

钵苗机插密度对双季晚稻产量及群体质量的影响

舒鹏¹ 郭保卫¹ 霍中洋^{1*} 周年兵¹ 张洪程¹ 程飞虎²
陈忠平² 陈恒³ 戴其根¹ 许轲¹ 魏海燕¹

(¹扬州大学农学院/农业部长江流域稻作技术创新中心/江苏省作物遗传生理重点实验室, 江苏 扬州 225009; ²江西省农业技术推广总站, 南昌 330046; ³江西省上高县农业局, 江西 上高 336400; 第一作者: 1726144816@qq.com;

* 通讯作者: huozzy69@163.com)

摘 要:以杂交籼稻品种五丰优 T025、籼粳杂交稻品种甬优 538、常规粳稻品种小叶迟熟为材料, 设置 5 个钵苗机插密度(D1, 33 cm × 12 cm; D2, 33 cm × 13 cm; D3, 33 cm × 14 cm; D4, 33 cm × 15 cm; D5, 33 cm × 16 cm), 以毯苗机插为对照(CK, 30.0 cm × 13.2 cm), 比较研究了不同钵苗机插密度对双季晚稻产量及群体质量的影响, 旨在探明水稻钵苗机插在双季晚稻区的适宜栽插密度。试验结果表明: (1) 三种类型水稻的产量均随移栽密度的增加而增加, 相同密度条件下 D1 处理产量均极显著高于 CK, 2 年平均增产 8.13%~9.50%; (2) 钵苗机插水稻移栽后群体的茎蘖数均表现为处理 D1>D2>D3>D4>D5, 与 CK 相比, D1 处理的茎蘖数栽后增长快, 拔节后群体茎蘖数消减缓慢, 成穗率高; (3) 移栽期至拔节期、拔节期至抽穗期、抽穗期至成熟期三种类型水稻钵苗机插的干物质积累量、群体生长率、光合势均表现为处理 D1>D2>D3>D4>D5, 移栽期至拔节期 CK 的干物质积累量和光合势大于 D1 处理, 拔节期至抽穗期、抽穗期至成熟期 D1 的干物质积累量、群体生长率及光合势均高于 CK; (4) 钵苗机插水稻主要生育期的群体干物质质量均表现为处理 D1>D2>D3>D4>D5, 而单茎干物质质量却表现出相反的趋势; (5) 钵苗机插水稻在主要生育时期的叶面积指数及抽穗期群体的有效叶面积率、高效叶面积率及粒叶比均随密度的增加呈上升趋势, 抽穗期群体的有效叶面积率、高效叶面积率及粒叶比 D1 处理极显著高于 CK。本试验结果表明, 在双季晚稻区不同类型水稻品种钵苗机插最适宜行株距为 33 cm × 12 cm。

关键词: 双季晚稻; 钵苗机插; 密度; 产量; 群体质量

中图分类号: S511.045 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8082(2017)06-0023-09

2014 年江西省水稻种植面积达 333.95 万 hm^2 ^[1], 占全国水稻种植面积的 11.01%, 是我国重要的水稻主产区, 但机械栽插面积仅占其水稻种植面积的 13.32%。随着农村劳动力的大量转移和老龄化现象的加剧, 以机插秧为主的水稻机械化高产种植技术发展对稳定江西省水稻种植面积、提高水稻单产、保障国家粮食安全具有重要意义。目前生产上大面积应用的常规毯状小苗机插, 具有轻简化、省工、省力等优势, 但仍存在秧龄弹性小、移栽植伤重等问题, 制约了水稻个体生产潜力的发挥和群体对温光资源的充分利用^[2-4]。尤其在南方双季稻区, 一直都存在晚稻安全齐穗问题, 毯苗机插比手插秧秧龄短、弹性小, 限制了水稻高产品种机械种植的推广。因此, 生产上亟待研发能够克服毯苗机插不足的新型插秧机及相关配套高产栽培技术。水稻钵苗机插是一种采用机械将钵育壮秧按一定的株行距无植伤移植于大田的新型插秧技术, 实现了土钵壮秧机械化的精确移栽, 在日本和我国黑龙江垦区的多

年生产实践已初步证明了其增产优势^[5-8]。近年来, 本课题组联合多家单位采用常州亚美柯机械设备有限公司生产的 2ZB-6 型(RX-60AM)钵苗乘坐式高速插秧机, 经多地多年试验实践证明, 钵苗机插水稻具有秧苗素质高, 秧龄弹性大, 植伤轻、返青活棵快, 成穗率高, 群体中后期光合势、净同化率高, 叶面积衰减慢等优势, 较毯状机插平均增产 9.5% 左右, 同时还兼有毯苗机插轻简化、省工省力等特点^[9]。适宜的栽插密度是水稻钵苗机插获得高产的重要栽培措施, 然而前人关于钵苗机插密度的研究主要集中在单季稻上^[28-30], 对南方双季晚稻的研究报道较少。因此, 本研究根据现有的钵苗机型, 设置 5 个机插密度, 以探明不同钵苗栽插密度对双

收稿日期: 2017-08-20

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划重大项目(2011BAD16B03); 超级稻配套栽培技术开发与集成(农业部专项); 国家重点研发计划(2016YFD0300507)

季晚稻产量及群体质量的影响,旨在为双季晚稻钵苗机插高产栽培提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 供试地点

试验于 2014–2015 年在江西省上高县泗溪镇曾家村(115°08' E, 28°32' N, 年日照 1 700 h, 年平均温度 17.6°C, 降雨量 1 660 mm)进行。试验田前茬为早稻,后茬种植红花草,土壤类型属于砂壤土,地力中上等(前茬早稻产量为 481.5 kg/667 m²),土壤有机质含量 22.12 g/kg,速效氮 73.28 mg/kg,速效磷 30.36 mg/kg,速效钾 67.63 mg/kg。

