



稻虾种养对水稻产量和粮食安全的影响

倪明理, 邓凯, 张文字, 尚永青, 魏凤, 袁鹏丽, 李准, 樊丹, 曹凑贵, 汪金平

Effects of rice-crayfish coculture on rice yield and food security

NI Mingli, DENG Kai, ZHANG Wenyu, SHANG Yongqing, WEI Feng, YUAN Pengli, LI Zhun, FAN Dan, CAO Cougui, and WANG Jinping

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12357/cjea.20210891>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

稻虾共作模式的“双刃性”及可持续发展策略

"Dual character" of rice-crayfish culture and strategies for its sustainable development

中国生态农业学报(中英文). 2017, 25(9): 1245-1253

稻虾共作模式对涝渍稻田土壤理化性状的影响

Effect of integrated rice-crayfish farming system on soil physico-chemical properties in waterlogged paddy soils

中国生态农业学报(中英文). 2017, 25(1): 61-68

稻虾共作模式氮和磷循环特征及平衡状况

Nitrogen and phosphorus cycling characteristics and balance of the integrated rice-crayfish system

中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(9): 1309-1318

稻虾共作对稻田土壤 *nirK* 反硝化微生物群落结构和多样性的影响

Effects of integrated rice-crayfish farming system on community structure and diversity of *nirK* denitrification microbe in paddy soils

中国生态农业学报(中英文). 2018, 26(9): 1324-1332

稻虾共作对秸秆还田后稻田温室气体排放的影响

Effect of rice-crayfish co-culture on greenhouse gases emission in straw-puddled paddy fields

中国生态农业学报(中英文). 2017, 25(11): 1591-1603

农户采纳稻虾共作模式意愿的影响因素及其异质性

Influencing factors of farmers' willingness to adopt rice-crayfish co-culture and their heterogeneity

中国生态农业学报(中英文). 2021, 29(10): 1752-1761



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.12357/cjea.20210891

倪明理, 邓凯, 张文宇, 尚永青, 魏凤, 袁鹏丽, 李准, 樊丹, 曹凑贵, 汪金平. 稻虾种养对水稻产量和粮食安全的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2022, 30(8): 1293-1300

NI M L, DENG K, ZHANG W Y, SHANG Y Q, WEI F, YUAN P L, LI Z, FAN D, CAO C G, WANG J P. Effects of rice-crayfish coculture on rice yield and food security[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2022, 30(8): 1293-1300

稻虾种养对水稻产量和粮食安全的影响*

倪明理¹, 邓凯², 张文宇¹, 尚永青¹, 魏凤¹, 袁鹏丽³, 李准¹, 樊丹²,
曹凑贵¹, 汪金平^{1**}

(1. 华中农业大学植物科学技术学院 武汉 430070; 2. 湖北省农业生态环境保护站 武汉 430070; 3. 广西大学农学院 南宁 530000)

摘要: 稻虾种养模式是指将小龙虾的养殖与水稻种植相结合的一种复合种养模式, 该模式因其较高的经济效益, 近些年在全国发展迅速。在稻虾种养模式大面积推广的背景下, 有关稻虾种养模式对粮食产量安全的问题受到关注。本文通过多年定位试验、不同生态区农户调查和湖北省近10年统计年鉴资料, 对稻虾种养稻田的粮食安全问题进行分析。结果表明: 1) 稻虾种养提高了农民的种稻积极性, 扩大了水稻种植面积, 增加了水稻总产量。稻虾种养面积与水稻种植面积呈显著正相关, 稻虾主产区湖北省潜江市、荆州市和湖北省的水稻种植面积与10年前相比分别提高77.77%、16.23%和12.20%, 水稻总产量分别提高68.12%、16.61%和20.49%。同时近10年湖北省夏收粮食(小麦等)产量维持稳定。2) 湖北稻虾产区养殖沟占比(G)平均值为13.42%, G 在一定程度上会影响水稻产量。在不考虑 G 情况下, 与传统稻田单作相比, 稻虾种养水稻产量提高17.63%。当 $G \leq 10\%$ 时, 稻虾种养水稻产量略低于传统单作, 差异不显著, 但是 $10\% < G < 20\%$ 和 $G \geq 20\%$ 条件下, 水稻产量显著降低, 分别降低18.19%和34.81%。3) 稻虾种养发展区存在优劣势差异。水稻、小龙虾产量的表现在江汉平原、鄂东沿江平原优于鄂中北丘陵。因此按照 $G \leq 10\%$ 的标准规范稻虾模式田间工程建设, 坚持因地制宜地发展稻虾模式, 可在维持稻虾收益的同时保持水稻粮食安全, 是确保我国稻虾产业持续健康发展的重要保证。

关键词: 稻虾种养模式; 水稻产量; 养殖沟占比; 粮食安全

中图分类号: S511; S966.1

开放科学码(资源服务)标识码(OSID):



Effects of rice-crayfish coculture on rice yield and food security*

NI Mingli¹, DENG Kai², ZHANG Wenyu¹, SHANG Yongqing¹, WEI Feng¹, YUAN Pengli³, LI Zhun¹, FAN Dan²,
CAO Cougui¹, WANG Jinping^{1**}

(1. College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. Hubei Agricultural Ecological Environment Protection Station, Wuhan 430070, China; 3. College of Agriculture, Guangxi University, Nanning 530000, China)

Abstract: Rice-crayfish coculture (RC) refers to an integrated agriculture mode that combines crayfish breeding and rice planting. This mode has developed rapidly in China in recent years owing to its high economic benefits. The effect of large-scale promotion of RC on grain yield has attracted attention. Thus, to explore whether the large-scale popularization of RC has an adverse simultaneous

* 中央高校基本科研业务费专项(2662019FW010)和湖北省农业科技创新行动专项(2018skjcx01)资助

** 通信作者: 汪金平, 主要研究方向是稻田生态。E-mail: wangjp@mail.hzau.edu.cn

倪明理, 研究方向为作物栽培与耕作学。E-mail: 573683904@qq.com

收稿日期: 2021-12-26 接受日期: 2022-02-14

* This study was supported by the Fundamental Research Funds for the Central Universities of China (2662019FW010) and the Special Action for Agricultural Science and Technology Innovation of Hubei Province (2018skjcx01).

