

郑振宇,王文成,李赵嘉,等. 典型生态农业模式——稻田种养研究综述[J]. 江苏农业科学,2019,47(4):11-16.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.04.003

典型生态农业模式——稻田种养研究综述

郑振宇^{1,2}, 王文成^{1,2}, 李赵嘉^{1,2}, 孙 宇^{1,2}, 胡爱双^{1,2}, 肖丹丹^{1,2}, 张晓栋^{1,2}

(1. 河北省农林科学院滨海农业研究所,河北唐山 063299; 2. 河北省唐山市水稻工程技术研究中心,河北唐山 063299)

摘要:通过对国内稻田种养研究成果的梳理,从稻田种养模式的构建依据、构建步骤、配套技术以及稻田种养系统的组分构成、组分间联系、生态服务功能等方面对我国稻田种养研究内容进行分析 and 总结,并探讨稻田种养在组分搭配、配套技术、产业方向等方面的发展趋势。

关键词:稻田种养;生态农业;种养技术;生态系统

中图分类号: S181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)04-0011-05

随着世界人口的持续增长,水土资源日益短缺,加上全球气候变化的影响,农产品产量和安全问题引起了全球各国的广泛关注^[1-3]。特别是对于我国这样的人口大国而言,如何在单位面积上持续产出更多、更安全的农产品已经成为我们必须面对的严峻挑战。在过去 50 年中,我国农产品产量的持续快速提高得益于化肥、农药、饲料、高产品种等现代农业要素的投入,但它们在大幅提高土地生产力的同时,也带来了许多弊端:首先,长期大量施用化肥农药会造成农业环境污染,阻断系统养分循环,降低了抗干扰能力和可持续生产力;其次,农业环境污染会造成动植物体内有毒物质富集,甚至会积累超标,致使产品品质下降,直接威胁人们的饮食健康^[4];最后,在农业环境污染和单一作物大面积种植的耦合效应下,原有生态平衡被打破,农业生态系统生物多样性降低,抗干扰能力减弱,系统稳定性下降^[5-6]。

为了克服这些负面效应,人们不断探索、实践,并逐步认识到生态农业是解决上述问题的有效途径。生态农业是把生态环境效益列入农业目标,并与农业的社会效益和经济效益相协调,促进可持续发展的农业模式^[7]。在众多生态农业模式中稻田种养是典型的一种,它以稻田生态系统内的物种多样性为基础,以物种间相互作用为依据,将多样生物安置到系统内,人工诱导它们发生多种共生互利关系,并使之发挥各种生态功能,从而使系统的生态、经济、社会效益达到协调统一^[8]。稻田种养模式能够高效利用水土资源,降低农药化肥的投入,减少了农业环境污染,确保了地区农产品健康安全^[9-10],对当地农业生态平衡和农业可持续发展起着积极促进作用。目前很多学者对稻田种养进行了研究,主要内容集中在 2 个方面,一是针对稻田种养模式本身的研究,二是依托于模式所做的生态学研究。现将具体研究内容综述如下。

1 针对稻田种养模式本身的研究

1.1 稻田种养模式的构建依据

1.1.1 历史依据 稻田种养是一种古老的传统农作模式,历史悠久,我国是历史上稻田种养最早的国家,早在 2000 多年前的汉中和成都便已盛行稻田养鱼模式。在当地自然、社会资源条件的基础上,稻田种养形成了与当地环境特征相适应的稻田种养技术、种养模式和相关的生态作用机制等,并有一部分沿袭至今,如犁地耙田时间、放养苗时节和稻田水质观测等^[11]。这些传统种养模式与技术在现代稻田种养中依然发挥着使用价值。

1.1.2 理论依据 稻田种养是农业生态学理论践行的一种典型的生态农业模式,这种模式地构建与运行很大程度上依赖于农业生态学理论的指导。伴随着稻田种养的大面积推广,农业生态学理论在稻田种养方面的内容不断细化、不断丰富。20 世纪 80 年代,倪达书首先提出了稻鱼互利共生理论^[12-16],这为稻田种养理论的研究奠定了基础。之后在此基础上提出了稻田人工生物圈及新耕作体系,即通过人工调控的方法,将单一稻作生产方式转变为稻、萍、鱼三者共存的群体生产方式^[17-18]。陈飞星等将系统结构理论、食物链理论、生态位理论、互利共生理论引入,并以稻田养蟹模式为例对稻田种养模式的生态效应进行了解释^[19]。当下的稻田种养研究还融入了循环经济理论、农业可持续发展理论、生态经济学理论等,理论内容不断丰富,理论研究不断深入。

1.2 稻田种养模式的构建步骤

目前我国的稻田种养主要分布在华东、华中、华南、西南等地区^[20-21]。各地区根据当地自然、社会环境特点,结合自身农作特征,创建了多种稻田种养模式,包括稻田养鱼、稻田养虾、稻田养蟹、稻田养鳅、稻田养鳖、稻田养鸭等模式^[22-27]。这些模式的构建步骤多以技术文本形式呈现,从实践操作角度进行描述,较少从理论层次上进行系统概括,故此本综述在总结和提炼前人技术的基础上,尝试从理论层次上概括稻田种养模式的主要构建步骤。