1.2 试验设计

本试验选用常规粳稻小叶迟熟、籼粳杂交稻甬优 538 和杂交籼稻五丰优 T025 为材料,采取裂区试验,以品种类型为主区,栽插密度为裂区,2 次重复。为了防止各小区互相串肥,保证各小区单独排灌,各小区之间做埂隔离,并用塑料薄膜覆盖埂体。根据现有的钵苗插秧机设置行距 33 cm,对应的株距分别为 12、13、14、15、16 cm,相应的栽插密度分别为 25.27、23.32、21.66、20.21、18.95 万丛/hm²,钵苗机插作为对照(栽插规格 30.0 cm×13.2 cm,栽插密度为 25.27 万丛/hm²)。对钵苗机插采用特制塑料钵体硬盘旱育秧,6 月 25 日播种,7 月 22 日模拟机插,秧龄 27 d;对钵苗机插采用塑料硬盘旱育秧,7 月 2 日播种,7 月 22 日模拟机插,秧龄 20 d。常规粳稻每丛栽插 4 苗,籼粳杂交稻每丛栽插 3 苗,杂交籼稻每丛栽插 2 苗。钵苗机插采用 2BD-600 型(LSPE-60AM)播种机播种,小叶迟熟每盘播干种 60~70 g,甬优 538 和五丰优 T025 每盘播干种 30~35 g。钵苗机插采用洋马 YBZ600 型播种机播种,小叶迟熟每盘播干种 110 g,甬优 538 和五丰优 T025 每盘播干种 90 g。为充分发挥各类型水稻的高产潜力,试验设计粳稻每 hm² 施氮肥 270 kg(纯 N 用量,下同),籼稻施 195 kg。基肥:蘖肥:穗肥=3:3:4,其中基肥在移栽前 1 d 施用,分蘖肥在移栽后 6 d、12 d 分 2 次等量施用,穗肥于倒 4 叶、倒 2 叶分 2 次等量施用。N:P₂O₅:K₂O=2:1:2,磷肥作基肥一次性施用,钾肥 50%作基肥施用,50%作穗肥于倒 4 叶、倒 3 叶分 2 次等量施用。移栽时薄水活棵,分蘖期以稳定的浅水层灌溉;在有效分蘖临界叶龄的前 1 个叶龄(N-n-1),茎蘖数达到预期穗数的 80%时,开始排水搁田;拔节至成熟期实行湿润灌溉,干干湿湿,收获前 7~10 d 断水。病虫害防治按当地大面

积生产要求统一防治。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 茎蘖动态

每小区定点 20 丛作为 1 个观察点,每个小区设 3 个观察点,在移栽至拔节期每 3 d 测 1 次,拔节后每 5 d 测 1 次茎蘖动态。

1.3.2 干物质量

分别于移栽期、拔节期、抽穗期和成熟期,按每小区茎蘖数的平均值取代表性植株 5 丛,105°C 下杀青 30 min,80°C 下烘干至恒重,测定干物质量,每次测定重复 3 次。

1.3.3 叶面积指数

分别于有效分蘖临界叶龄期、拔节期、孕穗始期、抽穗期和成熟期,每小区取 5 丛为 1 个样本,剪下所有叶片,用直尺量取长与宽,然后以长×宽×0.75 计算 5 丛样本的总叶面积,每次测定重复 3 次。另外,抽穗期将叶面积分为总叶面积(所有茎蘖的叶面积)、有效叶面积(有效茎蘖的叶面积)和高效叶面积(有效茎蘖顶上 3 叶的叶面积),具体方法同上。

1.3.4 产量测定

于成熟期每小区普查 100 丛,计算有效穗数,取 5 丛调查每穗粒数、结实率,并测定千粒重,计算理论产量,并实收核产。

1.4 计算与统计方法

有效叶面积率(%)=有效 LAI/抽穗期 LAI×100;高效叶面积率(%)=高效 LAI/抽穗期 LAI×100;颖花/叶(cm²)=总颖花数/孕穗期叶面积;实粒/叶(粒/cm²)=总实粒数/孕穗期叶面积;粒重/叶(mg/cm²)=籽粒产量/孕穗期叶面积;光合势(×10⁴·m²·d/hm²)=1/2(L₁+L₂)(t₂-t₁),式中,L₁和 L₂为前后 2 次测定的叶面积(m²/hm²),t₁和 t₂为前后 2 次测定的时间(d);群体生长率[g/(m²·d)]= (W₂-W₁)/(t₂-t₁),式中,W₁和 W₂为前后 2 次测定的干物质量(t/hm²),t₁和 t₂为前后 2 次测定的时间(d)。

1.5 数据处理

2 年数据趋势基本一致,文中数据以 2014 年为例,采用 Microsoft Excel 2003 进行数据的录入、计算与作图,运用 DPS 等软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 水稻产量及其构成

方差分析结果(表 1)表明,品种、密度处理间及年度间均达到极显著水平,而年度与品种、年度与密度、

表 1 钵苗机插水稻产量在年度、品种和密度间的方差分析

变异来源	自由度	平方和 s	均方	F 值	F _{0.05}	F _{0.01}
区组	1	11 152.07	11 152.07	405.31**	4.18	7.60
处理	29	294 918.73	10 169.61	369.6**	1.86	2.43
年度(Y)	1	12 499.27	12 499.27	454.27**	4.18	7.60
品种 A	2	219 940.93	109 970.47	3 996.75**	3.33	5.42
密度 B	4	61 771.07	15 442.77	561.25**	2.70	4.04
年度 * 品种 Y×A	2	32.93	16.47	0.60	3.33	5.42
年度 * 密度 Y×B	4	255.07	63.77	2.32	2.70	4.04
品种 * 密度 A×B	8	377.73	47.22	1.72	2.28	3.20
年度 * 品种 * 密度 Y×A×B	8	41.73	5.22	0.19	2.28	3.20
误差	29	797.93	27.51			
总变异	59	306 868.73				

表 2 钵苗机插不同密度水稻产量结构(2014 年)

品种	处理	有效穗数 (×10 ⁴ /hm ²)	每穗粒数	群体颖花量 (×10 ⁴ /hm ²)	结实率 (%)	千粒重 (g)	实产 (t/hm ²)
五丰优 T025	CK	290.25 Aa	155.67 Ce	45 183.22 ABab	83.58 Ff	22.72 Aa	8.52 Cc
	D1	273.15 Bb	174.32 Bd	47 615.51 Aa	85.78 Ee	22.71 Aa	9.23 Aa
	D2	255.90 Cc	178.31 Bcd	45 629.53 ABab	86.36 Dd	22.69 Aa	8.90 Bb
	D3	238.35 Dd	184.22 ABbc	43 908.84 ABbc	87.08 Cc	22.70 Aa	8.60 Cc
	D4	217.05 Ee	190.57 Aab	41 363.22 BCcd	87.97 Bb	22.69 Aa	8.19 Dd
小叶迟熟	D5	202.35 Ff	194.08 Aa	39 272.09 Cd	88.78 Aa	22.71 Aa	7.85 Ee
	CK	275.25 Aa	138.46 De	38 111.12 ABCb	82.45 Ff	26.99 Aa	8.43 Cc
	D1	263.85 Bb	155.63 Cd	41 062.98 Aa	84.23 Ee	26.98 Aa	9.27 Aa
	D2	240.30 Cc	160.21 BCcd	38 498.46 ABb	85.16 Dd	26.98 Aa	8.81 Bb
	D3	223.20 Dd	164.53 ABCbc	36 723.10 BCbc	86.08 Cc	27.00 Aa	8.46 Cc
甬优 538	D4	208.35 Ee	168.67 ABab	35 142.39 CDc	86.98 Bb	27.01 Aa	8.15 Dd
	D5	190.05 Ff	172.53 Aa	32 789.33 Dd	87.66 Aa	26.99 Aa	7.70 Ee
	CK	243.90 Aa	224.65 De	54 792.14 ABb	80.26 Ff	23.89 Aa	10.47 BCc
	D1	233.70 Bb	246.64 Cd	57 639.77 Aa	81.79 Ee	23.87 Aa	11.21 Aa
	D2	219.45 Cc	250.18 BCcd	54 902.00 ABb	82.31 Dd	23.89 Aa	10.70 Bb
	D3	207.90 Dd	254.78 BCbc	52 968.76 Bbc	82.92 Cc	23.88 Aa	10.38 Cc
	D4	193.95 Ee	261.37 ABab	50 692.71 BCcd	83.69 Bb	23.90 Aa	10.11 Dd
	D5	180.90 Ff	268.77 Aa	48 620.49 Cd	84.66 Aa	23.88 Aa	9.78 Ee

