

低GI杂粮复合烤制馒头工艺配方优化及品质分析

金慧敏¹, 党斌^{1,2}, 张文刚^{1,2}, 张杰^{1,2}, 杨希娟^{1,2}

(青海大学农林科学院¹, 西宁 810016)

(青海省青藏高原农产品加工重点实验室², 西宁 810016)

摘要:为了提高低血糖生成指数(Glycemic Index, GI)杂粮复合烤制馒头的品质,以青稞粉、藜麦粉和荞麦粉为主要原料,采用单因素和正交实验对杂粮复合烤制馒头的配方和工艺进行了优化。结果表明,杂粮复合烤制馒头的最优配方及工艺条件为:青稞粉添加量5%,藜麦粉添加量5%,荞麦粉添加量20%;改良剂添加量0.6%,酵母添加量1.5%,发酵时间45 min。此条件下制得的馒头感官评分为84.62分,eGI值是38.62,低GI杂粮复合烤制馒头中外观呈现良好的球状,表面光滑,光泽良好,富有弹性,内部气孔细小均匀,具有较强的嚼咬性,爽口不黏牙。与纯小麦粉烤制馒头和杂粮复合蒸制馒头相比,杂粮复合烤制馒头的纤维含量高,蛋白质含量显著提高,脂肪含量低。相比杂粮复合烤制馒头总淀粉含量和 β -葡聚糖含量均显著高于纯小麦粉烤制馒头,并且含有多酚类物质,对 α -葡萄糖苷酶活性有一定的抑制作用。

关键词:青稞;馒头;配方工艺;品质分析;低GI值

中图分类号:TS213.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-0174(2022)03-0148-09

网络首发时间:2021-09-02 08:52:48

网络首发地址:<https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2864.TS.20210901.1717.002.html>

Optimization of Technological Formula and Quality Analysis of
Bread Compound Steamed Baked with Miscellaneous Grains with Low GI
Jin Huimin¹, Dang Bin^{1,2}, Zhang Wengang^{1,2}, Zhang Jie^{1,2}, Yang Xijuan^{1,2}
(Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Qinghai University¹, Xining 810016)
(Tibetan Plateau Key Laboratory of Agric-Product Processing², Xining 810016)

Abstract: In order to improve the quality of mixed steamed bread baked with low glycemic formation index (Glycemic Index, GI), the formula and technology of roasted compound steamed bread were optimized by single factor and orthogonal experiments with highland barley flour, quinoa flour and buckwheat flour as the main raw materials. The results indicated that the optimal formula and technological conditions for baking miscellaneous grain compound steamed bread were as follows: 5% of highland barley powder, 5% of quinoa flour, 20% of buckwheat flour, 0.6% of improver, 1.5% of yeast, and 45 min of fermentation time. The sensory score of the steamed bread prepared under this condition was 84.62 and the EGI value was 38.62. the steamed bread baked with low GI had a good spherical appearance, smooth surface, good gloss, elastic, small and uniform internal stomata, strong chewiness, refreshing and non-sticky teeth. The fiber content of baked miscellaneous grain steamed bread was higher, the fat content was lower than that of pure wheat flour steamed bread and steamed bread cooked with the same formula, and the protein content was significantly higher than that of pure wheat flour steamed bread. The total starch content and β -glucan content were significantly higher than those of pure wheat flour steamed bread, and it contains polyphenols, which can inhibit the activity of α -glucosidase to a certain extent.

Key words: highland barley; steamed bread; formula and technology; quality analysis; low GI value

基金项目:青海省科技计划(2021-ZJ-758),青海省青藏高原农产品加工重点实验室建设项目(2021-ZJ-Y10)

收稿日期:2021-04-14

第一作者:金慧敏,女,1995年出生,硕士,农产品加工及贮藏工程

通信作者:党斌,男,1980年出生,副研究员,农产品精深加工理论与技术

低血糖生成指数(GI)的食品是糖尿病患者的较好选择,有助于降低餐后血糖峰值。一般认为,低GI食物是指GI < 55,其在食用后消化较慢,引起的血糖反应较小,有利于血糖的控制^[1]。低GI食品在预防和治疗糖尿病方面具有重要作用,已被作为指导糖尿病人饮食的有效指标,可作为糖尿病人膳食干预的指导依据^[2,3]。

馒头是我国传统主食产品,以小麦粉、酵母(或老面)和水,为主要原料,其加工方式以蒸制为主,高温焙烤是常见的面包生产方式,高温焙烤会发生一系列复杂的物理、化学反应,包括美拉德反应,产生特殊风味物质,其产品结构相对也较为蓬松^[4]。因此,本实验拟通过研究烤制馒头,制备一种口感风味俱佳的主食产品。

普通馒头的原料小麦粉中淀粉含量高,经过发酵熟化之后淀粉糊化程度高,容易被人体消化吸收而导致体内血糖快速升高,不适合糖尿病人食用^[5]。目前关于低GI馒头的相关研究较少,已有报道采用高粱粉^[6]、山药泥^[7]、小米粉、黄豆粉^[8]等为主要原料,制得的馒头的GI值为46.5~54.98,但报道多集中于原料配方的筛选,较少研究其产品品质。青稞为一种重要的高原谷类作物,GI值为29,属于低GI值作物,极具有开发成低GI产品的潜力。它具有高蛋白质、高维生素、高纤维、低糖和低脂等优点,且其中的 β -葡聚糖具有降胆固醇、降血压、调节血糖的作用^[9,10]。研究表明,食用青稞可有效地控制代谢综合征患者的血糖和血脂水平^[11]。同时,荞麦营养丰富,其中芦丁具有降低血糖、血脂和胆固醇的功效^[12];藜麦含有丰富的人体必需的氨基酸、多不饱和脂肪酸、维生素、矿物质等营养成分,能够平衡健康人群营养素的摄入状况^[13]。因此,本研究选用含有降血糖功能因子的青稞粉、藜麦粉和荞麦粉,优化低GI杂粮复合烤制馒头的配方和工艺,并测定其营养成分及多酚、黄酮和 β -葡聚糖含量,对其质构特性和体外抑制 α -葡萄糖苷酶活性进行分析,为低GI杂粮复合烤制馒头的工业化生产提供参考,并以期为进一步推进杂粮主食化作出示范引导。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