我国稻田种养模式构建一般经历 3 个步骤:第 1 步,定性安排;第 2 步,定量安排;第 3 步,调控管理。定性安排阶段主要考虑种植何种水稻,养殖何种水产品,须要投入什么,想要

收稿日期:2017-11-08

基金项目:河北省科技创新工程专项(编号:F17R17004);河北省农林科学院基本业务费项目(编号:2018010102)。

作者简介:郑振宇(1989—),男,河北唐山人,硕士,研究实习员,主要从事农业生态学研究。E-mail:1066757675@qq.com。

产出什么,植物与动物之间须要建立怎样的联系,避免出现怎样的联系,从而搭建起模式的基本框架,这一阶段主要是确定稻田种养模式中的组分及其相互关系。定量安排阶段主要考虑种植多少水稻(如种单一或多个品种水稻、种植密度等),养殖多少水产品(如养单一或多个品种水产品、养殖密度等),须要投入多少(如种子、化肥、农药、饲料、人力、物力、财力等的投入量),预计产出多少(如水稻产量、水产品产量、市场利润等),这一阶段主要是确定稻田种养模式中的各组分及其相互关系的比例。调控管理阶段要考虑非人工调控(以生物为中心)和人工直接调控(以人为中心)2个内容。非人工调控主要是通过生物本身的生理、生化调控机制来适应与环境和其他生物的相互作用。人工直接调控主要是通过生产技术(如水稻的栽培技术、水产品的养殖技术以及水稻与水产品共作过程中的接口技术)来调控生物、环境组分,并使彼此相互适应的过程。一般在模式搭建好之后,先进行非人工调控,观察整个模式是否能通过内部各组分自身的调节来达到协调稳定的状态;之后再根据观察出现的问题或是人为目标来进行人工调控。这一阶段主要是调节稻田种养模式中的各组分相互作用关系,保证各组分之间的物质交流、养分循环等正常运转。

1.3 稻田种养模式的配套技术研究

1.3.1 稻田种养技术构建研究 稻田种养模式的正常运转依赖于配套种养技术的实施。目前我国不同地区根据不同的种养模式构建出了不同的稻田种养技术,如稻鱼^[22]、稻虾^[23]、稻蟹^[24]、稻鳅^[25]、稻鳖^[26]、稻鸭^[27]等种养技术。这些种养技术的内容主要包括田块选择、田间工程准备、水稻品种选择与种植、动物苗种选择与投放、养殖管理、水质调控、病虫害防治、产品捕捞等方面。

1.3.2 稻田种养技术集成研究 近年来,人们为了更好地运行稻田种养模式,扩大产出,在原有种养技术的基础上做了很多的技术集成研究,主要表现在3个方面:(1)将池塘精养技术与稻田种养技术结合,如张达余等在江苏省盐城市阜宁县将沟畦工程技术、稻蟹鱼优化同步模式、商品蟹育肥技术进行了整合,形成了阔池宽沟稻蟹鱼复合生态种养集成技术,取得了水稻、蟹、鱼的全面丰收^[28]。(2)将稻田共作种养技术与稻田轮作种养技术结合,如江兴龙在福建省将坑塘式稻鱼兼作技术、田塘式稻田养鱼轮作技术和池塘精养鱼高产技术有机结合,创立了稻鱼生态兼作轮作一体化优质高产技术,即先早稻和鱼共作,早稻收割后,不续种晚稻只养鱼,实施稻鱼轮作,并应用池塘精养技术进行养鱼,达到优质高产效果^[29]。(3)将机械设备技术与稻田种养技术结合,如吴金书等将水稻机插秧技术与稻鸭共作技术相结合,起到了省工、节本、节料、节能、高效的效果^[30]。蒋祖明等将机插秧稻鸭共作技术与精确定量施肥技术相结合,提高了肥料利用效率,降低了化肥的使用量,减少了环境污染^[31]。李克勤等又将频振式诱蛾灯技术引入稻鸭种养模式,有效减少了虫口基数,降低了农药用量和生产成本,提高了稻米安全品质与效益^[32]。

1.3.3 稻田种养技术改进研究 为了适应稻田种养模式的调整,人们还对现行的稻田种养技术进行了改进研究,包括延长动、植物共作时间,加大模式内动、植物品种的容量,提高模式内物种多样性等。如吴敏芳等在浙江省丽水市青田市对原

有稻鱼共作技术进行改进,通过栽培再生稻,延长稻鱼生育期内的生态互补效应,提高了稻米和田鱼产量^[33]。章家恩对原有稻鸭种养技术进行改进,在原有技术基础上开展了1稻2鸭轮套养技术、多品种水稻混作养鸭技术、水稻与水生作物间套作养鸭技术、双季鸭稻共作冬种马铃薯技术、水稻-鸭子-牧草共作技术、水稻-鸭子-饲料稻共作技术等研究,取得了一系列研究成果^[34]。

1.3.4 稻田种养技术的关键点 通过对现有稻田种养技术研究成果的总结与分析,认为稻田种养技术的关键在以下2个方面:一是品种选择,包括水稻品种选择、水产品品种选择以及与种养相关的水生植物品种选择等,品种选择决定了系统内各生物组分间能否和谐共生,以及生物组分能否适应环境条件。二是种养结合的接口技术,在种养过程中,接口技术首先要考虑水产品的苗种投放,特别是投放的时间点和稻田环境条件(如水质、水温、气温等),这是苗种在稻田存活的基础。其次是人为调控,包括调控的时机和调控的程度。动、植物的共生有2个适应过程,一是动植物之间的彼此适应过程;二是动、植物对环境条件的适应过程。人们要根据这2个适应情况来确定调控行为的时间和调控程度,如水稻施肥的时间和用量、饲料投喂时间和用量,防治病虫害的药性选择、施药时间、施药量等,可以说人为调控是保证稻田种养系统农产品产量和质量的关键。

