

张三杉,余梦玲,雷激,等.低血糖生成指数杂粮馒头的研制[J].食品工业科技,2022,43(22):214-220. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022010118

ZHANG Sanshan, YU Mengling, LEI Ji, et al. Preparation of Low Glycemic Index Multigrain Steamed Bun[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(22): 214-220. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022010118

· 工艺技术 ·

低血糖生成指数杂粮馒头的研制

张三杉,余梦玲,雷 激*,张 巧,李 贤,何雨婕
(西华大学食品与生物工程学院,四川成都 610039)

摘 要:目的:针对肥胖、糖尿病等慢性疾病高发现状,制备一款具有低血糖生成指数(glycemic index, GI)的杂粮馒头。方法:从降低GI的因素考虑,以小麦全粉和荞麦粉为主要原料,结合柚子果肉、奇亚籽整粒、菊粉等辅料以及淀粉回生处理工艺制作杂粮馒头。以GI值、感官评价、质构特性、抗性淀粉(resistant starch, RS)含量等为指标,探究最优的工艺配方。结果:制作低GI馒头的最优工艺为:以小麦全粉和荞麦粉(二者质量比7:3)为馒头混合粉,在混合粉基础上,添加30%奇亚籽整粒、9%菊粉,同时用40%新鲜柚子果肉代替部分和面用水,并将馒头在4℃回生处理24h。此条件下制得的馒头外形规整,光泽良好,口感筋道,抗性淀粉含量为1.61%,感官评分为85.30分;GI值为53.98,比传统馒头降低了38.9%,达到低GI食品要求。结论:该工艺处理不仅可以大幅降低馒头GI值,而且能够保证产品良好的口感,可为低GI食品开发提供参考。

关键词:杂粮馒头,低血糖生成指数,荞麦粉,柚子果肉,奇亚籽,体外消化,原料配比,淀粉回生

中图分类号:TS213.2

文献标识码:B

文章编号:1002-0306(2022)22-0214-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022010118

本文网刊:



Preparation of Low Glycemic Index Multigrain Steamed Bun

ZHANG Sanshan, YU Mengling, LEI Ji*, ZHANG Qiao, LI Xian, HE Yujie

(School of Food and Bioengineering, Xihua University, Chengdu 610039, China)

Abstract: Objective: Aiming at the high incidence of chronic diseases such as obesity and diabetes, a kind of multigrain steamed bun with low glycemic index (GI) was prepared. Methods: Considering the factors of reducing GI, the whole wheat flour and buckwheat flour were used as the main raw materials, combined with pomelo, whole chia seeds, inulin, as well as the starch retrogradation treatment to make multigrain steamed bun. GI value, sensory evaluation, texture properties and resistant starch (RS) were taken as evaluation indexes. Results: The best method for processing low GI steamed bun was as follows: Taking whole wheat flour and buckwheat flour with the ratio of 7:3 as steamed bun mixed flour, 30% whole chia seeds and 9% inulin were added into the mixture, 40% pomelo was used to replace part of the dough water, and refrigerated the steamed bun at 4℃ for 24 h. The multigrain steamed bun prepared under this condition had a regular shape, smooth and shiny surface with good chewiness, with a resistant starch content of 1.61% and a sensory score of 85.30. The GI value was 53.98, which was 38.9% lower than that of the traditional steamed bun, and met the requirements of low GI food. Conclusion: This process could not only greatly reduce the GI value of steamed bun, but also ensure good taste of the product, which could provide a reference for the development of low GI foods.

Key words: multigrain steamed bun; low glycemic index; buckwheat flour; pomelo pulp; chia seeds; *in vitro* digestibility; ratio of raw materials; starch retrogradation

随着生活方式的改变,一些不良饮食习惯导致肥胖、糖尿病等发病率逐年增加,威胁着人类的健康^[1]。为满足此类慢性病患者对主食的日常需求,以

及普通人群对健康低糖食品的需求,低血糖生成指数(glycemic index, GI)食品的开发应运而生。GI表示食用含50g碳水化合物食物后,在一定时间内(一

收稿日期:2022-01-14

基金项目:四川省科技厅项目(2020YFH0157)。

作者简介:张三杉(1996-),女,硕士研究生,研究方向:食品科学与工程,E-mail: 1454309946@qq.com。

*通信作者:雷激(1966-),女,博士,教授,研究方向:食品营养学,E-mail: 121175698@qq.com。

一般为 2 h)体内血糖应答水平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^[2]。根据 GI 值的不同,食物被分为高 GI(GI>70)、中 GI(55~70)和低 GI(GI<55)^[3]。研究表明,长期食用低 GI 食物对于调节血糖、降低心血管疾病、抑制肥胖、抗高血压等有重要作用^[4]。

传统馒头具有很高的 GI 值(88),不适合糖尿病等慢性病人食用。若能开发出具有低 GI 值的馒头,将为此类慢性病患者提供一种好的食物选择。目前国内外对低 GI 食品的开发研究还在进一步的探索中,Reshmi 等^[5]向小麦粉中添加柚子果肉可得到感官品质良好的低 GI 面包;Zhu 等^[6]将奇亚籽加入馒头中可显著降低馒头的 GI 值;闫晨苗^[7]认为菊粉作为天然的可溶性膳食纤维和益生元,摄入后不会使血糖和胰岛素水平增加,适合糖尿病等慢性病患者食用;Srikaeo 等^[8]在米粉中添加直链淀粉和抗性淀粉(resistant starch, RS)可以制得低 GI 值产品。但国内外市场部分低 GI 食品仍然存在品类单一、口感不佳等问题,因此,改善低 GI 食品感官品质、增加低 GI 食品种类将成为低 GI 食品研发的关键问题和主要挑战^[2]。

