

郭晓菲, 郭琪琪, 何志刚, 等. 大豆复水协同隔氧磨浆对脱除豆腥味及提高豆浆综合品质的影响 [J]. 福建农业学报, 2020, 35 (12): 1385-1390.
GUO X F, GUO Q Q, HE Z G, et al. Beany Note Reduction and Overall Quality Improvement on Soymilk by Optimized Processing [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2020, 35 (12): 1385-1390.

大豆复水协同隔氧磨浆对脱除豆腥味及提高豆浆综合品质的影响

郭晓菲^{1,2}, 郭琪琪^{2,3}, 何志刚^{2,3}, 梁璋成^{2,3}, 林晓姿^{2,3*}

(1. 福建农林大学食品科学学院, 福建 福州 350002; 2. 福建省农业科学院农业工程技术研究所, 福建 福州 350003;
3. 福建省农产品(食品)加工重点实验室, 福建 福州 350003)

摘要:【目的】研究协同控制复水参数及隔氧磨浆对脂肪氧化酶活力及豆浆风味等品质的影响, 为开发高品质大豆饮品提供理论与技术支持。【方法】比较大豆复水条件、磨浆温度、隔氧磨浆等因子对豆浆脂肪氧化酶活力的抑制效果, 获得较优的工艺参数。以此工艺参数为基础, 研究协同控制隔氧磨浆对去除豆腥味以及提高豆浆色泽、风味等综合品质的影响。【结果】(1) 大豆复水温度是影响脂肪氧化酶活力的主要因素, 热碱(80℃、pH 9)复水协同隔氧磨浆处理工艺对脂肪氧化酶活力的抑制效果最佳, 脂肪氧化酶活力仅为 $100 \pm 2.5 \text{ U} \cdot \text{mL}^{-1}$; (2) 在上述所得的最优复水条件下, 不同隔氧磨浆温度对大豆脂肪氧化酶活力的影响并不显著, 因此磨浆温度并非抑制脂肪氧化酶活力的关键因子; (3) 与室温复水非隔氧磨浆比较, 隔氧磨浆制得的豆浆脂肪氧化酶活力降低了99.67%, 总黄酮含量提高了24.77%, 豆腥味明显去除, 豆浆亮度、风味等综合品质明显提升, 最优处理参数协同隔氧磨浆的方式去除豆腥味效果最好, 豆浆综合品质最佳。【结论】大豆以浸泡液温度80℃、pH 9、浸泡时间60 min的复水工艺协同隔氧磨浆工艺制得的豆浆腥味最低, 综合品质最好, 本研究对高品质大豆饮品的开发具有重要的意义。
关键词: 大豆; 复水工艺; 隔氧磨浆; 脂肪氧化酶; 豆浆品质

中图分类号: TS 205.1

文献标志码: A

文章编号: 1008-0384 (2020) 12-1385-06

Beany Note Reduction and Overall Quality Improvement on Soymilk by Optimized Processing

GUO Xiaofei^{1,2}, GUO Qiqi^{2,3}, HE Zhigang^{2,3}, LIANG Zhangcheng^{2,3}, LIN Xiaozhi^{2,3*}

(1. College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China;

2. Institute of Agricultural Engineering Technology, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350003, China;

3. Fujian Key Laboratory of Agricultural Products (Food) Processing, Fuzhou, Fujian 350003, China)

Abstract: 【Objective】 Study the effects of coordinated control of rehydration parameters and oxygen-isolating refining on lipoxigenase activity and soybean milk flavor, and provide theoretical and technical support for the development of high-quality soybean drinks. 【Method】 The inhibition effects of factors such as rehydration conditions, refining temperature and oxygen-isolating refining on soybean milk lipoxigenase activity were compared, and the better process parameters were obtained. Based on the process parameters, the effect of coordinated control of oxygen-isolating refining on the removal of beany flavor and the color and flavor of soy milk was studied. 【Result】 (1) Rehydration temperature is the main factor affecting the activity of lipoxigenase in soybean, the hot alkali (80℃, pH 9) rehydration and oxygen-isolating refining treatment process has the best effect on the inhibition of lipoxigenase activity. The activity of lipoxigenase is only $100 \pm 2.5 \text{ U} \cdot \text{mL}^{-1}$; (2) Under the optimal rehydration conditions obtained in (1), the effect of different oxygen-isolating refining temperatures on soybean lipoxigenase activity is not significant. Therefore, refining temperature is not the key factor to inhibit the activity of lipoxigenase; (3) Compared with oxygen refining at room temperature, the lipoxigenase activity of soymilk prepared by oxygen-isolating refining is reduced by 99.67%, the total flavonoid content is increased by 24.77%, the beany smell is obviously removed, and the comprehensive quality of soy milk, such as brightness and flavor, was also significantly improved.

