

低 GI 青稞复合馒头配方工艺优化及其品质分析

金慧敏¹, 党斌^{1,2*}, 张文刚^{1,2}, 张杰^{1,2}, 杨希娟^{1,2},
马萍³, 刘煜³

(1. 青海大学农林科学院, 青海 西宁 810016; 2. 青海省青藏高原农产品加工重点实验室, 青海 西宁 810016;
3. 青海华实科技投资管理有限公司, 青海华实青稞生物科技开发有限公司, 青海 西宁 810016)

摘要:为优化低升糖指数(GI)青稞复合馒头的配方和加工工艺,文中以青稞粉为主要原料,采用单因素和正交试验对制得的青稞复合馒头的质构特性、营养和抗氧化活性进行分析。结果表明:低GI青稞复合馒头的最优配方及工艺条件为青稞粉添加量25%,藜麦粉添加量15%,荞麦粉添加量15%,改良剂添加量0.8%,酵母添加量1.3%,发酵时间35 min。此条件下制得的青稞复合馒头感官评分为81.2分,GI值为31.94,馒头的外观形状、弹性和麦香味较好,有一定的黏性,纤维含量较高,并且具有一定的抗氧化能力。因此,本配方工艺制得的馒头兼具良好感官品质和低升糖指数功效。

关键词:青稞;馒头;配方工艺;品质分析;低GI值

中图分类号:S512.3 文献标志码:A 文章编号:1006-8996(2022)02-0020-08

DOI:10.13901/j.cnki.qhwxzbk.2022.02.004

Formula process optimization and quality analysis of highland barley composite steamed bread with low GI

JIN Huimin¹, DANG Bin^{1,2*}, ZHANG Wengang^{1,2}, ZHANG Jie^{1,2},
YANG Xijuan^{1,2}, MA Ping³, LIU Yu³

(1. Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Qinghai University, Xining 810016, China;
2. Key Laboratory of Agricultural Products Processing in Qinghai-Tibet Plateau, Xining 810016, China;
3. Qinghai Huashi Technology Investment Management Co., Ltd., Qinghai Huashi Highland Barley Biotechnology Development Co., Ltd., Xining 810016, China)

Abstract: In order to optimize the formula and processing technology of highland barley composite steamed bread with low GI, single factor and orthogonal experiment are used to analyze the texture characteristics, nutrition and antioxidant activity of the processed highland barley composite steamed bread. The results show that the optimum formula and process conditions of highland barley composite steamed bread with low GI are 25% highland barley powder, 15% quinoa flour, 15% buckwheat flour, 0.8% modifier, 1.3% yeast and 35 min fermentation time. The sensory score of highland barley composite steamed bread is 81.2 and GI value is 31.94 prepared under this condition. Steamed bread has good shape, elasticity and wheat flavor, certain viscosity, higher fiber content and certain antioxidant capacity. Therefore, the steamed bread made by this formula technology has both good sensory quality and low GI.

收稿日期:2021-07-07

基金项目:青海省科学技术厅项目(2022-ZJ-Y19,2022-ZJ-Y01,2021ZY010)

作者简介:金慧敏(1995—),女,河北张家口人,青海大学在读硕士研究生。*通信作者, E-mail: dangbin 811@tom.com

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

青稞又称作裸大麦,是青藏高原最具特色的农作物,它具有高蛋白质、高纤维、高维生素、低脂和低糖等优点,贴近于现代健康文明生活所提倡的“三高两低”膳食结构^[1]。青稞中所含的 β -葡聚糖、酚类、黄酮类、GABA及活性多肽等活性成分对人体大有裨益^[2],同时膳食纤维含量达到15%,并且维生素B₁、维生素B₂、烟酸和微量元素钙、磷、铁等的含量都较高,是谷类作物中的佳品^[3],对降低血胆固醇、预防糖尿病和高血脂等均有良好的作用。因此,青稞作为一种特色杂粮可满足人们对营养健康的需求^[4],开发潜力巨大。

