

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.12.032

槽式超声波处理对糙米理化特性与感官品质的影响

王周利¹ 冯艳芸² 岳田利¹ 潘忠礼³ 崔璐¹

(1. 西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西杨凌 712100; 2. 宝鸡出入境检验检疫局, 宝鸡 721006;
3. 加利福尼亚大学戴维斯分校生物与工程系, 戴维斯 95616)

摘要: 评价了槽式超声波处理对糙米品质特性及食味的影响, 研究表明: 超声波处理使糙米饭的持水率增加了30~53个百分点、体积膨胀率增加了30个百分点, 且对糙米粒的白度指数和透光率影响较小, 说明超声波处理保持了糙米样品较完整的皮层结构。同时, 超声波处理对糙米的化学组成没有显著影响, 且可以降低糙米的硬度, 提高糙米的弹性和咀嚼度, 而对其粘附性和粘聚性影响不大。感官评价结果表明, 超声波处理的糙米样品其感官评价总分均高于未处理的糙米, 以槽式超声波进行糙米处理具有一定的应用价值。

关键词: 糙米; 超声波; 理化特性; 质构特征; 感官品质

中图分类号: TS210.4; S122 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2016)12-0264-07

Effect of Ultrasonic Treatment on Quality and Taste Properties of Brown Rice

Wang Zhouli¹ Feng Yanyun² Yue Tianli¹ Pan Zhongli³ Cui Lu¹

(1. College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2. Baoji Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Baoji 721006, China

3. Department of Biological and Agricultural Engineering, University of California at Davis, Davis 95616, USA)

Abstract: Brown rice is rich in nutrients. However, it has not been accepted by most consumers for the poor taste and long time to be fully cooked. Brown rice was treated by groove ultrasonic, and the effect of ultrasonic treatment on physicochemical properties and taste quality of brown rice was evaluated. The results indicated that the white index of brown rice was increased slightly, and the light transmittance and grinding rate had little changing. The water-holdup and volume expansibility of brown rice were increased by 30~53 percentage points and 30 percentage points, respectively. The results showed that the brown rice treated by ultrasonic had a relatively complete structure of cortex. At the same time, the chemical composition and nutritional quality of brown rice was little lost. The evaluation of textural characteristics showed that the hardness of brown rice was reduced, chewiness and elasticity were increased with the increase of processing temperature, and the adhesion and adhesiveness were not changed. The results further showed that the brown rice treated by ultrasonic had a better sensory quality and can be easily accepted by consumers. The groove ultrasonic can be applied to cook high quality brown rice, which indicated that the groove ultrasonic had a certain application value in the brown rice processing and it had broad application prospects.

Key words: brown rice; ultrasonic; physicochemical properties; textural characteristic; sensory quality

引言

糙米是稻谷脱壳后的米粒, 由皮层、胚乳、胚芽

组成, 是一种富含蛋白质、脂肪、膳食纤维、维生素、 γ -氨基丁酸以及微量元素等成分的全谷食品。其60%~70%的维生素、矿物质和大量必需氨基酸都

收稿日期: 2016-05-04 修回日期: 2016-06-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(31301498)和西北农林科技大学基本科研业务费专项资金项目(Z109021424)

作者简介: 王周利(1984—), 男, 讲师, 博士, 主要从事农产品加工与安全控制研究, E-mail: wzl1014@nwsuaf.edu.cn

通信作者: 崔璐(1981—), 女, 实验师, 博士, 主要从事食品工程与农产品加工研究, E-mail: cuiluctl@nwsuaf.edu.cn

集中在皮层组织中,食用糙米对促进人体健康有重要的作用。但是糙米皮层中含有较多的粗纤维和籽粒外蜡质层,严重阻碍了蒸煮过程中水分向糙米中心渗透,造成蒸煮时间过长^[1-2]。采用简便易行的方法处理糙米表面皮层,有效降低对水分的阻碍作用并缩短糙米的最适蒸煮时间是各国学者们研究的热点^[3-4]。目前,最常见的糙米皮层处理方法是研磨法,但这种方法中糙米营养物质的损失比较严重。除此之外,还有酶处理法^[5-6]、制造裂纹法^[7]、发芽法^[8-10]以及部分糊化法^[11-13],其中发芽法研究较多、应用广泛,但存在处理时间长的缺点^[14];其余方法多处于理论研究阶段,工业化实际应用较少。因此,寻求一种方便可行的糙米处理方法,既能最大限度地保持糙米的全谷品质,又能有效地保持甚至改善其理化特性及食味特性。

