



王立楠,马文东,杨庆,等. 种植密度和施氮量对龙粳 57 生长发育及产量的影响[J]. 黑龙江农业科学,2022(2):1-5.

种植密度和施氮量对龙粳 57 生长发育及产量的影响

王立楠,马文东,杨 庆,张云江,赵凤民

(黑龙江省农业科学院 水稻研究所,黑龙江 佳木斯 154026)

摘要:为明确水稻品种龙粳 57 的适宜栽培模式,以糯稻品种龙粳 57 为试验材料,设置 2 个种植密度(20 和 24 穴·m⁻²)、4 个施氮量[0 kg·hm⁻²(N0)、115 kg·hm⁻²(N1)、138 kg·hm⁻²(N2)和 161 kg·hm⁻²(N3)],探究种植密度与施氮水平对糯稻品种龙粳 57 不同时期的叶面积指数、光合势、干物质积累、产量及氮素利用效率的影响。结果表明:同一种植密度条件下,氮肥施用水平对不同时期叶面积指数、光合势、茎鞘物质输出率、穗数、产量和氮素利用效率影响显著;同一施氮水平下,增加种植密度后龙粳 57 的不同时期叶面积指数、茎鞘物质输出率、穗数、千粒重、产量和氮素利用效率等指标均有不同程度的提高。因此,应根据品种选择适宜的种植密度和施氮量,以便更好地发挥品种特性,提高光能利用率和养分利用效率,从而获得更高的产量。综合产量指标和氮素利用效率得出,龙粳 57 的适宜栽培模式为密度 24 穴·m⁻²,施氮量 115 kg·hm⁻²。

关键词:水稻;种植密度;施氮水平;生长发育;产量

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^[1-2]。黑龙江省是我国重要的商品粮生产基地,水稻种植面积 400 多万 hm²,年产水稻 300 多亿 kg,作为国家粮食安全“压舱石”起到举足轻重的作用^[3]。有研究表明,种植密度和施肥量对水稻产量均有较明显的影响,新推广品种栽培密度和化肥用量不明确,栽培密度不合理和化肥施用不当会造成水稻大面积倒伏或群体量不足,减少农民收入^[4]。也有研究表明,种植密度是影响水稻产量的首要因素,其次是施肥量,适宜的种植密度和施肥量有利于提高产量和稻米品质^[5]。在一定范围内稻谷产量随着施氮量的增加而提高,但超过一定限度后,继续增加施氮量,则会延缓水稻衰老进程,导致植株贪青,不利于营养物质向籽粒转运,且易发生倒伏,导致水稻产量和氮肥利用率偏低^[4]。因此,研究不同施氮水平和种植密度对水稻叶面积指数、干物质生产及产量等指标的影响,对于充分发挥水稻的产量潜力及制定相应配套的栽培措施均具有重要意义。

龙粳 57 是黑龙江省农业科学院水稻研究所所以龙交 04-2637 为母本,龙粳 29 为父本,采用系

谱方法选育而成的糯稻品种,已在黑龙江省适宜区域大面积种植。目前,关于水稻适宜栽培措施的研究已有较多报道,但针对糯稻品种的相关报道较少,尤其是种植密度和施肥水平对糯稻品种龙粳 57 叶面积指数、干物质生产及产量等指标的影响尚无报道。为此,本研究分析了不同种植密度和施氮水平对龙粳 57 叶面积指数、干物质生产及产量等指标的影响,明确该品种最佳种植密度和施氮量,旨在为实际生产提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2020 年在黑龙江省农业科学院水稻研究所(46°49'N,130°22'E)进行,该地属于典型的温带大陆性季风气候,年均气温 3℃左右,≥10℃活动积温 2 521℃,无霜期 130~140 d;年均降水量 510 mm。试验地土壤为草甸土,土壤基础肥力状况详见表 1。

表 1 土壤基础肥力情况

有机质/%	碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	有效磷/(mg·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)	pH
2.70	126.46	39.78	202.76	6.4

