

卢王宾, 王晓东, 汪金平, 等. 不同种养模式对水稻生长和产量的影响[J]. 华中农业大学学报, 2025, 44(3): 1-7.
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2025.03.001

不同种养模式对水稻生长和产量的影响

卢王宾, 王晓东, 汪金平, 曹凑贵, 李成芳, 江洋

华中农业大学植物科学技术学院/双水双绿研究院, 武汉 430070

摘要 为实现稻田生态种养模式的高产优质高效目标, 以水稻品种华墨香5号、武禽10号鸭和克氏原螯虾为材料, 设置稻-鸭-虾大田块(rice-duck-crayfish large field block model, BRXD)、稻-鸭-虾单元格投放(rice-duck-crayfish unit release model, CRXD)、稻-鸭-虾“游牧鸭”(rice-duck-crayfish “nomadic duck” model, NRXD)、稻-虾(rice-crayfish coculture, RX)4种种养模式, 以传统水稻单作(monoculture, CK)为对照, 探讨不同种养模式对水稻生长和产量形成的影响。结果显示: 相比于CK模式, 稻-鸭-虾模式(BRXD、CRXD和NRXD)下华墨香5号各个生育时期的群体生长率和齐穗期茎蘖生物量显著增加, 茎蘖生物量分别增加了20.29%、12.83%、11.34%; 其中BRXD各个时期的茎蘖生物量提高显著; 在产量及其构成因素方面, 稻-鸭-虾模式(BRXD、CRXD和NRXD)下华墨香5号穗数减少, 但结实率提高, 平均提高7.97%, 且BRXD和CRXD模式下华墨香5号穗粒数提高, 因而BRXD和NRXD模式下华墨香5号未减产。结果表明: 相比传统水稻单作, 稻-鸭-虾模式尤其是BRXD和CRXD模式, 在减少了肥料和农药投入的前提下, 仍能实现丰产, 表明稻-鸭-虾种养模式能促进水稻生长和产量形成。

关键词 稻-鸭-虾生态种养; 稻田综合种养; 分蘖; 产量; 群体生长率

中图分类号 S511; S966.12

文献标识码 A

文章编号 1000-2421(2025)03-0001-07

稻-虾模式和稻-鸭模式是目前运用最广泛的稻田生态种养模式。稻-虾模式能够改变稻田生态过程和土壤理化性质, 提升土壤肥力, 并且能显著提高土壤微生物多样性^[1-2]。稻-鸭模式除了能够改善土壤性质外, 还由于鸭在田间扰动、捕食、排泄等活动, 对水稻产量及生长特性产生诸多影响^[3]。稻-鸭-虾生态种养模式是稻-鸭共作和稻-虾轮作的结合, 在减少化肥农药投入的同时, 还能够缓解农业生产和环境保护的问题并且增加农民收入, 这种生态种养模式应用前景和效益潜力巨大^[4], 但由于不同地区在模式结构、品种选择、田块规模、配套技术措施等方面缺乏相对统一的操作技术规程, 该模式并没有大面积应用。为实现稻田种养优质、高产、安全、低耗、高效、可持续生产, 本研究以水稻品种华墨香5号、武禽10号鸭和克氏原螯虾为材料, 设置稻-鸭-虾大田块、稻-鸭-虾单元格投放、稻-鸭-虾“游牧鸭”、稻-虾4种种养模式, 探讨不同种养模式对水稻生长和产量形成的影响, 以期为实现稻田“双水双绿”目标提供科

学参考。

1 材料与方法

1.1 试验设置

试验地位于湖北省荆州市监利市横台村华中农业大学双水双绿研究基地, 属江汉平原腹地, 地势平坦开阔, 临近长江, 水源充足。试验时间为2022年4月至2022年11月。土壤基础理化性质为: 有机质 14.71 g/kg, 全氮 1.36 g/kg, 速效磷 4.94 mg/kg, 速效钾 160.80 mg/kg, pH 7.23。

供试水稻品种为华墨香5号, 该品种高产、适应性强、抗病性好。供试虾为克氏原螯虾(*Procambarus clarkii*), 该品种生长速度快、适应能力强。供试鸭品种为武禽10号(白羽鸭), 该品种生存率高、肉质鲜美是肉鸭深加工主选原料品种, 雌雄鸭之比为1:1。

