

张信越, 苏海英, 李佳凡, 等. 鸭对稻-虾田病虫害及节肢动物群落多样性的影响[J]. 华中农业大学学报, 2025, 44(3): 45-52.
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2025.03.006

鸭对稻-虾田病虫害及节肢动物群落多样性的影响

张信越¹, 苏海英², 李佳凡¹, 杨正武³, 禹淞深¹, 唐鹏佳¹, 杨兆伟¹,
陈科良¹, 付周希¹, 蔡万伦¹, 华红霞¹

1. 华中农业大学植物科学技术学院, 武汉 430070; 2. 石首市农业农村局, 石首 434400;
3. 石首市双绿丰虾稻连作专业合作社, 石首 434400

摘要 为探讨稻-鸭-虾共作模式对稻田病虫害的控制效果, 2022年在华中农业大学双水双绿研究院监利基地开展了大田试验, 调查水稻单作模式、常规稻-虾模式以及2种稻-鸭-虾模式下(按鸭活动频度高低依次分为游牧鸭与精简鸭的2种模式)的病虫害发生情况和田间节肢动物多样性。结果显示, 鸭对非禾本科杂草(异型莎草及喜旱莲子草)抑制效果十分明显($P < 0.05$), 而对禾本科杂草(稗草及千金子)未表现出明显抑制作用, 同时游牧鸭对于非禾本科杂草的抑制效果高于精简鸭。相较于水稻单作、常规稻-虾模式, 投鸭的处理对抑制稻纵卷叶螟与稻飞虱的为害在分蘖期和孕穗期都十分显著, 而对二化螟为害未表现出显著抑制效果。在孕穗期, 游牧鸭和精简鸭处理过田块的多样性和均匀度均显著高于农药处理过的水稻单作对照, 其中, 游牧鸭处理的多样性和均匀度最高, 精简鸭处理的次之。以上结果表明, 稻-虾田养鸭是一种可行而又有效的稻田绿色防控模式。

关键词 稻-虾田养鸭; 杂草; 节肢动物群落; 综合种养模式; 绿色防控

中图分类号 S511; S966.12 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2025)03-0045-08

稻-虾种养模式是我国目前应用面积最大、总产量最高的稻田综合种养模式, 主要分布在长江中下游平原地区。稻-虾模式中的虾主要为克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*), 俗称小龙虾, 原产地北美, 引入中国后其兼具海产大虾的品质和淡水水产品亲民的价格双重优点, 深受消费者青睐^[1]。报告显示, 2023年我国小龙虾养殖面积197万 hm^2 , 稻-虾模式面积169万 hm^2 , 占小龙虾养殖面积的85.76%。从经济效益来看, 尽管稻-虾综合种养模式在前期设施投入及饲料成本等方面高于传统水稻单作, 但在确保水稻产量稳定的前提下, 其最终经济收益显著优于单一水稻种植^[2]。

此外, 稻-鸭共作模式亦是我国生态农业的重要实践。早在2003年, 该模式便被列为无公害水稻生产的主导技术。与水稻单作相比, 稻-鸭模式能有效减少除草剂的使用^[3]。其生态效益主要体现在: 通过鸭群在稻田中的活动, 重构稻田生态系统的食物链结构, 抑制杂草及其种子的生长发育。研究表明, 稻-鸭共作模式可控制96%的稻田杂草, 大幅降低除

草剂施用量, 并能使表层土壤(0~5 cm)杂草种子库密度减少40%以上, 而种子库密度的下降直接导致田间杂草群落密度的显著降低^[4]。

尽管稻-虾与稻-鸭共作模式在生态和经济效益上均显著优于传统水稻单作, 但二者均存在亟待解决的局限性。稻-鸭模式虽能通过生物调控有效抑制杂草^[4], 但其技术实施复杂度较高——放养管理、疫病防控等环节显著增加了生产成本与技术准入门槛^[5]。尤其是, 其经济效益受鸭产品市场价格波动影响显著, 在行情低迷时, 收益甚至与水稻单作基本持平^[5]。稻-虾模式尽管经济效益突出, 却面临长期种植后的生态平衡问题。随着养殖年限增加, 稻田中千金子(*Leptochloa chinensis*)、稗草(*Echinochloa crusgalli*)、莎草(*Cyperus difformis*)等杂草种群数量呈上升趋势^[6], 导致除草剂用量与水稻单作相当甚至反超, 这与综合种养模式“减药增效”的初衷相悖。

为了克服稻-虾模式的控草短板问题, 笔者所在课题组将鸭引入稻-虾生产环节形成稻-鸭-虾三元复合种养模式, 本研究评估这种种养模式的控草抑害

收稿日期: 2024-08-19

基金项目: 湖北洪山实验室重大项目(2021hszd002)