特制一等粉、青稞粉、荞麦粉、藜麦粉、高活性干酵母、馒头改良剂、泡打粉(复配膨松剂)、瓜尔豆胶、没食子酸、芦丁、蔗糖酶(活性 ≥ 10 万u/g)、糖化酶(活性 ≥ 10 万u/g)、葡萄糖含量检测试剂盒、总淀粉和 β -葡聚糖试剂盒、胃蛋白酶(活性 ≥ 10 万u/g)、

α -葡萄糖苷酶(活性33u/mg)、PNPG、胰酶(活性 ≥ 10 万u/g);其他试剂均为分析纯。

SM-668和面机,CK-2型远红外线食品烘炉, JMTY型面包体积测定仪,HH-6数显恒温水浴锅, SHA-C恒温振荡器,电热鼓风干燥箱,DL-5M低速冷冻离心机,N4S紫外可见分光光度计,TMS-Pro质构仪,Vapodest 50s凯氏定氮仪,Fibretherm FT12粗纤维测定仪,SOX412Macro全自动脂肪提取仪, Multiskan Sky酶标仪。

1.2 方法

1.2.1 馒头的制作

杂粮复合馒头:称取一定量的青稞粉、荞麦粉、藜麦粉、小麦粉和活性干酵母、馒头改良剂和1g/100g泡打粉混匀后加入水,充分搅拌和面,成团后反复揉面,直到面团表面光滑。将揉好的面团平均分割成5份,然后将其揉成馒头坯,放入托盘中,送入发酵箱,在温度为36℃和雾化湿度70%的条件下发酵一定时间。最后在底火180℃,面火150℃的条件下烤制30min,取出冷却到室温,得杂粮复合烤制馒头。杂粮复合蒸制馒头是发酵结束后直接在沸水上蒸制30min制得。

纯小麦粉烤制馒头:全部用小麦粉替代杂粮粉,其余条件同杂粮复合烤制馒头。

1.2.2 配方单因素实验设计

活性干酵母1g/100g、馒头改良剂0.5g/100g,以感官评分和GI值为指标,考察青稞粉添加量分别为10%、30%、50%、70%、90%时对杂粮复合烤制馒头的影响,选出适宜的青稞粉添加量。

活性干酵母1g/100g、馒头改良剂0.5g/100g,青稞粉10%,考察荞麦粉添加量分别为10%、30%、50%、70%、90%时对馒头品质的影响。

活性干酵母1g/100g、馒头改良剂0.5g/100g,青稞粉10%、荞麦粉30%,考察藜麦粉添加量分别为10%、20%、30%、40%、50%时对杂粮复合烤制馒头感官评分和GI值的影响。

1.2.3 配方正交实验设计

在单因素实验基础上,选取青稞粉添加量、荞麦粉添加量和藜麦粉添加量3个因素进行正交实验,见表1,对馒头进行感官评定及eGI值测定。

表1 配方正交实验因素水平表

水平	因素		
	A:藜麦添加量/%	B:青稞添加量/%	C:荞麦添加量/%
1	5	5	25
2	10	10	30
3	15	15	35

1.2.4 工艺单因素实验设计

在低GI杂粮复合烤制馒头配方的基础上,分别考察馒头改良剂添加量(0.3%、0.5%、0.7%、0.9%、1.1%),活性干酵母添加量(0.5%、1%、1.5%、2%、2.5%)和发酵时间(20、35、50、65、80 min),对馒头感官品质和eGI值的影响。

1.2.5 工艺正交实验设计

在加工工艺单因素实验基础上,选取馒头改良剂添加量、酵母添加量和发酵时间3个因素进行正交实验,实验因素水平见表2。对馒头进行感官评价和体外eGI值测定。

表2 工艺正交实验因素水平表

水平	因素		
	A 馒头改良剂添加量/%	B 酵母添加量/%	C 发酵时间/min
1	0.6	1.3	25
2	0.7	1.5	35
3	0.8	1.7	45

1.2.6 比容测定

馒头比容的测定按照GB/T21118—2007《小麦粉馒头》附录A测定,其中馒头质量用电子天平测定,馒头体积使用面包体积测量仪,采用菜籽置换法测定。

1.2.7 体外eGI值测定方法

馒头体外血糖生成指数参照Englyst等^[14]和Chung等^[15]的方法测定30、60、90、120、150、180 min时馒头反应液中葡萄糖含量(G),然后按照式(1)计算样品的水解率(HR)。

$$HR = G \times (7/0.1) \times (1.1/0.1) \times (1/1000) \times (100\%/DM) \times (162/180) \quad (1)$$

式中:G为葡萄糖质量/ μg ;7/0.1为不同水解时间体积校正;1.1/0.1为GOPOD步骤体积校正;1/1000为葡萄糖从微克到毫克的转换;DM为样品干重/mg;162/180为从淀粉获得的游离D-葡萄糖转换到淀粉中存在的脱水D-葡萄糖因子。

