

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

邹丹, 唐启源*, 郑华斌, 王慰亲, 张相, 刘功义, 莫文伟, 郑志刚
(湖南农业大学 农学院, 长沙 410128)

摘要:【目的】探究不同移栽密度与不同穗型品种对再生稻再生季发苗能力及产量形成的影响。【方法】采用二因素裂区试验设计,以移栽密度为主区(D1:15万穴/hm²、D2:18.75万穴/hm²、D3:22.5万穴/hm²、D4:26.25万穴/hm²、D5:30万穴/hm²、D6:33.75万穴/hm²),品种为副区(TYHZ:多穗型品种天优华占、HLY898:穗粒兼顾型品种徽两优898、YLY900:大穗型品种Y两优900)。【结果】穗粒兼顾型品种HLY898与多穗型品种TYHZ在D3处理下再生季产量最高,大穗型品种YLY900在不同移栽密度下再生季产量无显著差异。不同穗型品种下,产量及产量构成、发苗能力、干物质积累与分配、再生季空茼率(头季纹枯病导致再生季空茼)整体效果表现为HLY898>TYHZ=YLY900,其中穗粒兼顾型品种HLY898产量显著高于其他2个品种,增产9.99%~11.70%。各密度水平下,D3处理结实率、每穗粒数及产量均为最高,其中产量显著高于D1、D5与D6处理,较其他密度处理增产5.4%~22.7%。单位面积再生苗数与苗桩比均以D3处理最佳,显著高于D6处理,成穗能力以D3处理与D4处理最佳,显著高于D1、D2与D6处理。地上干物质积累以D5处理最高,收获指数以D3处理最高。再生季空茼率以中低密度最佳,显著低于D6处理。穗粒兼顾型品种HLY898产量及产量构成、发苗能力均优于多穗型品种TYHZ与大穗型品种YLY900,适应性更强。中密度处理产量与发苗能力均显著高于其他密度处理,产量构成因子更协调,能充分发挥品种产量潜力实现高产。【结论】穗粒兼顾型品种HLY898与22.5万穴/hm²移栽密度组合模式再生季综合性能最好,产量最高。

关键词: 移栽密度; 再生稻; 再生季; 产量; 发苗

中图分类号: S274

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.gggs.2020024

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 Density 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.

0 引言

中国是最早种植再生稻(*Oryza sativa* L.)的国家之一,最早可追溯到1700年前^[1]。受栽培技术、生产条件与环境的限制,再生稻种植的规模不大,零星分布在全国各地。随着生活质量的提高、城市化的不断推进及广大农民种植双季稻的积极性不断下降,种植再生稻成为较好的稻作模式^[2-6]。再生稻1种2收,轻简化栽培,节省大量劳动力,有利于规模化经营和种粮大户合理安排生产条件。简化栽培的同时,再生稻还能满足高产与优质需求。但是大面积生产上,再

生稻整体产量还不够理想,还有很大的提升空间。【研究意义】适当的移栽密度是再生稻高产的基础,但是不同穗型品种对移栽密度的响应规律不一致,探索不同穗型品种的适宜种植密度成为提高再生稻产量的一个重要手段。

【研究进展】大面积生产上,再生稻整体产量还不够理想,主要限制因子穗数不足,如何提高单位面积穗数成为再生稻增产的关键。周奥等^[7]研究了品种对再生稻的影响,通过选择再生力强的品种来增加穗数。徐富贤等^[8]研究了栽培密度对再生稻的影响,通过增加单位面积基本苗来增加穗数。邹丹等^[9]研究了发苗肥与发苗水层对再生季发苗的影响,通过增强再生季发苗能力来增加穗数。周巍等^[10]研究了宽窄行在再生稻上的应用,通过减少机械碾压面积来增加穗数。杨日等^[11]研究了播期对再生稻的影响,通过提高成穗率来增加穗数。【切入点】但是还缺乏不同移栽密度

收稿日期: 2020-01-16

基金项目: 国家水稻产业技术体系岗位专家项目(CARS-01-26)

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

与不同穗型品种二者协同对再生稻再生季影响的研究。【拟解决的关键问题】通过 6 个移栽密度和 3 个穗型品种的不同组合,来研究不同移栽密度与不同穗型品种对再生稻再生季产量、发苗能力与干物质积累及分配的影响,明确移栽密度、品种类型以及两者协同对再生稻再生季的影响,以期对再生稻种植提供技术参考和科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验地点与材料

试验于 2019 年在湖南省长沙市金井镇白沙村 (113°16'E, 29°37'N) 进行,该地区为亚热带湿润气候,无霜期 260~300 d,年降雨量 1 200~1 500 mm,前茬作物为水稻。供试土壤为肥力中等的麻砂泥,耕作层土壤(0~20 cm)的基本理化性质为 pH 值 6.27、有机质量 36.01 g/kg、全氮量 1.05 g/kg、有效磷量 23.39 mg/kg、速效钾量 102.24 mg/kg。试验品种分多穗型、穗粒兼顾型、大穗型 3 种类型。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,每穗粒数 141.1,有效穗 295.5 万/hm²,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,每穗粒数 189.7,有效穗 264 万/hm²,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,由创世世纪业有限公司选育,每穗粒数 205,有效穗 214 万/hm²,结实率 81.7%,2016 年通过国家审定,编号 2016044。尿素氮量为 46.2%,复合肥(N、P₂O₅、K₂O 质量比为 15:15:15)量为 45%,钾肥含 K₂O 量为 60%。

1.2 试验设计

采用二因素裂区试验设计,移栽密度为主区 D (D1:15 万穴/hm²,株行距为 20 cm×33.3 cm、D2:18.75 万穴/hm²,株行距为 20 cm×26.7 cm、D3:22.5 万穴/hm²,株行距为 16.7 cm×26.7 cm、D4:26.25 万穴/hm²,株行距为 16.7 cm×22.9 cm、D5:30 万穴/hm²,株行距为 16.7 cm×20 cm、D6:33.75 万穴/hm²,株行距为 13.3 cm×22.2 cm),品种为副区(HLY898:徽两优 898、YLY900:Y 两优 900、TYHZ:天优华占),共计 18 个处理,每个处理设 3 次重复,共 54 个小区,每个小区长 5 m,宽 4 m,共 20 m²,重复之间设排灌沟,小区之间覆膜筑埂,单排单灌,防止肥水互窜,四周设置 1 m 的保护行。