张信越, E-mail: 15972790119@163.com

通信作者: 蔡万伦, E-mail: wanlunca@163.com

效果,旨在为建立一种兼具生态可持续性与经济稳定性的新型种植模式、为水稻绿色防控技术的升级提供理论与实践依据。

1 材料与方法

1.1 材料及试验设计

试验虾为克氏原螯虾,试验前(3月初)在当地市场购入,体长3 cm左右虾苗。

供试水稻品种为华墨香5号,常规稻,生育期130 d,是由华中农业大学双水双绿研究院培育的一种黑米新品种。

试验鸭品种为武禽10号,该鸭种个体适中、行动灵活、具有较强的适应性和耐高温性。是由武汉市农科院畜牧兽医研究所新培育的一种肉鸭品种,2022年通过国家审定。

设置4种不同处理:稻-鸭-虾高活动频率游牧模式(后简称“游牧鸭”,HRDC)、稻-鸭-虾低活动频率游牧模式(后简称“精简鸭”,LRDC)2种稻-鸭-虾模式,以稻-虾模式(后简称“稻-虾对照”,RC)和水稻单作(CK)为对照,每个处理3次重复(精简鸭模式为4个重复)。以复合肥(20-12-10)为基肥,追肥尿素(总N \geq 46.4%)。均采用机械移栽,5月30日播种,采用育秧盘培育壮秧,秧苗于2022年6月15日机械移栽入大田,于2022年10月16日收获。

试验地点位于湖北监利市新沟镇横台村华中农业大学双水双绿研究院监利基地(30°07' N, 112°92' E),总面积20 hm²。

1.2 处理实施过程

1)水稻单作。传统农户种植模式,重复3次,每个重复田块面积0.2 hm²,种植密度16 cm \times 30 cm,每穴4株。水稻移栽前按照150 kg/hm²,基追比7:3,施用基肥66.5 kg,后于6月30日和7月16日分别追施尿素12.4、6.2 kg。水分和农药使用按当地习惯进行。

2)稻-虾对照。小区面积与水稻单作一致,重复3次,每个小区周围开挖围沟(宽2 m左右,深1.5 m),于3月投放虾苗40 kg,精准投放饲料150 kg,4月对成虾进行捕捞,6月结束捕捞,未成熟的虾则会随水到虾沟,待整田、插秧、晒田控蘖及复水后再次进入稻田活动。为了防止虾逃跑,将各小区边缘用尼龙网在田内围起0.4 m的防逃网。种植密度14 cm \times 30 cm,每穴4株。水稻移栽前不施用基肥,移栽后于6月30日和7月16日分别按照45、22.5 kg/hm²施用

尿素,整个生育期内不施用农药。

3)游牧鸭。小区面积与水稻单作一致,重复3次。采用单元模式,每单元开挖围沟(宽2 m左右,深1.5 m),养虾环节与稻-虾对照模式一致。利用尼龙网建立起围栏,并在各田块单独建立鸭棚。各个小区设置独立的进、出水口,从而保障水田环境尽可能一致并且互不干扰、相互独立。在水稻移栽后14 d,将室内培育20 d左右的雏鸭以180只/hm²的密度放入稻田,实行鸭稻共作,做好养鸭场所和工具的消毒工作。放鸭时间在09:00—10:00左右。主要依靠鸭自身在田间觅食,每天晚上赶鸭回鸭棚后补充喂养稻谷,补喂量占正常饲料饲喂量的50%。为了避免浑水的排出污染以及鸭在田间活动自如,需要在稻-鸭共作期间一直保持至少10 cm水层。其余田间管理方式与稻-虾对照一致。

4)精简鸭。小区面积与水稻单作一致,重复4次。在水稻插秧后10 d左右,将室内培育20 d左右的雏鸭以180只/hm²的密度放入稻田,实行鸭稻共作,鸭棚设置于相邻两块田间且留有通道,通过人工赶鸭的方式控制鸭子活动区域,每个田块隔1 d人工放牧1次,即鸭在田里活动频率只有游牧鸭模式的一半。其余田间管理措施与上述“游牧鸭”一致。

上述有鸭处理的田块,均在水稻抽穗初期(8月23日)结束稻-鸭共作,将鸭移除出稻田。

1.3 杂草调查

分别在放鸭前1 d、放鸭后30 d 2个时间节点,按照倒“W”取样法在小区中取9处样点,每个样点1 m²,目测杂草种类、数量,对高度进行测量,统计数据后带回室内,利用烘箱(60℃)烘至恒质量后称质量。

1.4 节肢动物群落调查

分别在水稻分蘖盛期、孕穗期、齐穗期进行。在稻田中划定2条平行的样线,每条平行线约10 m长,两线间距以及各自距离田块边界均在10 m以上,人沿样线匀速行进,计捕虫网(直径35 cm,网深1 m,生产厂家:张家港市凤凰红光科教器材厂)左右挥动180°为1网,每条线扫20网,每块调查田共计扫40网。利用事先准备好的毒袋(30 cm \times 40 cm聚乙烯塑料袋,内含乙酸乙酯的棉球)毒杀扫网捕获到的节肢动物,将麻醉后的节肢动物小心倾倒在干净的A4纸上,现场鉴定出其中的鳞翅目昆虫并剔除,做好记录。将去除了鳞翅目昆虫后的剩余节肢动物倒入50 mL的离心管中,加入75%的乙醇进行浸泡保存,乙

