

## 不同育秧盘对机插双季稻株型与产量的影响

叶春 李艳大\* 曹中盛 黄俊宝 孙滨峰 舒时富 吴罗发

(江西省农业科学院 农业工程研究所 / 江西省智能农机装备工程研究中心 / 江西省农业信息化工程技术研究中心, 南昌 330200; \*通信联系人, E-mail: liyanda2008@126.com)

### Effects of Different Seedling Raising Trays on Plant Type and Grain Yield of Machine-Transplanted Double Cropping Rice

YE Chun, LI Yanda\*, CAO Zhongsheng, HUANG Junbao, SUN Binfeng, SHU Shifu, WU Luofa

(Institute of Agricultural Engineering, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences / Jiangxi Province Engineering Research Center of Intelligent Agricultural Machinery Equipment / Jiangxi Province Engineering Research Center of Information Technology in Agriculture, Nanchang 330200, China; \*Corresponding author, E-mail: liyanda2008@126.com)

**Abstract:** 【Objective】The objective is to elucidate the effects of different seedling raising trays on plant type and yield of machine-transplanted double cropping rice. 【Method】Field experiments were conducted in Jiangxi in 2019, involving two early and two late rice cultivars and three types of nursery trays [blanket tray(CK), bowl tray(D1) and bowl-blanket tray(D2)]. The changing characteristics of plant morphology and yield components were systematically measured.

【Result】The results indicated that: 1) The seedling quality of different seedling raising trays followed the trend of CK>D1>D2. The whole transplanting quality of seedlings under D2 was the best, as reflected by lower floating rate, injure rate and missed rate of seedling than CK. 2) Under D2 treatment, the seedlings turned green quickly and tillering was accelerated after jointing stage. The average number of tillers at booting stage was D2 > D1 > CK, which effectively increased the tiller number and panicle number and directly promote the yield. In the booting stage of early and late rice, the SPAD value of seedling leaves under D2 treatment was 3.2% higher than that under D1, and 9.2% higher than that under CK treatment, which effectively promoted photosynthesis and provided nutrition guarantee for increasing yield; 3) The yield data showed that D2 treatment had the highest yield in early rice, 13.04% and 1.65% higher than CK and D1, 30% and 19% higher than CK, respectively, and 20% higher than CK on average; The high yield of D2 treatment was due to its high chlorophyll contents in leaves, high effective panicle number, high seed setting rate and 1000-grain weight.

【Conclusion】Compared with the blanket nursing tray and bowl tray, the bowl-blanket tray can raise seedling quality and grain yield, which has a potential to be widely applied for high yield cultivation in double cropping rice production.

**Key words:** nursery tray; machine-transplanted; double cropping rice; plant type; yield

**摘 要:** 【目的】旨在阐明不同育秧盘对机插双季稻株型与产量的影响。【方法】以 4 个早、晚稻品种为材料, 设置毯状盘(CK)、钵体盘(D1)和钵体毯状盘(D2)3 种育秧盘试验, 系统测定了不同育秧盘处理下早、晚稻植株形态特征与产量结构。【结果】1) 不同秧盘处理秧苗素质表现为 CK>D1>D2; 机插时, D2 处理下秧苗整体机插质量最优, 表现在漂秧率、伤秧率和漏插率 D2 均优于 CK, 提高了栽插质量; 2) D2 处理下秧苗返青快, 拔节期后分蘖快, 孕穗期分蘖数 D2>D1>CK, 有效促进了茎蘖成穗, 直接影响产量; 从 SPAD 值看, 早晚稻孕穗期时, D2 处理下秧苗叶片 SPAD 值比 D1 处理平均高出 3.2%, 比 CK 处理平均高出 9.2%, 可有效促进光合作用, 为增产提供了营养保障; 3) 产量数据显示, 早晚稻均以 D2 处理产量最高, 早稻分别比 CK 和 D1 增产 13.04%和 1.65%, 晚稻分别增产 30%和 19%, 平均比对照(CK)育秧机插增产 20%; 具体表现在 D2 处理叶片叶绿素含量高, 有效穗数多, 结实率和千粒重指标好。【结论】与毯状盘和钵体盘相比, 钵体毯状盘可提高秧苗素质和产量, 在江西双季稻生产中具有推广应用价值。

**关键词:** 育秧盘; 机插; 双季稻; 株型; 产量

中图分类号: S223.91; S511.045; S511.4<sup>+</sup>2

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2020)05-0435-08

收稿日期: 2019-12-07; 修改稿收到日期: 2020-05-10。

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2016YFD0300608); 国家青年拔尖人才支持计划资助项目; 江西省科技计划资助项目 (20182BCB22015); 江西省“双千计划”资助项目。

