

南瓜全麦馒头配方优化与营养特性分析

饶颖, 冯小平, 郑静, 李安林, 熊双丽

Formula Optimization and Nutritional Characteristics Analysis of Pumpkin Whole Wheat Steamed Bread

RAO Ying, FENG Xiaoping, ZHENG Jing, LI Anlin, and XIONG Shuangli

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023070163>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

葡萄糖氧化酶对全麦面团及全麦馒头品质改良的影响

Effect of Glucose Oxidase on Quality of Whole Wheat Dough and Whole Wheat Steamed Bread

食品工业科技. 2019, 40(14): 78-82,88 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.14.013>

响应面法优化糖尿病肾病患者专用山药馒头配方

Optimization of formula of yam steamed bread for diabetic nephropathy patients by response surface methodology

食品工业科技. 2018, 39(8): 154-159,166 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.08.028>

食用菌馒头粉的配方设计及其品质改良

The Design of the Formula for Edible Mushroom Steamed Bread Flour and Its Quality Improvement

食品工业科技. 2019, 40(24): 144-151 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.24.024>

汽爆高粱全粉馒头的研制

Preparation of Steam-exploded Whole Sorghum Flour Steamed Bread

食品工业科技. 2018, 39(15): 200-204 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.15.036>

木薯全粉对木薯-小麦混合粉加工特性及馒头品质的影响

Effect of Whole Cassava Flour on Processing Properties of Cassava-wheat Composite Flour and Quality Properties of Chinese Steamed Bread

食品工业科技. 2020, 41(7): 18-24 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.07.004>

功能性馒头研究进展

Research Progress on Functional Steamed Bread

食品工业科技. 2020, 41(15): 352-356 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.15.054>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

饶颖, 冯小平, 郑静, 等. 南瓜全麦馒头配方优化与营养特性分析 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(11): 167-174. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023070163

RAO Ying, FENG Xiaoping, ZHENG Jing, et al. Formula Optimization and Nutritional Characteristics Analysis of Pumpkin Whole Wheat Steamed Bread[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(11): 167-174. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023070163

· 工艺技术 ·

南瓜全麦馒头配方优化与营养特性分析

饶颖, 冯小平, 郑静, 李安林, 熊双丽*

(四川旅游学院烹饪科学重点实验室, 四川成都 610100)

摘要: 为改良全麦馒头品质, 本文选用低温低速研磨的石磨全麦粉, 利用南瓜粉天然色素, 研究南瓜粉添加量对全麦粉-小麦粉混合粉的影响以及全麦粉添加量、南瓜粉添加量、酵母添加量、发酵时间对全麦馒头感官、比容、色度的影响。在此基础上, 以感官评分为响应值, 采用 Box-Behnken 试验优化得到全麦馒头最佳配方, 对全麦馒头进行营养特性分析。结果表明, 各因素对全麦馒头感官评分影响由大到小为: 全麦粉添加量、酵母添加量、南瓜粉添加量。全麦馒头最佳配方为: 小麦粉 55%、全麦粉 45%、南瓜粉 10%、酵母 2%, 发酵时间 40 min。该配方下制备的全麦馒头感官评分为 97.23, 与预测值 97.81 相近。最佳配方下的南瓜全麦馒头水分含量为 44.86%; 多酚含量为 5.47 mg/g; 黄酮含量为 2.57 mg/g。该配方下的馒头色泽金黄、香气突出、蓬松可口, 拥有南瓜和全麦特有的风味。为南瓜的深加工及综合利用提供了有益的参考。

关键词: 南瓜, 全麦, 馒头, 响应面法, 配方, 营养

中图分类号: TS213.2

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2024)11-0167-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023070163



本文网刊:

Formula Optimization and Nutritional Characteristics Analysis of Pumpkin Whole Wheat Steamed Bread

RAO Ying, FENG Xiaoping, ZHENG Jing, LI Anlin, XIONG Shuangli*

(Culinary Science Key Laboratory of Sichuan Province, Sichuan Tourism University, Chengdu 610100, China)

Abstract: In order to improve the quality of whole wheat steamed bread, in this paper, stone-ground whole wheat flour with low-temperature and low-speed milling was selected, and the natural pigment of pumpkin flour was utilized to study the effect of the addition of pumpkin flour on the whole wheat flour-wheat flour mixture, and the effects of the addition of whole wheat flour, the addition of pumpkin flour, the addition of yeast, and the fermentation time on the sensory, specific volume, and chromaticity of the whole wheat steamed bread. On this basis, the sensory score was used as the response value, and the Box-Behnken experiment was used to optimize to obtain the optimal formulation of whole wheat steamed bread and the nutritional characteristics of whole wheat steamed bread were analyzed. The results showed that the influence of each factor on the sensory scores of whole wheat steamed bread was in descending order: the amount of whole wheat flour added, the amount of yeast added, and the amount of pumpkin flour added. The optimal formulation of whole wheat steamed bread was 55% wheat flour, 45% whole wheat flour, 10% pumpkin flour, 2% yeast, and fermentation time 40 min. The sensory score of whole wheat steamed bread prepared under this formulation was 97.23, which was similar to the predicted value of 97.81. The moisture content of pumpkin whole wheat steamed bread under the optimal formulation was 44.86%, the polyphenol content was 5.47 mg/g, and the flavonoid content was 2.57 mg/g. The steamed bread under the formulation had a golden color, and prominent aroma, fluffy and tasty, and possessed the unique flavors of pumpkin and whole wheat. It provides a useful reference for the deep processing and comprehensive utilization of pumpkins.

