

同步开沟起垄精量穴直播对南方双季籼稻产量和稻米品质的影响

陈丽明, 王文霞, 熊若愚, 解嘉鑫, 吴自明, 谭雪明,
曾勇军, 陈雄飞, 石庆华, 潘晓华, 曾研华*

(江西农业大学/作物生理生态与遗传育种教育部重点实验室/江西省作物生理生态与遗传育种重点实验室/
双季稻现代化生产协同创新中心, 南昌 330045)

摘 要: 为了明确不同直播方式对早晚兼用双季籼稻产量和稻米品质的影响, 该研究以常规早籼稻湘早籼 45 号和杂交晚籼稻泰优 398 为材料, 进行早晚双季直播种植, 比较人工撒直播 (AS) 和同步开沟起垄精量穴直播 (PHDD) 对早晚兼用双季直播稻出苗、产量和稻米品质的影响。结果表明, 与 AS 相比, PHDD 显著提高供试品种的出苗率, 早晚季增幅分别为 7.4%~14.2%和 6.9%~8.0%; PHDD 有利于提高供试品种周年产量, 2 个品种的增产幅度为 3.23%~21.66%, 其中湘早籼 45 号早晚 2 季增产均显著, 泰优 398 为晚季增产显著; 从产量构成因素来看, PHDD 下供试品种的产量提高主要与有效穗数、每穗粒数有关; PHDD 显著提高湘早籼 45 号早季的整精米率、整精米率和垩白度以及泰优 398 晚季的垩白粒率, 显著降低泰优 398 早季的整精米率及湘早籼 45 号晚季的垩白粒率、垩白度和蛋白质含量, 直链淀粉含量无显著差异; PHDD 显著提高泰优 398 晚季米粉的峰值黏度、热浆黏度、崩解值和最终黏度, 显著降低糊化温度。总体来说, PHDD 有利于提高优质水稻品种周年产量, 主要与穗粒数协调有关, 增产途径因品种和季节而异, 同时显著改善湘早籼 45 号早季加工品质及晚季外观品质, 降低泰优 398 的早季加工品质及晚季外观品质, 但改善其晚季蒸煮食味品质, PHDD 下晚季直播稻稻米品质改善明显。研究结果可为南方双季直播籼稻优质丰产栽培提供理论依据。

关键词: 水稻; 机械化; 种植; 直播方式; 产量; 稻米品质

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2021.01.004

中图分类号: S233.71

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2021)-01-0028-08

陈丽明, 王文霞, 熊若愚, 等. 同步开沟起垄精量穴直播对南方双季籼稻产量和稻米品质的影响[J]. 农业工程学报, 2021, 37(1): 28-35. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2021.01.004 http://www.tcsae.org

Chen Liming, Wang Wenxia, Xiong Ruoyu, et al. Effects of simultaneous furrow ridging and precision hill-direct-seeding on grain yield and quality of double-cropping *indica* rice in South China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2021, 37(1): 28-35. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2021.01.004 http://www.tcsae.org

0 引 言

直播稻因其节水^[1]、节省劳动力^[2]和温室气体排放少^[3], 有利于水稻轻简化生产等诸多优点, 呈迅速发展趋势^[4]。华南农业大学发明的同步开沟起垄精量穴直播技术可实现直播稻田成行成穴的有序生长, 实现了直播水稻轻简化与机械化栽培^[5]。南方稻区作为中国重要的双季稻优势主产区, 直播稻种植面积也逐年增加, 且晚稻直播面积也呈上升趋势, 但主要以人工撒直播为主, 易导致植株分布杂乱无序, 通风透光性差, 降低直播稻产量, 影响产量的稳定性^[6]。而南方稻区直播稻的生产方式呈现人工撒直播和机械直播共存的局面; 同时, 近年来, 南方籼稻优质化生产趋势明显, 为水稻产业结构转型升级与

提质增效奠定了重要基础。而转变生产方式是实现南方优质籼稻生产提质增效的重要举措。因此, 研究不同直播方式对南方双季优质籼稻产量和稻米品质的影响, 对于促进南方双季直播稻的优质丰产栽培具有重要意义。关于直播稻优质丰产栽培已有大量研究。张鸿等^[7]研究表明, 轻干湿交替灌溉下安排适宜的施氮量, 可同步提高直播早籼稻的产量、氮素利用率和水分利用率。吴培等^[8]研究发现直播晚粳稻 225 kg/hm² 施氮水平搭配 180×10⁴ 株/hm² 直播密度仍可获得较高产量。王文霞等^[9]研究认为, 提早播种降低了直播早籼稻的产量、加工品质、外观品质和营养品质, 但改善了稻米的食味品质。姚义等^[10]研究指出麦茬直播粳稻尽可能早播易获高产, 且改善稻米的蒸煮与食味品质, 但降低外观品质。前人的研究主要集中于播期^[11]、播种密度^[12]、肥料运筹^[13]、水分管理^[14]、抗倒伏^[15]等栽培措施对直播早籼稻或麦茬直播粳稻产量和稻米品质的影响, 但关于双季直播籼稻的研究较少, 尤其是在机械直播方式下探讨南方双季直播稻产量和稻米品质变异特征的研究不足, 且相比人工撒直播方式, 并无统一的定量结论。此外, 早稻品种翻秋作晚稻直播与晚稻品种作早稻种植连种晚稻均可解决直播稻田落粒谷影响下茬稻谷纯度与稻米品质等问题, 也是南方双季

收稿日期: 2020-11-18 修订日期: 2020-12-26

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31760366); 国家重点研发计划项目 (2017YFND0301605); 江西省自然科学基金项目 (20161BAB214171); 江西省重点研发计划项目 (20171ACF60018); 江西省水稻产业技术体系项目 (JXARS-02-03)

作者简介: 陈丽明, 博士生, 主要从事水稻高产栽培生理研究。

Email: 13657987055@163.com

*通信作者: 曾研华, 博士, 副教授, 主要从事水稻高产栽培与土壤肥力研究。Email: zyh74049501@163.com

稻区抗灾补救晚稻生产的重要技术措施；同时，选用优质早熟型晚籼稻品种作早稻种植，亦可实现优质稻米早上市，解决早稻卖粮难的问题。因此，本研究以常规早籼稻湘早籼 45 号和早晚兼用型杂交籼稻泰优 398 为试验材料，分别进行早季早与晚季早稻种植的双季直播模式，系统比较人工撒直播和同步开沟起垄精量穴直播方式下双季直播稻出苗、产量及稻米品质的变化特征，以期为南方双季直播稻优质丰产稳产栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点与供试材料

