

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2024.05.010

# 焖制时间对米饭食用品质的影响

孙洋<sup>1,2,3</sup>, 沙文轩<sup>4</sup>, 刘薇<sup>1,2,3</sup>, 黄南娟<sup>1,2,3</sup>, 张贝宁<sup>1,2,3</sup>, 周晓燕<sup>1,2,3\*</sup>

(1.扬州大学 旅游烹饪学院, 江苏 扬州 225127; 2.江苏省淮扬菜产业化工程中心, 江苏 扬州 225127;  
3.中餐非遗技艺传承文化和旅游部重点实验室, 江苏 扬州 225127; 4.无锡商业职业技术学院,  
江苏 无锡 214151)

**摘要:**为研究焖制时间对米饭食用品质的影响,以不同焖制时间(0、10、20、30、40 min)的米饭为研究对象,测定米饭的质构、色差、热值、淀粉含量、微观结构以及感官品质,同时结合体外消化试验,对米饭的估计血糖生成指数(expected glycemic index, eGI)以及蛋白质消化特性进行测定。结果表明,不同焖制时间对米饭的食用品质有明显影响。当焖制时间过短或过长时,米饭的口感较硬、白度下降且水分含量较低,对米饭的感官品质产生不利影响。随着焖制时间的延长,米饭在消化过程中的游离氨基酸含量逐步增加,米饭的eGI值随之提高。当焖制时间为20 min时,米饭表面多孔,软硬适中,色泽观感最佳,水分、蛋白质、碳水化合物含量有所提高,淀粉、蛋白质消化特性较好,米饭的感官评分最高,食用品质最好。

**关键词:**米饭; 焖制时间; 食用品质; 淀粉消化; 蛋白消化

## Effect of Stewing Time on Edible Quality of Rice

SUN Yang<sup>1,2,3</sup>, SHA Wenxuan<sup>4</sup>, LIU Wei<sup>1,2,3</sup>, HUANG Nanjuan<sup>1,2,3</sup>,  
ZHANG Beining<sup>1,2,3</sup>, ZHOU Xiaoyan<sup>1,2,3\*</sup>

(1. School of Tourism Cuisine, Yangzhou University, Yangzhou 225127, Jiangsu, China; 2. Jiangsu Huaiyang Cuisine Industrialization Engineering Center, Yangzhou 225127, Jiangsu, China; 3. Key Laboratory of Chinese Cuisine Intangible Cultural Heritage Technology Inheritance, Ministry of Culture and Tourism, Yangzhou 225127, Jiangsu, China; 4. Wuxi Vocational Institute of Commerce, Wuxi 214151, Jiangsu, China)

**Abstract:** The effects of stewing time on the edible quality of rice were studied. By using rice with different stewing time (0, 10, 20, 30 min and 40 min) as the research object, the texture, color difference, calorific value, starch content, microstructure, and sensory qualities of rice were determined, and the expected glycemic index (eGI) and digestive properties of protein in rice were measured by combining with *in vitro* digestive experiments. The findings revealed that varying stewing time had a significant effect on the edible quality of rice. When the stewing time was too short or too long, the rice became hard; the whiteness faded, and the water content was low, all of which harmed the sensory quality of the rice. The free amino acid content of the rice gradually rose during the digesting process as the stewing continued, while the eGI value of the rice increased. After 20 min of stewing, the rice had a porous surface, moderate softness and hardness, the best color and appearance, increased moisture, protein, and carbohydrate content, better starch and protein digestibility, the rice had the greatest organoleptic score and the best edible quality.

**Key words:** rice; stewing time; edible quality; starch digestion; protein digestion

引文格式:

孙洋, 沙文轩, 刘薇, 等. 焖制时间对米饭食用品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(5): 67-73.

SUN Yang, SHA Wenxuan, LIU Wei, et al. Effect of Stewing Time on Edible Quality of Rice[J]. Food Research and Development, 2024, 45(5): 67-73.

基金项目: 江苏省文化和旅游重点实验室研究项目(203560133); 扬州市-扬州大学市校合作共建创新科技平台项目(YZ2020267); 四川省哲学社会科学重点研究项目(CC21Z09)

作者简介: 孙洋(2000—), 女(汉), 在读硕士研究生, 研究方向: 营养与食品卫生学。

\*通信作者: 周晓燕(1964—), 男(汉), 教授, 学士, 研究方向: 烹饪科学与工程研究。

稻米作为一种主食,为世界上 50% 以上的人口提供了至少 20% 的每日卡路里摄入量<sup>[1]</sup>。随着经济发展和生活质量改善,人们对于米饭的食用品质要求也在不断提高<sup>[2]</sup>。米饭的食用品质主要包括质构特性(硬度、弹性、黏性等)、外观品质(亮度、白度)以及气味特性(挥发性物质)等<sup>[3]</sup>。米饭的食用品质主要受到大米组分和蒸煮方式的影响,而使用电饭煲蒸煮米饭现已成为人们日常烹饪米饭最为便捷的方式之一。

