题的重要形式,而保留原生栖息地是野生动物保护最有效的方法之一。随着科技进步,通过发展智慧农业、推进科学育种、推广精准施肥及应用生物农药等手段,可以有效降低集约化农业对环境的影响,同时保障全球粮食安全。因

此,应综合考虑农业需求与保护目标,推动集约化农业与WFF的协同与互补^[50-54],如在集约化农业区的边缘地带适当采用WFF作为缓冲与过渡。目前,相关领域尚缺乏从社会科学角度开展的定量研究,这可能低估WFF在提升社区保护认知方面的优势,而集约化路径则需要额外的政策或辅助机制来达到这一社会成效。同时,农业的集约化扩张也可能导致未开垦区域生态质量的退化。综上所述,在农业已呈现大规模发展、地势复杂和毗邻濒危物种栖息地等缺乏集约化发展条件的区域^[53],以及在人与野生动物冲突较为严重的地区,仍应优先考虑发展WFF。

2 野生动物友好型农业实践进展

2.1 改造农业景观为野生动物提供栖息地

通过主动调整农业生产景观,使其兼具野生动物栖息地功能,是WFF的核心实践路径。其实施措施通常具有明确的物种针对性(表1),其中以鸟类为保护对象的实践最为常见且成熟^[55]。针对鸟类的保护措施主要包括调整耕作时间与实施水分管理。例如,为保护繁殖期的刺歌雀(*Dolichonyx oryzivorus*),将第二次收割时间延长至65 d,使持续生长的稻田为其提供充足食物。由于延迟收割使稻谷质量下降,参与者可获得每公顷247~333美元的经济补偿,这一经济激励使刺歌雀的繁殖率从每只雌鸟每年0只雏鸟提升至2.8只^[16]。再如,在澳大利亚墨累-达令盆地(Murray-Darling Basin),通过延长稻田水淹时间以保护濒危的褐麻鵝(*Botaurus poiciloptilus*),并将其稻米认证为“褐麻鵝友好型”产品出售,可使稻农获得142美元/t的溢价利润^[7]。对于迁徙水鸟,农田淹水可提供关键的临时停歇地和庇护所,但需精细化调控水位以满足不同类群的需求。例如,在萨克拉门托山谷,冬季淹水稻田的水深通常为20~25 cm,而鸕鹚类需要小于15 cm的水深,因此需通过选择性排水来创造适宜生境^[56]。其他景观改造方法还包括收获后对作物进行砍轧处理^[57]及在田间划定非耕作栖息地斑块^[58]等。针对哺乳动物,特别是易与人发生冲突的大型兽类,可通过建立生态廊道、种植缓冲隔离带及采取野生动物友好型栅栏等方式减少冲突^[59-60],并结合生态补偿机制提升社区容忍度^[53]。对于爬行动物与两栖动物,维护近自然的小型栖息地结构^[24],实行作物多样化和轮作以增加爬行动物在异质农业生态系统中的扩散机会^[61],

修建特定坡度的保护沟渠或在非种植季节保持稻田适度淹水,可为两栖动物提供可利用的栖息地^[62-63]。

此外,在灌溉系统中增设鱼道或改善水系连通性,也是保护鱼类资源的重要措施^[64]。

表1 基于农业景观改造的野生动物友好型农业措施

Table 1 Wildlife-friendly farming practices based on agricultural landscape modification

物种 Species	野生动物友好型农业措施 Wildlife-friendly farming practices
哺乳类 Mammals	构建生态廊道 ^[59-60] 种植缓冲隔离带,采用野生动物友好型栅栏 ^[59-60] 对引发人兽冲突的物种实施生态补偿,增强社区容忍度 ^[53]
鸟类 Birds	延迟或调整收割时间,保障特定期鸟类食物资源 ^[16] 实施季节性淹水并调控水位,为候鸟提供临时栖息地 ^[56]
爬行动物 Reptiles	在农田中保留部分区域作为野生动物栖息地 ^[58] 采用混合种植与轮作,如进行小麦(<i>Triticum sativum</i>)和豆科(<i>Fabaceae</i>)作物轮作,增强生境多样性 ^[61]
两栖动物 Amphibians	在稻田中修建特定坡度的保护沟渠 在非耕作季节维持适宜深度的水位 ^[62-63]
鱼类 Fish	增设联通农田与自然水系的鱼道 ^[64]

2.2 控制农业污染促进野生动物保护

农业中的合成农药对生物多样性构成显著威胁,采用替代性害虫管理措施对于协调食品安全和本土物种保护至关重要。例如,为美洲仓鸮(*Tyto furcata*)等天敌设置人工巢箱,可有效控制有害啮齿动物,从而减少化学杀鼠剂的使用^[65],此类措施也可纳入野生动物友好型认证体系。在农田边界种植多样化的非经济植物或保留自然植被带,不仅能吸引食虫鸟类以增强生态控害能力^[66-67],还可显著增加无脊椎动物多样性^[28],并为蜜蜂等传粉昆虫提供栖息与食源^[68]。除采取替代性管理外,选用低毒性、易降解的农药(如部分有机磷类)也是减轻污染的重要途径^[69-71]。

在化肥管理方面,推广精准施肥结合有机肥替代(如秸秆还田、沼渣利用)是核心措施。这不仅能

提升土壤有机质含量、促进土壤动物种群恢复,还可通过水肥一体化等技术提高养分利用效率,从而减少残留农肥对两栖动物和鸟类的毒性风险^[72]。这些实践与WFF的理念高度契合。在测土配方施肥和机械深施等高效施肥技术的推广下,我国2020年化肥使用量较2015年减少了12.8%^[73],为WFF实践提供了可参考的实际经验。

此外,针对塑料、重金属等其他污染,可推广使用环保型麻地膜、可控光生物降解地膜等易降解地膜,以促进塑料的降解^[74]。同时,建立并鼓励可持续的回收利用体系,有助于减少农业废弃物处理过程中的二次污染^[75]。在机械燃油污染防控方面,可推广使用生物柴油。该燃料基本不含硫和芳烃,十六烷值高达52.9,具有可生物降解、无毒、环境友好等特点^[76]。常见的农业污染控制举措见表2。

