

徐智威, 胡鉴轩, 顾泽茂, 等. 2个品种鸭稻田控草、除虫及捕食残余克氏原螯虾效率的比较[J]. 华中农业大学学报, 2025, 44(3): 104-111.  
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2025.03.012

## 2个品种鸭稻田控草、除虫及捕食残余克氏原螯虾效率的比较

徐智威<sup>1</sup>, 胡鉴轩<sup>1</sup>, 顾泽茂<sup>1,2</sup>, 禹淞深<sup>3</sup>, 杨正武<sup>4</sup>

1. 华中农业大学水产学院/双水双绿研究院/

长江经济带大宗水生生物产业绿色发展教育部工程研究中心, 武汉 430070;

2. 湖北洪山实验室, 武汉 430070;

3. 华中农业大学植物科学技术学院, 武汉 430070; 4. 湖北丰沃农业科技有限公司, 石首 434400

**摘要** 为筛选适合稻-鸭-虾种养模式的鸭品种,以稻-虾连作模式(rice-crayfish continuous culture model, RCCC)为对照,比较肉鸭武禽10号(meat duck group, MG)和农湖2号(laying duck group, LG)的稻田控草、除虫及清除残余克氏原螯虾的能力。结果显示:(1)控草方面, MG组对喜旱莲子草的防效为50.40%,显著高于LG组的-198.34%;对异型莎草的防效为56.82%,高于LG组的37.88%;对稗草的防效为79.31%,略低于LG组的81.03%。(2)除虫方面,放鸭30 d后, MG组和LG组对二化螟的防治效果均为100%,对稻纵卷叶螟的防治效果MG组为74.93%,高于LG组的45.00%;收鸭1 d后, MG组稻纵卷叶螟的防治效果为99.20%,高于LG组的94.60%,二者的二化螟防治效果均达到了100%。(3)捕食残余克氏原螯虾方面, MG组的捕食能力为1.67尾/d,高于LG组的1.33尾/d。MG组的次年虾苗产量为60.00 kg/hm<sup>2</sup>, 低于LG组75.5 kg/hm<sup>2</sup>,但二者显著低于RCCC组的670.91 kg/hm<sup>2</sup>。综合控草、除虫效果及捕食残余 crayfish 能力,相比农湖2号,武禽10号更适合稻-鸭-虾种养模式。

**关键词** 稻-鸭-虾种养模式; 稻-虾连作模式; 控草; 除虫; 克氏原螯虾

**中图分类号** Q959.223+.63 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2025)03-0104-08

稻田种养是充分利用稻田时空和水、土、光、气等资源,让水稻和养殖动物在稻田里和谐相处、互利共生的循环生态农业模式。稻田种养在我国已经有2 000多年的历史,至今发展了稻-鱼、稻-虾、稻-蛙、稻-鸭、稻-鳖、稻-螺等多种复合种养模式,不仅为人类提供丰富多样的食物,还保护了生态环境、维持了自然美景<sup>[1]</sup>。然而,过去的半个多世纪中,为了保障人口快速增长所需的粮食供给,稻与渔的种和养被分离,出现了水稻多季连作和水产动物池塘精养。化肥、农药、饲料和渔药的使用,使得水稻和水产品的单位产量都得到了极大提高,为解决人类温饱问题作出了巨大贡献,但同时,农药化肥及饲料渔药的大量使用也给资源和环境的可持续发展带来了严峻

的挑战。克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*)俗称小龙虾,原产北美洲,1929年经日本引入我国,在我国长江、淮河流域广泛分布<sup>[2]</sup>。21世纪初,我国开始发展克氏原螯虾稻田养殖,形成了稻-虾连作等模式。稻-虾连作有效解决了秸秆还田等问题,减少了水稻虫害、限制了农药和化肥的过量使用,具有较好的经济效益、社会效益和生态效益。然而,长期自繁自养导致稻田残余虾多、密度不可控,难以养成大虾<sup>[3]</sup>,同时种稻期杂草难除,需多次使用除草剂控草,影响了农业绿色发展<sup>[4-5]</sup>。

稻田养鸭是一种共作模式,鸭在稻田中通过摄食、踩踏等方式除去或限制杂草生长<sup>[6-7]</sup>,同时捕食稻田残余小龙虾和虫害,将粪便还田<sup>[8]</sup>,具有除草、薅

收稿日期: 2024-11-28

基金项目: 湖北洪山实验室重大项目(2021HSZD002); 湖北省农业科技创新中心项目(2021-620-000-001-33); 中央高校基本科研业务费专项(2662023SCP003)

徐智威, E-mail: 807708575@qq.com

通信作者: 顾泽茂, E-mail: guzema@mail.hzau.edu.cn

秧、除虫、防病、供肥、清除残存小龙虾等作用。但是,稻田养鸭存在鸭粪冗余、劳动强度大和经济效益不高等问题,难以规模化应用与推广。因此,根据稻、鸭、虾三者的互利共生关系,本研究将稻-虾连作和稻-鸭共作进行组合,构建稻-鸭-虾种养模式以解决以上问题。然而,前人研究发现,不同品种鸭在稻田的活动、觅食和远牧能力存在较大差异<sup>[9-10]</sup>,对稻田控草、除虫及水稻生长性能与增产效果等也不一样<sup>[11]</sup>。为了筛选适合稻-鸭-虾种养的鸭品种,本研究对比分析武禽10号与农湖2号在稻田中的控草、除虫及清除残余克氏原螯虾的能力,以期为稻-鸭-虾种养模式提供理论指导和技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验时间和地点

