

刘士伟, 王成祥, 段盛林, 等. 基于模糊数学感官评价的杂粮馒头配方优化及低 GI 验证 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(21): 375–380. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021110206

LIU Shiwei, WANG Chengxiang, DUAN Shenglin, et al. Research on Formula Optimization and Low-GI Verification of Coarse Grain Steamed Bread Based on Fuzzy Mathematics Sensory Evaluation[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(21): 375–380. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021110206

· 营养与保健 ·

基于模糊数学感官评价的杂粮馒头配方优化 及低 GI 验证

刘士伟^{1,2}, 王成祥^{3,*}, 段盛林^{1,2,*}, 张美娜³, 王 玺^{1,2}, 马芙俊^{1,2}, 赵鑫燕³, 李海枝^{1,2}

(1. 中国食品发酵工业研究院有限公司, 北京 100015;

2. 功能主食创制与慢病营养干预北京市重点实验室, 北京 100015;

3. 河北同福健康产业有限公司, 河北石家庄 051430)

摘要: 为开发一款品质良好、低血糖生成指数 (glycemic index, GI) 的杂粮馒头, 本文以杂粮馒头的外观、质地、适口性、滋味为评价指标, 建立模糊数学感官评价方法, 通过正交试验, 确定青稞粉、黄豆粉及鹰嘴豆粉的最佳配比。最后对杂粮馒头进行血糖生成指数人体测试评估。结果表明, 杂粮馒头原料最佳配制比为: 69.7% 高筋小麦粉、2% 马铃薯粉、3% 苦荞粉、5% 青稞粉、10% 黄豆粉、8% 鹰嘴豆粉、1.5% 桑叶提取物、0.8% 水苏糖, 此条件下感官评价得分为 82.3, GI 值为 50.48, 表明所研发的产品是一款 GI 值较低, 适合控糖人群以及糖尿病等慢性病患者食用的杂粮馒头。

关键词: 杂粮馒头, 模糊数学, 感官评价, 血糖生成指数

中图分类号: TS210.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)21-0375-06

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021110206

本文网刊:



Research on Formula Optimization and Low-GI Verification of Coarse Grain Steamed Bread Based on Fuzzy Mathematics Sensory Evaluation

LIU Shiwei^{1,2}, WANG Chengxiang^{3,*}, DUAN Shenglin^{1,2,*}, ZHANG Meina³, WANG Xi^{1,2}, MA Fujun^{1,2},
ZHAO Xinyan³, LI Haizhi^{1,2}

(1. China National Research Institute of Food Fermentation Industries Co., Ltd., Beijing 100015, China;

2. Functional Staple Food Creation and Nutrition Intervention for Chronic Diseases in Beijing

Key Laboratory, Beijing 100015, China;

3. Hebei Tongfu Health Industry Co., Ltd., Shijiazhuang 051430, China)

Abstract: In order to develop a coarse grain steamed bread with good quality and low glycemic index (GI), taking the appearance, texture, palatability and taste of coarse grain steamed bread as evaluation indexes, the fuzzy mathematical sensory evaluation method was established to determine the best proportion of barley powder, soybean powder and chickpea powder by orthogonal test. Finally, glycemic index human body test was carried out on coarse grain steamed bread. The results showed that the best preparation conditions of coarse grain steamed bread raw materials were 69.7% high gluten wheat flour, 2% potato flour, 3% tartary buckwheat flour, 5% highland barley flour, 10% soybean flour, 8% chickpea flour, 1.5% mulberry leaf extract and 0.8% stachyose. At this time, the sensory evaluation score was 82.3 and the GI value was 50.48. Therefore, the developed product was a low-glycemic index coarse grain steamed bread with lower glycemic

收稿日期: 2021-11-18

基金项目: 河北省重点研发计划项目 (21327118D); 西藏自治区科技计划项目 (XZ202101YD0019C); 河北省重点研发计划项目 (21327124D)。

作者简介: 刘士伟 (1983-), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 功能食品及核心装备研发, E-mail: ff_nns@163.com。

* 通信作者: 王成祥 (1974-), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向: 食品工程, E-mail: Cx.18@163.com。

段盛林 (1968-), 男, 硕士, 教授级高级工程师, 研究方向: 食品科学, E-mail: dslbeijing@163.com。

index value, which was more suitable for people with sugar control and chronic diseases such as diabetes.

