

朱旭,倪明理,吕岩,等. 稻虾共作模式下秸秆还田与投食对稻米品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2023, 42(2): 79-85.
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2023.02.010

稻虾共作模式下秸秆还田与投食对稻米品质的影响

朱旭,倪明理,吕岩,郭子元,叶鑫,张文字,尚永青,汪金平

华中农业大学植物科学技术学院,武汉 430070

摘要 为提高稻虾共作模式的稻米品质和效益,通过设置秸秆还田投食(SF)、秸秆还田不投食(SNF)、秸秆不还田投食(NSF)和秸秆不还田不投食(NSNF)处理,并以水稻单作秸秆还田(CK-S)和水稻单作秸秆不还田(CK-NS)为对照,对秸秆还田和投食对稻米品质的影响进行研究。结果显示:投食(F)处理能显著提高水稻、小龙虾产量和稻米营养品质,在秸秆还田(S)与秸秆不还田(NS)的条件下,F处理比不投食(NF)处理的蛋白质含量分别增加了27.41%和36.16%,差异显著。S处理与F处理的交互作用可显著影响稻米加工品质;整精米率和精米率在NSNF处理下最高,显著高于SF、SNF、NSF;秸秆还田、投食及其交互作用对蒸煮、食味品质无显著影响,稻米RVA黏滞性谱差异性较小;稻虾模式可提高稻米外观品质,稻虾共作模式下各处理垩白粒率和垩白度都低于稻田单作,与CK-S相比,SF处理垩白粒率和垩白度分别降低了15.09%、15.65%。结果表明,稻虾共作秸秆还田与投食2种措施可以改善稻米品质。

关键词 稻田综合种养; 稻虾共作模式; 稻米品质; 秸秆还田; 水稻产量; 绿色种养

中图分类号 S511; S451.1; S966.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2023)02-0079-07

发展水稻生产,提高稻谷有效供给量是保障我国粮食供应与食物安全的重要举措。稻米品质的好坏与人们的日常生活息息相关,对水稻生产的经济效益和应用推广价值具有重要影响。稻米品质包括加工品质、外观品质、蒸煮食味品质以及营养品质,其质量与形成过程主要受水稻品种自身的遗传基因、栽培方式和环境条件所影响,是多基因数量性状与环境因素交互作用产生的结果^[1]。稻田综合种养将水稻种植与水产养殖有机结合起来,生产出绿色、安全、优质的稻米和鱼虾等产品,是一项种养结合、降本增效的生态农业技术^[2]。稻虾共作作为一种新型稻田种养模式,构建了水稻和小龙虾协同生长、互利共生的稻虾种养复合生态系统,在我国长江中下游地区得以大面积推广^[3-4]。

水稻秸秆还田和小龙虾投食是稻虾共作模式的重要措施,秸秆与饲料中含有的氮素等营养物质,会影响水稻生长发育,对群体调控、水稻产量及稻米品质的形成都会产生影响^[5]。相关研究表明,秸秆还田可显著增加整精米率和食味值,降低垩白粒率及垩白度,从而提高稻米的外观品质^[6-7]。投食除了可供

水生动物营养生长所需,饲料中未被取食部分可被水稻直接吸收利用;另外,水产动物摄食饲料后排泄出的粪便含有丰富铵态氮,这是水稻摄入氮素的主要形式^[8-11]。当前,有关稻虾共作对稻米品质影响的研究不多,本研究考察稻虾共作秸秆还田和投食对稻米营养品质、加工品质、外观品质和食味品质的影响,旨在为提高稻虾共作模式的稻米品质和效益提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地点位于湖北省潜江市后湖管理区华中农业大学稻虾试验基地(112°71'E, 30°39'N)。该地为江汉平原腹地低湖区,地势平坦,属亚热带季风性湿润气候,年平均气温16.1℃,年平均日照时数1 949~1 988 h,年平均降水量为1 100 mm,土壤为湖积物发育而成的潮土性水稻土。试验田土壤性状^[12]:有机质26.43 g/kg,总氮2.41 g/kg,总磷0.44 g/kg,总钾19.0 g/kg, pH 7.12。

