

秸秆还田与氮肥运筹对东北粳稻产量及稻米品质的影响

刘月月¹ 郑浣彤¹ 程兆伟² 耿艳秋¹ 邵玺文¹ 郭丽颖^{1*} 袁晴欣¹
朱立群¹ 苏宇扬¹ 徐佳睿¹ 袁翊新¹ 张琦¹

(¹ 吉林农业大学 农学院, 长春 130118; ² 吉林省农业技术推广总站, 长春 130033; 第一作者: jldlyy@163.com;

* 通讯作者: guoliying0621@163.com)

摘 要:以水稻品种吉粳 88 为试验材料, 采用裂区试验设计, 研究了秸秆还田与氮肥运筹对东北稻区水稻产量及稻米品质的影响。结果表明, 与秸秆不还田处理相比, 秸秆还田降低了稻米糙米率、精米率、整精米率、垩白粒率、垩白度和直链淀粉含量, 提高了稻米蛋白质含量; 与秸秆不还田条件下最佳氮肥运筹处理相比, 秸秆还田条件下的最佳氮肥运筹处理产量分别提高 7.50%(2018 年)和 11.63%(2019 年); 随基肥氮占比的下降, 稻米糙米率、精米率、整精米率呈先上升后降低的趋势, 垩白粒率、垩白度、直链淀粉含量呈下降趋势, 蛋白质含量呈上升趋势。综合来看, 在秸秆还田条件下, 配以基肥: 蘖肥: 穗肥为 6:3:1 的氮肥运筹模式可以保证水稻产量的同时改善稻米加工品质和外观品质。

关键词:水稻; 秸秆还田; 氮肥运筹; 产量; 品质

中图分类号: S511.05; S511.062

文献标识码: A

文章编号: 1006-8082(2021)06-0020-08

水稻是我国重要的粮食作物。长期以来, 为了追求产量, 生产上过量施用化学肥料特别是氮肥, 而由此导致的稻田土壤肥力下降、水稻产量停滞不前和农业面源污染不断加重等负面问题日益突出, 严重制约着我国粮食的可持续生产^[1]。随着人民生活水平的提高, 稻米品质问题日益引起人们的关注。因此, 如何协同提高稻田土壤肥力和水稻产量, 改善稻米品质, 同时减少由于氮肥不合理施用导致的环境污染, 实现稻田土壤的可持续利用和水稻可持续生产日益引起人们的关注^[2]。秸秆还田作为构建生态农业的重要举措, 既可减少因秸秆焚烧带来的环境污染和资源浪费, 还可培肥地力、促进水稻养分吸收、提高水稻产量、改善稻米品质^[3-6]。特别是在氮肥合理施用下秸秆还田效果显著^[7]。合理的氮肥运筹是生产上提高水稻产量、调控稻米品质的一项重要栽培措施。前人对以秸秆还田、氮肥运筹来提高水稻产量、改善稻米品质的理论和技术进行了大量的研究。研究发现, 麦秸还田方式下, 提高基肥比例可以提高超级稻籽粒的千粒重, 改善稻米的蒸煮与食味品质, 但增加了稻米的垩白度、直链淀粉含量, 降低了粗蛋白含量。氮肥基肥: 穗肥为 5.5:4.5 或 6:4 时可以较好地协调粒质量和米质^[8]。研究发现, 秸秆还田条件下, 适当减少穗肥施用比例有利于稻米食味品质的提高, 氮肥基肥: 穗肥为 7:3 或 8:2 时能协调优质食味

水稻高产优质生产^[9]。严奉君等^[9]则认为, 穗肥施氮越多, 出糙率、精米率等加工品质相对越高。另外, 秸秆还田条件下最适氮肥运筹模式还与稻区土壤肥力有关。在高土壤肥力稻区, 基肥、蘖肥、穗肥比例为 5:3:2 时能够实现同步提高水稻产量和稻米品质; 而在低肥力稻区则以 3:3:4 为适宜的氮肥运筹模式^[10]。由于秸秆还田量、生态条件、水稻品种、土壤肥力等因素的不同, 导致关于秸秆还田与氮素运筹对水稻产量及品质影响的研究结果不尽相同。且前人研究主要集中在南方稻区, 北方水稻多年连作, 地力消耗严重, 秸秆还田与氮肥运筹相结合的栽培方式却少有研究。本研究以吉粳 88 为供试材料, 在秸秆还田量为 8.0 t/hm² 条件下, 比较了秸秆还田和秸秆不还田条件下不同氮肥运筹方式对东北稻区水稻产量和品质的影响, 以期对东北稻区秸秆还田条件下水稻优质高产生产提供理论依据和技术支撑。

收稿日期: 2021-06-20

基金项目: 吉林省科技发展计划重点科技研发项目(20180201037NY); 国家重点研发计划(2018YFD0300207-3); 吉林省科技发展计划重点研发项目(20200402004NC); 吉林省教育厅“十三五”科学技术研究规划项目(JJKH20190933KJ)