2 依托于稻田种养模式所做的生态学研究

稻田种养模式是在原有稻田生态系统的基础上,以物种间相互作用为依据,人为将多样生物安置到原系统内,并且人工诱导出了多种互利共生关系,建立起了新的物质能量循环,发挥新的生态功能的新型生态系统。研究者们围绕这个生态系统做了如下研究:

2.1 稻田种养生态系统的组分研究

2.1.1 稻田种养生态系统的环境组分 稻田种养生态系统的环境组分主要包括水体和土壤2个部分。水体和土壤是稻田种养生态系统的重要组成部分,它们是系统中生物生长发育所需水分、养分的来源,是动、植物生存的载体,又是整个生态系统物质循环、能量传递的媒介。在水体和土壤中还存在着各种生物群落,它们很多都发挥着分解者的作用,是整个生态系统得以正常运转的关键一环。可以说稻田水体和土壤直接影响着稻田种养生态系统的效益。

目前对水体的研究内容包括水体理化因子变化规律,以及水生生物、水体底栖动物、水体浮游植物的种类组成、密度、生物量、多样性特征等。如王昂等通过对比精养蟹稻田、常规养蟹稻田和不养蟹稻田3种种养模式,研究了稻田水体的溶解氧和温度的昼夜变化规律以及水体中的硝酸盐和磷酸盐含量的变化规律^[35]。汪金平等在稻鸭共作条件下,对稻田水体水生生物的种类、数量、生物量及多样性进行了测定,认为稻鸭共生可以增加稻田水体生物多样性,增强系统稳定性^[36]。王昌付等在稻鸭共作条件下,对稻田水体底栖动物的数量、群落组成和生物多样性指数进行了测定,发现稻鸭共作使水体底栖动物的种类数减少;水稻生育前期,底栖动物多样性高于常规稻田,而后期低于常规稻田^[37]。袁伟玲等分析了稻鱼共作系统水体浮游植物的种类组成、密度、生物量及多样性特

征,明确了系统中浮游植物群落的组成,认为稻鱼共作显著增加了稻田水体浮游植物的密度和生物量,提高了稻田水体浮游植物多样性指数^[38]。

目前,对土壤的研究内容包括土壤酶动态变化,土壤微生物群落动态、功能多样性,土壤养分吸收,土壤呼吸变化规律等。如李成芳等在稻-鸭-鱼共作的条件下,通过田间对比与室内分析的方法,研究了稻田土壤微生物量氮、土壤脲酶、脱氢酶、过氧化氢酶和蛋白酶活性的动态变化^[39]。章家恩等在稻鸭共作条件下,采用平板培养法和 BIOLOG 技术,研究了稻田土壤微生物群落动态及其功能多样性,结果表明,稻鸭共作能够使土壤的微生物总数(细菌、放线菌和真菌数量)增加,能够使微生物群落的碳源利用能力和整体代谢活性得到提高,显著增加了水稻抽穗期的微生物功能多样性^[40]。孙刚等使用土壤碳通量自动测定系统,对稻-鱼(泥鳅)复合生态系统的土壤呼吸进行了定位定量研究,认为土壤呼吸速率有明显的季节性,底栖鱼类能提高水田土壤呼吸强度^[41]。

2.1.2 稻田种养生态系统的生物组分 稻田种养生态系统的生物组分主要包括植物类、动物类和微生物类 3 个部分。植物组分研究集中在农作物的产量、质量、养分吸收、根系特性以及杂草群落变化等方面;动物组分集中在水产品产量;微生物组分集中在细菌数量、种群组成、数量分布等方面。

在植物组分中,张剑等在稻鱼共作条件下研究发现,稻鱼共作显著增加了水稻分蘖期和灌浆期的叶片氮含量,显著提高了成穗率和产量,认为田鱼摄食稻田资源并转化为水稻可利用养分是促进了水稻产量提升的原因^[42]。王强盛等研究发现,在稻鸭共作条件下稻米的加工品质、外观品质、营养品质及蒸煮品质得到了改善,尤以降低垩白率效果最明显^[43]。刘小燕等在稻-鸭-鱼共作条件下,研究了水稻根系特性,发现系统中的根系 α -萘胺氧化力显著高于不放鸭鱼区,根系总吸收表面积自移栽后迅速增加,水稻根系活力明显提高^[44]。沈建凯等在规模化稻鸭种养条件下,研究了稻田杂草的群落变化特点及控草效果,认为稻鸭种养显著降低了杂草密度,改变了杂草群落结构和组成,提高了杂草生物多样性,有效抑制了杂草危害的发生^[45]。在动物组分中,林传政等在稻鱼共作条件下,将平作稻养鱼、平作稻渔式养鱼、茭稻沟鱼(茭作稻养鱼)3 种模式分别与平作稻(中稻+再生稻)模式对比,结果表明,茭稻沟鱼模式的田鱼增量最大,适宜在生产上推广^[46]。在微生物组分中,杨富亿等研究了稻鱼系统水体与土壤中的微生物数量及种群组成,结果表明,稻鱼系统中异养细菌数量显著高于传统稻田,异养细菌的数量分布与田鱼产量有显著相关关系^[47]。邓晓等采用厌氧培养箱技术,测定了稻-鸭复合系统中土壤的产甲烷细菌数量,发现稻鸭共作能减少稻田中的产甲烷菌数量,产甲烷细菌对甲醇、异丙醇、 CO_2/H_2 、乙酸钠有嗜好表现^[48]。