Key words: coarse grain steamed bread; fuzzy mathematics; sensory evaluation; glycemic index

随着人口老龄化进程加快,国家针对糖尿病高发的医疗负担逐渐增加^[1-2]。近几年,国家及卫生医疗机构开展了一系列针对糖尿病的防控工作,并颁布了《中国糖尿病膳食指南 2017》。同时,为了有效控制血糖,食物血糖生成指数(glycemic index, GI)的概念开始推广应运,低 GI 食品的研发逐渐成为当前的研究热点^[3-6]。

馒头是我国人民喜爱的传统主食之一,起源于三国时期。馒头根据南北方的差异,制作工艺有所不同,但其主要还是由小麦粉加水发酵蒸制而成。由于现今人们生活水平的普遍提高,主食馒头的成分及营养的单一化已无法满足人们的需求^[7-8]。研究发现苦荞中的淀粉是以支链淀粉为主^[9],富含膳食纤维,适量补充膳食纤维可有效预防由营养结构不平衡引起的肥胖和糖尿病等相关疾病^[10-12]。青稞中的主要成分是淀粉等碳水化合物,蛋白质含量较高,氨基酸、矿物质种类齐全^[13-15],因此,苦荞、青稞等原料被广泛应用到馒头制作中。2009 年路长喜等^[16]就通过在主食馒头中添加不同比例的苦荞麦粉,最后研发了一款品质优良,营养价值高且具备小麦和苦荞独具的天然清香的苦荞麦馒头。潘冬梅等^[17]采用单因素和正交试验研究了添加黑米粉、绿豆粉、玉米粉、红豆粉的粗粮玫瑰馒头的配方工艺,最后研发出一款具有玫瑰造型的保健杂粮馒头。因此,研发一款营养丰富且具有保健功能的杂粮馒头已成为现今主食研究热点之一。

本文以高筋小麦粉为主要原料,复配马铃薯粉、苦荞粉、青稞粉、黄豆粉、鹰嘴豆粉等原料,通过建立模糊数学模型^[18-20],对配方进行感官评价,并对其进行 GI 人体验证,以期研发出一款 GI 值较低,口感较好的杂粮馒头。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

高筋小麦粉 古船食品工业有限公司;马铃薯粉 希森马铃薯产业集团有限公司;苦荞粉 昆明五谷王食品有限公司;青稞粉 西藏金谷农业高科有限公司;黄豆粉 黑龙江北纯农产品开发有限公司;鹰嘴豆粉 新疆天山奇豆生物科技有限责任公司;水苏糖 中国食品发酵工业研究院有限公司;桑叶提取物 博仲盛景医药技术(北京)有限公司;高活性干酵母 安琪酵母股份有限公司。

HM740 和面机 青岛汉尚电器有限公司;SEG-1Y-S 醒发箱 江苏三麦食品机械有限公司;PL203 型电子精密天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;;AU480 全自动生化分析仪 贝克曼库尔特实验系统(苏州)有限公司;普通蒸锅 美的集团股份有限公司;KDY-9820 自动凯氏定氮仪 南京威美特科学

仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 低 GI 杂粮馒头制作工艺 杂粮馒头的具体工艺流程^[21-22]如下:

干粉混合→和面→一次醒发→整形→二次醒发→蒸制→冷却→杂粮馒头

通过预实验以及文献调研确定马铃薯粉、苦荞粉、桑叶提取物以及水苏糖的添加量分别为:2%、3%、1.5% 和 0.8%^[23-25];将其与高筋小麦粉、青稞粉、黄豆粉、鹰嘴豆粉干混,之后在混合原料的基础上添加酵母粉(约占干粉质量 0.7%);用和面机以 50 r/min 低速搅拌干粉,边搅拌边加入温水(约占干粉质量 50%),再以 112 r/min 高速搅拌约 10 min,使之形成光滑均匀的面团;将该面团置于 35℃、湿度 75%~80% 的醒发箱,发酵 1 h,使其内部充满气孔;将一次发酵好的面团分割成 120 g 左右面团,搓圆;整形好的面团再次置于醒发箱发酵 15 min;二次醒发好的面团放进蒸锅,上汽后蒸 20 min;蒸制完成后,在锅中降温 5 min 后取出使之自然冷却。

1.2.2 杂粮馒头蛋白、脂肪、碳水化合物含量测定 杂粮馒头碳水化合物含量(g/100 g)=100-(脂肪+蛋白质+水分+灰分+粗纤维);蛋白、脂肪、水分、灰分、纤维测定分别参照国标 GB/T 23530-2009、GB 5009.6-2016、GB 5009.3-2016、GB 5009.4-2010 和 GB/T 5009.10-2003 方法测定。

1.2.3 模糊数学感官评价方法建立

1.2.3.1 评价指标集的确定 以低 GI 杂粮馒头外观形态、质地、适口性和滋味为评价指标^[26-29]。

A_1 =外观:色泽 A_{11} ,颜色均匀度 A_{12} ,光滑度 A_{13} ;