醇量需盖过试管中的样本,编号后带回室内镜检鉴定,统计节肢动物种类及个体数。

1.5 稻田主要虫害危害程度调查及节肢动物的鉴定

分别在水稻分蘖盛期、孕穗期、齐穗期进行。按平行线抽样法(3条样线,相互之间相距5 m以上,每条样线3处样点)进行抽样,每个样点1 m²,调查样点内卷叶数、枯心(白穗)数以及对对应害虫个体数。

上述所得的样品在室内利用体视显微镜进行节肢动物分类鉴定和计数。将《中国稻区常见飞虱原色图鉴》《农田常见昆虫图鉴》《农业昆虫学》《中国水稻害虫天敌的识别与利用》等作为主要参考书目,进行特征比对与鉴定,尽可能鉴定到种,不能鉴定到种的以属名或者科名代替。

1.6 数据分析

1)计算每个稻田样点节肢动物的群落参数。具体为:Shannon-Weiner 多样性指数(H')、Pielou 物种均匀度指数(J)。计算公式如下:

$$H' = -\sum (P_i)(\ln P_i) \quad (1)$$

$$J = \frac{H'}{H'_{\max}} \quad (2)$$

式(1)、(2)中, H' :Shannon-Weiner 多样性指数; J :Pielou 物种均匀度指数; N :每平方米虫数; P_i :第*i*个物种的个体数(N_i)占样方所有物种的总个体数(N)的比例; S :物种种类数的总和; H'_{\max} :假定群落内各个物种均以相同比例存在时的 H' 值。在计算过程中,一般用 $\ln S$ 替代 H'_{\max} 。

2)计算主要虫害的为害程度。卷叶率为样方内总卷叶数占样方总叶片数比例,枯心率为样方内总枯心数占样方内总分蘖数的比例。

3)统计学分析。利用SAS软件对上述群落参数以及主要害虫(稻纵卷叶螟、二化螟、稻飞虱)的百莧虫量、为害率(枯心率、卷叶率)以及田间杂草的数量、高度、频度(杂草在小区取样点中出现的次数占总的取样点数的比例)及质量进行单因素方差分析,Duncan's 法检验不同处理间的差异显著性($\alpha=0.05$)。方差分析前对频度、枯心率、卷叶率数据进行反正弦平方根转换,对百莧虫量做对数转换,然后进行方差齐性检验和正态性检验,符合则进行后续方差分析,如果不符合,将原始数据转换成位秩数据,再利用单因素方差分析不同模式对杂草的影响,Duncan's 法检验不同处理间的差异显著性($\alpha=0.05$)。所有数据的制图均采用Graphpad8.0完成。

2 结果与分析

2.1 小区试验中不同处理对稻田杂草的控制效果

放鸭前各个处理田块仅观察到稗草、异型莎草及喜旱莲子草(*Alternanthera philoxeroides*),且田块间的杂草参数(高度、数量、频度以及干质量)均无显著差异(图1)。

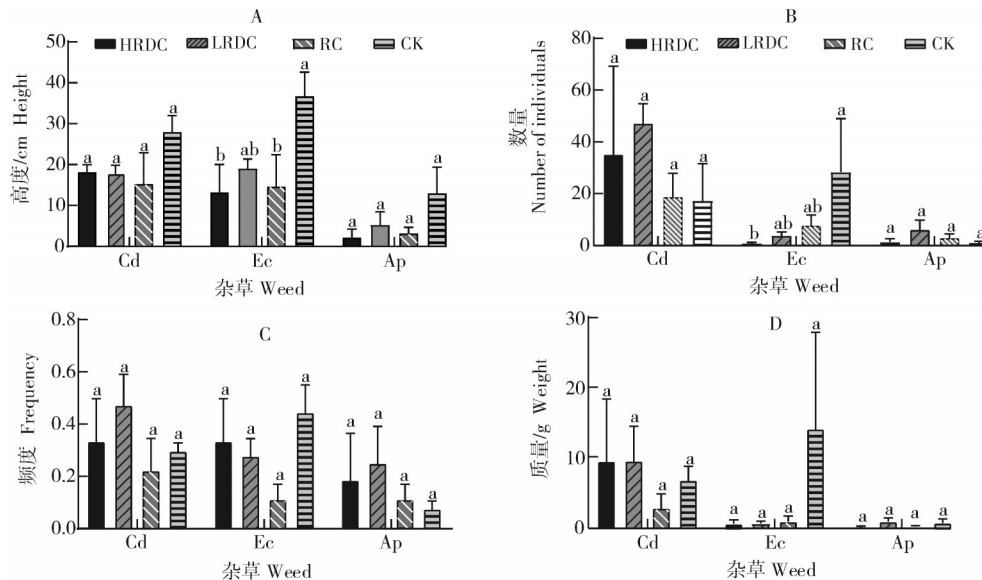
放鸭30 d后,稻田中除上述3种杂草外,还出现了禾本科杂草千金子 *Leptochloa chinensis*。鸭对非禾本科杂草(异型莎草及喜旱莲子草)高度的抑制效果十分明显(依次为 $F=7.45$, $df=3,9$, $P=0.008$; $F=54.11$, $df=3,9$, $P=0.001$),即有鸭的2种模式上的莎草及喜旱莲子草高度均显著低于稻-虾对照,同时水稻单作与有鸭的2种模式差异不显著,由于水稻单作是进行了常规化学除草处理的,可见有鸭的模式控制莎草及喜旱莲子草的效果与化学除草的效果相当;尽管不同模式导致千金子的高度差异极显著($F=54.11$, $df=3,9$, $P=0.001$),但2种有鸭的模式与稻-虾对照之间并无显著差异,且它们均显著低于水稻单作,这表明鸭对后期出现的千金子控制效果不明显;其次,不同模式对稗草高度影响不显著,说明鸭对禾本科杂草稗草控制能力较差(图2)。

