

藜麦麸皮不可溶性膳食纤维对面包品质的影响

宋志强¹, 戴慧颖², 杨佳茹¹, 朱彦宾³

(1. 齐齐哈尔大学 食品与生物工程学院, 黑龙江 齐齐哈尔 161000; 2. 齐齐哈尔大学 生命科学与农林学院, 黑龙江 齐齐哈尔 161000; 3. 西藏自治区农牧科学院 畜牧兽医研究所, 西藏 拉萨 850000)

摘要: 为提高藜麦麸皮利用度, 改善面包品质, 添加藜麦麸皮不可溶性膳食纤维(0%、3%、6%、9%)制作面包, 通过对面包比容、保水性、老化性、质构特性、感官评价、抗氧化性等特性分析, 研究藜麦麸皮不可溶性膳食纤维含量对面包品质的影响。结果显示: 随藜麦麸皮不可溶性膳食纤维添加量增加, 面包比容、弹性显著减少($P<0.05$), 保水性、硬度、咀嚼性显著增加($P<0.05$), 内聚性无显著变化, 抗氧化活性显著提高($P<0.05$)。研究结果表明, 添加藜麦麸皮膳食纤维可以提高面包品质。

关键词: 藜麦; 麸皮; 不可溶性膳食纤维; 面包品质; 抗氧化性

Effect of Quinoa Bran Insoluble Dietary Fiber on Bread Quality

SONG Zhi-qiang¹, DAI Hui-ying², YANG Jia-ru¹, ZHU Yan-bin³

(1. College of Food and Biological Engineering, Qiqihar University, Qiqihar 161000, Heilongjiang, China; 2. College of Life Sciences and Agriculture and Forestry, Qiqihar University, Qiqihar 161000, Heilongjiang, China; 3. Institute of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lasa 850000, Tibet, China)

Abstract: To improve the availability of quinoa bran and bread quality, the bread was prepared with adding different amounts of quinoa bran insoluble dietary fiber (QB-IDF) (0%, 3%, 6% and 9%). The effects of QB-IDF content on the bread quality were investigated through analyzing the characteristics of specific volume, water retention, aging, textural properties, sensory evaluation, and antioxidant properties of bread. The results showed that as the addition of QB-IDF increased, the volume and elasticity of bread decreased ($P<0.05$), while the water retention, hardness and chewiness of bread increased ($P<0.05$). The cohesiveness of bread did not change significantly, and the antioxidant activity improved as QB-IDF increased ($P<0.05$). The results suggest that QB-IDF improves the bread quality.

Key words: quinoa; bran; insoluble dietary fiber; bread quality; anti-oxidation

引文格式:

宋志强, 戴慧颖, 杨佳茹, 等. 藜麦麸皮不可溶性膳食纤维对面包品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(21): 8-13.
SONG Zhiqiang, DAI Huiying, YANG Jiaru, et al. Effect of Quinoa Bran Insoluble Dietary Fiber on Bread Quality[J]. Food Research and Development, 2022, 43(21): 8-13.

藜麦(*Chenopodium quinoa*)作为“准谷物”, 因含有多种生物活性物质而受到广泛关注^[1]。但在农业生产加工上, 藜麦麸皮(*Chenopodium quinoa* bran, QB)一直被

当作废弃物丢弃或加工为动物饲料, 没有发挥应有的价值。QB除了含有较高水平的皂苷、黄酮和大量膳食纤维成分, 还具有抗菌、抑制酪氨酸酶活性^[2]、保肝^[3]、抗纤

基金项目: 黑龙江省教育厅基本科研业务费植物性食品加工特色学科项目(YSTSXK201823); 黑龙江省教育厅基本科研业务费项目(135309369)

作者简介: 宋志强(1984—), 男(汉), 讲师, 博士, 研究方向: 农副产品加工。

维化^[4]、抑制 α -葡萄糖苷酶的作用^[5],应用前景良好。

膳食纤维(dietary fiber, DF)分为不可溶性膳食纤维(insoluble dietary fiber, IDF)和可溶性膳食纤维(soluble dietary fiber, SDF)。DF具有减少脂肪吸收和能量摄入、改善肠道环境、预防糖尿病和癌症发生、缓解女性痛经的功效^[6]。然而目前人们DF摄入量不足,普遍低于日常摄入水平(日摄入25 g)^[7]。面包作为面食既是良好的主食,又是受欢迎的休闲食品,每年的消耗量巨大,是很好的膳食纤维载体。将DF加入面包中既可以提高人们膳食纤维的摄入,又可以提高面包品质,降低面包热量^[8]。目前关于藜麦麸皮膳食纤维面包的研究较少。