A_2 =质地:软硬度 A_{21} ,气孔均匀度 A_{22} ;

A_3 =适口性:粘性 A_{31} ,弹性 A_{32} ,咬劲 A_{33} ;

A_4 =滋味:香气 A_{41} ,有无异味 A_{42} ;

1.2.3.2 评价指标集权重系数的计算 本研究采用问卷调查方法进行权重系数的计算^[30]。主要是针对上文确定的评价指标集,对调查结果按照重要程度进行排序。将各指标给予相同重要程度的人数除以全部人数,即可得到某一指标的权重 X_i 。各项权重的计算公式如下。

$$X_i = \frac{\sum(a_j \times n_{ij})}{N \sum a_j}$$

式中: X_i —为第 i 个指标的权重; a_j —为指标赋值; n_{ij} —为选择第 i 个指标的重要程度为 j 的人数; N —为参加的总人数。

1.2.3.3 评价对象集的确定 将需要进行评价的产品集合定义为 Y , Y_i 即为评价对象集,则通过正交实验设计产生的测评产品 $Y_i = \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6,$

$Y_7, Y_8, Y_9\}$ 。 Y_j 代表对 9 种样品的综合评价, 其中 $j=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ 。

1.2.3.4 评语集的确定 设定特定分值区域, 并与评价集相对应, 可将最终结果量化为具体评分^[31]。首先设定评语集为: $V=\{V_1, V_2, V_3, V_4\}$; V_1 =很好, V_2 =良好, V_3 =一般, V_4 =较差。根据清晰质量等级边界模糊化法将分值区域清晰化, 即取区域的中心值得到对应的分值, 见表 1。

表 1 评语集与分值区域对应表
Table 1 The corresponding table of evaluation sets and score areas

评价集	很好	良好	一般	较差
分值区域	90~100	80~90	60~80	0~60
边界清晰化	95	85	70	30

1.2.3.5 模糊矩阵的形成 评价人员分别对正交设计实验所得的产品从上述的产品评价指标集内容的各个角度进行品评。将结果汇总于馒头品质评价统计表中, 然后将相同评语的人数除以总人数得到隶属度, 形成评价矩阵 R_{ij} 。

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

评价人员在品评前 1 h 不吸烟、不吃东西、但可以喝水, 品评期间具有正常的生理状态, 不使用化妆品或其他有明显气味的用品。每次品评包括 4 份样品(包含 1 份参照样品和 3 份待品评样品)。每位评价人员每天最多做 2 次品尝, 且时间安排在饭前 1 h 或饭后 2 h 进行。其中, 参照样品为事先选出 3 份实验样品, 经过馒头制作, 由评价人员进行 3 次品评, 选出色、香、味正常, 综合评分在 80 左右的样品 1 份, 作为每次品尝的参照样品。

1.2.3.6 模糊评判方法 依据模糊变换原理: $Y=X \circ R$ 其中, Y 为上述的评价对象集, 是对样品的综合评价集; X 为权重集; R 为评价矩阵; $\circ$ 为广域模糊算子。

$$Y = (Y_1 Y_2 \cdots Y_N) = (X_1 X_2 \cdots X_n) \circ \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

式中: $Y_i = (X_1 \times r_{1i}) \vee$ 或 $\wedge (X_2 \times r_{2i}) \cdots (X_n \times r_{ni})$ 。这里“ $\vee$ ”表示两者相比较后取较大者, “ $\wedge$ ”表示两者相比较较小值, 根据低 GI 杂粮馒头感官评价的各指标之间的关系, 二级和三级因素的模糊变换根据最大运算法则选取“ $\vee$ ”, 而最外层蒸煮前、后一级因素之间的模糊变换根据最小运算法则选取“ $\wedge$ ”。最后根据评语集与分值区域相对应表中的分值, 将综合品评结果转换为相应的分值, 作为结果带入正交试验。

1.2.4 正交试验 实验室前期对影响杂粮馒头品质的主要因素进行试验, 发现青稞粉、黄豆粉以及鹰嘴豆粉会影响馒头的质构特性和比容。当青稞粉添加

量达到 10% 以上时, 杂粮馒头风味品质变差, 并且杂粮馒头较硬; 黄豆粉中富含大豆蛋白与脂肪, 适当增加黄豆粉能改善硬度与弹性, 且当添加量为 10% 时, 可使馒头富有黄豆的香气; 鹰嘴豆粉当其添加量达到 8% 时, 杂粮馒头的感官评分在 81.2~87.8 之间, 是制作杂粮馒头的一种优质配料。

