

电饭煲中预浸泡对陈米饭气味特性影响及机制解析

朱梦琴¹, 夏书芹^{*1}, 张晓鸣¹, 李晶², 龚艳玲²

(1. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 美的电热器制造有限公司, 广东 佛山 528311)

摘要: 电饭煲热处理可通过物理方式提升米饭的风味, 但其在改善陈米风味方面还缺少相应模式。采用气-质联用结合风味阈值鉴定得到对米饭陈味具有重要贡献的挥发性风味物质为己醛、辛醛、壬醛和癸醛。以感官评定和电子鼻分析作为评价指标, 通过调控浸泡参数发现 50 °C 处理 10 min 对粳陈米饭气味具有明显的改善作用, 并与新米饭整体风味轮廓较为接近。与未浸泡的陈米相比, 经 50 °C 处理 10 min 后, 米粒中脂肪酶活力降低了 78.2%, 过氧化值下降至 1.52×10^{-2} mmol/kg, 丙二醛质量摩尔浓度仅升高 7.5%。预浸泡有效地延缓了米粒中脂质的水解和氧化, 减少粳陈米饭烹饪过程中不良风味物质的生成。本研究结果可为电饭煲烹饪粳陈米饭风味复鲜曲线的设计与改良提供借鉴。

关键词: 风味; 浸泡; 脂肪酶; 脂质

中图分类号: TS 213.3 文章编号: 1673-1689(2021)11-0046-08 DOI: 10.3969/j.issn. 1673-1689.2021.11.006

Mechanisms Underlying the Influence of Pre-Soaking in Electric Cooker on Odor Characteristics of Aged Rice

ZHU Mengqin¹, XIA Shuqin^{*1}, ZHANG Xiaoming¹, LI Jing², GONG Yanling²

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Foshan Shunde Midea Electric Appliance Manufacturing Co., Ltd., Foshan 528311, China)

Abstract: The heat treatment of electric cooker can enhance the flavor of rice by physical means, however, there is still a lack of corresponding mode in improving the flavor of aged rice. The crucial flavor compounds contributing to the stale odor of rice were identified as hexanal, octanal, nonanal and decanal analyzed by gas chromatography-mass spectrometry combined with flavor threshold analysis. Using sensory evaluation and electronic nose analysis as the evaluation indexes in adjusting the immersion parameters, it was found that soaking at 50 °C for 10 minutes had a significant effect on improving the odor of aged indica rice, which was similar to the overall flavor profile of the fresh rice. Compared with the untreated aged rice, the lipase activity of aged rice decreased by 78.2%, the peroxide value dropped to 1.52×10^{-2} mmol/kg, and the molality of malondialdehyde only increased by 7.5% after soaked at 50 °C for 10 minutes. Pre-soaking effectively delayed the hydrolysis and oxidation of lipids in rice grains and reduced the formation of off-flavor compounds during the cooking process of aged indica rice. The results of this study provided a reference for the design and

收稿日期: 2020-11-03

基金项目: 国家“十三五”重点研发计划项目(2016YFD0400801)。

* 通信作者: 夏书芹(1979—), 女, 博士, 教授, 博士研究生导师, 主要从事食品加工与配料研究。E-mail: sqxia@jiangnan.edu.cn

improvement of flavor refreshness curve of aged indica rice cooked in electric cooker.

Keywords: flavor, soaking, lipase, lipid

籼稻产量高,储藏时间长,是我国大米生产和消费的主要品种,籼稻生产具有季节性,为满足人们的需求,基于粮食安全和保障的需要,通常对其进行一定规模的储备。然而,籼米在储藏期间由于籽粒本身组成的特殊性,其品质将随时间的延长不断变化,导致其特有的清香消失并产生糠酸味等令人不快的气味,因此其食用品质的改良是一项重要的任务。

国内外学者提出了较多陈米复鲜方法,但主要是通过化学手段来改善陈米品质,如添加 β -环糊精^[1]、金属盐^[2]等。基于目前电饭煲烹饪已成为家庭蒸煮米饭的主要方式,而上述陈米复鲜的方法难以在电饭煲烹饪米饭时推广。浸泡吸水是电饭煲烹饪过程中重要的阶段,在该过程中,水逐渐从表面渗入大米的内核^[3],水分的充分吸收和分布直接影响米饭最终品质^[4]。此外,不同浸泡温度和时间导致米粒中内源酶活性的差异,影响烹饪过程中米饭风味的形成和释放。研究表明,脂类氧化产物过多会使米饭出现异味^[5]。冷水烹饪的米饭具有陈味,主要因为脂肪酶的最适作用温度范围为30~40℃。冷水烹饪米饭时会缓慢经过该温度带,而热水烹饪米饭时会快速通过该温度带,使酶失活,米饭风味更好^[6]。已有研究表明:陈米在70℃以上的热水浸渍数秒,会使生成糠酸味和陈米味成分的酶失活^[7]。因此,研究并阐明电饭煲浸泡吸水阶段参数对米饭风味的影响可为设计合适的陈米饭烹饪曲线奠定依据。然而,迄今为止,关于浸泡参数与米饭风味之间的关系以及浸泡吸水过程中脂肪酶活度的变化对陈米风味影响的研究还未见报道。