本文利用藜麦麸皮不可溶膳食纤维(QB-IDF)提高面包的品质,将QB-IDF与面粉以不同质量比混合制成面包,通过测定保水性、理化指标、色泽、质构特性、感官评价、抗氧化性等,研究QB-IDF对面包品质的影响。为藜麦麸皮的利用及其膳食纤维面包的生产提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

藜麦麸皮:内蒙古家中和粮油储运有限公司;中盐精制盐、蔗糖:市售;食用油:益海嘉里金龙鱼粮油食品股份有限公司;高活性干酵母:安琪酵母股份有限公司;马头100面包用小麦粉:香港面粉厂有限公司;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical, DPPH):上海阿拉丁生化科技股份有限公司;高温淀粉酶(40 000 U/g)、中性蛋白酶(200 000 U/g)、葡萄糖苷酶(50 000 U/g):浙江一诺生物科技有限公司。其他试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

101-1-BS电热恒温鼓风干燥箱、HH.S21-4电热恒温水浴锅:上海跃进医疗器械厂;FTIR-650傅里叶红外光谱仪:天津港东科技股份有限公司;TMS-PRO型质构仪:北京盈盛恒泰有限责任公司;ME104E分析天平:梅特勒-托利多科技(中国)有限公司;雷磁PHS-2F型pH计:上海欧史拓尔实业有限公司;TDL-5-A低速台式离心机:上海安亭科学仪器厂;OMEGA醒发箱、OMJ-2/4分层烤炉:欧美佳食品机械有限公司;BHS30A双动和面机:江苏恒宇食品机械有限公司;CR-20色差计:柯尼卡美能达(中国)投资有限公司。

1.3 方法

1.3.1 QB-IDF 制备

QB-IDF采用分析化学师学会AOAC 991.43方法提取。QB按料水比1:10(g/mL)加入去离子水充分搅

匀后于沸水浴中煮沸灭酶15 min。自然冷却后,调节pH值至6.5,加入高温淀粉酶,沸水浴30 min。调节pH值至4.2,加入糖化酶60℃水浴30 min。再调节pH值至6.5,加入中性蛋白酶,55℃水浴50 min。将上述酶解后的样液煮沸灭酶10 min,过8 h后4 000 r/min离心40 min,收集沉淀物,经3次去离子水漂洗去酶后60℃干燥至恒重,即得藜麦麸皮不可溶膳食纤维。

1.3.2 面包配方与工艺流程

面包配方:500 g马头100面包用小麦粉、15 g食用油、15 g盐、25 g蔗糖、4 g酵母、300 mL水^[9]。面团成型后切割500 g于模具中用于后续醒发烘焙。QB-IDF粉按小麦粉质量分数3%、6%、9%加入。

工艺流程:原料预处理→面粉搅拌→成型→面团→醒发(37℃,2 h)→烘烤(上火180℃;下火190℃;时间35 min)→冷却→成品→测量。

1.3.3 QB-IDF 面包比容的测定

根据GB/T 20981—2021《面包质量通则》,于面包出炉冷却1 h后测定。待测面包称重,质量为 W (g)。将适宜容量的容器装满小米,压实。倒出部分小米,将待测面包放入容器内,然后倒回小米,将容器装满压实直尺刮平。最后用量筒量取剩余的小米体积 V (mL),为待测面包的实际体积。面包比容计算公式如下。

$$P(\text{mL/g}) = \frac{V}{W}$$

式中: P 为面包比容,mL/g; V 为小米体积,mL; W 为面包质量,g。

1.3.4 QB-IDF 面包质构指标的测定

将面包切成12.5 mm薄片,叠加测定面包芯部位的质构特性。采用TMS-PRO型质构仪测定面包的硬度、弹性、回复性等质构参数。测试探头为P/36R,质构参数:触发力5 g,测试速度1 mm/s;压缩至样品原高度的50%,2次压缩间隔的时间为5 s^[10]。

