



超级早稻钵形毯状秧苗机插效果及产量形成

陈惠哲, 徐一成, 张玉屏, 向镜, 张义凯, 朱德峰

(中国水稻研究所/水稻生物学国家重点实验室, 杭州 310006)

摘要:【目的】通过钵形毯状秧苗机插技术在双季超级早稻上机插应用,探究机插效果及对产量形成的影响,以期为我国水稻机械化种植技术发展提供参考。【方法】以常规超级早籼稻中早39、中嘉早17为试验材料,采用水稻钵形毯状秧盘(BT)和传统平盘(CK)培育秧苗,考察种子出苗、秧苗素质、根系形态及分布、机插效果、产量并比较差异。【结果】水稻钵形毯状秧盘与平盘育秧种子出苗率差异不显著;钵形毯状秧苗根系独立成钵状,56.03%的根系在底层钵碗内,上部根系比例43.97%,且白根多,根数比对照略少,但根长度、根表面积、根直径和根体积有所增加,而对照秧苗的下部根系比例37.86%,上部根系比例高达62.14%;从机插效果看,中早39和中嘉早17钵形毯状秧苗的机插断根率比平盘毯状秧苗分别降低了25.06%和14.24%,相同播种量下,2年重复试验中早39钵形毯状秧苗机插的漏秧率比对照分别下降了3.89%和1.67%,中嘉早17下降了2.22%和1.66%,另外翻秧、漂秧、伤秧比例较对照也有所减少;钵形毯状秧苗机插14 d后的秧苗叶重、茎鞘重、根重、地上部总重量和叶绿素含量均比对照明显增加,表明有利于促进秧苗早发生;产量比较,中早39钵形毯状秧苗机插比对照增产6.35%—7.66%,中嘉早17增产8.99%—10.87%,其中主要通过有效穗数增加实现增产,中早39和中嘉早17的钵形毯状秧苗机插处理有效穗数分别增加了2.14%—6.01%和4.76%—6.98%。【结论】水稻钵形毯状秧苗机插技术通过培育形成上钵下钵的钵形毯状秧苗,按钵取秧机插,有利于提高机插质量,减少机插漏秧率及伤根,促进秧苗早发,提高有效穗数,实现机插水稻高产。

关键词: 超级早稻; 钵形毯状秧苗; 机插水稻; 产量

Effect of Pot-Mat Seedling on the Quality of Machined Transplanting and Yield Formation of Super Early Rice

CHEN HuiZhe, XU YiCheng, ZHANG YuPing, XIANG Jing, ZHANG YiKai, ZHU DeFeng

(China National Rice Research Institute/State Key Laboratory of Rice Biology, Hangzhou 310006)

Abstract: 【Objective】Seedling raising in pot-mat tray was the key point of pot-mat seedling mechanized transplanting technology system. This technology was conducted in early rice season to study the effects of pot-mat seedling on mechanized transplanting quality and yield of super early rice. 【Method】In this study, the super early rice varieties Zhongzao39 and Zhongjiazao17 were sown in pot-mat seedling tray (BT) and traditional flat tray (CK), and then the seedling emergence rate, seedling quality, root morphology and distribution, transplanting quality and yield were investigated. 【Result】There were no significant differences of seedling emergence rate between pot-mat seedling and traditional flat-mat seedling. The root system of pot-mat seedling form bowl shape, and root surface area, root diameter and root volume increased compared with traditional mat seedling. 56.03% root of BT seedling was in the bottom bowl, and the upper root was 43.97%, while that of the control seedling

收稿日期: 2019-04-04; 接受日期: 2019-05-22

基金项目: 浙江省重点研发项目(2019C02017)、科技部科研院所技术开发研究专项(2013EG134237)、现代农业产业技术体系建设专项(CARS-01-26)、浙江省三农六方协作项目(2018SNLF003)

联系方式: 陈惠哲, E-mail: chenhuizhe@163.com。通信作者朱德峰, E-mail: cnrice@qq.com

was 37.86% at the bottom and the upper root was 62.14%. The root-cutting rate of Zhongzao 39 and Zhongjiazao 17 pot-mat seedlings were 25.06% and 14.24%, respectively, and lower than that of flat seedling. Under the same sowing, the seedling missing-transplanting rate of pot-mat seedling treatment decreased significantly, and Zhongzao39 decreased 1.67%-3.89%, Zhongjiazao17 decreased 1.66%-2.22%. Besides, the percentage of turnover seedling, floated and injured seedlings when seedling mechanized transplant decreased compared with that of the control. The plant height, and weight of leaves, stem, root, shoot and content of chlorophyll increased at 14 days after transplanting, indicating that it was helpful to promote the early emergence and rapid growth of seedlings. The grain yield of BT treatment was significantly higher than that of control, and the yield of Zhongzao 39 and Zhongjia Zao 17 increased by 6.35%-7.66% and 8.99%-10.87%, respectively. The increase in yield was mainly achieved by the increase in the number of effective panicles. The number of effective panicles treated by pot-mat seedlings machine transplanting of Zhongzao 39 and Zhongjiazao 17 increased by 2.14%-6.01% and 4.76%-6.98%, respectively. 【Conclusion】 Pot-mat seedling transplanting technology improved the quality of mechanical transplanting, reduced the missing-transplanting seedling rate and injury root rate of seedling. The technique could promote early emergence of tillers, increase the number of effective panicles, and achieve high yield.

Key words: super early rice; pot-mat seedling; machine transplanted rice; yield

0 引言

【研究意义】水稻机械化生产有利于提高劳动生产率,减轻劳动强度,降低成本,增加产量和收益,是我国稻作技术的发展方向^[1-2]。【前人研究进展】随着经济社会发展,农村劳动力转移及老龄化,传统手工插秧的种植方式已不适应我国现代稻作技术发展的需求。机插秧通过规格化集中育秧,并采用插秧机代替人工栽插秧苗,实现秧苗宽行窄株栽插,可保证种植密度,促进水稻高产群体构建,有利于水稻稳产高产^[3-5]。目前我国水稻生产机械化的瓶颈在种植环节,我国水稻机插秧主要采用毯状秧苗机插技术,存在着机插取秧不稳定、漏秧率高、伤秧严重、秧苗返青慢等问题,严重制约着机插高产高效。研究认为,与毯状秧苗机插技术比较,钵苗机插的物质生产能力强,抽穗后群体光合势衰减慢,增产效果明显^[6-7]。【本研究切入点】水稻钵形毯状秧苗机插针对传统毯苗机插存在的问题,通过研制钵形毯状秧盘,该秧盘底部由一组织横排列的钵碗组成,可培育形成上毯下钵的钵形毯状秧苗,利用普通插秧机按钵精确取秧,有助于解决取秧不稳定,漏秧率高,伤秧严重的问题,有利于提高机插水稻产量^[8-12],然而,该技术对南方超级稻秧苗的根系特征、机插效果和产量形成的影响仍不明确,限制其在南方稻区的进一步推广应用。【拟解决的关键问题】超级稻对保障我国粮食安全做出重要贡献^[13],本研究以我国南方大面积推广应用的超级早稻品种为材料,通过采用钵形毯状秧盘育秧,以普通平盘为对照,研究明确钵形毯状秧苗机插在南方早稻上的应用效果,以期为我国水稻机插秧技术发展和改