试验时间为2022年3月—2023年5月,试验地点是华中农业大学双水双绿科研基地(29°59'N, 112°38'E)。基地位于湖北省监利市新沟镇,该地区年均气温17.8℃,年均降水量约为1500.23 mm,无霜期260 d左右,是我国双水双绿稻-虾种养的核心区。

### 1.2 试验材料

鸭的品种为武禽10号和农湖2号。武禽10号是武汉市农业科学院提供的2022年国家审定肉鸭品种,具有行动灵活、生长快、适应能力强和耐高温等特点;农湖2号湖北省农业科学院提供的2021年国家审定的麻羽青壳蛋鸭品种,具有产蛋性能高、运动强和适应能力强等特点。

水稻品种为华墨香3号,全生育期130 d,由华中农业大学双水双绿研究院提供。

### 1.3 试验设计

基于稻-虾连作(rice-crayfish continuous culture model, RCCC),构建肉鸭组(meat duck group, MG)和蛋鸭组(laying duck group, LG)2个稻-鸭-虾种养(rice-duck-crayfish integrated model, RDCI)试验组,稻-虾为对照组,每组设3个重复,共9个试验田块。每个试验田块面积约4000 m<sup>2</sup>,试验田四周开挖宽2 m、深1 m的环沟。田块外埂用1 m高的尼龙网搭建围栏,防止鸭和克氏原螯虾逃逸。鸭舍置于外埂,与机耕道相连,便于鸭出入稻田。

### 1.4 田间管理

根据稻、鸭、虾的生育期及其对生产季节的需求开展生产种养管理,时间轴如图1所示。

养虾期为1—6月上旬。本期的生产管理主要为1月种植水草,4月1日捕捞虾苗,4月15日根据虾苗存塘情况精准投苗,使塘内虾苗密度达到90000尾/hm<sup>2</sup>。5月下旬—6月上旬捕捞成虾上市。虾苗投放后每3 d打样1次并记录虾生长情况,并根据虾规格精准投喂,投饲率为3%~7%,随着虾生长而增加,投饲方式为投料机全塘均匀投喂。养殖过程中如遇大雨、低气压等恶劣天气则减半或不投喂。养虾期台田水深0.4~0.6 m,环沟水深约1.9~2.3 m,水深随气温升高逐渐增加。

稻-虾接茬期为6月中旬,本期的生产管理主要为克氏原螯虾捕捞完成后,退水整田,施用基肥(尿素146.7 kg/hm<sup>2</sup>,含N 46%)。期间田面水位约3 cm。

种稻期为6月下旬至10月。本期的生产管理主要为6月中旬移栽水稻,种植密度14 cm×30 cm,每穴5~6株。整个水稻生育期内不打农药,10月收割水稻。水稻种植期间,分别在分蘖末期和成熟期晒田,每次5~7 d;在水稻返青期维持3~5 cm水位;其余时期保持约5~10 cm水位。

稻-鸭共作期为7月初至9月初。根据前期对放鸭密度和放鸭时间的试验结果,本研究在插秧后15 d将试验用鸭(20日龄)放入稻田,密度为180只/hm<sup>2</sup>。每天06:00将鸭从鸭棚中赶入稻田,活动至下午,18:00收鸭,补食1次(放鸭前期投喂鸭配合饲料,放鸭后期投喂稻谷),投喂量为鸭体质量的10%。9月初,水稻抽穗前将鸭回捕。

对照组的田间管理与试验组基本一致,但由于对照组不放鸭,因此施肥量略高,为尿素180 kg/hm<sup>2</sup>。

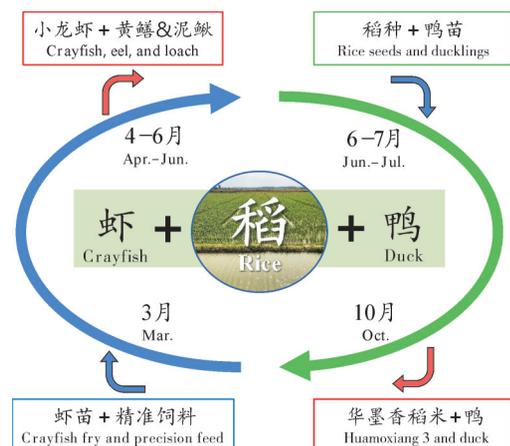


图1 稻-鸭-虾种养模式时间轴

Fig.1 Time axis of rice-duck-crayfish integrated system

## 1.5 测定指标与方法

1) 杂草调查。采用杂草防效评估鸭的稻田除草效果<sup>[12-13]</sup>,9点倒“W”形法调查鸭离田后第1天各田块的杂草情况,每点样面积1 m<sup>2</sup>,记录各样方点的杂草密度,杂草防效为[(对照区杂草密度-试验区杂草密度)/对照区杂草密度×100%]。