水稻是中国重要的粮食作物,担负着保障国家粮食安全与社会稳定的重任。机插是稻作方式的巨大技术革新,而育秧是水稻机插的重点和难点<sup>[1-3]</sup>,培育适龄壮秧是机插稻大田早发争足穗、壮秆促大穗的基础。目前,南方机插双季稻普遍存在秧苗素质差、生育期延长、生长季节紧等问题<sup>[4]</sup>。江西、湖南等地机插双季稻育秧主要有毯状盘育秧、钵体盘育秧和钵体毯状盘育秧3种方式。毯状盘育秧栽插较深、秧苗植伤大,直接影响秧苗的返青及早生快发<sup>[5]</sup>。钵体盘育秧机插技术打破了水稻机械化栽培长期以毯苗机插为主的现状<sup>[6-7]</sup>,该技术无缓苗现象,分蘖发生早,但钵体盘育秧秧苗需要配套特定插秧机完成秧苗移栽,存在一次性投入成本高、育秧技术难掌握等问题<sup>[8]</sup>。钵体毯状盘育秧机插融合了毯状盘育秧和钵体盘育秧的优点,便于插秧机有序取秧和插秧,具有秧苗植伤小、返青快、成本低和产量高等优点<sup>[9-14]</sup>。许多学者在水稻机械化育插秧技术及其对株型和产量的影响方面开展了大量的研究,指出通过适当减氮密植可有效提高产量<sup>[15]</sup>;采用机插侧深施肥方式可节本增效<sup>[16]</sup>;采用大苗机插可有效利用农时,缓解早、晚稻茬口时间紧的问题<sup>[12]</sup>。以往研究大多集中在不同播种量,或不同秧龄及不同插秧技术的对比试验方面,有关不同育秧盘对机插双季稻株型与产量影响鲜有报道。毯状盘育秧、钵体盘育秧和钵体毯状盘育秧等育秧方式的优选是探索双季稻种植机械化农机农艺融合的关键。为此,本研究选用4个早、晚稻品种,设置毯状盘、钵体盘和钵体毯状盘3种育秧盘试验,系统测定早、晚稻品种植株形态特征和产量结构,以期江西机插双季稻丰产高效栽培及培育机插壮秧提供技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

于2019年在江西省高安市渡埠农场(115°12'E, 28°25'N)进行不同早、晚品种和不同育秧盘的田间试验。试验田耕作层土壤含有机质 38.80 g/kg,全氮 2.53 g/kg,铵态氮 42.4 mg/kg,硝态氮 1.04 mg/kg,有效磷 16.78 mg/kg,速效钾 120.1 mg/kg, pH 值 5.5。采用裂区设计,主区为品种,副区为不同育秧盘。早、晚稻均设2个品种和3种育秧盘,重复3次,南北行向,小区面积 80 m<sup>2</sup>。早、晚稻3个育秧盘分别为毯状盘(CK)、钵体盘(D1)和钵体毯状盘(D2);供试早稻品种为长两优 173(C1)和中

嘉早 17(C2),3月25日播种,4月25日移栽,播种量为每盘 80 g;供试晚稻品种为富美占(C3)和泰优航 1573(C4),6月28日播种,7月23日移栽,播种量为每盘 110 g。毯状盘秧苗采用井关乘坐式插秧机栽插,钵体盘和钵体毯状盘秧苗采用久保田乘坐式插秧机栽插,行株距为 30 cm×14 cm,基本苗为 21.6 万株/hm<sup>2</sup>。氮肥用尿素,用量折合纯氮 120 kg/hm<sup>2</sup>,分3次施用(基肥 50%,分蘖肥 30%,穗肥 20%)。磷、钾肥(过磷酸钙,以 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 15%计;氯化钾,以 K<sub>2</sub>O 60%计)施用量分别为 60 kg/hm<sup>2</sup>和 120 kg/hm<sup>2</sup>。其他管理措施同当地高产栽培。

### 1.2 测定项目与方法

#### 1.2.1 秧苗素质测定

于移栽前1d进行秧苗素质测定。各处理连续调查20个钵孔测定均匀度合格率,即实际合格小秧块数除以测定总小秧块数;各处理选取代表性秧苗20株测定出苗率、株高、根长、根数和茎基宽。

#### 1.2.2 机插质量测定

按 GB/T6243—2017《水稻插秧机试验方法》测定不同秧盘秧苗的栽插深度、每穴株数、伤秧率、漂秧率、漏插率和相对均匀度合格率。机插后采用对角线取样法选取5个测区(1 m×1 m),测区距田边大于1个工作幅宽,每个测区在全幅宽内选择30穴测定机插质量。

均匀度合格率=测定的插秧深度合格的穴数/测定的穴数;

相对均匀度合格率=均匀度合格率/插前均匀度合格率×100%。

#### 1.2.3 分蘖动态测定

于早、晚稻关键生育期在每个小区通过连续定点测定20株植株的茎蘖数。

#### 1.2.4 叶绿素含量测定

于移栽期、拔节期、孕穗期和齐穗期在每小区选择长势均匀的10株,采用 SPAD-502 型叶绿素仪田间原位测定植株上部4片完全展开叶的叶绿素含量。

#### 1.2.5 产量和产量结构测定

于成熟期调查穗数,取样测定每穗粒数、结实率、千粒重;早、晚稻各小区收割中心 4 m<sup>2</sup>测产,单独脱粒晒干并风选后,称干谷重,同时测定干谷水分含量,然后计算折合含水量为 13.5%的稻谷产量。

### 1.3 数据处理与分析

在 Microsoft Excel 软件中进行数据整理,采用 SPSS 软件进行方差分析。

表 1 不同品种、育秧盘育秧的早、晚稻秧苗素质

Table 1. Seedling quality of different early and late rice cultivars in different nursery trays.

