

粳米与籼米的理化特性及工业化微波加工后的品质分析

李吉年¹ 郭 佳¹ 贾艺彬¹ 马梦杰¹ 王 治¹ 陈厉水²

(1. 正大食品研发有限公司,浙江 宁波 315300; 2. 中原食品实验室,河南 漯河 462300)

摘要: [目的] 以 8 种大米包括粳米与籼米为研究对象, 经过工业化微波生产线熟化加工, 制成常温盒装方便米饭, 并评价其食味品质。[方法] 检测原料米的组成成分、蒸煮品质、糊化特性, 结合微波加工后米饭的食味值、质构特性、感官评分、微观结构等, 评价不同米种的食味品质。[结果] 不同大米品种的性质存在显著差异, 与籼米相比, 粳米的蛋白质平均值含量低 0.76 g/100 g, 直链淀粉平均值低 0.85 g/100 g, 米汤干物质平均值高 4.27 mg/g, 碘蓝值高 0.21, 糊化温度平均值低 3.39 °C, 回生值平均值低 74.5 Pa·s, 稀懈值平均值低 145 Pa·s, 粳米更易糊化, 且热糊化稳定性更好, 不易回生。经微波熟化加工后, 粳米米饭比籼米米饭的硬度平均值高 9.77 N, 黏度平均值高 2.28 N, 米饭食味值平均值高 6.87 分、感官评分高 2.73 分, 综合米饭食味值与感官评分, 粳米中的龙粳 31 表现最好, 其微观结构呈孔隙较均匀的蜂窝状。[结论] 工业化微波加工盒装方便米饭食味品质良好, 粳米比籼米更适合用于微波加工。

关键词: 微波熟化; 粳米; 粳米; 方便米饭; 食味值; 感官评价

Physicochemical properties of japonica rice and indica rice and their quality analysis after industrial microwave processing

LI Jinian¹ GUO Jia¹ JIA Yibin¹ MA Mengjie¹ WANG Ye¹ CHEN Lishui²

(1. Charoen Pokphand Food Research and Development Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang 315300, China;

2. Food Laboratory of Zhongyuan, Luohu, Henan 462300, China)

Abstract: [Objective] To evaluate the taste quality of boxed instant rice prepared on industrial microwave cooking production line with eight kinds of rice, including japonica rice and indica rice. [Methods] Not only composition, cooking quality, and gelatinization characteristics of raw rice are tested, but also taste value, hardness, viscosity, sensory scores, and the microstructure are detected to evaluate the taste quality of different rice varieties. [Results] There are significant differences in the properties of different rice varieties. Compared with indica rice, japonica rice has lower average content of protein (by 0.76 g/100 g) and amylose (by 0.85 g/100 g), a higher average dry matter content in rice soup (by 4.27 mg/g), a higher average iodine blue value (by 0.21), a lower average gelatinization temperature (by 3.39 °C), a lower average retrogradation value (by 74.5 Pa·s), and a lower average value of breakdown (by 145 Pa·s). The japonica rice has better thermal gelatinization stability, which is easier to gelatinize and not easy to retrograde. After microwave cooking, compared with indica rice, japonica rice has higher average hardness (by 9.77 N), higher average viscosity (by 2.28 N), a higher average taste value (by 6.87 points), and a higher sensory score (by 2.73 points). Considering the taste values and sensory scores of the rice comprehensively, Longjing 31 among japonica rice performs the best, with its microstructure presenting a honeycomb structure with relatively uniform pores. [Conclusion] Boxed instant rice prepared by industrial microwave processing has good taste quality, and japonica rice is more suitable for microwave processing than indica rice.

基金项目: 慈溪市公益类科技计划项目(编号:CN2023003); 河南省重点研发专项(编号:241112110100)

通信作者: 郭佳(1982—), 男, 正大食品研发有限公司中级工程师, 硕士。E-mail: Missyours123456@126.com

收稿日期: 2024-12-02 **改回日期:** 2025-08-08

引用格式: 李吉年, 郭佳, 贾艺彬, 等. 粳米与籼米的理化特性及工业化微波加工后的品质分析[J]. 食品与机械, 2025, 41(11): 144-151.

Citation: LI Jinian, GUO Jia, JIA Yibin, et al. Physicochemical properties of japonica rice and indica rice and their quality analysis after industrial microwave processing[J]. Food & Machinery, 2025, 41(11): 144-151.

Keywords: microwave cooking; japonica rice; indica rice; instant rice; taste value; sensory evaluation

大米根据外形、口感等主要差异分为粳米、籼米、糯米,日常食用的大米以粳米和籼米为主,不同大米的外观、香气、口感、滋味等差异较大。粳米由梗型非糯性稻谷碾制,米粒呈蜡白色,透明或者半透明,外形椭圆,质地坚硬;籼米由籼型非糯性稻谷碾制,米粒偏白色,半透明,外形呈细长形,长度一般 $>7\text{ mm}$,质地脆弱易碎^[1]。方便米饭是指可直接食用或经简单烹调后食用的米饭,其风味、口感、外形与普通米饭相似。目前市场上主要分为脱水干燥型方便米饭与非脱水干燥型米饭。脱水干燥型方便米饭水分含量 $<10\%$,保存时间较长,但存在香气少、口感差、营养下降的问题,需加水复热,香气口感等与传统米饭差异较大^[2];非脱水干燥型米饭又称即食米饭或鲜食米饭,大米先调理蒸煮加工,后在无菌无尘的环境中密封,进行米饭和包装盒杀菌,微波加热后即可食用,米饭原有的营养与风味能被保留,损失较小,但杀菌工艺对米饭的风味具有明显影响^[3],且对车间环境要求较高,存在污染的风险。

