

岳红亮,代金英,赵绍路,等. 粳稻籽粒硬度与品质性状的相关性分析[J]. 江苏农业学报,2026,42(1):1-7.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2026.01.001

粳稻籽粒硬度与品质性状的相关性分析

岳红亮¹, 代金英¹, 赵绍路¹, 刘凯¹, 宛柏杰¹, 朱静雯¹, 张梦龙¹, 程新杰¹,
胡蕾¹, 孙一标¹, 施伟¹, 朱国永¹, 王爱民¹, 唐红生¹, 缪一宏², 孙明法¹
(1.江苏沿海地区农业科学研究所,江苏盐城 224000; 2.江苏沿海地区农业科学研究所新洋试验站,江苏盐城 224049)

摘要: 为了明确不同类型粳稻籽粒硬度指数的分布特征及其与米饭硬度、米饭食味值以及粳稻理化指标之间的关系,本研究利用 27 个粳稻品种,测定了粳稻籽粒硬度指数、理化指标、快速黏度分析仪谱特征值、米饭食味值等 25 个指标,分析了不同类型粳稻的籽粒硬度指数分布特征,以及籽粒硬度指数与粳稻品质性状间的相关性。结果表明,糯粳稻品种的籽粒硬度指数分布范围最广,普通粳稻的籽粒硬度指数分布范围最集中,籽粒硬度指数的平均值表现为糯粳稻<半糯粳稻<普通粳稻。粳稻籽粒硬度指数与米饭硬度、直链淀粉含量、峰值黏度、热浆黏度、冷胶黏度、消减值、峰值时间、回复值等呈极显著正相关,与籽粒长、整精米率呈显著正相关,与米饭食味值、米饭外观、米饭黏度、米饭平衡度、胶稠度、透明度等级、垩白粒率、垩白度呈极显著负相关,与碎米率呈显著负相关,这种相关性在半糯品种中表现更为显著。粳稻籽粒硬度指数与粳稻食味品质、外观品质和加工品质都有显著的相关性。对籽粒硬度进行研究有利于选育出食味品质、外观品质和加工品质均较好的粳稻品种,为粳稻品质育种提供可靠的理论依据,加速优良食味粳稻品种的选育。

关键词: 籽粒硬度指数; 米饭硬度; 食味品质; 加工品质

中图分类号: S511 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2026)01-0001-07

Correlation analysis in japonica rice grain hardness and quality traits

YUE Hongliang¹, DAI Jinying¹, ZHAO Shaolu¹, LIU Kai¹, WAN Baijie¹, ZHU Jingwen¹,
ZHANG Menglong¹, CHENG Xinjie¹, HU Lei¹, SUN Yibiao¹, SHI Wei¹, ZHU Guoyong¹,
WANG Aimin¹, TANG Hongsheng¹, MIAO Yihong², SUN Mingfa¹

(1. Institute of Agricultural Sciences in the Coastal District of Jiangsu Province, Yancheng 224000, China; 2. Xinyang Experimental Station, Institute of Agricultural Sciences in the Coastal District of Jiangsu Province, Yancheng 224049, China)

Abstract: To clarify the distribution characteristics of grain hardness index in different types of japonica rice and its relationships with cooked rice hardness, palatability score, and physicochemical properties of japonica rice, this study used 27 japonica rice cultivars to determine 25 indicators, including grain hardness index, physicochemical properties, Rapid Visco Analyzer (RVA) profile characteristics, and palatability score. The distribution characteristics of grain hardness index in different types of japonica rice and the correlations between grain hardness index and quality traits of japonica rice were analyzed. The results showed that the distribution range of grain hardness index was widest in waxy japonica rice cultivars, while it was most concentrated in ordinary japonica rice. The average grain hardness index followed the order: waxy japonica rice < semi-glutinous japonica

收稿日期:2025-04-03

基金项目:2022 年度江苏沿海地区农业科学研究所科研基金项目
(YHS202205);江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(24)
3095];江苏省种业振兴揭榜挂帅项目[JBGS(2021)040]