类型 Type	处理 Treatment	出苗率 Seedling emergence rate/%	均匀度合格率 Uniformity qualification rate/%	株高 Plant height/cm	根长 Root length/cm	根数 Root number	茎基宽 Stem base width/cm
早稻 Early rice	C1CK	95.0 b	92.0 c	15.1 a	7.8 a	8.7 a	1.8 a
	C1D1	96.0 a	93.8 a	11.9 c	5.4 c	7.4 b	1.5 b
	C1D2	96.0 a	92.6 b	12.6 b	5.5 b	6.7 c	1.4 c
	C2CK	100.0 a	93.0 c	18.7 a	4.7 c	9.2 a	1.7 b
	C2D1	98.0 b	98.0 a	15.6 b	5.4 a	8.6 c	1.8 a
	C2D2	97.0 c	96.0 b	10.1 c	5.2 b	8.6 b	1.5 b
晚稻 Late rice	C3CK	98.0 a	91.0 c	14.5 a	10.2 a	8.6 a	2.1 a
	C3D1	97.0 b	95.0 b	12.6 c	8.2 b	7.2 c	1.9 b
	C3D2	96.0 c	96.0 a	13.9 b	7.3 c	7.7 b	1.7 c
	C4CK	99.0 a	94.0 c	15.6 a	9.8 a	8.8 a	2.3 a
	C4D1	97.0 b	97.0 b	13.2 c	8.3 b	7.3 c	2.0 b
	C4D2	96.0 c	98.0 a	13.9 b	7.5 c	8.0 b	1.9 c

CK—毯状盘；D1—钵体盘；D2—钵体毯状盘；不同字母表示不同处理间差异达到 5%显著水平( $P<0.05$ )；表中数据均为平均数( $n=5$ )。下同。

CK, Blanket-like nursery tray; D1, Bowl nursery tray; D2, Bowl-blanket nursery tray; Common lowercase letters in the same column indicate no significant difference in the same year for a given variety at 5%. Data are shown as mean( $n=5$ ). The same as below.

表 2 不同品种、育秧盘育秧早晚稻机插质量

Table 2. Machine-transplanting quality of different early and late rice cultivars in different nursery trays.

类型 Type	处理 Treatment	栽插深度 Planting depth /mm	每穴株数 Plant number per hill	漂秧率 Rate of floating seedlings/%	伤秧率 Rate of injury seedlings/%	漏插率 Rate of missed seedlings/%	相对均匀度合格率 Qualified rate of relative uniformity/%
早稻 Early rice	CK	18.9 a	3.1 c	1.7 a	3.4 a	2.5 a	89.5 c
	D1	17.0 b	3.4 a	1.4 b	2.5 b	1.9 b	90.3 b
	D2	16.2 c	3.2 b	1.2 c	2.4 c	1.3 c	90.5 a
晚稻 Late rice	CK	18.0 a	3.1 b	1.7 a	2.7 a	2.1 a	87.8 c
	D1	17.8 b	3.2 a	1.6 b	2.5 c	1.9 b	89.5 b
	D2	16.9 c	3.2 a	1.6 c	2.4 b	1.8 c	90.2 a

不同字母表示不同处理间差异达到 5%显著水平 ( $P<0.05$ )，表中数据均为平均数 ( $n=5$ )。

Common lowercase letters in the same column indicate no significant difference in the same year for a given variety at 5%. Data are shown as mean( $n=5$ ).

2 结果与分析

2.1 早、晚稻秧苗素质

统计秧苗素质得到表 1，可以看出不同育秧盘对早、晚稻的出苗率、均匀度合格率、株高、根长、根数和茎基宽均有显著影响。在秧龄 30 d 条件下，不同秧盘处理，平均出苗率表现为 CK>D1>D2；出苗均匀度合格率均在 90%以上，但各处理间略有差异。其中，D1 效果最佳，平均为 95.95%，CK 较差，均值为 92.5%，D2 均匀度合格率为 95.65%，与 D1 差异很小。

在秧苗农艺性状方面，如表 1 所示，在同一秧龄条件下，CK 处理下秧苗比 D1、D2 在株高、根长、根数、茎基宽指标方面有明显优势；且 D1 处

理下秧苗平均株高、根长、茎基宽均比 D2 处理下秧苗好，但 D2 处理秧苗根数较多。方差分析结果表明，CK 处理下秧苗综合素质表现最优，早期易发挥显著优势。

2.2 早、晚稻机插质量

以早晚稻试验情况看，同一株行距插秧机不同秧盘处理的漂秧率、伤秧率和漏插率均有差异。从插秧深度来看，对照 CK 普遍比 D1、D2 栽插更深，平均比 D1 插秧深度深 6.15%，比 D2 插秧深度深 11.58%；每穴株数基本保持在 3 株，差异不明显；3 种处理下机插秧漂秧率均较低，但仍有差异，表现为 CK>D1>D2；机插伤秧率表现为 CK>D1>D2，平均值依次为 3.04%、2.45%、2.40，均小于 5%；CK 处理下秧苗栽插深，且从漂秧率看比 D1、D2 大；均匀度合格率是评价盘育秧苗和插秧质量

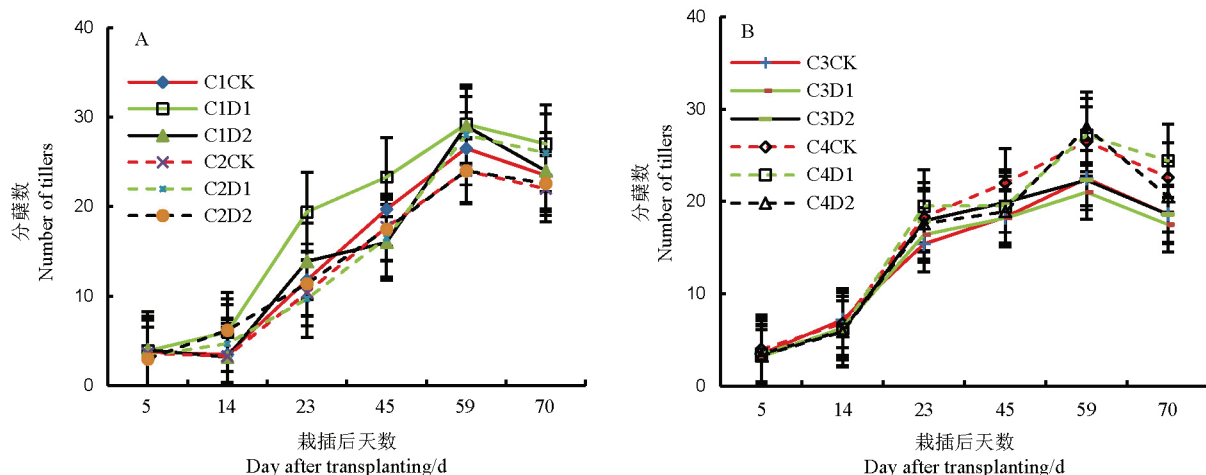


图1 不同处理下早稻(A)、晚稻(B)秧苗分蘖情况

Fig. 1. Tiller number of early rice (A) and late rice (B) seedlings from different nursery trays.