收稿日期: 2022-11-18

基金项目:中央高校基本科研业务费专项(2662019FW010);湖北省农业科技创新行动专项(2018skjcx01)

朱旭, E-mail: 573683904@qq.com

通信作者: 汪金平, E-mail: wangjp@mail.hzau.edu.cn

1.2 试验材料

供试水稻品种为泰优390,属三系杂交迟熟晚稻,由广东省农业科学院和湖南省金稻种业有限公司选育。供试虾为克氏原螯虾(*Procambarus clarkia*),俗称小龙虾,属杂食性动物,在动物分类学上隶属节肢动物门甲壳纲十足目螯蛄科原螯虾属。

1.3 试验设计

本试验始于2015年,为长期定位稻虾共作秸秆还田与投食试验。试验采用双因素随机区组设计,两因素分别为水稻秸秆还田和小龙虾投食,4个处理,分别为秸秆还田投食(SF)、秸秆还田不投食(SNF)、秸秆不还田投食(NSF)、秸秆不还田不投食(NSNF)处理,另设置水稻单作秸秆还田(CK-S)和水稻单作秸秆不还田(CK-NS)2个处理作对照,共6个处理,3次重复,18个小区。4个稻虾处理小区面积为1000 m²,小区采用随机区组排列;2个水稻单作小区选在相邻稻田,可防止因稻虾田常年灌水影响到水稻单作田的土壤环境,小区面积为100 m²,小区为随机排列。

投食处理小龙虾饲料投喂量为1500 kg/hm²,饲料选用正大牌小龙虾专养配合饲料,其饲料的主要成分中全氮、全磷和全钾的含量分别为46.6、11.0和10.5 g/kg,折合每公顷氮、磷、钾量分别为69.9、16.5和15.8 kg。秸秆还田处理水稻秸秆留茬30~40 cm机械收获,脱粒后进行秸秆全覆盖还田,2017年水稻秸秆还田量平均为10972 kg/hm²,折合纯氮为79.0 kg/hm²;秸秆不还田处理机械收获后,再人工齐地收割,把所有秸秆人工移出稻田。

1.4 田间工程与管理

1)田间工程结构。稻田共作小区四周开挖环形沟,宽2 m,深1.2 m,用于退水时养殖小龙虾;各小区进出口设置3 m宽的机耕道便于农事操作;环形沟外设置防逃网,高0.4 m;每年用生石灰对稻田进行2次消毒。

2)水稻管理。水稻于6月10日进行人工直播,播种后,进行浅水促蘖,自然落干后再灌溉浅水,干湿交替培育健壮群体;水稻进入分蘖期及时晒田促进水稻分蘖生根,晒田复水后湿润管理,孕穗期保持一定水层;抽穗以后采用干湿交替管理,水稻进入蜡熟期再次晒田10 d左右,10月6日收获水稻。水稻施肥总量按N 150 kg/hm²、P 75 kg/hm²、K 120 kg/hm²进行施用,其中,氮肥分基肥和蘖肥2次施用,基蘖肥比为6:4,磷肥和钾肥做基肥一次性施用。

3)小龙虾管理。选择体长5 cm左右、生长健壮的小龙虾苗,投放时间为2015年3月,投放密度为450 kg/hm²,2016—2018年期间未再投虾苗。于2018年3月12日至6月1日投食,1500 kg/hm²;不投食处理全年不投食。小龙虾收获期为4月10日至6月3日,每次收获的小龙虾进行分区记载。6月4日开始缓慢退水,未捕完的小龙虾退到养殖沟,为2019年提供种苗。在水稻种植期间,田面主要用于水稻种植,小龙虾主要在养殖沟处活动(温度高则掘洞),小龙虾在田面活动不多。2017年水稻收获后到越冬前的稻田水位控制在30 cm左右,越冬期间为保温提高水位至40~50 cm;2018年3月份为升温降低至30 cm左右,4—5月为降温水位逐步提高至50~60 cm。播种水稻前,田间退水至5 cm左右,使小龙虾进入虾沟中生活。