米饭在电饭煲的煮制过程中会经过吸水、升温、沸腾和焖饭 4 个阶段,而焖饭是米饭蒸煮过程中的最后一道工序,对米饭的食用品质具有至关重要的影响<sup>[4-5]</sup>。Zeng 等<sup>[6]</sup>通过对米饭 4 个不同蒸煮阶段风味挥发物变化的测定,认为当焖饭时间为 30 min 时,此时的米饭风味挥发性物质蒸发迅速,米饭的食味品质最佳。邵帅臻等<sup>[7]</sup>通过气相色谱-质谱分析对焦香米饭中含有的风味物质进行测定,从而明确米饭在焖制阶段的升温参数,得出在 175 °C 下焖制 20 min 可以明显提高风味物质的生成。张清霞<sup>[8]</sup>通过单因素试验研究焖制后米饭品质及水分迁移的影响,得出随着保温时间的延长,米饭的黄变更为显著且均一性变差的结论。张玉荣等<sup>[9]</sup>选用经过不同米水比浸泡后的粳米和籼米,研究不同焖制时间对米饭质构特性的影响,发现当米饭焖制 20 min 时的食味品质最佳,但其并未对米饭消化特性进行研究。

目前,国内外对焖制时间的研究主要用于电饭煲的功能优化,并没有系统地研究米饭在焖制后对于人体消化性能的影响。本文旨在研究焖制时间对米饭的质构特性、营养组分、微观结构以及淀粉、蛋白消化特性的影响,以期改善米饭食味品质和提升营养价值提供参考。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

粳米(南粳 9108):市售;α-淀粉酶(40 000 U/mL):上海伊卡生物技术有限公司;葡萄糖淀粉酶(100 000 U/mL):上海阿拉丁生物科技有限公司;胃蛋白酶(1 200 U/g)、胰蛋白酶(50 000 U/g)、茚三酮、无水乙醇、3,5-二硝基水杨酸、盐酸、氢氧化钠、乙酸铅、硫酸钠、硫酸铜、石油醚、酒石酸钾钠、亚铁氰化钾、葡萄糖、亚甲蓝、甲基红:国药集团化学试剂有限公司。所有试剂均为分析纯;试验用水为纯净水。

### 1.2 仪器与设备

电饭煲(MB-FB08M30):美的集团股份有限公司;精密天平(ZG-TP101):哈尔滨众汇衡器有限公司;恒温水浴锅(HH-1):国华电器有限公司;质构仪(TMS—PRO):美国 FTC 公司;手持色差仪(3nH):深圳市三恩时科技医学科技有限公司;气浴恒温振荡器(SHZ-

82):上海平轩科学仪器有限公司;台式高速冷冻离心机(H2050R):湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;可见分光光度计(722N):上海菁华科技仪器有限公司;卡路里分析仪(CA-HM):北京盈盛恒泰科技有限责任公司;发射扫描电子显微镜(S-4800 II)、离子溅射镀膜仪(SDS500):日本日立公司。

### 1.3 米饭样品工艺流程

淘洗(用纯净水淘洗 3 次,每次 10 s)→浸泡(置于 50 °C 的纯净水中浸泡 30 min)→煮制(25 min)→焖制(焖制时间分别为 0、10、20、30、40 min)→取样待测(25 °C 冷却 30 min)。

### 1.4 方法

#### 1.4.1 质构测定

参照邓灵珠<sup>[10]</sup>的方法并稍作修改,测定米饭质构特性,将冷却 1 h 后的米饭置于烧杯中,采用四点法从中取出 3 粒完整饱满的米饭粒呈环形封闭状摆放于载物台中心进行测定,采用圆柱形测试探头(P32)进行压力测试。测定参数为测试前后速率均为 1 mm/s,测试中速率 0.5 mm/s,距离 8 mm,第一次压缩程度为 40%,第二次压缩程度为 70%,测试力 0.1 N,触发值 20 g,压缩 2 次,间隔 3 s。以硬度、黏附性、弹性、咀嚼性评价米饭质构。