Key words: pumpkin; whole wheat; steamed bread; response surface; formulation; nutrition

收稿日期: 2023-07-20

基金项目: 四川省大学生创新创业训练计划项目 (s202211552118); 四川旅游学院大学生科研项目 (2023XKZ02, 2022XKZ28)。

作者简介: 饶颖 (2000-), 女, 本科, 研究方向: 食品质量与安全, E-mail: 1799738767@qq.com。

* 通信作者: 熊双丽 (1977-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 粮油食品加工与安全, E-mail: lxberry225@163.com。

馒头是中国和大多数亚洲人群的主食,所用面粉通常为精制面粉。随着全谷物营养价值的不断展现与被认同,全麦食品如全麦挂面、全麦馒头等日益受到消费者的关注和喜爱。全麦馒头是将原料精制面粉替换成全麦粉,以完整小麦为原料,含丰富的膳食纤维如淀粉多糖和酚类化合物、维生素以及植物甾醇,具有抗氧化、抗癌等生理功能^[1]。但是,相对精制面粉,全麦馒头麸皮含量较高,会对全麦馒头的体积、质地和口感接受度产生负面影响^[2-4]。此外,麸皮也会产生苦味并缩短全麦馒头的保质期,降低全麦面团的持气能力,导致全麦馒头的比容更小、硬度更高、口感更粗糙。因此,消费者对全麦馒头的接受度较低,极大限制了全麦馒头的推广和发展^[5-7]。

南瓜是葫芦科一年生草本植物,南瓜中的碳水化合物约占其干物质的60%,多糖是主要部分,具有抗氧化活性、免疫调节活性、降血糖作用^[8]。Ebrahimi等^[9]发现向面粉中加入南瓜粉或南瓜泥能够强化面团的体积、弹性、孔隙率,提高吸水率,改善感官特性。目前常采用干燥的南瓜粉来制造配方食品,改善食品的营养、口感质量。Aljahani等^[10]将部分小麦粉替代为南瓜粉制作皮塔面包,能使面团呈现更柔软的胶凝质地,可以改善食品粗糙口感。

石磨全麦面粉采用较低的温度和速度进行研磨,对蛋白质、膳食纤维和天然抗氧化剂等营养物质破坏较少;胡萝卜素和 V_E 是其它面粉的18倍^[11-12],且粉质细腻、出粉率高,保留小麦原始风味^[13],最大程度利用小麦的营养物质。制得的馒头具有光泽,口感细腻。因此,本研究利用南瓜粉天然金黄色素,丰富全麦馒头营养^[14]。研究石磨全麦粉添加量、酵母添加量、南瓜粉添加量、发酵时间对石磨全麦馒头的影响,在单因素的基础上运用响应面优化全麦馒头工艺配方,并分析全麦南瓜馒头营养特性,以期拓展南瓜在面制品中的加工应用,丰富馒头产品市场。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

石磨全麦粉、小麦粉 四川省冯老汉科技有限公司;南瓜粉 兴化市东奥食品有限公司;安琪酵母 安琪酵母股份有限公司;纯牛奶 河北新希望天香乳业有限公司;芦丁标准品 纯度 $\geq 98\%$,四川省维克奇生物科技有限公司;没食子酸、福林酚 成都润泽本土化工有限公司;亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠等试剂 均为分析纯,成都金山化学试剂有限公司。

JFZD-300 面粉粉质仪 成都施特威科技发展有限公司;NH310 色差仪 深圳市三恩时科技有限公司;HC-3018R 高速冷冻离心机 安徽中科中佳科学仪器有限公司;UV6100S 扫描型紫外分光光度计 上海美谱达仪器有限公司;SB-5200DT 超声波清洗机 宁波新芝生物科技股份有限公司;BGZ-140 电热恒温干燥箱 上海博迅实业有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 混合粉粉质特性测定 参照国标 GB/T 14614-2019《小麦粉面团的物理特性 吸水性和流变特性的测定 粉质仪法》测定南瓜粉添加量(0%、5%、10%、15%、20%、25%)对质量比为1:1的全麦粉-小麦粉混合粉粉质特性的影响。

1.2.2 馒头加工工艺优化

1.2.2.1 全麦馒头加工工艺流程 全麦馒头发酵采用直接发酵法,参照李维颖等^[15]的方法并适当调整。采用烘焙百分比,其中以小麦粉和全麦粉混合粉质量为100%,基础配方为:小麦粉60%、全麦粉40%、纯牛奶75%、酵母2%。全麦馒头加工工艺流程:原辅料搅拌均匀 \rightarrow 和面(10 min) \rightarrow 发酵(37 $^{\circ}\text{C}$, 40 min) \rightarrow 搓条下剂 \rightarrow 整形 \rightarrow 醒发(15 min) \rightarrow 蒸制(15 min)。

1.2.2.2 全麦馒头加工单因素实验 以混合粉总质量100%计,全麦粉添加量(40%、45%、50%、55%、60%)、南瓜粉添加量(0%、5%、10%、15%、20%、25%)、酵母添加量(1%、1.5%、2%、2.5%、3%)、发酵时间(30、40、50、60、70 min)为考察因素,其他因素固定为基础配方中的条件。测定全麦馒头感官评分、比容、色差。

1.2.2.3 响应面法优化全麦馒头配方 在单因素实验基础上,使用 Design-Expert 13 软件,运用 Box-Behnken 设计方法,以全麦粉添加量、南瓜粉添加量、酵母添加量为自变量,将感官评分作为响应值,设计三因素三水平的响应面优化试验。如表1所示。

表1 响应面试验因素与水平

Table 1 Response surface experimental factors and levels

水平	A全麦粉添加量(%)	B南瓜粉添加量(%)	C酵母添加量(%)
-1	40	5	1.5
0	45	10	2.0
1	50	15	2.5

1.2.3 全麦馒头品质分析

1.2.3.1 全麦馒头感官评价 感官评价方法依据 GB/T 35991-2018《粮油检验 小麦粉馒头加工品质评价》,并在此基础上做适当修改,如表2所示。冷却后的馒头由10位具有专业知识的人员进行感官评分。

1.2.3.2 全麦馒头比容测定 全麦馒头比容测定参考汪磊等^[16]的方法,选用小米替换法来测得馒头的体积,馒头的体积与馒头的质量的比值即为比容。

1.2.3.3 全麦馒头色度测定 参考李少辉等^[17]的方法并适当修改,由 L^* 、 a^* 、 b^* 表示,其中, $+a^*$ 表示红色, $-a^*$ 表示绿色, $+b^*$ 表示黄色, $-b^*$ 表示蓝色, L^* 表示明度。馒头出锅后冷却1 h,用色差仪测量馒头皮和馒头瓤的中心部位。