微波加热在食品工业中可用于解冻、干燥、烘焙、烹饪、复热等,其加热技术具有效率高、速度快、可控性高等特点,此外因其能减少能耗与用水,利于环境保护,被视为绿色食品加工技术^[4]。与传统加热方式不同,微波加热是依靠物品内的偶极分子高频往复运动,产生内摩擦热,自身整体内外各部分同时加热升温,增加了加热的均匀性,同时缩短了加热时间,较大程度上保留了食物的口感、色泽和营养价值,从而提高了最终产品质量^[5]。周小理等^[6]利用家用微波炉制备米饭,速度快,但因水分蒸发较多,硬度大,食味品质不佳。Lakshimi等^[7]比较了常见家用烹饪器具烹煮米饭,微波炉用时最短。Lee等^[8]利用自制的微波辅助感应加热装置(MAIH)烹饪米饭,经处理的白米可以完全煮熟且无微生物存在。小型家用微波炉已被广泛应用,工业化微波设备适合大批量、规模化食品加工,常见工业化微波技术用于干燥大米,直接烹饪熟化米饭的研究较少。研究拟利用自研微波生产线,制备不同米种的常温即食方便米饭,通过对比营养价值、蒸煮性质、糊化特性、食味值、硬度、黏度、感官评价等各种指标,筛选出适合微波生产米饭品种,旨在为微波预制食品研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

绥粳18号、吉宏6号、龙梗31号3种粳米:绥化市庆安绿都源米业有限公司;

五优稻4号粳米:五常市鑫禾米业有限公司;

洋西早、玉针香2种籼米:黄梅县谦益米业有限公司;

美香占2号籼米:广东省汕尾市丰隆米业有限公司;

粮发香丝籼米:广西宾阳县鸿发米业有限公司;

托盒:PP-EVOH-(5%)-PP材料,尺寸长180 mm、宽180 mm、高30 mm,鑫百勤专用车辆有限公司;

封口膜:江阴申隆包装材料有限公司。

1.2 主要仪器设备

微波食品生产线(见图1):正大集团自主研发安装调试;

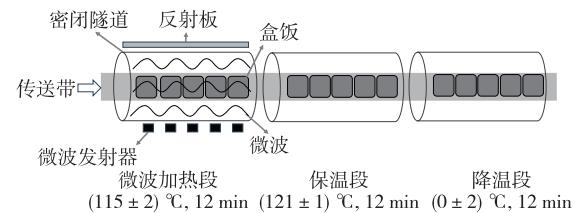


图1 微波食品生产线简要示意图

Figure 1 Microwave food production line

紫外分光光度计:UV-1800型,日本岛津公司;

大米食味计:RLTA10C-K型,佐竹机械(苏州)有限公司;

米饭食味计:STA1B-CN-J型,佐竹机械(苏州)有限公司;

硬度黏度仪:RHS1A型,佐竹机械(苏州)有限公司;

黏度仪:Viscograph型,德国Brabender公司;

扫描电镜(SEM):JSM-IT100型,日本电子株式会社。

1.3 方法

1.3.1 微波常温方便米饭的前处理方法 将100 g生米装入盒中,用75 °C热水浸泡2 min,冷水清洗至室温,使用滤网过滤去除多余的流动水,再补充水至总质量为230 g,封口后进入微波隧道中加工。

微波食品生产线为隧道式流水线,批次输送物料进入加工,主要分为3段:微波加热段、保温段、降温段。微波加热段:多个微波发射器并列排在隧道外一侧,发射微波给产品加热,每个微波发射器功率为1.2 kW,频率为2 450 MHz,隧道内由热空气辅助加热环境温度,系统控制自动调节,并加压防止包装盒因盒内空气受热高温膨胀而变形;保持环境温度(115±2) °C,时间为12 min。保温段:由热空气保持产品温度,环境温度(121±1) °C,保温时间为12 min,并保持加压。降温段:利用冷空气降低产品的温度,降温段环境温度(0±2) °C,降温时间为12 min,并降压至常压。产品经传送带运输流转出隧道,人工放入冷却柜,温度为-18 °C,时间10 min,待温度降为(30±5) °C时取出,常温避光贮藏备用。

1.3.2 大米组成成分测定

(1) 蛋白质含量:按GB 5009.5—2016中的凯氏定氮法执行。

(2) 脂肪含量:按 GB 5009.6—2016 中的索氏抽提法执行。

(3) 淀粉含量:按 GB 5009.9—2023 中的酸水解法执行。

(4) 直链淀粉(干基)含量:按 GB/T 15683—2008 执行。

1.3.3 大米蒸煮品质测定

(1) 米汤干物质含量:参照米永洁等^[9]的方法并稍加修改。称取 7 g 大米置于 150 mL 铝罐内,加入 25 mL 蒸馏水,清洗后沥干,再将蒸馏水加热至 50 °C,取 100 mL 倒入装有大米的铝罐中,将铝罐置于电蒸锅中蒸煮 20 min。将米汤转移至锥形瓶中,冷却后先测定 pH 值,再转移至 100 mL 容量瓶中混匀,取 30 mL 离心(4 000 r/min、15 min),取 10 mL 上清液于干燥皿中,110 °C 烘干至恒重,按式(1)计算米汤干物质含量。

$$m = \frac{m_2 - m_1}{m_0} \times \frac{100}{10} \times 1000, \quad (1)$$

式中:

m —米汤干物质含量,mg/g;

m_0 —生米的质量,g;

m_1 —干燥皿的质量,g;

m_2 —110 °C 烘干至恒重后,干燥皿与米汤干物质的质量之和,g。

(2) 米汤透光率:取 2 mL 上清液于比色皿中,设置紫外分光光度计波长 620 nm,测定透光率。

(3) 碘蓝值:取 1 mL 上清液,加入 5 mL 0.5 mol/L 盐酸,1 mL 0.2 g/100 mL 碘试剂,混匀后定容至 25 mL,静置 10 min,用紫外分光光度计于 660 nm 处测定吸光度。

1.3.4 大米糊化特性分析 按 GB/T 14490—2008 执行。

1.3.5 大米食味值测定 预热大米食味计 30 min,按照佐竹公司提供的操作流程,称量 200 g 大米放入检测槽内,选择白米作为基准线,重复 3 次,得大米食味值。

