

## 基于模糊数学法的辣木籽杂粮面包配方优化及其品质分析

吕俊丽, 任志龙, 云月英, 郭 慧

## Formulation Optimization and Quality Analysis of *Moringa* Seed Multigrain Bread Based on Fuzzy Mathematics

L Junli, REN Zhilong, YUN Yueying, and GUO Hui

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023010105>

### 您可能感兴趣的其他文章

#### Articles you may be interested in

#### 基于模糊数学综合感官评价的甘薯淀粉面包的工艺优化

Optimization of the Production Process of Sweet Potato Starch Bread based on Fuzzy Synthetical Evaluation

食品工业科技. 2018, 39(17): 180-185 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.17.030>

#### 基于模糊数学综合评价法优化水晶虾仁的浆液配方

Formular optimization of starch in crystal shrimps based on the fuzzy mathematics evaluation

食品工业科技. 2017(11): 209-213 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.11.031>

#### 模糊数学结合响应面法优化番茄调味酱的配方

The Optimization of Tomato Sauce Recipe Based on Fuzzy Mathematics and Response Surface Method

食品工业科技. 2019, 40(11): 211-217 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.11.035>

#### 基于电子鼻检测技术分析不同马铃薯粉添加量对面包品质的影响

Analysis of the Effect of Different Potato Flour Additions on Bread Quality Based on Electronic Nose Detection Technology

食品工业科技. 2019, 40(4): 100-105,140 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.04.016>

#### 基于模糊数学评价法优化木瓜脆片真空油炸工艺

Optimization on vacuum frying technology of papaya chips based on fuzzy mathematics sensory evaluation

食品工业科技. 2017(18): 183-188 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.18.035>

#### 豌豆蛋白面包的制作工艺优化及其品质

Optimization of Preparation Process of Pea Protein Bread and Its Quality Characteristics

食品工业科技. 2020, 41(11): 194-199 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.11.030>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

吕俊丽, 任志龙, 云月英, 等. 基于模糊数学法的辣木籽杂粮面包配方优化及其品质分析 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(23): 167–174. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023010105

LÜ Junli, REN Zhilong, YUN Yueying, et al. Formulation Optimization and Quality Analysis of *Moringa* Seed Multigrain Bread Based on Fuzzy Mathematics[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(23): 167–174. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023010105

· 工艺技术 ·

# 基于模糊数学法的辣木籽杂粮面包配方优化及其品质分析

吕俊丽<sup>1,\*</sup>, 任志龙<sup>2</sup>, 云月英<sup>1</sup>, 郭 慧<sup>1</sup>

(1. 内蒙古科技大学生命科学与技术学院, 内蒙古包头 014010;  
2. 包头轻工职业技术学院食品生物与检测系, 内蒙古包头 014035)

**摘要:** 为了满足人们对营养食品的需求, 本研究以面包为载体, 运用模糊数学感官评价法, 以感官评分为依据, 通过单因素和正交试验对辣木籽杂粮面包配方进行优化, 在此基础上, 分析了辣木籽杂粮面包的理化特性和抑菌特性。结果显示: 辣木籽杂粮面包的因素影响顺序为: 辣木籽添加量>薏米添加量>红豆添加量>红薯泥的添加量, 辣木籽杂粮面包最佳配方为: 牛奶 34%, 黄油 7.5%, 全蛋液 40%, 酵母添加量为 0.8%, 白糖添加量 5.1%, 辣木籽的添加量为 2.6%, 红薯泥的添加量为 2.1%, 红豆的添加量为 1.6%, 薏米的添加量为 2.1%。此配方下面包的模糊数学感官评分最高 (86.35 分), 此时面包味道浓郁, 松软适口, 过氧化值、酸价、菌落总数均符合国家标准, 蛋白质含量比普通面包高 5.6 g/100 g。贮存 5 d 后, 辣木籽杂粮面包酸价增加幅度 (25%) 小于普通面包 (40%), 过氧化值增加幅度 (20%) 也低于普通面包 (73.7%), 此时, 普通面包菌落总数比辣木籽杂粮面包多 3 倍, 表明辣木籽杂粮面包具有一定的延缓酸败和抑菌效果, 本研究结果为辣木籽杂粮产品的开发提供有益参考。

**关键词:** 辣木籽, 杂粮, 面包, 模糊数学, 品质

中图分类号: TS219

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2023)23-0167-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023010105

本文网刊:



## Formulation Optimization and Quality Analysis of *Moringa* Seed Multigrain Bread Based on Fuzzy Mathematics

LÜ Junli<sup>1,\*</sup>, REN Zhilong<sup>2</sup>, YUN Yueying<sup>1</sup>, GUO Hui<sup>1</sup>

(1. School of Life Science and Technology, Inner Mongolia University of Science & Technology, Baotou 014010, China;

2. Baotou Light Industry Vocational Technical College, Department of Food Biology and Detection, Baotou 014035, China)

**Abstract:** In order to meet people's demand for nutritious food, bread was taken as a carrier, and fuzzy mathematics and sensory evaluation method were adopted. Based on sensory score, the recipe of *Moringa* seed multigrain bread was optimized by single factor and orthogonal experiment. On this basis, the physicochemical and bacteriostatic characteristics of *Moringa* seed multigrain bread were analyzed. The results showed that the order of *Moringa* seed multigrain bread was as follows: *Moringa* seed supplemental level>Job's barley supplemental level>red bean supplemental level>sweet potato supplemental level. The optimal formula of moringa seed multigrain bread was as follows: Milk content 34%, butter content 7.5%, whole egg content 40%, yeast content 0.8%, white sugar content 5.1%, *Moringa* seed content 2.6%, sweet potato content 2.1%, red bean content 1.6%, and Job's barley content 2.1%. The fuzzy mathematical sensory score of the bread under this formula was the highest (86.35), and the bread was full flavour, soft and palpable. The peroxide value, acid value and total number of colonies were all in line with national standards, and the protein content was 5.6 g/100 g higher than that of ordinary bread. After storage for 5 days, the increase of acid value of *Moringa* seed multigrain bread (25%) was less than that of regular bread (40%), and the increase of peroxide value (20%) was also lower than that of regular bread

收稿日期: 2023-01-16

基金项目: 内蒙古自治区高等学校科学研究项目 (NJZZ23057); 内蒙古自治区留学人员创新创业启动支持计划项目。

作者简介/通信作者\*: 吕俊丽 (1982-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品营养学、农产品加工及贮藏, E-mail: lv\_maomao@126.com。

(73.7%). Meanwhile, the number of bacterial colonies in regular bread was 3 times higher than that in *Moringa* seed multigrain bread, which indicated that *Moringa* seed multigrain bread had certain rancidity delay and antibacterial effect. The results of this study could provide useful reference for the development of *Moringa* seed multigrain products.

