



“两稻三鸭”共育模式对再生稻、土壤养分 及有害生物影响分析

邵彩虹^{1,2},李秋保³,王国炜⁴,谢建萍²,谢芳腾²,
蒋 龙²,谢金水¹,刘光荣¹,彭春瑞¹

(1. 江西省农业科学院 土壤肥料与资源环境研究所,南昌 330200;2. 赣州市农业科学研究所,江西赣州 341000;
3. 宁都县田头镇农业技术推广站,江西宁都 342816;4. 宁都县会同乡农业技术推广站,江西宁都 342816)

摘 要 为探究再生稻一冬闲模式下稻鸭周年共育生态效应,通过田间试验,研究“两稻三鸭”(RD)和再生稻一冬闲(CK)模式对水稻产量、稻米品质、土壤养分及主要有害生物的影响。结果表明,RD模式可增强头季稻抗倒伏性,提高再生率8.3%,增加再生季有效穗、双季穗粒数、结实率及千粒质量,提高双季产量;与CK相比,RD模式下土壤pH提高0.37,有机质增加5.1%,水解氮提高19.5%、有效磷提高37.5%、速效钾提高2.6%;RD模式对再生稻田间病虫害草害有显著防控效果,当年田间杂草减少74.5%,降低87.6%福寿螺及84.4%纹枯病的危害,次年田间杂草发生基数减少53.6%;RD模式生态效应显著,可作为南方双季稻区绿色生产的重要模式。

关键词 两稻三鸭;生态效应;土壤养分;有害生物;产量品质

中图分类号 S435.11;S451

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2021)12-1871-08

稻田病虫害是影响水稻产量及品质形成的重要因素^[1-3],每年防控投入大量农药,造成“3R”(Residue 残留、Resistance 抗性、Resurgence)问题,带来农业生态环境的破坏,使稻米质量安全降低。稻鸭共育作为“种植和养殖”互惠农耕经典模式已在中国传承千年^[4],是实现水稻“绿色、丰产、优质”的有效措施。近年来,中国很多地区根据水稻栽培的实际条件和需求,开展水稻绿色规模化生产模式下稻鸭共育模式的探索,众多研究者围绕稻鸭共育的生态效应、对水稻产量品质影响及病虫害防控效果等方面进行系统研究^[5-7]。鸭子是杂食性水禽,对稻田有害生物稻飞虱、二化螟、纹枯病及杂草等具有显著的防控效果,稻鸭共育可减少稻田农药投入^[8-9];通过鸭子田间活动可降低水稻分蘖峰值和无效分蘖,减少水稻植株养分消耗,延缓植株衰老,提高籽粒充实度,从而提高产量和米质^[10-11];稻鸭共育模式下鸭子粪便是稻田养分补充的重要来源,多年稻鸭共育可较大程

度改善土壤理化性状,提升有机质及其他养分含量,增加土壤微生物种群丰富度和多样性^[12-14]。

已有的研究表明,稻鸭共育具有明确的生态优势,也为稻鸭共育模式的示范应用提供了坚实的理论依据和参考,但前人的研究主要基于一季稻一鸭模式开展相关研究,关于“两稻三鸭”(指头季稻一再生稻一冬闲或早稻一晚稻一冬闲模式下收获两季水稻共育三季四批鸭子,本研究指头季稻一再生稻一冬闲)对水稻产量品质、土壤养分及病虫害防控效应的研究尚未见报道。江西赣南红壤丘陵山区以再生稻种植模式为主,长期以来,该区域存在着田间福寿螺危害重、冬季气温高、越冬虫草基数高等农业生态问题。为此,基于赣南红壤丘陵山区头季稻一再生稻一冬闲种植模式,周年雨水充沛、田边山塘河流多可为鸭子提供嬉戏水域、农户临田而居便于稻鸭管理及区域田块适度规模连片的生态环境优势,以实现稻稻闲三季周年病虫害防控为目标,开展“两稻三鸭”模式

收稿日期:2020-09-09 修回日期:2020-11-08

基金项目:国家重点研发计划(2018YFD0301105;2016YFD030050702)。

第一作者:邵彩虹,女,博士,副研究员,研究方向为作物生理与分子生态学。E-mail:dixushao@126.com

邵彩虹、李秋保和王国炜为同等贡献作者。

通信作者:刘光荣,男,研究员,研究方向为植物营养和作物栽培。E-mail:lgtrfs@vip.sina.com

彭春瑞,男,研究员,研究方向为作物栽培及红壤生态。E-mail:pcrtfs@163.com

对再生稻双季产量品质、土壤肥料及稻田病虫害防控影响研究,为推进“两稻三鸭”模式应用提供依据和参考。

1 材料与方法

1.1 试验时间与地点

试验于 2019 年 3 月—2020 年 3 月在江西省宁都县会同乡鹧鸪村晓红家庭农场(粮丰再生稻示范基地)进行。

1.2 试验材料

供试再生稻品种为‘甬优 4949’;鸭子品种为当地胡麻鸭。

1.3 试验方法

设“两稻三鸭”共育(RD)、再生稻一闲(CK) 2 个处理,每个处理区域面积 0.667 hm²,共设 3 个重复,“两稻三鸭”处理重复间采用田间开放自由行不设围网,稻鸭共育区与稻一闲区用围网隔离。