1.2.3.4 全麦馒头营养成分测定 测定最佳配方下的南瓜全麦馒头营养价值,以不添加南瓜粉的全麦馒头

表 2 全麦馒头感官评分标准
Table 2 Sensory evaluation standard of whole wheat steamed bread

项目	总分(100分)	评分标准
表面色泽	10	表皮光泽性好、颜色均一(8~10)
		中等(4~7)
表面形态	15	表皮灰暗、颜色不均一(1~3)
		表皮光滑且形状对称(11~15)
内部结构	15	中等(6~10)
		表皮不光滑、有气泡、有裂口或起皱的表皮(1~5)
弹性	15	内部气孔细小且分布均匀、层次好(11~15)
		气孔大而不均匀或过于紧密(1~5)
韧性	15	按压后恢复性好、回弹快(11~15)
		中等(6~10)
黏性	10	按压后回弹性不好或按压困难、不回弹(1~5)
		韧性差、有嚼劲(11~15)
滋味	10	中等(4~7)
		咀嚼时不爽口、发黏(1~3)
气味	10	咀嚼时爽口不黏牙(8~10)
		有浓郁馒头麦香、无异味(8~10)
		中等(4~7)
		有异味、无香味(1~3)

头和仅添加小麦粉的精白馒头为对照组。馒头水分根据 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》进行测定;馒头多酚含量参照牛新奎等^[18]的方法测定:吸取样品溶液 0.5 mL,加入福林酚试剂 0.75 mL,加入质量分数为 10%的 Na₂CO₃ 试剂 1.5 mL,定容至 10 mL,在 35 °C 水浴中反应 30 min,在 765 nm 处测定吸光度,60%乙醇溶液作空白对照。线性回归方程: $y=4.62x+0.0494$, $R^2=0.9996$ 。馒头黄酮含量参照刘睿^[19]的方法测定:吸取样品溶液 0.5 mL,加入 0.05 g/mL 的亚硝酸盐溶液 0.5 mL,摇晃均匀,静置 6 min。添加 0.1 g/mL 的硝酸铝溶液 0.5 mL,摇晃均匀静置 6 min,加入 0.04 g/mL 氢氧化钠溶液 2 mL,摇匀静置 15 min,用 75% 乙醇定容,在 510 nm 处测定吸光度。线性回归方程: $y=9.505x-0.0234$, $R^2=0.9994$ 。

1.3 数据处理

每种处理样品测定 3 次,结果以平均值±标准差表示。运用 Microsoft Excel 2019 和 Origin 2021 软件对全麦馒头各项品质指标进行基本统计分析整理,SPSS 软件进行显著性分析,显著水平为 $P<0.05$ 。采用 Design-Expert13 进行响应面设计分析。

2 结果与分析

2.1 南瓜粉添加量对混合粉粉质特性的影响

由表 3 可知,南瓜粉添加量在 0%~20% 吸水率

逐渐升高,在 20% 时吸水率达到最大值。原因可能是南瓜蛋白吸水能力较面筋蛋白强,添加南瓜粉提高了面团蛋白质的含量,从而提高面团的吸水率。在 25% 时吸水率开始下降,可能是由于面筋蛋白含量逐渐减少,导致吸水率下降^[20],具体原因有待进一步探究。随着南瓜粉的添加量逐渐增加,在 0%~20% 稳定时间显著下降($P<0.05$),原因可能是南瓜粉的添加破坏了混合粉的蛋白质空间结构,麦谷蛋白的二硫键断裂,面筋强度变弱,导致稳定时间降低。在 25% 时显著上升($P<0.05$),原因可能是南瓜粉中各分子之间形成了交联网状结构,与面筋网络相互作用构成复杂稳固的体系,延长了面团稳定时间^[21]。综合分析,南瓜粉添加量在 10% 左右时吸水率较高,弱化度为 146 FU,说明了此添加量下的面团更易加工成型。选择 10% 的南瓜粉添加量较为合适。

表 3 南瓜粉添加量对混合粉粉质特性的影响
Table 3 Effect of pumpkin powder addition on the farinograph of mixed powder

南瓜粉添加量 (%)	吸水率 (%)	形成时间 (min)	稳定时间 (min)	弱化度 (FU)
0	69.80±0.30 ^c	13.90±0.40 ^a	8.30±0.30 ^a	510±23 ^b
5	70.80±0.20 ^d	9.50±0.10 ^b	7.30±0.80 ^b	514±15 ^a
10	70.80±0.10 ^d	7.10±0.40 ^d	4.40±0.50 ^e	146±17 ^f
15	70.90±0.50 ^c	6.70±0.30 ^c	3.60±0.10 ^d	167±12 ^c
20	72.80±0.20 ^a	7.20±0.70 ^c	3.50±0.40 ^e	154±9 ^e
25	71.70±0.10 ^b	7.20±0.20 ^c	3.70±0.10 ^d	159±10 ^d

注:表中同列数据肩注不同字母表示差异性显著($P<0.05$),相同字母表示不显著($P>0.05$),表4~表7、表10同。

2.2 单因素实验结果与分析

2.2.1 全麦粉添加量对全麦馒头品质的影响 由图 1 可知,当全麦粉添加量为 45% 时,感官评分达到最大值,超过 45% 时感官评分急剧下降,原因是过多的全麦粉会导致馒头的色泽变暗,口感粗糙,消费者接受度下降。随着全麦粉比例的增大,馒头的比容逐渐下降,可能是因为全麦面团中的面筋与纤维相互作用,破坏了面筋网络,影响气体保留,使馒头的质地变硬,

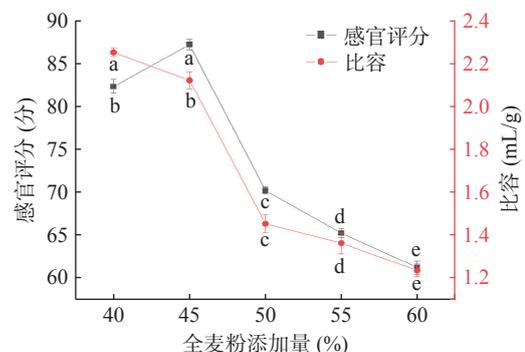


图 1 全麦粉添加量对全麦馒头感官和比容的影响

Fig.1 Effect of whole wheat flour addition on sensory quality and specific volume of whole wheat steamed bread

注:图中不同字母表示差异性显著($P<0.05$),相同字母表示不显著($P>0.05$),图2~图4同。

从而比容下降^[22]。因此,全麦粉的因素水平范围为40%~50%。

由表4可知,随着全麦粉添加量的增加,馒头的 L^* 、 a^* 、 b^* 值变化显著($P<0.05$)。全麦馒头的 L^* 值显著降低($P<0.05$), a^* 值、 b^* 值显著增加($P<0.05$),馒头颜色变暗,偏向黄褐色。这可能是因为全麦粉由于麸皮含量丰富,添加量越多颜色越深,对馒头色度造成不良影响。综合分析可知,全麦粉添加量在45%时馒头的色泽、鲜艳度较为适中,更容易被消费者接受。