**Key words:** *Moringa* seed; multigrain; bread; fuzzy mathematics; quality

辣木籽作为一种新型的食品资源,其富含油脂、维生素、蛋白质以及矿物质等营养成分<sup>[1]</sup>,具有抗氧化、抑菌及降血糖等多种生理功能<sup>[2]</sup>。目前,许多学者针对辣木籽中多糖<sup>[3]</sup>、蛋白质<sup>[4]</sup>、油脂<sup>[5]</sup>等营养组分进行了分析,并对其抗氧化<sup>[6]</sup>、抗炎<sup>[7]</sup>等生理活性展开研究,而有关辣木籽在食品应用的研究较少。红豆中不仅富含膳食纤维、糖类、皂甙以及叶酸,同时还含有丰富的维生素 B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub> 和矿物质<sup>[8]</sup>;薏米富含氨基酸、膳食纤维和维生素 E 等,是一种营养完整的谷类<sup>[9]</sup>;红薯含有丰富的膳食纤维和维生素,含有钾、铁、铜、硒、钙等 10 余种微量元素,是一种营养均衡的保健食品<sup>[10]</sup>,以上均属于药食同源类原料,由于其含有较高的营养和药用价值,可用作膳食补充剂。

面包作为主食或休闲食品受众面广,具有食用及携带方便、营养美味等优点<sup>[11]</sup>。随着人们对膳食营养需求的增加,传统面包也朝着功能化、多样化、健康化等方向转变。如将卵磷脂<sup>[12]</sup>、马铃薯粉<sup>[13]</sup>、藜麦粉及麸皮<sup>[14-15]</sup>、山药薏米<sup>[16]</sup>、茶多酚<sup>[17]</sup>和杏仁皮<sup>[18]</sup>等物质添加到面包中,可满足人们对保健、营养等方面的需求。关天琪等<sup>[19]</sup>开发了一款口感好、热量低且富含膳食纤维的薏仁红豆面包,邱松林等<sup>[20]</sup>制备了一款红薯渣膳食纤维面包。膳食纤维的摄入与糖尿病、心血管疾病等慢性代谢综合征呈负相关<sup>[21]</sup>。辣木籽、红薯、红豆、薏米均富含膳食纤维,然而,将辣木籽应用于烘焙食品的研究目前未见报道。故本研究以面包为载体,采用模糊数学与感官评价相结合的方式对添加辣木籽、红薯、红豆、薏米杂粮面包配方进行优化,并对其品质进行分析。本研究可为辣木籽杂粮面包的开发提供有益参考,对提高我国居民膳食纤维摄入量具有重要的现实意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

辣木籽 源兴堂健康产业有限公司;红豆、薏米、红薯 市售;面包粉 百乐麦品牌高筋面包粉;牛奶 内蒙古伊利实业集团有限公司;绵白糖 包头市腾飞糖业有限公司;酵母 安琪酵母有限公司;黄油 上海高夫食品有限公司;平板计数琼脂、结晶紫中性红胆盐琼脂、黄绿乳糖胆盐肉汤 北京陆桥技术股份有限公司;氯化钠、无水乙醇、硫酸铜、硫酸钾、浓硫酸、硼酸、氢氧化钠、乙醚、无水乙醚、石油醚、异丙醇、冰乙酸、三氯甲烷、碘化钾、可溶性淀粉均为分析纯 天津市风船化学试剂科技有限公司;甲基红、溴甲酚绿、酚酞均为指示剂 上海士锋生物科技有限公司。

SEC-2Y-P 醒发箱加电烤炉 江苏三麦食品机械有限公司;FSJ-A05N6 小熊粉碎机 广东小熊电器有限公司;HCB-1300V 超净工作台 青岛海尔特种电器有限公司;DZF-6213 恒温干燥箱 上海一恒科技有限公司;HWS-250Y 恒温培养箱 青岛明博环保科技有限公司;GF36DA 高温蒸汽压力灭菌锅 致微(厦门)仪器有限公司;DTY-A320 电子天平 广州市晶博电子有限公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 面包的制作

1.2.1.1 工艺流程 原辅料处理→原辅料称量→面团调制→一次醒发→分割搓圆→松弛→入盘→二次醒发→烘烤(面团表面刷蛋液)→冷却→成品

主要操作要点如下:

a. 原辅料预处理:将红豆、薏米除去杂质,用水清洗后放干燥箱烘干,辣木籽剥壳,将原料分别磨粉,过 40 目筛备用。将红薯清洗后蒸熟、去皮,用勺子碾压成泥,备用。将牛奶加热至 35 ℃ 左右,放入已称量好的酵母,使其充分活化,待酵母完全溶于牛奶后搅匀,备用。

b. 面团调制:将红豆粉、薏米粉、辣木籽粉、红薯泥、高筋粉、盐、绵白糖放在面盆里混匀后加入全蛋液搅拌,然后加入混有酵母的牛奶揉团,直至面团将要形成手膜时加入黄油,揉至撑出薄而透明的手膜后用保鲜膜覆盖,放入醒发箱。

c. 一次醒发:将醒发箱温度设为 28 ℃,湿度设为 75%,醒发 1 h,面团醒发至原来的 1.5~2 倍。

d. 二次醒发:将松弛好的面团放入醒发温度为 35 ℃,湿度为 75% 的醒发箱进行二次醒发,醒发至原面团的 2 倍。

e. 烘烤:将二次醒发的面团裸露面均匀刷一层蛋液,放入预热好的烤箱中烤 4 min 后将烤盘翻转 180°,再烤制 4 min 取出、冷却。烘烤过程中上火 210 ℃,下火 190 ℃。