作者简介:岳红亮(1993-),男,河南周口人,硕士,助理研究员,主要
从事水稻遗传育种研究。(E-mail)20201815@jaas.ac.cn

通讯作者:孙明法,(E-mail)smf559@163.com

rice. The average grain hardness index followed the order: waxy japonica rice < semi-glutinous japonica

rice < ordinary japonica rice. The grain hardness index of japonica rice was highly significantly positively correlated with cooked rice hardness, amylose content, peak viscosity, hot paste viscosity, cold paste viscosity, breakdown value, peak time, and setback value, and was significantly positively correlated with grain length and head rice yield. It was highly significantly negatively correlated with palatability score, appearance of cooked rice, stickiness of cooked rice, balance of cooked rice, gel consistency, transparency grade, chalky grain rate, and chalkiness degree, and was significantly negatively correlated with broken rice rate. These correlations were more pronounced in semi-glutinous japonica rice cultivars. The grain hardness index of japonica rice showed significant correlations with eating quality, appearance quality, and processing quality. Research on grain hardness is beneficial for breeding japonica rice cultivars with good eating quality, appearance quality, and processing quality, providing a reliable theoretical basis for quality breeding of japonica rice and accelerating the development of superior-tasting japonica rice cultivars.

Key words: grain hardness index; hardness of cooked rice; eating quality; processing quality

品质是稻米的重要属性。自 2017 年中国将优质稻米作为粮食发展的重点以来,优质就成为江苏省水稻育种的主要目标^[1]。2021–2024 年,达到中国国家或行业标准优质 2 级及以上的水稻品种占通过国家审定水稻品种的 50% 以上。其中,2024 年达到国家或行业标准优质 2 级及以上的水稻品种有 251 个,占国家审定的水稻品种总数的 62%,通过国家审定的优质水稻品种占比显著提高^[2-3]。具有较高食味品质的稻米品种,不仅符合国家供给侧结构性改革和农业高质量发展的需要,还受到广大种植户的青睐,种植面积也不断攀升。江苏省以南粳 46、南粳 9108 为代表的优质半糯品种的种植面积占全省水稻种植面积的 40% 左右,其中南粳 9108 已成为江苏省种植面积最大的水稻品种,年种植面积超过 467 000 hm²^[4-5]。

籽粒硬度是与稻米碾磨品质、外观品质密切相关的性状,其主要由籽粒中淀粉粒和蛋白质的紧密结合程度以及淀粉粒间蛋白质基质的连续性决定,具有遗传性^[6-7]。籽粒属性不仅影响稻米蒸煮品质,还与蒸煮过程中的稻米质构特性关系密切^[8]。前人研究结果表明,无垭白、整精米率高的稻米具有较高的籽粒硬度,籽粒硬度与整精米率、籽粒长宽比显著相关,整精米率越高,食用品质越好^[9-11]。完成优质稻米育种目标的关键是在提高稻米食味品质的同时提高整精米率和透明度,降低垭白粒率和垭白度。对稻米籽粒硬度进行测定和研究能够帮助我们提高稻米的食味品质和加工品质。在水稻育种选种过程中,对成熟期稻米籽粒进行咬合与咀嚼,通过感知是否有“渣感”,可作为一项辅助的筛选方法。因此,籽粒硬度在水稻品质育种中的应用价值值得我们进行研究。本研究拟对糯粳稻、半糯粳稻和普通粳稻

的籽粒硬度指数进行测量分析,明确不同类型水稻硬度指数的分布特征及其与米饭硬度、米饭食味以及理化指标之间的相关性,分析籽粒硬度指数在稻米品质研究中的应用价值,以期为粳稻品质育种提供可靠的理论依据,加速优良食味粳稻品种的选育。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为 2022 年种植于江苏沿海地区农业科学研究所盐城新洋试验站的 27 个粳稻品种(糯粳稻、半糯粳稻、普通粳稻各 9 份),5 月 20 日播种,6 月 20 日移栽,行距 30 cm,株距 12 cm,田间常规管理,完全成熟后收割,统一晾晒,放置 90 d 后进行数据测定。