同样地,在杂草数量、频度以及烘干后质量方面,除喜旱莲子草干质量在不同模式下未出现显著差异外,其他参数的统计结果与株高的分析趋势一致(图2),即莎草、千金子、喜旱莲子草的处理效应均达到显著水平(杂草数量分析结果依次为 $F=15.61$, $df=3,9$, $P=0.0007$; $F=4.19$, $df=3,9$, $P=0.041$; $F=7.27$, $df=3,9$, $P=0.0089$; 杂草频度依次为 $F=5.71$, $df=3,9$, $P=0.018$; $F=8.22$, $df=3,9$, $P=0.0061$; $F=15.74$, $df=3,9$, $P=0.0006$; 杂草干质量依次为 $F=17.69$, $df=3,9$, $P=0.0004$; $F=11.16$, $df=3,9$, $P=0.0022$; $F=1.85$, $df=3,9$, $P=0.2085$)。结合前面的分析表明,有鸭的模式对非禾本科的莎草和喜旱莲子草有明显抑制的效果而对禾本科杂草的抑制效果较小。

2.2 小区试验中不同处理下的稻田主要害虫

从图3可以看到,不同种植模式对主要害虫的影响同样并不完全一致。

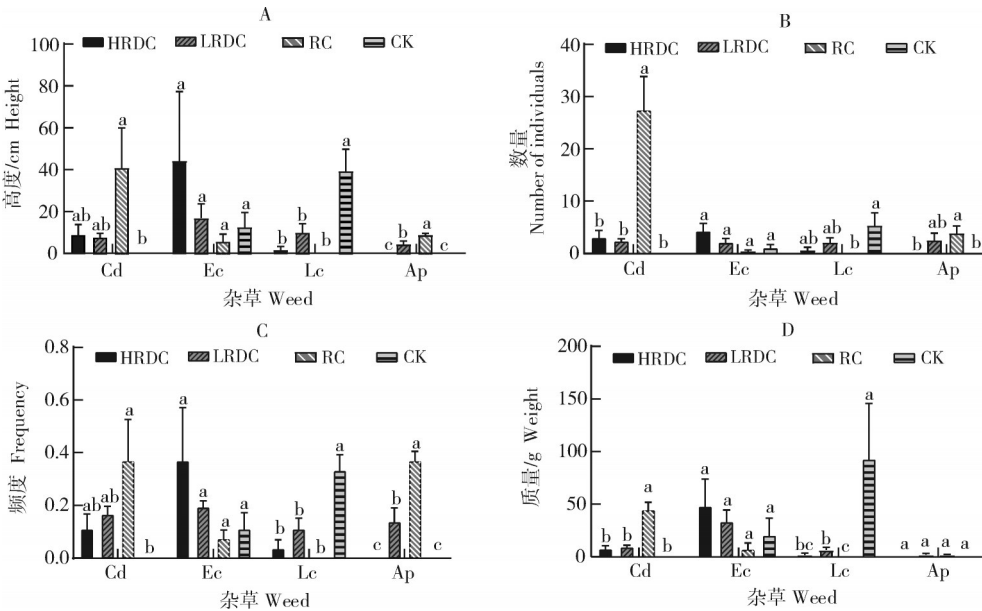
不同模式对稻纵卷叶螟在水稻生育中前期为害影响显著(分蘖期: $F=8.18$, $df=3,9$, $P=0.0055$; 孕穗期: $F=61.37$, $df=3,9$, $P<0.0001$),有鸭的处理在中前期的百莧虫量最高不超过1.76(精简鸭孕穗



HRDC:游牧鸭模式;LRDC:精简鸭模式;RC:稻-虾模式;CK:水稻单作。Cd:异型莎草;Ec:稗草;Ap:喜旱莲子草。柱上不同字母表示不同处理间存在显著差异 $P<0.05$ 。下同。HRDC:Rice-dark-crayfish model with high frequency of dark locomotion; LRDC: Rice-dark-crayfish model with low frequency of dark locomotion; RC: Rice-crayfish cultivation; CK: Rice mono-cultivation. Cd: *Cyperus difformis*; Ec: *Echinochloa crusgall*; Ap: *Alternanthera philoxeroides*. Different letters on the top of column mean significant difference between treatments $P<0.05$. The same as below.

图1 放鸭前各个处理中杂草高度(A)、数量(B)、频度(C)和干质量(D)

Fig.1 Height (A), quantity (B), frequency (C), and dry weight (D) of weed in different treatments before duck release



Lc:千金子 *Leptochloa chinensis*.