1.5 产量及产量构成因子测定

在水稻成熟时,小区按平均穗数取样法取6穴代表性植株,调查各处理植株的有效穗数、每穗粒数、结实率和千粒重等产量构成指标,按标准含水量13.5%计算单位面积产量;小龙虾产量通过将小区每次捕捞的成虾称质量记录,进行累加获取。

1.6 稻米品质测定

收获成熟稻谷后,在通风阴凉处晾晒干燥存放3个月,使其水分含量稳定在13%左右,稻米理化性质不再变化,进行稻米品质测定。测定方法参照GB/T 17891—1999《优质稻谷》执行,用凯氏定氮仪测定稻米蛋白质含量。

1.7 数据处理与分析

运用Excel进行数据录入整理与初步分析、图表绘制等处理,运用SPSS22.0对数据进行差异显著性检验和双因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 秸秆还田与投食对水稻和小龙虾产量的影响

由表1可见,稻虾共作能够显著提高水稻有效穗数和每穗粒数,从而提高产量,SF处理的水稻产量比CK-S处理高20.40%。在稻虾模式中,投食能够显著提高水稻产量和每穗粒数。秸秆还田条件下,SF处理与SNF处理相比,理论产量提高了10.91%,秸秆不还田条件下,NSF处理较NSNF处理理论产量提高12.73%;秸秆还田对水稻产量影响不显著。

表1 秸秆还田与投食对水稻产量构成因子的影响

Table 1 The effects of straw returning and feeding on rice yield and its components

处理 Treatment	有效穗数/m ⁻² Valid panicle(No.)	结实率/% Seed-setting percentage	每穗粒数 Grains per panicle	千粒重/g 1 000-grain weight	理论产量/(t/hm ²) Theoretical yield
SF	197.78ab	69.23a	209.63a	23.77a	9.86a
SNF	194.94abc	68.56a	192.37a	23.71a	8.89bc
NSF	205.67a	70.12a	188.19ab	24.05a	9.30ab
NSNF	198.94ab	71.54a	174.56b	23.77a	8.25cd
CK-S	181.33c	69.88a	188.05ab	24.02a	8.19cd
CK-NS	185.17bc	74.30a	172.73b	23.91a	7.64d

注:SF:秸秆还田投食;SNF:秸秆还田不投食;NSF:秸秆不还田投食;NSNF:秸秆不还田不投食;CK-S:单作秸秆还田;CK-NS:水稻单作秸秆不还田;不同小写字母表示各处理在0.05水平上存在显著性差异,下同。Note:SF:Straw returning with feeding;SNF:Straw returning without feeding;NSF:straw removal with feeding;NSNF:Straw removal without feeding;CK-S:Rice monoculture with straw returning;CK-NS:Rice monoculture with straw removal. The lowercase letters indicate significant difference between groups at 0.05 level. The same as follows.

由图1可知,投食处理能够显著提高小龙虾产量。秸秆还田条件下,SF处理小龙虾产量1.32 t/hm²,相比SNF提高51.72%;秸秆不还田条件下,NSF处理小龙虾产量为1.35 t/hm²,比NSNF提高50%。秸秆还田对小龙虾产量的影响不显著。

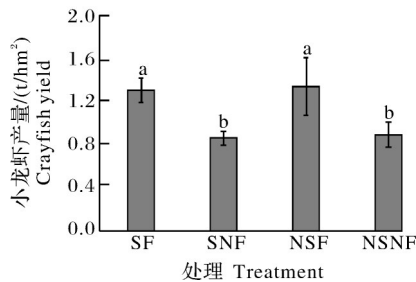


图1 秸秆还田与投食对小龙虾产量的影响
Fig.1 The effects of straw returning and feeding on crayfish yield

2.2 秸秆还田与投食对稻米营养品质的影响

由图2可见,投食显著影响稻米蛋白质含量。无论秸秆还田与否,投食处理均显著高于不投食处理和对照CK-S处理,投食处理对于增加稻米蛋白质含量具有显著作用。秸秆还田条件下,SF处理的蛋白质含量较SNF处理提高了27.41%,秸秆不还田条件下,NSF处理的蛋白质含量与NSNF处理相比,显著提高36.16%,水稻秸秆还田对稻米蛋白质含量影响不显著。