** Corresponding author, E-mail: wangjp@mail.hzau.edu.cn

Received Dec. 26, 2021; accepted Feb. 14, 2022

impact on local rice yield and total grain yield, the influence of the proportion of cultivation ditches on rice yield was analyzed, the development status of RC in different regions was compared, and whether RC is suitable for further promotion was investigated. This study analyzed the impact of the RC mode on rice yield through long-term positioning experiments, household surveys in different ecological areas, and statistical yearbook data from Hubei Province over the past 10 years. The results showed the following: 1) RC expanded the area, increased the total yield, and improved farmer enthusiasm for planting rice. There was a significant positive correlation between the RC mode planting area and the rice planting area. The rice-planting area in Qianjiang City, Jingzhou City, and Hubei Province increased by 77.77%, 16.23%, and 12.20%, respectively, and the total rice yield increased by 68.12%, 16.61%, and 20.49%, respectively, in recent 10 years. Simultaneously, the summer grain (wheat) yield in Hubei Province had remained stable over the last 10 years. 2) The average proportion of cultivation ditches of crayfish (G) in the Hubei RC-producing area was 13.42%, and G affects rice yield to a certain extent. Without considering G , the rice yield, when using the RC mode, increased by 17.63% compared to that of traditional rice monoculture. When $G \leq 10\%$, the RC rice yield was slightly lower than that of traditional rice monoculture, but the difference was not significant. However, under the conditions of $10\% < G < 20\%$ and $G \geq 20\%$, rice yield significantly decreased by 18.19% and 34.81%, respectively. 3) There are advantages and disadvantages in RC development areas. The yields of rice and crayfish in Jiangnan Plain and the plain along the river in eastern Hubei were better than those on the hills of central and northern Hubei. Previous research results showed that RC can stabilize the yield of rice under appropriate G conditions. Simultaneously, owing to the high economic effect of RC, an increasing number of farmers have joined the industry in recent years, which has promoted an increase in the total yield of rice in the regions. However, there are obvious regional adaptability differences in RC. Only in advantageous regions can give full play to their role in stabilizing grain yield and increasing efficiency. Therefore, the field engineering construction associated with the RC mode should be standardized according to $G \leq 10\%$, and adhering to the development of RC mode according to local conditions can maintain rice and crayfish income and food security, which is an important guarantee for the sustainable and healthy development of the rice-crayfish industry in China.

Keywords: Rice-crayfish coculture mode; Rice yield; Proportion of cultivation ditches; Food security

在有限的土地和淡水资源的条件下,应对人口不断增长的现状,如何满足粮食需求兼具环境保护是对世界农业的巨大挑战^[1]。近数十年来单一种植模式的现代农业在世界范围内迅速发展^[2-3], 伴随而来的是化肥、农药的滥用导致环境的恶化^[4]。集约化的农业生产方式,导致了物种间积极作用丧失。将多种单一的种植模式,耦合到同一农业系统中,被认为是保障粮食产量、降低粮食生产对环境不利影响的重要手段^[5-6]。

稻田种养是以水稻 (*Oryza sativa*) 种植为基础,充分利用稻田立体空间,光、热、水及生物资源高效利用的稻田生产技术^[7-8],该技术将种植业与养殖业有机结合起来,同时生产出碳水化合物(稻米)和动物性蛋白(鱼虾等水禽产品),被认为是世界上将动物饲养和农作物种植相互结合的最佳典范,在提高人们营养水平和减轻贫困方面发挥着重要的作用^[9-10]。稻虾共作作为稻田种养模式的一种,通过田间工程的改造,有机地把水稻种植和克氏原螯虾(俗称小龙虾, *Procambarus clarkii*) 养殖结合起来,全国各地发展迅速,具有很好的市场前景^[11-13]。2020年全国稻虾面积 126.14 万 hm^2 ^[14],开展稻虾种养产业发展研究有很强的市场需求和科学价值。

水稻生产一直是稻田的主要功能,然而,当前我国很多种养户在生产过程中存在着“重养殖轻种稻”“重经济轻生态”的片面短视思想和行为,在稻虾种养

过程中存在着小龙虾养殖沟过宽、饲料等物料的投入过大等问题,从而限制了水稻产量的提升,存在影响粮食安全的潜在风险,并造成了农田环境污染,制约着稻虾模式的持续健康发展^[15-17]。可见,有必要对稻虾模式对水稻产量的影响进行研究。相关研究表明,由于秸秆还田、饲料投入等管理措施的作用,稻虾模式低氮肥投入处理依然能获得较高的水稻产量^[18],因地制宜地开展稻虾共作,并配合科学的管理措施,水稻产量比稻田单作增产 5%~7%^[19]。也有研究表明:在水稻生育期,由于稻虾模式维持较高水位的情况下,容易对水稻产量造成不利影响^[20]。稻虾种养模式会导致水稻产量的降低,主要是水稻植株的有效穗数、每穗粒数降低所致^[21-22]。此外,区域上的不适应性也会导致水稻的减产,在地下水位较深的地区,与传统水稻-油菜 (*Brassica napus*) 轮作相比,稻虾种养模式下水稻产量要降低 30%~50%^[23]。合理的养殖沟占比是维持稻田种养水稻产量稳定的重要因素,稻虾模式下合理挖掘的养殖沟,为水稻的生长带来了较强烈的边际效益,因而能提升外围水稻的产量来获得高产^[24-25],从而弥补了养殖沟占据水稻种植面积所带来的产量损失。尽管不同年限之间的水稻产量受气候^[26-28]、病虫害^[29-30]、栽培管理措施^[31]等因素的影响,但是在 Guo 等^[32]的多年研究中,稻虾种养下水稻产量在连续多年保持稳定,稳产效应显著高于水稻单作。