2) 虫害调查。虫害调查分3次,分别是鸭入田前1 d、鸭入田后的第30天和鸭离田后的第1天,采用5点法调查稻纵卷叶螟(*Cnaphalocrocis medinalis*)和二化螟(*Chilo suppressalis*)的虫情,每点取样20丛,共取样100丛。记录总叶数、卷叶数、稻纵卷叶螟幼虫数量,计算各组的卷叶率和防治效果;记录分蘖数、枯心枯鞘数、二化螟幼虫数量,计算各组的枯心率和防治效果,计算公式参见文献[14]。

3) 鸭摄食克氏原螯虾的能力调查。鸭入田15 d后,在MG、LG和对照组稻田内分别设置3个高1 m、面积2 m<sup>2</sup>的尼龙网格区,清除网格区的虾,重新放入20只虾(规格为15~20 g),每个围网内分别放入1只肉鸭或蛋鸭,稻-虾田块内不放鸭。放鸭和虾后,每天18:00起捕区域内的虾,记录虾的存活情况后再将虾放回网格区。

4) 放鸭后次年克氏原螯虾苗种情况调查。2023年4月1日,各组田面放置10 m长地笼(孔径:10 mm)起捕虾苗,地笼数量为75条/hm<sup>2</sup>,连续起捕7 d,记录各组的虾苗捕捞量。4月12-14日,连续3 d打样记录并计算存塘虾苗数量。4月15日根据存塘情况重新投放虾苗。5月下旬,各组田面放置10 m长地

笼(孔径:25 mm)起捕成虾,地笼数量为75条/hm<sup>2</sup>,连续起捕15 d,记录各组的成虾捕捞量。

5) 鸭运动量调查。放鸭后30 d,在MG和LG组内随机选取3只鸭,使用GPS记录其运动量,连续监测7 d,计算鸭日均运动量<sup>[15]</sup>。

## 1.6 数据处理与分析

采用Excel、SPSS 22.0和Graphpad Prism 8.0对数据进行整理、统计分析并制作图表,图表中数据为平均值±标准误(mean±SE)。采用单因素方差分析(One-way ANOVA),LSD分析法检验3个处理组数据的差异性,采用独立样本t检验分析2个试验组之间数据的差异性。采用Graphpad Prism 8.0软件绘制克氏原螯虾的存活率曲线,Log-Rank检验比较3个处理组间存活率的差异性。 $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

## 2 结果与分析

### 2.1 鸭对田间杂草的防治效果

由表1可以看出,试验基地的田间杂草主要为喜旱莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)、异型莎草(*Cyperus difformis*)和稗草(*Echinochloa crusgalli*)。MG组3种杂草的密度不高,均低于RCCC组,鸭对3种杂草的防效分别为50.40%、56.82%和79.31%。LG组的喜旱莲子草密度显著高于RCCC组,异型莎草和稗草的密度均低于RCCC组,鸭对3种杂草的防效分别为-198.34%、37.88%和81.03%。MG组对喜旱莲子草的防效显著高于LG组,对异型莎草和稗草的防效与LG组无显著差异。

表1 鸭对不同试验组稻田杂草的防治效果

Table 1 The control efficacy of field weeds in different groups

组别 Groups	喜旱莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>		异型莎草 <i>Cyperus difformis</i>		稗草 <i>Echinochloa crusgalli</i>	
	密度/(株/m <sup>2</sup> ) Density	防效/% Control efficacy	密度/(株/m <sup>2</sup> ) Density	防效/% Control efficacy	密度/(株/m <sup>2</sup> ) Density	防效/% Control efficacy
RCCC	4.17±2.32b	—	7.33±7.33a	—	9.67±9.66a	—
MG	2.07±0.64b	50.40±15.27a	3.17±1.17a	56.82±15.91a	2.00±2.00a	79.31±20.69a
LG	12.43±3.09a	-198.34±74.28b	4.56±2.23a	37.88±30.41a	1.83±1.84a	81.03±18.97a

注:同列数据不同小写字母代表组间显著( $P<0.05$ )。下同。Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ( $P<0.05$ ). The same as below.