1.3.6 米饭食味值测定 将成型器具置于天平上,称取微波加工的方便米饭(8.0±0.1) g,轻轻按压米饭,使其装入器具中且不越出测定圈,使用成型器按压测定圈正反面,米饭被固定在测定圈内。食味计开机预热 30 min,校准基准版后,将测定圈放入测定槽内测定。每个样品测定 6 次。

1.3.7 米饭质构特性测定 将测定好食味值的米饭测定圈放入配套的载物小盘中,再放入硬度黏度计内样品平台上测定,每个样品测定 6 次。

1.3.8 米饭感官评价 参照 GB/T 16291.1—2012 进行感官人员的选拔、培训与管理,参照 GB/T 15682—2008 的米饭感官评价规则和品评要求对微波米饭进行感官评价。

1.3.9 米饭扫描电镜(SEM) 称量 5 g 米饭,15%,30%,50%,70%,90%,100% 梯度醇溶液洗脱,使用超临界干燥

法干燥。取干燥好的米饭样品黏附在导电胶带上,进行喷金处理,再转移至扫描电镜样品仓内,抽真空,设置工作电压 15.0 kV,工作距离 30 mm,对样品进行观察。

1.3.10 数据分析 利用 SPSS 27.0 软件对数据进行处理,显著性水平设定 $P < 0.05$,不同米种间的比较使用单因素 ANOVA 分析,梗米与籼米的比较使用独立样本 T 检验分析,使用 Origin 2024 软件作图。

2 结果与分析

2.1 原料大米的成分

大米主要由淀粉、蛋白质、脂肪等组成,对大米品质的评价起到重要作用,其检测结果如表 1 所示,梗米与籼米在蛋白质、直链淀粉成分上差异较大($P < 0.05$),脂肪、总淀粉差异不显著。8 种大米的蛋白质含量为 5.90~7.55 g/100 g,梗米的蛋白质含量平均值为 6.34 g/100 g,而籼米平均值为 7.10 g/100 g,梗米平均蛋白质含量比籼米少 0.76 g/100 g,其中洋西早的蛋白质含量最高,为(7.55±0.02) g/100 g,五优稻 4 号最低,为(5.90±0.05) g/100 g,蛋白质含量可能受地域影响较大,南方地区籼米的蛋白质含量较高,高温条件可能有利于蛋白质的产生和积累^[10]。李苏红等^[11]研究发现,梗米与籼米中蛋白质含量与食味品质呈负相关,蛋白质含量高,米饭光泽差、香气不明显,食味品质差。梗米与籼米脂肪含量差异不显著,吴焱等^[12]研究发现,脂肪在大米中含量较少,一般脂肪含量高的大米米饭光泽好,适口性与香气更佳,食味品质较好,但易氧化变质,贮藏时间短。淀粉是大米最主要的成分,淀粉含量上梗米与籼米无显著差异,淀粉含量为 73.31~79.03 g/100 g,直链淀粉含量差异较大,梗米的直链淀粉含量平均值较籼米平均值低 0.85 g/100 g。直链淀粉含量影响淀粉颗粒的吸水膨胀性,进而影响大米的凝胶化、糊化、回生及消化特性,决定着大米的蒸煮品质和食

表 1 不同大米成分[†]

Table 1 Composition of different rice g/100 g

大米	蛋白质	脂肪	淀粉	直链淀粉 (干基)
绥粳 18	6.59±0.05 ^c	0.29±0.01 ^c	77.60±0.90 ^b	15.84±0.16 ^d
吉宏 6 号	6.39±0.02 ^d	0.18±0.02 ^f	78.31±0.69 ^{ab}	16.16±0.25 ^d
龙粳 31	6.48±0.01 ^{cd}	0.33±0.01 ^b	79.03±0.95 ^a	15.91±0.09 ^d
五优稻 4 号	5.90±0.05 ^e	0.26±0.02 ^d	73.31±0.35 ^d	16.57±0.36 ^{bc}
洋西早	7.55±0.02 ^a	0.40±0.02 ^a	76.73±0.75 ^e	16.22±0.13 ^{ed}
玉针香	6.99±0.02 ^b	0.39±0.02 ^a	76.60±0.80 ^e	17.37±0.35 ^a
美香占 2 号	6.98±0.21 ^b	0.18±0.01 ^f	77.57±0.95 ^b	16.79±0.22 ^b
粮发香丝	6.91±0.04 ^b	0.23±0.01 ^e	78.30±1.07 ^{ab}	17.43±0.21 ^a
梗米平均值	6.34±0.28	0.26±0.06	77.05±2.56	16.10±0.39
籼米平均值	7.10±0.30	0.30±0.10	77.30±0.80	16.95±0.57

[†] 同列数据上标字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

味品质等,直链淀粉低的大米食味品质较好,且糊化所需热量少、回生慢,更适合用来制作方便米饭^[13]。从组成成分上考虑,粳米比籼米更适合。

2.2 原料大米的蒸煮性质

表2为大米的蒸煮性质测试结果,粳米与籼米的米汤pH差异不明显,但米汤干物质、透光率和碘蓝值存在显著差异($P<0.05$)。米汤的干物质是指在蒸煮过程中溶解在水中的物质,干物质越多,米饭的口感、气味越好^[14],粳米的米汤干物质含量平均值比籼米高4.27 mg/g,其中绥粳18的米汤干物质含量最高为(49.79±2.72) mg/g。米汤的透光率与干物质呈负相关关系,粳米的透光率小于籼米,绥粳18的透光率最小为(55.81±0.01)%。碘蓝值反映了米汤中可溶性直链淀粉含量,可溶性淀粉含量越高,碘蓝值越大,在蒸煮过程中米汤稠、适口性较好^[15],粳米的碘蓝值显著大于籼米,平均值比籼米高0.21,其中五优稻4号的碘蓝值最大为1.63±0.01。张荣彬等^[16]也报道了相似的试验结果。粳米较籼米的米汤干物质含量高、碘蓝值高,粳米的蒸煮性质较籼米好。