1.2 材料

供试品种为龙粳 57,由黑龙江省农业科学院水稻研究所品质研究室选育而成,糯稻品种,适宜黑龙江省第三积温带上限种植。

收稿日期:2021-11-06

基金项目:黑龙江省农业科学院院级课题(2020FJZX036)。

第一作者:王立楠(1979—),男,硕士,助理研究员,从事水稻遗传育种研究。E-mail:sds0454@163.com。

通信作者:张云江(1970—),男,硕士,研究员,从事水稻遗传育种研究。E-mail:sdszyj@163.com。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 采用完全随机试验设计,设置 2 个种植密度:20 和 24 穴·m⁻²;设置 4 个施氮量(尿素 N 46%):0 kg·hm⁻² (N0)、115 kg·hm⁻² (N1)、138 kg·hm⁻² (N2)、161 kg·hm⁻² (N3),共 8 个处理,每个处理重复 3 次。磷肥(过磷酸钙 P₂O₅ 12%)和钾肥(氯化钾 K₂O 60%)用量分别为 90 和 150 kg·hm⁻²。试验田施肥具体方法为基肥中氮肥 40%,磷肥 100%,钾肥 50%;分蘖肥中氮肥 30%;穗肥中氮肥 20%,钾肥 50%;粒肥中氮肥 10%。小区面积 50 m²,田间管理措施同大田生产。

1.3.2 测定项目及方法 叶面积指数:于齐穗期和成熟期,每处理按照平均茎数取样 3 穴,测定各处理单株叶面积,采用长宽系数法测定。依据水稻种植密度计算水稻叶面积指数。

单株叶面积(cm²) = 长×宽

叶面积指数(LAI)=单株叶面积×0.72×密度/10 000

光合势(LAD)=1/2(LAI₁+LAI₂)×(t₂-t₁)

式中:LAI₁和 LAI₂分别表示两时期的叶面积指数;t₂-t₁表示两时期的时间间隔^[6]。

干物质和氮素积累量:于齐穗期和成熟期,按照平均茎数取样 3 穴,分叶片、茎鞘、穗 3 个部分,于 105 ℃杀青,80 ℃烘干至恒重,3 次重复,测定各部分的干重,称重后粉碎保存待测。将粉碎后的各部分干样用浓 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮,用半微式凯氏定氮法测定氮含量。

产量构成因素:于成熟期,连续调查 15 穴穗数,按平均穗数取有代表性的中等植株 3 穴带回室内测定。将 3 穴的穗混放,从中选出大小一致中等穗 10 个,测量穗长,计数实粒数和空秕粒数,并称取粒重,计算每穗粒数、结实率和千粒重等产量构成因素。

成熟期产量:每个处理 3 次重复,每次重复收获 2 m²,自然晾干脱谷,称重,换算成标准含水量后计算产量。

茎鞘物质输出率(%)=(齐穗期茎鞘干重-成熟期茎鞘干重)/齐穗期茎鞘干重×100

氮肥农学效率(kg·kg⁻¹)=(氮肥处理水稻产量-不施氮处理水稻产量)/氮肥施用量

氮肥偏生产力(kg·kg⁻¹)=水稻的籽粒产量/氮肥处理小区的氮肥施用量

氮素收获指数(%)=水稻成熟期籽粒氮素的积累量/地上部氮素的积累量

氮素籽粒生产效率(kg·kg⁻¹)=产量/地上部氮素的积累量

1.3.3 数据分析 采用 Excel 2003 软件录入数据并计算,采用 DPS 7.05 软件进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同种植密度和施氮量对龙粳 57 叶面积指数和光合势的影响

叶面积指数的大小会直接影响光合作用的效率,从而影响作物的产量。由表 2 可以看出,龙粳 57 在两个种植密度下齐穗期的叶面积指数随着施氮量的增加呈上升趋势,均以施氮量 N3 处理最高,且与其他处理呈显著差异;成熟期的叶面积指数随着施氮量的增加呈先上升后降低的趋势,种植密度在 20 穴·m⁻²时以施氮量 N2 处理叶面积指数最高,且与其他处理的差异达到显著水平,种植密度在 24 穴·m⁻²时以施氮量 N1 处理叶面积指数最高,且与其他处理的差异达到显著水平。

