

不同轮作模式下秸秆还田与氮肥运筹对杂交籼稻产量及米质的影响

林邨, 李郁, 孙永健, 谌洁, 吕腾飞, 孙知白, 吕旭, 刘芳艳, 郭长春, 孙园园, 杨志远, 马均

引用本文:

林邨, 李郁, 孙永健, 等. 不同轮作模式下秸秆还田与氮肥运筹对杂交籼稻产量及米质的影响[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2020, 28(10): 1581–1590.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.200236>

(向下翻页, 阅读全文)

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

氮肥运筹与栽植方式对杂交籼稻籽粒灌浆及产量的影响

Effect of nitrogen management and cultivation method on grain-filling characteristics and grain yield of indica hybrid rice
中国生态农业学报. 2017, 25(10): 1485–1494 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.170337>

秸秆还田对关中地区麦玉复种体系土壤氨排放的影响

Effect of straw returning on ammonia emissions from soil in a wheat-maize multiple cropping system in the Guanzhong region, China

中国生态农业学报(中英文). 2020, 28(4): 513–522 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.190627>

秸秆还田施氮调节碳氮比对土壤无机氮、酶活性及作物产量的影响

Responses of soil mineral N contents, enzyme activities and crop yield to different C/N ratio mediated by straw retention and N fertilization

中国生态农业学报. 2016, 24(12): 1633–1642 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.160357>

施氮模式对玉-麦周年轮作系统产量和氮吸收利用的影响

Effects of nitrogen application methodologies on yield and nitrogen use efficiencies in a summer maize (*Zea mays*)-winter wheat (*Triticum aestivum*) rotation system

中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(11): 1682–1694 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.190223>

减氮配施控释尿素对水稻产量和氮肥利用的影响

Effect of combined application of controlled-release urea and conventional urea under reduced N rate on yield and N utilization efficiency of rice

中国生态农业学报. 2017, 25(6): 829–838 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.160836>

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.200236

林郢, 李郁, 孙永健, 谌洁, 吕腾飞, 孙知白, 吕旭, 刘芳艳, 郭长春, 孙园园, 杨志远, 马均. 不同轮作模式下秸秆还田与氮肥运筹对杂交籼稻产量及米质的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(10): 1581-1590

LIN D, LI Y, SUN Y J, SHEN J, LYU T F, SUN Z B, LYU X, LIU F Y, GUO C C, SUN Y Y, YANG Z Y, MA J. Effects of straw returning and nitrogen application on yield and quality of hybrid *indica* rice under different rotation patterns[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 28(10): 1581-1590

不同轮作模式下秸秆还田与氮肥运筹对杂交籼稻产量及米质的影响*

林 郢¹, 李 郁¹, 孙永健^{1**}, 谌 洁¹, 吕腾飞¹, 孙知白¹, 吕 旭¹, 刘芳艳¹,
郭长春¹, 孙园园², 杨志远¹, 马 均¹

(1. 四川农业大学水稻研究所/作物生理生态及栽培四川省重点实验室 温江 611130; 2. 中国气象局成都高原气象研究所 成都 610072)

摘 要: 探讨不同轮作模式下作物秸秆还田与氮肥运筹对杂交籼稻产量及米质的影响, 可为多元化轮作模式下水稻提质丰产增效提供理论基础和实践依据。本研究以杂交籼稻‘F优498’为试材, 通过大叶芥菜-水稻、油菜-水稻和小麦-水稻轮作模式下大叶芥菜、油菜、小麦3种前茬作物秸秆还田与不同氮肥运筹(常规施纯氮量为150 kg·hm⁻², 4:4:2和3:3:4两种基肥: 藁肥: 穗肥比例运筹, 及根据前茬作物收获后土壤地力水平和斯坦福方程计算施氮量和基肥: 藁肥: 穗肥为3:3:4的氮肥运筹)处理, 研究前茬作物秸秆还田与氮肥优化配施对杂交籼稻产量及米质的影响, 并探讨多元化轮作模式下杂交籼稻提质丰产的调控途径。结果表明, 3种轮作模式下作物秸秆还田与氮肥运筹对杂交籼稻产量和米质均存在显著或极显著影响, 且两因素对产量、垩白粒率、籽粒蛋白质含量等指标均存在极显著的互作效应。大叶芥菜秸秆(G)分别较油菜秸秆(R)和小麦秸秆(W)还田处理增产1.1%~7.8%、10.5%~19.8%, 且大叶芥菜-水稻模式相对其他轮作模式能进一步提高整精米率、降低垩白粒率和改善食味品质。3种轮作模式下水稻季施氮处理均显著高于不施氮处理, 且均以N₂处理(施氮量150 kg·hm⁻², 氮肥运筹基肥: 藁肥: 穗肥为3:3:4)产量最高, 在此基础上3种轮作模式相对于N₂处理分别减少氮肥用量16.7%(N-G处理)、30.0%(N-R处理)和16.7%(N-W处理), 产量分别减少2.6%、1.7%和5.8%, 其中大叶芥菜-水稻、油菜-水稻轮作模式下水稻减产不显著, 且可以显著降低稻米垩白粒率和垩白度、提高食味品质, 达到提质稳产节氮的效果。综合产量及稻米品质表现, 大叶芥菜-水稻轮作模式下, 适当减少氮肥施用量至125 kg·hm⁻², 氮肥运筹基肥: 藁肥: 穗肥为3:3:4, 为本试验最优组合; 油菜-水稻和小麦-水稻轮作模式下, 氮肥施用量分别为105 kg·hm⁻²和150 kg·hm⁻², 氮肥运筹基肥: 藁肥: 穗肥为3:3:4为宜。

关键词: 杂交籼稻; 轮作模式; 秸秆还田; 氮肥运筹; 产量; 米质

中图分类号: S344.1

开放科学码(资源服务)标识码(OSID):



Effects of straw returning and nitrogen application on yield and quality of hybrid *indica* rice under different rotation patterns*

* 国家重点研发计划重点专项(2018YFD0301202)、四川省科技支撑计划项目(20YYJC2586)和四川省学术和技术带头人培养支持经费(2016-183)资助

** 通信作者: 孙永健, 主要从事水稻高产高效栽培研究。E-mail: yongjians1980@163.com

林郢, 主要从事水稻高产高效栽培研究。E-mail: lindan54@qq.com

收稿日期: 2020-03-31 接受日期: 2020-06-15

* This work was supported by the National Key R&D Program of China (2018YFD0301202), Sichuan Science and Technology Support Plan Project (20YYJC2586) and the Funding of Academic and Technical Leaders Cultivation of Sichuan Province Human Resources and Social Security Department (2016-183).

** Corresponding author, E-mail: yongjians1980@163.com

Received Mar. 31, 2020; accepted Jun. 15, 2020

LIN Dan¹, LI Yu¹, SUN Yongjian^{1**}, SHEN Jie¹, LYU Tengfei¹, SUN Zhibai¹, LYU Xu¹, LIU Fangyan¹, GUO Changchun¹, SUN Yuanyuan², YANG Zhiyuan¹, MA Jun¹

(1. Rice Research Institute of Sichuan Agricultural University / Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology, and Cultivation in Sichuan Province, Wenjiang 611130, China; 2. Institute of Plateau Meteorology, China Meteorological Administration, Chengdu 610072, China)