以水解时间为横坐标,以HR为纵坐标,绘制得到水解率曲线,采用Origin软件求水解率曲线下面积(AUC),按照式(2)计算样品的水解指数(HI,%)。

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

式中:AUC₁为试样中淀粉的水解率曲线下面积;AUC₀为标准样白面包水解率曲线下面积。

最后,依据式(3)得到估计血糖生成指数eGI。

$$eGI = 0.862HI + 8.1981 \quad (3)$$

1.2.8 馒头感官品质评价方法

馒头品质采用感官评价方法进行评定,参照李次力等^[16]制定的评价尺度稍作改变后对样品进行感官评价,感官评价小组由具有一定感官评价经验的7人组成,参照表3进行评定,在7人的评分中去除最高分和最低分,以剩余5人评分的平均值作为结果。

表3 馒头的感官评价标准

项目	总分 (100分)	评分标准		
		16分~20分	10分~15分	1分~9分
形态	20	外表完整,底部平整、饱满、无破裂	外表完整,底部不平整、饱满、无破裂	外表不够完整、饱满,底部不够平整、有些破裂表面
色泽	20	颜色均匀,表面鲜亮有光泽	颜色暗淡,表面光泽较差	颜色很暗淡,整体过黑,表面颜色不均匀
组织	20	呈清晰海绵状,气孔均匀,柔软有弹性,黄褐色均匀	结构较为细腻,但气孔不够均匀,海绵状不够清晰	面包内部组织杂乱,有明显过大孔洞,整体过硬
滋味与口感	20	具有独特的杂粮香味,无酸味,口感细腻,无异味	口感略粗糙,杂粮香味不够浓郁	口感很粗糙,杂粮香味很淡,整体口感略显酸味
杂质	20	无可见外来杂质	有少许杂质	有明显杂质

1.2.9 质构特性测定方法

馒头的质构评价参考张纷等^[17]的测定参数,采用质构仪中的压力测试TPA测试模式进行测试,选取冷却后的杂粮复合馒头进行实验,在馒头中心和两侧分别切取厚度为15 mm的馒头片,选用直径为100 mm的圆柱形探头进行馒头的质构测定。质构仪参数如下:测试前速度1.0 mm/s、测试速度1.0 mm/s,测试后速度1.0 mm/s,测试距离20.0 mm,质构力感元为250 N,压缩率60.0%。记录3次测试的结果进行分析。根据馒头的特性,选取以下质构特性参数:硬度、黏附性、内聚性、弹性、胶黏性和咀嚼性。

1.2.10 营养成分测定方法

1.2.10.1 基本营养成分测定方法

参照GB/T 5009.3—2016直接干燥法测定水分含量;参照GB/T 5009.88—2003食品中纤维的测定方法测定纤维含量;参照GB/T 5009.6—2003索氏提取法测定脂肪含量;参照GB/T 5009.4—2010测定灰分含量;参照GB/T 5009.5—2016测定总蛋白含量;用试剂盒测定总淀粉和 β -葡聚糖含量。

1.2.10.2 酚类物质提取

将烤制后的馒头进行干燥,粉碎后提取其中的游离酚和结合酚,参照杨希娟等^[18]的方法进行,并测

定其多酚含量。

1.2.10.3 总酚含量的测定

采用 Folin - Ciocalten 法,以没食子酸为标准品,总酚和黄酮含量以每 100 g 提取物(干基)中所含相当于食子酸的含量(mg)表示。黄酮含量测定采用 $\text{NaNO}_2 - \text{AL}(\text{NO}_3)_3 - \text{NaOH}$ 比色法,以芦丁为标准品,黄酮含量以每 100 g 提取物(干基)中所含相当于芦丁的含量(mg)表示。

1.2.11 体外抑制 α -葡萄糖苷酶活性的测定

消化液的制备:取 0.5 g 馒头样品,加水 5 mL 进行溶解,然后加入 0.5 mL 模拟唾液,37 ℃、100 r/min 恒温振荡 5 min,口腔消化结束后,用 4 mol/L HCl 调消化液 pH 至 2.0,加入 7.5 mL 模拟胃液,于 37 ℃、100 r/min 恒温振荡 120 min,待胃消化结束后,用 1 mol/L NaHCO_3 调消化液 pH 至 7.6,加入 7.5 mL 模拟肠液,于 37 ℃、100 r/min 恒温振荡 120 min,沸水浴 5 min 进行灭酶处理,然后于 3 000 r/min 离心 20 min,取上清液于 -20 ℃ 下保存,作为最终消化样品。

体外抑制 α -葡萄糖苷酶活性:分别向 96 孔板中加入 40 μL 馒头体外消化液与 30 μL 的 α -葡萄糖苷酶溶液(0.2 U/mL),混匀后 37 ℃ 下孵育 10 min,然后每孔加入 30 μL 的 PNPG(5 mmol/L),混匀后 37 ℃ 孵育 30 min,再加入 100 μL 的 Na_2CO_3 (1 mol/L) 终止反应,405 nm 下测定吸光值,其计算如下:

$$\alpha\text{-葡萄糖苷酶溶液抑制率} = [1 - (A_1 - A_2) / A_0] \times 100\% \quad (4)$$

式中: A_0 为空白对照吸光值; A_1 为样品吸光值; A_2 为磷酸缓冲液代替 PNPG 溶液的本底吸光值。按照公式(4)计算抑制率,体外消化液浓度为横坐标,抑制率为纵坐标,计算抑制率为 50% 时馒头消化液的浓度,即半抑制率(IC_{50})。

1.2.12 数据分析

所有实验重复 3 次,采用 SPSS17.0 处理数据,实验结果以平均值 \pm 标准差表示,数据进行单因素方差分析和 LSD 多重比较, $P < 0.05$ 表示差异显著。用 OriginPro 2019 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 低 GI 杂粮复合烤制馒头的配方优化