表2 控制农业污染的野生动物友好型举措

Table 2 Wildlife-friendly farming practices to control agricultural pollution

农业污染类型 Types of agricultural pollution	野生动物友好型农业措施 Wildlife-friendly farming practices
农药污染 Pesticide pollution	采用替代性害虫管理措施,如为食虫鸟类提供人工巢箱、种植多种非经济植物 ^[65] 以吸引食虫鸟类,以及使用未耕种的灌木作为农田边缘过渡带等 ^[66-67] 使用低毒性、易降解的农药(如硝虫硫磷、马拉硫磷等) ^[71]
化肥污染 Fertilizer pollution	使用有机肥(如秸秆还田、沼渣利用等) ^[72] 实施水肥一体化 ^[72] 推广高效施肥技术(如测土配方施肥技术、机械深施等) ^[73]
塑料、重金属等其他污染 Other agricultural pollution (e.g., plastics, heavy metals)	使用易降解农业地膜,如聚乳酸(<i>polylactic acid</i> , PLA)地膜等 ^[74] 建立经济激励机制,促进可持续回收利用 ^[75]
机械燃油污染 Fuel pollution from machinery	使用生物柴油等清洁能源替代 ^[76]

2.3 野生动物监测技术与野生动物友好型标签实践应用

现代监测技术对于提升WFF的可持续性具有关键作用,并能为相关产品提供关键的数据支撑,包括目标物种的观测数据及实施区域的景观数据等^[77]。随着技术进步,红外相机^[78]、无人机遥感和无线电追踪等智能监测手段已成为野生动物监测的主流方式^[79],这些技术与移动端检测工具结合,可显著提升数据采集的效率与质量^[80]。现代卫星通信系统相较于传统GPS,具有低延迟传输和全球覆盖的优势,其结合多维度传感器,能同步获取监测物种的位置、环境温湿度乃至生理指标(如心率)等多源数据,从而为在WFF框架下实施目标物种监测提供了更多可能。例如,Mapotic平台通过引入数据可视化来保护动物免受偷猎^[81]。

除对物种进行直接监测外,一些友好型农业项目需要对栖息地进行评估或获取更宏观的生境改善数据^[82]。例如,Hasselerharm *et al.*^[83]利用遥感技术与机器学习方法分析不同农场的植被变化,发现野生动物友好的农业实践在植被生产力方面优于传统方法。此外,某些物种可作为环境指示生物,如鸟类对重金属、微塑料等污染具有指示作用^[84]。通过遥感、航拍等技术,人们能够捕捉更大范围计划区域的细微空间异质性^[85],将其与目标物种观测技术结合后,能够实现WFF的生态效益可视化。这不仅为野生动物友好型农产品的认证提供了实证支持,也指明了生态农业科技发展的新路径,提高了野生动物友好型农产品进入市场的可行性。

2.4 野生动物友好型农业的经济实践

野生动物保护所产生的生态效益具有典型的“非市场价值”,农民难以从中获得直接经济收益,这导致其在生产决策中常被忽视^[86]。在这一背景下,构建有效的市场机制,将生态保护价值转化为面向生产者的经济激励,被视为促进人与野生动物共存的可行途径。该途径的核心在于将生态系统服务的价值纳入决策框架,使生产者能够通过保护行为获得市场回报^[87]。具体而言,这种激励主要通过消费者驱动的生态标签认证来实现。例如,国际市场上已出现的“野生动物友好型咖啡”^[88-90]和“生态友好型渔业产品”^[91]等认证体系,通过市场溢价机制将生态价值显性化,为生产者提供了直接的经济动力。

Pywell *et al.*^[18]证明,与常规农业保护管理措施

相比,采用特定物种(如旗舰物种或伞护种)作为保护代言的友好型农业模式,在提升生物多样性方面成效更为显著。这类代言物种通常对环境变化较为敏感,其种群动态可作为反映农业生态系统健康状况的直观指标,从而帮助消费者简化对复杂成效的认知与判断^[92]。同时,旗舰物种所具有的公众吸引力与情感号召力^[92-93],也有助于提升项目关注度和拓展资金来源。实证研究进一步验证了此类市场策略的经济效益。在欧美地区,关注环保的消费者愿意以每磅1.74美元的价格购买“蜂友好”牛肉,远高于0.87美元的平均支付意愿^[94];另一项针对日本市场的研究显示,带有野生动物友好型标签的大米相比无标签产品,价格溢价提升约20%^[95]。这些实践表明,以物种为核心的市场策略能够有效地将生态价值转化为经济激励,进而支撑WFF的可持续发展。

2.5 野生动物友好型农业的社会实践

社会规范是特定群体内普遍接受的行为标准,影响个体决策和社区行动。研究显示,个体是否采取可持续的生产行为,在很大程度上受其所处社群认知的影响^[27]。因此,基于社区的宣传教育对推广WFF至关重要。环境教育能增强公众对生态系统重要性的理解,并激发积极行为^[96]。生态知识的普及与环保意识的提升是推动生态保护的重要因素^[97]。例如,Kalauni *et al.*^[98]研究表明,教育与激励措施相结合能显著提升居民对野生动物友好型景观构建的参与度;在美国,影响生产者参与“蜂友好”牛肉认证的关键因素同样包括其教育背景及对生态恢复的个人兴趣^[94];我国陕西省洋县的“朱鹮大米”项目,则是一个社区深度参与并获得多重效益的成功典范。通过在朱鹮(*Nipponia nippon*)栖息地周边发展有机农业并主动营造适宜朱鹮栖息的农田环境,当地成功培育出“朱鹮大米”这一区域品牌。经过多年持续努力,适宜朱鹮繁衍的土地面积从2000年至2020年净增21.56 km²。截至2020年,朱鹮友好型的有机农业总面积占全县总面积的79.71%。这一模式已成为当地不可或缺的特色生态保护文化与农业增收来源^[99]。

在激励利益相关方参与时,需充分考虑不同群体的特征,如Sehra *et al.*^[100]研究强调,农民老龄化会影响劳动力供应,也会增加WFF实施的难度,简易的实践经历有利于进一步促进农民深度参与野生动物保护政策^[101]。政策需根据实际情况调整以提高灵活性,并尽可能降低参与门槛^[102]。日本农林水产

省 (Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, MAFF) 推行的相关标识制度便体现了这一思路。截至2010年,日本市场已推出39种相关标签(13种鸟类标签、12种非特定旗舰物种标签和8种鱼类标签),用于标识那些采用了有益于生物多样性农事操作(如在非农季为候鸟灌溉稻田或在灌溉渠中安装鱼道)的产品^[21]。由于此类标准相对宽松,农民可以轻松参与,这一政策同时促进了野生动物保护的生态价值转化,减轻了政府的压力,并成功为多种珍稀濒危物种提供了替代栖息地与保护资金。

