

# 一种低GI杂粮及杂豆面包的工艺研究

何辛洲<sup>1</sup>, 郑琪<sup>1</sup>, 黄博<sup>1</sup>, 孙汉巨<sup>1\*</sup>, 张涛<sup>1</sup>, 刘淑芸<sup>1</sup>, 何述栋<sup>1</sup>, 顾荣荧<sup>1</sup>, 步显勇<sup>2</sup>, 谢艳<sup>2</sup>

<sup>1</sup>合肥工业大学, 食品与生物工程学院, 安徽 合肥

<sup>2</sup>安徽盼盼食品有限公司, 安徽 滁州

收稿日期: 2023年1月9日; 录用日期: 2023年2月10日; 发布日期: 2023年2月17日

## 摘要

本文以白芸豆和桑叶作为主要原料, 红芸豆粉、燕麦粉、黑米粉、黑豆粉、高筋面粉为辅料, 开发一款低血糖生成指数(低GI)的杂粮杂豆面包。首先, 通过单因素试验, 研究桑叶粉、白芸豆粉、谷朊粉、麦芽糖醇、燕麦粉及黄油对面包感官质量和比容的影响, 其结果是: 黄油10%、燕麦粉15%、桑叶粉0.2%、谷朊粉6%、白芸豆粉8%、麦芽糖醇1.6%。在此基础上, 利用L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)正交试验, 对影响面包质量的主要因素进行了优化。并且, 采用单因素试验, 确定面包的最佳醒发条件。结果表明, 桑叶粉、白芸豆粉、谷朊粉和麦芽糖醇添加量分别为: 0.3%、12%、8%和1.6%。面包的最佳醒发条件是: 在36℃及湿度85%下, 醒发70 min。在最佳工艺条件下, 该低GI面包的比容为1.71 cm<sup>3</sup>/g, GI值为54.66。该面包外观表面光滑, 富有弹性, 内部气孔细小均匀, 具有较强的嚼咬性, 爽口不粘牙, 无明显甜味或咸味, 符合低GI食物要求。该产品将为糖尿病等忌糖人群提供更多饮食选择。

## 关键词

面包, 低GI, 白芸豆, 桑叶, 工艺

# Study on the Technology of a Low GI Multigrain Miscellaneous Bean Bread

Xinzhou He<sup>1</sup>, Qi Zheng<sup>1</sup>, Bo Huang<sup>1</sup>, Hanju Sun<sup>1\*</sup>, Tao Zhang<sup>1</sup>, Shuyun Liu<sup>1</sup>, Shudong He<sup>1</sup>, Yingying Gu<sup>1</sup>, Xianyong Bu<sup>2</sup>, Yan Xie<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Food and Bioengineering, Hefei University of Technology, Hefei Anhui

<sup>2</sup>Anhui Panpan Food Co. LTD., Chuzhou Anhui

Received: Jan. 9<sup>th</sup>, 2023; accepted: Feb. 10<sup>th</sup>, 2023; published: Feb. 17<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

In this paper, white kidney beans and mulberry leaves as main raw materials, and red kidney bean  
\*通讯作者。

文章引用: 何辛洲, 郑琪, 黄博, 孙汉巨, 张涛, 刘淑芸, 何述栋, 顾荣荧, 步显勇, 谢艳. 一种低 GI 杂粮及杂豆面包的工艺研究[J]. 食品与营养科学, 2023, 12(1): 28-40. DOI: 10.12677/hjfn.2023.121005

flour, oat flour, black rice flour, black bean flour and high gluten flour as supplementary materials, a low glycemic index (GI) bread of mixed grains and beans was developed. Firstly, the effects of mulberry leaf powder, white kidney bean, gluten, maltitol, oat flour and butter on the sensory quality and specific volume of the bread were studied in single factor experiments. The results were as follows: butter 10%, oat flour 15%, mulberry leaf flour 0.2%, gluten 6%, white kidney bean flour 8% and maltitol 1.6%. On this basis, the main factors affecting the quality of bread were optimized by  $L_9(3^4)$  orthogonal test. In addition, the single factor test was used to determine the optimal proofing conditions of bread. It was found that the addition levels of mulberry leaf powder, white kidney bean powder, wheat gluten powder and maltitol were 0.3%, 12%, 8% and 1.6%, respectively. The optimal proofing condition of bread was as follows: at 36°C and humidity 85%, proofing time was 70 min. Under the optimal conditions, the specific volume of the low GI bread was 1.71 cm<sup>3</sup>/g and the GI value was 54.66. The bread has smooth surface, high elasticity, small and uniform internal air hole, strong chewing property, good taste, no stickiness to teeth, no obvious sweet or salty taste and meets the requirements of low GI food. The product could provide more dietary choices for diabetics and other sugar-averse groups.

## Keywords

Bread, Low GI, White Kidney Bean, Mulberry Leaf, Technology

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 前言

血糖生成指数的简称是“升糖指数”(Glycemic Index, 简写 GI), 是指某种食物升高血糖效应与标准食品(通常为葡萄糖)升高血糖效应的比值。它表示在标准定量下(一般为 50 g), 摄入某种食物后, 在一定时间内(一般为 2 h), 体内血糖水平应答与食用相当量的葡萄糖或白面包引起的血糖应答水平的比值。它通常反映一个食物能够引起人体血糖升高多少的能力。计算 GI 的最主要方法是人体试验, 也是目前国内外测定食品 GI 的标准方法[1]。一般把 GI 值 > 70 的食物称为高 GI 食物, 如: 富强粉、甘薯、小米、南瓜、西瓜及胡萝卜等; GI 值 55~70 的食物称为中 GI 食物, 如: 甜玉米、大麦粉、粗麦粉、玉米粗粉、马铃薯、甘薯、山药、根及果类蔬菜、菠萝、芒果、香蕉及葡萄干等; GI 值 ≤ 55 的食物称为低 GI 食物, 如: 杂粮、燕麦、黑米、荞麦、藕粉、魔芋、芋头、豆类、乳制品、大白菜、黄瓜、西红柿、苦瓜、果糖、乳糖、麦芽糖醇、木糖醇、山梨糖醇, 以及含果酸较高的苹果、梨、桃、葡萄、柚子、柑橘及猕猴桃等水果[2]。