超声波技术作为一种物理处理方法在诊断学、工程学、治疗学、生物学等领域已被成功应用,并在食品加工和食品检测中引起广泛关注^[15-18]。研究发现,以超声波方法为核心进行糙米处理可以有效缩短米粒的最适蒸煮时间^[19]。课题组也曾开展了超声波处理对糙米最适蒸煮时间、吸水特性及化学成分等影响研究,并建立了不同条件下糙米处理过程中水分扩散模型和动力学方程^[20-21]。但是,超声波处理糙米的品质特性、食味品质等基础数据缺乏,质构特性和感官品质评价方法与变化信息不明确,超声波处理对糙米营养品质变化评价缺少相关数据。

因此,本文以槽式超声波处理为手段对糙米进行处理,并对处理后糙米的白度、透光率、碾白度、持水力、体积膨胀和固形物损失率等品质指标进行分析,对糙米的质构特性和食味品质进行评价,以期建立超声波处理中糙米理化特性及食味品质评价体系,为超声波技术在糙米加工业中的应用提供工艺参数和理论依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

糙米,购自美国 Pacific International Rice Mill 公司(Fairfiled, CA, USA),20℃保存,初始干基含水率为 $(13.6 \pm 0.8)\%$,试验前去除异物、不成熟粒以及病虫害颗粒。

白米制备:采用碾米机制备白米。根据美国农业部联邦谷物协会制定的碾磨标准,将碾米机的产出率设定为 1,碾米白度设定为 5,糙米在碾米机内研磨一遍获得的米称为白米,研磨 4 遍获得精白米。

超声波处理的糙米样品:将随机选取的糙米装入 30 cm × 20 cm 的纱网袋,浸入水中并固定在超声波装置的中心位置。设定处理温度为 25、40、55℃ 3 个梯度,在超声波频率 16 kHz、功率 2 000 W 条件下对样品处理 30 min。处理完毕后捞出网袋沥水 1 min,然后将糙米平铺于玻璃盘上以蒸发表面多余水分(10 min),进行称量后在室温(20℃)下用鼓风机干燥至初始含水率,评价其相关理化指标和食味品质,并以未处理的糙米原料、白米和精白米为参考进行比较。

1.2 主要仪器设备

VP-222N 型碾米机(日本 Yamamoto 公司);MM1D 型白度计(日本 Satake Corporation 公司);TA.XT PLUS/50 型物性测定仪(英国 Texture Technologies 公司);DGX-9143BC 型干燥箱(上海福马实验设备有限公司);HH-60 型水浴锅(常州国华仪器有限公司)。槽式超声波仪为实验室定制(美国 advanced sonic processing systems),对糙米的处理示意图如图 1 所示。

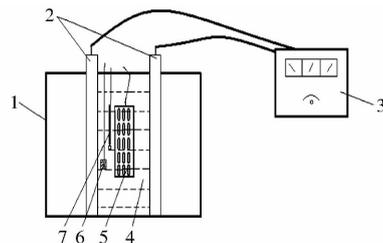


图 1 槽式超声波处理糙米示意图

Fig. 1 Schematic diagram for treatment of brown rice by ultrasonic

1. 水槽 2. 超声波发生器 3. 换能器 4. 糙米样品 5. 水
6. 冰块 7. 温度计

1.3 糙米品质特性评价方法

1.3.1 外观品质

超声波处理的糙米其干燥后米粒硬度降低,导致出白率不准确,因此采用透光率、白度指数和碾白度 3 个指标评价米粒的外观品质。试验中采用白度计对米粒的透光率和白度进行测定:机器预热后用设备自带的白色、棕色和黑色色块进行校准,然后将样品装入样品盒中,插入检测室进行检测并记录显示屏显示值;碾白度由白度和透光率计算而来。

1.3.2 营养成分

依照美国分析化学家协会(AOAC)标准中的 992.15、979.10、922.06、920.86 和 992.03,对不同超声波处理样品的蛋白质、总淀粉、总脂肪、粗纤维和维生素 E 等化学成分含量进行测定,同时采用 AOAC 标准的 991.43 测定淀粉中支链淀粉含量。

1.3.3 米粒蒸煮特性

按照质量比 1:2.5 将米粒与蒸馏水放置于铝盒中,在不锈钢蒸锅中蒸制一定时间,停止加热并将样品冷却至室温。其中,糙米对照样品、白米、精白米的最适蒸煮时间分别为 39.6、24、23 min;超声波温度为 25、40、55℃ 3 个梯度时对应的糙米最适蒸煮时间分别为 37.3、35.3、33.3 min^[20]。在设定条件下处理样品,并评价米粒蒸煮特性的变化。