2.3 秸秆还田与投食对水稻加工品质的影响

从图3可知,秸秆还田和投食对出糙率影响不大,除SNF处理的出糙率显著降低,其他处理间差异

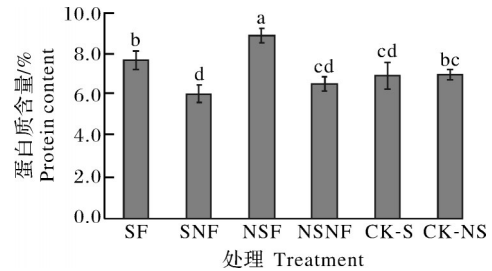


图2 秸秆还田与投食处理对稻米蛋白质含量的影响
Fig.2 The effects of straw returning and feeding on rice protein content

不显著。秸秆不还田条件下,NSF处理的精米率和整精米率低于NSNF处理和CK-NS处理,其精米率和整精米率分别比NSNF处理显著降低了3.41%和10.24%,精米率较CK-NS处理显著降低了3.15%。投食条件下,秸秆还田对加工品质各指标影响不显著。不投食条件下,SNF处理的各项指标均显著低于NSNF处理,出糙率、精米率和整精米率分别降低了4.02%、2.72%和8.14%。多数稻虾模式处理与水稻单作对照差异不显著。

2.4 秸秆还田与投食对稻米外观品质的影响

由表2可见,稻虾模式显著降低了稻米的垩白粒率和垩白度。秸秆还田条件下,与对照组CK-S处理相比,SF处理的垩白粒率和垩白度分别显著降低了15.08%和15.64%,SNF处理的垩白粒率和垩白度分别显著降低了10.24%和12.47%。双因素方差分析结果显示,投食、还田及其交互作用对垩白和粒长均无显著影响,对粒宽和长宽比均存在显著影响。

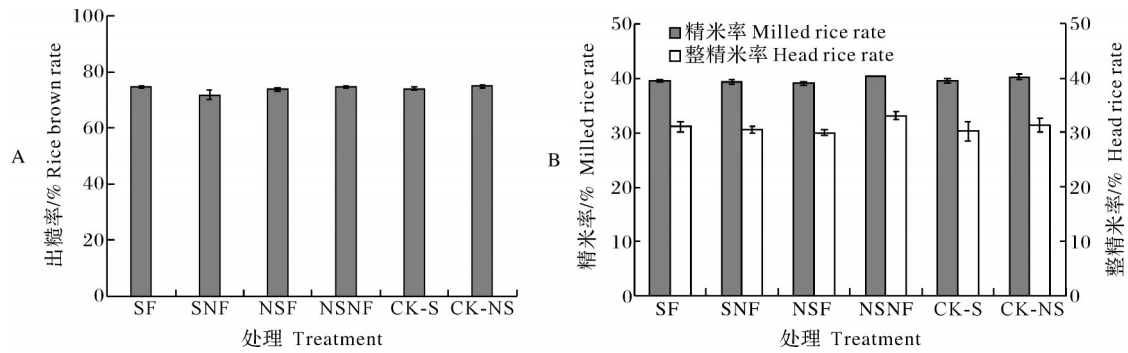


图3 秸秆还田与投食对稻米出糙率(A)、精米率和整精米率(B)的影响

Fig. 3 The effects of straw returning and feeding on rice brown rate(A), milled rice rate and head rice rate(B)