光合势与植株干物质积累量密切相关,一般情况下,光合势越大、干物质生产则越多,产量较高。由于不同处理的叶面积指数不同,光合势也存在明显差异。龙粳 57 在两个种植密度下的光合势随着施氮量的增加呈先上升后降低的趋势,种植密度在 20 穴·m⁻²时表现为施氮量 N2 处理的光合势(2.414×10⁵ m²·d·hm⁻²)显著高于其他处理;种植密度在 24 穴·m⁻²时表现为施氮量 N1 处理的光合势(3.231×10⁵ m²·d·hm⁻²)显著高于其他处理。

表 2 种植密度和施氮量对龙粳 57 叶面积和光合势的影响

种植密度/ (穴·m ⁻²)	施氮处理	叶面积指数		光合势/ (×10 ⁵ m ² ·d·hm ⁻²)
		齐穗期	成熟期	
20	N0	2.78 c	1.18 d	1.493 d
	N1	3.02 bc	1.35 c	2.131 c
	N2	3.15 b	1.61 a	2.414 a
	N3	3.77 a	1.52 bc	2.352 b
24	N0	3.29 d	1.49 d	1.678 d
	N1	4.31 c	2.50 a	3.231 a
	N2	5.49 b	1.81 bc	2.826 b
	N3	6.32 a	1.73 c	2.507 c

注:不同小写字母表示 P<0.05 水平差异显著。下同。

2.2 不同种植密度和施氮量对龙粳 57 干物质积累的影响

由表 3 可知,龙粳 57 在两个种植密度下齐穗期的茎鞘重均随着施氮量的增加呈上升趋势,种植密度在 20 穴·m⁻²时齐穗期的穗重随着施氮量增加呈先上升后降低的趋势,种植密度在 24 穴·m⁻²时齐穗期的穗重则表现为随着施氮量增加而逐渐增加。成熟期种植密度在 20 穴·m⁻²时穗重随着

施氮量增加逐渐增加,种植密度在 24 穴·m⁻²时成熟期的茎鞘重随着施氮量的增加呈上升趋势,穗重则表现为随着施氮量增加呈先上升后降低的趋势。种植密度在 20 穴·m⁻²时以施氮量 N2 处理的茎鞘物质输出率最大,达到 11.23%,且与其他处理的差异达到显著水平;种植密度在 24 穴·m⁻²时以施氮量 N1 处理的茎鞘物质输出率最大,达到 11.37%,且与其他处理的差异达到显著水平。

表 3 种植密度和施氮量对龙粳 57 干物质积累的影响

种植密度/ (穴·m ⁻²)	施氮处理	齐穗期		成熟期		茎鞘物质 输出率/%
		茎鞘重/(g·m ⁻²)	穗重/(g·m ⁻²)	茎鞘重/(g·m ⁻²)	穗重/(g·m ⁻²)	
20	N0	14.81 b	7.22 a	13.40 b	21.53 b	9.59 b
	N1	19.21 a	7.75 a	17.42 a	33.91 a	9.38 b
	N2	19.46 a	7.43 a	17.28 a	35.62 a	11.23 a
	N3	19.94 a	6.76 a	18.61 a	37.55 a	6.72 c
24	N0	14.20 c	4.62 c	13.05 c	21.61 b	8.37 b
	N1	17.31 b	7.15 b	15.35 b	39.56 a	11.37 a
	N2	18.96 ab	8.08 ab	17.33 a	36.68 a	8.61 b
	N3	19.43 a	11.33 a	18.58 a	31.52 b	4.49 c

2.3 不同种植密度和施氮量对龙粳 57 群体光合物质生产的影响

由表 4 可以看出,龙粳 57 种植密度在 20 穴·m⁻²时,生物产量和群体生长率随着施氮量的增加而呈上升趋势,净同化率、实粒重:叶面积和籽粒重:叶面积随着施氮量的增加呈先增加后降低的趋

势,其中施氮量 N3 处理的生物产量、群体生长率和净同化率显著高于其他处理;种植密度在 24 穴·m⁻²时,生物产量、群体生长率和净同化率等指标均随着施氮量的增加均呈先增加后降低的趋势,其中施氮量 N1 处理的生物产量、群体生长率和净同化率等指标显著高于施氮量 N0 和 N3 处理。