1.4 田间管理

头季稻 3 月 25 日播种,4 月 15 日移栽,移栽规格 30 cm×14 cm。再生稻头季总施 N 量 14 kg/667m²,N:P₂O₅:K₂O 为 2:1:2,P 肥作基肥一次性施用,N 肥按基肥:分蘖肥:穗粒肥为 5:2:3 施用,K 肥按基肥:穗粒为 7:3 施用;再生季总施 N 量 10 kg/667m²,按保根促芽肥:提苗肥为 4:6 分两次各于头季稻收割前 12 d、收割后 3 d 施用,K₂O 施用量按 6 kg/667m² 作提苗肥于头季收割后 3 d 一次性施用。头季田间常规水分管理,再生季采用干湿交替灌溉至成熟。

RD 和 CK 除头季稻移栽前 1 周田面喷施 1 次除草剂灭草外,后期大田均不喷施除草剂和杀虫剂,RD 处理分别于头季稻移栽返青后(约 10 d 左右)、头季稻收割后 15 d 及再生稻收割后 3 d 投放 15 日龄雏鸭,稻鸭共育期投放密度 8 只/667m²,共育至齐穗期收鸭上岸或引导至水塘饲养,稻田追肥期间导引鸭子至田边水塘隔离 3 d 再放归田里共育;冬闲投放密度 15 只/667m²,养至鸭子上市,可共育两批;稻鸭共育期以田间采食为主,鸭子投喂量减少 30%左右,上午入田和下午上岸后各投喂 1 次。

1.5 测定指标

1.5.1 叶绿素含量 分别测定 RD、CK 处理下头季稻分蘖期、齐穗期、灌浆期、成熟期及再生季

齐穗期、成熟期功能叶叶绿素含量,用叶绿素仪(SPAD-502 Minolta Japan)测定水稻上部两片叶,避开叶脉测定叶片中断的 SPAD 值,连续测定 10 穴,记录平均值,每个处理测定 5 组数据。

1.5.2 再生稻双季产量与稻米品质 产量:双季稻收获前 2 d 每个处理取代表植株 5 穴,考种记录每穴有效穗、穗粒数、实粒数、空瘪粒数及千粒质量,计算理论产量和单穴实际产量;各小区实割测定产量,并根据取样产量和小区面积换算实际产量。

生物量:分别于水稻抽穗期和成熟期采集不同处理代表植株 3 穴,每个处理 3 次重复,将植株分为叶片、茎鞘、穗 3 个部分,105℃杀青 30 min 后 80℃烘干到恒质量,测定各部分干物质质量。

稻米品质:早晚稻各处理收获后脱粒,晾晒至稻谷含水量 14%左右(籼稻稻谷入仓含水量),取 2 kg 送农业农村部稻米及制品质量监督检验测试中心测定稻米品质。

1.5.3 植株抗倒伏性 头季稻收割前 5 d,取不同处理代表植株 5 穴,测定株高、基部第 1 和第 2 节间平均茎粗、重心高度和基部节间抗倒伏力。

1.5.4 土壤养分 于次年春耕前(3 月 15 日)对不同处理土壤养分进行分析,采用“S”形 5 点采样法采集 0~20 cm 耕作层土壤,测定土壤 pH、有机质、全 N、全 P、全 K 及速效 N、P、K 含量。

1.5.5 主要病虫害草害防效 主要病虫害:选取代表田块 3 块,头季稻收获 5 d 前,调查田间纹枯病危害情况,调查采用 5 点取样法,每点连续调查 5 行,每行 20 穴,计算全田病害危害率;再生稻收获前 5 d 调查田间福寿螺成螺及卵块数量,田间调查采用 5 点计数法,每点 50 m²,计算福寿螺成螺数量及卵块数量。

杂草:于再生稻收获前 5 d 对不同处理田间杂草数量进行计数调查,田间调查采用 5 点取样法,每点面积 30 m²,计算田间杂草发生量;次年春耕前(3 月 15 日)对不同处理田间杂草进行取样称量鲜质量和干质量,田间调查采用 5 点取样法,每点面积 30 m²,计算不同处理田间杂草发生量。