2.2 稻田种养生态系统各组分之间的联系

在稻田种养生态系统中,各生物组分之间、各环境组分之间、以及生物与环境组分之间是相互联系的,也正是由于这种联系的存在才使得系统内各组分得以形成有机整体,并发挥出各自的生态功能。通过总结分析发现,这种联系在生物组分间作用最明显,并多以种间相互作用形式表现出来。人们结合生产目标,根据生物种间相互作用,来配置稻田种养生态

系统的物种组成,并对其进行人工调控。

如吕东锋等在稻蟹共生条件下发现,河蟹能通过对稻田杂草的不断摄食作用,使株防效和鲜质量防效均达到 50% 以上,降低了杂草与水稻的竞争,基本控制了杂草危害^[49]。朱凤姑等在稻鸭共作条件下,发现鸭子会不断游泳、踩踏,使杂草多浮于水面,或被吃或死亡,并且鸭子会捕食稻飞虱、叶蝉、二化螟等害虫^[50]。禹盛苗等在稻鸭共作条件下,测得稻鸭共作稻田的杂草平均株数比不养鸭的减少 94.2%,平均虫口密度减少 77.3%,稻鸭共作除草、除虫效果显著^[51]。吴敏芳等认为在稻鱼共作条件下,与水稻单作相比,稻鱼共作对稻纵卷叶螟幼虫和成虫密度均具有一定的控制作用^[52]。综上可知,系统内饲养的动物能够通过种间相互作用减少病虫害的发生,进而保证了水稻植株的健康生长,实现了饲养动物与水稻的和谐共生。

2.3 稻田种养生态系统的服务功能

生态系统服务功能是指生态系统提供给人类直接或间接受益的商品与服务的功能^[53]。稻田种养生态系统的服务功能主要体现在系统的生态和经济服务功能 2 个方面。

2.3.1 生态服务功能 生态服务功能研究主要集中在稻田种养生态系统对温室气体排放和水、土环境的影响 2 个方面。在温室气体排放上,黄璜等研究了稻鸭共作模式中甲烷排放季节变化规律,认为在水稻分蘖盛期和抽穗期甲烷的排放量最大,养鸭能减少甲烷排放量 40% 以上,系统中土壤氧化还原状况的改善是甲烷排放减少的原因之一^[54]。在此基础上,傅志强等进一步研究了不同养鸭数量对稻田甲烷排放的影响,认为养鸭数量越多,甲烷排放量越少,综合考虑经济和生态效益的前提下,225~300 只/hm² 为适宜养鸭量;认为养鸭提高了水体和土壤中溶解氧含量是甲烷减排的主要原因^[55]。展茗等研究了稻鸭模式中甲烷排放规律的影响因素,认为土壤温度和土壤水溶性有机碳含量是甲烷减排的主要影响因素^[56]。

在土壤、水体环境研究方面,高洪生研究了稻田养鱼后的水、土环境发生的变化,结果表明,土壤有机质含量、全氮含量、全磷含量、速效氮含量、速效钾含量、耕层土温比水稻单作系统高;昼夜田水溶解氧、昼夜田水日平均温度、田水氧化反应点位(ORP)比水稻单作系统高,而 pH 值则略低^[57]。丁伟华等研究了稻鱼系统鱼的放养密度对稻田环境的影响,结果表明,当鱼目标产量为 3 000 kg/hm² 时,水体总磷化学需氧量显著提高,面源污染风险增加;当鱼目标产量为 2 250 kg/hm² 时,系统经济利润最高,并且不会对水体环境产生负面影响^[58]。

2.3.2 经济服务功能 稻田种养生态系统的经济服务功能研究主要包括 2 个方面内容:一是直接经济价值,二是生态服务价值。就直接经济价值而言,稻田种养生态系统的经济价值要高于水稻单作系统,种养系统中饲养动物的品种差异,水稻种植的茬数差异,水稻兼作、轮作方式的差异等都会对系统的直接经济产出造成影响。如刘某承等在浙江省丽水市青田县研究发现,稻鱼共生系统 1 hm² 净利润比常规稻作系统要高出 20%^[59]。江兴龙把坑塘式稻鱼兼作与田塘式稻鱼轮作有机结合,创立了稻鱼生态兼作轮作一体化模式,生产结果表明,新模式 1 hm² 的纯收入比单一稻作模式增加了 466%^[60]。

陈飞星等研究表明,稻田养蟹模式的 1 hm^2 土地纯收入、成本收益率和劳动生产率比单一稻作模式分别增加 382.0%、67.7% 和 295.0%^[61]。章家恩等研究发现,稻鸭共作系统的 1 hm^2 净收入比常规稻作系统高出 18.13%^[62]。郑华斌等在水稻垄栽种养新模式中计算得出稻鸭种养 1 hm^2 纯利润比单一稻作系统增加了 417%,稻鳖种养增加了 1 440%^[63]。