同列数据后不同大、小写字母分别表示在 0.01 水平和 0.05 水平差异显著。下同。

密度与品种间的互作效应均不显著。由表 2、表 3 可知,钵苗机插密度对不同类型双季晚稻产量的影响一致,产量均随密度的增加呈上升趋势,高密度处理 D1 与低密度处理 D5 之间差异显著,五丰优 T025、小叶迟熟、甬优 538 的 D1 处理比 D5 处理分别高 17.59%、20.47%、14.57%。从产量构成因素分析,五丰优 T025、小叶迟熟、甬优 538 的有效穗数和总颖花量随着机插密度的增加而增加,每穗粒数和结实率随着密度的增加而减少,千粒重各处理之间差异不显著。钵苗机插与毯苗机插相比,五丰优 T025、小叶迟熟、甬优 538 的 D1 处理分别比 CK 增产 8.27%、9.96%、7.02%。从其产量构成因素分析,三种类型水稻 CK 处理的有效穗数极显著高于 D1 处理,但 D1 处理的每穗粒数、结实率均极显著高于 CK,而千粒重之间差异不显著,最终 D1 处理

的产量极显著高于 CK。

2.2 水稻群体茎蘖动态

图 1 表明,移栽期至成熟期三种类型水稻钵苗机插群体的茎蘖数均表现为 D1>D2>D3>D4>D5,高峰苗时 D1 处理比 D5 处理高 20.01%~30.80%,成熟期高 29.19%~38.83%。随着移栽密度的增加,钵苗机插最终的有效穗数也不断增加。就水稻的成穗率而言,钵苗机插水稻的成穗率均随着移栽密度的降低而降低,这主要是因为降低移栽密度,水稻的群体内竞争减小,个体分蘖加强,无效分蘖增多,进而导致成穗率下降。钵苗机插(D1)与毯苗机插(CK)相比,移栽后 5~7 d 内 CK 由于植伤重,群体基本不产生分蘖,而 D1 处理带土移栽,根系保护好,无缓苗期,群体茎蘖数缓慢增加。移栽 7 d 后,CK 的茎蘖数增长迅速,至高峰苗后又迅速下

表 3 钵苗机插不同密度水稻产量结构(2015)

品种	处理	有效穗数 ($\times 10^4/\text{hm}^2$)	每穗粒数	群体颖花量 ($\times 10^4/\text{hm}^2$)	结实率 (%)	千粒重 (g)	实产 (t/hm^2)
五丰优 T025	CK	285.30 Aa	152.97 Ff	43 642.34 ABab	82.18 Ee	22.52 Aa	8.07 Ce
	D1	270.15 Bb	169.72 Ee	45 849.86 Aa	84.58 Dd	22.51 Aa	8.72 Aa
	D2	256.65 Bc	173.31 Dd	44 480.01 Aab	85.36 CDed	22.53 Aa	8.51 Bb
	D3	234.45 Cd	179.52 Cc	42 088.46 ABbc	86.13 BCc	22.50 Aa	8.15 Cc
	D4	214.65 De	186.57 Bb	40 047.25 BCcd	87.07 ABb	22.51 Aa	7.82 Dd
小叶迟熟	D5	198.45 Ef	191.88 Aa	38 078.59 Cd	87.98 Aa	22.52 Aa	7.53 Ee
	CK	271.35 Aa	136.46 Ff	37 028.42 ABb	80.65 Ef	26.69 Aa	7.97 Cc
	D1	259.35 Ab	151.63 Ee	39 325.24 Aa	83.23 De	26.70 Aa	8.69 Aa
	D2	237.30 Bc	156.21 Dd	37 068.63 ABb	84.78 Cd	26.68 Aa	8.37 Bb
	D3	217.80 Cd	161.93 Cc	35 268.35 BCbc	85.43 BCc	26.69 Aa	8.04 Cc
甬优 538	D4	201.45 De	165.43 Bb	33 325.87 CDed	86.18 Bb	26.70 Aa	7.65 Dd
	D5	185.40 Ef	170.12 Aa	31 540.25 Dd	87.27 Aa	26.68 Aa	7.32 Ee
	CK	238.95 Aa	220.65 Ff	52 724.32 ABb	78.26 Ef	23.59 Aa	9.72 Cd
	D1	229.65 Ab	243.94 Ee	56 020.82 Aa	80.83 De	23.60 Aa	10.68 Aa
	D2	217.35 Bc	247.18 Dd	53 724.57 ABab	81.64 CDd	23.59 Aa	10.34 Bb
	D3	203.40 Cd	251.36 Cc	51 126.62 BCbc	82.60 BCc	23.61 Aa	9.92 Cc
	D4	192.45 Ce	257.37 Bb	49 530.86 BCcd	83.33 Bb	23.58 Aa	9.69 Cd
	D5	179.40 Df	263.38 Aa	47 250.37 Cd	84.46 Aa	23.60 Aa	9.41 De