1.2 试验方法

1.2.1 稻米外观品质和加工品质的测定 利用杭州万深检测科技有限公司的 SC-E 型大米外观品质检测分析仪系统对稻米的外观品质(籽粒长、籽粒宽、籽粒长宽比、垭白粒率、垭白度和透明度)和加工品质(整精米率、碎米率)指标进行测定。

1.2.2 稻米理化性状的测定 对粉碎后过 100 目筛的米粉进行稻米直链淀粉含量、蛋白质含量和胶稠度的测定,测定方法参考岳红亮等^[12]的方法。

1.2.3 稻米快速黏度分析仪谱特征值的测定 利用 Perten TechMaster 谷物黏度快速分析仪测定快速黏度分析仪(RVA)谱黏度曲线。RVA 谱特征值的测定参考岳红亮等^[12]的稻米 RVA 谱特征值测定方法。

1.2.4 稻米籽粒硬度指数的测定 利用浙江伯利恒仪器设备有限公司的籽粒硬度指数测定仪(型

号:BLH-1100)测定水稻籽粒硬度指数。在籽粒硬度指数测定前,将待测稻米放置在同一条件下平衡水分,并采用丹麦福斯集团公司生产的 Infratec 1241 近红外米粒食味仪对待测稻米进行水分测定,选取水分含量在 12%左右的稻米,称取 25.0 g 精米进行稻米籽粒硬度指数测定。由于水稻籽粒硬度不同,其抗机械粉碎能力存在差异,粒质较软的籽粒易被粉碎成粉状,粒质较硬的籽粒不易被粉碎成粉状^[13]。依据留在筛网上的样品质量与样品总质量的比例换算出水稻籽粒的硬度。取 2 次有效重复的平均值为测定值。

1.2.5 稻米米饭食味值的测定 利用购自日本佐竹公司的 STA1B 米饭食味计测定稻米米饭外观、米饭硬度、米饭黏度、米饭平衡度和米饭食味值,具体测定方法参考田铮等^[14]的方法。

1.2.6 数据统计分析 数据统计与作图采用 Excel2019,显著性分析和相关性分析采用 SPSS22.0。

2 结果与分析

2.1 不同类型粳稻籽粒硬度指数的分布及差异

本研究测定并分析了 3 种类型粳稻的籽粒硬度指数的分布情况。图 1 显示,糯粳稻籽粒硬度指数分布范围最广,多数品种籽粒硬度指数相对较小,主要分布在 59.0~66.0;半糯粳稻的籽粒硬度指数分布范围也较广,主要分布在 66.1~73.0;普通粳稻的籽粒硬度指数分布范围最小,硬度指数均大于 66.0。

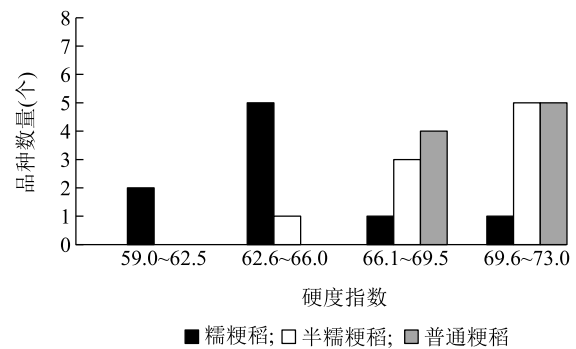


图 1 不同类型粳稻籽粒硬度指数分布及其差异

Fig.1 Distribution and variation of grain hardness index in different types of japonica rice

2.2 不同类型粳稻品种间稻米食味品质性状的分布及差异

对供试粳稻的米饭食味值、直链淀粉含量、蛋白质含量、胶稠度等的分析结果(表 1)表明,糯粳稻、半糯粳稻和普通粳稻在直链淀粉含量、胶稠度、米饭食味值、米饭外观、米饭硬度、米饭黏度和米饭平衡度等上均达到了显著差异,在蛋白质含量上无显著差异。其中,糯粳稻表现为低直链淀粉含量、高胶稠度、高米饭食味值,米饭质地表现为硬度低、黏度高、外观好、平衡度好;普通粳稻表现为高直链淀粉含量、低胶稠度、低米饭食味值,米饭质地表现为硬度高、外观差、黏度低、平衡度低;半糯粳稻表现为直链淀粉含量、胶稠度和米饭食味值均介于糯粳稻和普通粳稻之间。