表2 秸秆还田与投食对稻米外观品质的影响

Table 2 The effects of straw returning and feeding on rice appearance quality

处理 Treatment	垩白粒率/% Chalky kernel	垩白度/% Chalkiness degree	粒长/mm Length	粒宽/mm Width	长宽比 Length/width ratio
SF	15.42bc	3.99bc	6.78a	1.82b	3.73a
SNF	16.30b	4.14bc	6.75a	2.17a	3.11b
NSF	15.98bc	3.91c	6.69a	1.89b	3.54a
NSNF	14.61c	3.76c	6.81a	1.76b	3.87a
CK-S	18.16a	4.73a	6.78a	1.73b	3.92a
CK-NS	18.46a	4.67ab	6.87a	1.87b	3.67a
秸秆还田 S	ns	ns	ns	*	*
投食 F	ns	ns	ns	*	*
S×F	ns	ns	ns	*	*

注:*表示在0.05水平有显著差异;ns表示没有显著差异,下同。Note :* indicates significant difference at 0.05 level; ns indicates there is no significant difference. The same as follows.

2.5 秸秆还田与投食对水稻蒸煮和食味品质的影响

稻虾共作模式下秸秆还田与投食处理及其交互

作用对水稻蒸煮和食味品质的影响均不显著。水稻单作对照组的最高黏度、热浆黏度、崩解值和最终黏度等显著高于稻虾共作模式处理(表3)。

表3 秸秆还田与投食对稻米RVA特征值的影响

Table 3 The effect of straw return and feeding on RVA values of rice grains

处理 Treatment	最高黏度/(mPa·s) Peak viscosity	热浆黏度/(mPa·s) Trough viscosity	崩解值/(mPa·s) Breakdown	最终黏度/(mPa·s) Final viscosity	消减值/(mPa·s) Setback	糊化温度/°C Pasting temperature
SF	4 045.80b	1 559.80bc	2 486.10b	2 775.70c	-1 270.20a	80.73a
SNF	4 081.70b	1 579.40bc	2 502.20b	2 789.50c	-1 292.20ab	80.53a
NSF	4 093.90b	1 551.50c	2 542.40b	2 765.60c	-1 328.30ab	80.63a
NSNF	4 155.30b	1 588.70bc	2 566.70ab	2 819.90bc	-1 335.40ab	80.59a
CK-S	4 306.40a	1 626.40ab	2 680.00a	2 904.80ab	-1 401.60b	80.57a
CK-NS	4 185.20ab	1 667.50a	2 517.70b	2 949.00a	-1 236.10a	80.86a
S	ns	ns	ns	ns	ns	ns
F	ns	ns	ns	ns	ns	ns
S×F	ns	ns	ns	ns	ns	ns

3 讨论

本研究结果表明, 稻虾共作模式下投食处理的稻米蛋白质含量均显著高于水稻单作对照组, 候立刚等^[13]的研究亦表明, 稻鸭共作可以提高植株供应营养的能力, 同时提高植株和稻米中的蛋白质含量。中通常认为水稻蛋白质含量与食味品质之间表现为负相关, 蛋白质含量越高越影响食味品质。但王强盛等^[14-15]和安辉等^[16]认为, 稻米营养品质和食味品质能够相互协调, 在一定范围内, 蛋白质含量的提升能够对食味品质产生正向效应。本研究结果表明, 在秸秆还田条件下, 投食处理的出糙率、精米率和整精米率均高于不投食处理, 其中出糙率达到显著差异水平。相关研究亦表明, 稻米籽粒的胚乳结构与蛋白质含量有关, 蛋白质越多米粒越紧密坚硬、强度越大, 蛋白质含量对稻米整精米率有正向作用^[17]。而在秸秆不还田条件下, 投食处理的精米率显著低于不投食处理, 施氮量过大反而会使稻米品质变劣^[18]。

研究者认为水稻垩白性状与施氮水平呈负相关, 增施氮肥可以有效减少垩白。李冠男等^[19]和李晓峰^[20]的试验表明秸秆还田同样有助于减少垩白。本试验中, 不投食条件下, 秸秆还田处理的垩白情况劣于不还田处理, 其中垩白粒率的差异显著。这可能是源于垩白与蛋白质的相关性效应, 结构疏松的淀粉可使光线透过大米间隙产生折射, 导致了垩白的形成, 蛋白质的存在减少或消除了间隙从而减少垩白^[21]。本研究中稻虾共作模式对垩白有改善作用, 稻虾共作模式各处理的垩白度和垩白粒率均显著低于水稻单作对照组。稻米粒长和粒型不易受外界因素影响而改变, 主要是通过粒宽的变化而影响长宽比^[22]。秸秆还田不投食处理的粒宽显著高于其他处理, 较低的长宽比有利于改善水稻加工品质。