#### 1.4.2 色差测定

使用手持色差仪对采取不同焖制时间且处于电饭煲同一位置的饭团进行色差测定。每个样品平行测定 5 次,测量结果取平均值。色空间选取  $L^*$  值、 $a^*$  值、 $b^*$  值,其中  $L^*$  值表示物质的明暗程度, $L^*$  值越大则表示物质的亮度越高,若越小则表示物质的亮度越低; $a^*$  值表示物质的红绿程度,当  $a^*$  值为负时,表示该物质的色度偏绿,当  $a^*$  值为正时,表示该物质的色度偏红; $b^*$  值表示物质的黄蓝程度,当  $b^*$  值为负时,表示该物质的色度偏蓝,当  $b^*$  为正值时,表示该物质的色度偏黄。白度( $W$ )计算公式如下。

$$W = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}$$

#### 1.4.3 主要营养成分与热量指标的测定

使用卡路里分析仪进行主要营养成分与热量指标测定,将样品预热 30 min 后置于测量皿中,测定并记录各营养成分与热量指标的数值。

#### 1.4.4 淀粉含量测定

参照 GB 5009.9—2016《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》中的酸水解法进行淀粉含量测定。

#### 1.4.5 淀粉消化特性

参考 Englyst 等<sup>[11]</sup>的方法,并稍作修改,准确称取 1 g 米饭样品于离心管中,加入 10 mL 醋酸钠缓冲溶液(0.2 mol/L)在 10 000 r/min 的转速下均质 10 s,置于 37 °C 的气浴恒温振荡器 10 min,使之提前预热以达到人体体温<sup>[12]</sup>。加入 1 mL α-淀粉酶溶液(290 U/mL)和

4 mL 葡萄糖淀粉酶溶液(15 U/mL),置于 37 °C 环境中继续恒温振荡使样品消化均匀。分别在 0、10、20、30、60、90、120、180 min 时取 0.5 mL 的消化液,加入 4.5 mL 无水乙醇,4 000 r/min 常温离心 15 min,取上清液。采用二硝基水杨酸法测定样品中葡萄糖含量。米饭样品中的快消化淀粉(rapidly digestible starch, RDS)含量( $W_1, \%$ )、慢消化淀粉(slowly digestible starch, SDS)含量( $W_2, \%$ )、抗性淀粉(resistant starch, RS)含量( $W_3, \%$ )、水解指数(hydrolysis index, HI),以及估计血糖生成指数(expected glycemic index, eGI)的计算公式如下。

$$W_1 = \frac{(G_{20} - m_2) \times 0.9}{m_1} \times 100$$

$$W_2 = \frac{(G_{120} - G_{20}) \times 0.9}{m_1} \times 100$$

$$W_3 = \frac{m_1 - W_1 - W_2}{m_1} \times 100$$

$$H = \frac{S_1}{S_2} \times 100$$

$$Y = 39.7 + 0.549H$$

式中: $G_{20}$ 、 $G_{120}$ 分别为样品在 20、120 min 时的葡萄糖质量,mg; $m_1$ 为总淀粉质量,mg; $m_2$ 为样品中葡萄糖质量,mg; $S_1$ 为水解曲线下的面积; $S_2$ 为白面包水解曲线下的面积; $H$ 为水解指数,%; $Y$ 为估计血糖生成指数。

#### 1.4.6 蛋白消化特性

参考 Chmiel 等<sup>[13]</sup>的方法并稍作修改,准确称取 5.00 g 米饭,加入 0.1 mol/L 盐酸定容至 50 mL,10 000 r/min 均质 10 s,置于 37 °C 的气浴恒温振荡器 10 min,以达到人体体温。加入 1.25 g 胃蛋白酶(1 200 U/g),迅速置于 37 °C 恒温振荡箱中反应 2 h,将 pH 值调至 7,加入 1 mL 胰蛋白酶溶液(50 000 U/g),置于恒温振荡箱中继续反应 2 h,每隔 30 min 取样液 5 mL,迅速将其在 100 °C 恒温水浴锅中灭酶 5 min 后,4 000 r/min 离心 15 min,取上清液。以茚三酮法测定游离氨基酸含量。

#### 1.4.7 微观结构测定

采用发射扫描电子显微镜进行观察。样品经过 48 h 冷冻干燥后,对其进行切片,黏附在样品台上,用离子溅射镀膜仪对样品进行离子溅射镀金,利用发射扫描电子显微镜将样品分别放大 500、2 000 倍拍照,对其进行扫描观察,电压设置为 10 kV。

#### 1.4.8 感官评定

评分标准参考 GB/T 15682—2008《粮油检验 稻谷、大米蒸煮食用品质感官评价方法》的方法,并稍作修改,感官评分标准见表 1。

#### 1.5 数据分析

每组数据均重复 3 次,使用 Microsoft Excel 2013 统计分析试验数据,采用 SPSS 19.0 软件进行方差分析,Origin 2017 软件绘图。

表 1 米饭的感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation standard of rice

