

麦麸对酥性饼干物理性质和淀粉消化性的影响

李 悦, 李鹏飞, 邱心茹, 衣春颖, 刘友雪, 高文慧, 孔 峰*

(聊城大学农学与农业工程学院, 聊城 252000)

摘 要: 目的 研究麦麸对酥性饼干颜色、物理性质以及淀粉消化性的影响。**方法** 将麦麸按 0~50%比例添加到面粉中制作饼干, 测定混合粉的溶剂保持力, 测定饼干颜色、延展度、硬度以及淀粉消化性。**结果** 添加麦麸导致混合粉的水和碳酸钠溶剂保持力值增加, 乳酸溶剂保持力值和面筋性能指数降低(4.71%~33.20%和 25.73%~34.11%), 饼干颜色变暗。当麦麸添加量大于 20%时, 饼干的延展度和硬度增大(53.54%~64.31%和 135.98%~408.53%)。此外, 麦麸的添加在一定程度上降低了饼干淀粉消化性。麦麸添加量与饼干物理性质呈强正相关性, 与消化终点葡萄糖含量呈负相关。通过主成分分析, 提取了 2 个主成分, 累计方差贡献率为 85.3%。**结论** 适量添加麦麸有效改善了饼干酥脆性, 并在一定程度上抑制了饼干淀粉的消化, 增加了饼干的功能性质, 可以为麦麸产品的进一步开发提供参考。

关键词: 麦麸; 酥性饼干; 溶剂保持力; 延展度; 淀粉消化性

Effects of wheat bran on physical property and starch digestibility of crisp biscuits

LI Yue, LI Peng-Fei, QIU Xin-Ru, YI Chun-Ying, LIU You-Xue, GAO Wen-Hui, KONG Feng*

(Agricultural Science and Engineering School, Liaocheng University, Liaocheng 252000, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the effects of wheat bran on color profiles, physical properties and starch digestibility of crisp biscuits. **Methods** The wheat bran was added to wheat flour in different proportions (0–50%) to make biscuits. The solvent retention capacity of the mixed flour, color profiles, spread ratio, hardness and starch digestibility of biscuits were determined. **Results** The results showed that adding wheat bran resulted in the increase of solvent retention capacity value of water and sodium carbonate, the decrease of solvent retention capacity value of lactic acid and gluten performance index (4.71%–33.20% and 25.73%–34.11%), and caused the color of biscuits to darken. When the wheat bran content was greater than 20%, the spread ratio and hardness of biscuits increased (53.54%–64.31% and 135.98%–408.53%). In addition, the addition of wheat bran reduced the starch digestibility of biscuits to a certain extent. There was a strong positive correlation between wheat bran addition and physical properties of biscuits, and a negative correlation between wheat bran addition and glucose content at digestive end of biscuits. Through principal component analysis, 2 principal components were extracted, and the cumulative variance contribution rate was 85.3%. **Conclusion** The addition of wheat bran to an appropriate amount effectively improves the crispiness of biscuits, inhibites the digestion of biscuit starch to a certain extent, and increases the

基金项目: 山东省自然科学基金项目(ZR2022QC242)、山东省高等学校青创科技支持计划项目(2019KJF028)

Fund: Supported by the Natural Science Foundation of Shandong Province (ZR2022QC242), and the Project of Shandong Province Higher Educational Science and Technology Program for Youth (2019KJF028)

***通信作者:** 孔峰, 讲师, 主要研究方向为农产品加工副产物高值化利用。E-mail: wykf2012@126.com

***Corresponding author:** KONG Feng, Lecturer, Liaocheng University, No.1, Hunan Road, Dongchangfu District, Liaocheng 252000, China. E-mail: wykf2012@126.com

functional properties of biscuits. It can provide a reference for the further development of wheat bran products.

KEY WORDS: wheat bran; crisp biscuit; solvent retention capacity; spread ratio; starch digestibility

0 引 言

小麦麸皮是小麦精制面粉制备过程中产生的主要副产物, 含有丰富的膳食纤维、酚类化合物、矿物质和维生素等多种营养元素^[1]。麦麸中含有丰富的膳食纤维、蛋白质和酚类物质, 能够有效抑制多种慢性疾病^[2]。然而, 麦麸中含有大量的不溶性膳食纤维, 在馒头、面包等食品中添加麦麸会破坏面筋蛋白的空间结构, 影响馒头、面包等食品的口感^[3]。如何在不影响食品的食品品质的前提下, 增加食品中麦麸的添加量, 是食品企业的一大挑战。