试验于 2019 年 4—11 月在江西农业大学产学研合作人才培养上高创新实践基地 (115°09'E、28°31'N) 进行，试验地年降水量为 1 650 mm，年平均气温为 17.5 °C。土壤类型为第四纪红色黏土发育而成的水稻土，0~20 cm 耕层土壤肥力：全氮 1.92 g/kg、有机质 34.55 g/kg、速效氮 95.44 mg/kg、速效磷 27.79 mg/kg、速效钾 99.66 mg/kg，pH 值 5.98。

在前期 2 a 研究结果的基础上^[16-17]，选取湘早籼 45 号 (Xiangzaoxian45) 和泰优 398 (Taiyou398) 采用早晚兼用的搭配方式，即早稻和晚稻均为同一品种。其中湘早籼 45 号为常规中熟早籼稻，作双季早稻种植的全生育期 106 d，千粒质量 26.2 g，该品种米质优，抗性好；泰优 398 属早晚兼用型三系杂交籼稻，该品种株型适中，分蘖力强，米质优，在江西省作早稻种植的全生育期 116 d，千粒质量 23.5 g，米质达部标 3 级；作晚稻种植全生育期 111.2 d，千粒质量 23.1 g，米质达国优 2 级。

1.2 试验设计

采用裂区设计，品种为主区，直播方式为副区，主区面积为 1 334 m²，副区为 667 m²。因南方田块大小限制，为了符合大田生产实际，便于机械化穴直播作业，处理不设重复。设计 2 种直播方式：人工撒直播 (AS) 和同步开沟起垄精量穴直播 (PHDD)。常规稻播种量为 70 kg/hm²，杂交稻播种量为 33 kg/hm²，2 种直播方式的播种量相同。早稻于 4 月 5 日播种，各处理收割后在同一大区播种晚稻，晚稻于 7 月 29 日播种。直播机机型为 2BDXZ-10SC(25)，播种株行距为常规稻 12 cm×25 cm，每穴 5~8 粒；杂交稻 14 cm×25 cm，每穴 3~5 粒。早季施纯氮量为 165 kg/hm²，其中基肥：分蘖肥：穗肥=5:2:3；磷肥 (P₂O₅) 施用量为 90 kg/hm²，作为基肥一次性施入；钾肥 (K₂O) 施用量为 150 kg/hm²，其中基肥：穗肥=7:3。晚季施纯氮量为 195 kg/hm²，其中基肥：分蘖肥：穗肥=4:2:4；磷肥 (P₂O₅) 施用量为 90 kg/hm²，全部作为基肥；钾肥 (K₂O) 施用量为 170 kg/hm²，其中基肥：穗肥=7:3。栽培措施同一般高产栽培进行。试验期间田间温光、降雨等气候正常，无重大气象灾害发生，温度、日照时数与降雨量气象数据如图 1 所示，早季乳熟期 (7 月 3—13 日) 遭遇持续强降雨 (日均降雨量 26.5 mm) 和降温天气 (最低日均气温为 21.6 °C)，导

致成熟期延长，晚季降雨量少。

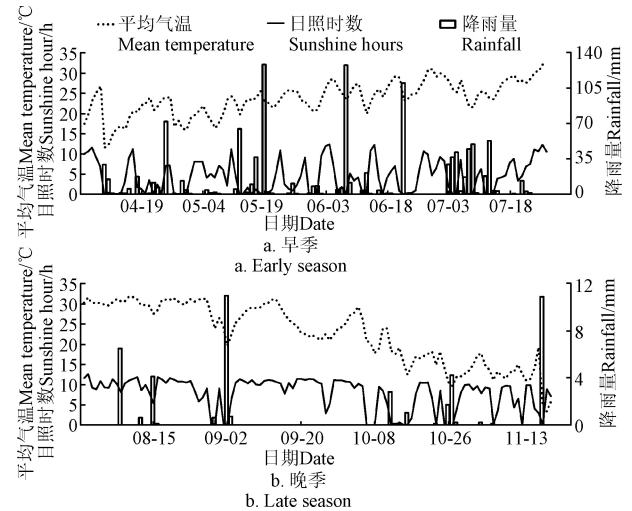


图 1 早季和晚季的日平均气温、日照时长和降雨量
Fig.1 Daily mean temperature, sunshine hours and rainfall in early season and late season

1.3 测定项目与方法

1.3.1 生育期

记录不同直播方式的播种期、抽穗期和成熟期。抽穗期是指大区中 50% 植株抽穗的日期，成熟期是指大区中 95% 稻谷变黄的生理成熟日期。

1.3.2 出苗率

苗期调查 1 m² 出苗数，每个大区 3 次重复。出苗率按式 (1) 计算：

$$\text{出苗率} = \text{出苗数} / \text{播种粒数} \times 100\% \quad (1)$$

1.3.3 产量与产量构成

成熟期调查 3 m² 有效穗数，取 0.5 m² 植株采用水漂法考种；实割 10 m² 测产，脱粒后晒干称质量，计算实际产量，每个大区 3 次重复。

1.3.4 稻米品质

按照《GB/T 17891-2017 优质稻谷》测定糙米率 (%)、精米率 (%)、整精米率 (%)、垩白粒率 (%)、垩白度 (%)、直链淀粉含量 (%)。蛋白质含量 (%) 采用凯氏定氮法测定，换算系数为 5.95。

1.3.5 RVA 谱特征值

采用 RVA 快速黏度分析仪 (Super 3, Newport Scientific, 澳大利亚)，TCW 配套软件分析米粉黏滞特性，指标为峰值黏度 (Pa·s)、热浆黏度 (Pa·s)、最终黏度 (Pa·s)、崩解值 (Pa·s)、消减值 (Pa·s)、糊化时间 (min) 和糊化温度 (°C)。

1.4 数据分析

用 Microsoft Excel 2007、SPSS 19.0 (SPSS Inc Chicago, USA) 进行处理和分析，Origin 9.5 作图，采用 LSD 法在 0.05 水平进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 生育期

不同直播方式对供试水稻品种的早晚 2 季全生育期

无较大影响,泰优 398 晚季同步开沟起垄精量穴直播下抽穗期提前(表 1),而同一品种进行异季种植的营养生长期(播种-抽穗)和生殖生长期(抽穗-成熟)相差很大,主要表现为晚季播抽历期显著缩短,但花后生育期显著延长。湘早籼 45 号作晚季种植的全生育期比早季缩短 9 d,而泰优 398 作早晚稻 2 季间的全生育期相差较小。