荞麦富含膳食纤维(质量分数 9%~11%)^[9]、蛋白质(质量分数 11.76%~16.13%)、抗性淀粉(占总淀粉质量的 7.5%~35%)^[10]、荞麦碱(13.66~19.57 mg/g)^[11]等物质,均能降低 GI^[12]。新鲜的柚子果肉中含有膳食纤维(400 mg/100 g)、蛋白质(700 mg/100 g)、类胰岛素、柚皮苷等成分,可以降低血糖血脂^[13]。奇亚籽富含多不饱和脂肪酸、膳食纤维(质量分数 18%~30%)、蛋白质(质量分数 19%~23%)和酚类化合物(2.97~3.4 mg/g)等^[14],在抗氧化、降血压、降血糖、抑制肥胖和改善血脂代谢异常等方面发挥了重要作用^[15]。淀粉经过糊化、回生可产生 RS^[16],RS 结构致密,很难被淀粉酶降解,热稳定性好,在高温、油炸等过程中依然能保持其抗消化性^[17],使淀粉消化速率降低,从而使食物具有较低的 GI 值。因此本研究针对慢性病患者营养需求,以传统主食馒头为研究对象,综合考虑影响 GI 的因素,以全麦粉和荞麦粉为原料,通过添加柚子、奇亚籽、菊粉等辅料,制备低 GI 馒头。分析不同处理对馒头感官特性和 GI 等指标的影响,探讨适宜的加工处理方式,为糖尿病、肥胖等慢性疾病的预防和控制提供一种有效的食物选择。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

富强粉 中粮(成都)粮油工业有限公司;小麦全麦粉 新乡良润全谷物食品有限公司;荞麦 五常市彩桥米业有限公司;南非红心西柚 深圳百果园实业发展有限公司;奇亚籽 山西众恬农业科技有限公司;菊粉(来源于菊芋) 重庆骄王天然产物股份有限公司;酵母 安琪酵母股份有限公司;白面包 成都市

市桃李食品有限公司;糖化酶(9032-08-0) 液化型,100 000 U/mL,北京世纪奥科生物技术有限公司;胰酶(8049-47-6) 8×U.S.P.,Sigma 公司;胃蛋白酶(9001-75-6)(1:10000)、高温-淀粉酶(9001-19-8)(4 U/mg) 成都艾科达化学试剂有限公司;3,5-二硝基水杨酸(DNS)试剂 厦门海标科技有限公司;磷酸氢二钾、磷酸二氢钾、碳酸钠、盐酸、氯化钾、氢氧化钠、氢氧化钾、冰乙酸、醋酸钠、无水乙醇等 分析纯,成都科隆化学品有限公司。

UV-2600 型紫外分光光度计 上海谱元仪器有限公司;TD-5M 型台式低速离心机 四川蜀科仪器有限公司;TB-214 电子天平 北京赛多利斯仪器系统有限公司;FSH-2A 均质机 河北慧采科技有限公司;WH-2 漩涡振荡器 常州华奥仪器制造有限公司;HNY-2102C 制冷恒温摇床 天津市欧诺仪器仪表有限公司;HH-4 数显恒温水浴锅 常州普天仪器制造有限公司;TA-XT2i 型质构仪 英国 Stable Micro System 有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 馒头的制作 工艺流程:原料粉混匀→和面→发酵→成型→醒发→汽蒸→自然冷却→成品。

和面:以原料粉总量为基础,将 53%的温水(37℃)与 0.8%的酵母混合加入原料粉中,揉至面团表面光滑;发酵:将面团醒发 60 min(37℃、相对湿度 80%);成型:将面团揉成大小均匀一致的馒头坯;醒发:相同条件下(37℃、相对湿度 80%),醒发 25 min;蒸制:沸水蒸制 20 min,取出自然冷却。

1.2.2 实验分组 对照组:以富强粉为原料按 1.2.1 制作普通馒头,测定馒头感官和 GI。

全麦粉组:以小麦全麦粉为原料按 1.2.1 制作全麦馒头,测定馒头的感官、GI、比容、质构等指标。

以下处理组按 ABCDE 的顺序依次进行,每一组都在前一组的最优条件下展开实验,按 1.2.1 的条件制作馒头:

处理组 A:将荞麦粉以不同的比例(0、10%、20%、30%、40%、50%)取代全麦粉组中的全麦粉,按 1.2.1 制作馒头,主要以 GI 和感官两个指标为标准,辅助结合比容、质构等指标(下同),探究最适的荞麦粉取代比例。

处理组 B:在 A 的最优条件下,添加 0、10%、20%、30%、40%、50%(以荞麦粉和全麦粉的总质量为 100%计,下同)的新鲜柚子果肉替代部分和面用水(以柚子中的含水量为 89%计,分别替代总水量的 15%、28%、39%、48%、56%),按 1.2.1 制作馒头,探究最适的柚子果肉添加量。

处理组 C:在 B 的最优条件下,添加 0、15%、20%、25%、30%、35%的完整奇亚籽颗粒于原料混合粉中,按 1.2.1 制作馒头,探究最适的奇亚籽添加量。

处理组 D:在 C 的最优条件下,添加 0、3%、6%、9%、12%、15%的菊粉于原料混合粉中,按

1.2.1 制作馒头,探究最适的菊粉添加量。

处理组 E: 在 D 的最优条件下,将馒头于 4 ℃ 冷藏 0、12、24、36、48、60 h,测定馒头的抗性淀粉含量与 GI 值,结合感官探究适宜的冷却回生处理时间。