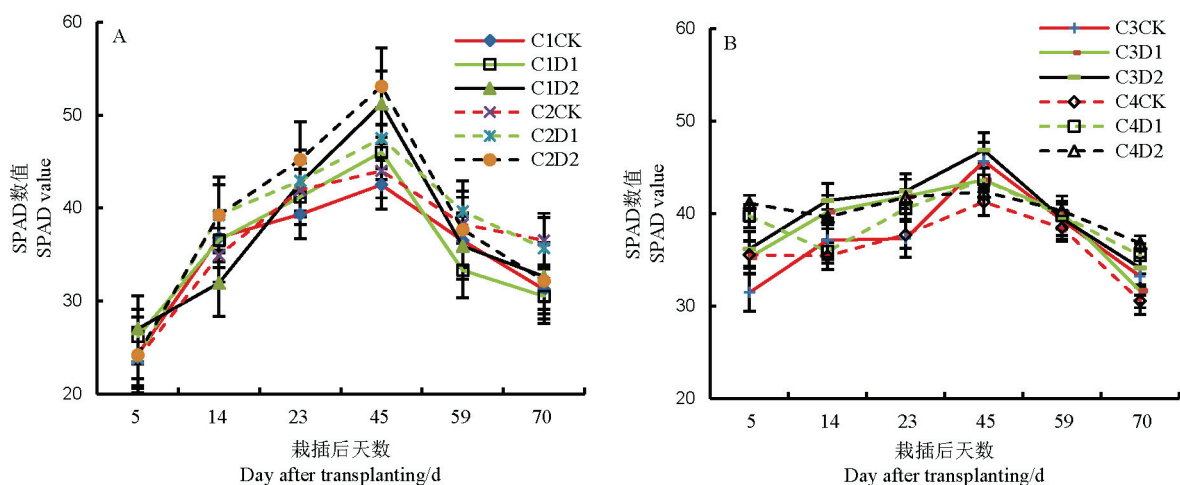


图2 不同处理下早稻(A)、晚稻(B)秧苗 SPAD 值

Fig. 2. SPAD value of early rice (A) and late rice (B) seedlings from different nursery trays.

的指标, 表现为  $D2 > D1 > CK$ 。从机插整体质量看,  $D2$  处理机插质量最佳。

### 2.3 早、晚稻分蘖动态

各处理分蘖动态大致一致, 分蘖高峰均是在插秧后 60 d 左右, 以后略有下降, 开始无效分蘖。从不同处理来看, 早稻钵苗机插和毯苗机插由于返青期节点不同, 群体茎蘖动态差异显著(图 1)。 $D1$ 、 $D2$  秧苗在移栽 5 d 后分蘖数略高于对照  $CK$ , 但均呈下降趋势; 移栽 14 d 后, 各处理茎蘖数显著增加, 钵盘秧苗整体分蘖发生较早, 返青期短, 表现为增幅明显大于  $CK$  处理; 移栽 23 d 后所有处理分蘖数呈增加趋势且增幅逐渐减小, 拔节期(45DAT)后,  $D1$  处理茎蘖数高于对照  $CK$ ,  $D2$  处理茎蘖数增幅明显。晚稻各秧盘处理秧苗分蘖数在移栽 23 d 之前基本表现一致, 但拔节期前后变化迅速, 平均以

$D2$  处理秧苗分蘖优势显著。

### 2.4 早、晚稻叶绿素含量

叶片叶绿素状况是评价植株光合效率的重要指标<sup>[17]</sup>。在同一播种量及管理水平下, 叶绿素水平可以间接反映不同处理方式下育插秧技术的优劣。测量关键生育期不同处理秧苗叶片的  $SPAD$  值(图 2), 结果显示, 整体来看, 水稻叶片叶绿素值含量先增后减。插秧后因为返青期作用, 三种秧盘处理下秧苗叶片叶绿素值均较低, 植株营养主要受植伤影响。从分蘖期开始到孕穗期, 叶绿素含量先增后减, 符合水稻植株生长规律。

在不同处理条件下早稻秧苗的  $SPAD$  值显示, 分蘖盛期及拔节期  $D1$ 、 $D2$  处理下的秧苗叶绿素含量显著大于  $CK$  处理, 但孕穗期及之后  $D1$  和  $D2$  秧苗的  $SPAD$  值则衰退明显,  $CK$  相对衰退缓慢。

表 3 不同处理早晚稻产量及其构成因素

Table 3. Variation of yield and its components of double cropping rice under different treatments.