(1) 固形物损失率

米粒的固形物损失率为蒸煮过程中分散到米汤中的固形物质量占原料米质量的百分比。测定方法为一定质量的样品蒸煮后,用筛子滤去米粒,将米汤倾入已知质量的铝盒中,在 105℃ 下干燥至质量恒定,米粒固形物损失率计算公式为

$$S = \frac{S_i}{W_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中 S_i ——米汤中固形物质量, g

W_0 ——原料米质量, g

(2) 持水率

米粒持水率是衡量米粒在蒸煮过程中吸水能力的指标,计算公式为

$$T = \frac{W_i}{W_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中 W_i ——样品蒸煮后质量, g

(3) 体积膨胀率

将样品蒸煮至最适蒸煮时间后冷却至室温,用体积置换法测定同一份样品蒸煮前、后的体积。样品蒸煮前后的体积膨胀率计算公式为

$$V = \frac{V_i}{V_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中 V_i ——样品蒸煮后的体积, cm³

V_0 ——样品蒸煮前的体积, cm³

1.4 糙米饭食味评价

1.4.1 糙米饭质构特性

利用质构仪进行糙米饭质构特性的测定,测试

程序为 TPA (Two-profile analysis), 探头直径 6 mm、测前速度 1 mm/s、测试速度 0.5 mm/s、测后速度 1 mm/s、压缩比例 90%。每份样品随机选取 15 颗完整米粒进行 TPA 测定,去掉每组样品的最大值和最小值,以 13 次测定值的平均值为测定结果,获得糙米饭的硬度、粘附性、弹性、粘聚性和咀嚼度等基础数据。

1.4.2 糙米饭感官品评

依据 GB/T 15682—2008 挑选和培训评价员,并参照 GB/T 15682—2008 进行糙米饭的感官评价。评价项目为外观、颜色、气味、硬度、粘度以及总体接受度。评价中,以未进行超声波处理的糙米饭为对照样品,参照分数为每项 5 分,总分 30 分;并以 5 分为评分基准,上下浮动各 4 个档次,即每项满分 9 分,总分为 54 分。为了跟踪评价的稳定性,将对照样品随机放入被测试样中进行感官评价。

2 结果与分析

2.1 糙米粒外观品质

超声波处理对糙米粒外观品质的影响如图 2 所示。

糙米对照样品、白米及精白米的白度指数分别为 20.8、31.4 和 41.7;经过超声波处理后糙米粒的白度指数为 25.0~26.0,与糙米对照样品相比提高了 4.2~5.2,这主要是由于超声波处理使糙米粒皮层中可溶性成分流失,使白度指数增加。同时,糙米对照样品、白米和精白米的透光率分别为 0.65%、1.85% 和 3.15%,经过超声波处理的糙米粒透光率为 0.55%~0.57%,与糙米对照样品相比,超声波处理的糙米粒透光率降低了 0.08~0.10 个百分点,二者没有显著差异。白米及精白米的碾白度分别为 51.5% 和 102.7%,说明研磨一遍后白米的皮层完整性约为 1/2,而经过多次碾磨后精白米的皮层完全破坏;而糙米对照样品和