表 4 钵苗机插不同密度水稻的阶段物质积累及其比例

品种	处理	移栽期至拔节期		拔节期至抽穗期		抽穗期至成熟期	
		积累量(t/hm^2)	比例(%)	积累量(t/hm^2)	比例(%)	积累量(t/hm^2)	比例(%)
五丰优 T025	CK	4.29 Aa	27.49	5.78 Dd	37.02	5.48 Dd	35.12
	D1	4.09 Bb	24.50	6.42 Aa	38.51	6.11 Aa	36.61
	D2	4.01 Cc	24.87	6.18 Bb	38.34	5.87 Bb	36.43
	D3	3.96 Dd	25.33	5.95 Cc	38.11	5.66 Cc	36.22
	D4	3.85 Ee	25.82	5.64 Ee	37.88	5.36 Ee	35.96
小叶迟熟	D5	3.75 Ff	26.21	5.40 Ff	37.76	5.10 Ff	35.70
	CK	3.49 Aa	23.35	5.76 Dd	38.61	5.56 Dd	37.23
	D1	3.31 Bb	20.47	6.44 Aa	39.82	6.29 Aa	38.91
	D2	3.24 Cc	21.02	6.10 Bb	39.62	5.94 Bb	38.59
	D3	3.16 Dd	21.29	5.86 Cc	39.53	5.70 Cc	38.43
甬优 538	D4	3.10 Ee	21.69	5.62 Ee	39.36	5.46 Ee	38.23
	D5	2.98 Ff	22.05	5.31 Ff	39.21	5.15 Ff	38.03
	CK	3.50 Aa	19.46	7.33 Cc	40.71	7.07 Cc	39.28
	D1	3.34 Bb	17.54	7.96 Aa	41.78	7.64 Aa	40.13
	D2	3.29 Bc	18.04	7.57 Bb	41.57	7.26 Bb	39.86
	D3	3.22 Cd	18.31	7.29 Cd	41.41	7.00 Cd	39.77
	D4	3.18 CDe	18.52	7.10 De	41.32	6.81 De	39.67
	D5	3.13 Df	18.75	6.88 Ef	41.23	6.60 Ef	39.55

降,成熟期时 CK 的茎蘖数高于 D1 处理,但 D1 处理的成穗率却比 CK 高 10.28%~12.64%。

2.3 阶段物质积累及其比例

从表 4 可知,移栽期至拔节期的钵苗机插水稻群体的干物质积累量随密度的增加而增加,积累比例随密度的增大而减小,拔节期至抽穗期、抽穗期至成熟期的干物质积累量及其比例均随密度的增加而增加。其中,抽穗期至成熟期的干物质积累量与产量呈极显著正相关,相关系数为 0.996**,D1 处理比 D5 处理高

15.81~22.17%。相同密度条件下,钵苗机插与毯苗机插的干物质积累规律不一致。其中,移栽期至拔节期,三种类型水稻干物质积累量 CK 比 D1 处理高 4.87%~5.32%,而拔节期至抽穗期、抽穗期至成熟期 D1 处理比 CK 高 8.58%~11.69%和 8.09%~13.18%。

2.4 单茎和群体干物质质量

由表 5 可知,不同密度钵苗机插水稻主要生育期单茎干物质质量和群体干物质质量存在明显的差异。从单茎干物质质量的变化来看,拔节期、抽穗期、成熟期三种

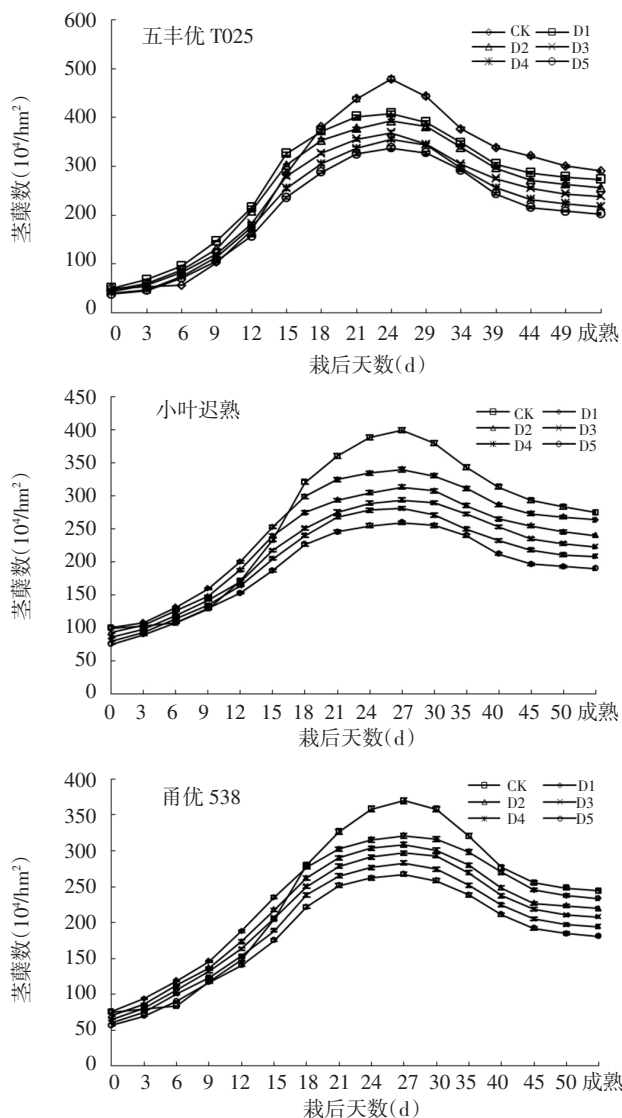


图1 钵苗机插不同密度水稻群体的茎蘖动态

类型水稻均随密度的增加而减少, D5 处理比 D1 处理分别高 9.43%~16.35%、13.75%~17.93% 和 13.25%~16.15%。钵苗机插 D1 处理在拔节期、抽穗期、成熟期平均分别比毯苗机插 CK 高 8.52%、10.93%、12.37%。从群体干物质量的变化来看, 三种类型水稻主要生育期的群体干物质量均随密度的增加而增加, 拔节期、抽穗期、成熟期的 D1 处理比 D5 处理分别高 7.43%~11.59%、13.04%~17.72% 和 14.13%~19.41%。在水稻拔节期, 毯苗机插的群体干物质量极显著高于钵苗机插, CK 比 D1 处理平均高 4.74%; 而在水稻抽穗期、成熟期, 钵苗机插极显著高于毯苗机插, D1 处理比 CK 平均高 4.71% 和 6.98%。

2.5 叶面积指数(LAI)