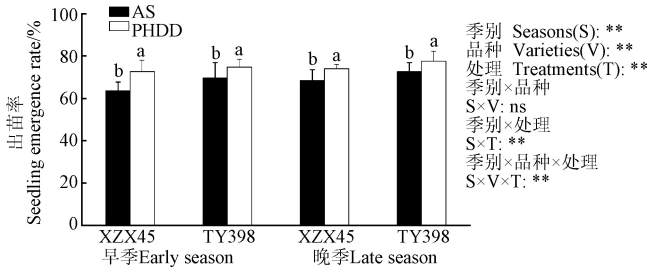
表 1 不同直播方式下各品种生育期
Table 1 Growth stage of each variety under different direct seeding methods

季别 Seasons	品种 Varieties	处理 Treatments	播种期(月-日) ST (Month-day)	抽穗期(月-日) HS (Month-day)	成熟期(月-日) MS (Month-day)	播种-抽穗 ST-HS/d	抽穗-成熟 HS-MS/d	全生育期 Growth stages/d
早季 Early season	湘早籼 45 号 Xiangzaoxian45	AS	04-05	06-15	07-22	71	37	108
		PHDD	04-05	06-15	07-22	71	37	108
	泰优 398 Taiyou398	AS	04-05	06-24	07-27	80	33	113
		PHDD	04-05	06-24	07-27	80	33	113
晚季 Late season	湘早籼 45 号 Xiangzaoxian45	AS	07-29	09-20	11-05	53	46	99
		PHDD	07-29	09-20	11-05	53	46	99
	泰优 398 Taiyou398	AS	07-29	10-04	11-18	65	47	112
		PHDD	07-29	10-02	11-18	65	47	112

注: AS: 人工撒直播; PHDD: 同步开沟起垄精量穴直播; ST: 播种期; HS: 抽穗期; MS: 成熟期; ST-HS: 播种-抽穗; HS-MS: 抽穗-成熟。下同。
Note: AS: artificial seeding; PHDD: precision hill-drop drilling; ST: seeding time; HS: heading stage; MS: maturity stage; ST-HS: seeding time-heading stage; HS-MS: heading stage-maturity stage. The same as below.

2.2 出苗率

由图 2 可知,季别(S)、品种(V)和处理(T)及其互作对供试品种の出苗率均有极显著影响(S×V 除外)。不同播种方式下,同步开沟起垄精量穴直播显著提高双季直播早晚籼稻品种の出苗率,且同一品种晚季出苗率要相应高于早季。与人工撒直播相比,同步开沟起垄精量穴直播下湘早籼 45 号早晚季の出苗率分别提高 14.2%、8.0%,泰优 398 早晚季则分别提高 7.4%、6.9%。说明同步开沟起垄精量穴直播有利于提高供试品种双季直播の出苗率,为秧苗早发奠定基础。



注: 不同小写字母表示同一季别相同品种不同处理间差异达到显著水平($P<0.05$); **, *和 ns 分别表示处理在 0.01、0.05 水平上差异显著和差异不显著。下同。
Note: Different small letters indicate statistically significant differences ($P<0.05$) between treatments within the same season and variety; **, * and ns means significant at 0.01 and 0.05 levels, and not significant, respectively. The same as below.

图 2 不同直播方式对南方双季直播优质籼稻出苗率的影响
Fig.2 Effects of different direct seeding methods on emergence rate of double-cropped high-quality direct seeding indica rice in South China

2.3 产量与产量构成

由表 2 可知,品种对晚季和周年的产量有显著影响,而处理对早季、晚季和周年产量有显著或极显著影响,且品种和处理对早季产量和周年产量有显著的互作效应。总体上,同步开沟起垄精量穴直播较人工撒直播增加供试品种早晚季及周年的产量(泰优 398 早季除外),其中湘早籼 45 号早季、晚季和周年的产量差异显著,增

幅分别为 30.56%、12.59%和 21.66%;而泰优 398 品种仅晚季增产显著,增幅达 7.56%。

表 2 不同直播方式对南方双季优质籼稻产量的影响
Table 2 Effects of different direct seeding patterns on grain yield of double-cropped high-quality indica rice in South China
kg·hm⁻²

品种 Varieties(V)	处理 Treatments (T)	早季 Early season	晚季 Late season	周年 Annual
湘早籼 45 号 Xiangzaoxian 45	AS	4 449.2±184.3b	4 369.9±108.0d	8 819.1±151.9b
	PHDD	5 809.8±649.1a	4 920.0±80.0c	10 729.8±702.8a
泰优 398 Taiyou398	AS	5 128.4±453.7ab	5 692.2±36.8b	10 820.6±468.0a
	PHDD	5 044.4±665.4ab	6 121.9±62.6a	11 166.3±602.9a
V		ns	**	**
T		*	**	**
V×T		*	ns	*

注: 表中数据为平均值±标准误差;同一列不同小写字母表示差异达到显著水平($P<0.05$); **和*分别表示处理在 0.01、0.05 水平上差异显著, ns 表示差异不显著。下同。
Note: The data in the table are average values ± standard error. Different lowercase letters mean significant difference ($P<0.05$); ** and * means significant at 0.01 and 0.05 levels, respectively and ns means not significant. The same as below.

从产量构成因素来看(表 3),季别、品种和处理对有效穗数、每穗粒数和结实率有极显著影响,且品种对千粒质量也有显著影响,季别和品种与季别和处理对每穗粒数和结实率有极显著互作效应,而品种和处理与季别、品种和处理对有效穗数和每穗粒数有极显著互作效应。与人工撒直播相比,同步开沟起垄精量穴直播显著提高常规稻湘早籼 45 号早、晚 2 季的有效穗数、每穗粒数,且显著提高早季结实率;对于杂交稻泰优 398 来说,同步开沟起垄精量穴直播显著降低早季每穗粒数,但显著增加结实率,作晚季种植时,也显著提高有效穗数和每穗粒数。说明同步开沟起垄精量穴直播对直播籼稻早晚季产量构成因子的影响因品种与季节而异,但总体穗粒结构的协同增加促进水稻双季直播的产量。

表 3 不同直播方式对南方双季优质籼稻产量构成因素的影响
Table 3 Effects of different direct seeding methods on yield components of double-cropped high-quality *indica* rice in South China