1.2.1.2 面包配方单因素实验 根据前期预实验结果,以高筋面粉为基础,确定牛奶 34%,黄油 7.5%,全蛋液 40.2% 等基础配方,当酵母 1.2%,白糖 6.1%,盐 0.6%,辣木籽 2.6%,红薯 2.6%,红豆粉 2.6%,薏米粉 2.6% 时,粗粮总添加量和高筋粉配比为 2:11 (其中,辣木籽、红薯泥、红豆、薏米的比例为 1:1:1:1),预实验感官评分最高,由此对各因素的单因素实验设计如下:考察不同酵母添加量(0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%、1.2%,以高筋面粉总量计,下同)、绵白糖添加量(2.1%、3.1%、4.1%、5.1%、6.1%、



7.1%)、不同辣木籽添加量(1.6%、2.1%、2.6%、3.1%、3.6%)、不同红薯泥添加量(1.6%、2.1%、2.6%、3.1%、3.6%)、不同红豆粉添加量(1.6%、2.1%、2.6%、3.1%、3.6%)和不同薏米粉添加量(1.6%、2.1%、2.6%、3.1%、3.6%)等对面包品质的影响。

1.2.1.3 面包配方正交试验 在单因素实验的基础上,通过感官评级及统计分析,选取辣木籽、红薯泥、红豆粉、薏米粉添加量 4 个因素进行  $L_9(3^4)$  正交试验,其因素水平表见表 1,从而确定其最佳的配方。

表 1 面包配方优化因素水平表  
Table 1 Factors and levels of formula optimization of bread

水平	因素			
	A辣木籽添加量 (%)	B红薯泥添加量 (%)	C红豆添加量 (%)	D薏米添加量 (%)
1	2.1	2.1	1.6	1.6
2	2.6	2.6	2.1	2.1
3	3.1	3.1	2.6	2.6

1.2.2 感官评价模糊数学法模型构建

1.2.2.1 因素集和评价集的建立 利用模糊数学进行面包品质综合评价时,首先需建立评价因素集,将辣木籽粗杂粮面包感官评价中的 5 个项目作为因素,包含气味、组织、色泽、形态以及口感,得到评价因素集为:  $U=(\text{气味 组织 色泽 形态 口感})=(U_1, U_2, U_3, U_4, U_5)$ 。评价集是每个因素评价结果的集合,对每个因素按优、良、中、差等级评分,对应的评价集表示为  $V=(V_1, V_2, V_3, V_4)$ ,并对其分别赋值为 90、80、70、60 分<sup>[22]</sup>。

1.2.2.2 权重集的确定 评价人员分别对气味、组织、色泽、形态以及口感在感官评价中的重要性进行打分,总分为 100 分,每位评价人员对 5 个因素分别打分,分值越高,表示该因素对感官的影响程度越大。权重集用  $S=(S_1, S_2, S_3, S_4, S_5)$ ,权重总和为 1。

1.2.2.3 感官评分的计算 选择 10 位身体健康、无感官缺陷、长期从事食品行业的人员(男女各 5 名)组成评定小组,分别对正交试验设计的 9 个样品的 5 个因素分别打分,得到各个样品的模糊矩阵 A。则每个样品的综合评价得分  $R=S \times A \times K$ , K 表示优(90)、良(80)、中(70)、差(60)对应的值,面包感官评价参

照孙莹等<sup>[23]</sup>的方法并加以修改,评定标准见表 2。

1.2.3 面包理化指标的测定 面包中蛋白质的测定:依据 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的第一法对面包样品进行蛋白质的测定;酸价的测定:依据 GB 5009.229-2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》中第一法对面包样品进行酸价的测定;过氧化值的测定:依据 GB 5009.227-2016《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》中第一法对面包样品进行过氧化值的测定。

1.2.4 面包微生物指标的测定 面包中菌落总数的测定:依据 GB 4789.2-2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》对面包样品进行菌落总数的测定。大肠菌群的测定:依据 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》对面包的大肠菌群进行测定。

1.3 数据处理

单因素实验结果以平均值±标准误差来表示,平行测定 3 次,所得结果用 SPSS 进行数据处理及显著性分析,并用 Graphpad Prism 作图,以  $P<0.05$  作为差异显著性判断标准。

2 结果与分析

2.1 辣木籽杂粮面包单因素实验

2.1.1 酵母添加量对面包品质的影响 由图 1a 知,感官评分随着酵母添加量的增加先增大后减小,酵母添加量为 0.8% 时得分最高。当酵母添加量在 0.2%~0.6% 时,感官评分低于 80 分,面团不仅发酵缓慢,烤制面包气孔小且不均匀,不具有面包特有的发酵香气。酵母添加量为 0.8% 时,感官评分最高。当添加量为 1.0%~1.2% 时,感官评分下降,发酵成型的面团有酸味逸出。这是因为:酵母菌是一类通过无氧呼吸进行繁殖的菌群,它在进行无氧呼吸时会产生大量乳酸,以此赋予面包酸味,从而影响面包的风味<sup>[19]</sup>。因此,若将酵母添加量作为一个因素做正交试验,其酵母正交试验水平选择为 0.6%~1.0%,但此时感官评分为 76.8~80.8,变化较小,且 0.6% 和 1.0% 的酵母添加量差异不显著( $P>0.05$ ),因此本研究酵母添加量直接固定在 0.8% 进行后续试验。

2.1.2 绵白糖添加量对面包品质的影响 从图 1b 可知,面包的感官评分随着绵白糖添加量的增加呈现先

表 2 辣木籽杂粮面包感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation standards for *Moringa* seed multigrain bread

等级	项目				
	气味	组织	色泽	形态	口感
优(90~100分)	有浓郁的面包香味,没有异味	有很好的弹性,切面处有大小均匀的气孔	色泽均匀、一致	表面完整、光洁,没有干面粉和斑点	松软适口,不黏牙
良(80~89分)	有较淡面包香味,没有异味	有较好的弹性,切面处气孔大小较均匀	色泽较均匀	表面完整、比较光洁,没有明显干面粉和斑点	较松软适口,不黏牙
中(70~79分)	没有面包香味,有较淡异味	弹性一般,切面处有大小不均匀的气孔	色泽较不均匀	表明有少量缺损,有较少干面粉和斑点	口感较粗糙
差(60~69分)	没有面包香味,有强烈异味	无弹性,切面处有大小极不均匀的气孔	色泽非常不均匀	表明有明显缺损,有明显干面粉和斑点	口感很粗糙

