

文章编号: 1672-3317(2023)04-0015-07

# 不同穗型品种与移栽密度对再生稻产量形成的影响

邹丹<sup>1</sup>, 唐启源<sup>2\*</sup>, 刘龙生<sup>1\*</sup>, 毛瑞清<sup>1</sup>, 郑华斌<sup>2</sup>, 旷娜<sup>3</sup>, 张明<sup>1</sup>, 刘虹<sup>4</sup>

(1.衡阳市农业科学院, 湖南 衡阳 421200; 2.湖南农业大学 农学院, 长沙 410128;

3.湖南省水稻研究所, 长沙 410128; 4.攸县农业农村局, 湖南 株洲 412300)

**摘要:**【目的】探究不同移栽密度与穗型品种对再生稻产量形成的影响。【方法】采用两因素裂区试验设计, 以移栽密度为主区(D1: 15万穴/hm<sup>2</sup>、D2: 18.75万穴/hm<sup>2</sup>、D3: 22.5万穴/hm<sup>2</sup>、D4: 26.25万穴/hm<sup>2</sup>、D5: 30万穴/hm<sup>2</sup>、D6: 33.75万穴/hm<sup>2</sup>), 品种为副区(TYHZ: 多穗型品种天优华占、HLY898: 穗粒数兼顾型品种徽两优898、YLY900: 大穗型品种Y两优900)。【结果】品种类型和移栽密度对头季产量构成及周年产量均有显著影响, 但不存在显著性交互作用。穗粒数兼顾型品种HLY898头季产量最高, 产量因子之间协调能力强, 结实率高, 周年产量也最高, 其次是多穗型品种TYHZ, 头季分蘖能力强, 成穗率高, 有效穗数足, 头季和周年产量均显著高于大穗型品种YLY900。大穗型品种YLY900头季群体生长速率快, 穗粒数高, 但是分蘖能力差, 成穗率低, 收获指数低, 导致头季产量和周年产量均最低, 显著低于其他类型品种。移栽密度以D5处理最佳, 其头季和周年产量均最高, 分蘖速度快, 数量多, 显著增加了头季有效穗数, 提高了头季库容量、群体生长速率和干物质积累量, 头季产量较其他处理显著增产, 周年产量显著高于D1处理和D6处理。【结论】再生稻应选择穗粒数兼顾型和多穗型品种, 依靠其分蘖成穗能力取得高产, 移栽密度选择30万穴/hm<sup>2</sup>, 此模式下, 头季分蘖能力强, 群体生长速率快, 库容量大, 周年产量最高。

**关键词:** 移栽密度; 品种类型; 再生稻; 产量; 干物质

中图分类号: S274

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022529

OSID: 

邹丹, 唐启源, 刘龙生, 等. 不同穗型品种与移栽密度对再生稻产量形成的影响[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(4): 15-21.  
ZOU Dan, TANG Qiyuan, LIU Longsheng, et al. Effect of Transplanting Density on Yield Formation of Different Panicle-typed Varieties in Ratoon Rice Production[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(4): 15-21.

## 0 引言

【研究意义】水稻是世界主要粮食作物之一, 世界上超过30亿人口以大米为主食<sup>[1]</sup>。由于人口增长, 在确保耕地面积不减少的前提下, 保持水稻年增产率方能保障口粮, 据统计, 到2030年, 中国水稻需要增产20%方能实现供给自足<sup>[2]</sup>。粮食增产主要有2个途径, 一靠增加耕地面积, 二靠提高单位面积产量<sup>[3]</sup>。我国耕地面积已趋极限, 上升空间有限, 水稻单产也面临瓶颈, 单产虽在增加, 但是增产幅度趋缓, 通过大水、大肥和大量农药来取得高产的模式已成为过去<sup>[4]</sup>。在耕地面积持续减少, 水稻播种面积比例下降的情况下, 提高收获频次是一种更加环保和可行的增产方式<sup>[5]</sup>。再生稻最大的特点为1次播种, 2次收获, 能提高收获频

次, 是实现粮食增产的重要途径。与普通的水稻生产相比, 再生稻具有诸多优势, 如增产保收、节本增效、生态环保、米质更优等特点, 其次还能节约劳力, 有利于规模化及种植大户合理安排生产条件。再生稻作为一种轻省、绿色、高效的水稻种植模式, 其应用推广对于水稻生产的转型和升级具有重大意义。

【研究进展】头季是再生稻的基础, 也是产量的主要组成部分, 但是学者们多把眼光聚焦在再生季, 对于头季的关注不够。张俊等<sup>[6]</sup>研究了头季秸秆还田对再生稻的影响, 创新集成了适用于江南双季稻区再生稻机械化栽培新模式。张朝胜等<sup>[7]</sup>研究了再生稻品种筛选, 筛选出2种不同生育期类型的再生稻品种, 甬优1540可作为迟熟类型再生稻品种, 甬优4901可作为早熟再生稻品种。旷娜等<sup>[8]</sup>研究了不同地区再生季米质的差异, 得出再生季齐穗后温光条件与稻米胶稠度、糊化特性以及淀粉热性能和相对结晶度具有显著相关性。李亚贞等<sup>[9]</sup>研究了头季留桩高度对再生稻产量的影响, 发现在油菜+再生稻三熟制的赣中北红壤稻田地区, 适宜的留桩高度为30~40 cm。林席跃等<sup>[10]</sup>研究了头季机收对再生稻产量的影响, 取得良好的减损效果。【切入点】但是缺乏着重研究头季稻的数据。【拟解决的关键问题】笔者从此角度出发, 设

