

“水稻+”综合种养模式研究进展

刘全^{1,2}, 付新华^{1,2,3*}, 印文彪¹ (1. 浙江星秀农业科技有限公司, 浙江嘉兴 314299; 2. 华中农业大学植物科学技术学院, 湖北武汉 430070; 3. 湖北省守望萤火虫研究中心, 湖北武汉 430070)

摘要 总结了“水稻+”种养模式的研究进展, 讨论了“稻虾”“稻鱼”“稻蟹”“稻鳖”和“稻鸭”模式对水稻生长及产量、稻田生态中的水质、土壤、稻田生态系统生物多样性(节肢动物)、稻田系统的温室气体排放及对食品安全的影响, 并根据目前的研究现状提出以下改进措施: “水稻+”种养模式在养殖过程中应合理规划养殖密度, 同时控制养殖过程造成的环境污染; “水稻+”种养模式应加快标准化生产模式建立, 避免重养殖轻种植的现象; 为进一步提高农民和农业企业经济效益, “水稻+”种养模式需进一步与旅游产业相结合, 形成农-旅融合发展新模式。

关键词 稻虾; 稻鱼; 稻蟹; 稻鳖; 稻鸭; 种养模式

中图分类号 F326 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)13-0007-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.13.003



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

A Review of “Rice +” Comprehensive Planting and Breeding Mode

LIU Quan^{1,2}, FU Xin-hua^{1,2,3}, YIN Wen-biao¹ (1. Zhejiang Xingxiu Agricultural Technology Co., Ltd, Jiaxing, Zhejiang 314299; 2. College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070; 3. Firefly Conservation Research Centre, Wuhan, Hubei 430070)

Abstract This paper comprehensively summarizes the research progress of “rice +” planting and breeding model. This paper mainly discusses the effects of “rice-shrimp”, “rice-fish”, “rice-crab”, “rice-turtle” and “rice-duck” models on rice growth and yield, water quality and soil in rice field ecology, biodiversity (arthropods) of rice field ecosystem, greenhouse gas emission of rice field system and food safety, according to the current research status, it is proposed the following improvement measures: first, the “rice +” planting and breeding model should reasonably plan the breeding density in the breeding process and control the environmental pollution caused by the breeding process; second, the “rice +” planting and breeding mode should speed up the establishment of standardized production mode to avoid the phenomenon of paying more attention to breeding than planting; third, in order to further improve the economic benefits of farmers and agricultural enterprises, the “rice +” planting and breeding model needs to be further combined with the tourism industry to form a new model of integrated development of agriculture and tourism.

Key words Rice-shrimp; Rice-fish; Rice-crab; Rice-turtle; Rice-duck; Planting and breeding model

水稻是我国种植历史最悠久, 种植面积最大的作物之一, 2020 年种植面积达到 3 007.6 万 hm^2 , 总产量达到 2.12 亿 $\text{t}^{[1]}$ 。虽然种植面积和产量都高居前列, 但由于近代以来的经济和社会的发展导致生产方式的极大改变, 从而产生了严重的环境问题、空间利用问题、粮食和食品安全问题以及气候问题等。

为了探索以上问题的解决方案, 科学家们提出了“水稻+”的种养结合模式, 来解决或缓解以上问题。“水稻+”种养模式是我国一种传统的农业生产模式, 最早出现的是 2000 多年前的“稻鱼”种养模式^[2], 后来陆续出现“稻虾”“稻蟹”“稻鸭”“稻鳖”“稻蛙”等, 以及更为复杂的“稻鱼鸡”“稻虾鳊”“稻鱼螺”等模式。但目前对于“水稻+”种养模式推广最广、效益最好、研究最透彻的模式是“稻虾”“稻鱼”“稻蟹”“稻鳖”和“稻鸭”模式。

该研究分析以上几种“水稻+”种养模式的研究进展, 主要阐述这几种种养模式对水稻生长及产量的影响, 对稻田生态中的水质、土壤的影响, 对稻田生态系统生物多样性(节肢动物、杂草、底栖动物、浮游动物)的影响, 对稻田系统的温室气体排放的影响, 以及对食品安全的影响, 并提出相关的改

进和实施建议。

1 “水稻+”种养模式对水稻生长及产量的影响

水稻种植是为了获得高产, 然而在水稻种植的空间内进行相关的养殖, 是否对水稻的生长和产量有影响, 是科学家们非常关注的问题。为了明确其影响程度和影响机制, 科学家们进行了大量的研究。