馒头是我国的传统主食,是以小麦粉为主要原料,发酵后经蒸汽熟化制得的面制品。普通小麦馒头的淀粉含量高,且经过发酵蒸煮后淀粉糊化程度较高,易被人体消化吸收而导致体内血糖骤然升高,具有很高的血糖生成指数(Glycemic Index, GI),不适宜糖尿病人群食用。一般认为,GI < 55的食物是低GI食物。低GI的食物在食用后,消化较慢,避免了血糖的剧烈波动,有利于血糖的控制,具有预防糖尿病、抑制肥胖、抗高血压等诸多益处,对保持身体健康具有重要作用^[5]。目前,已有以小米粉、黄豆粉^[6]、高粱粉^[7]等为主要原料制得低GI馒头,可以作为特殊人群的主食适量食用。青稞GI值为(29 ± 7)^[8],属于低GI值作物,具有开发成低GI产品的潜力。以高原青稞粉为主要原料研制低GI复合馒头鲜见报道。基于此,本文以青稞粉为主要原料,采用单因素和正交试验优化青稞复合馒头的配方和加工工艺,并分析低GI青稞复合馒头的质构特性、营养和抗氧化活性,使其兼具良好感官品质和低升糖指数功效,以满足糖尿病人群的消费需求,以为低GI青稞复合馒头的工业化生产提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

特制一等粉(甘肃红太阳面业集团有限公司);青稞面粉、荞麦面粉、藜麦面粉(青海新绿康食品有限责任公司);改良剂、高活性干酵母、泡打粉(安琪酵母股份有限公司);瓜尔豆胶、蔗糖酶(活性 ≥ 10 万U/g)、糖化酶(活性 ≥ 10 万U/g)、葡萄糖含量试剂盒(北京索莱宝科技有限公司);胃蛋白酶(活性 ≥ 10 万U/g)、胰酶(活性 ≥ 10 万U/g)(上海源叶生物科技有限公司)。

JMTY型面包体积测定仪(杭州大吉光电仪器有限公司);N4S紫外可见分光光度计(上海仪电分析仪器有限公司);TMS-Pro质构仪(美国FTC公司);Vapodest 50s凯氏定氮仪;Fibretherm FT12粗纤维测定仪;SOX412Macro全自动脂肪提取仪。

1.2 试验方法

1.2.1 低GI青稞复合馒头的制作 称取一定量的青稞粉、荞麦粉、藜麦粉、小麦粉、活性干酵母、改良剂、泡打粉(1 g/100 g)混匀后加入水,充分搅拌,成团后反复揉搓,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,放在托盘上,放入发酵箱,在温度36℃和雾化湿度70%的条件下发酵一定时间。最后在沸水上蒸30 min左右,取出冷却至室温,得到青稞复合馒头样品。

1.2.2 配方试验设计

(1)单因素试验。固定1 g/100 g活性干酵母和0.5 g/100 g改良剂添加量,分别分析青稞粉添加量(10%、30%、50%、70%、90%)、荞麦粉添加量(10%、20%、30%、40%、50%)和藜麦粉添加量(10%、20%、30%、40%、50%)对青稞复合馒头感官评分和GI值的影响。本试验选取单因素试验结果的最优水平设计正交试验。

(2)正交试验。在单因素试验基础上,选取青稞粉添加量、荞麦粉添加量和藜麦粉添加量等3个因素进行正交试验(表1),对青稞复合馒头进行感官评分和GI值测定。

表 1 配方正交试验因素水平表

Tab. 1 Factor levels of formula orthogonal experiment

水平	因素		
	藜麦粉添加量/% (A)	青稞粉添加量/% (B)	荞麦粉添加量/% (C)
1	15	25	15
2	20	30	20
3	25	35	55

1.2.3 工艺试验设计

(1) 单因素试验。在低 GI 青稞复合馒头配方确定的基础上, 分别考察改良剂添加量 (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) 对青稞复合馒头感官品质和 GI 值的影响。本试验选取单因素试验结果的最优水平设计正交试验。

(2) 正交试验。在单因素试验的基础上, 选取改良剂添加量、酵母添加量和发酵时间等 3 个因素进行正交试验 (表 2), 对青稞复合馒头进行感官评定和 GI 值测定。