2.1.1 配方单因素实验

由图 1 可知,随着青稞粉添加量的增加,馒头中的面筋含量也随之减少,杂粮复合烤制馒头的感官品质和 eGI 值均呈下降趋势。青稞粉在青稞粉添加

量为 10% 时,烤制青稞馒头的感官评分最高,eGI 值也较低。随着荞麦粉添加量的逐渐增多,杂粮复合馒头的感官品质不断下降,在荞麦粉添加量为 30% 时,eGI 值较低。随着藜麦粉添加量的增加,杂粮复合烤制馒头的感官品质不断下降,eGI 值亦呈下降趋势,藜麦具有苦味,添加量越大苦味越重,严重影响感官品质。为了保证青稞馒头的口感和低 GI 值的要求,本实验选定藜麦粉添加量为 10%。

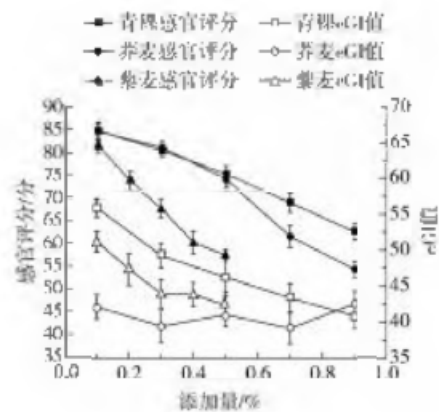


图 1 配方单因素实验结果

2.1.2 配方正交实验

根据单因素实验分析结果,选青稞粉添加量、荞麦粉添加量和藜麦粉添加量 3 个因素,设计 $L_9(3^4)$ 正交实验,正交实验结果见表 4。由极差分析可以看出,影响杂粮复合烤制馒头感官评分的先后次序为 $R_B = R_C > R_A$,其中,荞麦粉添加量和青稞粉添加量影响较大,而藜麦粉添加量影响较小。此时,低 GI 杂粮复合烤制馒头的最佳加工配方为 $A_1B_1C_1$,即藜

表 4 配方正交实验结果

实验号	A	B	C	D 空列	eGI	感官得分
1	1	1	1	1	40.39	83.60
2	1	2	2	2	43.82	80.20
3	1	3	3	3	41.76	77.00
4	2	1	2	3	46.04	78.20
5	2	2	3	1	45.02	72.20
6	2	3	1	2	48.24	72.40
7	3	1	3	2	50.38	71.40
8	3	2	1	3	47.48	75.00
9	3	3	2	1	45.86	71.00
k_{GI}	41.99	45.60	45.37	43.76		
k_{GI^2}	46.43	45.44	45.24	47.48		
k_{GI^3}	47.91	45.29	45.72	45.09		
R_{GI}	5.91	0.31	0.48	3.72		
$k_{\text{感官}^1}$	74.07	75.47	75.07	72.13		
$k_{\text{感官}^2}$	71.53	70.87	71.67	73.13		
$k_{\text{感官}^3}$	70.73	70.00	69.60	71.07		
$R_{\text{感官}}$	3.33	5.47	5.47	2.07		

麦粉添加量 5%, 青稞粉添加量 5%, 荞麦粉添加量 20%。影响杂粮复合烤制馒头 GI 值的次序为 $R_A > R_C > R_B$, 其中, 藜麦粉添加量影响最大, 青稞粉添加量影响最小。此时, 低 GI 杂粮复合烤制馒头最佳加工配方为 $A_1B_3C_2$, 即藜麦粉添加量 5%, 青稞粉添加量 15%, 荞麦粉添加量 30%。

2.1.3 配方验证实验

根据正交实验结果, 在杂粮复合烤制馒头中选取高感官评分组合 $A_1B_1C_1$ 和低 GI 组合 $A_1B_3C_2$ 进行验证实验, 对馒头配方进行进一步判断, 杂粮复合烤制馒头配方验证结果见表 5。可知, 两种组合的感官评分和 eGI 值的差异均显著, 且 $A_1B_1C_1$ 组合相对具有较高的感官评分和较低的 eGI 值。杂粮粉的比例过高, 在焙烤的过程中会产生表面形成硬壳, 而内部的水分散发不出来的现象, 从而使得杂粮复合烤制馒头的瓤黏牙, 且弹性极差, 影响馒头的感官品质。因此, 烤制低 GI 复合馒头的加工配方为: 藜麦粉添加量 5%, 青稞粉添加量 5%, 荞麦粉添加量 20%。

表 5 配方验证实验结果

最优组合	感官评分	eGI
$A_1B_1C_1$	83.00 ± 2.07^a	40.07 ± 1.53^b
$A_1B_3C_2$	71.40 ± 1.92^b	42.68 ± 1.7^a

注: 同列标有不同字母的数据之间存在显著性差异 ($P < 0.05$), 余同。

2.2 低 GI 杂粮复合烤制馒头的工艺优化

2.2.1 工艺单因素实验

在杂粮复合烤制馒头原料配方确定的情况下, 考察改良剂、酵母添加量和发酵时间对杂粮复合馒头的影响。由图 2a 可知, 馒头改良剂添加量在 0.7% 时, 杂粮复合烤制馒头的感官评分最高, 且此时馒头的 eGI 值也最低。馒头改良剂对其弹性、咀嚼性和内部结构的影响较大, 改良剂过少馒头的弹性、咀嚼性较差; 过多则馒头的外观形状会有塌陷。馒头改良剂的添加量会使杂粮复合烤制馒头的内部结构和口感改变。由图 2b 可知, 杂粮复合烤制馒头的感官评价总分随着酵母添加量的增加呈现出先升高后降低的趋势。酵母的添加量在 1.5% 时其感官评分最高, eGI 值也较低。随着酵母添加量的增加, 酵母生长的速度增快, 并在生长过程中利用面团中的糖类进行发酵, 产生大量的二氧化碳^[19], 面团在发酵的过程中形成面筋网络, 将产生的二氧化碳保留在组织内部, 从而形成馒头疏松多孔的结构, 提高了面团的持气能力, 馒头的体积随之增大; 但由于面筋含量有限,