因此, 本试验选取制备杂粮馒头的条件为: 5% 青稞粉、10% 黄豆粉和 8% 鹰嘴豆粉, 之后选取青稞粉、黄豆粉、鹰嘴豆粉做三因素三水平的正交试验, 确定优化配方。正交试验因素水平见表 2。

表 2 正交试验因素水平设计
Table 2 Factor level table of orthogonal test

水平	青稞粉(%)	黄豆粉(%)	鹰嘴豆粉(%)
1	3	8	6
2	5	10	8
3	7	12	10

1.2.5 低 GI 杂粮馒头 GI 人体测试 低 GI 杂粮馒头 GI 人体测试方法依据参考 ISO26642:2010《Food products-Determination of the glycaemic index (GI) and recommendation for food classification》和 WS/T 652-2019《食物血糖生成指数测定方法》^[32]。

测试对象及方法: 本次测试随机选取受试者 12 人, 人均身体质量指数(body mass index, BMI)在 18.5~24 范围以内, 身体健康, 无代谢疾病以及近 3 个月内未患病以及未服用影响糖代谢等药物, 并且在测试前一晚禁止食用影响血糖的食物。所有受试者均采用指尖采血方法于 15、30、45、60、90、120 min 不同时间点分别收集血样, 利用全自动生化仪及时测定血糖浓度。受试者在实验前均签署知情同意书(伦理审查编号为 HS-1763)^[33]。

根据 GI 的分类标准, 当血糖指数在 55 以下时, 可认为该食物是低 GI 食物; 血糖指数在 55~70 之间时, 为中等 GI 食物; 血糖指数在 70 以上时, 为高 GI 食物。GI 值计算时, 需以时间为横坐标, 各时点血糖值为纵坐标, 制作血糖应答曲线, 计算血糖曲线下面积^[34-35]。具体公式如下:

$$GI = \frac{\text{受试物餐后 2 h 内血糖曲线下增值面积}}{\text{等量葡萄糖餐后 2 h 内血糖曲线下增值面积}} \times 100$$

1.3 数据处理

采用 SPSS 24.0 统计软件进行分析, 结果用于表示并对实验结果进行配对 t 检验, $P < 0.05$ 为差异性显著。

2 结果与分析

2.1 杂粮馒头基本营养成分测定

根据国标法检测得到杂粮馒头的蛋白、脂肪含量分别为 12.2、2.6 g/100 g, 碳水化合物含量为 69.3 g/100 g。

2.2 低 GI 杂粮馒头模糊感官评价方法制定

2.2.1 低 GI 杂粮馒头感官评价的评价因素及各项权

重 通过统计分析调查的数据,确定出低 GI 杂粮馒头感官评价的评价因素及各项权重,见下表 3。

表 3 品评标准及权重计算结果

Table 3 Evaluation criteria and weights calculation results

一级因素(占比)	二级因素(占比)	标准要求
外观 A_1 (0.14)	色泽 A_{11} (0.43)	表面是否有光泽
	颜色均匀度 A_{12} (0.26)	表面颜色是否均匀
	光滑度 A_{13} (0.31)	表面是否光滑无坑洼
质地 A_2 (0.31)	软硬度 A_{21} (0.57)	产品密度大小
	气孔均匀度 A_{22} (0.43)	气孔分布是否均匀
	黏性 A_{31} (0.25)	咬时是否粘牙
适口性 A_3 (0.32)	弹性 A_{32} (0.36)	产品是否有弹性
	咬劲 A_{33} (0.39)	咬时是否筋道
滋味 A_4 (0.23)	香气 A_{41} (0.42)	馒头固有麦香香气
	有无异味 A_{42} (0.58)	馒头是否有异味

2.2.2 模糊评判隶属度的确定 通过对 7 名专业人员对 9 个正交实验样品的评价结果的统计,得出评语隶属度。其中 1 号样品的隶属度结果如下表 4。其余样品依照同样方式进行统计。

表 4 1 号样品各项指标的隶属度

Table 4 Membership degree of each index of sample 1

一级因素	权重	二级因素	权重	评语隶属度			
				很好	良好	一般	较差
A_1	0.14	A_{11}	0.43	0.20	0.40	0.35	0.05
		A_{12}	0.26	0.10	0.30	0.40	0.20
		A_{13}	0.31	0.10	0.35	0.30	0.25
A_2	0.31	A_{21}	0.57	0.10	0.30	0.40	0.20
		A_{22}	0.43	0.00	0.25	0.50	0.25
		A_{31}	0.25	0.05	0.40	0.45	0.10
A_3	0.32	A_{32}	0.36	0.00	0.40	0.35	0.25
		A_{33}	0.39	0.15	0.45	0.35	0.05
A_4	0.23	A_{41}	0.42	0.05	0.40	0.55	0.00
		A_{42}	0.58	0.60	0.35	0.05	0.00

