



田卓亚, 杨彩艳, 汪熙琮, 雷泽奎, 齐振宏. 稻虾生态种养技术会带来粮食数量安全问题吗?[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(07): 246-258.  
TIAN Zhuoya, YANG Caiyan, WANG Xicong, LEI Zekui, QI Zhenhong. Will the rice and crayfish co-culture techniques bring about food security issues?[J].  
*Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(07): 246-258.  
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.07.22

## 稻虾生态种养技术会带来粮食数量安全问题吗?

田卓亚<sup>1,2</sup> 杨彩艳<sup>3</sup> 汪熙琮<sup>1,2</sup> 雷泽奎<sup>4</sup> 齐振宏<sup>1\*</sup>

- 华中农业大学 经济管理学院/双水双绿研究院, 武汉 430070;
- 湖北农村发展研究中心, 武汉 430070;
- 中南林业科技大学 商学院, 长沙 410004;
- 湖北师范大学 经济管理与法学院, 湖北 黄石 435000)

**摘要** 为探究稻虾生态种养技术对粮食数量安全的影响,基于长江中下游地区2023年的农户微观调查数据,利用处理效应模型,实证检验了稻虾生态种养技术与国家粮食数量安全之间的关系。结果表明:1)农户采纳稻虾生态种养技术导致水稻总产量下降43.975%,稻虾生态种养技术会带来粮食数量安全问题。2)稻虾生态种养技术对粮食数量安全的威胁效应是非持续的,随着农户稻虾生态种养技术采纳的持续化、规范化及标准化,稻虾生态种养技术对粮食数量安全的威胁效应可能会逐渐消退。3)稻虾生态种养技术对粮食数量安全的威胁效应存在着禀赋条件异质性,小农户采纳稻虾生态种养技术对粮食数量安全的保障作用有限,规模农户采纳稻虾生态种养技术则对粮食数量安全有着显著的威胁效应;相比非农就业和低家庭收入的农户,未参与非农就业和高家庭收入的农户采纳稻虾生态种养技术对粮食数量安全的威胁效应更大。4)农户的年龄、文化程度、身体状况、土地禀赋及要素投入是影响农户稻虾生态种养技术采纳行为和水稻总产量的重要因素。因此,要普及标准化生产,同时强化对稻虾生态种养技术的监督,有针对性地推广稻虾生态种养技术。

**关键词** 稻虾生态种养; 采纳行为; 粮食数量安全; 威胁效应

中图分类号 F323.3 文章编号 1007-4333(2024)07-0246-13 文献标志码 A

## Will the rice and crayfish co-culture techniques bring about food security issues?

TIAN Zhuoya<sup>1,2</sup>, YANG Caiyan<sup>3</sup>, WANG Xicong<sup>1,2</sup>, LEI Zekui<sup>4</sup>, QI Zhenhong<sup>1\*</sup>

- College of Economics & Management / Shuangshui Shuanglü Institute, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;
- Hubei Rural Development Research Center, Wuhan 430070, China;
- College of Business, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China;
- School of Economic Management and Law, Hubei Normal University, Huangshi 435000, China)

**Abstract** In order to explore the impact of rice and crayfish co-culture techniques on food security, based on the micro-survey data of farmers in the middle and lower reaches of Yangtze River in 2023, the relationship between rice crayfish co-culture techniques and national food security was empirically tested by using the treatment effect model. The results show that: 1) Farmers' adoption of rice crayfish co-culture techniques will lead to a decrease of 43.975% in total rice yield, and rice and crayfish co-culture

收稿日期: 2023-11-16

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(72273049)

第一作者: 田卓亚(ORCID:0009-0005-5670-3869), 博士研究生, E-mail: 2505177419@qq.com

通讯作者: 齐振宏(ORCID:0009-0002-9610-7680), 教授, 博士生导师, 主要从事农业绿色经济研究, E-mail: qizhh@mail.hzau.edu.cn

techniques will bring the problem of food security. 2) The threat effect of rice and crayfish co-culture techniques on food security is not sustainable. With the continuation, normalization and standardization of rice and crayfish co-culture techniques adopted by farmers, the threat effect of rice and crayfish co-culture techniques on food security may gradually fade. 3) The threat effect of rice and crayfish co-culture techniques on food security is heterogeneous in endowment conditions. The option of rice and crayfish co-culture techniques by small-scale farmers is limited effect on food security, while the adoption of rice and crayfish co-culture techniques by large-scale farmers has significant threat effect on food security. Compared with the farmers with non-farm employment and low household income, the farmers without non-farm employment and high household income adopted rice crayfish co-culture techniques, the techniques display a greater threat effect on food security. 4) The age, education level, physical condition, land endowment and factor input of farmers are the important factors affecting the adoption behavior of rice and crayfish co-culture techniques and the total rice yield. Therefore, it is necessary to popularize standardized production, strengthen the supervision of rice and crayfish co-culture techniques and promote rice and crayfish co-culture techniques in a targeted way.

**Keywords** rice crayfish co-culture techniques; adoption behavior; food security; threat effects

一直以来,中国农业以高投入、高产出和高能耗为特征,其环境代价高达农业GDP的近10%,发展绿色农业势在必行<sup>[1]</sup>。尤其是在农业高质量发展的目标下,如何推进农业绿色转型更是中国政府面临的重要课题。在此背景下,稻虾生态种养技术应运而生。该技术充分利用生态耦合共生原理,将水稻种植与小龙虾养殖有机结合,通过物种互惠和资源互补,促进了水稻与小龙虾之间资源循环利用及稻田生态环境改善,实现了“一田双收、一水两用”,被农业农村部誉为“现代农业发展的成功典范,现代农业的一次革命”,由此成为促进我国农业绿色转型发展的重要抓手<sup>[2-3]</sup>。然而,随着稻虾生态种养技术在长江中下游地区的“井喷式”发展,稻虾生态种养与国家粮食安全的关系备受关注。

理论上,稻虾生态种养具有“不与人争粮”、“不与粮争地”、“天然绿色”的优良属性;但现实中,稻虾生态种养却受到了“与人争粮”、“与粮争地”的质疑<sup>[4]</sup>,尤其是种粮的比较收益低,农户种粮积极性受损。因此部分农户产生了“重虾轻稻”等片面思想,存在压缩水稻种植面积、对水稻粗放式管理等短视行为,不仅使得水稻产量难以保证,而且也违背了国家“以稻为主,稳粮增收”宗旨,进而可能带来粮食数量安全隐患<sup>[5]</sup>。

虽然我国粮食供给数量基本充足,但今后一个时期粮食需求将持续增加<sup>[6]</sup>。农户在稻虾生态种养过程中的短视思想和行为,将加大粮食持续增产压力。当前,我国的粮食安全保障处于最好的历史时期,数量安全是重中之重<sup>[7]</sup>。中国作为人口大国,数

量安全是保障粮食安全的基础和必然条件,是满足未来粮食消费和促进新格局形成的最坚实保障,更是应对复杂形势和突发事件的压舱石<sup>[8]</sup>。因此,探究稻虾生态种养技术和粮食数量安全之间的关系,对于评价稻虾生态种养技术作为我国农业绿色发展重要抓手的可持续性,进而更好地对接国家粮食安全保障和绿色发展战略有着重要意义。