1.6 数据分析及计算

采用 DPS(V7.05)及 Excel1.0 数据分析系统对数据进行分析。

茎鞘、叶片干物质输出率及转化率计算:

器官干物质输出率=(抽穗期器官干质量—

成熟期器官干质量)÷抽穗期器官干质量×100%
器官干物质转化率=(抽穗期器官干物质量-成熟期器官干物质量)÷(成熟期穗干质量-抽穗期穗干质量)×100%

2 结果与分析

2.1 “两稻三鸭”模式对再生稻双季产量影响

表 1 显示,稻鸭共育模式下鸭子田间活动踱踏及取食影响后期分蘖的生长,表现为两稻三鸭

模式头季成熟期总有效穗较常规模式减少 2.5%,但平均穗粒数及结实率较常规模式提高 8.6%和 3.7%,头季稻产量增加;鸭子田间活动可刺激植株茎秆、改善田间土壤,增强植株茎秆抗倒伏性和土壤通透性,促进再生季腋芽萌发,表现为再生季稻鸭共育处理茎蘖数显著高于常规处理,再生率提高 7.4%,再生季平均穗粒数、结实率显著高于常规处理,再生季产量提高 12.9%,双季增产 5.9%。

表 1 “两稻三鸭”模式下再生稻双季产量

Table 1 Effect of “two-cropping rice with three duck” farming model on first and ratooning crop rice yield								
处理 Treatment	再生率 Rationing rate		有效穗 (×10 ⁴) Productive panicle	穗粒数 Grains per panicle	结实率/% Seed setting rate	千粒质量/g 1 000-grain mass	理论产量/ (kg/hm ²) Theoretical yield	实际产量/ (kg/hm ²) Harvested yield
头季稻 First crop rice	RD	/	15.7 a	239.6 Aa	80.5 a	23.4 a	10 629.0 Aa	9 850.5 Aa
	CK	/	16.1 b	220.7 Bb	77.6 b	23.1 a	9 553.5 Ab	9 646.5 Ab
再生季稻 Ratooning crop rice	RD	1.3 a	20.6 a	112.5 Aa	89.7 a	21.2 a	6 610.5 Aa	5 853.0 Aa
	CK	1.2 b	19.8 ab	103.4 Bb	87.6 b	20.8 a	5 514.0 Bb	5 185.5 Bb

注:同列数据后不同大小写字母分别表示不同处理间在 0.01 水平或 0.05 水平差异显著;下表 2~4 及图 1~2 同此。
Note: Different uppercase and lowercase letters within the same columns indicate significant differences at 0.01 and 0.05 level, respectively. The same as Table 2—4 and Fig. 1—2.

2.2 “两稻三鸭”模式对再生稻双季干物质转运影响

表 2 显示,稻鸭共育模式下头季稻叶片、茎鞘的干物质输出率较常规模式分别低 6.1%、14.0%,而干物质转化率无显著差异,这一结果表

明,稻鸭共育延缓头季稻后期叶片、茎鞘物质输出,有利于植株保持较高的光合能力和活力;稻鸭模式下再生季叶片、茎鞘干物质输出率显著提高,分别较常规模式提高 8.7%、9.0%,干物质转化率分别提高 3.4%、41.4%。

表 2 “两稻三鸭”模式下再生稻双季干物质转运情况

Table 2 First and ratooning crop rice dry matter translocation under “two-cropping rice with three duck” farming mode

处理 Treatment		干物质输出率/% Rate of dry matter export		干物质转化率/% Rate of dry matter transfer	
		叶片 Leaf	茎鞘 Stem and sheath	叶片 Leaf	茎鞘 Stem and sheath
头季稻 First crop rice	RD	30.6 ABb	19.1 ABb	22.6 a	18.7 Aa
	CK	32.6 Aa	22.2 Aa	21.6 ab	17.5 Aab
再生季稻 Ratooning crop rice	RD	31.1 Aa	32.7 Aa	9.1 a	28.7 Aa
	CK	28.6 ABb	30.0 ABb	8.8 ab	20.3 Bb

2.3 “两稻三鸭”模式对再生稻双季稻米品质影响

表 3 显示,稻鸭共育对再生季稻米品质的影响大于头季稻,主要表现为头季稻不同处理间稻米品质无显著差异,再生季的稻米品质测定结果显示,稻鸭共育可提高稻米的胶稠度,降低垩白粒率和直连淀粉含量,处理间差异显著,食味品质提升,胶稠度、直链淀粉含量达到一级米指标;稻鸭共育提高再生季稻米垩白度、透明度,处理间差异