桑叶含有丰富的糖类、氨基酸、维生素、矿物质、多糖、茶多酚、生物碱等营养及活性成分[3]。研究发现, 桑叶具有降血糖作用, 能够促进胰岛素释放, 抑制  $\alpha$ -糖苷酶的活性, 从而显著降低血糖[4]。另外, 还具有降血脂、降血压、抗肿瘤、抗氧化、调节免疫、保护肝脏、消肿等生理功能[5]。桑叶是最早被认定为“药食同源”植物之一。桑树在我国各地广泛种植, 桑叶是桑树的主要产物, 其产量较高, 在食品及医药领域具有广阔的应用价值[6]。

白芸豆中含有丰富的蛋白质、碳水化合物、脂肪、钙、铁、磷及多种维生素等营养成分, 其 GI 为 23 [7]。其药用价值在于含有  $\alpha$ -淀粉酶抑制剂( $\alpha$ -amylase inhibitor,  $\alpha$ -AI)。  $\alpha$ -AI 能有效抑制肠道内淀粉酶或糖苷酶的活力, 使食物中大量糖类在小肠末端才被吸收, 延长其消化时间[8]。因此, 能有效阻碍并延缓机体吸收葡萄糖的速度, 从而降低餐后血糖水平。 $\alpha$ -AI 为开发适合糖尿病人的食品提供了新的原料选择。据相关研究结果表明, 16 名健康受试者餐前 15 min 服用 6 g 白芸豆提取物后, 有效降低进食白米饭后的



### 2.4.3. 和面搅拌

向混合后的原料中加入 60%去离子水,用搅拌机充分搅拌和面,搅拌机先用 1 档低速搅拌 2~3 min。加入黄油后,用 3 档高速搅拌 8~10 min,成团后反复揉面,直到面团表面光滑。

### 2.4.4. 整形醒发

将揉好的面团搓圆,用锡纸垫在下部放入托盘中,送入发酵箱,在 36℃和湿度 85%下,发酵 70 min。

### 2.4.5. 烘烤

将面团平均分割成 4 份,每份 60 g,并在烤箱底火 165℃,面火 165℃下,烤制 15 min。

### 2.4.6. 冷却

烘烤结束后,将面包取出冷却到室温,包装后得到成品。

## 2.5. 试验方法

### 2.5.1. 产品感官评价

由 10 位以上专业人员组成感官评定小组,评定在感官试验室内进行,根据产品的外观、色泽、质地、纹理结构及风味口感,进行感官质量评价。面包感官评分标准见表 1。

Table 1. Sensory assessment standard

表 1. 感官评定标准

指标	分值	评分标准	感官质量(分数)
外观	15	整体丰满,体积膨大,表面光滑	12~15
		整体略有缺损,体积适中,表面有褶皱	9~11
		整体缺损塌瘪,体积微小,表面有裂纹	<9
色泽	10	呈深棕色,颜色均匀,无斑点	8~10
		呈淡棕色,颜色略不均匀,存在小斑点	5~7
		棕色中泛绿,颜色不均匀,存在异色色块	<5
质地	30	面包内部细腻,富有弹性	25~30
		面包内部细腻,弹性一般	19~24
		面包内部粗糙,没有弹性	<19
纹理结构	15	面包气孔分布均匀,呈海绵状	12~15
		面包气孔分布不均匀,大小均匀	9~11
		面包气孔大小、分布不均匀	<9
风味口感	30	香气扑鼻,口感细腻,有独特杂粮杂豆风味	25~30
		略有香气,口感较细腻,普通面包香	19~24
		无香气,口感粗糙且粘牙,难以下咽	<19

### 2.5.2. 原料配比的单因素试验

将桑叶粉、白芸豆粉、谷朊粉、燕麦粉、麦芽糖醇及黄油混合,改变面包醒发时间,通过单因素试验,得出各原料最优的用量及最佳面包醒发时间。

#### 1) 桑叶粉添加量的单因素试验

以 150 g 混粉为基准, 固定白芸豆粉, 谷朊粉、燕麦粉、麦芽糖醇和黄油添加量分别为 8、6、15、1.6 及 10%, 桑叶粉的添加量分别为 0.03、0.15、0.3、0.45 及 0.6 g。将各原料充分混合, 以感官质量和面包比容为指标, 考察桑叶粉添加量对面包感官品质的影响, 选出最佳桑叶粉添加量。

#### 2) 白芸豆粉添加量的单因素试验

以 150 g 混粉为基准, 固定桑叶粉, 谷朊粉、燕麦粉、麦芽糖醇和黄油添加量分别为 0.2、6、15、1.6 及 10%, 白芸豆粉的添加量分别为 3、6、9、12 及 15 g, 将各原料充分混合, 以感官质量和面包比容为指标, 考察白芸豆粉添加量对面包感官品质的影响, 选出最佳白芸豆粉添加量。

#### 3) 谷朊粉添加量的单因素试验

以 150 g 混粉为基准, 固定桑叶粉、白芸豆粉、燕麦粉、麦芽糖醇和黄油添加量分别为 0.2、8、15、1.6 及 10%, 谷朊粉的添加量分别为 3、6、9、12 及 15 g。将各原料充分混合, 以感官质量和面包比容为指标, 考察谷朊粉添加量对面包感官品质的影响, 选出最佳谷朊粉添加量。