1.3.5 QB-IDF 面包感官测定

面包烘焙完成2 h后,参考GB/T 20981—2021中的方法,基于色泽、外形、质地、口感、风味5个方面对面包进行感官评分,总分为100分。以10人(其中男女比例为1:1,年龄在22岁~24岁)组成小组对面包进行感官评分,取平均值。面包感官评分标准见表1^[11]。

1.3.6 QB-IDF 面包保水性测定

参照GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中的直接干燥法测定。将不同膳食纤维含量的面包放入敞口塑料袋中,在室内常温的条件下,每天进行定时称重。在保质期7 d内,通过面包质量的变化,比较不同膳食纤维含量面包的保水性^[12]。

1.3.7 QB-IDF 面包色值测定

将烘焙好的面包置于22℃~24℃下冷却1 h,将面

表1 面包感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation standard of bread

项目	评分标准	分值
色泽	表面金黄色,色泽基本均匀,无发白、烤焦迹象	11~15
	颜色略深,色泽暗淡,不均匀	6~10
	表面发黑,无光泽	≤5
外形	外形完整,厚薄基本均匀,花纹清晰,不收缩,不变形	11~15
	体积略小,表面光洁平滑,较蓬松	6~10
	体积较小,表面粗糙,无裂痕	≤5
质地	内质结构细密均匀,片型整齐,有明显层次,无杂质	11~15
	气孔大或小,较均匀,坚实部分连成片较少	6~10
	气孔过大或过小,实质部分连成一片	≤5
口感	松软,爽口,味道纯正,咬下复原快	31~40
	较松软,弹性稍弱,咬下能复原	16~30
	不松软,弹性差,咬下复原慢	≤15
风味	面包香味浓,无异味,具有淡香	11~15
	味不纯正,有轻度苦味	6~10
	味不纯正,有较重苦味	≤5

包切成小块,使用 CR-20 色差计对面包芯和面包表皮进行色值测定,测出 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值(L^* 值代表明暗度; a^* 值代表红绿色; b^* 值代表黄蓝色)。 ΔE 计算方法参考文献[13],计算公式如下。

$$\Delta E = \sqrt{(L1-L2)^2 + (a1-a2)^2 + (b1-b2)^2}$$

式中: $L1$ 、 $a1$ 、 $b1$ 分别为对照组面包色差值; $L2$ 、 $a2$ 、 $b2$ 分别为测得的 QB-IDF 面包色差值。

1.3.8 QB-IDF 面包老化度测定

取放置 48 h 后的面包 10 g,放入孔径为 0.36 mm 标准筛中,并放入 10 个直径 5 mm 的不锈钢球,以 120 r/min 频率振荡 5 min,称取筛下物的质量,以单位时间内筛下面包屑的质量作为衡量面包老化程度的标准,筛下的面包屑越多,产品的抗老化性能越差,老化程度越严重[14]。

1.3.9 傅里叶红外光谱测定

应用 FTIR-650 傅里叶红外光谱(Fourier transform infrared spectrometer, FTIR)测定面包的化学结构。取 2 mg 冷冻干燥后的面包芯样品研磨均匀,再用压片机压片,压力保持 15 kPa,光谱范围为 4000 cm^{-1} ~ 400 cm^{-1} ,扫描累加 32 次,分辨率为 4 cm^{-1} 。

1.3.10 QB-IDF 面包抗氧化性测定

DPPH 自由基清除率检测方法参考文献[16]。

1.3.11 统计分析

所有结果以平均值±标准差表示。采用 JMP 11 软件进行 Tukey HSD 多重比较, $P<0.05$ 说明差异显著。

2 结果与分析

2.1 QB-IDF 添加量对面包醒发高度和比容的影响

QB-IDF 添加量对面团醒发高度和面包比容的影

响见表 2。

表2 QB-IDF 添加量对面包比容的影响

Table 2 Effect of QB-IDF addition on volume of bread

QB-IDF 添加量/%	醒发高度/cm	质量/g	体积/mL	比容/(mL/g)
0	6.3±0.0 ^a	442.1±9.7 ^b	2 976.7±169.8 ^a	6.7±0.3 ^a
3	5.8±0.0 ^b	459.7±7.9 ^{ab}	2 983.3±45.0 ^a	6.5±0.2 ^a
6	5.2±0.1 ^c	462.7±6.8 ^{ab}	2 566.7±260.4 ^a	5.6±0.7 ^a
9	4.8±0.0 ^d	482.2±2.8 ^a	1 580.0±8.2 ^b	3.3±0.1 ^b

