

碾磨程度和蒸煮方式对优质籼稻米饭品质的影响

Effects of milling degree and cooking method on the cooked rice quality of high-quality *Indica* rice

李柳燕¹ 詹展¹ 张威^{1,2,3} 舒在习^{1,2} 王平坪^{1,2}

LI Liu-yan¹ ZHAN Zhan¹ ZHANG Wei^{1,2,3} SHU Zai-xi^{1,2} WANG Ping-ping^{1,2}

(1. 武汉轻工大学食品科学与工程学院, 湖北 武汉 430023; 2. 大宗粮油精深加工教育部

重点实验室(武汉轻工大学), 湖北 武汉 430023; 3. 潍坊市检验检测中心, 山东 潍坊 261000)

(1. College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan, Hubei 430023,

China; 2. Key Laboratory for Deep Processing of Major Grain and Oil, Ministry of Education, Wuhan,

Hubei 430023, China; 3. Inspection and Testing Center of Weifang, Weifang, Shandong 261000, China)

摘要:目的:探究碾磨程度和蒸煮方式对优质籼稻米饭品质的影响。方法:以优质籼稻隆两优 1813 为原料,通过控制碾磨时间(20, 35, 50 s)制备不同碾磨程度的稻米,用电压力锅和电饭锅进行蒸煮,综合运用质构仪、气相离子迁移谱、感官评价等对米饭品质进行分析,比较不同碾磨程度和蒸煮方式制备米饭的品质差异。结果:当稻米碾磨时间为 20 s 时,电饭锅蒸煮的米饭硬度高于电压力锅的;当碾磨时间为 35, 50 s 时,蒸煮方式对米饭硬度无显著影响。相同碾磨程度下,电饭锅蒸煮时稻米的吸水率和膨胀率均高于电压力锅的,米饭挥发性成分种类少,但两种蒸煮方式制得米饭的感官总分并无显著差异。同一蒸煮方式下,随着碾磨程度的加大,米饭硬度逐渐下降,黏度逐渐增大,感官总分逐渐增加。结论:蒸煮方式对优质籼稻米饭感官品质的影响不明显,但提高碾磨精度可改善米饭质构、风味及整体感官特性。

关键词:优质籼稻;碾磨时间;高压蒸煮;常压蒸煮;质构特性;挥发性成分;感官评价

Abstract: Objective: To investigate the effects of milling degree and cooking method on cooked rice quality of high-quality *Indica* rice. **Methods:** Paddy rice (variety Longliangyou 1813) were de-hulled and milled for 20, 35, and 50 s, respectively. Rice milled for different durations were cooked with electric pressure cooker and ordinary rice cooker, respectively. Quality attributes of

cooked rice were compared by texture analyzer, gas chromatograph-ion mobility spectrometer (GC-IMS), and sensory judgement. **Results:** For rice milled for 20 s, the cooked product of ordinary rice cooker had higher hardness than that of electric pressure cooker. However, for rice milled for 35 or 50 s, the cooked products of ordinary rice cooker and electric pressure cooker did not have significant difference in hardness. At same milling degree, rice cooked by ordinary rice cooker had higher water absorption ratio and volume expansion rate than by electric pressure cooker. Compared with cooked rice prepared by electric pressure cooker, the cooked rice prepared by ordinary cooker exhibited an increase in species of volatile substances. However, rice cooked by electric pressure cooker and ordinary cooker did not have significant difference in total sensory score. For the same cooking method, the cooked rice showed a gradual decrease in hardness and a gradual increase in adhesiveness as milling degree increased. The overall sensory acceptance of the cooked rice was gradually improved with the increase of milling degree. **Conclusion:** The cooking method had little effect on the sensory attributes of high-quality *Indica* rice. The increase of milling degree can improve the texture, flavor, and overall sensory acceptance of cooked high-quality *Indica* rice.