#### 4) 燕麦粉添加量的单因素试验

以 150 g 混粉为基准, 固定桑叶粉、白芸豆粉, 谷朊粉、麦芽糖醇和黄油添加量分别为 0.2、8、6、1.6 及 10%, 燕麦粉的添加量分别为 7.5、15、22.5、30 及 37.5 g。将各原料充分混合, 以感官质量和面包比容为指标, 考察燕麦粉添加量对 I 面包感官品质的影响, 选出最佳燕麦粉添加量。

#### 5) 麦芽糖醇添加量的单因素试验

以 150 g 混粉为基准, 固定桑叶粉、白芸豆粉, 谷朊粉、燕麦粉和黄油添加量分别为 0.2、8、6、15 及 10%, 麦芽糖醇的添加量分别为 0.5、1.5、2.5、3.5 及 4.5 g。将各原料充分混合, 以感官质量和面包比容为指标, 考察麦芽糖醇添加量对面包感官品质的影响, 选出最佳麦芽糖醇添加量。

#### 6) 黄油添加量的单因素实验

以 150 g 混粉为基准, 固定桑叶粉、白芸豆粉, 谷朊粉、燕麦粉和麦芽糖醇添加量分别为 0.2、8、6、15 及 1.6%, 黄油的添加量分别为 7.5、10、15、12.5 及 15 g。将各原料充分混合, 以感官质量和面包比容为指标, 考察黄油添加量对面包感官品质的影响, 选出最佳黄油添加量。

#### 7) 最佳醒发时间的单因素试验

以 150 g 混粉为基准, 固定桑叶粉、白芸豆粉, 谷朊粉、燕麦粉、麦芽糖醇和黄油添加量分别为 0.2、8、6、15、1.6 及 10%, 醒发时间分别为 50、60、70、80 及 90 min。将各原料充分混合, 以感官质量和面包比容为指标, 考察醒发时间对低 GI 面包感官品质的影响, 优化醒发时间。

### 2.5.3. 配方优化的正交试验设计

在单因素试验结果的基础上, 选择桑叶粉、白芸豆粉、谷朊粉和麦芽糖醇为四个因素, 采用  $L_9(3^4)$  正交试验, 对试验数据进行数据分析, 优化影响产品质量的主要原辅料添加量, 最终确定产品的配方。正交试验因素及水平见表 2。

**Table 2.** Orthogonal test factors and levels of low GI bread formulations

**表 2.** 低 GI 面包配方的正交试验因素及水平

水平	因素			
	A 桑叶粉(%)	B 白芸豆粉(%)	C 谷朊粉(%)	D 麦芽糖醇(%)
1	0.1	4	4	0.8
2	0.2	8	6	1.6
3	0.3	12	8	2.4

#### 2.5.4. 面包 GI 值的测定

参照徐箬[11]的方法,进行体外模拟消化试验。精确称量 1 g 样品于烧杯中,加入 0.1 mol/L 磷酸缓冲液(pH 为 6.9) 3 mL 和 1 mL 淀粉酶(预热 37℃),摇匀;用 4 mL 磷酸缓冲液冲洗,加入 6 mL 胃蛋白酶(3000 u/g)溶液,用盐酸调 pH 至 1.5,于 37℃ 恒温水浴中磁力搅拌 30 min。向上述溶液中加入 10 mL 磷酸缓冲液,用氢氧化钠溶液调 pH 至 6.9;然后加入 10 mL 混合酶液(0.002 mL 淀粉酶(2 万 u/g)与 1.5 mL 淀粉葡萄糖苷酶(10 万 u/g)混合定容至 10 mL,即为混合酶液),分别在 0、15、30、60、90、120 及 150 min 时,吸取 1 mL 水解液,放入 4 mL 无水乙醇,在沸水浴中灭酶 5 min,以 4000 r/min 转速离心 10 min 后取上清液。采用 3,5-二硝基水杨酸比色法(DNS 法),测定葡萄糖含量。根据公式(1)计算水解率(%),绘制水解曲线[12]。根据公式(2)与(3),计算样品的水解指数及血糖指数,参考 Enflyst [13]及 Grandfeldt [14]的方法,评价其淀粉的消化性能。

$$\text{水解率}(\%) = Gt \times 0.9 \div 1000 \quad (1)$$

$$HI = AUC_1 / AUC_0 \times 100 \quad (2)$$

$$GI = 39.71 + 0.549 \times HI \quad (3)$$

式中,  $Gt$  为葡萄糖含量(g/L);  $AUC_1$  为样品水解曲线下面积;  $AUC_0$  为参与标准水解样品下面积;  $HI$  为样品水解指数;  $GI$  为血糖指数。

#### 2.5.5. 质构(硬度)特性的检测

使用 TA-XTplus 型质构仪,设置 TPA 模式,采用 P/36 R 圆柱形探头,进行面包质构(硬度)特性测定。测试速度 1 mm/s,目标距离 10 mm,触发点负载 5.0 g。调整探头的高度,采用中上探头测定位置进行面包质构(硬度)测定。

#### 2.5.6. 比容测定

根据 GB/T 20981-2007 [15]测量面包体积,将面包放置于一定容积的容器中,将小颗粒填充物(菜籽)加入容器中,完全覆盖后摇匀填满,取出面包,倒出填充剂测量体积,用放入面包的容器体积减去填充剂体积测得体积即为面包体积  $V$ 。比容的计算如公式(4)所示。

$$C = \frac{V}{M} \quad (4)$$

其中,  $C$  为面包比容( $\text{cm}^3/\text{g}$ );  $V$  为面包体积( $\text{cm}^3$ );  $M$  为面包质量(g)。