有鉴于此,学术界对稻虾生态种养技术与粮食数量安全之间的关系进行了些许探讨,但截至目前,既往研究对二者的影响关系如何尚未达成共识。一种观点认为稻虾生态种养技术有利于保障国家粮食数量安全。曹凑贵等<sup>[2]</sup>基于潜江市的研究表明,稻虾生态种养对水稻产量的影响微乎其微,尽管稻虾生态种养开挖环沟挤压了水稻种植面积,但是水稻单产并未减少。不仅如此,稻虾生态种养还能通过改善稻田综合环境,促进水稻增产<sup>[9]</sup>。因此,因地制宜地采纳稻虾生态种养技术,并配合科学的饲料管理等措施,将使得稻虾生态种养的水稻产量较水稻单作高出5%~7%<sup>[10]</sup>。另一种观点则认为稻虾生态种养会威胁国家粮食数量安全。因稻虾生态种养会导致水稻植株的有效穗数和每穗粒数降低,进而对水稻产量产生不利影响<sup>[11-12]</sup>。曹凑贵等<sup>[2]</sup>针对湖北省20个稻虾生态种养生产示范点的水稻单产进行采样测产,结果显示示范点的水稻平均产量为6.4 t/hm<sup>2</sup>,远低于湖北省水稻平均单产。与此同时,亦有实验数据表明,长江中下游地区稻田综合种养水稻产量低于水稻单作,其中稻虾生态种养技术之下水稻产量减少了5%~20%<sup>[13-14]</sup>。

更进一步地,区域上的不适应性也会导致稻虾生态种养的水稻产量较水稻和油菜轮作降低30%~50%<sup>[15]</sup>。

已有文献为本研究提供了重要的参考和借鉴,但是研究结论的分歧使得稻虾生态种养技术与国家粮食数量安全之间的关系尚不明确。究其原因,已有研究大多是基于试验田或者示范区,并采用自然科学实验数据证明稻虾生态种养技术对国家粮食数量安全的影响,忽视了农户行为的作用。即已有的稻虾生态种养技术对粮食数量安全影响的研究本质上仍停留在理论层面,是在严格控制外部条件的情形下进行的。但实际中,农户是稻虾生态种养技术采纳的主体,其技术采纳和操作存在较强的区域和个体差异性,其技术采纳条件也并非严格控制的,试验田或者示范区的水稻产量观测结果不能代表农户采纳稻虾生态种养技术的水稻产出。因此,本研究将从理论和实践的双重视角出发,基于长江中下游地区2023年的农户微观调查数据,充分考虑农户行为的作用,采用经济学方法,检验和揭示稻虾生态种养技术与粮食数量安全之间的关系,以期为稻虾生态种养技术的进一步推广和可持续发展提供数据支撑和政策建议。

## 1 稻虾生态种养技术对粮食数量安全的影响效应分析

稻虾生态种养技术对粮食数量安全的影响主要体现在对水稻产量的影响上。稻虾生态种养作为最具典型性的稻渔综合种养技术,优质高产是其重要理论属性。但是随着该技术在长江中下游地区的普及和推广,其开始遭受到威胁粮食数量安全的质疑。因此,稻虾生态种养技术对粮食数量安全的影响可能存在保障效应,也可能存在威胁效应。即理论上可能的保障效应,和实践中可能的威胁效应并存,而最终稻虾生态种养技术对粮食数量安全实际的影响方向取决于两者的相对大小比较。

### 1.1 稻虾生态种养技术对粮食数量安全的保障效应

稻虾生态种养技术之所以能促进水稻增产,进而保障我国粮食数量安全,主要是源于稻虾生态种养技术的本质特征。与水稻单作相比,稻虾生态种养过程中小龙虾的养殖直接地促进了水稻生长发育,有利于水稻增产。具体体现在以下4个方面:

1)增强肥力。稻田养殖小龙虾之后,小龙虾通过取食稻田中的杂草、虫卵和枯枝落叶等,将其变成水稻生长发育所需的肥料,有利于稻田养分循环,为水稻生长提高系统生产力<sup>[16-17]</sup>。

2)改良土壤。一方面,稻虾生态种养过程中,小龙虾在田间活动起到了中耕松土的作用,可以改良土壤养分结构和透气条件,改善土壤物理化学性质,进而提高对应田块的水稻产量;另一方面,由于小龙虾饲料投入,稻虾田中氮、磷含量,硝态氮和铵态氮的含量均显著高于水稻单作,有利于水稻生产<sup>[18]</sup>。

3)调节水质。区别于水稻单作,稻虾种养期间,小龙虾在田间捕食、打洞,提高了水的溶解氧,有利于水稻根系的生长发育和对营养物质的吸收<sup>[19-20]</sup>。

4)边行效应。小龙虾在沟坑内活动相对频繁,虾沟两旁的害虫更易被取食,土壤有机质含量可能因小龙虾排泄物而变得更高,虾沟附近灌溉水及耕作层含氧量也因小龙虾的活动而增高<sup>[21]</sup>。因而稻虾生态养种的植株栽培采用宽行窄株,并适当增加密度,充分利用边行优势,增强稻田的通风性和有效光照面积并降低相对湿度,有利于水稻分蘖,增产效果明显<sup>[22]</sup>。

### 1.2 稻虾生态种养技术对粮食数量安全的威胁效应

稻虾生态种养技术之所以会对粮食数量安全产生威胁效应,其关键在于农户个体理性和国家集体理性是相背离的。政府推广稻虾生态种养技术的初衷是转变中国农业高投入、高产出和高能耗的发展方式,推动农业绿色转型发展。然而农户作为理性的经济人,其采纳稻虾生态种养技术以利益最大化为目标。面对稻虾生态种养技术之下小龙虾和水稻价值的悬殊,重虾轻稻行为不可避免。由此,导致水稻增产受阻,进而威胁到粮食数量安全。主要表现在以下3个方面:

1)压缩水稻种植面积。种植水稻的比较收益低,劳动力投入大,但是市场价格低。相比之下,小龙虾的市场价格高,大概是水稻的2~3倍。因此,农户的种稻积极性备受打击,养殖小龙虾的热情高涨。某些农户更是大肆拓宽虾沟,无视稻虾生态种养沟坑占比不得超过稻田面积10%的规定,超标挖沟,出现“虾进稻退”、“以虾挤稻”的情况。更有甚

者,直接改变土地利用性质,将水稻田改为小龙虾精养池,“以虾代稻”,出现“非粮化”的情形,使得水稻生产面临着前所未有的减产风险<sup>[23]</sup>。

2)推迟水稻播种或移栽时间。一般而言,小龙虾集中上市时间结束后,6月中旬至8月,小龙虾价格会再次上涨,而6月初正值水稻播种<sup>[24]</sup>。因此,农户为延长小龙虾收获时间,增加小龙虾捕获量,在虾价较高时收获小龙虾,会选择推迟水稻直播或移栽时间,选择在6月底播种水稻。虽然小龙虾经济收益得以保障,但水稻播种期的推迟增加了水稻在抽穗期受高温影响的概率,同时缩短了水稻全生育期,进而导致水稻减产。

3)不合理地减少要素投入。一是不合理地减少农药投入。小龙虾对比水稻具有更高的经济价值。农户作为理性的经济人,采纳稻虾生态种养技术后,因担心化学农药对小龙虾有不良影响,会自觉地减少农药的施用量和次数,弱化甚至是放弃对水稻病虫害的防治。稻虾生态种养虽能对稻飞虱、二化螟等虫害进行有效地控制,但是对水稻草害的控制效果有限,对水稻病害也显得无能为力<sup>[25]</sup>。已有研究表明,水稻属于损失率较高的农作物<sup>[26]</sup>。因此,稻虾生态种养虽能对水稻虫害进行一定程度的控制,但农户盲目地减少农药施用量,使得稻虾生态种养中的水稻生产依然面临着草害和病害的侵袭,最终可能呈现水稻减产的情形。二是不合理地减少化肥投入。农户采纳稻虾生态种养技术后,小龙虾对水质要求高,化肥投入可能会使得稻虾田水体富营养化,导致小龙虾死亡。基于此,经济理性导向的农户为了保障小龙虾产量和经济收益,选择在稻虾田中少施或者不施化肥<sup>[27]</sup>。然而化肥的施用是增加土壤肥力、提高农作物产量的重要因素<sup>[28]</sup>。小龙虾饲料残留物和生理排泄物虽能有效增加水稻田中氮、磷、硝态氮及氨态氮的含量,从而为水稻的生长提供部分养料<sup>[16-17]</sup>。但是化肥对水稻产量的重要作用是很难被替代的。因此,农户盲目地少施或者不施化肥,虽保障了小龙虾产量和收益的稳定性,却是以牺牲水稻产量为代价的。