饼干是一种以小麦面粉为基础的面制品, 消费趋势越来越大, 因具有即食性质、高营养品质、美味可获得性和较长保质期而受到欢迎^[4]。此外, 饼干可以作为膳食纤维、酚类化合物等营养功能物质的重要载体^[5]。随着对食用膳食纤维的健康益处认识的不断提高, 人们对开发富含膳食纤维的食品越来越感兴趣^[6]。因此, 考虑到麦麸的原料特性和饼干的酥脆特性, 在饼干中添加麦麸可能是实现麦麸推广和使用的重要方式。在食品中充分地利用麦麸资源, 研制出适合人们饮食习惯的麦麸饼干, 可以弥补精制食物中功能成分的不足^[7], 同时使农副产品得以增值。添加麦麸有助于提高饼干中蛋白质、纤维和矿物质的含量, 具有较高的营养价值^[8]。目前, 以麦麸为原料, 在麦麸纤维饼干、麦麸无糖酥性饼干等产品中进行了有效尝试, 主要采用单因素、正交实验等方法优化了麦麸饼干的配方^[9-12], 但缺少从物理性质、饼干消化性以及各参数相关性等角度进行深入挖掘。本研究将麦麸部分替代小麦面粉添加到饼干食品中, 探究麦麸对酥性饼干物理性质和淀粉消化性的影响, 并进行饼干各参数相关性和主成分分析, 以利于根据麦麸的添加量变化来调控饼干的品质。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

麦麸(食品级, 徐州义长欣商贸有限公司); 低筋粉(食品级, 新乡良润全谷物食品有限公司); 淀粉(食品级, 山东圣琪生物有限公司); 小苏打(食品级, 河北兆发食品有限公司); 植物油(食品级, 益海嘉里食品有限公司); 牛奶(食品级, 内蒙古伊利实业集团股份有限公司); 白砂糖(食品级, 乐陵市华圆食品有限公司); 食盐(食品级, 河北绿海康信多品种食盐有限公司); 鸡蛋、水, 市售。

α -淀粉酶(酶活度 35 U/mg)、淀粉葡萄糖苷酶(酶活度 100000 U/mL)(上海麦克林生化科技有限公司); 蔗糖(分

析纯, 天津市大茂化学试剂厂); 磺基水杨酸(分析纯, 天津博迪化工股份有限公司)。

1.2 仪器与设备

FA2004 电子天平(0.1 mg, 上海舜宇恒平科学仪器有限公司); TD5 低速离心机(长沙英泰仪器有限公司); XYF-3E 远红外线食品烤炉(广州红菱电热设备有限公司); CT3 质构仪(美国 Brookfield 公司); CR-10 色差计(日本柯尼卡美能达传感公司); UV-1800 紫外可见分光光度计(上海美谱达仪器有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 混合粉溶剂保持力的测定

按照麦麸粉添加量分别为 0、10%、20%、30%、40%、50%的比例(麦麸粉占混合粉的质量比)添加到小麦面粉中制备混合粉。混合粉溶剂保持力参照 LI 等^[13]的方法测定。

1.3.2 麦麸饼干的制备

取混合粉 100 g、食用淀粉 10 g、小苏打 0.5 g、植物油 15 g、白砂糖 25 g、食盐 0.5 g、牛奶 10 g、鸡蛋 10 g、水 16 g 进行面团调制(38~40℃温水), 然后使用模具成型。前期: 上火 180℃下火 160℃焙烤 15 min; 后期: 上火 200℃下火 160℃焙烤 5 min, 冷却, 制得备用。

1.3.3 饼干颜色的测定

参考刘慧琳等^[14]的方法用 CR-10 色差计测定饼干色差值, 记录 L^* 、 a^* 、 b^* 。Chroma 值^[15]按照公式(1)计算:

$$\text{Chroma} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

式中, a^* 为红绿值; b^* 为黄蓝值。

1.3.4 饼干物理性质的测定

参考钟明明等^[16]的方法测定饼干的硬度, 使用 CT-3 质构仪的压缩模式, 参数设置为: TA39, 距离 3 mm, 测试速率 0.5 mm/s, 触发力 5 × g。延展度为饼干直径与厚度的比值。