试验设计4种种养模式, 每种模式设3个重复。以农户模式即不养虾不放鸭水稻单作(monoculture,

收稿日期: 2024-09-20

基金项目: 湖北洪山实验室重大项目(2021HSZD002); 湖北省自然科学基金项目(2023AFB789); 武汉市科技特派员产学研专项(2023110201030655)

卢王宾, E-mail: 2234493267@qq.com

通信作者: 江洋, E-mail: jiangyang@mail.hzau.edu.cn

CK)作为对照,株行距16 cm×30 cm,水稻施氮肥量150 kg/hm²,按基肥追肥质量比7:3的比例进行施肥。稻-虾模式(rice-crayfish coculture, RX):小区周围开挖围沟,于3—6月养虾,6月捕捞完毕,未成熟的幼虾移至虾沟中,待水稻移栽复水后再次进入稻田活动。水稻施氮量75 kg/hm²,整个生育期内不使用农药。稻-鸭-虾单元格投放模式(rice-duck-crayfish unit release model, CRXD):采用单元模式,每单元开挖围沟,各田块留有单独鸭棚。在水稻移栽14 d后将雏鸭以180只/hm²的密度放入稻田实行鸭稻共作,其余管理与稻-虾模式(RX)一致。稻-鸭-虾“游牧鸭”模式(rice-duck-crayfish “nomadic duck” model, NRXD):在水稻插秧后10 d左右将雏鸭以90只/hm²的密度放入稻田,鸭棚设置于相邻2块田间且留有通道,其余田间管理措施与稻-鸭共育单元格投放模式一致。稻-鸭-虾大田块模式(rice-duck-crayfish large field block model, BRXD):按照180只/hm²的密度于6月30日放鸭,田块面积为1.65 hm²,田边设置1个可容纳300只鸭的鸭棚,其余田间管理措施与CRXD模式一致。

1.2 株高和分蘖数测定

秧龄15 d的秧苗移栽后各模式重复随机选取3点,每点固定10茼记录基本苗,移栽后第10天开始调查株高和分蘖数,后期每隔7 d记录1次株高和分蘖数,直至齐穗期。

1.3 水稻生育期SPAD测定

移栽后第10天开始,用日本SPAD-502叶绿素快速测定仪测定顶1叶(顶部完全展开的叶片)SPAD值,各模式选30片叶测定每张叶片的上、中、下3点,取平均值。

1.4 水稻干物质和茎蘖生物量测定

每个模式重复取10穴,其中5穴植株用于测定地上部各部分(茎、叶、穗)生物量,另外5穴植株用于测定茎蘖(单个分蘖)生物量,全部装袋后置于烘箱内烘干,至质量恒定后用电子天平称质量。

1.5 群体生长率的测定

测定水稻移栽10 d、分蘖期、孕穗期、齐穗期、成熟期的生物量(干质量),计算群体生长率,计算公式如下:

$$R_{CG} = \frac{m_2 - m_1}{t_2 - t_1}$$

R_{CG} 为群体生长率, g/(m²·d); m_1 、 m_2 分别为前后2个生育时期测定的干物质质量, g; t_1 、 t_2 分别为前后2个生育期时间间隔, d。

1.6 水稻产量及其构成因素测定

水稻成熟期各小区均取5 m²用于实际产量测定,人工收割,晒干后风选,测定质量和含水量,再折算成含水量14%的实际产量。同时各模式每小区随机取样5个1 m²田块,用于计算单位面积水稻有效穗,稻穗手工脱粒后使用YTS-5D(S)考系列水稻数字化考种机器测定结实率、千粒重和穗粒数。

1.7 数据分析

数据采用R 4.3.2作方差分析,用Python 3.10.11进行绘图。

2 结果与分析

2.1 分蘖及株高

由图1A可见,各栽培模式下华墨香5号的分蘖动态相似,均在移栽后30 d左右达到分蘖盛期,在分蘖盛期,BRXD与其余4种模式均存在显著差异,单株分蘖数最高的是CK,为31.8, BRXD分蘖数最低,为24.2,低23.9%;在移栽后60 d, CK的单株分蘖数显著高于4种种养模式。