收稿日期: 2022-09-23

基金项目: 国家水稻产业技术体系岗位专家项目(CARS-01-85); 湖南省农业科技创新资金项目(2022CX125); 衡阳市科技局技术研发项目(202002032586); 衡阳市基础研究项目(202250045246)

作者简介: 邹丹(1996-), 男, 硕士研究生, 研究方向为再生稻高产优质栽培。E-mail: 2377927878@qq.com

通信作者: 唐启源(1964-), 男, 教授, 研究方向为再生稻高产优质栽培。

E-mail: cntqy@aliyun.com

刘龙生(1965-), 男, 高级农艺师, 研究方向为水稻高产优质栽培。

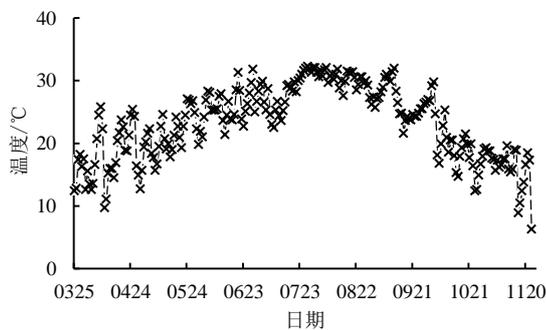
E-mail: hnbdhlls@163.com

置了3个类型的品种和6个不同梯度的移栽密度,着重研究头季稻产量的形成,结合再生季产量数据,探究不同穗型品种与移栽密度对再生稻的影响,以期为进一步完善再生稻技术体系提供一些理论基础。

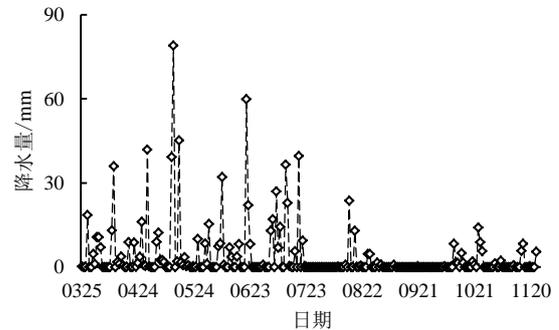
## 1 材料与方法

### 1.1 地点与材料

本试验于2021年3—11月在湖南省长沙市金井镇新沙村(113°16'E, 29°37'N)进行。该地为亚热带湿润气候,生育期间平均温度22.93℃,平均降水量为3.71mm,前作为水稻,土壤为肥力中等的麻砂泥,0~20cm耕作层土壤基本理化性质为pH值6.27、有机质量36.01g/kg、全氮量1.05g/kg、有效磷量23.39mg/kg、速效钾量102.24mg/kg。本试验品种包括3种类型,



(a) 平均温度



(b) 降水量

图1 全生育期降水量和平均温度变化

Fig.1 Daily rainfall and average temperature change during the whole growth period

### 1.2 试验设计

试验采用传统泥浆育秧,每穴2~3根谷苗,裂区试验设计,其中移栽密度为主区D(D1:15万穴/hm<sup>2</sup>,20cm×33.3cm;D2:18.75万穴/hm<sup>2</sup>,20cm×26.7cm;D3:22.5万穴/hm<sup>2</sup>,16.7cm×26.7cm;D4:26.25万穴/hm<sup>2</sup>,16.7cm×22.9cm;D5:30万穴/hm<sup>2</sup>,16.7cm×20cm;D6:33.75万穴/hm<sup>2</sup>,13.3cm×22.2cm),品种为副区(HLY898:穗粒数兼顾型品种徽两优898;YLY900:大穗型品种Y两优900;TYHZ:多穗型品种天优华占),18个处理,3次重复,共54个小区,每个小区长5m,宽4m,共20m<sup>2</sup>,重复之间均设排灌沟,小区之间均覆膜筑埂,单排单灌,防止肥水互窜,四周设置1m的保护行。

### 1.3 试验管理

生育期如表1所示。头季施肥:193kg/hm<sup>2</sup>纯N(尿素),分基肥(50%)、分蘖肥(20%)和穗肥(30%)3次撒施。磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)90kg,作为基肥一次性撒施。钾肥(K<sub>2</sub>O)180kg,分基肥(50%)和穗肥(50%)2次撒施。再生季施肥:103.7kg/hm<sup>2</sup>纯N(尿素)作促芽肥在头季齐穗后20d撒施,103.7kg/hm<sup>2</sup>纯N(尿素)作发苗肥在头季收割后2d灌浅水撒施。

多穗型品种(108~166)、穗粒数兼顾型品种(167~191)和大穗型品种(193~270)<sup>[11]</sup>。多穗品种为天优华占,由中国水稻研究所、中国科学院遗传与发育生物学研究所与广东省农业科学院共同选育,穗粒数141.1,有效穗295.5万/hm<sup>2</sup>,结实率81.8%,2012年通过国家审定,编号2012001。穗粒兼顾型品种为徽两优898,由安徽荃银高科种业股份有限公司与安徽省农业科学院水稻研究所共同选育,穗粒数189.7,有效穗264万/hm<sup>2</sup>,结实率83.8%,2015年通过国家审定,编号2015028。大穗品种为Y两优900,由创世世纪种业有限公司选育,穗粒数205.0,有效穗214万/hm<sup>2</sup>,结实率81.7%,2016年通过国家审定,编号2016044。试验尿素含氮量为46.2%,复合肥(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=15:15:15)量为45%,钾肥(K<sub>2</sub>O)量为60%。