图2表明, 钵苗机插水稻群体主要生育时期的

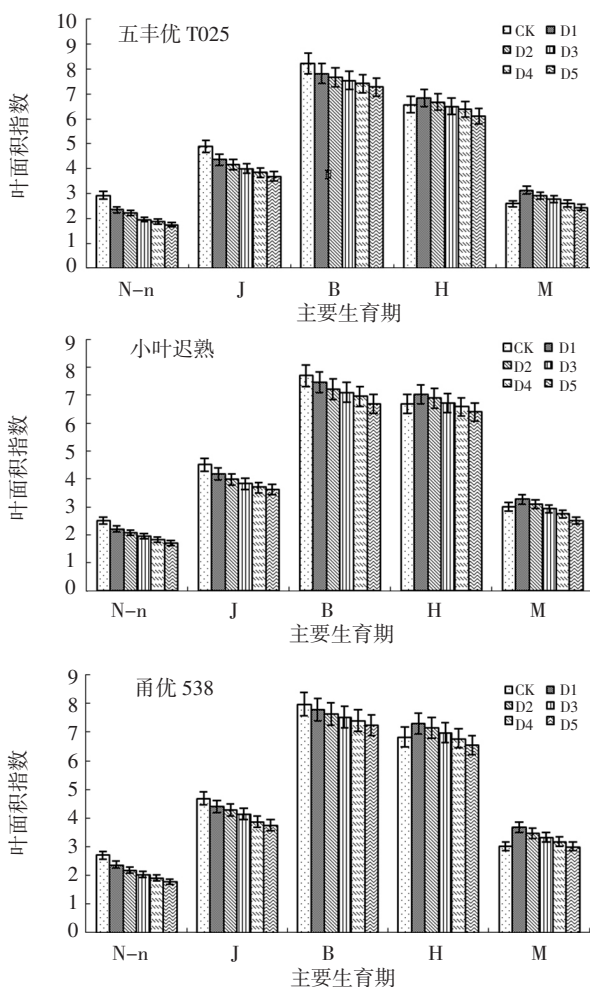


图2 钵苗机插不同密度水稻群体的叶面积指数

LAI 均随着密度的增加而增加, 其中, 五丰优 T025、小叶迟熟、甬优 538 抽穗期的 LAI D1 处理比 D5 处理分别高 7.42%、11.51% 和 7.31%, 成熟期分别高 28.81%、30.68% 和 22.59%。钵苗机插与毯苗机插主要生育时期的 LAI 变化规律不一样, 抽穗期之前三种类型水稻品种 CK 的 LAI 均高于 D1 处理, 抽穗之后 CK 的 LAI 迅速下降, 至成熟期时 D1 处理比 CK 高 8.97%~21.78%。

2.6 光合势和群体生长率

2.6.1 群体生长率

由表6可知, 移栽期至拔节期、拔节期至抽穗期、抽穗期至成熟期的钵苗机插水稻的群体生长率均随着密度的增大而增大。其中, 移栽期至拔节期, 五丰优 T025、小叶迟熟、甬优 538 的 D1 处理比 D5 处理分别高 9.06%、10.89% 和 6.77%; 拔节期至抽穗期, D1 处理比 D5 处理分别高 18.98%、21.27% 和 15.66%; 抽穗期至成熟期, D1 处理比 D5 处理分别高 19.63%、22.17% 和 15.81%。相同密度条件下, 移栽期至拔节期、拔节期

表 5 钵苗机插不同密度水稻主要生育期单茎和群体干物量

品种	处理	拔节期		抽穗期		成熟期	
		单茎干物质量	群体干物质量	单茎干物质量	群体干物质量	单茎干物质量	群体干物质量
		(g)	(t/hm ²)	(g)	(t/hm ²)	(g)	(t/hm ²)
五丰优 T025	CK	0.98 Ab	4.35 Aa	3.37 Ed	10.13 Cc	5.38 De	1 040.55 Cc
	D1	1.06 Aab	4.15 Bb	3.80 Dc	10.57 Aa	6.11 Cd	1 111.96 Aa
	D2	1.07 Aab	4.07 Cc	3.90 CDc	10.25 Bb	6.30 BCd	1 074.74 Bb
	D3	1.11 Aab	4.01 Dd	4.09 BCb	9.96 Dd	6.55 Be	1 041.31 Cc
	D4	1.13 Aab	3.90 Ee	4.26 ABa	9.54 Ee	6.87 Ab	993.47 Dd
小叶迟熟	D5	1.16 Aa	3.79 Ff	4.42 Aa	9.19 Ff	7.07 Aa	953.16 Ee
	CK	0.95 Bc	3.61 Aa	3.31 Ed	9.37 Cc	5.42 Ee	995.04 Cc
	D1	1.04 ABbc	3.44 Bb	3.68 Dc	9.87 Aa	6.13 Dd	1 077.57 Aa
	D2	1.09 ABabc	3.35 Cc	3.85 CDbc	9.45 Bb	6.41 CDc	1 026.24 Bb
	D3	1.13 ABab	3.27 Dd	4.00 BCb	9.13 Dd	6.64 BCbc	988.13 Dd
甬优 538	D4	1.18 ABab	3.20 Ee	4.19 ABa	8.83 Ee	6.86 ABb	952.69 Ee
	D5	1.21 Aa	3.08 Ff	4.34 Aa	8.39 Ff	7.12 Aa	902.41 Ff
	CK	1.01 Ab	3.60 Aa	4.41 Ee	10.93 Cc	7.38 De	1 200.34 Cc
	D1	1.09 Aab	3.45 Bb	4.80 Dd	11.40 Aa	8.15 Cd	1 269.91 Aa
	D2	1.13 Aab	3.38 Cc	4.91 CDd	10.96 Bb	8.30 Ccd	1 214.75 Bb
	D3	1.15 Aab	3.31 Dd	5.04 Cc	10.60 Dd	8.46 Cc	1 172.83 Dd
	D4	1.19 Aab	3.27 Ee	5.27 Bb	10.36 Ee	8.86 Bb	1 145.27 Ee
	D5	1.24 Aa	3.21 Ff	5.46 Aa	10.09 Ff	9.23 Aa	1 112.66 Ff

表 6 钵苗机插不同密度水稻的群体生长率与光合势

品种	处理	移栽期至拔节期		拔节期至抽穗期		抽穗期至成熟期	
		群体生长率	光合势	群体生长率	光合势	群体生长率	光合势
		[g/(m ² ·d)]	(×10 ⁴ m ² ·d/hm ²)	[g/(m ² ·d)]	(×10 ⁴ m ² ·d/hm ²)	[g/(m ² ·d)]	(×10 ⁴ m ² ·d/hm ²)
五丰优 T025	CK	14.29 Cd	73.79 Aa	24.06 Cc	137.52 Bb	13.36 Dd	187.78 Cc
	D1	15.71 Aa	57.30 Bb	25.68 Aa	139.88 Aa	15.26 Aa	199.20 Aa
	D2	15.41 Aab	54.74 Cc	24.71 Bb	135.50 Cc	14.67 Bb	191.60 Bb
	D3	15.21 ABb	52.60 Dd	23.80 Cc	131.50 Dd	14.14 Cc	185.80 Dd
	D4	14.79 BCc	50.47 Ee	22.57 Dd	127.88 Ee	13.39 Dd	179.60 Ee
小叶迟熟	D5	14.41 Cd	48.39 Ff	21.58 Ee	122.63 Ff	12.75 Ee	171.00 Ff
	CK	9.95 ABCb	80.35 Aa	26.18 Dd	123.09 Aa	9.10 Cd	295.55 Cc
	D1	10.34 Aa	68.57 Bb	29.24 Aa	123.31 Aa	10.48 Aa	309.30 Aa
	D2	10.10 ABab	65.42 Cc	27.71 Bb	119.68 Bb	9.90 Bb	299.40 Bb
	D3	9.86 BCbc	62.85 Dd	26.62 Cc	115.94 Cc	9.49 BCc	289.20 Dd
甬优 538	D4	9.68 CDc	60.71 Ee	25.55 Ee	113.08 Dd	9.10 Cd	280.20 Ee
	D5	9.32 Dd	59.28 Ff	24.11 Ff	110.11 Ee	8.58 De	267.00 Ff
	CK	10.01 Ce	83.00 Aa	36.63 Cc	115.20 Bb	11.98 BCbc	290.87 Ee
	D1	10.77 Aa	69.22 Bb	39.77 Aa	117.10 Aa	12.95 Aa	324.50 Aa
	D2	10.60 ABab	67.28 Cc	37.85 Bb	114.30 Cc	12.30 Bb	313.29 Bb
	D3	10.39 ABCbc	65.25 Dd	36.41 Cc	111.20 Dd	11.85 BCcd	303.85 Cc
	D4	10.26 BCcd	60.87 Ee	35.47 Dd	106.50 Ee	11.54 CDd	294.12 Dd
	D5	10.0 9Cde	58.84 Ff	34.39 Ee	103.00 Ff	11.18 De	282.02 Ff

