

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2024.81044

藜麦全粉添加量对饼干品质及血糖生成指数的影响

王颖¹ 张新一¹ 于博¹ 李云捷^{1,2} 汤尚文^{1,2} 吴进菊^{1,2}

(1. 湖北文理学院食品科学与化学工程学院, 湖北 襄阳 441053;

2. 湖北省食品配料工程技术研究中心, 湖北 襄阳 441053)

摘要: [目的] 探究藜麦全粉添加量对饼干品质和体外消化特性的影响。[方法] 在小麦粉中添加不同比例(0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%)的藜麦全粉, 考察藜麦全粉添加量对饼干品质和体外消化特性的影响。[结果] 与未添加组相比, 随着藜麦全粉添加量的增加, 藜麦饼干的水分含量逐渐升高, 硬度逐渐下降, 柔韧性先增大后减小, 当藜麦全粉添加量为 30% 时, 饼干的柔韧性最大; 随着藜麦全粉添加量的逐渐增加, 饼干的风味发生显著性变化($P < 0.05$), 感官评分和总淀粉水解率逐渐降低。当藜麦全粉添加量 $> 20\%$ 时, 饼干的血糖生成指数(GI)值低于 55, 为低 GI 食品。[结论] 添加藜麦全粉可降低饼干的体外消化率和血糖生成指数。

关键词: 藜麦饼干; 低血糖生成指数; 电子舌; 电子鼻

Effects of whole quinoa flour addition on biscuit quality and glycemic index

WANG Ying¹ ZHANG Xinyi¹ YU Bo¹ LI Yunjie^{1,2} TANG Shangwen^{1,2} WU Jinju^{1,2}

(1. School of Food Science and Chemical Engineering, Hubei University of Arts and Science, Xiangyang, Hubei 441053, China;

2. Hubei Provincial Engineering and Technology Research Center for Food Ingredients, Xiangyang, Hubei 441053, China)

Abstract: [Objective] To explore the effects of whole quinoa flour addition on the quality and *in vitro* digestion characteristics of biscuits. [Methods] Whole quinoa flour, at varying proportions (0%, 10%, 20%, 30%, 40%, and 50%), is added to wheat flour to investigate the effects of whole quinoa flour addition on the quality and *in vitro* digestion characteristics of biscuits. [Results] Compared with the control group without whole quinoa flour, the groups with whole quinoa flour addition show gradually increased moisture content of quinoa biscuits as well as their hardness gradually decreasing and toughness first increasing and then decreasing as the addition of whole quinoa flour increases. When the addition of whole quinoa flour is 30%, the toughness of the biscuits reaches its maximum. As the addition of whole quinoa flour gradually increases, the flavor of the biscuits changes significantly ($P < 0.05$), and the sensory score and total starch hydrolysis rate gradually decrease. When the addition of whole quinoa flour exceeds 20%, the glycemic index (GI) value of the biscuits is below 55, which indicates they are low GI foods. [Conclusion] Adding whole quinoa flour can reduce the *in vitro* digestibility and GI of biscuits.

Keywords: quinoa biscuit; low glycemic index; electronic tongue; electronic nose

藜麦(*Chenopodium quinoa* Willd.)又称藜谷、南美藜、昆诺阿藜等, 其对于旱、寒冷和盐度等各种环境压力的耐受性强, 是唯一的全谷物且具备全面营养、完全蛋白属性的碱性食物^[1-3]。藜麦中含有矿物质、维生素以及 8 种人体必需的氨基酸等营养成分, 可以均衡人类营养素的摄

入, 还含有丰富的活性物质, 如多酚类化合物、黄酮类成分以及皂苷等多种生物活性因子^[4-5], 其氨基酸组分接近人体所需, 赖氨酸、色氨酸等限制性氨基酸占比高, 具有低致敏、易消化等多重优点, 是人体所需的优质蛋白源^[6], 同时其总膳食纤维质量分数高达 10%, 其中可溶性纤维

基金项目: 湖北省大学生创新创业训练项目(编号: S202410519045)

通信作者: 吴进菊(1983—), 女, 湖北文理学院教授, 博士。E-mail: wujinju302@163.com

收稿日期: 2024-10-16 改回日期: 2025-03-31

引用格式: 王颖, 张新一, 于博, 等. 藜麦全粉添加量对饼干品质及血糖生成指数的影响[J]. 食品与机械, 2025, 41(6): 150-156.

Citation: WANG Ying, ZHANG Xinyi, YU Bo, et al. Effects of whole quinoa flour addition on biscuit quality and glycemic index[J]. Food & Machinery, 2025, 41(6): 150-156.