Abstract: The effects of straw return and nitrogen fertilizer application on the quality and yield of *indica* rice were studied using the hybrid strain 'F you 498'. The multiple-straw rotation method was investigated using the straw return of three previous crops [vegetable-rice (G), rape-rice (R), and wheat-rice (W)]. Nitrogen fertilizer was optimized by testing different ratios [conventional application of pure nitrogen = 150 kg·hm⁻²; base to tiller to panicle fertilizer ratios tested = 4 : 4 : 2 (N₁) and 3 : 3 : 4 (N₂)]. The results showed significant effects on the rice quality and yield in all of the straw return types and nitrogen fertilizer applications. Two factors had a large effect on the yield: the chalky grain rate and the grain protein content. The vegetable-straw yield (g) increased by 1.1%–7.8% compared to rape-straw (R), and by 10.5%–19.8% compared to wheat-straw (W). The vegetable-rice straw also improved the whole rice rate, reduced the chalky grain rate, and improved the food quality. Regardless of straw type, the yield increased after nitrogen fertilizer application, and the highest yield was obtained using the N₂ treatment. All straw types reduced the amount of nitrogen applied: N-G treatment by 16.7%, N-R treatment by 30.0%, and N-W treatment by 16.7%. Compared to the N₂ treatment, the yield decreased by 2.6% (N-G), 1.7% (N-R), and 5.8% (N-W). The rice yield was not significantly reduced when the N-G and N-R rotations were used, but the rice chalkiness rate and chalkiness degree were significantly reduced, and the quality improved. Therefore, rice quality was improved and yields were maintained, but nitrogen was saved. Based on the rice quality and yield when using the vegetable-rice straw rotation, the nitrogen fertilizer amount should be reduced to 125 kg·hm⁻², and a base to tiller to ear fertilizer ratio of 3 : 3 : 4 was the optimal combination in this study. When using the rape-rice and wheat-rice straw rotations, the nitrogen fertilizer amounts should be 105 kg·hm⁻² and 150 kg·hm⁻², respectively, and the fertilizer ratio remains 3 : 3 : 4. This study may provide a theoretical basis for improving the quality and yield of rice when using the straw return rotation method.

Keywords: Hybrid *indica* rice; Rotation mode; Straw returning; Nitrogen application; Yield; Rice quality

以粮食生产为主导的小麦(*Triticum aestivum*)-水稻(*Oryza sativa*)轮作模式(麦-稻)、油菜(*Brassica napus*)-水稻轮作模式(油-稻)和大叶芥菜(*Brassica juncea*)-水稻轮作模式(菜-稻)等多元化轮作模式在我国分布较广,且每年均产生大量的秸秆,而秸秆中含有大量氮、磷、钾、硅等营养元素可供作物再吸收与利用^[1-3]。秸秆还田不仅降低粮食生产成本、改善土壤理化性状、提高作物产量与品质,还可减少秸秆资源浪费和环境污染等问题^[4]。为此,前人对单一水旱轮作体系下秸秆还田对水稻产量及米质的影响进行了大量研究^[5-10]。研究表明,麦-稻模式下秸秆还田可提高作物产量^[5];且秸秆还田与常规化肥配施可提高农田固碳能力、增加作物产量及经济效益^[6];Yan等^[7]、薛亚光等^[8]进一步研究表明,麦秆还田在提高水稻产量的同时还能降低垩白粒率、垩白度,提升米质;朱芸^[9]研究表明,油-稻体系水稻产量较麦-稻体系增产5.9%;刘晓霞等^[10]研究表明,豆-稻-菜[春毛豆(*Glycine max*)、水稻和小萝卜(*Raphanus sativus*)轮作模式]秸秆还田能提高土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾含量及改善土地耕种质量。

同时,氮肥运筹技术是水稻提质丰产栽培技术的重要组成部分。剧成欣等^[11]研究表明,依据实地的土壤养分的有效供给量、实地的水稻产量和水稻对养分的吸收量来确定施肥量,利用叶绿素测定仪(SPAD)和叶色卡(LCC)观测叶片氮素情况指导施肥,可提高粳稻产量并改善米质;武云霞等^[12]研究表明,氮肥运筹对直播稻产量和整精米率、垩白度、垩白粒率、RVA谱、蒸煮食味值的调控作用显著。此外,不同轮作模式下秸秆还田与氮肥优化运筹,不仅能够实现资源的高效利用,还能有效提高经济效益^[13]。王青霞等^[14]研究表明,麦-稻模式下,秸秆还田和氮肥运筹可提高水稻各生育期土壤微生物活性,改善土壤环境;彭志芸等^[15]研究表明,麦-稻、油-稻轮作模式下秸秆还田与氮肥运筹对杂交稻氮素利用率具有显著提升作用^[16]。上述研究主要针对秸秆还田、氮肥运筹,以及单一轮作模式下配套的氮肥运筹对水稻产量及米质的影响,但对于不同轮作模式下秸秆还田与氮肥运筹间的比较研究较少,尤其在轮作模式秸秆还田下,进一步研究减氮配施对杂交籼稻产量及米质的影响,发挥秸秆与氮肥间的耦合

效应鲜见报道。为此, 本研究设置菜-稻、油-稻和麦-稻轮作模式下大叶芥菜、油菜、小麦 3 种前茬作物秸秆还田与不同的氮肥运筹处理, 研究前茬作物秸秆还田与氮肥优化配施对杂交籼稻产量及米质的影响, 并探讨多元化轮作模式下杂交籼稻提质丰产的调控途径, 以期生产中不同轮作模式下水稻提质丰产技术提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验设计

试验于 2018—2019 年在四川省眉山市东坡区悦兴镇金光村试验农场(103°83'E, 30°14'N)进行, 杂交

籼稻品种为‘F 优 498’(中籼迟熟型, 全生育期 145~152 d, 主茎 17 叶, 5 个伸长节间)。试验田土壤为壤土, 理化性状如表 1 所示。采用两因素裂区设计, 主区为 3 种轮作模式下前茬作物大叶芥菜(G)、油菜(R)和小麦(W)秸秆残渣全量粉碎翻埋还田处理; 副区为各轮作模式下氮肥管理方式(表 2)。磷肥(过磷酸钙)施用量折合 P_2O_5 $75 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 钾肥(氯化钾)施用量折合 K_2O $150 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 均全部作基肥一次性施用。4 月 12 日播种, 湿润育秧, 叶龄 5 叶 1 心时, 单株人工移栽, 行株距为 $33.3 \text{ cm}\times 16.7 \text{ cm}$ 。3 次重复, 小区面积 24 m^2 , 小区间筑埂(宽 40 cm)并用塑料薄膜包裹, 以防串水串肥, 其他田间管理按大面积生产田进行。

表 1 不同轮作模式耕层土壤(0~20 cm)化学性质和秸秆还田量

Table 1 Chemical properties of topsoil (0~20 cm) and the amounts of straws returned to the field in different rotation patterns

轮作模式 Rotation pattern	全氮 Total N ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	有机质 Organic matter ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效养分 Available nutrient ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)			pH	秸秆量(干重) Straw amount ($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$, dry weigh)	秸秆氮含量(干重) Straw N content ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, dry weight)
			N	P	K			
大叶芥菜-水稻(G) Leaf mustard-rice	2.25	18.6	128.13	24.1	106.2	6.3	1.63	20.27
油菜-水稻(R) Oilseed rape-rice	1.95	25.9	107.02	21.3	95.3	5.9	7.51	5.31
小麦-水稻(W) Wheat-rice	1.83	26.9	89.24	19.6	73.5	5.8	5.12	7.40

表 2 3 种轮作模式下不同氮肥运筹处理的水稻季氮肥施用时间和施用量

Table 2 Application times and amounts of nitrogen of different nitrogen treatments of rice under three rotation patterns

轮作模式 Rotation pattern	氮肥运筹 N treatment	基肥 Basal fertilizer	分蘖肥 Tilling fertilizer	促花肥 Spikelet boosting	保花肥 Spikelet reserving	总施氮量
						Total N rate $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$
大叶芥菜-水稻(G) Leaf mustard-rice	N_0					0
	N_1	60.0	60.0	15.0	15.0	150
	N_2	45.0	45.0	30.0	30.0	150
	N-G	37.5	37.5	25.0	25.0	125
油菜-水稻(R) Oilseed rape-rice	N_0					0
	N_1	60.0	60.0	15.0	15.0	150
	N_2	45.0	45.0	30.0	30.0	150
	N-R	31.5	31.5	21.0	21.0	105
小麦-水稻(W) Wheat-rice	N_0					0
	N_1	60.0	60.0	15.0	15.0	150
	N_2	45.0	45.0	30.0	30.0	150
	N-W	37.5	37.5	25.0	25.0	125