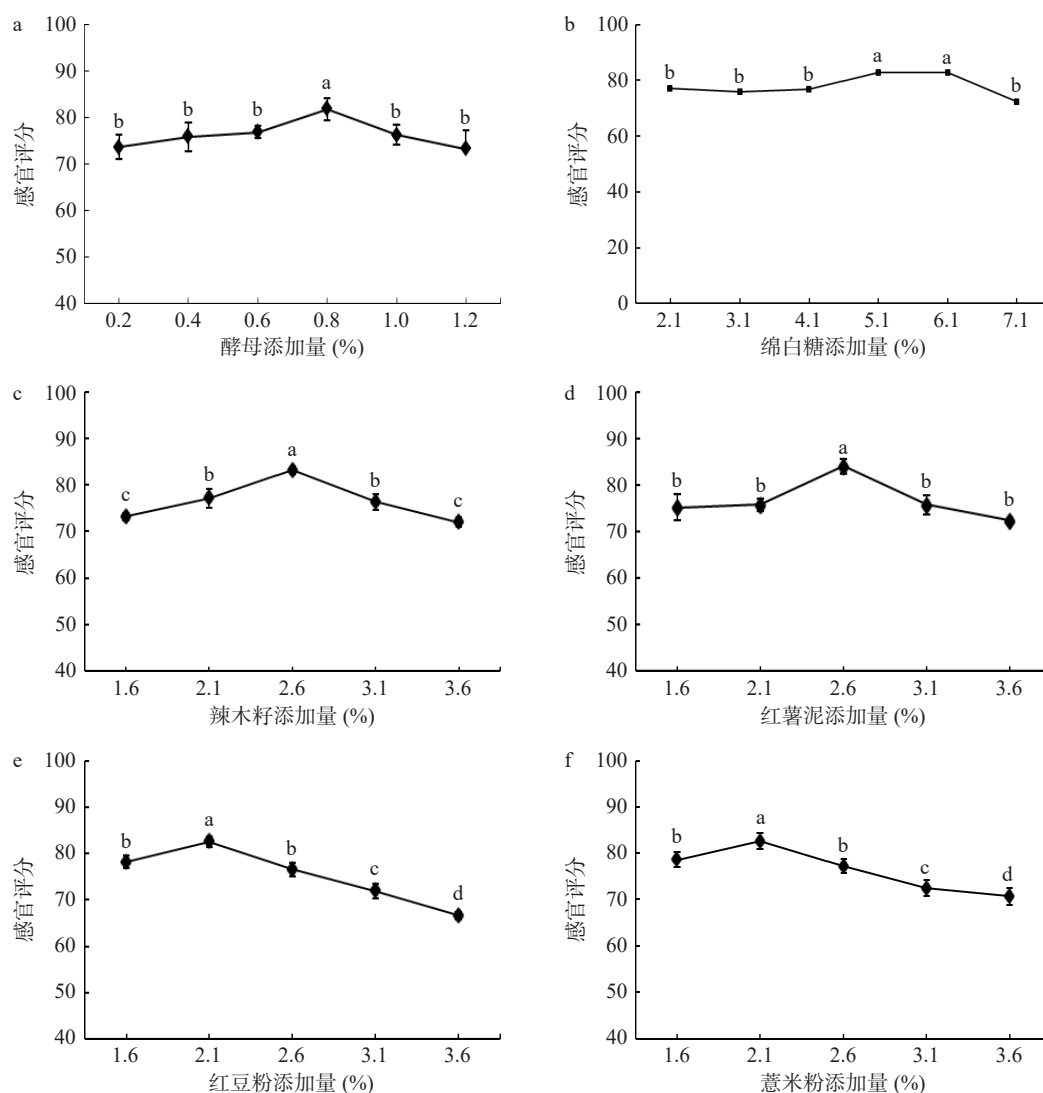


图1 不同因素对辣木籽杂粮面包品质的影响

Fig.1 Effects of different factors on the quality of *Moringa* seed multigrain bread

注: 图中不同字母表示不同添加量之间差异显著,  $P < 0.05$ ; a: 酵母添加量; b: 绵白糖添加量; c: 辣木籽添加量; d: 红薯泥添加量; e: 红豆粉添加量; f: 薏米粉添加量。

增大后减小的趋势。添加量为 2.1%~4.1% 或 >6.1% 时, 感官评分显著降低 ( $P < 0.05$ )。糖添加量较少时, 面团体积减小, 面包甜度和香味不足, 面包偏硬; 当糖添加量过多时, 面包口感甜腻, 内部气孔太大, 酸味重, 且容易烤焦。添加量在 5.1%~6.1% 时, 感官评分最高。若将绵白糖添加量作为一个因素做正交试验, 其正交试验水平选择为 4.1%~6.1%, 但此时感官评分为 76.8~81.8, 变化较小, 且绵白糖主要作用是有助于酵母菌的生长繁殖, 从而改善面团及面包内部的组织结构<sup>[24]</sup>, 兼顾经济因素, 本研究绵白糖添加量直接固定在 5.1% 进行后续试验。

**2.1.3 辣木籽添加量对面包品质的影响** 从图 1c 可知, 面包的感官评分会随着辣木籽添加量的增加先增大后减小。辣木籽添加量在 2.6% 时, 气孔大小均匀、松软度适宜, 口感最佳评分最高。添加量在 >2.6% 时, 面包口感发涩, 且面包的质感粗糙。故选定 2.1%~3.1% 辣木籽添加量作为后续正交试验水平。

**2.1.4 红薯泥添加量对面包品质的影响** 从图 1d 可知, 红薯泥添加量为 2.6% 时有面包香味, 表面完整有光泽, 色泽均匀, 感官评分最高。继续增大添加量, 面包感官评分显著降低 ( $P < 0.05$ ), 出现面包发硬、蓬松度较差、气孔大小不一等现象。这是因为红薯中膳食纤维的增加会影响面筋网络的形成, 导致面包体积减小<sup>[25]</sup>。故本研究选择红薯泥的添加量为 2.1%~3.1% 作为后续正交试验水平。