病虫害防治及水分管理参照当地高产管理。返青期至齐穗期保持浅水层(3~5cm),齐穗期至再生季收获期间干湿交替,收割前7~10d停止灌水。

表1 品种生育期

Table 1 The growth period of varieties

品种	播种期	移栽期	头季抽穗期	头季成熟期	再生季成熟期
徽两优898	0325	0501	0718	0818	1026
Y两优900	0325	0501	0723	0823	1116
天优华占	0325	0501	0718	0818	1023

### 1.4 测定项目与方法

生育期:记载播种期、移栽期、抽穗期、头季和再生季成熟期。

茎蘖动态:移栽后,随机选择长势均匀的10蔸水稻(避开边3行),从返青期开始,每5天记录1次,直到分蘖数逐渐下降。

干物质:于头季分蘖期和抽穗期,从每小区随机选取生长均匀且具有代表性的植株5蔸(避开边3行),洗净后,剪去根,分别装袋,于105℃杀青30min,转至80℃烘干至恒质量,密封冷却至室温测定其干物质质量。于头季成熟期,按对角线取样法,从每小区随机选取生长均匀且具有代表性的植株10蔸(避开边3行),测量株高、有效穗,减去根系。统计完有效穗

数且手工脱粒后，先用 105 °C 杀青 0.5 h，然后 80 °C 烘干至恒质量，密封冷却至室温测定其干物质量。

产量及构成：于头季和再生季成熟期选取长势均匀的植株 150 蔸（避免边 3 行），脱粒晒干风选后以 14% 的吸湿水来计算稻谷产量。头季成熟期选取 20 蔸长势均匀的水稻（避免边 3 行），计算平均穗数。按平均穗数选取 10 蔸（避免边 3 行）长势均匀的水稻作为考种样，洗净减去根部，手工脱粒，再将茎叶穗分类装袋，先用 105 °C 杀青 0.5 h，然后 80 °C 烘干至恒质量，密封冷却至室温测定其干物质量。将脱下的籽粒晒干后水选，将瘪粒和实粒分开，先用 105 °C 杀青 0.5 h，然后 80 °C 烘干至恒质量，称量 3 份 30 g 实粒样品和 3 g 瘪粒样品，计算穗粒数、结实率和千粒质量。

### 1.5 气象数据

由 Vantage Pro2 有线自动气象站记录全生育期的气象数据。

### 1.6 数据处理和统计分析

成穗率=头季有效穗数/最高分蘖数×100%

库容量=单位面积穗数×穗粒数×千粒质量<sup>[12]</sup>

群体生长率(g/(m<sup>2</sup> d))=(W<sub>2</sub>-W<sub>1</sub>)/(T<sub>2</sub>-T<sub>1</sub>),

式中：T<sub>1</sub> 和 T<sub>2</sub> 为前后 2 次测定的时间；W<sub>1</sub> 和 W<sub>2</sub> 为前后 2 次测定的干物质质量。

采用 Microsoft Excel 2010 处理数据与作图，Statistix8.0 软件进行方差分析，LSD 法进行处理间的多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同移栽密度与穗型品种对头季稻产量构成及周年产量的影响

移栽密度和品种类型均对头季稻产量构成和周年产量有显著的影响，但是不存在显著的交互作用（表 2）。移栽密度通过极显著影响单位面积有效穗来影响库容量和产量，D5 处理的单位面积有效穗、库容量、头季产量和周年产量均是最高，其中单位面积有效穗较其他处理增加 0.38%~13.42%，显著高于其他处理（D6 处理除外），头季产量较其他处理增产 6.40%~9.74%，均达到显著水平，周年产量较其他处理增产 1.96%~10.51%，显著高于 D1 处理和 D6 处理，库容量较其他处理增加 5.36%~14.56%，显著高于 D1 处理。不同类型品种的产量构成有显著的差别，其中穗粒兼顾型品种 HLY898 头季产量和周年产量均是最高，其次是多穗型品种 TYHZ，头季和周年产量均显著高于大穗型品种 YLY900。单位面积有效穗以多穗型品种 TYHZ 最高，其次是穗粒数兼顾型品种 HLY898，大穗型品种 YLY900 最低，处理间均达到显著水平。穗粒数以大穗型品种 YLY900 最高，显著高于其他品种类型，其中多穗型品种 TYHZ 最低。库容量以大穗型品种 YLY900 最高，较其他品种增加 4.55%~9.52%，但是大穗型品种 YLY900 的结实率和千粒质量均是最低，均显著低于其他品种类型，导致头季和周年产量均显著低于其他品种类型。

表 2 不同移栽密度和穗型品种对头季稻产量构成及周年产量的影响

处理	有效穗/m <sup>2</sup>	穗粒数	结实率/%	千粒质量/g	头季产量/(t hm <sup>-2</sup> )	周年产量/(t hm <sup>-2</sup> )	库容量/(百 kg m <sup>-2</sup> )
D	D1	231c	199a	83.1a	23.17ab	9.61b	15.47bc
	D2	241b	214a	83.3a	23.08ab	9.85b	16.23ab
	D3	245b	203a	82.1a	22.91b	9.57b	16.29ab
	D4	244b	200a	83.8a	23.28ab	9.58b	15.82abc
	D5	262a	199a	83.8a	23.36a	10.48a	16.61a
	D6	261a	185a	82.0a	23.22ab	9.55b	15.03c
PZ	TYHZ	288a	162b	83.3b	23.74a	10.09a	16.05b
	HLY898	262b	173b	89.0a	23.18b	10.12a	16.68a
	YLY900	192c	265a	76.8c	22.58c	9.07b	14.98c
D	**	ns	ns	ns	**	*	ns
PZ	**	**	**	**	**	**	ns
D×PZ	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