进提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2013—2014 年在中国水稻研究所富阳试验基地进行。参试水稻品种为常规超级早籼稻中早 39 (ZZ39) 和中嘉早 17 (ZJZ17), 由中国水稻研究所提供。秧盘选择用浙江三友塑业股份有限公司加工生产的水稻钵形毯状秧盘 BTY280-16 及普通机插平盘, 2 种秧盘内径规格均为长 58 cm, 宽 28 cm, 高 2.8 cm, 其中水稻钵形毯状秧盘内部在底部有一组织横排列凹穴, 底部形成上口径大于底径的类似钵碗形状, 秧盘的钵碗深度为 8 cm, 其秧盘平面及剖面示意图如图 1 所示, BTY280-16 内部横向钵碗数量为 16 钵, 纵向 36 钵, 每盘钵数为 576 钵。

1.2 试验处理

选择水稻钵形毯状秧盘 (BT) 育秧, 以传统机插平盘为对照 (CK), 采用中锦牌育秧全基质育秧。2 年试验均为 3 月 26 日播种, 4 月 26 日机插, 秧苗秧龄 30 d。选种、晒种, 用“浸种灵”杀菌防病浸种 48 h, 催芽露白后播种, 每盘播 80 g 干种, 种子出苗后统一水分管理。

机插试验田块肥力中等, 土质为黏性水稻土, 冬季休闲。用久保田 SPU-68C 高速插秧机机插, 机插前调节横向取秧 16 次, 与 BTY280-16 内部横向钵碗数对应, 纵向取秧档为第 7 档, 机插秧块大小基本与钵碗对应; 机插规格为行距 30 cm, 株距 12 cm。每处理机插面积 100 m² 以上, 3 次重复。大田肥水和

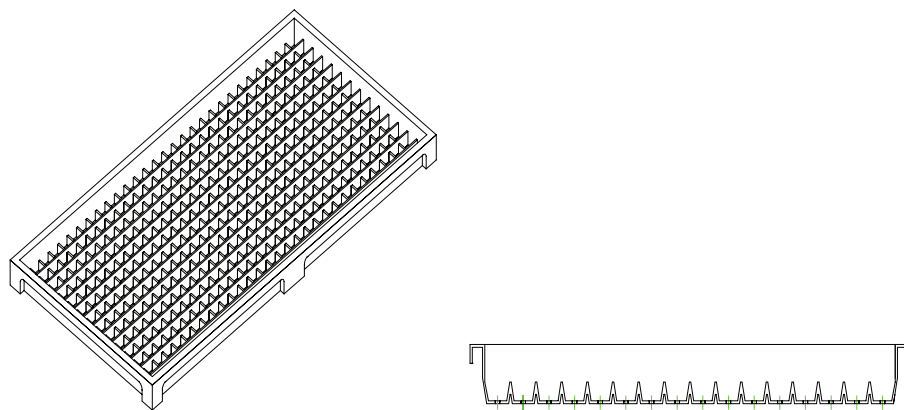


图 1 水稻钵形毯状秧盘平面图（左）和剖面图（右）

Fig. 1 Plan (left) and section (right) of rice pot-mat seedling tray

病虫害管理各处理一致，肥料总用量 $180 \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $45 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $112.5 \text{ kg K}_2\text{O} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。氮肥中基肥、分蘖肥和穗肥的比例分别为 50%、30%和 20%，氮肥为尿素，其中分蘖肥在机插后 7 d 内施用。磷肥为过磷酸钙，全部作基肥施用。钾肥为氯化钾，全部作穗肥施入。水分管理采用好气灌溉方法，早期浅水勤灌，在分蘖末期到幼穗分化前进行排水晒田，烤田按分次轻晒的方法进行，水稻孕穗至抽穗期采用间歇灌溉，以后经常灌跑马水，干干湿湿，保持根系活熟到老。水稻生长期适时进行病虫和杂草等管理，保持水稻植株生长发育正常。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 出苗率 出苗 5 d 后选择秧盘上具有代表性的区域调查出苗数，调查面积为 90 cm^2 ($15 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$)，5 次重复，计算成苗率。

1.3.2 秧苗素质 机插前取具代表性植株 30 株，测定秧苗株高、叶龄、根数、根长等，并将植株分离地上部与地下部， 105°C 下杀青 15 min， 80°C 下烘干至恒重，测定干物质重量，每个处理 3 次重复。

1.3.3 机插效果 机插后 1—2 d，每个小区选取代表点，调查 3 行，每行 40 丛，调查每丛机插苗数、伤秧数、翻秧数、漂秧数和漏插丛数。漏插指机插后插穴内无秧苗，伤秧指秧苗插后茎基部有折伤、刺伤和切断现象，漂秧指插后秧苗漂浮在水（泥）面，翻秧指秧苗倒于田中，叶梢部与泥面接触。根据数据统计基本苗数和漏秧率（Rl）、漂秧率（Rp）、伤秧率（Rs）和翻秧率（Rf）。其中漏秧率、漂秧率和伤秧率的计算公式如下：漏秧率（Rl）=缺株丛数/调查总丛数 $\times 100$ ；漂秧率（Rp）=漂秧株数/调查总株数 $\times 100$ ；伤

秧率（Rs）=伤秧株数/调查总株数 $\times 100$ ；翻秧率（Rf）=翻秧株数/调查总株数 $\times 100$ 。

1.3.4 断根率及秧苗根系形态 机插前各取不同处理的代表性秧苗 3 盘，用锋利的刀片模拟机插方法，钵形毯状秧苗，按钵形毯状秧盘钵体大小，每钵切块分割，平盘所育的毯状秧苗也按对应钵体大小切块分割，并清洗土壤中的根系，分类烘干称重，与秧苗不相连的根为断根，断根率=断根重/总根重 $\times 100$ ；另外，秧苗按钵切块后，根据钵碗深度（8 cm）横向切分，下部底层钵碗内的根系为下部根系，上部与秧苗一块的为上部根系，分别放入网袋清洗后烘干称重，计算上下部根系比例。机插后 1—2 d 取样检测秧苗根系形态，不同处理田间取样 10 丛代表秧苗，洗净后用根系扫描仪扫描，用根系分析软件 WinRHIZO PRO 2013 分析每株根长度、根表面积、根直径和根体积等。

