

论稻田生态学 *

黄国勤

(江西农业大学生态科学研究中心, 南昌 330045)

摘 要: 尽快建立稻田生态学, 对于建设美丽中国、维护粮食安全与食品安全、建设农业强国等均具有必要性、重要性和紧迫性。稻田生态学是研究稻田生态系统结构、功能、演变及调控的一门生态学应用学科, 是农业生态学、农田生态学的分支学科, 具有理论性、应用性、综合性、区域性和战略性等 5 个方面的特征。其研究目标就是要建立合理、高产、高质、高效和可持续发展的稻田生态系统。任务包括 4 个方面: 稻田生态学理论研究、稻田生态学技术研究、稻田生态学发展研究和实现稻田生态系统高质量发展。近年来, 我国稻田生态学研究在 6 个方面取得积极进展和显著成效: (1) 稻田生态系统温室气体排放规律及固碳减排途径; (2) 稻田土壤重金属污染及修复技术; (3) 稻田生态系统服务功能价值评估; (4) 稻田生态种养模式及其生态环境效应; (5) 稻田自然灾害及其绿色防控; (6) 稻田生态系统可持续性评估。当前, 我国稻田生态学发展面临着重视不够、投入不足、条件不优、研究不深、成果不多和总结不力等突出问题与挑战。为促进稻田生态学的建设与发展, 必须采取如下对策和措施: 一是从战略上高度重视稻田生态学的建设与发展; 二是增加资金投入; 三是改善工作条件; 四是深入开展研究; 五是壮大学科队伍; 六是加强国内外交流与合作; 七是给予政策支持和扶植。未来, 我国稻田生态学发展将呈现数字化、绿色化、高效化、高质化和新质化趋势。

关键词: 稻田生态学; 稻田生态系统; 水稻; 高质量发展; 可持续发展

中图分类号: S181 **文献标志码:** A

On the Paddy Field Ecology

HUANG Guoqin

(Research Center on Ecological Sciences, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract: It is necessary, important, and urgent to establish rice field ecology as soon as possible for building a Beautiful China, safeguarding food security and food safety, and developing a strong agricultural sector. Rice field ecology is an applied discipline of ecology that studies the structure, function, evolution, and regulation of rice field ecosystems. It is a sub-discipline of agroecology and farmland ecology. Rice field ecology is characterized by its theoretical, applied, comprehensive, regional, and strategic features. The research objective of rice field ecology is to establish rational, high-yield, high-quality, high-efficiency, and sustainable rice field ecosystems. The tasks of rice field ecology encompass four aspects: theoretical research, technological research, developmental research, and achieving high-quality development of rice field ecosystems. In recent years, research in rice field ecology in China

* 国家重点研发计划项目(2016YFD0300208)、国家自然科学基金项目(41661070)和中国工程院咨询研究项目(2017-XY-28-03)资助 Supported by National Key Research and Development Project of China (No. 2016YFD0300208), the National Natural Science Foundation of China (No. 41661070), and the Consulting Research Project of Chinese Academy of Engineering (No. 2017-XY-28-03)
作者简介: 黄国勤(1962—), 江西余江人, 博士, 教授, 主要从事作物耕作学、农业生态学、农业可持续发展理论与实践等方面的教学与科研工作。E-mail: hgqmail441@sohu.com

收稿日期: 2026-04-28; 收到修改稿日期: 2026-09-04; 网络首发日期(www.cnki.net): 2026- --

has made active progress and remarkable achievements in six areas: (1) greenhouse gas emission patterns and pathways for carbon sequestration and emission reduction in rice field ecosystems; (2) heavy metal pollution in paddy soils and remediation techniques; (3) valuation of ecosystem services in rice fields; (4) eco-agricultural models in rice fields and their ecological environmental effects; (5) natural disasters in rice fields and their green prevention and control; (6) sustainability assessment of rice field ecosystems. Currently, the development of rice field ecology in China faces prominent challenges, including insufficient attention, inadequate funding, suboptimal research conditions, superficial studies, limited outputs, and ineffective summarization of findings. To promote the construction and development of rice field ecology, the following countermeasures and actions must be taken: first, to attach strategic importance to the development of rice field ecology; second, to increase financial investment; third, to improve working conditions; fourth, to conduct in-depth research; fifth, to strengthen the disciplinary workforce; sixth, to enhance domestic and international exchange and cooperation; and seventh, to provide policy support and assistance. In the future, the development of rice field ecology in China will demonstrate trends toward digitalization, greenization, higher efficiency, improved quality, and new-quality transformation.

Key words: Paddy field ecology; Paddy field ecosystem; Rice; High-quality development; Sustainable development

水稻是世界三大粮食作物（水稻、小麦、玉米）之一，稻米的消费量占三大粮食作物消费总量的 49%，全球约有 58%（约 46 亿）的人口以稻米为主食^[1]。联合国粮食及农业组织（FAO）相关数据显示，全球水稻种植面积已超过 1.6 亿 hm^2 ，年总产量达 7.8 亿 t ^[2]。水稻在世界粮食作物中居于核心地位^[3]。在中国，水稻是四大粮食作物（水稻、小麦、玉米、大豆）之一，是最重要的口粮作物。中国是世界上最大的水稻生产国和消费国，2021 年水稻种植面积约占全球水稻种植面积的 18.2%，产量约占全球总产量的 27.2%^[4-5]。2024 年，我国水稻播种面积 2 901 万 hm^2 ，占全国粮食播种面积（11 932 万 hm^2 ）的 24.31%；稻谷产量 20 753 万 t ，占全国粮食总产量（70 650 万 t ）的 29.37%^[6]。水稻栽种的主要场所是耕地中的水田。《中国农业年鉴 2022》^[7]显示，2019 年全国 12 786.19 万 hm^2 耕地资源中，水田面积 3 145.40 万 hm^2 ，水田占耕地面积的 24.6%。作为种植水稻的最主要场所，水田常常等同于稻田。尤其是我国南方，凡是水田均可种植水稻；在北方，目前除青海省之外，水田也都广泛种植水稻。因此，水田（稻田）状况如何，直接关系着稻谷生产，关系着我国粮食安全，甚至关系着国家经济社会的稳定发展。

然而，当前我国稻田面临着诸多问题^[8-10]，如稻田土壤肥力下降，稻田土壤污染，特别是稻田土壤重金属污染，引发稻米品质问题甚至是食品安全问题，南方稻田还存在严重的土壤酸化问题、北方水田存在盐碱化问题，等等。这些问题如不及时加以解决，必然影响稻谷产量和全国粮食安全，还影响稻米品质、食品安全和人民健康。基于此，必须建立一门新兴学科——稻田生态学，用稻田生态学的理论、原理和原则，指导解决当前全国各地稻田生态系统存在的各种生态环境问题，从而为确保全国粮食安全、食品安全做出稻田生态学的贡献。

1 建立稻田生态学的战略意义

1.1 建立稻田生态学的必要性

2024 年 1 月，《中共中央国务院关于全面推进美丽中国建设的意见》^[11]发布。该文件明确提出，到 2027 年美丽中国建设的目标是，主要污染物排放总量持续减少，生态环境质量持续提升，生态系统服务功能不断增强，美丽中国建设成效显著。稻田及稻田生态系统是稻田生态学的研究对象。稻田污染物的多少，稻田生态环境质量的高低，以及稻田生态系统服务功能的强弱，均直接影响我国整个生态环境状况和整个生态系统的服务功能。由于稻田、

稻田生态系统是我国整个生态环境和生态系统的重要组成部分,稻田生态环境改善,稻田生态系统服务功能增强,必将有助于全国整个生态环境改善和生态系统服务功能增强。因此,建立稻田生态学,用其理论指导稻田生态环境的改善、优化,必将有利于美丽中国建设目标的早日实现。

1.2 建立稻田生态学的重要性

粮食安全是“国之大者”。新中国成立 70 多年来,我国粮食生产不断发展,粮食产量不断增加,2024 年粮食总产首次达到 1.4 万亿斤(70 650 万 t),实现历史性突破,粮食安全取得巨大成就。但也须看到,随着经济社会发展,我国对粮食数量的需求也将呈现不断增大的趋势。近 5 年,我国粮食进口量总体呈现增加趋势,如 2019 年我国粮食进口量为 11 144.0 万 t,进口率 16.79%;2020 年进口 14 262.1 万 t,进口率 21.30%;2021 年进口 16 453.9 万 t,进口率 24.10%;2022 年进口 14 687.0 万 t,进口率 21.39%;2023 年进口 16 196.0 万 t,进口率 23.29%^[12]。2024 年我国粮食进口量(主要指进口稻谷、小麦、玉米、大豆,不包括油料,下同)15 753.0 万 t,进口率 22.30%^[13]。我国粮食进口量持续增加的重要原因之一,在于饲料用粮的不断增加。正是由于粮食进口率增加和自给率下降,加上国内粮食库存量减少、品质下降(库存时间延长必然导致粮食质量下降,甚至变质,如粮食霉变)等问题,我国粮食安全形势严峻,风险依然存在且有增大趋势。造成这种状况的原因是多方面的。从粮食生产的角度来看,粮食播种面积下降,尤其是耕地非农化、粮田非粮化等直接影响粮食生产,造成粮食产量提高缓慢甚至下降(尤其是在南方经济发达地区广东、浙江、福建、海南等地,水稻播种面积下降明显,粮食总产萎缩显著)。不仅如此,我国粮食安全问题,不仅存在量的问题,还存在质的问题。前者即通常说的粮食安全问题(重在粮食数量安全),后者则通常称为食品安全问题(重在强调粮食质量安全)。稻田土壤污染,尤其是重金属污染问题,已对稻米品质及其质量安全产生严重影响。