表 1 秸秆还田与氮肥运筹条件下水稻产量的方差分析

变异来源	自由度	平方和	均方	F 值
区组	1	3566.65	3566.65	10 448.80**
处理间	19	301.13	15.85	46.43**
年度间	1	19.15	19.15	56.11**
秸秆还田	1	0.12	0.12	0.36 ns
氮肥运筹	4	120.41	30.10	88.19**
年份×秸秆还田	1	0.29	0.29	0.86 ns
年份×氮肥运筹	4	127.12	31.78	93.10**
氮肥运筹×秸秆还田	4	18.70	4.68	13.70**
年份×氮肥运筹×秸秆还田	4	15.34	3.84	11.24**
误差	40	13.65	0.34	
总变异	60	3881.43		

* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著,ns 表示差异不显著($P>0.05$)。下同。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验于 2018—2019 年在吉林农业大学试验基地 (125°41′70 E,43°81′68 N)进行。供试品种为吉粳 88,生育期 143~145 d。试验地前茬为水稻,耕层土壤有机质 3.92 g/kg、全氮 0.3 g/kg、速效磷 53.44 mg/kg、速效钾 148.06 mg/kg。

1.2 试验设计

试验采用裂区试验设计,主区为秸秆处理(S),副区为氮素运筹(N)。秸秆还田设 2 个处理:S0,秸秆不还田;S,秸秆全量还田,还田量 8.0 t/hm²。还田前一季试验地水稻人工收割,脱粒后秸秆用粉碎机粉碎成长度为 5~7 cm,晒干,打包作为还田材料。试验季均匀施撒秸秆后灌水,并结合整地将秸秆翻埋入 0~20 cm 土层。氮素运筹在施氮量(200 kg/hm²)确定情况下,根据基肥、分蘖肥、穗肥比例的不同,设 4 个处理:N1,7:2:1;N2,6:3:1;N3,5:3:2;N4,4:3:3。试验小区纯磷(P₂O₅)和纯钾(K₂O)用量均为 70 kg/hm²,其中磷肥作基肥一次性施入,钾肥按照基肥与穗肥比为 7:3 施。每个小区面积 20 m²,每个处理 3 次重复。为防止各小区串水串肥,小区之间筑土埂并用黑色超微降解膜包埂。

2018 年试验于 4 月 12 日播种,5 月 24 日移栽;2019 年试验于 4 月 9 日播种,5 月 17 日移栽。插秧规格 30.0 cm×16.5 cm,每丛 3 株苗。移栽后保持 3~4 cm 浅水层,分蘖末期至拔节前排水晒田 5 d,其他栽培措施同大田常规管理。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 籽粒灌浆

于抽穗期一次选择并标记抽穗时间一致稻穗,每小区标记 200 穗,开花至成熟期每隔 5 d 取 10 个标记

的稻穗,分别摘下强势粒(着生于穗顶部 3 个一次枝梗上、除顶部第 2 粒外的籽粒)和弱势粒(穗基部 3 个一次枝梗上着生在二次枝梗上、除顶部第 1 粒外的籽粒),剔除未受精的空粒后,烘干去壳称重^[10]。

1.3.2 产量及产量构成因素

成熟期每小区除去边行从各小区割取 50 丛,脱粒、去杂晒干后称重,按照 14%水分含量换算求取实际产量。每小区普查 50 丛,计算有效穗数;取 9 丛调查每穗粒数、结实率;以 1 000 粒实粒样本(干种子)称重,重复 3 次(误差不超过 0.05 g),求千粒重及理论产量。

1.3.3 稻米品质

将水稻收获脱粒,晒干 3 个月后用风选机等风量风选,依照 GB/T17891-1999《优质稻谷》测定稻米的糙米率、精米率、整精米率、垩白粒率、垩白度、长、宽等。采用近红外谷物分析仪测定稻米的蛋白质含量和直链淀粉含量^[11]。

1.4 参数计算

参照朱庆森等方法^[12],采用 Richards 方法对籽粒灌浆过程进行拟合,并计算相应的灌浆特征参数。

1.5 数据处理

采用 Excel 2010 和 SPSS 22.0 软件进行数据处理及分析。

2 结果与分析

2.1 产量及其构成因素

从表 1 可见,不同秸秆还田(SR)处理间差异不显著,不同氮素运筹(NA)及其与秸秆还田互作效应(SR×NA)达显著水平,不同处理年度间(Y)差异极显著,而年度(Y)与秸秆还田(SR)、氮素运筹(NA)处理的互作效应均有极显著差异。说明秸秆还田配以合理的氮肥运筹更利于提高水稻产量。