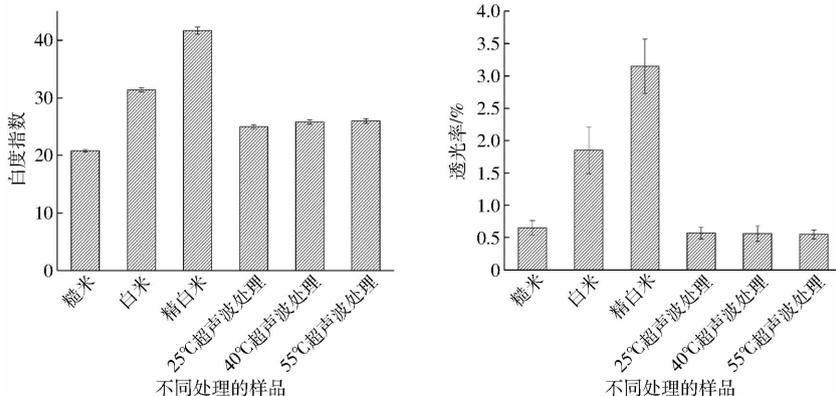


图 2 不同处理对米粒外观品质的影响

Fig. 2 Effects of different treatments on appearance quality of rice sample

超声波处理的糙米粒碾白度均为零,说明超声波处理并未破坏糙米表面皮层的完整性。因此,超声波处理的糙米粒白度指数略有增大,而透光率和碾白度变化较小。

2.2 糙米化学成分

化学成分是评价米粒营养特性的关键指标。本研究中超声波处理前、后的糙米、白米及精白米的化学成分分析如表 1 所示。

表 1 不同处理糙米的化学组成

Tab. 1 Chemical composition of different treated rice samples

类别	粗纤维质量分数/ %	脂肪质量分数/ %	维生素 E 质量比/ ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	蛋白质质量 分数/%	淀粉质量 分数/%
糙米	1.20 ± 0.04 ^a	3.27 ± 0.05 ^a	15.8 ± 0.52 ^a	7.72 ± 0.23 ^a	73.8 ± 2.17 ^b
白米	0.92 ± 0.05 ^b	1.64 ± 0.07 ^b	4.2 ± 0.11 ^b	7.15 ± 0.22 ^b	78.1 ± 1.96 ^a
精白米	0.50 ± 0.06 ^c	0.86 ± 0.04 ^c	0.06 ± 0.06 ^c	6.83 ± 0.19 ^b	81.1 ± 2.31 ^a
25℃ 超声波处理	1.26 ± 0.08 ^a	3.19 ± 0.16 ^a	15.6 ± 0.42 ^a	7.62 ± 0.28 ^a	73.5 ± 3.09 ^b
40℃ 超声波处理	1.31 ± 0.07 ^a	2.92 ± 0.11 ^a	15.7 ± 0.39 ^a	7.61 ± 0.33 ^a	73.9 ± 2.66 ^b
55℃ 超声波处理	1.29 ± 0.06 ^a	3.01 ± 0.19 ^a	13.7 ± 0.31 ^a	7.61 ± 0.27 ^a	73.4 ± 2.83 ^b

注:同列数值后不同字母表示在 $P < 0.05$ 水平差异显著,下同。

研究结果表明,超声波处理后糙米的粗纤维含量与未处理的糙米样品相比没有明显差异,说明超声波处理没有造成糙米粗纤维的流失;而随着研磨次数的增加,白米和精白米的粗纤维含量急剧下降。超声波处理对糙米中脂肪和维生素 E 的含量变化影响不显著,而白米和精白米中脂肪和维生素 E 的含量显著降低,尤其是精白米更为严重,说明脂肪和维生素 E 主要存在于皮层中,研磨次数越多损失越

严重。另外,不同处理获得的糙米样品中蛋白质和淀粉的含量没有显著差异。说明超声波处理没有对糙米的化学组成造成显著影响。

2.3 糙米蒸煮特性

持水率、体积膨胀率和固形物损失率是评价糙米蒸煮特性的重要指标。图 3 为不同处理过程中糙米的持水率、体积膨胀率和固形物损失率变化。

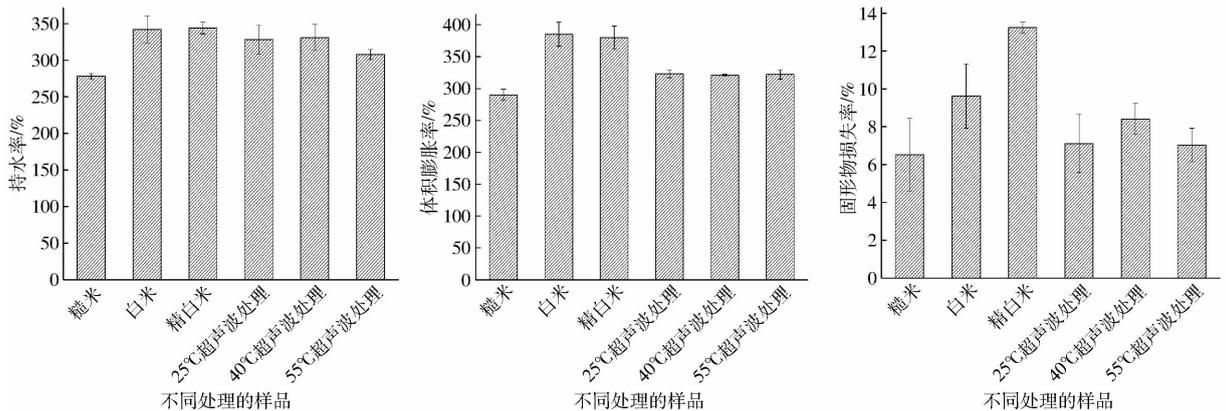


图 3 不同处理对糙米蒸煮特性的影响

Fig. 3 Effects of different treatments on cooking property of rice sample

从图 3 可以看出:糙米对照样品、白米和精白米的持水率分别为 278%、342% 和 344%;经过超声波处理后,糙米的持水率增加,在 25℃ 和 40℃ 条件下效果尤为显著,分别为 328% 和 331%;55℃ 条件下超声波处理的糙米持水率为 308%,略低于其余 2 个温度下处理的糙米,这种现象主要是由高温处理过程中淀粉流失造成的。相对于糙米对照样品,超声波处理可以使糙米的持水率增加 30~53 个百分点。皮层的完整性是影响糙米蒸煮过程中体积膨胀程度的关键因素。研究表明,糙米对照样品、白米和精白米的体积膨胀率分别为 290%、385% 和 380%,

