

种植密度和施氮量对优质常规稻桂育 12 产量和米质的影响

李虎¹ 黄秋要² 吴子帅¹ 刘广林¹ 陈传华¹ 罗群昌¹ 朱其南¹

(¹广西壮族自治区农业科学院水稻研究所/广西水稻遗传育种重点实验室/广西水稻优质化育种研究人才小高地, 530007, 广西南宁;
²百色市农业科学研究所, 533000, 广西百色)

摘要 为明确种植密度和施氮量对广西稻区优质稻桂育 12 产量和米质的影响, 并为其高产高效保优栽培提供理论依据和实践参考, 分别于 2021 年早季和晚季在百色农业科学研究所试验基地进行双因素裂区田间试验。结果表明, 试验条件下施氮量和种植密度对桂育 12 早、晚稻产量影响不显著; 过多的施氮量会显著影响早、晚稻精米率、粒长、粒宽、长宽比、垩白度、垩白粒率、透明度和蛋白质含量等指标, 导致外观品质下降; 过高的种植密度会显著影响粒长、长宽比、透明度、蛋白质含量、直链淀粉含量等指标, 导致外观和食味品质变差。生产上应协调产量和米质的关系, 尽量选取适宜的施氮量与种植密度。本试验条件下, 综合产量和米质, 桂育 12 早稻最佳施氮量为 120 kg/hm², 种植密度为 1.8×10⁵ 蔸/hm², 每蔸 2 株苗, 可获得 6.71×10³ kg/hm² 的产量; 晚稻最佳施氮量为 210 kg/hm², 种植密度为 1.8×10⁵ 蔸/hm², 每蔸 2 株苗, 可获得 6.72×10³ kg/hm² 的产量。

关键词 水稻; 种植密度; 施氮量; 桂育 12; 产量; 米质

水稻是世界最重要的粮食作物之一, 也是我国最主要的粮食作物, 在保证粮食安全方面至关重要^[1]。氮素和种植密度是影响水稻生长发育的关键因素^[2], 是影响水稻群体结构及干物质形成、积累及转运的重要因素^[3-4]。合理施用氮肥和保持适宜的移栽密度是调控水稻产量构成因素、释放产量潜力的有效措施^[5]。合理的施氮量能够显著提高水稻的产量^[6], 但不同水稻品种的最佳施氮量会有所不同^[7]。如果水稻种植较为密集, 施加氮肥后对于增加水稻群体穗数是有利的, 但密度过大会导致水稻结实率下降, 不利于增产^[8]。在中密条件下, 产量随施肥量减少先增后减; 低密条件下, 增施氮肥可促进分蘖, 增加穗数, 获得较高产量, 而减施氮肥有利于提高整精米率和胶稠度; 高密条件下, 增施氮肥产量会增加, 适当减少氮肥的用量也可获得较高产量^[9-10]。在实际生产中, 过量施用氮肥会增加种植成本, 降低水稻种植效益^[11], 盲目增加插植密度和肥料, 使品种自身特性不能充分发挥^[12], 不但影响稻米品质, 而且会导致肥料利用率降低、土壤理化性状破坏、作物品质及产量降低等^[13]。因此, 研究不同施氮量水平和种植密度对水稻产量和米质的影响, 对充分发挥水稻品种的产量和米质潜力

及制定配套栽培技术具有重要意义。桂育 12 是广西壮族自治区农业科学院水稻研究所利用桂育 9 号和野丰占为亲本选育而成的籼型常规稻品种, 2019 年通过广西壮族自治区农作物品种审定委员会审定 (审定编号: 桂审稻 2019152 号)。该品种适应性好, 米质特优, 早晚稻米质差别小, 具有良好的抗逆能力和低镉特性, 已在广西旱改水田和中轻度镉污染稻田大面积推广种植, 但该品种的配套栽培技术尚不完善。本研究通过研究不同种植密度和施氮量对桂育 12 的产量和米质指标的影响, 探讨该品种的适宜种植密度和最佳施氮量, 为科学制定其高产保优栽培提供理论参考和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于广西百色市田阳区百育镇百育试验基地 (106°59' E, 23°41' N) 进行。试验地前茬种植水稻, 试验田土壤 pH 7.1、有机质 32.2 g/kg、全氮 199 mg/kg、有效磷 33.1 mg/kg、速效钾 178 mg/kg。

1.2 试验材料

供试水稻品种为桂育 12, 该品种为广西壮族自治区农业科学院水稻研究所选育而成的籼型常规

作者简介: 李虎, 主要从事常规优质高产水稻品种选育与栽培研究, E-mail: 116523094@qq.com

陈传华为通信作者, 主要从事水稻优质高产品种选育与栽培研究, E-mail: chenchuanhua@gxaas.net

基金项目: 广西重点研发计划 (桂科 AB23075129); 广西科技重大专项 (桂科 AA22068087); 广西水稻遗传育种重点实验室项目 (2022-36-Z01-ZZ11); 广西农业科学院基本科研业务专项资助项目 (桂农科 2023YM64)