素占36%,显著高于小麦和玉米等粮食作物^[7]。藜麦以其低升糖指数特性著称,其主要糖类构成包括木糖与麦芽糖等复杂多糖,该糖类在摄入后不会导致血糖水平的急剧上升^[8]。相关研究^[9-10]表明,藜麦的抗菌、抗氧化、抗炎等特性与健康促进相关,对心血管疾病、肥胖、糖尿病甚至癌症具有潜在的益处。

食物血糖生成指数(glycemic index, GI)旨在通过量化不同食物在餐后引发的血糖波动幅度来区分其提升人体血糖水平的效能。低GI食物因其在摄入后引发的血糖反应较为平缓,可以有效地管理血糖水平,对维护血糖稳定具有积极作用^[11]。目前,市面上常见的饼干多为高油高糖,对于糖尿病患者等一些特殊人群来说不适宜食用^[11-12]。Sazesh等^[13]进一步揭示了藜麦粉作为小麦粉的替代品在饼干制作中的潜力,其不仅能够优化饼干的质地硬度,且在结合使用品质改良剂后,还能生产出适宜乳糖患者消费的无麸质烘焙食品,为特定人群的饮食健康提供了新选择。此外,添加藜麦粉能够显著降低面包的体外消化率,说明藜麦粉具有开发低血糖指数产品的潜力^[14]。以上研究主要是将粉碎过筛后的藜麦淀粉加入小麦粉中制作饼干^[15],有关藜麦全粉添加量对饼干的品质以及GI值的影响研究较少,而藜麦中的膳食纤维、多酚类化合物、黄酮类等功能性成分主要集中在藜麦皮中。研究拟将藜麦全粉与低筋面粉进行复配,分析藜麦全粉添加量对饼干颜色、质构、风味及GI值的影响,以期为低GI藜麦饼干的研制提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

藜麦:每100 g含蛋白质13.2 g,脂肪6.7 g,碳水化合物64.8 g,钠7 mg,沈阳信昌粮食贸易有限公司;

低筋面粉:每100 g含蛋白质8.2 g,脂肪1.1 g,碳水化合物77.7 g,钠0 mg,枣庄市顺鑫面粉有限公司;

白砂糖、鲜鸡蛋、大豆油、泡打粉、小苏打:市售;

3,5-二硝基水杨酸(分析纯)、 α -淀粉酶(2万U/mL)、糖化酶(10万U/mL):上海源叶生物科技有限公司。

1.2 主要仪器与设备

电子天平:ME104E型,梅特勒托利多科技(中国)有限公司;

质构仪:TA.XT Plus型,英国Stable Micro Systems公司;

便携式电子鼻:PEN3型,德国Airsense公司;

电子舌:SA 402B型,日本Insent公司;

色度仪:UltraScan PRO型,美国HunterLab仪器公司;

分光光度计:V-1800型,上海美普达仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 藜麦饼干制备 将洗净的藜麦烘干,粉碎,过筛(80目),取筛上物反复粉碎、过筛3次,合并筛下物,按质

量分数0%,10%,20%,30%,40%,50%分别与低筋小麦粉混合。取混合粉100 g,加入白砂糖20 g,大豆油10 g,蛋液15 g,泡打粉0.3 g,小苏打0.6 g,水15 g,制作饼干。

1.3.2 饼干水分含量测定 按GB 5009.3—2016执行,根据式(1)计算饼干水分含量。

$$X = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_3} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

X——试样中水分含量,%;

m_1 ——称量瓶和试样的质量,g;

m_2 ——称量瓶和试样干燥后的质量,g;

m_3 ——称量瓶的质量,g。

1.3.3 饼干色泽测定 参考熊佳颖等^[16]的方法。

1.3.4 饼干质构测定 通过AIB国际标准方法并搭配弯曲测试装置(HDP/3PB)进行饼干的折断测试来评估饼干的硬度及脆性。测前速度2.5 mm/s,测中速度2.0 mm/s,测后速度10.0 mm/s,测试距离15 mm,触发力0.196 N。每组样品随机取3块进行测试并取平均值。

1.3.5 饼干风味测定

(1) 电子鼻:参考Yang等^[17]的方法。清洗时间60 s,样品准备时间5 s,检测时间120 s,吸气流量300 mL/min,样品流量300 mL/min,采用较为平稳的58-60 s的信号曲线值作为信号处理的时间点。电子鼻传感器响应的敏感物质及检测限见表1^[18]。