在蒸煮过程中白米和精白米的体积膨胀率并无显著差异,但是比糙米对照样品增加了 90 个百分点,说明除去皮层对米粒的体积膨胀率影响较大;经过 25、40、55℃ 条件下超声波处理的糙米粒体积膨胀率分别为 323%、321%、322%,即超声波处理的糙米体积膨胀率比糙米对照样品增加了 30 个百分点。糙米对照样品、白米和精白米的固形物损失率分别为 6.52%、9.63% 和 13.25%,相应地,25、40、55℃ 条件下超声波处理的糙米固形物损失率分别是 7.12%、8.42%、7.09%,其与糙米对照样品相比增大了 0.57~1.90 个百分点,说明糙米皮层在蒸煮过

程中起到了屏障作用,阻挡了胚乳中固形物向外界的扩散。因此,超声波处理使糙米的持水率增加了30~53个百分点、体积膨胀率增加了30个百分点,同时,可以有效降低在蒸煮过程中米粒的固形物损失。

2.4 糙米饭质构特性

由于蒸煮过程中米粒淀粉糊化过程使糙米表面裂开、糙米饭表面皮层分布不均,导致糙米饭质构特性有较大的变异。不同处理下糙米饭的质构特性如表2所示。

表2 不同处理样品的质构特性分析

Tab.2 Texture characteristics of differently treated brown rice samples

类型	硬度/g	粘附性/(g·s)	弹性	粘聚性	咀嚼度/g
糙米	806.54 ± 149.43 ^a	-22.47 ± 5.58 ^a	0.48 ± 0.19 ^{bc}	0.14 ± 0.02 ^c	61.88 ± 40.91 ^{bc}
白米	756.34 ± 183.19 ^a	-44.23 ± 9.54 ^b	0.65 ± 0.15 ^a	0.22 ± 0.14 ^a	115.30 ± 5.56 ^a
精白米	737.51 ± 193.38 ^a	-67.06 ± 5.80 ^c	0.41 ± 0.09 ^c	0.17 ± 0.03 ^{ab}	54.48 ± 21.62 ^{bc}
25℃超声波处理	684.97 ± 171.42 ^a	-23.18 ± 0.48 ^a	0.60 ± 0.20 ^{ab}	0.15 ± 0.02 ^c	65.06 ± 14.85 ^a
40℃超声波处理	761.35 ± 156.78 ^a	-24.30 ± 8.40 ^a	0.60 ± 0.19 ^{ab}	0.16 ± 0.02 ^{bc}	72.02 ± 31.20 ^a
55℃超声波处理	741.59 ± 203.29 ^a	-28.61 ± 0.77 ^a	0.68 ± 0.20 ^a	0.17 ± 0.03 ^{ab}	81.48 ± 27.45 ^b

(1)米饭硬度与其处理方式有较大的关系:糙米对照样品制备的米饭硬度最大(806.54 g),其次为白米和精白米样品;超声波处理的糙米饭样品硬度最小,为684.97 g,数值明显降低且处理温度对糙米饭硬度的影响不显著。说明米饭的硬度与米粒皮层完整性直接相关:皮层越完整,米饭硬度越大,随着皮层的去除,米饭硬度呈现下降趋势。超声波处理可以降低糙米饭的硬度。

(2)以糙米对照样品、白米、精白米制备的米饭粘附性绝对值分别为22.47、44.23、67.06 g·s,经超声波处理的糙米饭样品粘附性绝对值为23.18~28.61 g·s,其与糙米对照样品的粘附性之间并没有显著差异。另外,随着超声波处理温度的升高,糙米饭样品的粘附性绝对值呈现逐渐增大的趋势。这说明糙米饭的粘附性与其皮层结构相关,去除皮层可以显著升高米饭的粘附性,因此超声波处理并未改变糙米饭的粘附性。

(3)弹性是评价米饭质构特性的重要指标之一。研究中,由于样品表面存在的少量皮层构成了一定的支架,有效增加了米粒的弹性,白米制备的米饭和超声波处理的糙米饭弹性值均保持在0.6以上;而糙米对照样品皮层结构完整,相应的弹性值较低;完全去除皮层的精白米,其在蒸煮过程中容易产生空洞,米饭弹性保持在较低的水平,因此,糙米对照样品和精白米制备的米饭弹性值较低。