随着酵母添加量的持续增加, 馒头内部气孔变大, 同时表面出现塌陷的情况, 故出现杂粮馒头感官评价总分下降的现象^[15]。由图 2c 可知, 杂粮复合馒头的感官评价总分随着发酵时间的增加呈现先增加后下降的趋势。当发酵时间为 35 min 时杂粮复合馒头的感官评分最高, eGI 值也较低。当发酵时间为 20 min 时, 馒头的感官评价总分较低, 是由于馒头发酵不完全, 导致馒头内部结构紧密, 无法形成疏松多孔的结构。当发酵时间大于 35 min 时, 随着发酵时间的延长, 感官评价总分下降, 是由于过度发酵降低了面团的持气力, 导致馒头的品质的降低。发酵时间的延长能增加酵母在面团中的繁殖时间, 随着发酵时间的逐渐增加, 面团中的产气量变大, 面团内的气孔壁因此变薄, 面团的持气性也随之增强^[20], 但随着时间继续延长, 面团成熟过度后, 持气性则相对差。只有当酵母的产气力和面团的持气力同时最大时^[21],

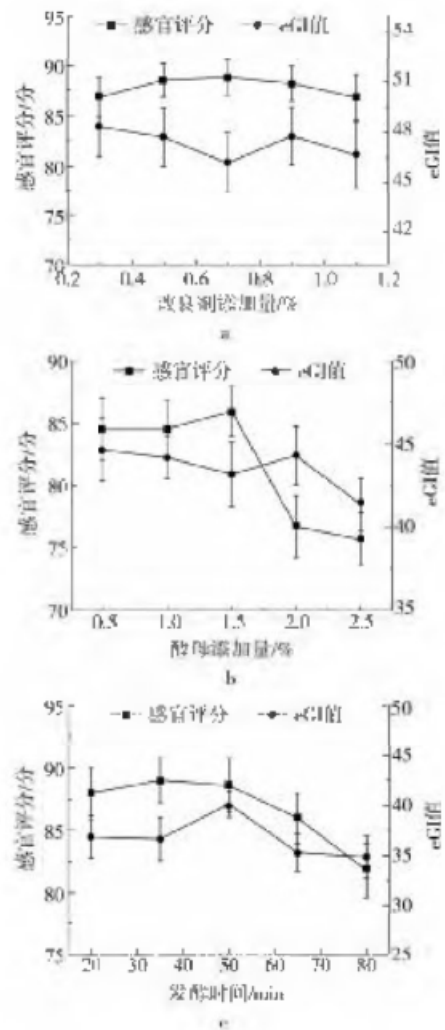


图 2 工艺单因素实验结果

面制品的体积才能达到最大,同时产品的内部结构,表面色泽都达到最佳^[15]。

2.2.2 工艺正交实验

根据单因素实验分析结果,选馒头改良剂添加量、酵母添加量和发酵时间 3 个因素,设计正交 L₉(3⁴)实验,正交实验结果见表 6。可知,影响杂粮复合烤制馒头感官评分的先后次序为 R_C > R_A > R_B,其中发酵时间的影响最大,酵母添加量对杂粮复合烤制馒头的影响最小。低 GI 杂粮复合烤制馒头最佳加工工艺为 A₃B₂C₁,即改良剂加量 0.8%,酵母添加量 1.5%,发酵时间 25 min。影响杂粮复合烤制馒头 GI 值的先后次序为 R_A > R_C > R_B,馒头改良剂添加量的影响最大,酵母添加量影响最小。此时,低 GI 杂粮复合烤制馒头最佳加工工艺为 A₁B₂C₃,即改良剂加量 0.6%,酵母添加量 1.5%,发酵时间 45 min。

表 6 工艺正交实验结果

实验号	A	B	C	D(空列)	感官评分	eGI
1	1	1	1	1	85.00	39.03
2	1	2	2	2	82.60	38.32
3	1	3	3	3	80.00	38.03
4	2	1	2	3	81.20	39.33
5	2	2	3	1	81.00	39.42
6	2	3	1	2	82.40	39.08
7	3	1	3	2	82.40	41.79
8	3	2	1	3	86.20	42.39
9	3	3	2	1	82.40	53.23
k _{感官1}	82.53	82.87	84.53	82.80		
k _{感官2}	81.53	83.27	82.07	82.47		
k _{感官3}	83.67	81.60	81.13	82.47		
R _{感官}	2.13	1.67	3.40	0.33		
k _{GI1}	38.46	40.05	40.17	42.89		
k _{GI2}	39.28	40.04	43.63	39.73		
k _{GI3}	45.80	43.45	39.75	39.92		
R _{GI}	7.34	3.40	3.88	3.16		

2.2.3 工艺验证实验

根据正交实验结果,选取高感官评分组合 A₃B₂C₁和低 GI 组合 A₁B₂C₃进行验证实验,对馒头工艺进行进一步判断,杂粮复合烤制馒头工艺验证结果见表 7。可知,2 种组合的感官评分差异不显著,且都高于 80 分,但 eGI 值差异显著,且第 2 种组合的 eGI 值明显低于第 1 种组合,因此,烤制低 GI 杂粮复合烤制馒头的加工工艺为:改良剂加量 0.6%,酵母添加量 1.5%,发酵时间 45 min。此时,制得的馒头外观呈现良好的球状,表面光滑,光泽良好,富有弹性,内部气孔细小均匀,具有较强的嚼咬性,爽口不黏牙。

表 7 工艺验证实验结果

最优组合	感官评分	eGI 值
A ₃ B ₂ C ₁	85.00 ± 2.13 ^a	41.33 ± 1.23 ^a
A ₁ B ₂ C ₃	84.20 ± 1.78 ^a	38.62 ± 1.16 ^b