2.3 原料大米的糊化特性

表3为不同大米的糊化参数,图2为不同大米的糊化特性曲线,可以看出粳米和籼米的糊化过程相似,但参数间存在显著差异($P<0.05$)。糊化温度是大米中的淀粉晶体吸水膨胀、开始崩解时的温度,粳米的糊化平均温度比籼米低3.39 °C,可能是粳米中直链淀粉含量较低,支链淀粉含量相对较高,支链淀粉分叉的不规则排列使得淀粉颗粒结构排列无序较为松散,有利于水分子在淀粉中的扩散,即增加淀粉吸水膨胀的速度,在一定程度上降低大米的糊化温度^[1]。糊化温度越低,熟化时所需的水越少,时间越短,有利于提升加工时的蒸煮效率。最高黏度反映了淀粉颗粒的膨胀程度和结合水的能力^[14],其中粮发香丝的最高黏度值达到(872.67±0.58) Pa·s,其淀粉糊黏

表2 不同大米的蒸煮性质[†]
Table 2 Cooking properties of different rice

大米	米汤pH	米汤干物质含量/(mg·g ⁻¹)	透光率/%	碘蓝值
绥粳18	6.69±0.01 ^e	49.79±2.72 ^a	55.81±0.01 ^c	1.30±0.02 ^c
吉宏6号	6.66±0.01 ^f	49.36±1.51 ^a	58.54±0.06 ^c	1.26±0.01 ^d
龙粳31	6.78±0.01 ^c	39.58±2.43 ^c	68.42±0.01 ^a	1.34±0.01 ^b
五优稻4号	6.82±0.02 ^b	45.72±2.02 ^b	60.00±0.03 ^b	1.63±0.01 ^a
洋西早	6.74±0.01 ^d	38.79±0.30 ^c	73.96±0.02 ^a	1.01±0.01 ^f
玉针香	6.86±0.02 ^a	47.00±0.20 ^{ab}	67.23±0.06 ^{bc}	1.09±0.01 ^e
美香占2号	6.76±0.03 ^{cd}	40.64±0.71 ^c	68.51±0.03 ^a	1.35±0.01 ^b
粮发香丝	6.75±0.01 ^d	40.93±0.10 ^c	76.46±0.01 ^a	0.84±0.02 ^g
粳米平均值	6.74±0.07	46.11±4.68	60.69±5.03	1.38±0.15
籼米平均值	6.78±0.05	41.84±3.32	71.54±4.06	1.07±0.20

† 同列数据上标字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

性较强,可能使米饭黏度高。杨晓蓉等^[17]的研究结果显示最高黏度值与直链淀粉含量高有关,直链淀粉含量越高,最高黏度较高,其回生值越高,米饭的食味品质越差。稀解值为最高黏度与最低黏度的差值,体现了淀粉糊抗热和抗剪切能力,稀解值越小,淀粉糊体系稳定性越好,体系抗热和抗剪切能力越强,粳米比籼米的平均稀解值低145 Pa·s,其中绥粳18稀解值[(305.00±4.00) Pa·s]和吉宏6号稀解值[(306.67±1.53) Pa·s]较小,热糊化稳定性较好。回生值为最终黏度与最低黏度的差值,反映淀粉冷糊的稳定性和老化趋势,回生值低,米饭不易回生,冷饭质地好,更耐贮藏,粳米的平均回生值低于籼米74.5 Pa·s,其中龙粳31回生值最低。粳米的糊化温度、最低黏度、最高黏度、回生值、稀解值、最终黏度等指标均较籼米低,说明粳米具有较好的抗剪切能力、热糊稳定性较高、不易回生等特点,更适合用于加工为方便米饭。

表3 不同大米的糊化参数[†]

Table 3 Gelatinization characteristic parameters of different rice

大米	糊化温度/°C	最低黏度/(Pa·s)	最高黏度/(Pa·s)	回生值/(Pa·s)	稀解值/(Pa·s)	最终黏度/(Pa·s)
绥粳18	69.87±0.35 ^d	282.67±1.53 ^e	587.67±2.52 ^f	139.67±1.53 ^e	305.00±4.00 ^g	458.00±0.03 ^{de}
吉宏6号	68.20±0.10 ^f	262.00±1.00 ^f	568.00±1.00 ^g	242.67±0.58 ^d	306.67±1.53 ^g	465.67±0.58 ^d
龙粳31	69.37±0.35 ^e	284.67±1.53 ^e	605.67±8.50 ^e	132.67±3.51 ^f	321.00±10.00 ^f	450.67±2.52 ^e
五优稻4号	67.30±0.10 ^g	259.00±1.00 ^g	604.00±6.00 ^e	241.67±1.53 ^d	345.00±7.00 ^e	434.67±23.50 ^f
洋西早	73.07±0.15 ^b	293.67±0.58 ^c	769.67±5.51 ^b	258.67±0.58 ^b	476.00±6.00 ^b	507.67±0.58 ^{bc}
玉针香	70.17±0.06 ^d	290.67±0.58 ^d	725.00±1.00 ^d	249.67±0.58 ^c	435.00±1.00 ^d	495.00±1.00 ^c
美香占2号	71.27±0.06 ^c	302.67±3.51 ^b	760.00±1.00 ^c	246.67±1.53 ^c	457.67±4.51 ^c	509.67±4.51 ^b
粮发香丝	73.77±0.15 ^a	383.67±0.58 ^a	872.67±0.58 ^a	299.67±3.51 ^a	489.00±1.00 ^a	603.00±2.00 ^a
粳米平均值	68.68±1.07	272.08±12.22	591.33±16.52	189.17±55.45	319.42±17.63	452.17±15.61
籼米平均值	72.07±1.49	317.67±40.10	781.83±57.51	263.67±22.26	464.42±21.46	528.83±45.16