收稿日期: 2024-03-04; 修回日期: 2024-05-12; 网络出版日期: 2024-11-21

水稻品种,连续3年获得“广西好稻米十大优质品种”称号。氮肥为尿素(总N以46.2%计),磷肥为过磷酸钙(有效磷 $\geq 16\%$),钾肥为氯化钾(氧化钾 $\geq 62\%$)。

1.3 试验设计

试验于2021年3-11月进行,均在同一田块开展,早稻3月1日播种,4月3日插秧,7月9日收割;晚稻7月11日播种,7月28日插秧,11月2日收割。采用双因素裂区试验设计,纯氮施用量为主区(A),设120(A1)、165(A2)和210 kg/hm²(A3)3个水平。种植密度为裂区(B),设1.8 $\times 10^5$ (B1)、2.0 $\times 10^5$ (B2)和2.2 $\times 10^5$ 茺/hm²(B3)3个水平,每茺2苗;试验共9个处理,重复3次,共27个小区。主区内裂区随机排列,小区面积13.34 m²(5.80 m \times 2.30 m),保护行5行。小区周围用塑钢瓦围挡并用塑料薄膜覆盖以防肥水渗漏,小区间留20cm左右浅沟以便统一排灌水。氮肥按基肥:分蘖肥:穗肥=3.5:4:2.5比例施用;钾肥施用量262.5 kg/hm²,按分蘖肥:穗肥=5:5比例施用;各处理均基施过磷酸钙450 kg/hm²。采用秧畦育秧,移栽时按试验设计密度人工插秧,移栽后浅水返青,分蘖肥在移栽后7d施用,孕穗肥在插秧后42d左右施用,其他病虫害等田间管理按常规进行。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 产量与经济性状 在水稻成熟期,选择第3行同一方向连续10茺测量株高,测量后分小区进行收割,脱粒风净,晒干后进行称重,按照13.5%

含水量标准折算小区干谷产量。收取各小区3茺代表性植株进行考种,记录穗数、穗粒数、结实率、千粒重和穗长。

1.4.2 最高苗数 各个小区选择第3行同一方向连续标记10茺植株,从移栽后7d起至分蘖出现下降,每7d调查1次分蘖情况,高峰期每3d调查1次,记录最高苗数及分蘖动态情况。

1.4.3 米质 收获的稻谷贮藏3个月,待米质稳定后测定相关指标。选用浙江托普云农科技股份有限公司TP-JLG-2018 砉谷机和欧米亚5599 降温型智能精米机测定糙米率和精米率;选用杭州万深检测科技有限公司SC-E型大米外观品质检测分析仪系统测定粒长、长宽比、垩白度、垩白粒率和透明度,选用日本佐竹SATAKE RLTA10B-KC食味仪测定蛋白质和直链淀粉含量。

1.5 数据处理

采用Excel 2003进行数据整理,用DPS v7.05进行统计分析,采用LSD法分析显著性。

2 结果与分析

2.1 种植密度和施氮量对桂育12早稻产量及经济性状的影响

由表1可知,施氮量不同处理间早稻有效穗数、最高苗数和株高出现显著或极显著差异,其中A2处理与A3处理间差异均不显著,A1处理与A2或A3处理间差异较为明显,对产量等其他指标影响不显著,说明增施氮肥可提高有效穗数和最高苗数,但会导致株高明显提升,抗倒性变差。

表1 种植密度和施氮量对桂育12早稻经济性状及产量的影响

Table 1 Effects of planting density and nitrogen application rate on economic characteristics and yield of Guiyu 12 early rice

处理 Treatment	有效穗数 Effective panicles ($\times 10^6/\text{hm}^2$)	最高苗数 Maximum number of seedlings ($\times 10^6/\text{hm}^2$)	成穗率 Panicule formation rate (%)	千粒重 1000-grain weight (g)	结实率 Seed-setting rate (%)	穗粒数 Grain number per panicle	穗长 Panicle length (cm)	株高 Plant height (cm)	产量 Yield ($\times 10^3$ kg/hm ²)
A1	2.85b	4.37bB	65.25a	22.06a	86.66a	125.56a	26.91a	114.23b	6.54a
A2	3.21a	5.22aA	61.49a	21.99a	87.91a	131.76a	27.23a	118.36ab	6.33a
A3	3.15a	5.52aA	57.33a	21.85a	86.26a	131.34a	27.23a	120.20a	6.39a
B1	2.79cB	4.79b	59.05bB	21.96a	86.33a	128.22a	27.29a	116.17bB	6.52a
B2	3.12bA	5.25a	59.93bAB	22.16a	87.46a	130.33a	27.21a	120.14aA	6.36a
B3	3.29aA	5.07ab	65.08aA	21.79a	87.05a	130.11a	26.87a	115.99bB	6.38a
A1B1	2.54bB	3.96b	64.11a	21.83a	86.39a	128.15a	26.91a	112.67b	6.71a
A1B2	2.96aA	4.66a	64.02a	22.23a	86.58a	122.79a	26.93a	115.67a	6.53ab
A1B3	3.05aA	4.50a	67.60a	22.12a	87.02a	125.74a	26.89a	114.37ab	6.39b
A2B1	2.83bB	4.75b	59.66a	22.33a	87.55a	127.67a	27.43a	117.67abAB	6.10bB
A2B2	3.28aA	5.44a	60.36a	21.97ab	87.96a	132.59a	27.30a	121.00aA	6.63aA
A2B3	3.51aA	5.47a	64.44a	21.68b	88.23a	135.03a	26.95a	116.40bB	6.28bAB
A3B1	3.01b	5.65a	53.38b	21.71ab	85.05a	128.84a	27.51a	119.67bAB	6.75aA