表 2 工艺正交试验因素水平表

Tab. 2 Factor levels of process orthogonal experiment

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

1.2.4 馒头感官评价方法 参照汪磊等^[9]制定的评定指标对样品进行感官评价, 评价标准见表 3。

表 3 馒头的感官评价标准

Tab. 3 Sensory evaluation criteria of steamed bread

评价指标	标准		
比容/(mL·g) (20)	大于或等于 2.3 得满分; 小于 2.3, 每下降 0.1 扣 1 分		
表面结构 (10)	光滑 (8~10)	局部皱缩, 有凹点, 有烫斑或裂纹 (5~7)	大块皱缩, 塌陷, 有气泡, 有凹点, 有烫斑或裂纹 (1~4)
外观形状 (10)	对称, 挺, 有球形感 (8~10)	中等 (5~7)	扁平或不对称 (1~4)
色泽 (10)	光泽性好 (8~10)	稍暗 (5~7)	灰暗 (1~4)
弹性 (10)	手指按压回弹性好 (8~10)	手指按压回弹性差 (5~7)	手指按压不回弹 (1~4)
内部结构 (15)	纵切面气孔细小均匀 (12~15)	纵切面气孔过于细密但不均匀 (9~11)	纵切面有大气孔, 结构粗糙 (4~8)
韧性 (10)	咬劲强 (8~10)	咬劲一般 (5~7)	咬劲弱, 切时掉渣或咀嚼干硬 (1~4)
黏性 (10)	爽口不黏牙 (8~10)	稍黏 (5~7)	不爽口黏牙 (1~4)
风味 (5)	具有麦香味 (5)	滋味平淡 (3~4)	有异味 (1~2)

注: 表中“()”内数字表示项目指标评分。

1.2.5 品质评价方法 质构特性的测定参考张纷等^[10]的测定参数,比容的测定按照 GB/T 21118—2007《小麦粉馒头》附录 A^[11]的参数,体外 GI 值的测定参照 Chung 等^[12]的方法,营养成分的测定参照胡云峰等^[4]的方法,酚类物质的提取及抗氧化活性测定参照杨希娟等^[13]的方法。

1.2.6 数据分析 数据以平均值±标准差($x \pm SD$)表示,3次重复。利用 Spss 17.0、Excel 2016 和 Origin 6.0 进行数据分析和图形制作。

2 结果与分析

2.1 低 GI 青稞复合馒头的配方优化

2.1.1 配方单因素试验 由图 1a 可知,随着青稞粉添加量的增加,青稞复合馒头中的面筋含量也随之减少,感官品质下降,GI 值亦呈下降趋势。青稞粉添加量为 30% 时,青稞复合馒头的感官品质较高,且此时的 GI 值相对较低。由图 1b 可知,随着荞麦粉添加量的逐渐增多,青稞复合馒头的感官品质不断下降,GI 值整体呈下降趋势,荞麦粉添加量在 10% 和 20% 时,馒头的感官评分相同,但后者 GI 值明显更低,因此荞麦粉添加量选取 20%。由图 1c 可知,随着藜麦粉添加量的增加,青稞复合馒头的感官品质不断下降,GI 值的变化比较大。由于藜麦粉具有一定的苦味,青稞复合馒头的感官评分不高,在藜麦粉添加量为 10% 和 20% 时,感官评分差异不大,但后者 GI 值更低,所以选取的藜麦粉添加量为 20%。