表 1 不同类型粳稻籽粒硬度指数和食味品质性状分布及其差异

Table 1 Distribution and variation of grain hardness index and palatability-related traits in different types of japonica rice

品种类型	项目	硬度指数	米饭外观	米饭硬度	米饭黏度	米饭平衡度	米饭食味值	直链淀粉含量(%)	蛋白质含量(%)	胶稠度(mm)
糯粳稻	范围	59.4~69.7	8.6~9.5	5.1~5.9	8.7~9.3	8.4~9.2	81.9~88.1	1.46~1.61	6.0~8.7	124.0~139.5
	平均值	64.6b	9.1a	5.4c	9.0a	8.9a	86.0a	1.53c	8.0a	130.1a
半糯粳稻	范围	65.0~70.7	5.1~7.6	5.9~7.3	4.7~6.9	4.7~7.3	58.3~74.5	6.78~10.08	7.5~8.8	76.0~97.0
	平均值	69.0a	6.6b	6.5b	6.2b	6.3b	68.2b	8.96b	8.2a	84.8b
普通粳稻	范围	67.0~72.8	3.6~5.3	7.2~8.2	3.9~5.7	3.3~5.2	50.0~61.6	14.99~17.55	7.9~8.5	55.0~81.0
	平均值	69.8a	4.3c	7.8a	4.6c	4.1c	54.7c	16.33a	8.2a	69.3c

同列数据后的不同小写字母表示不同类型水稻间差异显著($P<0.05$)。

图 2 显示,9 个糯粳稻品种的米饭食味值全部分布在 80.1~90.0;各有 4 个半糯粳稻品种的米饭食味值位于 60.1~70.0 和 70.1~80.0,1 个半糯粳稻品

种的米饭食味值分布在 50.0~60.0;8 个普通粳稻品种的米饭食味值分布在 50.0~60.0,1 个普通粳稻品种的米饭食味值分布在 60.1~70.0。

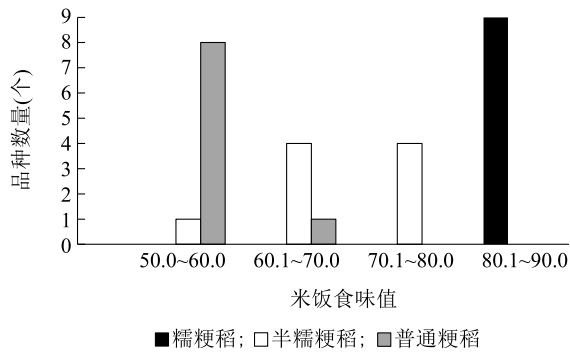


图2 不同类型粳稻米饭食味值分布及其差异

Fig.2 Distribution and variation of cooked-rice palatability scores in different types of japonica rice

2.3 不同类型粳稻品种间外观品质特征的差异

对3种类型粳稻的米粒外观品质进行检测和分

析,表2显示,糯粳稻和半糯粳稻具有相似的籽粒长宽比,普通粳稻的籽粒长宽比显著大于糯粳稻和半糯粳稻;糯粳稻、半糯粳稻和普通粳稻的籽粒长依次增大,且三者之间均存在显著差异;糯粳稻的籽粒宽略大于普通粳稻,但未达到显著水平,半糯粳稻的籽粒宽则显著大于糯粳稻和普通粳稻;半糯粳稻和普通粳稻均具有较高的整精米率,且显著高于糯粳稻;在碎米率上则刚好相反,糯粳稻的碎米率显著高于半糯粳稻和普通粳稻;在透明度上,糯粳稻的透明度等级均为5级,表现为不透明,普通粳稻的透明度等级均为1级,表现为透明,半糯粳稻的透明度等级为2~5级,平均值为3级;在垩白粒率和垩白度上,半糯粳稻与普通粳稻间无显著差异,并均显著低于糯粳稻。