续表 1 Table 1 (continued)

处理 Treatment	有效穗数 Effective panicles ($\times 10^6/\text{hm}^2$)	最高苗数 Maximum number of seedlings ($\times 10^6/\text{hm}^2$)	成穗率 Panicle formation rate (%)	千粒重 1000-grain weight (g)	结实率 Seed-setting rate (%)	穗粒数 Grain number per panicle	穗长 Panicle length (cm)	株高 Plant height (cm)	产量 Yield ($\times 10^3 \text{ kg}/\text{hm}^2$)
A3B2	3.12ab	5.65a	55.41b	22.29a	87.84a	135.62a	27.40a	123.73aA	5.94bB
A3B3	3.31a	5.25a	63.20a	21.56b	85.88a	129.57a	26.76a	117.20bB	6.47bB
A	7.99*	49.06**	2.94	1.67	1.51	2.22	2.80	7.43*	3.37
B	22.45**	2.66	5.83*	2.21	0.90	0.36	0.73	10.96**	2.49
A×B	1.48	1.56	0.54	2.01	0.59	1.37	0.19	1.47	14.06**

不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)，不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)。“*”和“**”分别表示影响显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$)，下同。

Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$), different uppercase letters indicate extremely significant differences ($P < 0.01$). “*” and “**” indicate significant ($P < 0.05$) or extremely significant ($P < 0.01$) effects, respectively, the same below.

种植密度不同处理间有效穗数、最高苗数、成穗率和株高出现显著或极显著差异。随种植密度的提升，有效穗数和成穗率呈升高趋势，最高苗数和株高呈先升后降趋势。对产量等其他指标影响不显著。

在施氮量和种植密度互作条件下，A3B1 处理的产量最高，达到 $6.75 \times 10^3 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ，其次是 A1B1 和 A2B2 处理，产量分别为 6.71×10^3 和 $6.63 \times 10^3 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。

由方差分析 (F 值) 结果可知，施氮量对最高苗数影响极显著 ($P < 0.01$)，对有效穗数和株高影响显著 ($P < 0.05$)；种植密度对有效穗数和株高影响极显著，对成穗率影响显著；两者互作对产量影响极显著。可见，经济性状受到施氮量和种植

密度的影响，各指标在一个相对范围内此消彼长，未导致最终产量显著变化，桂育 12 在种植过程中选取较低施氮量和种植密度就能够达到一个相对较高的产量水平。

2.2 种植密度和施氮量对桂育 12 晚稻产量及经济性状的影响

由表 2 可以看出，施氮量各处理间晚稻的最高苗数、成穗率、穗长和株高存在显著或极显著差异，其中最高苗数随施氮量呈先升后降，成穗率先降后升，穗长和株高随之升高。对产量等其他指标影响不显著。与早稻相比，晚稻成穗率和穗长出现显著性差异，有效穗数未出现显著性差异，对最高苗数、株高和产量等指标的影响一致。

表 2 种植密度和施氮量对桂育 12 晚稻经济性状及产量的影响

Table 2 Effects of planting density and nitrogen application rate on economic characteristics and yield of late rice of Guiyu 12