† 同列数据上标字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

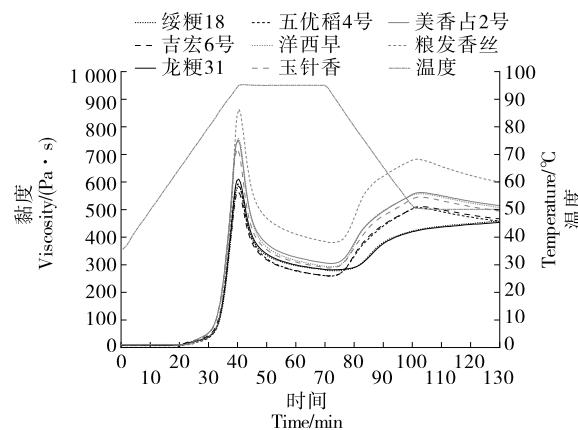


图 2 不同大米糊化特性曲线

Figure 2 Gelatinization curves of different rice

2.4 大米食味值与方便米饭的食味值

大米食味剂直接测量生米样品,利用含氢基团在近红外光谱区域的吸收信息,结合大米的硬度、黏度、味道、香气等食味指标,判定该种大米的食味分数,与实际感官品质具有较高的相关性^[18]。米饭食味计利用特定波长的近红外光产生的吸光度的差异,精确测定了米饭相关的化合物基团,并通过比对配套软件内的大米食味资料数据库,对米饭样品进行评分,一般认为食味值越高,食味品质越好^[19]。由表4可以看出,不论是大米食味值还是米饭食味值,梗米的食味值明显高于籼米($P<0.05$),梗米平均大米食味值比籼米高11.58分,平均米饭食味值高6.87,其中五优稻4号[(72.83±0.58)分]与龙梗31[(72.17±0.58)分]的米饭食味值较高。米饭食味计还从外观和口感等方面进行了评分,结果显示梗米米饭的外观和口感得分也优于籼米,其中龙梗31两项得分均为最高。张栋昊等^[20]研究显示,蛋白质影响米饭的质构、香气、滋味等

表4 不同大米食味值[†]
Table 4 Taste values of different rice

大米	大米食味值	米饭食味值	食味计外观评分	食味计口感评分
绥粳18	68.33±0.58 ^c	67.00±0.63 ^c	6.87±0.05 ^c	7.30±0.06 ^d
吉宏6号	72.00±1.00 ^b	70.17±0.41 ^b	7.35±0.08 ^c	7.50±0.09 ^c
龙梗31	72.33±0.58 ^b	72.17±0.41 ^a	7.93±0.08 ^a	8.15±0.05 ^a
五优稻4号	73.67±0.58 ^a	72.83±0.41 ^a	7.77±0.16 ^b	7.98±0.18 ^b
洋西早	55.33±1.53 ^g	63.17±0.41 ^e	6.10±0.17 ^f	6.28±0.18 ^f
玉针香	66.33±0.58 ^d	64.00±1.26 ^d	7.17±0.05 ^d	7.03±0.05 ^e
美香占2号	60.00±0.00 ^e	66.67±0.52 ^c	7.42±0.15 ^c	7.28±0.13 ^d
粮发香丝	58.33±0.58 ^f	60.83±1.33 ^f	5.92±0.15 ^g	6.03±0.15 ^g
梗米平均值	71.58±2.15	70.54±2.36	7.48±0.43	7.73±0.37
籼米平均值	60.00±4.26	63.67±2.32	6.65±0.68	6.66±0.54

† 同列数据上标字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

方面,从而影响米饭食味品质,过高蛋白质含量会降低米饭食味品质。这与大米蛋白质含量测定结果相一致,籼米的蛋白质含量高,但食味值较梗米低。大米食味计快速评价生米的品质,米饭食味计测试熟饭的品质,其结果也具有较高的相关性($r=0.864$),两种方法快速、直接、客观,结合使用可以快速评价大米品质,筛选出优良的米种。从食味值的检测结果来看,梗米的食味值更高,更利于加工。

2.5 方便米饭的质构特性

米饭的质构特性包括硬度、黏度、弹性等,其硬度、黏度值在一定程度上反映了米饭的适口性,硬度、黏度适中的米饭适口性更好。表5为米饭的硬度、黏度值情况,梗米与籼米加工的微波米饭在硬度、黏度上显著大于籼米,梗米米饭平均硬度值比籼米米饭高9.77 N,平均黏度高2.28 N,但弹性差于籼米。平衡性是硬度、黏度的比值,此次梗米与籼米的测量结果无显著差异。造成米饭质构差异的原因较多,大米组分、烹煮方法等均有影响^[21],一般常压蒸煮米饭,蛋白质含量高会抑制淀粉的糊化和膨胀过程,脂肪含量高、直链淀粉高的籼米米饭形成淀粉—脂类复合物较多口感会较硬^[22],试验采用微波加热,快速加热过程中产生的大量水蒸气使得密封盒内压力较大,形成高温高压微环境,随着压力增大,淀粉—脂类复合物减少,且籼米内部结构较松散,使得籼米米饭有更高的糊化度,硬度减小。梗米的支链淀粉含量较高,吸水后会形成高黏度的糊状物,因此黏度较大。

2.6 方便米饭的感官评价

如表6所示,所有样品的感官评分均高于80分,梗米的平均感官总分比籼米高2.73分,其中龙梗31评分最高为(87.08±3.87)分。在米饭的气味评分上,梗米和籼米差异不大,且分数均>16分,说明微波加工可以较好地保

表5 不同米饭的硬度黏度值[†]

Table 5 Hardness and viscosity of different rice

大米	硬度/N	黏度/N	平衡性	弹性
绥粳18	28.64±4.12 ^a	6.01±1.15 ^a	0.21±0.04 ^{bc}	0.72±0.03 ^d
吉宏6号	24.52±6.49 ^{ab}	5.64±0.87 ^{ab}	0.24±0.05 ^{ab}	0.71±0.03 ^d
龙梗31	22.42±3.66 ^{bc}	5.64±0.73 ^{ab}	0.26±0.02 ^{ab}	0.74±0.02 ^d
五优稻4号	25.09±5.04 ^{ab}	5.25±0.84 ^{bc}	0.21±0.02 ^{bc}	0.73±0.04 ^d
洋西早	14.27±3.62 ^d	2.96±0.38 ^{ef}	0.22±0.08 ^{ab}	0.86±0.03 ^{ab}
玉针香	13.53±2.82 ^d	2.44±0.48 ^f	0.19±0.05 ^{bc}	0.83±0.07 ^c
美香占2号	13.44±2.20 ^d	3.51±0.56 ^{de}	0.27±0.04 ^a	0.87±0.02 ^a
粮发香丝	19.52±4.20 ^c	4.00±0.58 ^{cd}	0.21±0.02 ^c	0.83±0.02 ^{bc}
梗米平均值	25.17±5.15	5.51±1.15	0.23±0.04	0.72±0.03
籼米平均值	15.40±3.82	3.23±0.77	0.22±0.06	0.84±0.04