表 2 秸秆还田与氮肥运筹下水稻产量及产量构成因素

年份	处理	有效穗数 /(10 ⁴ /hm ²)	每穗粒数 /粒	群体颖花量 /(10 ⁴ /hm ²)	结实率 /%	千粒重 /g	实际产量 /(t/hm ²)
2018	SN1	360.96 a	156.14 a	56 360.3 a	94.18 a	20.84 ab	10.75 a
	SN2	355.61 a	149.43 ab	53 138.8 c	93.13 ab	21.49 ab	10.00 ab
	SN3	350.78 a	144.14 bc	50 561.4 d	88.94 cd	20.74 ab	9.25 bc
	SN4	350.53 a	134.59 cd	47 177.8 e	85.48 d	18.34 c	7.75 d
	CK	190.15 b	122.33 e	23 261.1 f	88.84 cd	21.42 ab	4.00 e
	S0N1	353.62 a	138.57 bcd	49 001.1 de	90.24 bc	19.80 bc	8.50 c
	S0N2	360.27 a	140.61 bcd	50 657.6 d	93.72 a	21.60 ab	9.25 bc
	S0N3	371.63 a	148.52 ab	55 194.5 b	93.35 ab	23.82 a	10.00 ab
	S0N4	340.27 a	148.02 ab	50 366.8 d	89.83 bc	21.49 ab	9.00 bc
	CK	200.18 b	112.45 e	22 510.2 f	97.67 a	21.92 ab	4.50 e
2019	SN1	333.60 a	154.34 a	51 487.8 a	90.12 ab	21.85 b	9.60 a
	SN2	320.26 a	149.62 ab	47 917.3 bc	92.76 b	21.54 bc	9.10 ab
	SN3	311.36 a	136.12 cde	42 382.3 d	91.63 b	21.52 bc	8.45 c
	SN4	264.66 b	117.49 f	31 094.9 f	83.26 c	22.71 a	5.65 e
	CK	153.46 c	122.13 f	18 742.1 g	94.45 a	22.23 ab	3.50 f
	S0N1	284.67 b	134.29 de	38 228.3 e	92.38 b	21.93 ab	7.10 d
	S0N2	335.82 a	140.96 cd	47 337.2 c	92.06 b	20.84 cd	8.25 bc
	S0N3	342.50 a	143.50 bc	49 148.8 b	93.47 ab	20.22 d	8.60 bc
	S0N4	300.24 b	131.92 e	39 607.7 e	92.44 b	22.22 ab	8.10 c
	CK	128.99 c	115.21 f	14 860.9 h	94.33 a	22.19 ab	3.10 f

表中同一年份同一栏数据后带不同小写字母者表示各处理间差异在 0.05 水平显著。下同。

从表 2 可见,SN1 和 SN2 处理的产量比 S0N1 和 S0N2 处理高,SN3 和 SN4 处理则较 S0N3 和 S0N4 处理低。不同秸秆还田处理下不同氮肥运筹间产量趋势不一致,在秸秆还田(S)条件下,随基肥量占比的下降,产量逐渐降低;在秸秆不还田(S0)条件下,随基肥量占比的下降,产量呈先增后减趋势,以 S0N3 处理产量最高,两年间表现一致。秸秆还田(S)条件下最佳氮肥运筹处理(N1)产量高于秸秆不还田(S0)条件下最佳氮肥运筹处理(N3),分别高 7.50%(2018)、11.63%(2019)。

不同处理产量构成因素则表现为,秸秆还田与秸秆不还田处理的穗数、每穗粒数、结实率和千粒重大小在不同氮肥运筹间表现不同。秸秆还田(S)条件下,随基肥量占比的下降,有效穗数和穗粒数逐渐降低;在秸秆不还田(S0)条件下,随基肥量占比的下降,二者呈先增后减趋势。群体颖花量差异是导致各处理间产量差异的主要原因,SN1 和 SN2 处理的群体颖花量比 S0N1 和 S0N2 高,SN3 和 SN4 处理则较 S0N3 和 S0N4 低,各处理间差异显著。在秸秆还田(S)条件下,随基肥量占比的下降群体颖花量逐渐降低;在秸秆不还田(S0)条件下,随基肥量占比的下降群体颖花量呈先增后减趋势,以 S0N3 处理最高。秸秆还田条件下最佳氮肥运筹处理(N1)的群体颖花量显著高于秸秆不还田条件下最佳氮肥运筹处理(N3),分别高 2.11%(2018)、

4.76%(2019)。由此可知,在秸秆还田条件下,提高基肥氮的比例,能有效地提高群体总颖花量,实现增产。

2.2 稻米品质

从表 3 可见,稻米品质各指标在年份、氮素运筹以及二者间的交互效应有极显著差异,部分指标在秸秆还田处理下差异不显著,但年份与秸秆还田、秸秆还田与氮素二者互作效应,以及年份、秸秆和氮素三者互作效应均表现为显著或极显著差异。说明秸秆还田对稻米加工品质无显著影响,但合理的氮素运筹可以显著改善秸秆还田条件下的稻米品质。

2.2.1 加工品质和营养品质

由表 4 可知,2018 年,秸秆还田处理与秸秆不还田相比,相同氮素运筹下稻米糙米率、精米率和整精米率下降,糙米率和整精米率各处理间差异不显著。2019 年,与 S0N1 和 S0N2 处理相比,SN1 和 SN2 处理的稻米糙米率、精米率和整精米率提高,S0N2 与 SN2 处理间差异显著。不同氮肥运筹间加工品质趋势一致,在秸秆还田和秸秆不还田条件下,随基肥氮占比的下降,糙米率、精米率和整精米率均表现为先增后减的趋势,以 N2 处理最高(除 2019 年整精米率在 N3 处理最高)。说明适宜的氮肥后移可以提高稻米的加工品质。

