

翟会生, 李俏, 刘廷辉, 陈多, 肖富彤, 谢容, 杨开俊, 潘志芬. 青稞蒸蛋糕与小麦蒸蛋糕的品质差异[J]. 应用与环境生物学报, 2022, 28 (4): 982-988
Zhai HS, Li Q, Liu TH, Chu D, Xiao FT, Xie R, Yang KJ, Pan ZF. Differences in the quality of steamed hull-less barley and wheat cakes [J]. Chin J Appl Environ Biol, 2022, 28 (4): 982-988

青稞蒸蛋糕与小麦蒸蛋糕的品质差异

翟会生¹ 李俏¹ 刘廷辉³ 陈多⁴ 肖富彤^{1,2} 谢容^{1,2} 杨开俊³ 潘志芬^{1✉}

¹中国科学院成都生物研究所 成都 610041

²中国科学院大学 北京 100049

³甘孜州农业科学研究所 康定 626099

⁴西藏旺达青稞食品有限责任公司 日喀则 857399

摘要 青稞是青藏高原极具特色的健康食源, 选择3份不同的青稞成功制作青稞蒸蛋糕, 比较青稞蒸蛋糕与小麦蒸蛋糕的营养成分、感官品质、质构特性及体外淀粉水解的差异. 结果表明: (1) 青稞蒸蛋糕总膳食纤维(4.50%-5.12%)、 β -葡聚糖(2.96%-3.96%)、总黄酮(12.56-38.73 mg/100 g)、 γ -氨基丁酸(5.08-9.53 mg/100 g)等含量显著高于小麦蒸蛋糕(分别为0.65%、0.23%、3.93 mg/100 g、2.63 mg/100 g); (2) 普通青稞感官评价与小麦蒸蛋糕无显著差异, 糯青稞08-1127蒸蛋糕外形塌陷并开裂、稀软不成型; (3) 青稞蒸蛋糕质构特性整体低于小麦蒸蛋糕, 但普通青稞蒸蛋糕的弹性、恢复性、胶着性、黏附性与小麦蒸蛋糕接近, 糯青稞08-1127蒸蛋糕的弹性、恢复性、黏聚性及黏附性均显著低于普通青稞蒸蛋糕; (4) 青稞蒸蛋糕最大淀粉水解率(38.76%-42.74%)、快速消化淀粉含量(11.58%-13.16%)、慢消化淀粉含量(5.34%-7.56%)、血糖生成指数(59.37-61.67)、水解指数(35.82-40.00)均小于小麦蒸蛋糕(分别为49.92%、17.21%、15.97%、76.66、67.30), 而抗性淀粉含量(2.74%-3.55%)大于小麦蒸蛋糕(1.68%). 本研究表明普通青稞蒸蛋糕营养成分含量显著高于小麦蒸蛋糕, 体外淀粉水解参数优于小麦蒸蛋糕, 质构特性与小麦蒸蛋糕无显著差异, 且具有青稞香味; 普通青稞适宜制作蒸蛋糕, 可兼顾营养与感官品质, 而糯青稞不适宜制作蒸蛋糕. (图3表6参39)

关键词 青稞; 糯青稞; 蒸蛋糕; 营养物质; 结构特性; 体外淀粉水解

Differences in the quality of steamed hull-less barley and wheat cakes

ZHAI Huisheng¹, LI Qiao¹, LIU Tinghui³, CHU Duo⁴, XIAO Futong^{1,2}, XIE Rong^{1,2}, YANG Kaijun³ & PAN Zhifen^{1✉}

¹ Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

² University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

³ Ganzi Institute of Agriculture Sciences, Kangding 626099, China

⁴ Tibet Wangda Highland Barley Food Co., Ltd., Xigazê 857399, China

Abstract In this study, three different hull-less barley varieties were used to prepare steamed cakes, and their nutritional value, sensory qualities, textural properties, and *in vitro* starch hydrolysis were evaluated. The results showed that the contents of total dietary fiber (4.50%–5.12%), β -glucan (2.96%–3.96%), total flavonoids (12.56–38.73 mg/100 g), and γ -aminobutyric acid (5.08–9.53 mg/100 g) in the steamed hull-less barley cakes were significantly higher than that in the steamed wheat cake, which were 0.65%, 0.23%, 3.93 mg/(100 g), and 2.63 mg/(100 g), respectively. The sensory properties of steamed ordinary hull-less barley and wheat cakes were not significantly different, but the steamed 08-1127 (waxy hull-less barley) cake was softer and out of shape. The springiness, resilience, cohesiveness, gumminess, and adhesiveness of steamed ordinary hull-less barley cakes were similar to those of steamed wheat cake, while those of steamed 08-1127 cakes were significantly lower than those of steamed ordinary hull-less barley cakes. Steamed hull-less barley cake also showed a maximum starch hydrolysis rate (38.76%–42.74%) that was lower than that of steamed wheat cake (49.92%), and the contents of rapidly (11.58%–13.16%) and slowly digested starch (5.34%–7.56%) were lower than that of steamed wheat cake (17.21% and 15.97%, respectively). In addition, the glycemic (59.37–61.67) and hydrolysis indexes (35.82–40.00) were lower than those of steamed wheat cake (76.66 and 67.30, respectively), and the contents of resistant starch (2.74%–3.55%) were higher than those of wheat steamed cake (1.68%). Therefore,

收稿日期 Received: 2022-03-23 接受日期 Accepted: 2022-06-30

第二次青藏高原综合科学考察研究项目(2019QZKK0303)、省部共建青稞和牦牛种质资源与遗传改良国家重点实验室开放课题项目(XZNKY-2021-C-014-K02)、中国科学院科技服务网络计划区域重点项目(KFJ-STQ-QYZD-2021-22-001)、四川省区域创新合作任务项目(2021YFQ009)和日喀则市科技项目资助 Supported by the Second Tibetan Plateau Scientific Expedition and Research Program (2019QZKK0303), the Open Project of State Key Laboratory of Hulless Barley and Yak Germplasm Resources and Genetic Improvement (XZNKY-2021-C-014-K02), the Science and Technology Service Network Initiative of the Chinese Academy of Science (KFJ-STQ-QYZD-2021-22-001), the Sichuan Provincial Region Innovation Cooperation Project (2021YFQ009), and the Xigazê Science and Technology Project

✉通信作者 Corresponding author (E-mail: panzf@cib.ac.cn)

the steamed cakes of ordinary hull-less barley had a higher content of nutritional components than the steamed cake of wheat, and the *in vitro* starch hydrolysis parameters were better than those of steamed wheat cake. When it is necessary to consider both nutritional and sensory qualities, ordinary hull-less barley can be selected as the raw material for steamed cakes, but waxy hull-less barley is not suitable for making steamed cakes.