1.3.5 饼干淀粉消化性的测定

饼干淀粉消化性的测定参考 WANG 等^[17]的方法。消化液的制备: 将 6 g α -淀粉酶加入到 40 mL 去离子水中, 混匀 10 min, 5000 r/min 离心 10 min 并取 30 mL 上清液, 加入 2 mL 淀粉葡萄糖苷酶和 3 mL 去离子水。取 500 mg 样品加入 14 mL 去离子水, 沸水浴加热 5 min 后快速冷却至 37℃。在溶液中加入 1 mL 消化液, 37℃消化 20~240 min 时分别取 0.2 mL 反应溶液, 加入 5 mL 80%乙醇, 混合溶液的葡萄糖含量采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定。

1.4 数据处理

数据分析采用 SPSS 20.0 软件进行统计分析, $P < 0.05$ 表示具有显著性差异。

2 结果与分析

2.1 麦麸对麦麸-小麦混合粉溶剂保持力的影响

溶剂保持力值可以用来预测混合粉的流变学性质^[13,18],添加麦麸会影响混合粉的溶剂保持力(图 1)。麦麸的添加致使混合粉的乳酸溶剂保持力值降低(4.71%~33.20%),水和碳酸钠溶剂保持力值增加,这是由于混合面粉中麦麸膳食纤维、破损淀粉等高吸水性成分含量增加引起的^[19]。随着麦麸添加量的增加,混合粉的水溶剂保持力逐渐升高。面粉吸水率较低会使面筋蛋白水合不充分,抑制面筋网络形成^[20]。麦麸添加量为 10%~20%时,混合粉的溶剂保持力值整体呈上升趋势,这可能与自身含有的复杂纤维结构引起的吸附性能较高有关。与未添加麦麸的混合粉相比,不同麦麸添加量混合粉的面筋性能指数均下降(25.73%~34.11%),说明在面团的制备过程中添加麦麸会导致面筋强度变弱。

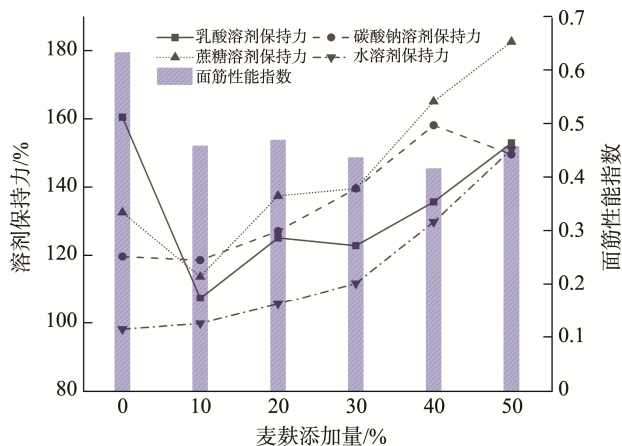


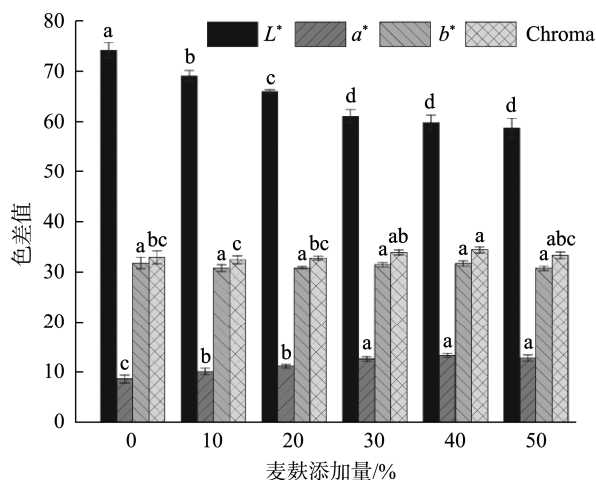
图 1 麦麸对混合粉溶剂保持力的影响

Fig.1 Effects of wheat bran on the solvent retention capacity values of flour blends

2.2 麦麸对酥性饼干颜色的影响

由图 2 可知,麦麸添加量由 0 增加至 30%时,饼干的亮度(L^*)显著降低($P<0.05$);添加量为 30%~50%时,饼干的 L^* 无显著变化($P>0.05$)。与未添加麦麸的饼干相比,麦麸饼干的 a^* 显著增加($P<0.05$),表明添加麦麸增加了饼干的红绿值。添加量为 10%~20%时,饼干的红绿值无显著差异($P>0.05$);当添加量大于 20%时,饼干的红绿值显著增加($P>0.05$);添加量为 30%~50%时,饼干的 a^* 无显著性变化($P>0.05$)。随着麦麸含量的增加,饼干的黄蓝值(b^*)无显著性变化($P>0.05$)。Chroma 值指颜色的鲜艳程度,表示纯度或饱和度^[15],同一色相中鲜艳的颜色高,不鲜艳的颜色低。相比未添加麦麸的饼干,麦麸添加量为 40%时饼干的色度值显著增加($P<0.05$),其他添加量的饼干色度值无显著性差异($P>0.05$)。添加一定量的麦麸会导致饼干颜色变暗;当麦麸