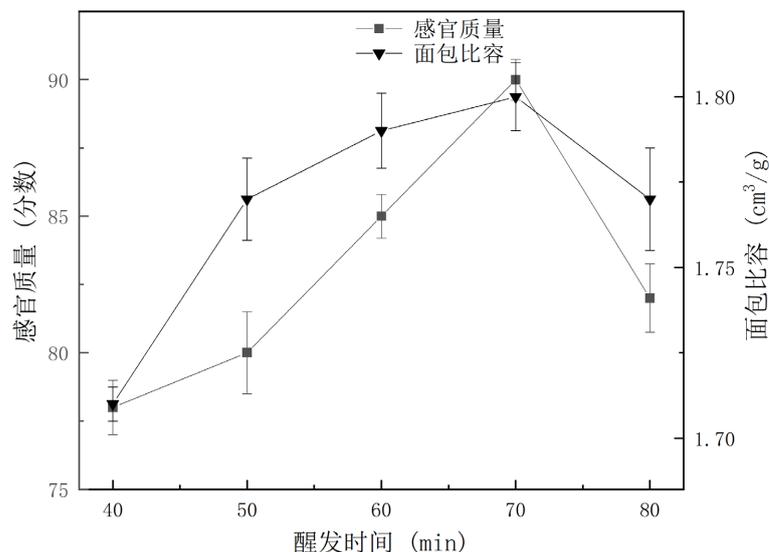
### 2.6. 数据处理与分析

所有数据均使用 Excel 处理,采用 Origin 2021 作图,实验数据平行三次,结果表示为平均值±标准偏差。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 醒发时间对低 GI 面包品质的影响

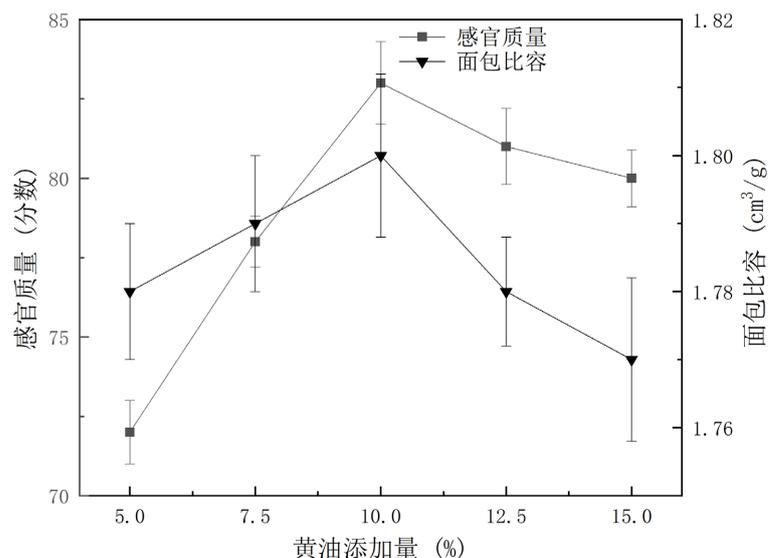
醒发时间对面包品质的影响如图 1 所示。很显然,随着醒发时间的增加,面包的感官质量和比容都呈现快速上升的趋势。当醒发 70 min,感官质量最高(90 分),比容也最佳( $1.80 \text{ cm}^3/\text{g}$ )。当醒发超过 70 min 后,感官质量和比容都快速下降。其可能的原因分析如下:当醒发时间较短时,面包的感官质量和比容较低,是由于面团内酵母发酵不完全,导致面包内部结构紧密,无法形成疏松多孔结构。随着醒发时间逐渐延长,酵母在面团中发酵时间增加,面团中气泡变多变大,相互挤压,面团内气孔变大且孔壁变薄,



**Figure 1.** Effect of waking time on quality of low GI bread  
**图 1.** 醒发时间对低 GI 面包品质的影响

面团的持气性随之增强。从而造成面团膨胀，体积变大。最佳醒发时间后，随着时间进一步延长，面团的持气力降低，面团过度成熟，面包口感变酸，导致面包品质下降[16] [17] [18]。所以，只有当酵母的产气力和面团持气力同时最大时，面包的体积达到最大值，同时面包内部结构及表面色泽都达到最佳。因此，最佳的醒发时间为 70 min。

### 3.2. 黄油添加量对低 GI 面包品质的影响



**Figure 2.** Effect of butter addition on quality of low GI bread  
**图 2.** 黄油添加量对低 GI 面包品质的影响

黄油的添加量对面包的感官质量及比容的影响如图 2 所示。随着加量的增加，面包感官质量快速上升。当添加量达到 10%，感官质量达到最高(85 分)。之后，随着添加量继续增加，感官质量缓慢下降。同时，逐渐增加黄油添加量，面包比容不断上升。添加量达到 10%，比容最大(1.80 cm<sup>3</sup>/g)。然后，随着

添加量进一步增加,比容快速下降。整个过程可分析如下:黄油中油脂和面团中的面筋结合后,可以形成网状结构。同时,油脂融化聚集到气泡的周围形成油-气表面,气体膨胀不易断裂,发酵产生的  $\text{CO}_2$  得以保留,面筋的延展性增加,促进了面团的膨胀,进而提升了面包的柔软度和蓬松度[19]。但是,黄油添加量过多导致面包筋度降低,整形易塌,不易发起。并且,面包油腻,口感偏硬[20]。因此,黄油的最佳添加量是 10%。