## 2 数据来源与研究设计

### 2.1 数据来源

本研究数据来源于课题组2023年4月在长江中下游地区的湖北、湖南和江西3个省针对农户

2022年的农业生产情况进行的实地调查。调研区域的选择主要基于以下3个方面考虑:1)地理环境。长江中下游地区多属亚热带季风气候,地形平坦,土壤以水稻土为主,河网密布,适宜稻虾生态种养技术的推广和发展。2)农业发展情况。长江中下游地区农业生产的集约化程度高。近几年,稻虾生态种养技术在长江中下游地区更是呈“井喷式”发展。截止2022年,长江中下游地区的湖北省、湖南省和江西省成为了我国稻虾生态种养代表性主产区。3)课题研究需要。根据课题研究目的,调查内容围绕农户的稻虾生态种养技术采纳状况、水稻产出、要素投入、农业收入、个体特征、家庭特征等情况展开。因此,在兼顾各个县(市、区)稻虾生态种养发展程度、地理位置等的基础上,初步地在3个省中各选取3个县(市、区),包括湖北省的潜江市、钟祥市和阳新县,湖南省的沅江市、临湘市和安乡县,江西省的彭泽县、余干县和新余市,共9个县(市、区)。

本次调研综合采用了多阶段分层随机抽样和固定样本量抽样法。第一阶段,确定乡镇。在选取的9个县(市、区)中,各抽取4个乡镇,则共有36个乡镇。4个乡镇的抽取原则为,各个县(市、区)向调查组推荐1个稻虾生态养的经典乡镇,调查组以经典乡镇为参照,按照地理位置(东南西北)另选3个乡镇,共4个乡镇。第二阶段,确定村庄。在每个乡镇中按照地理位置随机抽取2个村庄,则共有72个村庄。第三阶段,确定农户。每个村庄从水稻户和稻虾户中各抽取约7个熟悉家庭农业生产的成员进行面对面的问卷访谈,则共有水稻+稻虾户样本1008个。剔除信息缺失过多,前后矛盾不一致的问卷,最终获取有效问卷890份,其中湖北省306份,湖南省319份,江西省265份,总体问卷有效率为88.29%。

## 2.2 变量设置及描述性统计

### 2.2.1 被解释变量

粮食数量安全。数量安全是粮食安全的核心<sup>[29]</sup>。参考已有研究<sup>[30-31]</sup>,衡量粮食数量安全的指标主要包括亩产量和总产量等。但本研究关注的是稻虾生态种养技术对粮食数量安全的影响,若用亩产量衡量粮食数量安全,则会掩盖稻虾生态种养技术通过压缩水稻种植面积对粮食数量安全产生影响。因此,本研究利用农户家庭的“水稻总产量”

衡量粮食数量安全。

### 2.2.2 解释变量

技术采纳行为。本研究关注的是稻虾生态种养技术与粮食数量安全之间的影响关系,因此采用题项“是否采纳稻虾生态种养技术”来测量农户的技术采纳行为,并采用二元赋值法,1表示采纳该技术,0表示未采纳该技术。因稻虾生态种养作为一种新型的农业生产技术,农户出于风险和收益考量,对该技术的采纳是需要经过尝试后逐步拓展,并非所有农户都采纳了稻虾生态种养技术。另外,稻虾生态种养对农田的平整性、连片性、灌溉等客观条件要求极高,农户在实际生产中不止采用一种农业技术,稻虾生态种养只是其中一种<sup>[28]</sup>。

### 2.2.3 控制变量

本研究控制了其他可能影响水稻总产量的变量,包括个体特征、家庭特征、经营特征和技术认知

4个方面。其中个体特征包括年龄、文化程度和身体状况;家庭特征包括劳动力、家庭收入;经营特征包括土地流转、土地细碎化、经营规模、农药和化肥投入;技术认知包括难度认知。最后,本研究设置了地区虚拟变量以控制区域固定效应。

### 2.2.4 工具变量

村级技术采纳率。为了保证模型的可识别性,选择方程至少需要有一个有效的工具变量。该工具变量会影响农户的稻虾生态种养技术采纳行为,但不直接影响农户家庭的水稻总产量。经过对多个变量的分析,本研究将“村级技术采纳率”作为识别变量。从同群效应看,村级采纳率越高,农户采纳稻虾生态种养技术的概率越大<sup>[32]</sup>。但由于该变量属于村级层面的变量,所以很难影响到个体农户家庭的水稻总产量。表1示出所有变量的详细定义和描述统计信息。

表1 变量描述性统计  
Table 1 Descriptive statistics

变量类型 Variable type	名称 Name	定义与赋值 Definition and assignment	均值 Mean	标准差 Standard deviation
被解释变量 Dependent variable	粮食数量安全	水稻总产量,t	91.810	201.524
解释变量 Independent variable	技术采纳行为	是否采纳稻虾生态种养技术: 1=是;0=否	0.727	0.446
	年龄	户主年龄,岁	54.489	8.958
	文化程度	户主受教育年限,年	8.404	3.236
	身体状况	户主身体状况:1=非常差;2=不太好; 3=一般;4=良好;5=非常好	4.420	0.737
	劳动力	家庭中主要从事农业生产的人数,人	1.796	0.639
	家庭收入	2022年家庭总收入,万元	51.106	99.581
	土地流转	是否转入(出)土地:1=是;0=否	0.747	0.435
控制变量 Control variable	土地细碎化	每一地块的面积,hm <sup>2</sup>	7.140	18.070
	经营规模	实际耕作面积,hm <sup>2</sup>	11.350	23.830
	农药投入	农药投入总费用,万元	1.892	4.411
	化肥投入	化肥投入总费用,万元	3.550	8.422
	难度认知	认为技术采纳门槛高:1=非常不同意; 2=不同意;3=一般;4=同意;5=非常同意	3.785	0.896
	地区虚拟	是否湖南:1=是;0=否	0.358	0.480
		是否江西:1=是;0=否	0.298	0.458
工具变量 Instrumental variable	村级技术采纳率	除农户自身外本村其他农户采纳稻虾生态种养技术的占比,%	72.285	34.990

## 2.3 模型构建与研究方法

### 2.3.1 农户的稻虾生态种养技术采纳决策

农户的稻虾生态种养技术采纳决策是一个十分复杂的过程。一般地,假定农户的稻虾生态种养技术采纳行为为 $D_i$ ,农户的稻虾生态种养技术采纳决策可以简单地分为采纳( $D_i=1$ )和未采纳( $D_i=0$ )2种。假定农户采纳稻虾生态种养技术的收益为 $D_A^*$ ,未采纳稻虾生态种养技术的潜在收益为 $D_N^*$ 。农户作为理性的经济人,只有当采纳稻虾生态种养技术的收益大于未采纳的收益时,农户才会做出稻虾生态种养技术采纳决策,即当且仅当 $D_A^* - D_N^* = D_i^* > 0$ 时,农户才会愿意采纳稻虾生态种养技术。因此,本研究借助如下模型考察农户的稻虾生态种养技术采纳决策:

$$D_i = \begin{cases} 1, & D_i^* > 0 \\ 0, & D_i^* \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