3 野生动物友好型农业面临的挑战

3.1 农业景观中野生动物监测有待加强

野生动物监测数据是评估WFF生态效益的关键依据,也是增强消费者对相关产品信任与偏好的重要基础。从技术角度看,利用遥感、地理信息系统(GIS)、无人机和人工智能(AI)等现代技术,农业从业者能够详细了解生态系统的动态。区块链技术的发展也能减轻野生动物友好型农产品经济效益审查的难度,这些技术有助于调整农业活动,从而最大程度地减少对野生动物及其栖息地的负面影响。一些国家已建立了长期的生态监测网络,例如中国生态系统研究网络(Chinese Ecosystem Research Network, CERN)和英国生态与水文学中心(UK Centre for Ecology & Hydrology, UKCEH)等,野生动物保护成效可以从相应的数据库中获得数据支持^[18]。但目前大多数WFF实践并未系统开展野生动物数量监测,相关研究也仍处于匮乏状态。除长期监测成本较高、普通农户难以承担外,新技术的普及和应用不足是WFF难以赢得消费者信任并扩大消费者群体的根本原因。此外,各利益相关方对这一模式的认知仍有不足,同时兼具生态学、信息技术和环境管理知识的复合型人才极为短缺也是原因之一^[103]。因此,我国在推进WFF过程中,应重视野生动物监测技术与友好型农业的交叉研究与融合应用,提升管理者的认知水平,加强跨学科人才培养,以推动实践走向深入。同时,建立农村地区重点保护物种的长期监测数据库,也能为采取WFF策略奠定坚实的数据基础。

3.2 与气候变化应对协同研究亟待深化

目前,WFF主要关注较小尺度上生物多样性的响应,而对全球气候、水文和碳汇等更大尺度环境背景下的研究较少,尤其缺乏关于WFF如何应对气候

变化的系统研究。在减缓气候变化方面,WFF可通过提升碳封存能力和减少温室气体排放,有效降低大气中的二氧化碳浓度^[104]。例如,减少土壤扰动、增施有机肥有助于提高土壤有机碳储量,而保留或恢复田边树篱、草地和湿地等自然生境,也能增加植被的碳储存。此外,减少化肥使用和化石燃料消耗可直接减少温室气体排放,而健康的农业生态系统本身也是重要的碳汇。这方面的研究可为WFF通过碳交易获取支持性经费提供科学依据。

在适应气候变化方面,WFF通过增强生态系统抵抗力、保护生物多样性及优化水资源管理,有效提升了农业系统抵御极端气候的能力。多样化的农业景观和健康的生态服务能够缓解干旱、洪水等极端天气的冲击,例如湿地和草地可通过调节水循环来减少旱涝风险。同时,农林复合系统和多样化种植模式能够分散气候风险,显著提升农业系统的抗灾能力。然而,气候变化也给WFF带来了挑战,例如气温和降水格局的改变可能导致某些物种的分布范围和数量发生变化,影响农业生态系统的平衡,尤其是传粉昆虫等关键功能类群的存续;极端天气和病虫害的高发进一步增加了农田生态系统的压力。

3.3 统一的产品标准与认证体系有待建立

生态农产品市场的兴起为野生动物友好型农产品带来了新的挑战。要使生态标签对生产者形成有效激励,其必须创造足够的附加值,使消费者愿意支付溢价,以支付与环境可持续生产相关的成本^[105]。但随着部分生态认证日益垄断市场,这些农产品认证被视为维持其当前地位的必需品,而不是商业机会,这可能抑制生产者进行额外生态投入的积极性^[106-107]。消费者的购买决策受消费观、价值观和社会规范等因素影响^[108],他们通常认为带有生态标签的产品更安全、健康^[109]。但目前国际上的野生动物友好型产品仍缺乏统一的质量标准,实施范围有限,且因少量低质量产品以次充好,易损害整体市场信誉^[110]。

对我国而言,在人口增长趋势放缓而农业发展与生物多样性保护之间的矛盾依然突出的背景下,推行WFF需进行精准的战略定位。2020年6月,《中国退耕还林还草二十年(1999—2019)》白皮书显示,过去20年内中国实施了5.15亿亩的退耕还林还草工程,成林面积占全球同期增绿面积的4%以上,取得了显著的生态效益^[111]。与此同时,为保障粮食安全,政策层面明确要求严守18亿亩耕地红线^[112]。在

此背景下,WFF虽潜力巨大,却不宜在已形成集约化生产优势的主产区盲目大面积推广,而应积极探索与主流农业系统协同互补的发展路径。这一路径与我国当前倡导的“大食物观”高度契合。大食物观强调在保障粮食供给的基础上,构建多元化的食物供给体系^[8,113],这为WFF提供了新的发展框架。从理论上讲,WFF不仅可用于农田,还能够依据生态条件在多个农业复合系统中实施^[3],也能依据生态条件融入林业和渔业等生产系统,发挥其提供野生动物栖息地和采取友好型生产措施的潜力^[107,114],并有助于缓解局部地区的人兽冲突,提升利益相关方对野生动物的相容性^[115]。然而,不同地区生态环境的多样性对友好型措施提出了差异化要求,这不仅增加了跨区域标准化推广的复杂性和成本,也对科学决策和资源调配提出了更高的要求^[102]。因此,将WFF有机融入“大食物”产业链,既能拓宽绿色产品的市场广度,也能为传统的农、林、渔一体化地区拓展发展潜力,提升实施WFF的可行性。

3.4 市场机制、政策协同与公众认知的整合性不足

有效的市场机制对于吸引生产者和消费者的参与、推动农业转型至关重要。然而,在绝大多数发展中国家,高认证成本等政策障碍仍是普遍问题。若缺乏有效的市场机制,仅依赖政府财政支持,投入难以长期承担WFF转型所需的高昂成本^[77]。目前,我国相关市场机制尚不健全,野生动物保护政策也较为单一,多数地区仍以“命令-控制型”措施为主^[116-117],跨部门协调机制与反馈渠道不足,也缺乏实施及推广WFF的主体架构。未来需着力构建农业与生态保护相协同的政策体系,并充分识别各利益相关方的诉求,为野生动物友好型农产品市场的建立创造基础条件。同时,发展中国家消费者对绿色产品的认知和信任整体仍较薄弱,包括我国在内,许多国家的环保标签种类繁多但宣传不足,导致市场上农产品质量参差不齐^[118-120],这使得野生动物友好型农产品难以实现预期的经济效益。因此,未来需系统提升公众的生态文明认知,激励其采取更积极的环境行为。在此基础上,将市场推广与目标消费群体的文化价值观相适配,有助于增强品牌认同、提高购买意愿,从而建立完善的市场体系。