收稿日期: 2020-05-21 初稿; 2020-09-24 修改稿

作者简介: 郭晓菲(1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品贮藏与加工 (E-mail: skygxf123@163.com)

* 通信作者: 林晓姿(1975-), 女, 研究员, 研究方向: 农产品贮藏与加工 (E-mail: njgzx@163.com)

基金项目: 福建省科技计划区域发展项目(2019N3008)

So the optimal processing parameters combined with oxygen-isolating refining has the best effect in removing the beany flavor and improving the comprehensive quality of soy milk. 【Conclusion】 The results showed that under the cooperation of oxygen-isolating refining process, the lowest beany flavor and the best comprehensive quality were obtained by the process of rehydration with 80 °C soaking temperature, pH 9 and 60 min soaking time. This research is of great significance to the development of high-quality soybean beverages.

Key words: soybean; rehydration process; oxygen-isolating refining; lipoxygenase; soybean milk quality

0 引言

【研究意义】豆浆作为我国的传统饮品，自古以来备受广大群众喜爱，其消化率高达 97% 以上，营养丰富，具有减少骨质疏松、延缓女性更年期等作用^[1]。但豆浆制备过程中易因脂肪氧化酶的酶促反应，不饱和脂肪酸被氧化而产生豆腥味，影响豆浆风味^[2]，因此脱除豆腥味是提升豆浆加工品质的关键技术难题。【前人研究进展】脂肪氧化酶 LOX 是一种含非血红素铁的蛋白，酶蛋白由单肽链组成，是一种单一的多肽链蛋白质，其在成熟的大豆种子中含量很高，约占种子蛋白质含量的 1%~2%^[3]。脂肪氧化酶活力、底物浓度及氧的参与是脂肪酶促氧化决定性条件，其中底物浓度与大豆原料有关，脂肪酶活力主要受到酶的浓度、复水浸泡介质温度、pH 值的影响，控制氧的参与可采用隔氧磨浆工艺。因此豆浆生产过程中，大豆浸泡介质 pH 值、温度、磨浆温度等是目前用于钝化大豆脂肪氧化酶的主要工序^[4]。高温浸泡及高温磨浆是钝化脂肪氧化酶的主要因子，但过高的温度会致使大豆蛋白变性，而影响大豆蛋白的提取得率^[5-6]。本课题组前期研究明确了影响脂肪氧化酶活性的主要因素为浸泡温度、浸泡液 pH 以及浸泡时间，蛋白质提取得率达 90.76%，脂肪氧化酶活力被极显著抑制^[7]。【本研究切入点】目前国内关于豆浆脱腥的研究主要集中在控制浸泡液的工艺参数以及磨浆温度等方面，国外研究表明，隔氧能抑制脂肪氧化酶的脂质氧化反应^[8]。在磨浆过程将大豆与氧气隔绝的隔氧磨浆技术能否显著抑制脂肪氧化酶活性，从而减少豆腥味的产生？需要进一步探明，国内外鲜见豆浆隔氧磨浆的相关研究，该技术领域具有较大的发展空间。【拟解决的关键问题】本研究以豆浆隔氧磨浆为切入点，辅以本课题组前期所做研究获得的优化工艺参数，研究确定协同控制浸泡磨浆水的温度、pH 值及隔氧磨浆工艺参数，以显著抑制脂肪氧化酶活性，保持豆浆的风味等品质，为高品质大豆饮品的研究和利用提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

