

不同水稻品种稻米品质性状与种子活力的相关性研究

黄众基, 朱镛一, 荆凤鸽, 俞倩, 赵光武

(浙江农林大学 现代农学院 浙江省农产品品质改良技术研究重点实验室, 浙江 杭州 311300)

摘要: 【目的】种子活力的高低与作物出苗性能、群体质量、产量和品质潜力密切相关。通过研究不同水稻 *Oryza sativa* 品种稻米品质性状与种子活力的相关性, 揭示种子活力对稻米品质的影响, 并筛选出优质水稻品种, 为农业生产提供指导。【方法】以 12 个常规粳稻和 12 个杂交籼稻品种为供试材料, 测定不同发芽条件下的种子活力及糙米率、整精米率、垩白度、透明度、胶稠度、直链淀粉质量分数、蛋白质质量分数等品质指标, 并分析其差异性与相关性, 探究种子活力与品质性状间的关系。【结果】不同水稻类型和品种间的种子活力和稻米品质存在差异, 品质优的品种在糙米率、整精米率、垩白度、透明度、胶稠度等方面具有显著优势。其中‘沈农 702’‘沈农 9816’‘两优 0367’‘Y 两优 900’‘晶两优华占’的发芽指数为 23.8~27.2, 活力指数为 2.8~3.7, 糙米率为 79.0%~82.7%, 整精米率为 54.4%~66.0%, 与其他水稻品种相比, 种子活力较高, 品质较好。稻米品质与活力指标呈显著正相关 ($P < 0.05$), 其中整精米率与活力指数相关度在常规粳稻和杂交籼稻中均达到显著水平 ($P < 0.05$)。【结论】水稻种子活力高的品种具有更好的稻米品质, 综合各指标, ‘沈农 9816’‘沈农 702’‘两优 0367’‘晶两优华占’‘Y 两优 900’可推广种植和应用。表 4 参 32

关键词: 水稻; 种子活力; 稻米品质; 相关性分析

中图分类号: S330 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2024)04-0679-09

Correlation research between rice quality traits and seed vigor in different types of rice cultivars

HUANG Zhongji, ZHU Rongyi, JING Fengge, YU Qian, ZHAO Guangwu

(The Key Laboratory for Quality Improvement of Agricultural Products of Zhejiang Province, College of Advanced Agricultural Sciences, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China)

Abstract: [Objective] The level of seed vigor is closely related to crop emergence performance, population quality, yield and quality potential. By studying the correlation between rice quality traits and seed vigor in different types of *Oryza sativa* cultivars, this research aims to preliminarily reveal the effect of seed vigor on rice quality, and screen out high-quality rice cultivars to provide guidance for agricultural production. [Method] 12 conventional japonica rice and 12 hybrid indica rice cultivars were used as test materials to determine seed vigor and quality indexes such as brown rice rate, whole semolina rate, chalky whiteness, transparency, gel consistency, straight-chain starch quality fraction and protein quality fraction under different germination conditions, and analyze their differences and correlations to investigate the relationship between seed vigor and quality traits. [Result] There were significant differences in seed vigor and rice quality among

收稿日期: 2024-03-05; 修回日期: 2024-05-07

基金项目: 浙江省基础公益研究计划项目 (LGN22C130003); 国家级大学生创新创业训练计划 (202010341002); 浙江农林大学人才启动计划 (2021FR036); 浙江省重点研发计划项目 (2019C02013); 浙江省教育厅一般科研项目 (2044100005); 浙江省基础公益衢州市科技计划项目 (2021K13)

作者简介: 黄众基 (ORCID: 0009-0005-8580-8192), 从事水稻遗传育种研究。E-mail: zhongjihuang@stu.zafu.edu.cn。

通信作者: 赵光武 (ORCID: 0000-0001-5646-9922), 教授, 博士, 从事种子科学与技术研究。E-mail: Gwuzhao@126.com

different rice types and cultivars, and cultivars with excellent quality had significant advantages in brown rice rate, whole semolina rate, chalky whiteness, transparency and gel consistency. Among them, ‘Shennong 702’ ‘Shennong 9816’ ‘Liangyou 0367’ ‘Y-liangyou 900’ ‘Jingliangyou Huazhan’ had germination indexes of 23.8 – 27.2, vigor indexes of 2.8 – 3.7, brown rice rates of 79.0% – 82.7%, and whole semolina rates of 54.4%–66.0%, which had higher seed vigor and better quality compared with other rice cultivars. There was a significant positive correlation between rice quality and vigor index, in which the correlation between the whole refined rice rate and vigor index reached a significant level in both conventional japonica and hybrid indica rice. [Conclusion] Rice cultivars with high seed vigor have better rice quality. Considering all the indexes, ‘Shennong 9816’ ‘Shennong 702’ ‘Liangyou 0367’ ‘Jingliangyou Huazhan’ ‘Y-liangyou 900’ can be promoted for cultivation and application. [Ch, 4 tab. 32 ref.]

Key words: *Oryza sativa*; seed vigor; rice quality; correlation analysis

水稻 *Oryza sativa* 是全球重要的粮食作物, 中国 60% 以上的人口以大米为主食。随着生活水平的提高, 人们对水稻品质提出了更高的要求, 水稻育种不仅要高产、稳产, 生产的稻米还需具有较高的品质^[1]。稻米品质是一个综合性状, NY/T 593—2013《食用稻品种品质》和 GB/T 17891—2017《优质稻谷》中对稻米品质的评价包括蒸煮与食用品质(胶稠度、直链淀粉、碱消值等), 碾米品质(整精米率、糙米率等), 外观品质(粒长、粒形、垩白度、透明度等)等 9 项食用特性和理化指标^[2-3]。中国稻米品质育种研究起步晚, 但发展快, 优质水稻品种数量和质量不断提高。邵雅芳等^[4]通过对稻米品质的分析发现: 中国籼稻品种近 21 a 来提升明显, 其品质向着长粒、外观品质优和食味佳的方向发展。荆瑞勇等^[5]评价了 18 个水稻品种品质, 其中‘龙粳 39’‘牡丹江 32’‘空育 131’的稻米品质较优。徐浩扬等^[6]对 40 个新育成水稻品系的综合品质进行比较, 发现品种改良在表观直链淀粉含量与胶稠度等指标上效果显著, 且籼稻的改良效果优于粳稻。