1.3 试验管理

生育期详见表1。施肥:头季施纯N 193 kg/hm²,氮肥为尿素,分基肥(占50%)、分蘖肥(占20%)和

穗肥(占30%) 3次施用。磷肥(P₂O₅) 90 kg/hm²,作为基肥一次施用。钾肥(K₂O) 180 kg/hm²,分基肥(占50%)和穗肥(占50%) 2次施用。促芽肥(103.7 kg/hm²纯N)在头季齐穗后20 d施用,发苗肥(103.7 kg/hm²)在收割后2 d灌浅水施用。

头季病虫害防治及水分管理参照当地大田水平,再生季不进行任何病虫害防治。头季返青期至齐穗期保持浅水层(3~5 cm),齐穗期至收获期干湿交替管理,收割后立即灌浅水。再生季水分管理为干湿交替灌溉。

表 1 品种生育期

品种 Varieties	播种期 Seeding stage	移栽期 Transplanting stage	头季成熟期 Maturity stage of main season	再生季成熟期 Maturity stage of ratooning season
徽两优 898	0325	0501	0818	1026
Y 两优 900	0325	0501	0823	1116
天优华占	0325	0501	0818	1023

1.4 试验项目

生育期记载:记录头季播种期、移栽期、成熟期及再生季的成熟期。

发苗动态:头季收割后选择具有代表性的 10 茼水稻(边 3 行除外),收割后每 3 d 记录 1 次发苗数,直至逐渐下降。

空茼率(%):头季收割后 15 d 调查全小区空茼情况,按茼计算空茼率。

农艺性状:配合考种每个小区选择具有代表性的 10 茼水稻(避免边 3 行)测量株高。

测产与产量构成考察:再生季收割后选取长势均匀的 150 茼(避免边 3 行)水稻,脱粒晒干风选后以 14%的吸湿水来计算稻谷产量。再生季成熟期选取 20 茼(避免边 3 行)长势均匀的水稻,计算平均穗数。按平均穗数选取 10 茼(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 ℃杀青 0.5 h,然后 70 ℃烘干至恒质量,称质量。将脱下的籽粒晒干后水选,将瘪粒和实粒分开,用 70 ℃烘干至恒质量,称量 3 份 30 g 实粒样品和 3 g 瘪粒样品,计算每穗粒数、结实率和千粒质量。

1.5 数据处理和统计分析

最高苗数(个/m²)=再生苗数最高时的再生苗数,(1)

苗桩比=最高苗数/稻桩数,(2)

穗桩比=有效穗数/稻桩数,(3)

收获指数=实粒质量/地上干物质量×100%。(4)

用 Excel 2010 处理数据与作图,Statistix 8.0 进行方差分析,LSD 法进行处理间多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同移栽密度与不同穗型品种对再生稻产量及产量构成的影响

图 1 为不同移栽密度下再生季产量, 由图 1 可知, 产量 (y) 与移栽密度 (x) 呈抛物型曲线关系: $y = -9.732 \cdot 9x^2 + 450.59x + 1\,332.1$; 决定系数 $R^2 = 0.912$; 拟合程度非常高, 当移栽密度为 23.15 万穴/hm² 时, 产量最高, 达到 6 547 kg/hm²。不同穗型品种对移栽

密度的响应不同, 穗粒兼顾型品种 HLY898 与多穗型品种 TYHZ 在 D3 处理下再生季产量最高, 大穗型品种 YLY900 在不同移栽密度下再生季产量无显著差异。表 2 不同移栽密度与不同穗型品种下再生季产量及产量构成, 由表 2 可知, 移栽密度对单位面积有效穗、每穗粒数与产量均有极显著影响, 对结实率与千粒质量无显著影响。品种类型对产量及产量构成均匀有极显著的影响, F 值表现为每穗粒数 > 结实率 > 千粒质量 > 单位面积有效穗 > 产量。

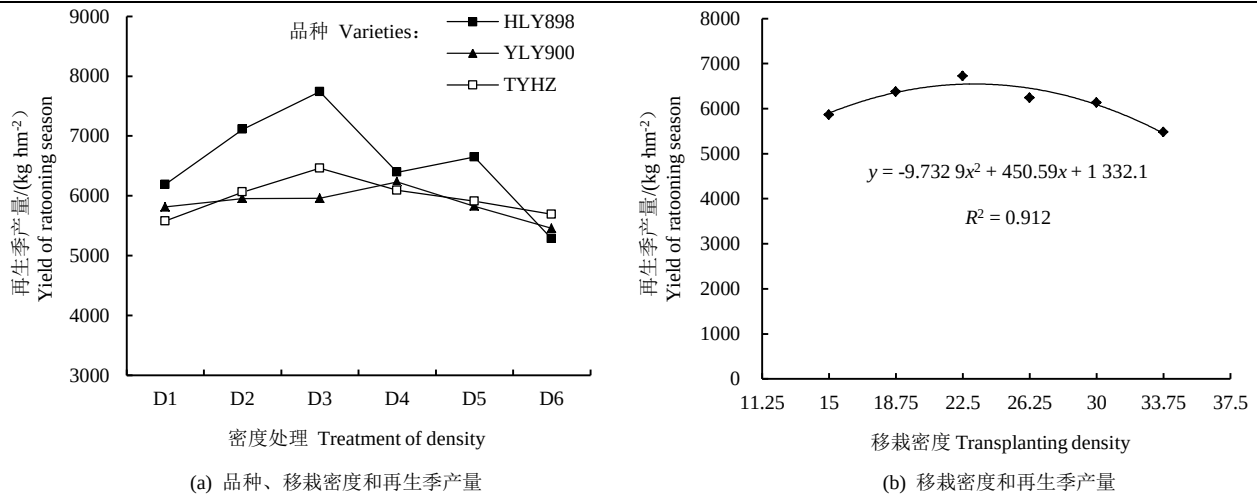
表 2 不同移栽密度与不同穗型品种下再生季产量及产量构成

Table 2 The yield and yield components of ratooning season under different panicle-typed varieties and transplanting density