**2.1.5 红豆粉添加量对面包品质的影响** 从图 1e 可知, 红豆粉添加量在 2.1% 时, 面包表面金黄、光洁, 色泽均匀, 口感最佳, 感官评分最高, 添加量继续增大, 面包发硬, 蓬松度差、面包表面粗糙且易坍塌, 感官评分明显降低。因为红豆粉中的膳食纤维和无面筋蛋白的添加对小麦面筋蛋白起到稀释作用, 影响面筋网络的形成和保持, 导致面包比容下降, 进而影响面包的质构与口感。故本研究选择红豆粉的添加量为 1.6%~2.6% 作为后续正交试验水平。

2.1.6 薏米粉添加量对面包品质的影响 从图 1f 可知, 面包的感官评分随着薏米粉添加量的增加呈现先增大后减小的趋势。薏米粉的添加量在 1.6% 时, 表面粗糙, 有少量缺损, 颜色暗黄。薏米粉添加量在 2.1% 时, 面包切开后的气孔大小均匀, 感官评分最高。添加量在 2.6%~3.6%, 面包发硬, 蓬松度差, 口感发涩。由于薏米中不含面筋蛋白, 过量添加易导致面团网络结构不够紧密, 使得面包弹性降低、咀嚼性变差, 感官评分降低<sup>[26]</sup>, 故选择薏米粉的添加量为 1.6%~2.6% 作为后续正交试验水平。

根据图 1 单因素实验结果, 由于绵白糖、酵母粉对杂粮面包感官评分影响较小, 为了进一步研究辣木籽等杂粮的添加对面包品质的影响, 选定对辣木籽杂粮面包品质影响较大的四个因素: 即辣木籽添加量、红薯泥添加量、红豆添加量和薏米添加量进行后续正交试验。绵白糖、酵母粉分别选取 5.1%、0.8% 添加量进行后续试验。

2.2 配方优化正交试验及模糊数学分析

2.2.1 权重统计结果 根据感官评价结果, 经过归一化处理, 确定面包的气味、组织、色泽、形态以及口感的权重系数, 得到面包模糊数学感官评价权重集  $S=[0.13\ 0.36\ 0.15\ 0.17\ 0.19]$ 。具体结果见表 3。

2.2.2 模糊数学感官评分统计结果 由 10 名感官评定人员对正交试验每组面包样品的气味、组织、色

泽、形态以及口感等进行感官评定选择, 统计汇总后结果见表 4。

2.2.3 模糊矩阵的确立 由表 4 可知, 感官评定人员分别对辣木籽粗杂粮面包感官评分中的 5 个因素分别进行等级评价, 根据每个因素在优、良、中、差等级下的人员数统计得到评价集, 5 个评价集组成相应的模糊矩阵。以样品 1 为例:

$U_1=(0.2, 0.8, 0, 0)$ ,  $U_2=(0.5, 0.4, 0.1, 0)$ ,  $U_3=(0.3, 0.5, 0.2, 0)$ ,  $U_4=(0.2, 0.6, 0.2, 0)$ ,  $U_5=(0.4, 0.5, 0.1, 0)$ 。样品 1 的模糊矩阵为:

$$A_1=\begin{bmatrix} 0.2 & 0.8 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 \\ 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0 \\ 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0 \end{bmatrix}$$
, 同理达到其余样品的

模糊矩阵。根据样品的模糊关系  $R_i=S\times A_i$  确定其综合评价结果。以样品 1 为例:  $Y_1=S\times A_1=[0.13\ 0.36$

$0.15\ 0.17\ 0.19]\times\begin{bmatrix} 0.2 & 0.8 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 \\ 0.2 & 0.6 & 0.2 & 0 \\ 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0 \end{bmatrix}=(0.361\ 0.52$

$0.119\ 0)$ 。将样品 1 的综合评判结果的每个量分别乘以其对应的分值, 相加即可得出其总分。样品 1 号总分为  $0.361\times 90+0.52\times 80+0.119\times 70+0\times 60=82.42$ 。同理可得其余正交试验样品的感官评价集及感官评分。综合评判结果见表 5。

表 3 感官评分权重统计表  
Table 3 Statistical table of sensory evaluation score weight

评定人员	权重					归一化				
	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_5$	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_5$
1	10	40	15	20	15	0.10	0.40	0.15	0.20	0.15
2	15	30	20	15	20	0.15	0.30	0.20	0.15	0.20
3	15	30	20	25	10	0.15	0.30	0.20	0.25	0.10
4	20	35	10	15	20	0.20	0.35	0.10	0.15	0.20
5	20	40	10	10	20	0.20	0.40	0.10	0.10	0.20
6	10	20	25	30	15	0.10	0.20	0.25	0.30	0.15
7	15	45	10	10	20	0.15	0.45	0.10	0.10	0.20
8	5	45	10	15	25	0.05	0.45	0.10	0.15	0.25
9	10	40	20	15	15	0.10	0.40	0.20	0.15	0.15
10	10	35	10	15	30	0.10	0.35	0.10	0.15	0.30
平均值	13	36	15	17	19	0.13	0.36	0.15	0.17	0.19

表 4 模糊数学感官评价统计表  
Table 4 Statistical table of fuzzy mathematics sensory evaluation

样品	气味				组织				色泽				形态				口感			
	优	良	中	差	优	良	中	差	优	良	中	差	优	良	中	差	优	良	中	差
1	2	8	0	0	5	4	1	0	3	5	2	0	2	6	2	0	4	5	1	0
2	3	5	2	0	5	3	2	0	1	5	4	0	3	4	3	0	4	3	3	0
3	0	4	4	2	1	5	4	0	1	6	3	0	3	5	2	0	0	3	3	4
4	2	4	2	2	2	5	3	0	3	4	2	1	4	3	3	0	2	4	3	1
5	1	6	2	1	1	6	3	0	2	4	3	1	4	3	2	1	1	4	5	0
6	3	5	2	0	6	4	0	0	4	4	2	0	5	5	0	0	4	6	0	0
7	1	5	4	0	1	4	4	1	1	4	5	0	2	4	4	0	1	5	3	1
8	1	4	4	1	0	4	4	2	2	5	3	0	1	5	3	1	1	3	3	3
9	1	4	5	0	1	2	6	1	1	4	4	1	1	6	3	0	0	5	5	0