处理 Treatment	有效穗数 Number of effective panicles/( $\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	每穗粒数 Grain number per panicle/( $\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	结实率 Seed-setting rate/%	千粒重 1000-grain weight/g	理论产量 Theoretic yield/( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	实际产量 Actual yield/( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )
C1CK	245.31 b	164 c	91.82 b	23.32 c	8608.33 c	7307.07 c
C1D1	266.95 a	170 b	92.89 a	24.18 b	10188.56 b	8648.43 b
C1D2	218.09 c	199 a	91.47 c	26.14 a	10400.20 a	8828.08 a
C2CK	201.52 c	201 b	91.08 b	24.93 b	9196.32 c	7806.18 c
C2D1	211.31 a	205 Aa	90.21 c	24.47 c	9563.09 b	8117.51 b
C2D2	207.53 b	196 c	92.26 a	25.69 a	9680.70 a	8217.34 a
C3CK	248.92 c	189 b	92.85 a	24.51 c	10695.87 c	9452.17 c
C3D1	259.74 b	184 c	91.35 c	25.08 b	10973.11 b	9697.16 b
C3D2	303.03 a	191 a	92.05 b	25.99 a	13819.05 a	12212.19 a
C4CK	303.03 c	169 c	89.88 c	22.42 c	10368.83 c	9163.16 c
C4D1	324.67 b	170 b	91.29 b	23.94 b	12122.32 b	10712.75 b
C4D2	335.49 a	181 a	91.91 a	24.39 a	13600.82 a	12019.33 a
平均值 Average(CK)	249.69	180.85	91.41	23.79	9717.34	8432.14
D1 平均值 Average(D1)	265.67	182.56	91.44	24.41	10711.77	9293.96
D2 平均值 Average(D2)	266.04	191.90	91.92	25.55	11875.2	10319.24

不同字母表示不同处理间差异达到 5%显著水平 ( $P<0.05$ )，表中数据均为平均数 ( $n=5$ )。  
Common lowercase letters in the same column indicate no significant difference in the same year for a given variety at 5%. Data are shown as mean( $n=5$ ).

表 4 产量构成参数相关系数

Table 4. Correlation coefficient of yield components.

性状 Traits	有效穗数 Productive panicle number	每穗粒数 Spikelet number per panicle	结实率 Seed-setting rate	千粒重 1000-grain weight	理论产量 Theoretical yield	实际产量 Actual yield
有效穗数 Productive panicle number		-0.635*	0.020	-0.376	0.787**	0.809**
每穗粒数 Spikelet number per panicle	-0.635*		-0.123	0.727**	-0.084	-0.114
结实率 Seed-setting rate	0.020	-0.123		0.362	0.178	0.158
千粒重 1000-grain weight	-0.376	0.727**	0.362		0.237	0.192
理论产量 Theoretical yield	0.787**	-0.084	0.178	0.237		0.997**
实际产量 Actual yield	0.809**	-0.114	0.158	0.192	0.997**	

\*表示在 5%水平显著相关，\*\*表示在 1%水平上显著相关。  
\* indicates significant correlation at the 0.05 level, \*\* indicates significant correlation at the 0.01 level.

其中，分蘖盛期至孕穗期 D2 处理秧苗叶片 SPAD 值均为最高，表现为 D2 > D1 > CK。从晚稻 SPAD 值来看，与早稻略有差别。移栽 5 d 后，SPAD 值具体表现为 D2 > D1 > CK，但整体增幅显著小于早稻时期，晚稻 D2 处理下秧苗返青快，叶片叶绿素值高；拔节盛期，D2 处理 SPAD 值达到最高，至孕穗期时稍有变化。整体来看，早晚稻孕穗期时，D2 处理下秧苗叶片 SPAD 值比 D1 处理平均高出 3.2%，比 CK 处理平均高出 9.2%。

2.5 产量结构分析

不同秧盘处理下，4 个水稻品种的产量及其构成因素有显著差异(表 3)。以早稻为例，D2 处理产量最高，分别比 CK 和 D1 增产 13.04%、1.65%。从产量构成因素看，各处理下有效穗数、粒数和千粒重差异显著，结实率差异不显著。进一步比较产量构成因素对产量贡献率的大小，对试验数据进行相关分析(表 4)。结果表明，有效穗数对产量的贡献率最大，其次为千粒重、结实率。

从有效穗数看, CK、D1、D2 三种处理下平均有效穗数分别为 249.69、265.67、266.03 万/hm<sup>2</sup>, D2 处理平均穗数略高于其他两个处理; 总粒数表现为 D2 > D1 > CK; 且 D2 处理的平均结实率与千粒重也均略高于其他处理, 但整体与 D1 处理差异不显著。

### 3 讨论

提高秧苗素质是保障水稻丰产的基础<sup>[18]</sup>。前人关于不同机插方式对水稻秧苗素质的影响进行了较多的研究报道<sup>[20-22]</sup>。不同类型水稻高产对机插方式的要求亦不同, 但前人较少对同一秧龄不同育秧机插方式进行比较研究。本研究结果显示, 移栽前对照 CK(毯状苗)育秧机插方式下秧苗素质较好, 株高、根长、根数均高于 D1、D2 处理; 分析原因可能是钵盘穴钵内秧苗个体竞争激烈, 导致秧苗素质、根系发育情况差。而对照 CK 盘没有钵体, 秧苗个体生长迅速。因此, 在株高、根长、根数和茎基宽等指标上有显著优势。虽然移栽前 D1 和 D2 处理下秧苗素质比对照略差, 但移栽时, 不同处理下 D2 盘处理机插质量效果最佳, 其秧苗漂秧率、伤秧率和漏插率均符合机插质量, 且小于 CK 和 D1 处理。