作者以籼陈米饭感官评定和电子鼻结果为指标,考察浸泡吸水阶段的温度与时间对籼陈米饭风味的影响,并从脂肪酶调控的角度探索浸泡吸水阶段参数对风味形成与改善的原因,明确电饭煲吸水阶段的最佳参数,为研发具有改善陈米风味功能的电饭煲提供指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

白燕丝苗米(籼米,室温存放一年):广东白燕

粮油实业有限公司产品;氢氧化钾、无水乙醚、无水乙醇、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、氯化钠:分析纯,国药集团化学试剂有限公司产品;2,4,6-三甲基吡啶、C₁₃ 烷酸:色谱纯,美国 Sigma-Aldrich 公司产品。

1.2 仪器与设备

美的 IH 全智能电饭锅:MB-FS4089 型,佛山市顺德区美的电热电器制造有限公司产品;冷冻高速离心机:Centrifuge 5810R 型,德国 Eppendorf 公司产品;紫外可见分光光度计:A360 型,上海翱艺仪器有限公司产品;气质联用仪:SCIONSQ-456-GC 型,美国 Finnigan 质谱公司产品。

1.3 实验方法

1.3.1 米饭蒸煮方法 称取(300.0±0.1) g 籼米,快速淘洗 2 遍,米水质量比为 1:1.45,实验过程中调整电饭煲吸水阶段浸泡温度与时间,然后进行蒸煮。

1.3.2 米饭中挥发性风味物质分析 称取 10.00 g 米饭与 30.00 g 饱和氯化钠溶液混合,加入 20 μ L 0.017 μ g/ μ L 的 2,4,6-三甲基吡啶作为内标并匀浆,取 8.00 g 浆液于 20 mL 顶空瓶中,加入搅拌子,然后密封,70℃水浴萃取。气相色谱(GC)参数:DB-WAX 弹性毛细管柱(30 m×0.25 mm×0.25 μ m);分流比为 1:1;载气(He)的流量为 0.8 mL/min。质谱(MS)参数:离子源温度为 250℃;传输线温度为 250℃;发射电流为 80 μ A;检测器电压为 1 000 eV;电子能量为 70 eV。

1.3.3 米饭气味感官评定的方法 米饭气味感官评价依据 GB/T15682-2008 调整,以电饭煲原程序烹饪的新米饭为参照,香气分值为 25 分,糠酸味分值为 0 分,评分标准如表 1 所示。

表 1 米饭气味感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation standard for rice smell

气味指标	具体特性描述	分值
香气	米饭香气浓郁	17~25
	米饭香气寡淡	9~16
	米饭失去香气	0~8
糠酸味	米饭有较浓糠酸味	17~25
	米饭有较淡糠酸味	9~16
	米饭无糠酸味	0~8

1.3.4 米饭气味特性分析 采用快速气相色谱电子鼻(Heracles II)对米饭样品进行气味特性测定。趁热取 4.00 g 米饭于 10 mL 顶空瓶(4 个平行),密封待测。检测条件:色谱柱型号为 DB-5 和 DB-1701 (L.D:10 m×0.18 mm);萃取温度 60 ℃,时间 600 s;进样口温度 250 ℃,进样量为 500 μ L,进样流量为 500 μ L/s;捕集温度和解吸温度分别为 45 ℃和 250 ℃;初始柱温为 50 ℃,保持 2 s 再以 1 ℃/s 升高至 80 ℃,然后以 3 ℃/s 升高至 120 ℃,保持 21 s 再以 1.5 ℃/s 升高到 250 ℃,保持 60 s;FID 检测器温度 260 ℃,采集时间 100 s。

1.3.5 米粒脂肪酶活动度测定 采用滴定法,酶活动度用中和 1 g 试样(干基)中生成的游离脂肪酸(FFA)所消耗氢氧化钾的毫克数表示(mg/g),具体操作参考 GB/T 5523—2008。

1.3.6 米粒中游离脂肪酸组成的测定

1)大米中油脂提取:将 2.00 g 米粉样品与 15 mL 二氯甲烷-甲醇溶液(体积比为 2:1)混合,以 C_{13} 脂肪酸作内标,密封超声,结束后过滤,滤液旋蒸后用 6 mL 二氯甲烷复溶。