Keywords hull-less barley; waxy barley; steamed cake; nutritional component; textural property; *in vitro* starch hydrolysis

青稞种植于我国西藏自治区及青海、四川、甘肃、云南四省藏区，抗旱、抗寒、耐贫瘠，是藏区极具特色的作物^[1-2]。青稞籽粒营养价值较高，富含β-葡聚糖、生育酚、总黄酮等保健功能物质^[3-5]，具有调节血糖、降低胆固醇、提高免疫力等保健功能^[6-8]，脂肪含量也低于燕麦、玉米^[8-9]。青稞的蛋白质组成与小麦不同，从而使青稞粉和水的混合过程中不易通过二硫键、氢键、疏水相互作用等相互交联形成面筋^[8, 10]，是制作蛋糕的良好原料。蛋糕的制作方法包括烘焙和蒸制。蒸蛋糕是一类以鸡蛋、低筋面粉为主要原料，辅以糖和油脂等成分蒸制而成的糕类制品^[14]，以蒸汽为传热介质，能更好保留原料的风味与营养，且水分含量较高，质地细腻，口感松软柔润，老少皆宜^[15]。不同青稞品种的营养组分存在差异，因而具有不同的加工特性^[11-12]。目前对青稞蒸蛋糕的研究较少^[13-15]，对不同青稞品种制作的青稞蒸蛋糕的品质进行较系统的研究还未见报道。本研究利用不同青稞品种制作蒸蛋糕，并对其感官品质、营养成分组分、水解指数、血糖生成指数及质构特性等进行研究，以明确青稞蒸蛋糕的健康价值和不同青稞品种的蛋糕加工特性，为青稞育种和加工提供重要参考。

1 材料与方法

1.1 材料

普通青稞康青9号（KQ 9，直链淀粉含量21.24%），藏青2000（ZQ 2000，直链淀粉含量19.41%），糯青稞08-1127（直链淀粉含量1.58%）均种植于德阳什邡实验基地。采用FOSS磨粉机进行磨粉，过100目筛；其余原料和配料均为市售。小麦蛋糕粉和植物油，丰益贸易（中国）有限公司；新鲜鸡蛋，成都正大食品有限公司；酵母粉，安琪酵母公司。

1.2 主要仪器

高速蛋奶搅拌机（XNBBJ-B7L），恒明电器有限公司；冷藏柜（奥华立），青岛海尔特种电冰柜有限公司；TVT6700质构仪和体积仪（BVM-6600）均为波通瑞华科学仪器（北京）有限公司（瑞典perten）。

1.3 蒸蛋糕配方及制备

蒸蛋糕配方：以面粉100 g计量，鸡蛋约200 g，白砂糖10 g，木糖醇15 g，食盐1.80 g，酵母3.00 g，柠檬汁1.00 g，植物

油10.00 g，水分30-60 g。蒸蛋糕主要制作流程：称量→分离蛋液→面糊→打发蛋清→蛋糕糊→定型→蒸制。首先，按配方称取蒸蛋糕所需的材料，接着分离蛋液，蛋清中加入柠檬汁，0-4 ℃冷藏，将面粉、酵母、食盐、植物油、水依次加入蛋黄液，充分混合，制成面糊；取出冷藏后的蛋清，倒入高速蛋奶搅拌机，加入木糖醇、白砂糖进行打发，将打发的蛋清与面糊混合，上下翻拌均匀，然后将混合均匀的蛋糕糊装入模具，定型，放入蒸锅蒸制，25-35 min后，关火，取出，倒扣，放凉，制作出青稞蒸蛋糕备用分析。

1.4 检测方法

1.4.1 营养组分含量测定 采用硝酸铝比色法测定总黄酮含量^[16]，γ-氨基丁酸含量测定采用标准比色法^[17]，β-葡聚糖含量使用爱尔兰Meazyme试剂盒^[18]进行测定，总膳食纤维测定方法采用GB 5009.88-2014《食品中膳食纤维的测定》^[19]，总淀粉采用爱尔兰Meazyme试剂盒^[18]测定，蛋白质含量采用凯氏定氮法^[18]测量，灰分含量测定采用GB 5009.4-2016《食品中灰分的测定》^[20]，脂肪含量测定采用GB 5009.6-2016《食品中脂肪含量的测定》^[21]，水分采用GB 5009.3-2003《食品中水分的测定》的常压加热干燥法^[22]测定；碳水化合物、能量计算公式^[23]为

碳水化合物 = 100 - (蛋白质含量 + 脂肪含量 + 水分含量 + 灰分含量)

能量 = 蛋白质 × 17 + 脂肪 × 37 + 碳水化合物 × 17

(1)

(2)

式中，碳水化合物含量单位：g/100 g；蛋白质、脂肪、水分、灰分含量单位：g/100 g；能量单位：kJ/100 g。

1.4.2 感官评价 将所有蒸蛋糕装入相同大小的容器中，并随机编号，选取进行培训后的实验室人员5名，根据感官评价标准对青稞蒸蛋糕进行评价，评价标准参照已有报道^[24]，详见表1。

1.4.3 质构特性测试 蒸蛋糕在室温下放置冷却后，参照波通TVT 6700质构仪中的测试方案及王乐等的方法^[25]，进行质构特性的检测。采用探头N673035进行压缩试验，参数设置为测前速度1 mm/s，测试速度1 mm/s，测后速度1 mm/s，两次压缩间隔时间为15 s，压缩程度为50%，感应力为5 g。每

表1 青稞蒸蛋糕感官评分标准
Table 1 The sensory evaluation criteria for steamed hull-less barley cake

项目 Item	评分标准 Evaluation criteria	分值 Score
形态 Shape	外形正常，无塌陷和开裂，表面光滑均一 Normal shape; no collapse and cracking; smooth and uniform surface	2
松软度 Softness	内部呈海绵状且富有弹性，底部成熟，无黏膜、无夹生 The interior is spongy and elastic, the bottom is well-done, and there is no mucous membrane or trapped state.	2
内部组织 Internal organization	气孔均匀细密，无大孔洞，有弹性 The pores are uniform and fine and no large holes, and the interior is elastic	2
色泽 Color	外表呈浅黄色或乳白色，色泽均匀一致 The appearance is light yellow or milky white, and the color is uniform	2
口感 Taste	口味纯正，绵软可口，甜味适中，无黏牙，无异味 Pure taste; soft and delicious; moderate sweetness; no sticky to teeth; no peculiar smell	2
合计 Total		10

个样品5次重复,获得弹性、回复性、黏性等质构参数。

1.4.4 体积及比容测定 取冷却后的蒸蛋糕,采用BVM体积仪测定质量及体积等参数,并根据相应公式计算青稞蒸蛋糕的比容。公式如下: $P = V/M$ 。式中, P (mL/g) 为蛋糕比容; V (mL) 为蛋糕体积; M (g) 表示蛋糕质量。

1.5 体外淀粉水解参数测定

体外淀粉的水解方法,参照李颖、刘娟等报道的方法^[26-27]。绘制葡萄糖标准曲线:分别取葡萄糖标准液0、20、40、60、80、100、120、140、160、180、200 μ L至11支2.0 mL试管中,加蒸馏水补齐200 μ L,加入150 μ L DNS (3,5-二硝基水杨酸)试剂,沸水浴5 min,冷却后加入400 μ L蒸馏水,混匀,540 nm波长下测吸光度,以吸光度为横坐标,葡萄糖浓度为纵坐标,得到葡萄糖标准曲线(图1)。

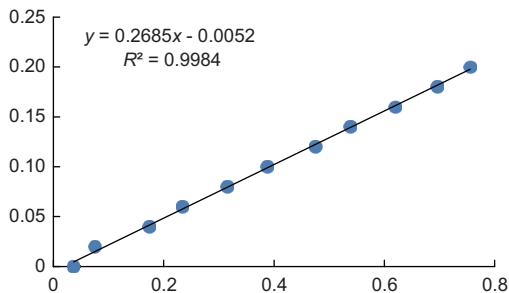


图1 DNS法葡萄糖标准曲线。

Fig. 1 Glucose standard curve for DNS method.