注:同列不同字母代表差异显著($P<0.05$)。

由表 2 可知,随着 QB-IDF 添加量的增加,面包醒发高度显著下降($P<0.05$)。原因可能是 QB-IDF 与面团蛋白质相互作用,减少面筋蛋白二硫键形成,导致醒发时二氧化碳存留量减少,所以醒发后体积减小,比容下降[17-19]。然而烘烤后,只有 9% QB-IDF 面包比容显著下降($P<0.05$)。说明 3%和 6% QB-IDF 含量不影响面包比容。

2.2 QB-IDF 添加量对面包保水性的影响

QB-IDF 添加量对面包保水性的影响见表 3。

表3 QB-IDF 添加量对面包保水性的影响

Table 3 Effect of QB-IDF addition on water-holding capacity of bread

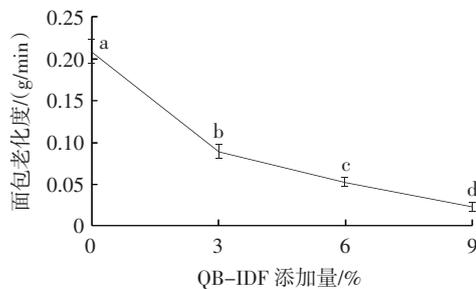
QB-IDF 添加量/%	失水量/g				
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d
0	20.0±1.7 ^a	25.4±1.2 ^a	29.4±1.3 ^a	40.0±1.4 ^a	49.6±1.6 ^a
3	17.1±1.4 ^{ab}	22.5±1.4 ^a	27.6±2.1 ^{ab}	36.9±1.7 ^a	43.8±1.3 ^b
6	14.8±1.4 ^b	20.5±1.7 ^{ab}	25.7±1.7 ^{ab}	35.4±2.1 ^a	41.0±2.1 ^b
9	12.9±1.9 ^b	17.2±1.9 ^b	22.8±1.9 ^b	27.9±0.9 ^b	32.6±0.9 ^c

注:同列不同字母代表差异显著($P<0.05$)。

由表 3 可知,随着 QB-IDF 添加量的增加,面包失水量逐渐减少。放置 5 d,膳食纤维面包失水量显著降低($P<0.05$)。说明添加 QB-IDF 能提高面包保水性,进而延迟面包老化,增长货架期[20]。

2.3 QB-IDF 添加量对面包老化度的影响

QB-IDF 添加量对面包老化度的影响见图 1。



不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图1 QB-IDF 添加量对面包老化度的影响

Fig.1 Effect of QB-IDF addition on staling of bread

由图1所示,添加QB-IDF后,面包的老化度显著降低($P<0.05$)。这可能是由于膳食纤维在面团内与其他组分争夺与水分结合,从而降低面包的老化度^[21]。另外QB-IDF具有很好的持水性,在一定程度上阻碍水

分扩散,从而减少面包贮存过程中老化的发生^[22]。

2.4 QB-IDF添加量对面包色值的影响

QB-IDF添加量对面包色值的影响见表4。

面包颜色影响整体感官品质。由表4可知,随着

表4 QB-IDF添加量对面包皮和面包芯色值的影响

Table 4 Effect of QB-IDF addition on color parameters of bread

QB-IDF添加量/%	面包皮				面包芯			
	L*值	a*值	b*值	ΔE	L*值	a*值	b*值	ΔE
0	40.6±1.5 ^a	16.8±0.3 ^{ab}	22.6±0.9 ^a		76.3±2.5 ^a	1.8±0.3 ^d	19.2±0.9 ^e	
3	41.4±0.2 ^a	17.1±1.0 ^a	22.7±0.5 ^a	0.8	68.9±0.4 ^b	4.5±0.1 ^c	23.5±0.1 ^b	8.9
6	42.6±0.3 ^a	15.4±0.1 ^b	22.8±0.2 ^a	2.4	59.6±1.1 ^c	6.3±0.5 ^b	25.1±0.7 ^b	18.3
9	42.3±0.6 ^a	17.1±0.1 ^a	24.6±0.7 ^a	2.6	56.4±1.3 ^c	7.8±0.3 ^a	27.3±0.5 ^a	22.3