Keywords: high-quality *Indica* rice; milling time; high-pressure cooking; atmospheric pressure cooking; texture; volatile substance; sensory judgement

基金项目:国家重点研发计划子课题(编号:2016YFD0401003-3);大宗粮油精深加工教育部重点实验室(武汉轻工大学)开放课题(编号:2020JYBQGD KFB09)

作者简介:李柳燕,女,武汉轻工大学在读硕士研究生。

通信作者:张威(1986—),男,武汉轻工大学副教授,博士。

E-mail: zhangwei_food@163.com

收稿日期:2021-01-25

稻谷是世界三大粮食作物之一,全球 50% 以上的人口以稻米为主食^[1]。近年来,中国稻谷种植面积均保持在 3 000 万 hm^2 左右,占全球种植面积的近 20%。2020 年,中国稻谷总产量超 2.1 亿 t ^[2]。中国栽培稻主要分籼、粳两大亚种。粳稻能适应冷凉气候,食味好,主要分布在

东北三省、江苏等地。籼稻消化性好,肥料利用率高,耐热性强,在华南、长江流域等地广泛种植,其种植面积占全国稻谷总面积的70%左右。为减少加工环节的粮食损失,国家正大力倡导粮食适度加工,蔡沙等^[3]研究发现,随着碾磨精度的增加,米饭的硬度、咀嚼性呈先减小后增大的趋势,弹性、黏聚性呈先增大后减小的趋势。安红周等^[4]发现影响米饭风味的醛类物质含量随加工精度的提高而显著下降。刘厚清等^[5]发现,过高的碾磨精度对米饭外观和口感的改善作用有限。

由于优质籼稻具有良好的蒸煮食用品质,其市场价值更高,因此中国种植的稻种存在由普通籼稻逐渐向优质籼稻升级的趋势。目前,有关籼稻米碾磨程度与蒸煮食用品质关系的研究多集中于普通籼稻。此外,目前市场主流的稻米蒸煮设备有常压蒸煮的电饭锅和加压蒸煮的电压力锅,但两种不同蒸煮方式下不同碾磨精度稻米的米饭品质差异并未完全明晰。试验拟通过改变碾磨时间,制备不同加工精度的优质籼稻稻米,使用电压力锅和电饭锅对其进行蒸煮,利用质构仪、气相离子迁移谱(GC-IMS)、感官评定等对米饭品质进行分析比较,以期对稻种升级和稻谷适度加工政策的实施推进提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

稻谷:隆两优 1813,产地湖北洪湖。

1.2 主要仪器设备

砻谷机:THU35C型,日本佐竹公司;

碾米机:JNM-III型,国家粮食局成都粮食储藏科学研究所;

质构仪:TA-XT2i型,英国 Stable Micro System 公司;

气相色谱—离子迁移谱联用仪(GC-IMS):Flavour Spec 型,德国 GAS 公司;

电饭锅:MG-TH559型,佛山市顺德区美的电热电器制造有限公司;

电压力锅:WCS5025型,佛山市顺德区美的电热电器制造有限公司。

1.3 方法

1.3.1 稻谷的碾磨处理 采用砻谷机脱壳制成糙米,用碾米机对糙米进行碾磨处理,控制碾磨时间制备不同碾磨程度的大米。

1.3.2 稻米的蒸煮 取大米 10 g,淘洗、沥干后装入铝盒中,加入 12 mL 水,浸泡 30 min,用电压力锅和电饭煲分别蒸制 30 min,焖饭 15 min(电压力锅压力为 40 kPa,焖饭前手动排气降压)。

1.3.3 碾减率的测定 参照安红周等^[4]的方法。按式(1)计算碾减率。

$$D_M = \frac{m_b - m_w}{m_b} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

D_M ——碾减率,%;

m_b ——糙米质量,g;

m_w ——碾磨后大米质量,g。

1.3.4 稻米吸水率和膨胀率的测定 参照吴伟等^[6]的方法。分别按式(2)和式(3)计算稻米吸水率和膨胀率。

$$a = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100\%, \quad (2)$$

$$v = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

a ——吸水率,%;

W_0 ——稻米质量,g;

W_1 ——米饭质量,g;

v ——稻米膨胀率,%;

V_0 ——大米体积,mL;

V_1 ——米饭体积,mL。

1.3.5 米饭的质构特性 根据周晓理等^[7]的方法修改如下:取 3 粒米饭(约 60 °C)平行置于底座上,选用 P/40R 探头,采用 TPA 全质构模式,测前速率 60 mm/min,测试速率 60 mm/min,测后速率 120 mm/min,压缩比例 75%。