东北大豆，由三明市场晨食品有限公司提供。

其他试剂为：亚油酸、吐温 20、高效凯氏定氮催化剂片、碳酸氢钠、硫酸铜、浓硫酸、硼酸、甲基红指示剂、溴甲酚绿指示剂、亚甲基蓝指示剂、氢氧化钠、95% 乙醇，国产分析纯。

1.2 仪器与设备

Himac CR22N 高速冷冻离心机（日本日立有限公司），PHS-3C 数字式酸度计（上海埃依琪实业有限公司），K9840 海能自动凯氏定氮仪（山东海能科学仪器有限公司），K9840 石墨消解仪（山东海能科学仪器有限公司），UV1750 分光光度计（日本岛津公司），磨浆仪（改装的 PY-7910-01 汉佳欧斯），NS810 色度仪（深圳三恩驰有限公司）。

1.3 试验方法

1.3.1 不同浸泡复水结合隔氧磨浆工艺对脂肪氧化酶活力的影响 大豆原料经热风干燥、机磨脱皮后备用^[9]。设置 3 种浸泡复水结合隔氧磨浆工艺：处理 1：清水（pH 值 6.7）、温度 80 °C；处理 2：清水（pH 值 6.7）、室温（25 °C）；处理 3：碳酸氢钠溶液（pH 值 9.0）、温度 80 °C。各处理浸泡 60 min 后，把大豆滤出，另加与浸泡水重量相同且 pH 值 9.0 的室温水隔氧磨浆。以室温（25 °C）、清水（pH 值 6.7）浸泡的非隔氧磨浆为对照（CK），测定各处理的脂肪氧化酶活力，重复 3 次，取平均值分析。

隔氧磨浆采用改装后的磨浆仪进行充二氧化碳隔氧磨浆。用 $m(\text{料}) : m(\text{液}) = 1:10$ 浸泡复水后的脱皮大豆，置于隔氧磨浆仪中，先加 50% 的净水，并在浸泡液中通入二氧化碳，在隔氧状态下打浆 90 s，绢布过滤；滤渣与剩余 50% 净水混合，再次隔氧磨浆 90 s，绢布过滤，合并前后两次滤液待用。

1.3.2 隔氧磨浆不同温度处理对脂肪氧化酶活力的影响 取一定质量的脱皮大豆，按上述选优浸泡参数处理后，分别在料液温度为 40、50、60、70、80 °C 条件下隔氧磨浆，测定浆液脂肪氧化酶活力，重复 3 次，取平均值分析。

1.3.3 优选浸泡参数协同隔氧磨浆与非隔氧磨浆对豆浆品质的影响 取一定质量的脱皮大豆，按选优浸泡参数进行处理后，按上述优选磨浆温度分别进行非隔氧磨浆（处理 A）和隔氧磨浆处理（处理 B），以室温清水浸泡且非隔氧磨浆为对照（CK），比较

分析浆液脂肪氧化酶活力、蛋白质提取得率、LAB 色度及总黄酮含量的差异，并进行感观评价。

1.4 测定方法

1.4.1 脂肪氧化酶活力测定 根据石胜尧^[10]的方法稍加修改。将豆浆滤液于 $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $9\ 000\ \text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 20 min，重复两次取中间层滤液，稀释适当倍数测定。各取 250 μL 亚油酸和吐温 20 混合均匀，用 pH 9 的 $0.2\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 硼酸盐缓冲液将其定容至 200 mL 作为反应底物，于 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保藏。取 2.0 mL 底物和 0.9 mL 上述硼酸缓冲液，加入 0.1 mL 的稀释适当倍数的豆浆上清液混匀，在 234 nm 处测定吸光度随时间变化的曲线。将每分钟增加 0.01 个吸光值定义为一个酶活单位。

$$\text{脂肪氧化酶活性 (U}\cdot\text{mL}^{-1}) = A \times 60 \times k \times 3 / (0.01 \times 0.1)$$

式中：60 为反应时间为 60 s；0.01 为一个常数，即每分钟增加 0.01 吸光度所需的活性作为大豆脂肪氧化酶的一个活性单位；0.1 为 3 mL 反应体系中粗酶液的添加量；k 为 OD 值随时间变化的直线斜率；A 为粗酶液稀释倍数；3 为反应体系的体积。