样品的体外淀粉消化测定:准确称取500 mg干燥的青稞蒸蛋糕样品放入50 mL离心管,加入5颗玻璃珠,25 mg瓜儿豆胶,混匀,加入醋酸盐缓冲液(10 mL, pH 5.2), 37 $^{\circ}$ C恒温水浴摇床上平衡(10 min, 200 r/min)后,加入 α -淀粉酶(4 mL, 290 U/mL)和葡萄糖淀粉酶(1 mL, 2 500 U/mL),立即置于38 $^{\circ}$ C水浴摇床中水解,分别在0、5、10、15、20、25、30、35、40、45、50、55、60、80、100、120、140、160、180 min取样100 μ L,加入66%乙醇溶液1.0 mL灭酶,离心(15 min, 3 000 r/min),取上清液200 μ L,加入150 μ L DNS试剂,混匀,沸水浴7 min,冷却至室温,补足蒸馏水至2 mL,混匀,540 nm波长处测定样品溶液的吸光度,每组样品测定3次。采用标准曲线方程计算淀粉水解所得的葡萄糖浓度。根据测得的葡萄糖浓度采用公式(3)计算每个时间点的样品水解率;采用公式(4)判断水解淀粉的类别,参照刘娟等的方法计算样品的水解指数、血糖生成指数。

$$\text{样品水解率} = \frac{\text{取样时间点反应液中的葡萄糖释放量} \times 9}{\text{TS}} \times 100\%$$

式中: TS为总淀粉干基重, mg; 0.9为转换系数。

$$\text{RDS} = \frac{(\text{G20} - \text{FG}) \times 9}{\text{TS}} \times 100\%$$

$$\text{SDS} = \frac{(\text{G120} - \text{G20}) \times 9}{\text{TS}} \times 100\%$$

$$\text{RDS} = \frac{(\text{G120} - \text{G20}) \times 9}{\text{TS}} \times 100\%$$

式中, RDS (快速消化淀粉) 指在20 min内被小肠迅速吸收的淀粉, SDS (慢消化淀粉) 指在20-120 min内被小肠消化吸收的淀粉, RS (抗性淀粉) 指在120 min内不被小肠消化吸收的淀粉, G20为酶解20 min后释放的葡萄糖(mg), G120为酶解120 min后释放的葡萄糖(mg), FG为游离葡萄糖(mg), TG为总的葡萄糖(mg), TS为总淀粉干基重(mg), 0.9为转

换系数。

1.6 数据分析

采用Excel 2010进行数据分析并作图,运用SPSS 19.0软件进行显著性差异分析。

2 结果与分析

2.1 营养成分组分差异

如表2所示,青稞全麦粉的膳食纤维、 β -葡聚糖、GABA、总黄酮、蛋白质均显著高于小麦蛋糕粉。不同青稞品种全麦粉的营养组分有显著差异,08-1127的总淀粉含量($43.98\% \pm 1.41\%$)显著低于普通青稞(康青9号、藏青2000),其 β -葡聚糖和总黄酮含量均显著高于普通青稞(藏青2000、康青9号)。藏青2000的脂肪含量明显低于08-1127与康青9号。康青9号的GABA含量显著低于08-1127与藏青2000,蛋白质含量显著高于藏青2000。

蒸蛋糕与原料组分比较,水分含量急剧升高,约是原料的3.29-4.2倍,脂肪含量也大大增加,但其他营养组分包括 β -葡聚糖、膳食纤维、总淀粉、GABA、总黄酮含量都大幅减少,平均分别下降45.55%、69.23%、39.76%、36.69%、78.45%。青稞蒸蛋糕的蛋白质、 β -葡聚糖、膳食纤维、GABA、总黄酮、水分含量均高于小麦蒸蛋糕,总淀粉含量、碳水化合物与能量均显著低于小麦蛋糕,表明青稞蒸蛋糕比小麦蒸蛋糕营养价值更高,其营养组分差异与青稞和小麦原料间的差异趋势一样。不同青稞品种的蒸蛋糕营养成分组分的差异也基本与原料间的差异一致(表2)。

2.2 蒸蛋糕体积和比容的差异

青稞蒸蛋糕与小麦蒸蛋糕的体积和比容有显著差异(表3)。普通青稞(藏青2000、康青9号)蒸蛋糕的体积($1\ 168.67 \pm 1.53$ mL、 $1\ 141.67 \pm 1.53$ mL)、高度(171.07 ± 0.64 mm、 170.60 ± 0.66 mm)和质量(376.67 ± 3.21 g、 341.67 ± 3.06 g)均显著大于小麦蒸蛋糕,这可能是因为青稞中的膳食纤维、 β -葡聚糖、蛋白质等营养组分含量显著高于小麦。青稞蒸蛋糕的水分含量显著高于小麦蒸蛋糕,可能增加青稞蒸蛋糕的质量,青稞高含量的蛋白质可能增加蒸蛋糕的体积。同时,普通青稞蒸蛋糕体积、长、宽、高与比容也显著高于糯青稞08-1127,可能与糯青稞的直链淀粉、淀粉含量显著低于普通青稞有关。藏青2000蒸蛋糕的体积和质量大于康青9号,比容小于康青9号,但与小麦蒸蛋糕的比容却无显著差异。营养成分分析发现,藏青2000面粉的膳食纤维、淀粉、蛋白质含量均明显低于康青9号,而藏青2000面粉的淀粉含量与小麦淀粉含量无明显区别。这些表明蛋白质、膳食纤维、 β -葡聚糖含量可能是影响蒸蛋糕体积与比容的重要因素,蛋糕的体积和质量差异反映了材料间制作蛋糕成型性能差异及吸水和持水能力的差异明显。

