

# 苦荞芽粉对大豆生乳腥味的影响及应用研究

刘 绪<sup>1,2</sup>, 汪巧琴<sup>1</sup>, 文瑞悦<sup>1</sup>, 张又文<sup>1</sup>, 陈 璇<sup>1</sup>, 王华钦<sup>1</sup>, 曾晨阳<sup>1</sup>,  
刁 英<sup>1</sup>, 阳 婧<sup>1</sup>, 赵思屹<sup>1</sup>, 辛可启<sup>1\*</sup>, 卢梦茹<sup>1</sup>, 张华玲<sup>1,2</sup>

(1. 成都师范学院化学与生命科学学院, 成都 611100; 2. 特色园艺生物资源开发与  
利用四川省高校重点实验室, 成都 611100)

**摘要:** **目的** 研究苦荞芽粉对大豆生乳腥味的影响及其在大豆大樱桃酸奶中的应用。**方法** 通过单因素实验探究苦荞芽粉的添加量、作用温度及作用时间对大豆脂肪氧合酶酶活、总醛含量和感官评分的影响, 用正交实验优化工艺参数, 再以感官评分、大豆总醛含量和脂肪氧合酶活性为验证指标, 验证苦荞芽粉对大豆生乳脱腥效果。大豆生乳脱腥后加入大樱桃浆发酵得到大豆大樱桃酸奶, 并与未脱腥处理发酵的大豆大樱桃酸奶进行对比。**结果** 苦荞芽粉能抑制大豆脂肪氧合酶的活性, 减少大豆总醛的产生, 有效降低大豆生乳的腥味。苦荞芽粉用量、作用温度和时间对大豆总醛含量有显著影响( $P<0.05$ )。最佳脱腥参数: 作用温度为45°C, 作用时间为2.5 h, 苦荞芽粉添加量为2%, 此条件下试验组比对照组总醛含量降低59%, 脂肪氧合酶活性降低85%, 大豆生乳豆香味浓郁, 无腥味, 口感细腻, 无苦涩味, 色泽均匀, 感官评价为8.2分, 显著优于对照组( $P<0.05$ )。制成的大豆大樱桃酸奶呈粉红色、香气浓郁、口感细腻, 感官评分(86.00分)显著高于对照组, 蛋白质含量为3.59 g/100 g、脂肪为2.73 g/100 g、乳酸菌 $4.9\times 10^8$  CFU/mL, 大肠杆菌没有检出, 其余各项指标均达到国家标准要求。**结论** 在大豆生乳中添加苦荞芽粉能抑制脂肪氧合酶酶活, 降低总醛含量, 有效降低了大豆腥味, 经苦荞芽粉脱腥处理后的大豆生乳制成的大豆大樱桃酸奶品质更高, 这可为提高大豆制品的食用品质及相关食品的开发和应用提供参考。

**关键词:** 脱腥; 大豆生乳; 苦荞芽粉; 大豆脂肪氧合酶; 总醛含量

## Effects of tartary buckwheat bud powder on the beany flavour of soybean raw milk and application

LIU Xu<sup>1,2</sup>, WANG Qiao-Qin<sup>1</sup>, WEN Rui-Yue<sup>1</sup>, ZHANG You-Wen<sup>1</sup>, CHEN Xuan<sup>1</sup>, WANG Hua-Qin<sup>1</sup>,  
ZENG Chen-Yang<sup>1</sup>, DIAO Ying<sup>1</sup>, YANG Jing<sup>1</sup>, ZHAO Si-Yi<sup>1</sup>, XIN Ke-Qi<sup>1\*</sup>,  
LU Meng-Ru<sup>1</sup>, ZHANG Hua-Ling<sup>1,2</sup>

(1. College of Chemistry and Life Science, Chengdu Normal University, Chengdu 611100, China;  
2. Sichuan Provincial Key Laboratory for Development and Utilization of Characteristic  
Horticultural Biological Resources, Chengdu 611100, China)

**ABSTRACT: Objective** To study the effects of tartary buckwheat bud powder on the beany flavour of soybean raw milk and its application in soybean-big cherry yogurt. **Methods** The effects of tartary buckwheat bud powder

基金项目: 四川省科技厅重点项目(2021YFN0108)、国家创新创业训练计划项目(S202314389057)

Fund: Supported by the Akey Project of Science & Technology Department of Sichuan Province (2021YFN0108), and the National Innovation Entrepreneurship Training Program (S202314389057)

\*通信作者: 辛可启, 博士, 讲师, 主要研究方向为农产品保鲜及加工。E-mail: 401304605@qq.com

\*Corresponding author: XIN Ke-Qin, Ph.D, Lecturer, Chemistry and Life Science College, Chengdu Normal University, No.99, East of Haik Road, Chemistry and Life Science College, Chengdu Normal University, Chengdu 611100, China. E-mail: 401304605@qq.com

supplemental level, treatment temperature and treatment time on soybean lipoxygenase activity, total aldehyde content and sensory score were investigated by single factor experiment, the process parameters were optimized by orthogonal experiment. The deodorization effect of tartary buckwheat bud powder on soybean raw milk was verified by sensory score, total aldehyde content of soybean and lipoxygenase activity. Soybean big cherry yogurt was fermented by adding cherry juice and soybean raw milk after deodorization with tartary buckwheat bud powder, and compared with soybean-big cherry yogurt without deodorization treatment. **Results** Tartary buckwheat bud powder could inhibit the activity of soybean lipoxygenase, reduce the production of soybean total aldehyde, and effectively control the beany flavour of soybean raw milk. The content of total aldehyde in soybean was significantly affected by the dosage of tartary buckwheat bud powder, treatment temperature and treatment time ( $P < 0.05$ ). Optimal odor removal parameters was: The treatment temperature was 45°C, the treatment time was 2.5 h, and tartary buckwheat bud powder was supplemented with 2%. Under these conditions, the total aldehyde content and lipoxygenase activity of the experimental group were reduced by 59% and 85%, respectively, compared with the control group. The soybean raw milk had rich flavor and exquisite taste, no beany flavour and bitter taste, and had uniform color, and the sensory evaluation score was 8.2, which was significantly better than that of the control group ( $P < 0.05$ ). The produced soybean-big cherry yogurt was pink in color, rich in aroma and delicate in taste. The sensory score of 86.00 was significantly higher than that of the control group. The protein content was 3.59 g/100 g, the fat was 2.73 g/100 g, the lactic acid bacteria was  $4.9 \times 10^8$  CFU/mL, and no *Escherichia coli* was detected. **Conclusion** Adding tartary buckwheat bud powder to soybean raw milk can inhibit the activity of lipoxygenase, reduce the content of total aldehyde, and significantly reduce the beany flavour of soybean raw milk. The soybean-big cherry yogurt made from soybean raw milk after being treated with tartary buckwheat bud powder has higher quality, which can provide references for improving the edible quality of soybean products and the development and application of related foods. **KEY WORDS:** deodorization; soybean raw milk; tartary buckwheat bud powder; soybean lipoxygenase; total aldehyde content