表4 全麦粉添加量对全麦馒头色度的影响

Table 4 Effect of whole wheat flour addition on the color of whole wheat steamed bread

样品	全麦粉添加量(%)	L^*	a^*	b^*
馒头皮	40	78.45±0.43 ^a	6.39±0.07 ^c	15.9±0.03 ^e
	45	77.31±0.72 ^b	6.56±0.05 ^b	16.41±0.03 ^d
	50	76.52±0.20 ^c	6.65±0.04 ^b	17.35±0.02 ^c
	55	75.03±0.55 ^d	7.14±0.05 ^a	17.76±0.01 ^b
	60	74.69±0.37 ^e	7.32±0.03 ^a	18.15±0.05 ^a
	馒头瓤	40	79.11±0.53 ^a	6.42±0.08 ^c
45		78.34±0.52 ^b	6.53±0.06 ^b	16.51±0.03 ^d
50		76.32±0.20 ^c	6.55±0.07 ^b	17.42±0.05 ^c
55		75.24±0.55 ^d	7.17±0.05 ^a	17.86±0.04 ^b
60		74.77±0.39 ^e	7.42±0.04 ^a	18.35±0.05 ^a

2.2.2 南瓜粉添加量对全麦馒头品质的影响 由图2可知,随着南瓜粉添加量增多,在10%南瓜粉添加量时,感官评分显著高于其他处理组($P<0.05$),馒头带有金黄色,口感微甜,面团蓬松细腻;超过10%,馒头颜色逐渐变为褐色,出现苦涩味,口感紧实。比容先增加后下降,在10%时达到最大值。可能是适量南瓜粉中的面筋蛋白,能扩张面筋网络,提高持气性使面团体积增大。而过多的南瓜粉会增大吸水率,会抑制面筋网络的形成,形成气室壁阻碍气体的膨胀,使得硬度增大、弹性降低^[23]。导致全麦馒头的比容呈下降趋势。因此,南瓜粉的因素水平范围为5%~15%。

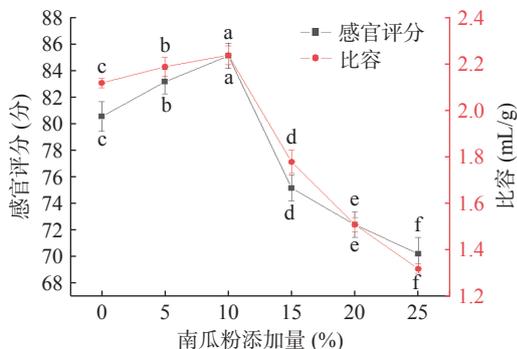


图2 南瓜粉添加量对全麦馒头感官和比容的影响
Fig.2 Effect of pumpkin powder addition on sensory quality and specific volume of whole wheat steamed bread

颜色是影响消费者选择食物的重要因素,南瓜粉的添加会显著影响全麦馒头色泽($P<0.05$), L^* 为食品亮度,值越大表示食品亮度越高。 L^* 与馒头内部的组织状态、孔洞均匀程度有关。

由表5可知,馒头皮和馒头瓤的 L^* 、 a^* 、 b^* 差异较小。随着南瓜粉的添加量增大, L^* 逐渐减小, a^* 值、 b^* 值逐渐升高,说明馒头颜色逐渐变暗,颜色偏红黄色,这可能与南瓜粉本身色泽和加热过程中的反应有关^[24]。综合分析可知在南瓜粉添加量10%左右时,馒头具有光泽,色彩饱和度有较高的接受度,同时保证了口感和营养价值。因此可作为南瓜粉的添加标准。

表5 南瓜粉添加量对全麦馒头色度的影响

Table 5 Effect of pumpkin powder addition on the color of whole wheat steamed bread

样品	南瓜粉添加量(%)	L^*	a^*	b^*
馒头皮	0	81.72±0.056 ^a	5.41±0.02 ^f	16.56±0.04 ^f
	5	77.25±0.08 ^b	6.71±0.07 ^e	26.11±0.12 ^e
	10	75.15±0.17 ^c	8.67±0.03 ^d	34.03±0.09 ^d
	15	72.67±0.11 ^d	10.91±0.03 ^c	37.15±0.13 ^c
	20	71.87±0.09 ^e	11.60±0.01 ^b	40.62±0.15 ^b
	25	70.13±0.11 ^f	12.39±0.03 ^a	41.81±0.04 ^a
馒头瓤	0	81.35±0.09 ^a	5.79±0.06 ^f	15.90±0.06 ^f
	5	76.38±0.13 ^b	6.94±0.09 ^e	27.35±0.09 ^e
	10	74.37±0.12 ^c	8.66±0.08 ^d	33.55±0.06 ^d
	15	73.27±0.15 ^d	10.16±0.08 ^c	36.87±0.06 ^c
	20	70.21±0.18 ^e	11.55±0.09 ^b	40.16±0.10 ^b
	25	68.56±0.16 ^f	12.81±0.07 ^a	41.14±0.27 ^a

2.2.3 酵母添加量对全麦馒头品质的影响 由图3可知,随着酵母从1%添加到3%过程中,感官评分和比容呈现为先升高后降低的趋势,当酵母的添加量为2%时,感官评分和比容达到最大值,馒头的适口性好,更易被人们接受;当酵母添加量低于2%时,馒头发酵不充分,类似于死面面团;当酵母添加量大于2%时,由于酵母数量过多,会在短时间内产生大量气体,在发酵面团的过程中容易使面团漏气导致馒头的比容降低,且会产生浓烈酒精味,导致感官评分下降。因此,酵母添加量的因素水平范围为1.5%~2.5%。

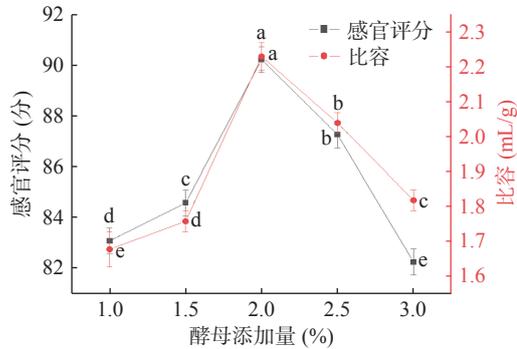


图3 酵母添加量对全麦馒头感官和比容的影响
Fig.3 Effect of yeast addition on sensory quality and specific volume of whole wheat steamed bread