稻虾种养对粮食安全的影响受到关注^[33], 前人关于稻虾种养对水稻产量研究存在争议, 是否影响到粮食安全不明确, 并且相关研究多局限在小范围的试验田块, 缺乏大区域角度来进行考证。为此, 本文通过多年定位试验、不同生态区农户调查和湖北省农村统计年鉴资料分析等不同途径来阐明稻虾种养对粮食安全的影响, 并为稻虾模式可持续发展提供对策。

1 研究方法

1.1 统计年鉴数据获取

通过《小龙虾产业报告》^[14]《湖北省农村统计年鉴》、湖北省及地方县统计局网站 (<http://jj.hubei.gov.cn/tjsj/>) 等途径, 获取了近 10 年来湖北省粮食产量、水稻种植面积、稻虾种养面积、小龙虾产量等相关数据。

1.2 多年定位试验

试验时间为 2016—2020 年, 地点位于湖北省潜江市后湖农场 (30°39'N, 112°71'E), 土壤类型为湖积物发育而成的潮土性水稻土。该区域属江汉平原低湖区, 冬季地下水位 40~55 cm, 北亚热带季风湿润气候, 年均气温 16.1 °C, 无霜期 246 d, 年均降雨量 1100 mm。

试验供试水稻品种为‘泰优’390 (2016—2017 年) 和‘黄华占’ (2018—2020 年)。试验设稻虾共作模式和水稻单作 2 个处理, 3 次重复, 共 6 个小区。小区面积 1269 m², 养殖沟宽 2 m, 深 1.2 m, 水稻种植面积 1000 m², 沟占比 21.2% (养殖沟占比较大的主要原因是试验小区面积较小而导致)。而一般稻虾种养田块面积为 1.5~3.0 hm² 较为适宜。稻虾共作处理按潜江传统稻虾模式进行, 于 2015 年 3 月上旬投放虾苗, 投放密度为 225 kg·hm⁻², 后期不再重新投虾苗。小龙虾用商品饲料进行饲养, 投食时间为每年的 3—6 月, 总投食量为 3000 kg·hm⁻²。水稻于每年 6 月上旬播种, 播种方式为直播。田间水分管理、具体水稻栽培措施和小龙虾养殖管理参考汪本福等^[34]撰写的稻虾共作相关技术。传统水稻单作只种植一季水稻, 冬季闲田, 栽培管理按常规方式操作。水稻施肥按纯氮 (N) 150 kg·hm⁻², 磷肥 (P₂O₅) 75 kg·hm⁻², 钾肥 (K₂O) 120 kg·hm⁻² 施入, 氮肥分基肥和蘖肥两次施用, 基肥和钾肥做基肥一次性施用。

在水稻成熟期的每个小区中随机选取 3 个长势均一的取样点, 分别围取 5 m² 的水稻植株进行收割, 将收割的水稻晒干、脱粒、测定含水量, 按含水率

13.5% 折算出水稻产量。

1.3 农户调查数据获取

选择湖北省江汉平原、鄂东沿江平原和鄂中北丘陵地带等 3 个不同生态区为调查对象, 通过农户调研对稻田面积、水稻产量、养殖沟占比、物料投入等进行调查。共获取有效调研问卷 207 份, 其中稻虾 149 份、水稻单作 58 份。江汉平原 (包括监利、潜江) 获取稻虾 66 份、水稻单作 25 份问卷, 鄂东沿江平原 (包括武穴、蕲春、黄梅) 获取稻虾 73 份、水稻单作 9 份问卷, 鄂中北丘陵地带 (安陆、宜城) 获取稻虾 10 份、水稻单作 24 份问卷。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2007、R 语言和 SPSS 22.0 统计分析软件进行数据处理和统计分析, 并用最小显著差异法 (LSD) 进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 统计数据分析

2.1.1 稻虾产业发展现状

2020 年全国小龙虾养殖总面积达 145.64 万 hm², 养殖总产量为 239.37 万 t, 其中稻田养殖占据绝对主导地位, 分别占养殖面积和产量的 86.61% 和 86.15%^[14]。长江流域是小龙虾养殖的主要优势区域, 湖北、安徽、江苏、湖南和江西为主产省份, 其中 2020 年湖北省小龙虾产量占全国的 41.02%, 位居全国第一 (图 1)。

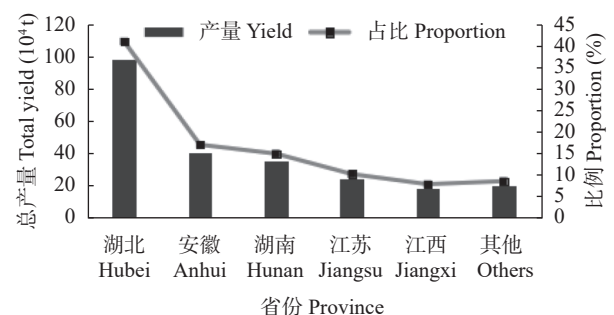


图 1 2020 年不同省份小龙虾总产量及其占比

Fig. 1 Total crayfish yield and its proportion in different provinces in 2020

数据来源于《中国小龙虾产业发展报告》(2021)。Date sources is China Crayfish Industry Development Report 2021.

