

不同密度对精量穴直播水稻产量的影响

曾山¹ 黄忠林² 王在满¹ 罗锡文¹ 唐湘如²

1. 华南农业大学工程学院/南方农业机械与装备关键技术省部共建教育部重点实验室, 广州 510642;

2. 华南农业大学农学院, 广州 510642

摘要 以2个超级稻品种培杂泰丰和玉香油占为材料,考察了不同机械精量穴直播密度对精量穴直播水稻产量的影响,结果表明:与人工撒播(对照)相比,水稻在4种精量穴直播密度(1.48万株/667 m²、2.38万株/667 m²、2.22万株/667 m²、1.85万株/667 m²)下均表现出较高的有效穗数、群体颖花量和产量水平,不同穴直播密度对2个品种的千粒重的影响均不明显;其中培杂泰丰在4种精量穴直播密度下(P1~P4)分别增产69.07%、40.73%、34.34%和35.09%,玉香油占在4种精量穴直播密度下(Y1~Y4)分别增产109.97%、45.14%、84.86%和46.32%,差异均达到显著水平。不同精量穴直播种植密度中,20 cm行距在2个品种间的表现一致,产量和收获指数均达到最高,说明适宜的行距可提高精量穴直播水稻的收获指数;培杂泰丰产量以25 cm行距为次高,(35+15) cm宽窄行和30 cm行距产量水平相当;玉香油占以(35+15) cm宽窄行和30 cm行距产量为次高且两者之间差异不显著,25 cm行距再次之。精量穴直播水稻地上部分个体生物产量以30 cm行距和(35+15) cm宽窄行为最高,而群体生物产量以20 cm行距为最高;增加行距可提高个体生物产量,在适宜行距基础上可形成较高的群体生物产量。精量穴直播水稻在4种精量穴直播密度下均表现出较高的净光合速率,但蒸腾速率、气孔导度和胞间CO₂浓度的差异因品种而异;适宜的行距可保证精量穴直播水稻具有较高的群体光合量。因此,提高精量穴直播水稻产量的主要途径仍是在保证一定群体有效穗数的基础上提高精量穴直播水稻每穗粒数,充分发挥精量穴直播成行成穴的优势,促进个体与群体、产量及其构成因素之间的协调发展以及增加群体光合量,从而提高产量。

关键词 水稻; 精量穴直播; 种植密度; 产量

中图分类号 S 511.04; S 223.2 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2014)03-0012-07

水稻精量穴直播技术是水稻栽培技术中相对简单的机械种植方式,省去了育秧和移栽工序,节省秧田,稻株根系无损伤,适应性强,密度均匀,通风透光较好,生产效率高。随着水稻品种改良和栽培技术的不断进步以及化学除草剂和农业机械化的发展,直播水稻面积逐年扩大^[1]。水稻栽培密度是影响水稻生长和产量的重要因素之一^[2-5]。华南农业大学罗锡文教授及其研究团队^[6-7]研制成功的2BD系列水稻精量穴直播机能够实现水稻成行成穴播种,针对传统手工直播水稻生长无序、不匀、易倒伏、通风透气差、易感染病虫害等阻碍直播应用的难题,成功研制了开沟起垄水稻精量穴直播机,可同步进行开沟、起垄和播种作业,同时株距可调,行距可选,有效

控制高产品种的播种量和基本苗数,变田间撒播的“无序”为“有序”,改善了水稻生长的群体质量,解决了人工撒播群体密度不均匀及其生产前中期杂草难防除等问题,改善通风透光条件,增加了有效穗数和每穗粒数,提高了成穗率和穗型整齐度,比人工撒播稻增产^[8]。群体结构合理是精量穴直播水稻比人工撒播显著增产的主要原因^[9]。由于不同栽培密度对水稻的通风透光性具有很大的影响,而水稻干物质积累与叶片净光合速率和群体光合能力密切相关,虽然已有学者研究了精量穴直播水稻产量形成特性和生理特性^[10-11],但不同栽培密度对机械精量穴直播水稻生产的影响尚少研究。

本研究应用罗锡文等研制成功的2BD系列水

收稿日期: 2013-03-26

基金项目: 国家“863”计划项目(2012AA10A501-2)、公益性行业专项(201203059)和“948”计划项目(2011-G18(2))