处理 Treatments		有效穗数 Effective panicles per hole/m ²	每穗总粒数/粒 Total grains per panicle	结实率 Setting rate/%	千粒质量 1000-grain weight/g	产量 Yield/ (kg hm ⁻²)
D1	HLY898	410 a	81 b	81.83 a	21.57 a	6 188 a
	YLY900	319 b	135 a	53.98 c	20.81 b	5 814 a
	TYHZ	393 a	71 c	76.91 b	22.13 a	5 577 a
D2	HLY898	459 a	74 b	83.60 a	21.93 a	7 110 a
	YLY900	375 b	121 a	53.77 c	20.97 b	5 954 b
	TYHZ	395 b	73 b	77.01 b	21.90 a	6 061 b
D3	HLY898	449 a	86 b	80.28 a	21.51 b	7 740 a
	YLY900	360 b	126 a	56.67 b	20.81 c	5 959 b
	TYHZ	437 a	77 c	77.98 a	22.21 a	6 461 b
D4	HLY898	487 a	81 b	80.58 a	21.73 a	6 396 a
	YLY900	358 c	126 a	56.29 b	20.25 b	6 233 a
	TYHZ	434 b	77 b	75.78 a	22.19 a	6 091 a
D5	HLY898	479 a	80 b	80.73 a	21.96 a	6 649 a
	YLY900	348 b	117 a	55.72 c	20.55 b	5 828 b
	TYHZ	460 a	71 c	73.57 b	22.05 a	5 911 ab
D6	HLY898	397 ab	76 b	80.60 a	21.66 a	5 282 a
	YLY900	385 b	113 a	57.59 c	20.55 b	5 456 a
	TYHZ	437 a	67 c	73.33 b	21.61 a	5 690 a
F 值	D1	374 b	96 a	70.91 a	21.50 a	5 860 bc
	D2	409 a	89 bc	71.46 a	21.60 a	6 375 ab
	D3	415 a	96 a	71.64 a	21.34 a	6 720 a
	D4	426 a	94 ab	70.88 a	21.39 a	6 240 ab
	D5	429 a	89 bc	70.01 a	21.52 a	6 129 b
	D6	406 a	85 c	70.51 a	21.28 a	5 476 c
F 值	HLY898	447 a	80 b	81.27 a	21.73 b	6 561 a
	YLY900	357 c	123 a	55.67 c	20.57 c	5 874 b
	TYHZ	426 b	73 c	75.76 b	22.02 a	5 965 b
F 值	D	5.56**	5.61**	0.21	1.29	6.05**
	PZ	69.72**	601.46**	446.70**	85.72**	11.24**
	D*PZ	3.67**	2.38*	1.33	1.46	2.1

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 1%、5%水平上的显著差异, 下同。

Note The indicators are compared separately for multiple times; Different lowercases indicate significant difference at 0.05 level between treatments. “*” and “**” indicate significant difference at 0.05 and 0.01 level between treatments. The same below.



(a) Varieties, transplanting density and yield of ratooning season (b) Transplanting density and yield of ratooning season

图 1 不同移栽密度下再生季产量

Fig.1 The yield of ratooning season under different transplanting density

随着移栽密度的增加,3 个品种产量均先增后减,穗粒兼顾型品种 HLY898 与多穗型品种 TYHZ 实际产量均以 D3 处理为最高,大穗型品种 YLY900 实际产量以 D4 处理为最高。D6 处理为实际产量最低,D3 处理的实际产量最高,显著高于 D1、D5 与 D6 处理,同其他处理相比增产 5.4%~22.7%,穗粒兼顾型品种 HLY898 的实际产量显著高于多穗型品种 TYHZ 与大穗型品种 YLY900,多穗型品种 TYHZ 与大穗型品种 YLY900 之间没有显著性差异。进一步分析产量构成发现,单位面积穗数随移栽密度增加先增加后减少,D5 处理最高,D1 处理最低,显著低于其他处理。每穗粒数随移栽密度增加呈波浪形变化,D1 处理与 D3 处理最高,显著高于 D2、D5 与 D6 处理。随移栽密度增加,结实率与千粒质量均先增后减,最大值分别为 D3 与 D2 处理,均没有达到显著性水平。从品种类型来分析产量构成发现,多穗型品种 TYHZ 的千粒质量最高,显著高于大穗型品种与穗粒兼顾型品种,但是每穗粒数偏少,导致产量不高。大穗型品种 YLY900 每穗粒数最多,显著高于多穗型品种与穗粒兼顾型品种,但是单位面积穗数与结实率较低,导致产量不高。穗粒兼顾型品种 HLY898 的单位面积穗数与结实率均显著高于大穗型品种与多穗型品种,产量构成因子比较协调,实际产量最高,增产 9.99%~11.70%。

2.2 不同移栽密度与不同穗型品种对再生稻发苗能力的影响

2.2.1 不同移栽密度与不同穗型品种对再生稻苗桩比、穗桩比及最高苗数的影响

最高苗数与苗桩比均能反映母桩发苗能力,穗桩比一定程度上能反映再生苗成穗能力,均能显著影响再生季产量。表 3 为不同移栽密度与不同穗型品种下

再生季苗桩比、穗桩比及最高苗数。由表 3 中的 F 值可知,品种对最高苗数、穗桩比及苗桩比有极显著影响,说明再生季发苗能力与成穗能力与品种遗传因素关系极显著。从苗桩比看,穗粒兼顾型品种 HLY898 显著高于大穗型品种 YLY900 与多穗型品种 TYHZ,穗粒兼顾型品种 HLY898 母桩发苗能力较好。从单位面积最高苗数看,多穗型品种 TYHZ 显著高于穗粒兼顾型品种 HLY898 与大穗型品种 YLY900,但是多穗型品种 TYHZ 的穗桩比显著低于穗粒兼顾型品种 HLY898 与大穗型品种 YLY900,说明多穗型品种 TYHZ 单位面积最高发苗最高,但是再生苗成穗率较低。综上,穗粒兼顾型品种 HLY898 发苗能力最好,再生苗成穗率也较高,最适宜作为再生稻种植。再生季发苗能力与成穗能力也受移栽密度的影响,移栽密度极显著影响穗桩比,显著影响单位面积最高苗数,对苗桩比有一定的影响,但未达到显著水平。从苗桩比看,随着移栽密度的增加,苗桩比呈单峰变化,D3 处理最好,D6 处理最低,其中,D3 处理与 D4 显著高于 D6 处理。从穗桩比看,随着移栽密度的增加,穗桩比也呈单峰变化,D4 处理最高,D6 处理最低,其中,D4 处理显著高于 D1、D2 与 D6 处理。从单位面积最高苗数看,随着移栽密度的增加,单位面积最高苗数也呈单峰变化,D3 处理最高,D1 处理最低,其中 D3 处理显著高于 D1、D5 与 D6 处理。综上,D3 与 D4 处理再生季发苗能力与成穗能力均处于较高水平,是比较理想的移栽密度。移栽密度与品种之间有一定的互作,其中穗桩比达到极显著水平,单位面积最高苗数达到显著水平。从苗桩比、穗桩比与单位面积最高苗数看,最佳组合分别为大穗型品种 YLY900 下的 D3 处理、大穗型品种 YLY900 下的 D4 处理与多穗型品种 TYHZ 下的 D3 处理。