近年来, 随着稻田养殖技术的逐渐成熟, 养殖效益日益提高, 稻虾种养模式在湖北省内迅速发展、种养规模井喷式扩大、行业产值显著增加^[35]。2019 年湖北省稻虾种养面积占水稻种植面积的 19.62%, 其中洪湖和潜江稻虾种养比例最高, 分别占水稻种植面积的 70.71% 和 67.21% (图 2)。稻虾种养已经成

为湖北省部分县市的最主要的水稻栽培耕作模式, 监利、潜江、洪湖、公安和石首小龙虾产量位居全国前十。

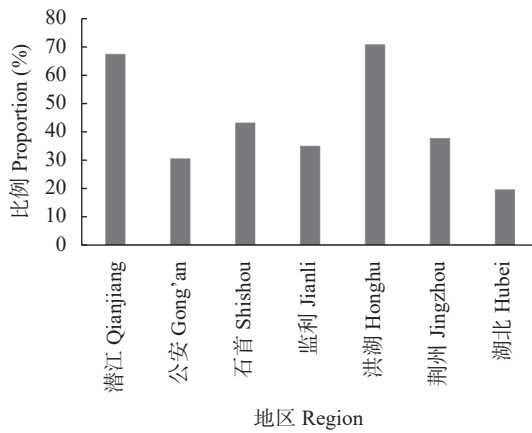


图 2 2019 年湖北省稻虾主产区稻虾面积占水稻种植面积比例

Fig. 2 Proportions of rice-crayfish area in the main rice-crayfish producing areas of Hubei Province in 2019

数据来源于《湖北省农村统计年鉴》(2011—2020), 监利、石首和洪湖属于荆州市。Date sources is Hubei Rural Statistical Yearbook (2011—2020). Jianli, Shishou and Honghu belong to Jingzhou City.

2.1.2 稻虾种养对水稻种植面积与产量的影响

湖北省稻虾主产区稻虾种养面积与水稻种植面积之间呈显著正相关(图 3)。通过 10 年统计年鉴分

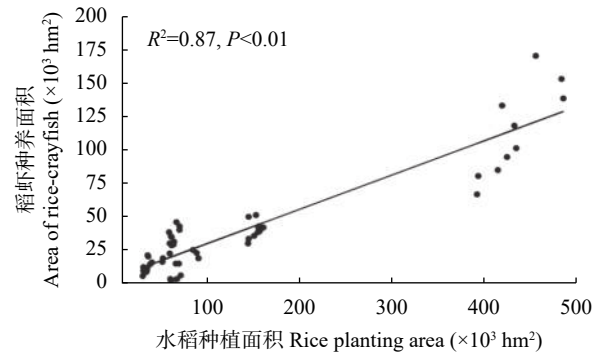


图 3 湖北省稻虾主产区水稻种植面积与稻虾种养面积关系(2010—2019 年)

Fig. 3 Relationship between rice planting area and rice-crayfish area in the main rice-crayfish producing areas of Hubei Province from 2010 to 2019

数据来源于《湖北省农村统计年鉴》(2011—2020)。Date source is Hubei Rural Statistical Yearbook (2011—2020).

析表明(表 1), 潜江市、荆州市和湖北省水稻种植面积和产量都呈现出明显的增长趋势, 与 2010 年相比, 2019 年潜江市、荆州市和湖北省水稻种植面积分别增加 77.77%、16.23% 和 12.20%, 水稻总产量分别提高 68.12%、16.61% 和 20.49%。可见, 各区域水稻总产量的增加主要归因于水稻种植面积的增加, 而稻虾模式的推广提高了农民种稻积极性, 导致水稻种植面积增加。

表 1 湖北省稻虾主产区近 10 年水稻种植面积与总产量

Table 1 Rice planting areas and total yields in the main rice-crayfish producing areas of Hubei Province in recent 10 years

年份 Year	潜江 Qianjiang		荆州 Jingzhou		湖北 Hubei	
	水稻面积 Rice area ($\times 10^3 \text{ hm}^2$)	水稻总产量 Total rice yield (t)	水稻面积 Rice area ($\times 10^3 \text{ hm}^2$)	水稻总产量 Total rice yield (t)	水稻面积 Rice area ($\times 10^3 \text{ hm}^2$)	水稻总产量 Total rice yield (t)
2010	33.06	288 400	391.89	3 221 318	2038.17	15 578 100
2011	30.62	314 127	393.09	3 102 753	2036.17	16 169 100
2012	34.97	346 665	413.88	3 162 473	2017.88	16 513 800
2013	38.03	369 481	423.75	3 276 548	2101.15	16 766 358
2014	40.29	381 463	433.82	3 340 781	2143.95	17 294 700
2015	36.37	365 252	431.80	3 403 470	2188.46	18 106 900
2016	35.20	310 897	419.00	3 016 499	2130.97	16 935 179
2017	59.06	504 400	485.07	3 931 806	2368.07	19 271 639
2018	60.55	515 700	483.06	3 970 237	2390.99	19 656 224
2019	58.77	484 848	455.51	3 756 414	2286.75	18 770 598

数据来源于《湖北省农村统计年鉴》(2011—2020)。Date sources is Hubei Rural Statistical Yearbook (2011—2020).