由图1B可见,移栽后BRXD模式下华墨香5号株高高于其他模式,移栽30 d后,4种种养模式下华墨香5号株高均高于CK,平均高出12.43%;移栽后40 d 4种种养模式下华墨香5号的株高与CK不再有显著差异,移栽60 d后BRXD株高显著高于RX和CRXD模式,表现为BRXD>NRXD>CK>CRXD>RX。由此可见,稻田种养对华墨香5号的株高和分蘖的影响差异主要集中在生长前期,并且这种影响到了生长后期会被逆转。

由图2可见, BRXD和NRXD模式下华墨香成穗率显著高于RX、CK ($P<0.05$), 表现为BRXD>NRXD>CRXD>CK>RX。可见BRXD和NRXD模式下无效分蘖少、有效分蘖多,成穗率显著提高,有利于最终产量的提高。

2.2 SPAD值

SPAD值用于评估水稻叶片叶绿素含量,如图3A所示,华墨香5号齐穗期后,叶片SPAD值先居一个平稳状态,齐穗14 d后,4种种养模式的叶片SPAD值开始下降,CK在齐穗28 d后开始下降。整个生育期CK模式的SPAD均高于其他模式,这可能是由于CK施肥量高于其他模式。齐穗7 d后除BRXD外,其余3个模式SPAD值均显著小于CK,4种种养模式间无显著差异。齐穗后14 d, SPAD值表现类似,表现为CK>BRXD>RX>CRXD>NRXD(图3B)。这表明相比稻-虾模式,稻-鸭-虾大田块模

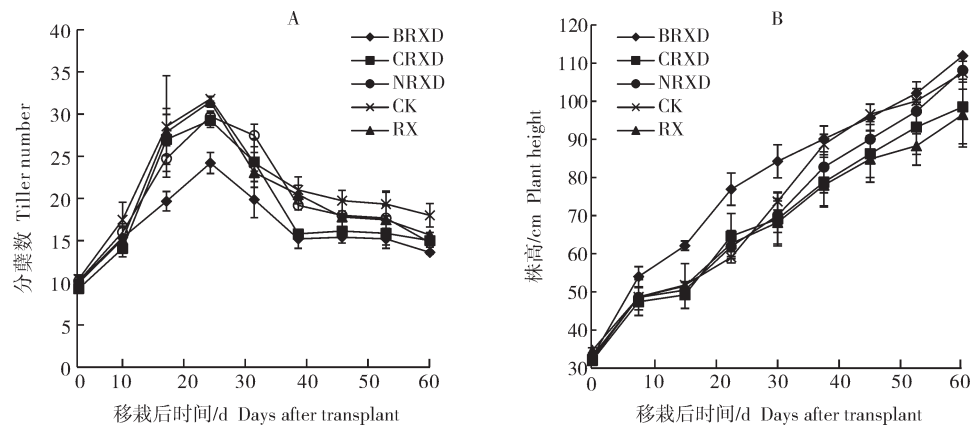


图1 移栽后分蘖(A)及株高(B)动态

Fig.1 Dynamics of tillering(A) and plant height(B) after transplantation

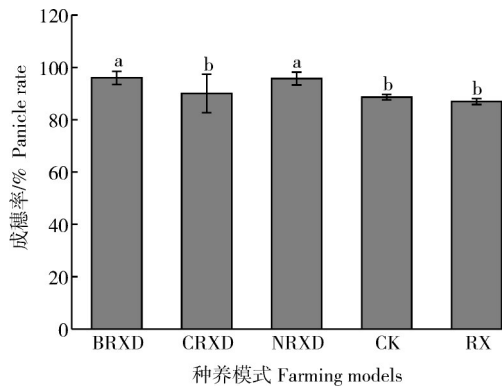


图2 各模式成穗率差异

Fig.2 Difference of panicle rate among treatments
式更能够促进华墨香5号叶片叶绿素含量的提高。

2.3 生物量

由图4可见,成熟期穗的生物量占比最高,各模式之间茎、叶、穗生物量存在差异。4种种养模式茎生物量均显著低于CK,平均低21.19%;各模式中叶的生物量也表现出相似的规律,表现为CK>RX>

CRXD>BRXD>NRXD;4种种养模式的穗生物量均低于CK,NRXD与CK穗生物量差异显著,比CK低13.50%,其余3种模式与CK相比差异均不显著。这说明这3种种养模式在一定程度上可以缓解减肥少药对华墨香5号穗部位生物量的影响。