种子活力指在广泛田间条件下, 种子本身具有的決定其快速、整齐发芽及发育成正常苗的潜力, 是种子重要的数量性状, 也是种用价值的重要表征。在农业生产中, 高活力的种子田间表现好, 对不良环境的抵抗力强, 具有明显的生长优势和生产潜力; 低活力的种子在适宜条件下发芽缓慢, 生长速率低, 在不良环境条件下出苗不整齐, 甚至不出苗^[7-8]。崔婷等^[9]对杂交水稻种子进行比重分级, 发现高活力种子能够充分发挥增产潜力。田间表现好的种子产量高, 且稻米品质潜力大, 但有关水稻种子活力与稻米品质间关系的研究鲜见报道。探究水稻种子活力与稻米品质性状间的关系, 能为筛选出优质水稻品种提供指导。因此, 本研究以 12 个常规粳稻和 12 个杂交籼稻品种为材料, 测定标准发芽、低温胁迫发芽和加速老化发芽试验下的种子活力, 进一步分析糙米率、整精米率、垩白度、透明度、胶稠度、直链淀粉质量分数、蛋白质质量分数等指标间的关系, 以期为培育种子质量高、稻米品质优的水稻新品种提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

选取 2015 年生产的 12 种常规粳稻种子, 包括‘沈农 702’‘沈农 9816’‘武运粳 23’‘扬粳 4227’‘沈农 265’‘南粳 9108’‘常农粳 7 号’‘秀水 134’‘浙粳 88’‘07-17 粳稻’‘宁 81’‘扬粳糯 1 号’。选取 2016 年生产的 12 种杂交籼稻种子, 包括‘两优 0367’‘丰两优 9 号’‘浙 Y 两优 689’‘Y 两优 900’‘晶两优华占’‘两优 688’‘广两优 4 号’‘两优 3905’‘准两优 608’‘江 Y 两优 689’‘Y 两优 1128’‘C 两优华占’。将这些样品干燥至 13.0% 的含水量, 分别装入网袋中, 储存于 4 ℃ 的冰箱中备用。

1.2 稻米品质的测定

参考 NY/T 593—2013《食用稻品种品质》和 GB/T 17891—2017《优质稻谷》的方法, 在种子收获当年, 于中国水稻研究所农业农村部稻米及制品质量检验检测中心测定稻米品质并分级。

1.2.1 胶稠度测定 参考 GLORIA 等^[10]的方法。称取 (88.0±0.2) mg 样品于试管内, 添加 0.2 mL 百里酚蓝和 2.0 mL 氢氧化钾溶液 (0.2 mol·L⁻¹), 振荡混匀后插入水浴锅中加热。8 min 后取出试管, 室温冷却 5 min, 冰水浴 20 min。在室温 (25±2) °C 下放置 1 h 后读数。稻米淀粉热糊化后形成米胶, 米胶在试管中延伸的长度即为胶稠度, 以 mm 表示。

1.2.2 蛋白质质量分数测定 采用 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》的方法。称取 0.2 g 样品于消化管中, 以蔗糖作为空白对照。分别加入 1.0 g 混合催化剂 (硫酸铜与硫酸钾质量比为 1:15) 和 5.0 mL 浓硫酸并摇匀, 在消化炉中 420 °C 消化 30 min, 取出消化液冷却至室温, 用凯氏定氮仪测定蛋白质质量分数。

1.2.3 直链淀粉质量分数测定 参考 NY/T 2639—2014《稻米直链淀粉的测定 分光光度法》。吸取 2.5 mL 试样于 50.0 mL 容量瓶中, 加入 25.0 mL 蒸馏水, 再加 0.5 mL 乙酸和 1.0 mL 碘液, 定容至 50.0 mL, 静置 10 min, 在波长 620 nm 处测定溶液的吸光度, 通过直链淀粉标准曲线回归方程求出直链淀粉质量分数。

1.2.4 垩白度、透明度测定 取适量样品均匀平铺于扫描仪上, 在扫描图中选取 100 粒完整的精米, 使用大米外观品质分析软件自动生成垩白度数据和透明度等级。

1.3 种子活力的测定

在种子收获当年测定其活力。用于活力测定的种子需在质量分数为 2% 的三氯异氰尿酸中浸种 24 h 后进行发芽试验。每组试验以 100 粒种子为 1 次重复, 共 3 次重复。

1.3.1 标准发芽试验 将种子摆放在灭菌发芽纸上, 于光照培养箱中培养, 条件设置为 30 °C 光照下 8 h、20 °C 黑暗下 16 h。从第 2 天起, 每天测量记录种子的发芽数直到第 14 天。第 10 天时, 将部分幼苗取出, 在 80 °C 下烘 24 h, 测定幼苗干质量。参考赵光武^[11]的方法计算种子发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、简易活力指数和平均发芽时间。

1.3.2 低温胁迫发芽试验 将种子摆放在灭菌发芽纸上并置于发芽盒内。将发芽盒置于光照培养箱中, 15 °C 黑暗培养 14 d, 统计发芽率。

1.3.3 加速老化发芽试验 参考张瑛等^[12]的方法。将种子均匀摊在老化盒网架上, 向底部加入少量蒸馏水。老化箱温度设置为 45 °C、湿度设置为 100%, 种子老化处理 72 h 后进行标准发芽测定。

1.4 数据处理

利用 SPSS 19.0 的 ANOVA 和 S-N-K 程序, 对稻米品质和活力指标进行方差分析和相关性分析。通过 *t* 检验分析优质米和普通米在稻米品质和种子活力间的差异。