研究表明, “稻鱼”共作模式在正常施肥以及施药条件下可以提高水稻的产量^[3], “稻鱼”共作模式在减少 15%~30% 氮肥的施用条件下, 可保证水稻和常规高产田相同的产量^[4], 而周江伟等^[5]的研究显示, “稻鱼”共作模式下不使用农药也能是水稻产量增产。彭诗瑶等^[6]通过对湖南省辰溪县“稻鱼”共作模式的调查研究表明, 辰溪县“稻鱼”共作模式的水稻产量比常规高产田增产 5%~10%, 同时农药减少用量达 68%, 肥料用量减少达 24%, 说明“稻鱼”共作模式在正常管理模式下能普遍增加水稻产量。

对于“稻虾”“稻蟹”共作模式, 大部分研究表明能稳产和增产, 但需要合理使用氮肥^[7-10], 少量的研究表明存在减产现象^[11-12]。

然而, 对“稻鸭”模式的研究表明存在较多减产的案例。减产的主要原因在于: 种植过程中施肥不够或者没有使用农药^[13-15], 甚至是因为养鸭密度太高导致减产^[16]。部分研究表明, “稻鸭”共作可以稳产和增产, 但种植过程中必须使用足够农药、化肥^[8]。

基金项目 平湖市重点科技项目(NY202004)。

作者简介 刘全(1987—), 男, 湖南醴陵人, 在读博士, 从事“稻蟹”共作基础理论、萤火虫生态保护研究。* 通信作者, 教授, 博士, 从事萤火虫生物多样性、行为生态学、发育生物学及保护生物学研究。

收稿日期 2021-10-16

“稻鳖”共作的研究比较少,但是总体研究表明能够提高产量,且可以不用施用农药^[5,17-18]。

2 “水稻+”种养模式水质的影响

由于“水稻+”种养模式中养殖物种对水稻田中的草虫害有一定的控制作用,因此这种模式在一定程度上能够降低农药化肥的使用,提升生态的健康程度。夏新^[19-20]等研究表明,“稻虾”种养模式能够显著降低农药化肥的使用,同时能够显著改善水稻田中水质,减少环境污染的作用。

但是通过文献分析发现,“稻鱼”“稻蟹”“稻虾”和“稻鸭”共作模式在养殖的过程中都存在水质污染较常规种植严重的情况。在有养殖的情况下,一般水稻田的DO会下降,COD会升高,全氮、铵态氮和硝态氮显著升高,从而导致水质污染^[21-24],甚至通过调查水中藻类和微生物发现,在“水稻+”种养结合的水稻田中蓝藻、裸藻、枝角类和桡足类浮游生物增加,硅藻降低^[25-26],这说明存在一定水质变差的问题。

3 “水稻+”种养模式对土壤理化性质的影响

研究发现,采用“水稻+”种养模式,都能够在一定程度上改善土壤的物理性状、肥力养分、酶类以及微生物。“稻鱼”种养模式能够提高土壤中脲酶、过氧化酶、蔗糖酶等的活性以及微生物^[27-28],还能提高土壤中全量氮、全量钾、全量磷含量^[27,29],孙悦等^[30]研究发现,土壤中总碳和有机质含量都得到提高。因此“稻鱼”种养模式能够提高土壤肥力,促进水稻生长^[31-32]。通过对“稻虾”模式的研究基本得到跟“稻鱼”模式相类似的结果^[33-35],更为细致的研究包括:“稻虾”模式能够提高Cu、As、Mg、Mn等微量元素含量,降低Cd、Pb、Fe、Ca等金属元素含量^[35],还能降低土壤的紧实度、提高孔隙度、降低容重,从而改善土壤结构^[36]。“稻鸭”种养模式研究土壤的内容最多,“稻鳖”等其他的种养模式研究较少,但基本上所有的研究结果都和“稻鱼”及“稻虾”的相似。而孟祥杰等^[37]研究表明,以上几种“水稻+”种养模式对土壤肥力提升效果为“稻蛙”>“稻鸭”>“稻虾”>“稻鱼”>“稻鳖”。

4 “水稻+”种养模式对生物多样性的影响

研究发现,“水稻+”的模式能够改变水稻生态系统中的生物多样性。“稻鸭”模式能够很好地控制水稻田中包括杂草在内的植物群落和昆虫类的二化螟、稻飞虱、卷叶螟的群落,对纹枯病和稻瘟病等病虫害也有一定的控制效果^[38-41],影响天敌种群包括蜘蛛的多样性^[42-43]及水体底栖动物的多样性,“稻鸭”模式下生物多样性有一定程度的下降^[44]。