2.4 群体生长率

由图5可见,各种养模式群体生长率呈现出先增后降的趋势,分蘖期-孕穗期群体生长率达到最大,而后开始逐渐降低;BRXD和CRXD在移栽期-分蘖期的群体生长率显著高于CK,分别高出61.08%、41.38%;在分蘖期-孕穗期4种种养模式群体生长率与CK相比均有显著差异,其中BRXD增幅最高为25.1%;孕穗期-齐穗期的群体生长率也有着类似的规律,BRXD、CRXD、NRXD和RX比CK依次高出12.99%、12.23%、14.51%和8.43%;在齐穗期-成熟期4种种养模式的群体生长率与CK均有差异,但只有BRXD和CRXD与CK差异显著,表现为BRXD>CRXD>NRXD>CK>RX。由此可见,与

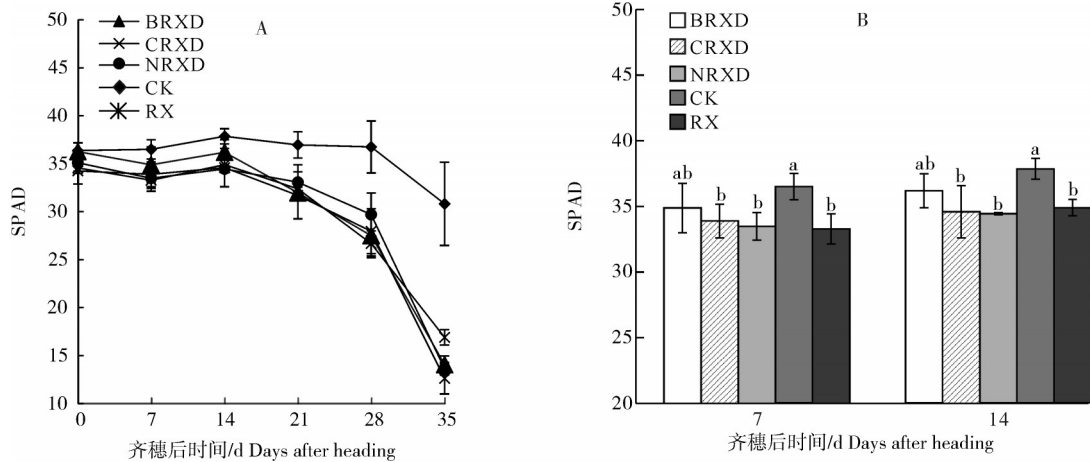


图3 各模式SPAD值动态(A)及齐穗后7和14 d SPAD值(B)

Fig.3 Dynamic SPAD values for each treatment (A) and SPAD values at 7 and 14 days after heading (B)

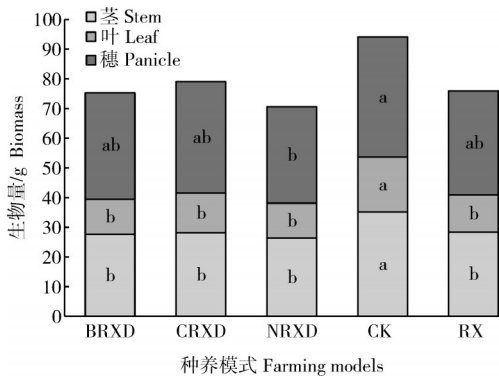
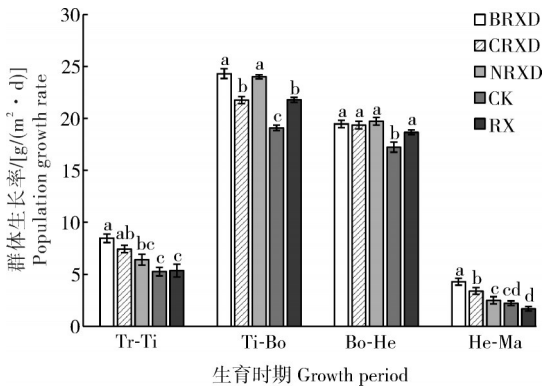


图 4 各种养模式成熟期茎叶穗生物量

Fig.4 Biomass of stem, leaf, and panicle of each model at mature stage



Tr-Ti: 移栽期-分蘖期; Ti-Bo: 分蘖期-孕穗期; Bo-He: 孕穗期-齐穗期; He-Ma: 齐穗期-成熟期。Tr-Ti: Transplanting period to tillering period; Ti-Bo: Tillering stage to booting stage; Bo-He: Booting stage to full heading stage; He-Ma: Full heading stage to maturity stage.