指标	评价标准	分值
气味	香味浓郁,无任何异味	17~25
	香味清淡不明显,但无陈米味和不愉快味	8~<17
	无香气,且含有陈米味和不愉快味	0~<8
外观结构	米饭颜色洁白且光亮,外形完整,结构紧密	17~25
	米饭颜色淡黄,光亮感不明显,出现小部分不完整米粒	8~<17
适口性	米饭颜色泛黄,没有光亮感,出现爆花	0~<8
	米饭软硬适中,不黏牙且有嚼劲	17~25
	米饭稍有黏牙或稍硬	8~<17
滋味	米饭黏牙或无黏性、发硬	0~<8
	甜味适中、香味以及味道纯正、持久	17~25
	有普通大米固有的滋味	8~<17
	滋味差,有酸性、苦涩味	0~<8

## 2 结果与分析

### 2.1 焖制时间对米饭质构特性的影响

焖制时间对米饭质构特性的影响见表 2。

表 2 焖制时间对米饭质构特性的影响

Table 2 Effect of stewing time on texture characteristics of rice

焖制时间/ min	硬度/N	黏附性/mJ	弹性/mm	咀嚼性/mJ
0	4.54±0.02	0.09±0.03	0.49±0.07	0.65±0.41
10	4.42±0.02	0.14±0.01	0.54±0.10	0.58±0.38
20	4.21±0.01	0.31±0.31	0.67±0.07	0.41±0.15
30	4.39±0.02	0.26±0.02	0.63±0.05	0.71±0.02
40	4.41±0.20	0.23±0.05	0.61±0.18	0.81±0.03

由表 2 可知,随着焖制时间的延长,米饭的质构特性随之变化。米饭的硬度和咀嚼性呈现先降低后升高的趋势,黏附性和弹性呈现先升高后降低的趋势,这与黄天柱等<sup>[14]</sup>的结论相符。当焖制时间低于 10 min 时,此时的米饭硬度较高、弹性较差,这是由于在过短的焖制时间内,米饭的水分分布不均,残余的水分使得米粒中央部分的淀粉糊化不均,此时的米饭口感较硬,食味品质较差;当焖制时间在 10~20 min 时,米粒逐步吸收多余的水分,从而进一步发生糊化,弹性增加<sup>[15]</sup>;当焖制时间为 20 min 时,此时的米饭软硬适中、弹性较好、口感最佳;当焖制时间大于 20 min 时,此时的米饭硬度过高且微微发黄,这可能是由于电饭煲内的压力不断上升,米粒之间的水分出现迁移及再分布,促使米饭发生美拉德反应,颜色加深,黏附性降低,食味品质也随之降低。

### 2.2 焖制时间对米饭色泽的影响

色泽作为食品最直观的外在表现,是感官评价的重要指标。色泽参数  $L^*$ 值、 $a^*$ 值、 $b^*$ 值、 $W$  在焖制过程

中的变化如表3所示。

表3 焖制时间对米饭色泽的影响

Table 3 Effect of stewing time on color of rice

焖制时间/ min	L*值	a*值	b*值	W
0	64.84±0.64	0.20±0.37	6.30±0.55	64.23±0.86
10	68.01±2.24	0.40±0.20	6.45±0.26	67.20±2.24
20	72.50±0.95	0.32±0.25	7.13±0.11	71.53±0.91
30	68.34±1.93	0.21±0.09	7.22±0.35	67.81±1.66
40	65.35±1.31	0.15±0.10	7.25±0.04	64.96±1.29

表4 焖制时间对米饭主要营养成分与热量指标的影响

Table 4 Effect of stewing time on main nutrients and caloric index of rice

焖制时间/min	碳水化合物含量/ (g/100 g)	水分含量/ (g/100 g)	卡路里含量/ (kcal/100 g)	蛋白质含量/ (g/100 g)	脂肪含量/ (g/100 g)	淀粉含量/ (g/100 g)
0	37.60±0.26	52.74±1.16	174.80±1.64	2.60±0.14	1.30±0.49	28.13±0.43
10	37.33±0.51	55.20±2.78	168.60±0.55	2.78±0.20	1.24±0.17	25.81±0.53
20	36.50±2.01	58.32±7.13	163.60±2.88	2.98±0.59	1.28±0.08	24.66±0.48
30	35.37±1.56	56.80±0.89	160.20±2.59	2.54±0.28	1.25±0.25	24.05±0.22
40	34.50±0.62	54.76±1.71	160.00±2.35	2.46±0.15	1.26±0.32	21.96±0.15