处理 Treatment	有效穗数 Effective panicles ($\times 10^6/\text{hm}^2$)	最高苗数 Maximum number of seedlings ($\times 10^6/\text{hm}^2$)	成穗率 Panicle formation rate (%)	千粒重 1000-grain weight (g)	结实率 Seed-setting rate (%)	穗粒数 Grain number per panicle	穗长 Panicle length (cm)	株高 Plant height (cm)	产量 Yield ($\times 10^3 \text{ kg}/\text{hm}^2$)
A1	2.79a	6.10b	46.86a	22.15a	79.94a	140.52a	24.15b	116.56cB	6.56a
A2	2.78a	6.78a	41.41b	22.33a	80.81a	142.38a	24.41ab	119.09bB	6.31a
A3	2.82a	6.69ab	42.32ab	22.16a	81.03a	139.22a	25.01a	124.04aA	6.41a
B1	2.67bB	5.88bB	46.29aA	22.16a	80.81a	142.64a	24.41a	120.82aA	6.57a
B2	2.84aA	6.58aAB	43.55abAB	22.28a	81.41a	137.47b	24.69a	120.48aA	6.36a
B3	2.89aA	7.11aA	40.75bB	22.17a	79.57a	142.01ab	24.47a	118.39bB	6.34a
A1B1	2.70b	5.14cC	53.15aA	21.63bB	79.24a	143.10a	23.60b	116.60bB	6.70a
A1B2	2.79ab	6.03bB	46.76bA	22.47aA	79.65a	137.42a	24.46a	118.90aA	6.48a
A1B3	2.89a	7.12aA	40.67cB	22.36aA	80.95a	141.03a	24.39a	114.17cC	6.48a
A2B1	2.60bB	5.67bB	46.00aA	22.53a	82.63a	141.88ab	24.07a	119.70a	6.30a
A2B2	2.87aA	7.20aA	39.93abAB	22.28a	81.46ab	138.72b	24.48a	118.67a	6.40a
A2B3	2.86aA	7.47aA	38.31bB	22.17a	78.35b	146.53a	24.70a	118.90a	6.22a
A3B1	2.71a	6.82a	39.72a	22.32a	80.57a	142.95a	25.57a	126.17aA	6.72a
A3B2	2.85a	6.51a	43.97a	22.08a	83.10a	136.25a	25.13ab	123.87bAB	6.21a
A3B3	2.90a	6.74a	43.28a	22.09a	79.42a	138.48a	24.32b	122.10cB	6.30a
A	0.72	5.29	5.09	0.60	0.76	3.03	6.47	67.60**	1.52
B	9.23**	12.90**	5.90*	0.32	1.41	3.00	0.57	17.08**	1.66
A×B	0.53	4.51*	4.83*	3.77*	1.78	0.71	3.01	7.96**	0.79

种植密度不同处理间的有效穗数、最高苗数、成穗率和株高差异极显著,穗粒数差异显著。随种植密度的提升,有效穗数和最高苗数呈升高趋势,成穗率和株高呈下降趋势,穗粒数呈先降后升趋势,对产量等其他指标影响不显著。种植密度对晚稻指标影响的显著性与早稻结果表现基本一致,但对指标趋势的影响存在差异。

在施氮量和种植密度互作条件下,晚稻 A3B1 处理产量最高,达到 $6.72 \times 10^3 \text{ kg/hm}^2$,其次是 A1B1、A1B2 和 A1B3 处理,产量分别为 6.70×10^3 、 6.48×10^3 和 $6.48 \times 10^3 \text{ kg/hm}^2$ 。可见,适当增施氮肥对桂育 12 的产量有提升作用。

由方差分析 (F 值) 结果可知,施氮量对株高有极显著影响 ($P < 0.01$),种植密度对有效穗数、最高苗数和株高有极显著影响,对成穗率影响显著 ($P < 0.05$); 两者互作对株高有极显著影响,对

最高苗数、成穗率和千粒重有显著影响。晚稻各指标与早稻相比,产量最高的施氮量与早稻一致,且施氮量和种植密度对有效穗数、最高苗数、成穗率和株高的影响基本一致,二者对产量的影响同样不显著,从肥料减施增效角度考虑,晚稻亦可选择较低施氮量和种植密度,但最终施氮量和种植密度应结合米质指标确定。

2.3 种植密度和施氮量对桂育 12 早稻米质的影响

由表 3 可以看出,施用氮肥的不同处理间,早稻精米率和蛋白质含量差异极显著,粒长和粒宽差异显著。施氮量主要影响了外观米质粒长和粒宽,但是长宽比并未达到显著性差异,对米质外观整体影响不明显。随着施氮量的提升,精米率呈下降趋势,蛋白质含量呈上升趋势,精米率下降对加工品质有负向影响,蛋白质含量升高会导致食味品质变差。可见,增施氮肥会导致桂育 12 的加工米质下降。

表 3 种植密度和施氮量对桂育 12 早稻米质的影响
Table 3 Effects of planting density and nitrogen application rate on rice quality of early rice of Guiyu 12