### 2.3.2 效应评估与选择偏误

本研究的目的是定量分析稻虾生态种养技术对粮食数量安全的影响。假设水稻总产量 $Y_i$ 是稻虾生态种养技术采纳行为 $D_i$ 和其他变量 $X_i$ 的线性函数,则回归方程可设定如下:

$$Y_i = X_i\alpha + D_i\gamma + \epsilon_i \quad (2)$$

式中: $X_i$ 为个体特征(年龄、文化程度等)、家庭特征(劳动力、家庭收入等)、经营特征等外生解释变量; $\alpha$ 、 $\gamma$ 为待估系数; $\epsilon_i$ 为随机误差项。

如果农户的稻虾生态种养技术采纳行为( $D_i$ )是外生的,则可以直接利用最小二乘法分析稻虾生态种养技术对粮食数量安全的影响。然而,农户作为理性的经济人,稻虾生态种养技术采纳决策是基于多方面因素综合考量的结果,也即是说农户的稻虾生态种养技术采纳是一种自选择行为。此外,式(1)及式(2)中包含的不可观测变量会同时影响农户的稻虾生态种养技术采纳行为和水稻总产量。此时,利用最小二乘法估计得到的结果肯定是有偏的。

### 2.3.3 计量方法

本研究利用处理效应模型来分析稻虾生态种养技术对粮食数量安全的影响。该模型在消除稻虾生态种养技术采纳行为的选择性偏差和内生性问题时,可以同时考虑可观测和不可观测因素对农户稻虾生态种养技术采纳行为和水稻总产量的影响。此外,该模型可直接估计稻虾生态种养技术采纳行为对水稻总产量影响的平均处理效应,进而更

深入地展现稻虾生态种养技术与粮食数量安全之间的关系。

处理效应模型由2阶段组成:第一阶段为选择方程,即式(1),考察农户稻虾生态种养技术采纳决策的影响因素;第二阶段为结果方程,即式(2),考察农户的稻虾生态种养技术采纳行为和其他因素对水稻总产量的影响。

处理效应模型估计结果直接反映了稻虾生态种养技术采纳行为对水稻总产量影响的边际效应,即农户采纳稻虾生态种养技术的概率从0到1变化时,水稻总产量的变化情况。要考察稻虾生态种养技术采纳行为对水稻总产量的平均处理效应(ATE),进而估计稻虾生态种养技术对粮食数量安全的影响,由如下方程计算:

$$ATE = E(Y_i | D_i = 1) - E(Y_i | D_i = 0) \quad (3)$$

式中: $E(Y_i | D_i = 1)$ 表示农户采纳稻虾生态种养技术时的水稻总产量; $E(Y_i | D_i = 0)$ 表示农户未采纳稻虾生态种养技术时的水稻总产量。根据式(3)计算的平均处理效应控制了由可观测和不可观测因素等可能引起的估计偏误问题,进而更加准确地考察稻虾生态种养技术对粮食数量安全的影响。

## 3 模型估计结果与分析

### 3.1 工具变量合理性检验

为保证工具变量选择的合理性,本研究利用两阶段最小二乘法对其进行有效性检验。第一阶段回归的稳健F统计值为519.435,远大于常用的临界值10,且Stock-Yogo检验得到的最小特征根统计值为634.009,大于LIML统计量的临界值8.960。因此,本研究工具变量的选取是有效的。

### 3.2 处理效应模型适用性检验

本研究采用处理效应模型和最小二乘法就稻虾生态种养技术对粮食数量安全的影响进行估计,结果见表2。Wald内生性检验在1%的显著性水平上拒绝了选择方程和结果方程相互独立的假设。残差相关性为正,且在1%的统计水平上显著,说明存在正向的选择性偏差,即水稻总产量高于平均水平的农户更可能采纳稻虾生态种养技术。背后的原因可能是水稻总产量高的农户可能具备更强的农业生产和经营能力,因而能为其稻虾生态种养技术采纳提供一定的优势。此外,正向选择偏差也意味着最小二乘法将低估稻虾生态种养技术采纳行为对水稻总产量的影

响。表2示出最小二乘法中稻虾生态种养技术采纳行为的估计系数绝对值远小于处理效应模型中结果

方程的估计系数,也印证了这一点。总之,利用处理效应模型对样本数据进行分析是合适的。

表2 稻虾生态种养技术采纳行为对水稻总产量影响的估计结果  
Table 2 Effects of rice and crayfish co-culture techniques on total rice yield

变量 Variable	处理效应模型 Treatment effect model		最小二乘法 Least square method
	选择方程 Selection equation	结果方程 Outcome equation	
采纳行为 Adoption behavior	—	-109.431***(-12.275)	-87.558***(-10.421)
年龄 Age	-0.020**(0.008)	-0.634(0.514)	-0.516(0.516)
文化程度 Education	0.028(0.020)	2.232*(1.339)	2.214(1.347)
身体状况 Health	0.195**(0.090)	18.628***(-6.017)	16.146***(-6.007)
劳动力 Labor	-0.074(0.100)	1.951(6.431)	1.037(6.463)
家庭收入 Household income	0.010***(-0.002)	-0.013(0.062)	-0.027(0.062)
土地流转 Land transfer	0.540***(-0.166)	36.249***(-10.807)	31.817***(-10.789)
土地细碎化 Land fragmentation	0.000(0.000)	-0.144***(-0.023)	-0.146***(-0.024)
经营规模 Scale	-0.001***(-0.000)	0.449***(-0.020)	0.454***(-0.020)
农药投入 Pesticide input	-0.031***(-0.012)	1.283**(-0.600)	1.440**(-0.602)
化肥投入 Fertilizer input	0.001*(0.001)	-0.045(0.032)	-0.052(0.032)
难度认知 Difficulty cognition	-0.048(0.072)	1.1463(4.622)	1.178(4.649)
村庄采纳率 Adoption environment	3.076***(-0.204)	—	—
是否湖南 Is it Hunan	0.038(0.168)	13.747(9.999)	12.605(10.053)
是否江西 Is it Jiangxi	-0.286(0.192)	49.430***(-11.952)	54.452***(-11.927)
常数项 Constant	-2.157**(-0.192)	-6.601(52.218)	-11.685(52.509)
残差相关性 Residual correlation	0.191***(-0.059)	—	—
残差协方差 Residual covariance	4.793***(-0.024)	—	—
内生性检验 Wald chi2	1 603.220***	—	—
对数似然值 Log likelihood	-5 762.576	—	—
样本数 Sample size		890	

注:括号中的数据为标准误。\*、\*\*、\*\*\*分别表示在10%、5%、1%的统计水平显著,下表同。

Note: The data in parentheses are standard errors. \*, \*\* and \*\*\* indicate that the statistical levels are significant at 10%, 5% and 1%, respectively. The following table is the same.