4 结论

WFF作为一种旨在协调农业生产与生态保护的

新型模式,在促进农田生物多样性、改善农业景观质量及提升生态系统服务方面有巨大潜力。面对全球人口持续增长背景下农业发展与生物多样性保护之间的突出矛盾,WFF提供了一条兼顾经济发展与野生动物保护的可行路径。通过梳理国内外相关研究与实践,本研究得出以下主要结论,并识别出现阶段面临的关键挑战:

(1)技术创新是支撑WFF科学性与可信度的关键。以人工智能、物联网和区块链等为代表的现代信息技术,有助于实现对保护成效的动态监测、精准管理与可信追溯。然而,目前存在技术成本高、推广不足及跨领域复合型人才短缺等制约,限制了技术潜力的充分发挥。

(2)WFF与气候变化应对的协同机制亟待深入研究。现有研究多集中于局地生物多样性响应,而对其在气候减缓(如碳汇提升)与适应(如增强系统韧性)方面的功能尚缺乏系统评估。未来的研究应更加关注WFF与更大尺度环境因素的互动,包括评估其应对气候变化的机制和潜在效果,同时探索适应不同农田生态系统和气候条件的解决方案。

(3)WFF缺乏跨地区合作的统一质量标准。统一质量标准的缺失导致野生动物友好型产品的质量参差不齐,这限制了WFF产品的经济效益,阻碍了野生动物标签作为经济激励机制发挥应有的作用。未来应注重建立统一的WFF评价标准,加强该标准在不同农林牧渔生态环境下的适应性,拓宽野生动物友好生产方式的渠道,生产多样化的农林牧渔产品并提升其质量。

(4)支持WFF有效运行的市场机制尚不完善。通过教育和社交媒体等现代化传播手段,可提高消费者对生态友好产品的认知,进而提高市场需求。尽管面临市场、政策和公众意识方面的挑战,但从国内外经验来看,WFF具有通过为农民提供经济激励、提升农产品质量、改善生态环境及增强社会环保意识而重塑农业与自然关系的长远价值。未来,WFF需要充分利用科技来提高其可行性,满足各地区的生态与经济需求,并在政策、经济和社会层面加强协作,以支持农业和野生动物保护的可持续发展,实现经济利益与生态保护的双赢。

参考文献:

- [1] PRAKASH S, VERMA A K. Anthropogenic activities and biodi-

- versity threats [J]. *International Journal of Biological Innovations*, 2022, 4(1): 94–103.
- [2] HAMUDA H E A F B, PATKÓ I. Relationship between environmental impacts and modern agriculture [J]. *Óbuda University e-Bulletin*, 2010, 1(1): 87–98.
- [3] WRIGHT H L, LAKE I R, DOLMAN P M. Agriculture: A key element for conservation in the developing world [J]. *Conservation Letters*, 2012, 5(1): 11–19.
- [4] TSCHARNTKE T, CLOUGH Y, WANGER T C, *et al.* Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification [J]. *Biological Conservation*, 2012, 151(1): 53–59.
- [5] LIU X, ZHOU X H, WANG Q, *et al.* Modeling heterogeneity in preferences for organic rice in China: Evidence from a choice experiment [J]. *Journal of Environmental Planning and Management*, 2023, 66(13): 2794–2809.
- [6] HERNANDEZ-AGUILERA J N, CONRAD J M, GÓMEZ M I, *et al.* The economics and ecology of shade-grown coffee: a model to incentivize shade and bird conservation [J]. *Ecological Economics*, 2019, 159: 110–121.
- [7] HERRING M W, GARNETT S T, ZANDER K K. From boutique to mainstream: Upscaling wildlife-friendly farming through consumer premiums [J]. *Conservation Science and Practice*, 2022, 4(7): e12730.
- [8] 习近平经济思想研究中心. 积极践行大食物观的进展成效及经验启示 [EB/OL]. (2024-08-19) [2025-02-12]. https://www.ndrc.gov.cn/wsdwhfz/202408/t20240819_1392462.html.
Xi Jinping Thought on Economics Research Center. Progress, achievements and experience insights in actively practicing the concept of a broad food supply [EB/OL]. (2024-08-19) [2025-02-12]. https://www.ndrc.gov.cn/wsdwhfz/202408/t20240819_1392462.html.
- [9] RUTTAN V W. The transition to agricultural sustainability [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1999, 96(11): 5960–5967.
- [10] DUNLAP R E, MERTIG A G. *American environmentalism: The U. S. environmental movement, 1970–1990* [M]. Philadelphia: Taylor & Francis, 1992.
- [11] LICHTFOUSE E, NAVARRETE M, DEBAEKE P, *et al.* Agronomy for sustainable agriculture. A review [J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2009, 29(1): 1–6.
- [12] MELCHIOR I C, NEWIG J. Governing transitions towards sustainable agriculture: Taking stock of an emerging field of research [J]. *Sustainability*, 2021, 13(2): 528.
- [13] OTTMAN J, BOOKS N B. Green marketing: Opportunity for innovation [J]. *The Journal of Sustainable Product Design*, 1998, 60(7): 136–667.
- [14] STOLZE M, LAMPKIN N. Policy for organic farming: Rationale and concepts [J]. *Food Policy*, 2009, 34(3): 237–244.
- [15] GILG A W, BATTERSHILL M. To what extent can direct selling of farm produce offer a more environmentally friendly type of farming some evidence from France [J]. *Journal of Environmental Management*, 2000, 60(3): 195–214.
- [16] PERLUT N G, STRONG A M, ALEXANDER T J. A model for integrating wildlife science and agri-environmental policy in the conservation of declining species [J]. *The Journal of Wildlife Management*, 2011, 75(7): 1657–1663.
- [17] CLOUGH Y, BARKMANN J, JUHRBANDT J, *et al.* Combining high biodiversity with high yields in tropical agroforests [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2011, 108(20): 8311–8316.
- [18] PYWELL R F, HEARD M S, BRADBURY R B, *et al.* Wildlife-friendly farming benefits rare birds, bees and plants [J]. *Biology Letters*, 2012, 8(5): 772–775.
- [19] 吴健, 袁甜. 生态保护补偿市场机制的国际实践与启示 [J]. *中国国土资源经济*, 2019, 32(7): 4–11.
WU J, YUAN T. The international practice and enlightenment of market mechanism of ecological protection compensation [J]. *Natural Resource Economics of China*, 2019, 32(7): 4–11.
- [20] TREVES A, JONES S M. Strategic tradeoffs for wildlife-friendly eco-labels [J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2010, 8(9): 491–498.
- [21] MAMENO K, KUBO T, UJIIE K, *et al.* Flagship species and certification types affect consumer preferences for wildlife-friendly rice labels [J]. *Ecological Economics*, 2023, 204: 107691.
- [22] Food and Agriculture Organization of the United Nations. Land statistics 2001–2023. Global, regional and country trends [EB/OL]. [2025-02-10]. <https://www.fao.org/statistics/highlights-archive/highlights-detail/land-statistics-2001-2023.-global-regional-and-country-trends/en>.
- [23] ROTEM G, ZIV Y, GILADI I, *et al.* Wheat fields as an ecological trap for reptiles in a semiarid agroecosystem [J]. *Biological Conservation*, 2013, 167: 349–353.
- [24] MENDENHALL C D, FRISHKOFF L O, SANTOS-BARRERA G, *et al.* Countryside biogeography of Neotropical reptiles and amphibians [J]. *Ecology*, 2014, 95(4): 856–870.
- [25] MIYU T R, EVANS M J, SOGA M, *et al.* Modern farming practices in paddy fields negatively affect an endemic frog, *Glandirana susurra*, in Japan [J]. *Wetlands*, 2020, 40(5): 1607–1615.
- [26] OCAMPO-ARIZA C, MAAS B, CASTRO-NAMUCHE J P, *et al.* Trait-dependent responses of birds and bats to season and dry forest distance in tropical agroforestry [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2022, 325: 107751.
- [27] GUNDLING E. Fish friendly farming: Water, wine, and fish—sustainable agriculture for a thirsty world [EB/OL]. [2025-02-10]. <https://sk.sagepub.com/cases/fish-friendly-farming-sustainable-agriculture-for-a-thirsty-world>.
- [28] MEEK B, LOXTON D, SPARKS T, *et al.* The effect of arable field margin composition on invertebrate biodiversity [J]. *Biological Conservation*, 2002, 106(2): 259–271.