1.3.5 生育期及茎蘖动态 记载每个小区的孕穗期、始穗期、齐穗期和成熟期等时期。秧苗机插后选取有代表性的 3 个点，至高峰苗前，每 7 d 定点考查秧苗分蘖数，每点考查 20 丛，穗数稳定后每 14 d 调查一次。

1.3.6 干物质量及秧苗生理指标 机插后 14 d，不同处理选取有代表性的 5 丛水稻植株，测定秧苗株高，将水稻植株的叶、茎鞘及根等分装，于 105°C 杀青， 80°C 烘干至恒重后称干重，每个处理 3 次重复；同时测定秧苗叶片的 MDA 含量、可溶性糖、叶绿素 a 和叶绿素 b、类胡萝卜素等生理指标。

1.3.7 产量及其构成 成熟期各处理调查有效穗，每小区查 30 丛，计算每丛平均穗数。以平均穗数为标准，

取有代表性的植株 3 丛，测定每穗粒数、结实率和千粒重，选 6 m² 实割，晒干换算成标准含水量后计算小区产量。

1.4 数据分析

采用 ExcelStat 实用统计分析软件，对试验数据进行分析 and 显著性测验，文中的表格数据为平均值。

2 结果

2.1 钵形毯状秧苗生长特性

2.1.1 不同秧盘对种子出苗率的影响 2014 年在种子出苗后 7 d，比较水稻钵形毯状秧盘与传统平盘育秧的种子出苗率（图 2），结果表明，参试的中早 39 和中嘉早 17 钵形毯状秧盘育秧的种子出苗率分别为 83.31%和 82.54%，虽然比相对应的对照出苗率 80.08%和 81.43%略高，但差异不显著，说明在基质早育秧条件下，不同秧盘对种子出苗影响不大。

2.1.2 秧苗素质及根系生长 在机插前比较钵形毯状秧盘与传统平盘育秧的秧苗素质差异（表 1），结果表明，中早 39 的钵形毯状秧苗的苗高、叶龄略大于对照，中嘉早 17 的趋势也基本一致，相同品种间不同

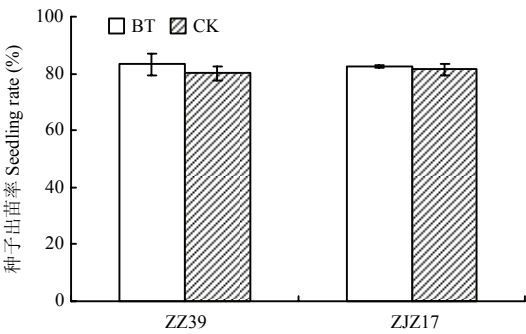


图 2 不同秧盘育秧对种子成苗的影响
Fig. 2 Effect of different seedling tray on seedling formation

秧盘所育秧苗在这 2 项指标上差异不显著；中早 39 地上部干重和根重略低于对照，但中嘉早 17 则高于对照，品种间存在差异，但秧盘间差异不显著；参试的 2 个品种根数均表现出钵形毯状秧苗少于对照，但根长则呈相反趋势，除中嘉早 17 不同秧盘的秧苗根长差异显著外，其他均差异不显著，这也说明钵形毯状秧盘育秧由于盘内钵体存在，秧盘内容形状改变，可能会影响根系生长。

表 1 水稻钵形毯状机插秧苗的秧苗素质（2014）

Table 1 The quality of pot-mat seedling and traditional flat-mat seedling (2014)

品种	处理	苗高	叶龄	地上部重	根重	根数	根长
Variety	Treatment	Seedling length (cm)	Leaf age	Leaf weight (mg/plant)	Root weight (mg/plant)	Root number (No./plant)	Root length (cm)
中早 39	BT	15.37±0.44a	3.49±0.04a	16.94±2.97a	5.55±0.34a	6.83±1.94a	6.75±0.99a
ZZ39	CK	14.56±0.21a	3.31±0.15a	17.86±3.49a	5.72±0.30a	7.67±1.75a	6.08±2.01a
中嘉早 17	BT	14.92±0.33a	3.33±0.17a	17.73±2.26a	5.12±0.52a	10.17±1.83a	4.85±1.05a
ZJZ17	CK	14.93±0.59a	3.22±0.12a	17.19±1.74a	4.97±0.67a	11.50±2.81a	3.90±1.35b

不同小写字母表示相同品种不同处理间差异达 5%显著水平。下同
Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level among different treatments in same cultivar. The same as below

进一步对不同秧盘所育的秧苗根系生长进行分析，结果表明，水稻钵形毯状秧苗的根系分布与对照平盘所育的秧苗存在较大差异，其中水稻钵形毯状秧苗有 56.03%的根系在底层的钵碗内，钵碗上部的根系比例仅为 43.97%，而对照则相反，其对应的下部根系比例为 37.86%，上部的根系比例则高达 62.14%，说明秧盘钵碗存在会影响根系生长及分布；通过根系扫描仪对不同处理的秧苗根系形态进行分析（表 2、图 3），中早 39 的 BT 处理每株根长度、根表面积、根直径和根体积分别为 29.23 cm/株、3.12 cm²/株、

0.35 mm 和 0.027 cm³/株，均高于对照的 28.50 cm/株、2.79 cm²/株、0.32 mm 和 0.022 cm³/株；中嘉早 17 也表现出相同趋势。表明钵形毯状秧苗的根系更为健壮，其秧苗根系独立成钵状，白根多，而普通平盘所育秧苗的根系盘结交错，根黄，老根多。

2.2 水稻钵形毯状秧苗的机插效果

机插质量是影响水稻产量的重要因素，对不同育秧方式所育的秧苗机插效果比较（表 3），研究表明，在相同播种量下，参试的 2 个水稻品种的钵形毯状秧盘育秧的漏秧率均有所下降，其中 2013 年中

早 39 和中嘉早 17 比对照处理的漏秧率分别降低 3.89%和 2.22%，2014 年比对照处理的漏秧率降低 1.67%和 1.66%。另外，比较机插后秧苗的翻秧、漂秧、伤秧等比例，基本上钵形毯状秧苗机插比对照也有所下降。说明水稻钵形毯状秧苗可提高机插效果，从而为机插稻产量提高奠定基础。

表 2 水稻钵形毯状机插秧苗的根系形态（2014）
Table 2 Root morphology of pot-mat seedling and traditional flat-mat seedling (2014)