### 2.2 鸭对田间害虫的防治效果

1) 对稻纵卷叶螟的防治效果。由表2可以看出,鸭入田前1 d, MG、LG和RCCC组的卷叶率分别为0.28%、0.26%和0.19%; MG组、LG和RCCC组

的百蔸虫量分别为6.43、9.37和4.56头。鸭入田后第30天, MG、LG和RCCC组的卷叶率分别为0.53%、0.95%和0.47%, LG组显著高于MG和RCCC组; MG组的百蔸虫量为8.00头, 低于RCCC组, 而LG

组的百莨虫量为21.58头,高于RCCC组, MG组的百莨虫量显著高于LG组; MG和LG组的防治效果分别为74.93%和45.00%。鸭离田后的第1天, MG组和LG组的卷叶率分别为0.57%和0.74%,均显著低

于RCCC中的2.77%; MG组和LG组的百莨虫量分别为0.52头和3.53头,同样显著低于RCCC中的23.20头; MG组的防治效果为99.20%,高于LG组的94.60%。

表2 不同试验组稻田稻纵卷叶螟的防治效果

Table 2 The control efficacy of *Cnaphalocrocis medinalis* in different groups of paddy fields

调查时间 Survey time	组别 Groups	卷叶率/% Leaf curling rate	百莨虫量(头) Amount of pests per hundred stems	防治效果/% Control efficacy
放鸭前1 d 1 day before releasing the ducks	RCCC	0.19±0.07a	4.56±3.10a	—
	MG	0.28±0.11a	6.43±2.91a	—
	LG	0.26±0.05a	9.37±2.68a	—
放鸭后30 d 30 days after releasing the duck	RCCC	0.47±0.13b	17.32±2.38ab	—
	MG	0.53±0.06b	8.00±4.16b	74.93±7.99a
	LG	0.95±0.04a	21.58±3.13a	45.00±30.86a
收鸭后1 d 1 day after harvesting the duck	RCCC	2.77±0.92a	23.20±6.62a	—
	MG	0.57±0.14b	0.52±0.52b	99.20±0.80a
	LG	0.74±0.30b	3.53±2.06b	94.60±3.59a

2)对二化螟的防治效果。由表3可以看出,放鸭前1 d, MG、LG和RCCC组的枯心率和百莨虫量均为0。鸭入田后的第30天, MG、LG和RCCC组的枯心率分别为0.08%、0.05%和0.03%; MG和LG组的

百莨虫量均为0,均低于RCCC中的2.26头,二者的防治效果均为100%。收鸭后1 d, MG和LG组的枯心率和百莨虫量均为0,均低于RCCC组的0.72%和4.30头,两者的防治效果均达到100%。

表3 不同试验组稻田二化螟的防治效果

Table 3 The control efficacy of *Chilo suppressalis* in different groups of paddy fields

调查时间 Survey time	组别 Groups	枯心率/% Withered heart rate	百莨虫量(头) Amount of pests per hundred stems	防治效果/% Control efficacy
放鸭前1 d 1 day before releasing the duck	RCCC	0.00±0.00a	0.00±0.00a	—
	MG	0.00±0.00a	0.00±0.00a	—
	LG	0.00±0.00a	0.00±0.00a	—
放鸭后30 d 30 days after releasing the duck	RCCC	0.03±0.03a	2.26±2.26a	—
	MG	0.08±0.08a	0.00±0.00a	100.00±0.00a
	LG	0.05±0.05a	0.00±0.00a	100.00±0.00a
收鸭后1 d 1 day after harvesting the duck	RCCC	0.72±0.16a	4.30±2.24a	—
	MG	0.00±0.00b	0.00±0.00a	100.00±0.00a
	LG	0.00±0.00b	0.00±0.00a	100.00±0.00a

### 2.3 鸭捕食克氏原螯虾能力和次年虾生产情况

图2显示了鸭捕食克氏原螯虾的能力差异。鸭入田15 d后, MG和LG组虾存活率分别在第12天和第15天降为0。MG和LG组的虾存活率均极显著低于RCCC组( $P<0.0001$ )。武禽10号和农湖2号鸭对虾的捕食能力分别为1.67尾/d和1.33尾/d。

次年克氏原螯虾的生产情况如表4所示。MG

组的次年虾苗产量为60.00 kg/hm<sup>2</sup>,低于LG组75.5 kg/hm<sup>2</sup>,但二者显著低于RCCC中的670.91 kg/hm<sup>2</sup>。通过精准投苗和精准投喂, MG和LG组的成虾捕捞量分别为1 419.92 kg/hm<sup>2</sup>和1 332.58 kg/hm<sup>2</sup>,二者均显著高于RCCC中的902.35 kg/hm<sup>2</sup>。MG和LG组的成虾规格分别为26.38 g/尾和25.63 g/尾,均显著高于RCCC中的20.07 g/尾。

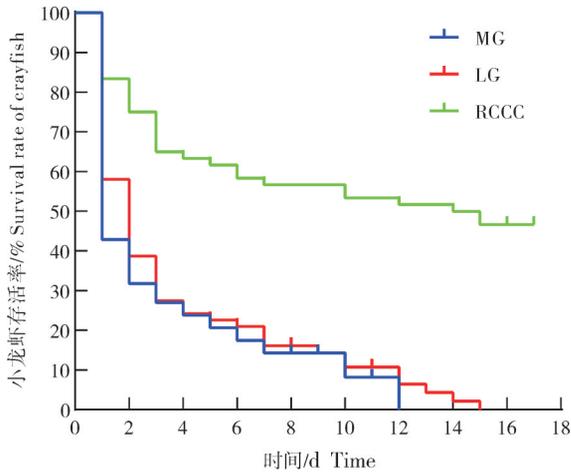


图2 不同组稻田克氏原螯虾的存活率

Fig.2 Survival rate of crayfish in different groups of paddy fields

## 2.4 2个品种鸭的运动量

放鸭后30 d,监测2个品种鸭的运动量,结果显示MG组的鸭运动量为 $(20.64 \pm 5.23)$  km/12 h,显著高于LG组的 $(16.20 \pm 0.92)$  km/12 h。