- [29] 陈欣, 唐建军. 农业系统中生物多样性利用的研究现状与未来思考 [J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(1): 54-60.
CHEN X, TANG J J. Utilization of biodiversity in agriculture: Today and tomorrow [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(1): 54-60.
- [30] SESSER K A, REITER M E, SKALOS D A, *et al.* Waterbird response to management practices in rice fields intended to reduce greenhouse gas emissions [J]. Biological Conservation, 2016, 197: 69-79.
- [31] CREGO R D, OGUTU J O, WELLS H B M, *et al.* Spatiotemporal dynamics of wild herbivore species richness and occupancy across a savannah rangeland: Implications for conservation [J]. Biological Conservation, 2020, 242: 108436.
- [32] 张学娟, 刘丙万. 基于文献数据的我国野猪危害农作物时空分布特征研究 [J]. 现代农业科技, 2023(23): 210-213.
ZHANG X J, LIU B W. Study on temporal and spatial distribution characteristics of crop damaged by wild boars in China based on literature data [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2023(23): 210-213.
- [33] 原宝东, 张洪海, 窦华山. 内蒙古达赉湖自然保护区狼(*Canis lupus*)与家畜冲突初步研究 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2012(21): 1-3; 7.
YUAN B D, ZHANG H H, DOU H S. Preliminary study on the conflict between wolf (*Canis lupus*) and livestock at the Dalai Lake Nature Reserve in Inner Mongolia [J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2012(21): 1-3; 7.
- [34] 胡宇轩, 张忠义, 杜宇晨, 等. 人象冲突的国内外研究进展及展望: 基于亚洲象对人的负面影响分析 [J]. 北京林业大学学报(社会科学版), 2021, 20(2): 72-79.
HU Y X, ZHANG Z Y, DU Y C, *et al.* Research progress and prospects of human-elephant conflict at home and abroad [J]. Journal of Beijing Forestry University (Social Sciences), 2021, 20(2): 72-79.
- [35] KÖHLER H R, TRIEBSKORN R. Wildlife ecotoxicology of pesticides: Can we track effects to the population level and beyond? [J]. Science, 2013, 341(6147): 759-765.
- [36] LÓPEZ-BAO J V, MATEO-TOMÁS P. Wipe out highly hazardous pesticides to deter wildlife poisoning: The case of carbofuran and aldicarb [J]. Biological Conservation, 2022, 275: 109747.
- [37] GREEN R E, CORNELL S J, SCHARLEMANN J P W, *et al.* Farming and the fate of wild nature [J]. Science, 2005, 307(5709): 550-555.
- [38] 吴春华, 陈欣. 农药对农区生物多样性的影响 [J]. 应用生态学报, 2004, 15(2): 341-344.
WU C H, CHEN X. Impact of pesticides on biodiversity in agricultural areas [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(2): 341-344.
- [39] OGADA D L. The power of poison: Pesticide poisoning of Africa's wildlife [J]. Annals of the New York Academy of Sciences, 2014, 1322(1): 1-20.
- [40] MURRAY M. Continued anticoagulant rodenticide exposure of red-tailed Hawks (*Buteo jamaicensis*) in the northeastern United States with an evaluation of serum for biomonitoring [J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 2020, 39(11): 2325-2335.
- [41] BUECHLEY E R, ŞEKERCIOĞLU Ç H. The avian scavenger crisis: Looming extinctions, trophic cascades, and loss of critical ecosystem functions [J]. Biological Conservation, 2016, 198: 220-228.
- [42] PACHECO R E, JÁCOME N L, ASTORE V, *et al.* Pesticides: The most threat to the conservation of the Andean condor (*Vultur gryphus*) [J]. Biological Conservation, 2020, 242: 108418.
- [43] 支明, 赵桂鹏, 姜永波, 等. 哈尔滨市周边野生黄鼠肌肉中有机氯农残检测 [J]. 中国公共卫生, 2013, 29(7): 1052-1054.
ZHI M, ZHAO G P, JIANG Y B, *et al.* Organochlorine pesticide residues in muscle of *Citellus dauricus* in vicinity of Harbin City [J]. Chinese Journal of Public Health, 2013, 29(7): 1052-1054.
- [44] 卢自勇, 冉景丞. 两栖动物面临的威胁及保护对策探讨 [J]. 环保科技, 2012, 18(2): 21-27.
LU Z Y, RAN J C. Threats to amphibians and protection countermeasures: Review [J]. Environmental Protection and Technology, 2012, 18(2): 21-27.
- [45] AGUILERA E, GUZMÁN G I, GONZÁLEZ DE MOLINA M, *et al.* From animals to machines. The impact of mechanization on the carbon footprint of traction in Spanish agriculture: 1900-2014 [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 221: 295-305.
- [46] 刘淑丽, 简敏菲, 周隆胤, 等. 鄱阳湖湿地候鸟栖息地微塑料污染特征 [J]. 环境科学, 2019, 40(6): 2639-2646.
LIU S L, JIAN M F, ZHOU L Y, *et al.* Pollution characteristics of microplastics in migratory bird habitats located within Poyang Lake wetlands [J]. Environmental Science, 2019, 40(6): 2639-2646.
- [47] WANG L M, NABI G, YIN L Y, *et al.* Birds and plastic pollution: Recent advances [J]. Avian Research, 2021, 12(1): 59.
- [48] GOSWAMI V R, SRIDHARA S, MEDHI K, *et al.* Community-managed forests and wildlife-friendly agriculture play a subsidiary but not substitutive role to protected areas for the endangered Asian elephant [J]. Biological Conservation, 2014, 177: 74-81.
- [49] FINCH T, GILLINGS S, GREEN R E, *et al.* Bird conservation and the land sharing-sparing continuum in farmland-dominated landscapes of lowland England [J]. Conservation Biology, 2019, 33(5): 1045-1055.
- [50] SEGRE H, CARMEL Y, SHWARTZ A. Economic and not ecological variables shape the sparing: Sharing trade-off in a mixed cropping landscape [J]. Journal of Applied Ecology, 2022, 59(3): 779-790.
- [51] KAMP J, URAZALIEV R, BALMFORD A, *et al.* Agricultural development and the conservation of avian biodiversity on the Eurasian steppes: A comparison of land-sparing and land-sharing