1.4.2 蛋白质提取得率测定 大豆及豆浆中的蛋白质含量按 GB 5009.5—2016《食品中蛋白质的测定》^[11] 中规定的凯氏定氮法进行测定，蛋白质的换算系数为 6.25。

蛋白质提取得率 (%) = 豆浆蛋白质含量 \times 豆浆体积 / (大豆蛋白质含量 \times 浸泡大豆质量)^[12]

1.4.3 Lab 色度测定 Lab 色度仪 (NS810) 参数：光源设置：65D；观察者角度： 10° ；颜色空间：CIE LAB；其中采用 CIE $L^*a^*b^*$ 时， L^* 表示明度值； a^* 表示红/绿及 b^* 表示黄/蓝值；以水为空白对照， ΔL 、 Δa 、 Δb 分别为各处理组测得的 L^* 、 a^* 、 b^* 色度值与对照组之差；利用 Lab 色度仪测定样液。

1.4.4 总黄酮含量测定 根据李有宝^[13] 的方法稍加修改。制备芦丁标准溶液的标准曲线，于 510 nm

处比色测定，以 60% 乙醇为试剂空白。

样品脱脂处理：取离心后豆浆 15 mL 于离心管中，分别向离心管中添加预先配制好的 15 mL 酸性丙酮溶液 ($v_{\text{丙酮}}:v_{\text{蒸馏水}}:v_{\text{乙酸}} = 70:29.5:0.5$)。常温 $300\ \text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的条件下恒温振荡培养 3 h，在黑暗条件下静置 12 h， $10\ 000\ \text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 10 min，按照标曲制备方法在 510 nm 处测定溶液吸光度 A。

$$\rho = \rho_i \times 4.6 \times 1000$$

式中： ρ 为样品中总黄酮（以芦丁计）含量 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)； ρ_i 为测定样品中总黄酮（以芦丁计）含量 ($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)；4.6 为样品稀释倍数。

1.4.5 感观评价方法 请 10 位经培训、具有一定专业知识的品鉴者进行品尝，分别对豆浆的豆腥味、色泽、滋味（入口愉悦感及回甘感）及综合评价按上（非常喜欢和喜欢）、中（较喜欢）、下（一般）进行单因子评价。以豆腥味、色泽、滋味、综合评价的权重为 0.30、0.10、0.20、0.40 进行模糊综合评判和归一化分析。

1.5 数据处理

试验数据分析采用 DPS6.01 软件，每个指标测定 3 次平行数据进行相应的显著性分析。

2 结果与分析

2.1 大豆不同复水条件结合隔氧磨浆对脂肪氧化酶活力的影响

表 1 显示，处理 3 的脂肪氧化酶活力仅为 $100\ \text{U}\cdot\text{mL}^{-1}$ ，仅为 CK 组的 0.33%。浸泡复水温度为 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，脂肪氧化酶受到抑制效果极显著高于室温浸泡隔氧磨浆，同时提高浸泡液的 pH（处理 3），对脂肪氧化酶的抑制效果更好，脂肪氧化酶活力仅为 $100\ \text{U}\cdot\text{mL}^{-1}$ ，与各处理间差异均达极显著水平。试验结果还表明，大豆的复水条件对大豆磨浆脂肪氧化酶活力的影响差异显著，温度为其影响最为关键因子，提高 pH 值对抑制脂肪氧化酶活力有增效作

表 1 大豆复水工艺和隔氧磨浆对脂肪氧化酶活力的影响

Table 1 Effect of soybean rehydration conditions on lipoxigenase activity in soymilk prepared by optimized process

处理 Group	磨浆条件 Refining conditions	浸泡复水条件 Soaking and rehydration conditions		脂肪氧化酶活力 Lipoxigenase activity/ ($\text{U}\cdot\text{mL}^{-1}$)
		水温 Water temperature/ $^{\circ}\text{C}$	pH	
1	隔氧磨浆 Oxygen-isolating refining	80	6.7	240 \pm 7.1 Cc
2	隔氧磨浆 Oxygen-isolating refining	25	6.7	18 180 \pm 91.9 Bb
3	隔氧磨浆 Oxygen-isolating refining	80	9.0	100 \pm 2.5 Dd
CK	非隔氧磨浆 Oxygen refining	25	6.7	30 060 \pm 0.0 Aa

注：表中数据为平均值 \pm 标准差；同列数据后不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)，不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。表 2~4 同。

Note: Data are mean \pm standard deviation; those with different capitalized letters indicate significant differences at $P < 0.01$; and, those with different lowercase letters significant differences at $P < 0.05$. "—" means no germination. Same for Tables 2-4.