曾山, 博士, 高级工程师. 研究方向: 水稻生产机械化技术及装备. E-mail: zengshan1973@yahoo.com.cn

通信作者: 罗锡文, 教授. 研究方向: 农业机械化工程、精细农业. E-mail: xwluo@scau.edu.cn

稻精量穴直播机械,探讨不同密度对精量穴直播水稻培杂泰丰(超级杂交稻)和玉香油占(超级常规稻)2个超级稻品种群体光合特征和产量形成特性,以期为进一步提高精量穴直播产量及超高产栽培机制研究提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料与机具

试验品种为优质杂交籼稻培杂泰丰和优质常规超级稻玉香油占,精量穴直播机为华南农业大学研制成功的2BD-10型水稻精量穴直播机。

1.2 试验设计

试验在广州市华南农业大学试验农场进行,2010年8月20日播种,11月23日收割,共设置5个密度水平,其中机械精量穴直播密度(行距×株距)分别为P1/Y1:20 cm×14 cm(2.38万株/667 m²)、P2/Y2:25 cm×18 cm(1.48万株/667 m²)、P3/Y3:宽窄行(35+15) cm×12 cm(2.22万株/667 m²)、P4/Y4:30 cm×12 cm(1.85万株/667 m²)、(P5/Y5):人工撒播(对照),共10个处理,3次重复,采用单因素随机区组设计,小区面积150 m²。精量穴直播和人工撒播的播种量相同,施肥量均为1350 kg/hm²,其他田间管理条件及栽培措施均一致。

1.3 测定项目

1)产量与干物质的测定。参照文献[12]进行。

2)光合参数测定。齐穗期选择同一日齐穗且有代表性的植株,每隔7 d追踪测定水稻剑叶(孕穗期测定倒2叶)的光合参数,即分别在水稻孕穗期、齐穗后14 d和齐穗后21 d采用美国LI-COR公司生产的LI-6400便携式光合测定仪(开放系统)测定水稻剑叶净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间CO₂浓度。测定时间为上午08:30—11:40,叶室CO₂浓度380 μmol/mol,测试使用红蓝光源,光量子通量密度(PFD)为1000 μmol/(m²·s),温度32℃,空气中CO₂浓度为390 μmol/mol左右。每个稻株重复测定6次,每小区测定5株,每个材料的测定在15 min内完成。

1.4 数据统计与分析

采用Excel 2003和DPS数据处理系统对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同密度对精量穴直播水稻产量及其构成因素的影响

从表1可知,不同穴直播密度对精量穴直播水稻的产量及其构成因素具有显著的影响。4种精量穴直播密度下的稻谷产量均显著或极显著高于人工撒播(CK),2个超级稻品种的表现规律相似,其中培杂泰丰的4种精量穴直播密度处理(P1~P4)分别比CK增产69.07%、40.73%、34.34%和35.09%;玉香油占的4种精量穴直播密度处理(Y1~Y4)分别比CK增产109.97%、45.14%、84.86%和46.32%。

从产量水平看,4种精量穴直播密度处理中2种超级稻品种稻谷产量最高的均为20 cm行距处理;对培杂泰丰而言,产量水平从高到低的顺序为P1>P2>P4>P3>P5(对照),其中仅P4和P3的产量差异不显著;对玉香油占而言,产量水平从高到低为Y1>Y4>Y3>Y2>Y5(对照),其中仅Y3和Y4的产量差异不显著。

从产量构成因素角度分析,培杂泰丰4种精量穴直播密度处理的有效穗数、群体颖花量和结实率均显著高于CK,但每穗粒数均低于CK;不同密度对千粒重的影响较小,其中Y3(宽窄行)处理的千粒重最高,P2和P4处理之间的千粒重无显著差异但显著高于CK,而P1处理的千粒重低于CK。玉香油占4种精量穴直播密度处理的有效穗数、群体颖花量和千粒重均显著高于CK;Y1和Y3的每穗粒数显著高于CK,而Y2和Y4的每穗粒数与CK无显著差异;Y3和Y4处理的结实率显著高于CK,而Y1和Y2的结实率与CK无显著差异,说明适当增加行距有利于籽粒的充实;另外,从单一品种的单一处理来看,培杂泰丰和玉香油占在宽窄行和行距30 cm密度处理下的产量及其产量构成因素之间能够较好地协调,且都显著高于CK的产量水平。