处理 Treatment	糙米率 Brown rice rate (%)	精米率 Milled rice rate (%)	粒长 Grain length (mm)	粒宽 Grain width (mm)	长宽比 Length-width ratio	垩白度 Chalkiness degree (%)	垩白粒率 Chalkiness rate (%)	透明度 Transparency	蛋白质含量 Protein content (%)	直链淀粉含量 Amylose content (%)
A1	78.90a	73.71aA	6.11b	1.79b	3.45a	1.44a	6.29a	1.00a	7.31bB	17.46a
A2	78.86a	72.80bAB	6.09b	1.79ab	3.43a	1.37a	5.71a	1.11a	7.64abAB	17.00a
A3	80.21a	72.60bB	6.19a	1.81a	3.47a	1.36a	5.50a	1.22a	8.08aA	16.50a
B1	79.08a	73.22a	6.13a	1.79a	3.45a	1.41a	6.02a	1.11a	7.52b	17.56aA
B2	78.76a	73.01a	6.13a	1.79a	3.45a	1.33a	5.52a	1.22a	7.74ab	16.93abAB
B3	80.13a	72.89a	6.14a	1.80a	3.45a	1.43a	5.96a	1.00a	7.77a	16.47bB
A1B1	79.06a	74.08a	6.07b	1.78a	3.45a	1.41a	5.80a	1.00a	7.13ac	17.97a
A1B2	78.46a	73.54a	6.15a	1.79a	3.45a	1.47a	6.39a	1.00a	7.40a	17.13a
A1B3	79.19a	73.51a	6.11ab	1.79a	3.45a	1.45a	6.69a	1.00a	7.40ab	17.27a
A2B1	78.66a	73.20a	6.09ab	1.79a	3.43a	1.42a	6.30a	1.00a	7.57a	17.20aAB
A2B2	78.93a	72.45a	6.04b	1.79a	3.43a	1.39a	5.56ab	1.33a	7.57a	17.60aA
A2B3	78.98a	72.75a	6.13a	1.80a	3.44a	1.29a	5.27b	1.00a	7.80a	16.20bB
A3B1	79.52ab	72.38a	6.22a	1.81a	3.48a	1.40ab	5.96a	1.33a	7.87b	17.50aA
A3B2	78.89b	73.02a	6.19a	1.80a	3.47a	1.13b	4.63b	1.33a	8.27a	16.07bAB
A3B3	82.22a	72.41a	6.16a	1.81a	3.46a	1.54a	5.92a	1.00a	8.10ab	15.93bB
A	2.18	14.06*	8.45*	4.86	2.89	0.22	1.06	2.00	11.79*	2.32
B	1.47	0.61	0.11	0.22	0.04	1.06	1.56	0.86	3.15	7.15**
A×B	0.84	1.02	2.69	0.23	0.19	2.60	3.00	0.43	0.79	2.31

种植密度不同处理间蛋白质和直链淀粉含量指标分别出现显著和极显著差异。随着种植密度的增大,蛋白质含量呈升高趋势,直链淀粉含量呈下降趋势。直链淀粉含量与米饭软硬度呈正相关,直链淀粉含量越高米饭越硬,影响稻米食味品质,而表 3 中各处理直链淀粉含量均处于合理的软米型范围,因此忽略直链淀粉对桂育 12 米质影响,

但是蛋白质含量的提升会导致稻米食味品质下降。总体来看,种植密度过高对桂育 12 的米质影响是负向的。

互作条件下,2 个最高产量组合中 A3B1 的粒长、粒宽、长宽比和透明度等级最高,分别达到 6.22 mm、1.81 mm、3.48、1.33, A1B1 处理的精米率和直链淀粉含量最高,分别为 74.08%和 17.97%,

透明度等级和蛋白质含量最低，分别为 1.00 和 7.13%。互作条件下对 2 个组合的影响各有优劣，A3B1 处理的粒长、粒宽提升的同时透明度等级升高，整体米质变差；A1B1 处理指标整体表现较优，蛋白质和直链淀粉含量搭配较为合理。因此，桂育 12 应尽量选取施氮量与种植密度较低值来与产量和关键米质指标匹配。

2.4 种植密度和施氮量对桂育 12 晚稻米质的影响
由表 4 可以看出，施用氮肥的不同处理间晚

稻粒长、长宽比、垩白度、垩白粒率和透明度出现显著或极显著差异，且均随施氮量增加呈上升趋势，其中 A3 处理粒长、长宽比极显著高于 A1 处理，但垩白度、垩白粒率、透明度极显著低于 A1 处理。与早稻相比，晚稻增施氮肥会提升稻米的部分外观品质，但也会导致部分外观品质变差，整体上对外观品质影响较小，这与早稻略有不同。桂育 12 的整体米质优秀，晚稻施氮量对其米质影响有限。

表 4 种植密度和施氮量对桂育 12 晚稻米质的影响
Table 4 Effects of planting density and nitrogen application rate on rice quality of late rice of Guiyu 12