品种	处理	根总长度	根表面积	根直径	根体积
Variety	Treatment	Root total length (cm/plant)	Root superficial area (cm ² /plant)	Root diameter (mm)	Root volume (cm ³ /plant)
中早 39	BT	29.23	3.12	0.35	0.027
ZZ39	CK	28.50	2.79	0.32	0.022
中嘉早 17	BT	25.05	2.82	0.37	0.026
ZJZ17	CK	24.40	2.54	0.33	0.021

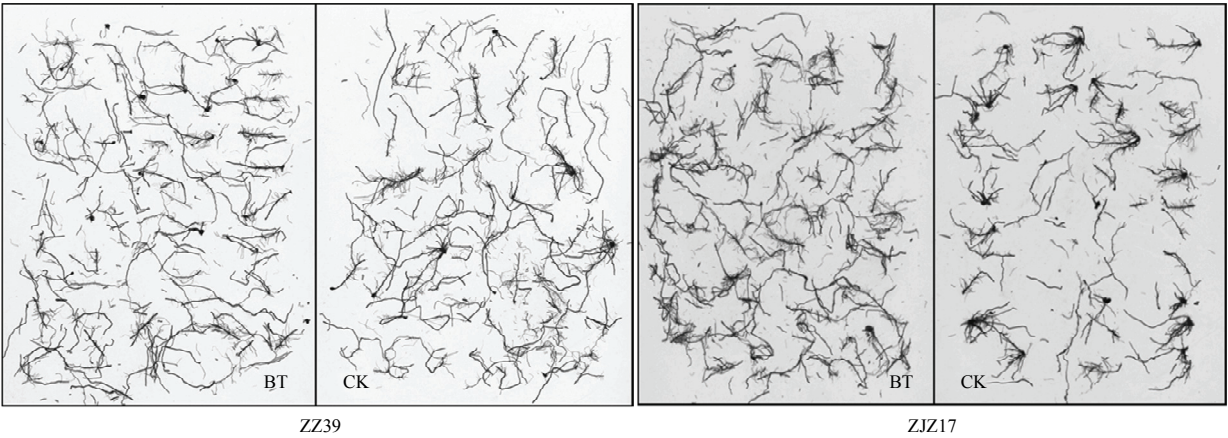


图 3 中早 39 和中嘉早 17 的秧苗根系形态
Fig. 3 Seedling root morphology of Zhongzao 39 and Zhongjia Zao17

表 3 水稻钵形毯状秧苗与传统毯状秧苗的机插效果
Table 3 The mechanized transplanting quality of pot-mat seedling and traditional flat-mat seedling

品种	年份	处理	株数	翻秧率	漂秧率	伤秧率	漏秧率
Variety	Year	Treatment	(No/hole)	Tilting seedling rate (%)	Floating seedling rate (%)	Injured seedling rate (%)	Lack of seedling rate (%)
中早 39	2013	BT	2.66a	1.14b	0.22b	0.67a	6.67b
ZZ39		CK	2.51b	2.60a	2.24a	0.99a	10.56a
	2014	BT	3.63a	0.91b	0.91a	0.23b	3.33b
		CK	3.47a	1.82a	1.14a	0.91a	5.00a
中嘉早 17	2013	BT	3.10a	0.75a	2.86a	0.97b	2.78b
ZJZ17		CK	2.83b	1.00a	2.83a	2.21a	5.00a
	2014	BT	3.57a	1.82a	0.23a	1.59a	4.17b
		CK	3.47a	0.91b	0.46a	1.59a	5.83a

同一品种相同年份内数据后不同小写字母表示处理间在 0.05 水平上差异显著。下同
Different lowercase letters indicate significant difference among treatments at 0.05 level. The same as below

采用钵形毯状秧盘育秧，秧苗的根大多数盘结在钵中，插秧机按钵苗取秧，可实现根系带土插秧，有利于降低伤根率。2014 年通过对 2 种秧苗机插的断秧率比较（图 4），中早 39 和中嘉早 17 水稻钵形毯状

秧苗机插的断根率为 22.27%和 25.37%，比对照处理的断根率 47.33%和 39.61% 分别降低 25.06%和 14.24%。这为机插秧苗返青和分蘖早发提供了条件。

2.3 秧苗返青及分蘖生长

比较机插后 14 d 不同处理的秧苗干物质量（表 4），结果表明，中早 39 单位面积内水稻钵形毯状秧苗机插处理的秧苗株高、叶重、茎鞘重、根重和地上部总重量分别为 18.30 cm、3.37 g·m⁻²、3.56 g·m⁻²、2.64 g·m⁻²和 6.93 g·m⁻²，除株高增加不明显外，叶重、茎鞘重、根重和地上部总重量分别比对照高出 56.0%、50.2%、10.0%和 51.0%；中嘉早 17 除了株高和叶重外，钵形毯状秧苗机插处理的茎鞘重、根重和地上部总重量也比对照处理要高，表明水稻钵形毯状秧苗机插有利于秧苗早发，促进生长。

表 4 机插后 14 d 不同处理的水稻秧苗干物质量（2014）

Table 4 Biomass of rice seedlings at two weeks after transplanting (2014)

品种	处理	株高	叶重	茎鞘重	根重	地上部总重
Variety	Treatment	Plant height (cm)	Leaf weight (g·m ⁻²)	Stem-sheath weight (g·m ⁻²)	Root weight (g·m ⁻²)	Shoot weight (g·m ⁻²)
中早 39	BT	18.30a	3.37a	3.56a	2.64a	6.93a
ZZ39	CK	18.10a	2.16b	2.37b	2.40b	4.53b
中嘉早 17	BT	19.53a	2.91a	3.27a	2.74a	6.18a
ZJZ17	CK	19.56a	2.91a	2.97b	2.28b	5.88b

通过对机插后 14 d 不同处理的水稻秧苗的 MDA 含量、可溶性糖、叶绿素 a 和叶绿素 b、类胡萝卜素等生理指标进行测定，结果表明，除中早 39 钵形毯状

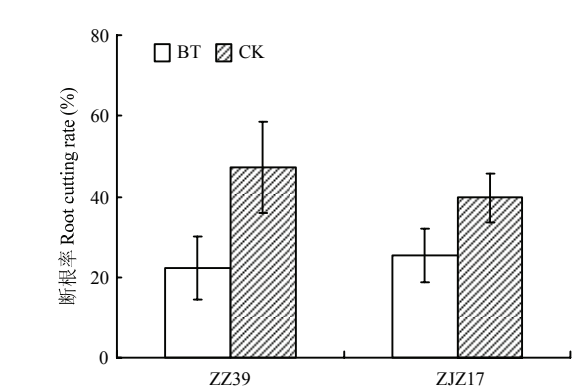


图 4 钵形毯状秧苗机插断根率（2014）

Fig. 4 Root cutting rate of pot-mat seedling and traditional flat-mat seedling (2014)