秸秆还田提高了稻米蛋白质含量,SN1、SN2 和 SN3 处理间差异显著,与秸秆不还田处理相比,秸秆还

表 3 秸秆还田与氮肥运筹条件下稻米品质方差分析

变异来源	年份	秸秆	年份×秸秆	氮素	年份×氮素	秸秆×氮素	年份×秸秆×氮素
自由度 df	1	1	1	4	4	4	4
糙米率	227.50**	29.63**	140.51**	9.76**	42.78**	12.30**	34.23**
精米率	170.16**	0.76ns	41.31**	142.03**	13.82**	11.64**	3.15*
整精米率	166.86**	2.59ns	71.78**	12.28**	11.41**	2.74*	5.21**
垩白粒率	1241.51**	419.45**	111.77**	357.10**	51.60**	43.12**	47.99**
垩白度	2512.16**	948.72**	223.39**	776.83**	120.96**	117.20**	113.81**
直链淀粉含量	7336.81**	352.74**	439.93**	1 724.99**	115.87**	24.86**	10.85**
蛋白质含量	143.45**	73.40**	305.25**	46.74**	181.70**	45.21**	4.30**
F _{0.05}	4.08	4.08	4.08	2.61	2.61	2.61	2.61
F _{0.01}	7.31	7.31	7.31	3.83	3.83	3.83	3.83

表 4 秸秆还田与氮肥运筹条件下水稻加工品质和营养品质 (单位:%)

年份	处理	加工品质			蛋白质含量
		糙米率	精米率	整精米率	
2018	SN1	83.83 bc	74.89 c	69.27 bc	5.76 cd
	SN2	84.16 ab	75.64 bc	70.57 ab	5.96 c
	SN3	83.70bc	74.87 c	69.95 abc	6.24 b
	SN4	82.67 d	73.72 d	68.83 cd	7.08 a
	CK	78.60 e	70.10 e	66.30 e	5.24 f
	S0N1	84.38 ab	75.59 bc	70.30 abc	5.52 e
	S0N2	84.79 a	76.82 a	71.25 a	5.62 de
	S0N3	83.88 bc	76.40 ab	70.90 a	5.89 c
	S0N4	82.63 d	74.95 c	69.15 bc	6.96 a
	CK	83.22 cd	74.62 cd	67.50 de	4.02 g
2019	SN1	85.01 c	77.80 b	71.50 de	5.71 b
	SN2	90.26 a	81.04 a	71.95 d	5.84 a
	SN3	84.99 c	74.67 d	72.80 bc	5.85 a
	SN4	80.77 e	74.29 e	72.20 cd	5.95 a
	CK	84.53 c	76.98 c	69.90 f	4.16 e
	S0N1	84.56 c	75.98 c	71.00 e	5.29 c
	S0N2	89.01 b	77.02 c	71.10 e	5.61 b
	S0N3	85.21 c	76.93 c	73.70 a	5.64 b
	S0N4	85.00 c	74.94 d	73.40 ab	5.93 a
	CK	83.38 d	75.85 d	67.60 g	4.79 d

田蛋白质含量提高 1.71%~6.05%(2018 年) 和 0.34%~7.94%(2019 年)。不同氮肥运筹间蛋白质含量随基肥氮占比的下降而升高,两年间表现一致。

2.2.2 外观品质和蒸煮品质

由表 5 可知,与秸秆不还田处理相比,秸秆还田处理垩白粒率降低了 3.85~55.00%(2018 年)、60.65%~72.51%(2019 年),垩白度降低了 4.00%~32.73%(2018 年)、53.13~85.00%(2019 年)。其中,2019 年各处理间差异显著。秸秆还田和秸秆不还田处理下,垩白粒率和垩白度均随基肥氮占比的下降而下降,两年间表现一致。说明秸秆还田可以改善稻米外观品质,还田年份增加,影响越大;氮肥后移可以提高稻米的外观品质。

从表 5 可见,秸秆还田降低了各氮素运筹处理下

的稻米直链淀粉含量,各处理间差异显著,与秸秆不还田处理相比,秸秆还田处理直链淀粉含量降低了 8.83%~17.87%(2018)和 3.03%~5.19%(2019 年)。不同氮肥运筹处理间直链淀粉含量随基肥氮占比的下降而降低,两年间表现一致。

2.3 水稻籽粒灌浆特性

从表 6 可见,秸秆还田与氮素运筹影响籽粒灌浆特性,从而影响粒重形成。与秸秆不还田相比,秸秆还田降低了 N1 和 N2 处理下强、弱勢粒籽粒活跃灌浆期粒质量,但 N3 和 N4 处理的表现相反。秸秆还田和秸秆不还田处理下,籽粒活跃灌浆期粒质量随基肥氮占比的下降呈先增后减的趋势,以 N2 处理最高。秸秆还田条件下最佳氮肥运筹处理的籽粒活跃灌浆期粒质量