2 结果与分析

2.1 稻米品质分析

由表 1 可知: 不同品种的稻米品质存在显著差异 ($P < 0.05$)。不同常规粳稻的糙米率为 80.3%~84.3%, 其中, ‘武运粳 23’ ‘扬粳 4227’ ‘南粳 9108’ 的糙米率均超过 83.0%, ‘宁 81’ 的糙米率最低, 为 80.3%。‘武运粳 23’ 的整精米率最高, 为 66.9%, ‘扬粳糯 1 号’ 的整精米率最低, 为 40.2%, 整精米率超过 65.0% 的品种为 ‘沈农 702’ ‘武运粳 23’ ‘南粳 9108’。不同常规粳稻的垩白度存在显著差异 ($P < 0.05$)。其中, ‘07-17 粳稻’ 的垩白度最高, 为 6.2%, ‘秀水 134’ 的垩白度最低, 为 0.6%, 垩白度低于 1.0% 的品种为 ‘沈农 702’ ‘秀水 134’ ‘常农粳 7 号’。除 ‘南粳 9108’ 的透明度为 3 级外, 其余的品种透明度的等级均为 1~2 级。不同常规粳稻的胶稠度为 69.5~90.5 mm, 胶稠度超过 80.0 mm 的品种为 ‘武运粳 23’ ‘扬粳 4227’ ‘扬粳糯 1 号’ ‘宁 81’ ‘南粳 9108’。除 ‘扬粳糯 1 号’ 和 ‘南粳 9108’ 的直链淀粉质量分数低于 100.0 g·kg⁻¹ 外, 其余品种的直链淀粉质量分数为 146.6~164.1 g·kg⁻¹。将 ‘沈农 702’ 归为 2 级大米, ‘秀水 134’ ‘武运粳 23’ ‘扬粳 4227’ ‘沈农 9816’ 归为 3 级大米, ‘扬粳糯 1 号’ ‘浙粳 88’ ‘宁 81’ ‘07-17 粳稻’ ‘沈农 265’ ‘常农粳 7 号’ ‘南粳 9108’ 归为普通大米。

不同杂交籼稻的糙米率为 78.2%~82.7%, 其中, ‘广两优 4 号’ ‘两优 0367’ ‘丰两优 9 号’ 的糙米率均超过 82.0%, ‘两优 688’ 的糙米率最低。‘C 两优华占’ 的整精米率最低, 为 23.3%, ‘晶两优华占’ 的整精米率最高, 为 65.0%, 整精米率超过 55.0% 的品种为 ‘广两优 4 号’ ‘两优 0367’ ‘丰两

表1 常规粳稻与杂交籼稻品质测定结果

Table 1 Conventional japonica rice and hybrid indica rice quality measurement results

品种类型	品种名称	糙米率/ %	整精米 率/%	垩白度/ %	透明度	胶稠度/ mm	直链淀粉质量 分数/(g·kg ⁻¹)	蛋白质质量 分数/(g·kg ⁻¹)	评级
常规粳稻	‘沈农702’	82.6±3.4 abcd	66.0±4.0 a	0.9±0.1 kl	1	72.5±2.5 efg	159.3±9.5 bcde	83.6±8.8 cde	2
	‘秀水134’	80.7±1.7 abcd	64.2±2.3 a	0.6±0.1 l	1	75.5±6.9 cdef	156.7±8.2 cde	86.3±6.1 cde	3
	‘武运粳23’	83.2±2.6 abc	66.9±2.3 a	3.5±0.3 d	1	80.5±2.6 bcde	164.1±10.7 bcd	79.7±5.7 de	3
	‘扬粳4227’	84.0±3.4 ab	63.7±3.3 ab	3.5±0.3 d	1	82.0±3.2 bcde	154.8±13.6 cdef	82.2±2.2 de	3
	‘沈农9816’	81.3±3.1 abcd	63.0±2.8 abc	3.4±0.3 d	2	75.0±0.9 defg	153.8±12.5 cdefg	88.1±4.1 cd	3
	‘扬粳糯1号’	81.8±2.7 abcd	40.2±2.4 g	—	—	90.5±2.2 a	31.0±3.5 k	80.8±2.2 de	普通
	‘浙粳88’	82.1±3.1 abcd	62.9±2.8 abc	2.8±0.3 efg	2	78.5±2.2 cde	159.0±10.6 bcde	81.0±8.1 de	普通
	‘宁81’	80.3±1.8 abcd	59.5±2.5 bcd	2.5±0.3 fg	1	81.0±3.5 bcde	157.7±10.1 bcde	81.0±11.2 de	普通
	‘07-17粳稻’	81.0±1.9 abcd	58.7±2.3 cd	6.2±0.5 b	1	76.5±1.2 cdef	149.5±9.0 cdefg	92.0±6.4 bcd	普通
	‘沈农265’	82.2±1.6 abcd	58.7±2.1 cd	1.9±0.2 hi	2	77.5±4.3 cdef	146.6±9.4 defgh	84.8±5.5 cde	普通
	‘常农粳7号’	81.0±1.2 abcd	58.0±2.1 cd	0.9±0.1 kl	1	69.5±1.8 fgh	164.1±13.6 bcd	86.3±6.0 cde	普通
	‘南粳9108’	84.3±1.5 a	66.1±2.9 a	3.2±0.3 de	3	83.5±2.2 abcd	72.1±7.2 j	83.4±6.0 de	普通
	‘广两优4号’	82.3±2.7 abcd	55.4±2.7 de	1.3±0.1 jk	2	88.5±3.8 ab	172.2±11.1 bc	81.9±6.1 de	2
	‘两优0367’	82.7±2.0 abcd	58.9±1.9 de	2.3±0.2 gh	1	81.0±1.5 bcde	181.0±10.1 b	72.8±5.8 e	2
杂交籼稻	‘丰两优9号’	82.3±1.9 abcd	58.7±2.4 cd	1.8±0.2 hij	1	75.5±6.6 def	139.2±8.5 efg	92.6±6.0 bcd	2
	‘浙Y两优689’	81.3±2.8 abcd	54.5±2.7 cd	1.0±0.1 kl	1	64.5±2.7 hi	151.9±7.9 cdefg	109.7±6.4 a	3
	‘Y两优900’	79.0±1.7 cd	54.4±2.4 de	5.0±0.4 c	2	78.5±7.2 cde	131.4±9.1 fghi	98.1±5.7 abc	3
	‘晶两优华占’	81.8±1.8 abcd	65.0±4.0 de	5.0±0.4 c	2	85.0±7.6 abc	129.5±7.7 ghi	86.0±4.5 cd	3
	‘两优688’	78.2±1.2 d	44.0±3.0 gh	3.5±0.3 d	1	74.5±6.7 efg	138.1±8.3 efg	100.3±4.9 abc	普通
	‘两优3905’	81.4±2.2 abcd	43.0±2.9 gh	1.7±0.1 ij	1	76.5±6.5 efg	141.9±7.7 defgh	92.1±5.8 cd	普通
	‘准两优608’	80.1±1.8 abcd	47.5±2.7 f	3.3±0.3 de	1	80.5±4.1 bcde	252.8±15.2 a	91.0±5.1 cd	普通
	‘江Y两优689’	80.3±2.8 abcd	52.6±2.6 e	5.3±0.4 c	2	67.5±2.0 ghi	146.2±6.4 deg	100.0±3.6 abc	普通
	‘Y两优1128’	78.9±1.9 cd	46.9±2.8 fg	3.1±0.2 def	2	62.0±3.5 i	117.0±3.8 i	98.9±2.9 abc	普通
	‘C两优华占’	79.6±1.6 bcd	23.3±2.0 i	8.2±0.7 a	3	61.0±3.5 i	125.7±4.9 hi	107.0±3.8 ab	普通