由表4可知,米饭的水分含量呈现先增大后减小的趋势,这是由于米粒在焖制前期吸水膨胀糊化,而焖制后期由于高温和美拉德反应促使米粒水分向外转移或减少;碳水化合物和卡路里含量呈现逐渐减小的趋势,这是由于米饭总体含水量上升,碳水化合物和卡路里由于水分占比增大而均呈现减小的趋势;淀粉含量出现较为明显的下降趋势,这是由于米饭不断吸水而使得淀粉表面产生更多且密集的气孔,此时淀粉的糊化性能更好,膨胀率更高,生成还原性糖而使得总体淀粉含量降低<sup>[18]</sup>;当焖制时间为40 min时,此时的蛋白质含量相比于20 min时出现明显下降的趋势,这可能是因为当电饭煲内的温度达到一定条件后,大米蛋白水解产生了多肽和氨基酸,同时水分占比的增多使其含量相对减少<sup>[19]</sup>;脂肪含量并没有出现明显的变化趋势。

#### 2.4 焖制时间对米饭淀粉体外消化特性的影响

焖制时间对米饭淀粉水解指数的影响见图1,对米饭淀粉体外消化特性的影响见表5。

由图1可知,随着焖制时间延长,米饭的淀粉水解指数随之升高。这可能是因为米饭在焖制的过程中受热以及不断地从周围吸收水分,淀粉分子的无定形区迅速分解,在米饭成熟前使得淀粉提前糊化,从而提高了淀粉水解指数<sup>[20]</sup>。

由表5可知,随着焖制时间的延长,RS含量逐渐减少,但RDS含量逐渐升高,这可能是因为随着糊化度的增加,米饭的淀粉结构被破坏完全,增大了与消化酶的接触面积,从而使得一些难以消化的RS转化成

由表3可知,随着焖制时间的延长,L\*值和W呈先升高后降低的趋势,这是由于米饭在焖制的过程中不断吸水,糊化程度增强,使其对光的反射程度逐渐增加,但随着焖制时间的延长,由于米粒之间的水分逐渐减少,淀粉水解,更多的还原性糖游离出来,使米饭的光泽度降低<sup>[16]</sup>;b\*值呈现上升趋势,这是由于在焖制过程中,随着电饭煲内的压力与温度的上升,促使米饭发生了美拉德反应<sup>[17]</sup>。因此焖制时间在20 min左右时,米饭的色泽观感最佳。

#### 2.3 焖制时间对米饭主要营养成分与热量指标的影响

焖制时间对米饭主要营养成分与热量指标的影响见表4。

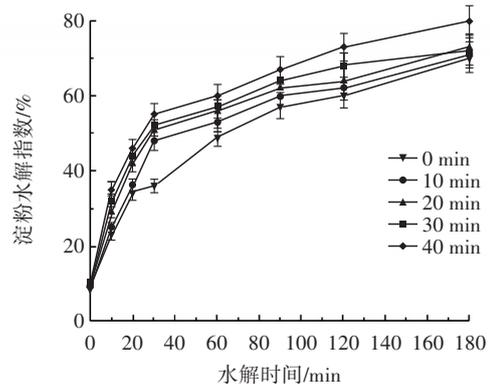


图1 焖制时间对米饭淀粉水解率的影响

Fig.1 Effect of stewing time on hydrolysis rate of starch in rice

表5 焖制时间对米饭淀粉体外消化特性的影响

Table 5 Effect of stewing time on *in vitro* digestion characteristics of starch in rice

焖制时 间/min	RDS 含量/%	SDS 含量/%	RS 含量/%	HI/%	eGI
0	19.31±	41.94±	38.75±	71.62±	79.03±
	0.41	0.37	0.81	1.01	0.59
10	20.77±	45.04±	31.19±	76.33±	81.62±
	1.13	0.25	1.33	0.02	1.03
20	22.56±	45.55±	24.89±	79.87±	83.56±
	0.49	0.14	0.33	1.32	0.18
30	25.50±	46.47±	21.03±	82.27±	84.87±
	0.02	0.82	1.98	0.26	0.06
40	32.05±	49.55±	16.40±	88.11±	88.08±
	0.67	0.80	1.17	0.24	0.36

RDS<sup>[21]</sup>。随着淀粉水解指数的上升,eGI也随之上升,这对人体健康产生不利影响,而较高的RS、SDS含量和较低RDS含量能够更好地控制eGI。焖制时间低于20 min时,RDS含量上升缓慢,但当焖制时长高于20 min时,RDS含量迅速上升,这是因为当达到一定温度时,米粒出现大量的裂缝和空隙,因此水解酶能够轻易地进入淀粉分子内部,使得淀粉加速分解,但过量的RDS对餐后血糖稳定造成不利影响,因此焖制时长控制在20 min时,较为适宜<sup>[22]</sup>。