### 3.3 稻虾生态种养技术采纳行为对水稻总产量影响的平均处理效应

基于处理效应模型,预测出采纳和未采纳稻虾生态种养技术农户的水稻总产量,进而测算出稻虾生态种养技术对粮食数量安全影响的平均处理效应。结果表明,采纳和未采纳稻虾生态种养技术农户的水稻总产量分别为74.258和132.545 t。稻虾生态种养技术采纳行为对水稻总产量影响的平均

处理效应为-58.287,且在1%的统计水平上显著,对应的变化率为-43.975%。即农户采纳稻虾生态种养技术后,从总量看,水稻将会减产43.975%。该减产率表明,稻虾生态种养技术对粮食数量安全存在着威胁效应。

为证明该结论的可靠性,本研究进一步采用课题组在2019年于湖北、湖南、安徽3省和2021年于江汉平原地区9个县(市、区)的稻虾生态种养调查

数据,再次对稻虾生态种养技术与粮食数量安全之间的关系进行检验。表3示出基于分年检验的结果,表明稻虾生态种养技术对粮食数量安全依旧发挥着威胁效应。2019和2021年的调研数据估计结果显示,农户采纳稻虾生态种养技术后,对应的水稻总产量分别下降了29.968%和41.469%。

**表3 基于分年检验的稻虾生态种养技术采纳行为对水稻总产量影响的平均处理效应**

Table 3 Average treatment effect of adoption behavior of rice and crayfish co-culture techniques on total rice yield based on annual test

年份 Year	平均处理效应 Average treatment effect	变化/% Change	样本数 Sample size
2019	-15.026**	-29.968	983
2021	-9.503***	-41.469	1 074

实证结果(表3)表明,在2019和2021年稻虾生态种养技术依旧负向影响粮食数量安全。因此,结合2019、2021和2023年的样本,在稻虾生态种养技术对粮食数量安全的影响中,威胁效应占据了主导。究其原因,农户作为理性的经济人,利益最大化是农户稻虾种养过程中重要的技术操作准则。一般而言,小龙虾的市场价格是水稻的2~3倍。因此,农户在农业生产中,为了提高小龙虾产量以获取更高的经济收益,可能会置水稻产量于不顾。例如,为了收获更多的小龙虾,会在稻田中违规拓宽虾沟面积,导致水稻种植面积减少。与此同时,为了延长小龙虾收获时间,会推迟水稻播种时间,不仅缩短了水稻发育期,也增加了水稻受到高温影响的概率。此外,为了保证小龙虾的活性,盲目地减少水稻所需的农药和化肥施用量,使水稻生长缺乏必要的养分,同时还要面临病虫害的侵袭。由此,农户采纳稻虾生态种养技术后,水稻减产明显,进而威胁到粮食数量安全。

### 3.4 讨论

近几年,稻虾生态种养技术在长江中下游地区呈“井喷式”发展。若3.3中所述的威胁效应是持续且不可逆的,是否意味着稻虾生态种养技术的推广和发展应该被立即“叫停”?为此,本研究基于已有数据进行了进一步探究。

表4示出基于2023年课题组调研数据的分省检验结果,其中湖南省和江西省的样本显示稻虾生态种养技术对粮食数量安全有着显著的威胁效应。因农户采纳稻虾生态种养技术后,湖南省的水稻总产量下降了47.326%,江西省的水稻总产量下降了15.795%。值得注意的是,湖北省的样本显示稻虾生态种养技术对粮食数量安全有着显著的保障效应。农户采纳稻虾生态种养技术后,水稻总产量将增加356.423%。该结论与3.3中的实证结论有着显著差异,可能的解释是湖北省是稻虾生态种养技术的发源地和主要推广区域,标准化种养程度较高<sup>[33]</sup>。稻虾生态种养是第一大稻渔生态种养技术。截止2022年,湖北省的稻渔生态种养面积达53.471万hm<sup>2</sup>,位居全国第一,占全国稻渔生态种养面积的18.67%<sup>[34]</sup>。与此同时,2018—2022年,湖北省针对稻虾生态技术的发展先后发布了《湖北省推广“虾稻共作、稻渔种养”模式三年行动方案》、《湖北省“虾稻共作稻渔种养”产业发展规划(2019—2022年)》等文件<sup>[35-36]</sup>,以完善稻虾生态种养技术体系,规范农户的技术操作行为。因此,一定程度上抑制了重虾轻稻行为的发生,使水稻产量得到了保障。相比之下,湖南省和江西省的稻虾生态种养技术发展程度相对低,其稻渔生态种养面积分别占全国的12.43%和5.27%<sup>[34]</sup>。由此,在发展的标准化程度、技术操作的规范度上难免存在一定的差距,易出现农户因追逐经济收益而重虾轻稻的现象,进而造成水稻减产,威胁粮食数量安全。

**表4 基于分省检验的稻虾生态种养技术采纳行为对水稻总产量影响的平均处理效应**

Table 4 Average treatment effect of rice- and crayfish co-culture techniques on total rice yield based on provincial test

省份 Province	平均处理效应 Average treatment effect	变化/% Change	样本数 Sample size
湖北 Hubei	47.333***	356.423	306
湖南 Hunan	-35.918***	-47.326	319
江西 Jiangxi	-32.158***	-15.795	265



为避免结果(表4)的偶然性进而导致研究结论的偏差,本研究进一步筛选了2019和2021年调研数据中湖北省的样本,对稻虾生态种养技术与粮食数量安全之间的关系进行了再检验。表5示出湖北省样本的检验结果,表明稻虾生态种养技术对粮食数量安全的威胁效应正在逐步消退。具体而言,2019和2021年农户采纳稻虾生态种养技术后,对应的水稻总产量减产率由59.615%降至41.469%。截止2023年,稻虾生态种养技术对粮食数量安全的影响已由威胁效应转变为了保障效应,即2023年农户采纳稻虾生态种养技术后,水稻总产量由之前的下降变为上升,对应的增产率为356.423%。

表5 基于湖北省样本的稻虾生态种养技术采纳行为对水稻总产量影响的平均处理效应

Table 5 Average treatment effect of rice and crayfish co-culture techniques on total rice yield based on samples in Hubei province

年份 Year	平均处理效应 Average treatment effect	变化/% Change	样本数 Sample size
2019	-10.209***	-59.615	330
2021	-9.503***	-41.469	1 074
2023	47.333***	356.423	306

因此,从总体上看稻虾生态种养技术对粮食数量安全有着威胁效应。但是从湖北省历年的发展结果来看,此种威胁效应将会随着稻虾种养年限的延长逐步消退。可能的解释是:一方面,“干中学”效应的发挥,促进了农户稻虾生态种养的逐步标准化;另一方面,随着稻虾生态种养技术的推广,部分地区和部门意识到了追求绿色发展的同时粮食安全的底线不能放松,进而出台了相关政策和规定对农户稻虾生态种养技术的操作和采纳行为进行规范和约束,因而一定程度上规避了水稻减产的风险。

### 3.5 异质性分析

一般而言,农户基于相对禀赋条件所做出的技术采纳决策,会对采纳技术后的农业生产产生影响<sup>[37]</sup>。然而现实中,由于农户禀赋条件的差异,注定了稻虾生态种养技术对粮食数量安全的影响存在异质性。因此,本研究在参考已有研究<sup>[38]</sup>的基础上,从经营规模、非农就业、家庭收入3个指标考察农户因土地、劳动、资本等农业生产要素禀赋差异导致的稻虾生态种养技术对粮食数量安全的异质