2.2 不同密度对精量穴直播水稻个体生物产量的影响

从表2可知,4种机械穴直播密度下水稻成熟期地上部分的总干质量、茎鞘干质量、叶干质量和穗干质量均显著高于人工撒播(CK),2个品种表现相同。

对培杂泰丰而言,成熟期单莖的总干质量、叶干质量和穗干质量均表现为P4>P3>P2>P1>P5(对照),差异均达到显著水平;单莖茎鞘干质量表现

为 $P4 > P3 > P2 > P1 > P5$ (对照), 其中 $P1$ 和 $P2$ 之间差异不显著。

对玉香油占而言, 成熟期的单蔸总干质量、茎鞘干质量和穗干质量均表现为 $Y4 > Y3 > Y2 > Y1 > Y5$ (对照), 单蔸叶干质量表现为 $Y4 > Y3 > Y2 > Y1 > Y5$ (对照), 其中 $Y3$ 和 $Y4$ 之间差异均不显著。

2.3 不同密度对精量穴直播水稻群体生物产量的影响

从表 2 可知, 4 种机械穴直播密度下水稻成熟期地上部群体总干质量、茎鞘干质量、叶干质量和穗干质量均极显著高于人工撒播(CK), 2 个品种表现相同。

对培杂泰丰而言, 成熟期的群体总干质量表现为 $P1 > P3 > P4 > P2 > P5$ (对照), 其中 $P2$ 、 $P3$ 和 $P4$

之间差异不显著; 茎鞘干质量表现为 $P4 > P3 > P2 > P1 > P5$ (对照), 其中 $P1$ 、 $P2$ 、 $P3$ 和 $P4$ 之间差异不显著; 叶干质量表现为 $P3 > P4 > P2 > P1 > P5$ (对照), 其中 $P2$ 和 $P4$ 之间差异不显著, $P1$ 和 $P5$ 之间差异不显著; 穗干质量表现为 $P1 > P2 > P3 > P4 > P5$ (对照), 其中 $P3$ 和 $P4$ 之间差异不显著。

对玉香油占而言, 成熟期的群体总干质量表现为 $Y1 > Y3 > Y4 > Y2 > Y5$ (对照), 差异均达到显著水平; 茎鞘干质量表现为 $Y3 > Y4 > Y1 > Y2 > Y5$ (对照), 其中 $Y1$ 和 $Y2$ 差异不显著; 叶干质量表现为 $Y3 > Y4 > Y2 > Y1 > Y5$ (对照), 其中 $Y1$ 和 $Y2$ 差异不显著, $Y3$ 和 $Y4$ 差异不显著; 穗干质量表现为 $Y1 > Y4 > Y3 > Y2 > Y5$ (对照), 其中 $Y3$ 和 $Y4$ 之间差异不显著。

表 1 精量穴直播水稻产量及其构成因素的影响

Table 1 Yield and its components of precision hill-drop drilling rice

品种 Varieties	处理 Treatments	产量/(t/hm ²) Yield	有效穗数/hm ⁻² Valid panicles	每穗总粒数 Number of spikelets	群体颖花量/hm ⁻² Population spikelets	结实率/% Seeding rate	千粒重/g 1 000-grain weight
培杂泰丰 Peizataifeng	P1	7.340 a	441.42 万 a	163.55 c	7.21 亿 a	90.32 b	21.28 ab
	P2	6.160 b	403.35 万 b	138.95 e	5.64 亿 c	91.13 b	21.63 a
	P3	5.880 c	391.52 万 bc	178.77 b	6.33 亿 b	92.70 a	21.74 a
	P4	5.913 c	390.84 万 bc	148.50 d	5.58 亿 c	93.17 a	21.63 a
	P5	4.377 d	249.49 万 d	189.83 a	4.38 亿 d	85.24 c	21.55 a
玉香油占 Yuxiangyouzhan	Y1	6.697 a	377.16 万 ab	178.65 a	6.68 亿 a	87.60 b	21.40 ab
	Y2	4.630 c	387.21 万 a	145.79 b	6.07 亿 d	86.63 b	21.43 ab
	Y3	5.897 b	372.01 万 ab	173.48 a	6.35 亿 c	91.31 a	21.38 ab
	Y4	5.943 b	387.89 万 a	151.98 b	6.53 亿 b	91.47 a	21.72 a
	Y5	3.190 d	227.51 万 c	143.62 b	3.79 亿 e	86.79 b	20.98 c