图2 放鸭30 d后不同模式下杂草的高度(A)、数量(B)、频度(C)和干质量(D)

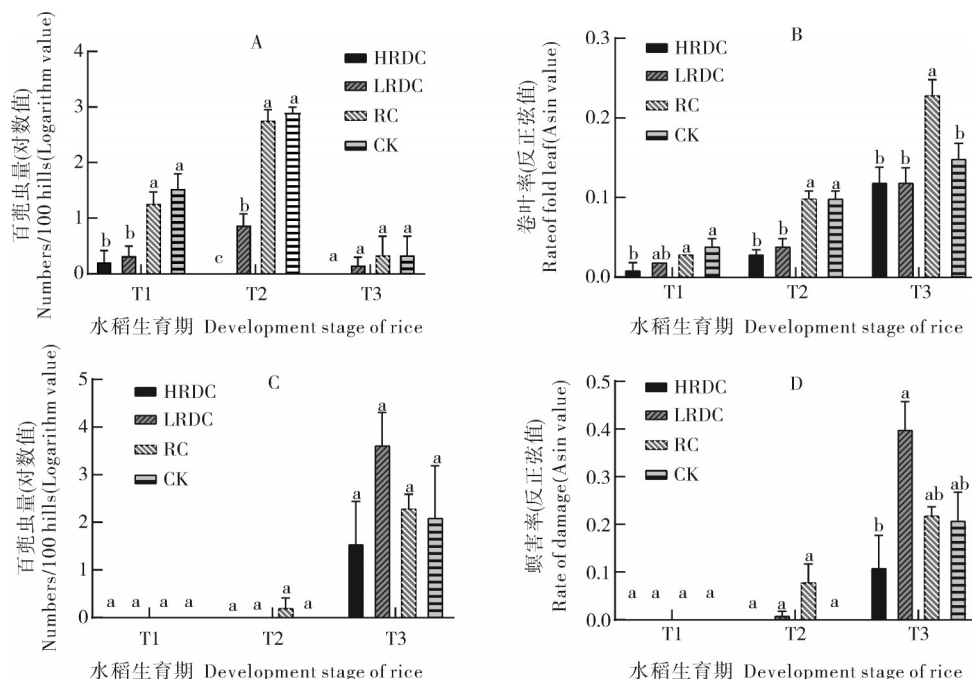
Fig.2 Height (A), quantity (B), frequency (C), and dry weight (D) of weed in different treatments 30 days after duck release

期),均极显著低于相应时期的2个对照处理(稻-虾与水稻单作对照在分蘖期依次为2.78、4.01;孕穗期依次为15.74、17.59)。中前期不同处理田块虫量的显著差异导致卷叶率随着水稻生育期发展逐渐由接近显著差异到出现极显著差异(分蘖期: $F=3.48$, $df=3,9$, $P=0.0637$;孕穗期: $F=27.43$, $df=3,9$, $P=$

0.000 1;齐穗期: $F=7.66$, $df=3,9$, $P=0.007 5$)。有鸭的两处理卷叶率最高出现在齐穗期(精简鸭1.54%),均低于相应时期的稻-虾对照处理(齐穗期5.43%)。水稻单作处理的卷叶率在水稻生育期中前期一直与稻-虾对照差异不大,但由于在持续用药控制,可以看到在齐穗期,其受害程度已与2个有鸭处

理差异不显著(图3)。

而不同模式处理对二化螟的为害影响不显著。在整个试验期间,水稻发育的中前期很少观察到二化螟的为害,在后期(齐穗期)百莠虫量升高到最高58.10头的水平(精简鸭),相应的枯心率达到16%,且不同模式的影响不显著。



T1:分蘖期;T2:孕穗期;T3:齐穗期,下同。T1: Tillering stage; T2: Booting stage; T3: Full heading stage. The same as below.

图3 不同种植模式下稻田稻纵卷叶螟(A、B)及二化螟(C、D)为害程度比较

Fig.3 Comparison of damage degrees of *Cnaphalocrocis medinalis* (A,B) and *Chilo suppressalis* (C,D) in paddy fields under different planting patterns

不同模式处理对稻飞虱的为害影响显著(分蘖期: $F=6.8$, $df=3,9$, $P=0.010 9$;孕穗期: $F=7.42$, $df=3,9$, $P=0.008 3$)。在水稻发育前期有鸭的2个处理百莠虫量低于2个对照(稻-虾与水稻单作依次为16.58,36.58),其中游牧鸭模式下的百莠虫量仅为2.58。随水稻生育期发展,水稻单作模式下由于持续的农药控制,稻飞虱虫量逐渐下降,直至齐穗期时,已显著低于其他3个处理(图4)。

2.3 小区试验中不同处理下的稻田节肢动物群落参数

从图5可以看到,不同种植模式对稻田节肢动物群落参数影响并不完全一致。不同模式对群落的个体数和物种数参数影响并不显著,其中各个处理田块的个体数随水稻生育期的发展波动较小,而物种数则呈逐渐上升的趋势。不同处理对群落多样性指数与均匀度指数的影响在水稻生育期的分蘖期与齐穗期同样也不显著,但是在孕穗期则出现显著或者接近显