表 5 面包正交试验感官评价结果集

Table 5 Sensory evaluation result set of orthogonal experiment of bread

感官评价集	评价结果	感官评分
Y <sub>1</sub>	(0.361 0.52 0.119 0)	82.42
Y <sub>2</sub>	(0.361 0.373 0.266 0)	80.95
Y <sub>3</sub>	(0.102 0.464 0.351 0.102)	76.99
Y <sub>4</sub>	(0.249 0.419 0.272 0.06)	78.57
Y <sub>5</sub>	(0.166 0.481 0.308 0.045)	77.68
Y <sub>6</sub>	(0.476 0.468 0.056 0)	84.20
Y <sub>7</sub>	(0.117 0.432 0.396 0.055)	76.11
Y <sub>8</sub>	(0.079 0.413 0.349 0.159)	74.12
Y <sub>9</sub>	(0.081 0.381 0.487 0.051)	74.92

正交试验结果见表 6。由表 6 可知,影响辣木籽粗杂粮面包的顺序为 A>D>C>B,即辣木籽添加量>薏米>红豆>红薯泥的添加量。最佳的工艺配方是 A<sub>2</sub>B<sub>1</sub>C<sub>1</sub>D<sub>2</sub>,即辣木籽的添加量为 2.6%,红薯泥的添加量为 2.1%,红豆的添加量为 1.6%,薏米的添加量为 2.1%。基于此配方进行验证试验,得到的感官评分是 86.35,高于正交试验中任一组。此条件下制备的面包味道浓郁,色泽均匀,松软适口。

表 6 正交试验评价结果

Table 6 Sensory evaluation results of orthogonal test

实验号	因素				模糊评分
	A辣木籽	B红薯泥	C红豆	D薏米	
1	1	1	1	1	82.42
2	1	2	2	2	80.95
3	1	3	3	3	76.99
4	2	1	2	3	78.57
5	2	2	3	1	77.68
6	2	3	1	2	84.20
7	3	1	3	2	76.11
8	3	2	1	3	74.12
9	3	3	2	1	74.92
k <sub>1</sub>	80.12	79.03	80.25	78.34	
k <sub>2</sub>	80.15	77.58	78.15	80.42	
k <sub>3</sub>	75.05	78.70	76.93	76.56	
R	5.1	1.45	3.32	3.86	
优水平	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	
主次因素	A>D>C>B				

### 2.3 辣木籽杂粮面包的理化指标

2.3.1 面包中蛋白质的含量 辣木籽杂粮面包的蛋白质含量比普通面包的蛋白质含量高 5.6 g/100 g(见表 7),说明添加辣木籽等原料可显著提高面包中蛋白质的含量( $P<0.05$ )。这是因为辣木籽干粉中含有 37.8% 的粗蛋白质<sup>[27]</sup>,可作为蛋白质补充剂<sup>[28]</sup>,可提高面包中的蛋白质含量。戴媛等<sup>[29]</sup>将豌豆蛋白粉添加于面包中,可使面包具有较好的理化特性和储存特性,与本研究结果相吻合。

2.3.2 面包的酸价定 辣木籽杂粮面包样品在 0 d 时的酸价为 0.24 mg/g,新鲜普通面包酸价为 0.25 mg/g,两种面包的酸价均小于限值( $\leq 5$  mg/g)(见表 7)。

表 7 不同面包理化指标比较

Table 7 Comparison of physicochemical indexes of different breads

面包	蛋白质含量 (g/100 g)	酸价(mg/g)		过氧化值(g/100 g)	
		0 d	5 d	0 d	5 d
辣木籽粗杂粮面包	16.4±1.03 <sup>a</sup>	0.24±0.06 <sup>a</sup>	0.30±0.01 <sup>b</sup>	0.020±0.001 <sup>a</sup>	0.024±0.001 <sup>b</sup>
普通面包	10.8±0.18 <sup>b</sup>	0.25±0.03 <sup>a</sup>	0.35±0.02 <sup>a</sup>	0.019±0.002 <sup>a</sup>	0.033±0.003 <sup>a</sup>

注:表中不同字母表示每列之间差异显著, $P<0.05$ 。

存放 5 d 后辣木籽粗杂粮面包酸价为 0.30 mg/g,增加了 25%,普通面包酸价为 0.35 mg/g,增加了 40%。辣木籽杂粮面包在贮存过程中,酸价的增加幅度小于普通面包的增加幅度。表明辣木籽等原料的添加,会显著延缓面包中油脂的酸败速率( $P<0.05$ )。

2.3.3 面包的过氧化值 辣木籽杂粮面包在 0 d 的过氧化值为 0.020 g/100 g,符合国家标准( $\leq 0.25$  g/100 g)(见表 7),储存 5 d 后过氧化值为 0.024 g/100 g,增加 20%。普通面包在 0 d 时的过氧化值含量为 0.019 g/100 g,存放 5 d 后过氧化值含量为 0.033 g/100 g,与 0 d 时的过氧化值相比增加 73.7%,表明杂粮的添加可显著降低面包储藏期间的过氧化值( $P<0.05$ )。由于辣木籽中含有的类胡萝卜素和酚类化合物有助于保护不饱和脂肪酸被氧化,使得面包中油脂的贮藏稳定性增强<sup>[30]</sup>。此外,薏米具有抗氧化作用<sup>[31]</sup>,其含有的多酚可清除过氧化氢自由基<sup>[32]</sup>,还可有效降低猪油的过氧化值<sup>[33]</sup>,与本研究结果相一致。

### 2.4 面包中菌落总数的测定

辣木籽杂粮面包与普通面包在 0 d 的菌落总数均 $\leq 10$  CFU/g,符合国家标准。存放 5 d 后辣木籽杂粮面包样品的菌落总数结果为 774 CFU/g;普通面包样品的菌落总数结果为 2620 CFU/g(见表 8)。对比以上数据可以看出,放置 5 d 后,普通面包菌落数比辣木籽杂粮面包菌落数多 3 倍。说明辣木籽等药食同源物的添加可以延缓面包中菌落总数的增加速率。刘思玉等<sup>[34]</sup>也指出,辣木籽提取物具有高效、稳定的抑菌效果。黄璜<sup>[35]</sup>指出:辣木籽挥发油可明显抑制微生物的繁殖,菌落总数增长速度明显低于对照组,与本研究结果相吻合。