表4 不同组稻田次年克氏原螯虾生产情况

Table 4 Production of crayfish in different groups in the following year of paddy fields

组别 Groups	虾苗投放量/ (kg/hm <sup>2</sup> ) Juvenile crayfish deployment volume	虾苗捕捞量/ (kg/hm <sup>2</sup> ) Amount of juvenile crayfish caught	成虾捕捞量/ (kg/hm <sup>2</sup> ) Amount of crayfish caught	成虾规格/ (g/尾) Crayfish specifications
RCCC	47.90	670.91± 202.41a	902.35± 141.93b	20.07± 1.45b
MG	187.50	60.00± 60.00b	1 419.92± 167.43a	26.38± 0.66a
LG	187.50	50.33± 30.45b	1 332.58± 57.55a	25.63± 1.09a

## 3 讨论

### 3.1 2个品种鸭对田间杂草的影响

稻-鸭虾种养模式中,鸭能够直接摄食杂草茎秆,鸭群的集体活动起到中耕作用,搅动产生的浑水会抑制杂草的光合作用,从而阻碍杂草的正常生长<sup>[6]</sup>。鸭还会翻食土壤中的杂草种子,减少土壤杂草种子库的密度,降低来年杂草的发生基数<sup>[16]</sup>。魏守辉等<sup>[13]</sup>发现长期稻-鸭共作后可以显著降低稻田中鸭舌草、陌上菜、异型莎草、矮慈姑等主要杂草的种群数量。本研究中,武禽10号肉鸭对稗草、异型莎草和喜旱莲子草的防效均超过50%,表明其能有效防

控稻田杂草;而农湖2号蛋鸭的杂草防效相对较差,仅能有效防控稗草,对异型莎草的防效低于50%,对喜旱莲子草无防控效果。稻田杂草控制效果与鸭的运动能力密切相关。张本华等<sup>[15]</sup>研究表明鸭在田间运动时间比例越大,对杂草的控制效果越好。本研究中武禽10号肉鸭的运动量显著高于农湖2号蛋鸭,可能是其除草能力更强的主要原因。武禽10号作为肉鸭品种,其运动和除草能力与以往研究结果<sup>[10]</sup>不同,这可能是由于武禽10号肉鸭是基于连城白鸭,并引入“丽佳鸭”“奥白星鸭”等遗传资源培育的中小体型优质肉鸭新品种,连城白鸭是适宜田野放牧的小型卵肉兼用鸭种,因此与肉鸭杂交的后代既保留了连城白鸭运动能力强的特性,又弥补了其生长速度慢的劣势<sup>[17-18]</sup>。

### 3.2 2个品种鸭对田间害虫的影响

鸭在稻田中主要通过直接捕食和碰撞稻秆的方式来防治害虫<sup>[7]</sup>。Zhang等<sup>[19]</sup>研究发现,稻田养鸭能有效防控稻飞虱,对稻纵卷叶螟和二化螟也有明显控制作用,但未达农药控制效果。王伟等<sup>[20]</sup>在连续2 a稻-鸭共作虫害调查中发现,鸭对二化螟的防控效果达83.33%,枯鞘率和枯心率比对照组分别下降了55.12%和59.56%,对稻纵卷叶螟卷叶率综合防效较低,为68.29%。本研究中武禽10号肉鸭和农湖2号蛋鸭均对稻纵卷叶螟和二化螟有一定控制效果,且两者对二化螟的防效均优于稻纵卷叶螟。稻纵卷叶螟主要发生在叶片上,体型较小的鸭很难触及。因此,传统稻-鸭共作中使用的小型麻鸭很难有效防控稻纵卷叶螟<sup>[21]</sup>。本研究中,MG组在放鸭后30 d对稻纵卷叶螟的防效达到了74.93%,高于LG组的45.00%,同时LG组的卷叶率也显著高于MG和RCCC组。这一方面是因为武禽10号肉鸭的生长速度和个体大小均优于农湖2号蛋鸭,能够更好地啄食到叶片上的稻纵卷叶螟,另一方面是由于LG组的初始虫量高于MG和RCCC组,因此LG组的防控效果相对较差。稻田害虫的控制效果也与鸭的运动能力密切相关<sup>[15]</sup>,活动量更大的武禽10号肉鸭可以摄食更多的稻田害虫,从而具有更好的害虫防控效果。

### 3.3 2个品种鸭对田间残存克氏原螯虾的影响

克氏原螯虾养殖最初主要依赖于捕捞野生苗种,并将其引入稻田进行自繁自养。由此发展形成的稻-虾连作模式,为克氏原螯虾养殖产业提供了大批优质虾苗<sup>[22]</sup>。然而,随着虾稻产业从“大养虾”到