2.1.3 稻虾主产区夏粮面积与产量

10 年统计年鉴数据分析表明, 潜江市、荆州市、湖北省夏收粮食[小麦 (*Triticum aestivum*)] 播种面积都呈现先增加后降低的趋势, 与 2010 年相比, 潜江市夏粮种植面积基本持平, 但荆州市增加 40.21%。从全省范围来看, 近 10 年夏粮种植面积基本维持在同一水平, 变化不大。潜江夏粮产量降低 7.44%, 荆州

市、湖北省夏粮产量分别提高 29.08% 和 8.65%。湖北省夏粮产量并未随着稻虾种养面积的扩大而呈下降趋势, 反而表现出先增后减的趋势, 2013—2016 年维持较高的产量水平(表 2)。

2.2 定位试验分析

从潜江稻虾试验点 2016—2020 年的产量数据可以看出: 在不考虑养殖沟占比的情况下, 稻虾种养

表 2 湖北省稻虾主产区近 10 年夏粮面积与夏粮总产量

Table 2 Summer grain areas and total summer grain yields in the main rice-crayfish producing areas of Hubei Province in recent 10 years

年限 Year	潜江 Qianjiang		荆州 Jingzhou		湖北 Hubei	
	夏粮面积 Summer grain area ($\times 10^3$ hm ²)	夏粮总产量 Total yield of summer grain (t)	夏粮面积 Summer grain area ($\times 10^3$ hm ²)	夏粮总产量 Total yield of summer grain (t)	夏粮面积 Summer grain area ($\times 10^3$ hm ²)	夏粮总产量 Total yield of summer grain (t)
2010	28.56	91 420	122.08	404 488	1253.75	4 206 200
2011	29.99	108 052	128.10	409 527	1321.33	4 258 300
2012	36.83	111 472	134.56	428 365	1363.19	4 474 400
2013	30.09	113 704	136.05	476 100	1400.60	5 010 000
2014	29.96	110 600	135.79	474 600	1389.92	5 056 000
2015	29.94	104 200	136.29	450 400	1380.85	5 044 500
2016	30.31	106 100	138.04	458 800	1392.93	5 086 650
2017	30.63	103 942	184.77	532 398	1348.50	4 882 443
2018	29.99	87 700	175.76	530 898	1304.26	4 675 956
2019	28.25	84 617	171.17	522 094	1266.50	4 569 991

数据来源于《湖北省农村统计年鉴》(2011—2020)。Date sources is Hubei Rural Statistical Yearbook (2011—2020).

田的水稻产量明显高于水稻单作,近 5 年平均高出 17.63%。当养殖沟面积被纳入计算时,稻虾种养下水稻产量比水稻单作分别低 7.43%、4.28%、6.56%、10.39% 和 7.88%,差异达显著水平。由于本试验田为小区试验,四周开 2 m 的养殖沟,沟占比过大 (21.20%) 导致水稻产量受到影响,可见,在实际生产中,控制养殖沟比例是保证水稻产量的重要因素 (表 3)。

2.3 调研数据分析

针对鄂东沿江平原、鄂中北丘陵、江汉平原的

农户调研可得 (表 4): 在考虑养殖沟对水稻产量的影响时,3 个地区水稻产量都低于稻田单作,其中鄂东沿江平原稻虾种养模式水稻产量比传统稻田单作低 4.46%,差异不显著。而江汉平原、鄂中北丘陵稻虾种养模式水稻产量比传统稻田单作分别低 25.16% 和 52.59%,差异均达显著水平 ($P<0.05$)。不同区域小龙虾产量比较表明:江汉平原地区的小龙虾产量分别是鄂东沿江平原、鄂中北丘陵的 1.69 倍和 1.64 倍。

表 3 稻虾长期定位试验各年水稻产量

Table 3 Rice yield in each year of long-term rice-crayfish experimental site $t \cdot \text{hm}^{-2}$

年限 Year	稻虾种养(不含养殖沟) Rice-crayfish (excluding culture ditch)	稻虾种养(含养殖沟) Rice-crayfish (including culture ditch)	稻田单作 Rice-monoculture
2016	9.65±0.83a	7.61±0.74c	8.23±1.89b
2017	8.43±0.92a	6.64±0.88c	6.94±0.97b
2018	9.51±1.01a	7.49±1.03c	8.02±1.21b
2019	9.09±1.31a	7.16±1.46c	7.99±0.87b
2020	6.56±1.17a	5.13±1.33c	5.56±0.47b

同行不同小写字母表示不同处理间在 $P<0.05$ 水平差异显著,2020 年产量偏低的主要原因是连续降雨的影响。Different lowercase letters in the same line indicate significant differences at $P<0.05$ level. The main reason for the low output in 2020 is the continuous rainfall.

表 4 2018 年湖北省稻虾产区水稻和小龙虾产量

Table 4 Rice and crayfish yields in the rice-crayfish producing areas of Hubei Province in 2018 $t \cdot \text{hm}^{-2}$

地区 Region	水稻产量 Rice yield		小龙虾产量 Crayfish yield
	稻虾种养田 Rice-crayfish	传统单作田 Rice monoculture	
鄂东沿江平原 Plain along the river in East Hubei	6.72±1.32a	7.02±1.41a	1.32±0.70
鄂中北丘陵 Hills in Central and North Hubei	4.83±1.34b	7.37±1.24a	1.36±0.77
江汉平原 Jianghan Plain	6.12±1.54b	7.66±1.61a	2.23±0.97

同行不同字母表示差异显著 ($P<0.05$), 水稻产量是包含养殖沟面积条件下的实际产量, 养殖沟占比在鄂东沿江平原、鄂中北丘陵、江汉平原分别为 10.05%、25.63% 和 17.03%。Different letters in the same line indicate significant differences at $P<0.05$ level. Rice yield refers to the actual yield under the condition of including the area of culture ditch. The proportion of aquaculture ditches in the plain along the river in East Hubei, the hills of Central and North Hubei and the Jianghan Plain is 10.05%, 25.63% and 17.03%, respectively.