处理 Treatment	糙米率 Brown rice rate (%)	精米率 Milled rice rate (%)	粒长 Grain length (mm)	粒宽 Grain width (mm)	长宽比 Length-width ratio	垩白度 Chalkiness degree (%)	垩白粒率 Chalkiness rate (%)	透明度 Transparency	蛋白质含量 Protein content (%)	直链淀粉含量 Amylose content (%)
A1	76.22a	64.11a	6.20bB	1.77a	3.52bB	0.48bB	2.49bB	1.00bB	8.01a	15.41a
A2	77.71a	65.36a	6.29aAB	1.77a	3.56aAB	0.60aAB	3.11aAB	1.00bB	8.06a	15.39a
A3	77.22a	65.44a	6.33aA	1.78a	3.57aA	0.63aA	3.56aA	1.56aA	8.28a	14.71a
B1	76.58a	64.71a	6.29bA	1.77a	3.56aA	0.49a	2.61a	1.00bB	8.12a	15.21a
B2	77.18a	64.96a	6.20cB	1.77a	3.52bB	0.54a	3.03a	1.22aAB	8.19a	14.79a
B3	77.39a	65.23a	6.33aA	1.78a	3.57aA	0.67a	3.52a	1.33aA	8.03a	15.51a
A1B1	75.84a	63.84a	6.11cB	1.77a	3.46bB	0.58a	2.74a	1.00a	8.03a	15.33a
A1B2	76.37a	64.14a	6.20bA	1.77a	3.53aA	0.31a	1.92a	1.00a	8.10a	15.27a
A1B3	76.45a	64.34a	6.29aA	1.77a	3.56aA	0.55a	2.82a	1.00a	7.90a	15.63a
A2B1	77.14a	65.70a	6.40aA	1.77a	3.62aA	0.48a	2.61a	1.00a	8.13a	15.53ab
A2B2	78.47a	65.53a	6.17cB	1.77a	3.49cB	0.66a	3.19a	1.00a	8.17a	14.47b
A2B3	77.52a	64.87a	6.29bA	1.77a	3.56bA	0.65a	3.53a	1.00a	7.87b	16.17a
A3B1	76.75a	64.59a	6.35aA	1.77bB	3.61aA	0.42a	2.49b	1.00bB	8.20a	14.77a
A3B2	76.69a	65.22a	6.23bB	1.77bAB	3.53bB	0.65a	3.97ab	1.67aA	8.30a	14.63a
A3B3	78.22a	66.49a	6.41aA	1.80aA	3.58aAB	0.82a	4.20a	2.00aA	8.33a	14.73a
A	1.88	1.55	25.41**	0.70	18.59**	14.22*	16.25*	25.00**	0.88	1.37
B	0.55	0.13	19.09**	2.47	10.37**	1.11	2.12	7.00**	2.35	1.66
A×B	0.40	0.31	11.72**	1.88	11.89**	1.03	1.23	7.00**	1.54	0.81

种植密度不同处理间粒长、长宽比和透明度出现极显著差异，其中透明度等级随种植密度增加而升高，粒长和长宽比没有规律性变化。粒长和长宽比的提升可以提升稻米的外观品质，但主要米质指标垩白度、垩白粒率和透明度等级的提升却会引起外观品质下降，直接影响大米的商品性。因此，晚稻种植时应协调好产量和米质的关系，选取较低种植密度。

互作条件下，2 个最高产量组合 A3B1 处理与 A1B1 处理相比，粒宽和透明度指标处于同一水平，A3B1 处理的糙米率、精米率、粒长、长宽比、垩白度、垩白粒率和直链淀粉含量指标优于 A1B1 处理，蛋白质指标劣于 A1B1 处理。综上所述，与单纯分析施氮量相比，互作条件更精准体现了米质的

真实情况，A3B1 的整体米质优于 A1B1 处理，且 A3B1 处理产量最高。因此，桂育 12 晚稻应选取 A3B1 处理作为保优高产栽培措施。

3 讨论

3.1 种植密度和施氮量对水稻产量的影响

优质高产型品种在市场上仍较为缺乏，是市场上认可的主流品种，对这类品种开展保优栽培研究非常必要。不同品种适宜的种植密度和施氮量各有差异，如果农户按照以往经验种植往往不能获得高产和优质，只有良法与良种配套，才能充分发挥品种潜力^[14]。对于水稻施氮量和种植密度对产量影响的相关研究很多^[3,15-17]，但不同品种在种植密度和施氮量匹配上表现差异较大。改变移栽密度和氮肥

投入量主要是通过影响水稻的有效分蘖数来调节群体结构,改善群体质量,获得水稻高产^[18-19]。在种植密度方面,有研究^[20]认为,产量随着种植密度的增加而增加。也有研究^[21-22]发现,种植密度对产量的影响呈抛物线分布,栽插密度过低或过高均不利于产量的提高。在施氮量方面,有研究^[23]认为,在种植密度较高条件下,增施氮肥会使穗数增加,但结实率下降,不利于增产;在种植密度较低时,水稻产量与施氮量表现为显著正相关。王道中等^[24]研究发现,当土壤肥力为中高水平时配合减施 30% 氮肥,中低水平时配合减施 10% 氮肥,并不会引起水稻产量的显著减少,本试验结果与其基本一致,适量减施氮肥并不会引起桂育 12 产量的明显下降。本研究表明,在较低的施氮量水平下,桂育 12 仍可以获得较高的产量,这说明桂育 12 可能属于氮高效品种。试验在施氮量水平设置上可能存在过高情况,导致并未出现产量与施氮量正相关的结果,设置的最低氮肥施用量可能是其适宜施用量的最高值,这与以往的研究^[24]结果存在差异。在种植密度方面,桂育 12 的分蘖能力较强,较低的基本苗数依旧可以使其具有合理的有效穗数,这可能是其在较低的种植密度下仍可获得高产的原因。后续将在本研究的基础上继续开展更低种植密度、更低氮素施用水平对桂育 12 产量和品质的影响研究,优化完善其栽培技术。在实际生产应用中,单纯从产量角度考虑,施氮量应参考本试验最低值施用,甚至比最低值更少;而在种植密度方面,如果田块不存在抑制分蘖等不良环境,则建议选用较低的种植密度。