表 2 精量穴直播水稻的生物产量

Table 2 Biological yield of precise hill-drop drilling rice

品种 Varieties	处理 Treatments	总干质量 Total weight		茎鞘干质量 Dry matter weight of steam-sheath		叶干质量 Dry matter weight of leaf		穗干质量 Dry matter weight of panicles	
		单蔸/g Individual	群体/(t/hm ²) Population	单蔸/g Individual	群体/(t/hm ²) Population	单蔸/g Individual	群体/(t/hm ²) Population	单蔸/g Individual	群体/(t/hm ²) Population
培杂泰丰 Peizataifeng	P1	52.68 d	13.26 a	16.90 c	4.32 ab	7.96 d	1.81 c	27.93 d	6.89 a
	P2	54.29 c	12.62 bc	17.13 c	4.48 ab	8.27 c	2.06 b	28.63 c	6.07 b
	P3	57.71 b	12.82 b	18.70 b	4.69 a	8.79 b	2.30 a	30.90 b	5.79 c
	P4	60.51 a	12.84 b	19.47 a	4.67 a	9.22 a	2.16 b	32.07 a	5.75 c
	P5	27.77 e	10.12 d	11.97 d	3.82 c	5.16 e	1.79 c	10.77 e	4.29 d
玉香油占 Yuxiangyouzhan	Y1	44.83 d	13.29 a	14.53 d	4.29 c	6.71 c	2.11 c	23.83 d	6.67 a
	Y2	46.17 c	11.18 c	15.23 c	4.26 c	6.88 b	2.15 c	24.17 c	4.59 c
	Y3	51.10 b	12.83 b	16.40 b	4.63 a	7.74 a	2.38 a	27.17 b	5.81 b
	Y4	51.46 a	12.73 b	16.63 a	4.45 b	7.87 a	2.25 ab	27.50 a	5.88 b
	Y5	32.49 e	9.66 d	10.47 e	3.70 d	4.90 d	1.69 d	17.20 e	4.25 d