1.3.6 米饭的感官评价 按 GB/T 15682—2008《粮油检验 稻谷、大米蒸煮食用品质感官评价方法》执行。

1.3.7 米饭风味物质的测定 取 3 g 米饭样品于 20 mL 钳口顶空进样瓶中,密封,经顶空自动进样检测。

(1) 进样条件:孵化温度 60 °C;孵化时间 10 min;进样体积 500 μ L,不分流模式;进样针温度 80 °C;载气高纯 N_2 (纯度 $\geq 99.999\%$);孵化转速 200 r/min。

(2) 气相色谱条件:色谱柱 OV-5;色谱柱温度 50 °C;IMS 温度 50 °C;漂移管温度 45 °C;离子化模式为正离子模式;载气流速 2 mL/min 保持 2 min,10 min 内线性增至 15 mL/min,10 min 内线性增至 100 mL/min,10 min 内线性升至 150 mL/min,保持 1 min。

1.4 数据处理

采用 SPSS 软件进行单因素方差分析,结果以均值 $\pm$ 标准差表示,并通过 Duncan 新复极差检验法分析差异性。

2 结果与分析

2.1 碾磨时间对碾减率的影响

由图 1 可知,随着碾磨时间的延长,糙米碾减率逐渐上升。当碾磨时间为 5~50 s 时,碾减率为 1.8%~16.5%。糙米的糠层(果皮层、种皮层和糊粉层)占稻米质量的 6%~8%^[8]。碾磨 20 s 的碾减率为 7.6%,表明该碾磨时间下稻米大部分糠层已被碾去。因此,选用 20,35,50 s 3 种不同碾磨时间的稻米作原料进行蒸煮试验。

2.2 碾磨程度和蒸煮方式对稻米吸水率和膨胀率的影响

由表 1 可知,相同碾磨条件下,两种蒸煮方式的吸水率和膨胀率存在显著差异,电饭锅制得米饭的吸水率和膨胀率均高于电压力锅的。高压蒸煮时,温度和压力更高,米粒结构更易被破碎,增加了米粒中营养成分的溶出,故米饭吸水率和膨胀率较低^[9]。说明优质籼稻米粒在电饭锅蒸煮过程中更易保持良好米粒形态,锁住水分。相同蒸煮方式下,3 种不同碾磨程度稻米的吸水率和膨胀率仅存在细微差异,表明碾磨程度对稻米的吸水、溶胀的影响有限,与 Wu 等^[10]的研究结果一致。

2.3 碾磨程度和蒸煮方式对米饭质构的影响

由表 2 可知,当碾磨时间为 20 s 时,电饭锅煮米饭

的硬度大于电压力锅的。高温高压蒸煮过程中,高压蒸汽会破坏淀粉—蛋白质骨架,米粒被破碎,水分分布更均匀,从而降低米饭硬度^[9]。增加碾磨时间,电饭锅煮米饭与电压力锅煮米饭的硬度无显著差异,说明加压蒸煮仅对低碾磨程度稻米米饭的硬度特性有较好的改善作用。同一蒸煮方式下,随着碾磨时间的增加,米饭硬度逐渐减少,黏性逐渐增加,与 Mohapatra 等^[11]的结果一致,说明稻米碾磨程度提高引起的质构变化与稻米厚度有关。电饭锅和电压力锅煮煮的米饭弹性为 0.52~0.81,说明碾磨程度和蒸煮方式对弹性影响较小。

2.4 碾磨程度和蒸煮方式对米饭挥发性成分的影响

稻米米饭中挥发性物质的指纹图谱如图 2 所示,其挥发性成分组成和定性信息分别见表 3、表 4。

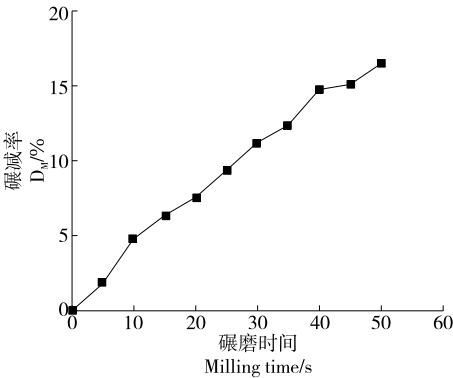


图 1 碾磨时间对碾减率的影响

Figure 1 Effect of milling time on milling degree of brown rice

表 1 蒸煮方式和碾磨程度对稻米吸水率和膨胀率的影响[†]