表 3 不同移栽密度与不同穗型品种下再生季苗桩比、穗桩比及最高苗数

Table3 The seedling pile ratio, panicle pile ratio and the highest regeneration seedlings of ratooning season under different panicle-typed varieties and transplanting density

处理 Treatments	苗桩比 Seedling pile ratio	穗桩比 Panicle pile ratio	最高苗数 The highest regeneration seedlings
D1	HLY898	1.77 ab	410 b
	YLY900	2.15 a	463 ab
	TYHZ	1.74 b	519 a
D2	HLY898	1.83 b	454 b
	YLY900	2.22 a	482 b
	TYHZ	1.99 ab	616 a
D3	HLY898	2.09 a	563 ab
	YLY900	2.36 a	522 b
	TYHZ	2.02 a	609 a
D4	HLY898	1.96 b	547 a
	YLY900	2.41 a	506 a
	TYHZ	1.97 b	567 a
D5	HLY898	1.74 b	550 a
	YLY900	2.25 a	479 a
	TYHZ	1.83 b	489 a
D6	HLY898	1.61 b	449 a
	YLY900	2.23 a	516 a
	TYHZ	1.65 b	488 a
D1		1.89 ab	464 c
D2		2.02 ab	517 abc
D3		2.16 a	565 a
D4		2.11 a	540 ab
D5		1.94 ab	506 bc
D6		1.83 b	485 bc
HLY898		2.27 a	496 b
YLY900		1.87 b	495 b
TYHZ		1.83 b	548 a
D		2.29	6.23**
F 值	PZ	18.19**	21.94**
	D*PZ	0.29	2.31*

2.2.2 不同移栽密度与不同穗型品种对再生稻发苗动态的影响

图 2 为不同移栽密度与不同穗型品种下再生季发苗动态, 由图 2 可知, 头季收割后 5 d 内, 低密度处理发苗速度非常快, 高密度处理 5~8 d 发苗速度更快。头季收割后 8~14 d 发苗速度还处于较高水平, 头季收割后 14~26 d 之间, 发苗速度开始减缓并逐渐稳定, D1 处理最先达到稳定, 头季收割后 26~29 d 之间, D1 处理继续保持稳定, D2、D3、D4 与 D6 处理的单

位面积再生苗数均出现不同程度的下降, D5 处理还在缓缓上升。3 个品种间的发苗动态也有较大的差异, 头季收割后 0~5 d, 大穗型品种 YLY900 发苗最快, 收割后 5~11 d 多穗型品种 TYHZ 发苗速度更快, 收割后 11~17 d, 穗粒兼顾型品种 HLY898 发苗速度更快, 收割后 17~29 d 穗粒兼顾型品种 HLY898 单位面积再生苗数逐渐停止增长并趋于稳定, 大穗型品种 YLY900 单位面积再生苗数开始逐渐下降, 多穗型品种 TYHZ 持续增长。

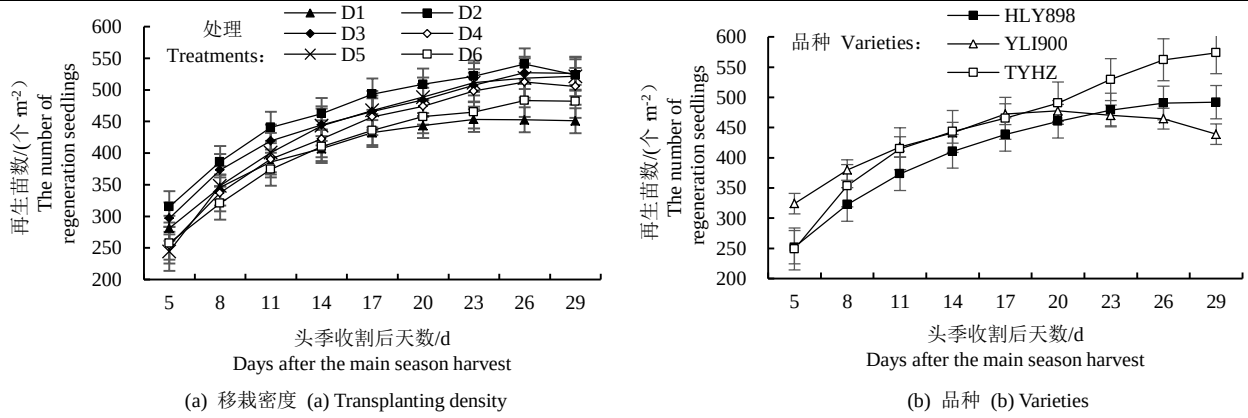


图 2 不同移栽密度与不同穗型品种下再生季发苗动态

Fig.2 The dynamic of seedling growth under different panicle-typed varieties and transplanting density

2.3 不同移栽密度与不同穗型品种对再生稻干物质积累及收获指数的影响

图 3 为同移栽密度与不同穗型品种下再生季地上干物质积累及收获指数 (图中不同小写字母表示不同处理在 5% 水平上差异显著, 下同。), 由图 3 可知, 移栽密度对再生季地上单位面积干物质积累影响不大, 说明水稻自身具有一定的协调作用, 稀植情况下, 单穴干物质积累多, 密植情况下, 单穴干物质积累少, 最终不同移栽密度处理下单位面积干物质积累相差