- approaches [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2015, 52 (6) : 1578–1587.
- [52] CRESPI S J, SIMONETTI J A. Reconciling farming and wild nature: Integrating human-wildlife coexistence into the land-sharing and land-sparing framework [J]. *Ambio*, 2019, 48(2) : 131–138.
- [53] FISCHER J, BROSI B, DAILY G C, *et al.* Should agricultural policies encourage land sparing or wildlife-friendly farming? [J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2008, 6 (7) : 380–385.
- [54] MAHOOD S P, LEES A C, PERES C A. Amazonian countryside habitats provide limited avian conservation value [J]. *Biodiversity and Conservation*, 2012, 21(2) : 385–405.
- [55] ELPHICK C S, BAICICH P, PARSONS K C, *et al.* The future for research on waterbirds in rice fields [J]. *Waterbirds*, 2010, 33(sp1) : 231–243.
- [56] STRUM K M, REITER M E, HARTMAN C A, *et al.* Winter management of California's rice fields to maximize waterbird habitat and minimize water use [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2013, 179 : 116–124.
- [57] SHUFORD W D, REITER M E, STRUM K M, *et al.* The benefits of crops and field management practices to wintering waterbirds in the Sacramento: San Joaquin River Delta of California [J]. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 2016, 31 (6) : 495–506.
- [58] PYWELL R F, HEARD M S, WOODCOCK B A, *et al.* Wildlife-friendly farming increases crop yield: Evidence for ecological intensification [J]. *Proceedings Biological Sciences*, 2015, 282(1816) : 20151740.
- [59] SEGAR J, KEANE A. Species and demographic responses to wildlife-friendly fencing on ungulate crossing success and behavior [J]. *Conservation Science and Practice*, 2020, 2 (10) : e285.
- [60] TSHEWANG U, TOBIAS M C, MORRISON J G. Non-violent techniques for human-wildlife conflict resolution [M]//Bhutan: Conservation and environmental protection in the Himalayas. Cham: Springer International Publishing, 2021 : 71–153.
- [61] ROTEM G, ZIV Y. Crop diversity and rotation may increase dispersal opportunities of reptiles in a heterogeneous agroecosystem [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2016, 235 : 32–37.
- [62] NAITO R, YAMASAKI M, LMANISHI A, *et al.* Effects of water management, connectivity, and surrounding land use on habitat use by frogs in rice paddies in Japan [J]. *Zoological Science*, 2012, 29(9) : 577–584.
- [63] YU S H, BAE Y, CHOI Y, *et al.* Amphibian-friendly water drainages for agricultural landscapes, based on multiple species surveys and behavioural trials for *Pelophylax nigromaculatus* [J]. *Diversity*, 2022, 14(5) : 414.
- [64] ICHION E, NAKANO M, TANAKA K, *et al.* Designs of sloped-weir fishways with V-shaped notches for freshwater fishes distributed in agricultural ditches [J]. *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 2019, 24(2) : 1–7.
- [65] BONTZORLOS V, CAIN S, LESHEM Y, *et al.* Barn owls as a nature-based solution for pest control: A multinational initiative around the Mediterranean and other regions [J]. *Conservation*, 2024, 4(4) : 627–656.
- [66] MILLIGAN M C, JOHNSON M D, GARFINKEL M, *et al.* Quantifying pest control services by birds and ants in Kenyan coffee farms [J]. *Biological Conservation*, 2016, 194 : 58–65.
- [67] 郑云开, 尤民生. 农业景观生物多样性与害虫生态控制 [J]. *生态学报*, 2009, 29(3) : 1508–1518.
- ZHENG Y K, YOU M S. Biological diversity in support of ecologically-based pest management at landscape level [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3) : 1508–1518.
- [68] HAALAND C, NAISBIT R E, BERSIER L F. Sown wildflower strips for insect conservation: a review: Wildflower strips for insect conservation [J]. *Insect Conservation and Diversity*, 2011, 4(1) : 60–80.
- [69] MANSON S, CAMPERA M, HEDGER K, *et al.* The effectiveness of wildlife-friendly farming practices in the reduction of pest presence in coffee plants [J]. *SSRN Electronic Journal*, 2022 : 4019217.
- [70] 尤民生, 刘雨芳, 侯有明. 农田生物多样性与害虫综合治理 [J]. *生态学报*, 2004, 24(1) : 117–122.
- YOU M S, LIU Y F, HOU Y M. Biodiversity and integrated pest management in agroecosystems [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(1) : 117–122.
- [71] 朱鲁生, 徐玉新, 王玉军, 等. 马拉硫磷、氰戊菊酯及其混剂对土壤微生物影响研究 [J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2000, 31(1) : 35–37.
- ZHU L S, XU Y X, WANG Y J, *et al.* Effects of malathion, fenvalerate and its mixture on respiration of soil microbe [J]. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science)*, 2000, 31(1) : 35–37.
- [72] 李传哲, 许仙菊, 马洪波, 等. 水肥一体化技术提高水肥利用效率研究进展 [J]. *江苏农业学报*, 2017, 33 (2) : 469–475.
- LI C Z, XU X J, MA H B, *et al.* Research advances in fertigation technology improving water and fertilizer use efficiency [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2017, 33 (2) : 469–475.
- [73] 周卫, 丁文成. 新阶段化肥减量增效战略研究 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2023, 29(1) : 1–7.
- ZHOU W, DING W C. Strategic researches of reducing fertilizer use and increasing use efficiency in China in the new era [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2023, 29(1) : 1–7.
- [74] 吕江南, 王朝云, 易永健. 农用薄膜应用现状及可降解农膜研究进展 [J]. *中国麻业科学*, 2007, 29(3) : 150–157.
- LU J N, WANG C Y, YI Y J. The development status of agricultural plastics mulching film and progress on degradable mulching films [J]. *Plant Fiber Sciences in China*, 2007, 29 (3) :