显著,碱消值降低,处理间差异不显著,垩白度、碱消值达到一级米指标(参照 NY/T83-2017),透明度达到二级米指标。

2.4 “两稻三鸭”模式对头季稻植株茎秆抗倒伏性影响

头季稻生育后期茎秆的抗倒伏能力直接影响再生季腋芽的萌发,健康的茎秆是再生季有较多穗数的重要基础,茎秆后期抗倒伏能力与植株高度、重心高度、基部茎秆粗度(直径)、基部节间长

度及基部节间抗倒伏力密切相关。稻鸭共育可显著增强头季稻后期茎秆抗倒伏能力,主要表现为植株高度降低 2.3%,第一节间茎粗增加 10.7%,重心高度降低 4.4%,第 1、第 2 节间长度分别缩短 0.4 cm 和 0.6 cm,机械抗折能力分别提高 10.5%和 11.5%(表 4)。

表 3 “两稻三鸭”模式下再生稻双季稻米品质

Table 3 First and ratooning crop rice quality under “two-cropping rice with three duck” farming mode									
处理 Treatment		整精米率/% Head rice rate	垩白度/% Chalkiness rate	透明度(级) Transparent	碱消值(级) Setback value	胶稠度/mm Adhesive strength	直链淀粉/% Amylose content	垩白粒率/% Chalkiness grain rate	蛋白质/% Protein content
头季稻 First crop rice	RD	60.5 a	0.6 b	1 Aa	7.0 a	75 a	18.1 Aa	9.0 Aa	6.9 a
	CK	61.2 a	0.7 a	1 Aa	7.0 a	75 a	17.9 Aa	8.0 Aa	7.0 a
再生季稻 Ratooning crop rice	RD	58.6 a	0.2 a	2 Aa	6.5 ab	75 a	16.2 Bb	5.0 Bb	7.8 a
	CK	58.3 a	0.1 b	1 Bb	6.7 a	72 b	18.0 Aa	7.0 Aa	7.0 a

表 4 “两稻三鸭”模式下头季稻茎秆抗倒伏性

Table 4 Lodging-resistant character in first crop rice under “two-cropping rice with three duck” farming mode							
处理 Treatment	株高/cm Plant height	第 1 节间茎粗/cm Stem diameter of first internode	重心高度/cm Height of center of gravity	茎秆强度/N Stem lodging-resistant character		节间长度/cm Internode length	
				第 1 节 First internode	第 2 节 Second internode	第 1 节 First internode	第 2 节 Second internode
RD	118.6 Bb	0.62 Aa	43.3 Bb	23.1 Aa	13.6 Aa	2.2 Bb	5.3 b
CK	121.4 Aa	0.56 Bb	45.3 Aa	20.9 Bb	12.2 Bb	2.6 Aa	5.9 a

表 5 “两稻三鸭”模式下土壤肥力

Table 5 Soil nutrient under “two-cropping rice with three duck” farming mode								
处理 Treatment	pH	有机质/(g/kg) Organic matte	全氮/(g/kg) Total-N	全磷/(g/kg) Total-P	全钾/(g/kg) Total-K	水解氮/(mg/kg) Hydrolytic nitrogen	有效磷/(mg/kg) Available phosphorus	速效钾/(mg/kg) Available potassium
CK	4.69 b	12.04 Bb	1.76 Aa	0.60 Aa	9.01 a	154.71 Bb	17.89 Bb	114.03 b
RD	5.06 a	12.66 Aa	1.53 Bb	0.33 Bb	9.33 a	184.90 Aa	24.60 Aa	117.02 a

2.5 “两稻三鸭”模式对土壤肥力影响

在“两稻三鸭”技术模式下,通过稻—稻—闲 3 季共育 4 批胡麻鸭可显著改善土壤肥力,研究结果显示,稻鸭共育可有效中和土壤酸性,土壤 pH 提高 0.37,促进了土壤养分释放,表现为土壤全量 N、P 显著降低,而土壤速效 N、P、K 含量显著升高,其中水解氮提高 19.5%、有效磷提高

37.5%、速效钾提高 2.6%,处理间差异显著(表 5)。

2.6 “两稻三鸭”模式对再生稻双季病虫草害防控效应

图 1 显示,通过稻鸭共育可食灭当季 87.6%福寿螺,减少 74.5%杂草和 65.3%螺卵块残留;冬闲共育鸭子对控制来年田间杂草有显著效果,田间杂草发生基数降低 53.6%,尤其是成