前人研究表明, 促进机插前期分蘖是水稻获得高产的关键<sup>[23]</sup>, 孕穗期较高分蘖数以及抽穗至成熟期的分蘖数是机插稻高产的基础。增加双季稻抽穗至成熟期的分蘖数以及提高生育后期的群体分蘖势, 可促进增产<sup>[24]</sup>。本研究中水稻移栽后各处理分蘖数结果表明, 3 种处理下秧苗移栽 14 d 后分蘖发生迅猛, 整体孕穗期分蘖数达到高峰期, 但对比发现, CK 处理和 D1 处理下秧苗在拔节期后分蘖数增幅显著小于 D2 处理。且与 CK 机插方式相比, D2 处理下秧苗返青快、后期分蘖强, 说明后期特别是返青期后 D2 处理秧苗群体分蘖势强, 之后迅速达到高峰期, 这个过程促进茎蘖成穗, 直接影响产量。

通常叶绿素含量高的水稻叶片拥有更高的绿叶面积指数, 且叶绿素含量多的上层叶片拥有更强的光合同化能力<sup>[25]</sup>, 从而可以提高光合速率, 促进干物质的产生与积累, 为千粒重和结实率的增加提供物质保障<sup>[26]</sup>。本研究结果显示, D2 处理下秧苗叶绿素含量平均值最高, 比 CK 处理平均高出 9.2%, 说明 D2 处理下秧苗分蘖早发, 钵盘营养供应及时, 为水稻籽粒乳熟及提高千粒重和结实率提供了有力保障。

有效穗数、每穗粒数、结实率和千粒重是保证水稻高产的关键<sup>[27]</sup>。Chen 等<sup>[28]</sup>指出, 在机插条件下, 提高千粒重和冠层辐射利用效率是双季稻高产的关键。本研究比较了同一大类条件下不同小类的栽植方式及对应效果。前人针对钵苗机插开展了大量研究, 杨玲<sup>[29]</sup>指出钵体苗的每穴穗数和千粒重少于毯状苗, 但每穗粒数、结实率、单株粒重、谷草比等均大于毯状苗, 适当增加每穗粒数和结实率更有利于实现超高产。本研究结果显示, 不同秧盘处理下, 产量构成指标中穗数对产量的贡献率最大, 其次是千粒重、结实率。早晚稻产量构成参数均表明 D2 处理产量最高, 早稻 D2 处理分别比 CK 和 D1 增产 13.04% 和 1.65%, 晚稻分别增产 30% 和 19%。进一步分析 D2 处理增产原因, CK 处理移栽后受缓苗期长影响, 大田分蘖迟, 有效分蘖节位少, 难以达到高产适宜穗数, 最终影响稻谷产量。反之, D2 处理缓苗期短, 有效分蘖多, 平均有效穗数比对照 CK 多, 成穗率高, 且粒数和千粒重均比对照 CK 处理更好, 穗数和千粒重协同增加提高了群体产量。进一步, 叶绿素含量提高了叶片光合速率, 为 D2 处理千粒重和结实率提供营养保障, 是单位面积水稻增产的主要原因。当前, 南方双季晚稻机插育秧, 由于气温高, 秧苗生长过快, 但适宜机插的天数短, 秧龄弹性小, 对水稻机插推广带来很大困难。He 等<sup>[19]</sup>研究表明, 可以在机插育秧时通过选取适当秧盘, 培育适宜机插并且综合指数较好的秧苗, 解决双季稻机插秧苗及产量问题。本研究结果表明, 钵体毯状盘秧苗在同一秧龄条件下可适当延长秧龄, 有效解决南方双季稻返青慢、争抢农时等突出问题, 还可以保持增产潜力。

当然, 因参考文献资料有限, 本研究实验方案存在不够完善、并未深入挖掘插秧机等装备对本研究的影响, 后期将进一步完善。

### 4 结论

单位面积有效穗数对水稻产量的贡献率最大, 双季稻增产应注重有效穗数, 同时保证一定的结实率和千粒重, 而每穗粒数可适当放宽。在统一播种量及管理水平下, 水稻钵体毯状苗秧龄可适当放宽至 30 d, 能有效解决南方双季稻返青慢、争抢农时等突出问题。同时, 该秧盘配套机插技术可实现水稻高产, 平均增产 20%, 增产表现为茎蘖数多, 有效穗数多, 结实率高, 成熟度好。可以在双季稻地