(2) 电子舌:参考Buratti等^[19]的方法。

表1 电子鼻传感器响应的敏感物质及检测限

Table 1 Sensitive substances and detection limits of electronic nose sensor response

传感器名称	响应的敏感物质	检测限/(mg·L ⁻¹)
W1C(S1)	芳香成分苯类	10
W5S(S2)	氮氧化合物	1
W3C(S3)	氨类、芳香成分	10
W6S(S4)	氢化物	100
W5C(S5)	短链烷烃、芳香成分	10
W1S(S6)	甲基类	100
W1W(S7)	无机硫化物	10
W2S(S8)	醇类、醛酮类	100
W2W(S9)	芳香成分、有机硫化物	10
W3S(S10)	长链烷烃	10

1.3.6 体外消化特性测定

(1) 样品处理及淀粉水解率:参考Englyst等^[20]的方法并略作调整。将饼干样品研磨成粉,精确称取40 mg样品粉末于10 mL离心管中,加入6 mL醋酸钠缓冲溶液(0.1 mol/L,pH 5.2),确保溶液充分覆盖样品。37 ℃水浴

30 min,加入新鲜配制的混合酶液 2 mL(4 000 U/mL糖化酶与 1 000 U/mL的 α -淀粉酶),涡旋混匀。37 °C、500 r/min 分别酶解 0, 10, 20, 30, 60, 90, 120 min,取 1 mL 水解液迅速转移至含有 4 mL 无水乙醇的试管中终止反应,沸水浴 5 min。

(2) DNS 法测葡萄糖:向待检测样品中准确加入 5 mL 纯水,2 mL 二硝基水杨酸(DNS)试剂,涡旋混匀,沸水浴 5 min。自然冷却至室温状态,使用分光光度计测定 540 nm 处吸光度值(OD 值)。根据式(2)计算淀粉消化率。以水解时间为横坐标,水解率为纵坐标,绘制葡萄糖标准曲线方程为 $y=1.298 3x-0.025 4, R^2=0.998 5$ 。

$$c = \frac{m_1 \times 0.9}{m_2} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

c ——淀粉消化率,%;

m_1 ——取样时间点反应液中的葡萄糖释放量,g;

m_2 ——总干物质量,g。

依据淀粉消化率曲线图,计算出曲线下覆盖的总面积(AUC),并按式(3)进行数据处理,以量化评估得出样品的淀粉水解指数。

$$H = \frac{A_{UC, sample}}{A_{UC, reference}} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

H ——淀粉水解指数,%;

$A_{UC, sample}$ ——取样时间点水解率曲线下面积;

$A_{UC, reference}$ ——参比食物水解率曲线下面积。

将水解 20, 120 min 后的葡萄糖含量分别标记为 G_{20} 和 G_{120} ,按式(4)~式(6)计算快消化淀粉(RDS)、慢消化淀粉(SDS)和抗性淀粉(RS)含量。

$$C_{RDS} = \frac{(G_{20} - F_G) \times 0.9}{T_S} \times 100\%, \quad (4)$$

$$C_{SDS} = \frac{(G_{120} - G_{20}) \times 0.9}{T_S} \times 100\%, \quad (5)$$

$$C_{RS} = (1 - C_{RDS} - C_{SDS}) \times 100\%, \quad (6)$$

式中:

C_{RDS} ——RDS 含量,%;

C_{SDS} ——SDS 含量,%;

C_{RS} ——RS 含量,%;

F_G ——酶解前游离葡萄糖质量,mg;

G_{20} ——酶解 20 min 后产生的游离葡萄糖质量,mg;

G_{120} ——酶解 120 min 后产生的游离葡萄糖质量,mg;

T_S ——样品中总淀粉质量,mg。

(3) 血糖生成指数:根据 Åkerberg 等^[21-22]的方法,以白面包为参考物,按式(7)计算 GI 值。

$$I_G = 0.862I_H + 8.198 1, \quad (7)$$

式中:

I_G ——血糖生成指数;

I_H ——淀粉水解指数,%。

1.3.7 感官评价 随机选取 10 名师生(男女各 5 名)组成感官评价小组,按表 2 对饼干的形态、组织结构、口感、色泽和风味进行综合评分^[23],取平均值。