根据 2018 年试验数据结合斯坦福方程, 分别计算 N-G、N-R、N-W 的施氮量。如: N-W, 水稻目标产量 $10\ 000 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 100 kg 稻谷需氮量为 1.52 kg , N_0 平均产量为 $7\ 200 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 土壤供氮量平均为: $7\ 200\times 1.5=10\ 800 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (1.5 为不施氮区 100 kg 籽粒需氮量, 单位 kg), 氮肥利用率以平均 35% 计算。总施氮量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)= $(10\ 000\times 1.52/100-10\ 800/100)/0.35=125.7 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。N-W 则按 $125 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 纯氮施用。由此再分别计算出 N-G 为 $125 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 纯氮和 N-R 为 $105 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 纯氮。According to the experimental data in 2018 and Stanford Equation, the nitrogen application rates of N-G, N-R and N-W were calculated. For example: N-W, the target yield of rice was $10\ 000 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, the N demand of 100 kg rice was 1.52 kg , N_0 treatment yield was $7\ 200 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, the average N supply of soil was $7\ 200\times 1.5=10\ 800 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (1.5 was the nitrogen requirement of 100 kg grain in the area without nitrogen application, unit: kg), the N use efficiency is 35% . Total N application ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)= $(10\ 000\times 1.52/100-10\ 800/100)/0.35=125.7 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$. The pure nitrogen rate of N-W was $125 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$. Then, the pure nitrogen rates of N-G and N-R were calculated as $125 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ as $105 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, respectively.

1.2 测定项目及方法

1.2.1 考种与计产

成熟期各小区调查代表性稻株 50 株, 计数有效穗数并计算平均值, 并随机取 10 株(每株茎蘖数为各小区的平均茎蘖数)为 1 个样本, 室内考种, 测定穗粒数、实粒数、千粒重, 计算结实率等性状。各小区按实收株数计产(按照 13.5%水分含量)。

1.2.2 米质

各小区稻谷收获后, 称取样品 1 kg 自然阴干 3 个月, 进行风选、去杂后, 测定如下指标:

1) 加工及外观品质: 出糙率依据《GBT 5495—2008》、整精米率根据《GBT 21719—2009》测定, 垩白粒率、垩白度根据《GB/T 17891—1999》、长宽比根据《GB/T 17891—1999》测定。

2) 食味品质和蛋白质含量: 按米水比 1:1.4 蒸煮米饭, 煮熟 2 h 后, 用仪器 SATAKE(日本生产)中的籼稻分析程序, 分析测定口感、硬度、黏度等指标; 采用凯氏定氮法测定稻米蛋白质含量。

3) 淀粉 RVA 谱: 稻米脱壳碾成精米、粉碎、过筛(100 目)后, 用 Super 3 型 RVA 仪(澳大利亚生产)测定分析稻米淀粉 RVA 谱及相关指标。

1.3 数据分析

采用 Excel 2010、DPS 6.5 软件处理试验数据; 多重比较采用最小显著性差异法(LSD)。

2 结果与分析

2.1 3 种轮作模式下秸秆还田与氮肥运筹对产量及其构成因素的影响

各轮作模式下前茬作物秸秆还田、氮肥运筹及其两因素间交互效应对产量均存在极显著影响(表 3)。从 3 种前茬作物秸秆还田处理对产量影响来看, 大叶芥菜秸秆还田(G)分别较油菜秸秆(R)和小麦秸秆还田(W)处理增产 1.1%~7.8%、10.5%~19.8%。各轮作模式下水稻季施氮处理均显著高于 N_0 处理, 且均以 N_2 处理产量最高, G、R 和 W 轮作模式下分别较 N_1 处理高 6.2%、2.5% 和 0.6%。减氮处理(N-G、N-R 和 N-W)与 N_2 相比, 产量分别降低 2.6%、1.7% 和 5.8%, N-G 和 N-R 处理达到了节约氮肥稳产的效果。

由表 3 还可看出, 有效穗数、每穗粒数、总颖花数和千粒重受氮肥运筹的影响高于各模式下前茬作物秸秆还田处理, 且前茬作物秸秆还田对有效穗数和总颖花量影响达显著或极显著水平, 表明各种

表 3 3 种轮作模式下秸秆还田与氮肥运筹对杂交籼稻产量及构成因素的影响

Table 3 Effects of straw returning and nitrogen fertilization on yield and its components of hybrid *indica* rice under three rotation patterns

轮作模式/还田秸秆 Rotation pattern/ returned straw	氮肥运筹 N treatment	有效穗数 Effective panicles ($\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$)	每穗粒数 Spikelets (No. panicle $^{-1}$)	总颖花数 Total spikelets ($\times 10^6 \cdot \text{hm}^{-2}$)	千粒重 1000-grain weight (g)	结实率 Seed setting rate (%)	实际产量 Grain yield ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
大叶芥菜-水稻/大叶芥菜 秸秆(G) Leaf mustard-rice/ leaf mustard straw	N_0	134.2±6.3b	214.6±27.1c	288.0±12.1c	31.65±0.16a	92.6±1.0a	8 465.8±127.3c
	N_1	156.2±3.8a	246.1±10.2b	384.4±8.3b	31.21±0.14b	81.6±4.6b	10 094.8±299.0b
	N_2	157.1±13.6a	268.1±10.3a	421.2±9.0a	29.67±0.23c	90.4±4.2a	10 715.6±358.6a
	N-G	149.6±3.0a	262.4±17.4a	392.7±11.1ab	31.12±0.09b	87.8±2.3a	10 437.2±202.7ab
	平均 Average	149.3	247.8	371.6	30.91	88.1	9 928.3
油菜-水稻/油菜秸秆(R) Oilseed rape-rice/ oilseed rape straw	N_0	128.4±2.9c	231.2±7.4b	296.8±15.1b	31.49±0.57a	88.5±4.0a	7 849.4± 29.5b
	N_1	154.1±11.1a	241.2±22.9ab	371.7±11.3a	30.39±0.76c	86.6±1.5a	9 984.5±361.8a
	N_2	149.8±3.5ab	241.4±23.6ab	361.7±56.8a	30.87±0.38b	88.0±2.6a	10 241.9±196.3a
	N-R	141.3±10.2b	254.6±9.7a	359.8±24.7a	30.93±0.38b	90.9±3.8a	10 071.0±108.3a
	平均 Average	143.4	242.1	347.5	30.92	88.5	9 536.7
小麦-水稻/小麦秸秆(W) Wheat-rice/ wheat straw	N_0	119.3±13.7c	218.2±14.4b	260.3±22.0c	30.95±0.21a	86.1±4.3a	7 068.7±165.5c
	N_1	146.3±7.1a	236.3±9.0ab	345.9±25.1a	30.54±0.21b	88.8±3.9a	9 972.1±278.1a
	N_2	144.6±7.9a	233.7±7.9ab	338.1±11.1ab	30.98±0.37a	90.7±3.5a	10 032.1±146.8a
	N-W	136.0±4.8b	243.0±7.2a	330.5±33.6b	31.27±0.04a	89.5±2.1a	9 449.4±95.6b
	平均 Average	136.6	232.8	318.7	30.93	88.8	9 130.6
F 值	轮作模式 Rotation pattern (A)	7.8*	2.4	25.3**	0.01	0.03	218.4**
F value	氮肥运筹 N treatment (B)	19.7**	7.7**	25.9**	26.64**	1.36	258.0**
	A×B	0.1	1.2	0.8	5.39**	1.18	4.8**

同列同一轮作模式下不同小写字母表示不同氮肥运筹处理在 5% 水平差异显著。*, ** 分别表示在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平影响显著。Different lowercase letters followed mean±S.E. in the same column indicate significant differences at $P < 5\%$ level among different N treatments within same rotation mode. *, ** indicate significant effect at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively.