为有效解决粮食安全、食品安全问题,必须尽快建立稻田生态学,用稻田生态学的理论指导生产实践,推行水稻绿色生产技术,开展水稻病虫害绿色防控,加强稻田生态环境的治理和修复,以及广泛使用绿色、智能、高效农业机械等,这必将有助于增加稻谷产量、提升稻谷品质,尤其是提升稻米绿色性和安全性,从而为确保国家粮食安全、食品安全提供坚实保障和重要支撑。

1.3 建立稻田生态学的紧迫性

2022 年 10 月,党的二十大报告首次提出“加快建设农业强国”的重大战略任务^[14]。2025 年 4 月,中共中央、国务院印发《加快建设农业强国规划(2024—2035 年)》^[15],指出:到 2027 年,农业强国建设取得明显进展;到 2035 年,农业强国建设取得显著成效。加快建设农业强国,关键要做到:一是增加粮食产量,确保粮食安全;二是提高经济效益,促进农民增收;三是保护生态环境,绿色低碳发展。建立稻田生态学,用稻田生态学的理论和技术指导农业生产实践,尤其是实行稻田农业生产全面绿色转型,推广应用稻田绿色、低碳、循环生产技术,将不仅增加稻谷等农产品产量,还将提高稻田收益,尤其是在实践中推广应用农业新质生产力(如智能耕种机、植保无人机、AI 等),将精准施肥和喷洒农药,可实现资源节约、环境友好、生态保育之功效。这对于推进农业全面绿色转型、加快建设农业强国、实现中国式现代化必将起到重要作用。

2 稻田生态学的概念、性质和特征

2.1 概念

稻田生态学是研究稻田生态系统结构、功能、演变及调控的一门生态学应用学科,是农

业生态学、农田生态学的分支学科。稻田生态学的研究对象是稻田生态系统。稻田生态系统是由稻田生物与环境组成的具有能量流动和物质循环基本功能的生态学基本单元。

稻田生态学与农田生态学、农业生态学、生态学的学科关系,可表示为:稻田生态学→农田生态学→农业生态学→生态学,四者之间的联系和区别见表 1。

表 1 稻田生态学、农田生态学、农业生态学和生态学四门学科之间的联系与区别

Table 1 Relationships and differences among paddy field ecology, farmland ecology, agroecology and ecology				
项目	稻田生态学	农田生态学	农业生态学	生态学
Item	Paddy Field Ecology	Farmland Ecology	Agroecology	Ecology
研究对象	稻田生态系统	农田生态系统	农林牧副渔“五业”复合生态	生态系统
Research object		(包含稻田生态系统)	系统(包含农田生态系统)	(包含农业生态系统)
研究目标	建立合理、高产、高质、 高效和可持续发展的	建立合理、高产、高质、 高效和可持续发展农田	建立农林牧副渔“五业”相互 协调,结构优、功能强、效益	建立结构良、功能强、 效益佳、可持续的生态
Research goal	稻田生态系统	生态系统	高的复合生态系统	系统
研究范围	小(稻田)	中(农田)	大(“五业”范围)	更大(由生物与环境构 成的生态系统)
Research scope				
研究尺度	小	中	大	更大
Research scale				
学科特点				
Discipline	实践性强	实践性强、应用性强	应用性强、综合性强	综合性强、理论性强
characteristics				
学科级别	分支学科	分支学科	分支学科	一级学科
Discipline level				

2.2 性质

就学科性质而言,稻田生态学是一门生态学分支学科、农业应用学科、交叉复合学科。首先,如表 1 所述,稻田生态学是一门生态学分支学科。其次,稻田生态学是一门农业应用学科,其根本目的是要实现稻田生态系统的经济效益、社会效益和生态效益的相统一、相协调、共发展。第三,稻田生态学是一门交叉复合学科,是由稻田土壤学、稻田耕作学、水稻栽培学、水稻生态学、水稻生理学等交叉、复合而成的综合性学科。稻田生态学要发展得好、发展得快,必须学习借鉴和运用上述多门学科的理论和方法,并不断将其进行改造、改良、创新,为我所用。只有这样,稻田生态学的理论和技术体系才能不断建立、健全和完善。

2.3 特征

稻田生态学具有如下几个显著特征。

1) 理论性。稻田生态学既然是一门学科,就有其学科理论。如生态学上的能量流动和物质循环理论、生物相生相克理论、生态平衡理论等均可作为稻田生态学的理论。当然,随着学科发展和科学研究工作的进一步深入,必将提出属于稻田生态学的学科理论、原理和关键技术体系。

2) 应用性。稻田生态学是一门实践性、应用性很强的学科。稻田生态学的根本目标就是要阐明稻田生态系统演变与发展规律,揭示其高产、优质、高效作用机理,调整、优化其发展模式并研发配套关键技术,最终增加稻田作物产量、提升稻田农产品品质、提高稻田生态系统的效益。这正是其应用性、实践性的具体体现。

3) 综合性。作为一门学科,稻田生态学具有综合性。一是研究对象的综合性。稻田生态学的研究对象是稻田生态系统,其生物因子和非生物因子(即环境因子)往往不是单一的、孤立的,而是多样性的、综合性的,且生物因子之间、环境因子之间,以及生物因子与环境因子之间均紧密相联、不可分割,综合影响稻田生态系统结构和功能。二是学科目标的综合

性。稻田生态学的目标,就是实现稻田生态系统的经济效益、社会效益和生态效益的协调发展、同步增长,即做到“1+1+1>3”。这一目标显然是综合性的,三者相互联系、相互影响,紧密联系不可分割。三是实现目标所采取措施的综合性。要实现稻田生态系统经济效益、社会效益和生态效益的协调发展、同步增长,三者协同增效,必须采取综合性的措施和方法,尤其是在稻田农业生产实践中,要综合做到良田、良制、良种、良物、良法、良境的“六良”配套、“六良”结合,方能取得预期效果。

4) 区域性。稻田生态学具有很强的区域性特征。这源于其研究对象稻田生态系统具有区域性特征。如同样是稻田生态系统,同样是种植水稻,在长江中下游地区一年可种植两季水稻(简称双季稻),而在北方如东北地区,一年只能栽种水稻一季,这正是南北气候之差距。这种区域性特征,就要求在生产实践上,对于稻田生态系统的设计、管理、调控等要做到因地制宜、区别对待,不可一个样、一般粗、一刀切。只有如此,才能获得各地稻田生态系统的高产、优质、高效和可持续发展。

5) 战略性。稻田生态学具有战略性,其原因在于:一是稻田生态学关系着稻谷生产。稻谷是我国最重要的粮食作物。稻田生态学发展得好,稻谷生产有保障,对于保障国家粮食安全乃至世界粮食安全均具有重要作用和国际影响。二是稻田生态学关系着稻田生态环境改善。稻田生态学发展得好,稻田生态环境不断改善,生产出优质、安全、健康、营养的稻米,不仅有利于食品安全和人民健康,还有利于增加稻米出口,提升我国粮食在国际上的竞争力和影响力。三是稻田生态学关系着美丽中国建设、关系着农业强国建设。稻田生态学发展得好,稻田生态环境不断得到改善、优化,这将有助于全国生态文明建设,助推美丽中国建设;稻田生态学发展得好,稻田生产出量多、质高的农产品,这对我国加快建设农业强国十分有利。稻田生态系统功能和效益的提升,必将极大地丰富我国农产品供给,助力我国加快建设农业强国。

3 稻田生态学的目标、任务和研究内容

3.1 目标

如表1所示,稻田生态学的研究目标就是要建立合理、高产、高质、高效和可持续发展的稻田生态系统。所谓合理,就是稻田生态系统结构、模式的设计和配置要合乎自然规律和科学原理,不能随心所欲地更改;所谓高产,就是要充分发挥稻田生态系统的生产潜力,提高系统生产力,挖掘作物光合潜能,将太阳辐射能转化为人类所需要的化学潜能(光合物质、光合产物、作物生物物质、作物产量),这是农业生产的根本目的,也是稻田生态系统的重要功能之一;所谓高质,就是提高产品质量,要使稻田生态系统生产出来的农产品(稻谷等)质量安全、健康、营养,甚至是绿色产品、有机产品,这对人类健康和长寿十分有益;所谓高效,就是稻田生态系统的生产效率要高,包括土地利用率、资源利用率和劳动生产率等都要高,还包括生产者(农民或家庭农场、农民合作社、农业企业等生产经营主体)所获取的经济效益也要高,即既能增产又能增收;所谓可持续发展,就是稻田生态系统的生态功能、环境效益、资源效应保持优良、可持续,而不是只顾眼前不顾长远。简言之,稻田生态学的最终目标就是要实现稻田生态系统的经济效益、社会效益和生态系统的协调发展和同步增长,实现“三效”最大化。