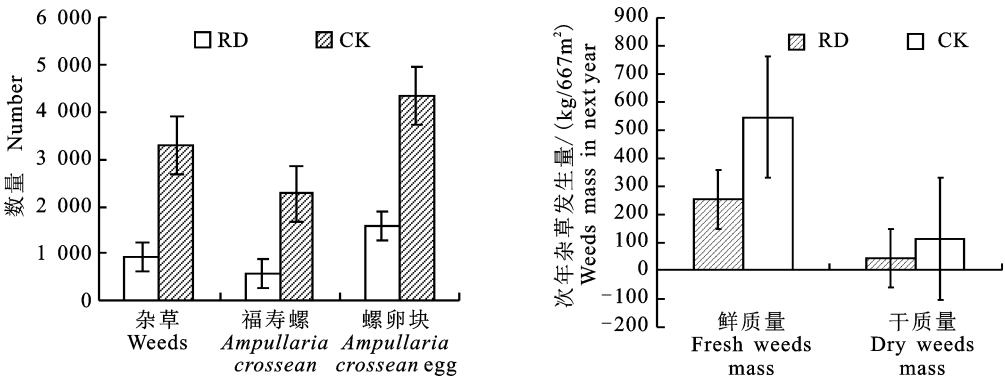


图 1 “两稻三鸭”模式下田间福寿螺及草害发生情况

Fig. 1 Weed and Ampullaria crossean under “two-cropping rice with three duck” farming mode

年杂草数量显著降低,表现为养鸭区杂草鲜干比较冬闲区降低 15.9%(图 2)。

纹枯病是侵害水稻基部茎秆进而引起茎秆倒伏、腋芽死亡的主要病害,是影响再生季丰产的重要因素。在“两稻三鸭”模式下,鸭子通过田间行

走,踩踏基部枯叶和杂草,同时对植株茎秆的碰触有利于刺激水稻植株建立紧凑株型,进而增强田间通风透光,有效抑制纹枯病的发生,“两稻三鸭”模式下,头季稻田纹枯病发生率降低 84.4%,处理间差异显著(图 3)。



图 2 不同模式下的冬闲田

Fig. 2 Idle land in winter with different patterns

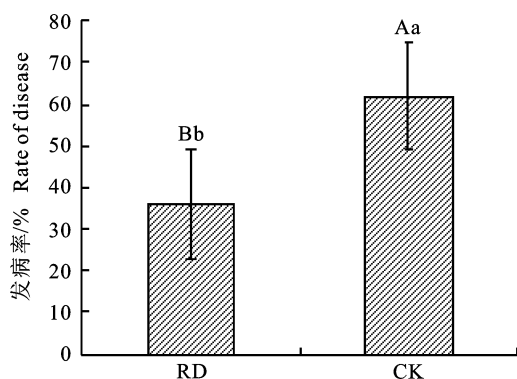


图 3 “两稻三鸭”模式下头季稻纹枯病发生情况

Fig. 3 Sheath blight in first crop rice under “two-cropping rice with three duck” farming mode

3 讨论

3.1 “两稻三鸭”模式对再生稻双季产量及干物质转化影响

稻鸭共育作为一种经典的种养互利模式在中国应用历史悠久,此模式在不同稻区均有应用,在优化水稻农艺性状方面有显著效果。在本研究中,与稻稻闲模式相比,“两稻三鸭”模式下再生稻头季有效穗相对较低,但穗粒数、结实率和千粒质量显著高于稻稻闲模式,这与头季稻分蘖期至齐穗期通过鸭子田间活动踩踏和刺激稻桩,抑制头季稻后期无效分蘖的发生,建立紧凑株型、减少无效分蘖养分消耗有关,该模式延缓了头季稻后期叶片、茎鞘物质转运,维持叶片较高的叶绿素含量,保持植株光合能力,实现穗大粒多结实率高,

从而形成高产,这与已有的研究一致^[10,15];再生稻丰产潜力的发挥与头季稻植株农艺性状密切相关,健壮的植株是再生季有较高再生率的生理基础。本研究中,通过稻鸭共育可显著降低头季植株高度和重心高度、增加基部节间粗度、缩短基部节间长度、提升基部节间抗折力,头季稻植株农艺性状明显优化,再生季的产量构成表明,再生稻双季稻鸭共育可提升头季再生力,再生季叶片、茎鞘干物质转化率显著提升,表现为再生季有效穗、穗粒数、结实率及千粒质量均显著增加,从而实现丰产。

3.2 “两稻三鸭”模式对再生稻双季稻米品质影响

稻米品质的形成受遗传和生态环境调控双重影响^[16-17],其中整精米率是加工品质的主要指标内容,直链淀粉含量、碱消值、胶稠度及蛋白质含量是衡量稻米口感的重要指标,垩白度、垩白粒率是影响稻米外观品质的重要指标。在本研究中,与稻稻闲模式相比,稻鸭共育主要影响再生季稻米的食味品质和外观品质,表现为稻鸭共育模式下再生季稻米的胶稠度提高、直链淀粉含量降低,碱消值稍有变差(碱消值 $6.5 > 5.0$,仍属一级米范围),处理间差异显著,食味品质显著提升;稻鸭共育模式下再生季稻米垩白粒率显著降低,透明度及垩白度上升,但透明度仍可达到二级米、垩白度达到一级米的指标。