Table 1 The water absorption rate and volume expansion rate of rice with different milling degrees cooked with different methods

蒸煮方式	碾磨时间/s	吸水率/%	膨胀率/%
电压力锅	20	115.7±0.2 ^a	186.7±0.8 ^a
	35	119.4±1.3 ^b	189.1±0.8 ^b
	50	117.3±1.3 ^{ab}	187.1±1.4 ^a
电饭锅	20	133.7±0.5 ^c	201.0±0.8 ^c
	35	136.0±1.4 ^c	206.2±0.8 ^d
	50	133.2±1.6 ^c	205.7±1.4 ^d

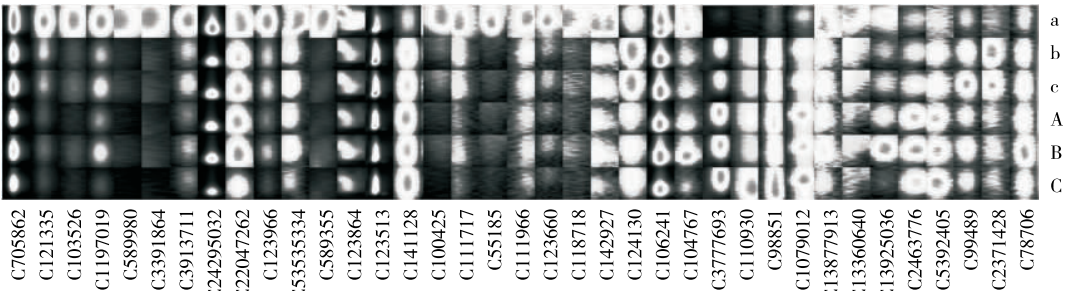
[†] 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

表 2 碾磨程度和蒸煮方式对稻米米饭质构特性的影响[†]

Table 2 The texture parameters of rice with different milling degree after cooking

蒸煮方式	碾磨时间/s	硬度/g	黏性/(g·s)	弹性
电压力锅	20	2 645.69±118.20 ^c	-40.86±12.18 ^d	0.52±0.01 ^a
	35	2 338.55±14.39 ^{ab}	-73.65±11.72 ^c	0.77±0.08 ^b
	50	2 161.18±63.14 ^a	-151.30±4.12 ^a	0.77±0.06 ^b
电饭锅	20	3 198.26±46.11 ^d	-41.01±2.82 ^d	0.73±0.03 ^b
	35	2 400.24±48.20 ^b	-66.15±3.50 ^c	0.77±0.04 ^b
	50	2 324.19±110.61 ^{ab}	-113.54±8.69 ^b	0.81±0.03 ^b

[†] 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。



a、b 和 c 表示碾磨时间 20、35、50 s 稻米的电压力锅米饭,A、B 和 C 表示碾磨时间 20、35、50 s 稻米的电饭锅米饭

图 2 稻米米饭中挥发性化合物的指纹图谱

Figure 2 The volatile substance fingerprinting patterns of rice with different milling degrees after cooking

由表 3 可知,相同碾磨程度下,不同的蒸煮方式制得米饭的风味物质不尽相同,电压力锅制得米饭的风味物质相对更多。这可能是由于高压蒸煮时米粒易爆开,挥发性物质容易溢出,故挥发性物质种类较多。但电压力锅蒸制后进行了排气,挥发性风味物质散失较多^[12],导致部分挥发性成分含量不如电饭锅的,如电饭锅蒸煮的米饭中 2-正戊基呋喃和 3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛含量相对更高。

稻米碾磨程度对米饭的挥发性成分存在影响。庚醛具有干草味,在电压力锅蒸煮米饭中,碾磨时间 20 s 制得的米饭庚醛含量明显高于其他两种碾磨程度的。稻谷脂质分解会产生脂肪酸,水解产物进一步氧化会导致异味或酸臭味产生,影响米饭的食味品质^[13]。1-辛烯-3-醇是亚油酸氢过氧化物的降解产物,具有类似蘑菇般的气味^[14],该成分仅存在于碾磨时间为 20 s 的电压力锅米饭中,表明提高碾磨程度,可以改善稻米脂质酸败对米饭风味的影响。糙米米粒中,脂质在表层比内部分布更多,表层脂质更易与氧气接触而发生酸败,碾磨程度的提高有利于减少米粒中脂质过氧化物含量,从而改善米饭风味。