2)大米中 FFA 测定:将上述溶液过氨基丙基硅胶微柱,用 7 mL 氯仿-异丙醇(体积比为 2:1)淋洗,接着用 4 mL 体积分数为 2%的乙酸-乙醚溶液洗脱,将洗脱液收集于比色管中,氮吹至完全干燥。在比色管中加入 3 mL 体积分数为 2%的硫酸-甲醇溶液,在 70 ℃下水浴 60 min,待其冷却后加 5 mL 正己烷和 2 mL 饱和氯化钠溶液,振摇 1 min,静置分层,收集有机相,待测。

3)气相色谱参数:DB-WAX 弹性毛细管柱;程序升温:100 ℃持续 3 min,以 10 ℃/min 升高至 180 ℃,持续 1 min,再以 3 ℃/min 升高至 240 ℃,持续 15 min;分流比为 10:1;燃气(H_2)流量为 47 mL/min;载气(N_2)流量为 3 mL/min。

1.3.7 米粒中过氧化值(POV)的测定 采用分光光度法,具体操作参考 GB/T 5009.37—2003。

1.3.8 米粒中丙二醛(MDA)的测定 采用硫代巴比妥酸法^[8]。称取 2.00 g 米于研钵,加入体积分数为 10%的三氯乙酸(TCA)进行匀浆,再以 4 000 r/min 的速率离心 10 min,取上清液定容至 10 mL。吸取 2 mL 定容后的液体(空白对照为 2 mL 蒸馏水),加入 2 mL 质量分数为 0.6%的硫代巴比妥酸(TBA)溶液,混匀。沸水浴 15 min 后冷却,4 000 r/min 离心

10 min,分别测定 450、532、600 nm 波长下上清液的吸光值(A)。计算丙二醛的摩尔浓度,进而得出单位质量米样中丙二醛的质量摩尔浓度(μ mol/g)。

1.3.9 数据分析 采用 Excel 处理数据,Origin 制作图表,Minitab 进行相关性和差异性分析。

2 结果与分析

2.1 新、陈籼米饭风味活性物质的分析

米饭的整体风味是由不同风味化合物混合呈现的,因此,风味化合物的种类和含量均会对米饭最终风味的形成产生影响。为确定新、陈米饭风味成分差异,采用 GC-MS 对其挥发性风味物质的种类与含量进行测定。挥发性物质对样品风味的贡献不仅与化合物含量有关,还与其气味阈值有关。气味活性值(OAV)为挥发性化合物质量浓度与阈值之比,OAV 大于 1 表示该种化合物对样品的气味具有重要贡献。新、陈米饭中的挥发性风味化合物的质量浓度及其 OAV 结果如表 2 所示。

在电饭煲原程序烹饪的新、陈米饭中主要检测到醛类、酮类、醇类及杂环等挥发性风味物质,这与已有研究结果一致^[8-10]。由表 2 可知,新、陈米饭中 OAV 大于 1 的化合物共 8 种,它们是影响米饭整体风味的关键挥发性风味物质。其中陈米饭中己醛、辛醛、壬醛和癸醛等醛类的 OAV 远大于新米饭,而大多数挥发性化合物的质量浓度超过其气味阈值数十甚至百倍时,会引起令人不快的味道。且醛类化合物主要是由脂质氧化降解所得^[11],浓度较低时赋予米饭果香、甜香及青草香等^[12],但浓度过高时易导致异味。与新米饭相比,陈米饭中饱和脂肪酸醛较多,可能是大米在储藏过程中 FFA 氧化生成的,从而带来不良风味。YUAN 等^[13]研究陈米挥发性风味物质,发现醛类的质量浓度明显高于新米,对大米风味产生不利影响。相比之下,陈米饭中(E)-2-壬烯醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛和 1-辛烯-3-醇的 OAV 则小于新米饭。其中 1-辛烯-3-醇具有明显的蘑菇风味^[14],且阈值较低,对陈米饭整体香气具有正面贡献。

2.2 浸泡参数对籼陈米饭气味特性的影响

电饭煲吸水过程温度低、水分高,脂肪酶会加速脂肪反应,加剧不良风味前体物质的产生,使得米饭在后续蒸煮过程中进一步形成不同的风味。为表征浸泡温度对陈米饭气味的影响,将不同温度浸

表 2 籼米饭中挥发性风味化合物的质量分数及 OAV

Table 2 Mass concentration and odor activity value(OAV) of volatile flavors in indica rice