3.3 “两稻三鸭”模式对土壤肥力影响

种植模式是引起土壤理化性质改变的一个重

要因素^[18]。本研究中,与稻稻闲模式相比,稻鸭共育模式促进土壤速效养分释放,表现为土壤全氮、全磷含量分别下降 15.1% 和 81.8%,而水解氮及有效磷含量显著增加,分别增加 19.5% 和 37.4%,速效钾稍有上升,与前人研究结果一致^[13-14,19-20],但本研究中土壤全量氮磷下降幅度及速效氮磷增加幅度要明显高于前人的结果,应与传统稻鸭共育多为一季稻模式,鸭子田间活动为 60 d 左右,而本研究中“两稻三鸭”模式下鸭子田间活动时间长达 220 d 以上,共育过程中通过鸭子长期田间觅食、踩踏、翻动土壤等活动改善土壤的通气状况,加速田间杂草、秸秆等腐解释放养分(图 3),鸭子排泄物富含微生物和速效养分^[21],促进土壤微生物的活动,从而加速土壤养分的活化进而提高土壤有效养分含量有关。

鸭子粪便偏碱性,据测算 1 只鸭子日平均产鲜粪 0.14 kg,每 667 m² 稻田围养鸭子 15 只,在一季水稻田中生活 60 d,可排鲜粪 126 kg^[21],从而引起土壤 pH 变化。本研究中,“两稻三鸭”模式下鸭子在田间活动时间长(220 d 以上),土壤的 pH 由 4.69 上升到 5.06,对改善土壤酸碱度具有积极作用。有研究显示,一季稻鸭共作(60 d 左右)会降低土壤 pH^[13],可能与不同水稻种植模式下田间肥水管理不同、稻草还田量差异、稻鸭共作时间不同及取样时期差异有关。本研究也将持续对“两稻三鸭”模式下土壤 pH 年际变化进行研究。

3.4 “两稻三鸭”对病虫草害防控效应

稻鸭共育对水稻病虫草害有明显的抑制作用^[22]。本研究结果显示,与稻稻闲模式相比,“两稻三鸭”模式下头季稻田纹枯病发病率降低 84.4%,应与鸭子的田间活动加速基部枯黄叶脱落,改善水稻群体下部通风透光,从而减轻纹枯病的发生有关;鸭子的杂食性对田间福寿螺和杂草控制效果非常显著,“两稻三鸭”模式下,田间福寿螺及螺卵块分别减少 87.6% 和 65.3%,再生稻当季杂草及来年春耕前田间杂草分别降低 74.5% 和 53.6%,尤其是成年越冬杂草数量显著降低,表现为养鸭区杂草鲜干比较冬闲区降低 15.9%。这一结果表明,“两稻三鸭”模式下冬季田间共育 1~2 批鸭子,通过鸭子田间活动取食草籽抑制次年早春杂草萌发效果显著。

4 结 论

优化传统稻鸭共育模式为“两稻三鸭”模式,

增加冬闲田一鸭共育,一方面可以优化水稻农艺性状,提升再生稻产量和品质,同时由于鸭子田间活动时间的延长(周年共育 220 d 以上),可明显改善土壤理化性状,有利于培肥地力,改善酸化;另一方面“两稻三鸭”模式对田间有害生物具有显著的防控效果,减少田间纹枯病和福寿螺危害,鸭子冬闲田间活动也加速当年秸秆腐解,减少田间杂草、稻桩等害虫越冬场所的残留,对抑制次年杂草及虫口基数均具有积极的作用,“两稻三鸭”模式可作为南方双季稻区绿色生产、实现农业可持续发展的一种重要模式。

参考文献 Reference:

- [1] 禹盛苗,金千瑜,欧阳由男,等. 稻鸭共育对稻田杂草和病虫害的生物防治效应[J]. 中国生物防治, 2004, 20(2): 99-102.
YU SH M, JIN Q Y, OUYANG Y N, et al. Efficiency of controlling weeds, insect pests and diseases by raising ducks in the paddy fields[J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2004, 20(2): 99-102.
- [2] 王献志. “稻鸭共育”对稻田病虫草害的控制效果分析[J]. 安徽农学通报, 2016, 22(1): 37-39.
WANG X ZH. Efficiency of controlling diseases, pests and weeds by raising duck in the paddy fields[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2016, 22(1): 37-39.
- [3] 蒋竹英,李丽立. 稻鸭共作技术对水稻及其病虫害的影响[J]. 水禽世界, 2011(5): 33-36.
JIANG ZH Y, LI L L. Effects of rice-duck integrated farming technology on rice and diseases and insect pests[J]. *Shuiqin Shijie*, 2011(5): 33-36.
- [4] 冉茂林,陈 铮,谷义成. 我国稻田养鸭的发展及研究现状[J]. 中国畜牧杂志, 1993(5): 58-59.
RAN M L, CHEN ZH, GU Y CH. The development and research status of raising duck in the paddy fields in China[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 1993(5): 58-59.
- [5] 全国明,章家恩,黄兆祥,等. 稻鸭共作系统的生态学效应研究进展[J]. 中国农学通报, 2005, 21(5): 360-365.
QUAN G M, ZHANG J E, HUANG ZH X, et al. Review on the ecological effects of integrate rice-duck farming system[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(5): 360-365.
- [6] 魏守辉,强 胜,马 波,等. 长期稻鸭共作对稻田杂草群落组成及物种多样性的影响[J]. 植物生态学报, 2006, 30(1): 9-16.
WEI SH H, QIANG SH, MA B, et al. Influence of long term rice-duck farming systems on the composition and diversity of weed communities in paddy field[J]. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(1): 9-16.
- [7] 秦 钟,章家恩,张 锦,等. 稻鸭共作系统中主要捕食性天敌的生态位[J]. 中国农业科学, 2012, 45(1): 67-76.

- QIN ZH, ZHANG J E, ZHANG J, *et al.* Study on ecological niches of main predatory arthropods in integrated rice-duck farming system [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(1): 67-76.
- [8] 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.
- XIA X Q. Effect of rice-duck farming system on diseases, pests and weeds[J]. *Xiandai Nongye Keji*, 2019(21): 110-111.
- [9] 张志东, 李 春, 刘光富, 等. 稻鸭共育对稻田主要有害生物和水稻产量影响的研究[J]. 中国植保导刊, 2012(3): 21-23.
- ZHANG ZH D, LI CH, LIU G F, *et al.* Influence of rice-duck farming on paddy pest and rice yield[J]. *China Plant Protection*, 2012(3): 21-23.
- [10] 梁玉刚, 胡雅林, 陈奕沙, 等. 稻鸭共育对水稻生长后期农艺性状及产量的影响[J]. 作物研究, 2019, 33(5): 382-387.
- LIANG Y G, HU Y L, CHEN Y SH, *et al.* Effect of rice-duck farming on agronomic character and yield in the late growth stage[J]. *Crop Research*, 2019, 33(5): 382-387.
- [11] 王强盛, 黄丕生, 甄若宏, 等. 稻鸭共作对稻田营养生态及稻米品质的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(4): 639-645.
- WANG Q SH, HUANG P SH, ZHEN R H, *et al.* Effect of rice-duck mutualism on nutrition ecology of paddy field and rice quality[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(4): 639-645.
- [12] 廖咏梅, 黄元腾吉, 韩宁宁, 等. 稻鸭共育模式下水稻根际土壤真菌和细菌种群多样性分析[J]. 南方农业学报, 2019, 50(1): 59-67.
- LIAO Y M, HUANG-YUAN T J, HAN N N, *et al.* Analysis of population diversity of fungi and bacteria in rice rhizosphere soil under rice-duck farming model[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2019, 50(1): 59-67.
- [13] 张 军, 刘 菁, 陈长青. 有机稻鸭共作对土壤理化性状和细菌群落空间分布的影响[J]. 生态学杂志, 2020, 39(3): 822-829.
- ZHANG J, LIU J, CHEN CH Q. Effects of organic rice-duck farming on soil physicochemical properties and spatial distribution of bacterial community[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2020, 39(3): 822-829.
- [14] 余 翔, 王强盛, 王绍华, 等. 稻鸭共作系统的稻田氮素渗漏和径流特征[J]. 应用生态学报, 2009, 20(1): 143-148.
- YU X, WANG Q SH, WANG SH H, *et al.* Characteristics of paddy field nitrogen leakage and run off in rice-duck farming system[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(1): 143-148.
- [15] 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.
- [16] 罗德强, 王绍华, 姬广梅, 等. 水分管理对杂交籼稻产量和群体质量的影响[J]. 贵州农业科学, 2018, 46(10): 41-44.
- LUO D Q, WANG SH H, JI G M, *et al.* Effect of water management on yield and population quality of indica hybrid rice [J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2018, 46(10): 41-44.
- [17] 赵新勇, 王又霜, 王健康, 等. 播期和品种不同对淮北地区水稻产量及品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(9): 38-41, 54.
- ZHAO X Y, WANG Y SH, WANG J K, *et al.* Effects of sowing date and varieties on rice yield and quality in Huai-bei region[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2019, 47(9): 38-41, 54.
- [18] 姜 璐, 申思雨, 吕貽忠. 华北地区有机种植与常规种植土壤质量比较研究[J]. 土壤, 2015, 47(4): 805-811.
- JIANG R, SHEN S Y, LÜ Y ZH. Effect of conventional and organic farming on soil quality in regions of northern China[J]. *Soils*, 2015, 47(4): 805-811.
- [19] 展 茗, 曹凑贵, 江 洋, 等. 不同稻作模式下稻田土壤活性有机碳变化动态[J]. 应用生态学报, 2010, 21(8): 2010-2016.
- ZHAN M, CAO C G, JIANG Y, *et al.* Dynamics of active organic carbon in a paddy soil under different rice farming modes[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(8): 2010-2016.
- [20] 张苗苗, 宗良纲, 谢桐洲. 有机稻鸭共作对土壤养分动态变化和经济效益的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(2): 256-260.
- ZHANG M M, ZONG L G, XIE T ZH. Effect of integrated organic duck-rice farming on the dynamics of soil nutrient and associated economic benefits[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(2): 256-260.
- [21] 杨志辉, 黄 璜, 王 华. 稻-鸭复合生态系统稻田土壤质量研究[J]. 土壤通报, 2004, 35(2): 117-121.
- YANG ZH H, HUANG H, WANG H. Paddy soil quality of a wetland rice-duck complex ecosystem [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35(2): 117-121.
- [22] 兰国俊, 胡雪峰, 程 畅, 等. 稻鸭共生对土壤养分和水稻病虫害防控的影响[J]. 土壤学报, 2021, 58(5): 1299-1310.
- LAN G J, HU X F, CHENG CH, *et al.* Effects of raising duck in paddy field on soil nutrients and rice pests and diseases control [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2021, 58(5): 1299-1310.