为了全面准确地分析不同米饭挥发性成分的差异,采用 PCA 对其进行分析^[15]。图 3 为 6 种米饭的动态主

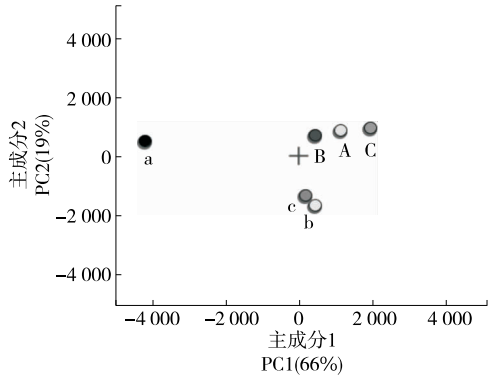
成分分析图。由图 3 可知,第 1、2 主成分的方差贡献率分别为 66%, 19%,总贡献率为 85%,能较充分地代表原始数据信息^[16]。电饭锅制得的 3 种米饭在同一象限内,且距离较近,而电压力锅米饭与电饭锅米饭位于不同象限;电压力锅米饭中,碾磨 35、50 s 的稻米米饭均位于第四象限,距离较近,但碾磨 20 s 的稻米米饭在第一象限。综上,电饭锅与电压力锅蒸煮的米饭在挥发性成分上差异较大^[17];电饭锅蒸煮时,稻米碾磨程度对米饭的挥发性成分影响较小,但电压力锅蒸煮时,碾磨 20 s 的稻米米饭的挥发性成分与其他两种较高碾磨程度的差异较大。

表 3 不同碾磨程度下稻米米饭的挥发性成分
Table 3 The composition of volatile substances of rice with different milling degree after cooking

蒸煮方式	碾磨时间/s	酯类	醇类	醛类	酮类	其他	总数
电压力锅	20	6	11	6	0	10	33
	35	5	8	6	1	9	29
	50	5	8	6	1	9	29
电饭锅	20	5	8	4	1	9	27
	35	5	8	5	1	9	28
	50	5	7	4	1	7	24

表 4 米饭挥发性成分的定性信息
Table 4 The qualitative information of volatile substance of cooked rice

编号	CAS	化合物名称	保留时间/s	漂移时间/ms	编号	CAS	化合物名称	保留时间/s	漂移时间/ms
1	C705862	丁位癸内酯	418.015	18.121	21	C118718	麦芽醇	128.672	15.986
2	C121335	3-甲氧基-4-羟基苯甲醛	359.018	18.067	22	C142927	乙酸己酯	60.501	15.964
3	C103526	丁酸苯乙酯	369.607	17.653	23	C124130	辛醛	49.534	13.791
4	C1197019	对甲基苯异丙醇	18.203	16.357	24	C106241	香叶醇	235.509	16.767
5	C589980	3-辛醇	48.911	17.815	25	C104767	2-乙基己醇	58.693	18.134
6	C3391864	1-辛烯-3-醇	42.593	15.882	26	C3777693	2-正戊基呋喃	49.628	12.646
7	C3913711	2-癸烯醛	211.589	14.949	27	C110930	甲基庚烯酮	47.326	11.845
8	C24295032	2-乙酰基噻唑	72.270	14.722	28	C98851	甲基苯甲醇	82.727	11.862
9	C22047252	2-乙酰基吡嗪	61.870	15.345	29	C1079012	(1S)-6,6-二甲基二环[3.1.1]庚-2-烯-2-基甲醇乙酸酯	281.457	11.874
10	C123966	2-羟基辛烷	37.019	14.398	30	C13877913	3,7-二甲基-1,3,6-辛三烯	58.714	1.707
11	C53535334	正庚醇	35.369	14.117	31	C13360640	2-乙基-5-甲基吡嗪	47.959	16.841
12	C589355	3-甲基-1-戊醇	18.304	13.337	32	C13925036	2-乙基-6-甲基吡嗪	49.136	16.535
13	C123864	乙酸丁酯	13.486	12.362	33	C2463776	2-十一烯醛	329.927	14.757
14	C123513	异戊醇	9.808	11.187	34	C5392405	3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	315.224	16.052
15	C141128	乙酸橙花酯	314.873	12.186	35	C99489	2-甲基-5-(2-丙基)-2-环己烯-1-醇	207.481	2.511
16	C100425	苯乙烯	21.760	14.368	36	C2371428	2-甲基异冰片	170.058	12.546
17	C111717	庚醛	24.616	16.861	37	C78706	3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇	102.607	12.596
18	C55185	对三氟甲基苯腈	21.760	1.537					
19	C111966	二乙二醇二甲醚	36.339	1.539					
20	C123660	正己酸乙酯	54.913	19.009					