2.3 低 GI 杂粮复合烤制馒头的质构特性

由表 8 可知,杂粮复合烤制馒头的硬度、弹性、胶黏性和咀嚼性均高于蒸制馒头,弹性高于纯小麦粉烤制馒头。硬度和咀嚼性是评价馒头品质的重要指标,通常硬度和咀嚼性越小,面团越柔软^[22]。馒头的硬度和弹性与面团中的麦谷蛋白和麦醇溶蛋白形成的面筋网络结构相关,其中麦谷蛋白提供面团的弹性和筋力,麦醇溶蛋白提供面团的延伸性^[23],由于杂粮粉本身所含面筋蛋白较少,吸水后无法形成具有网络结构的面筋体^[24],杂粮复合烤制馒头的口感较硬,耐咀嚼性。

表 8 馒头的质构特性

馒头	硬度/N	黏附性	内聚性
杂粮复合烤制	42.41 ± 4.87 ^a	0.11 ± 0.01 ^a	0.33 ± 0.01 ^b
杂粮复合蒸制	37.52 ± 6.61 ^a	0.11 ± 0.02 ^a	0.34 ± 0.02 ^b
纯小麦粉烤制	40.5 ± 6.47 ^b	0.07 ± 0.02 ^b	0.42 ± 0.02 ^a
馒头	弹性/mm	胶黏性/N	咀嚼性
杂粮复合烤制	2.77 ± 0.16 ^b	16.1 ± 2.07 ^b	44.75 ± 8.24 ^b
杂粮复合蒸制	2.43 ± 0.36 ^a	14.08 ± 1.85 ^a	34.72 ± 9.91 ^a
纯小麦粉烤制	3.19 ± 0.16 ^a	19.05 ± 3.87 ^{ab}	60.93 ± 14.39 ^a

2.4 低 GI 杂粮复合烤制馒头的成分测定

从表 9 可以看出,杂粮复合烤制馒头的 eGI 值要显著低于杂粮复合蒸制馒头,且低于纯小麦粉烤制馒头,可能是由于杂粮复合馒头的杂粮粉添加量相对较高使得 eGI 值较低,同时焙烤也会使淀粉的结构发生改变。杂粮复合烤制馒头的灰分比蒸制馒头的低;纤维质量分数为(1.37 ± 0.28)%,是纯小麦粉烤制馒头的 4.7 倍,较蒸制馒头高;脂肪含量低于杂粮复合蒸制馒头和纯小麦粉烤制馒头;蛋白质要显著高于杂粮复合蒸制馒头和纯小麦粉烤制馒头;总淀粉含量和 β-葡聚糖含量均显著高于纯小麦粉烤制馒头;游离酚和结合酚的含量均显著高于纯小麦粉烤制馒头,且游离酚的含量为纯小麦烤制馒头的 5.6 倍,结合酚含量为纯小麦烤制馒头的 1.4 倍,游离黄酮和结合黄酮的含量也显著高于纯小麦粉烤制馒头,总酚含量高于陈洁等^[25]研究的苦荞馒头(添加 30% 苦荞粉)多酚含量。本实验制作的低 GI 杂粮复合烤制馒头与纯小麦烤制馒头比具有丰富的营养及保健成分。

表9 馒头的成分及感官评分和 eGI 值

项目	杂粮复合 烤制馒头	杂粮复合 蒸制馒头	纯小麦粉 烤制馒头
灰分/%	0.78 ± 0.08 ^b	0.97 ± 0.02 ^a	0.74 ± 0.05 ^b
纤维/%	1.37 ± 0.11 ^a	0.72 ± 0.05 ^b	0.29 ± 0.08 ^c
脂肪/%	0.08 ± 0.02 ^b	0.18 ± 0.17 ^a	0.10 ± 0.03 ^b
总淀粉/%	54.69 ± 5.26 ^a	53.81 ± 2.21 ^a	47.19 ± 5.36 ^b
蛋白质%	11.90 ± 0.02 ^a	11.52 ± 0.02 ^b	10.94 ± 0.02 ^c
β-葡聚糖%	0.13 ± 0.12 ^a	0.18 ± 0.02 ^a	0.10 ± 0.02 ^a
游离酚 mg/100 g	61.10 ± 3.99 ^a	55.14 ± 3.58 ^b	10.92 ± 0.23 ^c
游离黄酮 mg/100 g	17.43 ± 0.97 ^a	18.55 ± 1.36 ^a	6.70 ± 1.74 ^b
结合酚 mg/100 g	238.30 ± 26.89 ^a	206.51 ± 1.14 ^b	172.88 ^c ± 2.64 ^c
结合黄酮 mg/100 g	11.51 ± 2.75 ^a	10.02 ± 1.85 ^a	8.67 ± 1.35 ^b
总酚	299.39 ± 12.66 ^a	261.65 ± 10.63 ^b	183.80 ± 7.95 ^c
感官评分	86.60 ± 0.72 ^b	86.40 ± 0.6 ^b	90.00 ± 1.12 ^a
eGI 值	43.48 ± 0.42 ^c	46.62 ± 0.5 ^b	57.58 ± 0.4 ^a

注:同行标有不同字母的数据之间存在显著性差异($P < 0.05$)。

2.5 低 GI 杂粮复合烤制馒头的体外抑制 α-葡萄糖苷酶活性

α-葡萄糖苷酶是参与小肠碳水化合物消化降解的关键酶,抑制它们的活性就可以减缓淀粉分解,降低糖尿病患者餐后血糖水平^[26]。馒头模拟体外消化后对 α-葡萄糖苷酶抑制作用的结果如图 3 所示。所有受试组对 α-葡萄糖苷酶活性的抑制能力均呈现剂量依赖性关系,可能是由于其含有较为丰富的多酚类物质,Pradeep 等^[27]的研究表明,植物酚类化合物能抑制 α-葡萄糖苷酶活性,显著降低淀粉水解速率。本研究制作的杂粮复合烤制馒头对 α-葡萄糖苷酶的抑制作用(IC₅₀为 15.598 mg/mL)要强于纯小麦粉馒头(IC₅₀为 29.761 mg/mL),但和杂粮复合蒸制馒头(IC₅₀为 14.071 mg/mL)相比略差。因此本实验制得的杂粮馒头具有一定的体外降血糖作用。