表2 不同类型粳稻外观品质性状的分布及差异

Table 2 Distribution and variation of appearance-related traits in different types of japonica rice

品种类型	项目	籽粒长宽比	籽粒长 (mm)	籽粒宽 (mm)	整精米率 (%)	碎米率 (%)	透明度等级 (级)	垩白粒率 (%)	垩白度
糯粳稻	范围	1.60~1.76	4.23~4.63	2.55~2.83	87.40~98.20	1.80~12.60	5	93.70~100.00	40.80~72.00
	平均值	1.65b	4.40c	2.67b	94.00b	5.99a	5a	98.67a	58.23a
半糯粳稻	范围	1.65~1.72	4.41~4.84	2.67~2.83	94.50~99.60	0.42~5.48	2~5	7.00~79.20	2.20~36.40
	平均值	1.68b	4.64b	2.77a	97.50a	2.47b	3b	24.60b	9.61b
普通粳稻	范围	1.66~2.14	4.47~5.60	2.47~2.71	90.10~99.20	0.83~9.87	1	7.50~16.00	2.30~6.10
	平均值	1.90a	4.93a	2.60b	97.40a	2.56b	1c	12.50b	4.25b

同列数据后的不同小写字母表示不同类型水稻间差异显著($P<0.05$)。

2.4 不同类型粳稻品种间 RVA 谱特征值的差异

对3种类型粳稻的RVA谱特征值进行检测和分析,表3显示,糯粳稻的峰值黏度、热浆黏度、冷胶黏度、消减值、回复值、峰值时间和糊化温度与半糯粳稻、普通粳稻相比,均存在显著差异,崩解值无显著差异;半糯粳稻与普通粳稻相比,在峰值黏度、崩解值、热浆黏度、冷胶黏度、消减值、回复值和峰值时间方面均存在显著差异,糊化温度无显著差异。

2.5 粳稻籽粒硬度指数与理化性状、RVA 谱特征值及食味品质性状的相关性

将总样本、糯粳稻、半糯粳稻和普通粳稻的籽粒硬度指数分别与理化性状、RVA谱特征值以及米饭食味值进行相关性分析,结果(表4)表明,总

样本籽粒硬度指数与米饭硬度、峰值黏度、热浆黏度、冷胶黏度、消减值、峰值时间、回复值、直链淀粉含量呈极显著正相关;与籽粒长、整精米率呈显著正相关;与米饭食味值、米饭外观、米饭黏度、米饭平衡度、胶稠度、透明度等级、垩白粒率、垩白度均呈极显著负相关;与崩解值、糊化温度、蛋白质含量的相关性不显著。

糯粳稻籽粒硬度指数与消减值呈极显著正相关,与崩解值呈极显著负相关,与其他指标相关性不显著;半糯粳稻籽粒硬度指数与籽粒长宽比、直链淀粉含量、热浆黏度、冷胶黏度、峰值时间、回复值均呈显著正相关,与糊化温度呈显著负相关,与透明度等级、垩白粒率、垩白度呈极显著负相关;普通粳稻籽粒硬度指数与所有指标的相关性均不显著。

表 3 不同类型粳稻快速黏度分析仪谱特征值的分布及差异

Table 3 Distribution and variation of Rapid Visco Analyser (RVA) profile characteristics in different types of japonica rice

品种类型	项目	峰值黏度 (cP)	热浆黏度 (cP)	崩解值 (cP)	冷胶黏度 (cP)	消减值 (cP)	峰值时间 (min)	糊化温度 (°C)	回复值 (cP)
糯粳稻	范围	899.5~1 251.0	157.0~356.5	651.0~894.5	243.0~474.0	-777.0~-541.5	3.3~3.6	69.6~72.1	86.0~120.0
	平均值	1 082.3c	298.4c	783.9ab	406.8c	-675.5c	3.5c	71.0b	108.4c
半糯粳稻	范围	1 113.5~2 378.0	597.5~1 406.0	516.0~1 395.0	1 050.0~2 070.3	-821.5~-63.5	5.2~6.3	72.1~80.8	452.5~726.5
	平均值	1 988.1b	1 013.8b	974.3a	1 634.6b	-353.5b	5.9b	74.8a	620.8b
普通粳稻	范围	2 091.0~2 510.5	1 158.5~2 021.0	347.5~1 073.0	2 274.5~3 079.0	183.5~710.5	6.2~7.0	73.6~77.5	1 058.0~1 273.0
	平均值	2 300.9a	1 580.3a	720.6b	2 725.2a	424.3a	6.6a	74.9a	1 144.9a