1.2.3 测定指标

1.2.3.1 馒头体外 GI 值测定 分别配制 1 g/L 的胰酶液和糖化酶液,按 1:3 配比离心(3000 r/min、10 min)制成混合酶液。取适量馒头样品,溶解于 pH 5.2 的醋酸盐缓冲液中,配制成质量分数为 2% 的馒头样品溶液(馒头蒸制冷却 1 h 后测定),用均质机均质处理形成均匀的悬浮液,加入 3 mL 上述混合酶液,在 37 ℃ 水浴条件下振荡反应,于反应后的 0、10、20、30、60、90、120、180 min 分别取样 0.20 mL,与 4 mL 无水乙醇混合离心(3000 r/min、20 min)后取上清液,3 mL 蒸馏水洗滌沉淀,离心后合并上清液,混匀后备用。

取 2 mL 上清液与 1.5 mL DNS 试剂于沸水浴中反应 7 min,冷却后定容至 25 mL,测定 OD_{540 nm} 值^[18]。用 Origin 2021 软件计算出 0~180 min 的淀粉体外消化曲线下的面积(AUC),按公式计算出淀粉水解指数(hydrolysis index, HI)和预测血糖生成指数(expected glycemic index, eGI, 下文简称 GI)^[19]。

$$\text{水解指数(HI, \%)} = \frac{\text{AUC}_{\text{样品}}}{\text{AUC}_{\text{白面包}}} \times 100$$

$$\text{预测血糖生成指数(eGI)} = 39.71 + 0.549\text{HI}$$

式中: AUC_{样品} 表示馒头样品 0~180 min 的淀粉体外消化曲线下的面积; AUC_{白面包} 表示白面包 0~180 min 的淀粉体外消化曲线下的面积。

1.2.3.2 馒头感官评价 选定 10 名评审员组成评价小组,参照 GB/T 35991-2018《粮油检验 小麦粉馒头加工品质评价》进行打分,满分为 100 分,得分高于 90 分为优,80~90 分为良好,低于 80 分不被接受。评分标准见表 1。

1.2.3.3 比容测定 参照王家宝^[20],采用油菜籽替换法,测定馒头的体积,按下式计算比容。

$$\lambda = \frac{V}{m}$$

式中: λ 为比容, mL/g; V 为馒头体积, mL; m 为馒头质量, g。

1.2.3.4 质构特性测定 馒头常温冷却 1 h 后纵切,每片 25 mm,切面朝上进行 TPA 测试,样品重复测定三次后取平均值。参数设定: 探头型号为 P/36 R, 探头高度 30 mm,测试前、中、后速度分别为 2.0、1.0、1.0 mm/s,触发感应力 5 g,压缩比 55%,两次压缩时间间隔 5 s^[21]。

1.2.3.5 RS 的测定(TSA 法) RS 与非抗性淀粉含量参考程燕锋等^[22]的 TSA 法进行测定,结果以抗性淀粉含量占总淀粉含量的百分比计。

1.3 数据处理

感官评价重复 10 次,其余指标重复测定 3 次,数据以均值±标准差表示,采用 SPSS 17.0 对各组间数据多重比较采用 LSD 检验, $P < 0.05$ 差异有统计学意义,结果采用 Origin 2021 软件绘制。

2 结果与分析

2.1 全麦馒头与普通馒头的比较

如表 2 所示,富强粉 GI 值高(75.42±0.33),而全麦粉 GI 值低(45.33±0.23),这是因为全麦粉中的小麦胚芽与皮层赋予其丰富的膳食纤维、蛋白质和酚类化合物等^[23-24],其中可溶性膳食纤维吸水膨胀后会截留消化酶,从而抑制碳水化合物的消化,降低 GI^[25];蛋白质分子间可形成致密网络将淀粉颗粒包裹其中,阻止酶与淀粉接触,使淀粉消化速度降低;Pradeep 等^[26]的研究表明,植物酚类化合物能抑制 α -葡萄糖苷酶活性,减缓淀粉分解,显著降低淀粉水解率;以上物质的存在降低了全麦粉的 GI。故本文选择全麦粉为原料,以期降低馒头的 GI 值。

表 3 显示,与普通馒头比较,全麦馒头的 GI 值显著降低($P < 0.05$),这可能与全麦粉中的膳食纤维、蛋白质和多酚等成分有关;全麦馒头的感官评分虽然下降,但总体接受程度较高。实验结果还显示全麦馒头 GI 值为 81.72,远高于全麦粉,这是因为全麦粉是生粉,在制成馒头过程中经过发酵蒸制使得淀粉水

表 1 馒头感官品质评分标准

Table 1 Scoring standard of sensory quality of steamed bun

评价指标	评分标准
比容(20分)	比容大于或等于2.8 mL/g得满分20分;比容小于或等于1.8得最低分5分;比容在2.8~1.8之间,每下降0.1扣1.5分
宽高比(5分)	宽高比小于或等于1.40得最高分5分;大于1.60得最低分0分;在1.40~1.60之间每增加0.05扣1分
弹性(10分)	手指按压回弹性好8~10分;手指按压回弹性弱6~7分;手指按压不回弹或按压困难4~5分
表面色泽(10分)	光泽性好8~10分;稍暗6~7分;灰暗4~5分
表面结构(10分)	表面光滑8~10分;皱缩、塌陷、有气泡或烫斑4~7分
内部结构(20分)	气孔细腻均匀18~20分;气孔细腻基本均匀,有个别气泡13~17分(边缘与表皮有分离现象,扣1分);气孔基本均匀,但过于细密,有稍多气泡,结构稍粗糙10~12分;气孔不均匀或结构很粗糙5~9分
韧性(10分)	咬劲强8~10分;咬劲一般6~7分;咬劲差,切时掉渣或咀嚼干硬4~5分
黏性(10分)	爽口不黏牙8~10分;稍黏6~7分;咀嚼不爽口,很黏牙:4~5分
食味(5分)	具有杂粮特有香味、有发酵清香、无明显酸味或其他异味5分;滋味平淡4分;有异味2~3分