添加量为 30%~50%时,麦麸的颜色和烘焙引发的美拉德反应双重作用,可能导致饼干的颜色变化不大。



注: 相同指标中不同字母表示具有显著性差异, $P<0.05$, 图 3 同。

图 2 麦麸对饼干颜色的影响

Fig.2 Effects of wheat bran on the color of biscuits

2.3 麦麸对酥性饼干物理性质的影响

饼干是一种重要的休闲食品,营养丰富、口感酥脆,深受消费者喜爱。酥脆性是饼干的重要指标,酥脆性越好,则饼干的口感越好^[21-23]。本研究中饼干酥脆性由饼干的硬度和延展度表征,由图 3 可知,麦麸对饼干物理性质有一定的影响。根据统计分析可知,麦麸添加量与饼干的延展度($r=0.963$, $P<0.01$)、硬度($r=0.940$, $P<0.01$)呈极显著正相关。如图 3 所示,麦麸添加量为 0~20%时,饼干的延展度无显著变化($P>0.05$);添加量为 20%~30%时,饼干的延展度显著增大($P<0.05$)。麦麸添加量为 30%~50%时,饼干的延展度无显著变化($P>0.05$)。延展度主要受面团膨胀性的影响,SOZER 等^[24]研究发现增加麦麸的含量会增大

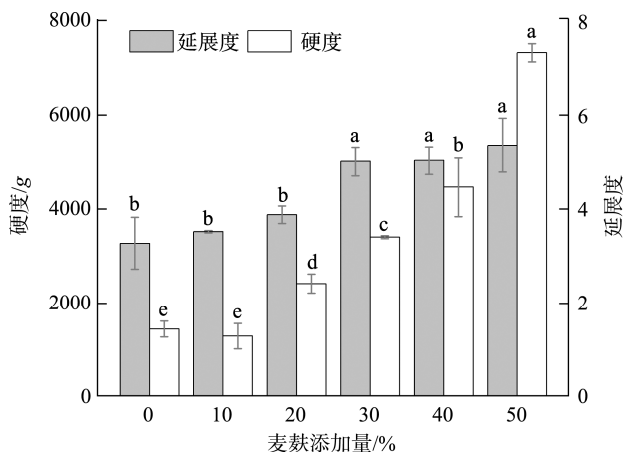


图 3 麦麸对饼干物理性质的影响

Fig.3 Effects of wheat bran on the physical properties of biscuits

饼干的延展度。延展度会影响饼干的酥脆性,一般情况下延展度大,饼干越脆,口感越好^[25]。如图 3 所示,麦麸添加量为 0~10%时,饼干的硬度无显著变化($P>0.05$);添加量由 10%增加至 50%时,饼干的硬度显著增大($P<0.05$),这可能是不溶性膳食纤维和蛋白质含量增加以及混合粉保水能力增强引起的^[7]。在一定范围内,饼干硬度越大,表明饼干的酥脆性越好^[26]。麦麸添加量大于 20%时增加了饼干的延展度和硬度(53.54%~64.31%和 135.98%~408.53%),添加较多的麦麸,其中的膳食纤维等物质稀释了小麦面筋蛋白和淀粉,使得饼干的蓬松度发生一定的变化^[27]。

2.4 麦麸对酥性饼干淀粉消化性的影响

近几年,消费者逐渐青睐麦麸,不仅因麦麸具有丰富的营养价值,也因为麦麸在控制血糖方面对健康有益。为深入考察麦麸饼干的功能性,对麦麸饼干的淀粉消化性进行了研究。不同麦麸添加量饼干的淀粉消化性如图 4 所示。除麦麸添加量为 10%、消化反应 20 min 时,其他麦麸饼干在不同的反应时段,葡萄糖释放量均低于未添加麦麸的饼干。在消化反应 120 min 时,未添加麦麸的饼干葡萄糖含量为 305.87 mg/g,麦麸饼干为 132.55~279.97 mg/g。在消化反应 240 min 时,添加麦麸饼干的葡萄糖含量均低于未添加麦麸的饼干,添加量为 50%的饼干葡萄糖含量最低。相比于未添加麦麸的饼干,添加 50%麦麸可以使得饼干对于酶促消化水解具有更好的抗性。麦麸中含有大量的膳食纤维和 10%~20%的淀粉^[28],添加麦麸的饼干本身具有较低的淀粉含量,造成了麦麸饼干消化终点时葡萄糖含量较低。水解反应从 20 min 到 60 min 时,未添加麦麸的饼干消化率最大为 3.39 mg/min,添加麦麸后饼干淀粉消化速率明显降低。