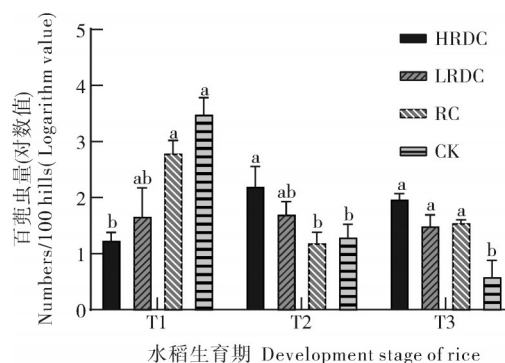
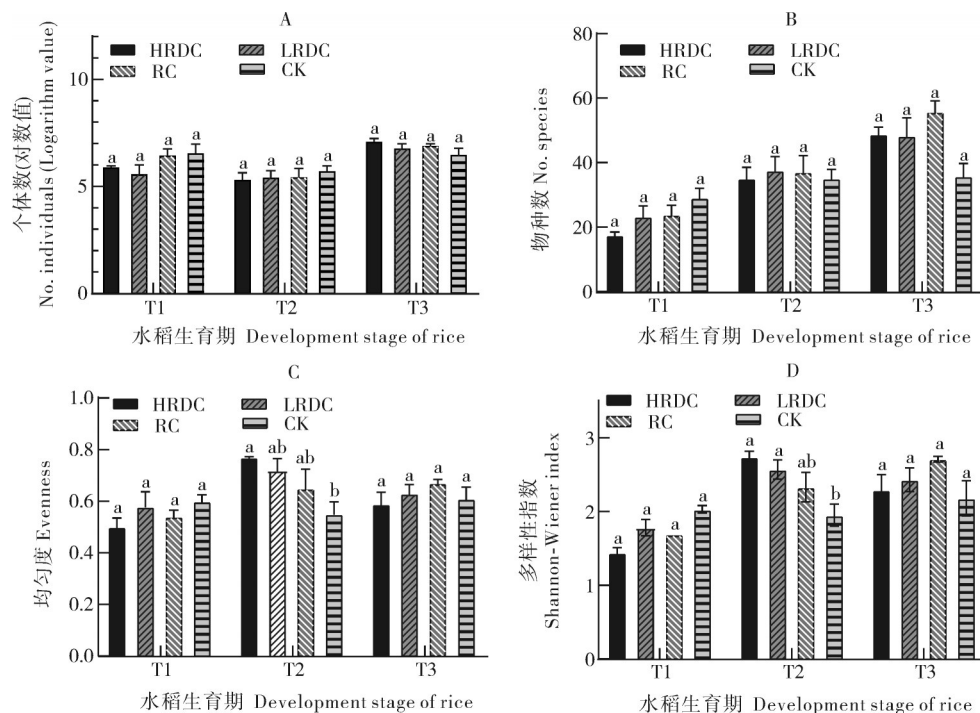


图4 不同种植模式下稻飞虱百莠虫量

Fig.4 Number of planthoppers per hundred hills in paddy fields under different planting patterns

著水平的变化(依次为 $F=5.51$, $df=3,9$, $P=0.02$; $F=3.03$, $df=3,9$, $P=0.086 2$),其中,游牧鸭处理的多样性和均匀度最高(2.743 1,0.772 5),精简鸭处理其次(2.573 4,0.728 0),游牧鸭处理过的2个参数均显著高于农药处理过的水稻单作对照(1.951 6,0.551 0)。



A: 个体数; B: 物种数; C: 均匀度; D: 香农多样性指数。A: Number of individual; B: Number of species; C: Evenness; D: Shannon-Wiener index.

图5 不同种植模式下稻田节肢动物群落参数比较

Fig.5 Comparison of arthropod community parameters in paddy fields under different planting patterns

3 讨论

稻田中引入鸭后,其活动和取食对稻田包括水稻在内的所有植物产生不同的直接或者间接的效应。有研究表明,鸭不取食稗草,因而在育秧田中就开始出苗并生长的部分稗草被带入移栽田后不会被鸭取食所影响^[7]。类似地,本研究发现,放鸭30 d后,相比同样未进行农药处理的稻-虾模式,鸭对非禾本科杂草(莎草及喜旱莲子草)高度的抑制效果十分明显。稻-鸭-虾模式中杂草的数量、频度以及干质量都在一定程度表现出强于稻-虾模式的抑制效果,接近于水稻单作模式农药处理后的效果。但对于稗草和千金子这类禾本科杂草,稻-鸭-虾模式并未显示出强于稻-虾的抑制效果,反而是稻-虾模式对于禾本科杂草的抑制效果强于稻-鸭-虾模式,另外,稻-虾模式对于稗草和千金子这类的禾本科杂草效果的抑制效果同样也是要强于水稻单作模式的。稻-虾田中若移栽时虾沟不清除残余小龙虾,其对处于幼苗期的植物(稻苗或者杂草)均有明显取食现象^[8]。出现稻-虾模式中禾本科杂草发生程度明显低于稻-鸭-虾模式的田块,推测是由于稻-虾田引入鸭后,鸭对残存于田沟中虾的取食效应(另有数据,尚未发表)抑制了