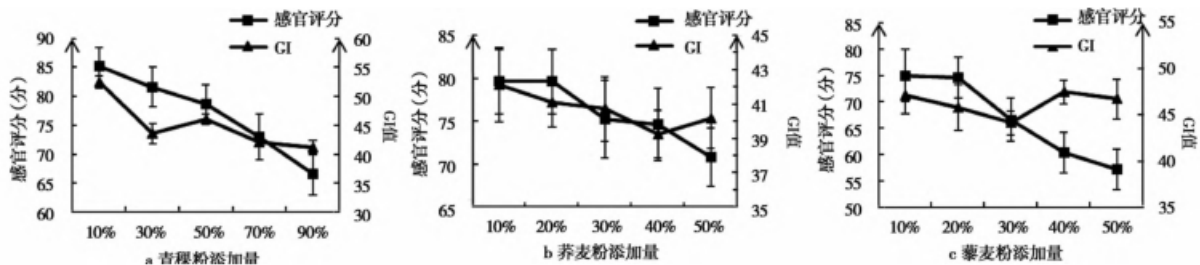


图1 配方单因素试验结果

Fig. 1 Results of formula single-factor experiment

2.1.2 配方正交试验 根据配方单因素试验分析结果,选取青稞粉添加量、荞麦粉添加量和藜麦粉添加量等3个因素,设计 $L_9(3^4)$ 正交试验(表4)。

由表4可知,影响青稞复合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。低GI青稞复合馒头的最佳加工配方为 $A_1B_1C_1$,即藜麦粉添加量15%,青稞粉添加量25%,荞麦粉添加量15%。影响青稞复合馒头GI值的次序为 $R_B > R_A > R_C$,其中青稞粉添加量影响最大,荞麦粉添加量影响最小。因此,低GI青稞复合馒头最佳加工配方为 $A_3B_3C_1$,即藜麦粉添加量25%,青稞粉添加量35%,荞麦粉添加量15%。

对试验验证后可知, $A_1B_1C_1$ 组合GI值为39.46,感官评分为76.6分; $A_3B_3C_1$ 组合GI值为37.15,感官评分为65.63分。两种组合感官评分和GI值差异均显著。 $A_3B_3C_1$ 组合杂粮粉的比例高达75%,青稞复合馒头中的面筋含量太低,会产生黏牙、比容小、颜色暗、弹性和咀嚼性都很差的现象,感官评分仅为65.63分,严重影响了青稞复合馒头的食用品质。而 $A_1B_1C_1$ 组合杂粮粉比例为55%,其感官评分为76.60分,与正交试验结果相比,感官品质在可接受的范围内,且GI值相对较低。因此,低GI青稞复合馒头的加工配方为藜麦粉添加量15%,青稞粉添加量25%,荞麦粉添加量15%。

表 4 配方正交试验结果

Tab. 4 Results of formula orthogonal experiment

试验号	A	B	C	GI 值	感官评分
1	1	1	1	41.57	80.4
2	1	2	2	45.07	73.4
3	1	3	3	40.44	68.4
4	2	1	2	43.81	73.4
5	2	2	3	44.24	67.8
6	2	3	1	40.60	73.4
7	3	1	3	39.82	72.6
8	3	2	1	41.54	71.4
9	3	3	2	40.94	68.2
k_{GI1}	42.36	41.73	41.24		
k_{GI2}	42.88	43.61	43.27		
k_{GI3}	40.76	40.66	41.50		
R_{GI}	2.12	2.96	2.04		
$k_{感官1}$	74.07	75.47	75.07		
$k_{感官2}$	71.53	70.87	71.67		
$k_{感官3}$	70.73	70.00	69.60		
$R_{感官}$	3.33	5.47	5.47		

2.2 低 GI 青稞复合馒头的工艺优化

2.2.1 工艺单因素试验 由图 2a 可知,在确定低 GI 青稞复合馒头原料配方的情况下,改良剂添加量在 0.7% 时,馒头的感官品质最好,GI 值相对较低。由图 2b 可知,青稞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。发酵时间为 35 min 时,青稞复合馒头的感官评分最高,GI 值最低。由图 2c 可知,青稞复合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。酵母添加量在 1.5% 时,青稞复合馒头的感官评分最高,GI 值也相对较低。