注 各指标间单独多次比较；不同小写字母表示不同处理在 5% 水平上的显著差异；\*和\*\*分别表示相关性在 5% 和 1% 水平上差异显著，ns 表示相关性差异不显著。下同。

### 2.2 不同移栽密度与穗型品种对头季稻分蘖动态和成穗率的影响

#### 2.2.1 分蘖动态

不同移栽密度和品种类型下，头季茎蘖动态有明显的差异（图 2）。低密度下，单株水稻个体生长强健，单株分蘖多，但是群体分蘖少，高密度下，单株分蘖少，但是群体分蘖多。随着移栽密度的增加，移栽后 40 d 内的单位面积分蘖速度越快，最高茎蘖数

也越高，以 D6 处理最高。随着时间推移，不同处理茎蘖数均出现不同程度的下降，移栽密度越大，茎蘖数下降的越多，最终茎蘖数以 D5 处理和 D6 处理最高，高于其他处理。不同品种类型中，移栽后 40 d 内的单位面积分蘖速度以穗粒数兼顾型品种 HLY898 最快，最高茎蘖数最高，其次是多穗型品种 TYHZ 和大穗型品种 YLY900。随着时间推移，穗粒数兼顾型品种 HLY898 茎蘖数下降的最多，但最终茎蘖数

以穗粒数兼顾型品种 HLY898 最高，其次是多穗型品种 TYHZ，均明显高于大穗型品种 YLY900。

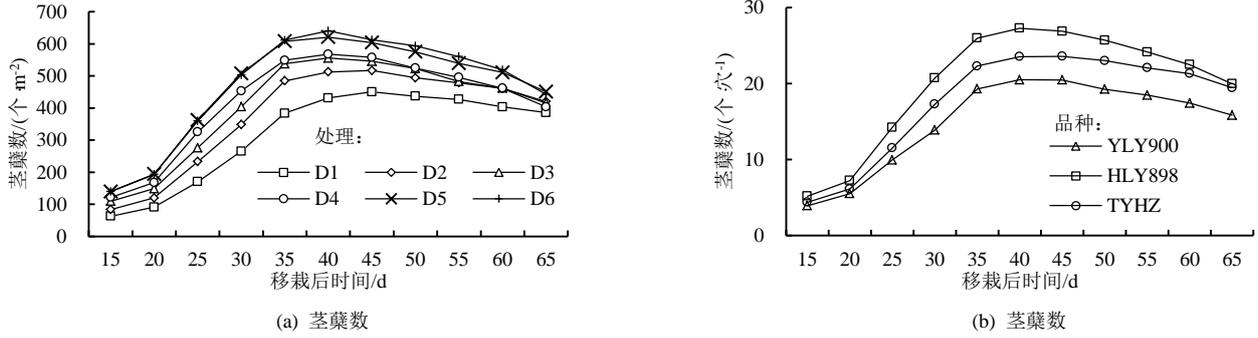


图 2 不同移栽密度与不同穗型品种下分蘖动态

Fig.2 The tiller dynamic under different panicle-typed varieties and transplanting density

### 2.2.2 成穗率

不同密度处理和不同品种类型对成穗率均有显著影响 (图 3)。随着密度的增加，成穗率显著下降，以 D1 处理最高，显著高于其他处理，较其他处理高 11.42%~28.02%，D6 处理最低，显著低于 D1、D2 处

理，说明稀植情况下可以显著提高成穗率。不同类型品种中，以多穗型品种 TYHZ 成穗率最高，显著高于其他品种类型，较其他处理高 25.5%~30.70%，其次是穗粒数兼顾型品种 HLY898，大穗型品种 YLY900 最低。

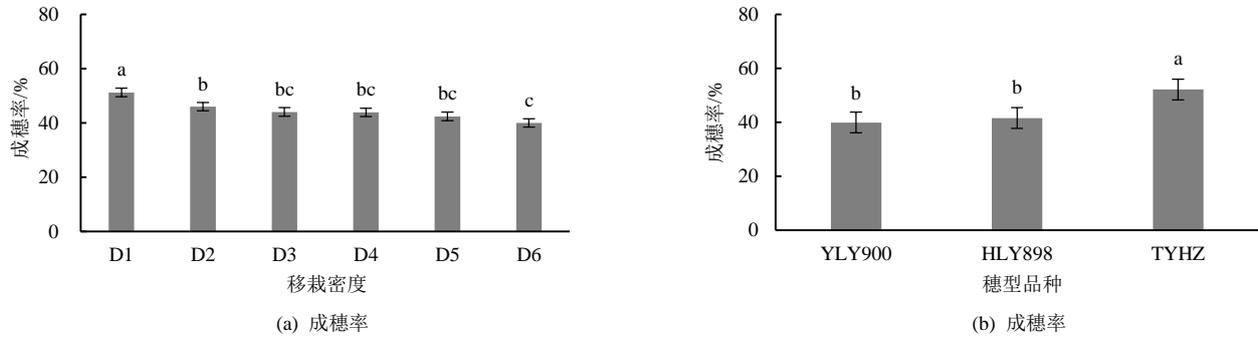


图 3 不同移栽密度与不同穗型品种下成穗率

Fig.3 The ear-setting rate under different panicle-typed varieties and transplanting density