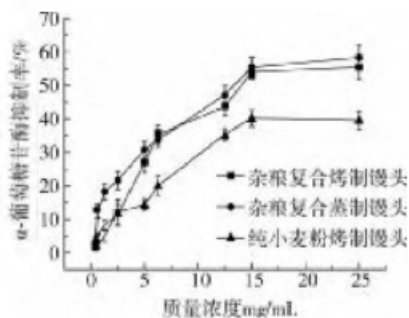


图3 体外模拟消化后对 α-葡萄糖苷酶抑制率的影响

3 结论

低 GI 杂粮复合烤制馒头的最优配方及工艺条件为,藜麦粉添加量 5%,青稞粉添加量 5%,荞麦粉

添加量 20%;改良剂加量 0.6%,酵母添加量 1.5%,发酵时长 45 min。此条件下制得的馒头的感官评分为 84.62 分,GI 值是 38.62,其外观呈现良好的球状,表面光滑,光泽良好,富有弹性,内部气孔细小均匀,具有较强的嚼咬性,爽口不黏牙。杂粮复合烤制馒头的纤维含量较高,脂肪含量比纯小麦粉烤制馒头的和杂粮复合蒸制馒头的低,蛋白质含量均显著高于两者;总淀粉含量和 β-葡聚糖含量均显著高于纯小麦粉馒头,并且含有多酚类物质,对 α-葡萄糖苷酶活性有一定的抑制作用。

参考文献

- [1]陈静茹,孟庆佳,康乐,等.低血糖生成指数谷物及其制品研究进展与法规管理现状[J].食品工业科技,2020,41(18):338-343
CHEN J R, MENG Q J, KANG L, et al. Research progress and regulation status of low Glycemic Index grain and its products[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(18): 338-343
- [2]TOH D W K, KOH E S, KIM J E. Lowering breakfast glycaemic index and glycaemic load attenuates postprandial glycaemic response: A systematically searched metaanalysis of randomized controlled trials[J]. Nutrition, 2020, 71: 110634
- [3]钟雪婷,康建平,华苗苗,等.基于血糖生成指数的最新应用研究进展[J].粮油食品科技,2020,28(2):66-72
ZHONG X T, KANG J P, HUA M M, et al. The latest application and research progress of Glycemic Index[J]. Science and Technology of Cereals, oils and Foods, 2020, 28(2): 66-72
- [4]万晓军.从馒头与面包的对比看我国馒头的发展[J].现代面粉工业,2010,24(1):40-42
WAN X J. Viewing the development of steamed bread in my country from the comparison between steamed bread and bread [J]. Modern Flour Milling Industry, 2010, 24(1): 40-42
- [5]刘强,田建珍,李佳佳.中国传统主食馒头的研究概述[J].粮食流通技术,2011,5:36-38
LIU Q, TIAN J Z, LI J J. The review of development of chinese steamed bread [J]. Grain Distribution Technology, 2011, 5: 36-38
- [6]徐雪娣,关倩倩,李宁.适合糖尿病患者食用的高粱山药馒头研发[J].粮油食品科技,2017(25):9
XU X D, GUAN Q Q, LI N. Study on sorghum yam steamed bread for diabetics [J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2017(25): 9
- [7]关倩倩,张文龙,李华.糖尿病并发肾病专用山药馒头配方改良[J].食品科技,2018,319(5):164-170