3.2 任务

稻田生态学的任务,就是要将稻田生态学的基本理论、原理、原则,以及关键技术和方法等应用于生产实践,促进稻田生态系统达到高产量、高质量、高效益和可持续发展。具体包括以下几方面:

1) 稻田生态学理论研究。稻田生态学作为一门新兴学科,其理论内涵是什么,这是值得深入探讨的问题。总体而言,生态学、农业生态学、农田生态学的理论一般均可适用于稻田生态学。如生态系统的能流物流理论、能量生态金字塔理论、生物相生相克理论、生物地球化学循环理论、能量流动十分之一定律,以及食物链(网)原理、生态位原理、整体效应原理、生物环境协同进化及互适互作原理等,均适用于稻田生态系统的分析和研究。但稻田生态学作为一门独立的新兴学科,必须有其自己的理论和原理,这是稻田生态学今后发展的重要任务之一,亦是首要任务。

2) 稻田生态学技术研究。稻田生态学作为一门新兴应用学科,必然要有其技术或技术体系。在农业生态学、农田生态学中的一些关键技术,如立体种养技术、用养结合技术、废物再用技术、清洁生产技术、绿色防控技术、环境整治技术、生态修复技术、综合协调技术等均可应用于稻田生态系统。但从促进稻田生态学发展、推进稻田生态系统高质量发展的角度看,还须进一步研发稻田生态学的独特技术、核心技术和关键技术。

3) 稻田生态学发展研究。任何学科都处于不断发展变化之中。为使稻田生态学健康、快速发展,就要深入研究影响和制约其发展的内外因素。同时,要善于寻找促进稻田生态学发展的有利因素。通过深入研究和分析上述不利及有利因素,提出实现稻田生态学高质量发展的应对之策和关键举措。

4) 实现稻田生态系统高质量发展。在稻田生态学理论、技术与发展研究的基础上,进一步阐明稻田生态系统演变与发展规律,揭示稻田生态系统高产、优质、高效作用机理,以及调整、优化稻田生态系统发展模式,并研发、应用配套关键技术,最终实现稻田生态系统高质量发展。

3.3 主要研究内容及进展

近年来,稻田生态学的研究主要集中在以下方面。

1) 稻田生态系统温室气体排放规律及固碳减排途径。气候变化是全球面临的共同难题,其主要原因是人类活动向大气中排放了大量的 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 等温室气体,因而减少温室气体排放成为应对气候变化的主要举措^[16]。实践证明,减少温室气体排放(减排)、增加绿色植物碳汇(扩绿增汇)和土壤碳固定(改土固碳)是减缓全球气候变化的必然选择和有效之举,这也是近年来稻田生态研究的热点和重点。一方面,稻田具备强大的碳汇功能(光合作用吸收转化固定 CO_2 ,并同时释放 O_2),可增加农田土壤有机碳储量和固碳能力;另一方面,稻田本身也是重要的温室气体(包括 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 等)排放源。研究表明,全球稻田土壤(0~100 cm)的 SOC(土壤有机碳)储量为 18 Pg C,分别占全球土壤 SOC 总量的 1.2%、全球农田 SOC 总量的 14.2%^[17]。我国稻田表层土壤固碳潜力可达 3×10^9 t CO_2 ,对减缓大气 CO_2 浓度升高具有不可忽视的作用^[18]。杨滨娟等^[19]研究结果表明,长江中下游地区(如江西省)稻田在三熟复种轮作种植制度下, CO_2 和 CH_4 不同季节排放量趋势一致,均是晚稻>早稻>冬作物(均指净排放,下同),而 N_2O 排放与之相反;从温室气体的排放总量看, CO_2 排放总量明显高于 CH_4 、 N_2O 排放总量;从复种轮作模式看,“混播绿肥—早稻—玉米|大豆→混播绿肥—早稻—晚稻”综合效益较好,最具可持续发展优势,有利于实现稻田生态系统绿色、低碳、高效和可持续发展。李志慧等^[20]运用模型核算分析结果表明,受水稻生产面积扩张和排放强度提高的影响,东北黑土地区稻田甲烷排放总量从 2009 年的 39.05 万 t 增加到 2018 年的 79.53 万 t。唐志伟等^[21]在对我国稻田甲烷排放时空特征分析的基础上,提出了选用低排放水稻品种、应用减排稻作技术(水分管理、养分管理和种植模式优化等)、施用 CH_4 减排产品(甲烷抑制剂、土壤调理剂和微生物制剂等)等水稻栽培减排途径。

2) 稻田土壤重金属污染及修复技术。近些年来,我国稻田土壤重金属污染已引起各方面的高度关注,也因此成为稻田生态研究的又一重点。稻田土壤重金属污染的严重性不仅

仅表现于稻田土壤本身,而是直接影响、威胁到稻米品质,直接影响到粮食安全、食品安全。湖南是我国耕地和农产品重金属污染问题最为突出和典型的区域之一。据统计,2022年湖南省耕地面积 $365.42 \times 10^4 \text{ hm}^2$,约占全国耕地总面积的3.1%,其中被重金属污染的耕地面积约占全省耕地面积的25%^[22]。2013年爆发了“Cd大米”事件后,湖南省的粮食产业受到重创,稻米重金属污染问题成为了民众关注的焦点^[23]。Chen等^[24]的研究显示,湖南湘潭稻米(样品)平均Cd含量超标率高达88%。Zhu等^[25]的调查表明,长株潭地区稻米中Cd含量范围为 $0.005 \sim 4.80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其中76%的水稻籽粒Cd含量超标。刘娅君等^[26]对三峡库区(重庆段)12个区县稻田土壤重金属污染状况进行分析,发现该区稻田土壤8种重金属(Cd、Hg、Pb、As、Cr、Cu、Zn和Ni)中,除Cr外,其他7种平均值均超过三峡库区土壤背景值,且分别有12.32%、4.35%和2.54%的土壤样品Cd、Cu和Ni含量超过相关标准的筛选值;8种重金属均存在污染累积,Cd和Hg污染程度相对较高;12个区县中,巫溪县和巫山县的稻田土壤污染程度较高。金明慧等^[27]对河南豫南稻田土壤重金属来源及污染状况进行调查,结果表明,稻田土壤重金属Cd、Cu、Hg、Zn的平均含量超过河南省土壤背景值,分别是土壤背景值的2.99倍、1.28倍、5.78倍、1.00倍;As和Hg的变异系数较大,分别为43.14%和89.80%,受人为活动影响较大;豫南稻田土壤污染源是以交通与农业混合源、自然源和大气沉降与农业混合源为主,地累积指数及潜在生态风险评价表明Cd处于一定的风险水平。目前,重金属污染的稻田土壤,可采用多种修复技术和途径,如钝化、叶面阻控、植物修复、微生物修复、轮作休耕等,湖南连续多年开展“边生产边修复”的“VIP(V: Variety, 种植镉低积累水稻品种;I: Irrigation, 稻田淹水灌溉;P: pH, 调节稻田土壤酸碱度)+n(其他配套的若干措施)”组合技术模式已经取得较为理想的效果^[22]。

3)稻田生态系统服务功能价值评估。生态系统服务功能是生态学研究的重要内容之一。稻田生态系统服务功能,则是稻田生态研究的热点和重点之一。杨腾和孙艳华^[28]研究表明,2016年中国稻田生态系统提供服务价值为 1.344×10^{12} 元,服务成本为 0.144×10^{12} 元,服务净价值为 1.2×10^{12} 元,平均生态服务净价值为3977元 $\cdot \text{hm}^{-2}$;2007—2016年,中国稻田生态系统服务净价值总体呈上升趋势,中东部地区稻田生态系统服务净价值较高,西北地区较低。蒋琳莉等^[29]对广西稻田生态系统服务价值进行评估,结果表明,2011—2020年广西稻田生态系统服务价值总量从488.52亿元上升至568.17亿元,呈先升高、后降低、再升高的变化趋势,总体上提高16.30%。其中,经济文化价值变化趋势与服务价值总量变化趋势基本一致,从256.48亿元上升至284.08亿元,上升10.76%;生态净价值在2011—2012年增幅较大,从232.04亿元上升至最大值306.54亿元,增长32.11%,随后基本保持稳定,均值为277.57亿元。付珍萍等^[30]对湖南省稻田生态系统服务净价值评估结果表明,2018年湖南省稻田生态价值为 2.618×10^{12} 元,生态成本为 0.15×10^{12} 元,生态服务净价值为 2.468×10^{12} 元;2011—2018年常德市相对于其他市、州生态净价值最高,2018年常德市生态净价值为 0.316×10^{12} 元。