性影响。

表6示出不同土地、劳动、资本禀赋条件下稻虾生态种养技术对粮食数量安全的异质性影响。其中,基于经营规模的异质性分析结果显示,小农户采纳稻虾生态种养技术会对粮食数量安全产生一定的保障效应,但是作用有限。可能的原因是稻虾生态种养技术虽经济效益突出,但采纳稻虾生态种养技术属于一种风险行为。一方面,小农户抗风险能力差,可能倾向于小规模采纳或者不采纳稻虾生态种养技术,以此规避风险;另一方面,小农户即使敢于承担风险,但受制于耕地有限,也不具备大规模采纳稻虾生态种养技术的条件。因此,该部分农户采纳稻虾生态种养技术对粮食数量安全的影响十分有限。相比小农户,规模农户采纳稻虾生态种养技术会极大地威胁粮食数量安全,其采纳稻虾生态种养技术将会导致水稻减产55.260%。因规模农户耕地禀赋充足,具备规模扩张的条件。一旦采纳稻虾生态种养技术达到了农户的预期收益,规模户就会利用手中的耕地扩大稻虾生态种养技术的采纳规模。该过程不仅使农户获得更大的技术和规模收益,也会加剧稻虾生态种养技术对粮食数量安全的威胁。非农就业的异质性分析结果显示,无论农户是否参与非农就业,只要其采纳了稻虾生态种养技术,就会对粮食数量安全产生不利影响。相比之下,未参与非农就业的家庭采纳稻虾生态种养技术对粮食数量安全的威胁更大。因农户参与非农就业,意味着其家庭收入来源的多元化,一定程度上降低了农户对农业收入的依赖程度。而未参与非农就业,农业收入就成了家庭最主要的收入来源。此种情况下,农户不仅有着较高的稻虾生态种养技术采纳积极性,而且在采纳后为了追逐更高的经济收益,出现“重虾轻稻”行为的概率也更大。由此,将会对粮食数量安全产生更大的威胁。相应地,无论是高收入或低收入家庭,采纳稻虾生态种养技术都会对粮食数量安全产生威胁。相比之下,低收入家庭采纳稻虾生态种养技术对粮食数量安全的威胁更大,减产率达37.569%。因低收入家庭可能对农业收入的依赖性更强。稻虾生态种养技术经济效益突出,是低收入农户家庭提升收入的重要途径。所以低收入家庭采纳稻虾生态种养技术对粮食数量安全的威胁更明显。

表6 基于禀赋异质性的稻虾生态种养技术对水稻总产量影响的平均处理效应

Table 6 Average treatment effect of rice and crayfish co-culture techniques on total rice yield based on endowment heterogeneity

禀赋条件 Endowment condition	平均处理效应 Average treatment effect	变化/% Change	样本数 Sample size
小农户 Small household	0.193***	-2.101	385
规模户 Scale household	-144.366***	-55.260	505
参与非农就业 Non-farm employment	-0.113***	-33.812	442
未参与非农就业 No non-farm employment	-73.002***	-90.281	448
高收入 High income	-54.395***	-18.789	218
低收入 Low income	-17.464***	-37.569	672

### 3.6 其他变量对稻虾生态种养技术采纳行为及水稻总产量的影响

在处理效应模型的选择方程中,年龄、经营规模和农药投入显著负向影响农户的稻虾生态种养技术采纳行为。除资金密集型属性外,稻虾生态种养亦属劳动力密集型农业技术。而农户随着年龄的增长,个体劳动能力逐渐降低<sup>[39]</sup>。与此同时,农户经营规模越大,意味着其生产模式转换和采纳新技术的成本就越高,因而规模农户缺乏新技术采纳动力。此外,农户的农药投入越高,就越表明农户的绿色生产意识薄弱,很难意识到稻虾生态种养技术的环境友好属性,不倾向于采纳该技术。相应地,身体状况、土地流转、家庭收入和化肥投入显著正向影响农户的稻虾生态种养技术采纳行为。劳动力密集是稻虾生态种养技术的属性之一。农户的身体状况足够好,才有体力和精力对水稻和小龙虾加以管理。转出(入)土地有利于农户的适度规模经营,促进土地、劳动、资本等要素合理配置,进而激发农户的技术采纳行为<sup>[40]</sup>。而资金密集是稻虾生态种养技术的又一属性,农户家庭收入越高,则越有可能具备采纳新技术的资本条件。化肥投入是农户农业生产中的重要支出。稻虾生态种养技术可以实现虾粪肥田,以虾养稻。因此农户出于节约化肥成本的考虑,可能会采纳稻虾生态种养技术。

在结果方程中,文化程度、身体状况、经营规模、土地流转和农药投入均显著正向影响水稻总产量。农户的文化程度和身体状况直接影响其农业生产的科学化和专业化程度,进而对水稻产量产生影响。经营规模和土地流转则影响农户稻虾生态种养的适度规模经营,通过生产要素的配置作用于

水稻产量。与此同时,水稻属于病虫害损失率较高的作物。农药投入越高,表明农户进行了较为严格和频繁的水稻病虫害防治工作,进而有利于保证水稻产量。相应地,土地细碎化程度过高则会妨碍农户的适度规模经营进程,因而会对其水稻产量产生不利影响。

## 4 结论与政策建议

本研究基于理论和实证分析,探究了稻虾生态种养技术与粮食数量安全之间的关系,得到如下结论:

1) 稻虾生态种养技术会带来粮食数量安全问题。稻虾生态种养技术对粮食数量安全存在着显著的威胁效应,农户采纳稻虾生态种养技术后,水稻总产量将下降43.975%。

2) 稻虾生态种养技术对粮食数量安全的威胁效应并非是持续的。随着农户稻虾生态种养技术采纳行为的持续化、规范化及标准化,稻虾生态种养技术对粮食数量安全的威胁效应可能会逐渐消退。

3) 稻虾生态种养技术对粮食数量安全的威胁效应存在着禀赋条件异质性。小农户采纳稻虾生态种养技术对粮食数量安全的保障作用有限,规模农户采纳稻虾生态种养技术对粮食数量安全有着显著的威胁效应。此外,相比非农就业和低家庭收入的农户,未参与非农就业和高家庭收入的农户采纳稻虾生态种养技术对粮食数量安全的威胁效应更大。

4) 农户的年龄、文化程度、身体状况、土地禀赋及要素投入是影响农户稻虾生态种养技术采纳行为和水稻总产量的重要因素。

基于上述研究结论,提出如下政策建议:

1)普及标准化生产。着力完善稻虾生态种养标准体系,规范沟坑占比、苗种投放和播种、饲养管理、捕捞等生产技术规程。一方面,将此作为农户农业技术采纳和操作的重要遵循,约束农户的行为,抑制重虾轻稻等违规行为产生;另一方面,可将此作为农户行为是否违规的重要判断标准,在发现农户有违背技术规程的行为后,及时予以批评教育或者惩罚,进而推广真正绿色、生态、高效的农业生产技术。

2)强化对稻虾生态种养技术的监管和调控。通过监测和评估稻虾生态种养技术的实施情况和效果,实时掌握小龙虾和水稻产量的动态变化,以合理地调整和优化稻虾生态种养技术的采纳强度和布局,及时纠偏,提前干预,发现和解决可能出现的粮食数量安全隐患。

3)因人、因地制宜地推广稻虾生态种养技术。根据不同地区的水稻生产条件、农户特征等,制定适合当地的稻虾生态种养技术推广策略,灵活地调整稻虾生态种养技术的推广方式和力度,避免一刀切的做法,提高政策的针对性和有效性。