表 2 藜麦饼干感官评价表

Table 2 Sensory evaluation of quinoa biscuits

评定项目	评分标准	分值
形态(20分)	形状残缺,破碎严重,表面残缺,气泡较大	5~12
	外型基本完整,表面基本平整,无大气泡	13~16
	外型完整,厚薄均匀,表面平整无气泡	17~20
组织结构(20分)	纹理坚硬,横切面层次不清,空洞较大	5~12
	断面层次感清晰,孔径稍大,组织均匀	13~16
口感(20分)	细而多孔,无大孔,组织均匀	17~20
	口感僵硬粗糙,较涩	5~12
	较酥松,基本无涩味,稍粘牙	13~16
色泽(20分)	酥松,细腻,无涩味,不粘牙	17~20
	色泽不均匀,有焦糊、过白现象	5~12
	色泽基本均匀,有过焦、发白等现象	13~16
风味(20分)	表面呈金黄色,色泽均匀,无过焦、发白现象	17~20
	无明显香味,有焦味	5~12
	香味略淡,无焦味以及其他异味	13~16
	香味浓,无异味	17~20

1.3.8 数据处理 采用 Excel 2019 软件处理数据,Origin 2019 软件绘图,小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 藜麦全粉添加量对饼干水分含量的影响

由图 1 可知,各组饼干的水分含量均未超过 4%,符合国标对饼干含水量的要求。饼干的水分含量随藜麦全粉添加量的增加而增加,可能归因于藜麦内富含的膳食纤维成分具有较强的亲水性,增强了饼干的保水性能;此外,由于藜麦全粉的加入,强化了混合粉中的蛋白质含量,且蛋白质具有一定的水合作用。周亚丽等^[24]研究表明,添加藜麦粉不仅可显著改善面糊的流变学性能,还可优化饼干的烘焙品质,有效延缓饼干的老化过程。

2.2 藜麦全粉添加量对饼干色泽的影响

由表 3 可知,随着藜麦全粉添加量的增加,饼干的 L^* 值逐渐降低, a^* 值与 b^* 值呈上升趋势,即饼干颜色逐渐偏红、偏黄,明度越来越暗。朱凯莉^[25]研究表明,随着藜麦全粉添加量的增加,饼干的颜色越来越偏向黄褐色,这主要是藜麦饼干色泽受藜麦本身色泽影响,藜麦籽粒色泽多样,源于多酚、黄酮等天然色素,烘烤过程中,这些色素变化影响饼干的最终色泽。除美拉德反应外,焦糖化等

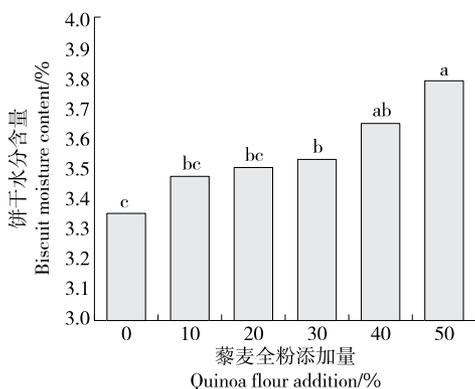


图1 藜麦全粉添加量对饼干水分含量的影响

Figure 1 Effect of whole quinoa flour addition on moisture content of biscuits

反应也会加深饼干颜色,形成诱人金黄或深褐。藜麦全粉添加量越多,美拉德反应越剧烈,饼干颜色越深。

表3 藜麦全粉添加量对饼干色泽的影响

Table 3 Effect of whole quinoa flour addition on biscuit color

藜麦全粉添加量/%	L^*	a^*	b^*
0	81.71±0.61 ^a	3.87±0.21 ^d	23.34±0.47 ^d
10	78.62±1.00 ^b	4.44±0.31 ^{cd}	26.38±0.13 ^c
20	76.34±1.06 ^c	4.76±0.31 ^c	26.68±0.39 ^c
30	73.33±0.99 ^d	6.64±0.58 ^b	28.22±0.68 ^b
40	70.38±1.17 ^e	9.17±0.34 ^a	29.25±0.70 ^a
50	66.50±0.94 ^f	9.60±0.14 ^a	29.88±0.22 ^a

2.3 藜麦全粉添加量对饼干质构的影响

由图2可知,随着藜麦粉添加量的增加,饼干的柔韧性先增大后减小,当藜麦全粉添加量为30%时,饼干的柔

韧性达到峰值,说明适量添加藜麦有助于增加饼干的柔韧性,但添加量>30%后,饼干容易破碎。藜麦中蛋白质含量高于小麦,但其不含面筋蛋白,当在小麦粉中加入藜麦粉后,面筋蛋白含量被稀释,破坏了面筋蛋白网络结构的连续性,面团强度变弱,且随着藜麦粉添加量的增加,饼干水分含量增大也会导致饼干硬度降低,但这种特征对于制作饼干反而有利^[26]。