表 2 原料粉 GI 值
Table 2 GI value of raw powder

原料	GI
富强粉	75.42±0.33
全麦粉	45.33±0.23 ^a

注: a表示全麦粉的GI与富强粉相比差异显著($P<0.05$)。

表 3 普通馒头与全麦馒头的 GI 与感官评分
Table 3 GI and sensory quality between ordinary steamed bun and whole-wheat steamed bun

组别	GI	感官评分(分)
普通馒头	88.29±0.21	96.27±1.12
全麦馒头	81.72±0.21 ^a	88.93±0.35 ^A

注: a、A分别表示全麦馒头GI、感官评分与普通馒头相比差异显著($P<0.05$)。

解、糊化程度升高导致 GI 值变大。Miao 等^[27]对蜡质玉米淀粉进行研究也表明淀粉的消化速度随糊化度升高而升高,完全糊化淀粉的消化速度显著高于生淀粉的消化速度;部分糊化的淀粉,其消化速度和血糖反应也比完全糊化的淀粉低。

2.2 荞麦添加对馒头的影响

2.2.1 荞麦添加对馒头 GI 的影响 与普通馒头相比,全麦馒头 GI 值虽然降低,但仍为高 GI 食物,故考虑进一步降低馒头 GI 值。向原料中加入荞麦,结果如表 4 所示,随着荞麦添加量的增加,馒头的 HI 与 GI 总体呈现减小的趋势,当荞麦添加量为 50% 时,馒头 GI 最低,为 74.17。这可能是由于荞麦碱能显著抑制 α -葡萄糖苷酶的活性,从而降低了淀粉水解度^[28];同时荞麦中丰富的抗性淀粉具有抗酶解性^[29],使得馒头的 HI 和 GI 值显著降低。

表 4 荞麦添加对馒头 HI 和 GI 的影响
Table 4 Effects of buckwheat on HI and GI value of steamed bun

荞麦添加量(%)	HI	GI
0	76.52±0.39 ^c	81.72±0.21 ^c
10	72.48±0.32 ^d	79.50±0.17 ^d
20	68.86±0.43 ^c	77.52±0.24 ^c
30	65.12±0.41 ^b	75.46±0.22 ^b
40	62.87±0.45 ^a	74.23±0.25 ^a
50	62.76±0.29 ^a	74.17±0.16 ^a

注: 添加量为0时对应的是全麦馒头;不同小写字母表示同列数据差异显著($P<0.05$);表5~表12同。

2.2.2 荞麦添加对馒头感官和质构的影响 由表 5 可知,随着荞麦粉添加量的增加,馒头感官品质下降、比容减小、硬度与咀嚼性增大。面筋蛋白是由麦醇溶蛋白、麦谷蛋白与水结合形成的产物,而荞麦缺乏麦醇溶蛋白,荞麦中的麦谷蛋白(11%~21%)、清蛋白和球蛋白等(占总蛋白的 40%~62%)的黏性差,无面筋性,很难像小麦粉那样形成面筋结构,导致混合面团加工品质下降,馒头口感粗糙^[9,30]。当添加量为 40% 时,馒头质地较硬,感官评分低于 80 分,无法接

受,这与王杰琼^[9]的研究结果相似。综合表 4 和表 5 的结果选择 30% 的荞麦粉取代全麦粉。

表 5 荞麦添加对馒头感官和质构的影响
Table 5 Effects of buckwheat on sensory and texture of steamed bun

荞麦添加量(%)	感官评分(分)	比容(mL/g)	质构		
			硬度(g)	弹性	咀嚼性
0	88.93±0.35 ^c	2.30±0.08 ^c	5575.76±9.86 ^a	0.77±0.01 ^a	2865.90±13.99 ^a
10	86.77±0.42 ^d	2.09±0.03 ^d	5981.40±15.85 ^b	0.79±0.02 ^{ab}	2965.67±11.36 ^b
20	83.90±1.42 ^c	2.01±0.08 ^{cd}	6562.78±18.17 ^c	0.82±0.05 ^{bc}	3165.46±16.82 ^c
30	81.87±2.11 ^c	1.92±0.06 ^c	7331.66±16.29 ^d	0.82±0.02 ^{bc}	3450.29±14.10 ^d
40	71.43±1.15 ^b	1.57±0.03 ^b	8817.13±14.64 ^e	0.86±0.01 ^c	4229.84±1.38 ^e
50	61.33±0.55 ^a	1.35±0.09 ^a	10083.94±16.68 ^f	0.80±0.02 ^{ab}	5150.86±17.36 ^f

2.3 柚子添加对馒头的影响

2.3.1 柚子添加对馒头 GI 的影响 前述处理的馒头 GI 值为 75.46,未达到低 GI 食品的标准,所以进一步改进配方,用新鲜柚子代替部分水和面。结果如表 6 所示,添加柚子果肉可显著降低馒头的 HI 与 GI 值,当添加量为 40% 时,馒头的 HI 与 GI 最低,GI 值由 75.46 降至 62.97($P<0.05$),为中 GI 食物。这可能与柚子中的酚类化合物、黄酮类化合物等 α -葡萄糖苷酶抑制剂和膳食纤维等物质有关^[5]。国外也有报道将新鲜柚子添加到面包中,20% 的添加量可使白面包和黑面包的 GI 值显著降低(分别从 66.06 和 62.41 降至 62.97 和 58.20)^[5],与本实验结果一致。

表 6 柚子添加对馒头 HI 和 GI 的影响
Table 6 Effects of pomelo on HI and GI value of steamed bun