在生态服务价值方面,张丹等研究发现,稻鱼共作系统的生态服务功能在大气调节、水调节、营养保持等方面都具有重要的作用,稻鱼共生系统的服务价值总量约为 8 万元/ $(\text{hm}^2 \cdot \text{年})$,单一稻作系统为 6 万元/ $(\text{hm}^2 \cdot \text{年})$,前者比后者高出了约 33%^[64]。刘某承等研究发现,稻鱼共生系统在固碳释氧、营养物质保持、病虫害防治、减施化肥农药等方面的生态服务价值比常规稻作系统高出了 86.61%^[59]。岳冬冬等认为稻鱼共生系统能够减少温室气体排放,利用造林法估算全国稻田养鱼系统温室气体减排量的生态系统服务价值为 8 332.95 万元^[65]。

3 稻田种养的发展趋势

3.1 稻田种养组分搭配发展趋势

稻田种养组分搭配发展变化有 2 个方面,一方面是动物、植物组分由一种向多种发展,另一方面是动物、植物组分由常规品种向特有品种发展。随着生活水平的提高,消费者对农产品的需求日益加大,农户为了满足市场、加大收益,必须在有限的淡水与耕地资源内获得更多的产出,因此各农户在稻田种养模式内将水稻与单种动物组合发展成了水稻与多种动物组合,形成了稻-鱼-虾,稻-鸭-鱼,稻-鱼-虾-鸭等模式。稻田种养系统内动物组分的增加对饲料和水质提出了更高的要求,但农户投放人工饲料和药品不仅加大了生产成本,还会对产品品质造成影响,基于经济和安全的考虑,农户便将既能充当饲料又能净化水质的水草植物引入了系统,形成了稻-鱼-萍,稻-鸭-萍,稻-虾-草等模式。系统内多种动植物组分的引入加大了系统的产出,但只能满足人们对产量的需求,当下人们又提出了多口感、多功能、高品质的绿色有机食品需要,且愿意为此支付更多。基于这种高需求、高利润的吸引,各农户便将特种稻、特种水产品引入稻田种养模式中,构建了如糯稻-泥鳅、黑稻-蟹、香稻-泥鳅-小龙虾等模式,以此来迎合市场和消费者。

3.2 稻田种养技术发展趋势

随着稻田种养系统内各组分搭配的改变,与之配套的种养技术也势必发生相应的变化。目前,稻田种养技术正朝着多样化、集成化的方向发展。在系统内各动、植物组分由原来的单种向多种变化,而后便出现了与之配套的单种水稻与多种水产品共作技术(如稻鱼虾鳅混养技术、稻鸭鱼混养技术)以及水稻-水产品-水生植物共作技术(如稻-鱼-萍种养技术)等多样的稻田种养技术。为了更好地运行系统,提高产出与效率,人们在种养技术层面又进行了集成化研究,主要有以下 3 个方面内容:一是产业间技术集成,即农业技术与工业技术结合,如将农业机械、设备与稻田种养技术集成;二是农业产业内技术集成,即农作技术与渔业技术结合,如将池塘精养技术与稻田种养技术结合;三是在种养模式内技术集成,如将稻田种养共作技术与轮作技术结合。以上这些种养技术

的发展,有效促进了我国稻田种养模式的示范与应用,推动了整个稻田种养产业的进步。

3.3 稻田种养产业发展趋势

首先是规模化发展。随着土地流转政策不断完善,农民流转土地的意愿也日益强烈,这使得适度规模的土地集中成为了可能,加上稻田种养的国家利好政策出台,在融资、技术、补贴等方面给予了很大支持,稻田养种的规模化经营道路基本铺平。此外,稻田种养规模化经营能在工程建设、机械租赁、田间管理、人工雇佣等方面节约成本,并且产出量大,可实现长期订单式供应,商品价格更稳定。同时在规模化生产过程中,更便于应用先进的标准化种养技术与大型农用机械,提高了生产效率,创造出了更大的规模效益。

其次是标准化发展。标准是专业经验、新技术、新成果的载体,通过实施农业技术标准,可实现农业资源合理利用和生产要素优化组合。在稻田种养产业中,规模化建设为标准化操作提供了可能,而标准化生产操作通过合理安排种养生产工序,规定种子(苗)、饲料、农药、化肥等的科学用量,保证了农产品产量和品质。另外,标准的种养生产操作能够产出标准的农产品,这样的产品在外观、口感、功能等品质上都更符合市场需求,不仅提高了产品的销量与利润,还有利于产业品牌建设。

再次是品牌化发展。品牌代表着产品的质量,能将企业和产品信息一起展示给消费者,而消费者会据此进行消费选择。在这个过程中品牌效应可降低种养农产品推介成本,同时增加销售量,促进利润增长,在利润驱动下,农户会增加对种养品牌农产品的供给,进而增强了农户的可持续经营能力。