湖北省稻虾主产区养殖沟平均占比为 13.42%。养殖沟占比 (G) 与水稻产量之间呈显著负相关 (图 4A),

同时 G 对水稻产量影响显著 (图 4B)。不同 G 之间水稻产量差异明显: 与 $10\%<G<20\%$ 和 $G\geq 20\%$ 相

比, $G \leq 10\%$ 条件下水稻产量分别高 15.97% 和 45.51% ($P < 0.05$)。与传统稻田单作 (CK) 相比, $G \leq 10\%$ 、 $10\% < G < 20\%$ 和 $G \geq 20\%$ 条件下水稻产量降低值分别为 $0.38 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $1.34 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $2.56 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 产量降低比例分别为 5.21%、18.19% 和 34.81%, 其中 $G \leq 10\%$ 条件下, 水稻产量与 CK 差异不显著。

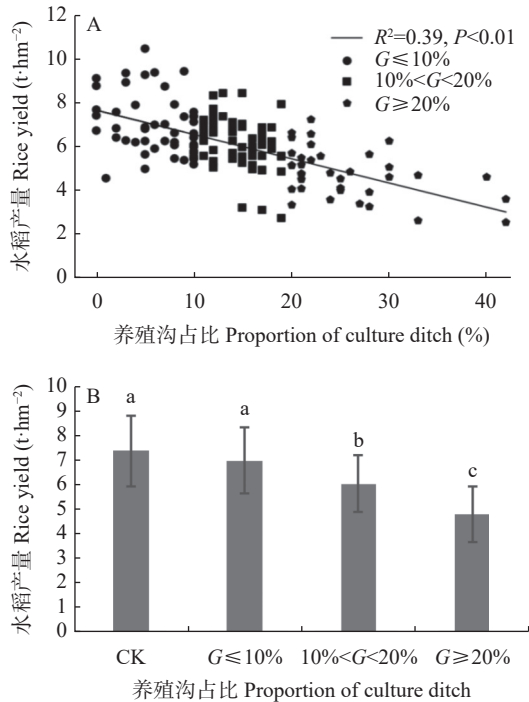


图 4 稻虾种养田养殖沟比例 (G) 与水稻产量关系 (A) 和不同养殖沟比例下水稻的产量 (B)

Fig. 4 Relationship between proportion of culture ditch (G) and rice yield (A) and rice yield under different proportions of culture ditch (B) of the rice-crayfish field

3 结论与讨论

3.1 稻虾种养对水稻单产的影响

本研究表明: 稻虾种养模式在忽略养殖沟影响下, 与传统单作相比水稻单产增加 17.63%。并且这部分提升作用能够弥补养殖沟不超过 10% 时所造成的产量损失。但是当养殖沟比例在 10% 到 20% 之间、甚至超过 20% 时, 稻虾模式的增产作用无法弥补沟占比扩大带来的产量损失, 导致水稻减产明显, 分别降低 18.19% 和 34.81%。同时, 调研数据显示, 湖北省稻虾主要产区养殖沟占比平均值为 13.42%。Hu 等^[36] 通过稻鱼系统的研究得到相同结论: 沟坑占比在 10% 以内, 同时水产动物控制在稻田环境容纳的阈值之内时, 不会导致水稻的减产。

3.2 稻虾种养对粮食总产量的影响

稻虾种养一定程度上促进了水稻种植面积的扩大, 增加了水稻总产量。在此基础上并未对夏粮 (小

麦等) 产量造成明显不利影响。2019 年稻虾种养面积接近全省稻田面积的 1/5, 随着稻虾种养模式的扩张, 潜江市和湖北省水稻种植面积也随之增高 77.77% 和 12.20%。从湖北省近 10 年粮食产量数据上可以看出, 除个别年份外 (2016 年、2019 年), 水稻总产都呈现逐年增加的趋势。全省夏粮食产量虽然至 2016 年开始呈现下滑趋势, 但对比 2010 年都有明显的提升。并且夏粮面积保持稳定, 甚至在荆州地区增加 40.21%。主要原因可能有: 1) 适合发展稻虾种养的地区往往水资源充沛, 夏粮作物在该地区表现出不适性, 在传统稻田模式中表现为冬闲田; 2) 稻虾种养模式具有较高的经济效应, 吸引了大批的农民及其他从业者投身稻虾种养行业, 从而把非粮食作物用地、撂荒田转变成了稻田。在目前全省的发展程度来看, 还未影响夏粮的生产, 但是若是继续大规模在非优势地区推广, 可能存在威胁夏粮产量的风险。合理适度地发展稻虾种养, 有利于提高了耕地的利用率, 促进耕地类型向着粮食用地的转变, 提高农民的种稻积极性。

3.3 稻虾种养发展存在地域性差异

稻虾种养在不同地域表现出明显的差异。首先从湖北省不同地区来看, 稻虾种养模式对鄂东沿江平原、江汉平原、鄂中北丘陵地区的影响差异显著。江汉平原地区作为最早发展稻虾种养的地区, 由于当时相关田间结构标准的不够完善, 稻虾种养田沟坑面积为 17.63%, 远高于标准, 导致水稻产量降低。随后的沿江平原地区, 稻虾种养相关标准执行的较为严格, 水稻产量有所提升。而鄂中北丘陵地区, 地下水位较低, 水分涵养功能较弱, 稻虾种养模式在该区域表现了一定的不适性, 为满足小龙虾的生长需求, 养殖沟占比达 25.63%, 因而水稻减产显著。因此以当地的自然环境条件为参考, 因地制宜地发展该模式才能起到保障粮食安全的作用。在鄂中北丘陵地区调查数据有限, 是否能准确代表当地水平需要进一步验证。

4 稻虾种养发展建议

4.1 保障水稻产量, 因地制宜发展稻虾模式

为保障稻田水稻产量, 应严格按照养殖沟占比不超过 10% 的标准执行^[37]。唐建军等^[25] 对沟占比 10% 条件下如何设置沟的宽度进行了深度详细的说明, 可供参考。根据不同区域的资源特点、立地条件差异, 选择相应的稻虾种养方式, 进行相应的田间结构建设。对于单块稻田面积大、水资源丰富的低