### 2.3 不同移栽密度与穗型品种对头季稻干物质生产的影响

移栽密度和不同类型品种均对干物质积累有显著的影响，但是不存在显著的互作效应 (表 3)。D5 处理的分蘖期、抽穗期和成熟期干物质积累均是最高，达到显著水平。从群体生长速率看，D5 处理分蘖—抽穗期最快，显著高于 D1 处理，D1 处理抽穗—成熟期最快，但是分蘖—抽穗期群体生长速率最慢，最终

D5 处理生育期间移栽—成熟期群体生长速率最快。不同密度处理间，收获指数无显著性差异。不同类型品种间，分蘖期干物质以多穗型品种 TYHZ 和穗粒数兼顾型品种 HLY898 最高，显著高于大穗型品种 YLY900，抽穗期和成熟期均以大穗型品种 YLY900 最高，群体生长速率前中后期均以大穗型品种 YLY900 最快，没达到显著水平，但是大穗型品种 YLY900 的收获指数显著低于其他 2 种类型。

表 3 不同移栽密度与穗型品种对头季稻干物质积累、群体生长速率和收获指数的影响

Table 3 Effects of different transplanting densities and different panicle types on dry matter accumulation, population growth rate and harvest index in the most season

处理	干物质/(g m <sup>-2</sup> )			群体生长速率/(g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )			收获指数
	分蘖期	抽穗期	成熟期	分蘖—抽穗期	抽穗—成熟期	移栽—成熟期	
D1	17c	959b	3 227c	15.25b	82.89a	31.89a	0.52a
D2	19bc	1 001ab	3 608b	17.98a	77.00a	31.56a	0.53a
D3	23abc	961b	3 398bc	15.97ab	79.67a	31.22a	0.52a
D4	29ab	1 086ab	3 463bc	16.90ab	80.00a	32.00a	0.54a
D5	33a	1 143a	3 867a	18.14a	80.44a	32.44a	0.51a
D6	27abc	1 136a	3 365c	16.87ab	72.33a	29.78a	0.52a
TYHZ	27a	1 024ab	3 380a	16.91a	77.67a	31.44a	0.55a
HLY898	26a	1 001b	3 527a	16.31a	78.61a	31.28a	0.54a
YLY900	21b	1 119a	3 558a	17.33a	79.89a	31.72a	0.48b
D	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns
PZ	*	ns	ns	ns	ns	ns	**
D×PZ	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns

## 2.4 相关性分析

产量与产量构成因子间相关性均达到极显著水平（表 4），产量与有效穗、千粒质量和结实率均极显著正相关，其中与有效穗的相关性最大，其次是千粒质量和结实率，与穗粒数极显著负相关。产量构成因子之间相关性也达到了极显著水平，有效穗、千粒质量和结实率三者之间极显著正相关，均与穗粒数极显著负相关。

表 4 产量构成之间相关性分析

指标	产量	结实率	千粒质量	有效穗
结实率	0.577 3**			
千粒质量	0.609 3**	0.466 9**		
有效穗	0.641 0**	0.577 9**	0.746 4**	
穗粒数	-0.551 9**	-0.643 7**	-0.647 5**	-0.814 8**

## 3 讨论

产量是产量构成因子间相互作用的结果，不同生长环境和处理下，产量构成因子的作用程度不尽相同。再生季产量与单位面积穗数最相关<sup>[13-14]</sup>。穗粒数在产量构成中起主要作用<sup>[15]</sup>。在高产类型水稻品种中，千粒质量能明显提高产量<sup>[16]</sup>。本研究发现，头季产量与产量构成因子均呈极显著相关关系，其中与单位面积穗数相关性最强，同前人<sup>[13-14]</sup>研究结果一致，与穗粒数呈极显著负相关关系，同前人<sup>[15]</sup>结果存在一定的差异，可能是由于本研究中大穗型品种 YLY900 穗粒数最多，但由于生育期长，抽穗期遭遇高温，导致结实率低和产量低的缘故。本研究发现，多穗型品种 TYHZ 和穗粒数兼顾型品种 HLY898 库容量都只有  $4.5 \times 10^4/\text{m}^2$ ，但是穗部结构更合理，头季结实率、产量和周年产量均是最高，均显著高于大穗型品种 YLY900。因此，以中小穗型作为品种，在保证足够穗数的前提下，再追求大穗，更易取得高产，同前人<sup>[17]</sup>结果基本一致。在 30 万穴/ $\text{hm}^2$  密度下，头季和周年产量最高，显著高于其他处理，同前人<sup>[18]</sup>结果基本一致，主要是该密度下，水稻头季群体结构更合理，穗部发育更好，可以轻易获得高产。低密度下，单株个体分蘖多，穗粒数多，成穗率高，但是群体分蘖数、库容量和有效穗数少，高密度下，群体分蘖数多，穗数足，但是穗粒数、库容量和成穗率低，导致头季产量不佳，同前人<sup>[19-20]</sup>研究结果一致。

产量就是干物质积累和分配的过程，收获指数的高低实质就是干物质分配的结果<sup>[21-23]</sup>。吴培等<sup>[24]</sup>认为，密度过高过低都不利于干物质的积累。陈佳娜等<sup>[25]</sup>和杨志长等<sup>[19]</sup>研究发现，“高密+低氮”处理有利于水稻群体干物质积累量的提高。本研究发现，不同移栽