季别 Seasons (S)	品种 Varieties (V)	处理 Treatments (T)	有效穗数 Effective panicle number/ (10 ⁴ ·hm ⁻²)	每穗粒数 Grain number per panicle	结实率 Seed setting rate/%	千粒质量 1 000- grain weight/g
早季 Early season	湘早籼 45 号	AS	179±7.1f	95.5±4.8e	80.3±2.4b	24.4±0.8ab
		PHDD	237±1.5e	114.5±6.5d	92.2±1.8a	24.0±0.5b
	泰优 398	AS	247±3.0e	173.6±2.9a	71.3±1.9c	24.3±0.4ab
		PHDD	247±2.0e	162.6±1.9b	81.8±1.9b	24.2±0.6ab
晚季 Late season	湘早籼 45 号	AS	298±4.5d	90.6±5.0e	69.6±1.9c	24.8±0.1a
		PHDD	325±9.8c	115.4±2.0d	69.7±2.0c	24.1±0.6ab
	泰优 398	AS	338±12.7b	119.0±7.2d	70.9±2.0c	24.6±0.2ab
		PHDD	388±4.6a	139.0±4.7c	71.5±1.2c	24.1±0.7ab
	S		**	**	**	ns
	V		**	**	**	*
	T		**	**	**	ns
	S×V		ns	**	**	ns
	S×T		ns	**	**	ns
	V×T		**	**	ns	ns
	S×V×T		**	**	ns	ns

2.4 稻米品质

不同直播方式对供试品种早晚季稻米品质影响存在一定差异（表 4）。与人工撒直播相比，同步开沟起垄精

量穴直播显著提高湘早籼 45 号早季的精米率和整精米率，增幅分别为 7.3%和 17.5%，而显著降低泰优 398 的整精米率，降幅达 7.6%，但晚季处理间差异不明显。对于外观品质，同步开沟起垄精量穴直播显著增加湘早籼 45 号早季垩白度，增幅为 50.7%，但显著降低晚季的垩白粒率和垩白度，降幅分别达 24.3%和 32.0%；而杂交籼稻泰优 398 两季种植的垩白粒率和垩白度均有增加趋势，其中晚季垩白粒率增加显著，达 32.0%。湘早籼 45 号处理间稻米蛋白质含量差异要高于泰优 398，同步开沟起垄精量穴直播显著降低湘早籼 45 号晚季稻米的蛋白质含量，而泰优 398 品种早晚季处理间差异不明显。不同直播方式对 2 个品种早晚季稻米的直链淀粉含量无显著影响。此外，2 个品种稻米品质指标的季别差异较大，总体上晚季稻米加工品质与外观品质比早季改善明显。

此外，季别对稻米出糙率无显著影响，但品种对稻米品质所有指标均有显著或极显著影响，处理对精米率、垩白度和蛋白质含量有显著或极显著影响；同时，季别和品种对精米率、整精米率、蛋白质含量与直链淀粉含量存在显著或极显著互作效应，季别和处理对垩白度和蛋白质含量有极显著互作效应，而品种和处理对精米率、蛋白质含量有显著或极显著互作效应，且季别、品种和处理对精米率、整精米率、垩白度、蛋白质有显著或极显著互作效应。

表 4 不同直播方式对稻米加工品质、外观品质、蛋白质和直链淀粉含量的影响
Table 4 Effects of different direct seeding patterns on grain milling quality, appearance quality, protein and amylose content

季别 Seasons(S)	品种 Varieties(V)	处理 Treatments(T)	加工品质 Milling quality			外观品质 Appearance quality		蛋白质含量 Protein content/%	直链淀粉含量 Amylose content/%
			出糙率 Brown rice rate/%	精米率 Milled rice rate/%	整精米率 Head rice rate/%	垩白粒率 Chalky grain rate/%	垩白度 Chalkiness/%		
早季 Early season	湘早籼 45 号	AS	81.4±0.3ab	64.0±1.0d	37.7±0.3e	37.6±9.1a	9.29±0.13b	7.16±0.21cd	14.1±0.26c
		PHDD	81.3±0.4ab	68.7±1.5c	44.3±2.4cd	39.8±7.8a	14.0±0.73a	7.66±0.24c	14.2±0.34c
	泰优 398	AS	81.2±0.5ab	62.1±1.0de	47.4±0.7c	26.5±3.2b	7.76±0.98c	7.06±0.73d	13.8±0.26c
		PHDD	81.7±0.7a	61.8±0.9e	43.8±0.6d	28.6±3.5b	9.04±0.64b	6.92±0.36d	13.3±0.44cd
晚季 Late season	湘早籼 45 号	AS	80.8±0.2b	72.0±1.5b	63.8±2.4ab	23.5±0.7bc	8.82±0.79bc	11.7±0.57a	15.8±0.22b
		PHDD	80.8±0.1b	72.7±1.8ab	60.7±3.6b	17.8±0.8cd	6.00±0.48d	8.77±0.66b	15.6±0.33b
	泰优 398	AS	81.2±0.2ab	74.3±2.5a	63.0±2.9ab	12.2±0.4d	4.10±0.80e	7.18±0.30cd	17.8±0.16a
		PHDD	81.6±0.3a	74.8±0.9a	64.2±1.4a	16.1±1.3cd	5.91±0.50d	7.36±0.28cd	18.0±0.52a
	S		ns	**	**	**	**	**	*
	V		*	*	**	**	**	**	*
	T		ns	*	ns	ns	**	**	ns
	S×V		ns	**	*	ns	ns	**	*
	S×T		ns	ns	ns	ns	**	**	ns
	V×T		ns	*	ns	ns	ns	**	ns
	S×V×T		ns	*	**	ns	**	**	ns

2.5 米粉 RVA 谱特征值

由表 5 可知,不同直播方式仅对泰优 398 晚季米粉 RVA 谱绝大部分的特征值影响显著（消减值与糊化时间除外）。与人工撒直播相比，同步开沟起垄精量穴直播显著增加泰优 398 晚季米粉的峰值黏度、热浆黏度、崩解值和最终黏度，而显著降低糊化温度。此外，同一品种的米粉 RVA 谱特征值存在一定季别差异，晚季的峰值黏度、热浆黏度、崩解值和最终黏度要低于早季，但消减值则增加明显。

方差分析结果表明（表 5），季别仅对糊化温度无显著影响，品种对崩解值、消减值和糊化时间无显著影响，而处理仅对糊化温度有极显著影响；此外，季别和品种对峰值黏度、崩解值、消减值和糊化温度有显著或极显著的互作效应，季别和处理对峰值黏度、热浆黏度与最终黏度有显著互作效应，品种和处理对峰值黏度和热浆黏度有显著的互作效应，且季别、品种和处理仅对糊化温度有显著的互作效应。