表 4 种植密度和施氮量对龙粳 57 群体光合物质生产的影响

种植密度/ (穴·m ⁻²)	施氮处理	生物产量/ (g·m ⁻²)	群体生长率/ (g·m ⁻² ·d ⁻¹)	净同化率/ (g·m ⁻² ·d ⁻¹)	实粒重:叶面积/ (g·cm ⁻²)	籽粒重:叶面积/ (mg·cm ⁻²)
20	N0	301.60 c	2.44 c	6.74 c	3.70 ab	105.97 ab
	N1	440.07 b	4.65 b	9.18 ab	3.63 ab	107.15 ab
	N2	446.47 b	4.85 b	8.69 b	4.16 a	121.44 a
	N3	478.17 a	5.51 a	9.65 a	3.54 c	103.55 ab
24	N0	309.86 d	3.33 c	7.63 c	4.20 a	111.69 b
	N1	503.38 a	5.68 a	8.16 a	4.50 a	122.45 a
	N2	482.46 ab	4.93 ab	8.07 ab	4.44 a	121.34 a
	N3	417.34 c	4.48 b	5.74 d	4.20 a	114.05 b

2.4 不同种植密度和施氮量对龙粳 57 产量及其构成因素的影响

由表 5 可以看出,龙粳 57 种植密度在 20 穴·m⁻²时每平方米穗数、每平方米颖花量、结实率和产量均随着施氮量的增加呈先增加后降低的趋势,施氮量 N2 处理时产量最高,为 7 675.64 kg·hm⁻²;种植密度在 24 穴·m⁻²时则表现为每平方米穗数、每平方米颖花量和产量随着施氮量的增加呈先增加后降低的趋势,施氮量 N1 处理时产量最高,为

8 446.71 kg·hm⁻²。同一种植密度下施用氮肥显著增加了每平方米穗数、每穗粒数和每平方米颖花量,从而影响了最终的产量,其中种植密度在 20 穴·m⁻²时施氮量 N2 处理的产量显著高于施氮量 N0 和 N1 处理,种植密度在 24 穴·m⁻²时施氮量 N1 处理的产量显著高于施氮量 N0 和 N3 处理。施氮量不足或过高时每平方米穗数和每平方米颖花量均显著减少,同时不利于各产量构成因素的提高,从而造成减产。

表 5 种植密度和施氮量对龙粳 57 产量及其构成因素的影响

种植密度/ (穴·m ⁻²)	施氮处理	穗数/ (个·m ⁻²)	每穗粒数/个	颖花量/ (个·m ⁻²)	结实率/%	千粒重/g	产量/ (kg·hm ⁻²)
20	N0	267.42 c	83.61 b	22767.26 c	94.83 a	24.88 a	4225.39 c
	N1	364.50 b	98.36 a	35937.56 ab	95.33 a	26.28 a	6649.67 b
	N2	403.20 a	98.46 a	39275.42 a	95.34 a	25.46 a	7675.64 a
	N3	378.35 ab	101.80 a	38978.57 a	95.44 a	26.71 a	7253.42 a
24	N0	286.33 c	75.20 c	21231.24 c	96.51 a	27.24 a	5103.73 c
	N1	425.10 a	97.28 a	40985.47 a	94.65 a	27.26 a	8446.71 a
	N2	407.25 a	97.52 a	39143.23 a	94.44 a	26.90 a	7885.88 a
	N3	326.12 b	86.34 b	28487.62 bc	96.23 a	27.82 a	6643.26 b

2.5 不同种植密度和施氮量对龙粳 57 氮素利用效率的影响

由表 6 可以看出,龙粳 57 种植密度在 20 穴·m⁻² 时,氮肥农学效率随着施氮量的增加呈先增加后降低的趋势,种植密度在 24 穴·m⁻² 时,则随着施氮量的增加呈降低趋势。两个种植密度下的氮肥偏生产力和氮素籽粒生产效率均随着施氮量的增加而呈降低趋势,氮素收获指数则随着施氮量的