湖平原区,可采用宽沟的稻虾共作模式;而对于丘陵区及水资源不丰富的地区,则可采用生态池模式,发展稻虾连作或小龙虾繁育分离模式^[35]。

4.2 坚持集约化发展,推动稻田种养产业的规模化和机械化

随着稻田种养面积的不断扩大,可把稻田种养基地建设纳入农田基本建设中,高起点、高标准做好农田水利基础设施建设。同时加快农艺农机的配套性研究,开展专项配套技术研究,研制适宜稻虾种养稻田水稻生产机具和渔产品捕捞设备,推动稻田种养的机械化和规模化发展,符合现代农业的发展方向。

4.3 坚持优质、绿色发展,提升稻渔产品质量和品质

加强优质水稻和小龙虾品种选育、开发和应用,坚持全程绿色生产的原则,建立“双水双绿”稻虾种养技术体系,生产绿色水稻和绿色小龙虾,优化稻田生态环境,并利用“互联网+”电商模式打造品牌文化效应,实现水稻和小龙虾产品的优质优价,达到水稻、水产产业和生态环境的共赢。

参考文献 References

- [1] FOLEY J A, RAMANKUTTY N, BRAUMAN K A, et al. Solutions for a cultivated planet[J]. *Nature*, 2011, 478(7369): 337-342
- [2] TILMAN D. Global environmental impacts of agricultural expansion: the need for sustainable and efficient practices[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1999, 96(11): 5995-6000
- [3] TILMAN D, CASSMAN K G, MATSON P A, et al. Agricultural sustainability and intensive production practices[J]. *Nature*, 2002, 418(6898): 671-677
- [4] DEKNOCK A, DE TROYER N, HOUBRAKEN M, et al. Distribution of agricultural pesticides in the freshwater environment of the Guayas River Basin (Ecuador)[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 646: 996-1008
- [5] AHMED N, WARD J D, SAINT C P. Can integrated aquaculture-agriculture (IAA) produce “more crop per drop”?[J]. *Food Security*, 2014, 6(6): 767-779
- [6] NAYLOR R, STEINFELD H, FALCON W, et al. Losing the links between livestock and land[J]. *Science*, 2005, 310(5754): 1621-1622
- [7] 胡亮亮. 农业生物种间互惠的生态系统功能[D]. 杭州: 浙江大学, 2014
HU L L. Ecosystem functioning of facilitation between co-cultured species[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014
- [8] 王强盛, 王晓莹, 杭玉浩, 等. 稻田综合种养结合模式及生态效应[J]. *中国农学通报*, 2019, 35(8): 46-51
WANG Q S, WANG X Y, HANG Y H, et al. Combination modes and ecological effects of planting-breeding ecosystem in rice field[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2019, 35(8): 46-51
- [9] 隆斌庆, 陈灿, 黄璜, 等. 稻田生态种养的发展现状与前景分析[J]. *作物研究*, 2017, 31(6): 607-612
LONG B Q, CHEN C, HUANG H, et al. Analysis on the development status and prospect of ecological breeding in paddy field[J]. *Crop Research*, 2017, 31(6): 607-612
- [10] 吴敏芳, 张剑, 陈欣, 等. 提升稻鱼共生模式的若干关键技术研究[J]. *中国农学通报*, 2014, 30(33): 51-55
WU M F, ZHANG J, CHEN X, et al. Practical technology for improving rice-fish co-culture system[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(33): 51-55
- [11] 赵考诚, 马军, 叶迎, 等. 稻虾生态种养综合效应研究进展[J]. *作物杂志*, 2021(2): 22-27
ZHAO K C, MA J, YE Y, et al. Research advance on the comprehensive effects of ecological farming of rice and shrimp[J]. *Crops*, 2021(2): 22-27
- [12] 刘其根, 李应森, 陈蓝荪. 克氏原螯虾的生物学[J]. *水产科技情报*, 2008, 35(1): 21-23
LIU Q G, LI Y S, CHEN L S. Ecological culture of red swamp crayfish *Procambarus clarkii*[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2008, 35(1): 21-23
- [13] 全沁果, 张泽伟, 陈铭, 等. 小龙虾的综合利用研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(3): 213-219
QUAN Q G, ZHANG Z W, CHEN M, et al. Research progress on comprehensive utilization of crayfish[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(3): 213-219
- [14] 全国水产技术推广总站, 中国水产学会, 中国水产流通与加工协会. 中国小龙虾产业发展报告(2021)[N]. 中国渔业报, 2021-06-21
National Aquatic Technology Promotion Station, China Fisheries Society, China Fisheries Circulation and Processing Association. China crayfish industry development report (2021)[N]. *Chinese Journal of Fishery*, 2021-06-21
- [15] 曹凑贵, 江洋, 汪金平, 等. 稻虾共作模式的“双刃性”及可持续发展策略[J]. *中国生态农业学报*, 2017, 25(9): 1245-1253
CAO C G, JIANG Y, WANG J P, et al. “Dual character” of rice-crayfish culture and strategies for its sustainable development[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2017, 25(9): 1245-1253
- [16] 许辉, 赵阳阳, 孙东岳, 等. 稻虾共作模式研究进展[J]. *中国农业科技导报*, 2022, 24(2): 160-168
XU H, ZHAO Y Y, SUN D Y, et al. Progress in integrated rice-crayfish farming system[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2022, 24(2): 160-168
- [17] ZHANG J, HU L L, REN W Z, et al. Rice-soft shell turtle coculture effects on yield and its environment[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2016, 224: 116-122
- [18] 李丽娜, 闫淋淋, 曹凑贵, 等. 稻虾共作系统中水稻生长及养分吸收对秸秆还田与投食的响应[J]. *华中农业大学学报*, 2020, 39(2): 8-16
LI L N, YAN L L, CAO C G, et al. Effects of straw returning and crayfish feeding on rice growth and nutrient uptake in rice-crayfish ecosystem[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2020, 39(2): 8-16
- [19] HOU J, WANG X L, XU Q, et al. Rice-crayfish systems are not