表 5 不同直播方式对米粉 RVA 特征值的影响
Table 5 Effects of different direct seeding patterns on the RVA characteristics of rice flour

季别 Seasons(S)	品种 Varieties(V)	处理 Treatments(T)	峰值黏度 Peak viscosity/ (Pa·s)	热浆黏度 Hot viscosity/ (Pa·s)	崩解值 Breakdown/ (Pa·s)	最终黏度 Final viscosity/ (Pa·s)	消减值 Setback/(Pa·s)	糊化时间 Pasting time/min	糊化温度 Pasting temperature/℃
早季 Early season	湘早籼 45 号	AS	3 584±474ab	2 279±273ab	1 305±248a	3 695±462a	111±25.3c	6.1±0.1a	81.7±1.0b
		PHDD	3 514±206b	2 189±110b	1 325±111a	3 632±126ab	118±82.7c	6.1±0.1a	80.3±0.0bc
	泰优 398	AS	3 938±131a	2 470±163a	1 468±62.0a	3 847±225a	-139±40.1d	6.1±0.1a	80.3±0.0bc
		PHDD	3 950±104a	2 469±41.6a	1 481±70.9a	3 899±73.0a	-123±13.5d	6.0±0.1a	79.8±0.9c
晚季 Late season	湘早籼 45 号	AS	2 859±75.2cd	1 789±109c	1 071±34.7b	3 255±79.2c	396±31.2b	6.2±0.1a	80.0±1.2c
		PHDD	2 901±76.1c	1 851±40.4c	1 051±38.5b	3 323±60.0bc	421±52.4b	6.2±0.0a	79.0±1.2c
	泰优 398	AS	2 507±76.1d	1 666±70.7c	8 40.3±28.0c	3 282±119bc	776±49.0a	6.2±0.0a	83.8±1.2a
		PHDD	3 226±47.7bc	2 141±118b	1 085±70.1b	3 925±51.5a	699±49.1a	6.1±0.1a	80.3±0.0bc
	S		**	**	**	**	**	*	ns
	V		*	*	ns	**	ns	ns	*
	T		ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
	S×V		*	ns	*	ns	**	ns	**
	S×T		*	*	ns	*	ns	ns	ns
	V×T		*	*	ns	ns	ns	ns	ns
	S×V×T		ns	ns	ns	ns	ns	ns	*

3 讨 论

3.1 同步开沟起垄精量穴直播对早晚兼用型双季直播籼稻出苗的影响

直播种植方式省去育秧移栽环节，直接将催芽的种子播种到大田。播种后常因整田不平或降雨淹水导致烂种烂芽，影响出苗。前人研究表明，直播稻的出苗率不易控制，种子催芽时间^[18]、直播深度^[19]、水层深度^[19]、品种耐淹和耐低氧能力等^[20]因素均能影响直播稻的出苗率。此外，通过种子引发技术也可提高直播稻的出苗和全苗^[21]，全苗壮苗是直播稻实现高产稳产的重要基础。有研究发现不同直播方式下，机械穴直播出苗率低于人工撒播，这可能是与播后的暴雨天气有关^[22]。但本研究结果与之相反，同步开沟起垄精量穴直播显著提高了早季直播稻品种的出苗率，湘早籼 45 号与泰优 398 作早季种植出苗率增幅分别为 14.2%和 7.4%。这主要是由于同步开沟起垄精量穴直播机开出的蓄水沟储存了稻田中多余的水分，避免了种子受淹。而垄上播种沟少淹水或不淹水，土壤氧化还原电位高，氧气充足，有利于种子快速萌发和秧苗生长^[6]。同时，晚稻季直播后如果淹水，加之高温天气，容易导致烂种烧苗现象。在本试验中，同步开沟起垄精量穴直播晚稻的出苗率也显著高于人工撒播晚稻，表明同步开沟起垄精量穴直播均有利于提高早晚兼用型同一品种双季直播的出苗率，从而有利于秧苗前期早生快发，为构建合理群体起点奠定基础。

3.2 同步开沟起垄精量穴直播对早晚兼用型双季直播籼稻产量形成的影响

已有研究表明，不同直播方式对水稻产量的影响程度不一^[23-25]。机械穴直播早稻的产量高于人工插秧、机械条直播和人工撒播，因其具有较高的结实率和千粒质量^[23]。在稻麦两熟制下，机械点播因低节位分蘖成穗率高于机械条播而增产^[24]。而不同播种密度下精量穴直播早稻比人工撒播增产 24%~28%，得益于有效穗数多、结

实率高^[25]。本研究也表明同步开沟起垄精量穴直播对早晚兼用型品种双季直播也有类似的增产效应，其中湘早籼 45 号的早季、晚季和周年产量比人工撒播分别增加 30.56%、12.59%和 21.66%；泰优 398 品种晚季和周年产量增幅分别达 7.56%和 3.23%。这是因为同步开沟起垄精量穴直播前期可提高出苗率，群体质量高，植株成行成穴有序生长，通风透光性好，中后期群体结构协调^[25]。

从产量构成因子来看，其增产途径因品种和季节而异。湘早籼 45 号的早季增产主要得益于有效穗数、每穗粒数和结实率的显著提高，而 2 个供试品种晚季增产主要与穗粒数结构协同显著增加有关。这可能与品种特性^[26]和早晚季所处温光条件的差异有关，品种的温光反应特性不同导致其生育期特性存在差异^[27]。晚季品种泰优 398 作早季种植时，因具有一定的感光特性，其产量潜力不能得到有效发挥。因此，应针对品种特性和种植季节来合理确定双季直播稻的配套栽培技术途径。早季稻前期因温度低，生长缓慢，灌浆结实期温度高雨水多，应以提高有效穗数和结实率为主攻目标。而晚季稻生长前期处于高温发苗，灌浆结实期温度较低，营养生长期大幅缩短，生殖生长期明显延长，则应注重兼顾扩库和提高籽粒灌浆结实。

3.3 同步开沟起垄精量穴直播对早晚兼用型双季籼稻稻米品质的影响

随着人民生活水平的提高，优质稻米的需求量日益增加，生产中稻米品质性状改善尤为重要。稻米品质主要受品种遗传基因、环境因素和栽培措施等的影响^[28]。王在满等^[28]研究认为，水稻机械穴直播种植方式配套适宜的栽培管理技术能获得较优的稻米品质性状。本研究结果与之较为相似，但品种间存在一定差异，同步开沟起垄精量穴直播可显著提升湘早籼 45 号早季的精米率和整精米率，但不利于泰优 398 早季的整精米率的改善；同时导致湘早籼 45 号早季的外观品质变劣，而泰优 398 晚季的垩白粒率显著提高，使得外观品质有变劣趋势。