最后是生态高值化发展。生态高值农业是现代农业的一种发展趋势,它将集约化经营与生态化生产有机结合起来。从生态角度看,生态高值化发展不但能产出安全优质的稻米和水产品,还能实现水、土等农业资源的永续利用,促进稻田种养产业可持续发展;从高值角度看,生态高值化发展能够大幅提高土地产出率、投入产出率、劳动生产率,切实实现农业增效,农民增收的双增效益。目前在高值效益的吸引下,形成了多种生态高值模式,如稻田种养-设施精养相结合模式,该模式在增加稻米和水产品产量的同时,实行农产品反季节上市,大大提高了农产品价值。“稻田种养+”模式,相关企业将“稻田种养+”的营销思维融入稻田种养产业发展,形成了如稻田种养+社群,稻田种养+会员制,稻田种养+互联网,稻田种养+私人订制等营销模式,拓宽了销路,满足了消费者需求。观光稻田种养模式,将稻田种养与旅游观光产业结合,以稻田种养为基础,强化其观光、休闲、娱乐等功能特征,形成具有第三产业特征的观光生态农业模式。稻田种养产业向生态高值化发展,不但兼顾了产业的生态、经济、社会效益,更促进了地区农业结构的调整,切实增加了农民收入,是我国生态农业发展上的关键一环。

参考文献:

- [1] Brown M E, Funk C C. Food security under climate change[J]. Science, 2008, 319(5863): 580-581.
- [2] Godfray H C J, Beddington J R, Crute I R, et al. Food security: the challenge of feeding 9 billion people[J]. Science, 2010, 327(5967): 812-818.