由表6可知,酵母添加量的多少决定着馒头的发酵程度,也会对馒头色度产生影响,馒头的 L^* 值呈先升高后降低再升高的趋势,酵母添加量为2.5%时最小;馒头皮的 b^* 值与馒头瓤的 b^* 值有一定的差异,

馒头皮的 b^* 值随着酵母添加量增多不断增大; 馒头瓤的 b^* 值呈先升高后降低趋势。这说明了适当的酵母添加量可以使馒头内部的气孔均匀、数量多, 可以在一定程度上提高馒头的亮度, 使其色泽变好。酵母数量过多会产气多, 面团持气量增加, 馒头过度发酵, 在蒸制后冷却过程中会出现明显皱缩, 这些情况的出现会导致馒头表皮的颜色出现劣变^[25]。综合分析来看, 酵母添加量为 2% 时, 能保持较好的口感与色泽。

表 6 酵母添加量对全麦馒头色度的影响

Table 6 Effect of yeast addition on the color of whole wheat steamed bread

样品	酵母添加量(%)	L^*	a^*	b^*
馒头皮	1	77.10±0.79 ^b	6.55±0.22 ^c	17.07±0.32 ^c
	1.5	77.97±0.63 ^{ab}	6.43±0.12 ^c	17.18±0.06 ^c
	2	77.77±0.48 ^{ab}	6.46±0.12 ^c	17.23±0.12 ^c
	2.5	77.00±0.22 ^b	7.00±0.14 ^b	17.97±0.30 ^b
	3	78.81±0.14 ^a	7.62±0.31 ^a	18.81±0.36 ^a
馒头瓤	1	72.88±0.84 ^b	6.79±0.27 ^{ab}	16.19±0.18 ^b
	1.5	76.9±0.42 ^a	6.50±0.10 ^{ab}	16.86±0.17 ^a
	2	75.77±0.43 ^{ab}	6.24±0.61 ^b	16.25±0.19 ^b
	2.5	66.91±0.94 ^c	7.09±0.16 ^a	15.85±0.24 ^b
	3	67.4±0.43 ^c	7.01±0.22 ^a	15.85±0.25 ^b

2.2.4 发酵时间对全麦馒头品质的影响 由图 4 可知, 随着不断延长发酵时间, 馒头的感官评分和比容都出现了先升高后下降的趋势, 当发酵时间为 40 min 时, 感官评分和比容均达到最大值, 此时的馒头口感最易被接受。原因可能是发酵时间过长, 不利于馒头成型, 长时间的发酵会产生浓烈的酒精味和酸味, 且馒头较为黏牙, 从而影响馒头的感官评分。从生产角度看, 发酵时间过长会降低生产效率^[26]。发酵时间过短, 酵母发酵不充分, 面团无法形成蜂窝状结构, 口感较差。合适的发酵时间, 馒头品质才能达到最佳^[27]。

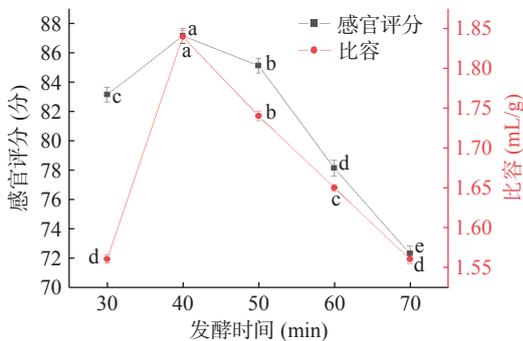


图 4 发酵时间对全麦馒头感官和比容的影响

Fig.4 Effect of fermentation time on sensory quality and specific volume of whole wheat steamed bread

由表 7 可知, 面团发酵时间也会对馒头色度产生影响。馒头的比容先增大后减小, 发酵时间超过 50 min, 面团中气体含量持续增加, 内部有大气泡, 在蒸制后冷却过程中会出现明显皱缩, 这些情况就会出现就会导致馒头的色度发生变化^[28]。综合感官评分、比

容以及色度结果, 发酵时间为 40 min 时效果最佳。

表 7 发酵时间对全麦馒头色度的影响

Table 7 Effect of fermentation time on the color of whole wheat steamed bread

样品	发酵时间(min)	L^*	a^*	b^*
馒头皮	30	88.12±0.72 ^a	5.60±0.02 ^a	16.42±0.32 ^a
	40	79.73±0.34 ^a	5.28±0.16 ^b	15.67±0.46 ^b
	50	78.51±0.73 ^b	5.64±0.11 ^a	15.40±0.22 ^b
	60	78.39±0.28 ^b	5.39±0.10 ^{ab}	15.23±0.45 ^b
	70	77.66±0.22 ^b	5.43±0.18 ^{ab}	14.50±0.24 ^c
馒头瓤	30	75.40±0.30 ^b	6.57±0.23 ^a	16.80±0.13 ^a
	40	73.84±0.69 ^c	6.50±0.10 ^a	16.31±0.41 ^b
	50	75.32±0.22 ^b	6.48±0.07 ^a	16.50±0.11 ^{ab}
	60	78.11±0.25 ^a	5.94±0.07 ^b	16.38±0.13 ^{ab}
	70	79.22±0.58 ^a	5.61±0.14 ^c	15.27±0.13 ^b

2.3 响应面试验结果与分析

2.3.1 响应面回归方程的建立与结果分析 相较于其他三个单因素, 发酵时间对全麦馒头口感影响较小, 因此将发酵时间固定为 40 min。以感官评分(Y)为响应值, 以全麦粉添加量、南瓜粉添加量、酵母添加量三个因素进行响应面优化试验, 结果见表 8。对试验结果进行二次多元回归拟合, 得到方程 $Y=97-4.00 \times A+0.1625 \times B+2.29 \times C-2.38 \times AB+1.63 \times AC+0.05 \times BC-6.40 \times A^2-4.73 \times B^2-5.72 \times C^2$ 。