2.3 青稞蒸蛋糕感官品质差异

蒸蛋糕剖面可以看出,小麦蒸蛋糕呈金黄色,青稞蒸蛋糕呈褐色,除08-1127外,其余蒸蛋糕剖面均呈网状结构。糯青稞08-1127蒸蛋糕外形塌陷并开裂、稀软、不成型,藏青2000蒸蛋糕孔洞分布均匀,孔径略大于小麦,小麦蒸蛋糕网状组织孔洞小且细密,结构柔软(图2)。感官评价发现,小麦蒸蛋糕的松软度、弹性略高于藏青2000与康青9号,口感无显著差别。普通青稞(康青9号、藏青2000)蒸蛋糕与小麦蒸蛋糕口感接近,更让人容易接受。青稞和小麦蒸蛋糕的色泽、气味、弹性有差异,蛋香味浓郁,青稞香味浓郁,康青9号蒸蛋糕的青稞香味最强烈,藏青2000次之,08-1127最弱。08-1127蒸蛋糕松

表2 营养成分含量
Table 2 The contents of nutritional components

分类 Type	材料 Variety	灰分 Ash (w/%)	膳食纤维 Dietary fiber (w/%)	脂肪 Fat (w/%)	蛋白质 Protein (w/%)	总淀粉 Total starch (w/%)	β -葡聚糖 β -Glucan (w/%)	γ -氨基丁酸 γ -Aminobutyric acid (GABA) (w/mg (100 g) ⁻¹)	总黄酮 Total flavones (w/mg (100 g) ⁻¹)	水分 Water (w/%)	碳水化合物 Carbohydrate (w/%)	能量 Energy (E/kJ)
籽粒 Raw material	OCF	2.08 ± 0.05a	2.08 ± 0.10b	2.41 ± 0.16ab	6.47 ± 0.01c	63.38 ± 3.64ab	0.50 ± 0.02d	4.26 ± 0.04c	51.42 ± 2.79d	10.28 ± 0.57a	78.36 ± 2.13a	1531.25 ± 28.12a
	ZQ2000	2.11 ± 0.03a	14.77 ± 1.90a	2.13 ± 0.2b	10.96 ± 1.19b	59.77 ± 1.16b	6.41 ± 0.15b	13.50 ± 0.73a	76.23 ± 1.03c	13.25 ± 1.03a	71.60 ± 2.91a	1481.42 ± 24.68a
	KQ 9	1.93 ± 0.03a	14.94 ± 0.50a	2.27 ± 0.13a	12.53 ± 0.04a	67.27 ± 1.29a	3.75 ± 0.26c	8.38 ± 0.12b	103.14 ± 3.20b	14.21 ± 1.01a	73.59 ± 0.29a	1470.99 ± 19.26a
	08-1127	2.04 ± 0.01a	16.63 ± 1.62a	2.98 ± 0.14a	11.72 ± 0.48ab	43.98 ± 1.41c	8.88 ± 0.27a	12.58 ± 0.75a	149.76 ± 0.95a	12.98 ± 0.54a	74.99 ± 1.46a	1511.63 ± 22.04a
蒸蛋糕 Steamd cake	OCF	1.92 ± 0.00a	0.65 ± 0.01b	5.36 ± 0.30ab	6.36 ± 0.00c	44.33 ± 0.39a	0.23 ± 0.01b	2.63 ± 0.20d	3.93 ± 0.62c	43.19 ± 1.00c	43.17 ± 1.84a	1040.37 ± 15.42a
	ZQ2000	2.06 ± 0.06a	4.49 ± 0.63a	4.98 ± 0.19b	9.84 ± 0.03b	28.26 ± 1.02d	3.54 ± 0.04a	7.44 ± 0.13b	12.56 ± 1.90b	47.23 ± 0.17b	35.89 ± 0.29b	961.73 ± 4.19b
	KQ9	1.98 ± 0.03a	4.50 ± 0.16a	5.42 ± 0.41ab	13.77 ± 0.06a	35.78 ± 0.49b	2.96 ± 0.31a	5.08 ± 0.00c	37.37 ± 2.30a	46.78 ± 0.42b	32.05 ± 1.18bc	979.50 ± 2.81b
	08-1127	1.96 ± 0.03a	5.12 ± 0.52a	6.87 ± 0.28a	14.61 ± 0.48a	32.82 ± 0.70c	3.96 ± 0.17a	9.53 ± 0.43a	38.73 ± 2.58a	48.49 ± 0.49a	28.07 ± 0.32c	979.81 ± 2.31b

OCF为小麦蛋糕粉。同列数据中不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。
OCF is wheat cake flour. Different letters in the same column of data indicate significant differences ($P < 0.05$).

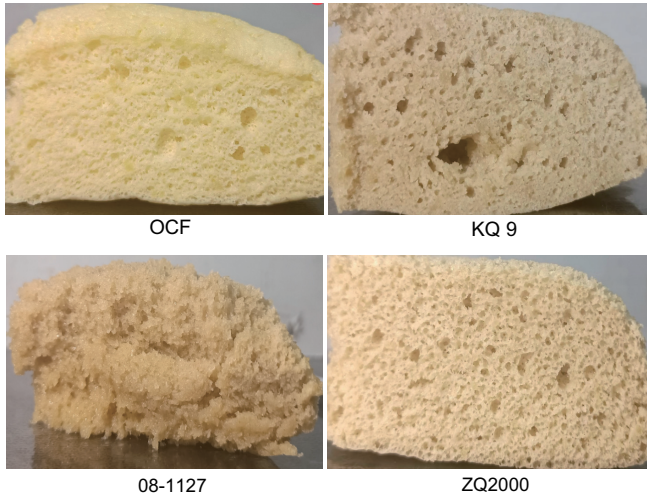


图2 青稞蒸蛋糕剖面图。
Fig. 2 The steamed hull-less barley cake cutaway.

软度差、弹性较小、黏手、黏牙、香味弱、稀软，有颗粒感。另外，小麦蒸蛋糕的综合评分 (9.00 ± 0.13) 最高，普通青稞 (藏青2000、康青9号) 蒸蛋糕感官评分 [$(8.20 \pm 0.18) - (8.80 \pm 0.26)$] 与小麦蒸蛋糕没有显著差异，糯青稞蒸蛋糕感官评分 (6.50 ± 0.17) 显著低于普通青稞和小麦蒸蛋糕 (表4)。

2.4 蒸蛋糕的质构特性

质构特性可反映食品的组织结构及状态有关的物理性质，通过食品的色泽、风味和组织状态的变化来鉴别食品质量的好坏，仅靠传统的感官评定不能将评价结果量化，结合质构仪、体积仪等仪器可以将感官特性转化成可以进行分析的数据指标^[28]。从表5可以看出，不同材料的蒸蛋糕的质构特性有明显差异，普通青稞蒸蛋糕的恢复性、胶着性较低，接近小麦蒸蛋糕。糯青稞08-1127蒸蛋糕的弹性、恢复性、黏聚性均显著低于普通青稞 (藏青2000、康青9号) 蒸蛋糕，可能与08-1127青稞的低直链淀粉含量 (1.58%) 有关。普通青稞蒸蛋糕的弹性与小麦蒸蛋糕无明显差异，康青9号蒸蛋糕的硬度大于小麦蒸蛋糕，胶着性、咀嚼性显著高于藏青2000，黏附性的值 ($1\ 253.33 \pm 139.47\text{ g}\cdot\text{mm}$) 高于小麦和藏青2000蒸蛋糕。08-1127蒸蛋糕的黏附性值 ($2.33 \pm 0.94\text{ g}\cdot\text{mm}$) 低于其他3种蒸蛋糕，可能与蒸蛋糕的结构组成、含水量有关，08-1127蒸蛋糕塌陷开裂、入口的口感稀软，黏性明显降低。