表 5 秸秆还田与氮肥运筹条件下水稻外观品质和蒸煮品质

年份	处理	外观品质			直链淀粉含量
		垩白粒率/%	垩白度/%	长宽比	/%
2018	SN1	2.50 a	0.72 a	1.50 d	23.59 f
	SN2	1.60 c	0.37 c	1.50 d	22.83 g
	SN3	0.95 de	0.24 cd	1.60 bc	20.89 h
	SN4	0.27 f	0.07 e	1.63 b	19.67 i
	CK	0.60 ef	0.17 de	1.60 bc	24.84 c
	S0N1	2.60 a	0.75 a	1.60 bc	27.12 b
	S0N2	2.00 b	0.55 b	1.55 cd	25.04 c
	S0N3	1.15 d	0.25 cd	1.55 cd	24.62 d
	S0N4	0.60 ef	0.15 de	1.70 a	23.95 e
	CK	1.13 d	0.33 c	1.60 bc	29.00 a
2019	SN1	5.70 d	1.60 cd	1.55 a	29.79 bc
	SN2	4.65 de	1.45 cde	1.58 a	29.48 c
	SN3	3.45 ef	0.95 de	1.60 a	28.60 d
	SN4	3.05 ef	1.00 de	1.62 a	27.22 e
	CK	3.50 ef	1.10 de	1.60 a	27.75 e
	S0N1	16.00 a	5.65 a	1.55 a	30.75 a
	S0N2	15.70 a	5.90 a	1.55 a	30.40 ab
	S0N3	12.55 b	3.95 b	1.60 a	29.75 c
	S0N4	7.75 c	2.15 c	1.63 a	28.71 d
	CK	2.00 f	0.80 e	1.60 a	29.99 bc

表 6 2018 年秸秆还田与氮肥运筹条件下水稻强、弱势粒灌浆特征参数

处理	最大灌浆速率/(mg·d ⁻¹)		到达最大灌浆速率时间/d		活跃灌浆期粒质量/mg		平均灌浆速率/(mg·d ⁻¹)	
	强势粒	弱势粒	强势粒	弱势粒	强势粒	弱势粒	强势粒	弱势粒
SN1	0.98	0.57	16.45	36.19	22.34	18.3	0.63	0.37
SN2	1.14	0.80	16.09	30.35	22.64	21.64	0.71	0.49
SN3	1.20	0.85	14.38	29.84	21.54	17.98	0.74	0.50
SN4	1.36	1.06	11.37	28.13	21.33	17.64	0.89	0.66
CK	0.93	0.63	21.77	32.08	22.20	14.96	0.59	0.38
S0N1	0.91	0.56	19.07	28.92	23.31	19.14	0.60	0.36
S0N2	0.92	0.58	16.10	24.86	24.05	24.55	0.60	0.39
S0N3	1.19	0.76	16.08	23.96	22.52	17.87	0.74	0.49
S0N4	1.26	0.76	15.29	21.60	22.38	17.49	0.84	0.49
CK	1.01	0.79	23.51	25.19	23.86	18.06	0.61	0.51

高于秸秆不还田条件下最佳氮肥运筹处理 6.23%(强势粒)、13.45%(弱势粒)。说明秸秆还田和氮肥运筹对粒质量的调控程度弱势粒大于强势粒。

从表 6 可见,不同粒位籽粒的平均灌浆速率、最大灌浆速率在秸秆处理和氮肥运筹处理间表现一致,强势粒均高于弱势粒,到达最大灌浆速率的时间强势粒小于弱势粒;与秸秆不还田相比,秸秆还田提高了各氮素运筹处理下水稻强、弱势粒的最大灌浆速率和平均灌浆速率,对弱势粒的影响更明显;秸秆还田缩短了强势粒籽粒到达最大灌浆速率的时间,但是延长了弱势粒籽粒到达最大灌浆速率的时间,各处理间差异显著;秸秆还田和秸秆不还田条件下,随基肥氮占比的下降,籽粒最大灌浆速率和平均灌浆速率升高,籽粒到达最

大灌浆速率的时间缩短。

从表 7 可见,稻米糙米率、精米率和整精米率与籽粒最大灌浆速率和平均灌浆速率呈正相关关系;垩白粒率和垩白度与籽粒最大灌浆速率和平均灌浆速率呈负相关关系,其中与弱势粒籽粒呈极显著负相关。说明秸秆还田处理下籽粒最大灌浆速率和平均灌浆速率的提高,降低了稻米垩白粒率和垩白度。

3 讨论

3.1 秸秆还田与氮肥运筹对水稻产量及产量构成因素的影响

秸秆还田作为一种重要的秸秆利用方式,符合未来稻作生产方向,即在降低农业资源污染与浪费的前

表 7 强、弱勢粒籽粒灌浆速率与稻米品质的相关性

稻位与稻米品质	最大灌浆速率		平均灌浆速率	
	强势粒	弱勢粒	强势粒	弱勢粒
糙米率	0.055	0.069	0.125	0.121
精米率	0.163	0.114	0.220	0.046
整精米率	0.087	0.184	0.193	0.032
垩白米率	-0.306	-0.472**	-0.174	-0.499**
垩白度	-0.266	-0.358**	-0.154	-0.519**