注:同列不同字母代表差异显著($P<0.05$)。

QB-IDF添加量的增加,面包皮L*值在40.6~42.6,无显著差异($P>0.05$),面包芯L*值6%和9%组较3%和0%组显著下降($P<0.05$),说明面包皮亮度变化不明显,面包芯亮度变暗。面包皮a*值和b*值无明显差别,面包芯a*和b*值明显增加。说明面包皮红色和黄色度变化不明显,而面包芯因QB-IDF添加量增加逐渐趋向棕色。

国际照明委员会将整体色差分类为ΔE在0~2,差异无法肉眼识别;2.0~3.5,色差可以被一个没有经验的观察者识别;在3.5以上,色差明显。6%组和9%组面包皮ΔE分别为2.4和2.6能被识别,3%、6%、9%组面包芯色差明显。尽管色值有别于0%组,但QB-IDF色泽可作为天然食品着色剂,比目前食品工业常用的合成或半合成着色剂更易被消费者接受^[23]。因此,QB-IDF面包添加量为3%、6%、9%时不影响消费者的选择。

2.5 QB-IDF添加量对面包质构特性的影响

QB-IDF添加量对面包质构特性的影响见表5。

品质优良的面包应具有较大的弹性和较小的硬

表5 QB-IDF添加量对面包质构特性的影响

Table 5 Effect of QB-IDF addition on texture of bread

QB-IDF添加量/%	硬度/N	内聚性	弹性	咀嚼性	胶黏性
0	13.1±5.3 ^c	0.5±0.1 ^a	6.6±1.1 ^a	8.7±1.4 ^b	5.6±1.1 ^c
3	15.1±3.0 ^b	0.5±0.1 ^a	6.6±0.4 ^a	14.3±3.5 ^a	7.7±1.2 ^{ab}
6	20.1±3.4 ^{ab}	0.5±0.1 ^a	6.7±0.6 ^a	16.2±1.4 ^a	9.4±1.3 ^{ab}
9	28.8±3.7 ^a	0.4±0.1 ^a	5.2±0.5 ^b	19.3±2.1 ^a	12.5±3.2 ^a

注:同列不同字母代表差异显著($P<0.05$)。

度、咀嚼性。质构参数一定程度上决定了感官上的口感和形态。由表5所示,随着QB-IDF添加量的增加,内聚性无显著变化,面包硬度明显上升,弹性9%组较其他组显著下降($P<0.05$),QB-IDF添加组的咀嚼性和胶黏性显著升高。当QB-IDF添加量为3%时,除咀嚼性外各指标变化与0%面包相差较小,面包品质降低相对较小。