而“稻鱼”和“稻鳖”模式在病虫草害的控制上都有一定的效果^[45-46],但“稻鱼”模式增加了水体中的浮游生物的数量和生物量,提高了多样性^[47]。

“稻虾”模式能够一定程度上控制害虫,但随着耕种时间的增长,稻田中生物多样性先下降,后增加,并达到一定的平衡,使害虫危害不会更严重^[48],同时稻田杂草的趋势也是短期内下降,随着种植模式的延长杂草的多样性增加,并形成新的杂草群落^[49]。相比来说,“稻蟹”模式由于几乎是采用无农药和化肥模式种植,因此其稻田的生物多样性显著增加^[50],其稻田蜘蛛数量显著多于常规稻田^[51]。

5 “水稻+”种养模式对碳排放的影响

由于农业是人为排放温室气体(CH₄和N₂O)的主要来源之一^[52],而水稻又是全球重要的粮食作物之一,我国2020年种植面积已达3 007.6万hm²,总产量达到2.12亿t^[1]。因此,水稻种植的减排问题受到广泛关注。

研究发现,“水稻+”种养模式能在总体上降低温室气体的排放,从而达到减排效果,但是不同模式之间存在一定的差异。例如,“稻鸭”模式能够显著降低甲烷的排放量,但是也显著增加了氧化亚氮的排放量,两者的综合温室效应显著低于常规稻田^[53-54]。而“稻鱼”“稻蟹”模式能同时降低甲烷和氧化亚氮的排放量,达到减排效果^[55-56]。对于“稻虾”的研究则发现,秸秆还田的情况下,甲烷的排放量比秸秆不还田稻田以及还田稻田下降显著,而二氧化碳和氧化亚氮的排放量无显著差异,但总体的减排效果显著^[57]。

6 “水稻+”种养模式与食品安全

对于“水稻+”种养模式对食品安全的研究较少,公众普遍认为这种模式是一种绿色高效的种植模式,因为减少了化肥和农药的投入^[58-59]。已有研究表明,“稻虾”模式能够保证大米中的重金属含量不超标,同时小龙虾体内的重金属含量符合无公害农产品质量要求^[60];“稻鸭”种植模式能够降低多菌灵、三环唑和噻嗪酮的含量^[61];但是张敬卫等^[62]对哈尼梯田中“稻鱼”共作环境中农药残留进行检测,发现其水环境中含有12种有机氯农药,底泥中含有11种,且存在新的外源农药来源,说明存在一定的安全风险。

7 总结及展望

从目前的研究结论可知,“水稻+”种养模式基本可以保证水稻正常生长及产量稳定;总体上降低面源污染,提高水质;增加土壤肥力及土壤微生物多样性,降低碳排放,保证食品安全。但“稻鱼”“稻蟹”“稻虾”和“稻鸭”种养模式在养殖过程中存在一定程度的环境污染;且“稻鸭”模式对稻田生物多样性影响较为严重。因此,在养殖过程中应该注意控制水质污染的扩散,合理规划养殖密度。

显然,目前的“水稻+”种养模式都是第一产业的融合,即将种植农业与养殖农业相结合,充分利用生态空间及资源,从而获得更多的经济效益。且目前普遍存在养殖产业比种植产业获得的效益更加可观,造成重养殖、轻种植的现象。这种现象既不利于粮食生产,也可能因为重养殖而过度投喂导致环境污染。因此,在实施过程中应该规范种养实施标准,保证粮食生产面积,避免过度养殖。

对于农民和农业生产企业来说,“水稻+”种养模式获得的经济效益和回报率并不是很高,且容易受到市场冲击。随着生活水平的提高,公众对于旅游的需求也越来越旺盛,因此建议可以将“水稻+”种养模式再增加旅游服务,使经济价值进一步得到提升,使农民和农业企业进一步获得更高的效益。

参考文献

- [1] 国家统计局. 国家统计局关于2020年粮食产量数据的公告[EB/OL]. (2020-12-10) [2020-12-10]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/202012/t20201210_1808377.html.