a、b 和 c 表示碾磨时间 20、35、50 s 稻米的电压力锅米饭，A、B 和 C 表示碾磨时间 20、35、50 s 稻米的电饭锅米饭

图 3 米饭挥发性成分的 PCA 分析

Figure 3 The PCA analysis of volatile substances of cooked rice

表 5 碾磨程度和蒸煮方式对米饭感官评价的影响[†]

Table 5 The sensory scores of rice with different milling degree after cooking

蒸煮方式	碾磨时间/s	气味	外观	适口性	滋味	冷饭质地	总分
电压力锅	20	13.2±1.6 ^a	12.6±0.8 ^{ab}	18.2±1.8 ^a	17.6±1.5 ^a	3.8±1.3 ^a	65.4±2.8 ^a
	35	15.2±1.6 ^{ab}	13.6±1.1 ^{abc}	21.0±1.2 ^{ab}	19.2±1.8 ^{ab}	3.8±1.1 ^a	72.8±1.1 ^b
	50	16.4±1.9 ^b	16.4±1.5 ^d	22.0±2.7 ^b	20.8±1.8 ^b	4.0±0.7 ^a	79.6±4.8 ^c
电饭锅	20	14.6±2.5 ^{ab}	11.6±3.0 ^a	18.2±2.2 ^a	18.0±2.3 ^{ab}	2.8±1.1 ^a	65.2±6.6 ^a
	35	15.8±1.9 ^{ab}	14.4±2.3 ^{bcd}	19.4±2.3 ^{ab}	18.8±2.6 ^{ab}	3.2±0.8 ^a	71.6±4.5 ^b
	50	16.4±1.8 ^b	16.0±0.7 ^{cd}	20.8±2.5 ^{ab}	20.0±1.4 ^{ab}	3.8±0.8 ^a	77.0±4.2 ^c

[†] 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

体感官特性。总体而言，优质籼稻碾磨至一定程度(碾磨时间 35 s)后，采用电饭锅和电压力锅蒸煮均可获得较好的食味品质。优质籼稻贮藏品质较差，贮藏后蒸煮食用品质变化较大，不同贮藏期稻谷是否可通过改变碾磨精度及蒸煮方式改善米饭品质有待进一步研究。

参考文献

[1] ZHANG Zhi-hua, GAO Shao-pei, CHU Cheng-cai. Improvement of nutrient use efficiency in rice: Current toolbox and future perspectives[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2020, 133(5): 1 365-1 384.

[2] 国家统计局. 国家统计局关于 2020 年粮食产量数据的公告[EB/OL]. (2020-12-10) [2021-1-15]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/202012/t20201210_1808377.html. National Bureau of Statistics of China. Bulletin on the National Grain Output in 2020, National Bureau of Statistics[EB/OL]. (2020-12-10) [2021-1-15]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/202012/t20201210_1808377.html.