区推广应用水稻钵体毯状苗育插秧技术, 构建合理产量结构, 发挥较大产量潜力。

## 参考文献:

- [1] 农博. 农业部主推 12 项农机技术[J]. 北京农业, 2012(13): 35.  
Nong B. 12 Agricultural machinery technologies promoted by the ministry of agriculture[J]. *Beijing Agriculture*, 2012 (13): 35. (in Chinese)
- [2] 张洪程. 水稻机械化精简化高产栽培[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014: 1-89.  
Zhang H C. The Rice Mechanization Simplifies The High-yield Cultivation [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2014: 1-89. (in Chinese)
- [3] 周晚来, 王朝云, 易永健, 谭志坚, 汪洪鹰, 杨媛茹, 余旺, 易镇邪. 我国水稻机插育秧发展现状[J]. 中国稻米, 2018, 24(5): 11-15.  
Zhou W L, Wang C Y, Yi Y J, Tian Z J, Wang H Y, Yang Y R, Yu W, Yi Z X. Development status of rice seedling raising technology for mechanical transplanting in China[J]. *China Rice*, 2018, 24(5): 11-15. (in Chinese)
- [4] 吴青香, 曾勇军, 程慧煌, 成臣, 石庆华, 潘晓华. 双季稻机插技术在江西的应用现状、存在问题及推广对策[J]. 中国稻米, 2017, 23(4): 157-159, 164.  
Wu Q X, Zeng Y J, Cheng H H, Cheng C, Shi Q H, Pan X H. Application of machine transplanting in double cropping rice in Jiangxi Province: Status quo, problems and countermeasures[J]. *China Rice*, 2017, 23(4): 157-159, 164. (in Chinese)
- [5] 李木英, 黄程宽, 谭雪明, 石庆华, 潘晓华. 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.  
Li M Y, Huang C K, Tan X M, Shi Q H, Pan X H. The yield and matter productive capacity of different varieties of double season rice under different conditions of mechanical transplanting[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2015, 37(1): 1-10. (in Chinese)
- [6] 宋云生. 不同类型品种水稻钵苗机插产量形成特征及关键栽培技术研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2017.  
Song Y S. Study on yield formation characteristics and key cultivation techniques of different rice varieties with nutrition bowl mechanical-transplanting[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2017. (in Chinese)
- [7] 朱聪聪, 张洪程, 郭保卫, 曹利强, 江峰, 葛梦婕, 花劲, 宋云生, 周兴涛, 霍中洋, 许轲, 戴其根, 魏海燕, 朱大伟. 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.  
Zhu C C, Zhang H C, Guo B L, Cao L Q, Jiang F, Ge M J, Hua J, Song Y S, Zhou X T, Huo Z Y, Xu G, Dai Q G, Wei H Y, Zhu D W. Effect of planting density on yield and photosynthate production characteristics in different types of rice with bowl mechanical-transplanting method[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2014, 40(1): 122-133. (in Chinese)
- [8] 张洪程, 龚金龙. 中国水稻种植机械化高产农艺研究现状及发展探讨[J]. 中国农业科学, 2014, 47(7): 1273-1289.  
Zhang H C, Gong J L. Research status and development discussion on high-yielding agronomy of mechanized planting rice in China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(7): 1273-1289. (in Chinese)
- [9] 宋建农. 推广适合中国国情的机插秧技术[J]. 当代农机, 2018(5): 24-25.  
Song J N. Popularizing the technology of transplanting rice by machine suitable for China[J]. *Contemporary Farm Machinery*, 2018(5): 24-25. (in Chinese)
- [10] 李泽华, 马旭, 齐龙, 谭穗妍, 陈学深, 谭永妍, 梁仲维, 孙国栋, 黄益强. 华南双季稻区水稻不同机械化栽植方式对比试验与评价[J]. 农业工程学报, 2015, 31(3): 40-47.  
Li Z H, Ma X, Qi L, Tan S Y, Chen X S, Tan Y X, Liang Z W, Sun G D, Huang Y Q. Comparison and evaluation of different rice mechanized transplanting methods in double cropping area of South China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(3): 40-47. (in Chinese)
- [11] 毛爱强. 水稻钵体毯状苗机插秧技术推广与应用[J]. 农民致富之友, 2012(17): 105.  
Mao A Q. Popularization and application of rice seedling transplanting technology with bowl-shaped seedling machine[J]. *Friends of the Farmer*, 2012(17): 105. (in Chinese)
- [12] 宋云生, 张洪程, 戴其根, 霍中洋, 许轲, 魏海燕, 朱聪聪, 孙圳, 杨大柳, 王惟清, 刘俊, 吴爱国. 水稻钵苗机插秧苗素质的调控[J]. 农业工程学报, 2013, 29(22): 11-22.  
Song Y S, Zhang H C, Dai Q G, Huo Z Y, Xu G, Wei H Y, Sun Z, Yang D L, Wang W Q, Liu J, Wu A G. Seedling quality regulation of rice potted-seedling in mechanical transplanting[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(22): 11-22. (in Chinese)
- [13] Sarwar, N, Maqsood M, Aftab Wajid S, Anwar-Ul-Haq M. Impact of nursery seeding density, nitrogen, and seedling age on yield and yield attributes of fine rice[J]. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 2011, 71(3): 343-349.
- [14] Adhikari B B, Mehera B, Haefele S. Impact of rice nursery nutrient management, seeding density and seedling age on yield and yield attributes [J]. *Plant Science*, 2013, 4(12): 146-155.
- [15] 王海月, 张桥, 武云霞, 严奉君, 郭长春, 孙永健, 徐徽, 杨志远, 马均. 不同株距下氮肥减量配施运筹对机插杂交稻的产量及光合特性的影响[J]. 中国水稻科学, 2019, 33(5): 447-456.  
Wang H Y, Zhang Q, Wu Y X, Yan F J, Guo C C, Sun Y J, Xu H, Yang Z Y, Ma J. Effects of reduced urea application on yield and photosynthetic characteristics of mechanically-transplanted rice under different planting spaces[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2019, 33(5): 447-456. (in Chinese)
- [16] 钟雪梅, 黄铁平, 彭建伟, 卢文璐, 康兴蓉, 孙梦飞, 宋思明, 唐启源, 陈裕新, 湛冬至, 周旋. 机插同步一次性精量施肥对双季稻养分累积及利用率的影响[J]. 中国水稻科学, 2019, 33(5): 436-446.  
Zhong X M, Huang T P, Peng J W, Lu W L, Kang X R,