秧苗机插水稻可溶性糖低于对照外，其他均表现出钵形毯状秧苗机插处理高于对照（表 5），这也进一步验证了钵形毯状秧苗机插处理有利于促进秧苗早发。

表 5 机插 14 d 后不同处理的水稻秧苗生理指标（2014）

Table 5 The physiological characteristics of rice seedlings at two weeks after transplanting (2014)

品种	处理	MDA 含量	可溶性糖	叶绿素 a	叶绿素 b	类胡萝卜素
Variety	Treatment	MDA content	Soluble-glucide content (mg·g ⁻¹)	Chl a (mg·g ⁻¹)	Chl b (mg·g ⁻¹)	Carotenoid content (mg·g ⁻¹)
中早 39	BT	16.75±0.17	22.26±1.09	1467.1±29.0	449.8±26.7	556.0±21.5
ZZ39	CK	15.32±0.02	26.51±0.76	1417.9±25.1	410.7±14.5	540.1±9.4
中嘉早 17	BT	23.58±1.83	32.55±1.66	1597.7±12.0	595.2±21.8	635.9±7.2
ZJZ17	CK	18.49±0.73	26.63±1.54	1485.4±51.2	461.8±32.1	552.7±21.0

数据后系标准差（±SD） It is the standard deviation after the data (±SD)

比较不同处理的分蘖动态及成穗率，参试的中早 39 和中嘉早 17 的钵形毯状秧苗机插后茎蘖数高于对照处理（图 5），中早 39 在机插后 42 d 茎蘖数达到最高值 11.0 株/丛，比对照处理高 0.7 株/丛，中嘉早 17 最大茎蘖数在插后 49 d，为 11.45 株/丛，比对照处理的

10.3 株/丛高出 1.15 株/丛；比较成穗率则表现为对照高于钵形毯状秧苗机插处理，中早 39 和中嘉早 17 的钵形毯状秧苗机插处理分别为 73.91%、71.00%，分别比相应对照的 77.28%、73.79%低 3.37%和 2.79%，从而参试 2 个品种的有效穗数均表现为钵形毯状秧苗机插高于对照。

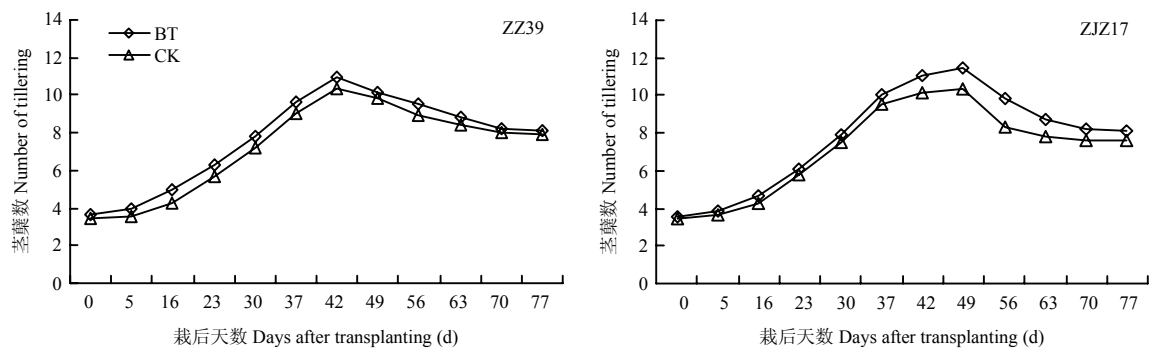


图5 中早 39 和中嘉早 17 不同处理的水稻茎蘖动态 (2014)
Fig. 5 Tilling dynamics of Zhongzao 39 and Zhongjia Zao17 (2014)

2.4 产量与产量构成因子

比较水稻钵形毯状秧苗机插和对照的水稻产量 (表 6), 2013 年和 2014 年中早 39 分别增产 7.66% 和 6.35%, 中嘉早 17 分别增产 10.87% 和 8.99%, 不同处理间产量差异均达显著水平; 分析不同处理的产量构成因子, 其中中早 39 和中嘉早 17 2 年的有效穗数和穗粒数均表现为钵形毯状秧苗机插处理高于对照, 而结实率及千粒重在品种及年度间有较大差异, 规律

不明显, 说明水稻钵形毯状秧苗机插主要通过增加有效穗数实现增产。钵形毯状秧苗机插的有效穗数与对照比较, 2013 年和 2014 年中早 39 分别增加了 6.01% 和 2.14%, 中嘉早 17 分别增加了 4.76% 和 6.98%, 除了 2014 年中早 39 品种外, 其他均表现出钵形毯状秧苗机插处理的有效穗数与对照有显著差异; 钵形毯状秧苗机插的穗粒数虽然增加, 但处理间大多差异不显著。

表 6 水稻钵形毯状秧苗机插的产量及构成因子

Table 6 Yield and yield components of pot-mat seedling and traditional flat-mat seedling treatments							
品种	年份	处理	有效穗	穗粒数	结实率	千粒重	产量
Variety	Year	Treatment	Panicle number ($\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$)	Grain number per panicle	Filled grains rate (%)	1000-grain weight (g)	Yield ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
中早 39 ZZ39	2013	BT	289.50a	131.55a	78.73a	25.70a	7605.60a
		CK	273.08b	124.06a	79.22a	25.89a	7064.60b
	2014	BT	225.95a	151.04a	83.75a	25.77a	7289.94a
		CK	221.22a	144.33a	83.40a	25.74a	6854.87b
中嘉早 17 ZJZ17	2013	BT	240.86a	161.97a	77.17a	25.29a	7533.8a
		CK	229.91b	154.94a	76.53a	25.22a	6795.4b
	2014	BT	225.95a	182.63a	77.12a	25.51a	7961.14a
		CK	211.22b	172.63b	77.55a	25.62a	7304.66b

同一品种相同年份内数据后不同小写字母表示处理间在 0.05 水平上差异显著
Different lowercase letters indicate significant difference among treatments at 0.05 level

3 讨论

3.1 钵形毯状秧盘及机插水稻秧苗的根系特征

机插秧技术是水稻机械化、集约化、规模化及产业化的重要途径, 是水稻栽插方式发展的主要方向^[14-15]。机插秧育秧要求高, 培育高标准高素质的水稻秧苗是机插秧高产的关键, 已有研究表明, 降低播

种量可显著提高秧苗素质, 但低播量下秧块成毯性差, 机插漏秧率高, 大田基本苗不足, 不利于实现机插水稻高产^[16-18]。通过农艺农机结合, 改进秧盘结构, 来提高秧苗素质及机插效果是一种途径。传统水稻机插采用平盘培育毯状机插秧苗, 由于秧苗根系相互交错生长, 机插伤秧伤根多, 缓苗期长, 不利于机插水稻产量潜力的发挥, 采用钵形毯状秧盘育秧, 培育具有