表 8 响应面试验设计和结果

Table 8 Design and results of response surface experiment

试验号	因素			Y感官评分(分)
	A全麦粉添加量	B南瓜粉添加量	C酵母添加量	
1	-1	-1	0	88.0
2	1	-1	0	85.0
3	-1	1	0	91.5
4	1	1	0	79.0
5	-1	0	-1	88.5
6	1	0	-1	77.0
7	-1	0	1	89.5
8	1	0	1	84.5
9	0	-1	-1	83.2
10	0	1	-1	85.0
11	0	-1	1	88.0
12	0	1	1	90.0
13	0	0	0	97.0
14	0	0	0	98.5
15	0	0	0	96.5
16	0	0	0	98.0
17	0	0	0	95.0

由表 9 可知, 模型 $P<0.0001$, 回归方程的 $R^2=0.9808$, 模型的校正决定系数 $R^2_{adj}=0.9561$, 失拟项不显著($P>0.05$)。说明该实验准确可靠、实验误差小, 说明该方程的拟合性良好, 模型有效, 方法可行。回归曲线可以用于预测全麦馒头的感官评分。一次项 A、C 差异极显著($P<0.01$); 交互项 AB 极显著($P<0.01$)、AC 显著($P<0.05$); 二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 对感官评分影响极显著($P<0.01$)。根据 F 值可判断各因素对全麦馒头感官评分影响大小顺序为全麦粉

表9 响应面回归模拟的方差分析

Table 9 Variance analysis of response surface regression simulation

变异来源	自由度	平方和	均方	F值	P值	显著性
模型	9	654.26	72.70	39.76	<0.0001	**
A	1	128.00	128.00	70.01	<0.0001	**
B	1	0.2112	0.2112	0.1155	0.7439	
C	1	41.86	41.86	22.90	0.0020	**
AB	1	22.56	22.56	12.34	0.0098	**
AC	1	10.56	10.56	5.78	0.0472	*
BC	1	0.0100	0.0100	0.0055	0.9431	
A ²	1	172.46	172.46	94.33	<0.0001	**
B ²	1	94.00	94.00	51.42	0.0002	**
C ²	1	138.00	138.00	75.48	<0.0001	**
残差	7	12.80	1.83			
失拟	3	5.30	1.77	0.9418	0.4995	不显著
误差	4	7.50	1.88			
总变异	16	667.06				
$R^2=0.9808$		$R^2_{adj}=0.9561$				

注: *表示对结果影响显著(P<0.05), **表示对结果影响极显著(P<0.01)。

添加量>酵母添加量>南瓜粉添加量。

图5 为全麦粉添加量和南瓜粉添加量交互作用

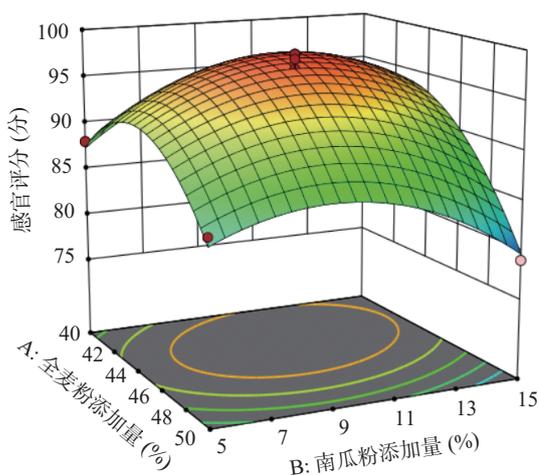


图5 全麦粉添加量和南瓜粉添加量对感官评分影响的响应面及等高线

Fig.5 Response surface and contour of the effect of whole wheat flour addition and pumpkin powder addition on sensory score

对感官评分的影响,逐渐增大全麦粉和南瓜粉的量,感官评分都呈先升高后降低的趋势,从等高线形状和疏密程度可知,全麦粉添加量对感官评分的影响大于南瓜粉添加量对感官评分的影响,两者交互作用显著。图6表示全麦粉添加量和酵母添加量交互作用对感官评分的影响,曲面坡度陡峭,随着逐渐增大全麦粉添加量,感官评分呈先增大后急剧下降的趋势;增大酵母添加量,感官评分逐渐增大后平缓减小。从等高线的形状和疏密程度可知,全麦粉添加量与南瓜粉添加量交互作用比全麦粉添加量与酵母添加量交互作用大,与方差分析结果一致。

2.3.2 验证实验 采用 Design Expert 软件对回归模型进行分析,获得最佳配方为小麦粉 53.104%、全麦粉 46.896%、南瓜粉 10.482%,酵母 2.078%。为便于实际操作,将各因素条件进行调整,得到最佳配方为小麦粉 55%、全麦粉 45%、南瓜粉 10%,酵母 2%。在此优化条件下进行 3 次验证实验,感官评分为 97.23,与理论感官评分 97.81 相近。可知实验得出的模型与实际情况拟合程度良好,可以采用该模型对产品品质进行预测。

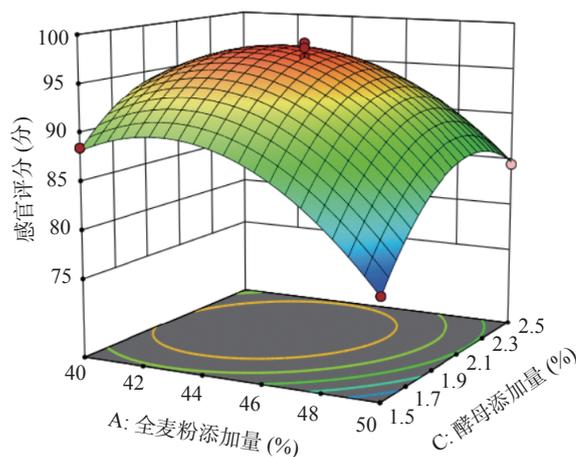
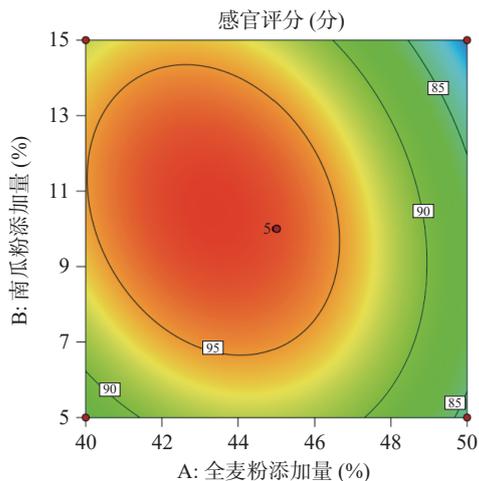
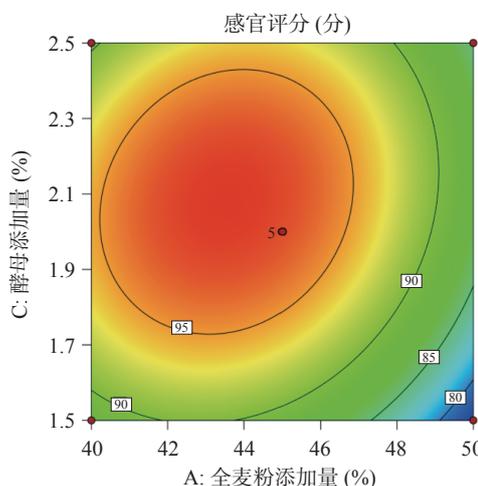