(4)糙米对照样品、白米、精白米制备的米饭粘聚性分别为0.14、0.22、0.17,超声波处理的糙米饭粘聚性为0.15~0.17。从平均值比较,白米制备的米饭粘聚性最高,而糙米对照样品制备的米饭粘聚性最小,超声波处理对糙米饭的粘聚性没有显著影响。

(5)通过结果比较可以看出,以糙米对照样品、

白米、精白米制备的米饭咀嚼度分别为61.88、115.30、54.48 g,超声波处理的糙米饭样品咀嚼度为65.06~81.48 g,即白米米饭的咀嚼度最高,精白米米饭的咀嚼度最低。超声波处理可以在一定程度上增加糙米饭的咀嚼度,且超声波处理温度越高,对糙米饭咀嚼度增加越明显。因此,超声波处理可以降低糙米饭的硬度,提高其弹性和咀嚼度,而对糙米饭的粘附性和粘聚性影响不大。

2.5 糙米饭感官特性

以超声波处理前、后的糙米粒为基础原料制备获得糙米饭,并对其感官特性进行评价,结果如表3所示。

(1)通过比较可知,糙米饭对照样品的外观评分为5.25,超声波处理的糙米饭样品其外观评分5.17~6.25,其中25℃和55℃超声波处理的糙米饭在外观上与对照保持同一水平,而40℃超声波处理的糙米饭具有很高的外观平均值,比对照样品的评分高19%。

(2)糙米饭对照样品的颜色评分为5.42,超声波处理的糙米饭样品颜色评分为6.33~6.67,这主要是由于超声波处理的糙米饭在蒸煮过程中暴露了较多的胚乳,其颜色评分上比未处理的糙米饭更好。

(3)糙米饭对照样品的气味评分为5.42,25℃和55℃超声波处理的糙米饭样品气味评分略高于对照样品,分别为6.25和5.75,而40℃超声波处理的糙米饭样品香味评分为5.08,其略低于对照样品,说明超声波处理后糙米饭的香气物质略有提高,但是其变化规律不明显。

(4)糙米饭对照样品的硬度和粘度评分为5.92和5.58,而超声波处理样品的硬度和粘度分别为5.17~6.00和4.75~6.08。随着超声波处理温度的升高,糙米饭的硬度呈现下降趋势,这一结果与质

表 3 糙米饭样品的感官评价结果
Tab.3 Evaluation result of sensory qualities of brown rice

感官特性	类别			
	糙米	25℃ 超声波处理	40℃ 超声波处理	55℃ 超声波处理
外观	5.25 ± 1.86 ^a	5.17 ± 1.75 ^a	6.25 ± 1.60 ^a	5.17 ± 1.64 ^a
颜色	5.42 ± 1.44 ^b	6.33 ± 0.89 ^{ab}	6.67 ± 1.07 ^b	6.50 ± 1.57 ^a
气味	5.42 ± 1.62 ^a	6.25 ± 1.71 ^{ab}	5.08 ± 1.24 ^a	5.75 ± 1.22 ^b
硬度	5.92 ± 1.98 ^a	6.00 ± 1.48 ^a	5.67 ± 1.56 ^a	5.17 ± 1.90 ^a
粘度	5.58 ± 1.56 ^a	6.08 ± 1.44 ^a	4.75 ± 1.86 ^a	5.75 ± 1.66 ^a
接受度	4.83 ± 1.95 ^a	6.33 ± 0.98 ^b	5.42 ± 1.51 ^{ab}	5.42 ± 2.02 ^{ab}
总分	32.42 ± 6.5 ^a	36.17 ± 4.73 ^a	33.83 ± 6.46 ^a	33.75 ± 6.68 ^a

构仪测试结果吻合,说明超声波处理可以降低糙米饭的硬度。另外,粘度变化不规律,40℃ 超声波处理的糙米饭粘度评分最低。在统计学上,不同处理下糙米饭样品的硬度和粘度均没有显著差异。

(5)对糙米饭接受度的调查反映了消费者对其作为食物的接受度。评价结果表明:25、40、55℃ 超声波处理的糙米饭接受度评分是 5.42 ~ 6.33;糙米饭对照样品的接受度评分为 4.83,说明经过超声波处理的糙米饭更容易接受。总体来说,超声波处理的糙米饭其感官评价总分高于糙米饭对照样品,且 25℃ 超声波处理的糙米饭具有最高的感官综合评分,40℃ 和 55℃ 超声波处理的糙米饭样品评分略低。