植模式下前茬作物秸秆还田和适宜氮肥运筹调控可以对产量构成因子进行调节, 达到促产的目的。各轮作模式前茬作物秸秆还田处理下, 有效穗数、每穗粒数、总颖花数均值均表现为 $G>R>W$, G 和 R 处理间差异不显著, W 处理显著低于 G 和 R 处理; 而各轮作模式前茬作物秸秆还田处理下千粒重与结实率均值表现为 $W>R>G$, 但各处理差异间均不显著。各氮肥运筹处理下, 前茬作物秸秆还田各产量构成因子均以 N_2 处理调控优势明显, 减氮($N-G$ 、 $N-R$ 和 $N-W$)处理相对于 N_2 处理, 有效穗数、每穗粒数及总颖花数均呈不同程度降低, 但在千粒重或结实率方面存在不同程度的补偿效应。对产量及其构成因素相关分析表明, 产量受有效穗数和总颖花数影响较大, 相关系数分别为 0.924**和 0.927**。

2.2 3 种轮作模式下秸秆还田与氮肥运筹对稻米加工及外观品质的影响

3 种模式下秸秆还田处理对杂交籼稻精米率、垩白粒率、垩白度均有显著或极显著影响(表 4), 氮肥管理对籽粒加工和外观品质(除长宽比)存在极显著影响, 互作效应仅对外观品质影响显著或极显著。各轮作模式前茬作物秸秆还田处理下, 大叶芥菜秸秆(G)分别较油菜秸秆(R)和小麦秸秆(W)还田处理精米率提高 0.9%和 1.8%, 垩白粒率降低 0.9%

和 7.0%; G 处理下垩白度较 R 增加 3.6%, 较 W 处理降低 3.1%。各轮作模式下, 氮肥运筹因素(F 值)对杂交籼稻加工和外观品质的影响均显著高于秸秆还田因素, 且施氮处理均显著高于 N_0 处理。氮肥管理对稻米的糙米率、精米率、整精米率均表现为: $N_2>$ 减氮处理($N-G$ 、 $N-R$ 和 $N-W$) $>N_1>N_0$, N_2 显著高于 N_1 , 与减氮处理差异不显著。从稻米外观品质来看, 垩白粒率和垩白度均表现为: 减氮处理 $<N_1<N_2<N_0$, 表明配合秸秆还田的减氮处理对稻米外观品质调控效应优势明显。

2.3 3 种轮作模式下秸秆还田与氮肥运筹对稻米食味品质和蛋白质含量的影响

由表 5 可知, 3 种前茬秸秆还田处理对稻米的硬度、平衡和蛋白质含量均存在显著或极显著影响, 氮肥运筹对蒸煮食味品质和蛋白质含量存在显著或极显著影响, 两者互作效应仅对蛋白质含量的影响达极显著水平。3 种轮作模式下稻米的硬度和蛋白质含量均表现为: 小麦秸秆还田处理(W) $<$ 大叶芥菜秸秆还田处理(G) $<$ 油菜秸秆还田处理(R), G 和 W 处理间差异不显著但均显著低于 R 处理; 对稻米的食味值和平衡指标均表现为: G 处理显著大于 R 和 W 处理。氮肥管理对稻米的外观、口感、食味值、硬度、平衡和蛋白质含量均存在

表 4 3 种轮作模式下秸秆还田与氮肥运筹对杂交籼稻的加工和外观品质的影响

Table 4 Effects of straw returning and nitrogen fertilization on processing and appearance quality of hybrid *indica* rice under three rotation patterns

轮作模式/还田秸秆 Rotation pattern/ re-returned straw	氮肥运筹 N treatment	糙米率 Brown rice rate (%)	精米率 Milled rice rate (%)	整精米率 Head rice rate (%)	垩白粒率 Chalky grain rate (%)	垩白度 Chalkiness degree	长宽比 Aspect ratio
大叶芥菜-水稻/大叶芥菜秸秆(G) Leaf mustard-rice/ leaf mustard straw	N_0	80.09±0.05b	69.18±0.37c	65.01±0.39b	63.70±1.04a	22.97±0.87a	2.53±0.06b
	N_1	80.53±0.21a	69.75±0.30b	65.48±0.38ab	43.17±1.03d	16.93±0.32c	2.60±0.01a
	N_2	80.98±0.02a	69.95±0.28b	66.73±0.69a	54.00±1.12b	19.03±0.70b	2.60±0.03a
	$N-G$	80.83±0.06a	70.65±0.09a	66.45±0.21a	49.87±1.07c	13.33±0.98d	2.63±0.06a
	平均 Average		80.61	69.88	65.92	52.68	18.07
油菜-水稻/油菜秸秆(R) Oilseed rape-rice/ oilseed rape straw	N_0	80.11±0.10c	68.60±0.08c	63.35±0.49b	61.20±0.80a	20.53±0.16a	2.60±0.04a
	N_1	80.61±0.12b	69.12±0.32b	65.01±0.36a	51.70±0.56c	16.40±0.61c	2.60±0.02a
	N_2	81.15±0.16a	69.81±0.06a	65.72±0.40a	56.20±0.56b	18.30±0.10b	2.60±0.02a
	$N-R$	80.75±0.09ab	69.41±0.37ab	65.47±0.25a	43.47±0.63d	14.53±0.31d	2.60±0.03a
	平均 Average		80.66	69.24	64.89	53.14	17.44
小麦-水稻/小麦秸秆(W) Wheat-rice/ wheat straw	N_0	79.78±0.05c	67.99±0.11c	63.39±0.09b	61.23±0.78a	21.27±0.25a	2.60±0.03a
	N_1	80.27±0.29bc	68.43±0.26bc	64.85±0.09a	52.93±0.71c	16.47±0.15d	2.60±0.01a
	N_2	80.93±0.05a	69.25±0.26a	65.72±0.40a	56.87±0.57b	19.13±0.38b	2.60±0.02a
	$N-W$	80.79±0.04ab	68.88±0.10ab	64.53±0.18ab	55.57±0.101b	17.73±0.75c	2.60±0.01a
	平均 Average		80.44	68.64	64.62	56.65	18.65
F 值 F value	轮作模式 Rotation pattern (A)	1.29	17.78*	6.37	57.20**	20.79**	1.00
	氮肥运筹 N treatment (B)	13.82**	15.51**	9.17**	161.57**	157.52**	2.72
	$A \times B$	0.25	1.33	0.49	24.92**	12.51**	2.71*

同列同一轮作模式下不同小写字母表示不同氮肥运筹处理在 5%水平差异显著, *, ** 分别表示在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平影响显著。Different lowercase letters followed mean±S.E. in the same column indicate significant differences at $P<5\%$ level among different N treatments within same rotation mode. *, ** indicate significant effect at $P<0.05$ and $P<0.01$, respectively.