- [3] MacDonald G M. Water, climate change, and sustainability in the southwest[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2010, 107(50): 21256–21262.
- [4] 王强盛, 黄丕生, 甄若宏, 等. 稻鸭共作对稻田营养生态及稻米品质的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(4): 639–645.
- [5] Kleijn D, Berendse F, Smit R, et al. Agri–environment schemes do not effectively protect biodiversity in Dutch agricultural landscapes[J]. Nature, 2001, 413(6857): 723–725.
- [6] Kleijn D, Baquero R A, Clough Y, et al. Mixed biodiversity benefits of agri–environment schemes in five European countries[J]. Ecology Letters, 2006, 9(3): 243–254.
- [7] 骆世明. 农业生态学[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 2009.
- [8] 卞有生, 张凤廷. 中国农业生态工程的理论与实践[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1999.
- [9] Frei M, Becker K. A greenhouse experiment on growth and yield effects in integrated rice–fish culture[J]. Aquaculture, 2005, 244(1/2/3/4): 119–128.
- [10] Halwart M. Biodiversity and nutrition in rice–based aquatic ecosystems[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2006, 19(6/7): 747–751.
- [11] 石庭明. 生态人类学视野下的侗族稻作文化研究——以贵州省榕江县宰章村为例[D]. 北京: 中央民族大学, 2013.
- [12] 倪达书. 我国稻田养鱼的现状与展望[J]. 淡水生物学科科技情报, 1983(6): 1–5.
- [13] 倪达书. 稻鱼共生理论[J]. 科学与人, 1984(1): 10–11.
- [14] 倪达书, 汪建国. 稻鱼共生理论的研究[J]. 水产科技情报, 1981(6): 1–3.
- [15] 倪达书, 汪建国. 论稻鱼共生生态系统的应用价值[J]. 水产科技情报, 1983(6): 1–4.
- [16] 倪达书, 汪建国. 稻鱼共生生态系统中物质循环及经济效益[J]. 水产科技情报, 1985(6): 1–4.
- [17] 黄毅斌, 翁伯琦, 唐建阳, 等. 调控稻田人工生物圈及其新耕作体系研究Ⅳ. 综合调控技术对水稻生长和稻田生态环境的影响[J]. 福建省农科院学报, 1997(3): 44–50.
- [18] 林忠华. 稻田人工生物圈的调控技术研究[J]. 耕作与栽培, 1997(1): 24–28.
- [19] 陈飞星, 张增杰. 稻田养蟹模式的生态经济分析[J]. 应用生态学报, 2002, 13(3): 323–326.
- [20] 丁伟华. 中国稻田水产养殖的潜力和经济效益分析[D]. 杭州: 浙江大学, 2014: 12–13.
- [21] 李娜娜. 中国主要稻田种养模式生态分析[D]. 杭州: 浙江大学, 2013: 27.
- [22] 吕永林, 陈志俭, 蔡政, 等. 山区稻田养鱼高产技术[J]. 淡水渔业, 2002, 32(2): 20–22.
- [23] 闫少杰, 王雨雅. 稻田养殖小龙虾技术[J]. 科学养鱼, 2016(11): 31–32.
- [24] 惠同胜, 艾丹, 付艳梅. 北方稻蟹共作综合种养技术[J]. 黑龙江水产, 2016(2): 26–28.
- [25] 马义军, 张鸣. 浅析稻田养鳅关键技术措施及效益分析[J]. 中国水产, 2016(6): 94–95.
- [26] 蒋业林, 侯冠军, 王永杰, 等. 稻田养鳖生态系统构建与种养殖技术研究[J]. 安徽农学通报, 2015, 21(20): 94–95.
- [27] 王小明, 汤明庚, 周菊华, 等. 稻鸭共作养鸭技术要点[J]. 畜牧与兽医, 2006, 38(4): 23–24.
- [28] 张达余, 郭丽华, 周志华. 阔池宽沟稻蟹鱼复合生态种养技术集成[J]. 江苏农业科学, 2010(1): 249–250.
- [29] 江兴龙. 稻鱼生态兼作轮作一体化优质高产技术及其效益评价[J]. 水生生态学杂志, 2009, 30(6): 118–123.
- [30] 吴金书, 贺长征, 刘冬平, 等. 机插秧模式在稻鸭共作中的应用与推广[J]. 中国稻米, 2011, 17(2): 51–53.
- [31] 蒋祖明, 史粉祥, 蒋红刚, 等. 水稻机插稻鸭共作精确定量施肥技术研究[J]. 中国稻米, 2007, 13(4): 67–70.
- [32] 李克勤, 黄璜, 任泽明. 湖南稻鸭生态种养与频振式诱蛾灯技术示范成效与技术[J]. 中国稻米, 2008, 14(5): 35–37.
- [33] 吴敏芳, 张剑, 胡亮亮, 等. 稻鱼系统中再生稻生产关键技术[J]. 中国稻米, 2016, 22(6): 80–82.
- [34] 章家恩. 近10多年来我国鸭稻共作生态农业技术的研究进展与展望[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(1): 70–79.
- [35] 王昂, 王武, 马旭洲, 等. 养蟹稻田水环境部分因子变化研究[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(17): 3514–3519.
- [36] 汪金平, 曹凑贵, 金晖, 等. 稻鸭共生对稻田水生生物群落的影响[J]. 中国农业科学, 2006, 39(10): 2001–2008.
- [37] 王昌付, 汪金平, 曹凑贵, 等. 稻鸭共作对稻田水体底栖动物生物多样性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(4): 933–937.
- [38] 袁伟玲, 曹凑贵, 汪金平, 等. 稻鱼共作生态系统浮游植物群落结构和生物多样性[J]. 生态学报, 2010, 30(1): 253–257.
- [39] 李成芳, 曹凑贵, 徐拥华, 等. 稻鸭与稻鱼生态系统土壤微生物量N和土壤酶活性动态[J]. 生态学报, 2008, 28(8): 3905–3912.
- [40] 章家恩, 许荣宝, 全国明, 等. 鸭稻共作对土壤微生物数量及其功能多样性的影响[J]. 资源科学, 2009, 31(1): 56–62.
- [41] 孙刚, 房岩, 王欣, 等. 稻鱼复合生态系统对水田土壤呼吸的影响[J]. 农业与技术, 2008, 28(5): 66–68.
- [42] 张剑, 胡亮亮, 任伟征, 等. 稻鱼系统中田鱼对资源的利用及对水稻生长的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28(1): 299–307.
- [43] 王强盛, 黄丕生, 甄若宏, 等. 稻鸭共作对稻田营养生态及稻米品质的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(4): 639–645.
- [44] 刘小燕, 刘大志, 陈艳芬, 等. 稻–鸭–鱼共栖生态系统中水稻根系特性及经济效益[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2005, 31(3): 314–316.
- [45] 沈建凯, 黄璜, 傅志强, 等. 规模化稻鸭生态种养对稻田杂草群落组成及物种多样性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(1): 123–128.
- [46] 林传政, 吕泽林, 周远清, 等. 不同稻鱼共生方式对水稻性状及稻鱼产量的影响[J]. 耕作与栽培, 2015(6): 19–21, 43.
- [47] 杨富亿, 李秀军, 王志春, 等. 盐碱化湿地稻–鱼复合生态系统微生物特征[J]. 湿地科学, 2003, 1(2): 105–110.
- [48] 邓晓, 廖晓兰, 黄璜. 稻——鸭复合生态系统产甲烷细菌数量[J]. 生态学报, 2004, 24(8): 1695–1699.
- [49] 吕东锋, 王武, 马旭洲, 等. 稻蟹共生对稻田杂草的生态防控试验研究[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(8): 1574–1578.
- [50] 朱凤姑, 丰庆生, 诸葛梓. 稻鸭生态结构对稻田有害生物群落的控制作用[J]. 浙江农业学报, 2004, 16(1): 37–41.
- [51] 禹盛苗, 金千瑜, 欧阳由男, 等. 稻鸭共育对稻田杂草和病虫害的生物防治效应[J]. 中国生物防治, 2004, 20(2): 99–102.
- [52] 吴敏芳, 郭梁, 张剑, 等. 稻鱼共作对稻纵卷叶螟和水稻生长的影响[J]. 浙江农业科学, 2016, 57(3): 446–449.
- [53] Costanza R, D'Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387(15): 253–260.