表 8 不同面包中菌落总数比较

Table 8 Comparison of the total number of colonies in different breads

样品名称	菌落总数(CFU/g)		限值(CFU/g)
	0 d	5 d	
辣木籽粗杂粮面包	$\leq 10$	774	$\leq 10^5$
普通面包	$\leq 10$	2620	

## 3 结论

本实验通过正交试验得到辣木籽杂粮面包各因素的影响顺序为:辣木籽添加量>薏米添加量>红豆添加量>红薯泥的添加量,基于模糊数学感官评价法



确定面包的最佳配方为: 牛奶 34%, 黄油 7.5%, 全蛋液 40%, 酵母添加量为 0.8%, 白糖添加量 5.1%, 辣木籽的添加量为 2.6%, 红薯泥的添加量为 2.1%, 红豆的添加量为 1.6%, 薏米的添加量为 2.1%。在此配方下面包的模糊数学感官评分最高(86.35 分), 此时面包外形完整, 味道浓郁, 松软适口。此条件下制得的面包过氧化值、酸价、菌落总数均符合国家标准。此外, 贮存 5 d 后, 辣木籽杂粮面包酸价增加幅度(25%)小于普通面包(40%), 过氧化值增加幅度(20%)也低于普通面包(73.7%), 此时, 普通面包菌落数比辣木籽杂粮面包多 3 倍。从本文的研究结果来看, 辣木籽杂粮面包具有一定的延缓酸败和抑菌效果, 其可靠性及机理还有待于进一步研究, 该研究可为辣木籽食品的开发奠定理论基础。

### 参考文献

- [1] 王云龙, 房岐, 郑超. 辣木籽化学成分、药理作用及开发利用研究进展[J]. 中医药信息, 2020, 37(3): 125-128. [WANG Y L, PANG Q, ZHENG C. Research progress on chemical constituents, pharmacological effect and utilization of *Moringa* seed[J]. Information on Traditional Chinese Medicine, 2020, 37(3): 125-128.]
- [2] 虎斌真, 陶宁萍, 许长华. 基于食药价值的辣木籽研究进展[J]. 食品科学, 2018, 39(15): 302-309. [HU X Z, TAO N P, XU C H. Recent advances in research on the medicinal and culinary value of *Moringa* seeds[J]. Food Science, 2018, 39(15): 302-309.]
- [3] 王标诗, 黄溢杨, 谭文慧, 等. 辣木籽多糖的超高压辅助提取工艺及其抗氧化活性分析[J]. 热带作物学报, 2022, 43(10): 2132-2138. [WANG B S, HUANG H Y, TAN W H, et al. Ultra-high pressure assisted extraction and antioxidant activity of polysaccharide from *Moringa oleifera* seeds[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2022, 43(10): 2132-2138.]
- [4] 和丽, 吴君瑞, 王雪峰, 等. 反胶束法提取辣木籽蛋白工艺优化[J]. 中国油脂, 2021, 46(7): 80-85, 98. [HE L, WU J R, WANG X F, et al. Optimization of extraction process of *Moringa oleifera* seed protein by reverse micelle method[J]. China Oils and Fats, 2021, 46(7): 80-85, 98.]
- [5] 李威. 辣木籽油纳米乳凝胶的制备及对伤口愈合的初步研究[D]. 大理: 大理大学, 2022. [LI W. Preparation of *Moringa* seed oil nano-emulsion gel and preliminary study on wound healing[D]. Dali: Dali University, 2022.]
- [6] 汤兴楠, 栾凯文, 任帅, 等. 辣木籽有效成分提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(6): 53-61. [TANG X N, LUAN K W, REN S, et al. Study on extraction process optimization and antioxidant activity of *Moringa oleifera* Lam. seeds[J]. China Food Additives, 2022, 33(6): 53-61.]
- [7] 彭瑶. 辣木籽多糖的分离纯化、结构表征及抗炎机制的研究[D]. 广州: 广州大学, 2022. [PENG Y. Isolation, purification, structural characterization and anti-inflammatory mechanism of polysaccharide from *Moringa oleifera* seed[D]. Guangzhou: Guangzhou University, 2022.]
- [8] TAKAHAMA U, HIROTA S, MORINA F. Procyanidins in rice cooked with adzuki bean and their contribution to the reduction of nitrite to nitric oxide ( $\bullet$ NO) in artificial gastric juice[J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2020, 71(1): 63-73.
- [9] 李永富, 张晶晶, 史锋, 等. 薏仁米贮藏过程中油脂氧化规律及原因探究[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(10): 48-55. [LI Y F, ZHANG J J, SHI F, et al. Law and reason of oil oxidation of coix seed during storage[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils, 2020, 35(10): 48-55.]
- [10] 吴广辉, 毕韬韬. 红薯营养价值及综合开发利用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(20): 189-192. [WU G H, BI T T. Nutritional value and comprehensive development and utilization of sweet potato[J]. Food Research and Development, 2015, 36(20): 189-192.]
- [11] 丁静华, 李瑶璐, 刘倩谥, 等. 富硒面包的加工工艺研究[J]. 农产品加工, 2021(17): 32-35. [DING J H, LI Y L, LIU Q M, et al. Study on processing technology of selenium-rich bread[J]. Farm Products Processing, 2021(17): 32-35.]
- [12] 林艺璇, 曾巧玲, 张玲云, 等. 大黄鱼卵磷脂对面团流变学和面包感官品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(13): 4174-4179. [LIN Y X, ZENG Q L, ZHANG L Y, et al. Effects of *Larimichthys crocea* roe phospholipids on the rheological properties of dough and sensory quality of bread[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(13): 4174-4179.]
- [13] LIU X L, MU T H, SUN H N, et al. Influence of potato flour on dough rheological properties and quality of steamed bread[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2016, 15(11): 2666-2676.
- [14] 宋志强, 戴慧颖, 杨佳茹, 等. 藜麦麸皮不可溶性膳食纤维对面包品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(21): 8-13. [SONG Z Q, DAI H Y, YANG J R, et al. Effect of quinoa bran insoluble dietary fiber on bread quality[J]. Food Research and Development, 2022, 43(21): 8-13.]
- [15] XU X, LUO Z, YANG Q, et al. Effect of quinoa flour on baking performance, antioxidant properties and digestibility of wheat bread[J]. Food Chemistry, 2019, 294: 87-95.
- [16] 李来泉, 张子茜. 山药薏米面包制备工艺研究[J]. 粮食与饲料工业, 2021(6): 16-20. [LI L Q, ZHANG Z Q. Study on the processing technology of yam coix lacryma-jobi bread[J]. Cereal & Feed Industry, 2021(6): 16-20.]
- [17] 廖珺, 王辉军, 苏有健, 等. 茶多酚对面包纹理结构的影响[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(4): 40-47. [LIAO J, WANG Y J, SU Y J, et al. Effect of tea polyphenols on the texture of bread[J]. Food Research and Development, 2022, 43(4): 40-47.]
- [18] YAO J L, ZHANG Q A, LIU M J. Effects of apricot kernel skins addition and ultrasound treatment on the properties of the dough and bread[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(7): e15611.
- [19] 关天琪, 郭艳红, 杨旭卉, 等. 薏仁红豆代餐面包配方优化及其品质分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(23): 7699-7707. [GUAN T Q, GUO Y H, YANG X H, et al. Formula optimization and quality analysis of Coix seed and *Vigna angularis* meal replacement bread[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2022, 13(23): 7699-7707.]
- [20] 邱松林, 阎光宇, 张媛, 等. 红薯渣膳食纤维面包加工工艺优化研究[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(12): 117-120. [QIU S L, YAN G Y, ZHANG Y, et al. Study on optimization of processing technology of sweet potato residue dietary fiber bread[J]. Cereals & Oils, 2020, 33(12): 117-120.]
- [21] 李林燕. 大麦膳食纤维降血糖作用机制及其物质基础研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2021. [LI L Y. Study on the hypoglycemic mechanism and the material basis of barley dietary fiber[D]. Nanchang: Nanchang University, 2021.]
- [22] 肖志刚, 周廉舜, 王丽爽, 等. 基于模糊数学综合评价法的改性紫薯饼干的制备工艺优化[J]. 食品工业科技, 2023, 44(7): 170-177. [XIAO Z G, ZHOU L S, WANG L S, et al. Optimization on the processing technology of modified purple sweet potato biscuits