- 150–157.
- [75] WANG B, DONG F Q, CHEN M J, *et al.* Advances in recycling and utilization of agricultural wastes in China: Based on environmental risk, crucial pathways, influencing factors, policy mechanism [J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2016, 31: 12–17.
- [76] 朱建良, 张冠杰. 国内外生物柴油研究生产现状及发展趋势 [J]. *化工时刊*, 2004, 18(1): 23–27.
- ZHU J L, ZHANG G J. Current situation and development trend of the research and production of biodiesel [J]. *Chemical Industry Times*, 2004, 18(1): 23–27.
- [77] ANGKAEW R, NGOPRASERT D, POWELL L A, *et al.* Variation in avian responses to rice intensification in the central plains of Thailand guides conservation opportunities [J]. *Biological Conservation*, 2023, 286: 110307.
- [78] XIAO Z S, XIAO W H, WANG T M, *et al.* Wildlife monitoring and research using camera-trapping technology across China: The current status and future issues [J]. *Biodiversity Science*, 2022, 30(10): 22451.
- [79] 李晓艳. 野生动物监测现状与技术方法的应用研究 [J]. *农业灾害研究*, 2023, 13(10): 16–18.
- LI X Y. Research on the current situation and application of technical methods of wildlife monitoring [J]. *Journal of Agricultural Catastrophology*, 2023, 13(10): 16–18.
- [80] 王宇航, 龚明昊, 文菀玉, 等. 自然保护区野生动物监测技术应用现状及研发需求 [J]. *国家公园(中英文)*, 2024, 2(3): 166–175.
- WANG Y H, GONG M H, WEN W Y, *et al.* Current application and research demand of wildlife resource monitoring technology in natural protected areas, China [J]. *National Park*, 2024, 2(3): 166–175.
- [81] MAPOTIC. Wildlife tracking technology trends of 2025: Engaging movement data visualization [EB/OL]. (2025-04-01) [2025-02-10]. <https://www.mapotic.com/blog/wildlife-tracking-technology-trends-of-2025/>.
- [82] MATTISON E H A, NORRIS K. Bridging the gaps between agricultural policy, land-use and biodiversity [J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2005, 20(11): 610–616.
- [83] HASSELERHARM C D, YANCO E, MCMANUS J S, *et al.* Wildlife-friendly farming recouples grazing regimes to stimulate recovery in semi-arid rangelands [J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 788: 147602.
- [84] 李峰, 丁长青. 重金属污染对鸟类的影响 [J]. *生态学报*, 2007, 27(1): 296–303.
- LI F, DING C Q. Effects of heavy metal pollution on birds [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(1): 296–303.
- [85] YEISER J M, MORGAN J J, BAXLEY D L, *et al.* Variability in the management of agricultural fields spared for conservation [J]. *Ecological Indicators*, 2020, 114: 106303.
- [86] PASCUAL U, PERRINGS C. Developing incentives and economic mechanisms for *in situ* biodiversity conservation in agricultural landscapes [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2007, 121(3): 256–268.
- [87] 张晏. 生态系统服务市场化工具: 概念、类型与适用 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(6): 119–126.
- ZHANG Y. Market-based instruments for ecosystem services: Concept, classification and application [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2017, 27(6): 119–126.
- [88] RATHMELL L. Coffee and conservation: The ecology and marketing of bird friendly coffee [D]. Austin: The University of Texas at Austin, 2017.
- [89] CAMPERA M, BUDIADI B, ADINDA E, *et al.* Fostering a wildlife-friendly program for sustainable coffee farming: The case of small-holder farmers in Indonesia [J]. *Land*, 2021, 10(2): 121.
- [90] CAUDILL S A, DECLERCK F J A, HUSBAND T P. Connecting sustainable agriculture and wildlife conservation: Does shade coffee provide habitat for mammals? [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2015, 199: 85–93.
- [91] AKINROTIMI O A, ABU O M G, ARANYO A A. Environmental friendly aquaculture key to sustainable fish farming development in Nigeria [J]. *Continental Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 2011, 5(2): 17–31.
- [92] QIAN J, ZHUANG H F, YANG W K, *et al.* Selecting flagship species to solve a biodiversity conservation conundrum [J]. *Plant Diversity*, 2020, 42(6): 488–491.
- [93] PIRATELLI A J, PIÑA-RODRIGUES F C M, RAEDIG C. Integrating biodiversity conservation into agroecosystem management: Using birds to bring conservation and agricultural production together [M]//Strategies and tools for a sustainable rural Rio de Janeiro. Cham: Springer International Publishing, 2018: 139–153.
- [94] CHISHIMBA E. Essays on the economics of bee-friendly beef [D]. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University, 2024.
- [95] MAMENO K, KUBO T, SHOJI Y. Price premiums for wildlife-friendly rice: Insights from Japanese retail data [J]. *Conservation Science and Practice*, 2021, 3(6): e417.
- [96] KOLLMUSS A, AGYEMAN J. Mind the Gap: Why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior? [J]. *Environmental Education Research*, 2002, 8(3): 239–260.
- [97] MAMENO K, KUBO T. Mainstreaming eating agrobiodiversity: Appealing with heron labels and boosting with loach labels [J]. *Food Quality and Preference*, 2023, 109: 104919.
- [98] KALAUNI D, WARNER L A, DIAZ J M, *et al.* Formative audience research to increase consumer demand for professional wildlife-friendly landscape maintenance [J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2023, 90: 128152.
- [99] 苏凯文, 任婕, 侯一蕾, 等. 基于空间分析的洋县朱鹮栖息地有机农业生态效应研究 [J]. *自然保护区*, 2024, 4(2): 108–123.