### 3.3. 桑叶粉添加量对低 GI 面包品质的影响

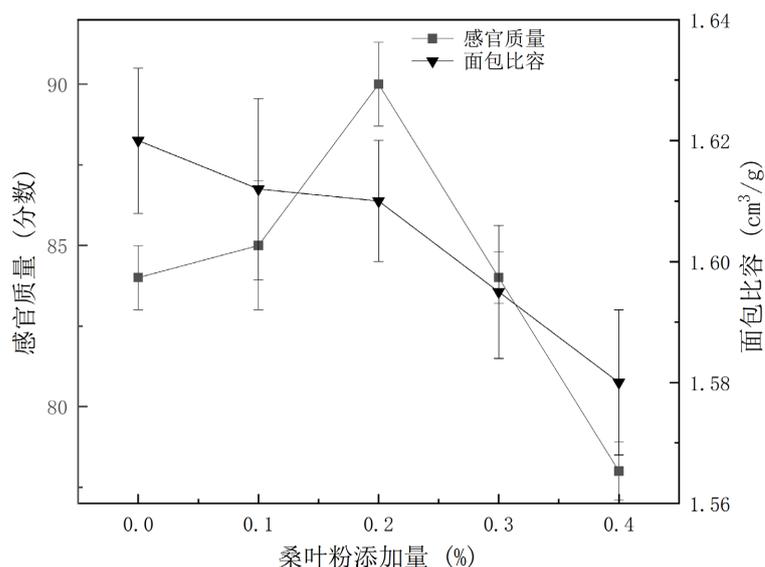


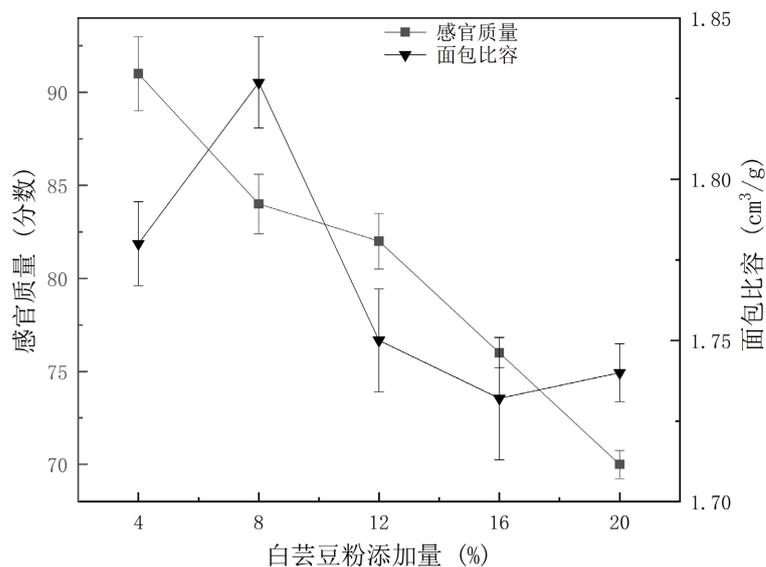
Figure 3. Effect of mulberry leaf powder on quality of low GI bread  
图 3. 桑叶粉添加量对低 GI 面包品质的影响

由图 3 可以看出,随着桑叶粉添加量的增加,面包的感官质量不断上升。当添加量为 0.2% 时,感官质量达到最高(90 分);之后,随着添加量继续增加,感官质量快速下降。同时,随着桑叶粉的不断增加,比容从最佳值( $1.62 \text{ cm}^3/\text{g}$ )开始缓慢下降。桑叶粉对面包品质的影响分析如下:当桑叶粉添加量小于 0.2% 时,桑叶粉使面包具有一定的芳香味,并且添加量与之呈正相关性;超过 0.2% 后,过多的桑叶粉导致面包有严重的青草味,并且其色泽变暗。同时,随着桑叶粉逐渐增加,面包的硬度变大,比容逐渐下降。这是因为桑叶粉中含有不可溶性膳食纤维,对面筋蛋白网络结构具有破坏和稀释作用,使得面包持气性下降[21]。另外,桑叶粉中多糖和酚类物质与面筋蛋白相互作用,造成面包内部结构变差,面包的形成时间变缓[22],导致面包比容下降。因此,综合面包的感官质量和比容,桑叶粉的添加量确定为 0.2%。

### 3.4. 白芸豆粉添加量对低 GI 面包品质的影响

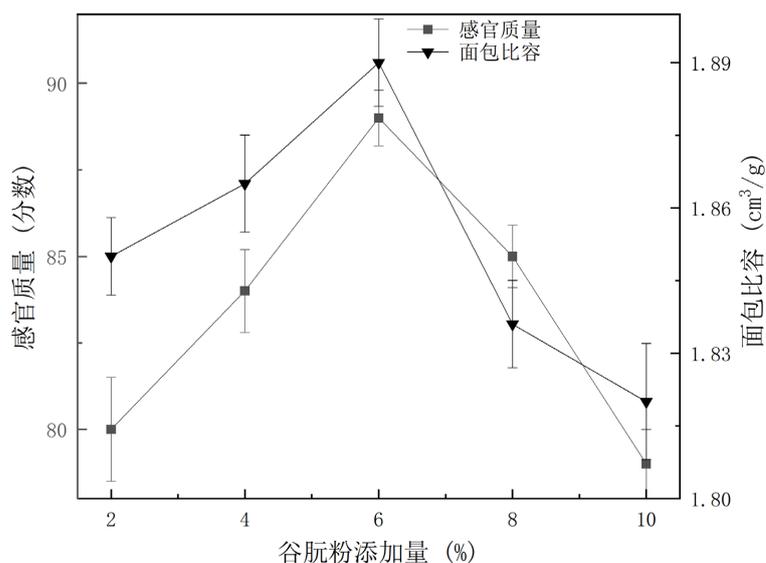
由图 4 可以看出,添加量最小(4%)时,感官质量最高(91 分)。随着添加量逐渐增加,感官质量呈现快速下降,但比容逐渐升高。当达到 8%,比容达到最大值( $1.83 \text{ cm}^3/\text{g}$ )。此后,尽管添加量继续增加,比容快速下降。其原因可分析如下:当添加量小于 8%,少量添加白芸豆粉使面筋蛋白适当弱化,提高了面团包裹气体的能力,使面包的膨胀能力更佳。之后,添加量超过 8%,面包中面筋含量减少,白芸豆中不可溶性膳食纤维破坏了面筋网络结构的连续性,使面包的持气性下降[23]。同时,在烘焙过程中,膳食纤维不易被酵母利用,仅填充于体系中,从而延缓了发酵过程[24]。此外,白芸豆粉的