- a *Panacea* for sustaining cleaner food production[J]. *Environmental Science and Pollution Research International*, 2021, 28(18): 22913–22926
- [20] 宋世龙. 稻田水深对稻虾共作水稻、克氏原螯虾生长及其关键环境因子影响研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2021
- SONG S L. Effects of water depth in paddy field on the growth and key environmental factors of rice and crayfish in rice-crayfish intergrowth[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2021
- [21] 姚义, 唐建鹏, 陈京都, 等. 稻虾共作与栽插密度对优良食味梗稻物质生产及其产量的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2021, 42(1): 98–104
- YAO Y, TANG J P, CHEN J D, et al. Effects of rice-shrimp co-cultivation and density on material production and yield of good eating quality Japonica rice[J]. *Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition)*, 2021, 42(1): 98–104
- [22] 寇祥明, 谢成林, 韩光明, 等. 3种稻田生态种养模式对稻米品质、产量及经济效益的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2018, 39(3): 70–74
- KOU X M, XIE C L, HAN G M, et al. The effects of three different ecological farming patterns on rice quality, yield and economic benefit[J]. *Journal of Yangzhou University (Agricultural and Life Science Edition)*, 2018, 39(3): 70–74
- [23] HOU J, STYLES D, CAO Y X, et al. The sustainability of rice-crayfish coculture systems: a mini review of evidence from Jiangnan Plain in China[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2021, 101(9): 3843–3853
- [24] 吴雪, 谢坚, 陈欣, 等. 稻鱼系统中不同沟型边际弥补效果及经济效益分析[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(5): 995–999
- WU X, XIE J, CHEN X, et al. Edge effect of trench-pond pattern on rice grain and economic benefit in rice-fish co-culture[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(5): 995–999
- [25] 唐建军, 陈欣, 胡亮亮, 等. 稻渔共生生态系统中沟坑问题与最大允许沟宽的推算及应用[J]. *中国水产*, 2021(4): 58–61
- TANG J J, CHEN X, HU L L, et al. The analysis on the design of field ditches, and the estimation and application of the maximum allowable width of field ditches in rice-fish culture system[J]. *China Fisheries*, 2021(4): 58–61
- [26] XIE J, HU L L, TANG J J, et al. Ecological mechanisms underlying the sustainability of the agricultural heritage rice-fish coculture system[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2011, 108(50): E1381–E1387
- [27] KHUMAIROH U, LANTINGA E A, SCHULTE R P O, et al. Complex rice systems to improve rice yield and yield stability in the face of variable weather conditions[J]. *Scientific Reports*, 2018, 8: 14746
- [28] 侯雯嘉, 耿婷, 陈群, 等. 近20年气候变暖对东北水稻生育期和产量的影响[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(1): 249–259
- HOU W J, GENG T, CHEN Q, et al. Impacts of climate warming on growth period and yield of rice in Northeast China during recent two decades[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(1): 249–259
- [29] 胡雅杰, 朱大伟, 邢志鹏, 等. 改进施氮运筹对水稻产量和氮素吸收利用的影响[J]. *植物营养与肥科学报*, 2015, 21(1): 12–22
- HU Y J, ZHU D W, XING Z P, et al. Modifying nitrogen fertilization ratio to increase the yield and nitrogen uptake of super Japonica rice[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2015, 21(1): 12–22
- [30] 徐国伟, 王贺正, 翟志华, 等. 不同水氮耦合对水稻根系形态生理、产量与氮素利用的影响[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(10): 132–141
- XU G W, WANG H Z, ZHAI Z H, et al. Effect of water and nitrogen coupling on root morphology and physiology, yield and nutrition utilization for rice[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(10): 132–141
- [31] 陈宇眺. 栽培模式对水稻产量和氮肥利用率的影响及生理机制的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016
- CHEN Y T. Effects cultivation patterns on rice yield and nitrogen use efficiency and its mechanisms[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016
- [32] GUO L, HU L L, ZHAO L F, et al. Coupling rice with fish for sustainable yields and soil fertility in China[J]. *Rice Science*, 2020, 27(3): 175–179
- [33] 张勇, 吴学兵. “虾稻共作”模式对国家粮食安全的影响研究——基于湖北省潜江市的调研[J]. *湖北农业科学*, 2021, 60(23): 201–204
- ZHANG Y, WU X B. Research on the impact of the “crayfish-rice cultivation” model on national food security: based on a survey in Qianjiang City, Hubei Province[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2021, 60(23): 201–204
- [34] 汪本福, 杨志勇, 张枝盛, 等. 基于稻虾共作模式的水稻绿色生产技术[J]. *湖北农业科学*, 2017, 56(24): 4711–4713
- WANG B F, YANG Z Y, ZHANG Z S, et al. Green production technology of rice based on rice-shrimp farming model[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2017, 56(24): 4711–4713
- [35] 陈松文, 江洋, 汪金平, 等. 湖北省稻虾模式发展现状与对策分析[J]. *华中农业大学学报*, 2020, 39(2): 1–7
- CHEN S W, JIANG Y, WANG J P, et al. Situation and countermeasures of integrated rice-crayfish farming in Hubei Province[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2020, 39(2): 1–7
- [36] HU L L, ZHANG J, REN W Z, et al. Can the co-cultivation of rice and fish help sustain rice production?[J]. *Scientific Reports*, 2016, 6: 28728
- [37] 中华人民共和国农业农村部. SC/T 1135.1—2017, 稻渔综合种养技术规范第一部分: 通则[S]. 北京: 中国农业出版社, 2018.
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the people's Republic of China. SC/T 1135.1 —2017, Technical Specifications for Integrated Farming of Rice and Aquaculture Animal-part I : General Principle[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2018