提下,实现土壤肥力和水稻产量协同提高。已有大量研究报道了秸秆还田对水稻的增产作用^[4-5]。然而,秸秆还田在实际生产中也面临一些问题,如因为秸秆中 C/N 比较高,所以易导致微生物在分解秸秆时需要吸收较多的氮素,进而使作物与微生物之间产生争氮现象。因此,在秸秆还田的同时,要配合氮肥的合理施用。研究表明,在秸秆不还田、控制氮肥总量的条件下,适度提高穗、粒肥的用量,能够延缓水稻生育后期根系和叶片衰老^[13],提高水稻成穗率、每穗粒数、结实率和千粒重,进而获得高产^[14-15]。而在秸秆还田、施氮量不变的条件下,可通过氮肥的后肥前移,即适当增加基蘖肥比例,避免秸秆腐解过程中土壤微生物与水稻植株争氮^[16-18]。随着秸秆腐解程度的加重,养分会缓慢释放,改善水稻生育后期的养分状况及土壤理化性状,有利于水稻抽穗至成熟阶段光合产物向籽粒运转,促进籽粒干物质积累,提高产量^[19-20]。前人关于秸秆还田与氮肥运筹对水稻产量及产量构成因子的影响进行了大量研究,但不同的研究其增产机制及最适氮肥运筹模式不同。研究发现,秸秆还田与氮肥运筹对粒质量的影响存在互作效应,秸秆还田条件下,氮肥前移可以显著提高水稻弱勢籽粒的粒质量,其中基蘖肥:穗肥为 7:3 时粒质量最大^[21]。左文刚等^[22]认为,秸秆还田条件下,氮肥前移可增加早稻的每穗粒数和结实率,但降低千粒重。姚如男等^[23]研究认为,在玉米秸秆还田条件下,基肥:蘖肥:穗粒肥为 7:3:0 时可以显著提高晚稻单位面积有效穗数,显著降低每穗粒数和结实率,对千粒重影响不大,晚稻产量最高。

本研究结果显示,秸秆还田配以合理的氮肥运筹更利于提高水稻产量。在秸秆还田条件下,随基肥氮占比的增大,群体总颖花量显著提高,有效穗数和每穗粒数逐渐升高。在基肥:蘖肥:穗肥为 7:2:1 的氮肥运筹模式下水稻产量最高,比秸秆不还田条件下最佳氮肥运筹处理(基肥:蘖肥:穗肥为 5:3:2)产量提高 7.50%~11.63%。研究发现,与秸秆不还田相比,虽然秸秆还田降低了分蘖期和拔节期干物质积累量,但是差异不显

著,保证了水稻生育前期的物质积累^[24]。这可能是因为前期增施的氮肥保证了氮肥供应,缓解了土壤微生物与水稻植株争氮的情况,降低了秸秆还田前期对水稻分蘖的抑制作用,有利于形成有效穗数。随着秸秆腐解程度的加深,养分得到释放、土壤环境得以改善,克服了水稻生育后期由于养分不足所导致生长速率降低的现象^[25-28]。本研究表明,秸秆还田有效供给了水稻光合代谢所需营养,延缓了水稻生育后期叶片光合速率的下降,促进物质向籽粒转移,提高了水稻强、弱勢粒的最大灌浆速率和平均灌浆速率,尤其是对弱勢粒的影响更显著,缩短了强势粒籽粒到达最大灌浆速率的时间,提高水稻弱勢籽粒的粒质量。秸秆还田配以合适的氮肥运筹,将使水稻库源关系得到改善,最终提高产量。

3.2 秸秆还田与氮肥运筹对稻米品质的影响

随着人们对稻米品质的重视,水稻优质栽培逐渐成为研究的热点^[29]。稻米品质的形成受品种特性、土壤生态环境、气候条件、种植制度以及栽培技术等因素的影响^[30-31]。氮素是水稻生长的重要营养元素,合理施用氮肥是提高稻米品质的有效途径。研究发现,秸秆还田搭配合理的氮肥运筹可以显著提高稻米品质^[7,9,32]。秸秆还田改善了土壤理化性状、延缓了水稻生育后期叶片和根系衰老,在灌浆结实期群体光合物质生产能力及物质转运功能较强,导致稻米蛋白质含量提高、垩白减少,显著改善稻米的外观及营养品质^[6-7,9,33]。适当提高水稻生育中后期穗粒肥的比例可以显著改善稻米的加工和营养品质^[7,9,21],但增加了稻米垩白,降低了稻米外观品质。

本研究结果表明,在秸秆还田条件下,随基肥氮占比的下降,稻米糙米率、精米率和整精米率均表现为先增后减的趋势,蛋白质含量提高,稻米垩白粒率、垩白度和直链淀粉含量下降。在水稻生育后期,秸秆还田条件下,适宜的氮肥运筹使得秸秆充分腐解,改善了土壤性状,提高了水稻的氮素利用效率、延缓功能叶衰老,水稻光合和输导系统的功能仍保持较高水平,籽粒最

大灌浆速率和平均灌浆速率提高,最终降低稻米的垩白粒率和垩白度,改善了稻米的外观品质^[34-35];同时,由于穗粒肥氮提高,提高了水稻生育后期功能叶蛋白水解酶活性,使蛋白质降解得更加彻底,增加了抽穗后氮素向籽粒的运转量,降低了直链淀粉含量^[7,36]。有研究认为,虽然生育后期增施氮素降低了稻米的直链淀粉含量、提高了稻米蛋白质含量,但其胶稠度也变短,且蛋白质含量与食味值呈显著负相关^[37]。所以,为提高稻米的蒸煮和食味品质,可以将氮肥适当前移,进而协调淀粉合成与蛋白质含量两者之间的平衡。因此,研究秸秆还田与氮肥运筹对稻米蒸煮特性和食味品质的影响,将来还需要从直链淀粉含量、淀粉精细结构、蛋白质含量及其组分分布等方面进行综合判断。