不大。从收获指数看, 随着移栽密度的增加, 收获指数呈单峰变化, D3 处理最高, 显著高于 D6 处理。不同穗型品种收获指数有显著的差异, 穗粒兼顾型品种 HLY898 收获指数最高, 大穗型品种 YLY900 生育期过长, 再生季中后期干物质向穗部转运较少, 收获指数显著低于穗粒兼顾型品种 HLY898 与多穗型品种 TYHZ。不同穗型水稻品种再生季地上干物质积累也有显著的差异, 大穗型品种 YLY900 与穗粒兼顾型品种 HLY898 显著高于多穗型品种 TYHZ。

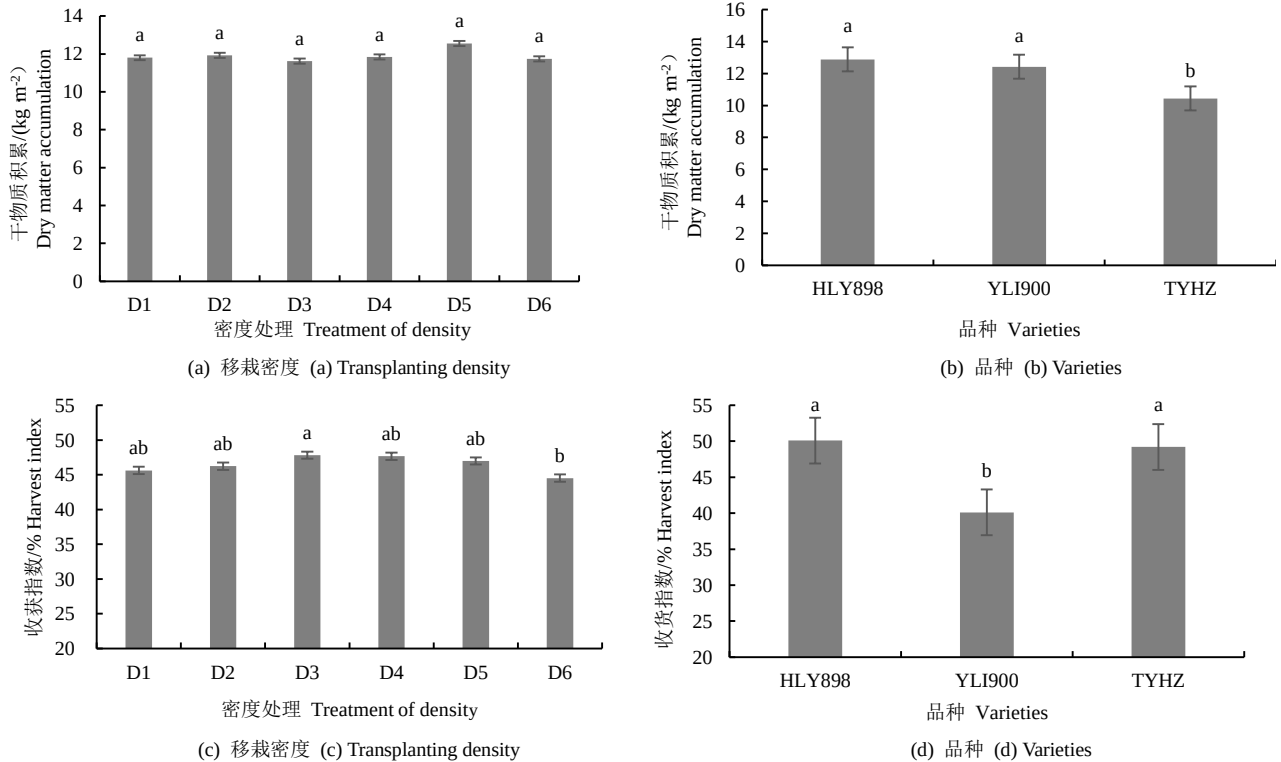


图 3 不同移栽密度与不同穗型品种下再生季地上干物质积累及收获指数

Fig.3 The dry matter accumulation and Harvest index of ratooning season under different panicle-typed varieties and transplanting density

2.4 不同移栽密度与不同穗型品种对再生稻空莠率与株高的影响

2.4.1 不同移栽密度与不同穗型品种对再生稻空莠率的影响

图 4 为不同移栽密度与不同穗型品种下再生季

空莠率, 由图 4 可知, 移栽密度显著影响再生稻再生季空莠率 (头季纹枯病导致再生季空莠), 随着移栽密度的增加, 再生季空莠率越高, 其中 D6 处理再生季空莠率最高, 显著高于 D1、D2、D3 与 D4 处理, 其次是 D5 处理, 显著高于 D1 处理。品种之间再生

季空莠率也有显著性差异,多穗型品种 TYHZ 再生季空莠率显著高于大穗型品种 YLY900 与穗粒兼顾型品

种 HLY898,大穗型品种 YLY900 再生季空莠率高于穗粒兼顾型品种 HLY898,但没达到显著性差异。

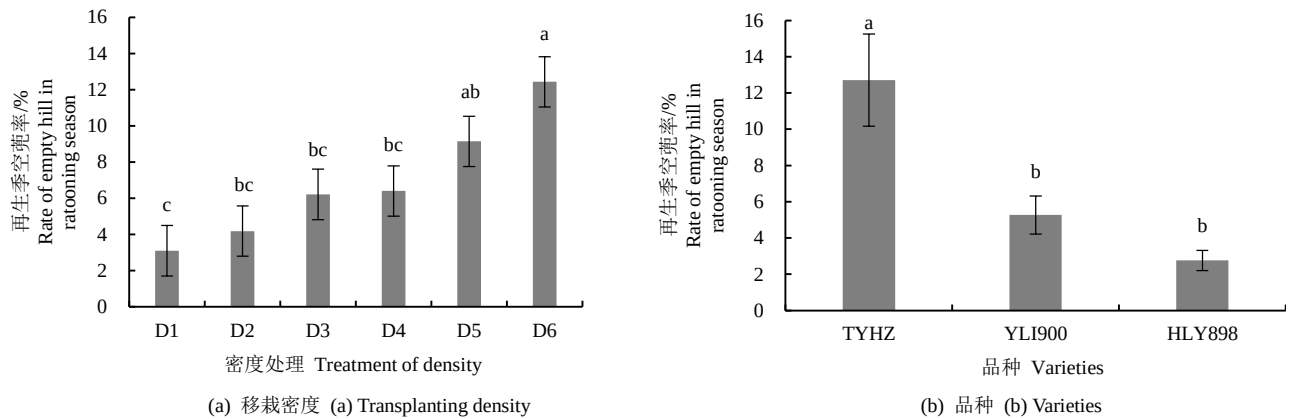


图4 不同移栽密度与不同穗型品种下再生季空莠率

Fig.4 The rate of empty hill in ratooning season under different panicle-typed varieties and transplanting density