4)稻田生态种养模式及其生态环境效应。稻田生态种养(亦称稻田综合种养、稻田复合种养)是指在稻田种植水稻的同时发展养殖业,形成稻田种养结合模式,如稻田养鸭、稻田养鱼等。尤其要指出的是,2022年农业农村部印发《关于推进稻渔综合种养产业高质量发展的指导意见》^[31],极大促进了稻渔综合种养模式的发展。目前,全国稻渔综合种养呈现模式多、面积大、发展快、分布广、效益佳的良好态势,且对其生态环境效应的研究也不断加强。如,就模式而言,有稻田养鱼(鲤鱼、鲫鱼、草鱼、罗非鱼等)、稻田养虾(小龙虾、南美白对虾、日本沼虾、罗氏沼虾、红螯螯虾、中华小长臂虾、凡纳滨对虾、刀额新对虾等)、稻田养蟹(中华绒螯蟹等)、稻田养鳖(甲鱼)、稻田养蛙(虎纹蛙、黑斑蛙、牛蛙、美国青蛙等)、稻田养鳊、稻田养鳅(泥鳅、大鳞副泥鳅、龙江花鳅等)、稻田养螺(中华圆田螺、环棱螺等),等等。就面积而言,2020年全国稻渔综合种养面积246.01万 hm^2 ,2021

年 264.41 万 hm^2 , 2022 年 286.37 万 hm^2 , 2023 年 299.36 万 hm^2 ^[32], 2024 年达到 307.02 万 hm^2 ^[33]。从发展来看, 1982 年, 全国稻渔综合种养面积只有 33.11 万 hm^2 , 2024 年较 1982 年增加了 8.27 倍^[32]。就分布而言, 2023 年, 我国有稻渔综合种养面积统计的省(区、市) 28 个, 仅北京、西藏、青海 3 个省(区、市) 未见统计^[34]。就效益而言, 2023 年, 我国稻渔综合种养面积达 299.36 万 hm^2 (4490.34 万亩), 产出各类水产品 416.65 万 t, 其中, 湖北水产品产量超 100 万 t, 安徽、湖南、四川水产品产量均超 50 万 t, 稻渔综合种养水产品产量已占到全国淡水养殖产量的 12.20%^[35]。2024 年全国稻渔综合种养面积 307.02 万 hm^2 , 同比增长 2.6%, 生产了约 2300 万 t 稻谷(仅指稻渔综合种养模式下生产出的稻谷产量)、443 万 t 水产品(稻渔综合种养模式下生产出的水产品产量), 在稳粮、促渔、增收等方面发挥了重要作用^[33]。从稻田生态种养的生态环境效应看, 樊海丹等^[36]研究表明: ①稻渔共作系统能显著改善土壤物理结构, 增加土壤水稳性团聚体含量, 改善土壤养分状况, 提高土壤微生物数量、活性以及所需营养元素的供给; ②稻渔共作系统能够改善水体环境质量, 提高水体溶解氧(DO)浓度, 增加养分, 促进氮素循环; ③稻渔共作系统可以降低 CH_4 排放量, 改善土壤氧化还原状态。 CH_4 的减少与水生动物的活动相关, 增加了土壤孔隙度, 提高了土壤氧化还原电位; 而 N_2O 的排放量由不同种养模式下的水生动物、水分条件及施肥条件共同决定, N_2O 的减少与土壤硝化作用相关, N_2O 的增多与水体中 DO 浓度成正相关。刘银涛等^[37]研究了“稻-鸭-虾”体系对稻田生态系统碳排放及碳固定的影响, 结果显示, 相比传统水稻单作模式, 稻-鸭-虾模式降低了稻田 CH_4 排放、全球增温潜势(GWP)和温室气体排放强度(GHGI), 碳中和效应显著增加。尽管稻渔综合种养彰显生态友好特性, 但其发展却仍面临生态环境保护与可持续发展的挑战。如广西梧州市稻渔综合种养产业面临水质污染、生物多样性威胁、土壤退化和农药残留等主要生态环境^[38]。周一敏等^[39]研究表明, 我国部分稻渔共作区域稻田土壤重金属含量增加, 使其面临潜在的生态风险, 应引起有关方面高度关注。

5) 稻田自然灾害及其绿色防控。稻田自然灾害的发生和发展, 对于实现稻田生态系统高质量发展、可持续发展十分不利。总体而言, 我国稻田自然灾害有以下几个特点: 一是灾种多。包括: 稻田气象灾害, 如水灾、旱灾、高温热害、低温冷害(冻害)、冰雹灾害, 以及大风、台风等; 稻田生物灾害, 如水稻病害、虫害、草害、鼠害、鸟害、兽害等; 稻田地质灾害, 如稻田水土流失、滑坡、泥石流等; 稻田生态环境灾害, 如稻田环境污染特别是稻田土壤重金属污染、土壤酸化、稻田生物入侵(稻田福寿螺为害), 等等。二是灾面广。各种稻田自然灾害在全国各地均有发生, 只是程度不同。如南方稻田多水灾、北方稻田多干旱; 北方吉林省稻田常有高温、干旱、寒潮、暴雨及大风等自然灾害, 南方双季稻田如广西则多有春季低温冷害、夏季高温热害、秋季寒露风和阴雨寡照等不良天气的影响。三是灾损重。自然灾害造成的危害和损失很大、很重。如 2003 年、2013 年和 2022 年夏季我国长江流域出现极端高温天气, 全国一季中稻单产同比分别下降 244.5、111.0 和 27.0 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ^[40]。数据显示, 我国每年因气象灾害导致的粮食减产超过 500.0 亿 kg (多年平均数)^[40]。

针对稻田生态系统严重的自然灾害, 我国广大农业科技工作者积极行动, 探索稻田自然灾害防控技术, 尤其是绿色防灾减灾技术。柏连阳等^[41]针对化肥、农药过量使用和重金属污染对水稻生产和稻田生态造成的不利影响, 研制出一套绿色防控技术, 对提高稻米卫生品质, 确保农产品质量安全、改善稻田生态环境、提升农业生态环境质量具有重大意义。该技术包括八个方面: 一是土壤调理剂高效降镉(Cd)技术; 二是绿肥、稻草碳氮协同培肥地力技术; 三是景观生态调控保护和繁育天敌技术; 四是利用赤眼蜂控制水稻二化螟、稻纵卷叶螟关键技术; 五是“生物控草肥”控草技术(利用分泌除草物质的微生物, 通过有机肥发酵, 移栽后 2~3 d 返青后施入稻田, 芽前控制杂草发生); 六是生物肥控病技术; 七是节肥丰产栽培技术; 八是“镉低积累品种+水分管理+土壤调理剂”组合降镉技术。柏超等^[42]研究提出

通过优化植被栖境、释放控害天敌（赤眼蜂）、推广水稻抗性品种、实施健身栽培、灯光诱控、性诱剂诱控、无纺布（防虫网）覆盖阻隔等一系列稻田绿色防控技术，可有效增强水稻抗逆能力，改善稻田生态系统的自身控害能力，从而降低病虫发生基数，降低农药用量，控制水稻病虫害为害，最终提升稻米质量、提增稻米生产的效益，促进稻田生态系统和整个稻米产业向着优质高效可持续方向发展。

6) 稻田生态系统可持续性评估。实现稻田生态系统的可持续发展，是稻田生态学的出发点和落脚点，也是建立稻田生态学、发展稻田生态学的根本目的之所在。然而，某一稻田生态系统能否实现可持续发展，其可持续程度如何，往往难以直观判定。因此，对稻田生态系统进行可持续性评估尤为重要和迫切。

首先，评估稻田生态系统要考虑的因素。评估稻田生态系统可持续性，要考虑自然因素和社会因素。自然因素包括耕地面积、森林覆盖率、工业废气排放量、废水排放量、农作物受灾情况、化肥施用量、农药施用量、农膜使用量、降水、光照、土壤 pH、土壤养分含量、生物群落等；社会因素包括稻谷产量、农产品价格、农业技术水平、机械化程度、工业产值比重、稻田管理方式、农业补贴、农村经济基础、城镇化率、农村医疗水平、农村居民消费水平等。只有将多种自然因素和多种社会因素纳入评估指标体系，评估结果才可能更加科学客观、公平公正，才有说服力和参考价值。

其次，评估稻田生态系统的方法。刘倩和杨腾^[43]研究认为，稻田生态系统的可持续评估主要可用两种研究类型（评估方法）：一是生态足迹导向。主要通过衡量生态系统与人类承载能力来评估系统可持续性。对于稻田生态系统可持续发展评估，生态足迹方法是可行的^[44]。二是产出导向。产出导向是指生态系统持续提供满足可供人类使用的价值^[45]。这一方法不仅考虑了稻田的产出价值，即食物和加工物的产出，还考虑了稻田的生态环境产出，即对气候的调节作用、对土壤的保持作用和对环境的文化景观产出等。这一产出导向的评估方法更适合稻田生态系统的可持续性评估。

第三，评估结果和典型案例。一种稻田耕作制度，实际上是一个具体的稻田生态系统（模式）。李向东等^[46]运用目标取向法对四川盆地稻田保护性耕作制度即稻田生态系统模式的可持续性进行了系统评价。结果表明，“小麦-水稻”“中药材-水稻”“秋马铃薯/油菜-水稻”和“小麦-水稻-蔬菜”等几种稻田生态系统模式具有较高的可持续发展能力，适合在四川盆地水田因地制宜推广。