2.2.3 评价结果计算 对于指标“外观” A_{11} ,按模糊变换法则,经模糊变换得出其评价结果为:

$$Y_{A_{11}} = X_{A_1} \circ R_{A_1} = (0.43, 0.26, 0.31) \circ$$

$$\begin{pmatrix} 0.20 & 0.40 & 0.35 & 0.05 \\ 0.10 & 0.30 & 0.40 & 0.20 \\ 0.10 & 0.35 & 0.30 & 0.25 \end{pmatrix}$$

$$= ((0.43 \times 0.20) \vee (0.26 \times 0.10) \vee (0.31 \times 0.10),$$

$$(0.43 \times 0.40) \vee (0.26 \times 0.30) \vee (0.31 \times 0.35),$$

$$(0.43 \times 0.35) \vee (0.26 \times 0.40) \vee (0.31 \times 0.30),$$

$$(0.43 \times 0.05) \vee (0.26 \times 0.20) \vee (0.31 \times 0.25))$$

$$= (0.086, 0.172, 0.151, 0.078)$$

归一化得,

$$Y_{A_1} = (0.177, 0.353, 0.310, 0.160)$$

同理可以计算出,

$$Y_{A_2} = (0.100, 0.300, 0.400, 0.200)$$

$$Y_{A_3} = (0.148, 0.444, 0.345, 0.063)$$

$$Y_{A_4} = (0.445, 0.260, 0.295, 0.000)$$

进而得到样品 1 的评价隶属度矩阵 R_A :

$$R_1 = \begin{pmatrix} Y_{A_1} \\ Y_{A_2} \\ Y_{A_3} \\ Y_{A_4} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.177 & 0.353 & 0.310 & 0.160 \\ 0.100 & 0.300 & 0.400 & 0.200 \\ 0.148 & 0.444 & 0.345 & 0.063 \\ 0.445 & 0.260 & 0.295 & 0.000 \end{pmatrix}$$

根据最小计算法则,采用“ $\wedge$ ”运算获得 1 号样品的评价集:

$$Y_1 = X_1 \circ R_1 = (0.14, 0.31, 0.32, 0.23) \circ$$

$$\begin{pmatrix} 0.177 & 0.353 & 0.310 & 0.160 \\ 0.100 & 0.300 & 0.400 & 0.200 \\ 0.148 & 0.444 & 0.345 & 0.063 \\ 0.445 & 0.260 & 0.295 & 0.000 \end{pmatrix}$$

$$= (0.102, 0.142, 0.124, 0.062)$$

归一化得:

$$Y_1 = (0.237, 0.330, 0.288, 0.144)$$

根据表 4,得出 1 号样品得分 $=95 \times 0.237 + 85 \times 0.330 + 70 \times 0.288 + 30 \times 0.144 = 75.1$ (分)。同理,计算其他样品得分。9 个实验样品评价得分见表 5。

表 5 样品得分表

Table 5 Sample score table

样品	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9
得分(分)	75.10	69.50	62.30	59.10	71.20	82.30	73.40	75.80	65.20

2.3 正交试验结果

根据极差分析(见表 6)可以初步确定影响低 GI 馒头品质的 3 个因子的主次顺序为 B(黄豆粉) $>$ A(青稞粉) $>$ C(鹰嘴豆粉)。结合方差分析即表 7 综合研究,可以发现:青稞粉、黄豆粉和鹰嘴豆粉对感官评分都具有极显著影响($P < 0.01$)。基于上述模糊数学感官评价,发现当青稞粉添加量 5%,黄豆粉添加量 10%,鹰嘴豆粉添加量 8% 的评分最高(82.30),即为最佳组合。后续则选择此比例进行 GI 测试。

表 6 低 GI 杂粮馒头 L9(3⁴)正交试验设计及结果Table 6 Orthogonal experiment design and results of low-GI multigrain steamed bread L9 (3⁴)

试验号	A 青稞粉(%)	B 黄豆粉(%)	C 鹰嘴豆粉(%)	评分(分)
1	7	10	6	75.10
2	5	12	6	69.50
3	3	12	8	62.30
4	7	12	10	59.10
5	3	8	6	71.20
6	5	10	8	82.30
7	5	8	10	73.40
8	7	8	8	75.80
9	3	10	10	65.20
k_1	198.7	220.4	215.8	
k_2	225.2	222.6	220.4	
k_3	210	190.9	197.7	
R	26.5	31.7	22.7	