序号	化合物	质量分数/($\mu\text{g}/\text{hg}$)	阈值/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	OAV
		新米/陈米		新米/陈米
1	己醛	2.16/9.15	4.5	4.80/20.34
2	辛醛	ND/1.88	0.7	ND/26.86
3	壬醛	5.19/10.00	1	51.90/100.00
4	癸醛	ND/1.48	2	ND/7.39
5	苯甲醛	2.57/2.55	350	<1/<1
6	(E)-2-庚烯醛	0.42/0.21	13	<1/<1
7	(E)-2-辛烯醛	0.51/ND	13	<1/ND
8	(E)-2-壬烯醛	1.70/0.47	0.08	212.08/59.20
9	(E, E)-2, 4-癸二烯醛	0.41/0.23	0.07	58.57/33.08
10	6-甲基-5-庚烯-2-酮	1.85/0.51	50	<1/<1
11	香叶基丙酮	1.53/0.42	60	<1/<1
12	异佛尔酮	ND/0.30	100	ND/<1
13	3-辛烯-2-酮	0.31/0.35	20	<1/<1
14	1-戊醇	1.47/1.18	4 000	<1/<1
15	1-己醇	1.43/0.78	2 500	<1/<1
16	1-庚醇	ND/0.76	3	ND/2.54
17	1-辛醇	1.03/0.73	110	<1
18	2-丁基-1-辛醇	0.11/0.27	—	—
19	1-辛烯-3-醇	2.31/0.76	1	23.14/7.60
20	2-戊基呋喃	0.44/0.22	6	<1/<1
21	吡嗪	ND/5.29	140	ND/<1
22	(Z)-3-乙基-2-甲基-1, 3-己二烯	0.23/0.39	—	—

注:ND 表示未检出。

泡 10 min 烹饪的陈米饭与原程序进行感官评价,结果见图 1。

大米在陈化的过程中会产生不良的糠酸味,同时其特有的清香也有所保留。由图 1 可知,经过不同温度浸泡的籼陈米饭在气味感官上具有较大的差异。电饭煲原程序及 25℃ 浸泡处理烹饪的陈米饭香气评分低,糠酸味浓郁,这说明低温浸泡加剧陈米饭不良风味的形成,可能是因为脂肪酶仅在油水界面反应,低温浸泡后米粒内部出现的裂缝较大^[15],水分大量渗入米粒内部,使得反应面积变大,加剧脂肪的分解氧化,积累了大量的风味前体物质,导致后续烹饪过程形成了过高含量的饱和醛类,从而形成了浓郁的糠酸味。相比之下,50℃ 浸泡处理大幅度提升了陈米饭的香气,同时明显抑制了陈米饭的糠酸味,这可能与较高温度抑制了脂肪酶活力,减少其脂肪水解产物的生成和进一步积累有

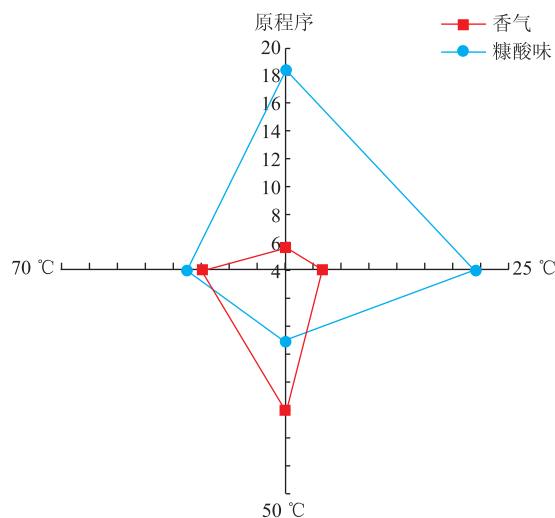


图 1 不同浸泡温度下籼陈米饭气味的感官评价

Fig. 1 Sensory evaluation of aged indica rice under different soaking temperatures

关,随着温度上升到 70 ℃,米饭香气的提升效果有所下降,这可能是高温促使大米结构变化,导致香气过早释放并溢出而造成蒸煮后香气的损失。

进一步了解浸泡时间对陈米饭风味的影响,对 50 ℃ 不同时间浸泡烹饪的陈米饭进行感官评定,结果见图 2。

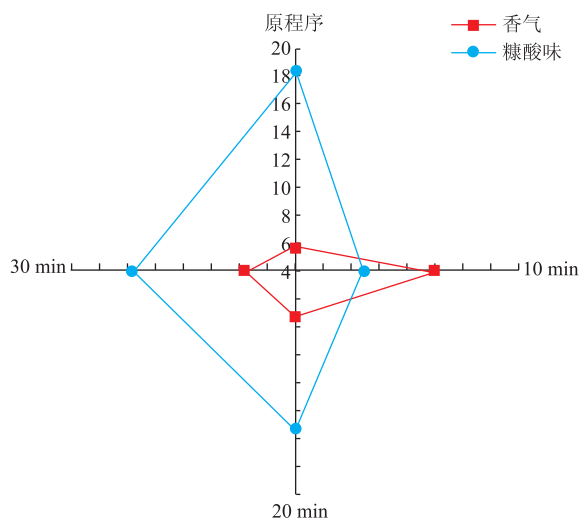


图 2 不同浸泡时间下籼陈米饭气味的感官评价

Fig. 2 Sensory evaluation of aged indica rice under different soaking time

由图 2 可知,浸泡时间同样会对陈米饭的感官品质产生影响,与原程序烹饪的陈米饭相比,浸泡 10 min 处理较大程度上改善了其风味,随着浸泡时间的延长,香气提升效果反而减弱,糠酸味增强,这可能是因为 50 ℃ 浸泡可以抑制脂肪酶活性但不能使其完全失活,因此在长时间浸泡过程中酶促反应继续进行,从而使风味前体物质得以累积,在后续蒸煮阶段进一步氧化裂解产生不良风味。综上所述,感官评定表明 50 ℃ 浸泡处理 10 min 对陈米饭风味的改善效果最佳。