表 5 3 种轮作模式下秸秆还田与氮肥运筹对杂交水稻的蒸煮食味品质和蛋白质的影响

Table 5 Effects of straw returning and nitrogen fertilization on cooking and eating quality and protein content of hybrid *indica* rice under three rotation patterns

轮作模式/还田秸秆 Rotation pattern/ returned straw	氮肥运筹 N treatment	外观 Appearance	口感 Taste	食味值 Comprehensive	硬度 Hardness	平衡 Balance	蛋白质含量 Protein content (%)
大叶芥菜-水稻/大叶芥 菜秸秆(G) Leaf mustard-rice/ leaf mustard straw	N ₀	8.60±0.10a	7.77±0.21a	86.33±1.15a	3.49±0.79b	0.070±0.01a	5.08±0.10d
	N ₁	8.27±0.25b	7.17±0.21b	83.00±2.65b	3.76±0.36a	0.060±0.01ab	5.59±0.11c
	N ₂	7.60±0.10d	6.87±0.12c	80.00±1.00c	3.83±0.19a	0.050±0.01b	6.19±0.05a
	N-G	7.80±0.10c	6.90±0.10c	82.00±1.00b	3.66±0.04ab	0.067±0.01a	5.86±0.07b
平均 Average		8.07	7.18	82.83	3.69	0.062	5.68
油菜-水稻/油菜秸秆(R) Oilseed rape-rice/ oilseed rape straw	N ₀	8.57±0.06a	7.60±0.05a	86.00±0.05a	3.47±0.39b	0.060±0.01a	5.20±0.03d
	N ₁	8.00±0.10b	6.97±0.23b	81.00±2.00b	4.04±0.18a	0.050±0.01ab	5.81±0.01c
	N ₂	7.60±0.20c	6.77±0.25c	79.33±1.15c	4.18±0.24a	0.043±0.01b	6.14±0.03a
	N-R	8.00±0.12b	7.17±0.32b	82.00±2.45b	3.62±0.25b	0.053±0.01ab	5.91±0.04b
平均 Average		8.04	7.13	82.08	3.83	0.052	5.76
小麦-水稻/小麦秸秆(W) Wheat-rice/ wheat straw	N ₀	8.40±0.20a	7.67±0.12a	85.33±1.53a	3.36±0.14c	0.060±0.01a	5.23±0.04d
	N ₁	8.03±0.12b	7.10±0.10b	81.67±0.58bc	3.74±0.27ab	0.050±0.02ab	5.49±0.06c
	N ₂	7.60±0.21c	6.77±0.12c	79.67±1.15c	3.95±0.10a	0.043±0.01b	6.22±0.05a
	N-W	8.03±0.06b	7.10±0.10b	82.33±0.58b	3.54±0.10bc	0.050±0.01ab	5.83±0.02b
平均 Average		8.02	7.16	82.25	3.65	0.051	5.69
F 值	轮作模式 Rotation pattern (A)	0.43	0.80	4.19*	8.43*	28.548**	9.40*
F value	氮肥运筹 N treatment (B)	52.49**	32.64**	22.88**	13.12**	4.500*	435.54**
	A×B	1.84	0.98	0.31	0.82	0.127	7.55**

同列同一轮作模式下不同小写字母表示不同氮肥运筹处理在 5% 水平差异显著。*, ** 分别表示在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平影响显著。Different lowercase letters followed mean±S.E. in the same column indicate significant differences at $P<5%$ level among different N treatments within same rotation mode. *, ** indicate significant effect at $P<0.05$ and $P<0.01$, respectively.

显著或极显著影响。外观、口感和食味值均为: $N_2<$ 减氮处理(N-G、N-R 和 N-W) $<N_1<N_0$, 减氮处理与 N_2 相比各指标分别提高 2.6%~5.7%、0.5%~5.9% 和 2.5%~3.4%, N_1 与 N_2 相比分别提高 5.3%~8.8%、3.0%~4.9% 和 2.1%~3.7%。综上表明, 菜-稻轮作模式相对其他轮作模式可以不同程度地提高稻米蒸煮的外观、口感、食味值、平衡等指标, 还可以适度降低稻米蒸煮的硬度; 且 3 种轮作模式下, 减氮配施处理相对于 N_2 处理(氮肥适当后移增加穗肥比例), 可以提高食味品质, 使米饭更加软糯适口。

2.4 3 种轮作模式下秸秆还田与氮肥运筹对稻米 RVA 谱特征值的影响

3 种前茬秸秆还田处理仅对 RVA 谱的峰值黏度存在极显著差异, 且油菜秸秆(R) $>$ 小麦秸秆(W) $>$ 大叶芥菜秸秆(G)还田处理, 各处理间差异显著(表 6)。氮肥管理对 RVA 谱特征值均存在显著或极显著影响, 且氮肥运筹对 RVA 谱特征值调控作用明显高于秸秆还田处理。对于氮肥管理进一步分析表明, 峰值黏度、崩解值均存在 $N_0>$ 减氮处理(N-G、N-R 和 N-W) $>N_1>N_2$, 与 N_2 相比, N_1 分别提高 1.9%~4.2%、3.0%~3.8%, 减氮处理则分别提高 1.4%~5.2%、6.1%~7.7%; 热浆黏度表现为 $N_0>N_1>$ 减氮处理 $>N_2$, 与 N_2 相比, N_1 提高了 1.4%~4.6%, 减氮处理提高了

0.9%~4.4%。

3 讨论

3.1 不同轮作模式下秸秆还田与氮肥管理对产量形成的影响

已有研究表明, 秸秆还田、氮肥运筹、秸秆还田配施氮肥, 对水稻提效增产、碳氮代谢、氮素高效利用等均具有重要的调控效应^[3,5,17-22]。在肥料减量配施方面, 刘梦红等^[18]研究表明, 根据土壤肥力, 可减少氮肥投入 33.1%, 其产量与农民习惯施肥模式差异不显著。郑华斌等^[19]研究表明, 通过施用有机肥配施减氮 30%, 其产量仅略低于常规施肥, 实现了化肥减量和水稻稳产。李超等^[21]研究表明, 稻草还田下, 进行减氮增密(减氮 20%, 增密 27.3%), 能够实现高产。马贤超等^[22]研究表明, 对于早稻而言, 秸秆(水稻秸秆)还田处理下, 减少 10% 施氮量可提高水稻产量; 对于晚稻来说, 秸秆还田处理下, 氮肥减少 10% 对产量无显著影响。本研究表明, 3 种前茬秸秆还田处理下, 水稻产量表现为大叶芥菜秸秆 $>$ 油菜秸秆 $>$ 小麦秸秆还田处理, 且各处理间差异显著; 同一秸秆还田处理下, 不同氮肥运筹之间, 产量表现略有不同, 具体表现为: 大叶芥菜秸秆还田处理中, $N_2>N-G>N_1>N_0$, N_2 显著大于 N_0 和 N_1 , 与

表 6 3 种轮作模式下秸秆还田与氮肥运筹对杂交籼稻淀粉 RVA 谱特征值的影响

Table 6 Effects of straw returning and nitrogen fertilization on the characteristic values of starch RVA spectrum in hybrid indica rice under three rotation patterns