Effect of “Two-cropping Rice with Three-season Duck” Farming Mode on Ratoon Rice, Soil Nutrient and Rice Pest

SHAO Caihong^{1,2}, LI Qiubao³, WANG Guowei⁴, XIE Jianping², XIE Fangteng²,
JIANG Long², XIE Jinshui¹, LIU Guangrong¹ and PENG Chunrui¹

(1. Soil and Fertilizer & Resources and Environment Institute, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China; 2. Ganzhou Institute of Agricultural Sciences, Ganzhou Jiangxi 341000, China;
3. Agricultural Technology Extension Station of Tiantou Town, Ningdu Jiangxi 342826, China;
4. Agricultural Technology Extension Station of Huitong Town, Ningdu Jiangxi 342826, China)

Abstract In order to find out the ecological effect of annual co-breeding of ratooning crop rice and duck, two treatments of two-cropping rice with three duck (RD) and ratooning rice-winter idle (CK) were set up. The effects of RD and CK on rice yield, rice quality, soil nutrient, pests and weeds were studied. The results showed that RD could improve lodging resistance and increase ratooning rate by 8.3% in ratooning crop rice. Compared with CK, the high yield of RD was obtained by increasing effective panicle number in ratooning crop rice, and increasing grain number per panicle, seed setting rate and 1 000-grain mass in first and ratooning crop rice. The results also showed that RD could increase soil pH value by 0.37, organic matter by 5.1%, hydrolytic nitrogen by 19.5%, available phosphorus by 37.5%, available potassium by 2.6%, and could inhibit weeds by 74.5% *ampullaria crosseana*, by 87.6%, sheath blight, by 84.4%, and reduce weeds by 53.6% in the following year. RD had remarkable ecological effect and could be used as an important green production mode in double cropping rice area of south China.

Key words Two-cropping rice with three-season duck ; Ecological effect; Soil nutrient; Rice pest; Yield and quality

Received 2020-09-09

Returned 2020-11-08

Foundation item National Key R&D Plan (No. 2018YFD0301105; No. 2016YFD030050702).

First author SHAO Caihong, female, Ph. D, associate research fellow. Research area: plant physiology and molecular ecology. E-mail: dixushao@126.com

SHAO Caihong, LI Qiubao and WANG Guowei have equal contribution.

Corresponding author LIU Guangrong, male, research fellow. Research area: plant nutrition and plant cultivation. E-mail: lgrtfs@vip.sina.com

PENG Chunrui, male, research fellow. Research area: plant cultivation and soil ecology. E-mail: pcrtfs@163.com

(责任编辑: 郭柏寿 Responsible editor: GUO Baishou)