图6 全麦粉添加量和酵母添加量对感官评分影响的响应面及等高线

Fig.6 Response surface and contour of the effect of whole wheat flour addition and yeast addition on sensory score



2.4 全麦馒头营养特性分析结果

馒头的含水量较高,水分含量作为评价馒头品质的重要指标之一,决定着馒头的感官和食用品质。南瓜粉的添加可以增加面团的吸水性及持水性,馒头水分含量符合国标 GB/T21118-2007《小麦粉馒头》中要求馒头水分<45%。

多酚具有抗氧化活性、抗炎以及预防心血管疾病的作用;黄酮具有降血脂、降血压的作用,对心血管疾病有较好的辅助治疗功效^[29]。全麦粉有麸皮、胚芽、胚乳,因此含有大量多酚和黄酮^[30]。南瓜全麦馒头、全麦馒头、精白馒头的多酚含量分别为 5.47、4.82、3.46 mg/g;黄酮含量分别为 2.57、2.14、1.22 mg/g。南瓜粉的加入显著提高了全麦粉的多酚和黄酮含量($P<0.05$),精白面粉中由于加工过程中丢弃了大量麸皮,南瓜全麦馒头和全麦馒头多酚及黄酮含量显著高于精白馒头($P<0.05$)。综合分析可知,南瓜全麦馒头较全麦馒头和精白馒头的多酚、黄酮含量丰富,能够满足人们对健康、营养的需求。

表 10 不同样品营养含量差异

Table 10 Difference of nutrient content in different samples

样品	多酚含量(mg/g)	黄酮含量(mg/g)	水分含量(%)
南瓜全麦馒头	5.47±0.04 ^a	2.57±0.06 ^a	44.86±0.06 ^a
全麦馒头	4.82±0.04 ^b	2.14±0.14 ^b	44.54±0.11 ^b
精白馒头	3.46±0.04 ^c	1.22±0.06 ^c	43.37±0.06 ^c

3 结论

以不同比例全麦粉和小麦粉复配的混合粉为原料,通过感官、比容、色度等指标的测定,研究全麦粉添加量、南瓜粉添加量、酵母添加量、发酵时间对全麦馒头品质的影响以及南瓜粉的加入对混合粉粉质和面团加工性能的影响。响应面模型显著,回归方程拟合度良好,模型有效,方法可行。全麦馒头的最佳配方为小麦粉 55%、全麦粉 45%、南瓜粉 10%,酵母 2%,发酵时间 40 min。经测定南瓜全麦馒头水分含量为 44.86%;多酚含量为 5.47 mg/g;黄酮含量 2.57 mg/g。南瓜粉可增加面团吸水率,提高面筋强度,有助于提高混合粉的粉质特性,面团具有良好加工性。全麦粉的添加量对馒头比容影响较大,大量添加全麦粉会导致馒头色泽呈棕褐色,口感粗糙,接受度下降。适量添加南瓜粉可改善全麦馒头的色泽、风味,拓展南瓜在面制品的加工应用,丰富馒头产品市场。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

[1] GALLI V, VENTURI M, GUERRINI S, et al. Antioxidant properties of sourdoughs made with whole grain flours of hull-less barley or conventional and pigmented wheat and by selected lacto-

bacilli strains[J]. *Foods*, 2020, 9(5): 640.

[2] MARTÍN-DIANA A B, GARCÍA-CASAS M J, MARTÍNEZ-VILLALUENGA C, et al. Wheat and oat brans as sources of polyphenol compounds for development of antioxidant nutraceutical ingredients[J]. *Foods*, 2021, 10(1): 115.

[3] LI C, MICHAEL T, RICHARD C, et al. Effect of bran particle size on rheology properties and baking quality of whole wheat flour from four different varieties[J]. *LWT*, 2023, 175: 114504.

[4] FOIS S, CAMPUS M, PIU P P, et al. Fresh pasta manufactured with fermented whole wheat semolina: Physicochemical, sensorial, and nutritional properties[J]. *Foods*, 2019, 8(9): 422.

[5] SUN J, WALEED A A, FAN Z, et al. A novel kneading method for improving the quality of whole wheat dough and bread[J]. *Cereal Science*, 2023, 112: 103690.

[6] LI W, SUN X, DU Y, et al. Effects of co-fermentation on the release of ferulic acid and the rheological properties of whole wheat dough[J]. *Cereal Science*, 2023, 111: 103669.

[7] SIMSEK T, RASULEV B, MAYER C, et al. Preparation and characterization of inclusion complexes of β -cyclodextrin and phenolics from wheat bran by combination of experimental and computational techniques[J]. *Molecules*, 2020, 25(18): 4275.

[8] JIAO X, LI F, ZHAO J, et al. Structural diversity and physicochemical properties of polysaccharides isolated from pumpkin (*Cucurbita moschata*) by different methods[J]. *Food Research International*, 2023, 163: 112157.

[9] EBRAHIMI M, NOORI S M A, SADEGHI A, et al. Application of cereal-bran sourdoughs to enhance technological functionality of white wheat bread supplemented with pumpkin (*Cucurbita pepo*) puree[J]. *LWT*, 2022, 158: 113079.

[10] ALJAHANI AMANI H. Wheat-yellow pumpkin composite flour: Physico-functional, rheological, antioxidant potential and quality properties of pan and flat bread[J]. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2022, 29(5): 3432–3439.