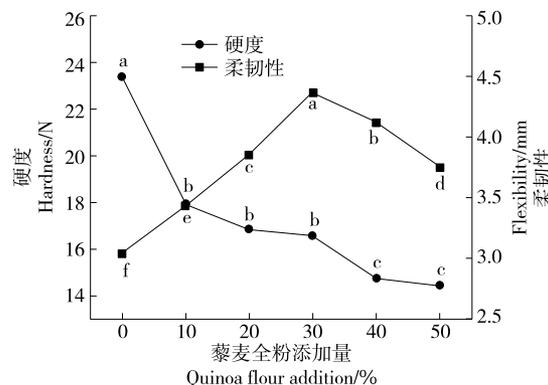


图2 藜麦全粉添加量对饼干质构的影响

Figure 2 Effect of whole quinoa flour addition on biscuit texture

2.4 藜麦全粉添加量对饼干风味的影响

由表4可知,挥发性成分在W1C、W3C、W5C、W2S、W2W及W3S传感器上呈现出较高的响应值($P<0.05$),表明其对挥发性成分的敏感度存在明显不同。相比之下,W5S、W6S、W1W与W1S传感器在响应值上未表现出显著差异,说明这些传感器在检测挥发性成分时具有较为接近的响应特性。藜麦饼干的香气在氮氢化物、氢气、有机硫化物、萜类物质和甲烷间的差异不明显,而香味的差异主要体现在芳香类物质、烷烃、乙醇和有机硫化物等化合物上。

表4 藜麦全粉添加量对饼干气味的影响

Table 4 Effect of whole quinoa flour addition on biscuit odor

藜麦全粉添加量/%	W1C	W5S	W3C	W6S	W5C	W1S	W1W	W2S	W2W	W3S
0	0.57±0.01 ^a	3.70±0.06 ^c	0.60±0.01 ^a	0.97±0.01 ^b	0.58±0.00 ^b	5.62±0.05 ^a	9.69±0.37 ^{de}	2.16±0.03 ^c	1.08±0.01 ^{bc}	0.92±0.01 ^c
10	0.57±0.00 ^a	4.16±0.07 ^d	0.60±0.00 ^b	0.99±0.01 ^b	0.59±0.01 ^a	5.46±0.23 ^b	10.72±1.06 ^{bc}	2.15±0.06 ^{cd}	1.07±0.01 ^c	0.95±0.01 ^c
20	0.57±0.01 ^a	4.07±0.08 ^d	0.59±0.01 ^c	0.99±0.01 ^b	0.59±0.01 ^a	5.33±0.08 ^c	9.36±0.09 ^c	2.11±0.05 ^d	1.08±0.01 ^{bc}	0.94±0.01 ^d
30	0.55±0.00 ^b	4.88±0.22 ^a	0.58±0.00 ^d	0.99±0.00 ^b	0.57±0.00 ^d	5.70±0.05 ^a	12.99±1.27 ^a	2.28±0.02 ^a	1.10±0.02 ^a	0.98±0.01 ^{ab}
40	0.55±0.01 ^b	4.59±0.14 ^b	0.58±0.00 ^d	1.00±0.01 ^b	0.58±0.01 ^c	5.64±0.12 ^a	11.22±0.84 ^b	2.28±0.05 ^a	1.08±0.01 ^{bc}	0.98±0.00 ^a
50	0.55±0.00 ^b	4.40±0.04 ^c	0.58±0.00 ^d	1.04±0.08 ^a	0.58±0.00 ^{bc}	5.50±0.05 ^b	10.18±0.25 ^{cd}	2.23±0.03 ^b	1.09±0.01 ^{bc}	0.97±0.01 ^b