快速电子鼻具有较高的灵敏性,能快速获得样品的整体风味信息,为客观分析 50 ℃、10 min 浸泡处理对陈米饭气味特性的改善效果,采用快速电子鼻对原程序烹饪的新、陈米饭及 50 ℃、10 min 浸泡处理烹饪的陈米饭进行比较,结果见图 3。

由图 3 可知,第一主成分(PC1)和第二主成分(PC2)的累积方差贡献率为 99.7%,表明该模型能较准确地解释这 3 个样品之间的风味差异。从图中可以看出原程序烹饪的新、陈米饭气味特征差异较

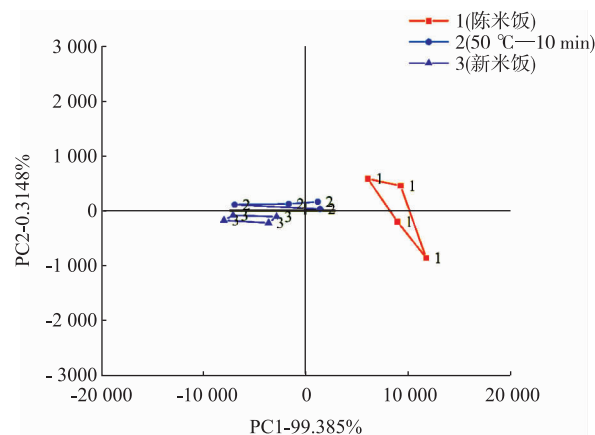


图 3 快速电子鼻对不同浸泡参数下籼米饭的 PCA 分析

Fig. 3 PCA analysis of fast electronic nose for indica rice under different parameters

大,经过 50 ℃、10 min 浸泡处理烹饪的陈米饭与原程序烹饪的新米饭整体风味较为接近,这表明调整浸泡参数后,陈米饭的风味得到了改善,与感官结果一致。

2.3 浸泡参数对籼陈米饭挥发性风味物质的影响

为明晰浸泡温度与时间影响陈米饭风味的原因,采用气质联用法测定不同温度浸泡 10 min 及 50 ℃ 浸泡不同时间烹饪的籼陈米饭中关键挥发性风味化合物质量分数,结果见图 4。

由图 4(a)可知,经不同温度浸泡处理烹饪的陈米饭中关键性风味物质质量浓度存在一定差异。上述原程序烹饪的陈米饭中壬醛和己醛的质量分数最高,经 50 ℃ 浸泡处理后明显降低,70 ℃ 其次,而 25 ℃ 浸泡后较高,此结果与感官结果一致,表明低温浸泡有助于饱和醛的生成和累积以及陈米饭不良风味的形成。此外,(E)-2-壬烯醛和 1-辛烯-3-醇的质量分数在 50 ℃ 浸泡处理后最高。由此可见,经 50 ℃ 浸泡处理后烹饪的陈米饭具有最佳的风味物质组成。

图 4(b)表明随着浸泡时间的延长,己醛、壬醛等不良风味物质含量明显增加,有益的不饱和醛、醇含量存在微弱的减小趋势,这表明短时间浸泡能改善陈米风味,时间过长反而使陈米风味进一步劣变。Champagne 等^[16]也发现大米浸泡 30 min 后米饭的酸腐味明显增加,而香甜味显著减少。

2.4 浸泡参数对籼陈米粒中脂肪酶活动度的影响

醛、醇等挥发性风味化合物主要来自脂肪的氧化裂解。大米中脂类与其陈化具有极大相关性,影

响米饭的风味和适口性^[17]。陈米蒸煮过程中脂肪酶会促使脂类分解,产生游离脂肪酸并进一步氧化降解成风味物质^[18]。之前的研究结果显示,陈米饭的不良风味可能源于饱和醛等风味物质的累积,因此可以考虑通过抑制脂肪酶活力减缓风味前体物质的生成,达到改善陈米饭风味的目的。为明确不同浸泡过程中的脂肪酶活力及酶促反应程度的差异,对不同浸泡参数下陈米粒中的脂肪酶质量分数进行分析,结果见图5。