图 5 不同种养模式在不同时期的群体生长率

Fig.5 Population growth rates of different treatments at different stages

CK 相比,4 种种养模式均能显著提高华墨香 5 号分蘖期-齐穗期的群体生长率,使得华墨香 5 号能够积累更多的干物质,进而奠定水稻丰产优质的基础。

2.5 茎蘖生物量

由表 1 可见,在华墨香 5 号的各个生育阶段不同种养模式对华墨香 5 号茎蘖生物量影响显著,在分蘖盛期,4 种种养模式的华墨香 5 号茎蘖生物量均高于 CK,且 BRXD 和 CRXD 达显著水平,分别高出 94.11%、32.35%;孕穗期除 CRXD 茎蘖生物量比 CK 降低了 1.91% 外,其余 3 个模式均显著高于 CK;各种养模式茎蘖生物量在齐穗期均升高,稻-鸭-虾模式(BRXD、CRXD、NRXD)茎蘖生物量比 CK 显著升高,分别高 20.29%、12.83%、11.34%;各模式成熟期的茎蘖生物量表现为 BRXD>CK>RX>CRXD>NRXD,BRXD 最高,比 CK 高 11.11%,茎蘖生物量最

小的是 NRXD,比 CK 低 10.90%;华墨香 5 号整个生育进程中 BRXD 的茎蘖生物量都是最高的。由此可见,鸭在田间活动利于茎蘖生长,具有“壮秆”效应。

表 1 各模式在各时期的茎蘖生物量

Table 1 Tiller biomass of each treatment at different stages

种养模式 Farming model	分蘖期 Tillering stage	孕穗期 Booting stage	齐穗期 Heading stage	成熟期 Maturity stage
BRXD	0.66a	2.82a	4.03a	5.10a
CRXD	0.45b	2.05c	3.78ab	4.24bc
NRXD	0.40bc	2.39b	3.73ab	4.09c
CK	0.34c	2.09c	3.35c	4.59b
RX	0.37bc	2.61ab	3.59bc	4.34bc

2.6 产量及其构成因素

由表 2 可见,各模式下华墨香 5 号产量及产量构成因素均有差异,其中结实率、穗粒数、有效穗、理论产量和实际产量存在显著差异。BRXD、CRXD、NRXD、CK 和 RX 模式下华墨香 5 号产量均值分别为 5.00、4.85、4.73、5.04 和 4.72 t/hm²,4 种种养模式下华墨香 5 号产量均低于 CK,其中 NRXD 和 RX 分别比 CK 低 6.15%、6.34%;除 RX 模式下有效穗数略高于 CK 外,BRXD、CRXD 和 NRXD 模式下的华墨香 5 号有效穗数显著低于 CK,分别低 7.42%、20.11%、3.38%;RX 和 NRXD 模式下的华墨香 5 号每穗粒数相比 CK 显著降低,NRXD 最小,比 CK 少 9.04%,BRXD 和 CRXD 模式比 CK 分别多 4.47%、0.14%,其中 BRXD 模式与 CK 差异显著;稻-鸭-虾模式(BRXD、CRXD 和 NRXD)下华墨香 5 号的结实率均显著高于 RX 和 CK,相较于 CK,分别高出 8.28%、8.90%、7.96%、2.53%。这可能是由于鸭在田间不间断的活动刺激华墨香 5 号生长,促进穗粒数、千粒重、结实率提高。

表 2 各种养模式产量及其构成因素

Table 2 Yield and composition of each model

种养模式 Farming model	有效穗/ (万穗/ hm ²) Panicles	穗粒数 Spikelets per panicle	千粒重/g 1 000- grain weight	结实率/% Filled grain percent	产量/ (t/hm ²) Grain yield
BRXD	252.54b	120.27a	25.75a	75.37a	5.00a
CRXD	217.93c	115.37b	25.95a	75.99a	4.85ab
NRXD	263.58ab	104.78c	25.71a	75.05a	4.73b
CK	272.80a	115.12b	25.42ab	67.09c	5.04a
RX	274.40a	107.35c	24.88b	69.62b	4.72b