轮作模式/还田秸秆 Rotation pattern/ returned straw	氮肥运筹 N treatment	峰值黏度 Peak viscosity (cP)	热浆黏度 Hot viscosity (cP)	崩解值 Breakdown (cP)	冷胶黏度 Cool viscosity (cP)	峰值时间 Peak time (min)	糊化温度 Pasting temperature ()
大叶芥菜-水稻/ 大叶芥菜秸秆(G)	N ₀	3 367.7±63.6a	2 215.0±40.1a	1 152.7±35.3a	3 604.0±21.2a	6.09±0.04a	78.35±0.05a
	N ₁	3 112.3±4.2b	2 106.3±3.5b	1 006.0±7.0bc	3 442.0±16.1b	6.16±0.03a	78.43±0.03a
Leaf mustard-rice/ leaf mustard straw	N ₂	2 986.7±56.2c	2 013.3±4.0c	973.3±23.3c	3 396.3±26.8b	6.20±0.07a	78.60±0.04a
	N-G	3 150.3±28.0b	2 102.0±38.0b	1 048.3±30.0b	3 457.0±19.6b	6.16±0.04a	78.43±0.05a
	平均 Average	3 154.3	2 109.2	1 045.1	3 474.8	6.15	78.45
油菜-水稻/ 油菜秸秆(R)	N ₀	3 422.3±27.9a	2 276.0±23.1a	1 146.3±15.5a	3 659.0±9.0a	5.91±0.07bd	78.35±0.05a
	N ₁	3 304.3±41.5b	2 218.3±30.0ab	1 072.7±17.5bc	3 608.0±19.1ab	6.09±0.08ab	78.42±0.05a
Oilseed rape-rice/ oilseed rape straw	N ₂	3 180.0±25.2c	2 147.0±33.8c	1 033.0±16.6c	3 507.7±13.2bc	6.22±0.04a	78.63±0.06a
	N-R	3 307.0±42.9b	2 202.3±44.5b	1 104.7±28.7ab	3 477.0±27.8c	6.09±0.08abc	78.43±0.03a
	平均 Average	3 303.4	2 210.9	1 089.2	3 562.9	6.08	78.46
小麦-水稻/ 小麦秸秆(W)	N ₀	3 336.3±23.0a	2 234.7±18.5a	1 101.7±25.9a	3 602.7±9.5a	6.13±0.01a	78.37±0.05b
	N ₁	3 229.0±27.6b	2 167.0±21.5ab	1 062.0±27.8ab	3 559.0±6.2a	6.16±0.04a	78.40±0.06b
Wheat-rice/ wheat straw	N ₂	3 168.3±14.6b	2 137.7±34.5b	1 030.7±20.2b	3 532.3±28.5a	6.31±0.04a	78.93±0.09a
	N-W	3 212.7±28.1b	2 119.3±25.3b	1 093.3±13.4a	3 557.7±33.1a	6.16±0.04a	78.35±0.08b
	平均 Average	3 236.6	2 164.7	1 071.9	3 562.9	6.19	78.51
F 值	轮作模式 Rotation pattern (A)	45.55**	6.24	2.06	4.10	3.20	0.08
F value	氮肥运筹 N treatment (B)	34.87**	16.44**	12.76**	6.83**	3.65*	5.07*
	A×B	2.26	1.11	1.12	1.14	0.46	0.67

同列同一轮作模式下不同小写字母表示不同氮肥运筹处理在 5% 水平差异显著。*、** 分别表示在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平影响显著。Different lowercase letters followed mean±S.E. in the same column indicate significant differences at $P<5%$ level among different N treatments within same rotation mode. *, ** indicate significant effect at $P<0.05$ and $P<0.01$, respectively.

N-G 差异不显著; 油菜秸秆还田处理下, $N_2>N-R>N_1>N_0$, 前 3 者差异未达显著, 但减氮处理在保证稳产的基础上实现略微的增产; 小麦秸秆还田处理下, $N_2>N_1>N-W>N_0$, N_2 与 N_1 差异不显著, 但与 N-W 存在显著差异。可见, 3 种前茬秸秆处理下, 产量均为 $N_2>N_1$, 表现出基肥 蘖肥 穗肥比例 3 3 4 优于 4 4 2, 氮肥适当后移, 增加穗肥比例, 有利于增产, 这进一步补充和完善了前人的研究^[23-24]。此外, 大叶芥菜秸秆和油菜秸秆还田下减氮处理对产量影响不显著, 分析可能因为油菜秸秆还田量较大, 秸秆腐解释放的养分较多, 利于植株对养分的吸收, 进而保证有效穗、每穗粒数、结实率、千粒重降幅不显著, 保障稳产^[25]; 对于大叶芥菜秸秆还田而言, 虽然小麦秸秆还田量大于大叶芥菜秸秆, 但由于大叶芥菜种植中肥料投入量较大, 导致水稻季前茬土壤肥力相对较高(表 1), 其次, 残留的大叶芥菜残渣较小麦秸秆碳氮比更低、更易腐解, 产生的养分能被水稻快速吸收利用。

3.2 不同轮作模式下秸秆还田与氮肥管理对杂交籼稻米质的影响

李晓峰等^[26]研究表明, 秸秆(小麦秸秆)还田降低了稻米垩白率和垩白度, 增加了长宽比, 改善外

观品质, 但对加工品质没有显著影响; 此外, 秸秆还田能显著增加稻米蛋白质含量^[8,26-27]。李宝灿^[28]认为, 小麦秸秆还田可提高出糙率、精米率、整精米率, 降低垩白, 有利于改善加工和外观品质。薛亚光等^[8]研究表明, 麦秸还田对蒸煮食味品质改善效果不显著。本研究表明不同轮作模式下前茬作物秸秆还田对杂交籼稻精米率、垩白、硬度和蛋白质含量均有显著或极显著影响, 且大叶芥菜和油菜秸秆还田更利于改善加工和外观品质; 而油菜秸秆还田对稻米硬度和蛋白质含量的影响显著大于大叶芥菜和小麦秸秆还田; 这可能是因前茬作物秸秆全量还田后, 对土壤碳氮比产生影响, 引起籽粒灌浆氮碳物质供应与灌浆动态改变有关^[27]。剧成欣等^[11]研究表明, 实地氮肥管理, 不仅能提高氮肥利用率, 还能协同提高稻米的加工和外观品质。乔中英等^[29]研究表明, 氮肥后移(占总施氮量 40%)能够降低稻米糙米率、精米率、整精米率和垩白粒率, 使加工和食味品质变差, 但改善了外观品质。吴培^[30]研究表明, 随施氮水平的提高, 稻米食味品质呈先增高后降低的趋势; 而朱大伟等^[31]则认为, 随施氮量增加, 食味品质呈下降趋势; 也有研究报道, 蛋白质含量特别是清蛋白含量和直链淀粉含量对籼米的食味品

质负面影响较大^[32], 而稻谷蛋白质含量增加会导致蒸煮食味品质下降^[12]。本研究表明不同轮作模式下秸秆还田与氮肥配施对杂交水稻的加工、外观和食味品质存在显著或极显著影响, 增施氮肥能显著提高糙米率、精米率和整精米率, 降低垩白粒率和垩白度, 显著提高加工和外观品质; 但前人也有研究表明, 不施氮处理水稻的垩白粒率和垩白度呈现最优, 这可能与试验品种、土壤肥力和试验生态等差异有关^[26,29]。此外, 本研究进一步表明, 菜-稻轮作模式相对其他轮作模式可不同程度地提高稻米蒸煮的外观、口感、食味值、平衡等指标, 还可适度降低稻米蒸煮的硬度; 各轮作模式下, 氮肥前移(N₁处理)有利于改善外观品质, 而氮肥后移(N₂处理), 有利于提升加工品质, 显著增加蛋白质含量, 但是会降低食味品质, 这也进一步补充和完善了前人研究^[33]。而本研究减氮配施处理(N-G、N-R 和 N-W)相对于 N₂ 处理, 可以进一步提高稻米食味品质, 使米饭更加软糯适口。对硬度和蛋白质含量进行相关性分析表明, 两者存在极显著正相关(相关系数为 0.61**), 这可能是由于填塞在淀粉颗粒间的蛋白质对淀粉粒的糊化和膨胀起抑制作用, 导致淀粉粒间空隙减小, 硬度增大, 不适口, 降低了稻米的蒸煮食味品质^[34]。

淀粉 RVA 谱特性是评价稻米品质的重要指标, 与蒸煮食味品质密切相关。胡群等^[35]研究表明, 随着基肥占总施氮量比例的降低, 稻米峰值黏度、热浆黏度、崩解值和最终黏度均逐渐减小, 而消减值呈相反的变化^[36]。胡雅杰等^[37]研究表明, 在秸秆全量还田条件下, 随施氮量的增加, 稻米峰值黏度和崩解值减小, 热浆黏度和消减值增大, 不利于稻米蒸煮食味品质形成。稻米中直链淀粉与支链淀粉含量, 会影响稻米淀粉的 RVA 谱特征值, 进而影响其蒸煮食味品质^[38]。有研究认为, 适量提高成熟期施氮量可以显著提高灌浆中、后期水稻颖果中的焦磷酸化酶(AGP)、可溶性淀粉合酶(SSS)和淀粉分支酶(SBE)的活性, 降低颖果中淀粉粒结合型淀粉合酶(GBSS)的活性^[39]。本研究表明, 3 种前茬作物秸秆全量还田处理间, 峰值黏度具有极显著差异, 而氮肥管理对稻米的淀粉 RVA 谱特征值影响远大于秸秆还田处理。随着氮肥后移(N₂处理), 稻米的峰值黏度、热浆黏度和崩解值显著降低, 峰值时间和糊化温度提高, 这可能是由于氮肥后移导致蛋白质含量显著增加, 在米饭蒸煮过程中阻碍淀粉粒的糊化和膨胀, 使得稻米崩解下降, 增加了米饭的硬度和粗糙感, 引起蒸煮食味品质下降^[39]。本研究进一步表