用。因此,热碱浸泡复水协同隔氧磨浆对抑制脂肪氧化酶活力效果最佳。

2.2 隔氧磨浆温度对脂肪氧化酶活力抑制效果

在成熟大豆种子中,含有脂肪氧化酶同工酶 LOX1、LOX2 和 LOX3。其中, LOX1 的含量最高、热稳定性较好; LOX3 含量仅次于 LOX1, 加热最易钝化; LOX2 加热易钝化, 含量最少, 但酶活性最高, 在豆浆挥发性风味物质的形成中起主要作用^[14-17], 故在本试验的大豆豆浆热处理条件下, 可能含有少量耐受 80 ℃ 高温的脂肪氧化酶同工酶, 其在热浸泡复水处理过程未能被钝化, 再采用低于 80 ℃ 温度磨浆仍能保持活力。因此根据 2.1 试验结果取最优参数, 在 pH 值 9.0、浸泡时间 60 min 条件下, 不同料液温度隔氧磨浆对豆浆脂肪氧化酶活力的影响不显著(表 2)。结果表明, 大豆在经热碱浸泡后进行隔氧磨浆, 磨浆工序的温度并非抑制脂肪氧化酶活力的关键因子, 对其参数无需控制。

表 2 隔氧磨浆温度对脂肪氧化酶活力的影响

Table 2 Effect of grinding temperature on lipoxygenase activity in soymilk

磨浆温度 Refining temperature/℃	脂肪氧化酶活力 Lipoxygenase activity/(U·mL ⁻¹)
40	95.0±5.0 Aa
50	97.1±3.0 Aa
60	103.2±3.1 Aa
70	100.0±0.2 Aa
80	105.3±5.4 Aa

2.3 碱液热浸泡协同隔氧磨浆对豆浆脱腥效果及综合品质的影响

脂肪氧化酶对豆浆的品质具有很大的影响, 能催化不饱和脂肪酸氧化产生过氧化氢产物被分解为

醛类、酮类、醇类等芳香类物质, 如 n-己醛和 n-戊醛, 为豆腥味的主要成分, 但其催化过程需要在有氧条件下进行, 隔氧磨浆在磨浆前通入二氧化碳使大豆与氧气隔绝, 阻止其氧化反应的进行, 从而有效降低豆浆的氧化程度, 减少其不良风味的产生^[18-20]。表 3 表明, 经水温 80 ℃、pH 值 9.0、隔氧时间 60 min、料液比 $m:m=1:10$ 浸泡后, 进行隔氧磨浆(处理 B)制得的豆浆, 与非隔氧磨浆(处理 A)比较, 脂肪氧化酶活力极显著降低, 为 100 U·mL⁻¹, 仅为 CK 组的 0.33%。豆浆的总抗氧化能力与其总黄酮含量呈显著正相关^[21], 总黄酮类化合物作为活性物质, 高温易导致其失活, 但在一定温度内总黄酮提取率随温度的上升而升高^[22], 因此经两个处理组的总黄酮含量均极显著高于对照组, 其中处理 B 所得的豆浆总黄酮含量提升了 24.77%, 达 584.8 mg·kg⁻¹; 各处理的蛋白质提取率无显著差异。

在与表 3 相同浸泡条件下的 Lab 色度测定中, 经隔氧磨浆制得的豆浆, 比照非隔氧磨浆, 浆液的亮度即 L*值显著提高, 红绿色调即 a*值显著降低, 而黄蓝色调 b*差异不显著, 且 ΔL 值较大表明浆液偏白, 见表 4。