进一步增加,使面包的豆腥味变重,质地变得粗糙。因此,综合面包感官质量和比容,白芸豆粉的最佳添加量为8%。



**Figure 4.** Effect of white kidney bean flour on the quality of low GI bread  
**图 4.** 白芸豆粉添加量对低 GI 面包品质的影响

### 3.5. 谷朊粉添加量对低 GI 面包品质的影响



**Figure 5.** Effect of gluten content on quality of low GI bread  
**图 5.** 谷朊粉添加量对低 GI 面包品质的影响

由图 5 可知,随着谷朊粉添加量的增加,面包的感官质量和比容都呈现快速上升的趋势。当添加量达到6%时,感官质量最高(89分),比容也最高(1.89 cm<sup>3</sup>/g)。之后,随着添加量继续增加,感官质量和比容都快速下降。谷朊粉对面包品质的影响可分析如下:谷朊粉可调整面粉蛋白含量,谷朊粉中麦醇溶蛋白分子呈球状[25],具有延伸性;麦谷蛋白分子为纤维状,具有弹性。两者共同作用,使谷朊粉

具有独特的黏弹性。这种黏弹性能够改善面团强度，控制膨胀度。添加适量的谷朊粉，面包中面筋蛋白含量提高，形成三维面筋网络结构，改善面包感官质量。此后，继续添加谷朊粉，由于形成的三维面筋网络过密，发酵性变差，面包变硬，导致感官质量和比容降低[26]。因此，谷朊粉最佳添加量为6%。

### 3.6. 燕麦粉添加量对低 GI 面包品质的影响

由图 6 得出，当燕麦粉添加量最少(5%)时，面包比容最大(1.71 cm<sup>3</sup>/g)。随着其添加量的增加，面包的感官质量快速上升。当添加量达到 15%，感官质量达到最高(84 分)。之后，随着添加量继续增加，感官质量迅速下降。同时，比容也呈现逐渐下降的趋势。分析可能的原因如下：适当添加燕麦粉会赋予面包特殊的香气，增加面包风味，面包的感官质量增加。但是，随着添加量的增加，由于燕麦粉中含有的膳食纤维主要是  $\beta$ -葡聚糖，而高含量的  $\beta$ -葡聚糖会与面筋蛋白之间竞争性的结合水，导致面筋蛋白的构象变化，从而阻碍面团中面筋网络的正常形成[27]。同时，由于膳食纤维对面筋蛋白的稀释作用，会在物理上破坏面筋网络，也会导致面包的比容降低。另外，因为燕麦粉中缺乏麸质，不利于酵母发酵，所以面包干裂，面包比容减小，影响了面包的品质[28]。因此，燕麦粉的最佳添加量为 15%。

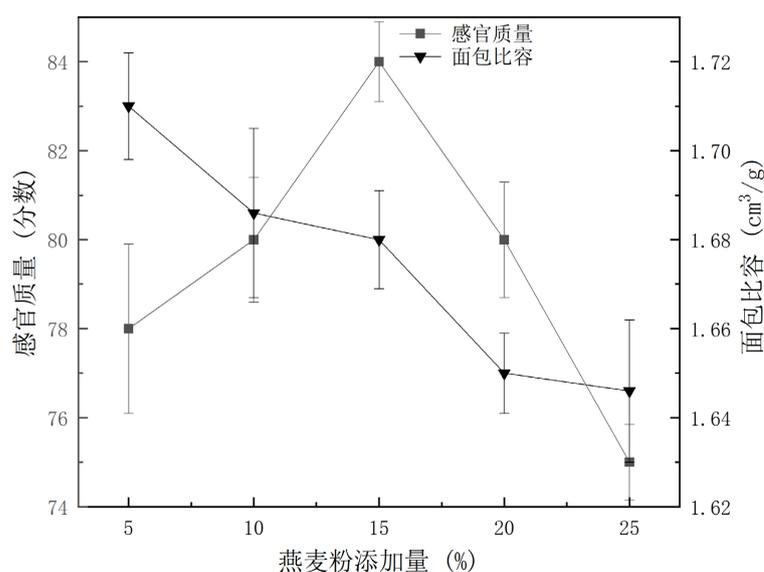
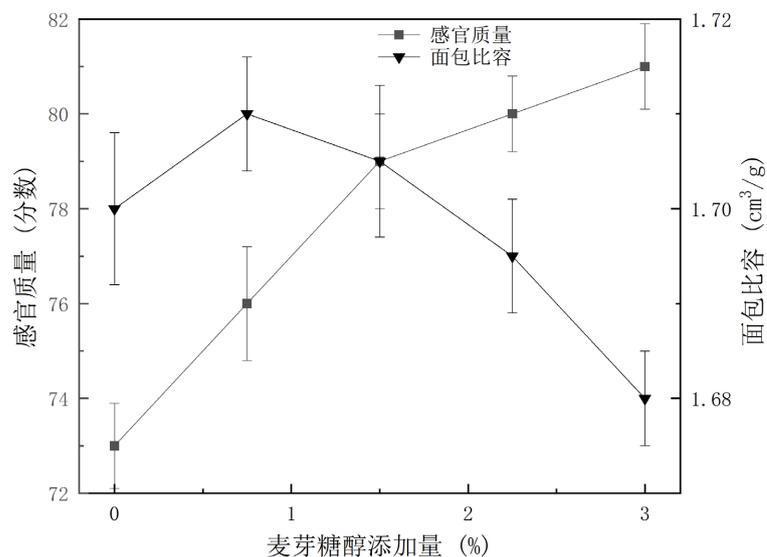