柚子添加量(%)	HI	GI
0	65.12±0.41 ^f	75.46±0.22 ^f
10	61.25±0.25 ^e	73.33±0.14 ^e
20	58.02±0.33 ^d	71.56±0.18 ^d
30	52.60±0.29 ^c	68.59±0.16 ^c
40	50.79±0.20 ^a	67.59±0.11 ^a
50	51.36±0.25 ^b	67.90±0.20 ^b

2.3.2 柚子添加对馒头感官和质构的影响 由表 7 可看出在 50% 范围内增加柚子果肉可显著($P<0.05$)降低馒头的硬度和咀嚼性,馒头质地变软。当柚子添加量为 40% 时,馒头感官评分最高,果肉的酸甜赋予馒头丰富的口感;当添加量为 50% 时,比容减小、感

表 7 柚子添加对馒头感官和质构的影响
Table 7 Effects of pomelo on sensory and texture of steamed bun

柚子添加量(%)	感官评分(分)	比容(mL/g)	质构		
			硬度(g)	弹性	咀嚼性
0	81.87±2.11 ^a	1.92±0.06 ^b	7331.66±16.29 ^c	0.82±0.02 ^b	3450.29±14.10 ^f
10	82.67±1.04 ^{ab}	1.86±0.01 ^b	6971.44±21.27 ^d	0.80±0.06 ^{ab}	3150.83±16.50 ^d
20	84.43±0.51 ^{bc}	1.82±0.03 ^b	6450.95±20.81 ^c	0.82±0.06 ^b	2769.16±10.91 ^c
30	86.90±0.95 ^{bc}	1.84±0.07 ^b	5868.91±18.63 ^b	0.77±0.07 ^{ab}	2761.33±17.28 ^c
40	88.70±0.50 ^c	1.87±0.08 ^b	5655.07±16.08 ^a	0.79±0.07 ^{ab}	2613.27±8.35 ^b
50	85.17±0.95 ^{cd}	1.59±0.07 ^a	5672.08±24.15 ^a	0.70±0.01 ^a	2460.55±24.28 ^a

官下降,这可能是由于馒头内部结构变差、缺乏弹性,涩味与酸味增加,对馒头的可接受性产生负面影响,因此选择 40% 的柚子,此时代替了 48% 的和面用水。

2.4 奇亚籽添加对馒头的影响

2.4.1 奇亚籽添加对馒头 GI 的影响 由表 8 可看出,随着奇亚籽添加量的增加,馒头的 HI 与 GI 显著降低($P<0.05$),这是因为奇亚籽遇水产生的黏液会增加面团的黏度,减少淀粉和水解酶之间的相互作用;同时在馒头的制作过程中,奇亚籽中的多酚等生物活性成分的释放也抑制了淀粉的水解^[31],从而降低了馒头的 HI 和 GI。Zhu 等^[6]在馒头中添加 30% 奇亚籽,馒头的 GI 降低,与本实验的研究结果相似。

表 8 奇亚籽添加对馒头 HI 和 GI 的影响

Table 8 Effects of chia seeds on HI and GI value of steamed bun

奇亚籽添加量(%)	HI	GI
0	50.79±0.20 ^f	67.59±0.11 ^f
15	47.40±0.24 ^e	65.73±0.13 ^e
20	43.36±0.25 ^d	63.51±0.14 ^d
25	40.30±0.37 ^c	61.83±0.20 ^c
30	38.43±0.20 ^b	60.81±0.11 ^b
35	35.69±0.37 ^a	59.30±0.20 ^a

2.4.2 奇亚籽添加对馒头感官和质构的影响 如表 9 所示,随着奇亚籽添加量的增加,馒头的感官评分、比容与弹性下降,硬度和咀嚼性增加。这是由于奇亚籽降低了馒头表面的平滑度,使质地变粗糙;当添加量为 35% 时,一些苦味成分如多酚等会在咀嚼过程中被释放出来^[6],使得馒头感官不被接受;奇亚籽的增加会引起谷蛋白的稀释,也会破坏淀粉网络结构,降低面团的持气能力,使得馒头质地变得更致密,造成比容显著减小。综合各指标,选择 30% 的奇亚籽添加量,此时馒头为中 GI 食物。

表 9 奇亚籽添加对馒头感官和质构的影响

Table 9 Effects of chia seeds on sensory and texture of steamed bun

奇亚籽添加量(%)	感官评分(分)	比容(mL/g)	质构		
			硬度(g)	弹性	咀嚼性
0	88.70±0.50 ^d	1.87±0.08 ^c	5655.07±16.08 ^a	0.79±0.07 ^b	2613.27±8.35 ^a
15	88.13±0.25 ^{cd}	1.75±0.02 ^d	6107.52±8.69 ^b	0.76±0.01 ^b	2853.79±7.07 ^b
20	87.67±0.31 ^c	1.72±0.02 ^d	9364.02±8.14 ^c	0.70±0.01 ^b	3354.25±13.57 ^c
25	86.00±0.44 ^b	1.64±0.04 ^c	10915.58±16.09 ^d	0.70±0.06 ^b	3509.81±6.67 ^d
30	85.33±0.74 ^b	1.52±0.03 ^b	13203.82±9.12 ^e	0.67±0.05 ^{ab}	3678.93±10.83 ^e
35	78.97±0.35 ^a	1.25±0.05 ^a	14816.61±10.88 ^f	0.56±0.13 ^a	3813.83±7.96 ^f

2.5 菊粉添加对馒头的影响

2.5.1 菊粉添加对馒头 GI 的影响 向馒头中加入菊粉以期进一步降低其 GI,结果如表 10 所示,随着菊粉添加量增加,馒头的 HI 与 GI 显著降低($P<0.05$)。这可能是因为菊粉是一种水溶性膳食纤维,难以被消化吸收,在糊化后有一定的凝胶特性,可以通过增加