## 0 引言

大豆, 属豆科草本植物, 发源于中国, 已有千年的栽植历史<sup>[1]</sup>, 富含多糖、异黄酮、多肽、磷脂和皂苷等生物活性成分<sup>[2]</sup>, 其蛋白含量与肉类相当, 是世界上植物蛋白的主要来源, 富含人体所需 9 种氨基酸<sup>[3-4]</sup>, 且不含胆固醇, 有降血脂、降血糖、抗氧化、保护肠胃、保护血液系统、神经系统、骨骼系统、增强免疫系统、治疗糖尿病、的功效<sup>[5-8]</sup>。大豆作为最主要且低成本的植物蛋白被广泛应用于食品加工, 制成豆浆、豆腐、豆皮、腐竹等特色产品<sup>[9]</sup>, 但在加工过程中会产生令人难以接受的豆腥味, 从而限制了大豆食品在全球范围内的销售和开发。大豆中脂肪氧合酶(lipoxygenase, LOX)诱导的酶促反应被认为是豆腥味形成的主要途径。在加工过程中, 大豆中脂肪氧合酶被水和氧激活, 催化多元不饱和脂肪酸氧化, 形成具有共轭双键脂肪酸氢过氧化物, 进而产生醇、酮、醛类等挥发性物质, 这些物质共同构成了大豆腥味体系, 其中醛类是腥味产生最主要的物质, 醛的味觉阈值很小, 食品中己醛含量达到 500  $\mu\text{g}/\text{kg}$  就会产生腥味<sup>[10-13]</sup>。

豆腥味形成后很难除去, 目前, 豆腥味的去除方法主要分为两个方面: 一是对脂肪氧合酶灭活; 二是消除或掩

盖脂肪氧合酶作用引起的豆腥味<sup>[14]</sup>。大豆中脂肪氧合酶活性在 40°C 以上时会下降<sup>[15]</sup>, 因此加热处理会使大豆中脂肪氧合酶失去活性, 从而抑制脂肪氧合酶的酶促反应。邢竺静等<sup>[16]</sup>通过顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法对经过烘烤、微波、烫漂等钝化处理的两种发芽大豆中的主要豆腥味物质进行了定性和定量分析, 发现脂肪氧化酶活性与豆腥味物质含量之间呈极显著正相关。热处理钝化酶脱腥具有操作简便、费用价格低廉、效果好等优点, 但易引起蛋白质热变性, 从而影响其营养价值。另外, 大豆脂肪氧合酶活性对 pH 高度敏感, 在 pH 7~9 区域内脂肪氧合酶活性最高, 可以通过添加酸或碱来调节溶液的 pH, 从而抑制脂肪氧合酶的活性。张世仙等<sup>[17]</sup>研究发现, 25%  $\text{NaHCO}_3$  溶液浸泡可使大豆中的脂肪氧化酶的相对酶活性下降 52%, 且豆乳的挥发性成分中总醛和正己醛含量均有明显下降。通过添加酸、碱进行脱腥对豆腥味也有一定的去除效果, 但化学药剂的废液处理及残留会对环境造成污染, 甚至危害人体健康。目前, 培育不含脂肪氧合酶的大豆种子可以在不损失任何营养物质和成本的情况下消除豆腥味的办法。大豆种子中主要含有 3 种脂肪氧合酶同工酶, 分别是 LOX1、LOX2 和 LOX3, 有研究已经鉴定出单、双和三脂肪氧合酶同工酶的天然或人工突变体, 并且使用这些突变

体利用 CRISPR-Cas9 系统进一步开发了一系列缺乏脂肪氧合酶的大豆品种<sup>[18-19]</sup>。虽然已经培育出不含脂肪氧合酶的大豆品种,但有研究者发现,在种植过程中会出现其他的脂肪氧合酶,因此大豆籽粒中仍存在豆腥味<sup>[20]</sup>。而且目前国际上对转基因食品安全问题争议很大,虽然没有直接证据证明食用已获批准作商业用途的基因改造作物会对人体造成伤害,但基因改造食物确实可能存在潜在的安全风险<sup>[21]</sup>。因此,要解决这些问题就要探究出一种安全健康、简单高效且富含营养物质的脱腥方法。

苦荞(*Fagopyrum tataricum*)属蓼科,是药食兼用的作物<sup>[22]</sup>，“三高”人群的理想食品,含有多种生物活性物质,包括多酚、蛋白质和多糖等,以芦丁、槲皮素等黄酮类为主要功能成分<sup>[23-25]</sup>,研究表明,芦丁、槲皮素均表现出抑制大豆脂肪氧合酶的活性<sup>[26]</sup>,且在防止酶促性脂氧化方面可能与常用的合成抗氧化剂丁基羟基茴香醚和二丁基羟基甲苯效果相当<sup>[27]</sup>。吴桂玲等<sup>[28]</sup>研究证明密蒙花黄酮类化合物对大豆脂肪氧合酶有抑制性作用。王敏等<sup>[29]</sup>研究表明苦荞黄酮有抗脂质过氧化的作用。此外植物所含的醛脱氢酶<sup>[30]</sup>可使大豆中的主要腥味成分醛转变为酸,从而降低大豆的腥味。苦荞中的黄酮类化合物几乎全部位于子叶,其含量随着萌发时间的延长而增加,在发芽6d时达到最大值<sup>[31-32]</sup>。由此推测,苦荞芽粉是一种理想的大豆去腥原料。基于此,本研究拟探究苦荞芽粉处理对大豆腥味的的影响,并将其用于大豆酸奶发酵,为大豆食品的加工和开发提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

大豆(市售);苦荞(市售);黑珍珠大樱桃(四川汉源县培养基地);嗜热链球菌、嗜酸乳杆菌、保加利亚乳杆菌、植物乳杆菌、干酪乳杆菌(北京川秀科技有限公司);脱脂奶粉(南京通盈生物科技有限公司)。

亚硫酸氢钠(分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司);碘单质(分析纯,天津市北辰方正试剂厂);碘化钾、硫代硫酸钠、淀粉指示剂(分析纯,天津市北联精细化学品开发有限公司);亚油酸(分析纯,安徽酷尔生物工程有限公司);吐温 20(分析纯,无锡市亚泰联合化工有限公司);硼酸(分析纯,成都市科龙化工试剂厂);柠檬酸、柠檬酸亚锡二钠(食品级,济南埃克森化工有限公司);L-半胱氨酸(食品级,河北省龙云食品添加剂)。

### 1.2 设备与仪器

5100B 紫外分光光度计(上海元析仪器有限公司);FA3204B 电子分析天平(精度 0.1 mg,上海精科天美科学仪器有限公司);JKC-11 高速台式离心机、SPX-250L 恒温培养箱(天津市泰斯特仪器有限公司);RHB 型手持式折光计(奋业光电仪器设备有限公司);800A 粉碎机(永康市红太