“养大虾”转型,稻-虾模式中虾苗密度不可控问题成为了实现“养大虾”目标的主要技术挑战<sup>[23-25]</sup>。在实际生产中,农户经常不得不使用消毒剂或化学农药来控制虾密度,但是这种做法对稻田生态和食品安全会产生负面影响。如何在保持绿色生态的前提下有效清除残余克氏原螯虾,成为我国虾稻产业发展面临的一个难题。应用生物防控方法来控制虾密度是一种有效的解决方案。鸭属于杂食类水禽,能够捕食稻田中的小型水生动物<sup>[26]</sup>。徐建欣等<sup>[27]</sup>在“稻-蟹-鱼-鸭”复合种养模式的研究中发现,鸭能够捕食稻田杂鱼杂虾,从而提高草鱼和鳊的产量。本研究中,我们探索了在稻-虾生态系统中引入鸭作为克氏原螯虾的生物防控策略,并取得了显著效果。研究结果表明,武禽10号肉鸭和农湖2号蛋鸭均能摄食个体大小为15~20 g的克氏原螯虾。同时,武禽10号肉鸭的捕食能力略优于农湖2号蛋鸭,这可能与其较大的个体和更高的日摄食量有关。大田试验结果表明,相比RCCC组,RDCI组的次年虾苗捕捞量显著减少,而成虾产量和规格显著增加,这表明2种鸭均能有效清除稻田残余克氏原螯虾,减少其自繁自养。相比LG组,MG组的虾苗捕捞量更低,成虾的产量和规格更高,说明武禽10号肉鸭对残余克氏原螯虾的清除能力更强。

综上所述,本研究在1 a内对武禽10号肉鸭和农湖2号蛋鸭在稻-鸭-虾种养模式下的控草、除虫效果及捕食残余克氏原螯虾能力进行了综合评估。结果显示,武禽10号肉鸭在控草、除虫效果及捕食残余克氏原螯虾方面均表现出显著优势,更适合稻-鸭-虾种养模式。这一结论为稻-鸭-虾种养模式的优化提供了重要参考,并为养殖户在鸭种选择上提供了科学依据。然而,由于研究时间的限制,我们未能充分探索这2种鸭种在更长时间内的潜在影响。因此,未来可以考虑延长研究周期,以更全面地评估武禽10号肉鸭和农湖2号蛋鸭在稻-鸭-虾种养模式中的长期表现,进一步验证本研究的发现。

## 参考文献 References

[1] 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,2021:29-30. ZHANG Q F. Theory and practice of “Shuangshui Shuanglü” (two-aquatics and double-green) industry development [M]. Beijing: Science Press, 2021: 29-30 (in Chinese).

- [2] YUE G H, LI J L, BAI Z Y, et al. Genetic diversity and population structure of the invasive alien red swamp crayfish [J]. *Biological invasions*, 2010, 12(8): 2697-2706.
- [3] 张家宏, 朱凌宇, 寇祥明, 等. 克氏原螯虾综合种养模式存在的问题及对策[J]. *农业展望*, 2019, 15(5): 59-66. ZHANG J H, ZHU L Y, KOU X M, et al. Issues and countermeasures of comprehensive cropping-breeding pattern of red swamp crayfish [J]. *Agricultural outlook*, 2019, 15(5): 59-66 (in Chinese with English abstract).
- [4] 曹凌贵, 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 (in Chinese with English abstract).
- [5] 许颖, 路璐. 稻虾种养系统中生态要素的丢失问题分析: 基于农业文化遗产保护理论的视角[J]. *中国农业资源与区划*, 2021, 42(11): 15-23. XU Y, LU L. Analysis of the ecological elements loss in the “rice-shrimp culture” mode: in the view of agricultural cultural heritage (ach) conservation [J]. *Chinese journal of agricultural resources and regional planning*, 2021, 42(11): 15-23 (in Chinese with English abstract).
- [6] ZHANG J E, XU R B, CHEN X, et al. Effects of duck activities on a weed community under a transplanted rice - duck farming system in Southern China [J]. *Weed biology and management*, 2009, 9(3): 250-257.
- [7] TENG Q, HU X F, CHENG C, et al. Ecological effects of rice-duck integrated farming on soil fertility and weed and pest control [J]. *Journal of soils and sediments*, 2016, 16(10): 2395-2407.
- [8] 张帆, 隋鹏, 陈源泉, 等. “稻鸭共生”生态系统稻季N、P循环 [J]. *生态学报*, 2011, 31(4): 1093-1100. ZHANG F, SUI P, CHEN Y Q, et al. Nitrogen and phosphorus cycling from rice-duck mutual ecosystem during late rice growth season [J]. *Acta ecologica sinica*, 2011, 31(4): 1093-1100 (in Chinese with English abstract).
- [9] 施关林, 秦忠耀, 胡建刚, 等. 稻鸭共育技术: 鸭品种的选择及其疫病预防 [J]. *中国稻米*, 2003, 9(6): 35-36. SHI G L, QIN Z Y, HU J G, et al. Co-breeding technology of rice and duck: selection of duck varieties and prevention of disease [J]. *China rice*, 2003, 9(6): 35-36 (in Chinese).
- [10] 罗璇, 安晨, 路璐, 等. 不同鸭品种在“稻鸭共作”系统中的行为学差异及对水稻产量的影响 [J]. *中国农学通报*, 2019, 35(15): 159-164. LUO X, AN C, LU L, et al. Behavioral differences of duck breeds in the integrated rice-duck farming system and the effects on rice yield [J]. *Chinese agricultural science bulletin*, 2019, 35(15): 159-164 (in Chinese with English abstract).
- [11] 张印, 余政军, 吕广动, 等. 稻鸭共生系统中鸭品种对水稻生