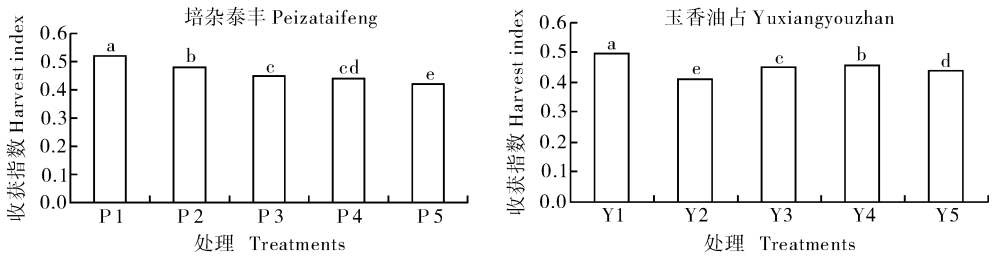


图 1 精量穴直播水稻的收获指数

Fig. 1 Harvest index of precision hill-drop drilling rice

表 3 精量穴直播水稻功能叶的光合参数

Table 3 Photosynthesis parameters of precision hill-drop drilling rice

品种 Varieties	处理 Treatments	净光合速率/ ($\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$) Net photosynthesis rate	蒸腾速率/ ($\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$) Transpiration rate	气孔导度/ ($\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$) Stomatal conductance	胞间 CO_2 浓度/ ($\mu\text{mol}/\text{mol}$) Internal CO_2 concentration	
孕穗期 Booting stage	培杂泰丰 Peizataifeng	P1	22.00 c	11.68 b	0.67 b	295.46 a
		P2	24.63 a	13.22 a	0.78 a	297.81 a
		P3	23.52 b	11.51 b	0.81 a	278.81 b
		P4	23.59 b	7.97 d	0.60 bc	264.58 c
		P5	19.95 d	8.48 c	0.58 c	275.94 b
	玉香油占 Yuxiangyouzhan	Y1	19.01 e	7.52 c	0.52 d	279.13 a
		Y2	22.42 c	8.40 b	0.66 c	268.63 c
		Y3	23.21 b	8.73 a	0.83 a	269.71 b
		Y4	23.61 a	8.39 b	0.81 b	267.96 c
		Y5	19.32 d	8.76 a	0.66 c	269.94 b
齐穗后 14 d Post-heading 14 d	培杂泰丰 Peizataifeng	P1	20.15 d	6.91 b	0.79 c	346.66 a
		P2	20.41 c	6.65 c	0.84 b	327.49 b
		P3	21.20 a	7.19 a	0.92 a	316.67 d
		P4	20.66 b	7.25 a	0.93 a	317.89 d
		P5	15.13 e	7.30 a	0.62 d	324.16 c
	玉香油占 Yuxiangyouzhan	Y1	19.80 d	8.80 d	0.72 c	325.65 e
		Y2	21.42 b	9.10 c	0.77 b	339.86 c
		Y3	22.58 a	9.51 a	0.85 a	342.43 b
		Y4	20.86 c	9.25 b	0.85 a	337.53 d
		Y5	17.24 e	8.33 e	0.67 d	357.61 a
齐穗后 21 d Post-heading 21 d	培杂泰丰 Peizataifeng	P1	16.73 d	5.87 c	0.57 c	335.44 a
		P2	17.71 c	6.38 b	0.70 a	321.42 b
		P3	20.23 a	6.85 a	0.69 a	322.20 b
		P4	18.17 b	6.53 b	0.63 b	310.15 c
		P5	12.51 e	5.63 c	0.44 d	323.47 b
	玉香油占 Yuxiangyouzhan	Y1	16.03 c	5.47 a	0.67 b	318.18 c
		Y2	16.50 b	5.38 b	0.71 a	319.22 b
		Y3	18.72 a	5.48 a	0.71 a	323.34 b
		Y4	16.05 c	4.93 c	0.53 c	331.42 a
		Y5	12.07 d	4.89 c	0.49 d	332.13 a

2.4 不同密度对精量穴直播水稻收获指数的影响

水稻收获指数是指谷粒质量与地上部分生物量的比值,反映由生物产量形成稻谷产量的效率。由图 1 可知,不同穴直播密度对精量穴直播水稻的收

获指数具有显著的影响,2 个超级稻品种均以行距 20 cm 的收获指数为最高,这与其产量表现一致。对培杂泰丰而言,4 种穴直播密度的收获指数均显著高于对照;P2 的收获指数为次高,P3 和 P4 次之,

且两者差异不显著。对玉香油占而言, Y4 的收获指数为次高, Y3 次之, 人工撒播(CK)再次之, Y2 的收获指数最低, 均达到显著差异。综上所述, 随着行距的增加, 精量穴直播水稻个体籽粒的干物质积累也相应增加, 但群体生物产量却不一定增加, 故收获指数在不同密度和品种间的表现有差异。

2.5 不同密度对精量穴直播水稻光合参数的影响

从表 3 可知, 不同密度对精量穴直播水稻叶片(剑叶)的光合参数与人工撒播(CK)相比有显著的影响, 且不同穴直播密度处理均显著或极显著提高了孕穗期倒 2 叶以及齐穗后 14 d 和齐穗后 21 d 的剑叶净光合速率(P_n), 2 个品种表现相同。其余 3 个光合参数因品种、机械穴直播密度和生育时期不同而有不同表现。

从孕穗期来看, 培杂泰丰 P1、P2 和 P3 处理的蒸腾速率(T_r)均显著高于 CK, P4 处理与 CK 无显著差异; 玉香油占 Y1、Y2 和 Y4 处理的蒸腾速率均显著低于 CK, 而 Y3 处理与 CK 无显著差异。培杂泰丰 P1、P2 和 P3 处理的气孔导度均显著高于 CK, 但 P4 处理与 CK 差异不显著; 玉香油占的 Y3 和 Y4 处理的气孔导度显著高于 CK, Y2 处理与 CK 无显著差异, 而 Y1 处理显著低于 CK。培杂泰丰 P1 和 P2 处理的胞间 CO_2 浓度显著高于 CK, P3 处理与 CK 无显著差异, P4 处理显著低于 CK; 玉香油占的 Y1 处理的胞间 CO_2 浓度显著高于 CK, Y2 和 Y4 处理显著低于 CK, Y3 处理与 CK 无显著差异。