RVA谱反映了淀粉在加热、持续高温和冷却的环境条件下所表现出的黏滞力糊化曲线, 其测定条件很好地模拟了日常生活中蒸煮米饭的场景, 可以很好地反映稻米蒸煮特性与口感质地^[23]。通常来讲, 最高黏度和崩解值大、最低黏度和消减值小的稻米品种具有较好的蒸煮和食味品质^[24]。本试验中, 投食量、还田量及其交互作用对RVA谱特征值均无显著影响, 关于RVA谱的形成机制和影响因素还有待进一步研究。稻虾共作模式改善了RVA谱的一些指标, 但另一些指标有着相反的变化趋势, 原因可能是稻虾共作模式的饲料投放和水生动物排泄物增

加了系统养分含量, 氮素增加到一定水平后不利于改善稻米食味品质^[25]。

综合来看, 与水稻单作相比, 稻虾共作模式能降低垩白度和垩白粒率, 改善部分黏滞性谱指标。稻虾共作模式中, 投食能够显著提高水稻和小龙虾产量、稻米蛋白质含量, 而秸秆还田对稻米产量和品质影响不显著。主要原因在于小龙虾饲料氮(纯氮69.9 kg/hm²)约9%被水稻所吸收^[26], 而还田的水稻秸秆虽然含有很多的营养物质(纯氮79.0 kg/hm²), 但经过近9个月的淹水泡田和小龙虾养殖, 最后能被水稻所利用的不多, 从而影响了秸秆还田的效果。因此, 下一步将针对投食饲料氮对稻米品质的作用, 开展稻虾共作不同秸秆还田方式试验, 探究水稻秸秆还田和小龙虾投食对稻米品质形成的生理生化机制。

参考文献 References

- [1] 夏朵, 周浩, 何予卿. 稻米品质的遗传研究及分子育种进展[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(1): 48-61. XIA D, ZHOU H, HE Y Q. Progress of genetics and molecular breeding of rice quality[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2022, 41(1): 48-61 (in Chinese with English abstract).
- [2] 陈灿, 黄璜, 郑华斌, 等. 稻田不同生态种养模式对稻米品质的影响[J]. 中国稻米, 2015, 21(2): 17-19. CHEN C, HUANG H, ZHENG H B, et al. Effects of different mode of ecological planting and raising on rice quality[J]. China rice, 2015, 21(2): 17-19 (in Chinese with English abstract).
- [3] 奚业文, 周洵. 稻虾连作共作稻田生态系统中物质循环和效益初步研究[J]. 中国水产, 2016(3): 78-82. XI Y W, ZHOU X. Preliminary study on material cycle and benefit of rice-shrimp continuous cropping rice-paddy ecosystem[J]. China fisheries, 2016(3): 78-82 (in Chinese with English abstract).
- [4] 闫淋淋. 稻虾共作秸秆还田与投食对水稻生长及养分吸收的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017. YAN L L. Effects of rice-shrimp co-cropping straw returning and feeding on rice growth and nutrient absorption[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017 (in Chinese with English abstract).
- [5] 刘世平, 聂新涛, 戴其根, 等. 免耕套种与秸秆还田对水稻生长和稻米品质的影响[J]. 中国水稻科学, 2007, 21(1): 71-76. LIU S P, NIE X T, DAI Q G, et al. Effects of interplanting with zero tillage and wheat straw manuring on rice growth and grain quality[J]. Chinese journal of rice science, 2007, 21(1): 71-76 (in Chinese with English abstract).
- [6] XIE J, HU L L, TANG J J, et al. Ecological mechanisms underlying the sustainability of the agricultural heritage rice-fish coculture system [J/OL]. PNAS, 2011, 108(50): E1381-E1387 [2022-11-18]. <https://doi.org/10.1073/pnas.1111043108>.