4 结论

秸秆还田提高了各氮素运筹处理下水稻强、弱勢粒的最大灌浆速率和平均灌浆速率,对弱勢粒的影响更明显;在秸秆还田条件下,随基肥氮占比的下降,产量逐渐降低,糙米率、精米率和整精米率均表现为先增后减的趋势,垩白粒率和垩白度呈下降趋势。秸秆还田显著提高了各氮素运筹(除 N4)处理下的稻米蛋白质含量,显著降低直链淀粉含量。秸秆还田配以基肥、分蘖肥与穗肥比为 6:3:1 的氮肥运筹模式,能协调东北粳稻高产优质生产。

参考文献

- [1] 高菊生,曹卫东,李冬初,等. 长期双季稻绿肥轮作对水稻产量及稻田土壤有机质的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(16): 4542-4548.
- [2] POLTHANEE A, TRE-LOGES V, PROMSENA K. Effect of rice straw management and organic fertilizer application on growth and yield of dry direct-seeded rice [J]. *Paddy and Water Environment*, 2008, 6(2): 237-241.
- [3] PUTTASO A, VITYAKON P, SAESJAN P, et al. Relationship between residue quality, decomposition patterns, and soil organic matter accumulation in a tropical sandy soil after 13 years [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2011, 89(2): 159-174.
- [4] BARUAH A, BARUAH K K. Organic manures and crop residues as fertilizer substitutes: impact on nitrous oxide emission, plant growth and grain yield in pre-monsoon rice cropping system [J]. *Journal of Environmental Protection*, 2015, 6(7): 755.
- [5] ZHANG J, HANG X, LAMINE S M, et al. Interactive effects of straw incorporation and tillage on crop yield and greenhouse gas emissions in double rice cropping system [J]. *Agriculture Ecosystems Environment*, 2017, 250: 37-43.
- [6] 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.

- [7] 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): 1 802-1 816.
- [8] 陈培峰,董明辉,谢裕林,等. 氮肥运筹对机插优质食味粳稻苏香粳 100 产量和品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(35): 131-134.
- [9] 何虎,黄山,才硕,等. 稻草全量还田下氮肥运筹对双季晚稻产量和稻米品质的影响 [J]. 江西农业大学学报, 2015, 37(3): 385-391.
- [10] 杨志远,孙永健,徐徽,等. 栽培方式与免耕对杂交稻 II 优 498 灌浆期根系衰老和籽粒灌浆的影响 [J]. 中国农业科学, 2013, 46(7): 1 347-1 358.
- [11] 国家质量技术监督局. 优质稻谷: GB/T17891—1999 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [12] 朱庆森,曹显祖,骆亦其. 水稻籽粒灌浆的生长分析[J]. 作物学报, 1988, 14(3): 182-193.
- [13] 吴文革,张四海,杨联松,等. 杂交中籼稻结实期叶片衰老与调控补偿栽培研究 [C]//中国作物学会栽培专业委员会. 中国作物学会栽培专业委员会换届暨学术研讨会论文集. 北京: 中国作物学会, 2007: 119-126.
- [14] 潘圣刚,黄胜奇,翟晶,等. 氮肥用量与运筹对水稻氮素吸收转运及产量的影响[J]. 土壤, 2012, 44(1): 23-29.
- [15] 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.
- [16] 李录久,王家嘉,吴萍萍,等. 秸秆还田下氮肥运筹对白土田水稻产量和氮吸收利用的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(1): 254-262.
- [17] 张维乐,戴志刚,任涛,等. 不同水旱轮作体系秸秆还田与氮肥运筹对作物产量及养分吸收利用的影响 [J]. 中国农业科学, 2016, 49(7): 1 254-1 266.
- [18] 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.
- [19] 戴志刚,鲁剑巍,鲁明星,等. 水稻秸秆用量对淹水培养土壤表层溶液理化性质的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(1): 20-24.
- [20] 江永红,宇振荣,马永良. 秸秆还田对农田生态系统及作物生长的影响[J]. 土壤通报, 2001, 32(5): 209-213.
- [21] 陈培峰,董明辉,顾俊荣,等. 麦秸还田与氮肥运筹对超级稻强弱勢粒粒重与品质的影响 [J]. 中国水稻科学, 2012, 26(6): 715-722.
- [22] 左文刚,黄顾林,陈亚斯,等. 氮肥运筹对秸秆全量还田双季稻氮产量及氮素吸收利用的影响[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2017, 38(2): 75-81.
- [23] 姚如男,陶卫,李成业,等. 玉米秸秆全量还田条件下氮肥运筹对晚稻产量和土壤化学及微生物特性的影响 [J]. 中国稻米, 2019, 25(1): 53-57.