至抽穗期、抽穗期至成熟期三种类型水稻 D1 处理的群体生长率比 CK 分别高 3.85%~9.92%、6.72%~11.69%和 8.09%~15.07%。

2.6.2 光合势

由表 6 可知,钵苗机插水稻群体的光合势均随密度的增加而增加,其中,D1 处理与 D5 处理之间差异极显著,移栽期至拔节期 D1 处理比 D5 处理高 15.67%~18.41%,拔节期至抽穗期高 11.99%~14.07%,抽穗期至

成熟期高 15.06%~16.49%。钵苗机插与毯苗机插在不同生长阶段的光合势表现不一致,其中移栽期至拔节期 CK 极显著高于 D1 处理,CK 比 D1 处理高 17.19%~28.77%;拔节期至抽穗期 D1 处理比 CK 高 0.18%~1.71%;抽穗期至成熟期 D1 处理则极显著高于 CK,D1 处理比 CK 高 4.65%~11.56%。

2.7 水稻抽穗期叶面积组成与粒叶比

水稻抽穗期叶面积组成及其配置直接关系到水稻

表 7 钵苗机插不同密度水稻抽穗期叶面积组成与粒叶比

品种	处理	叶面积指数	有效叶面积率 (%)	高效叶面积率 (%)	颖花/叶 (个/cm ²)	实粒/叶 (粒/cm ²)	粒重/叶 (mg/cm ²)
五丰优 T025	CK	6.57 ABab	87.86 Cd	65.75 Cc	0.549 BCc	0.459 Dd	10.347 Ff
	D1	6.83 Aa	90.24 Aa	68.47 Aa	0.609 Aa	0.522 Aa	11.791 Aa
	D2	6.67 ABab	89.26 Bb	67.31 Bb	0.595 Aab	0.514 ABa	11.591 Bb
	D3	6.51 ABab	88.27 Cc	65.16 Cd	0.581 ABb	0.506 ABCab	11.378 Cc
	D4	6.38 ABbc	87.17 De	64.13 De	0.557 BCc	0.490 BCbc	11.032 Dd
	D5	6.12 Bc	86.88 De	63.27 Ef	0.539 Cc	0.479 CDc	10.771 Ee
小叶迟熟	CK	6.68 ABbc	91.79 Dd	72.28 Cc	0.495 Cd	0.408 Cd	10.957 Ff
	D1	7.03 Aa	94.57 Aa	74.56 Aa	0.550 Aa	0.463 Aa	12.420 Aa
	D2	6.89 ABab	93.21 Bb	73.28 Bb	0.534 ABab	0.454 ABab	12.206 Bb
	D3	6.71 ABabc	92.68 Cc	72.01 Cc	0.518 BCbc	0.446 ABabc	11.926 Cc
	D4	6.58 ABbc	91.69 Dd	71.58 Dd	0.505 BCcd	0.440 ABbc	11.714 Dd
	D5	6.39 Bc	90.21 Ee	70.09 Ee	0.490 Cd	0.429 BCc	11.496 Ee
甬优 538	CK	6.83 ABbc	94.39 Dd	74.68 Dd	0.686 CDd	0.551 Cd	13.114 Ff
	D1	7.31 Aa	97.48 Aa	77.07 Aa	0.741 Aa	0.606 Aa	14.395 Aa
	D2	7.15 ABab	96.12 Bb	76.46 Bb	0.719 Bb	0.592 ABab	14.010 Bb
	D3	6.97 ABab	95.35 Cc	75.38 Cc	0.703 BCc	0.583 ABCbc	13.778 Cc
	D4	6.78 ABbc	94.31 Dd	74.89 CDd	0.685 CDd	0.573 ABCbc	13.655 Dd
	D5	6.55 Bc	93.59 Ee	73.69 Ee	0.670 De	0.567 BCcd	13.483 Ee

群体质量的优劣,影响叶片光合作用和物质积累。由表 7 可知,三种类型水稻钵苗机插水稻群体在抽穗期的叶面积指数、有效叶面积率、高效叶面积率均随密度的增加而增加,D1 处理与 D5 处理之间差异极显著。其中,五丰优 T025 的 D1 处理的有效叶面积率、高效叶面积率分别比 D5 处理高 3.87%和 8.22%,小叶迟熟和甬优 538 的 D1 处理比 D5 处理分别高 4.83%、6.38 %和 4.16%、4.59%。粒叶比是反应群体源库协调的重要指标,三种类型水稻钵苗机插的粒叶比均随密度的增加呈上升趋势,D1 处理与 D5 处理之间差异显著。其中,五丰优 T025、小叶迟熟和甬优 538 的粒重/叶 D1 处理比 D5 处理分别高 9.47%、8.03%和 6.77%。相同密度条件下,三种类型水稻 D1 处理的有效叶面积率、高效叶面积率、颖花/叶、实粒/叶、粒重/叶平均比 CK 高 3.00%、3.50%、9.96%、12.42%和 12.36%。

3 讨论

3.1 钵苗机插水稻产量及其群体质量

适宜的基本苗数是保证足够穗数,提高茎蘖成穗率,优化群体质量的重要措施之一^[10]。稀植栽培虽然有利于水稻个体的生长,充分发挥个体生长潜力,但是有效穗数不足会影响群体的结构和产量^[11-13];密植栽培会增加单位面积穗数,但个体之间生长环境恶化,互相之间竞争加剧,会出现穗多、穗小的现象,影响群体总颖花量的提高,进而导致产量的下降^[14-15]。因此,适宜的栽培密度是提高资源利用效率,保证个体和群体协调发