同列数据后的不同小写字母表示不同类型水稻间差异显著($P<0.05$)。

表 4 不同类型粳稻籽粒硬度指数与理化性状、快速黏度分析仪谱特征值及米饭食味品质性状间的相关性分析

Table 4 Correlation analysis between grain hardness index and physicochemical properties, Rapid Visco Analyser (RVA) profile characteristics, and palatability-related traits in different types of japonica rice

指标	相关系数			
	总样本籽粒硬度指数	糯粳稻籽粒硬度指数	半糯粳稻籽粒硬度指数	普通粳稻籽粒硬度指数
米饭外观	-0.631 **	-0.112	0.305	-0.294
米饭硬度	0.602 **	0.077	-0.291	0.161
米饭黏度	-0.653 **	-0.210	0.314	-0.235
米饭平衡度	-0.632 **	-0.149	0.310	-0.228
米饭食味值	-0.638 **	-0.105	0.305	-0.227
峰值黏度	0.642 **	-0.583	0.404	-0.145
热浆黏度	0.641 **	-0.041	0.713 *	-0.564
崩解值	0.018	-0.811 **	-0.135	0.549
冷胶黏度	0.668 **	-0.047	0.725 *	-0.500
消减值	0.572 **	0.833 **	0.342	-0.542
峰值时间	0.710 **	0.243	0.724 *	-0.584
糊化温度	0.317	0.309	-0.724 *	-0.157
回复值	0.676 **	-0.080	0.701 *	0.283
直链淀粉含量	0.664 **	0.308	0.747 *	-0.325
胶稠度	-0.685 **	-0.259	0.335	-0.154
蛋白质含量	0.092	0.221	-0.538	-0.090
籽粒长宽比	0.370	-0.133	0.713 *	-0.023
籽粒长	0.468 *	-0.304	0.579	0.092
籽粒宽	0.002	-0.161	0.239	0.284
整精米率	0.418 *	-0.087	0.658	0.075
碎米率	-0.418 *	0.087	-0.658	-0.075
透明度等级	-0.708 **	/	-0.863 **	/
垩白粒率	-0.768 **	-0.391	-0.892 **	-0.563
垩白度	-0.794 **	-0.567	-0.851 **	-0.070

* 表示显著相关($P<0.05$); ** 表示极显著相关($P<0.01$)。

3 讨论

本研究对 27 个粳稻品种籽粒硬度指数与 24 项粳稻食味品质性状进行分析,结果表明,高籽粒硬度的水稻品种具有较高的整精米率和透明度,较低的垩白度和垩白粒率;籽粒硬度指数与米饭硬度呈极显著正相关,随着籽粒硬度指数的增大,米饭硬度升高,米饭食味值降低,食味品质变差。此外,籽粒硬度指数与直链淀粉含量极显著正相关,与蛋白质含量呈正相关,这与刘秋员等^[15]的研究结果一致。半糯粳稻籽粒硬度指数与外观品质、加工品质和 RVA 谱特征值具有较好的相关性,半糯粳稻具有较好的食味品质,借助籽粒硬度指数对半糯粳稻的外观品质和加工品质进行辅助选择,可选育出综合性状较好的半糯粳稻品种。