这可能与人工撒直播稻的有效穗数和每穗粒数少，易灌浆完全有关。此外，同步开沟起垄精量穴直播显著改善了湘早籼 45 号晚季的外观品质，但降低蛋白质含量，有利于提升稻米食味口感。由于同步开沟起垄精量穴直播稻田通风透光性好、群体质量高，晚季生长后期有利于光合产物持续向穗部供应。

前人研究发现，早稻品种经翻秋种植后，稻米品质得到显著改善^[29-30]；本研究也发现早稻品种翻秋异季种植后，加工品质中整精米率大幅提高，且垩白率和垩白度降低，外观品质明显优于正季种植。因为早季稻灌浆结实期正值高温时节，昼夜温差小，呼吸消耗大，不利于植株物质积累，且籽粒灌浆速率较快，导致充实度差。而翻秋种植时灌浆结实期温度适宜，昼夜温差大，有利于光合物质的积累和转运，为穗部的发育提供了充足的营养物质，从而改善其稻米品质^[29]。此外，优质早熟晚稻品种作早稻种植时，稻米品质略有下降，但整体稻米品质要优于普通早稻品种，连种晚稻时品质也优良。因此，选用优质早熟的晚稻品种采用早晚兼用种植模式，可实现早、晚季稻米品质皆优质的目标^[31]。

稻米淀粉 RVA 谱是评价稻米蒸煮与食味品质的重要参考指标，食味较优的水稻品种一般具有较高的峰值黏度、崩解值和较低的消减值^[32]。在本研究中，同步开沟起垄精量穴直播显著增加泰优 398 晚季米粉的峰值黏度、热浆黏度、崩解值和最终黏度，而显著降低糊化温度。说明同步开沟起垄精量穴直播有利于改善早晚兼用型晚季籼稻的蒸煮与食味品质。这可能与机械直播条件下水稻田间生长环境优良，群体质量高、穗部发育良好有关，且泰优 398 晚季为正季种植，能充分发挥产量潜力与品质形成，而湘早籼 45 号作晚稻异季播种时，其生育期大幅减少，特别是营养生长期，导致植株物质积累不足，处理效应减弱。前人研究表明，早籼稻品种“翻秋”种植后其蒸煮食味品质明显变好，与淀粉 RVA 谱特征值的变化密切相关^[33]。本研究也得出了类似结果，同一品种早晚季淀粉 RVA 谱特征值差异较大，特别是晚季的消减值较早季大幅增加。因此，采用早晚兼用的品种搭配模式和同步开沟起垄精量穴直播方式，有利于实现双季直播稻稻米品质的整体改善。这与霍中洋等^[34]和郑向华等^[35]的研究结果相似。同时，方差分析显示双季直播稻的品质性状易受到季别、品种和直播方式互作效应的影响，启示双季直播稻稻米品质的调优需注意各因子的协同作用。此外，值得一提的是，本研究采用早晚兼用的品种搭配模式，可减少稻田“落粒谷”产生的杂株，有利于改善下季水稻植株的整齐度与稻谷原粮的纯度，特别是提高早稻稻米品质，可实现优质米早上市，有利于双季稻生产的提质增效。

4 结 论

同步开沟起垄精量穴直播显著提高南方双季直播优质籼稻品种的出苗率，早晚季增幅分别为 7.4%~14.2% 和 6.9%~8.0%；同时，增加双季直播优质籼稻品种周年

的产量，其中常规稻品种湘早籼 45 号早季、晚季和周年增产显著，增幅分别达 30.56%、12.59% 和 21.66%，而杂交晚籼稻泰优 398 晚季增产显著达 7.56%，周年产量有增加趋势，主要得益于有效穗数、每穗粒数和结实率的提高。此外，同步开沟起垄精量穴直播有利于提高湘早籼 45 号早季稻米的加工品质和晚季稻米的外观品质，改善泰优 398 晚季的蒸煮食味品质，特别是稻米糊化黏度。综上所述，采用早晚兼用的品种搭配方式和同步开沟起垄精量穴直播技术，有利于双季优质直播稻增产和稻米品质保优。

【参 考 文 献】

- [1] Bhushan L, Ladha J K, Gupta R K, et al. Saving of water and labor in a rice-wheat system with no-tillage and direct seeding technologies[J]. *Agronomy Journal*, 2007, 99(5): 1288-1296.
- [2] Pandey S, Velasco L. Economics of direct seeding in Asia: Patterns of adoption and research priorities[J]. *International Rice Research Notes*, 1999, 24(2): 6-11.
- [3] Tao Ye, Chen Qian, Peng Shaobing, et al. Lower global warming potential and higher yield of wet direct-seeded rice in Central China[J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2016, 36(2): 24.
- [4] Pathak H, Tewari An, Sankhyan S, et al. Direct-seeded rice: Potential, performance and problems-A review[J]. *Current Advances in Agricultural Sciences*, 2011, 3(2): 77-88.
- [5] 易艳红, 王文霞, 曾勇军, 等. 人工模拟机械开沟穴直播提高早籼稻茎秆抗倒伏能力及产量[J]. *中国农业科学*, 2019, 52(15): 2729-2742.
Yi Yanhong, Wang Wenxia, Zeng Yongjun, et al. Artificial simulation of hill-drop drilling mechanical technology to improve yield and lodging resistance of early season indica rice[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(15): 2729-2742. (in Chinese with English abstract)
- [6] 罗锡文, 蒋恩臣, 王在满, 等. 开沟起垄式水稻精量穴直播机的研制[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(12): 52-56.
Luo Xiwen, Jiang Enchen, Wang Zaiman, et al. Precision rice hill-drop drilling machine[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2008, 24(12): 52-56. (in Chinese with English abstract)
- [7] 张鸿, 朱从桦, 李其勇, 等. 灌溉方式和施氮量对直播稻氮素和水分利用的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2017, 25(12): 1802-1814.
Zhang Hong, Zhu Conghua, Li Qiyong, et al. Effect of irrigation management and nitrogen rate on nitrogen and water utilization of direct-seeded rice[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2017, 25(12): 1802-1814. (in Chinese with English abstract)
- [8] 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. (in Chinese with English abstract)
- [9] 王文霞, 曾研华, 曾勇军, 等. 机械穴直播早籼稻产量和品质形成的播期效应[J]. *江西农业大学学报*, 2017, 39(4): 641-648.
Wang Wenxia, Zeng Yanhua, Zeng Yongjun, et al. Effect of sowing date on yield and quality of early indica rice grown by mechanical seeding[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2017, 39(4): 641-648. (in Chinese with English abstract)