2.4.2 不同移栽密度与不同穗型品种对再生稻株高的影响

图5为不同移栽密度与不同穗型品种下再生季株高,由图5可知,稀植低密种植下,再生稻再生季株高较高。整体而言,随着移栽密度的增加,再生季株高越低,其中D1处理与D2处理再生季株高显著高于D6处理,D3、D4、D5与D6处理之间没有显

著性差异。3个不同穗型品种再生季的株高也差异显著,表现为穗粒兼顾型品种 HLY898>大穗型品种 YLY900>多穗型品种 TYHZ,穗粒兼顾型品种 HLY898 再生季株高显著高于大穗型品种 YLY900 与多穗型品种 TYHZ,大穗型品种 YLY900 再生季株高显著高于多穗型品种 TYHZ。

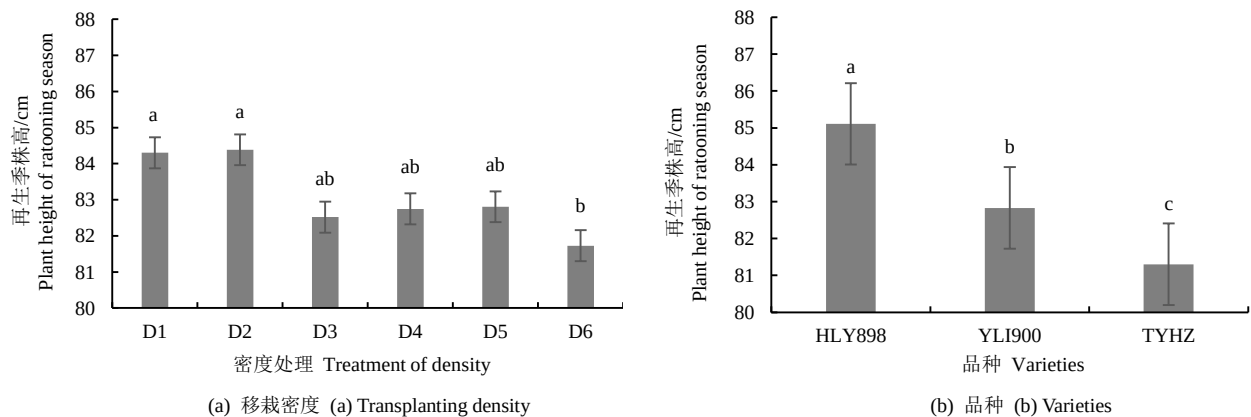


图5 不同移栽密度与不同穗型品种下再生季株高

Fig.5 The plant height of ratooning season under different panicle-typed varieties and transplanting density

2.5 产量与相关指标的相关性分析

表4为再生季产量与相关指标的相关性分析,由表4可知,再生季产量与单位面积穗数、水稻品种类型、收获指数、穗粒比、结实率与株高极显著正相关,与单位面积最高苗数及千粒质量显著相关,相关性表

现为单位面积穗数>水稻品种类型>收获指数>穗粒比>结实率>株高>单位面积最高苗数>千粒质量。再生季产量与每穗粒数及移栽密度负相关,与单位面积地上干物质积累及苗粒比正相关,均没达到显著性相关。

表4 再生季产量与相关指标的相关性分析

Table 4 Correlation analysis between yield of ratooning season and relevant indicators

指标 Indicators	有效穗数 Effective panicles	品种 Varieties	收获指数 Harvest index	穗粒比 Panicle pile ratio	结实率 Setting rate	株高 Plant height	最高苗数 The highest regeneration n seedlings	千粒质量 1000-graint weigh	每穗粒数 Grains per panicle	干物质 Dry matter	移栽密度 Transplanting density	苗粒比 Seedling pile ratio
产量 Yield	0.481**	0.455**	0.450**	0.444**	0.438**	0.365**	0.312*	0.283*	-0.225	0.216	-0.215	0.183

3 讨论

再生稻产量实质上是水稻地上干物质的积累、分配及转运共同作用的结果^[10]。本研究表明,再生季产量与收获指数显著正相关,同前人非再生稻的研究结果一致^[11]。随着移栽密度的增加,收获指数与产量的变化规律一致,均是 D3 处理最佳,进一步分析 D3 处理的产量及产量构成因子,发现 D3 处理的每穗粒数、产量及结实率均是最佳,说明中密处理能扩大库容量,更有利于光合产物输出到籽粒中,显著提高产量^[12-13]。穗粒兼顾型品种 HLY898 的干物质积累和收获指数均处于较高水平,最终产量最高,显著高于大穗型品种 YLY900 与多穗型品种 TYHZ。

大面积生产上再生稻整体产量不理想,主要限制因子是单位面积穗数。邹丹等^[9]研究表明,发苗能力与再生季产量显著正相关。本研究表明,再生季产量与穗桩比极显著正相关,与单位面积最高苗数显著正相关,同前人研究结果一致^[9]。本试验穗粒兼顾型品种 HLY898 发苗能力最佳,分析不同品种再生季发苗动态(图 2),发现大穗型品种 YLY900 发苗速度较快,在头季收割后 20 d 单位面积再生苗数就逐渐稳定并开始下降,说明大穗型品种 YLY900 母桩营养状况非常差,一部分的高位芽由于营养不良已经死亡,非常低的单位面积穗数及结实率也证实了这一点。多穗型品种 TYHZ 单位面积再生苗数以稳定的速度持续增长,结合穗粒兼顾型品种 HLY898 发苗动态和多穗型品种 TYHZ 的单位面积穗数和穗桩比可知,头季收割后 25 d 后萌发的再生苗并不能形成有效穗。不同密度处理下,发苗能力以 D3 处理最佳,其苗桩比与单位面积最高苗数均最高,穗桩比也较高,说明 D3 处理的母桩营养状况较好,能输送更多同化物给再生芽。