3 讨论

在稻-鸭-虾生态系统中,对水稻起主要作用的是鸭,鸭对水稻的影响主要集中在两方面:其一是间接作用,鸭通过改变水稻生长的环境进而影响水稻生长,鸭在田间捕虫、吃草和踩踏田块,产生类似中耕浑水的效果,加快土壤和水体的气体交换,可以有效控制水稻病虫害,同时鸭粪便可作有机肥还田,减少肥料用量,保护稻田生态环境的同时提高稻米的品质^[5-7];其二是直接作用,鸭践踏和啄食水稻能够减少水稻的无效分蘖促进壮蘖形成,提高水稻植株强茎蘖比例^[8],此外鸭与稻接触给水稻造成了机械刺激,从而提高水稻的穗长和结实率^[9]。虾在水稻移栽前养殖,对水稻的直接影响非常小,更多的是通过影响土壤和水体的酶活性、微生物群落、全氮、全磷等^[10]从而间接影响水稻的生长。

水稻剑叶 SPAD 值是用于衡量叶片叶绿素含量的重要指标,研究表明稻-虾模式可提高水稻叶片 SPAD 值^[10-11],本研究发现稻-虾模式叶片 SPAD 值在齐穗期后处于较低水平且显著低于水稻单作,这说明仅依靠虾前期的活动不足以抵消减施氮肥对水稻叶绿素合成的损失。

曹湊贵等^[12]指出稻-虾模式相较于水稻单作可提高产量 4.6%~14.0%,王金华^[13]研究表明稻-虾模式通过提高水稻分蘖数、有效穗数以及穗粒数进而提高产量。本研究结果表明稻-虾模式可显著提高结实率但降低了穗粒数和千粒重因而降低了产量,与上述的研究存在差异。

稻-鸭共作能够降低水稻分蘖数^[14]和株高^[9,15-16],随着鸭的生长,鸭对水稻的机械碰撞、啄食和踩踏强度也随之增强,鸭对水稻株高和分蘖的影响更盛,抑制了水稻中后期部分无效分蘖的形成,降低了最高分蘖数和株高,本研究结果显示 3 个稻-鸭-虾模式的分蘖数均低于 CK,除 BRXD 株高高于 CK 外,其余 2 个模式的株高均低于水稻单作,这与前人的研究结果基本一致,这可能是由于鸭的啄食和机械碰撞刺激作用使得水稻植株变矮、变粗。

王忍等^[17]研究发现,稻-鸭共作区水稻地上部分生物量高于水稻单作,马学虎等^[18]的研究结果显示常规水稻生长区地上部分生物量在成熟期与稻-鸭共作区没有显著差异,但本研究稻-鸭-虾模式下水稻地上部分生物量显著低于水稻单作但茎蘖生物量显著高于水稻单作,这可能是由于施肥量的减

少降低了地上生物量,而鸭的机械碰撞刺激作用减少了无效分蘖,使光合同化物更多地有效分蘖上积累。生物量降低的部分主要集中在茎和叶,穗部位生物量差异不显著,说明稻-鸭-虾模式一定程度上可以缓解减肥少药对水稻穗部位生物量的不利影响。

研究表明,稻-鸭共作可促进水稻生长、提高水稻产量^[15,19],本研究中 3 种稻-鸭-虾模式仅 NRXD 水稻产量显著减少,BRDX 和 NRXD 降低了有效穗但提高了结实率和穗粒数因而并未表现减产。该结果与王强盛等^[20]和盛锋^[21]的研究中稻-鸭共作提高水稻有效穗和结实率的结果不完全一致,与梁玉刚等^[22]的研究中稻-鸭共作可显著提高水稻的穗粒数以及结实率的结果一致。

综上,稻-鸭-虾模式,尤其是 BRXD 和 CRXD 能够有效缓解减肥少药对产量的不利影响,BRDX 对水稻茎蘖生物量和群体生长率等生长指标表现为正向作用,表明 BRXD 模式更加符合“双水双绿”目标,是值得继续深入研究的一种模式。