阳机电有限公司);ST-528 超微气流式粉碎机(赛特企业有限公司);DZT-6210 立式真空干燥烘箱(成都一恒科技有限公司);PY-Y813 磨浆仪(深圳普云电子有限公司);YJZQ-10 拍打式均质机(上海熙扬有限公司);01070009 高压蒸汽灭菌锅(上海宜川上岭仪表有限公司);KDC-12 低速台式离心机(安徽中科中佳科学仪器有限公司);SW-CJ-2F 无菌工作台(苏州苏洁净化设备有限公司)。

## 1.3 实验方法

### 1.3.1 实验步骤

#### (1)大豆去腥处理

苦荞芽粉的制备:将 1 kg 苦荞在室温下用水浸泡 10~12 h,沥干,放入白瓷盘中于 28℃恒温箱中培养,培养 6 d 后将芽剪出并置于 35℃真空干燥箱中干燥,粉碎过筛(80 目),得到苦荞芽粉。

生豆乳的制备:挑选籽粒饱满,大小基本一致,表面有光泽、无霉变的大豆(应符合 GB 1352—2023《大豆》的要求)。将大豆用纯水清洗,过滤杂质。将大豆在室温下水浸泡过夜,浸泡后的大豆用清水漂洗后,按照大豆与水质量比 1:8 加水磨浆后,经 3 层纱布两次过滤制成生豆乳。

在生豆乳中加入一定比例的苦荞芽粉,搅拌均匀,在一定的水浴温度下,处理一定的时间。

#### (2)大樱桃果浆制备

选择大小均一、呈黑紫色、无外伤、无褐变、新鲜成熟的大樱桃。用流水清洗,手工去核,沸水热烫 1 min 后,添加 0.02%柠檬酸、0.02%柠檬酸亚锡二钠、0.025% L-半胱氨酸的复合护色液,护色打浆,用 4 层纱布过滤备用。

#### (3)大豆大樱桃酸奶的制备

在苦荞芽粉处理后的生豆乳中加入适量的脱脂乳粉、蔗糖和葡萄糖混匀,进行标准化处理,于 95℃杀菌 10 min,冷却一定时间后,加入质量分数 24%的樱桃果浆混合均匀,均质后巴氏杀菌,冷却到 42℃,加入菌粉接种,接种量为 0.05 g/kg,于 42℃恒温发酵 12 h,将发酵后的酸奶放入 4℃冰箱中冷藏后熟 12 h,得到脱腥大豆大樱桃酸奶成品。以未经过处理的生豆乳制作的大豆大樱桃酸奶为对照。

### 1.3.2 单因素实验设计

取 5 组 200 mL 的生豆乳分别加入苦荞芽粉混合均匀,水浴加热,基础条件设置为苦荞芽粉 2%,以 45℃水浴加热 2 h。考查苦荞芽粉添加量(0%、1%、2%、3%、4%体积质量)对生豆乳中脂肪氧合酶酶活、总醛含量和感官品质的影响,并以生豆乳作对照组,分别考查水浴加热温度(30、35、40、45、50℃)及加热时间(1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 h)对生豆乳中脂肪氧合酶酶活、总醛含量和感官品质的影响。

### 1.3.3 正交实验设计

在单因素实验的基础上,确定因素 A(温度)、B(时间)、C(苦荞芽粉添加量)的水平,进行  $L_9(3^3)$ 正交实验设计(表 1)。

表 1 正交实验因素水平表  
Table 1 Levels of orthogonal experimental factors

水平	因素		
	温度/°C	时间/h	苦荞芽粉添加量/%
1	40	2.0	2
2	45	2.5	3
3	50	3.0	4

### 1.3.4 感官评价

#### (1)大豆生乳感官评价

参照文献[33]的方法并有所改动,设置评价指标为气味、口味、色泽及组织状态,满分 10 分。感官评分标准如表 2,根据评分标准,邀请 10 名专业人员对大豆脱腥进行感官评价,取平均值作为大豆脱腥的最终得分。

表 2 豆乳感官评价标准  
Table 2 Soy milk sensory evaluation criteria

评价指标	评分标准
气味(2.5 分)	无腥味,豆香味浓(2.0~2.5 分)
	豆腥味基本消失,有豆香味(1.5~1.9 分)
	豆腥味淡,无香气或香气较少(1.0~1.4 分)
	有较浓的豆腥味,有醛类味道或其余杂味(0.5~0.9 分)
	有青草味,醛醇等杂味,豆腥味浓(0~0.4 分)
口味(2.5 分)	有豆香味,无苦涩,口感细腻(2.0~2.5 分)
	有豆香味,后有苦涩味(1.5~1.9 分)
	有颗粒感,有苦涩味或醛类气味(1.0~1.4 分)
	苦涩,豆腥味较浓掺杂杂味等不良风味(0.5~0.9 分)
	口感粗糙,苦涩,粗颗粒,腥味重(0~0.4 分)
色泽(2.5 分)	乳白色或淡黄色,有光泽(2.0~2.5 分)
	白色,微有光泽(1.5~1.9 分)
	呈明黄色,与生豆粉差异明显(1.0~1.4 分)
组织状态(2.5 分)	无光泽,颜色较淡(0.5~0.9 分)
	无光泽,颜色灰暗(0~0.4 分)
	均匀乳浊液,无沉淀、无凝结(2.0~2.5 分)
	均匀乳浊液,有少量沉淀和无凝结(1.5~1.9 分)
	不均匀,有絮状沉淀和凝结(1.0~1.4 分)
	絮状沉淀较多,凝结严重(0.5~0.9 分)
	全是絮状沉淀,呈凝结状态(0~0.4 分)

#### (2)大豆大樱桃酸奶感官评价

参考 RHB 104—2020《发酵乳感官评鉴细则》并有所改动,选择 10 名评价员参照表 3 对大豆大樱桃酸奶样品进行感官评价。评价指标为色泽(25 分)、滋味(20 分)、气味(25 分)和组织状态(30 分),满分 100 分。感官评分标准如表 3。

表 3 大豆大樱桃酸奶感官品质评分评价表  
Table 3 Sensory quality evaluation table of soybean cherry yoghurt

评价指标	评分标准
色泽(25 分)	色泽均匀一致,呈粉色(17~25)
	色泽较均匀,呈浅粉色 6~16)
滋味(20 分)	色泽不均匀,有褐变(0~5)
	口感爽滑细腻,酸甜适宜,无涩味(14~20)
	口感较细腻,稍酸或稍甜,稍有涩味(6~13)
气味(25 分)	口感粗糙,过酸或过甜,有涩味(0~5)
	有纯正乳酸香味,带有豆香味和樱桃香味,无腥味(17~25)
	稍有乳酸香味、豆香味和樱桃香味,无明显腥味(6~16)
组织状态(30 分)	无乳酸香味、豆香味和樱桃香味,豆腥味严重(0~5)
	组织细腻均匀,表面光滑平整,无颗粒,无乳析出,黏稠度适宜(20~30)
	组织较细腻均匀,表面平整欠光滑,有少量颗粒,有轻微乳析出,稍黏稠或稍稀(9~19)
	组织粗糙,有颗粒,有少量气泡出现或有严重乳析出,太黏或太稀(0~8)