- based on fuzzy mathematics comprehensive evaluation method[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(7): 170-177. ]
- [ 23 ] 孙莹, 苗榕芯. 基于模糊数学综合感官评价的甘薯淀粉面包的工艺优化[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(17): 180-185. [ SUN Y, MIAO R X. Optimization of the production process of sweet potato starch bread based on fuzzy synthetical evaluation[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(17): 180-185. ]
- [ 24 ] 申亚军. 高品质香菇面包生产工艺研究[J]. *粮食与油脂*, 2020, 33(6): 51-53. [ SHEN Y J. Study on the production process of high quality mushroom bread[J]. *Cereals & Oils*, 2020, 33(6): 51-53. ]
- [ 25 ] 满永刚. 超细大豆皮膳食纤维在面包中的应用[J]. *农产品加工*, 2017(9): 27-31. [ MAN Y G. Application of ultra- fine pulverized soybean meal dietary fiber in bread[J]. *Farm Products Processing*, 2017(9): 27-31. ]
- [ 26 ] 石晶红, 郝水源, 郭淑文. 山药薏米芡实混合粉对小麦粉加工品质的影响[J]. *食品与机械*, 2021, 37(1): 199-203. [ SHI J H, HAO S Y, GUO S W. Effect of the mixed flour of Chinese yam, *Coix chinensis* Tod. and *Euryale ferox* on the processing quality of wheat flour[J]. *Food & Machinery*, 2021, 37(1): 199-203. ]
- [ 27 ] 樊建麟, 邵金良, 叶艳萍, 等. 辣木籽营养成分含量测定[J]. *中国食物与营养*, 2016, 22(5): 69-72. [ FAN J L, SHAO J L, YE Y P, et al. Determination on nutritional components in seeds of *Moringa oleifera*[J]. *Food and Nutrition in China*, 2016, 22(5): 69-72. ]
- [ 28 ] 杨迎. 辣木籽营养成分分析及其生物活性研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2018. [ YANG Y. Study on the nutritional components and biology activity of *Moringa oleifera* Lam. seed[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2018. ]
- [ 29 ] 戴媛, 冷进松, 傅婷婷. 豌豆蛋白面包的制作工艺优化及其品质[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(11): 194-199. [ DAI Y, LENG J S, FU T T. Optimization of preparation process of pea protein bread and its quality characteristics[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(11): 194-199. ]
- [ 30 ] 孙燕. 不同预处理提取辣木籽油及其稳定性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2020. [ SUN Y. Study on extraction and stability of *Moringa oleifera* seed oil[D]. Chongqing: Southwest University, 2020. ]
- [ 31 ] DEVARAJ R D, JEEPIALLI S P, XU B. Phytochemistry and health promoting effects of Job's tears (*Coix lacryma-jobi*)-A critical review[J]. *Food Bioscience*, 2020, 34: 100537. ]
- [ 32 ] 王立峰, 鞠兴荣. 3种薏米的多酚提取物清除过氧化氢自由基抗氧化能力评价[J]. *食品科学*, 2012, 33(19): 39-44. [ WANG L F, JU X R. Polyphenol content and hydrogen peroxide radical-scavenging capacity of extracts from three cultivars of adlay[J]. *Food Science*, 2012, 33(19): 39-44. ]
- [ 33 ] 李玲, 王益志, 闫旭宇. 薏米多酚的优化提取及其抗氧化研究[J]. *湘南学院学报*, 2015, 36(2): 23-27. [ LI L, WANG Y Z, YAN X Y. Study on extraction and antioxidant activity of polyphenols from adlay[J]. *Journal of Xiangnan University*, 2015, 36(2): 23-27. ]
- [ 34 ] 刘思玉, 葛武鹏, 赵丽丽, 等. 辣木籽提取物提取工艺优化及其对乳中蜡样芽孢杆菌的抑制作用[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(15): 110-118. [ LIU S Y, GE W P, ZHAO L L, et al. Extraction process optimization of *Moringa* seed extract and its inhibition on *Bacillus cereus* in milk[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(15): 110-118. ]
- [ 35 ] 黄璜. 辣木籽中挥发性物质分析及抗氧化活性研究[D]. 天津: 天津商业大学, 2022. [ HUANG H. Analysis of volatile substances in *Moringa* seeds and study on antioxidant activity[D]. Tianjin: Tianjin University of Commerce, 2022. ]