Figure 6. Effect of oat flour on quality of low GI bread  
图 6. 燕麦粉添加量对低 GI 面包品质的影响

### 3.7. 麦芽糖醇添加量对低 GI 面包品质的影响

由图 7 得出，随着麦芽糖醇粉添加量的增加，面包的感官质量及比容几乎以线性方式快速增加。当添加量达到 0.75%，比容达到最高(1.71 cm<sup>3</sup>/g)。之后，随着添加量进一步增加，比容快速减小。但是，感官质量仍有少许增加。当添加量为 3%，感官质量达到最高(81 分)。其可能的原因分析如下：由于麦芽糖醇添加量逐渐增加，面包刚开始有一定的甜度，呈现良好的口感与风味。之后，过多的添加，造成比容减小。因为麦芽糖醇是糖醇类甜味剂，是难发酵性物质，几乎不被酵母等微生物利用，其过多的添加，不仅造成酵母发酵缓慢，而且其他能够被酵母利用的有效成分含量减少，面团不能被有效醒发，影响了面包的膨胀性[29]。因此，综合面包感官质量和比容，麦芽糖醇的最佳添加量为 1.6%。



**Figure 7.** Effect of maltitol on quality of low GI bread  
**图 7.** 麦芽糖醇添加量对低 GI 面包品质的影响

### 3.8. 面包配方的正交试验

**Table 3.** Orthogonal factor design and result analysis  
**表 3.** 正交因素设计与结果分析

序号	因素				感官质量 (分数)	比容(cm <sup>3</sup> /g)
	A 桑叶粉(%)	B 白芸豆粉(%)	C 谷朊粉(%)	D 麦芽糖醇(%)		
1	1(0.1)	1(4)	1(4)	1(0.8)	80	2.31
2	1	2(8)	2(6)	2(1.6)	83	2.08
3	1	3(12)	3(8)	3(2.4)	85	1.73
4	2(0.2)	1	2	3	77	1.53
5	2	2	3	1	82	2.22
6	2	3	1	2	85	1.78
7	3(0.3)	1	3	2	90	1.89
8	3	2	1	3	84	1.87
9	3	3	2	1	80	1.83
k <sub>1</sub> (1)	82.67	82.33	83.00	80.67		
k <sub>2</sub> (1)	81.33	83.00	80.00	86.00		
k <sub>3</sub> (1)	84.67	83.33	85.67	82.00		
R1	3.34	1.00	5.67	5.33		
k <sub>1</sub> (2)	2.04	1.91	1.99	2.12		
k <sub>2</sub> (2)	1.84	2.06	1.81	1.92		
k <sub>3</sub> (2)	1.86	1.78	1.95	1.71		
R2	0.20	0.28	0.18	0.41		

如表 3 所示,影响感官评分的主次顺序为:谷朊粉 > 麦芽糖醇 > 桑叶粉 > 白芸豆;影响面包比容的主次顺序为:麦芽糖醇 > 白芸豆 > 桑叶粉 > 谷朊粉。对于低 GI 面包,感官评分及比容越高越好,即  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$  值越大越好,最佳感官质量组合为  $A_3B_3C_3D_2$ ,最高比容组合为  $A_1B_2C_1D_1$ 。将两组经过模拟体外消化,测得两组 GI 值分别 54.66 及 54.79,均 < 55,符合低 GI 要求。综合考虑,选取感官最佳因素组合为  $A_3B_3C_3D_2$ 。即:桑叶粉、白芸豆粉、谷朊粉、麦芽糖醇的最佳添加量分别为 0.3、12、8 及 1.6%。

### 3.9. 低 GI 面包的质构特性分析

Table 4. Texture characteristics of low GI bread

表 4. 低 GI 面包质构特性

质构特性	硬度	粘性	弹性	咀嚼性	回弹性
$A_3B_3C_3D_2$	1455.10	886.49	0.84	745.39	0.26
$A_1B_2C_1D_1$	1340.27	627.13	0.80	502.24	0.23
小麦面包	651.43	396.37	0.79	328.79	0.31

按照最优的物料配比,制作出该面包,对该低 GI 面包质构特性进行分析,结果如表 4 所示。显然,无论是最高感官质量组还是最优比容组,面包的硬度、粘性、弹性、咀嚼性都比普通小麦面包大,回弹性比普通小麦面包小。在面包中加入杂粮、杂豆及燕麦粉,导致面包的持水力升高,不易形成面筋网络结构,从而使面团松软度下降,面包硬度远大于小麦面包。面包的咀嚼性增大是由于添加杂粮、杂豆及燕麦粉稀释了面筋蛋白的含量,无法形成三维网络,面团延展性变差,导致面包组织结构紧密,咀嚼性增强。

## 4. 结论

以白芸豆、桑叶、红芸豆粉、燕麦粉、黑米粉、黑豆粉、高筋面粉为主要原辅料,开发一款低血糖生成指数(低 GI)的杂粮及杂豆面包。通过单因素优化试验,确定了黄油、燕麦粉、桑叶粉、谷朊粉、白芸豆及麦芽糖醇添加量,对面包感官质量和比容的影响。在此基础上,通过正交试验,优化了影响面包质量的主要原辅料配比。确定了该面包产品的配方,即:水 60%、高筋面粉 34.7%、燕麦粉 15%、白芸豆粉 12%、红芸豆粉 10%、黑米粉 10%、黑豆粉 10%、黄油 10%、谷朊粉 8%、麦芽糖醇 1.6%、干酵母 1.5%、食盐 0.7%、桑叶粉 0.3%。并且,确定了低 GI 面包的最佳醒发条件,即:在 36℃及湿度 85%下,醒发 70 min。在最佳工艺条件下,该面包的比容为 1.71 cm<sup>3</sup>/g,GI 值为 54.66。该研究将为低 GI 面包的产业化开发提供一定的技术基础。