† 同列数据上标字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

表 6 米饭感官评价结果[†]
Table 6 Results of sensory evaluation of rice

大米	气味	外观	口感	滋味	冷饭质地	总分
绥粳 18	17.17±1.95	17.25±1.54 ^{bc}	24.17±2.59 ^a	21.92±2.47	3.58±1.08	84.08±3.82 ^{bc}
吉宏 6 号	17.58±2.02	18.42±1.24 ^{ab}	24.08±1.38 ^a	22.50±2.02	3.67±0.78	86.25±2.96 ^a
龙梗 31	17.58±1.51	18.75±0.97 ^a	24.33±2.31 ^a	22.58±2.11	3.83±0.72	87.08±3.87 ^a
五优稻 4 号	18.17±1.19	18.50±1.38 ^{ab}	22.08±2.15 ^{ab}	22.58±1.88	3.50±0.80	84.83±3.66 ^{bc}
洋西早	18.00±1.21	17.25±1.82 ^{bc}	23.42±2.81 ^{ab}	22.08±2.19	3.42±0.67	84.17±4.69 ^{bc}
玉针香	18.00±1.60	17.42±2.02 ^{abc}	22.50±2.61 ^{ab}	22.33±2.35	3.33±1.07	83.58±5.84 ^{bc}
美香占 2 号	16.83±2.72	18.75±1.48 ^a	23.42±3.63 ^{ab}	21.17±3.13	3.17±1.11	83.33±7.83 ^{bc}
粮发香丝	17.50±2.02	16.42±1.38 ^c	21.58±3.42 ^b	21.00±3.19	3.75±0.97	80.25±6.22 ^{bc}
粳米平均值	17.63±1.68	18.23±1.39	23.67±2.28	22.40±2.08	3.65±0.84	85.56±3.68
籼米平均值	17.58±1.97	17.46±1.84	22.73±3.14	21.65±2.72	3.42±0.96	82.83±6.24

† 同列数据上标字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

留米饭的香气。米饭的外观结构综合得分最高的品种为龙梗 31[(18.75±0.97)分]和美香占 2 号[(18.75±1.48)分],所有品种的外观综合得分均>16分,说明微波加热能够较好地保持米饭的外观。在米饭口感方面,粳米口感得分略高籼米 0.77 分,其中得分最高的品种是龙梗 31 为(22.58±2.11)分。在滋味上无明显差异,但五优稻 4 号[(22.58±1.88)分]和龙梗 31[(22.58±2.11)分]的得分最高,说明经过微波加热后依然能保持较浓郁的清香和米饭的甜味。冷饭质地的品评得分最高的品种为龙梗 31,所有的品种冷饭得分均>3 分,说明经微波处理后的所有品种在冷饭的成团松散、黏弹性较好、硬度适中。同籼米相比,粳米在总分和外观得分上较高,选择粳米作为加工米饭原料更合适。

如表 7 所示,米饭食味值与感官总分、米饭食味计的外观评分与感官外观评分呈强相关,口感方面呈弱相关性。因此可以使用食味计对微波方便米饭的外观和食味品质进行快速测量,食味计外观得分越高,米饭外观越好,食味值越高,微波米饭感官评分越高,这与王宇凡等^[19]的研究结果一致。在口感评分方面,部分米种如洋西早,感官口感评分较高但食味计口感评分低,部分米种如五优稻 4 号,感官评分低但食味计口感评分较高,导致感官口感得分与食味计口感得分未达到显著相关的水平。这可能是感官评分人员不够专业,且为主观评分,个体之间差异较大。

2.7 方便米饭的微观结构

图 3 为 8 种微波米饭的米粒表面与横截面的扫描电子显微镜图像,可以看到米饭表面凹凸不平并伴有小孔。蒸煮过程中,米粒细胞被破坏,从而释放出淀粉、脂质、蛋白质等,黏附在米饭表面^[23]。粳米中吉宏 6 号、龙梗 31、

表 7 米饭食味值与感官评分相关性[†]

Table 7 Correlation between food taste value and sensory score

项目	米饭食味值	食味计外观	食味计口感
感官总分	0.822 [*]	0.735 [*]	0.795 [*]
感官外观	0.842 [*]	0.898 ^{**}	0.848 ^{**}
感官口感	0.419	0.361	0.445

† *在 5% 水平上显著相关;**在 1% 水平上显著相关。

五优稻 4 号,籼米中洋西早、美香占 2 号、粮发香丝截面粗糙多孔,表明大米在微波加热过程中淀粉发生了糊化,其中吉宏 6 号、龙梗 31、五优稻 4 号截面呈现更多相对均匀的蜂窝状孔隙,说明其糊化效果更好。李洁等^[24]研究表明,蜂窝状孔隙结构形成的原因是淀粉颗粒吸水不断膨胀,双螺旋结构消失,在高温高压的作用下最终破裂,形成多孔凝胶结构。绥粳 18、洋西早、玉针香存在大块状紧实结构,孔洞少,可能糊化过度,结构坍缩。继续高温加热,直链淀粉浸出,结构逐渐被破坏,直链淀粉相邻颗粒之间粘连,形成大块,或出现不规则宽裂纹。Ha 等^[23]的研究也报道了类似的结果。糊化程度不同,导致食味品质存在差异^[25],糊化过度,导致米饭口感变差。在微波加工米饭的糊化过程中,粳米相对籼米在形态结构上蜂窝状结构更明显,孔隙更多且较均匀,糊化程度较好。