- [24] 郑浣彤, 邵玺文, 耿艳秋, 等. 秸秆还田与氮肥运筹对水稻产量及氮素利用的影响[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(12): 29-36.
- [25] SUREKHA K, KUMARI A P, REDDY M N, et al. Crop residue management to sustain soil fertility and irrigated rice yields [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2003, 67(2): 145-154.
- [26] GUPTA R K, LADHA J K, SINGH J.S.G, et al. Yield and phosphorus transformations in a rice - wheat system with crop residue and phosphorus management [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2007, 71: 1 500-1 507.
- [27] YADVINDERSINGH, BIJAYSINGH, LADHA J K, et al. Effects of residue decomposition on productivity and soil fertility in rice - wheat rotation[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2004, 68: 854-864.
- [28] HUANG S, ZENG Y, WU J, et al. Effect of crop residue retention on rice yield in China: A meta-analysis[J]. *Field Crops Research*, 2013, 154: 188-194.
- [29] 凌凌, 赵春芳, 周丽慧, 等. 中国水稻生产现状与发展趋势[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(10): 105-107.
- [30] CHENG W D, ZHANG G P, ZHAO G P, et al. Variation in rice quality of different cultivars and grain positions as affected by water management[J]. *Field Crops Research*, 2003, 80(3): 245-252.
- [31] 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.
- [32] 葛立立, 马义虎, 卞金龙, 等. 玉米秸秆还田与实地氮肥管理对水稻产量与米质的影响[J]. 中国水稻科学, 2013, 27(2): 153-160.
- [33] 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.
- [34] 徐国伟, 吴长付, 刘辉, 等. 秸秆还田与实地氮肥管理对水稻产量及品质的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 22(10): 209-215.
- [35] 单提波, 魏宏国, 王安东, 等. 稻草还田配施化学氮肥对水稻生长发育、产量和品质的影响 [J]. 江西农业大学学报, 2010, 32(2): 265-270.
- [36] 罗兰芳, 郑圣先, 廖育林, 等. 控释氮肥对杂交水稻糙米蛋白质品质和氮代谢关键酶活性的影响 [J]. 中国水稻科学, 2007, 21(4): 403-410.
- [37] 石吕, 张新月, 孙惠艳, 等. 不同类型水稻品种稻米蛋白质含量与蒸煮食味品质的关系及后期氮肥的效应 [J]. 中国水稻科学, 2019, 33(6): 541-552.

Effects of Straw Returning and Nitrogen Fertilizer Management on the Yield and Quality of Northeast Japonica Rice

LIU Yueyue¹, ZHENG Huantong¹, CHENG Zhaowei², GENG Yanqiu¹, SHAO Xiwen¹, GUO Liying^{1*}, YUAN Qingxin¹, ZHU Liquan¹, SU Yuyang¹, XU Jiarui¹, YUAN Yixin¹, ZHANG Qi¹

(¹ College of Agriculture, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; ² Agricultural Technology Extension Station of Jilin Province, Changchun 130033, China; 1st author: jldlly@163.com; *Corresponding author: guoliying0621@163.com)

Abstract: A split-zone design experiment was used to study the effects of straw returning and nitrogen fertilizer management on yield and quality of rice variety Jigeng 88 in 2018 and 2019. The results showed that, compared with the treatment of not returning straw to the field, returning straw to the field reduced the rice brown rice rate, polished rice rate, whole rice rate, chalky grain rate, chalkiness and amylose content, and increased rice protein content. Compared with the optimal nitrogen fertilizer treatment (base fertilizer : tiller fertilizer : ear fertilizer is 5:3:2) under the condition of not returning straw to the field, the rice yield of the optimal nitrogen fertilizer treatment (base fertilizer : tiller fertilizer : ear fertilizer is 7:2:1) under the condition of straw returning to the field increased by 7.50% (2018) and 11.63% (2019), respectively. With the decreased of the proportion of basal fertilizer in the total nitrogen application rate, rice brown rice rate, polished rice rate, and whole rice rate showed a trend of increasing first and then decreasing; chalky grain rate, chalkiness, and amylose content showed a decreasing trend, and protein content showed an increasing trend. On the whole, under the condition of returning straw to the field, combined with a 6:3:1 nitrogen fertilizer operation model of basal fertilizer : tiller fertilizer : panicle fertilizer could ensure rice yield while improving rice processing and appearance quality.

Key words: rice; straw returning; nitrogen fertilizer management; yield; quality

·征订启事·

欢迎订阅 2022 年《中国油脂》杂志

《中国油脂》是由中粮工程科技股份有限公司主管, 中粮工科(西安)国际工程有限公司主办。月刊, 国内邮发代号: 52-129, 国外发行代号: M5889, A4 开本, 每本 20 元, 全年 240 元, 各地邮局均可订阅。国际标准连续出版物号: ISSN 1003-7969 国内统一连续出版物号: CN61-1099/TS。地址: 陕

西省西安市劳动路 118 号; 邮编: 710082; 电话: 029-88653157/88621360/88625310 (传真); E-mail: zyzoil@163.com; 网址: www.chinaoils.cn; 银行转账: 开户单位: 中粮工科(西安)国际工程有限公司, 账号: 607011580000004188, 开户行: 西安银行劳动北路支行。