说明：不同小写字母表示同一指标不同品种间差异显著($P<0.05$)，—表示未测得数据。

优9号’ ‘晶两优华占’。在不同杂交籼稻中，垩白度的差异显著($P<0.05$)。其中，‘C两优华占’的垩白度最高，为8.2%，‘浙Y两优689’的垩白度最低，为1.0%。‘C两优华占’的透明度为3级，其余的品种透明度的等级均为1~2级。不同杂交籼稻的胶稠度为61.0~88.5 mm，胶稠度超过80.0 mm的品种为‘广两优4号’ ‘两优0367’ ‘晶两优华占’ ‘准两优608’。杂交籼稻的直链淀粉质量分数为117.0~252.8 g·kg⁻¹。将‘广两优4号’ ‘两优0367’ ‘丰两优9号’归为2级大米，‘浙Y两优689’ ‘Y两优900’ ‘晶两优华占’归为3级大米，其余品种归为普通大米。

2.2 种子活力的方差分析

将稻米评级为2、3级的品种归为优质米，其余品种为普通米(表1)。由表2可知：不同常规粳稻品种间种子活力差异显著($P<0.05$)。基于发芽率和发芽势的结果分析，优质米之间差异不显著，普通米之间差异显著，且优质米发芽率总体高于普通米。发芽率超过90.0%的品种为‘沈农702’ ‘武运粳23’ ‘扬粳4227’ ‘沈农9816’ ‘沈农265’ ‘南粳9108’，发芽势超过85.0%的品种为‘沈农702’ ‘武运粳23’ ‘沈农9816’ ‘沈农265’ ‘南粳9108’。从发芽指数上看，优质米品种间发芽指数分布较普通米更均匀。不同常规粳稻品种的发芽指数为15.6~24.8，其中发芽指数超过20的品种为‘沈农702’ ‘扬粳4227’ ‘沈农9816’ ‘沈农265’ ‘南粳9108’。基于活力指数和简易活力指数的结果分析，优质米活力指数显著高于普通米($P<0.05$)。其中，‘沈农702’ ‘扬粳4227’ ‘沈农9816’ ‘沈农265’的活力指数和简易活力指数均显著高于其他品种($P<0.05$)。从平均发芽时间上看，优质米的平均发芽时间低于普通米。除‘沈农265’的平均发芽时间低于4 d外，其他品种的平均发芽时间为

表 2 常规粳稻与杂交籼稻种子活力测定结果比较

Table 2 Comparison of the results of seed viability determination between conventional japonica rice and hybrid indica rice