3 结束语

研究了槽式超声波处理对糙米品质特性及食味的影响,结果表明:经过不同温度条件下超声波处理

的糙米粒,白度指数提高了 4.2 ~ 5.2,透光率降低了 0.08 ~ 0.1 个百分点,而碾白度没有变化;超声波处理使糙米粒的持水率增加了 30 ~ 53 个百分点、体积膨胀率增加了 30 个百分点、固形物损失率增大了 0.57 ~ 1.9 个百分点。因此,超声波处理的糙米粒白度指数略有增大,而透光率和碾白度变化较小;糙米的持水率和体积膨胀率显著增加并可以有效保留糙米粒中的固形物。说明超声波处理并未破坏对糙米样品完整的皮层结构,可以有效避免后续加工过程中固形物损失,对于保证糙米的食用品质具有重要的影响。同时,超声波处理对糙米的化学组成和营养成分没有显著影响,且可以降低糙米饭的硬度,提高其弹性和咀嚼度,并对粘附性和粘聚性影响不大。感官评价结果表明,超声波处理的糙米样品感官评价总分均高于糙米对照样品,且 25℃ 超声波处理的糙米饭具有最高的感官综合评分,40℃ 和 55℃ 超声波处理的糙米饭样品评分略低。

参 考 文 献

- 1 谢海伟,郭勇. 食用糙米的应用前景和加工技术的探讨[J]. 现代食品科技, 2005, 21(2): 175 - 179.
XIE Haiwei, GUO Yong. Application forecast and process technology of edible brown rice [J]. Modern Food Science and Technology, 2005, 21(2): 175 - 179. (in Chinese)
- 2 王赫男,王静. 糙米的综合利用[J]. 北京工商大学学报:自然科学版, 2012, 30(3): 49 - 52.
WANG He'nan, WANG Jing. General utility of brown rice [J]. Journal of Beijing Technology and Business University: Natural Science Edition, 2012, 30(3): 49 - 52. (in Chinese)
- 3 张文昊,邓媛元,魏振承. 几种糙米的营养成分及抗氧化活性对比[J]. 现代食品科技, 2013, 9(5):1119 - 1122.
ZHANG Wenhao, DENG Yuanyuan, WEI Zhencheng. Comparison of nutrition composition and antioxidant activity of several brown rice [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 9(5):1119 - 1122. (in Chinese)
- 4 齐琳琳,于亮,于勇. 糙米的营养价值及其加工技术研究进展[J]. 中国食物与营养, 2015, 21(3): 68 - 71.
QI Linlin, YU Liang, YU Yong. Research advancement in the nutritional value and processing technologies of brown rice [J]. Food and Nutrition in China, 2015, 21(3): 68 - 71. (in Chinese)
- 5 MITHU Das, SUNEEL Gupta, VISHAL Kapoor, et al. Enzymatic polishing of rice—a new processing technology [J]. LWT—Food Science and Technology, 2008, 41(10): 2079 - 2084.
- 6 ZHANG Ruiyu, ZENG Jinlin. Study on conditions of enzymatic hydrolyzing anti-nutrition factor in brown rice [J]. Food Science, 2006, 27(11): 262 - 266.
- 7 TAGAWA A, MURAMATSU Y, NAGASUNA T, et al. Volume change of kidney beans soaking in water [J]. Transactions of the ASAE, 2002, 45(5):1505 - 1510.
- 8 HIDECHIKA Toyoshima, KEN'ICHI Ohtsubo, HIROSHI Okadome, et al. Germinated brown rice with good safety and cooking property, process for producing the same, and processed food therefrom: US 6685979 [P]. 2001 - 10 - 22.
- 9 JIN Liang, XIAO Peng, LU Yan, et al. Quantitative trait loci for brown rice color, phenolics, flavonoid contents, and antioxidant