3 结论

不同品种大米经过微波加工为方便米饭后,食味品质有差异。与籼米相比,粳米蛋白质平均值低 0.76 g/100 g,直链淀粉平均值低 0.85 g/100 g,米汤干物质平均值高 4.27 mg/g,碘蓝值高 0.21,糊化温度平均值低 3.39 °C,回生值平均值低 74.5 Pa·s,稀懈值平均值低

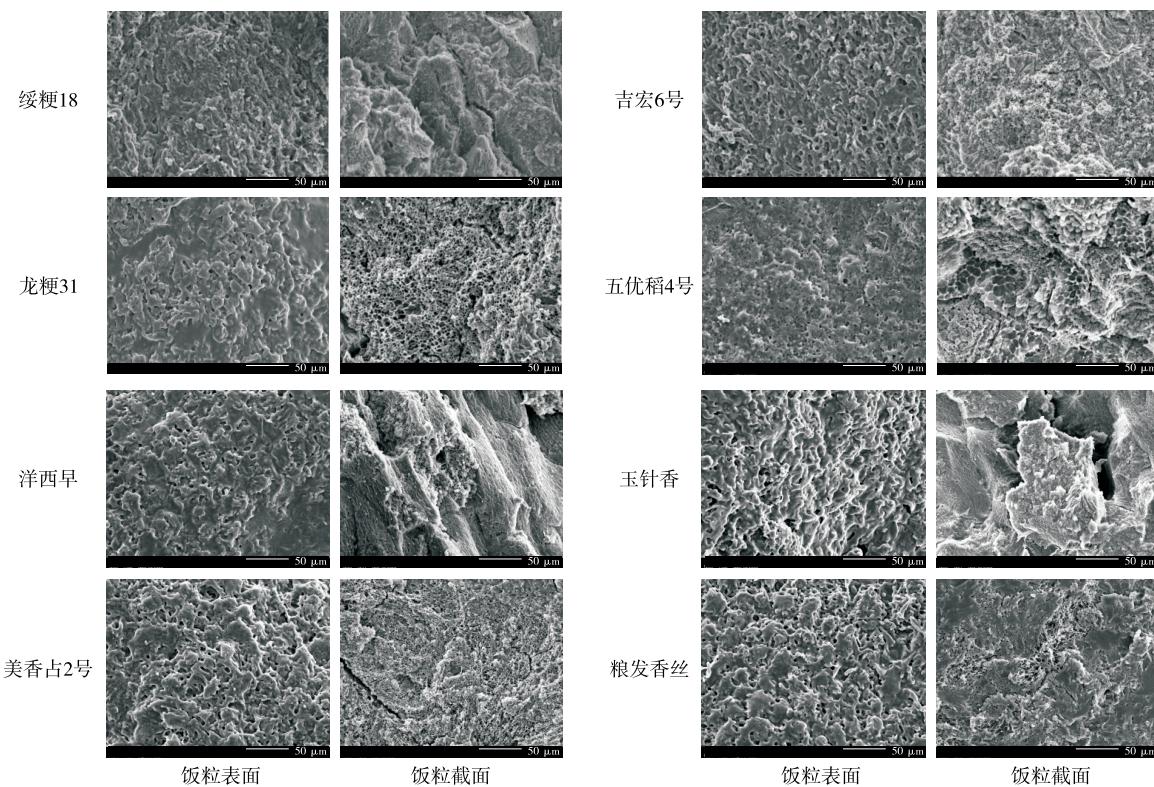


图 3 不同微波米饭的形态结构扫描电镜图

Figure 3 Scanning electron microscopy images of rice grains after microwave processing ($\times 500$)

145 Pa·s, 大米食味值比籼米高 11.58 分, 表明梗米更易糊化, 且热糊化稳定性更好, 不易回生。经微波熟化加工后, 梗米米饭比籼米米饭的硬度平均值高 9.77 N, 黏度平均值高 2.28 N, 米饭食味值平均值高 6.87 分、感官评分高 2.73 分, 综合米饭食味值与感官评分, 梗米中的龙粳 31 表现最好。在微波加工米饭的糊化过程中, 梗米相对籼米在形态结构上蜂窝状结构更明显, 孔隙更多且较均匀, 糊化程度较好。不同品种大米在经过微波后, 品质有较显著的差异, 梗米比籼米更适用于微波加工熟化的处理方式, 可以在此研究基础上, 研发梗米混合的方便杂粮饭等更有利于人体健康的主食, 或者加入天然活性成分开发低血糖生成指数(低 GI)的主食, 丰富主食的种类。除主食之外, 还可以利用微波技术开发肉制品、蔬菜等, 探究其加工熟化及杀菌条件, 为方便食品的生产提供新的加工方式参考。

参考文献

- [1] 王德生, 王睿, 商文婷, 等. 不同品种大米理化性质的探究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(11): 8-16.
WANG D S, WANG R, SHANG W T, et al. Study on physicochemical properties of different rice varieties[J]. Food Research and Development, 2021, 42(11): 8-16.
- [2] 张晓绘. 即食米饭的加工和贮藏特性研究[D]. 广州: 华南理工
- [3] 田晓红, 姜平, 谭斌, 等. 方便米饭加工技术研究进展[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(4): 54-60.
TIAN X H, JIANG P, TAN B, et al. Research progress on the processing technology of instant rice[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(4): 54-60.
- [4] 许海侠, 程裕东, 金银哲. 微波加热下食品美拉德反应研究进展[J]. 食品与机械, 2020, 36(6): 214-219.
XU H X, CHEN Y D, JIN Y Z. Research progress of Maillard reaction in food under microwave heating[J]. Food & Machinery, 2020, 36(6): 214-219.
- [5] YAN B W, SUN Y Y, TANG X W, et al. Potential in microwave combined with hot air for home cooking[J]. Current Opinion in Food Science, 2024, 60: 101216.
- [6] 周小理, 王惠, 周一鸣, 等. 不同烹煮方式对米饭食味品质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(11): 75-80.
ZHOU X L, WANG H, ZHOU Y M, et al. Influence of different cooking methods on eating quality of rice[J]. Food Science, 2017, 38(11): 75-80.
- [7] LAKSHMI S, CHAKKARAVARTHI A, SUBRAMANIAN R, et al. Energy consumption in microwave cooking of rice and its