- 长特性的影响[J].生态学杂志,2022,41(1):58-65. ZHANG Y, YU Z J, LÜ G D, et al. Effects of duck varieties on the growth characteristics of rice in rice-duck symbiosis system [J]. Chinese journal of ecology, 2022, 41(1): 58-65 (in Chinese with English abstract).
- [12] 张朝贤,胡祥恩,钱益新,等.江汉平原麦田杂草调查[J].植物保护,1998,24(3):14-16. ZHANG C X, HU Xiang'en, QIAN Y X, et al. Weed survey in wheat fields in Jiangnan Plain [J]. Plant protection, 1998, 24(3): 14-16 (in Chinese with English abstract).
- [13] 魏守辉,强胜,马波,等.稻鸭共作及其他控草措施对稻田杂草群落的影响[J].应用生态学报,2005,16(6):1067-1071. WEI S H, QIANG S, MA B, et al. Control effects of rice-duck farming and other weed management strategies on weed communities in paddy fields [J]. Chinese journal of applied ecology, 2005, 16(6): 1067-1071 (in Chinese with English abstract).
- [14] 陈红,孙肖雨,梁梦琦,等.20%环丙氟虫胺悬浮剂对水稻二化螟和稻纵卷叶螟的田间防治效果[J].农药科学与管理,2024,45(10):53-59. CHEN H, SUN X Y, LIANG M Q, et al. Field control effect of 20% cyproflumid suspension against rice *Chilo suppressalis* and *Cnaphalocrocis medinalis* [J]. Pesticide science and administration, 2024, 45(10): 53-59 (in Chinese with English abstract).
- [15] 张本华,张宇虹,孔爱菊,等.放养密度对稻田内鸭子运动规律及杂草控制效果的影响[J].农业工程学报,2018,34(3):234-239. ZHANG B H, ZHANG Y H, KONG A J, et al. Influence of feeding density of ducks in rice field on movement behaviour and weeds control [J]. Transactions of the CSAE, 2018, 34(3): 234-239 (in Chinese with English abstract).
- [16] 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. ZHAO C, DAI W M, LI S S, et al. Change in weed seed bank diversity over 13 consecutive years of riceduck and straw returning farming system in the rice-wheat rotated wheat fields [J]. Biodiversity science, 2014, 22(3): 366-374 (in Chinese with English abstract).
- [17] 王丽霞,钱运国,杨宇,等.武禽10肉鸭与亲本连城白鸭生长曲线拟合及肉用性能比较[J].中国饲料,2024(3):40-45. WANG L X, QIAN Y G, YANG Y, et al. Comparison of growth curve fitting and meat performance between commercial duck of Wuqin 10 meat duck synthetic line and Liancheng white duck [J]. China feed, 2024(3): 40-45 (in Chinese with English abstract).
- [18] 陈宽维,江宵兵,章双杰,等.连城白鸭资源特性、保护及开发方向[J].中国家禽,2003,25(9):49-51. CHEN K W, JIANG X B, ZHANG S J, et al. Resource characteristics, protection and development direction of Liancheng white duck [J]. China poultry, 2003, 25(9): 49-51 (in Chinese).
- [19] ZHANG J E, ZHAO B L, CHEN X, et al. Insect damage reduction while maintaining rice yield in duck-rice farming compared with mono rice farming [J]. Journal of sustainable agriculture, 2009, 33(8): 801-809.
- [20] 王炜,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. WANG W, ZHANG J J, CHEN E H, et al. Biological control effects of rice-duck integrated farming on rice diseases, insects and weeds [J]. Journal of Jinling Institute of Technology, 2017, 33(4): 48-52 (in Chinese with English abstract).
- [21] 邓强辉,潘晓华.稻鸭共育对病虫害及经济效益的影响[J].安徽农业科学,2008,36(18):7752-7755. DENG Q H, PAN X H. Effects of rice-duck mutualism on diseases insect pests and weeds and economic benefits [J]. Journal of Anhui agricultural sciences, 2008, 36(18): 7752-7755 (in Chinese with English abstract).
- [22] 于秀娟,郝向举,杨霖坤,等.中国小龙虾产业发展报告(2023)[J].中国水产,2023(7):26-31. YU X J, HAO X J, YANG L K, et al. Report on the development of China's crayfish industry (2023) [J]. China fisheries, 2023(7): 26-31 (in Chinese).
- [23] 蒋金山,李旭春,邓伟,等.放养密度对稻田大规模克氏原螯虾生长和效益的影响[J].中南农业科技,2024,45(8):38-41. JIANG J S, LI X C, DENG W, et al. The influence of stocking density on the growth and economic benefits of large-sized *Procambarus clarkii* in paddy fields [J]. South-central agricultural science and technology, 2024, 45(8): 38-41 (in Chinese).
- [24] 寇祥明,韩光明,吴雷明,等.虾苗密度对稻虾共作模式下稻虾生长及氮磷利用的影响[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2020,41(2):22-27. KOU X M, HAN G M, WU L M, et al. Effects of crayfish density on rice growth, crayfish growth, and nitrogen and phosphorus utilization in the rice-crayfish culture [J]. Journal of Yangzhou University (agricultural and life science edition), 2020, 41(2): 22-27 (in Chinese with English abstract).
- [25] 刘国兴,李玲,彭刚,等.放养密度对克氏原螯虾生长和养殖水质的影响[J].江西农业学报,2014,26(4):86-89. LIU G X, LI L, PENG G, et al. Effects of stocking density on growth of *Procambarus clarkii* and aquaculture water quality [J]. Acta agriculturae Jiangxi, 2014, 26(4): 86-89 (in Chinese with English abstract).
- [26] 邱群聘,曾凡同,谢后清,等.四川麻鸭野营群牧饲养的食性分析[J].中国畜牧杂志,1980,16(4):5-10. QIU X P, ZENG F T, XIE H Q, et al. Analysis of feeding habits of Sichuan Duck in camping group [J]. Chinese journal of animal science, 1980, 16(4): 5-10 (in Chinese).
- [27] 徐建欣,徐志军,杨洁,等.“稻-鳖-鱼-鸭”复合共生模式种养