2.5 体外淀粉水解

从图3和表6看出，青稞和小麦蒸蛋糕的淀粉水解有较大差异，4份蒸蛋糕的淀粉水解率在前40 min内上升速度较快，小麦蒸蛋糕40 min时水解42.25%，青稞蒸蛋糕水解31.48%，随后淀粉水解趋于平缓，180 min后，淀粉水解率达到最大。小麦蒸蛋糕最大淀粉水解率为49.92%，青稞蒸蛋糕平均为40.71%，远小于小麦蒸蛋糕的最大淀粉水解率。青稞蒸蛋糕的RDS、SDS、水解指数 (HI) 和血糖指数 (GI) 均显著低于小麦蒸蛋糕，而RS高于小麦蒸蛋糕。这些结果表明，青稞蒸蛋糕更符合目前人们对健康饮食的需求。

3 讨论

在世界性慢病高发的时代背景下，人们对食品健康功能的关注意识在迅速提高，对健康组分如膳食纤维、 β -葡聚糖、GABA、总黄酮等含量较高的原料或产品的需求更大。本研究发现，青稞全麦粉及蒸蛋糕的膳食纤维、 β -葡聚糖、GABA、

表3 青稞蒸蛋糕体积及比容的差异

Table 3 Differences in volume and specific volume of different steamed cakes

材料 Variety	体积 Volume (V/mL)	长 Length (l/mm)	宽 Width (b/mm)	高 Height (h/mm)	质量 Mass (m/g)	比容 Specific volume (P/mL g ⁻¹)
OCF	1069.00 ± 2.65c	72.27 ± 1.03b	170.83 ± 0.47a	170.47 ± 1.36a	339.6 ± 1.53c	3.15 ± 0.03b
ZQ2000	1168.67 ± 1.53a	76.17 ± 0.91a	170.07 ± 1.00a	171.07 ± 0.64a	376.67 ± 3.21a	3.10 ± 0.02b
KQ 9	1141.67 ± 4.16b	77.63 ± 1.05a	170.87 ± 0.90a	170.60 ± 0.66a	341.67 ± 3.06c	3.34 ± 0.08a
08-1127	778.67 ± 3.51d	70.63 ± 1.74b	163.23 ± 1.96b	163.3 ± 2.00b	352.00 ± 4.36b	2.2 ± 0.1c

OCF为小麦蛋糕粉。同列数据中不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

OCF is wheat cake flour. Different letters in the same column of data indicate significant differences ($P < 0.05$).

表4 青稞蒸蛋糕感官评价

Table 4 Sensory evaluation of steamed hull-less barley cakes

材料 Variety	感官评价 Sensory evaluation	得分 Score
OCF	松软, 回弹性好, 金黄色, 口感细腻, 不黏牙, 有蛋香味 Soft, good resilience, golden yellow, good taste, non-sticky, and with egg fragrance	9.00 ± 0.13a
ZQ2000	松软, 有弹性, 褐色, 口感较好, 不黏牙, 青稞香味较淡, 以及弱的蛋香味 Soft, springy, purple-brown, good taste, no sticky teeth, less highland barley aroma, and weak egg aroma	8.80 ± 0.26a
KQ9	松软, 有弹性, 褐色, 口感较好, 不黏牙, 青稞香味浓郁, 无蛋香味 Soft, elastic, purple-brown, good taste, not sticky to the teeth, rich highland barley fragrance, and no egg fragrance	8.20 ± 0.18a
08-1127	塌陷开裂, 松软度差, 稀软, 黏手, 弹性差, 褐色, 有颗粒感, 几乎无香味 Collapsed and cracked, poor softness, sticky to the hand, almost inelastic, purple-brown, particles feeling in the mouth, and almost no fragrance	6.50 ± 0.17b

OCF为小麦蛋糕粉。同列数据中不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

OCF is wheat cake flour. Different letters in the same column of data indicate significant differences ($P < 0.05$).

表5 蒸蛋糕的质构特性

Table 5 Texture characteristics of steamed cakes

样品 Samples	弹性 Springiness	恢复性 Resilience	黏聚性 Cohesiveness	黏附性 Adhesiveness ($\eta/\text{g}\cdot\text{mm}$)	硬度 Hardness	胶着性 Gumminess	咀嚼性 Chewiness
OCF	0.98 ± 0.04a	0.23 ± 0.15a	0.73 ± 0.06a	-618.00 ± 276.35b	570.67 ± 0.89a	418.50 ± 19.16a	409.58 ± 28.47a
ZQ2000	0.96 ± 0.07a	-0.10 ± 0.00b	0.60 ± 0.00b	-889.00 ± 88.48b	428.33 ± 26.30b	257.00 ± 15.77c	247.69 ± 24.57c
KQ 9	0.93 ± 0.00a	-0.07 ± 0.06b	0.57 ± 0.06b	-1253.33 ± 139.47a	586.33 ± 3.48a	351.80 ± 2.09b	327.17 ± 1.94b
08-1127	0.88 ± 0.01b	-0.47 ± 0.06c	0.40 ± 0.1c	-2.33 ± 0.94 c	410.33 ± 24.92b	312.93 ± 4.81b	275.36 ± 4.01bc

OCF为小麦蛋糕粉。同列数据中不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

OCF is wheat cake flour. Different letters in the same column of data indicate significant differences ($P < 0.05$).

表6 蒸蛋糕体外淀粉水解

Table 6 In vitro starch digestibility of steamed cakes

样品 Sample	RDS/%	SDS/%	RS/%	HI	GI	C _∞ /%
OCF	17.21 ± 0.24a	15.97 ± 0.59a	1.68 ± 0.36a	67.30 ± 0.22a	76.66 ± 0.12a	49.92 ± 0.34a
ZQ2000	11.58 ± 0.71b	5.34 ± 1.00b	3.55 ± 1.42a	35.82 ± 0.46b	59.37 ± 0.25b	42.74 ± 1.11b
KQ 9	12.78 ± 0.62b	7.56 ± 0.83b	2.74 ± 0.48a	40.00 ± 0.19b	61.67 ± 0.10b	38.76 ± 0.37d
08-1127	13.16 ± 0.65b	6.98 ± 0.88b	3.13 ± 0.52a	37.22 ± 0.71b	60.14 ± 0.39b	40.64 ± 1.67c

同列中不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。RDS: 快速消化淀粉; SDS: 慢消化淀粉; RS: 抗性淀粉; HI: 水解指数; GI: 血糖生成指数; MSHR: 淀粉最大水解率。

Different letters in the same column of data indicate significant differences ($P < 0.05$). RDS: Rapid digestion starch; SDS: Slow digestion starch; RS: Resistant starch; GI: Glycemic index; HI: Hydrolysis index; C_∞: The maximum digestion level.