目前对籽粒硬度与稻米品质关系的研究报道多数是对籽粒硬度影响因素的研究^[16-17]。在粒型有差异的水稻品种中,籽粒越宽,则硬度越大;同一品种中穗上部籽粒硬度显著大于穗下部,即使在不同水稻品种间这种差异也较为稳定^[9]。其原因应为穗上部籽粒多为优势籽粒,穗下部多为弱势籽粒,弱势籽粒中的淀粉粒相较于优势籽粒而言粒径差异和空隙较大,且排列整齐度差,因此更易发生断裂^[18]。籽粒中脂质含量对籽粒硬度也有较大影响,非极性脂质能够干扰蛋白质和淀粉亲水基质的结合,削弱蛋白质-淀粉基质结合的程度,导致籽粒硬度降低,减少非极性脂质能够增强籽粒硬度^[6]。有研究表明,极性脂质能够与 Puroindoline 蛋白质结合形成脂-蛋白质复合物,极性脂质含量越高,籽粒越软^[19-20]。籽粒硬度在小麦研究中较为成熟,*Pina* 和 *Pinb* 是小麦中控制籽粒硬度的主效基因^[21]。将控制小麦籽粒硬度的野生型 *Pina* 和 *Pinb* 基因转入水稻植株中进行研究发现,这 2 个基因的表达能够降低水稻籽粒硬度,增加碾磨后小淀粉颗粒的比例,其表达量对籽粒透明度也有一定的影响^[22-23]。张瑞奇等^[24]研究发现,低硬度值籽粒胚乳蛋白质基质与淀粉粒呈分离状态,高硬度值籽粒胚乳蛋白质基质与淀粉粒结合紧密,但是一定范围内籽粒硬度不受胚乳总蛋白质含量、总淀粉含量及直链淀粉含量影响,而受胚乳蛋白质亚基组成的影响。由此可知,一定范围内 *puroindoline* 基因可以在不改变胚乳总蛋白质含量、总淀粉含量及直链淀粉含量的情况下改

变水稻的籽粒硬度,对稻米外观、食味品质进行改良。半糯粳稻品种具有较高食味品质的重要原因是引入了 Wx^{mp} 、 Wx^{lb} 等控制低直链淀粉含量的基因,通过降低稻米中直链淀粉含量,进而降低了米饭硬度,提高了米饭的适口性,但含有同种半糯基因的品种间食味值也有较大差距^[14,25]。对米饭硬度和淀粉分子结构进行研究发现,支链淀粉中短支链所占比例与硬度呈负相关,而长支链所占比例与硬度呈正相关^[26];当稻米的直链淀粉含量相近时,聚合度为 1 000~2 000 的直链淀粉链的数量与硬度呈正相关,直链淀粉链的长度与硬度呈负相关^[27]。对粳稻硬度进行研究发现,通过寻找新的调控粳稻籽粒硬度基因的方式来改善稻米的外观品质和食味品质似乎也是一种值得探索的方法。

4 结论

粳稻籽粒硬度指数与稻米食味品质、外观品质和加工品质都有显著的相关性,高籽粒硬度粳稻品种具有较高的整精米率,较低的垩白粒率和垩白度,低籽粒硬度粳稻品种具有较好的米饭食味值。对籽粒硬度进行研究有利于选育出食味品质、外观品质和加工品质均较好的半糯粳稻品种。

参考文献:

- [1] 王才林. 江苏省优良食味粳稻品种培育的发展与启示[J]. 中国稻米, 2022, 28(5): 82-91, 106.
- [2] 刘 信, 刘春青, 王玉玺, 等. 我国优质稻品牌化发展现状及建议[J]. 中国稻米, 2022, 28(2): 12-15.
- [3] 中华人民共和国农业农村部. 中华人民共和国农业农村部公告 第 867 号[R/OL]. (2024-12-29) [2025-04-01]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/nybzj1/202412/120241231_6468720.htm.
- [4] 王才林, 张亚东, 陈 涛, 等. 姊妹系间杂交快速选育优良食味半糯粳稻新品种的育种效果[J]. 中国水稻科学, 2021, 35(5): 455-465.
- [5] 王才林, 张亚东, 赵春芳, 等. 江苏省优良食味粳稻的遗传与育种研究[J]. 遗传, 2021, 43(5): 442-458.
- [6] OPPONG SIAW M, WANG Y J, MCCLUNG A M, et al. Porosity and hardness of long-grain brown rice kernels in relation to their chemical compositions[J]. LWT, 2021, 144: 111243.
- [7] 郭 刚, 周 革. 小麦硬度及其测定[J]. 中国粮油学报, 1996, 11(4): 8-11.
- [8] TAMURA M, NAGAI T, HIDAKA Y, et al. Changes in nonwaxy japonica rice grain textural-related properties during cooking[J]. Journal of Food Quality, 2014, 37(3): 177-184.
- [9] 石英尧, 朱飞龙, 鲍 芳, 等. 不同施肥处理对稻米硬度影响研