密度处理下，主要是影响群体生长速率和干物质积累量，D5 处理整个生育期阶段群体生长速率最快，

头季分蘖期、抽穗期和成熟期的干物质积累量均是最高，同前人<sup>[19,25]</sup>研究结果一致。从不同穗型品种分析，大穗型品种 YLY900 分蘖期的干物质积累量显著低于其他 2 个品种，但是中后期的群体生长速率和干物质积累量均是最高，但是分配转运到穗部的部分较少，收获指数显著低于其他品种类型，导致头季产量显著低于其他品种类型，同前人<sup>[26]</sup>研究结果基本一致。说明干物质积累的过程固然重要，但是分配的过程更加重要，因此，高收获指数类型品种更易获得高产。

再生稻大面积整体产量上不去，主要限制因子在于穗数，因此需要提高再生稻的分蘖成穗能力<sup>[27-28]</sup>。本研究发现，大穗型品种 YLY900 分蘖能力和成穗能力差，导致有效穗数少，导致头季和周年产量均显著低于多穗和穗粒数兼顾型品种，同前人<sup>[29]</sup>研究结果基本一致。其中，成穗率随移栽密度的增加而降低，最高分蘖数随着移栽密度的增加而增加，随后开始下降，同前人<sup>[19-20]</sup>研究结果一致。因此为了保证穗数，要协调分蘖数和成穗率之间的关系，才能得到足够的有效穗数。

本研究也存在一定的不足，本结论是基于立地条件和 1 a 的试验形成的，需要时间和空间尺度的验证，因此，下一步研究会进行多年多点试验，进一步探究不同移栽密度与穗型品种对再生头季稻产量形成的影响。

## 4 结论

1) 穗粒数兼顾型品种 HLY898 头季和周年产量均是最高，头季产量因子之间协调能力强，结实率高，其次多穗型品种 TYHZ，头季分蘖能力强，成穗率高，单位面积穗数足，头季和周年产量均显著高于大穗型品种 YLY900。大穗型品种 YLY900 头季群体生长速率快，穗粒数高，但是分蘖能力差，成穗率低，收获指数低，导致产量低于其他类型品种。

2) 移栽密度以 D5 处理最佳，其分蘖速度快，数量多，显著增加了头季穗数和库容量，群体生长速率快，干物质积累能力强，头季和周年产量均是最高。

3) 再生稻应选择穗粒数兼顾型和多穗型品种，依靠其分蘖成穗能力来取得高产，移栽密度选择 30 万穴/ $\text{hm}^2$ ，此模式下，头季分蘖能力强，群体生长速率最快，头季和周年产量均是最高。