### 1.3.5 指标测定

参考张平安等<sup>[34]</sup>的滴定法测定大豆总醛含量;参考郭晓菲等<sup>[35]</sup>的分光光度法测定脂肪氧合酶活性。参考 GB/T 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》第一法凯氏定氮法测定蛋白质含量;参照 GB/T 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》第三法碱水解法测定脂肪含量;参照 GB 4789.3—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数》第一法大肠菌群 MPN 计数法测定大肠菌群;参照 GB 4789.35—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 乳酸菌检验》测定乳酸菌。

## 1.4 数据处理

实验数据采用 Excel 2010 整理,经 SPSS 26.0 软件进行方差分析,并用最小显著性差异法(least significant difference, LDS)进行多重比较分析,每个实验重复 3 次,显著水平设为 0.05。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素实验结果

#### 2.1.1 不同苦荞芽粉添加量对大豆脱腥效果的影响

由图 1A 可知,苦荞芽粉添加量在 0%~2%时,脂肪氧合酶的活性呈显著下降趋势( $P < 0.05$ ),因为苦荞芽粉中含有的芦丁、槲皮素等黄酮类化合物与脂肪氧合酶结合抑制了其活性。此外大豆脂肪氧合酶最适 pH 作用范围为 7~9,

且pH为9时活性最高,黄酮类化合物的分子中含有的酚羟基带有大量的氢离子,降低了微环境的pH,从而影响了活性基团解离,进一步抑制脂肪氧合酶的催化活性。当添加量大于2%时,脂肪氧合酶的酶活不再随添加量的增加而显著降低,因为脂肪氧合酶的含量是一定的,此时抑制位点已经饱和,抑制剂的浓度增加,不会再结合到酶上,活性不会继续受到抑制。此时脂肪氧合酶活性为597.2582 U/mL。由图1B可知,苦荞芽粉添加量在0%~2%时,与脂肪氧合酶的活性变化趋势相一致,生豆乳的总醛含量呈快速下降趋势( $P<0.05$ ),说明苦荞芽粉对大豆总醛的产生有明显的抑制作用。当添加量大于2%时,随添加量的增加总醛含量趋于稳定,不再降低,除脂肪氧合酶的活性显著降低外,还可能与苦荞芽粉中芦丁、槲皮素等活性成分所含有的大量酚羟基与脂肪氧合酶催化底物时产生的活性自由基结合,进而抑制醛类物质的生成有关<sup>[36]</sup>。由于生豆乳中亚油酸、亚麻酸等能作为脂肪氧合酶底物生成豆腥味的脂肪酸含量是一定的,当添加量为2%时底物已经被消耗完毕,此时生豆乳的总醛含量已经降到最低,再继续添加苦荞芽粉总醛含量不再降低。

由图1C可知,随着苦荞芽粉添加量的增加,生豆乳的感官评分呈先上升后趋于稳定的趋势。添加量为0%~2%时,感官评分显著提高( $P<0.05$ ),因为醛类物质是生豆乳腥味产生的主要来源,总醛含量与大豆腥味呈正比例关系,大豆中总醛含量越多,豆腥味越重。当添加量大于2%时,感官评分不再上升,可能是脂肪氧合酶活性得到有效抑制,豆腥味相关醛类物质的产生得到有效抑制,此时的生豆乳无明显腥味,感官评分为8.2分。

综上所述,本研究选择2%、3%、4%进行进一步的正交实验优化。

#### 2.1.2 不同作用温度下苦荞芽粉对大豆脱腥效果的影响

如图2A可知,对照组的脂肪氧合酶活性显著高于处理组,两者都随作用温度的增加呈逐渐下降的趋势,其中处理组在40~45°C发生显著骤降( $P<0.05$ ),这是由于芦丁、

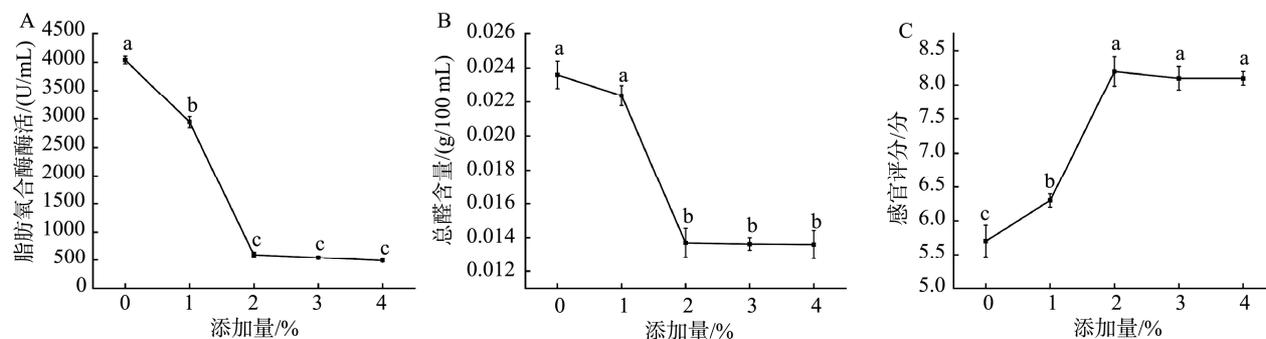
槲皮素等小分子抑制物与酶结合需要适宜的温度,当达到一定温度后能快速地与酶结合,使酶活性急剧下降。如图2B可知,对照组和处理组的总醛含量随着温度的升高,呈现先下降后上升的趋势,在高温阶段,处理组与对照组总醛含量的差异大于低温阶段,处理组显著低于对照组( $P<0.05$ ),处理组的总醛含量在40°C时急剧下降,这与脂肪氧合酶活性的变化一致,可能是因为大豆脂肪氧合酶低温下能保持较高催化活性,温度高时酶活会降低,从而催化不饱和脂肪酸产生的醛类物质减少。在温度为45°C时达到最低值0.01698 g/100 mL。此后总醛含量有所升高,这是由于达到一定温度时,不饱和脂肪酸的非酶促氧化加剧<sup>[13]</sup>。

如图2C可知,处理组的感官评分显著高于对照组( $P<0.05$ ),温度较低时,随着温度的升高感官评分逐渐增加,45°C时达到最高分,超过45°C时,感官评分开始降低,但没有达到显著差异( $P>0.05$ ),这与总醛含量的变化趋势相反,表明苦荞芽粉处理能够减少醛类物质的产生,从而抑制豆腥味,提高感官评分。