品种类型	品种名称	发芽率/ %	发芽势/ %	发芽指数	活力指数	简易活力 指数	平均发芽 时间/d	低温发 芽率/%	老化发芽 率/%
常规粳稻	‘沈农702’	98.0±0.0 a	88.0±4.0 ab	24.3±0.2 a	2.8±0.1 ab	11.4±0.3 ab	4.1±0.0 f	96.0±2.0 a	90.0±5.3 a
	‘秀水134’	88.0±5.3 abc	62.7±20.1 cd	19.8±1.5 bc	1.9±0.4 cd	8.5±1.7 bc	4.5±0.2 bcd	82.0±5.3 bc	75.3±7.6 b
	‘武运粳23’	90.7±5.0 ab	89.3±4.2 a	19.7±1.7 bc	1.8±0.4 cd	8.4±1.6 bc	4.7±0.1 ab	83.3±5.8 abc	88.7±4.2 a
	‘扬粳4227’	96.7±1.2 a	64.0±10.6 bcd	22.6±0.8 ab	2.7±0.4 ab	11.7±1.4 a	4.3±0.1 cde	92.0±2.0 ab	87.3±3.1 a
	‘沈农9816’	97.3±1.2 a	90.7±2.3 a	24.2±0.2 a	2.9±0.2 a	11.7±0.6 a	4.0±0.0 f	96.0±2.0 a	94.0±2.0 a
	‘扬粳糯1号’	-	-	-	-	-	-	-	-
	‘浙粳88’	75.3±8.1 cd	69.3±11.0 abcd	15.6±1.7 d	1.2±0.1 d	5.7±0.6 cd	4.9±0.1 a	59.3±6.4 e	55.3±3.1 c
	‘宁81’	72.7±16.3 d	38.7±6.1 e	16.2±3.5 cd	1.5±0.6 cd	6.6±2.5 cd	4.6±0.0 bc	62.7±9.5 de	68.7±3.1 b
	‘07-17粳稻’	78.0±0.0 bcd	68.7±16.2 abcd	17.4±0.6 cd	1.8±0.2 cd	7.8±0.7 cd	4.6±0.1 bc	73.3±1.2 cd	56.7±9.5 c
	‘沈农265’	98.0±2.0 a	90.0±8.7 a	24.8±2.5 a	2.8±0.2 ab	11.2±0.2 ab	3.8±0.2 g	94.0±6.0 ab	92.7±1.2 a
	‘常农粳7号’	75.3±6.1 cd	60.0±7.2 de	17.9±1.6 cd	1.2±0.4 d	5.2±1.7 d	4.3±0.0 def	59.3±7.0 e	14.0±5.3 d
	‘南粳9108’	98.7±1.2 a	86.0±3.5 abc	24.2±0.4 a	2.1±0.1 bc	8.6±0.4 bc	4.1±0.0 ef	95.3±3.1 a	92.7±3.1 a
	‘广两优4号’	75.3±5.0 d	52.7±14.7 c	17.7±1.4 ef	1.7±0.3 ef	7.1±1.0 ef	4.3±0.3 ab	65.3±4.2 e	79.3±4.2 b
	‘两优0367’	94.0±4.0 ab	89.3±8.3 a	23.8±1.4 ab	3.5±0.4 ab	13.7±1.4 ab	4.0±0.1 b	82.0±2.0 ab	88.7±5.8 ab
杂交籼稻	‘丰两优9号’	88.7±1.2 abc	80.0±4.0 ab	24.2±1.0 ab	3.0±0.1 abc	11.0±0.6 cd	3.8±0.1 b	81.3±4.6 abc	86.7±6.1 ab
	‘浙Y两优689’	88.0±2.0 abc	73.3±3.1 abc	21.6±0.5 bcd	2.2±0.3 de	8.9±1.1 def	4.1±0.0 b	81.3±1.2 abc	86.0±5.3 ab
	‘Y两优900’	94.7±1.2 ab	70.0±22.7 abc	27.2±0.9 a	3.4±0.1 ab	11.8±0.6 bc	3.7±0.2 b	90.0±2.0 a	94.7±1.2 a
	‘晶两优华占’	98.7±1.2 a	92.7±2.3 a	24.5±0.2 ab	3.7±0.1 a	14.8±0.6 a	4.0±0.0 b	69.3±6.4 de	94.0±4.0 a
	‘两优688’	93.3±3.1 ab	86.0±6.0 a	23.5±0.7 bc	2.7±0.4 bcd	10.9±1.4 cd	4.0±0.1 b	87.3±3.1 a	92.0±2.0 ab
	‘两优3905’	82.7±5.0 bcd	70.7±3.1 abc	20.2±1.0 cde	2.3±0.3 cde	9.4±1.4 cde	4.2±0.1 b	76.0±5.3 bcd	83.3±8.1 ab
	‘准两优608’	80.0±6.9 cd	59.3±4.2 bc	18.8±1.3 def	1.8±0.2 ef	7.8±1.1 ef	4.4±0.1 ab	72.7±3.1 cde	78.0±10.0 b
	‘江Y两优689’	84.0±2.0 bcd	56.0±17.4 bc	19.3±1.5 def	1.8±0.3 ef	8.0±1.3 ef	4.5±0.5 ab	73.3±3.1 bcde	87.3±3.1 ab
	‘Y两优1128’	78.0±3.5 cd	54.0±6.0 bc	16.2±2.7 f	1.4±0.5 f	6.6±1.3 f	5.0±0.9 a	56.7±2.3 f	78.0±4.0 b
	‘C两优华占’	38.7±11.0 e	28.7±7.6 d	9.1±2.5 g	0.6±0.1 g	2.3±0.6 g	4.3±0.1 ab	25.3±1.2 g	50.7±7.0 c

说明：不同小写字母表示同一指标不同品种间差异显著($P<0.05$)，-表示未测得数据。

4.0~4.9 d。从低温发芽试验和加速老化试验的结果来看，优质米发芽率高于普通米。

不同杂交籼稻品种间的活力差异显著($P<0.05$)。从发芽率来看，优质米的发芽率普遍高于普通米。发芽率超过 90.0% 的品种为‘晶两优华占’‘Y 两优 900’‘两优 0367’‘两优 688’。在发芽势方面，虽然优质米和普通米品种间的分布较为散乱，但整体上优质米的发芽势仍然高于普通米。不同杂交籼稻品种的发芽指数为 9.1~27.2。发芽指数超过 20 的品种为‘两优 0367’‘丰两优 9 号’‘浙 Y 两优 689’‘Y 两优 900’‘晶两优华占’‘两优 688’‘两优 3905’，说明这些品种具有较强的发芽能力。在活力指数和简易活力指数方面，优质米的活力指数普遍高于普通米。‘晶两优华占’‘两优 0367’‘Y 两优 900’‘丰两优 9 号’的活力指数和简易活力指数均显著高于其他品种($P<0.05$)。从平均发芽时间来看，优质米的平均发芽时间相对较短，体现了优质米在发芽速度上的优势。除了‘丰两优 9 号’和‘Y 两优 900’的平均发芽时间低于 4 d 外，其他品种的平均发芽时间均为 4.0~5.0 d。基于低温发芽试验和加速老化试验的结果分析，优质米在逆境条件下的发芽率也普遍高于普通米，说明优质米对不良环境具有较好的适应性。综上所述，不同品种粳稻与杂交籼稻间种子活力存在显著差异($P<0.05$)，优质米在发芽率、发芽势、发芽指数及逆境发芽率等方面的表现均优于普通米。

2.3 优质米与普通米种子活力指标间的差异显著性比较

对常规粳稻与杂交籼稻种子活力指标 t 检验(表 3)表明：在常规粳稻中，优质米和普通米的活力指数($P=0.044$)和简易活力指数($P=0.031$)差异显著。杂交籼稻中优质米和普通米的活力指数($P=0.032$)和平均发芽时间($P=0.046$)差异显著，其他指标的差异不显著。

表3 常规粳稻和杂交籼稻优质米和普通米各指标的差异显著性比较

Table 3 Comparison of the significant differences in various indexes between quality and common rice of conventional japonica rice and hybrid indica rice

水稻类型	P							
	发芽率	发芽势	发芽指数	活力指数	简易活力指数	平均发芽时间	低温发芽率	老化发芽率
常规粳稻	0.121	0.169	0.134	0.044*	0.031*	0.856	0.071	0.051
杂交籼稻	0.135	0.109	0.051	0.032*	0.052	0.046*	0.209	0.148