由表5可知,各样品在酸味、苦味、涩味、后味-B、后味-A、鲜味、浓郁度及咸味等感官维度上差异显著($P<0.05$)。未添加藜麦粉的饼干具有较为均衡的味觉体验,

而随着藜麦全粉添加量的增加,饼干的咸味特征变得更为显著。

由图3可知,藜麦全粉添加量为30%的饼干丰度最

表 5 藜麦全粉添加量对饼干滋味的影响

Table 5 Effect of whole quinoa flour addition on biscuit taste

藜麦全粉添加量/%	酸味	苦味	涩味	后味-B	后味-A	鲜味
0	0.00±0.00 ^d	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^d	0.00±0.00 ^c	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^d
10	1.49±0.12 ^c	-2.56±0.18 ^d	0.35±0.57 ^{cd}	-1.48±0.56 ^d	-1.11±0.19 ^b	0.18±0.02 ^c
20	3.70±0.26 ^a	-2.07±0.13 ^c	1.41±0.46 ^b	-2.02±0.35 ^d	-3.25±0.33 ^c	0.35±0.03 ^b
30	1.40±0.06 ^c	-0.84±0.15 ^b	2.30±0.08 ^a	0.99±0.27 ^b	-0.67±0.44 ^b	0.46±0.03 ^a
40	3.32±0.07 ^b	-1.85±0.12 ^c	2.53±0.44 ^a	0.11±0.34 ^c	-2.73±0.50 ^c	0.38±0.04 ^b
50	1.44±0.11 ^c	-3.40±0.15 ^c	1.05±0.74 ^{bc}	4.38±0.26 ^a	-1.27±0.30 ^b	0.35±0.03 ^b

强,藜麦全粉添加量为 50% 的饼干咸味最强,未添加藜麦粉的饼干鲜味、苦味及后味-B 最强。藜麦本身含有香草酸、原儿茶酸、阿魏酸、咖啡酸和对香豆酸等酚酸类物质及其衍生物,其中阿魏酸、咖啡酸和对香豆酸含量较高^[27],可能是导致不同藜麦粉添加量在各指标上存在差异的原因。

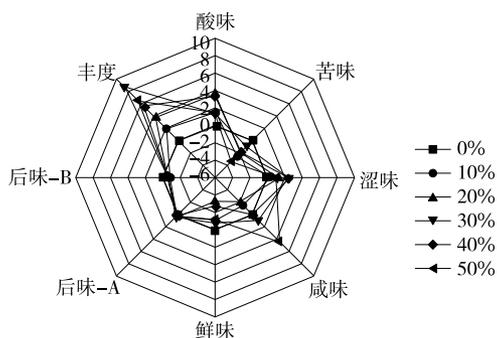


图 3 不同添加量下藜麦饼干口味雷达图

Figure 3 Radar chart of quinoa biscuit flavors at different addition levels

2.5 藜麦全粉添加量对饼干体外消化特性的影响

当藜麦全粉添加量为 0 时,RDS、SDS 与 RS 含量分别为 15.57%, 14.18%, 70.25%。随着藜麦全粉添加量的增加,RDS 与 SDS 含量呈递减趋势,RS 含量逐步攀升。当藜麦全粉添加量为 50% 时,RDS、SDS 与 RS 含量分别为 6.16%, 12.09%, 81.76%。

由图 4 可知,所有饼干均在前 30 min 有着较高的淀粉水解速率,随着时间的推移,淀粉水解速率不断降低并趋于平稳。随着藜麦全粉添加量的增加,饼干的淀粉水解率不断下降,在 120 min 时,未添加藜麦粉的饼干淀粉水解率为 66.11%,藜麦全粉添加量为 50% 时淀粉水解率下降至 40.54%。当藜麦全粉添加量为 0%,10%,20%,30%,40%,50% 时,饼干的 AUC 值分别为 52.91,45.82,42.76,37.18,32.69,29.35,参比物白面包的 AUC 值为 82.63。根据 AUC 值可计算相应饼干的 GI 值分别为 63.39,56.00,

52.80,46.99,42.30,29.82。随着藜麦全粉添加量的增加,饼干的 GI 值逐渐降低,主要归因于 RDS 与 SDS 含量的逐步减少及 RS 含量的增加。当藜麦全粉添加量 >20% 时,

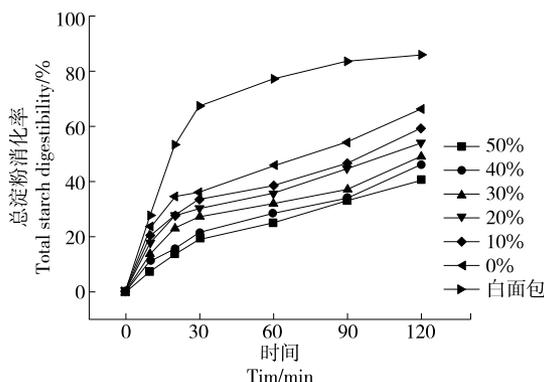


图 4 藜麦全粉添加量对饼干体外总淀粉消化率的影响
Figure 4 Effect of whole quinoa flour addition on *in vitro* total starch digestibility of biscuits