## 2.5 焖制时间对米饭蛋白体外消化特性的影响

焖制时间对米饭蛋白体外消化特性的影响见图2。

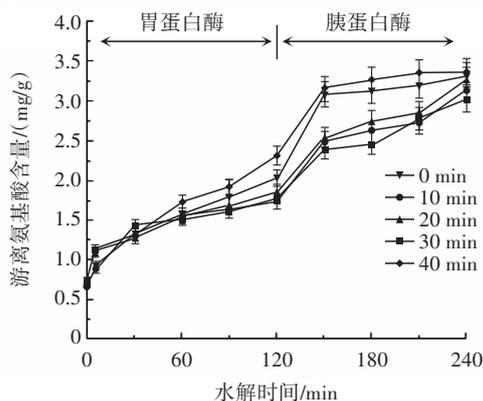


图2 焖制时间对米饭蛋白体外消化特性的影响

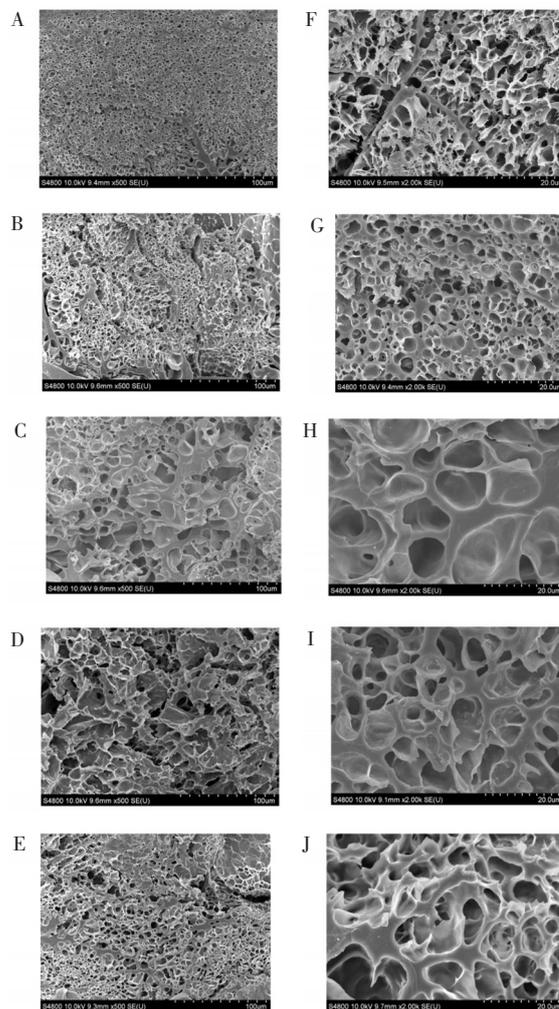
Fig.2 Effect of stewing time on *in vitro* digestion characteristics of protein in rice

由图2可知,随着焖制时间的延长,米饭在体外消化过程中的游离氨基酸含量呈上升趋势。在胃消化阶段,不同焖制时间的米饭生成游离氨基酸的速度较低,这表明此时的焖制时间对米饭蛋白质消化特性影响较小,而当加入胰蛋白酶时,此时米饭的游离氨基酸生成速率均有所增加,这是由于胰蛋白酶能够作用于胃蛋白酶不能利用的肽键,结合淀粉消化分析,此时由于淀粉水解程度加深,淀粉分子结构充分伸展,更有利于蛋白酶的酶解作用,从而使得游离氨基酸含量出现阶梯式的上升<sup>[23]</sup>。焖制时间高于10 min的米饭在加入胰蛋白酶后的消化阶段所生成的游离氨基酸含量增长速度较快,这表明焖制时间高于10 min的米饭蛋白质消化性能较好<sup>[24]</sup>。这是由于米饭较长时间处于湿热状态,此时蛋白质双硫键不太稳定,容易变性,进而导致淀粉-蛋白质复合物的解体,此状态下,会暴露出较多的蛋白酶结合位点。较短焖制时间米饭的蛋白质的消化率较低,可能的原因是吸水和升温的过程较短,使得蛋白质的解离程度较低。

## 2.6 焖制时间对米饭微观结构的影响

焖制时间对米饭微观结构的影响图3。

由图3可知,在米饭样品焖制过程中,由于电饭煲内的温度逐渐升高,使得水分子在米饭中的流动性与



A~E为米饭样品分别在焖制0、10、20、30、40 min时放大500倍的电镜图,F~J分别为前者放大2000倍的电镜图。

图3 焖制时间对米饭微观结构的影响

Fig.3 Effect of stewing time on microstructure of rice

扩散性增强,进而导致米饭表面出现孔洞与空隙。未经焖制的样品表面孔洞较小且紧密,焖制过后的样品孔洞空隙有所增大,并且随着焖制时间的延长,样品表面的孔洞相互联结,出现明显变大加深的趋势。在焖制时间为20 min时,此时样品表面的孔洞明显增大;而在焖制时间为40 min时,此时的米饭表面破碎感明显,空隙变小,孔洞也变得较为密集,样品的表面开始结块。分析可知在样品焖制的过程中,随着米饭水分含量的增加,米饭样品中的淀粉颗粒吸水糊化,出现凝胶化物质,进而导致淀粉破裂,孔洞增加。焖制时间过长时,米饭的水分逐渐蒸发,蛋白质发生热变性,进而限制米饭的进一步糊化,米饭的孔洞面积因此减小。