体系的黏度来阻碍消化酶与淀粉的接触,从而降低葡萄糖等小分子的扩散速率^[32-33]。闫晨苗^[7]将菊粉加入马铃薯面包中也表明适宜的菊粉添加量能显著降低 GI 值。

表 10 菊粉添加对馒头 HI 和 GI 的影响

Table 10 Effects of inulin on HI and GI value of steamed bun

菊粉添加量(%)	HI	GI
0	38.43±0.20 ^e	60.81±0.11 ^e
3	34.47±0.29 ^d	58.63±0.16 ^d
6	31.25±0.12 ^c	56.86±0.07 ^c
9	29.38±0.20 ^a	55.84±0.11 ^a
12	30.16±0.22 ^b	56.27±0.12 ^b
15	29.38±0.25 ^a	55.84±0.14 ^a

2.5.2 菊粉添加对馒头感官和质构的影响 如表 11 所示,随着菊粉添加量增大,馒头感官评分与比容呈现先增后降的趋势,硬度的变化趋势相反。9% 以内的菊粉添加显著改善了馒头的感官和质构,增加了比容,这与可溶性膳食纤维强大的吸湿性有关^[34];当添加量为 9% 时,感官评分最高、比容最大、硬度最低,馒头光泽良好且柔软筋道;菊粉微甜的味道显著改善了馒头的口感,因此选择 9% 的菊粉,但此时产品未达到低 GI 要求。

表 11 菊粉添加对馒头感官和质构的影响

Table 11 Effects of inulin on sensory and texture of steamed bun

菊粉添加量(%)	感官评分(分)	比容(mL/g)	质构		
			硬度(g)	弹性	咀嚼性
0	85.33±0.74 ^a	1.52±0.03 ^a	13203.82±9.12 ^e	0.67±0.05 ^a	3678.93±10.83 ^b
3	86.43±0.51 ^b	1.69±0.02 ^c	10219.38±18.20 ^c	0.66±0.05 ^a	3625.27±11.48 ^a
6	88.27±0.32 ^c	1.71±0.02 ^c	10009.07±5.89 ^b	0.66±0.05 ^a	3725.20±8.38 ^c
9	89.83±0.64 ^d	1.82±0.01 ^d	9519.18±14.50 ^a	0.64±0.07 ^a	3725.27±11.48 ^c
12	88.13±0.25 ^c	1.71±0.01 ^c	10285.29±7.41 ^d	0.60±0.03 ^a	3772.58±11.11 ^d
15	87.13±0.25 ^b	1.64±0.01 ^b	10427.15±18.72 ^e	0.68±0.04 ^a	3717.72±10.60 ^c

2.6 冷却回生处理对馒头抗性淀粉含量、GI 和感官的影响

由于添加菊粉后的馒头尚未达到低 GI 水平,故对其进行 4℃ 冷却回生处理。如图 1 和表 12 所示,

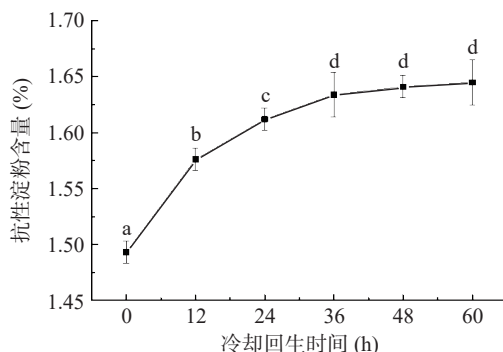


图 1 冷却回生处理对抗性淀粉含量的影响

Fig.1 Effect of cooling retrogradation treatment on content of resistant starch

随冷藏时间延长,抗性淀粉含量显著增加,馒头 HI、GI 值和感官评分显著降低($P<0.05$); 36 h 后,抗性淀粉含量与馒头 HI、GI 值变化趋于平缓($P>0.05$),这与翟文奕^[1]的结果相似,表明回生时间对馒头 RS 产率影响较大。RS 产率由快到慢直至没有变化的原因在于: 老化初期直链淀粉分子起主要作用,回生速率快; 老化后期支链淀粉分子起主要作用,淀粉分子的运动趋向缓慢,晶核增长变缓,使得回生速率慢。由于 RS 的抗酶解性,其含量的增加导致 HI 和 GI 呈现下降趋势。

表 12 冷却回生处理对馒头 HI、GI 和感官评分的影响
Table 12 Effects of cooling retrogradation treatment on HI, GI value and sensory scores of steamed bun

时间(h)	HI	GI	感官评分(分)
0	29.38±0.20 ^d	55.84±0.11 ^d	89.83±0.64 ^f
12	27.75±0.49 ^e	54.94±0.27 ^e	86.53±0.32 ^e
24	25.99±0.29 ^b	53.98±0.16 ^b	85.30±0.26 ^d
36	25.24±0.19 ^a	53.57±0.11 ^a	80.47±0.21 ^c
48	25.09±0.30 ^a	53.48±0.16 ^a	77.53±0.40 ^b
60	25.07±0.28 ^a	53.47±0.15 ^a	71.47±0.25 ^a

由表 12 可知,冷却回生处理时间大于 36 h 时,馒头复热后的感官评分低于 80 分,不被接受。综合各指标可看出,回生处理 12、24 和 36 h 均满足低 GI 要求。与低 GI 的标准 55 相比,12 h 的 GI 值为 54.94,差异不显著($P>0.05$),24 h 与 36 h 的 GI 值分别为 53.98、53.57,差异显著($P<0.05$),故排除 12 h 的处理组;与感官评分最低接受度 80 分相比,24 h 的评分为 85.30,差异显著($P<0.05$),36 h 的评分为 80.47,差异不显著($P>0.05$),故排除 36 h 的处理组;综上所述,选择 24 h 的处理组,此时馒头外形规整,光泽良好,抗性淀粉含量为 1.61%,感官评分为 85.30 分,GI 值为 53.98。