对豆浆感官评价结果进行综合评判(表 5、6), 热碱浸泡协同隔氧磨浆及非隔氧磨浆(处理 A、B)制得的豆浆脱除豆腥味效果好, 品质均为上等, 而经室温复水非隔氧磨浆(CK)处理所得的豆浆品质处于下等。再进行归一化后综合排序, 根据豆浆品质对 3 个处理进行排序, 其优劣顺序为处理 B>处理 A>CK, 故经浸泡液 pH 9、水浴温度 80 ℃、时间 60 min 的热浸泡复水处理协同隔氧磨浆制得的豆浆去除豆腥味效果最好, 综合品质最佳。

表 3 隔氧与非隔氧磨浆对脂肪氧化酶活力与品质的影响

Table 3 Effects of vacuum-grinding on lipoxygenase activity and quality of soymilk

处理	磨浆方式 Refining conditions	浸泡复水条件 Soaking and rehydration conditions		脂肪氧化酶活力 Lipoxygenase activity/ (U·mL ⁻¹)	蛋白质提取率 Protein extraction yield/ %	总黄酮含量 Total flavonoid content/ (mg·kg ⁻¹)
		水温 Water temperature/℃	pH			
CK	非隔氧磨浆 Oxygen refining	25	6.7	30 060±0.0 Aa	92.3±1.0 Aa	468.7±10.0 Cc
A	非隔氧磨浆 Oxygen refining	80	9.0	150±3.0 Bb	90.8±1.0 Aa	646.2±5.1 Aa
B	隔氧磨浆 Oxygen-isolating refining	80	9.0	100±2.5 Cc	90.3±1.5 Aa	584.8±7.9 Bb

表 4 隔氧磨浆对豆浆 Lab 色度指标的测定
Table 4 Determination of Lab Color Index of Soy Milk with Oxygen-isolated Refining

处理 Group	磨浆方式 Refining conditions	Lab 色度 Lab Chroma					
		L*	a*	b*	△L	△a	△b
CK	非隔氧磨浆 Oxygen refining	58.69±0.08 Cc	-2.68±0.00 Aa	3.20±0.08 Bb	25.56±0.06 Cc	-1.90±0.01 Aa	2.60±0.11 Bb
A	非隔氧磨浆 Oxygen refining	59.47±0.16 Bb	-2.75±0.04 Bb	3.84±0.08 Aa	26.34±0.16 Bb	-1.97±0.04 Aa	3.24±0.07 Aa
B	隔氧磨浆 Oxygen-isolating refining	61.00±0.03 Aa	-2.87±0.02 Cc	3.81±0.04 Aa	27.88±0.03 Aa	-2.09±0.02 Bb	3.21±0.04 Aab

注：(1) 表中各处理磨浆方式与表3对应，表5~6同。(2) 对照组色度值：L*=33.13, a*=-0.78, b*=0.60。

Note: (1) The refining method of each treatment in the table corresponds to Table 3, and Tables 5 to 6 are the same. (2) Chromaticity of control group: L*=33.13, a*=-0.78, b*=0.60.

表 5 豆浆隔氧与非隔氧磨浆感官评价结果
Table 5 Sensory evaluation on soymilk

处理 Group	豆腥味 Beany			色泽 Color			滋味 Taste			综合评价 Comprehensive evaluation		
	上 Top	中 Middle	下 Bottom	上 Top	中 Middle	下 Bottom	上 Top	中 Middle	下 Bottom	上 Top	中 Middle	下 Bottom
CK	1	3	6	6	2	2	4	5	1	3	2	5
A	9	0	1	7	3	0	8	2	0	6	4	0
B	9	1	0	5	4	1	8	2	0	8	2	0

表 6 豆浆隔氧与非隔氧磨浆感官评价模糊变换结果
Table 6 Fuzzy transformation on sensory evaluation of soymilk

编号 Number	磨浆方式 Refining conditions	上 Top	中 Middle	下 Bottom
CK	非隔氧磨浆 Oxygen refining	0.290 0	0.290 0	0.420 0
A	非隔氧磨浆 Oxygen refining	0.740 0	0.230 0	0.030 0
B	隔氧磨浆 Oxygen-isolating refining	0.800 0	0.190 0	0.010 0