增加而呈先降低后上升的趋势。龙粳 57 在种植密度 20 穴·m⁻² 时,施氮量 N2 处理的氮肥农学效率和施氮量 N1 处理的氮肥偏生产力显著高于施氮量 N3 处理;在种植密度 24 穴·m⁻² 时,施氮量 N1 处理的氮肥农学效率和氮肥偏生产力显著高于施氮量 N2 和 N3 处理;两个种植密度下的氮素籽粒生产效率均以施氮量 N0 处理最高,且与其他施氮量处理呈显著差异。

表 6 种植密度和施氮量对龙粳 57 氮素利用效率的影响

种植密度/ (穴·m ⁻²)	施氮处理	氮肥农学效率/ (kg·kg ⁻¹)	氮肥偏生产力/ (kg·kg ⁻¹)	氮素收获指数/%	氮素籽粒生产效率/ (kg·kg ⁻¹)
20	N0			70.10 a	79.48 a
	N1	21.08 a	57.82 a	68.59 a	65.24 b
	N2	25.00 a	55.62 a	67.60 a	56.76 c
	N3	18.81 b	45.05 b	67.96 a	46.04 d
24	N0			71.31 a	83.22 a
	N1	29.07 a	73.45 a	69.14 a	68.96 b
	N2	20.16 b	57.14 b	67.99 a	55.91 c
	N3	9.56 c	41.26 c	69.00 a	46.04 d

3 讨论与结论

有研究表明,水稻的种植密度和氮肥施用量的调控有利于改善冠层结构和群体质量,有助于抽穗后群体光合效率提升,能够有效提高单位面积有效穗数,从而获取高产。氮素营养直接促进水稻的生长发育,种植密度则通过影响水稻的生长环境进而影响水稻的生育进程。种植密度较高条件下,增施氮肥可以增加群体穗数,但会导致结实率的下降,不利于增产。在种植密度较低时,施氮量对水稻的影响较为显著,水稻产量也往往与施氮量呈显著正相关^[7-9]。还有研究表明,增密减氮的栽培方式比稀植高氮获得了更高的产量。本研究表明,增加种植密度,龙粳 57 每平方米穗数和产量有所增加;同一种植密度下,龙粳 57 每平方米穗数、每平方米颖花量和产量随着施氮量的

增加呈先增加后降低的趋势。龙粳 57 种植密度在 24 穴·m⁻² 时施氮量为 115 kg·hm⁻² 处理的产量为 8 446.71 kg·hm⁻²,显著高于 0 和 161 kg·hm⁻² 处理。产量较高的原因是适宜的种植密度和施氮量显著提高了每平方米穗数和每平方米颖花量,从而提高了最终产量。适宜的叶面积指数是水稻高产的基础,受种植密度和施氮量的影响较大。磷肥和钾肥不变的条件下,随着施氮量的增加,各生育时期叶面积指数、抽穗期高效叶面积指数和有效叶面积指数均逐渐增大。也有研究表明,增加种植密度可以提高叶面积指数和干物质积累量^[10],本试验研究结果表明,随着种植密度的增加龙粳 57 叶面积指数有增加的趋势,同一种植密度下施肥量对龙粳 57 叶面积指数有显著影响,齐穗期叶面积指数随施肥量的增加而增加,成熟期

水稻叶面积指数随着施氮量的增加呈先升高后降低的趋势。随着种植密度和施肥量的增加,龙粳 57 齐穗期至成熟期水稻茎鞘干物质积累量呈逐渐增加的趋势,但在同一种植密度下茎鞘物质输出率随着施氮量的增加呈先升高后下降的趋势,种植密度在 24 穴·m⁻²时以施氮量 115 kg·hm⁻²处理的茎鞘物质输出率最大,达到 11.37%,且与其他处理的差异达到显著水平。以往很多研究结果均表明适量氮肥的施入会提高水稻的氮肥农学效率和氮肥偏生产力^[1]。詹可^[12]的研究表明,氮素收获指数受水稻栽培密度的影响较小。本研究结果表明,增加种植密度和减少氮肥施用量可以提高龙粳 57 的氮肥农学效率和氮肥偏生产力,特别是随着氮肥施用量的增加呈显著降低的趋势。种植密度为 24 穴·m⁻²时,施氮量 115 kg·hm⁻²处理的氮肥农学效率和氮肥偏生产力显著高于施氮量为 138 和 161 kg·hm⁻²处理。所以,只有适宜的种植密度和氮肥施用量才可以实现水稻高产和氮肥高效利用的协调统一。