说明: *表示差异显著($P < 0.05$)。

2.4 稻米品质与种子活力测定指标的相关分析

由表4可知:常规粳稻整精米率与各项活力指标显著相关($P < 0.05$),胶稠度与发芽率、发芽指数显著相关($P < 0.05$),直链淀粉质量分数与发芽率、发芽指数显著相关($P < 0.05$)。杂交籼稻整精米率与各项活力指标显著相关($P < 0.05$),垩白度与低温发芽率显著相关($P < 0.05$),透明度与发芽率、发芽势、发芽指数、低温发芽率显著相关($P < 0.05$),胶稠度与活力指数、简易活力指数显著相关($P < 0.05$)。

表4 常规粳稻与杂交籼稻种子活力与稻米品质指标相关性分析结果

Table 4 Results of correlation analysis of seed vigor and quality indexes of conventional japonica rice and hybrid indica rice

品种类型	指标	发芽率	发芽势	发芽指数	活力指数	简易活力指数	低温发芽率	老化发芽率
常规粳稻	糙米率	0.291	0.366	0.310	0.313	0.309	0.343	0.414
	整精米率	0.927*	0.843*	0.865*	0.712*	0.768*	0.886*	0.803*
	垩白度	-0.104	0.064	-0.176	-0.037	0.022	-0.004	0.098
	透明度	0.377	0.476	0.407	0.169	0.107	0.327	0.336
	胶稠度	-0.584*	-0.561	-0.579*	-0.455	-0.460	-0.508	-0.178
	直链淀粉	0.667*	0.544	0.587*	0.510	0.575	0.571	0.407
	蛋白质	0.256	0.290	0.293	0.304	0.286	0.284	0.026
杂交籼稻	糙米率	0.196	0.320	0.191	0.314	0.346	0.124	0.145
	整精米率	0.841*	0.719*	0.779*	0.757*	0.792*	0.678*	0.819*
	垩白度	-0.495	-0.439	-0.390	-0.260	-0.303	-0.577*	-0.441
	透明度	-0.631*	-0.671*	-0.576*	-0.474	-0.505	-0.758*	-0.554
	胶稠度	0.491	0.487	0.519	0.583*	0.592*	0.440	0.481
	直链淀粉	0.057	-0.002	0.001	-0.042	-0.008	0.179	-0.022
	蛋白质	-0.368	-0.419	-0.323	-0.478	-0.525	-0.245	-0.314

说明: *表示差异显著($P < 0.05$)。

3 讨论

稻米品质受品种特性、生态环境及栽培措施的影响^[13]。稻米品质关系到稻米的市场竞争力,与种稻效益密切相关。本研究表明:种子活力高的品种具有更好的稻米品质。种子活力不仅决定了种子在发芽和生长初期的表现,还与其田间表现密切相关。高活力种子具有更强的生命力和环境适应性,在田间具有更快的出苗速度、更整齐的苗情以及更强的生长态势^[14]。张艺璇等^[15]利用包衣技术提高种子活力,发现处理后的种子田间表现良好,秧苗抗逆性增加,最终产量提升。在不同的气候环境下,高活力种子往往能整齐地出苗^[16],从而提升农作物的整体产量。李彬等^[17]对湖南和四川制种区的52份三系杂交籼稻种子进行田间试验,发现高活力种子在田间种植时出苗率更高。在湖南制种区,标准发芽率、发芽势和低温胁迫发芽率与田间出苗率呈显著正相关;而在四川制种区,低温胁迫发芽率与田间出苗率呈显著正相关。FINCH-SAVAGE等^[18]研究指出:种子活力的降低主要表现为对出苗的负面影响,出苗不足最终导致收获的产量减少。高活力种子田间表现好,在个体和群体质量、产量和质量性状等方面具有显著优势^[19]。因此,在农业生产中,选择高活力的种子品种,对于提升作物产量和品质具有重要意义。

在水稻生产过程中,高质量的水稻个体和群体有利于稻米品质潜力的发挥。田间表现好的水稻植

株，其稻米品质潜力大。水稻茎秆茎壁厚，茎壁面积占茎横切面面积比例大，输导组织活性强，维管束系统发达，光合产物流通顺畅，有利于水稻籽粒的灌浆充实，提高穗粒质量和稻米品质^[20]。尚振西等^[21]研究表明：在分蘖期，稻米的食味品质随根尖数的增加而提升；在灌浆期，稻米的食味品质随根系总体积的增加而提升。钟旭华等^[22]的研究表明：在水稻结实期，籽粒的垩白度会随着根系氧化力的提高而显著降低。剑叶形态、穗颈粗度、茎节长短等与稻米品质密切相关。北方杂交粳稻优质育种过程中，应选择株高中等、穗颈较细、叶片较窄、穗数较多、株型较紧凑且剑叶叶片角度较小的材料，有利于食味品质的提高^[23]。赵全志等^[24]研究发现：稻米碾磨品质与水稻倒 3 节间长存在显著负相关，同时也会影响到稻米的外观品质。张子军等^[25]的研究表明：稻米品质与植株的倒 1 节间长和倒 3 节间粗存在显著正相关。徐海等^[26]研究发现：稻米的食味品质与植株倒 3 叶的宽度呈显著负相关。郝宪彬等^[27]研究表明：水稻剑叶长度与直链淀粉含量呈正相关关系，优质杂交粳稻应具有较宽的剑叶和倒 2 叶、较窄的倒 3 叶、较小的倒 3 叶基角。