综上所述,本研究选择40、45、50°C进行进一步的正交实验优化。

#### 2.1.3 不同作用时间下苦荞芽粉对大豆脱腥效果的影响

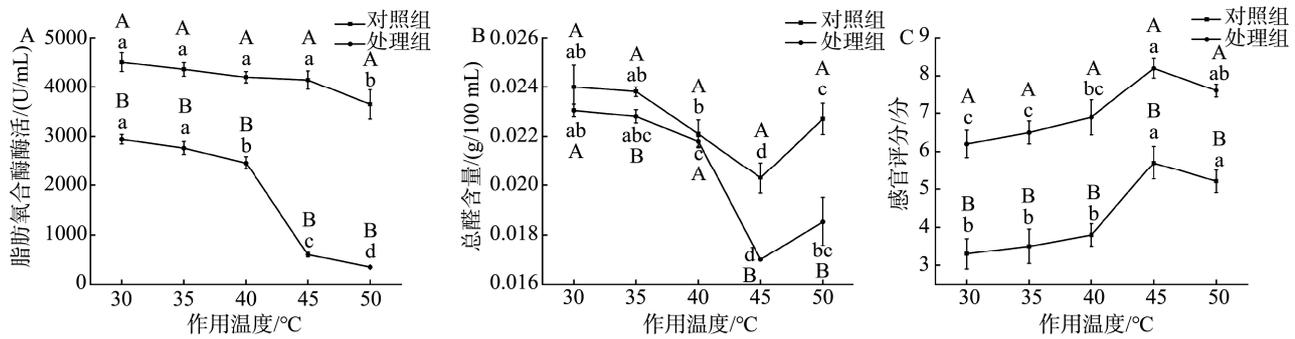
如图3A可知,随着作用时间的延长,对照组的脂肪氧合酶活性呈缓慢下降的趋势,处理组整体呈先下降后趋于平衡的趋势,且都显著低于对照组( $P<0.05$ ),在前1.0~2.0 h,处理组酶活下降不显著( $P>0.05$ ),2.0 h后酶的活性突降,2.5 h以后又趋于稳定,可能是因为苦荞芽粉中芦丁、槲皮素等小分子抑制剂开始能快速与脂肪氧合酶结合,当达到一定饱和度后,结合会变得困难,需要一定作用时间才能结合上去并发挥抑制作用,当结合位点完全饱和后抑制作用不再提高,达到平衡。如图3B可知,随着作用时间的延长,对照组和处理组总醛含量均呈逐渐下降趋势,开始时对照组和处理组总醛含量没有显著差异( $P>0.05$ ),随着处理时间的延长,处理组总醛含量降低程度增大,在



注:不同小写字母表述组间差异显著, $P<0.05$ ,下同。

图1 苦荞芽粉添加量对生豆乳脂肪氧合酶活性、总醛含量和感官评分的影响

Fig.1 Effects of tartary buckwheat bud powder supplemental level on fatty oxygenase activity, total aldehyde content and sensory score of raw soybean milk



注: 不同大写字母表述处理组与对照组间的差异显著,  $P < 0.05$ , 下同。

图 2 不同作用温度对生豆乳脂肪氧合酶活性、总醛含量和感官评分的影响

Fig.2 Effects of different temperatures on fatty oxygenase activity, total aldehyde content and sensory score of raw soy milk

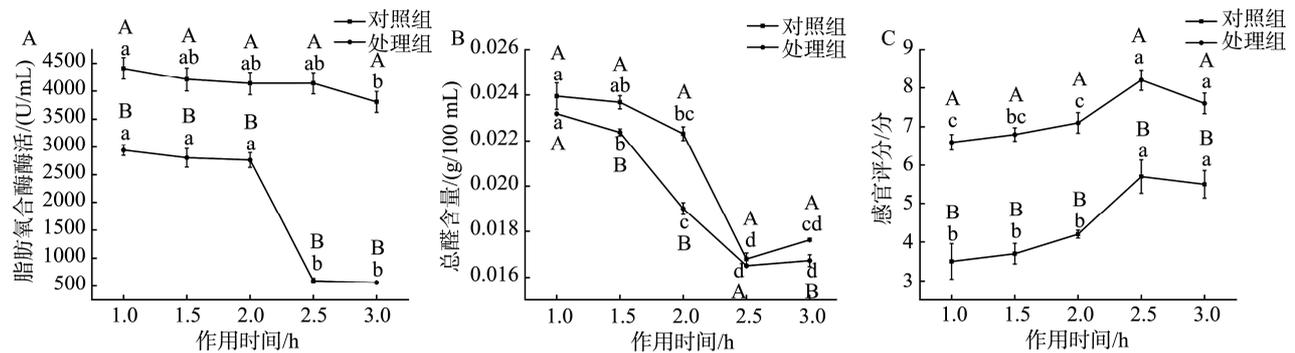


图 3 不同作用时间对生豆乳脂肪氧合酶活性、总醛含量和感官评分的影响

Fig.3 Effects of different treatment time on fatty oxygenase activity, total aldehyde content and sensory score of raw soy milk

1.5 h 后与对照组达到显著差异( $P < 0.05$ )。2.5 h 时, 对照组和处理组总醛含量均达到最低值, 且没有显著性差异( $P > 0.05$ ), 此后, 对照组的总醛含量逐渐升高, 而处理组趋于稳定。因为处理前期脂肪氧合酶的活性较高, 苦荞芽粉对其活性抑制效果较好。而随着处理时间的延长脂肪氧合酶在处理温度下会逐渐变性, 活性降低, 抑制效果表现减弱。后期对照组的总醛含量升高是因为不饱和脂肪酸的自然氧化产生, 处理组中因为苦荞芽粉中含有的芦丁、槲皮素等黄酮类化合物的酚羟基上的氢原子可与过氧自由基结合从而终止自由基链式反应, 具有抗脂质过氧化作用, 抑制了总醛的自然氧化产生。推测对照组出现下降趋势的原因是: 大豆中自身也含有醇脱氢酶和醛脱氢酶<sup>[37-38]</sup>, 随时间的延长, 大豆中醇、醛、酮类物质被分解, 使得总醛含量降低。

如图 3C 可知, 处理组的感官评分显著高于对照组( $P < 0.05$ ), 且随着作用时间的延长, 对照组和处理组感官评分均呈先上升后趋于稳定的趋势( $P > 0.05$ ), 这与苦荞芽粉对大豆中脂肪氧合酶抑制特点相一致, 快速作用产生效果后, 需要一定的时间才能达到最大抑制效果。作用 2.5 h 抑制达到最大效果。