[11] 赵静, 严欢, 葛世浩, 等. 石磨全麦粉三大营养物质含量分析与评价[J]. *贵州农业科学*, 2022, 50(2): 120–124. [ZHAO J, YAN H, GE S H, et al. Analysis and evaluation of the content of three major nutrients in stone-ground whole wheat flour[J]. *Guizhou Agricultural Science*, 2022, 50(2): 120–124.]

[12] LIU S, ZHAO L, ZHANG J, et al. Functional drink powders from vertical-stone-milled oat and highland barley with high dietary-fiber levels decrease the postprandial glycemic response[J]. *Functional Foods*, 2021, 83(2021): 104548.

[13] 蔡梦迪, 李玉辉, 沈春霞, 等. 响应曲面设计结合熵权法优化石磨全麦挂面配方[J]. *食品与发酵工业*, 2024, 50(5): 259–266.

[CAI M D, LI Y H, SHEN C X, et al. Response surface design combined with entropy weight method to optimize stone-ground whole wheat hanging noodle formulation[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2024, 50(5): 259–266.]

[14] BATOOL M, RANJHA M, ROOBAB U, et al. Nutritional value, phytochemical potential, and therapeutic benefits of pumpkin (*Cucurbita* sp.)[J]. *Plants (Basel)*, 2022, 11(11): 1394.

[15] 李维颖, 马跃洲, 丁智永, 等. 山药魔芋保健型馒头的制作工艺优化[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(6): 69–74. [LI W Y, MA Y Z, DING Z Y, et al. Optimization of the production process of yam and konjac health-type steamed bread[J]. *Food Research and Development*, 2017, 38(6): 69–74.]

[16] 汪磊, 李飞, 朱波, 等. 莜麦馒头配方研究[J]. *中国粮油学报*, 2013, 28(1): 27–30. [WANG L, LI F, ZHU B, et al. Research

- on the formulation of oat steamed bread[J]. *Chinese Journal of Cereals and Oils*, 2013, 28(1): 27-30.]
- [17] 李少辉, 赵巍, 闵光, 等. 谷子面粉添加量对馒头色度变化的影响[J]. *食品工业*, 2020, 41(10): 127-131. [LI S H, ZHAO W, MIN G, et al. Effect of cereal flour addition on color change of steamed bread[J]. *Food Industry*, 2020, 41(10): 127-131.]
- [18] 牛新奎, 韩小贤, 郑学玲. 黑小麦粉的抗氧化成分及活性[J]. *现代食品科技*, 2022, 38(9): 292-297. [NIU X K, HAN X X, ZHENG X L. Antioxidant composition and activity of black wheat flour[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2022, 38(9): 292-297.]
- [19] 刘睿. 紫苏黄酮抗炎活性研究及口服液制备[D]. 长春: 吉林农业大学, 2022. [LIU R. Study on anti-inflammatory activity of perilla flavonoids and preparation of oral liquid[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2022.]
- [20] 石晶红, 郭淑文, 李云玲, 等. 豆粉对小麦粉粉质特性和糊化特性的影响[J]. *食品与机械*, 2020, 36(9): 50-54. [SHI J H, GUO S W, LI Y L, et al. Effect of bean powder on the farinograph and pasting properties of wheat flour[J]. *Food and Machinery*, 2020, 36(9): 50-54.]
- [21] 李良怡, 吴安琪, 谭玉珩, 等. 南瓜粉对小麦粉粉质特性及面团品质的影响[J]. *食品与机械*, 2021, 37(5): 183-186, 208. [LI L Y, WU A Q, TAN Y Y, et al. Effects of pumpkin powder on farinograph properties of wheat flour and dough quality[J]. *Food and Machinery*, 2021, 37(5): 183-186, 208.]
- [22] 张康逸, 王慧洁, 张国治, 等. 甜玉米馒头的加工工艺优化[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(7): 209-217, 156. [ZHANG K Y, WANG H J, ZHANG G Z, et al. Optimization of the processing of sweet corn steamed bread[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2020, 36(7): 209-217, 156.]
- [23] HEMDANE S, LANGENAEKEN N A, JACOBS P J, et al. Study of the role of bran water binding and the steric hindrance by bran in straight dough bread making[J]. *Food Chemistry*, 2018, 253: 262-268.]
- [24] 杜密英, 戴瑞, 李杰, 等. 金花茶粉添加量对馒头品质及抗氧化性的比较分析[J]. *现代食品科技*, 2023, 39(8): 156-164. [DU M Y, DAI R, LI J, et al. Comparative analysis of the quality and antioxidant properties of steamed bread with the addition of golden flower tea powder[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2023, 39(8): 156-164.]
- [25] 高雅君. 低血糖指数馒头加工工艺及其功能特性研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2018. [GAO Y J. Research on the processing process of low glycemic index steamed bread and their functional properties[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2018.]
- [26] 刘欣, 吴添添, 雷永伟, 等. 甘薯粉与紫薯粉复配馒头的制备及其品质影响研究[J]. *粮食与饲料工业*, 2023, 408(2): 28-33, 50. [LIU X, WU T T, LEI Y W, et al. Study on the preparation of sweet potato flour and purple potato flour compound steamed bread and their quality effects[J]. *Grain and Feed Industry*, 2023, 408(2): 28-33, 50.]
- [27] 张天语. 紫马铃薯全粉馒头的研制及营养特性分析[D]. 淄博: 山东理工大学, 2019. [ZHANG T Y. Development and nutritional characterization of purple potato whole flour steamed bread [D]. Zibo: Shandong University of Science and Technology, 2019.]
- [28] 陈颖, 李青. 发酵对冷冻面团成品色度影响的研究[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2010, 31(3): 38-40. [CHEN Y, LI Q. Study on the effect of fermentation on the color of finished frozen dough[J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2010, 31(3): 38-40.]
- [29] 孙小晶, 李丹丹, 李莹, 等. 山楂黄酮纳米微胶囊的制备及特性[J]. *食品研究与开发*, 2023, 44(10): 170-176. [SUN X J, LI D D, LI Y, et al. Preparation and properties of hawthorn flavonoid nanomicrocapsules[J]. *Food Research and Development*, 2023, 44(10): 170-176.]
- [30] QIN S, LI R, CHEN M, et al. Oat milk tea model system: Exploring the stability of milk tea and the bioaccessibility of green tea polyphenols[J]. *Foods*, 2023, 12(7): 1402.]