- [7] 吴玉红,王吕,崔月贞,等.轮作模式及秸秆还田对水稻产量、稻米品质及土壤肥力的影响[J].植物营养与肥料学报,2021,27(11):1926-1937.WU Y H, WANG L, CUI Y Z, et al. Rice yield, quality, and soil fertility in response to straw incorporation and rotation pattern[J]. Journal of plant nutrition and fertilizers, 2021, 27(11): 1926-1937 (in Chinese with English abstract).
- [8] 徐国伟. 种植方式、秸秆还田与实地氮肥管理对水稻产量与品质的影响及其生理的研究[D].扬州:扬州大学,2007.XU G W. Effects of planting patterns, straw application and site-specific nitrogen management on grain yield and quality of rice and their physiological mechanism [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2007 (in Chinese with English abstract).
- [9] HU L L, REN W Z, TANG J J, et al. The productivity of traditional rice-fish co-culture can be increased without increasing nitrogen loss to the environment [J]. Agriculture, ecosystems & environment, 2013, 177: 28-34.
- [10] TERJESEN B F, CHADWICK T D, VERRETH J A, et al. Pathways for urea production during early life of an air-breathing teleost, the African catfish *Clarias gariepinus* Burchell[J]. The Journal of experimental biology, 2001, 204(Pt 12): 2155-2165.
- [11] 谢坚. 农田物种间相互作用的生态系统功能——以全球重要农业文化遗产“稻鱼系统”为研究范例[D].杭州:浙江大学,2011.XIE J. Ecosystem function of interspecies interaction in farmland: taking “Rice-fish system”, an important global agricultural cultural heritage, as a research example[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2011 (in Chinese with English abstract).
- [12] 郭子元. 稻虾共作投食和秸秆还田对水稻氮肥利用的影响[D].武汉:华中农业大学,2019.GUO Z Y. The effects of crayfish feeding and straw returning on nitrogen recycling and utilization in rice-crayfish farming ecosystem[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2019 (in Chinese with English abstract).
- [13] 侯立刚,赵国臣,刘亮,等.有机水稻生产环境下稻鸭共作对稻米品质影响性研究[J].北方水稻,2010,40(6):31-32,51. HOU L G, ZHAO G C, LIU L, et al. Studies on the effect of rice-duck intergrowth on rice quality in the environment of organic production [J]. North rice, 2010, 40(6): 31-32, 51 (in Chinese with English abstract).
- [14] 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 S, HUANG P S, 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 (in Chinese with English abstract).
- [15] 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).
- [16] 安辉,刘鸣达,王厚鑫,等.不同稻蟹生产模式对稻蟹产量和稻米品质的影响[J].核农学报,2012,26(3):581-586. AN H, LIU M D, WANG H X, et al. Effects of different rice-crab production models on rice-crab yield and quality [J]. Journal of nuclear agricultural sciences, 2012, 26(3): 581-586 (in Chinese with English abstract).
- [17] JANE J, CHEN Y Y, LEE L F, et al. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch [J]. Cereal chemistry journal, 1999, 76(5): 629-637.
- [18] 唐健,唐闯,郭保卫,等.氮肥施用量对机插优质晚稻产量和稻米品质的影响[J].作物学报,2020,46(1):117-130. TANG J, TANG C, GUO B W, et al. Effect of nitrogen application on yield and rice quality of mechanical transplanting high quality late rice [J]. Acta agronomica sinica, 2020, 46(1): 117-130 (in Chinese with English abstract).
- [19] 李冠男,黄立华,张璐,等.施用有机肥和秸秆还田对东北苏打盐碱地水稻营养与食味品质的影响[J].作物杂志,2019(5):82-88. LI G N, HUANG L H, ZHANG L, et al. Effects of organic fertilizer and straw returning on nutrition and taste quality of rice in saline-sodic soil of northeast China [J]. Crops, 2019(5): 82-88 (in Chinese with English abstract).
- [20] 李晓峰. 秸秆全量还田与氮肥运筹对机插优质食味粳稻产量、养分吸收及品质的影响[D].扬州:扬州大学,2017. LI X F. Effects of total straw returning and nitrogen application on grain yield, nutrient absorption and quality of mechanical transplanted *Japonica* rice with good taste quality [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2017 (in Chinese with English abstract).
- [21] 伍时照,黄超武,欧烈才,等.水稻品种种性研究 III. 水稻品种品质性状的研究[J].中国农业科学,1985,18(5):1-7. WU S Z, HUANG C W, OU L C, et al. Studies on varetal characteristics in cultivars of *Oryza sativa* III. Study on grain quality characters of rice varieties [J]. Scientia agricultura sinica, 1985, 18(5): 1-7 (in Chinese with English abstract).
- [22] 朱满山,汤述翥,顾铭洪. RVA 谱在稻米蒸煮食用品质评价及遗传育种方面的研究进展[J].中国农学通报,2005,21(8):59-64. ZHU M S, TANG S Z, GU M H. Progresses in the study on the assessing, genetic and breeding of the rice starch RVA profile in rice eating quality [J]. Chinese agricultural science bulletin, 2005, 21(8): 59-64 (in Chinese with English abstract).
- [23] AHMED N, ALLISON E H, MUIR J F. Rice fields to prawn farms: a blue revolution in southwest Bangladesh? [J]. Aquaculture international, 2010, 18(4): 555-574.
- [24] 胡培松,翟虎渠,唐绍清,等.利用RVA快速鉴定稻米蒸煮及食味品质的研究[J].作物学报,2004,30(6):519-524. HU P S, ZHAI H Q, TANG S Q, et al. Rapid evaluation of rice cooking and palatability quality by RVA profile [J]. Acta agronomica sinica, 2004, 30(6): 519-524 (in Chinese with English abstract).