种子活力是一个综合性状，在种子发育、储藏、萌发的过程中受到遗传因素和环境条件的共同调控。高活力的种子耐储性好^[28]，而随着储藏时间的延长，种子活力不断下降^[29]。遗传因素会导致种子内部储藏物质发生变化，进而对种子活力与品质性状产生影响。CHEN 等^[30]研究表明：水稻 *OsPFP1* 基因突变会显著降低籽粒淀粉含量，但增加蛋白质和脂质含量，最终会显著降低种子活力。HUANG 等^[31]研究表明：水稻 *OsFIE1-PcG* 复合物通过调控胚和胚乳发育，影响籽粒储藏蛋白和氨基酸积累，最终影响种子萌发过程。WANG 等^[32]研究表明：抑制水稻脂质转运蛋白编码基因 *OsLTPL36* 的表达，会降低籽粒结实率和千粒重，提高胚乳垩白度，减少脂肪酸含量，进而影响种子萌发。因此，加快种子活力形成与保持机制的解析，结合传统育种与分子育种技术，将会促进水稻品质育种历程。

4 结论

本研究表明：不同水稻类型和品种间的种子活力和稻米品质存在显著差异。稻米品质与活力指标呈显著正相关关系，其中整精米率与活力指数相关度在杂交稻和常规稻中均达到显著水平。表明水稻种子活力高的品种具有更好的稻米品质，综合各指标，推荐‘沈农 9816’‘沈农 702’‘两优 0367’‘晶两优华占’‘Y 两优 900’等品种进行大面积推广种植与应用。

5 参考文献

- [1] 朱大伟, 章林平, 陈铭学, 等. 中国优质稻品种品质及食味感官评分值的特征[J]. *中国农业科学*, 2022, **55**(7): 1271 – 1283.
ZHU Dawei, ZHANG Linping, CHEN Mingxue, *et al.* Characteristics of high-quality rice varieties and taste sensory evaluation values in China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2022, **55**(7): 1271 – 1283.
- [2] KOUTROUBAS S D, MAZZINI F, PONS B, *et al.* Grain quality variation and relationships with morpho-physiological traits in rice (*Oryza sativa* L.) genetic resources in Europe [J]. *Field Crops Research*, 2004, **86**(2): 115 – 130.
- [3] GU Junfei, CHEN Jing, CHEN Lu, *et al.* Grain quality changes and responses to nitrogen fertilizer of japonica rice cultivars released in the Yangtze River Basin from the 1950s to 2000s [J]. *The Crop Journal*, 2015, **3**(4): 285 – 297.
- [4] 邵雅芳, 郑欣, 朱大伟, 等. 2002—2022年中国籼稻品质的时空分布和发展状况分析[J/OL]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2024-01-24[2024-02-20]. <https://link.cnki.net/urlid/33.1247.S.20240124.0847.004>.
SHAO Yafang, ZHEN Xin, ZHU Dawei, *et al.* Spatio-temporal distribution and development status of indica rice quality in China from 2002 to 2022 [J/OL]. *Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences)*, 2024-01-24[2024-02-20]. <https://link.cnki.net/urlid/33.1247.S.20240124.0847.004>.
- [5] 荆瑞勇, 卫佳琪, 王丽艳, 等. 基于主成分分析的不同水稻品种品质综合评价[J]. *食品科学*, 2020, **41**(24): 179 – 184.
JING Ruiyong, WEI Jiaqi, WANG Liyan, *et al.* Comprehensive quality evaluation of different rice varieties based on principal component analysis [J]. *Food Science*, 2020, **41**(24): 179 – 184.
- [6] 徐浩扬, 傅娅菲, 陈灵妹, 等. 水稻品质遗传改良的效果分析与综合评价[J]. *种子*, 2023, **42**(11): 76 – 83.
XU Haoyang, FU Yafei, CHEN Lingmei, *et al.* Effect analysis and comprehensive evaluation on the rice qualities by genetic improvement [J]. *Seed*, 2023, **42**(11): 76 – 83.