王长伟,陈琛,蔺蓓蓓,等.狼牙刺中生物碱的研究应用进展[J].江苏农业科学,2019,47(4):16-21.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.04.004

狼牙刺中生物碱的研究应用进展

王长伟,陈琛,蔺蓓蓓,吴三桥

(陕西理工大学生物科学与工程学院,陕西汉中 723000)

摘要:狼牙刺野生资源丰富,其植株含有苦参类生物碱,在医药和农业领域具有广阔的应用前景。本文总结了狼牙刺的资源分布,生物碱类化学成分种类及含量,提取分离纯化、含量测定方法,以及狼牙刺生物碱在医药和农业领域的应用,以期对狼牙刺资源的开发利用提供理论依据。

关键词:狼牙刺;生物碱;化学成分;分离纯化;保肝;杀虫

中图分类号: Q599 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)04-0016-06

狼牙刺(*Sephora vicifolia* Hence),别称白刺花、苦刺花,广泛分布于我国河南西北部、山西东南部、河北西南部的太行山南部低山区,以及陕北、甘肃陇东黄土高原和秦岭北坡、云南高原及青藏高原区^[1],野生资源丰富。狼牙刺茎、叶、花、果和种子中都含有苦参碱、氧化苦参碱、氧化槐果碱等多种生物碱。这些生物碱具有抗炎、抗心律失常、保肝、抗肝纤维化、抗肿瘤和免疫调节等功效^[2],是开发研制抗乙型肝炎、抗肿瘤药物、各类洗涤剂、生物杀菌/杀虫剂的重要原料^[3]。

生物碱(alkaloid)是一类存在于生物体内的碱性含氮化合物,是药用植物中分布较为广泛的一类次生代谢产物,具有多种生物活性,是天然产物化学研究的重要领域^[4]。利用狼牙刺种子制备生物碱,不需要占用大量土地种植,不破坏植被,还可做到资源的可持续利用。探索用狼牙刺代替苦参、苦豆子制备苦参类生物碱将吸引更多学者的关注。本文对狼牙

刺生物碱类化学成分、活性成分的提取分离和药理作用的研究进展进行综述,以期对研究者对狼牙刺的植物资源进行更好的研究、开发和利用提供参考。

1 狼牙刺生态学特性及资源分布

狼牙刺为豆科槐属多年生灌木,高度可达 2.5 m,树皮呈灰褐色,多呈疣状突起;枝条棕色,近于无毛,具锐刺。单数羽状复叶互生,小叶 11~21 枚,长倒卵形,长 7~12 mm,宽 4~7 mm,先端微凹,有小刺尖,基部圆形,全缘,下面疏生平伏的白毛。花序着生于老枝顶;花疏生而下弯,约 6~12 朵,白色或蓝白色,有短花梗;萼小,杯形,5 浅齿,紫蓝色;花冠长 1.5 cm,旗瓣呈倒卵状至匙形,龙骨瓣基部有钝耳。总状花序,荚果念珠状,生于小枝的顶端。每株约有花序 500~700 个,1 个花序从始花至凋谢需要 9~13 d,全株花期 19~21 d。花期为 3—8 月,种子于 5—7 月成熟,落叶期为 10 月底或 11 月初。狼牙刺分布广泛,多生长于海拔为 1 000~1 500 m 间的阳坡或河谷地带。狼牙刺及其他豆科槐属植物的分布情况见表 1。

2 狼牙刺中的生物碱成分

生物碱是狼牙刺所含的主要活性成分^[5],狼牙刺根中的生物碱含量为 1.54%,茎中的生物碱含量为 1.40%,叶中的

收稿日期:2018-09-07

基金项目:陕西省科技厅农业攻关项目(编号:2016NY-161);陕南秦巴山区资源生物综合开发协同创新中心项目[编号:QBXT-Z(P)-15-9]。

作者简介:王长伟(1992—),男,山西汾阳人,硕士研究生,主要从事天然产物研究。E-mail:907321740@qq.com。

通信作者:吴三桥,教授,主要从事应用生物化学研究。E-mail:wsq800318@126.com。

[54]黄璜,杨志辉,王华,等.湿地稻—鸭复合系统的 CH₄ 排放规律[J].生态学报,2003,23(25):929-934.

[55]傅志强,黄璜,廖晓兰,等.养鸭数量对 CH₄ 排放的影响[J].生态学报,2008,28(5):2107-2114.

[56]展茗,曹凑贵,汪金平,等.稻鸭共作对甲烷排放的影响[J].应用生态学报,2008,19(12):2666-2672.

[57]高洪生.北方寒地稻田养鱼对农田生态环境的影响初报[J].中国农学通报,2006,22(7):470-472.

[58]丁伟华,李娜娜,任伟征,等.传统稻鱼系统生产力提升对稻田水体环境的影响[J].中国生态农业学报,2013,21(3):308-314.

[59]刘某承,张丹,李文华.稻田养鱼与常规稻田耕作模式的综合效益比较研究——以浙江省青田县为例[J].中国生态农业学报,2010,18(1):164-169.

[60]江兴龙.稻鱼生态兼作轮作一体化优质高产技术及其效益评价[J].水生生态学杂志,2009,30(6):118-123.

[61]陈飞星,张增杰.稻田养蟹模式的生态经济分析[J].应用生态学报,2002,13(3):323-326.

[62]章家恩,陆敬雄,张光辉,等.鸭稻共作生态农业模式的功能与效益分析[J].生态科学,2002,21(1):6-10.

[63]郑华斌,陈灿,王晓清,等.水稻垄栽种养模式的生态经济效益分析[J].生态学杂志,2013,32(11):2886-2892.

[64]张丹,刘某承,阎庆文,等.稻鱼共生系统生态服务功能价值比较——以浙江省青田县和贵州省从江县为例[J].中国人口·资源与环境,2009,19(6):30-36.

[65]岳冬冬,王鲁民.稻鱼共生系统的低碳渔业生态补偿标准研究——基于温室气体减排视角[J].福建农业学报,2013,28(4):392-396.