- SU K W, REN J, HOU Y L, *et al.* Study on the ecological effect of organic farming in the habitat of crested ibis in Yang County based on spatial analysis [J]. *Natural Protected Areas*, 2024, 4 (2): 108–123.
- [100] SEHRA K K, MACMILLAN D C. Wildlife-friendly food requires a multi-stakeholder approach to deliver landscape-scale biodiversity conservation in the Satoyama landscape of Japan [J]. *Journal of Environmental Management*, 2021, 297: 113275.
- [101] MCCracken M E, WOODCOCK B A, LOBLEY M, *et al.* Social and ecological drivers of success in agri-environment schemes: The roles of farmers and environmental context [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2015, 52(3): 696–705.
- [102] VALENTE J J, BENNETT R E, GÓMEZ C, *et al.* Land-sparing and land-sharing provide complementary benefits for conserving avian biodiversity in coffee-growing landscapes [J]. *Biological Conservation*, 2022, 270: 109568.
- [103] CHOPIN P, BERGKVIST G, HOSSARD L. Modelling biodiversity change in agricultural landscape scenarios: A review and prospects for future research [J]. *Biological Conservation*, 2019, 235: 1–17.
- [104] FIELD R H, HILL R K, CARROLL M J, *et al.* Making explicit agricultural ecosystem service trade-offs: A case study of an English lowland arable farm [J]. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 2016, 14(3): 249–268.
- [105] SIGURDSSON V, LARSEN N M, PÁLSDÓTTIR R G, *et al.* Increasing the effectiveness of ecological food signaling: Comparing sustainability tags with eco-labels [J]. *Journal of Business Research*, 2022, 139: 1099–1110.
- [106] HADJIMICHAEL M, HEGLAND T J. Really sustainable? Inherent risks of eco-labeling in fisheries [J]. *Fisheries Research*, 2016, 174: 129–135.
- [107] AUTZEN M H, HEGLAND T J. When ‘sustainability’ becomes the norm: Power dynamics in the making of a new eco-label for low-environmental-impact, small-scale fisheries [J]. *Marine Policy*, 2021, 133: 104742.
- [108] BRÉCARD D, HLAIMI B, LUCAS S, *et al.* Determinants of demand for green products: An application to eco-label demand for fish in Europe [J]. *Ecological Economics*, 2009, 69(1): 115–125.
- [109] VITALE S, BIONDO F, GIOSUÈ C, *et al.* Consumers’ perception and willingness to pay for eco-labeled seafood in Italian hypermarkets [J]. *Sustainability*, 2020, 12(4): 1434.
- [110] GIANNAKAS K. Information asymmetries and consumption decisions in organic food product markets [J]. *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue Canadienne D’Agroéconomie*, 2002, 50(1): 35–50.
- [111] 国家林业和草原局政府网.《中国退耕还林还草二十年》白皮书发布 [EB/OL]. (2020-06-30) [2025-02-10]. <https://www.forestry.gov.cn/c/www/gkjsxm/139350.jhtml>.
The official website of the National Forestry and Grassland Administration. *Twenty Years of Returning Farmland to Forest and Grassland in China* white paper released [EB/OL]. (2020-06-30) [2025-02-12]. <https://www.forestry.gov.cn/c/www/gkjsxm/139350.jhtml>.
- [112] 中华人民共和国农业农村部. 二、强化现代农业基础支撑 [EB/OL]. [2025-02-10]. https://www.moa.gov.cn/ztl/jj2022zyyhj/2022nzyyhj/202202/t20220223_6389292.htm.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People’s Republic of China. II ,Strengthening the basic support for modern agriculture [EB/OL]. [2025-02-10]. https://www.moa.gov.cn/ztl/jj2022zyyhj/2022nzyyhj/202202/t20220223_6389292.htm.
- [113] 中华人民共和国农业农村部. 第一观察：习近平心目中的“大食物观” [EB/OL]. [2025-02-10]. https://www.moa.gov.cn/ztl/2022lhjj/zdgz_29089/202203/t20220309_6391342.htm.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People’s Republic of China. First observation: Xi Jinping’s “big food concept” [EB/OL]. [2025-10-13]. https://www.moa.gov.cn/ztl/2022lhjj/zdgz_29089/202203/t20220309_6391342.htm.
- [114] ALI IMRON M, CAMPERA M, AL BIHAD D, *et al.* Bird assemblages in coffee agroforestry systems and other human modified habitats in Indonesia [J]. *Biology*, 2022, 11(2): 310.
- [115] JOHNSON C N, WALLACH A D. The virtuous circle: Predator-friendly farming and ecological restoration in Australia [J]. *Restoration Ecology*, 2016, 24(6): 821–826.
- [116] 周学红, 杨锡涛, 唐谨成, 等. 野生动物就地保护与其分布地经济发展的相容性 [J]. *生态学报*, 2016, 36(21): 6708–6718.
- ZHOU X H, YANG X T, TANG J C, *et al.* The progress and practice of consistency between *in situ* wildlife conservation strategies and the economic development of local people [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(21): 6708–6718.
- [117] 徐永田. 我国生态补偿模式及实践综述 [J]. *人民长江*, 2011, 42(11): 68–73.
- XU Y T. Research on ecological compensation mode and practice in China [J]. *Yangtze River*, 2011, 42(11): 68–73.
- [118] 邱景然. 消费者对环境友好型水产品偏好的评估研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2022.
- QIU J R. Evaluation of consumers’ preference for environmental-friendly aquatic products [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2022.
- [119] 杨波. 消费者对生态标签低信任度下绿色食品市场的运行和消费者行为选择 [J]. *经济经纬*, 2015, 32(3): 73–78.
- YANG B. Working of green food market and consumers’ choice in the low trust condition on eco-label [J]. *Economic Survey*, 2015, 32(3): 73–78.
- [120] 张学睦, 王希宁. 生态标签对绿色产品购买意愿的影响: 以消费者感知价值为中介 [J]. *生态经济*, 2019, 35(1): 59–64.
- ZHANG X M, WANG X N. Research on the influence of eco-label on the purchase intention of green products with the mediating role of consumer perceived value [J]. *Ecological Economy*, 2019, 35(1): 59–64.