- GUAN Q Q, ZHANG W L, LI H. Optimization of formula on yam steamed bread for diabetic nephropathy patients [J]. *Food Science and Technology*, 2018, 319(5): 164 - 170
- [8] 张宗颖. 低血糖生成指数杂粮复合馒头的研制及临床效果观察[D]. 张家口:河北北方学院, 2019: 18
- ZHANG Z Y. Development and clinical effect observation of compound steamed bread with low glycemic index [D]. Zhangjiakou: Hebei North University, 2019: 18
- [9] 王梦倩, 孙颖, 邵丹青, 等. 青稞的营养价值和功效作用研究现状[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(23): 206 - 211
- WANG M Q, SUN Y, SHAO D Q, et al. Research status of nutritional value and efficacy of highland barley [J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(23): 206 - 211
- [10] 冯格格, 余永新, 洪思慧, 等. 青稞中主要功效成分最新研究进展[J]. *农产品质量与安全*, 2020 (2): 82 - 86
- FENG G G, SHE Y X, HONG S H, et al. The latest research progress of the main functional components in highland barley [J]. *Quality and Safety of Agro - Products*, 2020 (2): 82 - 86
- [11] 王环宇, 吕利, 李丽, 等. 青稞低 GI 膳食对代谢综合征患者血糖血脂影响的观察[J]. *武警后勤学院学报(医学版)*, 2013, 22(12): 1066 - 1068
- WANG H Y, LV L, LI L, et al. Observation on the effect of low glycemic index diet of highland barley on blood glucose, blood lipid of patient with metabolic syndrome [J]. *Journal of Logistics University of CAPF (Medical Sciences)*, 2013, 22(12): 1066 - 1068
- [12] 毛瑞. 荞麦馒头制作特性的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2013: 2 - 3
- MAO R. Study on the characteristics of making buckwheat steamed bread [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2013: 2 - 3
- [13] 刘胜男, 赵紫悦, 杜浩楠, 等. 藜麦粉对面团粉质特性与馒头品质的影响[J]. *轻工学报*, 2018, 33(6): 93
- LIU S N, ZHAO Z Y, DU H N, et al. Effect of quinoa flour on dough farinograph property and steamed bread quality [J]. *Journal of Light Industry*, 2018, 33(6): 93
- [14] ENGLYST H N, KINGMAN S M, CUM MINGS J H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions [J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 1992 (46): 33 - 50
- [15] CHUNG H J, LIM H S, LIM S T. Effect of partial gelatinization and retrogradation on the enzymatic digestion of waxy rice starch [J]. *Journal of Cereal Science*, 2006(43): 353 - 359
- [16] 李次力, 卢雨菲, 遇世友, 等. 复合杂粮面包配方优化的研究[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(11): 148 - 152
- LI C L, LU Y F, YU S Y, et al. Study on the formula optimization of compound grain bread [J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(11): 148 - 152
- [17] 张纷, 赵亮, 靖卓, 等. 藜麦 - 小麦混合粉面团特性及藜麦馒头加工工艺研究[J]. *食品科学*, 2019, 40(14): 323 - 331
- ZHANG F, ZHAO L, JING Z, et al. Dough characteristics of quinoa - wheat Composite flour and optimization of mantou processing [J]. *Food Science*, 2019, 40(14): 323 - 331
- [18] 杨希娟, 党斌, 徐菲, 等. 不同粒色青稞酸类化合物含量与抗氧化活性的差异及评价[J]. *中国粮油学报*, 2017, 32(9): 34 - 42
- YANG X J, DANG B, XU F, et al. Difference and evaluation of phenolics contents and antioxidant activity of colored hullless barley [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2017, 32(9): 34 - 42
- [19] 苏东民, 胡丽花, 苏东海, 等. 酵母添加量和发酵时间对馒头品质的影响[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(11): 73 - 77
- SU D M, HUL H, SU D H, et al. Effects of yeast dose and fermentation time on the quality of mantou [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(11): 73 - 77
- [20] 袁蓓蕾. 杂粮面包粉流变学性质研究及面包工艺优化[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2013: 38
- YUAN B L. Study on the rheological properties of grain bread flour and the bread process optimization [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2013: 38
- [21] 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
- ZHENG Z, MENG L L, LUO S Z, et al. Preparation of bread with ultrafine defatted rice bran [J]. *Food Science*, 2010, 31(18): 453 - 456
- [22] 侯飞娜, 木泰华, 孙红男, 等. 不同品种马铃薯对马铃薯 - 小麦复合馒头品质特性的影响[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(3): 132 - 139
- HOU F N, MU T H, SUN H N, et al. Effects of different potato cultivars on the quality characteristics of potato - wheat composite steamed bread [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2016, 32(3): 132 - 139
- [23] 郭波莉, 魏益民, 张国权, 等. 馒头品质评价方法探析[J]. *麦类作物学报*, 2002, 22(3): 7 - 10
- GUO B L, WEI Y M, ZHANG G Q, et al. Study on the quality judging methods of steamed bread [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2002, 22(3): 7 - 10
- [24] 陈银焕, 杨修仕, 郭慧敏, 等. 不同品种藜麦粉对馒头品质及抗氧化活性的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(2): 157 - 164
- CHEN Y H, YANG X S, GUO H M, et al. Effect of different varieties of quinoa flour substitution on quality and antioxidant activity of steamed bread [J]. *Food and Fermenta-*

- tion Industries, 2020, 46(2): 157-164
- [25] 陈洁, 彭芸, 王远辉, 等. 苦荞粉添加量对馒头抗氧化效果影响研究[J]. 食品科技, 2015, 40(6): 194-197
CHEN J, PENG Y, WANG Y H, et al. Effect of buckwheat addition on the antioxidant quality of steamed bread[J]. Food Science and Technology, 2015, 40(6): 194-197
- [26] 王静, 刘丁丽, 罗丹, 等. 体外模拟消化对藜麦抗氧化活性、 α -葡萄糖苷酶和 α -淀粉酶抑制活性影响研究[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(4): 51-58
- WANG J, LIU D L, LUO D, et al. Effects of simulated gastrointestinal digestion in vitro on the antioxidant, α -glucosidase and α -amylase inhibitory activities of quinoa[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(4): 51-58
- [27] PRADEEP P M, SREERAMA Y N. Phenolic antioxidants of foxtail and little millet cultivars and their inhibitory effects on α -amylase and α -glucosidase activities[J]. Food Chemistry, 2018, 247: 46-55.

(上接第 141 页)

- [23] XIE Y J, WANG K, HUANG Q Y, et al. Evaluation toxicity of monoterpenes to subterranean termite, *Reticulitermes chinensis* Snyder[J]. Industrial Crops and Products, 2014, 53: 163-166
- [24] ROBERTSON J L, PREISLER H K. Pesticide Bioassays with Arthropods[M]. Florida: CRC Press, 1992: 21-32
- [25] UNDERWOOD R M, CURRIE R W. Effect of concentration and exposure time on treatment efficacy against *Varroa mites* (Acari: Varroidae) during indoor winter fumigation of honey bees (Hymenoptera: Apidae) with formic acid[J]. Journal of Economic Entomology, 2005, 98: 1802-1809
- [26] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 食品添加剂 乙酸肉桂酯:GB/T 28345—2012 [S]. 北京:中国标准出版社,2012
Ministry of Health of PRC. The national food safety standards, Food additives, Cinnamyl acetate: GB/T 28345—2012[S]. Beijing: China Standard Press, 2012
- [27] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品添加剂 甲酸香叶酯:GB/T 1886.151—2015 [S]. 北京:中国标准出版社,2016