4 当前稻田生态学发展面临的问题与挑战

4.1 重视不够

我国稻田生态学学科至今未建立成为一门学科，重视不够是其主要原因之一。无论是管理人员、科技人员，还是生产实际工作者，均未将建立稻田生态学学科当作其一项工作来抓。认为有没有这门学科与己无关，缺乏建立该学科的意识 and 意愿。正因为如此，稻田生态学至今未能建立——尽管全国乃至全球从事水稻和稻田研究的科技人员成千上万，但至今尚未意识到建立这门学科的重要性、必要性和紧迫性。

4.2 投入不足

正因为各级领导和部门、各方面科技人员，以及各地从事水稻、稻田生产推广的实际工作者对建立稻田生态学这门学科重视不够，因此这方面的人力、物力和财力投入不足，甚至几乎没有投入。由于缺乏必要的投入，建立稻田生态学这门学科面临着“三缺”（缺人、缺物、缺财力），这也是其至今未成为一门学科的重要原因之一。

4.3 条件不优

与从事水稻育种、水稻栽培、水稻耕作、水稻生理，以及稻田土壤肥料、稻田植物保护等相比，从事稻田生态学的工作环境和科研条件相对较差。主要表现在科研课题少、经费缺乏，仪器设备陈旧，研究成果少、文献资料不足。这些不良、不优的工作环境和科研条件，对建立和发展稻田生态学是不利的。

4.4 研究不深

与稻田土壤学、稻田耕作学、稻田栽培学等学科相比，我国稻田生态学相关内容的研究还不够深入。一是多停留在对现象的描述上，对其中的机理、机制、规律等缺乏深入分析；二是研究的面还较窄，如全国稻田分布广泛，不同类型稻田生态系统各有其特点、特征，目前关于南方稻田生态，尤其是南方的全国粮食主产区（江苏、安徽、江西、湖北、湖南、四川）稻田生态研究相对较多，而对其他省（自治区、直辖市）稻田生态系统的研究则相对缺乏、相对不足、相对薄弱；三是研究方法、研究技术较为陈旧，多沿用传统方法和技术开展对比试验和分析，所得结论与成果创新性不强。

4.5 科技成果（鉴定成果）不多

通常而言，学术论文、专利（规程、标准）、著作（包括教材）、科技报告（科技文献）等均属于科技成果。此处科技成果，主要指通过专家鉴定（或验收）的成果，往往是多项成果的凝炼、组合和综合，其中往往不仅包括多篇学术论文（或是系列论文）、专利、专著，甚至还包括新品种、新肥料、新农药等物化成果，有的应用性科技成果还包括示范推广的经济效益、社会效益等。从发表的学术论文成果看，稻田生态学的论文成果较多且逐年增长；但从通过专家鉴定的科技成果看，与稻田土壤学、稻田耕作学、稻田栽培学等学科相比，稻田生态学通过鉴定（验收）的科技成果少之又少。据作者 2025 年 8 月 19 日在中国知网（CNKI）的检索，稻田生态学的科技成果仅 2 项：一是“稻田生态系统持续生产力与生态功能协调机制研究”^[47]，由中国科学院亚热带农业生态研究所吴金水研究员主持完成的中国科学院知识创新工程重要方向性项目成果，于 2011 年 3 月 15 日通过专家组验收。二是“鳖虾鱼稻生态种养‘三高’技术研究”^[48]，由湖北省水产技术推广中心完成，于 2014 年 8 月 19 日通过由湖北省科技厅组织的专家鉴定，成果整体技术达到国际领先水平。与此相反，稻田育种、栽培和耕作等学科的科技成果却不计其数，少则几十项，多则上百项，甚至更多^[49-50]。造成这一状况的原因，一是课题与经费缺乏。科研项目立项少，研究产出有限。二是影响因素多，研究难度大。稻田生态学的科学研究，涉及作物（水稻等）、自然生态环境因素（光、热、水、气、土壤生物、土壤环境、土壤质量等）和社会经济因素、栽培管理措施等多方面、多因素，试验（田间试验）周期长、影响因素多、研究难度大。三是从业人员少，研究力量弱。与稻田育种、栽培、耕作等学科相比，专门从事稻田生态学的人员很少，研究力量薄弱。

4.6 总结不力

从全国范围看，虽然有关稻田生态学方面的研究做了不少，也发表了相当数量的相关论文（表 2），但至今尚未对稻田生态学进行系统总结提炼并提出稻田生态学的概念和学科体系。

表 2 以“稻田生态学”为主题检索出的已发表研究论文（20 篇）

Table 2 Published research papers retrieved with “paddy field ecology” as the theme (20 papers)

序号 No.	论文题名 Title	作者 Authors	来源 Source	发表年份 Publication year	数据库 Database
1	浅论“稻田养鱼、稻鱼双丰收”的生态学原理	曾和期	淡水渔业	1979	期刊
2	河南地区稻田内蚊虫种类及生态学的研究	葛凤翔	医学动物防制	1986	期刊
3	稻田水肥管理水平对害虫种群的生态学效应	张桂芬, 刘芹轩, 申效诚	植物保护	1986	期刊

土 壤 学 报
Acta Pedologica Sinica

4	淹水稻田生态学	Watanabe J, Roger P A (董元华 摘译)	土壤学进展	1988	期刊
5	稻田放养鲤鱼防制蚊虫的生态学评价	钟格梅, 吴能	广西预防医学	1997	期刊
6	稻田蜘蛛群落生态学研究	李剑泉	西南农业大学 博士学位论文	2001	博士
7	台湾高雄稻田中的彩鹬 (<i>Rostratula benghalensis</i>) 繁殖生态学研究	罗柳墀	第八届中国动物学会鸟类学 分会全国代表大会暨第六届 海峡两岸鸟类学研讨会论文 集	2005	中国会议
8	稻田轮作系统的生态学分析	黄国勤, 熊云明, 钱 海燕, 王淑彬, 刘隆 旺	土壤学报	2006	期刊
9	渝西云雾山稻田湿地生态学初步研究	施肖亮	重庆大学硕士学位论文	2009	硕士
10	生态渔业中稻田养鱼(蟹)的生态学效应研究 进展	吕东锋, 王武, 马旭 洲, 陈再忠 王瑜, 马加清, 张士	贵州农业科学	2010	期刊
11	稻田少免耕土壤生态学效应的研究进展	永, 赵庆雷, 陈博 聪, 刘奇华	山东农业科学	2013	期刊
12	克氏原螯虾稻田养殖生态学的初步研究	程慧俊	湖北大学硕士学位论文	2014	硕士
13	长期冬绿肥—水稻制度下稻田土壤部分环境 化学及分子生态学特征	高嵩涓	中国农业科学院硕士学位论文 病虫害绿色防控与农产品品质	2014	硕士
14	稻飞虱种群从 Bt 稻田向非 Bt 稻田转移扩散的 生态学机制	王兴云, 李云河, 彭 于发	粮食安全——中国植物保护学 会 2015 年学术年会论文 (摘要) 集	2015	中国会议
15	稻田鸭舌草田间发生消长规律及生态学特性	温广月, 钱振官, 李 涛, 沈国辉	江苏农业科学	2015	期刊
16	克氏原螯虾稻田养殖生态学研究	孙莉莉	南京大学硕士学位论文	2016	硕士
17	稻田捕食性天敌对稻飞虱的捕食作用及其生 态学机理研究	王雪芹	浙江大学博士学位论文	2018	博士
18	松嫩平原稻田常见杂草种子生态学特征及其 防治	王路遥	西北师范大学硕士学位论文 (专业学位)	2023	硕士
19	江苏稻田丁香蓼 (<i>Ludwigia prostrata</i>) 生物学 生态学及防除技术研究	支苏婷	南京农业大学硕士学位论文 (专业学位)	2023	硕士
20	稻田综合种养模式的生态学原理及技术要点	周祖波	渔业致富指南	2024	期刊

注：2025 年 8 月 19 日以“稻田生态学”为主题词于中国知网 (<https://kns.cnki.net/kns/>) 检索。Note: Retrieved from China National Knowledge Infrastructure (<https://kns.cnki.net/kns/>) on August 19, 2025, using “paddy field ecology” as the theme.