- [2] 陈欣,唐建军,胡亮亮.青田稻鱼共生系统生态学基础及保护与利用[M].北京:科学出版社,2020.
- [3] 吕广动,黄璜,王忍,等.紫云英还田耦合稻鱼共生对双季水稻群体生长特性及产量的影响[J].生态学杂志,2020,39(12):4057-4067.
- [4] 周晓丰,段红霞,夏桂龙,等.稻鱼模式下减施氮肥对水稻生长和产量的影响[J].湖南农业科学,2020(5):40-42.
- [5] 周江伟,刘贵斌,吴涛,等.不同种养模式对水稻根系生长和产量性状的影响[J].江苏农业科学,2018,46(13):55-58.
- [6] 彭诗瑶,刘琼峰,杨友才,等.稻鱼共生模式效益评价指标体系的构建:以湖南省辰溪县为例[J].江苏农业科学,2018,46(24):442-444.
- [7] 彭成林,袁家富,贾平安,等.长期稻虾共作模式对不同施氮量下直播水稻产量和氮肥利用效率的影响[J].河南农业科学,2020,49(4):15-21.
- [8] 蒋岩,赵灿,刘光明,等.稳稻种养模式下水稻产量形成及周年经济效益研究[J].中国稻米,2021,27(5):23-28.
- [9] 马亮,李跃东,田春晖,等.稻蟹生态种养模式优质食味梗稻的稻米营养成分品质分析[J].中国生态农业学报,2021,29(4):716-724.
- [10] MUHAMMAD AMJAD BASHIR. 稻蟹共生系统对生产力,土壤肥力和环境的影响研究[D].北京:中国农业科学院,2019.
- [11] 姚义,温凯,杨武广,等.稻作方式对优质食味品种南粳9108的产量、品质及效益的影响[J].中国稻米,2020,26(2):69-72.
- [12] 董晓亮,侯红燕,郭涛,等.黄河三角洲重度盐碱地稻蟹生态种养模式研究及效益分析[J].山东农业科学,2020,52(7):123-127.
- [13] 王文青,庄黎萍,刘益,等.优良食味水稻品种南粳46稻鸭共作模式初探[J].中国稻米,2018,24(5):98-102.
- [14] 纪力,邵文奇,陈富平,等.连年规模稻鸭共养对稻田土壤性状、稻米产量及品质的影响[J].中国农学通报,2021,37(13):1-7.
- [15] 梁玉刚,黄璜,李静怡,等.规模化稻鸭共育对水稻株型结构及产量形成的影响[J].生态学杂志,2016,35(10):2752-2758.
- [16] 禹盛苗,金千瑜,朱练峰,等.稻田养鸭密度对水稻产量和经济效益的影响[J].浙江农业科学,2008,49(1):68-71.
- [17] 常培恩,陈灿,黄璜,等.稻田养蟹对水稻产量形成及稻米品质的影响[J].作物研究,2019,33(5):388-391.
- [18] 李丰,郭印,程静.稻田养蟹对水稻产量的影响[J].黑龙江水产,2021,40(3):12-15.
- [19] 夏新.稻虾连作模式下稻田病虫害绿色防控技术及效果分析[J].现代农业科技,2021(13):110-111,114.
- [20] 管勤士.稻虾共作模式下小龙虾活动对稻田环境影响的研究[D].上海:上海海洋大学,2018.
- [21] 王伟,顾海龙,胡中泽,等.南粳9108水稻-中华绒螯蟹共作模式下水体理化指标与生长动态分析[J].江苏农业科学,2017,45(12):109-112.
- [22] 易芙蓉,林玮诗,张鸣宇,等.稻虾共作对稻田水体环境的影响[J].作物研究,2019,33(5):362-365,373.
- [23] 李成芳,曹凑贵,汪金平,等.稻鸭、稻鱼共作生态系统中稻田田面水的N素动态变化及淋溶损失[J].环境科学学报,2008,28(10):2125-2132.
- [24] 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.
- [25] 王金华.稻虾系统中土壤氮素动态特征与转化规律研究[D].武汉:华中农业大学,2018.
- [26] 王昂.新型稻蟹共作模式对稻田水质和浮游生物影响的研究[D].上海:上海海洋大学,2011.
- [27] 丁姣龙,陈璐,王忍,等.鱼排泄物与分泌物对水稻土壤酶活性及土壤养分的影响[J].湖南师范大学自然科学学报,2021,44(2):74-79.
- [28] 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.
- [29] 隆斌斌,陈灿,黄璜,等.“稻+鱼+再生稻”模式对稻田土壤氮、磷、钾养分含量的影响[J].作物研究,2019,33(5):408-414.
- [30] 孙悦,吴敬荣,王广军,等.稻田放养鲤鱼对土壤和水体理化因子的影响[J].南方农业,2020,14(5):123-126.
- [31] 吕广动,黄璜,梁玉刚,等.紫云英还田+稻鱼共生对水稻土壤养分及产量的影响[J].西南农业学报,2020,33(8):1729-1735.
- [32] WANG N F, LI S X, Li T, et al. Ecological intensification of rice production through rice-fish co-culture [J]. Journal of cleaner production, 2019, 234:1002-1012.