- [7] 赵佳, 何永奇, 王州飞. 种子活力分子调控机理研究进展[J]. *华南农业大学学报*, 2023, **44**(5): 659 – 669.
ZHAO Jia, HE Yongqi, WANG Zhoufei. Current advances on the molecular mechanism of seed vigor [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2023, **44**(5): 659 – 669.
- [8] 孙群, 王建华, 孙宝启. 种子活力的生理和遗传机理研究进展[J]. *中国农业科学*, 2007, **40**(1): 48 – 53.
SUN Qun, WANG Jianhua, SUN Baoqi. Advances on seed vigor physiological and genetic mechanisms [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, **40**(1): 48 – 53.
- [9] 崔婷, 王晓敏, 秦建权, 等. 比重分级对杂交水稻种子发芽、出苗和产量的影响[J]. *杂交水稻*, 2015, **30**(2): 80 – 83.
CUI Ting, WANG Xiaomin, QIN Jianquan, *et al.* Effects of specific gravity-based seed grading on seed germination, seedling emergence and grain yield of hybrid rice [J]. *Hybrid Rice*, 2015, **30**(2): 80 – 83.
- [10] GLORIA B C, CONSUELO M P, BIENVENIDO O J. A gel consistency test for eating quality of rice [J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 1973, **24**(12): 1589 – 1594.
- [11] 赵光武. 现代种子种苗实验指南[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015.
ZHAO Guangwu. *Guidelines for Modern Seed and Seedling Experiments* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2015.
- [12] 张瑛, 滕斌, 吴敬德, 等. 水稻种子高温高湿人工加速老化试验方法研究[J]. *中国粮油学报*, 2010, **25**(10): 8 – 12.
ZHANG Ying, TENG Bin, WU Jingde, *et al.* Research on artificial accelerated aging test method for rice seeds under high temperature and humidity conditions [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2010, **25**(10): 8 – 12.
- [13] 张晓. 杂交水稻种子淀粉、蛋白质、脂肪含量对其活力影响的初步研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2014.
ZHANG Xiao. *A Preliminary Study on the Effects of Seed Starch, Protein, Fat Content on Seed Vigor of Hybrid Rice* [D]. Hangzhou: Zhejiang A&F University, 2014.
- [14] 王铁固, 张怀胜, 马娟, 等. 玉米种子活力与产量的相关分析[J]. *安徽农业科学*, 2012, **40**(10): 5848 – 5849.
WANG Tiegou, ZHANG Huaisheng, MA Juan, *et al.* Correlation analysis between seed vigor and maize yield [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2012, **40**(10): 5848 – 5849.
- [15] 张艺璇, 谭静, 管俊娇, 等. 两种水稻种子处理悬浮剂对旱直播水稻生长的影响[J]. *农药学学报*, 2023, **25**(2): 395 – 405.
ZHANG Yixuan, TAN Jing, GUAN Junjiao, *et al.* Effect of two rice seed treatment suspensions on the growth of rice in dry land cultivation [J]. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2023, **25**(2): 395 – 405.
- [16] RAJJOU L, DUVAL M, GALLARDO K, *et al.* Seed germination and vigor [J]. *Annual Review of Plant Biology*, 2012, **63**: 507 – 533.
- [17] 李彬, 应建恺, 赵光武, 等. 三系杂交籼稻种子活力测定及其与田间出苗率的相关性[J]. *西北农业学报*, 2016, **25**(11): 1615 – 1622.
LI Bin, YING Jiankai, ZHAO Guangwu, *et al.* Seed vigor determination of three-line indica hybrid rice and their relationship with field emergence percentage [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2016, **25**(11): 1615 – 1622.
- [18] FINCH-SAVAGE W E, BASSEL G W. Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2016, **67**(3): 567 – 591.
- [19] 周峰, 华春, 贲爱玲, 等. 种子活力和作物产量[J]. *种子*, 2017, **36**(3): 50 – 53.
ZHOU Feng, HUA Chun, BEN Ailing, *et al.* Seed vigor and crop yield [J]. *Seed*, 2017, **36**(3): 50 – 53.
- [20] 李振华, 王建华. 种子活力与萌发的生理与分子机制研究进展[J]. *中国农业科学*, 2015, **48**(4): 646 – 660.
LI Zhenhua, WANG Jianhua. Advances in research of physiological and molecular mechanism in seed vigor and germination [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, **48**(4): 646 – 660.
- [21] 尚振西, 边嘉宾, 陈帅君, 等. 不同施肥处理下水稻根系与稻米品质的关系研究[J]. *天津农学院学报*, 2020, **27**(4): 1 – 6.
SHANG Zhenxi, BIAN Jiabin, CHEN Shuaijun, *et al.* Relationship between rice root system and rice quality under different fertilization treatments [J]. *Journal of Tianjin Agricultural University*, 2020, **27**(4): 1 – 6.
- [22] 钟旭华, 黄农荣. 水稻结实期根系活性与稻米垩白形成的相关性初步研究[J]. *中国水稻科学*, 2005, **19**(5): 471 – 474.
ZHONG Xuhua, HUANG Nongrong. Preliminary study on the relationship between rice grain chalkiness and root activity at grain-filling stage [J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2005, **19**(5): 471 – 474.
- [23] 郑英杰, 孙滨, 夏明, 等. 北方杂交粳稻株型与食味品质性状的关系[J]. *北方水稻*, 2014, **44**(1): 10 – 13.
ZHENG Yingjie, SUN Bin, XIA Ming, *et al.* Relationship between the plant types and taste characters on japonica hybrid rice in the northern China [J]. *North Rice*, 2014, **44**(1): 10 – 13.

- [24] 赵全志, 李梦琴, 刘慧超, 等. 粳稻品质与株型的关系研究[J]. *河南农业大学学报*, 2003, **37**(1): 13 – 17.
ZHAO Quanzhi, LI Mengqin, LIU Huichao, *et al.* Relationship between grain quality and plant type of japonica rice [J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2003, **37**(1): 13 – 17.
- [25] 张子军, 冯永祥, 荆彦辉, 等. 水稻株型与品质关系的研究[J]. *江苏农业科学*, 2009(1): 62 – 65.
ZHANG Zijun, FENG Yongxiang, JING Yanhui, *et al.* A study on the relationship between rice plant type and quality [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2009(1): 62 – 65.
- [26] 徐海, 宫彦龙, 夏原野, 等. 中日水稻品种杂交后代的株型性状与产量和品质的关系[J]. *中国水稻科学*, 2016, **30**(3): 283 – 290.
XU Hai, GONG Yanlong, XIA Yuanye, *et al.* Relation of plant type traits with yield and quality in the ril population derived from cross between chinese rice variety and japanese rice variety [J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2016, **30**(3): 283 – 290.
- [27] 郝宪彬, 马秀芳, 胡培松, 等. 北方杂交粳稻株型与稻米品质性状的关系[J]. *中国水稻科学*, 2009, **23**(4): 398 – 404.
HAO Xianbin, MA Xiufang, HU Peisong, *et al.* Relationship between plant type and rice quality of japonica hybrid rice in northern China [J]. *Chinese Journal of Rice science*, 2009, **23**(4): 398 – 404.
- [28] 陈志超, 黄婷婷, 王洋, 等. 水稻种子休眠特性与耐藏性的关系[J]. *浙江农林大学学报*, 2018, **35**(3): 490 – 496.
CHEN Zhichao, HUANG Tingting, WANG Yang, *et al.* Dormancy characteristics and seed storage tolerance in rice [J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2018, **35**(3): 490 – 496.
- [29] 丁云倩, 朱庆祥, 汤郑豪, 等. 耐贮水稻种质资源的筛选及生理特性[J]. *浙江农林大学学报*, 2023, **40**(2): 244 – 253.
DING Yunqian, ZHU Qingxiang, TANG Zhenghao, *et al.* Screening and physiological characteristics of storable *Oryza sativa* germplasm resources [J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2023, **40**(2): 244 – 253.
- [30] CHEN Chen, HE Bingshu, LIU Xingxun, *et al.* Pyrophosphate-fructose 6-hosphatase 1-hosphotransferase (PFP1) regulates starch biosynthesis and seed development via heterotetramer formation in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2019, **18**(1): 83 – 95.
- [31] HUANG Xiaolong, LU Zhanhua, WANG Xin, *et al.* Imprinted gene *OsFIE1* modulates rice seed development by influencing nutrient metabolism and modifying genome H3K27me3 [J]. *The Plant Journal*, 2016, **87**(3): 305 – 317.
- [32] WANG Xin, ZHOU Wei, LU Zhanhua, *et al.* A lipid transfer protein, OsLTPL36, is essential for seed development and seed quality in rice [J]. *Plant Science*, 2015, **239**: 200 – 208.