淀粉消化率主要与消化酶和淀粉接触的难易程度有关^[29],麦麸的存在能够减少淀粉与消化酶的接触面积^[24]。在饼干中添加麦麸能够补充膳食纤维等成分,但是为了兼顾麦麸饼干具有较好的口感,应注意麦麸的添加量^[30]。添加 30%麦麸的饼干在一定程度上抑制了饼干淀粉的消化,对于肥胖、高血糖等慢性病患者来说是一个很好的选择。

2.5 饼干各参数相关性和主成分分析

对混合粉溶剂保持力、饼干的颜色特征、物理性质和淀粉消化性进行相关性分析,有利于根据麦麸的添加量变化来调控饼干的品质,所得相关系数如表 1 所示。根据统计分析可知,乳酸溶剂保持力与麦麸添加量以及碳酸钠、

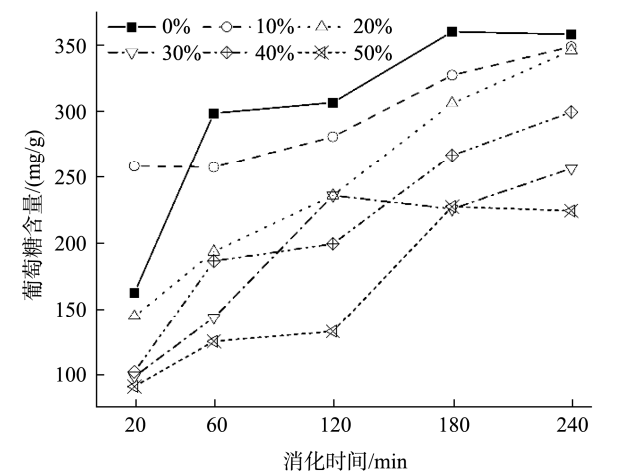


图 4 麦麸对饼干碳水化合物水解率的影响
Fig.4 Effects of wheat bran on the hydrolysis rate of carbohydrate in biscuit

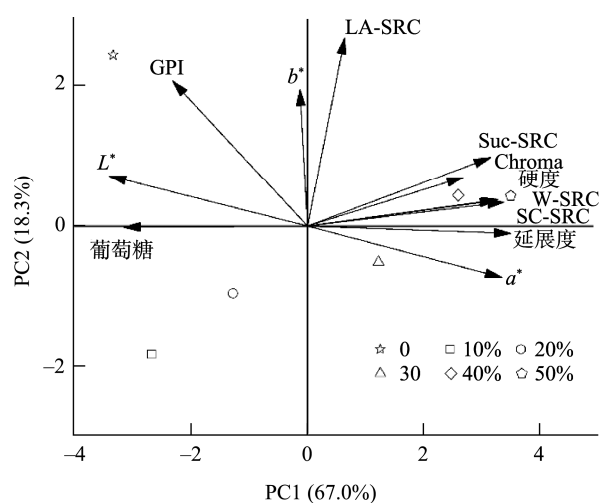
表 1 饼干各参数的相关性
Table 1 Correlation among various parameters of biscuit