上毯下钵体状的水稻机插秧苗，其根系大多数盘结在钵中，插秧机按钵苗取秧，实现根系带土插秧，伤秧和伤根率低。研究表明，钵形毯状秧盘育秧的种子出苗率、苗高、叶龄比普通平盘略高，而根数则表现出钵形毯状秧苗少于普通平盘，但根长、根直径、根体积等均有所增加；不同部位分析，水稻钵形毯状秧苗的根系分布与对照平盘所育的秧苗存在较大差异，其中水稻钵形毯状秧苗有 56.03% 的根系在底层的钵碗内，钵碗上部的根系比例仅为 43.97%，而对照则相反，其对应的底层根系比例为 37.86%，而上部的根系比例则高达 62.14%，说明钵形毯状秧盘育秧由于盘内钵体存在，秧盘内部形状改变，会影响根系生长及分布，秧苗根系如何合理分布对机插稻产量有优势，还需要进一步研究明确，一般来说，由于插秧机机插切块取秧对底部钵内根系损伤极少，下部底层钵碗中根系越多，可以减少伤根，从而有利于秧苗返青。由于秧盘底部的钵体结构，秧苗根系生长受到影响，在钵体中往往只有秧苗的几条主根系，导致秧盘的盘结力差，容易断秧，给起秧、卷秧等工作带来困难^[19]，因此，需要通过合理措施培育壮秧，提高秧苗根系盘结能力，方便起秧机插^[20-21]。

3.2 水稻钵形毯状秧苗的机插效果

机插质量是影响水稻产量的重要因素，育秧环境、基质类型、秧苗秧龄、耕作方式等对机插质量均有影响^[22-24]，另外，插秧机通过机械对毯状秧苗切块取秧移栽，在取秧和栽插的过程中会对秧苗造成无法避免的损伤，导致秧苗机插后会有一定时间的生长停滞。研究表明，钵形毯状秧盘所育水稻秧苗的根系独立成钵状，白根多，而普通平盘所育秧苗的根系盘结交错，根黄，老根多，其结果与前人一致^[25]；中早 39 和中嘉早 17 水稻钵形毯状秧苗机插的断根率比对照 47.33% 和 39.61% 分别降低了 25.06% 和 14.24%，这与之之前的研究结果相符^[8]，伤根少也为机插秧苗返青和分蘖早发提供了条件。

漏秧率是衡量机插质量的一项重要指标，虽然水稻有较强的群体调节能力^[26]，但一般认为机插秧苗漏秧率高于 5%，会严重影响水稻产量。研究表明，机插秧播种量与基本苗间呈极显著线性正相关，而与漏秧率间呈极显著线性负相关，随着播种量增加，每丛的机插苗数增加，漏秧率有明显的降低趋势^[27-28]；播种量低虽有利于秧苗素质提高，但根系盘结力小，不利于秧块成毯，影响机插质量，同时基本苗不足，最终影响机插水稻产量。研究表明，在相同播种量下，

钵形毯状秧盘育秧的漏秧率比平盘育秧均有所下降，同时，翻秧、漂秧、伤秧等比例也有所下降，说明水稻钵形毯状秧苗，可提高机插效果，从而为机插稻产量提高奠定基础。但陈川等^[20]也提出，采用钵体毯式秧盘育秧，由于采用的是传统播种方式，水稻种子均匀分布盘土表面（含在两钵碗之间表面），会造成机械插秧时秧苗伤根、断秧、漏插等现象发生，因此，通过在钵体毯式秧盘上用压穴模具压盘土，与秧盘底部钵碗对应精准穴播，可有效降低秧针植伤秧苗，减少秧苗漏插现象发生。

3.3 钵形毯状秧苗机插的产量表现

传统平盘毯状秧苗机插存在着秧苗素质差、秧龄弹性小，易超秧龄、移栽伤重、返青期长等问题，限制了机插稻产量潜力发挥及技术推广应用^[29-31]。机插育秧方法及栽植模式的创新对促进我国稻作技术转型具有重要作用，水稻钵形毯状秧苗机插技术结合了毯苗机插及钵苗移栽的优势，有利于水稻产量提高。本研究在超级早稻中早 39 和中嘉早 17 上采用钵形毯状秧苗机插，2 年试验结果中早 39 分别比对照增产 7.66% 和 6.35%，中嘉早 17 分别增产 10.87% 和 8.99%，不同处理间产量差异达显著水平，结果与他人研究基本一致^[8-12,20-21]，其中钵形毯状秧苗机插主要提高了有效穗数和每穗总粒数，通过对机插后 14 d 的秧苗干物质量等测定，水稻钵形毯状秧苗机插的秧苗株高、叶重、茎鞘重、根重和地上部总重量比平盘毯苗机插处理有明显增加，说明水稻钵形毯状秧苗机插有利于早发，促进分蘖生长，从而提高有效穗数，这可能是其增产的主要因素。另外，在保持群体穗数优势的前提下，还需要通过适宜的栽培措施，促进大穗形成，协调出足够的群体颖花量，并保持正常的结实率与粒重，从而形成合理的高产结构，实现机插高产^[32-33]。

4 结论

水稻钵形毯状秧苗机插通过培育形成上毯下钵的钵形毯状秧苗，利用普通插秧机，按钵精确取秧，是水稻机插方法的创新。该技术在超级早稻中早 39 和中嘉早 17 上应用表明，其种子出苗率与平盘育秧差异不显著；但其秧苗根系独立成钵状，白根多；参试两品种的机插断根率比平盘毯状秧苗分别下降了 25.06% 和 14.24%，相同播种量下，中早 39 钵形毯状秧苗机插的漏秧率比对照 2 年分别下降了 3.89% 和 1.67%，中嘉早 17 分别下降了 2.22% 和 1.66%，另外翻秧、漂

秧、伤秧比例较对照也有所减少;从而有利于促进秧苗早发生长;产量上,中早 39 钵形毯状秧苗机插处理比对照 2 年分别增产 7.66%和 6.35%,中嘉早 17 分别增产 10.87%和 8.99%,其中有效穗数中早 39 和中嘉早 17 分别增加了 2.14%—6.01%和 4.76%—6.98%,表明主要通过有效穗数增加实现增产。