- Sun M F, Song S M, Tang Q Y, Chen Y X, Zhan D Z, Zhou X. Effects of machine-transplanting synchronized with one-time precision fertilization on nutrient uptake and use efficiency of double cropping rice[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2019, 33(5): 436-446. (in Chinese with English abstract)
- [17] 顾骏飞, 周振翔, 李志康, 戴琪星, 孔祥胜, 王志琴, 杨建昌. 水稻低叶绿素含量突变对光合作用及产量的影响. 作物学报, 2016, 42(4): 551-560.
- Gu J F, Zhou Z X, Li Z K, Dai Q X, Kong X S, Wang Z Q, Yang J C. Effects of the mutant with low chlorophyll content on photosynthesis and yield in rice[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2016, 42(4): 551-560. (in Chinese)
- [18] 张洪程, 吴桂成, 李德剑, 龚金龙, 李杰, 戴其根, 霍中洋, 许轲, 高辉, 魏海燕, 沙安勤, 周有炎, 王宝金, 吴爱国. 杂交粳稻 13.5 t·hm<sup>-2</sup> 超高产群体动态特征及形成机制的探讨[J]. 作物学报, 2010, 36(9): 1547-1558.
- Zhang H C, Wu G C, Li D J, Gong J L, Li J, Dai Q G, Huo Z Y, Xu G, Gao H, Wei H Y, Sha A Q, Zhou Y Y, Wang B J, Wu A G. Population characteristics and formation mechanism for super-high-yielding hybrid japonica rice (13.5 t·ha<sup>-1</sup>)[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2010, 36(9): 1547-1558. (in Chinese with English abstract)
- [19] He H, You C, Wu H, Zhu D, Yang R, He Q, Wu L. Effects of nursery tray and transplanting methods on rice yield[J]. *Agronomy Journal*, 2018, 110(1): 104.
- [20] 史鸿志, 朱德峰, 张玉屏, 向镜, 张义凯, 朱从桦, 武辉, 陈惠哲. 生物降解秧盘及播种量对机插水稻秧苗素质及产量的影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(24): 27-34.
- Shi H Z, Zhu D F, Zhang Y P, Xiang J, Zhang Y K, Zhu C Y, Wu H, Chen H Z. Effects of biodegradable seedling tray and sowing rate on seedling quality and yield of mechanical transplanting rice[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(24): 27-34. (in Chinese)
- [21] 郭长春, 孙知白, 孙永健, 殷尧翥, 武云霞, 唐源, 杨志远, 向开宏, 马均. 优质丰产杂交粳稻品种机直播产量构成及其群体质量研究[J]. 中国水稻科学, 2018, 32(5): 462-474.
- Guo C C, Sun Z B, Sun Y J, Y Y Z, Wu Y X, Tang Y, Yang Z Y, Xiang K H, Ma J. Study on yield formation and population quality of indica hybrid rice with good quality and high yield under mechanical direct seeding[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2018, 32(5): 462-474. (in Chinese with English abstract)
- [22] 沈建辉, 曹卫星, 朱庆森, 薛艳凤, 景启坚. 不同育秧方式对水稻机插秧苗素质的影响[J]. 南京农业大学学报, 2003, 26(3): 7-9.
- Shen J H, Cao W X, Zhu Q S, Xue Y F, Jing Q J. Effects of different seedling raising methods on rice seedling quality by mechanical transplanting[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2003, 26(3): 7-9. (in Chinese with English abstract)
- [23] 商庆银, 吕伟生, 曾勇军, 黄山, 杨秀霞, 谭雪明, 石庆华, 潘晓华. 分蘖肥不同施用时期对机插双季稻产量和群体发育的影响[J]. 江西农业大学学报, 2015, 37(1): 42-47.
- Shang Q Y, Lv W S, Zeng Y J, Huang S, Yang X X, Tan X M, Shi Q H, Pan X H. Effect of application of tillering fertilizer at different times on grain yield and population development of double-cropping rice under transplanting by machine[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2015, 37(1): 42-47. (in Chinese with English abstract)
- [24] 裴鹏刚, 张均华, 朱练峰, 胡志华, 金千瑜. 秸秆还田耦合施氮水平对水稻光合特性、氮素吸收及产量形成的影响[J]. 中国水稻科学, 2015, 29(3): 282-290.
- Pei P G, Zhang J H, Zhu L F, Hu Z H, Jin Q Y. Effects of straw returning coupled with N application on rice photosynthetic characteristics, nitrogen uptake and grain yield formation[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2015, 29(3): 282-290. (in Chinese with English abstract)
- [25] 张冬玲. 小麦穗粒数和千粒重的关联分析及冠层温度和叶绿素含量对产量的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014.
- Zhang D L. Study on association maoing of grain number and 1000-kernals weights and affection of canopy temperature/chlorophyll content on yield of wheat[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014. (in Chinese with English abstract)
- [26] 李江鹏, 刘海俊, 黄志午, 刘晓英, 尤杰, 徐志刚. 光谱对水稻灌浆期剑叶光合及叶绿素荧光特性的影响[J]. 中国农业科学, 2019, 52(16): 2768-2775.
- Li J P, Liu H J, Huang Z W, Liu X Y, You J, Xu Z G. Effects of spectral distribution on photosynthetic and chlorophyll fluorescence characteristics of flag leaves at grain filling stage in rice[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(16): 2768-2775. (in Chinese with English abstract)
- [27] 于林惠, 李刚华, 徐晶晶, 凌启鸿, 丁艳锋. 基于高产示范方的机插水稻群体特征研究[J]. 中国水稻科学, 2011, 26(4): 451-456.
- Yu L H, Li G H, Xu J J, Ling Q H, Ding Y F. Population characteristics of machine-transplanted japonica rice based on high-yield demonstration fields[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2011, 26(4): 451-456. (in Chinese with English abstract)
- [28] Chen J, Cao F, Yin X, Huang M, Zou Y. Yield performance of early-season rice cultivars grown in the late season of double-season crop production under machine-transplanted conditions[J/OL]. *PloS ONE*, 2019, 14(3): e0213075.
- [29] 杨玲. 寒地超高产水稻生育特性及产量构成因素分析[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2019.
- Yang L. Analysis on the growth characteristics and yield components of super high yielding rice in cold region [D]. Haerbin: Northeast Agricultural University, 2019. (in Chinese with English abstract)