GI 值 <55,此时的饼干属于低 GI 食品,有助于改善 2 型糖尿病患者的血糖波动^[28]。

2.6 藜麦全粉添加量对饼干感官的影响

由表 6 可知,饼干感官评价的各维度得分随着藜麦全粉添加量的增加逐步降低。藜麦全粉添加量较低时,各维度得分差异微小,当藜麦全粉添加量增加至 30% 时,各维度得分差异显著 ($P < 0.05$),饼干的综合评分随着藜麦全粉添加量的增加而下降。藜麦全粉中含有较高含量的膳食纤维、总酚、黄酮等物质,随着藜麦全粉的添加,面团不易成型,口感粗糙,酥性饼干酥松度降低,颜色加深^[29]。当藜麦全粉添加量为 30% 时,藜麦饼干不仅能够维持优异的口感体验,还兼具了营养丰富、饱腹感强以及良好的适口性等特性。

3 结论

研究了藜麦全粉添加量对藜麦饼干水分、风味、质构、感官和体外消化特性的影响。结果表明,随着藜麦全粉添加量的增加,饼干水分含量逐渐升高,亮度越来越

表6 藜麦饼干的感官评价
Table 6 Sensory evaluation of quinoa biscuits

藜麦全粉 添加量/%	形态	组织	口感	色泽	风味	感官总分
0	17.67±1.03 ^a	18.00±0.63 ^a	18.00±0.63 ^a	17.83±0.75 ^a	16.33±1.37 ^a	87.83±1.60 ^a
10	17.67±0.52 ^a	17.17±0.75 ^{ab}	17.33±0.52 ^{ab}	17.50±0.84 ^a	15.83±1.17 ^a	84.50±1.76 ^b
20	16.83±0.75 ^{ab}	17.17±0.75 ^{ab}	16.67±1.03 ^{bc}	16.83±1.47 ^{ab}	15.00±0.89 ^a	82.84±3.13 ^b
30	16.67±0.52 ^{ab}	16.83±0.75 ^b	15.83±1.17 ^c	16.00±1.41 ^{bc}	12.50±1.05 ^b	77.67±2.16 ^c
40	16.50±1.05 ^{ab}	15.67±0.82 ^c	15.50±1.05 ^c	15.33±1.03 ^{cd}	11.00±1.10 ^{bc}	73.50±2.59 ^d
50	16.67±0.82 ^b	15.17±1.17 ^c	15.67±1.21 ^c	14.17±0.75 ^d	10.33±2.34 ^c	72.00±2.10 ^d

低,颜色逐渐偏向黄褐色;饼干硬度逐渐下降,而柔韧性先增大后减小,当藜麦全粉添加量为30%时,饼干的柔韧性最大。随着藜麦全粉添加量的增加,饼干的风味发生显著性变化,感官评分和总淀粉水解率逐渐降低,水解120 min时,饼干的总淀粉水解率由66.11%降至40.54%(藜麦全粉添加量50%);随着藜麦添加量的增加,饼干的血糖生成指数逐渐降低。当藜麦全粉添加量>20%时,饼干的血糖生成指数显著低于55,满足了低血糖生成指数产品的标准。该低血糖生成指数藜麦饼干,以其独特的风味和丰富的膳食纤维含量脱颖而出,不仅有效控制了血糖生成指数,还成为糖尿病患者、超重及中老年等特定消费者群体的理想膳食选择。后续可以结合风味物质解析与配方改良,针对性改善高藜麦含量饼干的口感与风味,同时优化藜麦—谷物复配方案及加工技术,如超微粉碎。

参考文献

- [1] 胡秋霞, 张国香, 康乐, 等. 藜麦营养特性及开发利用研究进展[J]. 现代农业科技, 2022(15): 181-185.
HU Q X, ZHANG G X, KANG L, et al. Research progress on nutritional properties and development and utilization of quinoa [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2022(15): 181-185.
- [2] 陈薇薇, 冯鹏睿, 张永清, 等. 藜麦研究态势与发展趋势分析[J]. 中国农学通报, 2024, 40(22): 8-16.
CHEN W W, FENG P R, ZHANG Y Q, et al. Analysis of research trends and development in quinoa studies[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2024, 40(22): 8-16.
- [3] 罗秀秀. 藜麦茶主要营养成分分析及抗氧化评价研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2018: 1.
LUO X X. Studies on the nutritional and functional compounds of quinoa tea and its antioxidant activity[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2018: 1.
- [4] 申审, 符宏奎, 聂博岩, 等. 藜麦营养成分及其代餐市场前景分析[J]. 粮油与饲料科技, 2022(2): 30-34.
SHEN S, FU H K, NIE B Y, et al. Study on the nutritional

components and its meal replacement development status and market prospect of chenopodium quinoa[J]. Grain Oil and Feed Technology, 2022(2): 30-34.