从齐穗后 14 d 的光合参数来看, 培杂泰丰 P3 和 P4 处理的蒸腾速率与 CK 无显著差异, 而 P1 和 P2 处理显著低于 CK; 玉香油占 4 种机械穴直播密度处理的蒸腾速率均显著高于 CK。培杂泰丰和玉香油占 4 种机械穴直播密度处理的气孔导度均显著高于 CK。培杂泰丰 P1 和 P2 处理的胞间 CO_2 浓度(Ci)显著高于 CK, P3 和 P4 处理显著低于 CK; 玉香油占 4 个机械穴直播密度处理的胞间 CO_2 浓度均显著低于 CK。

从齐穗后 21 d 的光合参数来看, 培杂泰丰 P2、P3 和 P4 处理的蒸腾速率均显著高于 CK, P1 处理与 CK 无显著差异; 玉香油占 P1、P2 和 P3 处理的蒸腾速率均显著高于 CK, Y4 处理与 CK 无显著差异。培杂泰丰和玉香油占 4 个机械穴直播密度处理的的气孔导度均显著高于 CK。培杂泰丰 P1 的胞间 CO_2 浓度显著高于 CK, P2 和 P3 处理与 CK 无显著差异, 而 P4 处理显著低于 CK; 玉香油占 Y1、Y2

和 Y3 处理的胞间 CO_2 浓度均显著低于 CK, Y4 处理与 CK 无显著差异。

综合上述结果分析, 功能叶净光合速率(P_n)在 4 种机械穴直播密度中均表现为显著或极显著高于人工撒播(CK), 但蒸腾速率、气孔导度和胞间 CO_2 浓度的变化与前者变化规律不同步, 这可能与不同密度配置产生的田间小气候和个体生长与群体营养空间对外界光强产生不同反应密切相关。

从 3 个生育期光合参数分析可以看出: 随着净光合速率的提高, 蒸腾速率在一定程度上也相应有所提高, 但孕穗期和齐穗后 14 d 培杂泰丰和玉香油占的表现几乎相反; 培杂泰丰和玉香油占在生育后期的蒸腾速率随着净光合速率增加趋于上升。气孔导度在齐穗后 14 和 21 d 均显著或极显著高于 CK, 与净光合速率和蒸腾速率的特征大致同步; 生育后期的胞间 CO_2 浓度均大致低于 CK, 与净光合速率和蒸腾速率的趋势大致相反。表明不同机械穴直播密度配置通过增强气体交换效率和 CO_2 的同化效率提高了植株净光合速率和蒸腾速率, 从而提高了水稻植株的光合能力。

3 讨论

大量研究表明栽培密度对水稻分蘖力、肥料利用率、群体光合物质生产能力、产量及其构成因素均有显著影响, 适宜密度下的水稻产量和有效穗数最高^[2-5]; 但也有研究表明栽培密度对产量构成因素的影响较小, 不同栽培密度的产量差异不明显^[13]。关于精量穴直播机具和精量穴直播水稻的生产特性, 有学者已作过相关研究^[6-7, 10-11, 14-15]。本研究中不同穴直播密度下 2 个供试超级稻品种的有效穗数和收获产量均显著高于人工撒播方式, 这与唐湘如等^[10]的研究结论相似; 而不同穴直播密度对每穗粒数、结实率和千粒重的影响因品种而异; 不同穴直播密度之间, 2 个供试品种在 20 cm 行距密度下的群体颖花量和收获产量均显著高于(35+15) cm 宽窄行和 30 cm 行距, 而有效穗数和每穗粒数的差异因品种而异, 表明在成行成穴的基础上适当提高穴直播行距有利于群体颖花量、结实率和产量的提高。顾掌根等^[16]研究认为, 直播稻获得高产的原因是直播在光能利用上具有明显的增产优势, 表现为源强、库大和流畅, 且提出了直播稻进一步高产的途径是在一定穗数基础上主攻大穗和成穗率, 这与本文的结论相似。王寅等^[17]研究认为在直播、抛秧和机插秧等

有别于传统手插秧的新型栽培模式下,高密度栽培更加利于农业的高效生产;而卢燕等^[18]研究表明不同类型水稻品种的产量均与直播密度呈抛物线关系,且都有一个适宜的直播密度阈值;然而何瑞银等^[19]认为南方双季稻区机械直播方式产量平均下降6.34%,平均省工31.30%,而对经济效益的影响因品种不同而表现出差异性。因此,适宜的密度(行株距)是争取精量穴直播水稻高产的关键因素之一。