### 参考文献:

[1] 汪浩, 张强, 张文地, 等. 腋芽萌发能力对再生稻产量影响的研究进

- 展[J]. 中国水稻科学, 2020, 34(3): 205-216.  
WANG Hao, ZHANG Qiang, ZHANG Wendi, et al. Advances in the effects of the ability of axillary bud germination on grain yield in ratoon rice[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2020, 34(3): 205-216.
- [2] DONG H L, CHEN Q, WANG W Q, et al. The growth and yield of a wet-seeded rice-ratoon rice system in central China[J]. Field Crops Research, 2017, 208: 55-59.
- [3] 王志敏, 王树安. 集约多熟超高产—21世纪我国粮食生产发展的重要途径[J]. 农业现代化研究, 2000, 21(4): 193-196.  
WANG Zhimin, WANG Shu'an. Intensive Multiple Cropping for superhigh yield: Major way to develop food production of China in the 21st century[J]. Research of Agricultural Modernization, 2000, 21(4): 193-196.
- [4] 彭少兵. 对转型时期水稻生产的战略思考[J]. 中国科学: 生命科学, 2014, 44(8): 845-850.  
PENG Shaobing. Reflection on China's rice production strategies during the transition period[J]. Scientia Sinica (Vitae), 2014, 44(8): 845-850.
- [5] Ray D K, Foley J A. Increasing global crop harvest frequency: recent trends and future directions[J]. Environmental Research Letters, 2015, 8(4): 041.
- [6] 张俊, 邓达孙, 刘建军, 等. 江南双季稻区再生稻秸秆全量还田机械化种植模式[J]. 作物杂志, 2021(4): 212-216.  
ZHANG Jun, DENG Dasun, LIU Jianjun, et al. Mechanization cultivation model of ratoon rice with straw incorporation in double rice cropping region in south of Yangtze River valley[J]. Crops, 2021(4): 212-216.
- [7] 张朝胜, 蔡克锋. 甬优系列籼粳杂交稻再生稻品种筛选[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(8): 1 482-1 483, 1 485.  
ZHANG Chaosheng, CAI Kefeng. Selection of reproducing rice varieties of Yongyou series indica japonica hybrid rice[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2021, 62(8): 1 482-1 483, 1 485.
- [8] 旷娜, 唐启源, 郑华斌, 等. 不同地区再生季稻米蒸煮食味品质及淀粉结构与性能差异研究[J]. 核农学报, 2021, 35(7): 1 678-1 686.  
KUANG Na, TANG Qiyuan, ZHENG Huabin, et al. Difference of cooking and eating quality, starch structure and properties of ratoon rice in different regions[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2021, 35(7): 1 678-1 686.
- [9] 李亚贞, 郑伟, 肖小军, 等. 赣中北红壤稻田三熟制下机收留茬高度对再生稻产量的影响研究[J]. 杂交水稻, 2021, 36(1): 87-92.  
LI Yazhen, ZHENG Wei, XIAO Xiaojun, et al. Effects of mechanical harvesting stubble heights on grain yield of ratoon rice under the triple-cropping system of rape-rice-ratoon rice in the area of red soil paddy of north-central Jiangxi[J]. Hybrid Rice, 2021, 36(1): 87-92.
- [10] 林席跃, 伍先群, 雷正平, 等. 再生稻头季机收对再生季产量损失成因及减损技术研究[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(18): 200-204.  
LIN Xiyue, WU Xianqun, LEI Zhengping, et al. Study on the causes and reduction technology of yield loss of ratooning rice[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2021, 49(18): 200-204.
- [11] 陶士宝, 柯健, 孙杰, 等. 长江中下游地区不同穗型中籼杂交稻高产群体农艺特征[J]. 作物学报, 2023, 49(2): 511-525.  
TAO Shibao, KE Jian, SUN Jie, et al. High-yielding population agronomic characteristics of middle-season indica hybrid rice with different panicle sizes in the middle and lower reaches of the Yangtze River[J]. Acta Agronomica Sinica, 2023, 49(2): 511-525.
- [12] 傅友强, 梁开明, 麦国勋, 等. 不同施肥方式和播种量对华南直播稻产量的影响[J]. 中国稻米, 2021, 27(5): 84-89, 92.  
FU Youqiang, LIANG Kaiming, MAI Guoxun, et al. Effects of different fertilization technologies and sowing rates on grain yield of direct seeded rice in South China[J]. China Rice, 2021, 27(5): 84-89, 92.
- [13] 邹丹, 唐启源, 郑华斌, 等. 不同穗型品种与移栽密度对再生稻产量、发苗能力与干物质积累的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(5): 48-57.  
ZOU Dan, TANG Qiyuan, ZHENG Huabin, et al. Effects of different panicle-typed varieties and transplanting densities on yield, the ability of seedling growth and dry matter accumulation of ratooning rice[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(5): 48-57.
- [14] 习敏, 吴文革, 汪靖桂, 等. 再生稻种植产量差形成的研究[J]. 华北农学报, 2017, 32(1): 104-110.  
XI Min, WU Wen'ge, WANG Jinggui, et al. Study on formation of grain yield differences in ratooning rice cultivation[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2017, 32(1): 104-110.
- [15] 唐文帮, 陈立云, 肖应辉, 等. 再生稻某些性状与产量及产量构成因子的关系[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2002, 28(1): 1-3.  
TANG Wenbang, CHEN Liyun, XIAO Yinghui, et al. Relationships among yield, yield components and some features of ratooning rice[J]. Journal of Hunan Agricultural University, 2002, 28(1): 1-3.
- [16] 李洪亮, 孙玉友, 侯国强, 等. 寒地粳稻产量及其主要构成性状间的关系[J]. 干旱地区农业研究, 2021, 39(3): 107-112.  
LI Hongliang, SUN Yuyou, HOU Guoqiang, et al. Relationship between yield and main components of Japonica rice in cold region[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2021, 39(3): 107-112.
- [17] 彭既明. 多穗型超级杂交稻研究[J]. 杂交水稻, 2017, 32(4): 1-8.  
PENG Jiming. Research on panicle-rich type super hybrid rice[J]. Hybrid Rice, 2017, 32(4): 1-8.
- [18] 郑志刚, 向丽, 罗友谊, 等. 有序机抛下抛栽密度对Y两优911作再生稻栽培生长和产量形成的影响[J]. 杂交水稻, 2022, 37(6): 89-96.  
ZHENG Zhigang, XIANG Li, LUO Youyi, et al. Effects of density on growth and yield formation of Y Lianyou 911 as ratoon rice under ordered mechanical throwing cultivation[J]. Hybrid Rice, 2022, 37(6): 89-96.
- [19] 杨志长, 沈涛, 罗卓, 等. 低氮密植对机插双季稻产量形成和氮肥利用率的影响[J]. 作物杂志, 2020(2): 71-81.  
YANG Zhichang, SHEN Tao, LUO Zhuo, et al. Effects of low nitrogen rate combined with high planting density on yield formation and nitrogen use efficiency of MachineTransplanted double cropping rice[J]. Crops, 2020(2): 71-81.
- [20] 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.  
ZHU Congcong, ZHANG Hongcheng, GUO Baowei, et al. 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.
- [21] 周巍, 王万洪, 郑普兵, 等. 宽窄行栽培技术在再生稻上的应用研究[J]. 中国稻米, 2019, 25(2): 72-74.  
ZHOU Wei, WANG Wanhong, ZHENG Pubing, et al. Application of wide-narrow row cultivation techniques on ratooning rice[J]. China Rice, 2019, 25(2): 72-74.
- [22] 甄博, 郭瑞琪, 周新国, 等. 孕穗期高温与涝对水稻光合特性和产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(4): 45-51.  
ZHEN Bo, GUO Ruiqi, ZHOU Xinguo, et al. The effects of thermal and waterlogging stresses at booting stage on photosynthesis and yield of rice[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2021, 40(4): 45-51.
- [23] 郑浣彤, 邵玺文, 耿艳秋, 等. 秸秆还田与氮肥运筹对水稻产量及氮素利用的影响[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(12): 29-36.  
ZHENG Huantong, SHAO Xiwen, GENG Yanqiu, et al. Effects of straw returning and nitrogen fertilizer application on rice yield and nitrogen utilization[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(12): 29-36.
- [24] 吴培, 陈天晔, 袁嘉琦, 等. 施氮量和直播密度互作对水稻产量形成特征的影响[J]. 中国水稻科学, 2019, 33(3): 269-281.  
WU Pei, CHEN Tianye, YUAN Jiaqi, et al. Effects of interaction between nitrogen application rate and direct-sowing density on yield