3.2 种植密度和施氮量对水稻米质的影响

研究^[25]发现,栽插密度的增加,会导致直链淀粉含量下降。胡雅杰^[26]研究表明,在较低栽插密度下蒸煮食味品质会有所提高。在氮肥施用量方面,增施氮肥特别是过量施用会提高稻米的垩白度,降低稻米的食味品质^[27],外观品质整体随之降低^[28],缩短胶稠度,米质变硬,导致口感变差^[29]。增密增氮会使水稻蒸煮食味等品质下降^[30]。本研究结果与上述研究^[27-30]结论基本一致。本试验开展早晚稻双季试验,早晚稻个别指标存在差异,但整体上施氮量和种植密度对桂育 12 米质的影响不尽相同。试验结果表明,施氮量显著或极显著影响了早晚稻精米率、粒长、粒宽、长宽比、垩白度、垩白粒率、透明度和蛋白质含量等指标;种植密度显著或极显

著影响了粒长、长宽比、透明度等级、蛋白质含量和直链淀粉含量等指标。从米质角度来看,高精米率对加工品质有利,蛋白质含量高会导致食味品质变差,粒长和长宽比的增加可以提升稻米的外观品质,直链淀粉含量与米饭软硬度呈正相关,但如果主要米质指标垩白度、垩白粒率和透明度提升则会引起外观品质下降,直接影响大米的商品性。桂育 12 的外观米质受施氮量和种植密度影响较为敏感,需要重视。另外,本试验桂育 12 的直链淀粉含量处于软米型大米合理指标范围内,因此可忽略影响。在实际生产中,应协调好产量和米质的关系,选取施氮量与种植密度时应尽量与关键米质指标匹配,从而充分发挥出桂育 12 的米质优势,实现经济价值。

4 结论

本试验条件下,综合产量和米质,桂育 12 早稻最佳施氮量为 120 kg/hm²,种植密度为 1.8×10⁵ 茈/hm²,每茈 2 苗,可获得 6.71×10³ kg/hm² 的产量;晚稻最佳施氮量为 210 kg/hm²,种植密度为 1.8×10⁵ 茈/hm²,每茈 2 苗,可获得 6.72×10³ kg/hm² 的产量。

参考文献

- [1] 徐正进,范淑秀,潘国君,等. 黑龙江水稻食味和其他品质性状的变化及其相互关系. 中国稻米, 2010, 16(4): 15-18.
- [2] 吕荣海,黄庭旭,游晴如,等. 不同栽植密度与施肥量对优质稻宜优 673 产量的影响. 福建农业学报, 2012, 27(10): 1056-1060.
- [3] 蔡永盛,薛菁芳,杜晓东,等. 不同灌溉方式、施氮量和种植密度对水稻茎蘖利用及产量的影响. 上海农业学报, 2022, 38(2): 47-52.
- [4] Chen K, Kumudini S V, Tollenaar M, et al. Plant bio-mass and nitrogen partitioning changes between silking and maturity in newer versus older maize hybrids. Field Crops Research, 2015, 183: 315-328.
- [5] 张欣,施利利,刘晓宇,等. 不同施肥处理对水稻产量、食味品质及蛋白质组分的影响. 中国农学通报, 2010, 26(4): 104-108.
- [6] 许梦秋,邝伟生,姚冬美,等. 施氮量与移栽密度对博 III 优 869 产量的影响. 杂交水稻, 2016, 31(3): 33-36.
- [7] 李文秀,周行,刘琅,等. 稻作生产中水、肥、药高效利用及对水稻的影响研究进展. 河南农业科学, 2022, 51(6): 1-12.
- [8] 武浩. 种植密度及氮肥投入量对水稻氮素利用效率的协同效应研究. 种子科技, 2022, 40(6): 8-10.
- [9] 卢建祥,胡文瑞,石楠,等. 有序机抛技术下增密减肥对杂交稻肥料偏生产力的影响. 天津农业科学, 2023, 29(8): 10-16.
- [10] 雷伏贵,陈家银,陈建辉,等. 播种期、栽插密度、施钾量、施氮量对优质感光杂交稻金泰优明占产量和稻米品质的影响. 江西农业学报, 2022, 34(10): 43-51.
- [11] 王秀斌,徐新朋,孙静文,等. 氮肥运筹对机插双季稻产量、氮肥利用率及经济效益的影响. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(5): 1167-1176.
- [12] 李恒蓉,陈富忠,孙驰,等. 不同插秧密度和施肥量对水稻新