综上所述, 本研究选择 2.0、2.5、3.0 h 进行进一步的正交实验优化。

## 2.2 正交实验结果

正交实验结果见表 4, 方差分析见表 5~6。由表 5 可知, 处理温度对大豆总醛含量的影响最大, 影响程度依次是  $A(\text{温度}) > B(\text{时间}) > C(\text{苦荞芽粉添加量})$ 。其中, 作用温度和作用时间对大豆总醛含量的影响显著( $P < 0.05$ ), 苦荞芽粉添加量影响不显著( $P > 0.05$ ), 由表 6 可知, 与对大豆总醛含量的影响相一致, 作用温度和作用时间对大豆生乳感官评分的影响显著( $P < 0.05$ ), 苦荞芽粉添加量对感官评分影响不显著( $P > 0.05$ ), 因此考虑到成本问题和感官评价得分因素, 选择苦荞芽粉添加量为 2%。综合各因素选取的最佳水平为  $A_2B_2C_1$ , 即温度 45°C, 处理时间 2.5 h, 苦荞芽粉添加量为 2%。

## 2.3 验证实验

在最佳工艺条件( $A_2B_2C_1$ )条件下, 即作用温度 45°C, 处理时间 2.5 h, 苦荞芽粉添加量为 2%, 生豆乳脂肪氧合酶酶活 597.2582 U/mL、总醛含量 0.0140 g/100 mL、感官评价 8.2 分, 而对照组的脂肪氧合酶酶活性为 4040.5368 U/mL、总醛含量 0.0341 g/100 mL、感官评分 3.3 分, 与之相比, 生豆乳脂肪氧化酶活性降低了 85%, 总醛含量降低了 59%, 感官上明显改善。表明在此工艺条件下, 脱腥效果好与预期结果相符。

表4  $L_9(3^3)$ 正交试验结果  
Table 4 Results of orthogonal test  $L_9(3^3)$

试验号	A	B	C	总醛含量/(mg/100 mL)	感官评分
1	40	2.0	2	23.31	6.9
2	40	2.5	3	20.45	7.1
3	40	3.0	4	20.13	6.8
4	45	2.0	4	15.13	7.7
5	45	2.5	2	14.03	8.2
6	45	3.0	3	15.63	7.7
7	50	2.0	3	23.80	6.9
8	50	2.5	4	18.20	7.4
9	50	3.0	2	23.43	6.9
$K_1/K_1'$	63.89/6.93	62.24/7.17	60.77/7.33		
$K_2/K_2'$	44.78/7.87	52.68/7.57	59.88/7.23		
$K_3/K_3'$	65.43/7.07	59.19/7.13	53.46/7.30		
R	6.88	3.19	2.44		

注:表中  $K_1/K_1'$ 、 $K_2/K_2'$ 、 $K_3/K_3'$ 其中  $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$ 表示总醛含量正交分析数据; $K_1'$ 、 $K_2'$ 、 $K_3'$ 表示感官评价得分的正交分析数据。

表5 总醛含量正交实验方差分析  
Table 5 Orthogonal experimental variance analysis of total aldehyde content

方差来源	第 III 类平方和	df	平均值平方	F	显著性
温度 A	88.132	2	44.066	150.459	0.007*
时间 B	15.897	2	7.949	27.140	0.036*
添加量 C	10.605	2	5.302	18.105	0.052
错误	0.586	2	0.293		
校正后总变异	115.220	8			

注:\*表示影响显著( $P<0.05$ ),下同。

表6 感官评价正交实验方差分析  
Table 6 Orthogonal experimental variance analysis of sensory evaluation

方差来源	第 III 类平方和	df	平均值平方	F	显著性
温度 A	1.529	2	0.764	98.286	0.010*
时间 B	0.349	2	0.174	22.429	0.043*
添加量 C	0.016	2	0.008	1.000	0.500
错误	0.016	2	0.008		
校正后总变异	1.909	8			

## 2.4 大豆大樱桃酸奶成品

去腥处理后的豆乳和樱桃浆发酵制成酸奶,其蛋白质含量为 $(3.59\pm 0.11)$  g/100 g,脂肪为 $(2.73\pm 0.04)$  g/100 g,乳酸菌为 $4.9\times 10^8$  CFU/mL,符合 GB 19302—2010《发酵乳》中酸奶乳酸菌大于 $1\times 10^6$ 的规定,大肠杆菌未检出,感官评价高达 $(86.00\pm 0.67)$ 分。由表7可知,与对照组相比,各营养指标无显著变化( $P>0.05$ ),也即去腥处理对大豆大樱桃酸奶成品的基础营养品质无显著性影响,但感官评价显著提高( $P<0.05$ ),处理组酸奶带有大豆和樱桃特有的香味,无大豆腥味,具有纯正的乳酸香味,而对照组豆腥味较明显;

处理组酸奶组织细腻均匀,表面较光滑平整,无颗粒,有少量乳清析出,黏稠度适中,口感细腻嫩滑,因为大豆蛋白在与苦荞芽粉保温处理过程中部分会被芽粉所含的蛋白酶水解,均质后更有利于酸奶的发酵。与之相比,对照组口感略显粗糙,有一定的乳清析出。处理组和对照组都具有大樱桃独有的粉色,但处理组大樱桃颜色更深,且颜色能稳定在7 d以上,这时因为大樱桃色素容易氧化,而苦荞芽粉中芦丁、槲皮素等物质具有抗氧化的作用,在一定的程度上减轻了发酵过程及储存中大樱桃色素的氧化损失。

表 7 大豆大樱桃酸奶品质分析  
Table 7 Quality analysis of soybean big cherry yogurt

酸奶成品	感官评价/分	蛋白质/(g/100 g)	脂肪/(g/100 g)	乳酸菌/(CFU/mL)	大肠杆菌/(MPN/mL)
对照组	78.00±0.55 <sup>a</sup>	3.47±0.08 <sup>a</sup>	2.80±0.06 <sup>a</sup>	5.1×10 <sup>8a</sup>	未检出
处理组	86.00±0.67 <sup>b</sup>	3.59±0.11 <sup>a</sup>	2.73±0.04 <sup>a</sup>	4.9×10 <sup>8a</sup>	未检出

### 3 讨论与结论

本研究揭示了苦荞芽粉的添加可以抑制脂肪氧合酶的酶活、降低总醛含量、影响大豆生豆乳和大豆大樱桃酸奶的感官品评。苦荞芽粉添加量为 2.0%，在 45℃条件下作用 2.5 h 可以显著抑制脂肪氧合酶活性，并降低总醛含量，与对照组相比分别降低了 85%和 59%，与田三德等<sup>[39]</sup>用水稻芽粉中的醛脱氢酶、张平安等<sup>[34]</sup>用小麦芽粉中的醛脱氢酶降低大豆加工中总醛的含量结论相似。而本研究选取的苦荞芽粉除了含醛脱氢酶外还含有较高的以芦丁为代表的黄酮类物质，对脂肪氧合酶有较强的抑制作用，减少了总醛的酶促氧化产生。经苦荞芽粉处理后感官评价为 8.2 分，显著优于对照组，将脱腥处理后的大豆生乳加入樱桃浆发酵后全部用于大豆酸奶发酵制得大豆大樱桃风味酸奶，感官评价为 86 分，与未经脱腥处理的酸奶相比，脱腥处理后的大豆大樱桃酸奶，无豆腥味，保留了大樱桃天然颜色及口感，颜色稳定在 7 d 以上，具有较高商业价值。研究初步揭示了苦荞芽粉对大豆腥味的去除机制，为安全健康、简单高效的大豆脱腥方法提供了新的探究方向，为今后大豆食品的开发和应用提供参考。由于大豆腥味的产生机制涉及复杂的生理生化反应，而本研究主要侧重于研究苦荞芽粉对成熟大豆的腥味去除机制，因而对大豆生长发育阶段的腥味产生机制及脱腥机制研究和解释不足，后续可以进一步结合大豆整个生长发育成熟阶段深入探究苦荞芽粉脱腥处理的脱腥机制及效果。