2.7 不同处理条件对馒头外观的影响

如图 2 所示,与全麦馒头相比,荞麦粉的加入使馒头的体积减小,这可能是由于荞麦缺乏面筋蛋白^[35],

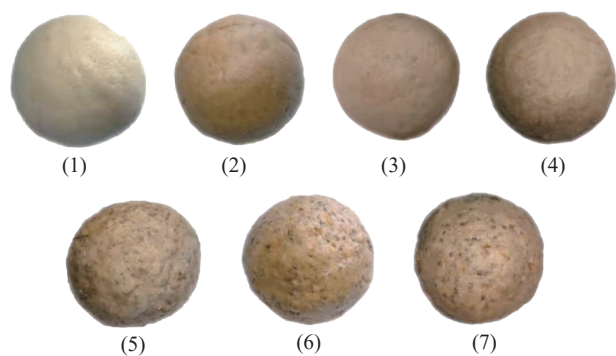


图 2 不同处理的馒头图片

Fig.2 Pictures of steamed buns with different treatments

注: (1)普通馒头; (2)全麦馒头; (3)最优处理组 A(30% 荞麦取代率); (4)最优处理组 B(添加 40% 柚子); (5)最优处理组 C(添加 30% 奇亚籽); (6)最优处理组 D(添加 9% 菊粉); (7)低 GI 馒头(冷却回生 24 h)。

加入到馒头中会降低混合面团中面筋的含量与质量,进而影响馒头的品质; 柚子、奇亚籽的加入使得馒头表面色泽变暗,可能是柚子与奇亚籽自身的颜色所致; 同时奇亚籽颗粒的存在降低了馒头表面的平滑度; 菊粉的添加改善了馒头的色泽,这可能与菊粉的白度大于原料粉有关,菊粉对面团品质具有改良作用^[36],从而改善了馒头的质地; 回生处理后的馒头外观稍逊于处理前,但仍在可接受范围内。

3 结论

综合考虑各因素对低 GI 杂粮馒头感官品质和 GI 值的影响,最终确定最佳工艺配方为: 在普通馒头制备工艺基础上,以全麦粉和荞麦粉为馒头混合粉(二者质量比 7:3),添加 30% 的奇亚籽整粒和 9% 的菊粉,并用 40% 新鲜柚子果肉代替部分和面用水,蒸制成熟的馒头于 4 ℃ 冷却回生 24 h。制备的馒头外形规整,光泽良好,柔软筋道,且富有柚子酸甜的滋味,抗性淀粉含量高(1.61%),感官评分为 85.30 分,同时具有较低的 GI 值(53.98),达到低 GI 食物要求。若能进一步提升低 GI 杂粮馒头的感官特性,这对低 GI 面制品的开发将有积极的指导意义。

参考文献

- [1] 翟文奕. 一种高抗性淀粉、低血糖指数主食馒头的研制及品质评价 [D]. 济南: 济南大学, 2015. [ZHAI W Y. Development and quality evaluation of a steamed bun with high resistant starch and low glycemic index[D]. Jinan: Jinan University, 2015.]
- [2] 崔亚楠. 低血糖指数原料(谷物、豆类)及工艺筛选和配方冲调粉的研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2017. [CUI Y N. Screening of low glycemic index raw materials (cereals, legumes), processing methods and study on low glycemic index mixing powder[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017.]
- [3] AUGUSTIN L S, KENDALL C W, JENKINS D J, et al. Glycemic index, glycemic load and glycemic response: An international scientific consensus summit from the international carbohydrate quality consortium (ICQC)[J]. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 2015, 25(9): 795-815.
- [4] 燕子豪, 汪丽萍, 谭斌, 等. 谷物食品血糖生成指数研究进展 [J]. *粮油食品科技*, 2021, 29(3): 147-156. [YAN Z H, WANG L P, TAN B, et al. Advances in glycemic index of cereal foods[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2021, 29(3): 147-156.]
- [5] RESHMI S K, SUDHA M L, SHASHIREKHA M N. Starch digestibility and predicted glycemic index in the bread fortified with pomelo (*Citrus maxima*) fruit segments[J]. *Food Chemistry*, 2017, 237: 957-965.
- [6] ZHU F, CHAN C. Effect of chia seed on glycemic response, texture, and sensory properties of Chinese steamed bread[J]. *Food Science and Technology*, 2018, 98: 77-84.
- [7] 闫晨苗. 低 GI 马铃薯面包工艺的研究及品质分析 [D]. 邯郸: 河北工程大学, 2020. [YAN C M. Study on technology and quality of low GI potato bread[D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2020.]
- [8] SRIKAEAO K, ARRANZ-MARTÍNEZ P. Formulating low glycemic index rice flour to be used as a functional ingredient[J]. *Journal of Cereal Science*, 2015, 61: 33-40.