- comparison with other domestic appliances[J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 78(2): 715-722.
- [8] LEE Y C, HWANG C C, HUANG Y T. Application of novel microwave-assisted induction heating technology for extending the shelf life of ready-to-eat rice through microbial, physical, and chemical quality preservation[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2024, 93: 103640.
- [9] 米永洁,王振华,张敏,等.不同籼米品种米饭加工适宜性研究[J].河南工业大学学报(自然科学版),2024,45(3): 58-68.
- MI Y J, WANG Z H, ZHANG M, et al. Evaluation of rice processing suitability for different varieties of indica rice[J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2024, 45(3): 58-68.
- [10] 陆丹丹,叶苗,张祖建.稻米蛋白质及其组分研究概况及其对稻米品质的影响[J].作物杂志,2022(2): 28-34.
- LU D D, YE M, ZHANG Z J. Research progress on rice protein and its components and their effects on rice quality[J]. *Crops*, 2022(2): 28-34.
- [11] 李苏红,宋媛媛,董墨思,等.大米理化特性与食味品质的相关性分析[J].食品研究与开发,2017,38(23): 26-31.
- LI S H, SONG Y Y, DONG M S, et al. Analysis of correlations between physicochemical properties and eating quality of rice [J]. *Food Research and Development*, 2017, 38(23): 26-31.
- [12] 吴焱,袁嘉琦,张超,等.稻米脂肪与品质的关系及其调控[J].江苏农业学报,2020,36(3): 769-776.
- WU Y, YUAN J Q, ZHANG C, et al. The relationship between lipid and quality and its regulation in rice[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2020, 36(3): 769-776.
- [13] 朱国茵,高源远,彭星云.直链淀粉对大米食品品质影响的研究进展[J].现代食品科技,2023,39(10): 331-340.
- ZHU G Y, GAO Y Y, PENG X Y. Research progress on the effect of amylose on rice food quality[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2023, 39(10): 331-340.
- [14] 张玉荣,钱冉冉,周显青,等.加速陈化对稻谷制备米饭和米品质的影响[J].河南工业大学学报(自然科学版),2021,42(1): 92-99.
- ZHANG Y R, QIAN R R, ZHOU X Q, et al. Effect of accelerated aging on the quality of rice and rice noodles[J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2021, 42(1): 92-99.
- [15] 薛薇,张聪男,王莉,等.不同品种大米理化性质及其淀粉结构对米饭食用品质的影响[J].食品与生物技术学报,2022,41(9): 37-45.
- XUE W, ZHANG C N, WANG L, et al. Effects of physicochemical properties and starch structure of different rice varieties on rice eating quality[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2022, 41(9): 37-45.
- [16] 张荣彬,颜景超,高文明,等.粳米与籼米组合对婴幼儿米粉食用品质的影响[J].食品与机械,2021,37(1): 193-198.
- ZHANG R B, YAN J C, GAO W M, et al. Effects of the combination of japonica rice and indica rice on the eating quality of rice noodles for infants[J]. *Food & Machinery*, 2021, 37(1): 193-198.
- [17] 杨晓蓉,李歆,凌家煜.不同类别大米糊化特性和直链淀粉含量的差异研究[J].中国粮油学报,2001,16(6): 37-42.
- YANG X R, LI X, LING J Y. Differences among rice categories in pasting characteristics and amylose content[J]. *Chinese Cereals and Oils Association*, 2001, 16(6): 37-42.
- [18] 徐琳娜,王宇凡,张文斌.预处理条件对食味计评价江南地区粳米品质的影响[J].食品与机械,2021,37(1): 44-48.
- XU L N, WANG Y F, ZHANG W B. Effects of pretreatment conditions on the evaluation of the taste quality of japonica rice in Jiangnan area with rice taste analyzer[J]. *Food & Machinery*, 2021, 37(1): 44-48.
- [19] 王宇凡,张文斌,徐琳娜.江南地区粳米食味品质评价方法[J].食品与发酵工业,2020,46(21): 247-252.
- WANG Y F, ZHANG W B, XU L N. The taste evaluation method of japonica rice in southern Yangtze River area[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(21): 247-252.
- [20] 张栋昊,蔡妍培,劳菲,等.大米蛋白质与米饭食味品质关联性研究进展[J].食品科学,2023,44(9): 270-277.
- ZHANG D H, CAI Y P, LAO F, et al. Research progress on the relationship between rice protein and eating quality[J]. *Food Science*, 2023, 44(9): 270-277.
- [21] 李枝芳,姚轶俊,张磊,等.不同品种大米组分含量与米饭加工品质特性的关系[J].食品科学,2020,41(23): 35-41.
- LI Z F, YAO Y J, ZHANG L, et al. Correlation analysis between contents of chemical components in different rice cultivars and quality characteristics of cooked rice[J]. *Food Science*, 2020, 41(23): 35-41.
- [22] 周显青,李瑞乐,张玉荣.压力汽蒸温度对大米蒸煮特性与米饭食用品质的影响[J].河南工业大学学报(自然科学版),2023,44(3): 57-65.
- ZHOU X Q, LI R L, ZHANG Y R. Effect of pressure steaming temperature on cooking characteristics and eating properties of rice[J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2023, 44(3): 57-65.
- [23] HA M, JEONG H Y, LIM S T, et al. The cooking method features controlling eating quality of cooked rice: an explanation from the view of starch structure in leachate and morphological characteristics[J]. *Food Research International*, 2022, 162: 111980.
- [24] 李洁,周昭,贾芮,等.低聚果糖对冷鲜米饭特性及微观结构的影响[J].现代食品科技,2025,41(6): 198-205.
- LI J, ZHOU Z, JIA R, et al. Effect of fructo-oligosaccharides on properties and microstructure of chilled rice[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2025, 41(6): 198-205.
- [25] 高明慧.中国东北优良食味粳稻品质研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2022: 47.
- GAO M H. Study on quality of japonica rice with excellent food taste in northeast China[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2022: 47.