小龙虾对早期禾本科杂草苗的取食作用。因此,稻-鸭-虾模式作为一种绿色且综合稻-虾和稻-鸭模式优势的模式,依然需要将禾本科杂草防治作为前期重要的管理工作之一。

鸭在稻田的活动和取食对主要害虫影响也不尽相同。有研究发现,在水稻全生育期内,相比于不打药对照处理,鸭对稻纵卷叶螟和稻飞虱的数量有抑制作用,尤其是到水稻发育的后期,抑制效果显著^[9];这种抑制效果甚至与常规打药对照的抑制效果相当^[10]。本研究同样发现,稻-鸭-虾模式在水稻分蘖期和孕穗期对于稻纵卷叶螟控制效果十分显著,其中游牧鸭的效果较精简鸭更优,这可能与鸭活动频率高有关。到了水稻齐穗期,稻纵卷叶螟的百莧虫量和危害率较稻-虾模式有显著差异,但是与全程农药处理的水稻单作模式差异不显著,可见稻-鸭-虾模式对于稻纵卷叶螟的控制效果强于稻-虾模式。同样地,稻-鸭-虾模式对于稻飞虱数量的抑制在水稻分蘖期较为显著,且游牧鸭模式强于精简鸭模式。另有研究发现仅仅依靠稻-鸭模式不施用任何农药的情况下,对水稻分蘖期时的二代二化螟繁衍的抑制效果不明显^[11]。与之类似的是,本研究中的稻-鸭-虾模式对于二化螟的控制效果亦不显著,但游牧鸭

模式的控制效果要强于精简鸭模式。

稻田中节肢动物群落的多样性水平与其生态功能发挥水平直接正相关,即群落的高多样性有利于其内部自然制约因子(如天敌)发挥生态控制作用。当一个群落中物种丰富度越大和均匀度指数越高时,这个群落的稳定性越高,同时物种越多样^[12]。传统的稻-鸭模式在不施用任何农药、化肥的情况下,田埂节肢动物群落的物种丰富度和均匀度指数较高^[13]。本研究中,相较于稻单作与稻-虾模式,稻-鸭-虾模式的香农指数和均匀度指数在水稻发育早期差异不显著,但随着水稻的发育,香农指数和均匀度指数稳步升高,差异愈发显著。这表明该模式有利于稻田内的节肢动物多样性的构建与保持,继而发挥其相应的生态功能。

综上,稻-虾田养鸭在维持较高经济效益的前提下,提高了杂草的防治效果,不仅限于稻-鸭模式对于非禾本科杂草的优良防效,也兼具了稻-虾模式对于禾本科杂草的优良防效。同时在水稻生长发育前期对虫害的控制方面也有良好的表现。由于综合种养模式需要全面考虑养殖方面动物的安全,农药化肥的施用相较于水稻单作模式减少将近一半(未施用虫害控制的化学药剂),此外,无论是杂草还是虫害,活动能力更强的游牧鸭模式都表现出较精简鸭模式更优良的控害作用,因此,在田间实践中,建议将投入鸭的具体活动方式考虑其中。