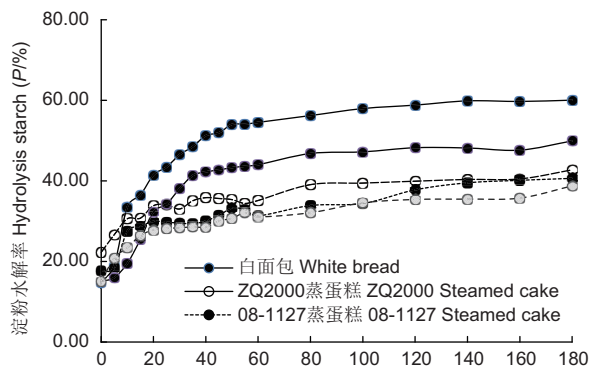


图3 蒸蛋糕体外淀粉水解曲线。

Fig. 3 In vitro starch hydrolysis curve of steamed cakes.

总黄酮等功能成分含量分别高于小麦蛋糕粉和蛋糕。膳食纤维具有防止便秘、预防动脉硬化、降低水解酶活性而延缓淀

粉水解速率和降解程度等功能^[29-30], GABA具有降低血压、增强脑功能等作用, 总黄酮具有抗氧化、降血脂等功能^[3, 16], 因而与小麦蒸蛋糕比较, 青稞蒸蛋糕对人体健康更有利。青稞中的许多健康组分都显著高于小麦, 这在前人的一些研究中已有报道。邓晓青等发现青稞籽粒 β -葡聚糖平均含量为5.25%, 远远高于小麦^[1], 张鹏飞等报道小麦中总黄酮含量约为22.64 mg/100 g, 而大麦总黄酮含量约为57 mg/100 g^[31]、225 mg/100 g^[32], 姜小冬等发现小麦面粉中仅含2.5%-4.5%的膳食纤维。因而, 食用青稞蒸蛋糕可弥补小麦蛋糕所缺乏的多种营养成分^[29]。另外, 从淀粉体外降解结果看, 青稞蒸蛋糕的体外淀粉水解显示青稞蒸蛋糕的最大淀粉水解率、RDS、水解指数(HI)和血糖生成指数(GI)都显著小于小麦蒸蛋糕, 青稞蒸蛋糕有利于餐后血糖调整, 这与青稞中大量可溶性膳食纤维(特别是 β -葡聚糖)丰富密切相关, 膳食纤维可以降低水解酶的活性从而延缓淀粉水解的速率和降解程度^[31]。

除了营养成分组分的差异,青稞蒸蛋糕的感官品质、质构特性与小麦蒸蛋糕也有显著差异。首先,它们在色泽和气味上有很大的不同,这与青稞全麦粉含有丰富的粗纤维、粗蛋白等物质以及青稞香味成分构成与小麦有很大差异相关^[26]。其次,蒸蛋糕的结构组成不同,普通青稞和小麦蒸蛋糕内部呈网状结构,08-1127蒸蛋糕不成型、无网状结构。普通青稞藏青2000蒸蛋糕的黏聚性高于康青9号蒸蛋糕,已有研究认为黏聚性越大,蛋糕口感越绵软和细腻^[32]。普通青稞蒸蛋糕黏附性的值高于小麦蒸蛋糕,08-1127蒸蛋糕的黏附性值明显低于其他3种蒸蛋糕,黏附性主要指的是咀嚼时样品对上颚、牙齿、舌头等接触面黏着的性质,即黏牙的口感^[28]。这可能与蒸蛋糕的结构、营养成分含量有关。08-1127蒸蛋糕含水量显著高于其他蒸蛋糕,内部结构也与其他蒸蛋糕不同,塌陷,稀软,松软度极差。普通青稞蒸蛋糕的弹性、感官评分与小麦蒸蛋糕无显著差异,体积显著大于小麦蒸蛋糕。

加工处理会影响青稞营养成分组分的含量,本研究中的青稞蒸蛋糕总膳食纤维、 β -葡聚糖含量降低,总黄酮与GABA减少了约1/2-2/3,可能是在加工过程中添加了鸡蛋、木糖醇等其他辅料,或者是蒸制处理使营养成分组分发生了变化。Holtekjolen和Vitali等等在制作的曲奇饼干或面包中,也发现黄酮含量显著下降^[34-35];糙米蒸煮后GABA的损失率为64.05%^[36]。但是,青稞蒸蛋糕总膳食纤维、 β -葡聚糖、总黄酮、GABA和蛋白质含量仍显著高于小麦蒸蛋糕。由于青稞蒸蛋糕中有较高的膳食纤维含量,可吸收更多的水分^[37-38],因而青稞蒸蛋糕的含水量显著大于小麦蒸蛋糕。不同青稞品种的营养组分和加工性能也存在很大差异。糯青稞08-1127的膳食

纤维、 β -葡聚糖、总黄酮含量显著高于普通青稞(藏青2000、康青9号),但其制作的蒸蛋糕黏牙、弹性弱、外形塌陷、感官评分较低,质构特性(弹性、恢复性、黏聚性、胶着性、咀嚼性、黏附性)也显著低于普通青稞。这些差异可能与08-1127的低直链淀粉含量有关^[18]。王小英等研究发现,100%糯米戚风蛋糕与低筋粉、粳米和籼米戚风蛋糕相比,硬度最低,质构最柔软,但弹性及受外力后的恢复性最差^[39]。本研究结果表明糯青稞不是制作蛋糕的适宜材料,可用于其他产品加工以充分利用其健康价值,邓小青等报道糯青稞加工饼干具有很大的优势^[1]。采用普通青稞全麦粉制作的青稞蒸蛋糕,不仅保留了全麦粉的营养物质,高热量物质也显著低于小麦蒸蛋糕。普通青稞蒸蛋糕不仅在体积、感官评价方面与小麦蒸蛋糕无显著差异,营养成分组分含量高于小麦蒸蛋糕,质构特性也接近小麦蒸蛋糕。因此,在制作蒸蛋糕时,普通青稞作原料可兼顾营养与口感。

4 结论

青稞全麦粉营养成分成分含量较高,面筋蛋白含量少。通过比较普通青稞(藏青2000、康青9号)、糯青稞08-1127、小麦粉制备的蒸蛋糕的营养组分、感官评价、结构特性、体外淀粉水解参数的差异,普通青稞蒸蛋糕的蛋白质、膳食纤维、 β -葡聚糖、总黄酮含量等显著高于小麦蒸蛋糕,体外淀粉水解参数及血糖指数均小于小麦蒸蛋糕,感官评价、体积参数、质构特性显著高于糯青稞08-1127蒸蛋糕,与小麦蒸蛋糕无显著差异。本研究为蒸蛋糕的加工提供了新的材料,为普通青稞的加工拓展了新的方向,不过糯青稞不适宜制作青稞蒸蛋糕。