- [10] 姚义, 霍中洋, 张洪程, 等. 播期对麦茬直播粳稻产量及品质的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(15): 3098-3107. Yao Yi, Huo Zhongyang, Zhang Hongcheng, et al. Effect of sowing date on yield and quality of direct seeding rice of different types and varieties[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(15): 3098-3107. (in Chinese with English abstract)
- [11] Bashir M U, Akbar N, Iqbal A, et al. Effect of different sowing dates on yield and yield components of direct seeded coarse rice (*Oryza sativa* L)[J]. Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 2010, 47(4): 361-365.
- [12] 季红娟, 张小祥, 赵步洪, 等. 不同播期和密度对直播粳稻扬梗 3012 产量及品质的影响[J]. 扬州大学学报: 农业与生命科学版, 2020, 41(1): 85-90. Ji Hongjuan, Zhang Xiaoxiang, Zhao Buhong, et al. Effects of different sowing date and density on yield and quality of Yangjing 3012 in direct-seeding rice[J]. Journal of Yangzhou University: Agricultural and Life Science Edition, 2020, 41(1): 85-90. (in Chinese with English abstract)
- [13] 徐国伟, 谈桂露, 王志琴, 等. 秸秆还田与实地氮肥管理对直播水稻产量、品质及氮肥利用的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(8): 2736-2746. Xu Guowei, Tan Guilu, Wang Zhiqin, et al. Effects of wheat-residue application and site-specific nitrogen management on grain yield and quality and nitrogen use efficiency in direct-seeding rice[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(8): 2736-2746. (in Chinese with English abstract)
- [14] 武云霞, 郭长春, 孙永健, 等. 水氮互作下直播稻群体质量与氮素利用特征的关系[J]. 应用生态学报, 2020, 31(3): 899-908. Wu Yunxia, Guo Changchun, Sun Yongjian, et al. Relationship of population quality and nitrogen fertilizer utilization characteristics of direct seeding rice under water-nitrogen interaction[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 31(3): 899-908. (in Chinese with English abstract)
- [15] Wang Wenxia, Du Jie, Zhou Yanzhi, et al. Effects of different mechanical direct seeding methods on grain yield and lodging resistance of early indica rice in South China[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2021, 20(5): 1204-1215.
- [16] 谭义青, 李祖军, 陈丽明, 等. 赣北地区直播早稻品种的筛选及其丰产性研究[J]. 江西农业大学学报, 2019, 41(1): 25-32. Tan Yiqing, Li Zhujun, Chen Liming, et al. Screening for direct seeding early rice varieties and their high-yield ability in northern Jiangxi province[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2019, 41(1): 25-32. (in Chinese with English abstract)
- [17] 陈丽明, 周燕芝, 谭义青, 等. 双季机械直播早粳稻品种的丰产性和稳产性[J]. 中国农业科学, 2020, 53(2): 261-272. Chen Liming, Zhou Yanzhi, Tan Yiqing, et al. High and stable yield of early Indica rice varieties with double-season mechanical direct seeding[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2020, 53(2): 261-272. (in Chinese with English abstract)
- [18] 姜心禄, 杨永波, 付明全, 等. 不同直播方式下种子处理方式对直播稻出苗和产量的影响[J]. 中国稻米, 2017, 23(4): 111-114. Jiang Xinlu, Yang Yongbo, Fu Mingquan, et al. Effects of seed treatments on seedling emergence and yield of direct seeding rice under different direct seeding methods[J]. China Rice, 2017, 23(4): 111-114. (in Chinese with English abstract)
- [19] 信彩云, 周学标, 刘奇华, 等. 不同直播方式对水稻出苗状况的影响[J]. 山东农业科学, 2017, 49(3): 69-72. Xin Caiyun, Zhou Xuebiao, Liu Qihua, et al. Effects of direct seeding models on seedling emergence of rice[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2017, 49(3): 69-72. (in Chinese with English abstract)
- [20] 唐双勤, 吴自明, 谭雪明, 等. 直播早粳稻品种芽期耐冷性鉴定研究[J]. 作物杂志, 2019(1): 159-167. Tang Shuangqin, Wu Ziming, Tan Xueming, et al. Identification of cold tolerance of direct seeded early rice varieties at bud stage[J]. Crops, 2019(1): 159-167. (in Chinese with English abstract)
- [21] Wang Weiqin, Chen Qian, Hussain Saddam, et al. Pre-sowing seed treatments in direct-seeded early rice: Consequences for emergence, seedling growth and associated metabolic events under chilling stress[J]. Scientific Reports, 2016, 6: 19637.
- [22] 史鸿志, 朱德峰, 张玉屏, 等. 机械穴直播对杂交水稻生长及产量的影响[J]. 中国稻米, 2017, 23(4): 75-77. Shi Hongzhi, Zhu Defeng, Zhang Yuping, et al. Effects of mechanical hill-drop drilling on growth and yield of hybrid rice[J]. China Rice, 2017, 23(4): 75-77. (in Chinese with English abstract)
- [23] 程建平, 赵锋, 吴波, 等. 不同直播种植模式对水稻根系特征和产量形成的影响[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(24): 5979-5983. Cheng Jianping, Zhao Feng, Wu Bo, et al. Effects of different direct-sowing planting patterns on characteristics of the roots and yield of rice[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2013, 52(24): 5979-5983. (in Chinese with English abstract)
- [24] 许轲, 唐磊, 张洪程, 等. 不同机械直播方式对水稻分蘖特性及产量的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(13): 43-52. Xu Ke, Tang Lei, Zhang Hongcheng, et al. Effect of different mechanical direct seeding methods on tiller characteristics and yield of rice[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(13): 43-52. (in Chinese with English abstract)
- [25] 唐湘如, 罗锡文, 黎国喜, 等. 精量穴直播早稻的产量形成特性[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 84-87. Tang Xiangru, Luo Xiwen, Li Guoxi, et al. Yield formation characteristics of precision hill-drop drilling early rice[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(7): 84-87. (in Chinese with English abstract)
- [26] 彭碧琳, 胡香玉, 钟旭华, 等. 华南双季直播稻品种筛选及其产量形成特征研究[J]. 中国稻米, 2019, 25(5): 47-52. Peng Bilin, Hu Xiangyu, Zhong Xuhua, et al. Selection and yield formation characteristics of double-cropping and direct seeding rice in South China[J]. China Rice, 2019, 25(5): 47-52. (in Chinese with English abstract)
- [27] 李绍清, 李阳生, 胡新. 不同基因型早稻秋种的生态适应性[J]. 西南农业学报, 1999(3): 9-13. Li Shaoqing, Li Yangsheng, Hu Xing. The ecological adaptability of different early rice genotype to autumn cultivation[J]. Southwest China Journal of Agriculture Science, 1999(3): 9-13. (in Chinese with English abstract)
- [28] 王在满, 罗锡文, 陈雄飞, 等. 水稻机械化穴播技术对稻米品质的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(16): 16-21. Wang Zaiman, Luo Xiwen, Chen Xiongfei, et al. Effects of precision rice hill-drop drilling on rice quality[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(16): 16-21. (in Chinese with English abstract)
- [29] 张金林, 周强, 涂军明, 等. 早稻品种翻秋种植生育特性及栽培技术[J]. 现代农业科技, 2010(21): 59-60. Zhang Jinlin, Zhou Qiang, Tu Junming, et al. Growth characteristics and cultivation techniques of early Rice varieties in autumn[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2010(21): 59-60. (in Chinese with English abstract)
- [30] 朱旭东, 熊振民, 罗玉坤, 等. 异季栽培对稻米品质的影响[J]. 中国水稻科学, 1993(3): 172-174.