项目	添加量	LA-SRC	SC-SRC	Suc-SRC	W-SRC	GPI	延展度	硬度	L^*	a^*	b^*	Chroma	葡萄糖
添加量	1.000												
LA-SRC	0.121	1.000											
SC-SRC	0.919**	0.224	1.000										
Suc-SRC	0.882*	0.562	0.870*	1.000									
W-SRC	0.935**	0.383	0.850*	0.954**	1.000								
GPI	-0.712	0.601	-0.615	-0.318	-0.470	1.000							
延展度	0.963**	0.121	0.923**	0.827*	0.864*	-0.681	1.000						
硬度	0.940**	0.395	0.832*	0.953**	0.989**	-0.454	0.888*	1.000					
L^*	-0.970**	0.072	-0.898*	-0.759	-0.823*	0.827*	-0.968**	-0.838*	1.000				
a^*	0.940**	-0.117	0.915*	0.719	0.767	-0.849*	0.949**	0.774	-0.990**	1.000			
b^*	-0.188	0.394	0.185	0.009	-0.189	0.356	-0.012	-0.199	0.161	-0.072	1.000		
Chroma	0.660	0.179	0.875*	0.614	0.527	-0.459	0.777	0.526	-0.711	0.773	0.576	1.000	
葡萄糖	-0.876*	-0.204	-0.749	-0.766	-0.838*	0.513	-0.932**	-0.890*	0.855*	-0.792	0.126	-0.580	1.000

注: LA-SRC、SC-SRC、Suc-SRC、W-SRC、GPI 分别表示乳酸、碳酸钠、蔗糖、水溶剂保持力、面筋性能指数; *表示显著差异($P<0.05$), **表示极显著差异($P<0.01$)。

蔗糖、水溶剂保持力无相关性($0 < r < 0.601$, $P > 0.05$); 麦麸添加量与碳酸钠($r = 0.919$, $P < 0.01$)、蔗糖($r = 0.882$, $P < 0.05$)、水($r = 0.935$, $P < 0.01$)溶剂保持力呈正相关性。麦麸添加量与饼干 L^* 呈强负相关性($r = -0.970$, $P < 0.01$), 麦麸添加量与 a^* 呈强正相关性($r = 0.940$, $P < 0.01$)。麦麸添加量与饼干延展度、硬度呈强正相关性($r = 0.963$, $r = 0.940$, $P < 0.01$), 与饼干消化终点葡萄糖含量呈负相关($r = -0.876$, $P < 0.05$)。溶剂保持力与饼干的膨胀度和起泡性有一定的关联, 影响饼干的烘焙品质^[13,31]。麦麸-小麦混合粉溶剂保持力与饼干物理性质的相关性分析结果见表1。碳酸钠、蔗糖和水溶剂保持力与饼干的延展度、硬度均呈显著正相关性($P < 0.05$)。其中, 碳酸钠溶剂保持力与延展度的相关性极显著($P < 0.01$), 蔗糖、水溶剂保持力与硬度呈极显著相关性($P < 0.01$); 但乳酸溶剂保持力与饼干物理性质无显著相关性($P > 0.05$)。饼干消化终点时葡萄糖含量与饼干的延展度($r = -0.932$, $P < 0.01$)、硬度($r = -0.890$, $P < 0.05$)有较强的相关性, 饼干的物理性质可能会影响淀粉的消化性。

采用主成分分析方法分析了麦麸对饼干品质的影响(图5), 提取的前两个主成分的累计贡献率分别为第一主成分(PC1) 67.0%和第二主成分(PC2) 18.3%。溶剂保持力、硬度、延展度、 a^* 和 Chroma 在第一主成分中起正向作用, 葡萄糖含量和颜色参数 L^* 、 b^* 及面筋性能指数起负向作用。延展度和 a^* 在第二主成分中起负向作用, 而其他性质起正向作用。从主成分分析中可以明显看出, 麦麸添加量对饼干的品质影响显著, 未添加麦麸的饼干葡萄糖含量、 L^* 较高, 而添加 50% 麦麸的饼干具有较高的水、碳酸钠和蔗糖溶剂保持力、延展度、硬度, 添加 10%~40% 麦麸的饼干显示出中间的结果。



注: LA-SRC、SC-SRC、Suc-SRC、W-SRC、GPI 分别表示乳酸、碳酸钠、蔗糖、水溶剂保持力、面筋性能指数。

图5 饼干各参数主成分分析

Fig.5 Principal component analysis of the various parameters of biscuit

3 结论

本研究从物理性质、饼干消化性以及各参数相关性等角度对麦麸饼干品质进行深入挖掘, 麦麸的添加使得饼干的物理性质以及淀粉消化性发生了显著的变化。麦麸添加量与混合粉的碳酸钠、蔗糖、水溶剂保持力呈正线性相关性, 与饼干物理性质(延展度、硬度)呈正相关性, 与饼干淀粉消化性(消化终点葡萄糖含量)呈负相关。过多的添加麦麸会导致饼干口感变差, 苦味增加。综合分析麦麸对饼干物理性质和淀粉消化性的影响, 兼顾麦麸饼干具有较好的口感, 确定适量麦麸(添加量 30%)可以有效改善饼干的品质。将麦麸适量添加到饼干中, 提高了膳食纤维含量, 一定程度上抑制了饼干淀粉的消化, 增加了饼干的保健功能。本研究主要关注了麦麸添加量, 研究结果可以为麦麸食品的开发提供参考, 下一步还需要重点考察麦麸粒径尺寸对饼干品质的影响, 以期研制出食用品质更好的麦麸产品。