## 参考文献 References

- [1] 谭淑豪. 以绿色发展理念促中国农业绿色发展[J]. 人民论坛·学术前沿, 2021(13): 68-76  
Tan S H. Promoting the green development of China's agriculture with the concept of green development[J]. *Frontiers*, 2021(13): 68-76 (in Chinese)
- [2] 曹湊贵, 江洋, 汪金平, 袁鹏丽, 陈松文. 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, Yuan P L, Chen S W. “Dual character” of rice-crayfish culture and strategies for its sustainable development[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2017, 25(9): 1245-1253 (in Chinese)
- [3] 曹湊贵, 陈松文. 湖北省“双水双绿”产业发展战略研究[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020  
Cao C G, Chen S W. *Study on the Development Strategy of “Shuangshui Shuanglü” Industry in Hubei Province*[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020 (in Chinese)
- [4] 倪明理, 邓凯, 张文宇, 尚永青, 魏凤, 袁鹏丽, 李准, 樊丹, 曹湊贵, 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): 1293-300  
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 (in Chinese)
- [5] Zhang J, Hu L L, Ren W Z, Guo L, Tang J J, Shu M A, Chen X. Rice-soft shell turtle co-culture effects on yield and its environment[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2016, 224: 116-122
- [6] 彭媛, 周梦芬, 周批改. 粮食安全分类治理机制设计研究[J]. 江南大学学报: 人文社会科学版, 2023, 22(4): 102-116  
Peng Y, Zhou M F, Zhou P G. Study on the design of classified governance mechanism of food security[J]. *Journal of Jiangnan University: Humanities & Social Sciences*, 2023, 22(4): 102-116 (in Chinese)
- [7] 朱晶, 李天祥, 臧星月. 高水平开放下我国粮食安全的非传统挑战及政策转型[J]. 农业经济问题, 2021(1): 27-40  
Zhu J, Li T X, Zang X Y. Emerging challenges and coping strategies in China's food security under the high-level opening up[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2021(1): 27-40 (in Chinese)
- [8] 李雷, 吕新业. 现阶段中国粮食安全形势的判断: 数量和质量并重[J]. 农业经济问题, 2021(11): 31-44  
Li X, Lv X Y. Judgment of China's food security situation at the present stage: Pay equal attention to quantity and quality[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2021(11): 31-44 (in Chinese)
- [9] Bunting S W, Kundu N, Ahmed N. Evaluating the contribution of diversified shrimp-rice agroecosystems in Bangladesh and West Bengal, India to social-ecological resilience[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2017, 148: 63-74
- [10] Hou J, Wang X L, Xu Q, Cao Y, Zhang D, Zhu J. Rice-crayfish systems are not a panacea for sustaining cleaner food production[J]. *Environmental Science and Pollution Research International*, 2021, 28(18): 22913-22926
- [11] 姚义, 唐建鹏, 陈京都, 谢成林, 张明伟, 陆佩玲, 闵思桂. 稻虾共作与栽培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, Xie C L, Zhang M W, Lu P L, Min S G. 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 (in Chinese)
- [12] 寇祥明, 谢成林, 韩光明, 张家宏, 姚义, 王守红, 王桂良, 唐鹤军, 朱凌宇, 徐荣, 毕建花, 吴雷明, 陆佩玲. 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, Zhang J H, Yao Y, Wang S H, Wang G L, Tang H J, Zhu L Y, Xu R, Bi J H, Wu L M, Lu P L. 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 (in Chinese)
- [13] 姜硕琛, 张海维, 孔盼, 杜斌, 吴启侠, 朱建强. 氮肥类型对不同稻作模式水稻生长和产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2022(5): 1-9  
Jiang S C, Zhang H W, Kong P, Du B, Wu Q X, Zhu J Q. Effects of nitrogen fertilizer types on rice growth and yield in different rice farming models[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2022(5): 1-9 (in Chinese)
- [14] 张明伟, 陈京都, 唐建鹏, 姚义, 谢成林. 稻虾共作对不同优质食味水稻品种产量及品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(12): 59-63  
Zhang M W, Chen J D, Tang J P, Yao Y, Xie C L. Influences of rice-shrimp co-cultivation on yield and quality of different rice cultivars with good taste[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2022, 50(12): 59-63 (in Chinese)
- [15] Hou J, Styles D, Cao Y X, Ye X X. 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
- [16] 刘月敏, 吴丽萍, 钟远. 城郊稻田生态系统高效生产模式的研究与评价[J]. *生态与农村环境学报*, 2006(3): 15-18  
Liu Y M, Wu L P, Zhong Y. A high-efficiency production model for paddy ecosystem in suburbs [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2006(3): 15-18 (in Chinese)
- [17] 汪清. 稻蟹共作对土壤理化性质和土壤有效养分影响的初步研究[D]. 上海海洋大学, 2011  
Wang Q. A preliminary study on effects of soil physical and chemical properties and soil effective nutrient in rice-crayfish integrated culture field [D]. Shanghai Ocean University, 2011 (in Chinese)
- [18] 林孝丽, 周应恒. 稻田种养结合循环农业模式生态环境效应实证分析: 以南方稻区稻-鱼模式为例[J]. *中国人口·资源与环境*, 2012, 22(3): 37-42  
Lin X L, Zhou Y H. An analysis on the eco-environment effect of circular agriculture mode of planting-culture in the paddyfield [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2012, 22(3): 37-42 (in Chinese)
- [19] 王纛, 雷慰慈. 稻田种养模式生态效益研究[J]. *生态学报*, 2000(2): 311-316  
Wang Y, Lei W C. Studies on the ecological effect of planting breeding models in the rice field [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2000(2): 311-316 (in Chinese)
- [20] Frei M, Becker K. A greenhouse experiment on growth and yield effects in integrated rice-fish culture [J]. *Aquaculture*, 2005, 244(4): 119-128
- [21] 吴雪, 谢坚, 陈欣, 陈坚, 杨星星, 洪小括, 陈志俭, 陈瑜, 唐建军. 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, Chen J, Yang X X, Hong X K, Chen Z J, Chen Y, Tang J J. 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 (in Chinese)
- [22] 唐建军, 陈欣, 胡亮亮, 郝向举, 李东萍. 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, Hao X J, Li D P. 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 (in Chinese)
- [23] 陈松文, 江洋, 汪金平, 曹湊贵. 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, Cao C G. Situation and countermeasures of integrated rice-crayfish farming in Hubei Province [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2020, 39(2): 1-7 (in Chinese)
- [24] 邓哲远, 阮冬燕. 稻虾共作模式下农户“重虾轻稻”行为及其对水稻产量的影响: 基于湖北省稻虾共作主产区四个乡镇的调查[J]. *中南农业科技*, 2023, 44(1): 148-153  
Deng Z Y, Ruan D Y. Farmers' behavior of "emphasizing shrimp over rice" under rice-shrimp co-cropping model and its effect on rice yield: Based on the investigation of four main producing areas of rice-shrimp co-cultivation in Hubei Province [J]. *South-Central Agricultural Science and Technology*, 2023, 44(1): 148-153 (in Chinese)
- [25] 张启发. “双水双绿”产业发展的理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2021  
Zhang Q F. *Theory and Practice of "Shuangshui Shuanglv" (Two-aquatics and Double-green) Industry Development* [M]. Beijing: Science Press, 2021
- [26] 高松. 水稻种植区农业面源污染时空扩散特征研究[J]. *环境科学与管理*, 2023, 48(5): 76-80  
Gao S. Analysis on spatiotemporal diffusion characteristics of agricultural non-point source pollution in rice planting areas [J]. *Environmental Science and Management*, 2023, 48(5): 76-80 (in Chinese)
- [27] 佘国涵, 彭成林, 徐祥玉, 赵书军, 徐大兵, 袁家富, 贾平安, 刘军. 稻-虾共作模式对涝渍稻田土壤微生物群落多样性及土壤肥力的影响[J]. *土壤*, 2016, 48(3): 503-509  
Si G H, Peng C L, Xu X Y, Zhao S J, Xu D B, Yuan J F, Jia P A, Liu J. Effects of rice-crayfish integrated mode on soil microbial functional diversity and fertility in waterlogged paddy field [J]. *Soils*, 2016, 48(3): 503-509 (in Chinese)
- [28] 杨彩艳, 齐振宏, 黄炜虹, 叶孙红. “稻虾共养”生态农业模式的化肥减量效应研究: 基于倾向得分匹配(PSM)的估计[J]. *长江流域资源与环境*, 2020, 29(3): 758-766  
Yang C Y, Qi Z H, Huang W H, Ye S H. Study on the effect of chemical fertilizer reduction in the "shrimp and shrimp co-cultivation" ecological agriculture model: Estimation based on propensity score matching (PSM) [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2020, 29(3): 758-766 (in Chinese)
- [29] 仇焕广, 雷馨圆, 冷淦潇, 刘明月. 新时期中国粮食安全的理论辨析[J]. *中国农村经济*, 2022(7): 2-17  
Qiu H G, Lei X Y, Leng G X, Liu M Y. A comprehensive theoretical analysis of grain security in the new era [J]. *Chinese Rural Economy*, 2022(7): 2-17 (in Chinese)
- [30] 李敬锁, 于文成, 郭琦, 褚倩倩. 大食物观、科技创新与乡村振兴战略: 中国农业技术经济学会2022年学术研讨会会议综述[J]. *农业技术经济*, 2023(4): 136-144  
Li J S, Yu W C, Guo Q, Chu Q Q. Big food concept, scientific and technological innovation and rural revitalization strategy: A summary of the 2022 symposium of China Agricultural Technology and Economics Society [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2023(4): 136-144 (in Chinese)
- [31] 孔祥智, 何欣玮. 粮食安全背景下早稻生产的战略价值与发展路径[J]. *农村经济*, 2022(10): 37-46  
Kong X Z, He X W. Strategic value and developing paths for early-rice production in the context of food security [J]. *Rural Economy*, 2022(10): 37-46 (in Chinese)
- [32] 刘可, 齐振宏, 杨彩艳, 叶孙红, 刘玉孝. 邻里效应与农技推广对农户稻虾共养技术采纳的影响分析: 互补效应与替代效应[J]. *长江流域资源与环境*, 2020, 29(2): 401-411  
Liu K, Qi Z H, Yang C Y, Ye S H, Liu Y X. Analysis on the influence of neighbourhood effect and agricultural technology diffusion on farmer's adoption of co-farming technology of rice and crayfish: Complementary effects and substitution effects [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2020, 29(2): 401-411 (in Chinese)
- [33] 杨兴杰, 齐振宏, 杨彩艳. 公共农技推广与数字农技服务促进了农户采纳稻虾共作模式吗[J/OL]. *农业技术经济*: 1-17 [2023-07-25]  
Yang X J, Qi Z H, Yang C Y. Have public agricultural technology promotion and digital agricultural technology service promoted farmers' adoption of the rice and crayfish co-culture model [J/OL]. *Journal of Agrotechnical Economics*: 1-17 [2023-07-25] (in Chinese)
- [34] 于秀娟, 郝向举, 党子乔, 杨霖坤. 中国稻渔综合种养产业发展报告(2023)[J]. *中国水产*, 2023, (8): 19-26  
Yu X J, Hao X J, Dang Z Q, Yang L K. Report on the development of rice and fishery integrated breeding industry in China (2023) [J]. *China Fisheries*, 2023(8): 19-26 (in Chinese)
- [35] 湖北省推广“稻虾共作、稻渔种养”模式三年行动方案[EB/OL]. [2023-