综上所述,合理的种植密度和适宜的施氮量显著提高了龙粳 57 不同时期的叶面积指数、光合势、干物质积累量、产量和氮素利用效率等指标。综合产量和氮素利用效率指标,龙粳 57 的适宜栽培模式为密度 24 穴·m⁻²,施氮量 115 kg·hm⁻²。

参考文献:

[1] 李丁鲁,张建明,王慧,等. 长江下游地区部分优质粳稻品种与越光稻米支链淀粉结构特征及品质性状比较[J]. 中国水稻科学,2010,24(4):379-384.

[2] 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[J]. 中国稻米,2010,16(4):15-18.

[3] 黑龙江统计局. 黑龙江统计年鉴(2019)[M]. 北京:中国统计出版社,2019.

[4] 李虎,陈传华,刘广林,等. 种植密度和施氮量对桂育 9 号农艺性状及产量的影响[J]. 作物杂志,2019(6):99-103.

[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[J]. 中国农学通报,2010,26(4):104-108.

[6] 权宝全,吕瑞州,王贵江. 不同施氮量对甘薯生长发育及产量的影响[J]. 东北农业科学,2019,44(6):14-17.

[7] 梁青铎. 施氮量和机插密度对水稻生长、产量和氮肥利用效率的影响[D]. 北京:中国农业科学院,2020.

[8] 周瑞庆,萧光玉,汪大明,等. 施肥量对水稻产量及产量构成因素的影响[J]. 作物研究,1991,6(S1):21-26.

[9] 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[J]. 中国农学通报,2010,26(17):160-163.

[10] 孟维初. 栽培措施对水稻产量和品质的影响[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2008.

[11] DENG F, WANG L, REN W J, et al. Enhancing nitrogen utilization and soil nitrogen balance in paddy fields by optimizing nitrogen management and using polyaspartic acid urea[J]. Field Crops Research, 2014, 169:30-38.

[12] 詹可. 施氮量和移栽密度对超级晚稻产量形成和氮磷钾吸收积累的影响[D]. 长沙:湖南农业大学,2009.

Effects of Planting Density and Nitrogen Fertilizer Application Amount on Growth and Yield of Longjing 57

WANG Li-nan, MA Wen-dong, YANG Qing, ZHANG Yun-jiang, ZHAO Feng-min
(Rice Research Institute, Heilongjiang Academy of Agriculture Sciences, Jiamusi 154026, China)

Abstract: In order to clarify the appropriate cultivation model of rice variety Longjing 57, the glutinous rice variety Longjing 57 was used as the test material, set two planting densities (20 and 24 holes·m⁻²), and four nitrogen application rates (N0-0 kg·ha⁻¹, N1-115 kg·ha⁻¹, N2-138 kg·ha⁻¹ and N3-161 kg·ha⁻¹), to explore the effects of planting density and nitrogen application amount on the leaf area index, photometric combination, dry matter accumulation, yield and nitrogen utilization efficiency of the glutinous rice variety Longjing 57. The results showed that under the same planting density, the nitrogen fertilizer application amount had significant effects on leaf area index, photosynthetic potential, stem and sheath material output rate, panicles number, yield, and nitrogen use efficiency. As planting density increased, the leaf area index, stem and sheath material output rate, number of panicles, 1 000-grain weight, yield and nitrogen use efficiency of Longjing 57 improved in different degrees. Therefore, according to the characteristics of the variety, choosing the appropriate planting density and nitrogen application rate could exert the characteristics of the variety better, improve the light energy utilization and nutrient utilization efficiency, and obtain higher yields. Integrated yield index and nitrogen utilization efficiency, the suitable cultivation mode of Longjing 57 was that the planting densities at 24 holes·m⁻² and the nitrogen fertilizer application rate at 115 kg·ha⁻¹.

Keywords: rice; planting density; nitrogen fertilizer application amount; growth; yield