株高是影响水稻群体质量的重要农艺性状之一,本研究表明再生季产量与株高极显著正相关,同前人非再生稻研究结果一致^[14-16]。纹枯病是水稻种植中常见的病症,对水稻危害极大,移栽密度是影响纹枯病的重要因素之一,再生稻头季纹枯病会导致再生季空苑。移栽密度显著影响再生稻再生季的空苑率,整体上看,随着移栽密度的增大,再生季空苑率越高,其中 D6 处理再生季空苑率最高,显著高于其他处理(D5 处理除外),同前人非再生稻研究结果一致^[17],说明移栽密度过大不利于通风透光群体的构建,头季更易被纹枯病菌侵染,导致再生季空苑。品种之间再生季空苑率也有显著性差异,多穗型品种 TYHZ 再生季空苑率显著高于大穗型品种 YLY900 与穗粒兼顾型品种 HLY898,可能原因是多穗型品种 TYHZ 头季单位面积穗数较多,局部群体过大,不利于通风透光,更易

被纹枯病菌侵染。

再生稻再生季产量是单位面积穗数、每穗粒数、结实率及千粒质量共同作用的结果,但是作用程度大小,前人研究结果还有一些差异。习敏等^[18]认为单位面积穗数在再生季产量中起主导作用,唐文帮等^[19]认为每穗粒数起主要作用。本研究表明,再生季产量与单位面积穗数和结实率显著正相关,与千粒质量显著正相关,与每穗粒数负相关,与前人结果有一定差异,可能是因为本试验选择的是不同穗型品种,其中大穗型品种 YLY900 每穗粒数很高,但结实率和产量不高的缘故。本试验 D3 处理最佳,结实率及每穗粒数最高,产量构成因子更协调,产量最高,显著高于 D1、D5 与 D6 处理,较其他处理增产 5.4%~22.7%,说明中密度处理能改善水稻群体质量,改善通风和光照条件,协调个体与群体的关系,充分发挥产量潜力实现高产^[20]。互作分析认为,穗粒兼顾型品种 HLY898×D3 处理组合模式再生季产量最高 7 740 kg/hm²,但是它的产量构成因子均不是最高,说明产量构成之间有一定的互作,协调好产量构成因子才能实现高产。本试验中穗粒兼顾型品种 HLY898 与多穗型品种 TYHZ 在 22.5 万穴/hm² 移栽密度下再生季产量最高,大穗型品种 YLY900 再生季产量在不同移栽密度下无显著差异,同前人非再生稻研究结果存在一定差异^[21],这可能是再生稻再生季特殊的生长环境导致的。同时,本试验每种穗型只选了一个品种,因此下一步研究会增加品种数量来进一步明确不同穗型品种对移栽密度的响应规律。

4 结论

1) 穗粒兼顾型品种 HLY898 与多穗型品种 TYHZ 在 22.5 万穴/hm² 移栽密度下再生季产量最高,大穗型品种 YLY900 在不同移栽密度下再生季产量无显著差异。穗粒兼顾型品种 HLY898 再生季空苑率低,苗桩比高,再生苗成穗能力强,干物质积累能力强,收获指数高,产量构成因子比较协调,实际产量显著高于多穗型品种 TYHZ 与大穗型品种 YLY900,增产 9.99%~11.70%。

2) 再生季空苑率与移栽密度成正比,22.5 万穴/hm² 移栽密度处理下,再生稻再生季发苗能力强,收获指数高,源库关系好,产量构成因子更协调,能充分发挥产量潜力实现高产。

3) 移栽密度与穗型品种互作条件下,穗粒兼顾型品种 HLY898 与 22.5 万穴/hm² 的密度组合模式综合性能最好,产量最高。

参考文献:

- [1] 蔡农. 再生稻利用的可行性[J]. 湖北农业科学, 1987, 26(4): 40-41, 13.
CAI Nong. Feasibility of ratooning rice utilization [J]. Hubei Agricultural Sciences, 1987, 26(4): 40-41, 13.
- [2] RAY D K, FOLEY J A. Increasing global crop harvest frequency: Recent trends and future directions[J]. Environmental Research Letters, 2013, 8(4): 044041.
- [3] 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(208): 55-59.
- [4] 余贵龙, 刘祥臣, 张强, 等. 不同机插方式对再生稻生长及产量的影响[J]. 中国稻米, 2018, 24(2): 32-36.
YU Guilong, LIU Xiangchen, ZHANG Qiang, et al. Effects of different planting patterns on growth and yield of ratoon rice[J]. China Rice, 2018, 24(2): 32-36.
- [5] 明兴权, 张桂莲, 杜蔚, 等. 再生稻品种筛选的初步研究[J]. 杂交水稻, 2018, 33(1): 41-44.
MING Xingquan, ZHANG Guilian, DU Wei, et al. A preliminary study on varietal selection for ratooning rice[J]. Hybrid Rice, 2018, 33(1): 41-44.
- [6] 徐富贤, 熊洪, 张林, 等. 再生稻产量形成特点与关键调控技术研究进展[J]. 中国农业科学, 2015, 48(9): 1 702-1 717.
XU Fuxian, XIONG Hong, ZHANG Lin, et al. Progress in research of yield formation of ratooning rice and its high-yielding key regulation technologies[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(9): 1 702-1 717.
- [7] 周奥, 何可佳, 李晓刚. 湖南地区再生稻品种筛选及高产栽培技术研究[J]. 中国农学通报, 2016, 32(15): 1-5.
ZHOU Ao, HE Kejia, LI Xiaogang. Variety screening and high yield cultivation techniques of ratoon rice in Hunan[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(15): 1-5.
- [8] 徐富贤, 范青华, 陈应平, 等. 冬水田杂交中稻栽秧密度与方式互作对头季稻及再生稻生长的影响[J]. 西南农业学报, 2010, 23(3): 629-635.
XU Fuxian, FAN Qinghua, CHEN Yingping, et al. Effect of cultural density and model on main crop and ratooning rice of mid-season hybrid rice in winter paddy field[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2010, 23(3): 629-635.
- [9] 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. The effects of seedling-fertilizer and seedling-water-layer on grain yield and seedling growth of ratooning rice[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(10): 26-31.
- [10] 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.
- [11] 杨日, 杨桂芬, 龚志宏, 等. 播期对融水、三江超级稻头季稻及再生稻性状的影响[J]. 南方农业学报, 2011, 42(8): 890-894.
YANG Ri, YANG Guifen, GONG Zhihong, et al. Effect of different sowing dates on characteristics of first and ratoon super rice crops[J]. Journal of Southern Agriculture, 2011, 42(8): 890-894.
- [12] 王森, 莫菁华, 汪洋, 等. 水稻-再生稻体系干物质积累及氮磷钾养分的吸收利用[J]. 中国水稻科学, 2018, 32(1): 67-77.
WANG Sen, MO Jinghua, WANG Yang, et al. Dry matter accumulation and N, P, K absorption and utilization in rice-ratoon rice system[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2018, 32(1): 67-77.
- [13] 陈鸿飞, 杨东, 梁义元, 等. 头季稻氮肥运筹对再生稻干物质积累、产量及氮素利用率的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(1): 50-56.
CHEN Hongfei, YANG Dong, LIANG Yiyuan, et al. Effect of nitrogen application strategy in the first cropping rice on dry matter accumulation, grain yield and nitrogen utilization efficiency of the first cropping rice and its ratoon rice crop[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(1): 50-56.
- [14] 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.
- [15] 姚辰, 赵宏伟, 邹德堂, 等. 插秧密度和施氮量对不同穗型水稻灌浆特性的影响[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(11): 24-29.
YAO Chen, ZHAO Hongwei, ZOU Detang, et al. Effects of transplanting density and nitrogen level on grain-filling and yield characters of rice with different types of panicles[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2015, 34(11): 24-29.
- [16] 潘玉才, 钱非凡, 黄卫红, 等. 麦秸还田对水稻生长的影响[J]. 上海农业学报, 2001(1): 59-65.
PAN Yucai, QIAN Feifan, HUANG Weihong, et al. Effect of returning of wheat stalk to field on growth of rice[J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2001(1): 59-65.
- [17] 原晓明, 俞双恩, 谢俊英, 等. 农田水位调控对水稻茎蘖动态和株高的影响[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(3): 56-59.
YUAN Xiaoming, YU Shuangen, XIE Junying, et al. Effects of controlled water level on the development of the tiller number and plant height[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2011, 30(3): 56-59.
- [18] 何双红, 魏永霞. 水肥耦合条件下水稻株高及其与产量关系组成分析[J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(4): 129-132.
HE Shuanghong, WEI Yongxia. Relations of plant height and rice yield under the condition of water fertilizer coupling[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2010, 29(4): 129-132.
- [19] 王清文, 黄保全, 鲁永明, 等. 机插秧不同插植密度对水稻纹枯病发生及危害影响的初步研究[J]. 陕西农业科学, 2016, 62(6): 41-42.
WANG Qingwen, HUANG Baoquan, LU Yongming, et al. Effects of different planting densities on occurrence and damage of rice sheath blight in machine transplanting[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2016, 62(6): 41-42.
- [20] 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 Wenge, 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.
- [21] 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.
- [22] 郭保卫, 朱聪聪, 朱大伟, 等. 钵苗机插密度对不同类型水稻齐穗期株型及冠层微环境的影响[J]. 生态学杂志, 2015, 34(1): 9-17.
- GUO Baowei, ZHU Congcong, ZHU Dawei, et al. Effects of planting density on plant form and micrometeorology in different types of rice with potted seedlings by mechanical-transplanting method[J]. Chinese Journal of Ecology, 2015, 34(1): 9-17.
- [23] 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.
- HU Yajie, CAO Weiwei, QIAN Haijun, et al. Effect of planting density of mechanically transplanted pot seedlings on yield, plant type and lodging resistance in rice with different panicle types[J]. Acta Agronomica Sinica, 2015, 41(5): 743-757.

Effects of Different Panicle-typed Varieties and Transplanting Densities on Yield, the Ability of Seedling Growth and Dry Matter Accumulation of Ratooning Rice

ZOU Dan, TANG Qiyuan*, ZHENG Huabin, WANG Weiqin,
ZHANG Xiang, LIU Gongyi, MO Wenwei, ZHENG Zhigang
(College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract : 【Objective】 The purpose of this paper is to explore the effects of different panicle-typed varieties and transplanting densities on the ability of seeding growth and yield in the ratooning season of ratooning rice. 【Method】 The split-plot experiment of double factors was designed, the transplanting densities was main-plot (D1: 1.5×10^4 hills per hectare, D2: 1.875×10^4 hills per hectare, D3: 2.25×10^4 hills per hectare, D4: 2.625×10^4 hills per hectare, D5: 3.0×10^4 hills per hectare, D6: 3.375×10^4 hills per hectare), the panicle-typed varieties was subplot (TYHZ: multi-panicle-type variety; HLY898: the panicle-kernel-type variety; YLY900: the big-panicle-typed variety). 【Result】 The response of different panicle varieties to transplanting density were different. The optimal yield of both panicle-kernel-type variety HLY898 and multi-panicle-type variety TYHZ are D3 treatment, while there was no significant difference under YLY900. The overall effects of three panicle-typed varieties on the yield and yield components, ability of seedling, dry matter accumulation and distribution, and the rate of empty hill presented HLY898 > TYHZ = YLY900. The yield of HLY898 was significantly higher than the other two varieties and the amount of rise was 9.99%~11.70%. From the analysis of yield and yield components, D3 treatment has the highest setting rate, grains per panicle and yield, and the yield is significantly higher than D1, D5 and D6 treatment, the amount of rise was 5.4%~22.7%. The seedling pile ratio and the highest regeneration seedlings per unit area of D3 treatment is the optimum, significantly better than D6 treatment. The panicle forming ability of D3 and D4 treatment are the optimum, significantly higher than D1, D2 and D6 treatment. The dry matter accumulation of D5 treatment is the optimum, and the harvest index of D3 treatment was the optimum. Under different transplanting densities, the low and medium transplanting density was the optimum on the rate of empty hill in the ratooning season of ratooning rice, significantly better than D6 treatment. Yield, yield components and the ability of seedling growth of panicle-kernel-type variety HLY898 were the optimum, with stronger adaptability. The ability of seedling growth and yield of medium density treatment are significantly higher than other density treatments, and the yield components are more coordinating, which can give full play to the yield potential of the variety to achieve higher yield. 【Conclusion】 The panicle-kernel-type variety HLY898 and the combination of transplanting density of 2.25×10^4 hills per hectare has the best comprehensive performance and the highest yield in the ratooning season.

Key words: transplanting density; ratooning rice; the ratooning season; yield; seedling growth

责任编辑：白芳芳