参考文献

- [1] ONIPE OO, JIDEANI AIO, BESWA D. Composition and functionality of wheat bran and its application in some cereal food products [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2015, 50(12): 2509–2518.
- [2] PRÜCKLER M, SIEBENHANDL-EHN S, APRICH S, *et al.* Wheat bran-based biorefinery 1: Composition of wheat bran and strategies of functionalization [J]. *LWT*, 2014, 56(2): 211–221.
- [3] AKTAS-AKYILDIZ E, MATTILA O, SOZER N, *et al.* Effect of steam explosion on enzymatic hydrolysis and baking quality of wheat bran [J]. *J Cere Sci*, 2017, 78: 25–32.
- [4] DEVI A, KHATKAR BS. Physicochemical, rheological and functional properties of fats and oils in relation to cookie quality: A review [J]. *J Food Sci Technol Mys*, 2016, 53(10): 3633–3641.
- [5] KAHRAMAN K, AKTAS-AKYILDIZ E, OZTURK S, *et al.* Effect of different resistant starch sources and wheat bran on dietary fibre content and *in vitro* glycaemic index values of cookies [J]. *J Cere Sci*, 2019, 90: 102851.
- [6] BIRT DF, BOYLSTON T, HENDRICH S, *et al.* Resistant starch: Promise for improving human health [J]. *Adv Nutr*, 2013, 4(6): 587–601.
- [7] NGUYEN SN, VIEN MD, LE TTT, *et al.* Effects of enzymatic treatment conditions on dietary fibre content of wheat bran and use of cellulase-treated bran in cookie [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2021, 56: 4017–4025.
- [8] FILIPČEV B, NEDELJKOVIĆ N, ŠIMURINA O, *et al.* Partial replacement of fat with wheat bran in formulation of biscuits enriched with herbal blend [J]. *Hem Ind*, 2017, 71(1): 61–67.
- [9] 郑绍达. 响应面法在麦麸膳食纤维饼干研制中的应用[J]. *农产品加工*, 2016, (6): 12–16.
- [10] ZHENG SD. Application of response surface methodology in development of wheat bran dietary fiber biscuit [J]. *Farm Prod Process*, 2016, (6): 12–16.
- [11] 陈凤莲, 贾冰心. 小麦麸皮膳食纤维饼干的单因素研究[J]. *食品科技*, 2011, 36(12): 167–169, 173.