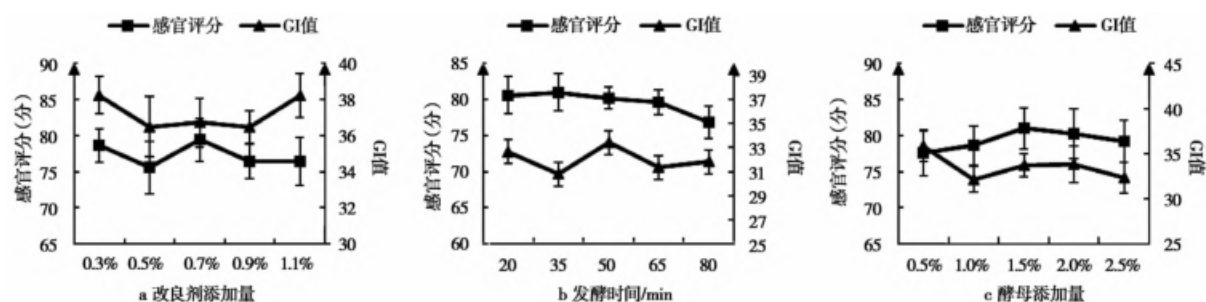


图 2 工艺单因素试验结果

Fig. 2 Results of process single-factor experiment

2.2.2 工艺正交试验 根据单因素试验分析结果,选取改良剂添加量、酵母添加量和发酵时间等3个因素,设计正交 $L_9(3^4)$ 试验,结果见表5。

由表5可知,影响青稞复合馒头感官评分的先后次序为 $R_A > R_C > R_B$,改良剂添加量的影响最大,酵母添加量影响最小。低GI值青稞复合馒头最佳加工配方为 $A_3B_2C_1$,即改良剂添加量0.8%,酵母添加量1.5%,发酵时间25 min。影响青稞复合馒头GI值的先后次序为 $R_C > R_B > R_A$,发酵时间的影响最大,改良剂添加量影响最小。因此,低GI值青稞复合馒头最佳加工配方为 $A_3B_1C_2$,即改良剂添加量0.8%,酵母添加量1.3%,发酵时间35 min。

对试验验证后可知, $A_3B_2C_1$ 组合的感官评分为80.40分,GI值为32.55; $A_3B_1C_2$ 组合的感官评分为81.20分,GI值为31.94。两种组合的感官评分和GI值差异均不显著,且 $A_3B_1C_2$ 组合在高感官评分和低GI值方面都优于 $A_3B_2C_1$ 组合。

表5 工艺正交试验结果
Tab. 5 Results of process orthogonal experiment

试验号	A	B	C	感官评分	GI
1	1	1	1	77.4	31.65
2	1	2	2	77.4	31.33
3	1	3	3	76.6	41.73
4	2	1	2	76.6	31.22
5	2	2	3	76	34.05
6	2	3	1	76.8	32.19
7	3	1	3	77.4	32.18
8	3	2	1	80.6	32.17
9	3	3	2	76.8	31.87
$k_{\text{感官}1}$	77.13	77.13	78.27		
$k_{\text{感官}2}$	76.47	78.00	76.93		
$k_{\text{感官}3}$	78.27	76.73	76.67		
$R_{\text{感官}}$	1.80	1.30	1.60		
$k_{\text{GI}1}$	34.90	31.68	32.00		
$k_{\text{GI}2}$	32.49	32.52	31.47		
$k_{\text{GI}3}$	32.07	35.26	35.99		
R_{GI}	2.83	3.58	4.51		

2.3 低GI青稞复合馒头的质构特性

由表6可知,将在最佳条件下制得的低GI青稞复合馒头与小麦馒头进行比较后发现,青稞复合馒头的硬度、黏附性、胶黏性和咀嚼性显著高于小麦馒头。在质构特性评价中,弹性、硬度和咀嚼度是衡量面制品综合品质的重要指标,在一定范围内,硬度和咀嚼性越小,表明面制品越柔软,适口性越好。^[14]

表 6 低 GI 青稞复合馒头的质构特性

Tab. 6 Texture characteristics of highland barley composite steamed bread with low GI