5 稻田生态学建设与发展战略对策和具体措施

针对以上存在的问题与挑战，为促进稻田生态学的建设与发展，必须采取如下对策和措施。

5.1 高度重视

要从战略上高度重视稻田生态学的建设与发展。首先,水稻是我国最重要的口粮作物,全国超 2/3 人口以稻谷(稻米)为主粮(口粮),其在我国粮食和农业中的战略地位不言而喻。其次,稻田是水稻大面积生产的重要、唯一场所,其面积占全国耕地面积的 1/4,与旱地相比,具有面积大、质量高、效益佳、潜力大的特点。将稻田耕种好、利用好、经营好,对于增加粮食产量、维护国家粮食安全,增加农田效益、促进农民增收,保护耕地质量、优化生态环境、确保食品安全等均具有重要的现实意义和长远的战略意义。第三,建设好、发展好稻田生态学,对于农业生态学、农田生态学,乃至整个生态学学科发展均具有重大的理论和实践意义。

5.2 增加投入

投入规模对稻田生态学的建设与发展有直接影响。只有增加对学科建设的投入,才能促进稻田生态学学科发展。一是国家及相关部委增加稻田生态学的研究经费投入,如设立稻田生态学研究专项或专题,确保开展稻田生态学科科研工作有课题(项目)、有经费。二是各省(自治区、直辖市),尤其是稻田面积大、稻谷产量高的省份和地区,划出专项经费设立稻田生态学研究课题,支持本地区开展相关研究工作。三是广开渠道筹集稻田生态学研究经费,在国家 and 省(自治区、直辖市)“纵向”经费之外,争取企业、民间、境外等“横向”经费支持,这方面渠道多、潜力大,值得开拓。

5.3 改善条件

要加快稻田生态学学科建设与发展,改善条件是关键。一是改善外部环境条件。国家对粮食生产、粮食安全高度重视。水稻作为我国最重要的粮食作物,加快制定并出台促进水稻生产的相关文件和政策,必将更进一步促进水稻生产、促进稻田生态系统的保护和发展,从而促进稻田生态学的建设和发展。二是改善实验室内部工作条件。实验室条件直接影响科研工作的效率和成果产出。要通过各种途径和方法,更新现有仪器、设备,尤其是为实验室配备先进仪器设备,必将提升科研工作效率,有利于早出多出高质量成果,促进稻田生态学理论研究和实践技术开发。三是改善学校教育教学条件。让稻田生态学的最新研究成果进入教材、进入课堂,让农业院校相关专业学生了解稻田生态学的重要意义和最新研究进展,并立志为推动稻田生态学学科理论与实践发展作贡献。

5.4 深入研究

围绕稻田生态学的理论与实践问题开展深入细致的分析和研究,这是推动稻田生态学建设与发展关键。只有将稻田生态学的理论与实践问题研究透彻,才能使稻田生态学这门学科建设好、发展好,才能真正体现建立稻田生态学这门分支学科的价值和意义所在。

我国已经进入“十五五”发展时期。新时期,稻田生态学应重点围绕以下选题开展深入研究:一是稻田生态学的理论基础和理论体系。这是稻田生态学之所以成为一门学科的根基。只有具备其理论基础和理论体系,稻田生态学才算是一门独立学科、分支学科。否则难以立足。二是稻田生态学的技术、核心技术和关键技术体系。稻田生态学是一门应用学科,必然要有其技术,尤其是核心技术和关键技术体系。这应成为今后学科建设与发展研究的重点。三是稻田生态学的研究方法。要积极探索将大数据、云计算、人工智能(AI)等现代数字技术应用于稻田生态学研究;将分子技术、稳定同位素技术、高能量野外观察和观测技术,以及现代新型生态模拟技术等应用于稻田生态系统的研究;将传统研究方法与现代生物技术、数字技术,以及新材料、新技术、新方法等结合,形成现代稻田生态学研究方法体系,从而促进稻田生态学研究方法的创新发展。四是稻田生态系统结构、功能、过程、演替规律及其调控途径。稻田生态系统是稻田生态学的研究对象。深入研究稻田生态系统的结构、功能、过程、演替规律及其调控途径和措施,必然充实、丰富稻田生态学的学科内容和学科体系,从而使稻田生态学屹立于生态学学科之中,成为生态学学科大家庭中的一员甚至是重要一

员。五是退化稻田生态系统的类型、模式、特征及其修复技术与路径。当前,我国各地不同程度地存在着一定面积的退化稻田生态系统,不仅生产力低、效益差、功能弱,而且还有许多有毒有害物质在系统中积累,危及生态系统的安全性、稳定性和可持续性。对这类退化稻田生态系统进行及时识别、评判,并加以及时、快速修复,已成为当前生产实践中的紧迫问题。这也将成为今后稻田生态学研究的又一重点难点。六是多功能、高效益、高质量稻田生态系统的设计与优化。要在广泛调查分析和大量田间试验研究的基础上,筛选出多功能、高效益、高质量的稻田生态系统,对其进行解剖分析,在此基础上,设计、优化出功能更强、效益更高、质量更优的新型、绿色、低碳稻田生态系统,并加以推广应用,以取得实效,从而推动稻田生态学在实践层面上的高质量发展。七是全球气候变化对稻田生态系统的影响及应对策略。全球气候变化正深刻影响着世界各国经济社会发展,同样也影响着全球各类生态系统的发展和演变,稻田生态系统也不例外。稻田生态学要将全球气候变化对稻田生态系统的影响及其响应作为“十五五”期间乃至今后更长时期研究的热点和重点。这一研究的深入开展,不仅可提升稻田生态学的价值和地位,更可为稻田生态系统的高质量发展、可持续发展提供科技支撑。必将为我国乃至全球的粮食安全、食品安全及资源生态环境安全作出重要贡献。

5.5 壮大队伍

为加快推进稻田生态学建设与发展,增加稻田生态学学科科技人员、壮大学科研发力量,已是迫在眉睫。要壮大稻田生态学学科的研发队伍,应从以下几方面着手:一是加大人才培养力度。在高校人才培养方案中,增加稻田生态学方面人才的招生和培养名额,增加本硕博,甚至博士后科技人员的名额和指标,扩大人才培养规模,这是加快我国稻田生态学建设与发展的必然之举。二是加大人才引进力度。瞄准全国各地、世界各国高层次的稻田生态学方面人才,以优惠条件和政策吸引高层次人才,为实现我国稻田生态学跨越式发展提供有力支撑。三是强化人才政策与服务支持。完善政策与服务,尤其要健全奖励制度,激发各类人才的主动性和创造性。通过上述途径,不仅可壮大稻田生态学的科技人才队伍,还将促进各类人才为该学科建设与发展作出创造性贡献。

5.6 加强合作

当今的世界是一个开放的世界,国际间的交流与合作是大势所趋。要加快推动我国稻田生态学建设与发展,加强交流与合作是最佳路径。一是学科合作。稻田生态学的科技人员,可以选择与从事稻田育种、稻田栽培、稻田耕作、稻田生理、稻田土壤肥料等相近相关学科的科技人员进行交流与合作,如共同举办学术研讨会、开展学术考察、解决某一稻田难题,或共同承担相关科研项目,等等。二是区域合作。我国各稻田生态系统分布地区,均有从事稻田生态学的科技人员,不同地区间可以进行交流与合作,互相参观考察;可以就稻田生态学中的某一具体问题、具体难题,开展合作研究、联合攻关;亦可以在实验资源、设备、资料等方面建立合作共享机制等。三是国际合作。要使我国稻田生态学建设好、发展好,加强与世界上种植水稻的国家,尤其是种稻大国(如印度、孟加拉国、印度尼西亚、泰国、越南等)、种稻强国(日本、美国等)之间的交流与合作是一有效途径。可以就稻田生态学理论与实践这一主题,去参观,学习借鉴其先进经验和做法;可以邀请国际相关专家学者或实际工作者来我国交流,共同切磋、取长补短,共同推进稻田生态学理论与实践发展;进行实质性科研合作,共同承担研究课题,培养研究生、举办国际会议等。加强国际、国内交流与合作,必将有力促进我国稻田生态学的发展。

5.7 政策支持

鉴于稻田生态学具有战略性这一特性,要使我国稻田生态学建设好、发展好,要真正实现稻田生态学的高质量发展,必须从国家政策层面给予学科发展支持。一是进行学科目录调整。目前,我国生态学已提升为一级学科,下设植物生态学、动物生态学、微生物生态学、

生态系统生态学、景观生态学、修复生态学和可持续生态学七个二级学科。为突出农业生态学、农田生态学、稻田生态学的重要地位和战略地位,建议对生态学学科目录进行适当调整,可以设想:将生态学设为一级学科,下设基础生态学、生物生态学(包括植物生态学、动物生态学、微生物生态学等)、环境生态学(包括水体生态学、土壤生态学等)、产业生态学、区域生态学五个二级学科;产业生态学二级学科下面设立农业生态学、工业生态学、旅游业生态学等三级学科;农业生态学三级学科下面设立农田生态学、林地生态学、草地生态学等四级学科;农田生态学四级学科下面设立稻田生态学、旱地生态学等五级学科。这对突出稻田生态学的战略地位、促进稻田生态学的发展具有重要意义。二是设立学科发展专项资金。为有力推动稻田生态学的建设和发展,建议在国家自然科学基金项目中设立稻田生态学专项基金,在国家科技部重点研发项目中设立稻田生态学研究专题(专项)。三是建立全国重点实验室或技术研发中心。从长远来看,为有效促进我国稻田生态学的快速发展、可持续发展,必须尽快建立稻田生态学国家重点实验室或稻田生态学国家技术创新中心。从以上多方面给予稻田生态学建设与发展支持和政策倾斜,必将极大地促进其建立和高质量发展。

6 结 语

稻田生态学是农业生态学、农田生态学的一个分支学科,是生态学学科体系大家庭中的一个“小”分支学科。尽快建立、加快建设、加速发展稻田生态学学科,用稻田生态学理论指导稻田生产实践,对于推动我国粮食安全、食品安全、资源安全、环境安全、生态安全、国土安全,以及美丽乡村建设、农业强国建设等均具有重要的现实意义和长远战略意义。

“十五五”时期,我国进入绿色低碳快速、加速发展时期,经济社会发展全面绿色低碳转型,“双碳”目标有望如期实现。在这一背景下,建设和发展稻田生态学,必将为我国稻田生态系统绿色低碳发展、高质量发展提供理论依据和科技支撑,为推动整个农业绿色低碳发展和高质量发展作出稻田生态学的应有贡献。