本研究中不同穴直播密度下超级稻的个体生物量和群体生物量均显著高于人工撒播方式;不同穴直播密度之间比较,2个品种在20 cm行距的密度下群体生物产量和收获指数均最高,与其收获产量水平保持一致;(35+15) cm宽窄行和30 cm行距的个体生物产量均最高,但其收获产量显著低于20 cm行距,因此增加穴直播行距,可以提高精量穴直播水稻群体间通透性能和提高个体生物产量,但不能充分提高群体生物产量,以此提高单位面积有效穗数和群体颖花量,从而提高产量;另一方面,水稻个体与群体协调发展是争取水稻高产优质协调形成的重要条件,如本研究中20 cm行距和25 cm行距的精量穴直播密度下虽可保证单位面积具有高于前两者的有效穗数,但每穗粒数和结实率较低,这与前人^[20-21]的研究结论相似。

水稻70%的产量是灌浆期由功能叶片光合作用所积累的物质形成,只有少部分是由茎叶前期所积累的物质转移而来;作物产量主要来源于作物光合生产力,水稻灌浆期的净光合速率、产量、结实率之间均有正相关关系^[22];而群体光合量是决定水稻群体生物产量尤其是籽粒产量的最直接因素。本研究表明,不同穴直播密度下精量穴直播水稻(超级稻)孕穗期和灌浆中后期的叶片具有显著高于人工撒播水稻的净光合速率,说明精量穴直播水稻的叶片具有较高的光合能力,这主要与其成行成穴的田间群体结构特性有关,有利于提高田间通透性和光合叶面积,提高群体光合生产能力,从而提高群体质量和收获产量;从另一方面来看,随着穴直播行距的增加,群体光合量呈现先增后减的趋势,因此适合的行距是群体具有足够的光合量的重要保证,从而提高群体生物产量和收获产量。

由于本研究只以早晚兼用型的杂交籼型超级稻培杂泰丰和常规超级稻玉香油占对精量穴直播栽培技术在华南双季稻区的适应性进行了比较,而不同栽培密度下精量穴直播水稻的结实率与收获指数、

产量的表现趋势并不完全一致,可能与品种特性有关,因此还需进一步的研究验证。

参 考 文 献

- [1] 王国忠,彭斌,陆峥嵘,等.直播水稻物质生产特点及其高产调控技术研究[J].上海农业学报,2002,18(2):32-37.
- [2] 杨波,任万军,杨文钰.密度对优化定抛水稻产量和群体质量的影响[J].杂交水稻,2006,21(5):64-68.
- [3] CHOI WY, MOON S H, PARK H K. Optimum planting density in low fertilizing culture of machine transplanting in rice [J]. Korean Journal of Crop Science, 2006, 51(5): 379-385.
- [4] 舒时富,郑天翔,贾兴娜,等.氮肥和密度对精量穴直播水稻的影响 I. 产量形成特性[J].中国农学通报,2009,25(21):142-146.
- [5] 潘圣刚,黄胜奇,江洋,等.秧龄和栽插密度对水稻生物学特性的影响[J].华北农学报,2011,26(3):134-138.
- [6] 罗锡文,蒋恩臣,王在满,等.开沟起垄式水稻精量穴直播机的研制[J].农业工程学报,2008,24(12):52-56.
- [7] 王在满,罗锡文,唐湘如,等.基于农机与农艺相结合的水稻精量穴直播技术及机具[J].华南农业大学学报,2010,31(1):91-95.
- [8] 陈兴国,梅少华,查向斌,等.水稻机械精量穴直播技术应用与示范[J].湖北农业科学,2010,49(5):1038-1041.
- [9] 刘小林,李就好,邹一平,等.机械精量穴直播技术对水稻产量与抗逆性的影响[J].江苏农业学报,2010,26(3):658-660.
- [10] 唐湘如,罗锡文,黎国喜,等.精量穴直播早稻的产量形成特性[J].农业工程学报,2009,25(7):84-87.
- [11] 舒时富,郑天翔,贾兴娜,等.精量穴直播晚稻的产量形成特性研究[J].华南农业大学学报,2010,31(1):96-98.
- [12] 湖南农学院.作物栽培学实验指导[M].北京:农业出版社,1988.
- [13] 徐春梅,王丹英,邵国胜,等.施氮量和栽插密度对超高产水稻中早22产量和品质的影响[J].中国水稻科学,2008,22(5):507-512.
- [14] 潘圣刚,莫钊文,罗锡文,等.机械同步深施肥对水稻群体质量及产量的影响[J].华中农业大学学报,2013,32(2):1-5.
- [15] 莫钊文,潘圣刚,王在满,等.机械同步深施肥对水稻品质和养分吸收利用的影响[J].华中农业大学学报,2013,32(5):34-39.
- [16] 顾掌根,王岳钧.水稻直播栽培高产机理研究初报[J].作物研究,2001(2):5-9.
- [17] 王寅,徐建伟,张丹丹,等.与栽培密度相关的水稻形态基因研究进展[J].核农学报,2011,25(5):0951-0958.
- [18] 卢燕,王小军,张洪程,等.不同品种不同密度水直播稻的高产机理研究[J].江苏农业科学,2008,1(1):18-20.
- [19] 何瑞银,罗汉亚,李玉同,等.水稻不同种植方式的比较试验与评价[J].农业工程学报,2008,24(1):167-171.
- [20] 彭斌,王国忠,陆峥嵘,等.肥料密度对直播水稻“武运梗8号”产量及构成因素的影响[J].江苏农业学报,2003,19(3):157-162.