- 11-15]. [https://www.hubei.gov.cn/zfwj/ezbf/201809/t20180929\\_1713551.shtml](https://www.hubei.gov.cn/zfwj/ezbf/201809/t20180929_1713551.shtml)
- Three-year action plan for popularizing the model of "Shrimp-rice co-cultivation and rice fish cultivation" in Hubei Province[EB/OL]. [2023-11-15]. [https://www.hubei.gov.cn/zfwj/ezbf/201809/t20180929\\_1713551.shtml](https://www.hubei.gov.cn/zfwj/ezbf/201809/t20180929_1713551.shtml) (in Chinese)
- [36] 湖北省“虾稻共作稻渔种养”产业发展规划(2019—2022年)[EB/OL]. [2023-11-15]. [https://nyncj.wuhan.gov.cn/zwgk\\_25/fdzdgnr/ghxx/lsg/202001/t2-0200103\\_513808.html](https://nyncj.wuhan.gov.cn/zwgk_25/fdzdgnr/ghxx/lsg/202001/t2-0200103_513808.html)
- Industrial development plan of "Shrimp-rice co-cropping, rice fishing and breeding" in Hubei Province (2019—2022) [EB/OL]. [2023-11-15]. [https://nyncj.wuhan.gov.cn/zwgk\\_25/fdzdgnr/ghxx/lsg/202001/t2-0200103\\_513808.html](https://nyncj.wuhan.gov.cn/zwgk_25/fdzdgnr/ghxx/lsg/202001/t2-0200103_513808.html) (in Chinese)
- [37] 董莹, 穆月英. 农户环境友好型技术采纳的路径选择与增效机制实证[J]. 中国农村观察, 2019(2): 34-48
- Dong Y, Mu Y Y. The path selection and efficiency increase mechanism of farmers' adoption of environmentally friendly technology: An empirical analysis[J]. *China Rural Survey*, 2019(2): 34-48 (in Chinese)
- [38] 孙小燕, 刘雍. 土地托管能否带动农户绿色生产?[J]. 中国农村经济, 2019(10): 60-80
- Sun X Y, Liu Y. Can land trusteeship improve farmers' green production?[J]. *Chinese Rural Economy*, 2019(10): 60-80 (in Chinese)
- [39] 何可, 张俊彪, 张露, 吴雪莲. 人际信任、制度信任与农民环境治理参与意愿: 以农业废弃物资源化为例[J]. 管理世界, 2015(5): 75-88
- He K, Zhang J B, Zhang L, Wu X L. Interpersonal trust, institutional trust and farmers' willingness to participate in environmental governance: A case study of agricultural waste recycling[J]. *Journal of Management World*, 2015(5): 75-88 (in Chinese)
- [40] 司瑞石, 陆迁, 张强强, 梁虎. 土地流转对农户生产社会化服务需求的影响: 基于PSM模型的实证分析[J]. 资源科学, 2018, 40(9): 1762-1772
- Si R S, Lu Q, Zhang Q Q, Liang H. Influence of land circulation on socialized service needs for farmers' production based on the empirical analysis of PSM model[J]. *Resources Science*, 2018, 40(9): 1762-1772 (in Chinese)

责任编辑: 刘迎春



**第一作者简介:** 田卓亚, 博士研究生, 就读于华中农业大学经济管理学院农业经济管理专业, 曾获得过华中农业大学优秀研究生, 学业奖学金等。主要研究方向为农户行为、农业技术扩散等。曾参与国家自然科学基金项目、国家十三五重点研发计划项目等重点项目的申报、检查与结题工作。多次组织和参与农村实践调研, 走进乡村, 了解农民, 着力将理论与实际相结合, 已经围绕绿色经济与绿色管理领域发表学术论文4篇。



**通讯作者简介:** 齐振宏, 华中农业大学经济管理学院教授, 先后主持和参与包括国家自然科学基金、国家社科基金、教育部以及国际重大合作项目等在内各类课题近20项。获得湖北省改革成果一等奖、湖北省教学成果一等奖, 国家级高等教育教学成果二等奖, 系列论文获得武汉市社科优秀成果一等奖。先后在《中国农村观察》《中国人口·资源与环境》等权威期刊发表论文100多篇, 其中在CSSCI等权威期刊发表论文50多篇; 出版专著1本, 参编著作5本。任《华中农业大学学报》(社科版) 编委, 清华大学EMBA客座教授、武大人力资源EMBA客座教授、英国CASS商学院客座教授、香港。