## 2.7 焖制时间对米饭感官品质的影响

焖制时间对米饭感官品质的影响见图4。

由图4可知,随着焖制时间的延长,米饭的感官品质呈现先上升后下降的趋势。当米饭未经焖制时,口

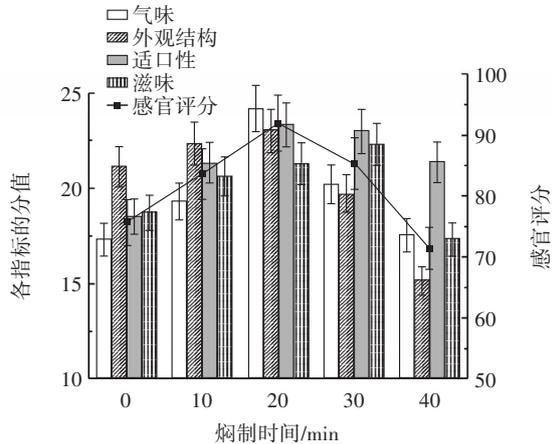


图4 焖制时间对米饭感官品质的影响

Fig.4 Effect of stewing time on sensory quality of rice

感较硬,香味清淡并不明显;焖制 10 min 时,口感上稍显软烂、黏牙,适口性欠佳,但感官品质上升;随着焖制时间逐步延长到 20 min 时,此时的米饭充分吸水糊化,颜色洁白,香味浓郁,软硬适中,感官品质最佳;焖制时间到达 40 min 时,米饭颜色微黄且口感较硬,感官评分较低。由此可知,焖制 20 min 的米饭感官品质最佳。

### 3 结论

研究表明,不同焖制时间对米饭的质构特性、营养组成、微观结构以及消化性能有明显影响。在焖制时间为 20 min 时,此时米饭的质构、感官品质最佳,米饭的水分、蛋白质、碳水化合物含量有所提高,在此基础上发现焖制 20 min 也可以明显提高米饭淀粉和蛋白质消化特性。因此,焖制时长为 20 min 的米饭食味品质最佳。后续可对在焖制过程中米饭的热力学性质进一步研究验证。

### 参考文献:

[1] HU X Q, ZHANG W X, LU L, et al. Comparison of quality of appearance, cooking quality, and protein content of green-labeled rice and conventional rice[J]. *Cereal Chemistry*, 2022,99(4):873-883.

[2] 王玉军, 程建军, 韩俊杰, 等. 利用米饭质构特性评价大米食用品质的方法研究[J]. *黑龙江粮食*, 2013(11): 48-52.

WANG Yujun, CHENG Jianjun, HAN Junjie, et al. Study on the method of evaluating the edible quality of rice by using the texture characteristics of rice[J]. *Heilongjiang Grain*, 2013(11): 48-52.

[3] 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 Xianqing, LI Ruile, ZHANG Yurong. 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.

[4] 王丽丽, 曹珍珍, 李楠楠, 等. 烹制强度对米饭热力学及消化特性的影响[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(8): 8-14.

WANG Lili, CAO Zhenzhen, LI Nannan, et al. Effect of cooking in-

tensity on thermodynamics and digestion characteristics of cooked rice[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2020, 35(8): 8-14.

[5] 邵帅臻. 电饭煲烹饪焦香米饭特征性风味物质的剖析及其强化方法[D]. 无锡: 江南大学, 2021.

SHAO Shuaizhen. Analysis and strengthening method of characteristic flavor substances of scorched rice in electric rice cooker[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2021.

[6] ZENG Z, ZHANG H, ZHANG T, et al. Analysis of flavor volatiles of glutinous rice during cooking by combined gas chromatography-mass spectrometry with modified headspace solid-phase microextraction method[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2009, 22(4): 347-353.

[7] 邵帅臻, 夏书芹, 张晓鸣, 等. 米饭焖制过程中焦香味及有害物的生成与关联[J]. *食品与生物技术学报*, 2021, 40(8): 45-53.

SHAO Shuaizhen, XIA Shuqin, ZHANG Xiaoming, et al. Generation and correlation of scorch aroma and hazardous substances during rice stewing[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2021, 40(8): 45-53.