2.6 QB-IDF面包红外光谱

面包的红外光谱见图2。

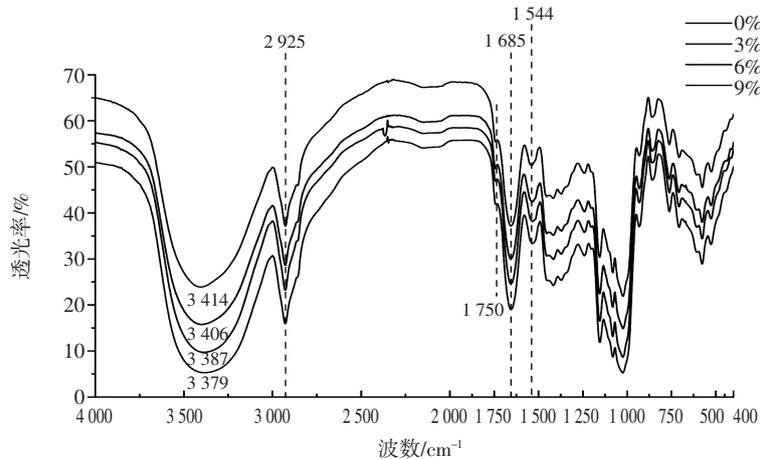


图2 面包红外光谱

Fig.2 Infrared spectroscopy of bread

由图2所示,3%、6%、9% QB-IDF 添加量的面包 FT-IR 光谱与 0%组基本一致。随着膳食纤维添加量的增加,各峰振动基本没有发生变化,没有产生新的峰,说明没有产生新的基团。在 3400 cm^{-1} 附近吸收峰是由氢键形成引起的 O-H 伸缩振动,随 QB-IDF 添加量的增加,面包 FT-IR 发生右偏移,谱带变宽,说明内部缔合状态的氢键更多^[24],这可能与面包含水量增加有关。

2.7 QB-IDF 添加量对面包感官的影响

QB-IDF 添加量对面包感官的影响见表6。

表6 QB-IDF 添加量对面包感官的影响

Table 6 Effect of QB-IDF addition on sensory evaluation of bread

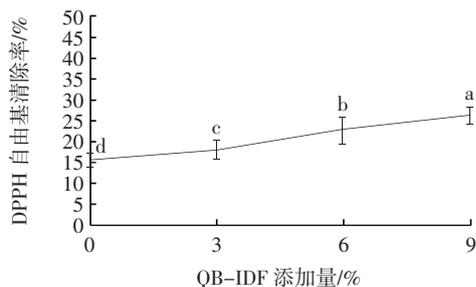
QB-IDF 添加量/%	色泽	外形	质地	口感	风味	感官评分
0	11.5±1.3 ^a	11.9±1.6 ^a	12.3±0.9 ^a	36.2±0.9 ^a	12.4±0.9 ^a	84.3±3.4 ^a
3	9.9±2.2 ^{ab}	11.8±1.5 ^a	10.9±1.2 ^a	31.1±1.1 ^b	10.4±1.1 ^b	74.1±3.3 ^b
6	9.5±2.1 ^{ab}	8.5±0.7 ^b	8.8±1.1 ^b	25.4±1.0 ^c	8.6±1.4 ^c	60.8±2.6 ^c
9	7.7±1.6 ^b	7.8±0.9 ^b	6.5±2.2 ^c	18.5±1.2 ^d	6.9±0.5 ^d	47.4±2.3 ^d

注:同列不同字母代表差异显著($P<0.05$)。

如表6所示,随着 QB-IDF 添加量的增加,面包感官评分显著下降($P<0.05$)。QB-IDF 添加量为 3%时,其色泽、外形和质地与小麦面包(0% QB-IDF)相近,但口感和风味有一定差异,综合评价较好。该结果与质构试验结果一致。

2.8 QB-IDF 添加量对面包抗氧化性的影响

QB-IDF 添加量对面包抗氧化性的影响见图3。



不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图3 QB-IDF 添加量对面包抗氧化性的影响

Fig.3 Effect of QB-IDF addition on antioxidant activity of bread

如图3所示,9%组抗氧化性较0%组显著升高($P<0.05$),提高了68%。抗氧化性提高可能是因为 QB-IDF 中包含酚类物质^[25],酚类物质可以与多糖形成氢键和酯键而未被水溶解,在膳食纤维提取时与之共存。有研究表明高温烘焙后,抗氧化物质仍能具有良好的抗氧化性^[26]。结果说明 QB-IDF 能提高面包抗氧化性,使面包具有较好的营养功效。

3 结论

将 QB-IDF 应用于面包,不仅为消费者提供一种健康食品,更为藜麦麸皮的综合利用提供了新途径。

小麦粉中添加 QB-IDF 能显著影响面包品质、提高面包抗氧化性。随着 QB-IDF 添加量的增加,面包比容、弹性明显减少;面包保水性、硬度、咀嚼性、抗氧化能力明显增加。综合比容、质构和感官分析等结果,小麦粉中添加量 3%时藜麦麸皮不可溶性膳食纤维面包总体评价较好。

参考文献:

- [1] PATHAN S, SIDDIQUI R A. Nutritional composition and bioactive components in quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) greens: A review[J]. *Nutrients*, 2022, 14(3): 558.
- [2] 赵雷, 丁葵英, 郑星, 等. 藜麦麸皮不同极性部位的抑菌及酪氨酸酶抑制活性研究[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(6): 82-88, 94. ZHAO Lei, DING Kuiying, ZHENG Xing, et al. Bacteriostatic and tyrosinase inhibitory activities of different polar sites from quinoa bran[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(6): 82-88, 94.
- [3] LIN T A, KE B J, CHENG S C, et al. Red quinoa bran extract prevented alcoholic fatty liver disease via increasing antioxidative system and repressing fatty acid synthesis factors in mice fed alcohol liquid diet[J]. *Molecules* (Basel, Switzerland), 2021, 26(22): 6973.
- [4] LIN T A, KE B J, CHENG S C, et al. Red quinoa bran extracts protects against carbon tetrachloride-induced liver injury and fibrosis in mice via activation of antioxidative enzyme systems and blocking TGF- β 1 pathway[J]. *Nutrients*, 2019, 11(2): 395.
- [5] DONG Q, HU N, YUE H, et al. Identification of α -glucosidase inhibitors from the bran of *Chenopodium quinoa* Willd. by surface plasmon resonance coupled with ultra-performance liquid chromatography and quadrupole-time-of-flight-mass spectrometry[J]. *Journal of Chromatography B-Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*, 2021, 1181: 122919.
- [6] NAGATA C, OBA S, SHIMIZU H. Associations of menstrual cycle length with intake of soy, fat, and dietary fiber in Japanese women[J]. *Nutrition and Cancer*, 2006, 54(2): 166-170.
- [7] REYNOLDS A, MANN J, CUMMINGS J, et al. Carbohydrate quality and human health: A series of systematic reviews and meta-analyses[J]. *The Lancet*, 2019, 393(10170): 434-445.
- [8] PURIĆ M, RABRENOVIĆ B, RAC V, et al. Application of defatted apple seed cakes as a by-product for the enrichment of wheat bread[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 130: 109391.
- [9] HUANG Z, WANG J J, CHEN Y, et al. Effect of water-soluble dietary fiber resistant dextrin on flour and bread qualities[J]. *Food Chemistry*, 2020, 317: 126452.
- [10] GUO L N, XU D, FANG F, et al. Effect of glutathione on wheat dough properties and bread quality[J]. *Journal of Cereal Science*, 2020, 96: 103116.