展,进而获得高产的关键栽培措施。

关于栽插密度对水稻产量及其群体质量的影响,董啸波^[16]研究表明,南方双季稻区种植双季晚粳稻其产量均随密度的增加呈先增加后下降的趋势,适宜密度条件下的群体生长率、叶面积指数、群体光合势等群体质量指标最优,水稻产量最高。马均等^[17]研究认为,水稻超多蘖壮秧超稀植栽培有利于单茎生长健壮,其生育后期可保持较大的绿叶面积和较强的光合生产能力,为籽粒的灌浆结实及大穗的形成提供了良好的物质基础,是发挥重穗型杂交稻品种产量潜力的重要途径。陆阳平等^[18]认为,在保证足够的穗数前提下,适当降低栽插密度,有利于个体健壮生长,提高抽穗至成熟阶段的光合生产效率,增加每穗总粒数和结实率,形成最大的群体颖花量,最终获得较高的产量。

本研究表明,钵苗机插双季晚稻的群体颖花量随着密度的增加而增加,其中穗数随着密度的增加而增加,每穗粒数和结实率随着密度的增加而减少,千粒重则无显著变化。相关分析表明,钵苗机插产量与总颖花量呈极显著正相关(0.934**),说明钵苗机插的行株距配置是在保证基本苗数的前提下,通过增加穗数、攻颖花总量而实现增产。然而前人的研究大多认为,水稻产量随着移栽密度的增加呈先增加后下降的趋势^[19-20]。因此,如果能够改进机型,缩小栽插的行距或株距,提高钵苗栽插的密度,对于不同类型品种是否能够增加产量还有待进一步验证。

3.2 钵苗机插的技术优势

钵苗机插是采用新型插秧机将钵育壮秧按照一定的株行距均匀、无植伤地移植于大田的先进技术,2012年被农业部列为12项主推农机技术之一^[21]。在江西省全年 $>15^{\circ}\text{C}$ 的持续天数为188~224 d^[22]的条件下,钵苗机插秧龄一般控制在15~20 d,比双季晚稻传统手工移栽、抛秧等种植方式少利用了10 d左右的温光资源,限制了部分水稻高产品种机械化种植的推广应用。而钵苗育秧采用配套钵盘与专用播种机精量穴播,秧苗个体生长空间增大,秧龄弹性大^[23-24],结合早育化控等措施,秧龄可以延长至35 d,有效缓解双季晚稻茬口紧张及晚稻安全齐穗等问题。钵苗机插带完整土钵移栽,移栽后植伤轻、缓苗快,低位分蘖多,成穗率高^[25-27];地上、地下干物质积累优势明显,前期群体起点质量优,为争足穗、促壮秆和攻大穗奠定了生物学基础^[28];中期叶面积指数和光合物质积累高;中后期叶系配置优,粒叶比高,茎秆粗壮,群体的光合势、净同化率高^[29];后期根系依然保持较强的活力,叶面积衰减率低,群体光合物质积累多^[30]。本试验结果表明,相同移栽密度条件下,五丰优 T025、小叶迟熟、甬优 538 钵苗机插 2 年的平均产量比钵苗机插分别高 8.13%、9.50%、8.45%。与钵苗机插相比,钵苗机插移栽后植伤轻、缓苗快、早生快发,低位分蘖多,成穗率高;主要生育时期的单茎干物质质量高;抽穗期的有效叶面积率、高效叶面积率、颖花/叶、实粒/叶、粒重/叶高;抽穗后群体的光合势、群体生长率、干物质积累量高。

3.3 不同类型水稻钵苗机插的适宜栽插规格

目前生产上的钵苗插秧机行距为 33 cm,株距可调节为 12、14、16、18、20、22 和 24 cm。在实际生产应用中,要根据不同品种、不同生态区的生长特点确定适宜的栽插规格,精确定量建立高质量最适群体起点,使群体前中期形成与最高产量形成所需的适宜生长量,保证抽穗后高光效群体的构建,充分发挥钵苗机插技术的增产优势。关于水稻钵苗机插适宜栽插规格,胡雅杰等^[9]研究认为,对大穗型品种采用中密度(株距 14 cm),中、小穗型品种采用高密度(株距 12 cm),利于提高钵苗机插水稻产量;朱聪聪等^[30]研究表明,杂交籼稻、杂交粳稻的钵苗机插以中密度(株距 14 cm)产量最高,常规粳稻的钵苗机插以高密度(株距 12 cm)产量最高。本试验结果表明,五丰优 T025、小叶迟熟、甬优 538 作双季晚稻钵苗机插的最适栽插规格是 33 cm \times 12 cm,其中株距 12 cm 比株距 16 cm 的处理平均增产 14.06%~19.56%。钵苗机插水稻主要生育时期的

单茎干物量、抽穗期的有效叶面积率、高效叶面积率、颖花/叶、实粒/叶、粒重/叶高及抽穗后群体的光合势、群体生长率、干物质积累等群体质量指标均以 33 cm \times 12 cm 规格最高。然而本试验选择的品种数量较少,33 cm \times 12 cm 的钵苗栽插规格是否为双季晚稻钵苗机插的最适规格还需进一步的研究。

4 结论

在双季晚稻区,三种类型水稻的干物质积累量、群体生长率、叶面积指数和光合势等群体质量指标均表现为随栽插密度的增加呈上升趋势,最终产量均以 33 cm \times 12 cm 规格的处理最高,产量增加的主要原因是有效穗数的提高。钵苗机插较钵状小苗机插群体起点质量高,分蘖早生快发,抽穗期形成高光效、高质量的群体,后期根系活力强,干物质积累量大,叶面积衰减慢。钵苗栽插密度的明确为钵苗机插在双季晚稻区的推广应用提供了参考依据。

参考文献

- [1] 江西省统计局. 江西统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2015:305-306.
- [2] 张洪程,戴其根,苏祖芳. 机栽小苗水稻生育规律及高产途径的研究[J]. 江西农业大学报,1989(11):63-71.
- [3] 张洪程,李杰,戴其根,等. 机插稻“标秧、精插、稳发、早搁、优中、强后”高产栽培精确定量关键技术[J]. 中国稻米,2010,16(5):1-6.
- [4] 张洪程,赵品恒,孙菊英,等. 机插杂交粳稻超高产形成群体特征[J]. 农业工程学报,2012,28(2):39-44.
- [5] 胡雅杰,曹伟伟,钱海军,等. 钵苗机插密度对不同穗型水稻品种产量、株型和抗倒伏能力的影响[J]. 作物学报,2015,41(5):743-757.
- [6] 李华,陆亚琴,祝志刚,等. 水稻钵苗机插与钵苗机插生产力比较研究[J]. 中国稻米,2013,19(6):60-61.
- [7] 邵延忠,陈宗凯. 水稻钵苗移栽机械化技术研发与应用[J]. 农机科技推广,2011(4):52.
- [8] 孙德超,李晓东,姜阿利,等. 水稻钵育秧苗机插技术特点及其优势[J]. 农业机械,2010(20):69.
- [9] 张洪程. 钵苗机插水稻生产特点及其利用的核心技术[J]. 农机市场,2012(8):19-21.
- [10] 凌启鸿,张洪程,丁艳锋,等. 水稻高产精确定量栽培[J]. 北方水稻,2007(2):1-9.
- [11] 尚志敏,张凤鸣,宋立泉,等. 水稻超稀植栽培技术增产因素的研究[J]. 黑龙江农业科学,1992(2):18-22.
- [12] 张春山,金龙,金炳植. 水稻稀植栽培适宜密度及其增产因素研究[J]. 吉林农业科学,1996(1):44-45.
- [13] 王秀亮,唐守来,李成,等. 水稻稀植机插深施肥高产栽培技术研