- CHEN FL, JIA BX. Preparation of wheat fibre biscuit by single factor [J]. Food Sci Technol, 2011, 36(12): 167–169, 173.
- [11] 李梦琴, 路中兴, 常志伟. 麦麸粗纤维饼干的研制[J]. 粮食与饲料工业, 2009, (3): 30–31, 34.
- LI MQ, LU ZX, CHANG ZW. Development of biscuit made of wheat bran coarse fiber [J]. Cere Feed Ind, 2009, (3): 30–31, 34.
- [12] 张国真, 何建军, 姚晓玲, 等. 麦麸无糖酥性饼干的研制[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(22): 50–55.
- ZHANG GZ, HE JJ, YAO XL, *et al.* Development of wheat bran crisp biscuit without sugar [J]. Food Res Dev, 2015, 36(22): 50–55.
- [13] LI J, HOU GG, CHEN Z, *et al.* Studying the effects of whole-wheat flour on the rheological properties and the quality attributes of whole-wheat saltine cracker using SRC, alveograph, rheometer, and NMR technique [J]. LWT, 2014, 55(1): 43–50.
- [14] 刘慧琳, 王玉珍, 于新雨, 等. 青稞全谷及麸皮对饼干品质的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(9): 62–67.
- LIU HL, WANG YZ, YU XY, *et al.* Effects of highland barley whole grain and bran on biscuit quality [J]. Sci Technol Food Ind, 2019, 40(9): 62–67.
- [15] AN NN, SUN WH, LI BZ, *et al.* Effect of different drying techniques on drying kinetics, nutritional components, antioxidant capacity, physical properties and microstructure of edamame [J]. Food Chem, 2021, 373(Pt B): 131412.
- [16] 钟明明, 齐宝坤, 孙禹凡, 等. 生物解离大豆膳食纤维对饼干质构及消化特性的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(2): 18–24.
- ZHONG MM, QI BK, SUN YF, *et al.* Effect of soybean dietary fiber from enzyme-assisted aqueous extraction processing on the texture and digestibility of biscuits [J]. Food Sci, 2019, 40(2): 18–24.
- [17] WANG H, ZHU S, RAMASWAMY H, *et al.* Dynamics of texture change and *in vitro* starch digestibility with high-pressure, freeze-thaw cycle, and germination-parboiling treatments of brown rice [J]. Trans ASABE, 2021, 64: 103–115.
- [18] SLADE L, LEVINE H. Structure-function relationships of cookie and cracker ingredients [Z].
- [19] KONG F, LI Y, XUE D, *et al.* Physical properties, antioxidant capacity, and starch digestibility of cookies enriched with steam-exploded wheat bran [J]. Front Nutr, 2022, 9: 1068785.
- [20] SAINI P, YADAV N, KAUR D, *et al.* Physicochemical, functional and biscuit making properties of wheat flour and potato flour blends [J]. Curr Nutr Food Sci, 2017, 13: 1–1.
- [21] 韩小存. 大豆渣粉在酥性饼干中的应用研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(20): 8223–8228.
- HAN XC. Research on the application of soybean dregs powder in crisp biscuits [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(20): 8223–8228.
- [22] CAPP A, KELLY JD, NG PKW. Baking performance of 25 edible dry bean powders: Correlation between cookie quality and rapid test indices [J]. Food Chem, 2020, 302: 125338.
- [23] SULIEMAN AA, ZHU KX, PENG W, *et al.* Rheological and quality characteristics of composite gluten-free dough and biscuits supplemented with fermented and unfermented *Agaricus bisporus* polysaccharide flour [J]. Food Chem, 2019, 271: 193–203.
- [24] SOZER N, CICERELLI L, HEINIO RL, *et al.* Effect of wheat bran addition on *in vitro* starch digestibility, physico-mechanical and sensory properties of biscuits [J]. J Cere Sci, 2014, 60(1): 105–113.
- [25] 林楠, 夏杨毅, 鲁言文. 饼干品质评价的研究进展[J]. 粮油加工, 2009, (3): 102–105.
- LIN N, XIA YY, LU YW. Research progress of biscuit quality evaluation [J]. Cere Oils Proc, 2009, (3): 102–105.
- [26] 赵芬, 贾丁玮, 周燕, 等. 转谷氨酰胺酶改良青稞粉品质和青稞饼干口感研究[J]. 食品科学技术学报, 2021, 39(2): 110–116, 151.
- ZHAO F, JIA DW, ZHOU Y, *et al.* Study on improving quality of highland barley flour and taste of highland barley biscuit by transglutaminase [J]. J Food Sci Technol, 2021, 39(2): 110–116, 151.
- [27] YANG L, WANG S, ZHANG W, *et al.* Effect of black soybean flour particle size on the nutritional, texture and physicochemical characteristics of cookies [J]. LWT, 2022, 164: 113649.
- [28] ZHAO G, GAO Q, HADIATULLAH H, *et al.* Effect of wheat bran steam explosion pretreatment on flavors of nonenzymatic browning products [J]. LWT, 2021, 135: 110026.
- [29] WANG S, WANG S, LIU L, *et al.* Structural orders of wheat starch do not determine the *in vitro* enzymatic digestibility [J]. J Agric Food Chem, 2017, 65(8): 1697–1706.
- [30] 马萌, 邹雅芳, 李力, 等. 麦麸在面制品中的应用及研究进展[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(1): 10–12.
- MA M, ZOU Y F, LI L, *et al.* Application and research progress of wheat bran in flour product [J]. J Cere Oils, 2021, 34(1): 10–12.
- [31] KWEON M, SLADE L, LEVINE H. Solvent retention capacity (SRC) testing of wheat flour: Principles and value in predicting flour functionality in different wheat-based food processes and in wheat breeding—A review [J]. Cere Chem, 2011, 88(6): 537–552.

(责任编辑: 于梦娇 郑 丽)

作者简介

李 悦. 主要研究方向为食品科学与工程。
E-mail: liyue210328@163.com

孔 峰. 讲师, 主要研究方向为农产品加工副产物高值化利用。
E-mail: wykf2012@126.com