明, 减氮配施处理(N-G、N-R 和 N-W)相对于 N₂ 处理, 提升了稻米的蒸煮食味品质。这可能由于减氮配施处理适度减少了水稻中后期氮肥施用量, 进一步发挥作物秸秆还田的优势, 降低了稻米蛋白质含量, 提高了稻米的峰值黏度、热浆黏度和崩解值, 进而提升了稻米的蒸煮食味品质。

4 结论

3 种轮作模式下, 稻米产量以氮肥运筹(施氮量 150 kg·hm⁻²)基肥 蘖肥 穗肥为 3 3 4 产量最高; 而进行适当减氮处理能显著降低稻米垩白粒率和垩白度、提高食味品质。本试验依据不同前茬作物收获后土壤地力水平和斯坦福方程计算下的减氮处理, 对麦-稻轮作下稻米产量影响较大(减产 5.8%, 达显著影响), 但对菜-稻和油-稻轮作下稻米产量影响不显著。综合产量及稻米品质表现, 菜-稻和油-稻轮作模式下, 适当减低氮肥施用量分别为 125 kg·hm⁻² 和 105 kg·hm⁻², 氮肥运筹均为基肥 蘖肥 穗肥为 3 3 4, 可实现提质与丰产的协调统一; 麦-稻轮作模式下, 减氮对产量影响较大, 建议氮肥用量为 150 kg·hm⁻²。各轮作模式下, 氮肥运筹基肥 蘖肥 穗肥为 3 3 4 为宜。本结果可为实际生产中水稻提质丰产技术提供理论依据。

参考文献 References

- [1] 马金骏, 冒维维, 曾晓萍, 等. 江苏省稻菜(菌)轮作高效生产模式探讨[J]. 农业科技通讯, 2020, (1): 204-206
MA J J, MAO W W, ZENG X P, et al. Discussion on high efficiency production mode of rice vegetable (fungus) rotation in Jiangsu Province[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2020, (1): 204-206
- [2] 章勇国. 水稻—油菜轮作绿色优质高产栽培技术[J]. 现代农业科技, 2020, (1): 19
ZHANG Y G. Green, high quality and high yield cultivation techniques of rice-rape rotation[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2020, (1): 19
- [3] 夏文建. 优化施氮下稻麦轮作农田氮素循环特征[D]. 北京: 中国农业科学院, 2011
XIA W J. Nitrogen cycling in rice-wheat rotation system under optimized nitrogen management[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2011
- [4] 牛文娟. 主要农作物秸秆组成成分和能源利用潜力[D]. 北京: 中国农业大学, 2015
NIU W J. Physicochemical composition and energy potential of main crop straw and stalk[D]. Beijing: China Agricultural University, 2015
- [5] 施波, 周华萍, 应金耀. 小麦、水稻秸秆还田技术应用效果分析[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(2): 219-220

- SHI B, ZHOU H P, YING J Y. Analysis on the application effect of wheat and rice straw returning technology[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2020, 61(2): 219–220
- [6] 吴玉红, 郝兴顺, 田霄鸿, 等. 秸秆还田与化肥配施对汉中盆地稻麦轮作农田土壤固碳及经济效益的影响[J]. 作物学报, 2020, 46(2): 259–268
- WU Y H, HAO X S, TIAN X H, et al. Effect of straw returning combined with NPK fertilization on soil carbon sequestration and economic benefits under rice-wheat rotation in Hanzhong basin[J]. Acta Agronomica Sinica, 2020, 46(2): 259–268
- [7] YAN F J, SUN Y J, XU H, et al. Effects of wheat straw mulch application and nitrogen management on rice root growth, dry matter accumulation and rice quality in soils of different fertility[J]. Paddy and Water Environment, 2018, 16(3): 507–518
- [8] 薛亚光, 魏亚凤, 李波, 等. 麦秸还田和耕作方式对水稻产量和品质的影响[J]. 中国农学通报, 2018, 34(22): 10–14
- XUE Y G, WEI Y F, LI B, et al. Wheat straw returning and tillage patterns affecting grain yield and quality of rice[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2018, 34(22): 10–14
- [9] 朱芸. 油-稻与麦-稻轮作体系水稻产量差异及其养分机制初探[D]. 武汉: 华中农业大学, 2019
- ZHU Y. Study on rice yield differences and nutrient mechanism between rapeseed-rice and wheat-rice rotation systems[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2019
- [10] 刘晓霞, 陶云彬, 倪治华, 等. 秸秆还田对豆-稻-菜循环耕作模式下作物产量和土壤肥力的影响[J]. 中国农学通报, 2018, 34(9): 24–28
- LIU X X, TAO Y B, NI Z H, et al. Straw returning affects crop yield and soil fertility in bean-rice-vegetable cropping system[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2018, 34(9): 24–28
- [11] 剧成欣, 陈尧杰, 赵步洪, 等. 实地氮肥管理对不同氮响应粳稻品种产量和品质的影响[J]. 中国水稻科学, 2018, 32(3): 237–246
- JU C X, CHEN Y J, ZHAO B H, et al. Effect of site-specific nitrogen management on grain yield and quality of japonica rice varieties differed in response to nitrogen[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2018, 32(3): 237–246
- [12] 武云霞, 刘芳艳, 孙永健, 等. 水氮互作对直播稻产量及稻米品质的影响[J]. 四川农业大学学报, 2019, 37(5): 604–610
- WU Y X, LIU F Y, SUN Y J, et al. Effect of water and nitrogen interaction on yield and quality of direct seeding rice[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2019, 37(5): 604–610
- [13] ZHANG L, ZHOU L H, WEI J B, et al. Integrating cover crops with chicken grazing to improve soil nitrogen in rice fields and increase economic output[J]. Science of the Total Environment, 2020, 713: 135–218
- [14] 王青霞, 李美霖, 陈喜靖, 等. 秸秆还田下氮肥运筹对水稻各生育期土壤微生物群落结构的影响[J]. 应用生态学报, 2020: 31(3): 935–944
- WANG Q X, LI M L, CHEN X J, et al. Effects of nitrogen management on soil microbial community structure at different growth stages under straw returning in paddy soils[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 31(3): 935–944
- [15] 彭志芸, 向开宏, 杨志远, 等. 麦/油-稻轮作下秸秆还田与氮肥管理对直播杂交稻氮素利用特征的影响[J]. 中国水稻科学, 2020, 34(1): 57–68
- PENG Z Y, XIANG K H, YANG Z Y, et al. Effects of straw returning to paddy field and nitrogen fertilizer management on nitrogen utilization characteristics of direct seeded hybrid rice under wheat/rape-rice rotation[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2020, 34(1): 57–68
- [16] 严奉君, 孙永健, 马均, 等. 秸秆覆盖与氮肥运筹对杂交稻氮素利用、产量及米质的影响[C]//2014 年全国青年作物栽培与生理学术研讨会论文集. 扬州: 中国作物学会, 2014
- YAN F J, SUN Y J, MA J, et al. Effects of straw mulching and nitrogen application on nitrogen utilization, yield and quality of hybrid rice[C]//2014 National Youth Crop Cultivation and Physiology Symposium. Yangzhou: Chinese Crop Society, 2014
- [17] CHEN S, LIU S W, ZHENG X, et al. Effect of various crop rotations on rice yield and nitrogen use efficiency in paddy-upland systems in southeastern China[J]. The Crop Journal, 2018, 6(6): 576–588
- [18] 刘梦红, 杜春颖, 杨锡铜, 等. 土壤肥力和氮肥运筹对寒地水稻产量、品质及氮肥利用的影响[J]. 河南农业科学, 2019, 48(2): 25–34
- LIU M H, DU C Y, YANG X T, et al. Effects of soil fertility and nitrogen application patterns on yield, quality and nitrogen utilization of rice in cold region[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2019, 48(2): 25–34
- [19] 郑华斌, 傅荣富, 贾巍, 等. 氮肥减量与替代方式对华南稻区水稻产量及氮肥利用效率的影响[J]. 作物研究, 2019, 33(2): 91–95
- ZHENG H B, FU R F, JIA W, et al. Effect of nitrogen reducing and replacement on rice yield and nitrogen use efficiency in the region of southern China[J]. Crop Research, 2019, 33(2): 91–95
- [20] 孙永健, 孙园园, 严奉君, 等. 氮肥后移对不同氮效率水稻花后碳氮代谢的影响[J]. 作物学报, 2017, 43(3): 407–419
- SUN Y J, SUN Y Y, YAN F J, et al. Effects of postponing nitrogen topdressing on post-anthesis carbon and nitrogen metabolism in rice cultivars with different nitrogen use efficiencies[J]. Acta Agronomica Sinica, 2017, 43(3): 407–419
- [21] 李超, 肖小平, 唐海明, 等. 减氮增密对机插双季稻生物学特性及周年产量的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(12): 2451–2459
- LI C, XIAO X P, TANG H M, et al. Biological characteristics and annual yield of double machine-transplanted rice under nitrogen-reduction and density-increase measures[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2019, 33(12): 2451–2459
- [22] 马贤超, 袁伟, 王子阳, 等. 双季稻秸秆还田处理下减施氮肥对水稻生长和产量的影响[J]. 农业与技术, 2019, 39(22): 1–5
- MA X C, YUAN W, WANG Z Y, et al. Effect of reduced nitrogen application on rice growth and yield under the treatment of double crop straw returning[J]. Agriculture and Technology, 2019, 39(22): 1–5