样品	硬度/N	黏附性/mj	内聚性/Ratio	弹性/mm	胶黏性/N	咀嚼性/mj
青稞复合馒头	(89.02 ± 16.48) a	(0.61 ± 0.64) a	(0.27 ± 0.01) b	(2.02 ± 0.02) a	(26.58 ± 4.74) a	(53.64 ± 9.53) a
对照(普通馒头)	(26.37 ± 5.35) b	(0.07 ± 0.02) b	(0.43 ± 0.01) a	(2.44 ± 0.69) a	(12.54 ± 2.56) b	(31.88 ± 5.61) b

注:表中同列数据后标有不同字母表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著;下同。

2.4 低 GI 青稞复合馒头的成分测定及抗氧化活性

2.4.1 低 GI 青稞复合馒头的成分测定 从表 7 可以看出,青稞复合馒头的灰分、纤维、脂肪和总淀粉含量均显著高于对照组,其中纤维含量为 $(1.61 \pm 0.11) \%$,为对照组的 4.5 倍;脂肪含量为 $(0.83 \pm 0.72) \%$,是对照组的 4.37 倍;总淀粉含量为 $(41.39 \pm 1.90) \%$,是对照组的 1.60 倍。游离酚含量和结合酚含量也显著高于普通小麦馒头,且游离酚含量是对照组的 6.5 倍。

表 7 低 GI 青稞复合馒头的成分

Tab. 7 Composition of highland barley composite steamed bread with low GI

样品	灰分/%	纤维/%	脂肪/%	总淀粉/%	游离酚/ [mg · (100 g) ⁻¹]	结合酚/ [mg · (100 g) ⁻¹]
青稞复合馒头	(0.75 ± 0.06) a	(1.61 ± 0.11) a	(0.83 ± 0.72) a	(41.39 ± 1.90) a	(75.5 ± 0.31) a	(238.3 ± 0.92) a
对照(小麦馒头)	(0.54 ± 0.03) b	(0.36 ± 0.07) b	(0.19 ± 0.05) b	(25.79 ± 1.91) b	(11.63 ± 3.66) b	(190.2 ± 10.66) b

2.4.2 低 GI 青稞复合馒头的抗氧化活性分析 由表 8 可知,低 GI 青稞复合馒头具有一定的 DPPH · 清除能力、铁离子还原能力及 ABTS + · 清除能力。三种抗氧化指标中,低 GI 青稞复合馒头中总酚对 DPPH · 清除能力最强,其次为铁离子还原能力,ABTS + · 清除能力相对较弱,但都显著高于对照组。

表 8 低 GI 青稞复合馒头的抗氧化活性

Tab. 8 Antioxidant activity of highland barley composite steamed bread with low GI

酚类成分	样品	DPPH · 清除能力/ [μmol TE · (100 g) ⁻¹]	铁离子还原能力/ [μmol TE · (100 g) ⁻¹]	ABTS + · 清除能力/ [μmol TE · (100 g) ⁻¹]
游离酚	青稞复合馒头	(248.4 ± 7.89) a	(276.39 ± 3.63) a	(92.44 ± 1.15) a
	对照(小麦馒头)	(51.25 ± 2.35) b	(78.99 ± 1.83) b	(29.79 ± 6.42) b
结合酚	青稞复合馒头	(357.13 ± 6.97) a	(233.99 ± 4.29) a	(57.89 ± 0.10) a
	对照(小麦馒头)	(364.9 ± 5.49) a	(82.06 ± 2.11) b	(23.44 ± 3.24) b
总酚	青稞复合馒头	(605.53 ± 5.78) a	(510.38 ± 6.24) a	(150.33 ± 1.25) a
	对照(小麦馒头)	(416.15 ± 4.69) b	(161.05 ± 4.38) b	(53.23 ± 4.61) b

3 讨论与结论

(1) 以小麦粉为原料的馒头中淀粉含量高,容易被人体消化吸收而导致体内血糖快速升高,不适合糖尿病人群食用。前人关于低 GI 馒头的相关研究较少,已有报道以高粱粉^[7]、山药泥、小米粉、黄豆粉等^[6]为主要原料制得馒头的 GI 值为 46.5 ~ 54.98,但研究报道多集中于原料配方的筛选,较少研究其产品品质。因此,本文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 杂粮复合馒头的配方和加工工艺,并对其品质进行分析。研究结果发现,由于杂粮粉的面筋蛋白含量较少,杂粮粉含量