由图5(a)可知,与生米相比,经25℃浸泡10 min处理的陈米粒中脂肪酶活力无显著性变化,而经50℃和70℃浸泡后,米粒中脂肪酶活力分别降低了78.2%和80.1%,抑制了浸泡阶段脂肪的分解,从而减少后续高温蒸煮阶段因脂肪酸氧化而形成的不良风味物质。从图5(b)可以看出,随着浸泡时间增加,脂肪酶活力先上升后降低。这可能是因为脂肪酶活力受到抑制但未完全失活的浸泡温度下,长时间浸泡处理水分不断渗透促进了米粒中脂

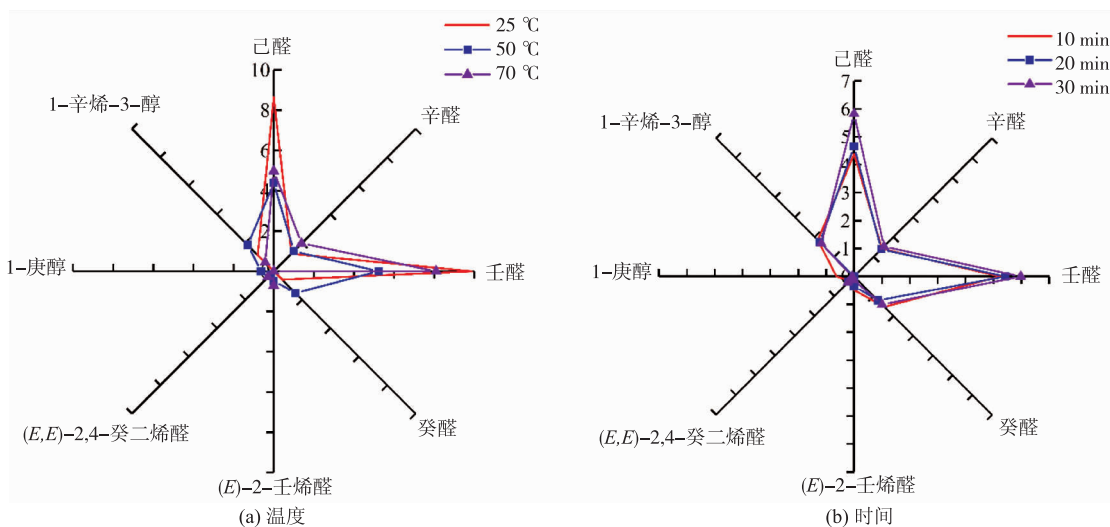
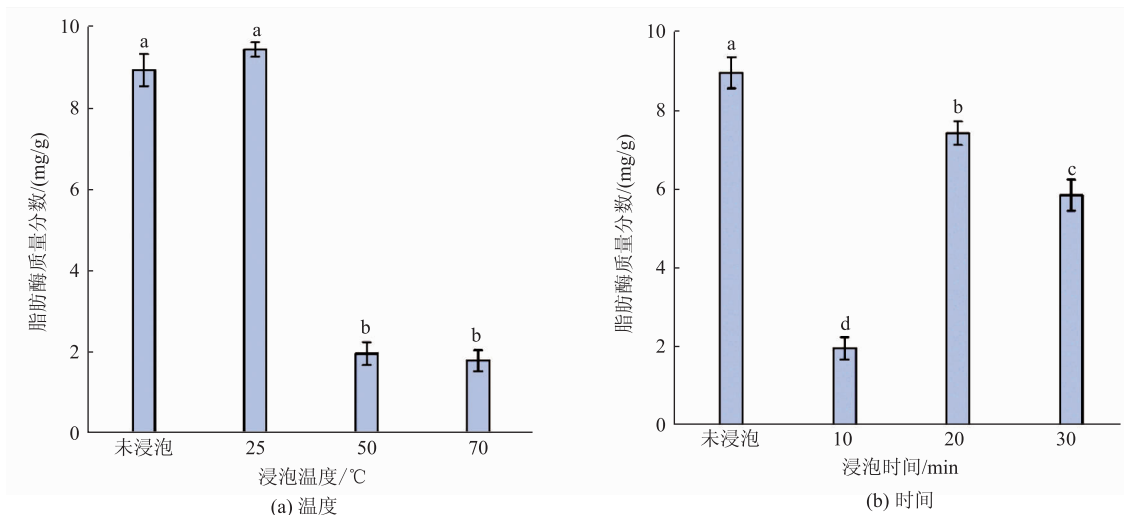


图4 浸泡参数对籼陈米饭挥发性风味物质质量分数的影响

Fig. 4 Effects of soaking parameters on the mass concentration of volatile flavors in aged indica rice



不同上标字母表示有显著性差异($P<0.05$)