- 究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(22): 6741-6742.
- [10] 刘英. 稻米的食用品质与其整精米率的关系[J]. 中国粮油学报, 2004, 19(5): 8-10.
- [11] 施利利, 张欣, 丁得亮, 等. 碎米含量与稻米品质的关系研究[J]. 食品科技, 2016, 41(12): 121-124.
- [12] 岳红亮, 赵庆勇, 赵春芳, 等. 江苏省半糯粳稻食味品质特征及其与感官评价的关系[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(6): 7-14, 22.
- [13] 罗蕤超, 杨忠宝, 叶敢兰. JYDB100×40 小麦硬度指数测定仪操作研究[J]. 粮食科技与经济, 2018, 43(4): 42-43.
- [14] 田铮, 赵春芳, 张亚东, 等. 江苏省半糯型粳稻蒸煮食味品质性状的差异分析[J]. 中国水稻科学, 2021, 35(3): 249-258.
- [15] 刘秋员, 陶钰, 程爽, 等. 不同直链淀粉与蛋白质含量类型粳稻稻米品质特征[J]. 食品科技, 2022, 47(11): 150-158.
- [16] 郑英杰, 王柏秋, 于亚辉, 等. 辽宁滨海稻区稻米品质影响因素分析及优质栽培技术探讨[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(16): 30-35.
- [17] 陈振玲, 王锐, 陈洁, 等. 拔节期喷施纳米锌对水稻产量、品质和籽粒锌含量的影响[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(6): 961-968.
- [18] 刘海天, 王峰, 王强, 等. 水稻弱勢籽粒淀粉形成对稻米品质影响研究进展[J]. 中国稻米, 2022, 28(6): 16-20.
- [19] 颜韶兵, 童川, 包劲松. 谷物磷脂及其与谷物品质的关系研究进展[J]. 中国稻米, 2018, 24(1): 38-44.
- [20] 周诚, 曾鑫, 章岩, 等. 稻米脂质与稻米品质间关系及其影响因素[J]. 中国粮油学报, 2024, 39(4): 180-188.
- [21] 郑雅月, 赵振杰, 赵万春, 等. 小麦籽粒硬度研究进展[J]. 麦类作物学报, 2017, 37(7): 915-922.
- [22] KRISHNAMURTHY K, GIROUX M J. Expression of wheat pu-roindoline genes in transgenic rice enhances grain softness[J]. Nature Biotechnology, 2001, 19(2): 162-166.
- [23] SUZUKI G, WADA H, GOTO H, et al. Transgenic rice plants harboring the grain hardness-locus region of *Aegilops tauschii*[J]. Plant Cell Reports, 2011, 30(12): 2293-2301.
- [24] 张瑞奇, 荣曼, 张守忠, 等. 普通小麦籽粒硬度与胚乳组成及显微结构的关系[J]. 中国农业科学, 2011, 44(9): 1753-1762.
- [25] ZHU M D, LIU Y Q, JIAO G A, et al. The elite eating quality alleles *Wx^b* and *ALK^b* are regulated by OsDOF18 and coordinately improve head rice yield[J]. Plant Biotechnology Journal, 2024, 22(6): 1582-1595.
- [26] 赵春芳, 岳红亮, 黄双杰, 等. 南粳系列水稻品种的食味品质与稻米理化特性[J]. 中国农业科学, 2019, 52(5): 909-920.
- [27] LI H Y, PRAKASH S, NICHOLSON T M, et al. The importance of amylose and amylopectin fine structure for textural properties of cooked rice grains[J]. Food Chemistry, 2016, 196: 702-711.

(责任编辑:王妮)