- [21] 郑克武, 邹江石, 吕川根. 氮肥和栽插密度对杂交稻“两优培九”产量及氮素吸收利用的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(3): 885-893.
- [22] 张建福, 朱永生, 蔡秋华, 等. 再生稻净光合速率与产量及其构成因素的相关性分析[J]. 中国水稻科学, 2011, 25(1): 103-106.

Effects of different planting density on grain yield of precision hill-drop drilling rice

ZENG Shan¹ HUANG Zhong-lin² WANG Zai-man¹ LUO Xi-wen¹ TANG Xiang-ru²

1. College of Engineering, South China Agricultural University/Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment Ministry of Education, Guangzhou 510642, China;

2. College of Agronomy, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

Abstract Two varieties of super rice, Peizataifeng and Yuxiangyouzhan, were used to study the effects of different planting density on grain production of mechanical precision hill-drop drilling rice. The results showed that different planting density of precision hill-drop drilling rice produced high valid panicles, high population total number of spikelets and high yield compared with manual boardcasting (controls); but it had no significant effect on 1 000-grain weight of both varieties. The yields of Peizataifeng with four densities (P1-P4) was increased significantly by 69.07%, 40.73%, 34.34% and 35.09%, respectively. The yields of Yuxiangyouzhan (Y1-Y4) was increased significantly by 109.97%, 45.14%, 84.86% and 46.32%, respectively. The highest grain yield and highest harvest index were observed in both rice varieties with row spacing of 20 cm, followed by row spacing of 25 cm wide-narrow (35 + 15) cm and 30 cm, but the difference between wide-narrow (35 + 15) cm and 30 cm was not significant in the variety of Peizataifeng. For the grain yields of Yuxiangyouzhan, followed by the same levels of wide-narrow and 30 cm, and then followed by row spacing of 25 cm, indicating that appropriate row spacing could improve the harvest index of precision hill-drop drilling rice. The row spacing of 30 cm and wide-narrow achieved the highest individuals biological yield while 20 cm achieved the highest population biological yields, indicating that increasing the row spacing could improve the individuals biological yield. Improving population biological yields of precision hill-drop drilling rice should be on the basis of appropriate row spacing. The results also showed that higher net photosynthetic rate, but the significance levels of the transpiration rate, stomatal conductance (Cond) and intercellular carbon dioxide concentration in leaves (flag leaves) varied with the varieties of precision hill-drop drilling rice. The suitable row spacing could improve the population photosynthesis capacity of precision hill-drop drilling rice. Therefore, the main pathway to improve grain yield of precise hill-drop drilling rice is to guarantee grain number per panicle on the basis of certain population valid panicles, to highlight the production superiority of deepen fertilization and mechanical hill-lined characteristics, to coordinate the contradictions between individuals-and-population and yield and its components, to improve population photosynthesis capacity, and therefore to culminate in a performance of high yields of precise hill-drop drilling rice.

Key words rice; precision hill-drop drilling; planting density; grain yield