图5 浸泡参数对籼米中脂肪酶活动度的影响

Fig. 5 Effects of soaking parameters on lipase activity of indica rice

肪酶的活化^[15],导致酶活上升,当浸泡时间达到 30 min 时,温度效应对脂肪酶活力的抑制作用大于水的活化作用,从而表现出下降的趋势。

2.5 浸泡时间对籼陈米粒中脂质水解和氧化的影响

籼米在储藏过程中,脂质由于水解、氧化生成

的风味前体物质在电饭煲蒸煮时释放或进一步反应,影响米饭最终风味的形成。米粒浸泡阶段由于内源酶活性及热效应的差异,脂质水解氧化程度也不一致,对 50 ℃浸泡不同时间的籼陈米粒中的游离脂肪酸进行分析,结果如表 3 所示。

表 3 浸泡时间对籼米粒中游离脂肪酸组成的影响

Table 3 Effect of soaking time on the free fatty acid composition of indica rice grains

项目	浸泡时间/min			
	0	10	20	30
肉豆蔻酸	14.8±0.9 ^c	23.1±0.6 ^b	30.6±1.6 ^a	24.7±1.5 ^b
棕榈酸	540.2±31.7 ^c	604.6±39.7 ^{bc}	826.9±51.9 ^a	671.0±35.7 ^b
硬脂酸	185.3±5.9 ^c	217.1±15.5 ^c	426.0±32.5 ^a	307.0±17.8 ^b
油酸	560.6±26.8 ^a	524.5±36.7 ^{ab}	437.9±25.6 ^c	471.9±18.7 ^{bc}
亚油酸	872.1±40.6 ^b	1134.0±75.3 ^a	1222.7±43.8 ^a	948.6±45.1 ^b
亚麻酸	24.5±0.9 ^c	28.6±0.5 ^{ab}	30.1±1.3 ^a	25.6±1.7 ^{bc}
花生酸	8.2±0.7 ^b	4.1±0.3 ^d	6.0±0.4 ^c	10.9±0.7 ^a
总饱和脂肪酸	748.6±27.4 ^d	849.0±23.3 ^c	1289.5±20.6 ^a	1013.5±34.9 ^b
总不饱和脂肪酸	1457.2±68.3 ^b	1687.2±112.5 ^a	1690.7±70.7 ^a	1446.1±66.7 ^b
总计	2205.8±95.7 ^c	2536.2±89.2 ^b	2980.3±50.1 ^a	2459.6±90.2 ^b

注:不同上标字母表示有显著性差异($P<0.05$),下同。

由表 3 可知,随着浸泡时间的延长,籼陈米粒中各种 FFA 质量分数均发生了变化。与生米相比,浸泡时间在 20 min 以内时,FFA 总量随时间延长而升高,其中棕榈酸、硬脂酸及亚油酸的浓度显著增加,油酸的浓度有所下降,这表明在浸泡过程中陈米脂质进一步发生水解^[17]。50 ℃浸泡会引起水稻内部结构的变化,产生裂缝,部分淀粉体随着淀粉颗粒的膨胀而分解^[18]。在米饭烹饪过程中,淀粉-脂肪复合物的解体也会加速脂肪降解,导致亚油酸等形成,进一步生成挥发性化合物。同时也验证了 50 ℃、20 min 浸泡处理的米粒中脂肪酶活性较大,脂肪分解速度较快。当浸泡时间延长至 30 min 时,脂肪酸总质量分数下降,尤其以亚油酸质量分数降低最显著,占总下降量的 52.64%,油酸质量分数变化不明显,这意味着在浸泡过程中脂肪酸的生成和分解是同步进行的,且长时间浸泡过程中脂肪酸的消耗占主导。这可能是因为 50 ℃、30 min 浸泡处理的米粒脂肪酶活较低,脂肪酸生成速度较慢。此外,脂肪酸并非脂质氧化的最终产物,随着浸泡时间的延长,脂肪酸氧化加剧,尤其是稳定性较差的亚油酸和亚

麻酸在脂氧合酶的催化下氧化降解,产生己醛、戊醛等挥发性风味物质,导致脂肪酸质量浓度下降。

脂质水解产生的脂肪酸在自动氧化和酶促作用下会形成初级氧化产物,但其不稳定易降解为丙二醛为主的次级氧化产物,陈米粒在 50 ℃浸泡不同时间脂质氧化情况以 POV 和 MDA 质量摩尔浓度来表示,结果如表 4 所示。

表 4 浸泡时间对籼米粒中脂质氧化的影响

Table 4 Effect of soaking time on the lipid oxidation of indica rice grains

浸泡时间/min	POV/($\mu\text{mol/kg}$)	MDA 质量摩尔浓度/($\mu\text{mol/kg}$)
0	24.0±1.0 ^a	1.33±0.02 ^b
10	15.2±0.6 ^c	1.43±0.01 ^b
20	16.3±0.5 ^c	1.68±0.06 ^a
30	18.8±0.7 ^b	1.77±0.01 ^a