综上，苦荞芽粉可以有效地消除大豆自身的腥味，应用于酸奶发酵中具有良好的感官品质，苦荞芽粉脱腥方法相较于物理、化学法脱腥而言苦荞芽粉脱腥具有安全性、健康性和营养性等特点，为大豆在食品领域高质量加工提供新思路。

#### 参考文献

- 林凤岩, 黄永娜, 褚洪俊, 等. 我国大豆蛋白加工产业现状及发展趋势[J]. 中国油脂, 2023, (11): 33–37, 56.  
LIN FY, HUANG YN, CHU HJ, *et al.* Current situation and development trend of soybean protein processing industry in China [J]. China Oils Fats, 2023, (11): 33–37, 56.
- 许梦粤, 丁泽宇, 李锦鹏, 等. 大豆多糖与纳豆多糖结构特征和主要生物活性比较[J]. 食品科学: 1–13. [2023-12-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20231020.1538.016.html>  
XU MY, DING ZY, LI JP, *et al.* Comparison of structural characteristics and main biological activities of soybean polysaccharide and Natto polysaccharide [J]. Food Sci : 1–13. [2023-12-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20231020.1538.016.html>
- 栾滨羽, 朱秀清, 张波. 大豆蛋白组分制备的研究进展[C]. 中国食品科学技术学会第十八届年会摘要集, 2022.  
LUAN BY, ZHU XQ, ZHANG B. Research progress in the preparation of soybean protein components [C]. Abstracts 18th Annual Meeting Chinese Society of Food Science and Technology, 2022.
- GRASSINI P, MENZA NC, EDREIRA JIR, *et al.* Soybean [M]. Crop Physiology Case Histories for Major Crops: Academic Press, 2021.
- 马立丽, 梁惠陶, 蒋卓勤. 血清总胆固醇水平对大豆蛋白降血脂作用的影响[J]. 中国预防医学杂志, 2014, 15(6): 597–600.  
MA LL, LIANG HT, JIANG ZQ. Effect of serum total cholesterol level on the hypolipidemic effect of soybean protein [J]. China Prev Med, 2014, 15(6): 597–600.
- 曾伟山, 李令星, 黄文燕, 等. 大豆粉末磷脂主要成分抗氧化能力对比研究[J]. 食品安全导刊, 2022, (33): 42–45.  
ZENG WS, LI LX, HUANG WY, *et al.* Comparative study on antioxidant capacity of main components of phospholipid from soybean powder [J]. Chin Food Saf Magaz, 2022, (33): 42–45.
- 甄轶珂, 刘子源, 张润东, 等. 大豆异黄酮功效及提取方法的研究进展[J]. 化纤与纺织技术, 2021, (8): 43–44.  
ZHI KK, LIU ZY, ZHANG RD, *et al.* Research progress on the efficacy and extraction methods of soybean isoflavones [J]. Chem Fiber Text Technol, 2021, (8): 43–44.
- 陈禹汐, 于寒松, 王敏, 等. 大豆皂苷的研究进展与应用[J]. 食品工业科技, 2021, (21): 420–427.  
CHEN YX, YU HS, WANG M, *et al.* Research progress and application of soybean saponins [J]. Sci Technol Food Ind, 2021, (21): 420–427.
- 王田. 大豆产能潜力很大 产品市场选择更多[N]. 农民日报, 2023-11-29(006).  
WANG T. Soybean production potential is very big product market choice [N]. Farmers Daily, 2023-11-29(006).
- 刘博, 卫玲, 肖俊红, 等. 大豆脂肪氧化酶研究进展[J]. 山西农业科学, 2018, 46(2): 303–305.  
LIU B, WEI L, XIAO JH, *et al.* Research progress of soybean fat oxidase [J]. Shanxi Agric Sci, 2018, 46(2): 303–305.
- 韩粉霞, 丁安林, 孙君明, 等. 大豆脂肪氧化酶同工酶全缺失种质的创新[J]. 遗传学报, 2005, (2): 197–202.  
HAN FX, DING ANL, SUN JM, *et al.* Innovation of soybean fat oxidase isozyme complete deletion germplasm [J]. J Genetic Genomic, 2005, (2): 197–202.
- 朱芙蓉, 徐宝才, 周辉. 大豆制品中腥味形成机理及去腥工艺研究进展[J]. 中国粮油学报, 2023, (4): 150–158.  
ZHU FR, XU BC, ZHOU H. Research progress on the formation mechanism of fishy flavor in soybean products and the process of removing fishy flavor [J]. J Chin Cereals Oils Ass, 2023, (4): 150–158.
- 黄祖贤, 李松泽, 李营威, 等. 大豆酸奶风味物质研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(11): 103–110.  
HUANG ZX, LI SZ, LI YW, *et al.* Research progress on flavor substances of soybean yogurt [J]. J Food Saf Qual, 2023, 14(11): 103–110.
- WANG B, ZHANG Q, ZHANG N, *et al.* Insights into formation, detection and removal of the beany flavor in soybean protein [J]. Trends Food Sci