参考文献 References

- [1] 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.Development status and countermeasures of rice and crayfish model in Hubei Province[J].Journal of Huazhong Agricultural University,2020,39(2):1-7(in Chinese with English abstract).
- [2] 陶先法.稻虾共作模式中红螯螯虾对水稻根际微环境的影响[D].南京:南京农业大学,2022.TAO X F.Effects of rice -crayfish integrated model on root exudates and microorganisms of rice during grain filling[D].Nanjing:Nanjing Agricultural University(in Chinese with English abstract).
- [3] 杨智景,王慧茹,顾海龙,等.泰州地区青虾不同养殖模式经济效益分析[J].水产养殖,2021,42(1):71-72.YANG Z J,WANG H R,GU H L,et al.Economic benefit analysis of different culture modes of freshwater crayfish in Taizhou area[J].Journal of aquaculture,2021,42(1):71-72(in Chinese)..
- [4] JIN T,GE C D,GAO H,et al.Evaluation and screening of co-culture farming models in rice field based on food productivity[J/OL].Sustainability,2020,12(6):2173[2024-09-20].<https://doi.org/10.3390/su12062173>.
- [5] 刘欣.不同栽培模式对水稻物质积累、温室气体排放及稻米品质的影响[D].南京:南京农业大学,2017.LIU X.Effects of different cultivation patterns on rice material accumulation,greenhouse gas emission and rice quality[D].Nanjing:Nanjing

- Agricultural University, 2017 (in Chinese with English abstract).
- [6] 吴降星. 稻田主要害虫生态控制关键技术研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2010. WU J X. Study on key technologies of ecological control of main pests in rice fields[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2010 (in Chinese with English abstract).
- [7] 张建新. 稻鸭共育对水稻生长发育及环境影响的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2005. ZHANG J N. Study on the influence of rice-duck co-cultivation on rice growth and development and environment[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2005 (in Chinese with English abstract).
- [8] 金建华, 徐建强, 沈足金. 稻鸭共生种养模式的优势、技术难点及措施[J]. 南方农业, 2021, 15(2): 22-23. JIN J H, XU J Q, SHEN Z J. Advantages, technical difficulties, and measures of rice duck symbiotic farming model [J]. Southern agriculture, 2021, 15(2): 22-23 (in Chinese).
- [9] 杨志, 董晓涛. 稻鸭种养模式对水稻生育及产量的影响效果初探[J]. 辽宁农业职业技术学院学报, 2009, 11(5): 14-15. YANG Z, DONG X T. Preliminary study on the effect of rice-duck breeding mode on rice growth and yield [J]. Journal of Liaoning Agricultural College, 2009, 11(5): 14-15 (in Chinese).
- [10] 黄兆祥, 章家恩, 梁开明, 等. 模拟鸭稻共作系统中鸭子机械刺激对水稻形态建成的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(6): 717-722. HUANG Z X, ZHANG J E, LIANG K M, et al. Effects of duck mechanical stimulation on rice morphology in simulated duck rice co cropping system [J]. Chinese journal of ecological agriculture, 2012, 20(6): 717-722 (in Chinese with English abstract).
- [11] 周勇. 稻虾模式下小龙虾田间分布特征及环境效应研究[D]. 荆州: 长江大学, 2023. ZHOU Y. Study on field distribution characteristics and environmental effects of crayfish under rice-crayfish model[D]. Jingzhou: Yangtze University, 2023 (in Chinese with English abstract).
- [12] 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).
- [13] 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. WANG J H. Study on dynamic characteristics and transformation law of soil nitrogen in rice-crayfish system [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2018 (in Chinese with English abstract).
- [14] 禹盛苗, 欧阳由男, 张秋英, 等. 稻鸭共育复合系统对水稻生长与产量的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(7): 1252-1256. YU S M, OUYANG Y N, ZHANG Q Y, et al. Effects of rice duck co breeding compound system on rice growth and yield [J]. Chinese journal of applied ecology, 2005, 16(7): 1252-1256 (in Chinese with English abstract).
- [15] 冯尚宗, 王世伟, 赵桂涛, 等. 有机水稻病虫害防治技术研究[J]. 河南农业科学, 2013, 42(11): 90-93. FENG S Z, WANG S W, ZHAO G T, et al. Study on prevention and control technology of diseases, insect pests and weeds in organic rice production [J]. Journal of Henan agricultural sciences, 2013, 42(11): 90-93 (in Chinese with English abstract).
- [16] 章家恩, 许荣宝, 全国明, 等. 鸭稻共作对水稻植株生长性状与产量性状的影响[J]. 资源科学, 2011, 33(6): 1053-1059. ZHANG J E, XU R B, QUAN G M, et al. Influence of rice-duck integrated farming on rice growth and yield characteristics [J]. Resources science, 2011, 33(6): 1053-1059 (in Chinese with English abstract).
- [17] 王忍, 黄璜, 陈灿, 等. 不同生态种养模式对双季稻土壤养分及水稻产量的影响[J]. 杂交水稻, 2024, 39(3): 127-132. WANG R, HUANG H, CHEN C, et al. The effects of different ecological planting and breeding modes on soil nutrients and rice yield in double cropping rice [J]. Hybrid rice, 2024, 39(3): 127-132 (in Chinese with English abstract).
- [18] 马学虎, 马昀君, 黄璜, 等. 稻禽共生对水稻群体生长特性和产量形成的影响[J]. 河南农业科学, 2023, 52(11): 42-48. MA X H, MA Y J, HUANG H, et al. Effects of rice-poultry symbiosis on growth characteristics and yield formation of rice population [J]. Journal of Henan agricultural sciences, 2023, 52(11): 42-48 (in Chinese with English abstract).
- [19] 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. YOU G S. Study on the effect of rice-duck intercropping on weed control and yield increase in paddy fields in mountainous areas [D]. Hangzhou: Zhejiang A & F University, 2013 (in Chinese with English abstract).
- [20] 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 (in Chinese with English abstract).
- [21] 盛锋. 稻鸭共育对稻田环境的影响及效益评估[D]. 武汉: 华中农业大学, 2019. SHENG F. Effect and benefit evaluation of rice-duck co-cultivation on rice field environment [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2019 (in Chinese with English abstract).
- [22] 梁玉刚, 周晶, 余政军, 等. 稻鸭共育对直播水稻田间杂草群落组成及多样性的影响[J]. 华北农学报, 2022, 37(2): 160-170. LIANG Y G, ZHOU J, YU Z J, et al. Effects of rice duck co breeding on weed community composition and diversity in live broadcast rice fields [J]. Huabei agricultural journal, 2022, 37(2): 160-170 (in Chinese with English abstract).