由表4可知,陈米中初级和次级代谢产物在未浸泡之前已有累积,经50℃不同时间浸泡处理后,脂质氧化程度发生变化,其中10 min浸泡处理后的米粒的POV显著下降至 1.52×10^{-2} mmol/kg,MDA质量摩尔浓度仅升高7.5%;而随着浸泡时间的延长,POV和MDA浓度均小幅度上升,这表明浸泡时间越长,初级氧化产物的生成量和降解量都越大,且降解作用占主导,次级氧化产物不断累积。此外,脂质可以与活性氧通过自由基链反应发生自动氧化,该反应在高温时会加速进行,也会导致脂质氧化产物的增加。脂质过氧化物不仅能够产生酸腐味,还可以与氨基酸、蛋白质发生化学反应,导致米饭不良风味的产生。

3 结 语

电饭煲原程序烹饪新、陈籼米饭的挥发性风味物质质量分数差异较大,陈米饭中己醛、辛醛、壬醛等饱和脂肪醛的质量分数高,是陈米饭不良风味的主要成分。结合感官评定和电子鼻分析,发现50℃浸泡10 min烹饪的籼陈米饭风味较好。通过气质联用法对不同浸泡参数下烹饪的籼米饭中挥发性风味物质进行分析,确定较高温度下短时间浸泡能明显降低己醛、壬醛等不良风味物质的质量分数。中高温浸泡能够抑制籼陈米粒中的脂肪酶活力,影响脂质的氧化情况,随着浸泡时间延长,氧化产物累积,影响陈米饭最终风味的形成。

参考文献:

- [1] 曾志鲁,范慧群,黄克愁,等. β -环糊精结合脱支处理对重结晶大米淀粉消化性和结构的影响[J]. 食品工业科技,2019,40(10):6-10.
- [2] 张群,夏延斌,单杨. 米饭风味的影响因素及其改良技术研究动态[J]. 粮油加工与食品机械,2005(7):76-79.
- [3] HORIGANE AK, SUZUKI K, YOSHIDA M. Moisture distribution in rice grains used for sake brewing analyzed by magnetic resonance imaging[J]. *Journal of Cereal Science*, 2014, 60(1):193-201.
- [4] FAN D, MA S, WANG L, et al. ^1H -NMR studies of starch-water interactions during microwave heating[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2013, 97(2):406-412.
- [5] CHAMPAGNE E. Rice aroma and flavor: a literature review[J]. *Cereal Chemistry*, 2008, 85:445-454.
- [6] 刘月好. 陈米产生的原因与处理方法[J]. 粮食加工, 2004, 29(1):30-31.
- [7] 金增辉, 金增英. 陈米与低品质米的改良方法[J]. 武汉粮食工业学院学报, 1993(1):35-38.
- [8] 周显青, 张玉荣. 储藏稻谷品质指标的变化及其差异性[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12):238-242.
- [9] DENG Y, ZHONG Y, YU W, et al. Effect of hydrostatic high pressure pretreatment on flavor volatile profile of cooked rice[J]. *Journal of Cereal Science*, 2013, 58(3):479-487.
- [10] 姜平, 张晖, 王立, 等. 大米经不同包装方式贮藏后蒸煮风味物质的变化[J]. 食品与生物技术学报, 2012, 31(10):1039-1045.
- [11] 张浩, 田红玉, 孙宝国, 等. 脂肪醛对 Maillard 模型体系含硫挥发性产物的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(11):33-36.
- [12] ZHENG XQ, LI QS, XIANG LP, et al. Recent advances in volatiles of teas[J]. *Molecules*, 2016, 21(3):338.
- [13] YUAN B, ZHAO C, et al. Influence of gene regulation on rice quality: Impact of storage temperature and humidity on flavor profile[J]. *Food Chemistry*, 2019, 283:141-147.
- [14] 张婵, 安晶晶. 大豆脂肪氧合酶强化香菇风味基料的风味成分研究[J]. 食品与生物技术学报, 2014(4):396-402.
- [15] ZHU L, GANG C. Effect of soaking and cooking on structure formation of cooked rice through thermal properties, dynamic viscoelasticity, and enzyme activity[J]. *Food Chemistry*, 2019, 289:616-624.
- [16] CHAMPAGNE E T, BETTGARBER K L, THOMSON J L, et al. Impact of presoaking on flavor of cooked rice [J]. *Cereal Chemistry*, 2008, 85(3):275-276.
- [17] YOON M R, RICO C W, KOH H J, et al. A study on the lipid components of rice in relation to palatability and storage[J]. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 2012, 55(4):515-521.
- [18] ZHOU Z, ROBARDS K, HELLIWELL S, et al. Ageing of stored rice: changes in chemical and physical attributes[J]. *Journal of Cereal Science*, 2002, 35(1):65-78.