[3] 蔡沙, 李森, 管骁, 等. 大米加工精度对其营养品质和食用品质的影响[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(21): 150-154, 188. CAI Sha, LI Sen, GUAN Xiao, et al. The influence of rice milling degree on its nutritional quality and food quality[J]. Hubei Agricul-

2.5 碾磨程度和蒸煮方式对米饭感官评价的影响

由表 5 可知,相同碾磨程度下,电压力锅和电饭锅蒸煮米饭的总得分无显著差异。随着碾磨时间的延长,米饭的感官评分呈上升趋势。当碾磨时间为 20 s 时,米饭的硬度大,且电压力锅蒸煮米饭还带有草味,不易被接受,但随着碾磨程度的增加,米饭气味逐渐改善。同一蒸煮方式下,随着碾磨程度的提高,米饭的适口性、滋味及感官总分均逐渐改善。综上,提高碾磨程度可改善优质籼稻米饭的感官品质。

3 结论

试验表明,相同碾磨程度优质籼稻稻米的电饭锅蒸煮米饭和电压力锅蒸煮米饭整体感官可接受度差异不明显。电饭锅蒸煮米饭的米粒保水、溶胀性更好,但风味成分种类较少。提高碾磨精度可提升米饭质构、风味及整

tural Sciences, 2019, 58(21): 150-154, 188.

[4] 安红周, 陈会会, 尹文婷, 等. 加工精度对大米食用品质及风味的影响[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(1): 1-7. AN Hong-zhou, CHEN Hui-hui, YIN Wen-ting, et al. Effect of milling degree on the edible quality and flavor of rice[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(1): 1-7.

[5] 刘厚清, 景梦瑶, 周涛. 白米的加工精度对食味及经济性的影响[J]. 粮食加工, 2018, 43(5): 36-41. LIU Hou-qing, JING Meng-yao, ZHOU Tao. The effect of the processing precision of white rice on the taste and economy[J]. Grain Processing, 2018, 43(5): 36-41.

[6] 吴伟, 李彤, 蔡勇建, 等. 三种稻米在贮藏过程中蒸煮特性变化的比较[J]. 食品与机械, 2014, 30(3): 122-126. WU Wei, LI Tong, CAI Yong-jian, et al. Comparison of cooking quality of three kind of rice during storage[J]. Food & Machinery, 2014, 30(3): 122-126.

[7] 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 Xiao-li, WANG Hui, ZHOU Yi-ming, et al. Influence of different cooking methods on eating quality of rice[J]. Food Science, 2017, 38(11): 75-80.

(下转第 109 页)