## 基金项目

安徽省科技重大专项项目“即食面包的提质保鲜关键技术研究及新产品创制”(202203a06020029);滁州市八大产业链强链补链项目“美拉德风味肽对面包的品质提升关键技术研究及产业化”(2021GJ010)。

## 参考文献

- [1] 王志辉,方婷,林美珊,等. 麦芽糖醇白茶面包的研制[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(10): 110-114.
- [2] 康凌宇. 食物中的 GI 究竟是什么?[J]. 中国食品工业, 2021(23): 53-57.
- [3] 冯淦熠,刘莹莹,李颖慧,等. 桑叶黄酮降糖、降脂作用与机制及其在动物生产中的应用[J]. 动物营养学报, 2020, 32(1): 48-53.
- [4] 张倩,张立华. 桑叶的化学成分及开发利用进展[J]. 湖北农业科学, 2020, 59(15): 16-19.

- [5] 韦芳媚. 桑叶提取物、茶多酚及其复配物的抗氧化和降血糖活性[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2019.
- [6] 何冬雪, 苏光林, 谢文佩. 桑叶粉对海绵蛋糕品质及质构性质的影响[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(5): 113-118.
- [7] 郑虹君, 朱叙丞, 李耀基, 等. 白芸豆功能成分、生物活性及其产品开发研究进展[J]. 中国粮油学报, 2022, 5(25): 50-66.
- [8] 马艳丽, 让一峰, 赵伟, 等. 白芸豆  $\alpha$ -淀粉酶抑制剂在低 GI 方便粥中的应用[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2018, 39(1): 45-48.
- [9] 杨宁, 赵燕云, 施文彩, 等. 进餐前服用白芸豆提取物对餐后血糖的改善功效[J]. 医学研究杂志, 2020, 49(4): 24-28.
- [10] 陈明珠, 李远华, 曾凡凡, 王丹妮. 一种无糖岩茶蛋糕的研制[J]. 农产品加工, 2022(19): 14-17.
- [11] 徐箐. 低 GI 面包的研制及其终产品血糖生成指数的测定[D]: [硕士学位论文]. 邯郸: 河北工程大学, 2020.
- [12] 王振丽, 徐明磊. 无糖低 GI 海绵蛋糕的研制[J]. 食品工业, 2022, 43(2): 62-66.
- [13] Englyst, H.N., Kingman, S.M. and Cummings, J.H. (1992) Classification and Measurement of Nutritionally Important Starch Fractions. *European Journal of Clinical Nutrition*, **46**, S33-S50.
- [14] Granfeldt, Y., Bjorck, I., Drews, A., et al. (1992) An *in Vitro* Procedure Based on Chewing to Predict Metabolic Response to Starch in Cereal and Legume Products. *European Journal of Clinical Nutrition*, **46**, 649-660.
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 中华人民共和国国家标准. 面包 GB/T 20981-2007 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [16] 丁长河, 张金叶, 高雅君. 低 GI 馒头的工艺优化及营养评价[J]. 食品科技, 2022, 47(3): 175-181.
- [17] 袁蓓蕾. 杂粮面包粉流变学性质研究及面包工艺优化[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2013.
- [18] 郑志, 孟玲玲, 罗水忠, 等. 超细化脱脂米糠面包的研制[J]. 食品科学, 2010, 31(18): 453-456.
- [19] Chung, H.-J., Lim, H.S. and Lim, S.-T. (2005) Effect of Partial Gelatinization and Retrogradation on the Enzymatic Digestion of Waxy Rice Starch. *Journal of Cereal Science*, **43**, 353-359. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.12.001>
- [20] 王然, 刘黎红, 孙晓玲, 等. O/W 型乳液制备油胶及其对面包烘焙品质的影响[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(1): 19-22.
- [21] 夏嘉龙, 季慧, 尹燕博, 等. 桑叶超微粉对小麦面团粉质特性及馒头品质的影响[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(3): 113-118.
- [22] Han, C.W., Ma, M., Zhang, H.H., et al. (2020) Progressive Study of the Effect of Superfine Green Tea, Soluble Tea and Tea Polyphenols on the Physico-Chemical and Structural Properties of Wheat Gluten in Noodle System. *Food Chemistry*, **308**, Article ID: 125676. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125676>
- [23] 程新. 湿热-多菌发酵对白芸豆面包营养及风味特性的影响[D]: [硕士学位论文]. 无锡: 江南大学, 2021.
- [24] 杨艺. 不溶性膳食纤维的添加对面包品质影响机制的研究[D]: [硕士学位论文]. 无锡: 江南大学, 2019.
- [25] 付博菲, 刘晓, 徐绍建, 等. 谷朊粉的功能特性及改性研究[J]. 中国食物与营养, 2012, 18(11): 35-37.
- [26] 柳富杰, 周永升, 韦巧艳, 等. 米粉面包工艺优化及其品质[J]. 食品工业, 2021, 42(5): 119-123.
- [27] 潘琪锋. 高含量燕麦粉的面包预拌粉研究[D]: [硕士学位论文]. 无锡: 江南大学, 2021.
- [28] 高红梅, 陈涛, 李雪, 等. 高钙燕麦粉面包的研制[J]. 四川旅游学院学报, 2019(2): 29-34.
- [29] 刘学梅, 刘传富, 王冰, 等. 麦芽糖醇在面包中的应用研究[J]. 食品科技, 2009, 34(5): 174-177.