- Zhu Xudong, Xiong Zhenmin, Luo Yukun, et al. The influence of different cropping seasons on rice grain quality[J]. Chinese Journal of Rice Science, 1993(3): 172-174. (in Chinese with English abstract)
- [31] 刘兵, 刘应胜, 胡建华. 早晚兼用型优质稻泰优 398 双季连作高效种植模式[J]. 中国种业, 2020(1): 56-58.
Liu Bing, Liu Yingsheng, Hu Jianghua. Double-cropping high-efficiency planting mode of high-quality rice Taiyou 398 for both early and late season[J]. China Seed Industry, 2020(1): 56-58. (in Chinese with English abstract)
- [32] Jing Liquan, Wang Juan, Shen Shibo, et al. The impact of elevated CO₂ and temperature on grain quality of rice grown under open-air field conditions[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2016, 96(11): 3658-3667.
- [33] 王丰, 程方民, 钟连进, 等. 早籼稻米 RVA 谱特性的品种间差异及其温度效应特征[J]. 中国水稻科学, 2003(4): 39-43.
Wang Feng, Cheng Fangming, Zhong Lianjing, et al. Difference of RVA profile among different early *indica* rice varieties and effect of temperature at grain filling stage on it[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2003(4): 39-43. (in Chinese with English abstract)
- [34] 霍中洋, 李杰, 许轲, 等. 高产栽培条件下种植方式对不同生育类型粳稻米质的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(19): 3932-3945.
Huo Zhongyang, Li Jie, Xu Ke, et al. Effect of planting methods on quality of different growth and development types of japonica rice under high-yielding cultivation condition[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(19): 3932-3945. (in Chinese with English abstract)
- [35] 郑向华, 卢礼斌, 叶宁, 等. 元丰优组合不同季节栽培的稻米品质研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(15): 161-168.
Zheng Xianghua, Lu Libin, Ye Ning, et al. Quality analysis of rice combination with 'yuanfeng A' in different cultivated seasons[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(15): 161-168. (in Chinese with English abstract)

Effects of simultaneous furrow ridging and precision hill-direct-seeding on grain yield and quality of double-cropping *indica* rice in South China

Chen Liming, Wang Wenxia, Xiong Ruoyu, Xie Jiabin, Wu Ziming, Tan Xueming, Zeng Yongjun,
Chen Xiongfei, Shi Qinghua, Pan Xiaohua, Zeng Yanhua*

(Jiangxi Agricultural University/Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding, Ministry of Education/Ecology and Genetic Breeding of Jiangxi Province/Innovation Center for the Modernization Production of Double Cropping Rice, Nanchang 330045, China)

Abstract: This study aims to investigate the effects of different direct seeding methods on the yield and rice quality of early-late season double-cropping *indica* rice in south China. Taking the Xiangzaoxian45 (inbred *indica* rice) and Taiyou398 (hybrid *indica* rice) as the research materials in both early and late seasons, two direct seeding methods were set, including artificial seeding (AS), and precision rice hill-drop drilling machine (PHDD), to determine the yield and its components, emergence rate of seedlings, and quality of rice grain for the direct-seeded *indica* rice in a typical double cropping area for the early-late season. The results showed that the PHDD significantly increased the emergence rate of seedlings and grain yield of tested varieties, with the increasing rates of 7.4%-14.2% and 6.9%-8.0% in early season and late season, respectively, compared with AS. The PHDD was beneficial to increase the annual yield of tested varieties, with the range of 3.23%-21.66%. Specifically, the Xiangzaoxian45 increased significantly grain yield in the early and late season, while the Taiyou398 increased significantly in the late season. In terms of yield components, the increase in grain yield of tested varieties under the PHDD was mainly due to the relatively obvious achievement of effective panicles and grain number per panicle. Besides, the PHDD significantly increased the milled rice rate, head rice rate, and chalkiness degree in the early season of Xiangzaoxian45, while the chalkiness ratio in the late season of Taiyou398, but significantly decreased the head rice rate in the early season of Taiyou398, while the chalkiness degree, chalkiness ratio, and the protein content in the late season of Xiangzaoxian45. However, there was no significant difference in the amylose content of tested varieties. Meanwhile, the PHDD significantly increased the peak viscosity, hot paste viscosity, breakdown value, and final viscosity of Taiyou398 in late-season rice flour, whereas, significantly reduced the gelatinization temperature. The PHDD can contribute to improve the annual yield of high-quality rice varieties, which was mainly related to the coordination of panicles ratio and grain number per panicles. Nevertheless, the ways to increase production varied with the tested varieties and growing seasons. Specifically, the PHDD significantly improved the early season processing quality and late-season appearance quality of Xiangzaoxian45, while decreased the early season processing quality and late-season appearance quality of Taiyou398, but improved its cooking and eating quality in the late season. The quality of direct seeding rice in the late season was enhanced obviously under the PHDD regime. The finding can provide a theoretical basis for high yield and high-quality cultivation of double-season direct-seeding *indica* rice in South China.

Keywords: rice; mechanization; cultivation; direct seeding method; yield; rice quality