- 品种丹粳 17 号产量及其产量性状的影响. 安徽农业科学, 2016, 44(8): 55-56, 137.
- [13] 张北赢, 陈天林, 王兵. 长期施用化肥对土壤质量的影响. 中国农学通报, 2010, 26(11): 182-187.
- [14] 李虎, 黄秋要, 陈传华, 等. 种植密度和施氮量对桂育 8 号产量及稻米外观和加工品质的影响. 西南农业学报, 2020, 33(4): 718-724.
- [15] 王振洋, 王冀川, 袁杰, 等. 不同施氮量与栽插密度对水稻群体生长及产量构成的影响. 新疆农业科学, 2022, 59(12): 2969-2978.
- [16] 马波, 来永才, 王俊河, 等. 施氮量、种植密度对寒地盐碱条件下水稻产量及干物质积累的互作效应. 中国稻米, 2022, 28(6): 89-93.
- [17] 金芝辉, 柴有忠, 王起. 密度和施氮量对水稻甬优 7850 分蘖动态与产量的影响. 浙江农业科学, 2019, 60(8): 1378-1380, 1384.
- [18] 龙文飞, 傅志强, 钟娟, 等. 节水灌溉条件下氮密互作对双季晚稻丰源优 299 物质生产特性的影响. 华北学报, 2017, 32(2): 185-193.
- [19] 陈海飞, 冯洋, 蔡红梅, 等. 氮肥与移栽密度互作对低产田水稻群体结构及产量的影响. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(6): 1319-1328.
- [20] 李翊君, 聂凌利, 张文, 等. 水密肥互作对水稻产量及产量构成的影响. 中国稻米, 2018, 24(6): 67-69.
- [21] 李向辉, 鲁艳红, 廖育林, 等. 氮肥施用量对晚稻产量和氮肥利用效率的影响. 湖南农业科学, 2010(15): 52-54.
- [22] 张巍巍, 吴洪然, 畅东, 等. 不同肥力和密度对水稻产量的影响. 北方水稻, 2011, 41(3): 18-19, 27.
- [23] 陈晓阳, 胡谷琅, 钱秋平, 等. 施氮水平和栽插密度对天优华占生长和产量及产量构成因子影响. 中国农学通报, 2010, 26(17): 160-163.
- [24] 王道中, 张成军, 郭熙盛. 减量施肥对水稻生长及氮素利用率的影响. 土壤通报, 2012, 43(1): 161-165.
- [25] 滕志英, 吕宏飞, 杨国友, 等. “华粳 6 号”不同栽插密度和氮肥运筹对产量及米质的影响. 上海农业科技, 2014(3): 46-48.
- [26] 胡雅杰. 机插方式和密度对不同穗型水稻品种生产力及其形成的影响. 扬州: 扬州大学, 2016.
- [27] 陶进, 钱希旸, 剧成欣, 等. 不同年代中籼水稻品种的米质及其对氮肥的响应. 作物学报, 2016, 42(9): 1352-1362.
- [28] 杨泽敏, 王维金, 蔡明历, 等. 氮肥施用期及施用量对稻米品质的影响. 华中农业大学学报, 2002, 21(5): 429-434.
- [29] 陈亚琴, 刘喜, 谭玉琴. 不同施肥方法对水稻产量和品质的影响. 中国农学通报, 1998, 14(5): 66-67.
- [30] 柳金来, 宋继娟, 周柏明, 等. 氮肥施用量与水稻品质的关系. 土壤肥料, 2015(1): 17-19.

Effects of Planting Density and Nitrogen Application Rate on Yield and Rice Quality of High-Quality Conventional Rice Guiyu 12

Li Hu¹, Huang Qiuyao², Wu Zishuai¹, Liu Guanglin¹, Chen Chuanhua¹, Luo Qunchang¹, Zhu Qinan¹

¹Rice Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences / Guangxi Key Laboratory of Rice Genetics and Breeding / Guangxi Talent Highland of High Quality Rice Breeding Research, Nanning 530007, Guangxi, China;

²Baise Research Institute of Agricultural Sciences, Baise 533000, Guangxi, China)

Abstract In order to clarify the effects of planting density and nitrogen application rate on the yield and rice quality of the high-quality rice Guiyu 12 in Guangxi rice region, and to provide theoretical reference and practical basis for its high-yield and high-efficiency cultivation, a double-factor split-plot field experiment was conducted in the early and late seasons of 2021 in the experimental base of Baise Research Institute of Agricultural Sciences. The results showed that nitrogen application rate and planting density had no significant effect on early and late rice yield of Guiyu 12. Excessive nitrogen application rate could significantly affect the milled rice rate, grain length, grain width, length-width ratio, chalkiness degree, chalkiness rate, transparency, and protein content indicators of early and late rice, leading to a decrease in appearance quality of rice. Excessive planting density could significantly affect grain length, length-width ratio, transparency, protein content, and amylose content indicators, leading to a deterioration in appearance and taste quality. In production, the relationship between yield and rice quality should be coordinated, and the appropriate nitrogen application amount and planting density should be selected. Under the conditions of this experiment, the optimal nitrogen application rate of Guiyu 12 early rice was 120 kg/ha, the planting density was 1.8×10^5 holes/ha, with two seedlings per hole, and the yield of 6.71×10^3 kg/ha could be obtained. The optimal nitrogen application rate of late rice was 210 kg/ha, the planting density was 1.8×10^5 holes/ha, with two seedlings per hole, and the yield of 6.72×10^3 kg/ha could be obtained.

Key words Rice; Planting density; Nitrogen application rate; Guiyu 12; Yield; Rice quality