参考文献 [References]

- 1 Deng XQ, Pan ZF, Li Q, Deng GB, Yu MQ. Nutritional components, *in vitro* digestibility, and textural properties of cookies made from whole hull-less barley [J]. *Cereal Chem*, 2019, **97** (1): 1-14
- 2 唐珊珊, 顾楠, 潘志芬, 李健, 李俏, 邓光兵, 龙海, 赵国华, 余懋群. 青稞发芽过程中 β -葡聚糖含量变化及对麦芽品质的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2015, **21** (4): 616-622 [Tang SS, Gu N, Pan ZF, Li J, Li Q, Deng GB, Long H, Zhao GH, Yu MQ. Changes in β -glucan content of hull-less barley during germination and the effects on malt quality [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2015, **21** (4): 616-622]
- 3 翟会生, 唐珊珊, 潘志芬, 李俏, 邓晓青, 唐亚伟, 张玉红, 曾兴全, 尼玛扎西, 余懋群. 青稞籽粒主要组分对其淀粉膨胀势的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2017, **23** (2): 193-199 [Zhai HS, Tang SS, Pan ZF, Li Q, Deng XQ, Tang YW, Zhang YH, Zeng XQ, Nima ZX, Yu MQ. Effect of main grain components on the starch swelling power of Tibetan hull-less barley (*Hordeum vulgare* var. nudum) [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2017, **23** (2): 193-199]
- 4 Abdel-Haleem AMH, Awad RA. Some quality attributes of low fat ice cream substituted with hulless barley flour and barley β -glucan [J]. *J Food Sci*, 2015, **52** (10): 6425-6434
- 5 Moza J, Gujral HS. Starch digestibility and bioactivity of high altitude hulless barley [J]. *Food Chem*, 2016, **194**: 561-568
- 6 Wang J, Rosell CM, Barber C. Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality [J]. *Food Chem*, 2002, **79** (2): 221-226
- 7 Granfeldt Y, Nyberg L, Björck I. Muesli with 4 g oat beta-glucans lowers glucose and insulin responses after a bread meal in healthy subjects [J]. *Eur J Clin Nutr*, 2008, **62** (5): 600-607
- 8 臧靖巍, 阚建全, 陈宗道, 赵国华. 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 [Zang JW, Kan JQ, Chen ZD, Zhao GH. Research on the composition of highland barley and its application status [J]. *Chin Food Add*, 2004 (4): 43-46]
- 9 洛桑旦达, 强小林. 青稞特有营养成分分析与开发利用现状调查报告[J]. 西藏科技, 2001 (8): 55-64 [Luosang DD, Qiang XL. Investigation and research report on analysis and development and utilization status of hull-less barley's endemic nutrients [J]. *Tibet's Sci*, 2001 (8): 55-64]
- 10 洪伟, 武菁菁, 阚建全. 青稞和小麦醇溶蛋白和谷蛋白结构性质的比较研究[J]. 食品科学, 2016, **37** (3): 43-48 [Hong W, Wu JJ, Kan JQ. Comparative study on the structural properties of hull-less barley and wheat gliadin and glutenin [J]. *Food Sci*, 2016, **37** (3): 43-48]
- 11 金玮望, 张晓蒙, 郝建秦, 张玉红, 薛洁, 谷方红. 不同产区青稞原料成分差异性与酿造适用性的分析[J]. 食品与发酵工业, 2018, **1** (44): 121-125 [Jin WY, Zhang XM, Hao JQ, Zhang YH, Gu FH. Analysis on the difference of raw materials of hull-less barley from different producing areas and its brewing applicability [J]. *Food Ferment Ind*, 2018, **1** (44): 121-125]
- 12 段娇娇. 不同品种青稞全粉对重组面团流变学性质及面条品质的影响[J]. 现代面粉工业, 2019, **45** (16): 208-215 [Duan JJ. Effects