3 讨论与结论

由于大豆可能含有少量耐高温的脂肪氧化酶同工酶，其在热浸泡复水处理过程未被钝化，再采用低于 80 °C 的净水进行磨浆仍能保持活力，故不同磨浆温度对脂肪氧化酶活力的影响差异不显著，而采用隔氧磨浆不仅能显著抑制其酶活，阻止不饱和脂肪酸氧化产生的过氧化氢产物被分解为 n-己醛和 n-戊醛等芳香物质，减少腥味物质的产生，降低豆腥味，而且还能有效减缓其美拉德反应速率，对比非隔氧磨浆，豆浆的风味、色泽更佳，因此隔氧磨浆能够有效提高豆浆的综合品质。试验结果表明，大豆采用热碱复水协同隔氧磨浆工艺，大豆的复水浸泡温度为影响脂肪氧化酶活力的主要因子，碱性浸泡液对抑制脂肪氧化酶活性有增效作用，浸泡液温度 80 °C、pH 值 9、浸泡时间 60 min 为最佳处理参数，能显著抑制大部分脂肪氧化酶的活力，协同隔氧磨浆能使脂肪氧化酶活力降低至 CK 组的 0.33% ($100 \text{ U} \cdot \text{mL}^{-1}$)，去腥效果更佳。与非隔氧磨浆工艺

比，豆浆的总黄酮含量显著提升了 24.77%，蛋白质提取得率差异不显著，浆液亮度显著提高，综合评判以隔氧磨浆制备的豆浆去腥效果更好，综合品质更优。

参考文献：

- [1] 任向楠, 丁钢强, 程峰. 豆浆营养素含量及影响因素研究进展 [J]. *营养学报*, 2019, 41 (2): 198-203.
REN X N, DING G Q, CHENG F. Advances in nutritional composition of soybean milk and associated influential factors [J]. *Acta Nutrimenta Sinica*, 2019, 41 (2): 198-203. (in Chinese)
- [2] MOREIRA M A, TAVARES S R, RAMOS V, et al. Hexanal production and TBA number are reduced in soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] seeds lacking lipoxygenase isozymes 2 and 3 [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1993, 41 (1): 103-106.
- [3] 赵晓园. 大豆脂肪氧化酶活性影响因素研究及其应用[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2007.
ZHAO X Y. Research and Application of Influencing Factors of Soybean Lipoxygenase Activity and Its Application[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2007. (in Chinese).
- [4] 李娜. 干热预处理制备酶解全豆浆及其稳定性研究[D]. 天津: 天津