2.4 杂粮馒头的 GI 人体测试结果

杂粮馒头餐后血糖浓度的变化与 50 g 葡萄糖进

表 7 低 GI 杂粮馒头正交试验方差分析
Table 7 Variance analysis of orthogonal experiment on multigrain steamed buns with low GI

因素	偏差平方和	自由度	均方	F临界值	显著性
A 青稞粉	117.887	2	58.943	137.078	**
B 黄豆粉	208.887	2	104.443	242.891	**
C 鹰嘴豆粉	96.007	2	48.003	111.636	**
误差	0.860	2	0.430	6.940	

注: **表示 $P<0.01$; *表示 $P<0.05$ 。

行比较,如图 1 所示。在 0 min 时,葡萄糖和杂粮馒头的空腹血糖浓度均在正常值范围之内;在 30 min 时,葡萄糖和杂粮馒头的血糖浓度升高至峰值,之后两者都持续下降,且从 15 min 到 60 min,杂粮馒头的血糖浓度皆低于葡萄糖;相比 50 g 葡萄糖,杂粮馒头餐后血糖浓度变化趋势较为稳定。

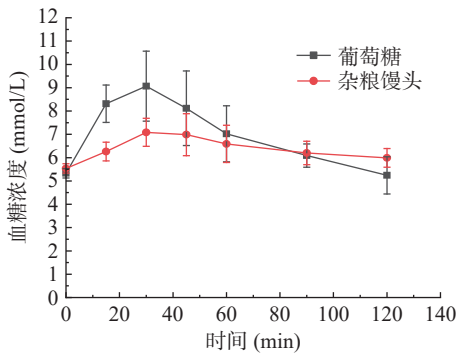


图 1 受试物的血糖应答曲线
Fig.1 Glucose response curve of subjects

碳水化合物食物水解后释放的单糖消化吸收速度可以用 GI 值来表示^[36]。表 8 为受试者 GI 测试结果。经过统计计算,GI 平均值为 50.48,标准差 SD 为 15.93,因此,与普通馒头 GI 值为 80(数据来源于 GI 营养工作室)相比,杂粮馒头属于低 GI 食品,食用后可以起到平稳血糖的效果,适用于糖代谢异常人群。

表 8 受试者测得杂粮馒头的 GI
Table 8 Subjects measured GI of multigrain steamed bread

受试者	1	2	3	4	5	6	7	8	9
GI	48.34	35.94	48.16	50.79	20.79	73.78	55.48	36.93	67.60
受试者	10	11	12	AV	SD	SE			
GI	53.98	40.48	73.51	50.48	15.93	4.6			

3 结论

本研究中以高筋小麦粉、马铃薯粉、苦荞粉、青稞粉、黄豆粉、鹰嘴豆粉等为原料,后添加桑叶提取物、水苏糖两种成分,选取外观(色泽、颜色均匀度、光滑度),质地(软硬度、气孔均匀度),适口性(粘性、弹性、咬劲),滋味(香气、有无异味)为评价指标,建立了模糊数学感官评价方法,确定杂粮馒头的最佳配方为:69.7% 高筋小麦粉、2% 马铃薯粉、3% 苦荞粉、5% 青稞粉、10% 黄豆粉、8% 鹰嘴豆粉、1.5% 桑叶提取物、0.8% 水苏糖。在此条件下配方的感官

得分为 82.3,GI 值为 50.48。感官评分和 GI 值表明,试验所研发的杂粮馒头是一款颜色均匀,软硬适中,GI 值较低的杂粮馒头。

本研究通过感官评价以及 GI 测试,研发了一款口感较好的低 GI 杂粮馒头,弥补了市面上普通馒头高碳水化合物缺点,适合控糖人群食用。

参考文献

[1] SORIGUER F, GODAY A, BOSCH-COMAS A, et al. Prevalence of diabetes mellitus and impaired glucose regulation in Spain: The Di@bet.es study[J]. *Diabetologia*, 2012, 55(1): 88–93.

[2] L'HEVEDER R, NOLAN T. International diabetes federation[J]. *Diabetes Research & Clinical Practice*, 2013, 101(3): 349–351.

[3] 王润, 党斌, 杨希娟, 等. 低血糖生成指数食品的研究现状与展望[J]. *青海农林科技*, 2018(3): 68–71, 88. [WANG R, DANG B, YANG X J, et al. Research review of low glycemic index foods[J]. *Science and Technology of Qinghai Agriculture and Forestry*, 2018 (3): 68–71, 88.]