- abstract).
- [25] DATTA A, NAYAK D R, SINHABABU D P, et al. Methane and nitrous oxide emissions from an integrated rainfed rice-fish farming system of Eastern India [J]. *Agriculture, ecosystems & environment*, 2009, 129(1/2/3): 228-237.
- [26] 倪明理. 投食对稻虾共作生态系统氮素利用的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2022. NI M L. Effects of feeding on nitrogen utilization in rice-crayfish co-culture system [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2022 (in Chinese with English abstract).

Effects of straw returning and feeding on rice quality under rice-crayfish co-culture mode

ZHU Xu, NI Mingli, LÜ Yan, GUO Ziyuan, YE Xin, ZHANG Wenyu,
SHANG Yongqing, WANG Jinping

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

Abstract Six treatments including straw returning with feeding (SF), straw returning without feeding (SNF), straw removal with feeding (NSF), straw removal without feeding (NSNF), rice monoculture with straw returning (CK-S), and rice monoculture with straw removal (CK-NS) were set up to study the effects of straw returning to field and feeding on rice quality under rice-cray co-culture mode. The results showed that feeding (F) significantly increased the yields of rice and crayfish, and the nutritional quality of rice. In the case of straw returning (S) and straw removal (NS), the content of protein in the F treatment was increased by 27.41% and 36.16%, respectively, significantly improved the nutritional quality of rice. The interaction between S treatment and F treatment significantly affected the processing quality of rice. The whole milled rice rate and milled rice rate were the highest under NSNF treatment, significantly higher than those under SF, SNF and NSF treatment. Straw returning, feeding and their interaction had no significant impact on the quality of cooking and eating. There was no significant difference in RVA viscosity spectrum of rice. Rice-crayfish co-culture mode improved the appearance quality of rice. Compared with CK-S, the chalky grain rate and chalkiness degree of SF decreased by 15.09% and 15.65%, respectively. It is indicated that straw returning and feeding can improve rice quality under rice-crayfish co-culture mode to a great extent.

Keywords intergated farming of planting and breeding in paddy field; rice-crayfish co-culture mode; rice quality; straw returning; rice yield; green planting and breeding

(责任编辑: 张志钰)