技术与前景探讨[J]. 中国稻米, 2018, 24(2): 24-27. XU J X,  
XU Z J, YANG J, et al. Discussion of the ecological planting and

breeding mode of rice-turtle-fish-duck and its prospect[J]. Chi-  
na rice, 2018, 24(2): 24-27 (in Chinese with English abstract).

## Comparason on efficiency of two duck varieties in weed control, pest management, and predation on residual crayfish in rice fields

XU Zhiwei<sup>1</sup>, HU Jianxuan<sup>1</sup>, GU Zemao<sup>1,2</sup>, YU Songshen<sup>3</sup>, YANG Zhengwu<sup>4</sup>

1. College of Fisheries/Shuangshui Shuanglü Institute/  
Engineering Research Center of Green development for Conventional  
Aquatic Biological Industry in the Yangtze River Economic Belt, Ministry of Education,  
Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;
2. Hubei Hongshan Laboratory, Wuhan 430070, China;
3. College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University,  
Wuhan 430070, China;
4. Hubei Fengwo Agricultural Technology Co., Ltd., Shishou 434400, China

**Abstract** To identify the most suitable duck breeds for the rice-duck-crayfish integrated system (RD-CI), this study compared the weed management, pest control, and residual crayfish predation abilities of the meat duck group (Wuqin No. 10) and the laying duck group (Nonghu No.2), using the rice-crayfish continuous culture model (RCCC) as a control. The key findings are as follows: (1) Weed management: the meat duck group's control efficacy against *Alternanthera philoxeroides* was 50.40%, representing a significant improvement over the laying duck group's 19.84% ( $P < 0.05$ ). Additionally, the meat duck group also demonstrated a 56.82% efficacy against *Cyperus difformis*, surpassing the laying duck group's efficacy of 37.88%. The meat duck group achieved a 79.31% efficacy against *Echinochloa crusgalli*, which was slightly lower than the laying duck group's efficacy of 81.03%. (2) Pest control: after a 30-day period with ducks present, both the meat duck and Laying duck groups achieved a complete control efficacy of 100% against *Chilo suppressalis*. The meat duck group demonstrated a control efficacy of 74.93% against *Cnaphalocrocis medinalis*, which was higher than the Laying duck group's efficacy of 45.00%. One day after the removal of the ducks, the meat duck group's control efficacy against *Cnaphalocrocis medinalis* was 99.20%, surpassing the laying duck group's efficacy of 94.60%. Both groups achieved a 100% control efficacy against *C. suppressalis*, with no plant mortality observed. (3) Predation on residual crayfish: the meat duck group exhibited a daily predation rate of 1.67 crayfish tails, which was higher than the laying duck group's rate of 1.33 tails per day. The meat duck group's crayfish seed yield in the subsequent year was 60.00 kg/hm<sup>2</sup>, which was lower than the laying duck group's yield of 75.5 kg/hm<sup>2</sup>, but both yields were significantly below the RCCC group's yield of 670.91 kg/hm<sup>2</sup> ( $P < 0.05$ ). Considering weed management, pest control, and the predation abilities of the residual crayfish, it was determined that the Wuqin No. 10 meat duck is better suited for the RDCI.

**Keywords** rice-duck-crayfish integrated model; rice-crayfish continuous culture model; weed control; pest management; *Procambarus clarkii*

(责任编辑:边书京)