[4] KAUR B, KOH M, PONNALAGU S, et al. Postprandial blood glucose response: Does the glycaemic index (GI) value matter even in the low GI range[J]. *Nutrition & Diabetes*, 2020, 10(1): 15.

[5] DOROTA R, KATARZYNA M, BOENA R I. Assessment of the glycemic index of groats available on the Polish food market[J]. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 2020, 71(1): 81–87.

[6] MURAKAMI K, SASAKI S. Glycemic index and glycemic load of the diets of Japanese adults: The 2012 national health and nutrition survey, Japan[J]. *Nutrition*, 2018, 46: 53–61.

[7] 张成东, 杨立娜, 吴昊桐, 等. 杂粮面条和馒头的研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(10): 212–216. [ZHANG C D, YANG L N, WU H T, et al. Research on noodles and steamed bread with coarse cereals[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(10): 212–216.]

[8] 孙祥祥, 刘长虹, 张煌. 杂粮馒头的开发与发展前景[J]. *粮食科技与经济*, 2017, 42(5): 61–64. [SUN X X, LIU C H, ZHANG H. Development and prospect of coarse grain steamed bread[J]. *Food Science and Technology and Economics*, 2017, 42(5): 61–64.]

[9] PEIYOU Q, QIANG W, FANG S, et al. Nutritional composition and flavonoids content of flour from different buckwheat cultivars[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2010, 45(5): 951–958.

[10] SALAS-SALVADO J, BULLO M, PEREZ-HERAS A, et al. Dietary fibre, nuts and cardiovascular diseases[J]. *British Journal of Nutrition*, 2006, 96(1): S45–S51.

[11] 肖杰, 王曦, 侯黎, 等. 苦荞调控糖脂代谢作用及其生物学机制研究进展[J]. *食品科学*, 2019, 40(21): 343–349. [XIAO J, WANG X, HOU C, et al. Recent advances in understanding the role and mechanism of action of tartary buckwheat in regulating glucolipid metabolism[J]. *Food Science*, 2019, 40(21): 343–349.]

[12] ANDERSON J W, BAIRD P, DAVIS R H, et al. Health benefits of dietary fiber[J]. *Nutrition Reviews*, 2009, 67(4): 188–205.

[13] 邓晓青, 潘志芬, 李倩, 等. 青稞全麦粉与面粉及其饼干的品质研究[J]. *麦类作物学报*, 2019, 39(1): 120–126. [DENG X Q,