- of different varieties of hull-less barley whole flour on rheological properties of reconstituted flour dough and noodle quality [J]. *Mod Flour Mil Ind*, 2019, **45** (16): 208-215]
- 13 丁捷, 何江红, 黄益前, 肖猛, 杨开俊, 安攀宇, 何莲. 青稞微波蛋糕预拌粉研制[J]. 食品工业科技, 2015 (10): 301-306 [Ding J, He JH, Huang YQ, Xiao M, Yang KJ, An PY, He L. Processing the technique for microwave cake premixed flour of barley [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2015 (10): 301-306]
 - 14 刘新红, 杨希娟, 党斌, 吴昆仑, 迟德钊. 青稞蛋糕加工配方的优化研究[J]. 食品工业, 2013 (11): 123-126 [Liu XH, Yang XJ, Dang B, Wu KL, Chi DZ. Study on processing formula of hullless barley cakes [J]. *Food Ind*, 2013 (11): 123-126]
 - 15 潘冬梅, 史莲莲, 刘颜, 张献领. 大麦苗粉蒸蛋糕的研制[J]. 湖南城市学院学报(自然科学版), 2020, **29** (1): 73-77 [Pan DM, Shi LL, Liu Y, Zhang XL. Development of the steamed cake with wheat seedling powder [J]. *J Hunan City Univ (Nat Sci Ed)*, 2020, **29** (1): 73-77]
 - 16 曾亚文, 杨涛, 普晓英, 杜鹏, 杨树明, 张晓燕. 大麦籽粒中 γ -氨基丁酸, 总黄酮和生物碱含量在发芽过程中的变化[J]. 麦类作物学报, 2012, **32** (1): 135-139 [Zeng YW, Yang T, Pu XY, Du J, Yang SM, Zhang XY. Changes of γ -aminobutyric acid, total flavonoids and alkaloids in barley grains during germination [J]. *J Trit Crops*, 2012, **32** (1): 135-139]
 - 17 曹斌, 潘志芬, 尼玛扎西, 唐亚伟, 邓光兵, 杨开俊, 彭正松, 余懋群. 青藏高原和国外裸大麦 γ -氨基丁酸的含量与分布[J]. 麦类作物学报, 2010, **30** (3): 555-559 [Cao B, Pan ZF, Nima ZX, Tang YW, Deng GB, Yang KJ, Peng ZS, Yu MQ. Distribution of γ -aminobutyric acid in the grains of naked barley collected from Qinghai-Tibet plateau and abroad [J]. *J Trit Crops*, 2010, **30** (3): 555-559]
 - 18 刘娟, 潘志芬, 李俏, 曾兴权, 唐亚伟, 尼玛扎西. 糯青稞08-1127的品质特性[J]. 西藏农业科技, 2018: 3-6 [Liu J, Pan ZF, Li Q, Zeng XQ, Nima ZX. Quality characteristics of 2axy hull-less barley 08-1127 [J]. *Tibet J Agric Sci*, 2018: 3-6]
 - 19 GB 5009.88-2014《食品安全国家标准 食品中膳食纤维的测定》[GB 5009.88-2014 National Food Safety Standard—Determination of Dietary Fiber in Foods]
 - 20 GB 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》[GB 5009.4-2016 National Food Safety Standard—Determination of Ash in Food]
 - 21 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准食品中脂肪含量的测定》[GB 5009.6-2016 National Food Safety Standard—Determination of Fat Content in Food]
 - 22 GB 5009.3-2003《食品安全国家标准 食品中水分的测定》[GB 5009.3-2003 National Food Safety Standard —Determination of Moisture in Food]
 - 23 刘佳宁. 不同加工方式对全豆蛋糕品质和营养价值的影响[J]. 粮食与油脂, 2020, **33** (3): 52-54 [Liu JN. Effects of different processing methods on the quality and nutritional value of whole bean cakes [J]. *Cereal Oil*, 2020, **33** (3): 52-54]
 - 24 田春美, 王艳领. 蒸蛋糕的工艺优化研究[J]. 粮食与油脂, 2019, **32**, (2): 66-67 [Tian CM, Wang YL. Study on process optimization of steamed cake [J]. *Cereals Oils*, 2019, **32** (2): 66-67]
 - 25 王乐, 包娜莎, 金征宇, 赵建伟, 周星, 田耀旗. 添加谷氨酰胺转氨酶对糙米蛋糕品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, **46** (5): 174-180 [Wang L, Bao LS, Jin ZY, Zhao JW, Zhou X, Tian YQ. Effect of transglutaminase addition on the quality of brown rice cake [J]. *Food Ferment Ind*, 2020, **46** (5): 174-180]
 - 26 刘娟, 李俏, 张玉红, 邓小青, 邓光兵, 唐亚伟, 曾兴权, 尼玛扎西, 余懋群, 潘志芬. 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 [Liu J, Li Q, Zhang YH, Deng XQ, Deng GB, Tang YW, Zeng XQ, Nima ZX, Yu MQ, Pan ZF. Nutritional components, textural properties, and *in vitro* starch hydrolysis of steamed hullless barley bread [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2018, **24** (5): 1073-1080]
 - 27 李颖, 王鹏, 李国强, 郭宗明. 不同品种小米粉体外消化性的测定与分析[J]. 粮食与油脂, 2017, **30** (3): 41-44 [Li Y, Wang P, Li GQ, Guo ZM. Determination and analysis of digestibility among different varieties millet flour [J]. *Cereal Oil*, 2017, **30** (3): 41-44]
 - 28 何承云, 林向阳, 张永生. 黄原胶对馒头质构影响的研究[J]. 食品工业科技, 2010, **31** (5): 313-315 [He CY, Lin XY, Zhang YS. Effects of xanthan gum on texture of steamed bread [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2010, **31** (5): 313-315]
 - 29 姜小琴, 李淦, 吴晓军, 李小军, 于红彩, 李秀玲, 茹振钢, 张晓克. 小麦膳食纤维含量研究及优异资源筛选[J]. 麦类作物学报, 2019, **39** (4): 49-55 [Jiang XL, Li G, Wu XJ, Li XJ, Yu HC, Li XL, Ru ZG, Zhang XK. Study of dietary fiber content in wheat and elite germplasm selection [J]. *J Trit Crops*, 2019, **39** (4): 49-55]
 - 30 邓晓青, 潘志芬, 李俏, 唐亚伟, 张玉红, 邓光兵, 龙海, 尼玛扎西, 余懋群. 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 XQ, Pan ZF, Li Q, Tang YW, Zhang YH, Deng GB, Long H, Nima ZX, Yu MQ. Quality Characterization of wholegrain, flour and cookies from hull-less barley [J]. *J Trit Crops*, 2019, **39** (1): 120-126]
 - 31 夏陈, 向卓亚, 朱永清, 邓俊玲, 杨开俊, 刘廷辉, 陈建, 林长斌, 李可, 赵旭珠. 不同品种青稞中总多酚, 总黄酮含量及抗氧化性比较[J]. 食品与机械, 2020, **36** (6): 4 [Xia C, Xiang ZY, Zhu YQ, Deng JL, Yang KJ, Liu TH, Chen J, Lin CB, Li K, Zhao XZ. Comparison of total polyphenols, total flavonoids and antioxidant activity in different varieties of hull-less barley [J]. *Food Mach*, 2020, **36** (6): 4]
 - 32 张鹏飞, 余春磊, 齐国昌, 袁金娥, 刘新春, 冯宗云. 大麦籽粒不同部位黄酮含量的比较分析[J]. 麦类作物学报, 2014, **34** (10): 1441-1446 [Zhang KF, Yu CL, Qi GC, Yuan JE, Liu XC, Feng ZY. Comparative analysis of flavonoid content in different parts of barley grain [J]. *J Trit Crops*, 2014, **34** (10): 1441-1446]
 - 33 赵延伟, 耿欣, 陈海华, 王雨生. 面包及蛋糕的质构与感官评价的相关性研究[J]. 中国农学通报, 2012, **28** (21): 253-259 [Zhao TW, Geng X, Chen HH, Wang YS. Correlation between texture and sensory evaluation of bread and cake [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2012, **28** (21): 253-259]
 - 34 Holtekjolen AK, Baevre AB, Rødbotten M, Berg H, Knutsen SH. Antioxidant properties and sensory profiles of breads containing barley flour [J]. *Food Chem*, 2008, **110** (2): 414-421
 - 35 Vitali D, Dragojević I V, Ebei B. Effects of incorporation of integral raw materials and dietary fibre on the selected nutritional and functional properties of biscuits [J]. *Food Chem*, 2009, **114** (4): 1462-1469
 - 36 张君, 朱香燕, 何义雁, 吴卫国. 不同加工方法对糙米主要活性物质的影响研究[J]. 粮食科技与经济, 2015 (2): 60-63 [Zhang J, Zhu XY, He YY, Wu WG. The Influence of different processing methods of main active substances in brown rice [J]. *Grain Sci Technol Econ*, 2015 (2): 60-63]
 - 37 Suyong L, Kathleen, Warner, George E, Inglett. Rheological properties and baking performance of new oat β -glucan-rich hydrocolloids [J]. *J Agric Food Chem*, 2005, **53** (25): 9805-9809
 - 38 Sharma P, Gujral HS. Cookie making behavior of wheat-barley flour blends and effects on antioxidant properties [J]. *LWT Food Sci Technol*, 2014, **55** (1): 301-307
 - 39 王小英, 英瑾. 米粉对戚风蛋糕制作及品质的影响[J]. 食品工业, 2016 (6): 84-88 [Wang XY, Ying J. Effect of rice on the preparation and quality characteristics of chiffon cake [J]. *Food Ind*, 2016 (6): 84-88]