的增多会降低青稞复合馒头的蓬松度,使感官品质下降,GI值亦呈下降趋势;同时添加一定量的杂粮粉能够降低馒头的GI值,可以有效延缓餐后血糖的升高,宜于糖尿病人群食用。

(2) 经过工艺优化发现,改良剂对青稞馒头的弹性、咀嚼性和内部结构的影响较大。改良剂过少的青稞复合馒头的弹性、咀嚼性较差;过多则馒头的外观形状会有塌陷。青稞复合馒头的感官评价总分随着酵母添加量的增加和发酵时间的延长呈现出先升高后降低的趋势。酵母添加量越大,酵母生长的速度越快,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^[15],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^[12]。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,面团内的气孔壁由此变薄,面团的持气性也随之增强^[16],但随着时间继续延长,面团成熟过度后,持气性则相对较差。只有当酵母的产气力和面团的持气力同时最大时,面制品的体积才能达到最大,同时其内部结构、表面色泽都达到最佳^[17]。

(3) 本试验制作的低GI青稞复合馒头与小麦馒头相比具有丰富的营养成分,硬度和咀嚼度显著高于小麦馒头,与张慧娟等^[18]、刘娟等^[19]的研究结果一致,可能是由于青稞粉中缺少面筋蛋白,不易形成良好的组织结构。青稞杂粮馒头的多酚含量也高于已报道的黑藜麦混配粉馒头(165.41 mg GAE eq./100 g)^[20]和苦荞馒头(115.69 mg GAE eq./100 g)^[21],有研究表明,在面制品中添加荞麦粉^[21]、藜麦粉^[20]和青稞粉能够改善DPPH·清除能力。本试验制得的低GI青稞复合馒头具有预防由氧化应激引起的慢性疾病的潜力。

参考文献:

- [1] 侯殿志,沈群.我国29种青稞的营养及功能组分分析[J].中国食品学报,2020,20(2):289-298.
- [2] 罗静,李玉峰,胥霞.青稞中的活性物质及功能研究进展[J].食品与发酵工业,2018,44(9):300-304.
- [3] 臧靖巍,阚建全,陈宗道,等.青稞的成分研究及其应用现状[J].中国食品添加剂,2004(4):43-46.
- [4] 胡云峰,王晓彬,路敏.高膳食纤维青稞馒头的研究[J].粮食与油脂,2019,32(5):43-47.
- [5] LI D, ZHANG P W, GUO H H, et al. Taking a low glycemic index multi-nutrient supplement as breakfast improves glycemic control in patients with type 2 diabetes mellitus: a randomized controlled trial [J]. *Nutrients*, 2014, 6(12): 5740-5755.
- [6] 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.
- [7] 徐雪娣,关倩倩,李宁,等.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(6):5-9.
- [8] 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.
- [9] 汪磊,云月英,王国泽,等.莜麦馒头微波蒸制工艺的研究[J].中国粮油学报,2014,29(9):82-86.
- [10] 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[J].食品科学,2019,40(14):323-332.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,全国粮油标准化委员会.小麦粉馒头:GB/T 21118-2007[S].北京:中国标准化出版社,2008.
- [12] 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(3): 353-359.
- [13] 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.
- [14] JIANG X L, ZHANG Z Y, FENG S W, et al. Effects of harvest date on quality of BNS hybrid wheat flour and steamed bread [J]. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*, 2013, 24(12): 3495-3500.
- [15] 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.
- [16] 袁蓓蓓.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.
- [17] 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.
- [18] 张慧娟,黄莲燕,王静,等.青稞添加量对面团热机械学性质及馒头品质的影响[J].中国食品学报,2016,16(4):104-112.
- [19] 刘娟,李倩,张玉红,等.青稞全麦馒头的营养、质构及体外淀粉水解特性[J].应用与环境生物学报,2018,24(5):1073-1080.
- [20] 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].食品发酵与工业,2020,46(2):157-164.
- [21] 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.

(责任编辑 唐宏伟)