为适应全球气候变化和绿色低碳发展要求,从加强学术性、理论性和实践性的综合角度出发,未来我国稻田生态学或将呈现以下发展趋势:(1)数字化。随着技术的发展,现代数字技术、信息技术、数智技术将应用于稻田生态学理论与实践的各方面、各环节和全过程,显著提高稻田生态学的发展速度与实践应用规模。建设“数字稻田”“数字稻田生态”“数字稻田生态学”将是必然趋势。(2)绿色化。绿色化、低碳化是未来五年、十年、二十年,甚至更长时期世界整体发展的大趋势和主旋律,稻田生态学的发展也不例外。要研发、筛选稻田生态系统的绿色生产模式与低碳发展技术,使稻田生产过程呈现出“节能、减排、少污(低污染、零污染)、无废、绿色、低碳(甚至‘零碳’,即碳中和)”的新景象、新局面。

(3)高效化。在稻田生产过程中,提高资源利用效率、提高劳动生产率、提高耕地(稻田)利用率和产出率,这是建立稻田生态学、发展稻田生态学的根本目的之所在,也是未来稻田生态学发展的必然趋势。(4)高质化。走高质量发展之路,生产出高端化、个性化、营养化、健康化的绿色、有机稻田农产品,是我国稻田生态学今后努力的方向、奋斗的目的,必将早日实现。(5)新质化。当前,新质生产力正在赋能我国乡村全面振兴和农业强国建设,且已取得积极进展和显著成效,其发展态势强劲,发展前景广阔。将新质生产力、农业新质生产力应用于稻田生态系统和稻田生态学,必将加快推动稻田生态系统优化和稻田生态学发展。发展稻田新质生产力,推进稻田生态学向新质化方向发展,是其今后又一重要趋势。

参考文献 (References)

- [1] Shao W Z, Wu Y D, Xiong L R, et al. The spatial pattern of global rice trade and its influencing factors[J]. World Regional

土壤学报
Acta Pedologica Sinica

- Studies, 2024, 33(12): 1-13. [邵文忠, 武友德, 熊理然, 等. 全球稻米贸易的空间格局及其影响因素[J]. 世界地理研究, 2024, 33(12): 1-13.]
- [2] FAO. Food and agriculture data[DB/OL]. (2023-12-23)[2024-08-08]. <https://www.fao.org/faostat/en/#home>.
- [3] Porkka M, Kumm M, Siebert S, et al. From food insufficiency towards trade dependency: A historical analysis of global food availability[J]. PLoS One, 2013, 8(12): e82714.
- [4] Chen W F, Xu Z J, Tang L. 20 years' development of super rice in China—The 20th anniversary of the super rice in China[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2017, 16(5): 981-983.
- [5] FAO. Crop production, yield, harvested area[DB/OL]. [2024-10-02]. <https://data.apps.fao.org/catalog/dataset/crop-productionyield-harvested-area-global-national-annual-faostat>.
- [6] National Bureau of Statistics. Statistical Communiqué of the People's Republic of China on National Economic and Social Development in 2024[N]. People's Daily, 2025-03-01(5). [国家统计局. 中华人民共和国 2024 年国民经济和社会发展统计公报[N]. 人民日报, 2025-03-01(5).]
- [7] Editorial Board of China Agriculture Yearbook. China agriculture yearbook 2022[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2023. [中国农业年鉴编辑委员会. 中国农业年鉴 2022[M]. 北京: 中国农业出版社, 2023.]
- [8] Huang G Q. Ten major problems faced by the sustainable development of rice farming system in southern China[J]. Tillage and Cultivation, 2009(3): 1-2+5. [黄国勤. 南方稻田耕作制度可持续发展面临的十大问题[J]. 耕作与栽培, 2009(3): 1-2+5.]
- [9] Chen W P, Yang Y, Xie T, et al. Challenges and countermeasures for heavy metal pollution control in farmlands of China[J]. Acta Pedologica Sinica, 2018, 55(2): 261-272. [陈卫平, 杨阳, 谢天, 等. 中国农田土壤重金属污染防治挑战与对策[J]. 土壤学报, 2018, 55(2): 261-272.]
- [10] Huang G Q. Achievements, problems and strategic countermeasures of development of paddy field farming systems in Southern China[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2022, 41(1): 1-20. [黄国勤. 中国南方稻田耕作制度发展的成就、问题及战略对策[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(1): 1-20.]
- [11] The Central Committee of the Communist Party of China and the State Council. Opinions of the Central Committee of the Communist Party of China and the State Council on comprehensively promoting the construction of beautiful China[N]. People's Daily, 2024-01-12(1). [中共中央国务院. 中共中央国务院关于全面推进美丽中国建设的意见[N]. 人民日报, 2024-01-12(1).]
- [12] Xiang H B, Huang Y Q, Li Y, et al. Reflections and suggestions on the impact of international grain price fluctuations on China's grain security—Based on cultivated land protection and system security[J/OL]. Natural Resource Economics of China, 2025. <https://doi.org/10.19676/j.cnki.1672-6995.001238>. [相洪波, 黄奕钦, 李颖, 等. 国际粮价波动对我国粮食安全影响的思考与建议——基于耕地保护与系统安全[J/OL]. 中国国土资源经济, 2025. <https://doi.org/10.19676/j.cnki.1672-6995.001238>.]
- [13] Kong X Z, He X W. Strengthening the capacity for stable supply of grain and other key agricultural products: Policy orientation, practical challenges, and strategic pathways[J]. Journal of Nanjing Tech University(Social Science Edition), 2025, 24(4): 97-111. [孔祥智, 何欣玮. 持续增强粮食等重要农产品供给保障能力: 政策取向、现实困境与实践路径[J]. 南京工业大学学报(社会科学版), 2025, 24(4): 97-111.]
- [14] Xi J P. Holding high the great banner of socialism with Chinese characteristics and working together to build a modern socialist country in an all-round way: Report at the 20th National Congress of the Communist Party of China[N]. People's Daily, 2022-10-26(1). [习近平. 高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗[N]. 人民日报, 2022-10-26(1).]
- [15] The Central Committee of the Communist Party of China and the State Council. The Central Committee of the Communist Party of China and the State Council issued the “Plan for Accelerating the Construction of a Strong Agricultural Country (2024-2035)”[N]. People's Daily, 2025-04-08(1). [中共中央国务院. 中共中央国务院印发《加快建设农业强国规划(2024—2035 年)》[N]. 人民日报, 2025-04-08(1).]
- [16] Bai L L, Sheng Y Q, Xu L L, et al. Carbon sequestration potential of paddy soil in China under the carbon peaking and carbon