- [23] 严奉君, 孙永健, 马均, 等. 秸秆覆盖与氮肥运筹对杂交稻根系生长及氮素利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(1): 23–35
YAN F J, SUN Y J, MA J, et al. Effects of straw mulch and nitrogen management on root growth and nitrogen utilization characteristics of hybrid rice[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2015, 21(1): 23–35
- [24] 严奉君, 孙永健, 马均, 等. 灌溉方式与秸秆覆盖优化施氮模式对秸秆腐熟特征及水稻氮素利用的影响[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(11): 1435–1444
YAN F J, SUN Y J, MA J, et al. Effects of irrigation method and straw mulch-nitrogen management pattern on straw decomposition characteristics and nitrogen utilization of hybrid rice[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2016, 24(11): 1435–1444
- [25] 于建光, 顾元, 常志州, 等. 小麦秸秆浸提液和腐解液对水稻的化感效应[J]. 土壤学报, 2013, 50(2): 349–356
YU J G, GU Y, CHANG Z Z, et al. Allelopathic effects of wheat straw extract and decomposition liquid on rice[J]. Acta Pedologica Sinica, 2013, 50(2): 349–356
- [26] 李晓峰, 程金秋, 梁健, 等. 秸秆全量还田与氮肥运筹对机插粳稻产量及氮素吸收利用的影响[J]. 作物学报, 2017, 43(6): 912–924
LI X F, CHENG J Q, LIANG J, et al. Effects of total straw returning and nitrogen application on grain yield and nitrogen absorption and utilization of machine transplanted japonica rice[J]. Acta Agronomica Sinica, 2017, 43(6): 912–924
- [27] 严奉君. 秸秆覆盖与水氮管理对水稻产量与米质及土壤理化性质的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2015
YAN F J. Effects of straw mulch and water-nitrogen fertilizer management on yield of rice, grain quality and the properties of soil[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2015
- [28] 李宝灿. 麦秸秆全量还田对水稻产量和品质的影响[J]. 现代农业科技, 2011, (3): 60–61
LI B C. Effect of wheat straw total returning on yield and quality of rice[J]. Modern Agricultural Sciences and Technology, 2011, (3): 60–61
- [29] 乔中英, 陈培峰, 顾俊荣, 等. 氮肥运筹与栽插密度对粳籼杂交稻甬优 1538 产量形成和米质的影响[J]. 西南农业学报, 2016, 29(9): 2068–2073
QIAO Z Y, CHEN P F, GU J R, et al. Effects of nitrogen managements and transplanting density on yield formation and rice quality of indica-japonica hybrid rice Yongyou 1538[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2016, 29(9): 2068–2073
- [30] 吴培. 施氮量和直播密度互作对优质食味水稻产量和品质的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2019
WU P. Effects of interaction between nitrogen application rate and direct-sowing density on yield and rice quality of rice with good eating quality[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2019
- [31] 朱大伟, 李敏, 郭保卫, 等. 氮肥水平对优质粳稻蒸煮食味品质与质构特性的影响[J]. 贵州农业科学, 2018, 46(3): 62–66
ZHU D W, LI M, GUO B W, et al. Effects of nitrogen fertilizer application level on eating and textural characteristics of high quality japonica rice[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2018, 46(3): 62–66
- [32] 张启莉. 粳稻米蛋白质影响米饭蒸煮食味品质的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2012
ZHANG Q L. Rice proteins affect cooking and eating quality of cooked indica rice[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2012
- [33] 陈梦云, 李晓峰, 程金秋, 等. 秸秆全量还田与氮肥运筹对机插优质食味水稻产量及品质的影响[J]. 作物学报, 2017, 43(12): 1802–1816
CHEN M Y, LI X F, CHENG J Q, et al. Effects of total straw returning and nitrogen application regime on grain yield and quality in mechanical transplanting japonica rice with good taste quality[J]. Acta Agronomica Sinica, 2017, 43(12): 1802–1816
- [34] 贺帆, 黄见良, 崔克辉, 等. 实时实地氮肥管理对水稻产量和稻米品质的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(1): 123–132
HE F, HUANG J L, CUI K H, et al. Effect of real-time and site-specific nitrogen management on rice yield and quality[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(1): 123–132
- [35] 胡群, 夏敏, 张洪程, 等. 氮肥运筹对钵苗机插优质食味水稻产量及品质的影响[J]. 作物学报, 2017, 43(3): 420–431
HU Q, XIA M, ZHANG H C, et al. Effect of nitrogen application regime on yield and quality of mechanical pot-seedlings transplanting rice with good taste quality[J]. Acta Agronomica Sinica, 2017, 43(3): 420–431
- [36] HUANG S J, ZHAO C F, ZHU Z, et al. Characterization of eating quality and starch properties of two W_x alleles japonica rice cultivars under different nitrogen treatments[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2020, 19(4): 988–998
- [37] 胡雅杰, 钱海军, 吴培, 等. 秸秆还田条件下氮磷钾用量对软米粳稻产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(3): 817–824
HU Y J, QIAN H J, WU P, et al. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer rates on yield and grain quality of soft japonica rice under straw returning condition[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2018, 24(3): 817–824
- [38] 赵春芳, 岳红亮, 黄双杰, 等. 南粳系列水稻品种的食味品质与稻米理化特性[J]. 中国农业科学, 2019, 52(5): 909–920
ZHAO C F, YUE H L, HUANG S J, et al. Eating quality and physicochemical properties in Nanjing rice varieties[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(5): 909–920
- [39] 张军, 李运祥, 刘娟, 等. 施氮处理对水稻颖果淀粉积累和相关酶活性的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(12): 2168–2175
ZHANG J, LI Y X, LIU J, et al. Effects of nitrogen on starch accumulation and activities of enzymes involved in starch synthesis in rice caryopsis[J]. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(12): 2168–2175