- capacity in rice grain [J]. *Cereal Chemistry*, 2009, 86(6):609-615.
- 10 KIM Sang-You, PARK Hyun-Jun, BYUN Sang-Jin. Method for preparing germinated brown rice having improved texture and cookability without microbial contamination and a germinated brown rice obtained therefrom; US 7217436 [P]. 2007-05-15.
- 11 DERYCKE V, VERAVERBEKE W S, VANDEPUTTE G E, et al. Impact of proteins on pasting and cooking properties of nonparboiled and parboiled rice [J]. *Cereal Chemistry*, 2005, 82(4): 468-474.
- 12 AKEMI K Horigane, HITOSHI Takahashi, SACHIO Maruyama, et al. Water penetration into rice grains during soaking observed by gradient echo magnetic resonance imaging [J]. *Journal of Cereal Science*, 2006, 44(3): 307-316.
- 13 GENKAWA T, INOUE A, UCHINO T, et al. Optimization of drying condition for brown rice with low moisture content [J]. *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University*, 2007, 52(2): 381-385.
- 14 FISHER A V. A review of the technique of estimating the composition of livestock using the velocity of ultrasound [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 1997, 17(2): 217-231.
- 15 陈晓明, 李开绵, 台建祥, 等. 木薯皮总香豆素活性物质超声波提取工艺优化[J]. *农业机械学报*, 2012, 43(1): 158-165.
CHEN Xiaoming, LI Kaimian, TAI Jianxiang, et al. Response surface methodology on ultrasonic extraction technology of total coumarin from Cassava peel [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012, 43(1): 158-165. (in Chinese)
- 16 HUANG Q, LI L, FU X. Ultrasound effects on the structure and chemical reactivity of cornstarch granules [J]. *Starch*, 2007, 59(8): 371-378.
- 17 扈战强, 代飞云, 陈琴, 等. 超声波辅助酶处理对糙米理化特性的影响[J]. *中国粮油学报*, 2013, 28(5): 1-6.
HU Zhanqiang, DAI Feiyun, CHEN Qin, et al. The influence of ultrasound-assisted enzymatic treatment on physicochemical properties of brown rice [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2013, 28(5): 1-6. (in Chinese)
- 18 高振鹏, 岳田利, 袁亚宏, 等. 超声波对糖化酶解作用的影响[J]. *农业机械学报*, 2012, 43(10): 138-142.
GAO Zhenpeng, YUE Tianli, YUAN Yahong, et al. Effect of ultrasonic on enzymolysis for glucoamylase [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012, 43(10): 138-142. (in Chinese)
- 19 MASON T J, PANIWNKY L, LORIMER J P. The uses of ultrasound in food technology [J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 1996, 3(3): 253-260.
- 20 CUI Lu, PAN Zhongli, YUE Tianli, et al. Effect of ultrasonic treatment of brown rice at different temperatures on cooking properties and quality [J]. *Cereal Chemistry*, 2010, 87(5): 403-408.
- 21 崔璐, 冯艳芸, 胡亚云, 等. 探头式超声波处理对糙米理化特性和食用品质的影响[J]. *农业机械学报*, 2015, 46(10): 266-273.
CUI Lu, FENG Yanyun, HU Yayun, et al. Effect of ultrasonic probe treatment on physicochemical properties and taste quality of brown rice [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2015, 46(10): 266-273. (in Chinese)

(上接第 98 页)

- 19 CLIFT R, GAUVIN W H. Motion of entrained particles in gas streams [J]. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 1971, 49: 439-448.
- 20 BRUCATO A, GRISAFI F, MONTANTE G. Particle drag coefficients in turbulent fluids [J]. *Chemical Engineering Science*, 1998, 53(18): 3295-3314.
- 21 ZARIN A. Sphere drag in solid rockets-non-continuum and turbulence effects [J]. *Combustion Science and Technology*, 1971, 3(6): 273-285.
- 22 郭烈锦. 两相流与多相流动力学 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2002.
- 23 UHLHERR P H, SINCLAIR C G. The effect of freestream turbulence on the drag coefficients of spheres [C] // *Proceedings of Chemeca 1*, 1970.
- 24 唐学林, 余欣, 任松长, 等. 固液两相流体动力学及其在水力机械中的应用 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2006.
- 25 MESSA V, MALAVASI S. Numerical prediction of dispersed turbulent liquid-solid flows in vertical pipes [J]. *Journal of Hydraulic Research*, 2014, 52(5): 684-692.
- 26 KAUSHAL R, TOMITA Y. Experimental investigation for near-wall lift of coarser particles in slurry pipeline using γ -ray densitometer [J]. *Powder Technology*, 2007, 172: 177-187.
- 27 王福军. 流体机械旋转湍流计算模型研究进展 [J]. *农业机械学报*, 2016, 47(2): 1-14.
WANG Fujun. Research progress of computational model for rotating turbulent flow in fluid machinery [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2016, 47(2): 1-14. (in Chinese)
- 28 喻黎明, 邹小艳, 谭弘, 等. 基于 CFD-DEM 耦合的水力旋流器水沙运动三维数值模拟 [J]. *农业机械学报*, 2016, 47(1): 126-132.
YU Liming, ZOU Xiaoyan, TAN Hong, et al. 3D numerical simulation of water and sediment flow in hydrocyclone based on coupled CFD-DEM [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2016, 47(1): 126-132. (in Chinese)