- [11] 刘宁, 任歌, 陈雪峰, 等. 枸杞皮渣的超微粉碎及其在面包中的应用[J]. 农产品加工, 2021(6): 11-13, 19.
LIU Ning, REN Ge, CHEN Xuefeng, et al. Study on superfine comminution of *Lycium barbarum* peel and its application in bread[J]. Farm Products Processing, 2021(6): 11-13, 19.
- [12] 刘婷婷, 刘健影, 王大为. 玉米高品质膳食纤维对面包质构特性影响[J]. 粮食与油脂, 2013, 26(9): 27-30.
LIU Tingting, LIU Jianying, WANG Dawei. Effect of corn high quality dietary fiber on physical properties of bread[J]. Cereals & Oils, 2013, 26(9): 27-30.
- [13] MARTÍNEZ-GIRÓN J, FIGUEROA-MOLANO A M, ORDÓÑEZ-SANTOS L E. Effect of the addition of peach palm (*Bactris gasipaes*) peel flour on the color and sensory properties of cakes[J]. Food Science and Technology, 2017, 37(3): 418-424.
- [14] 田海娟, 朱珠, 高筠鹏, 等. 荞麦粉对面团特性及面包品质的影响[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(12): 25-27.
TIAN Haijuan, ZHU Zhu, GAO Junpeng, et al. Effect of buckwheat flour on dough properties and bread quality[J]. Cereals & Oils, 2018, 31(12): 25-27.
- [15] 肖志刚, 刘璐, 王丽爽, 等. 小麦麸皮的品质改良及含麸皮面包烘烤品质的研究[J]. 现代食品科技, 2019, 35(11): 66-75.
XIAO Zhigang, LIU Lu, WANG Lishuang, et al. Quality improvement of wheat bran and baking properties of bread incorporated with wheat bran[J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(11): 66-75.
- [16] 张佳佳, 王昱丹, 罗慧, 等. 蒲公英戚风蛋糕的烘焙品质及其酚类物质抗氧化活性[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(4): 142-146.
ZHANG Jiajia, WANG Yudan, LUO Hui, et al. Effect of dandelion flour on baking qualities and polyphenols antioxidant activities of chiffon cake[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(4): 142-146.
- [17] 王然. 辣椒籽膳食纤维面包的加工工艺及品质研究[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(11): 14-17.
WANG Ran. Study on processing technology and quality of pepper seeds dietary fiber bread[J]. Cereals & Oils, 2018, 31(11): 14-17.
- [18] 李真, 董英, 於来婷, 等. 大麦全粉对面团特性及面包烘烤品质的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(4): 197-202, 300.
LI Zhen, DONG Ying, YU Laiting, et al. Effect of whole barley flour addition on dough properties and quality of bread[J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(4): 197-202, 300.
- [19] ROMANKIEWICZ D, HASSOON W H, CACAK-PIETRZAK G, et al. The effect of chia seeds (*Salvia hispanica* L.) addition on quality and nutritional value of wheat bread[J]. Journal of Food Quality, 2017, 2017: 7352631.
- [20] 刘婷婷, 徐玉娟, 王大为. 米糠高品质膳食纤维在面包生产中的应用[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(10): 1-5.
LIU Tingting, XU Yujuan, WANG Dawei. The application of rice bran high quality dietary fiber in bread production[J]. Food Research and Development, 2014, 35(10): 1-5.
- [21] 鲍金勇, 王娟, 赵国建, 等. 香蕉皮膳食纤维在面包中的应用研究[J]. 粮食与饲料工业, 2006(6): 17-19, 22.
BAO Jinyong, WANG Juan, ZHAO Guojian, et al. A study on application of banana peel dietary fiber in bread[J]. Cereal & Feed Industry, 2006(6): 17-19, 22.
- [22] 刘静娜, 黄志娜, 吴丽萍. 芦笋膳食纤维的提取及其在面包中的应用[J]. 食品科技, 2010, 35(11): 178-181, 185.
LIU Jingna, HUANG Zhina, WU Liping. Extraction of dietary fiber from *Asparagus* and its appliance in the bread[J]. Food Science and Technology, 2010, 35(11): 178-181, 185.
- [23] ROZYLO R, WOJCIK M, DZIKI D, et al. Freeze-dried elderberry and chokeberry as natural colorants for gluten-free wafer sheets[J]. International Agrophysics, 2019, 33(2): 217-225.
- [24] 栗俊广, 姜茜, 望运滔, 等. 不同来源膳食纤维的结构和理化性质分析[J]. 食品与机械, 2020, 36(12): 18-23.
LI Junguang, JIANG Xi, WANG Yuntao, et al. The structure and physicochemical properties of different types of dietary fiber[J]. Food & Machinery, 2020, 36(12): 18-23.
- [25] REPO-CARRASCO-VALENCIA R, ACEVEDO DE LA CRUZ A, ICOCHEA ALVAREZ J C, et al. Chemical and functional characterization of kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) grain, extrudate and bran[J]. Plant Foods for Human Nutrition (Dordrecht, Netherlands), 2009, 64(2): 94-101.
- [26] 王宝贝, 蒋霖锴, 刘璐璐, 等. 鲭鱼活性肽对吐司面包品质的影响及其生物活性研究[J/OL]. 食品与发酵工业, 2021: 1-9[2022-04-01]. https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CAPJ&dbname=CAPJLAST&filename=SPFX20211206000&uniplatform=NZKPT&v=_f6t9sWdgG4-O2hipVWkgmlCzjtT9JsfX8Z_Uo-nTZdCzrBCrK-5ekj09wd3Q0Q.
WANG Baobei, JIANG Linpu, LIU Lulu, et al. Mackerel bioactive peptides and the effect of these peptides on bread quality[J/OL]. Food and Fermentation Industries, 2021: 1-9[2022-04-01]. https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CAPJ&dbname=CAPJLAST&filename=SPFX20211206000&uniplatform=NZKPT&v=_f6t9sWdgG4-O2hipVWkgmlCzjtT9JsfX8Z_Uo-nTZdCzrBCrK-5ekj09wd3Q0Q.

加工编辑:冯娜

收稿日期:2022-04-17