参考文献 References

- [1] 周云. 重庆市稻田养殖克氏原螯虾的应用前景[J]. 南方农业, 2016, 10(13): 54-56. ZHOU Y. Application prospect of *Procambarus clarkii* cultured in paddy fields in Chongqing[J]. South China agriculture, 2016, 10(13): 54-56 (in Chinese).
- [2] 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. YUAN W L, CAO C G, LI C F, et al. Methane and nitrous oxide emissions from rice-fish and rice-duck complex ecosystems and the evaluation of their economic significance[J]. Scientia agricultura sinica, 2009, 42(6): 2052-2060 (in Chinese with English abstract).
- [3] 赵建设, 杨巧云, 谢凯权, 等. “稻鸭共作”模式的生态效益及其在生态农场应用的经济效益分析[J]. 中国农业科技导报, 2019, 21(11): 149-156. ZHAO J S, YANG Q Y, XIE K Q, et al. Analysis of ecological benefit of “rice-duck farming” model and its economic benefit in ecological farm[J]. Journal of agricultural science and technology, 2019, 21(11): 149-156 (in Chinese with English abstract).
- [4] 徐世永, 尹超, 程信泽, 等. 有机稻鸭种养模式与效益分析[J]. 现代畜牧科技, 2023(8): 67-69. XU S Y, YIN C, CHENG X Z, et al. Breeding model and benefit analysis of organic rice-duck[J]. Modern animal husbandry science & technology, 2023(8): 67-69 (in Chinese with English abstract).
- [5] 郑华斌, 贺慧, 姚林, 等. 稻田饲养动物的生态经济效益及其应用前景[J]. 湿地科学, 2015, 13(4): 510-517. ZHENG H B, HE H, YAO L, et al. Ecological economic effects and its prospects of raising animals in paddy field[J]. Wetland science, 2015, 13(4): 510-517 (in Chinese with English abstract).
- [6] 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 (in Chinese with English abstract).
- [7] 张自常, 李永丰, 张彬, 等. 稗属杂草对水稻生长发育和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(11): 3177-3184. ZHANG Z C, LI Y F, ZHANG B, et al. Influence of weeds in *Echinochloa* on growth and yield of rice[J]. Chinese journal of applied ecology, 2014, 25(11): 3177-3184 (in Chinese with English abstract).
- [8] 曾安玉, 杨裙, 唐伟峰, 等. 稻虾混合生态种养模式现状及前景探讨[J]. 农业与技术, 2019, 39(3): 118-119. ZENG A Y, YANG Q, TANG W F, et al. Discussion on the present situation and prospect of rice and shrimp mixed ecological planting and breeding model[J]. Agriculture and technology, 2019, 39(3): 118-119 (in Chinese).
- [9] 陈帅. 稻鸭共作模式对水稻主要病虫害发生的影响[J]. 南方农业, 2021, 15(25): 38-40. CHEN S. Effects of rice-duck cooperative cropping mode on the occurrence of main diseases and pests in rice[J]. South China agriculture, 2021, 15(25): 38-40 (in Chinese).
- [10] 孙宇. 稻鸭共作模式稻田害虫天敌调查、效益分析及鸭蛛捕食物的DNA分子追踪[D]. 扬州: 扬州大学, 2019. SUN Y. Investigation and benefit analysis of natural enemies of rice pests in rice-duck cooperative cropping model and DNA molecular tracking of duck spiders catching food[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2019 (in Chinese with English abstract).
- [11] 施慎年, 倪以蓓, 李深峰, 等. 稻鸭共育对稻田虫害和杂草的防除效果[J]. 农业工程技术, 2020, 40(35): 26-27. SHI S N, NI Y B, LI S F, et al. Control effect of rice-duck co-cultivation on pests and weeds in rice fields[J]. Agricultural engineering technology, 2020, 40(35): 26-27 (in Chinese).
- [12] 汤进龙, 吴进才, 李国生, 等. 稻田多种蜘蛛对褐飞虱 (*Nilaparvata lugens*) 捕食量的数学模型及关联度研究[J]. 生态学报, 2001, 21(7): 1212-1215. TANG J L, WU J C, LI G S, et al. Studies on a mathematical model and relational grade for predation of several spiders to the brown planthopper in paddy-field[J]. Acta ecologica sinica, 2001, 21(7): 1212-1215 (in Chinese).

Chinese with English abstract).

- [13] 周子杨. 不同类型稻田非作物生境的节肢动物多样性[D]. 南京: 南京农业大学, 2011. ZHOU Z Y. Arthropod diversity in

non-crop habitats of different types of paddy fields[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011 (in Chinese with English abstract).

Effects of ducks on pests, weeds, and diversity of arthropod communities in paddy fields with rice-crayfish cultivation

ZHANG Xinyue¹, SU Haiying², LI Jiafan¹, YANG Zhengwu³, YU Songshen¹, TANG Pengjia¹,
YANG Zhaowei¹, CHEN Keliang¹, FU Zhouxi¹, CAI Wanlun¹, HUA Hongxia¹

1. College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Shishou Municipal Bureau of Agriculture and Rural Affairs, Shishou 434400, China;

3. Shishou Shuanglüfeng Shrimp and Rice Continuous Cropping Professional Cooperative, Shishou 434400, China

Abstract In order to assess the control effect of the rice-duck-crayfish cultivation models on rice field diseases, pests and weeds, a field experiment was carried out at the Jianli Base of Shuangshui and Shuanglu Research Institute of Huazhong Agricultural University in 2022. The occurrence of diseases, insects, and weeds, as well as the diversity of arthropods in the field were investigated under three different cultivation systems: the rice monoculture (CK), rice-crayfish cultivation (RC) and two rice-duck-crayfish cultivation models (HRDC, rice-dark-crayfish model with a high frequency of dark locomotion; LRDC, with a low frequency). The results showed that ducks had a significant inhibitory effect on non-gramineous weeds (*Cyperus difformis* and *Alternanthera philoxeroides*) ($P < 0.05$), but no significant suppression on grasses such as *Echinochloa crusgall* and *Leptochloa chinensis*. Furthermore, the inhibitory effect of HRDC on non-gramineous weeds was greater than that of LRDC. In addition, compared with CK and RC treatments, the two treatments involving ducks significantly inhibited damage caused by the rice leaf roller borer and the rice planthopper during the tillering and booting stages ($P < 0.05$). However, they did not show a significant control over the rice stem borer. At the booting stage, the diversity and evenness of the plots treated with ducks were significantly higher than those of the CK plots treated with pesticides ($P < 0.05$). Among the treatments, the HRDC exhibited the highest levels of diversity and evenness, followed by the LRDC treatment. In summary, integrating duck farming into rice-crayfish cultivation fields presents a feasible and effective environmentally friendly control system for rice fields.

Keywords rice-duck cultivation; weed; arthropod community; rice cocultivation model; environmental friendly control

(责任编辑:边书京)