- 法在食醋品牌鉴别中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2019(18): 243-247.
- GU Li-jun, LIN Zhen-hua, WU Shi-yu, et al. Application of near infrared spectroscopy combined with linear discriminant analysis in vinegar brand identification [J]. Food and Fermentation Industry, 2019(18): 243-247.
- [8] 夏阿林, 夏霞明, 吉琳琳, 等. 低场核磁共振结合化学模式识别方法判别休闲豆干品牌[J]. 农业工程学报, 2018, 34(10): 282-288.
- XIA A-lin, XIA Xia-ming, JI Lin-lin, et al. Low field nuclear magnetic resonance combined with chemical pattern recognition method to identify the brand of leisure dried beans [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2018, 34(10): 282-288.
- [9] 张瑜, 谈黎虹, 曹芳, 等. 基于多源光谱分析技术的鱼油品牌判别方法研究[J]. 现代食品科技, 2014(10): 263-267.
- ZHANG Yu, TAN Li-hong, CAO Fang, et al. Study on fish oil brand identification method based on multi-source spectral analysis technology[J]. Modern Food Science and Technology, 2014(10): 263-267.
- [10] 吉琳琳, 夏阿林. 基于低场核磁共振技术的大米水分含量及活度快速预测[J]. 食品与机械, 2018, 34(11): 70-74, 95.
- JI Lin-lin, XIA A-lin. Rapid prediction of rice moisture content and activity based on low field nuclear magnetic resonance[J]. Food & Machinery, 2018, 34(11): 70-74, 95.
- [11] 毛锐, 王欣, 史然. LF-NMR 结合化学模式识别鉴别油脂种类及餐饮废弃油脂[J]. 分析测试学报, 2017, 36(3): 372-376.
- MAO Rui, WANG Xin, SHI Ran. LF-NMR combined with chemical pattern recognition for identification of oil and waste cooking oil[J]. Acta Analytica Sinica, 2017, 36(3): 372-376.
- [12] 陈亚斌, 刘梅红, 王松磊, 等. 低场核磁技术结合化学计量学法快速检测掺假牛奶[J]. 食品与机械, 2016, 32(7): 51-55.
- CHEN Ya-bin, LIU Mei-hong, WANG Song-lei, et al. Rapid detection of adulterated milk by low field nuclear magnetic resonance combined with chemometrics[J]. Food & Machinery, 2016, 32(7): 51-55.
- [13] BERTRAM H C. Field gradient CPMG applied on postmortem muscles[J]. Magnetic Resonance Imaging, 2004, 22(4): 557-563.
- [14] 周松林, 茆美琴, 苏建徽. 基于主成分分析与人工神经网络的风电功率预测[J]. 电网技术, 2011, 35(9): 128-132.
- ZHOU Song-lin, MAO Mei-qin, SU Jian-hui. Wind power prediction based on principal component analysis and artificial neural network[J]. Power Grid Technology, 2011, 35(9): 128-132.
- [15] 施丰成, 李东亮, 冯广林, 等. 基于近红外光谱的 PLS-DA 算法判别烤烟烟叶产地[J]. 烟草科技, 2013(4): 56-59.
- SHI Feng-cheng, LI Dong-liang, FENG Guang-lin, et al. PLS-DA algorithm based on near infrared spectroscopy for identifying tobacco leaf producing areas[J]. Tobacco Science and Technology, 2013(4): 56-59.
- [16] 陆婉珍, 袁洪福, 徐广通, 等. 现代近红外光谱分析技术[M]. 北京: 石油化工出版社, 1999.
- LU Wan-zhen, YUAN Hong-fu, XU Guang-tong, et al. Modern near infrared spectroscopy[M]. Beijing: Petrochemical Press, 1999.
- [17] HAGAN M T, M MENHA J. Training multilayer networks with the Marquardt algorithm[J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 1994, 6(5): 989-993.
- [18] GUTIERREZ-OSUNA R. Pattern analysis for machine olfaction: A review[J]. IEEE Sensors Journal, 2002(2): 189-202.
- (上接第 44 页)
- [8] LAMBERTS L, BIE E D, VANDEPUTTE G E, et al. Effect of milling on colour and nutritional properties of rice[J]. Food Chemistry, 2007, 99(4): 1 496-1 503.
- [9] XU Dang-ping, HONG Yan, GU Zheng-biao, et al. Effect of high pressure steam on the eating quality of cooked rice[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 104: 100-108.
- [10] WU Jian-yong, CHEN Jun, LIU Wei, et al. Effects of aleurone layer on rice cooking: A histological investigation[J]. Food Chemistry, 2015, 191: 28-35.
- [11] MOHAPATRA D, BAL S. Cooking quality and instrumental textural attributes of cooked rice for different milling fractions[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 73(3): 253-259.
- [12] 王晓香, 刘猛, 孔进喜. 电饭煲蒸煮大米对米饭食味品质的影响[J]. 家电科技, 2018(6): 75-77.
- WANG Xiao-xiang, LIU Meng, KONG Jin-xi. The effects of rice cooking process on rice taste quality[J]. China Appliance Technology, 2018(6): 75-77.
- [13] SIEBENMORGEN T J, SUN H. Relationship between milled rice surface fat concentration and degree of milling as measured with a commercial milling meter [J]. Cereal Chemistry, 1994, 71(4): 327-329.
- [14] 崔建国, 朱汝葵, 万锋锋, 等. 一种蘑菇香气香料-1-辛烯-3-醇的合成与应用研究[J]. 广西师院学报(自然科学版), 1998, 15(1): 80-82.
- CUI Jian-guo, ZHU Ru-kui, WAN Feng-feng, et al. A kind of mushroom fragrant perfume the synthesis and application of 1-octen-3-ol[J]. Journal of Guangxi Teachers College (Natural Science Edition), 1998, 15(1): 80-82.
- [15] YANG Lv-zhu, LIU Jie, WANG Xin-yu, et al. Characterization of volatile component changes in jujube fruits during cold storage by using headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. Molecules, 2019, 24(21): 3 904.
- [16] ZHANG Qi, DING Yi-cheng, GU Sai-qi, et al. Identification of changes in volatile compounds in dry-cured fish during storage using HS-GC-IMS[J]. Food Research International, 2020, 137: 109339.
- [17] CHANG Li-li, LIN Song-yi, ZOU Bo-wen, et al. Effect of frying conditions on self-heating fried spanish mackerel quality attributes and flavor characteristics[J]. Foods, 2021, 10(1): 98.