Effects of different farming models on growth and yield of rice

LU Wangbin, WANG Xiaodong, WANG Jinping, CAO Cougui, LI Chengfang, JIANG Yang

*College of Plant Science and Technology/Shuangshui Shuanglü Institute,
Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China*

Abstract Huamoxiang 5 rice, Wuqin 10 duck, and crayfish were used to set up four farming modes including rice-duck-crayfish large field block model (BRXD), rice-duck-crayfish unit release model (CRXD), rice-duck-crayfish “nomadic duck” model (NRXD) and rice-crayfish coculture (RX), with the traditional rice monoculture (CK) as the control. The effects of different farming models on the growth and yield formation of rice were studied to achieve the goal of high yield, high quality and high efficiency under the ecological farming mode in paddy field. The results showed that the population growth rate at different stages of rice growth and the biomass of tiller at the stage of full heading under farming models of BRXD, CRXD, and NRXD significantly increased compared with CK, with biomass of tiller increased by 20.29%, 12.83%, and 11.34%, respectively. The biomass of stem and tiller under farming model of BRXD increased significantly at different stages. In terms of yield and its components, the number of panicles under farming models of BRXD, CRXD, and NRXD decreased, but the seed setting rate increased by an average of 7.97%. The grain number per panicle under farming models of BRXD and CRXD increased. The yield of rice under farming models of BRXD and NRXD had no decrease. It is indicated that the ecological farming of rice-duck-crayfish, especially farming models of BRXD and CRXD, can still achieve high yield while reducing inputs of fertilizer and pesticides compared with the traditional monoculture of rice. The ecological farming of rice-duck-crayfish can promote the growth and yield formation of rice.

Keywords ecological farming of rice-duck-crayfish; integrated farming in paddy field; tillering; yield; population growth rate

(责任编辑: 张志钰)