- 科技大学, 2018.
- LI N. Preparation of enzymatically hydrolyzed whole soybean milk by dry heat pretreatment and its stability[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2018. (in Chinese).
- [5] KWOK K C, LIANG H H, NIRANJAN K. Optimizing conditions for thermal processes of soy milk [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50 (17): 4834-4838.
- [6] DEAK N A, JOHNSON L A. Effects of extraction temperature and preservation method on functionality of soy protein [J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2007, 84 (3): 259-268.
- [7] 郭晓菲, 郭琪琪, 林晓姿, 等. 脱皮大豆等温吸水模型与复水磨浆工艺参数优化 [J]. 食品工业科技, 2020, 41 (13): 207-211, 226.
- GUO X F, GUO Q Q, LIN X Z, et al. Isothermal water absorption model of peeled soybean and optimization of process parameters of rehydration [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41 (13): 207-211, 226. (in Chinese)
- [8] OBATA A, MATSUURA M, KITAMURA K. Degradation of sulfhydryl groups in soymilk by lipoxygenases during soybean grinding [J]. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 1996, 60 (8): 1229-1232.
- [9] 孙晓欢, 李佳勋, 荣建华, 等. 干豆和湿豆制作豆浆的营养评价 [J]. 粮食与饲料工业, 2014 (11): 17-20.
- SUN X H, LI J X, RONG J H, et al. Nutritional assessment of soybean milk by dry beating and wet milling [J]. *Cereal & Feed Industry*, 2014 (11): 17-20. (in Chinese)
- [10] 石胜尧, 张延坤, 郭大发, 等. 大豆脂肪氧化酶活性的测定 [J]. 营养学报, 1996, 18 (3): 354-357.
- SHI S Y, ZHANG Y K, GUO D F, et al. Determination of soybean lipoxygenase activity [J]. *Journal of Nutrition*, 1996, 18 (3): 354-357. (in Chinese)
- [11] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [12] 张凤英, 隋明. 响应面法优化酱油蛋白质利用率的发酵条件 [J]. *食品研究与开发*, 2019, 40 (6): 52-56.
- ZHANG F Y, SUI M. Optimization of fermentation conditions of protein utilization in soy sauce using response surface methodology [J]. *Food Research and Development*, 2019, 40 (6): 52-56. (in Chinese)
- [13] 李有宝, 华晓曼, 陈今朝, 等. 两种豆浆制备工艺黄酮类物质与ABTS自由基清除能力比较研究 [J]. 粮油加工 (电子版), 2015 (12): 64-69.
- LI Y B, HUA X M, CHEN J Z, et al. Comparative study of flavonoids and ABTS radical scavenging activity in soybean milk with two technologies [J]. *Cereals and Oils Processing (Electronic Version)*, 2015 (12): 64-69. (in Chinese)
- [14] 李俊安. 苦荞胰蛋白酶抑制剂的纯化及特性研究 [J]. 生物化学杂志, 1991, 20 (4): 385-389.
- LI J A. Purification and characteristics of trypsin inhibitors in tartary buckwheat [J]. *Journal of Biochemistry*, 1991, 20 (4): 385-389. (in Chinese)
- [15] 李里特, 王海. 功能性大豆食品[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2002: 108.
- [16] 张雪丹. 大豆脂肪氧化酶的鉴定、纯化及其漂白β胡萝卜素的酶学特性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2008.
- ZHANG X D. Identification, Purification of Soybean Lipoxygenase and Enzymatic Properties of Bleached β-carotene[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2008. (in Chinese).
- [17] 曾祥博, 王葳, 张可心, 等. 无腥豆浆风味品质影响因素及常用加工技术研究进展 [J]. 食品工业, 2019, 40 (9): 307-311.
- ZENG X B, WANG W, ZHANG K X, et al. Research developments on influencing factors of flavor quality and processing technology of non-beany soymilk [J]. *The Food Industry*, 2019, 40 (9): 307-311. (in Chinese)
- [18] AXEROLD B, CHESBROUGH L. Lipoxygenase from soybeans [J]. *Plant Physiology*, 1981, 71 (5): 441-451.
- [19] 季秋燕, 孔祥珍, 华欲飞. 无氧磨浆工艺对腐竹品质的影响 [J]. 食品与机械, 2019, 35 (6): 177-181.
- JI Q Y, KONG X Z, HUA Y F. The effects of oxygen-insulated grinding process on the quality of Yuba [J]. *Food & Machinery*, 2019, 35 (6): 177-181. (in Chinese)
- [20] 张豪, 孔祥珍, 陈业明, 等. 磨浆工艺对速食豆腐粉浆料品质的影响 [J]. 食品与发酵工业, 2018, 44 (11): 210-215.
- ZHANG H, KONG X Z, CHEN Y M, et al. Effect of grinding technology on the quality of instant tofu powder [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2018, 44 (11): 210-215. (in Chinese)
- [21] 李有宝, 华晓曼, 陈今朝, 等. 2种加工工艺豆浆产品中黄酮类物质与总抗氧化能力的比较分析 [J]. 吉林农业大学学报, 2016, 38 (6): 759-765.
- LI Y B, HUA X M, CHEN J Z, et al. Comparative study of flavonoids and total antioxidant capacity in soybean milk with two processing technologies [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2016, 38 (6): 759-765. (in Chinese)
- [22] 雒江蕊, 于瑞洪. 知母总黄酮提取工艺的研究 [J]. 广州化工, 2017, 45 (16): 63-65.
- LUO J H, YU R H. Study on extraction technology of total flavonoids from anemarrhenae [J]. *Guangzhou Chemical Industry*, 2017, 45 (16): 63-65. (in Chinese)

(责任编辑: 翁志辉)