[8] 张清霞. 电饭煲保温阶段米饭品质劣变成因及控制措施[D]. 无锡: 江南大学, 2019.

ZHANG Qingxia. Study on causes and control method of cooked rice quality deterioration in the heat preservation stage of electric rice cooker[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019.

[9] 张玉荣, 周显青, 张秀华, 等. 大米蒸煮条件及蒸煮过程中米粒形态结构变化的研究[J]. *粮食与饲料工业*, 2008(10): 1-4.

ZHANG Yurong, ZHOU Xianqing, ZHANG Xiuhua, et al. Studies on rice cooking conditions as well as its form and structure changes during cooking process[J]. *Cereal & Feed Industry*, 2008(10): 1-4.

[10] 邓灵珠. 大米蒸煮与米饭物性及食味形成机理[D]. 郑州: 河南工业大学, 2012.

DENG Lingzhu. The relation of rice cooking and texture properties and taste mechanism of cooked rice[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2012.

[11] ENGLYST H N, KINGMAN S M, CUMMINGS J H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions[J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 1992, 46(Suppl 2): S33-S50.

[12] 沙文轩, 章海风, 朱文政, 等. 米水比对米饭食用品质的影响[J]. *中国粮油学报*, 2023, 38(6): 31-36.

SHA Wenxuan, ZHANG Haifeng, ZHU Wenzheng, et al. Effect of cooking rice-to-water ratio on the rating quality of cooked rice[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2023, 38(6): 31-36.

[13] CHMIEL T, SAPUTRO I E, KUSZNIEREWICZ B, et al. The impact of cooking method on the phenolic composition, total antioxidant activity and starch digestibility of rice (*Oryza sativa* L.)[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2018, 42(1): e13383.

[14] 黄天柱, 吴卫国, 李高阳, 等. 大米理化特性与米饭口感品质的相关性研究[J]. *中国食物与营养*, 2012, 18(3): 24-28.

HUANG Tianzhu, WU Weiguo, LI Gaoyang, et al. Research on relativity between rice's physical-chemical properties and mouthfeel quality[J]. *Food and Nutrition in China*, 2012, 18(3): 24-28.

[15] 周显青, 任洪玲, 张玉荣, 等. 大米主要品质指标与米饭质构的相关性分析[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2012, 33(5): 21-24.

ZHOU Xianqing, REN Hongling, ZHANG Yurong, et al. Correlation between texture property of cooked rice and main quality properties of rice[J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2012, 33(5): 21-24.

[16] TAGHINEZHAD E, KHOSHTAGHAZA M H, MINAEI S, et al. Re-

- lationship between degree of starch gelatinization and quality attributes of parboiled rice during steaming[J]. *Rice Science*, 2016, 23(6): 339-344.
- [17] 吕平, 刘建垒, 段晓亮, 等. 小米饭的制作及食用品质评价方法[J]. *粮油食品科技*, 2022, 30(3): 67-74.
- LV Ping, LIU Jianlei, DUAN Xiaoliang, et al. Method for evaluation of foxtail millet cooking and edible quality[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2022, 30(3): 67-74.
- [18] GHASEMI E, HAMED MOSAVIAN M T, HADDAD KHODAPARAST M H. Effect of stewing in cooking step on textural and morphological properties of cooked rice[J]. *Rice Science*, 2009, 16(3): 243-246.
- [19] 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 Donghao, CAI Yanpei, LAO Fei, et al. Research progress on the relationship between rice protein and eating quality[J]. *Food Science*, 2023, 44(9): 270-277.
- [20] TAO K Y, LI C, YU W W, et al. How amylose molecular fine structure of rice starch affects functional properties[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2019, 204: 24-31.
- [21] ASMEDA R, NOORLAILA A, NORZIAH M H. Relationships of damaged starch granules and particle size distribution with pasting and thermal profiles of milled MR263 rice flour[J]. *Food Chemistry*, 2016, 191: 45-51.
- [22] CHI C D, LI X X, ZHANG Y P, et al. Modulating the *in vitro* digestibility and predicted glycemic index of rice starch gels by complexation with gallic acid[J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 89: 821-828.
- [23] VEIGA E V, VANNUCCHI H, MARCHINI J S, et al. The nutritive value of a rice and soybean diet for adults[J]. *Nutrition Research*, 1985, 5(6): 577-583.
- [24] CHENG K C, CHEN S H, YEH A I. Physicochemical properties and *in vitro* digestibility of rice after parboiling with heat moisture treatment[J]. *Journal of Cereal Science*, 2019, 85: 98-104.

加工编辑: 刘艳美  
收稿日期: 2023-07-18