References

- [1] 白人朴. 关于水稻生产机械化技术路线选择的几个问题. 中国农机化学报, 2011(1): 15-18.
BAI R P. Several issues on the route choice of mechanization of rice production technology. *Chinese Agricultural Mechanization*, 2011(1): 15-18. (in Chinese)
- [2] 朱德峰, 陈惠哲. 水稻机插秧技术发展及粮食安全. 中国稻米, 2009, 92(6): 4-7
ZHU D F, CHEN H Z. Food security and development of rice mechanized transplanting technology in China. *China Rice*, 2009, 92(6): 4-7. (in Chinese)
- [3] 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. 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. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(7): 1273-1289. (in Chinese)
- [4] 朱德峰, 张玉屏, 陈惠哲, 向镜, 张义凯. 中国水稻高产栽培技术创新与实践. 中国农业科学, 2015, 48(17): 3404-3414.
ZHU D F, ZHANG Y P, CHEN H Z, XIANG J, ZHANG Y K. Innovation and practice of high-yield rice cultivation technology in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(17): 3404-3414. (in Chinese)
- [5] 张洪程. 水稻机械化精简化高产栽培. 北京: 中国农业出版社, 2016.
ZHANG H C. *Mechanizing, Sinplified and High-Yielding Cuitivation of Rice*. Beijing: China Agriculture Press, 2016. (in Chinese)
- [6] 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. 作物学报, 2014, 40(1): 122-133.
ZHU C C, ZHANG H C, GUO B W, CAO L Q, JIANG F, GE M J, HUA J, SONG Y S, ZHOU X T, HUO Z Y, XU K, 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. *Acta Agronomica Sinica*, 2014, 40(1): 122-133. (in Chinese)
- [7] 张洪程, 朱聪聪, 霍中洋, 许轲, 蒋晓鸿, 陈厚存, 高尚勤, 李德剑, 赵成美, 戴其根, 魏海燕, 郭保卫. 钵苗机插水稻产量形成优势及主要生理生态特点. 农业工程学报, 2013, 29(21): 50-59.
ZHANG H C, ZHU C C, HUO Z Y, XU K, JIANG X H, CHEN H C, GAO S Q, LI D J, ZHAO C M, DAI Q G, WEI H Y, GUO B W. Advantages of yield formation and main characteristics of physiological and ecological in rice with nutrition bowl mechanical transplanting. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(21): 50-59. (in Chinese)
- [8] 陈惠哲, 朱德峰, 徐一成. 水稻钵形毯状秧苗机插技术及应用效果. 中国稻米, 2009(3): 5-7.
CHEN H Z, ZHU D F, XU Y C. Mechanized planting technology of rice bowl-shaped blanket seedling and application effect. *China Rice*, 2009(3): 5-7. (in Chinese)
- [9] 范玉宝, 张子军, 杜新东, 郎宏伟, 刘明贵, 王延洪. 钵体毯式苗机插技术及应用效果. 北方水稻, 2012, 42(1): 42-44.
FAN Y B, ZHANG Z J, DU X D, LANG H W, LIU M G, WANG Y H. Transplanting techniques and application effect on rice pot-mat seedling. *North Rice*, 2012, 42(1): 42-44. (in Chinese)
- [10] 柴楠, 任淑娟, 高向达. 寒地水稻钵体毯式育秧播种密度试验总结. 北方水稻, 2012, 42(4): 29-30, 46.
CHAI N, REN S J, GAO X D. Summary on the experiment of planting density by pot-mat seedling in cold area. *North Rice*, 2012, 42(4): 29-30, 46. (in Chinese)
- [11] 李文琴, 刘浩, 陈惠哲, 高增尚, 于福安, 朱德峰. 水稻钵形毯状秧苗机插技术在天津的应用效果及关键技术. 中国稻米, 2013, 19(4): 118-120.
LI W Q, LIU H, CHEN H Z, GAO Z S, YU F A, ZHU D F. Mechanized planting technology and application effect of rice pot-mat seedling in Tianjin. *China Rice*, 2013, 19(4): 118-120. (in Chinese)
- [12] 文孝荣, 王奉斌, 袁杰, 唐福森, 赵志强, 张燕红, 朱德峰, 陈惠哲, 徐一成. 钵形毯状秧苗机插技术在新疆的应用效果初探. 中国稻米, 2017, 23(6): 114-116.
WENG X R, WANG F B, YUAN J, TANG F S, ZHAO Z Q, ZHANG Y H, ZHU D F, CHEN H Z, XU Y C. Application effects of mechanical planting technique of bowl-blanket rice seedling in Xinjiang. *China Rice*, 2017, 23(6): 114-116. (in Chinese)
- [13] TANG L, XU Z J, CHEN W F. Advances and prospects of super rice breeding in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 2017, 16(5): 984-991.
- [14] 张文毅, 袁钊和, 吴崇友, 金梅. 水稻种植机械化进程分析研究-水稻种植机械化由快速向高速发展的进程. 中国农机化, 2011(1):