- Technol, 2021, 112: 336–347.
- [15] 陈书婷, 孔祥珍, 华欲飞, 等. 大豆脂肪氧合酶的分离纯化及其性质研究[J]. 食品工业科技, 2011, (5): 176–177, 182.  
CHEN ST, KONG XZ, HUA YF, *et al.* Isolation, purification and properties of soybean lipoxygenase [J]. Sci Technol Food Ind, 2011, (5): 176–177, 182.
- [16] 邢竺静, 李笑梅, 赵廉诚, 等. 大豆萌发期脂肪氧化酶与脲酶活性变化及钝化方法效果评价[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(1): 14–19.  
XING ZJ, LI XM, ZHAO LC, *et al.* Changes of lipid oxidase and urease activities in soybean germination and evaluation of passivation methods [J]. Food Res Dev, 2020, 41(1): 14–19.
- [17] 张世仙, 王正武, 吴金鸿. 豆乳去腥味技术研究[J]. 食品工业科技, 2010, (7): 223–225.  
ZHANG SX, WANG ZW, WU JH. Research on removing odor from soybean milk [J]. Sci Technol Food Ind, 2010, (7): 223–225.
- [18] CHEN X, YANG S, ZHANG Y, *et al.* Generation of male-sterile soybean lines with the CRISPR/Cas9 system [J]. Crop J, 2021, 9(6): 1270–1277.
- [19] CAI Y, CHEN L, HOU W. Genome editing technologies accelerate innovation in soybean breeding [J]. Agronomy, 2023, 13(8): 2045.
- [20] MARTINS CAO, SEDIYAMA CS, MOREIRA MA, *et al.* Effect of genetic elimination of seed lipoxygenases on agronomic characteristics of soybean [J]. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2002, 37(10): 1389–1398.
- [21] YU YT. The study of the impact of genetically modified soybean imports on China's food safety management [J]. Int J Metrol Qual Eng, 2021, 12: 18.
- [22] 姜国富, 范浩伟, 张云营, 等. 我国不同地区产苦荞麦营养成分分析[J]. 粮食与饲料工业, 2020, (3): 22–27.  
JIANG GF, FAN HW, ZHANG YY, *et al.* Analysis of nutrient composition of tartary buckwheat from different regions in China [J]. Food Feed Ind, 2020, (3): 22–27.
- [23] 魏然, 马挺军, 聂子涵. 苦荞芽粉饮料工艺及芳香成分分析[J]. 北京农学院学报, 2022, (2): 109–112.  
WEI R, MA TJ, NIE ZH. Technology and aromatic composition analysis of Tartary buckwheat powder beverage [J]. J Beijing Univ Agric, 2022, (2): 109–112.
- [24] 蒲升惠, 高颖, 赵志峰, 等. 苦荞中活性物质及其保健功效研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, (8): 331–336.  
PU SH, GAO Y, ZHAO ZF, *et al.* Research progress of active substances in Tartary buckwheat and their health benefits [J]. Sci Technol Food Ind, 2019, (8): 331–336.
- [25] ZHONG L, LIN Y, WANG C, *et al.* Chemical profile, antimicrobial and antioxidant activity assessment of the crude extract and its main flavonoids from tartary buckwheat sprouts [J]. Molecules, 2022, 27(2): 374.
- [26] HA TJ, SHIMIZU K, OGURA T, *et al.* Inhibition mode of soybean lipoxygenase-1 by quercetin [J]. Chem Biodivers, 2010, 7(8): 1893–1903.
- [27] KING DL, KLEIN BP. Effect of flavonoids and related compounds on soybean lipoxygenase-1 activity [J]. J Food Sci, 1987, 52(1): 220–221.
- [28] 吴桂玲, 邢焰, 罗德尉. 密蒙花中黄酮类化合物对大豆脂肪氧合酶的抑制性作用[J]. 食品科技, 2016, (5): 239–242.  
WU GL, XING Y, LUO DW. Inhibitory effect of flavonoid compounds in the flower of lipoxygenase of soybean [J]. Food Sci Technol, 2016, (5): 239–242.
- [29] 王敏, 魏益民, 高锦明. 苦荞黄酮的抗脂质过氧化和红细胞保护作用研究[J]. 中国食品学报, 2006, (1): 278–283.  
WANG M, WEI YM, GAO JM. Effects of Tartary buckwheat flavonoids on lipid peroxidation and erythrocyte protection [J]. J Chin Inst Food Sci, 2006, (1): 278–283.
- [30] 张乐, 陈宣钦, 李昆志. 植物醛脱氢酶基因家族[J]. 生命的化学, 2013, 33(3): 299–306.  
ZHANG L, CHEN XQ, LI KZ. Plant aldehyde dehydrogenase gene family [J]. Chem Life, 2013, 33(3): 299–306.
- [31] 罗佳倩, 周丽玲, 李高阳, 等. 发芽和水热处理对苦荞活性成分及功能特性的影响[J]. 食品与机械, 2023, (4): 142–150.  
LUO JQ, ZHOU LL, LI GY, *et al.* Effects of germination and hydrothermal treatment on active ingredients and functional properties of tartary buckwheat [J]. Food Mach, 2023, (4): 142–150.
- [32] KREFT S, JANEŠ D, KREFT I. The content of fagopyrin and polyphenols in common and tartary buckwheat sprouts [J]. Acta Pharm, 2013, 63(4): 553–560.
- [33] 张娟, 闫瑞霞, 孙志洪, 等. 全豆豆浆与传统豆浆感官品质和营养成分对比[J]. 大豆科学, 2017, (3): 459–462.  
ZHANG J, YAN RX, SUN ZH, *et al.* Sensory quality and nutritional composition of whole soybean milk and traditional soybean milk [J]. Soybean Sci, 2017, (3): 459–462.
- [34] 张平安, 乔明武, 张建威, 等. 用小麦芽有效成分消除豆腥味的研究[J]. 农产品加工(学刊), 2009, (3): 145–148.  
ZHANG PAN, QIAO MW, ZHANG JW, *et al.* Study on eliminating soybean odor with active components of wheat bud [J]. Agric Process (J Agric Sci), 2009, (3): 145–148.
- [35] 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 XF, GUO QQ, HE ZG, *et al.* Effects of soybean rehydration combined with oxygen separation grinding on removing soybean odor and improving the comprehensive quality of soybean milk [J]. Fujian J Agric Sci, 2020, 35(12): 1385–1390.
- [36] 陈艳君, 王建新. 黄酮类化合物对大豆脂肪氧合酶的抑制作用研究[J]. 天然产物研究与开发, 2008, (1): 95–98.  
CHEN YJ, WANG JX. Study on the inhibitory effect of flavonoids on soybean lipoxygenase [J]. Nat Prod Res Dev, 2008, (1): 95–98.
- [37] QIN D, ZHAO CL, LIU XY, *et al.* Transgenic soybeans expressing betaine aldehyde dehydrogenase from *Atriplex canescens* show increased drought tolerance [J]. Plant Breed, 2017, 136(5): 699–709.
- [38] KOTCHONI SO, JIMENEZ-LOPEZ JC, KAYODÉ APP, *et al.* The soybean aldehyde dehydrogenase (ALDH) protein superfamily [J]. Gene, 2012, 495(2): 128–133.
- [39] 田三德, 潘婕, 郝荣华, 等. 大豆中总醛含量变化与大豆腥味的关联研究[J]. 现代食品科技, 2006, (1): 35–36.  
TIAN SD, PAN J, HAO RH, *et al.* Study on the relationship between the change of total aldehyde content in soybean and the taste of soybean [J]. Mod Food Sci Technol, 2006, (1): 35–36.

(责任编辑: 郑 丽 张晓寒)

## 作者简介



刘 绪, 硕士, 副教授, 主要研究方向为果蔬加工及保藏。  
E-mail: 465685853@qq.com

辛可启, 博士, 讲师, 主要研究方向为农产品保鲜及加工。  
E-mail: 401304605@qq.com