- formation characteristics of rice[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2019, 33(3): 269-281.
- [25] 陈佳娜, 曹放波, 谢小兵, 等. 机插条件下低氮密植栽培对“早晚兼用”双季稻产量和氮素吸收利用的影响[J]. 作物学报, 2016, 42(8): 1 176-1 187.
- CHEN Jiana, CAO Fangbo, XIE Xiaobing, et al. Effect of low nitrogen rate combined with high plant density on yield and nitrogen use efficiency of machine-transplanted early-late season double cropping rice[J]. Acta Agronomica Sinica, 2016, 42(8): 1 176-1 187.
- [26] 武晶晶, 戚文乐, 吴嘉乐, 等. 不同穗型早稻品种产量形成及生理特性研究[J]. 江西农业大学学报, 2023, 45(1): 1-9.
- WU Jingjing, QI Wenle, WU Jiale, et al. Yield formation and physiological characteristics of early rice varieties with different panicle types[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2023, 45(1): 1-9.
- [27] 唐仁忠, 梁昌南, 贾翠仙, 等. 不同栽培密度对头季稻及再生稻产量的影响[J]. 广西农学报, 2014, 29(1): 3-6.
- TANG Renzhong, LIANG Changnan, JIA Cuixian, et al. Different cultivation densities' impact on the yields of first season rice and ratoon rice[J]. Journal of Guangxi Agriculture, 2014, 29(1):3-6.
- [28] 邹丹, 唐启源, 郑华斌, 等. 发苗肥与发苗水层对再生稻发苗和产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(10): 26-31.
- ZOU Dan, TANG Qiyuan, ZHENG Huabin, et al. Effects of different panicle-typed varieties and transplanting density on yield formation of the main-season rice[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(10): 26-31.
- [29] 林强, 郑长林, 林祁, 等. 再生稻穗茎比与产量及其构成因素的关系[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2021, 49(6): 65-74, 84.
- LIN Qiang, ZHENG Changlin, LIN Qi, et al. Relationships of panicle to stem ratio with yield and its components of ratoon rice[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2021, 49(6): 65-74, 84.

## Effect of Transplanting Density on Yield Formation of Different Panicle-typed Varieties in Ratooning Rice Production

ZOU Dan<sup>1</sup>, TANG Qiyuan<sup>2\*</sup>, LIU Longsheng<sup>1\*</sup>, MAO Ruiqing<sup>1</sup>, ZHENG Huabin<sup>2</sup>,  
KUANG Na<sup>3</sup>, ZHANG Ming<sup>1</sup>, LIU Hong<sup>4</sup>

(1. Hengyang Academy of Agricultural Sciences, Hengyang 421200, China;

2. College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

3. Hunan Rice Research Institute, Changsha 410128, China;

4. Agricultural Bureau of Youxian, Zhuzhou 412300, China)

**Abstract:** 【Objective】 Transplant is a cultivation commonly used in ratooning rice production in southern China and other eastern Asian countries. Its impact on rice growth and yield depends on a range of factors. This paper presents an experimental study of the effect of transplanting density on yield composition of different panicle-typed varieties. 【Method】 The field experiment compared three rice varieties: Tianyou Huazhan, Huiliangyou 898 and Yliangyou 900. The transplanting density treatments for all three varieties were the same:  $1.5 \times 10^4$  points/hm<sup>2</sup> (D1), 187 500 points/hm<sup>2</sup> (D2), 225 000 points/hm<sup>2</sup> (D3), 262 500 points/hm<sup>2</sup> (D4), 300 000 points/hm<sup>2</sup> (D5), and 337 500 points/hm<sup>2</sup> (D6). In the experiment, we measured rice growth and its ultimate yield formation in each treatment. 【Result】 Transplanting density affected composition of both seasonal and annual rice yields significantly, but the effect varied with rice varieties. There was a lack of variety-planting density interaction on the yield. The variety Huiliangyou 898 had the highest seasonal and annual yields, strong coordination ability among yield factors, high seed setting rate; variety Tianyou Huazhan had strong tillering ability, high ear-setting rate and full panicle numbers per unit area. All these were significantly higher than those of the variety YLY900. The variety YLY900 had fast population growth rate and high grain numbers per panicle, but its tillering ability was poor, and ear-setting rate and low harvest index were low; it hence produced the lowest seasonal and annual yields. On average, the optimal transplanting density for the three varieties was D5, producing highest seasonal and annual yields, faster tillering rate and more tillers per unit area; it also significantly increased the panicle numbers and sink capacity, population growth rate, and dry matter accumulation. 【Conclusion】 Selecting rice varieties with panicle and grain for the initial season in ratooning rice production should consider its tillering ability to achieve high yield. For the three rice varieties we compared, the optimal transplanting density is 300 000 holes/hm<sup>2</sup>.

**Key words:** transplanting density; variety types; ratooning rice; yield; dry matter

责任编辑: 赵宇龙