- 19-22.
- ZHANG W Y, YUAN Z H, WU C Y, JIN M. Research on the process of rice planting mechanization-Process of rice planting mechanization developing fastly to rapidly. *Chinese Agricultural Mechanization*, 2011(1): 19-22. (in Chinese)
- [15] 李刚华, 刘正辉, 唐设, 丁承强, 王绍华, 凌启鸿, 丁艳锋. 南方水稻机插现状与发展分析. *中国稻米*, 2015, 21(5): 7-12.
- LI G H, LIU Z H, TANG S, DING C Q, WANG S H, LING Q H, DING Y F. Present situation and development analysis of machine transplanting rice in southern China. *China Rice*, 2015, 21(5): 7-12. (in Chinese)
- [16] 胡剑锋, 杨波, 周伟, 张培培, 张强, 李培程, 任万军, 杨文钰. 播种方式和播种密度对杂交籼稻机插秧节本增效的研究. *中国水稻科学*, 2017, 31(1): 81-90.
- HU J F, YANG B, ZHOU W, ZHANG P P, ZHANG Q, LI P C, REN W J, YANG W Y. Effect of seeding method and density on the benefit of mechanical transplanting in *indica* hybrid rice. *Chinese Journal of Rice Science*, 2017, 31(1): 81-90. (in Chinese)
- [17] 李泽华, 马旭, 谢俊锋, 陈国锐, 郑志雄, 谭永忻, 黄益强. 双季稻区杂交稻机插秧低播量精密育秧试验. *农业工程学报*, 2014, 30(6): 17-27.
- LI Z H, MA X, XIE J F, CHEN G R, ZHENG Z X, TAN Y X, HUANG Y Q. Experiment on precision seedling raising and mechanized transplanting of hybrid rice under low sowing rate in double cropping area. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(6): 17-27. (in Chinese)
- [18] 徐一成, 朱德峰, 赵匀, 陈惠哲. 超级稻精量条播与撒播育秧对秧苗素质及机插效果的影响. *农业工程学报*, 2009, 25(1): 99-103.
- XU Y C, ZHU D F, ZHAO Y, CHEN H Z. Effects of broadcast sowing and precision drilling of super rice seed on seedling quality and effectiveness of mechanized transplanting. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009, 25(1): 99-103. (in Chinese)
- [19] 易子豪, 朱德峰, 朱从桦, 张玉屏, 向镜, 陈惠哲. 不同规格大钵育秧盘育秧对水稻秧苗生长和产量的影响. *中国农机化学报*, 2018, 39(10): 18-21.
- YI Z H, ZHU D F, ZHU C H, ZHANG Y P, XIANG J, CHEN H Z. Effects of big bowl seedling tray with different specifications on seedling growth and yield of rice. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2018, 39(10): 18-21. (in Chinese)
- [20] 陈川, 邵文奇, 钟平, 纪力, 庄春, 张凯迪. 不同拌种剂对钵形毯状秧盘秧苗素质的影响. *上海农业学报*, 2014, 30(6): 78-82.
- CHEN C, SHAO W Q, ZHONG P, JI L, ZHUANG C, ZHANG K D. Effects of seed-dressing agents on quality of rice seedlings on trays. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2014, 30(6): 78-82. (in Chinese)
- [21] 仲凤翔, 常春, 何永垠, 吴和生, 薛根祥, 王国平, 郇微微. 不同盘土厚度对钵形毯状秧盘育秧效果及产量的影响. *中国稻米*, 2017, 23(5): 89-91.
- ZHONG F X, CHANG C, HE Y Y, WU H S, XUE G X, WANG G P, GAO W W. Effects of different disc soil thickness on seedling quality and yield of bowl-shaped blanket rice seedling raising. *China Rice*, 2017, 23(5): 89-91. (in Chinese)
- [22] 张均华, 林育炯, 黄洁, 白志刚, SAJID H, 朱练峰, 曹小闯, 金千瑜. 基质类型及烯效唑对不同秧龄晚稻机插质量和产量的影响. *农业工程学报*, 2018, 34(1): 44-52.
- ZHANG J H, LIN Y J, HUANG J, BAI Z G, SAJID H, ZHU L F, CAO X C, JIN Q Y. Effects of substrate types and uniconazole on mechanized transplanting qualities and grain yield for late rice with different seedling ages. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(1): 44-52. (in Chinese)
- [23] 赵敏, 钟晓媛, 田青兰, 刘波, 孙红, 胡慧, 杨云洁, 任万军. 育秧环境与秧龄对杂交籼稻秧苗生长及机插质量的影响. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2015, 41(5): 537-546.
- ZHAO M, ZHONG X Y, TIAN Q L, LIU B, SUN H, HU H, YANG Y J, REN W J. Effects of environment and seedling age on growth and transplanting quality of hybrid *indica* rice seedling. *Journal of Zhejiang University(Agriculture and Life Sciences)*, 2015, 41(5): 537-546. (in Chinese)
- [24] 陈惠哲, 向镜, 徐一成, 林贤青, 张玉屏, 朱德峰. 水稻免耕机插质量、生长特性及产量形成. *中国水稻科学*, 2013, 27(6): 610-616.
- CHEN H Z, XIANG J, XU Y C, LIN X Q, ZHANG Y P, ZHU D F. Effect of no-tillage on the quality of machine transplanting, growth and grain yield of rice. *Chinese Journal of Rice Science*, 2013, 27(6): 610-616. (in Chinese)
- [25] 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. *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 H, WU H, CHEN H Z. Effects of biodegradable seedling tray and sowing rate on seedling quality and yield of mechanical transplanting rice. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(24): 27-34. (in Chinese)
- [26] 李冬霞, 溲溲, 廖学群. 水稻不同节位和数量分蘖对经济产量的作用. *西南农业大学学报*, 2006, 28(3): 366-372.
- LI D X, WEI M, LIAO X Q. Effects of tillering position and tiller number on economic yield of paddy rice. *Journal of Southwest Agricultural University*, 2006, 28(3): 366-372. (in Chinese)

- [27] 于林惠, 丁艳锋, 薛艳凤, 凌启鸿, 袁钊和. 水稻机插秧田间育秧秧苗素质影响因素研究. 农业工程学报, 2006, 22(3): 73-78.
- YU L H, DING Y F, XUE Y F, LING Q H, YUAN Z H. Factors affecting rice seedling quality of mechanical transplanting rice. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 22(3): 73-78. (in Chinese)
- [28] 沈建辉, 邵文娟, 张祖建, 景启坚, 杨建昌, 陈文林, 朱庆森. 苗床落谷密度、施肥量和秧龄对机插稻苗质及产量的影响. 作物学报, 2006, 32(3): 402-409.
- SHEN J H, SHAO W J, ZHANG Z J, JING Q J, YANG J C, CHEN W L, ZHU Q S. Effects of sowing density, fertilizer amount in seedbed and seedling age on seedling quality and grain yield in paddy field for mechanical transplanting rice. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32(3): 402-409. (in Chinese)
- [29] 胡雅杰, 钱海军, 曹伟伟, 邢志鹏, 张洪程, 戴其根, 霍中洋, 许轲, 魏海燕, 郭保卫. 机插方式和密度对不同穗型水稻品种产量及其构成的影响. 中国水稻科学, 2016, 30(5): 493-506.
- HU Y J, QIAN H J, CAO W W, XING Z P, ZHANG H C, DAI Q G, HUO Z Y, XU K, WEI H Y, GUO B W. Effect of different mechanical transplantation methods and density on yield and its components of different panicle-typed rice. *Chinese Journal of Rice Science*, 2016, 30(5): 493-506. (in Chinese)
- [30] LIU Q H, WU X, MA J Q, CHEN B C, XIN C Y. Effects of delaying transplanting on agronomic traits and grain yield of rice under mechanical transplantation pattern. *PLoS ONE*, 2015, 10(4): e0123330.
- [31] LIU Q H, ZHOU X B, LI J L, XIN C Y. Effects of seedling age and cultivation density on agronomic characteristics and grain yield of mechanically transplanted rice, *Scientific Reports*, 2017, 7: 14072.
- [32] 张洪程, 赵品恒, 孙菊英, 吴桂成, 徐军, 端木银熙, 戴其根, 霍中洋, 许轲, 魏海燕. 机插杂交粳稻超高产形成群体特征. 农业工程学报, 2012, 28(2): 39-44.
- ZHANG H C, ZHAO P H, SUN J Y, WU G C, XU J, DUANMU Y X, DAI Q G, HUO Z Y, XU K, WEI H Y. Population characteristics of super high yield formation of mechanical transplanted japonica hybrid rice. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(2):39-44. (in Chinese)
- [33] 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. 中国水稻科学, 2012, 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. *Chinese Journal of Rice Science*, 2012, 26(4): 451-456. (in Chinese)

(责任编辑 杨鑫浩)