- PAN Z F, LI Q, et al. Quality characterization of wholegrain, flour and cookies from hulless barley[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2019, 39(1): 120–126.]
- [14] 邓鹏, 张婷婷, 王勇, 等. 青稞的营养功能及加工应用的研究进展[J]. *中国食物与营养*, 2020(2): 46–51. [DENG P, ZHANG T T, WANG Y, et al. Research progress on nutritional function and processing application of highland barley[J]. *Food and Nutrition in China*, 2020(2): 46–51.]
- [15] 江春艳, 严冬, 谭进, 等. 青稞的研究进展及应用现状[J]. *西藏科技*, 2010(2): 14–16. [JIANG C Y, YAN D, TAN J, et al. Research progress and application status of highland barley[J]. *Xizang Science and Technology*, 2010(2): 14–16.]
- [16] 路长喜, 吕少芳, 王衍生, 等. 苦荞麦馒头工艺与品质的研究[J]. *粮油加工*, 2009(12): 3. [LU C X, LÜ S F, WANG Y S, et al. Study on technology and quality of tartary buckwheat steamed bread[J]. *Cereals and Oils Processing*, 2009(12): 3.]
- [17] 潘冬梅, 吴晓伟. 4色粗粮玫瑰馒头的研制[J]. *食品研究与开发*, 2014, 35(19): 48–51. [PAN D M, WU X W. Study on the four colors miscellaneous grain crops rose steamed bread[J]. *Food Research and Development*, 2014, 35(19): 48–51.]
- [18] 康莉, 李敏, 龙银晴. 模糊数学在食品感官分析中的应用现状分析[J]. *农产品加工*, 2019(20): 89–91. [KANG L, LI M, LONG Y Q. Application of fuzzy mathematics in food sensory analysis[J]. *Farm Products Processing*, 2019(20): 89–91.]
- [19] 胡璇, 夏延斌. 基于模糊数学的剁椒感官综合评价方法[J]. *食品科学*, 2011, 32(1): 95–98. [HU X, XIA Y B. An improved sensory comprehensive evaluation method for chopped hot pepper based on fuzzy mathematics[J]. *Food Science*, 2011, 32(1): 95–98.]
- [20] 李玉珍, 肖怀秋. 模糊数学评价法在食品感官评价中的应用[J]. *中国酿造*, 2016, 35(5): 16–19. [LI Y Z, XIAO H Q. Application of fuzzy mathematics evaluation method in food sensory evaluation[J]. *China Brewing*, 2016, 35(5): 16–19.]
- [21] 黄松伟. 馒头制作过程面团持气性的变化研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2012. [HUANG S W. The changes of dough gas-holding in bread production process[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2012.]
- [22] 胡丽花. 传统主食馒头发酵剂微生物的筛选及对馒头品质的影响[D]. 郑州: 河南工业大学, 2010. [HU L H. Screening of microorganism from traditional starter cultures and their effects on the quality of mantou[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2010.]
- [23] WANG R H, LI Y F, MU W, et al. Mulberry leaf extract reduces the glycemic indexes of four common dietary carbohydrates[J]. *Medicine*, 2018, 97(34): e11996.]
- [24] LOWN M, FULLER R, LIGHTOWLER H, et al. Mulberry-extract improves glucose tolerance and decreases insulin concentrations in normoglycaemic adults: Results of a randomised double-blind placebo-controlled study[J]. *Plos One*, 2017, 12(2): e0172239.]
- [25] 陈小芳, 张晓瑞, 李先恩. 水苏糖对 db/db 小鼠糖尿病及其肝肾并发症的保护作用探究[J]. *现代中药研究与实践*, 2018, 32(4): 5. [CHEN X F, ZHANG X R, LI X E. Therapeutic effect of stachyose on diabetes and diabetic complications in db/dbmice[J]. *Research and Practice on Chinese Medicines*, 2018, 32(4): 5.]
- [26] HONG H. Fuzzy mathematics study on evaluating food sensual quality[J]. *Food Science*, 2004, 25(6): 185–188.]
- [27] 姬长英. 感官模糊综合评价中权重分配的正确制定[J]. *食品科学*, 1991, 12(3): 9–11. [JI C Y. Correct formulation of weight allocation in sensory fuzzy comprehensive evaluation[J]. *Food Science*, 1991, 12(3): 9–11.]
- [28] 陈琼玲, 赵永娟, 孙亚莉, 等. 模糊数学感官评价法优化花生桃酥加工工艺[J]. *粮食与油脂*, 2018, 31(9): 59–62. [CHEN Q L, ZHAO Y J, SUN Y L, et al. Optimnization of peanut crisp processing technology by fuzzy mathematics sensory evaluation method[J]. *Cereals & Oils*, 2018, 31(9): 59–62.]
- [29] 吴芳彤, 曹倩荣, 吴广枫, 等. 基于模糊数学感官评价法和混料设计优化紫薯莜麦酒配方[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(17): 158–165. [WU F T, CAO Q R, WU G F, et al. Optimized formulation of purple sweet potato and naked oats wine based on fuzzy mathematics sensory evaluation and mixture design[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(17): 158–165.]
- [30] 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(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(17): 180–185.]
- [31] 林致通, 张东霞, 雷雯, 等. 基于模糊数学与感官质构分析建立鲜凉皮食用品质评价标准[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(7): 225–233. [LIN Z T, ZHANG D X, LEI W, et al. Establish comprehensive quality standard of fresh Liangpi based on sensory evaluation combined with fuzzy mathematics[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(7): 225–233.]
- [32] Institution British Standards. Food products. Determination of the glycaemic index (GI) and recommendation for food classification: ISO 26642: 2010[S]. ISO International Standard (ISO), 2010.]
- [33] 刘义凤, 段盛林, 柳嘉, 等. 低升糖八宝粥的自稳定体系筛选及其 GI 人体测试[J]. *食品科学*, 2020, 41(5): 143–151. [LIU Y F, DUANS L, LIU J, et al. Screening for self-stabilizing system for mixed congee with low glycemic index and evaluation of its GI in the human body[J]. *Food Science*, 2020, 41(5): 143–151.]
- [34] JENKINS D J, WOLEVER T M, TAYLOR R H, et al. Glycemic index of foods: A physiological basis for carbohydrate exchange[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1981, 34(3): 362–366.]
- [35] ELEAZU C O. The concept of low glycemic index and glyce-mic load foods as panacea for type 2 diabetes mellitus; prospects, challenges and solutions[J]. *African Health Sciences*, 2016, 16(2): 468–479.]
- [36] 柳嘉, 杜玉兰, 刘国玉, 等. 杂粮特膳米血糖生成指数及血糖负荷的研究[J]. *现代食品科技*, 2018, 34(3): 19–24. [LIU J, DU Y L, LIU G Y, et al. Glycemic index and blood glucose load of coarse cereal functional rice[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2018, 34(3): 19–24.]