- 究[J]. 农机化研究, 2001(1):71-72.
- [14] 朱德峰, 林贤青, 陶龙兴, 等. 水稻强化栽培体系的形成与发展[J]. 中国稻米, 2003, 9(2):17-18.
- [15] 金传旭, 钟芹辅, 黄大英, 等. 栽插密度与穴栽苗数对水稻产量及其构成因素的影响[J]. 贵州农业科学, 2012, 40(4):85-87.
- [16] 董啸波. 密度对南方双季晚粳稻产量和群体质量及品质的影响[D]. 扬州:扬州大学, 2013.
- [17] 马均, 陶诗顺. 杂交中稻超多穗壮秧超稀高产栽培技术的研究[J]. 中国农业科学, 2002, 35(1):42-48.
- [18] 陆阳平, 张选怀. 水稻超高产栽培密度与肥料试验总结[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(17):5112.
- [19] 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.
- [20] 吴春赞, 叶定池, 林华, 等. 栽插密度对水稻产量及品质的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(9):190-191.
- [21] 农博. 农业部主推 12 项农机技术[J]. 北京农业, 2012(13):35.
- [22] 李木英, 黄程宽, 谭雪明, 等. 不同机插条件下双季稻不同品种的产量和干物质生产力[J]. 江西农业大学学报, 2015, 37(1):1-10.
- [23] 毛鑫. 水稻钵体育苗机械插秧技术研究[J]. 科技致富向导, 2011(6):326.
- [24] 郭月明, 林伟. 日本钵育摆栽机械超高产栽培试验研究[J]. 价值工程, 2010(6):59.
- [25] 陈必安. 钵育摆栽技术试验示范[J]. 农机科技推广, 2008(1):55-56.
- [26] 成永芳. 日本 RX-6 型水稻钵苗移栽机引进试验简报[J]. 粮油加工与食品机械, 1999(3):28.
- [27] 王圣田, 栾云. 钵育摆栽技术综述[J]. 黑龙江科技信息, 2009(13):111.
- [28] 胡雅杰, 邢志鹏, 龚金龙, 等. 钵苗机插水稻群体动态特征及高产形成机制的探讨[J]. 中国农业科学, 2014, 47(5):865-879.
- [29] 朱聪聪, 张洪程, 郭保卫, 等. 钵苗机插密度对不同类型水稻产量及光合物质生产特性的影响[J]. 作物学报, 2014, 40(1):122-133.
- [30] 张洪程, 朱聪聪, 霍中洋, 等. 钵苗机插水稻产量形成优势及主要生理生态特点[J]. 农业工程学报, 2013, 29(21):50-59.

Effects of Planting Density with Bowl Mechanical-transplanting Method on Yield and Population Quality of Double-cropping Late Rice

SHU Peng¹, GUO Baowei¹, HUO Zhongyang¹, ZHOU Nianbing¹, ZHANG Hongcheng^{1*}, CHENG Feihu², CHEN Zhongping², CHEN Heng³, DAI Qigen¹, XU Ke¹, WEI Haiyan¹

(¹ College of Agriculture, Yangzhou University/Innovation Center of Rice Cultivation Technology in Yangtze Valley, Ministry of Agriculture / Jiangsu Province Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology, Yangzhou, Jiangsu 225009, China; ² Jiangxi Agricultural Technology Extension Station, Nanchang 330046; ³ Bureau of Agriculture of Shanggao County of Jiangxi Province, Shanggao, Jiangxi 336400, China; 1st author: 1726144816@qq.com; *Corresponding author: huozy69@163.com)

Abstract: In order to study the effects of planting density with bowl mechanical-transplanting method on yield and population quality of double-cropping late rice and identify the suitable planting density, a field experiment was conducted using *indica* hybrid rice Wufengyou T025, *indica-japonica* hybrid rice Yongyou 538 and conventional *japonica* rice Xiaoyechishu with five planting densities (D1, 33 cm × 12 cm; D2, 33 cm × 13 cm; D3, 33 cm × 14 cm; D4, 33 cm × 15 cm; D5, 33 cm × 16 cm), and the conventional blanket seedling mechanical-transplanting as control (CK, 30 cm × 13.2 cm). The experimental results were as follows: (1) The yield of the three types of rice increased with the increase of the density, under the same density, the yield of D1 treatment was significantly higher than that of CK, and the average yield of two years increased by 8.13%~9.50%; (2) The number of stems and tillers of nutrition bowl mechanical-transplanting rice were D1>D2>D3>D4>D5, compared with CK, slower reducing rate of tillers after jointing, higher ratio of productive tillers to total tillers at maturity; (3) Dry matter accumulation, population growth rate and photosynthetic potential of nutrition bowl mechanical-transplanting of three type rice were D1>D2>D3>D4>D5 during transplanting to jointing, jointing to heading, heading to maturity, the dry matter accumulation and photosynthetic potential of CK were larger than that of D1 from transplanting to jointing, but the dry matter accumulation, population growth rate and photosynthetic potential of D1 were higher than that of CK from jointing to heading and heading to mature; (4) Dry matter weight of population of nutrition bowl mechanical-transplanting rice during the main growth period showed D1>D2>D3>D4>D5, but the dry matter weight of per stem performed opposite trends; (5) Leaf area index of nutrition bowl mechanical-transplanting rice during the main growth period and the ratio of effective leaf area, ratio of leaf area from flag leaf to 3rd leaf, the ratio of grain to leaf at heading showed a rising trend with the increase of density, the ratio of effective leaf area, ratio of leaf area from flag leaf to 3rd leaf and the ratio of grain to leaf of D1 was significantly higher than that of CK at heading. The results showed that the density of 33 cm × 12 cm with bowl mechanical-transplanting of double-cropping late rice is most appropriate.

Key words: double-cropping late rice; nutrition bowl mechanical-transplanting; density; yield; population quality