- [9] 王杰琼. 燕麦和荞麦全粉对面团特性及馒头品质影响的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2016. [WANG J Q. Study on the effect of oat or buckwheat flour on properties of mixed dough and quality of Chinese[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2016.]
- [10] 周一鸣, 李保国, 崔琳琳, 等. 荞麦淀粉及其抗性淀粉的颗粒结构[J]. 食品科学, 2013, 34(23): 25-27. [ZHOU Y M, LI B G, CUI L L, et al. Granular structure of buckwheat starch and resistant starch[J]. Food Science, 2013, 34(23): 25-27.]
- [11] 丁慧. 富含荞麦碱荞麦复配米饭的制备及其对血糖生成指数影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2017. [DING H. Preparation of buckwheat-rice mixed meal achieved a rich D-Fagomine intake and its effect on glycemic index[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences Dissertation, 2017.]
- [12] 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.]
- [13] 李靛, 朱涵彬, 李长滨, 等. 柚子营养成分及保健功能研究[J]. 现代食品, 2020(24): 45-47. [LI J, ZHU H B, LI C B, et al. Study on nutritional composition and healthy function of pomelo[J]. Modern Food, 2020(24): 45-47.]
- [14] 罗文涛, 彭彬倩, 王姿颐, 等. 奇亚籽蛋白及其活性肽的研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(15): 345-351. [LUO W T, PENG B Q, WANG Z Y, et al. Research progress on chia seed protein and its active peptides[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(15): 345-351.]
- [15] 马云芳, 相启森, 申瑞玲, 等. 奇亚籽的营养成分、健康功效和在食品工业中的应用[J]. 食品工业, 2015, 36(5): 207-212. [MA A Y F, XIANG Q S, SHEN R L, et al. Nutritional components, health-promoting effects of Chia seeds and their application in the food industry[J]. Food Industry, 2015, 36(5): 207-212.]
- [16] MATIGNON A, TECANTE A. Starch retrogradation: From starch components to cereal products[J]. Food Hydrocolloids, 2017, 68: 43-52.
- [17] 王琦. 莲子抗性淀粉降血糖功效及其机理研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2018. [WANG Q. Study on the hypolipidemic effect of lotus seed resistant starch and its mechanism[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2018.]
- [18] 顾娟. 荞麦淀粉理化特性及消化性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2010. [GU J. Physicochemical properties and digestibility of buckwheat starch[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2010.]
- [19] 华燕菲. 低GI小米绿豆面条配方优化及其品质特性的研究[D]. 石家庄: 河北经贸大学, 2020. [HUA Y F. Study on formula optimization and characteristics of low GI millet-mung bean noodles[D]. Shijiazhuang: Hebei University of Economics and Business, 2020.]
- [20] 王家宝. 含丙二醇酯的低脂蛋糕烘焙特性与品质改良研究[D]. 无锡: 江南大学, 2019. [WANG J B. Study on baking characteristics and quality improvement of low-fat cake containing propylene glycol esters[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019.]
- [21] 徐雪娣. 糖尿病患者专用低升糖指数馒头制备技术的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2017. [XU X D. Study on technology of special low glycemic index steamed bread preparation for diabetic patients[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2017.]
- [22] 程燕锋, 王娟, 李尚新, 等. 几种测定香蕉抗性淀粉含量方法的比较[J]. 食品与发酵工业, 2007(8): 153-157. [CHENG Y F, WANG J, LI S X, et al. Comparison of several methods for determination of resistant starch in banana[J]. Food and Fermentation Industries, 2007(8): 153-157.]
- [23] 夏玉琳. 改良剂对全麦馒头品质的影响[D]. 南京: 南京财经大学, 2019. [XIA Y L. Effects of modifying additives on the quality of whole wheat steamed bread[D]. Nanjing: Nanjing University of Finance and Economics, 2019.]
- [24] 王梦倩, 任晨刚, 应剑, 等. 全麦粉营养及加工过程中影响血糖的主要因素分析[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(9): 185-193. [WANG M Q, REN C G, YING J, et al. Nutrition of whole wheat flour and analysis of main factors affecting blood glucose in processing[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(9): 185-193.]
- [25] 薛菲, 陈燕. 膳食纤维与人类健康的研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2014(2): 208-213. [XUE F, CHEN Y. Research progress of dietary fiber and human health[J]. China Food Additives, 2014(2): 208-213.]
- [26] PRADEEP P, 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.
- [27] MIAO M, ZHANG T, MU W, et al. Effect of controlled gelatinization in excess water on digestibility of waxy maize starch[J]. Food Chemistry, 2009, 119(1): 41-48.
- [28] STEFANO E D, OLIVIERO T, UDENIGWE C C. Functional significance and structure-activity relationship of food-derived α -glucosidase inhibitors[J]. Current Opinion in Food Science, 2018, 20: 7-12.
- [29] 吴立根, 屈凌波, 王岸娜, 等. 荞麦营养功能特性及相关食品开发研究进展[J]. 粮油食品科技, 2018, 26(3): 41-44. [WU L G, QU L B, WANG A N, et al. Research progress of functional characteristics of buckwheat and development of its products[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2018, 26(3): 41-44.]
- [30] 杜双奎, 李志西, 于修焯. 荞麦蛋白研究进展[J]. 食品科学, 2004(10): 409-414. [DU S K, LI Z X, YU X Z. Research progress on buckwheat protein[J]. Food Science, 2004(10): 409-414.]
- [31] SINGH J, DARTOIS A, KAUR L. Starch digestibility in food matrix: A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2009, 21(4): 168-180.
- [32] 李恒, 罗登林, 向进乐, 等. 菊粉的性质、功能及在食品中的应用进展[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(4): 185-192. [LI X, LUO D L, XIANG J L, et al. Physicochemical properties, functions and applications of inulin in food: A review[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(4): 185-192.]
- [33] FABEK H, GOFF H D. Simulated intestinal hydrolysis of native tapioca starch: Understanding the effect of soluble fibre[J]. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, 2015, 6(2): 83-98.
- [34] KOU X, LUO D, ZHANG K, et al. Textural and staling characteristics of steamed bread prepared from soft flour added with inulin[J]. Food Chemistry, 2019, 301: 125272.
- [35] YILDIZ E, SUMNU S G, SAHIN S. Effects of buckwheat flour, gums and proteins on rheological properties of gluten-free batters and structure of cakes[J]. Quality Assurance and Safety of Crops & Foods, 2018, 10(3): 245-254.
- [36] 卢洁. 复配功能糖对面包品质的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2022. [LU J. Effect of compound functional sugar on bread quality[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2022.]