- neutrality goals[J]. Strategic Study of CAE, 2024, 26(6): 246-256. [白龙龙, 盛雅琪, 徐丽丽, 等. “双碳”背景下我国稻田生态系统土壤固碳潜力分析[J]. 中国工程科学, 2024, 26(6): 246-256.]
- [17] Liu Y L, Ge T D, van Groenigen K J, et al. Rice paddy soils are a quantitatively important carbon store according to a global synthesis[J]. Communications Earth & Environment, 2021, 2: 154.
- [18] Qian H Y, Yu T T, Zhou Y M, et al. Progress on carbon dynamics simulation of paddy ecosystem based on DNDC model[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2022, 41(6): 59-70. [钱海燕, 于婷婷, 周杨明, 等. 基于 DNDC 模型的稻田生态系统碳动态模拟研究进展[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(6): 59-70.]
- [19] Yang B J, Deng L P, Yuan J X, et al. Annual greenhouse gas emission and comprehensive benefit evaluation under multiple cropping and rotation in rice fields[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2022, 50(2): 225-231. [杨滨娟, 邓丽萍, 袁嘉欣, 等. 稻田复种轮作下周年温室气体排放及综合效益评价[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(2): 225-231.]
- [20] Li Z H, Wang Y F, Deng X Z. Spatiotemporal evolution and potential prediction of methane emission from paddy fields in the black soil region of Northeast China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(9): 3814-3829. [李志慧, 王艺霏, 邓祥征. 东北黑土地地区稻田甲烷排放时空演变及排放潜力分析[J]. 生态学报, 2024, 44(9): 3814-3829.]
- [21] Tang Z W, Zhang J, Deng A X, et al. Spatiotemporal characteristics and reduction approaches of methane emissions from rice fields in China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2022, 30(4): 582-591. [唐志伟, 张俊, 邓艾兴, 等. 我国稻田甲烷排放的时空特征与减排途径[J]. 中国生态农业学报, 2022, 30(4): 582-591.]
- [22] Huang D Y, Zhu Q H, Zhu H H, et al. Advances and prospects of safety agro-utilization of heavy metal contaminated farmland soil[J]. Research of Agricultural Modernization, 2018, 39(6): 1030-1043. [黄道友, 朱奇宏, 朱捍华, 等. 重金属污染耕地农业安全利用研究进展与展望[J]. 农业现代化研究, 2018, 39(6): 1030-1043.]
- [23] Lei M, Zhou Y M, Huang D R, et al. Prevention and control of heavy metal contamination in cropland and in commercial rice in Hunan Province: Current status and practical considerations[J]. Earth Science Frontiers, 2024, 31(2): 173-182. [雷鸣, 周一敏, 黄大睿, 等. 湖南耕地土壤和稻米重金属污染防控实践与思考[J]. 地学前缘, 2024, 31(2): 173-182.]
- [24] Chen H P, Yang X P, Wang P, et al. Dietary cadmium intake from rice and vegetables and potential health risk: A case study in Xiangtan, Southern China[J]. Science of the Total Environment, 2018, 639: 271-277.
- [25] Zhu H H, Chen C, Xu C, et al. Effects of soil acidification and liming on the phytoavailability of cadmium in paddy soils of central subtropical China[J]. Environmental Pollution, 2016, 219: 99-106.
- [26] Liu Y J, Li C X, Mei N, et al. Characteristics and risk evaluation of heavy metal contamination in paddy soils in the Three Gorges Reservoir area[J]. Environmental Science, 2023, 44(6): 3520-3530. [刘娅君, 李彩霞, 梅楠, 等. 三峡库区稻田土壤重金属污染特征及风险评价[J]. 环境科学, 2023, 44(6): 3520-3530.]
- [27] Jin M H, Tang M M, Liu J, et al. Assessment and source analysis of heavy metals pollution in paddy soil based on APCS-MLR receptor model[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2025, 53(11): 241-247. [金明慧, 唐明明, 刘娟, 等. 基于 APCS-MLR 的稻田土壤重金属污染评价及来源解析[J]. 江苏农业科学, 2025, 53(11): 241-247.]
- [28] Yang T, Sun Y H. Evaluation of the net value of paddy ecosystem services in China[J]. Journal of China Agricultural University, 2020, 25(3): 159-172. [杨腾, 孙艳华. 中国稻田生态系统服务净价值评估[J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(3): 159-172.]
- [29] Jiang L L, Huang H Q, He S R, et al. Service value evaluation and spatial-temporal evolution characteristics of paddy field ecosystem in Guangxi[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2022, 35(11): 2633-2640. [蒋琳莉, 黄好钦, 何苏榕, 等. 广西稻田生态系统服务价值评估及其时空演变特征[J]. 西南农业学报, 2022, 35(11): 2633-2640.]
- [30] Fu Z P, Liu Q, Yang T. Evaluation of the net value of paddy ecosystem services in Hunan Province[J]. Journal of Hunan University of Arts and Science (Science and Technology), 2021, 33(2): 58-62. [付珍萍, 刘倩, 杨腾. 湖南省稻田生态系统服务净价值评估[J]. 湖南文理学院学报(自然科学版), 2021, 33(2): 58-62.]
- [31] Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Guidance on promoting the high-quality development of rice-fish integrated breeding industry[N]. China Fisheries Daily, 2022-11-07(2). [农业农村部. 关于推进稻渔综合种养产业高质量发展的指导意见[N]. 中国渔业报, 2022-11-07(2).]
- [32] Zhang J E, Wei S B, Liu X, et al. Research progress and prospect of integrated rice-fish coculture[J]. Journal of South China

土壤学报
Acta Pedologica Sinica

- Agricultural University, 2024, 45(6): 812-824. [章家恩, 韦生宝, 刘兴, 等. 稻渔综合种养研究进展与展望[J]. 华南农业大学学报, 2024, 45(6): 812-824.]
- [33] Yu J X. Last year, the national rice and fishery comprehensive planting and breeding area increased by 2.6%[N]. People's Daily, 2025-07-29(6). [郁静娴. 去年全国稻渔综合种养面积同比增长 2.6%[N]. 人民日报, 2025-07-29(6).]
- [34] National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. Report on the development of China's rice-fish integrated breeding industry(2024): Full-text release[J]. China Fisheries, 2024 (8): 12-17. [全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 中国稻渔综合种养产业发展报告(2024)全文发布[J]. 中国水产, 2024 (8): 12-17.]
- [35] Wang J Y. China's rice-fishery integrated farming is gaining momentum[N]. China Food News, 2024-10-22(6). [王佳仪. 我国稻渔综合种养渐成气候[N]. 中国食品报, 2024-10-22(6).]
- [36] Fan H D, Lv W G, Pei Y N, et al. A review of rice-fishery co-culture system effects on crops and the environment[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2025, 46(7): 967-976. [樊海丹, 吕卫光, 裴亚楠, 等. 稻渔共作系统对作物及环境影响的研究进展[J]. 中国农业气象, 2025, 46(7): 967-976.]
- [37] Liu Y T, Wang X D, Cao C G, et al. Effects of farming models of rice-duck-crayfish on carbon emissions and carbon sequestration in rice paddy ecosystems[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2025, 44(3): 38-44. [刘银涛, 王晓东, 曹凑贵, 等. 稻-鸭-虾模式对稻田生态系统碳排放及碳固定的影响研究[J]. 华中农业大学学报, 2025, 44(3): 38-44.]
- [38] Lai J L. Research on the development countermeasures of the whole industry chain of rice and fishery comprehensive planting and breeding in Guangxi[J]. China Animal Health, 2025, 27(2): 190-191. [赖江连. 广西稻渔综合种养全产业链发展对策研究[J]. 中国动物保健, 2025, 27(2): 190-191.]
- [39] Zhou Y M, Huang Y Y, Tan M Y, et al. Soil heavy metal contamination and its potential ecological risks in rice-fishery coculture systems[J/OL]. Ecology and Environmental Sciences, 2025. <https://link.cnki.net/urlid/44.1661.x.20250228.1705.004>. [周一敏, 黄雅媛, 谭敏仪, 等. 稻渔共作系统中土壤重金属污染及其潜在生态风险[J/OL]. 生态环境学报, 2025. <https://link.cnki.net/urlid/44.1661.x.20250228.1705.004>.]
- [40] Xu C C, Ji L, Chen Z D, et al. Current challenges and pathways to enhancing large-scale per-unit yield of rice in China[J]. China Rice, 2025, 31(4): 1-4. [徐春春, 纪龙, 陈中督, 等. 我国水稻大面积单产提升面临的现实困境与出路[J]. 中国稻米, 2025, 31(4): 1-4.]
- [41] Bai L Y, Zhang Y Z, Fang B H, et al. Research and demonstration of rice green production technology[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2017(12): 1-18. [柏连阳, 张玉烛, 方宝华, 等. 水稻绿色生产技术与示范[J]. 湖南农业科学, 2017(12): 1-18.]
- [42] Bai C, Ning G Y, Lv J, et al. Integration and practice of pesticide reduction and pest control technologies in the prevention and control of diseases and pests in single-cropping late rice[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2025, 66(10): 2444-2449. [柏超, 宁国云, 吕进, 等. 单季晚稻病虫害防控中农药减量控害技术集成与实践[J]. 浙江农业科学, 2025, 66(10): 2444-2449.]
- [43] Liu Q, Yang T. Construction of rice field sustainability system under the background of food security[J]. Global Food Industry, 2025 (7): 31-33. [刘倩, 杨腾. 粮食安全背景下稻田可持续性体系构建[J]. 中外食品工业, 2025 (7): 31-33.]
- [44] Swaminathan M S. Challenges ahead: Time for new orientation//The Hindu survey of Indian agriculture[M]. Madras: Kasturi & Sons Ltd., 1988.
- [45] Li Z, Yu F W. Evaluation of agricultural sustainability in western China[J]. Chinese Rural Economy, 2006(10): 12-19. [李周, 于法稳. 西部地区农业可持续性评价[J]. 中国农村经济, 2006(10): 12-19.]
- [46] Li X D, Tang Y L, Sui P, et al. The evaluation on sustainability of paddy field conservation farming system(CFS) in Sichuan Basin, China[J]. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(6): 942-948. [李向东, 汤永禄, 隋鹏, 等. 四川盆地稻田保护性耕作制可持续性评价研究[J]. 作物学报, 2007, 33(6): 942-948.]
- [47] Ge T D. "Study on the coordination mechanism of sustainable productivity and ecological function of paddy field ecosystem" has achieved important results[J]. Research of Agricultural Modernization, 2011, 32(2): 178. [葛体达. "稻田生态系统持续生产力与生态功能协调机制研究" 取得重要成果[J]. 农业现代化研究, 2011, 32(2): 178.]

土 壤 学 报
Acta Pedologica Sinica

- [48] Tang Y B. “Ecological breeding of turtle, shrimp, fish and rice” has reached the international leading level through the identification of achievements[J]. Fishery Guide to Be Rich, 2014(18): 6. [汤亚斌. “鳖虾鱼稻生态种养”通过成果鉴定达国际领先水平[J]. 渔业致富指南, 2014(18): 6.]
- [49] The Crop Science Society of China. 2014-2015 Report on advances in crop science[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 2016. [中国作物学会. 2014-2015 作物学学科发展报告[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2016.]
- [50] Hu Y J, Zhang H P, Guo B W, et al. Development process and prospect of mechanized and simplified cultivation technologies for rice in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2025, 41(16): 13-24. [胡雅杰, 张海鹏, 郭保卫, 等. 中国水稻机械化精简化栽培技术发展历程与展望[J]. 农业工程学报, 2025, 41(16): 13-24.]

(责任编辑: 卢 萍)