- [33] 但国涵,袁家富,彭成林,等.长期稻虾共作模式提高稻田土壤生物肥力的机理[J].植物营养与肥料学报,2020,26(12):2168-2176.
- [34] 但国涵,彭成林,徐祥玉,等.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.
- [35] 喻记新,李为,刘家寿,等.稻虾综合种养对稻田土壤肥力和金属元素含量的影响[J].水产学报,2021,45(3):453-461.
- [36] 但国涵,彭成林,徐祥玉,等.稻虾共作模式对涝渍稻田土壤理化性状的影响[J].中国生态农业学报,2017,25(1):61-68.
- [37] 孟祥杰,黄璜,陈灿,等.稻田不同种养模式对土壤肥力的影响[J].湖南农业科学,2021(2):45-48.
- [38] 赵灿,戴伟民,李淑顺,等.连续13年稻鸭共作兼秸秆还田的稻麦连作麦田杂草种子库物种多样性变化[J].生物多样性,2014,22(3):366-374.
- [39] 尤国生.稻-鸭共作对山区水稻田杂草控制效果及增产效应的研究[D].杭州:浙江农林大学,2013.
- [40] 王伟,张建军,陈恩会,等.稻鸭共作对水稻病虫害的控制效果评价[J].金陵科技学院学报,2017,33(4):48-52.
- [41] 江峰,副成欣,戴其根,等.稻鸭共作技术研究进展[J].安徽农业科学,2019,47(18):13-16.
- [42] 黄先才,周子杨,孟玲,等.稻鸭共有机稻田蜘蛛多样性与飞虱数量的季节动态[J].生态学杂志,2011,30(7):1342-1346.
- [43] 夏孝勤.稻鸭共育对水稻病虫害的影响[J].现代农业科技,2019(21):110-111.
- [44] 王昌付.稻鸭共作对稻田水体底栖动物生物多样性的影响[D].武汉:华中农业大学,2007.
- [45] 蔡炳祥,王根连,任洁.稻蟹共生单季晚稻主要病虫害发生特点及绿色防控关键技术[J].中国稻米,2016,22(4):75-76,80.
- [46] 李小荣,吴敏芳,李阳.山区单季稻鱼共生病虫害生态控制技术与应用[J].浙江农业科学,2014,55(12):1800-1801,1806.
- [47] 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.
- [48] 肖求清.稻虾共作对稻田生物多样性的影响[D].武汉:华中农业大学,2017.
- [49] 郭瑶,肖求清,曹凑贵,等.稻虾共作对稻田杂草群落组成及物种多样性的影响[J].华中农业大学学报,2020,39(2):17-24.
- [50] 桑海旭,马晓慧,王井士,等.稻蟹共养对水稻有害生物控制效果评价[J].北方水稻,2021,51(2):17-20.
- [51] 马晓慧,车喜庆,王井士,等.稻蟹共作与常规稻田蜘蛛群落组成及多样性分析[J].中国生态农业学报,2019,27(8):1157-1162.
- [52] OECD. Environmental indicators for agriculture methods and results [M]. Paris: Executive Summary, 2000.
- [53] 袁伟玲,曹凑贵,李成芳,等.稻鸭、稻鱼共作生态系统 CH₄ 和 N₂O 温室效应及经济效益评估[J].中国农业科学,2009,42(6):2052-2060.
- [54] 崔荣阳,刘宏斌,毛昆明,等.洱海流域稻鸭共作对稻田温室气体排放和水稻产量的影响[J].环境科学学报,2019,39(7):2306-2314.
- [55] 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.
- [56] 孙自川.稻虾共作还田和投食对温室气体排放的影响[D].武汉:华中农业大学,2018.
- [57] 徐祥玉,张敏敏,彭成林,等.稻虾共作对秸秆还田后稻田温室气体排放的影响[J].中国生态农业学报,2017,25(11):1591-1603.
- [58] 唐建军,李巍,吕修涛,等.中国稻渔综合种养产业的发展现状与若干思考[J].中国稻米,2020,26(5):6-15.
- [59] 怀燕,王岳钧,厉宝仙,等.浙江省稻虾高效绿色种养模式发展与探讨[J].浙江农业科学,2021,62(8):1474-1476,1478.
- [60] 郑雄伟,吴艳萍,洪波,等.稻虾共作对产地环境及农产品质量安全风险的影响:基于洪湖市的实证分析[J].资源环境与工程,2020,34(4):536-540.
- [61] 金磊,田晶晶,李云,等.皖南烟区稻鸭共育水稻虫害及农药残留的研究[J].安徽农学通报,2016,22(9):90-91,140.
- [62] 张敬卫,宋超,方龙香,等.云南红河哈尼梯田稻鱼共作环境中有机氯农药残留现状及其生态风险评估[J].农业资源与环境学报,2018,35(5):412-421.