- [5] 赵萌萌, 杨希娟, 党斌, 等. 不同粒色藜麦营养品质及多酚组成与抗氧化活性比较分析[J]. 食品与机械, 2020, 36(8): 29-35.
ZHAO M M, YANG X J, DANG B, et al. Comparative analysis of nutrient quality and polyphenol composition and antioxidant activity of different colored quinoa[J]. Food & Machinery, 2020, 36(8): 29-35.
- [6] 王帅, 马强, 张亚峰, 等. 藜麦营养成分及其开发应用研究进展[J]. 北方农业学报, 2024, 52(3): 82-87.
WANG S, MA Q, ZHANG Y F, et al. Research progress on quinoa nutrient components and their development and application[J]. Journal of Northern Agriculture, 2024, 52(3): 82-87.
- [7] 陈茜, 王振兴, 孙健, 等. 藜麦的营养成分、生物活性及加工利用[J]. 生物加工过程, 2023, 21(3): 292-300.
CHEN Q, WANG Z X, SUN J, et al. Research progress on nutritional components, functional activities, and processing and utilization of quinoa[J]. Chinese Journal of Bioprocess Engineering, 2023, 21(3): 292-300.
- [8] 程立坤, 司乾康, 邱宏昌, 等. 黑小麦藜麦饼干加工工艺研究[J]. 现代食品, 2021, 27(12): 81-85, 90.
CHENG L K, SI Q K, QIU H C, et al. Study on processing technology of black wheat quinoa biscuit[J]. Modern Food, 2021, 27(12): 81-85, 90.
- [9] 秦小转, 李皓然, 聂卉, 等. 荞麦藜麦粉粗粮饼干的加工工艺研究[J]. 农产品加工, 2022(16): 37-41.
QIN X Z, LI H R, NIE H, et al. Study on processing technology of buckwheat and quinoa coarse flour grain biscuits[J]. Farm Products Processing, 2022(16): 37-41.
- [10] 白海军, 庞惟俏, 张智慧, 等. 藜麦—蓝靛果复合汁发酵工艺及其上清液抗氧化与抗疲劳作用研究[J]. 食品与机械, 2024, 40(7): 148-154.
BAI H J, PANG W Q, ZHANG Z H, et al. Fermentation technology and effects of antioxidant and anti-exercise fatigue of quinoa haskap complex fermented supernatant[J]. Food & Machinery, 2024, 40(7): 148-154.

- [11] 王润, 党斌, 杨希娟, 等. 低血糖生成指数食品的研究现状与展望[J]. 青海农林科技, 2018(3): 68-71, 88.
WANG R, DANG B, YANG X J, et al. Research review of low glycemic index foods[J]. Science and Technology of Qinghai Agriculture and Forestry, 2018(3): 68-71, 88.
- [12] 胡乔晟, 李莉华, 翟中澍, 等. 低生糖指数饼干膳食联合利拉鲁肽干预对 2 型糖尿病合并肥胖患者糖脂代谢的影响[J]. 现代食品, 2022, 28(20): 134-139, 164.
HU Q S, LI L H, ZHAI Z S, et al. Effects of low glycemic index biscuits diet combined with liraglutide on glucolipid metabolism in newly obese type 2 diabetes patients[J]. Modern Food, 2022, 28(20): 134-139, 164.
- [13] SAZESH B, GOLJI M. Quinoa as a wheat substitute to improve the textural properties and minimize the carcinogenic acrylamide content of the biscuit[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(8): e14563.
- [14] WANG X X, LAO X, BAO Y Z, et al. Effect of whole quinoa flour substitution on the texture and *in vitro* starch digestibility of wheat bread[J]. Food Hydrocolloids, 2021, 119: 106840.
- [15] 贾彦杰, 申飞, 李云, 等. 杂粮饼干的研制及其营养特性研究[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(1): 116-120.
JIA Y J, SHEN F, LI Y, et al. Study on the development and nutritional characteristics of coarse cereals biscuits[J]. Cereals & Oils, 2022, 35(1): 116-120.
- [16] 熊佳颖, 向千慧, 严心昱, 等. 黑糯米甜酒酿发酵过程中风味、滋味及品质的变化[J]. 中国酿造, 2023, 42(11): 122-127.
XIONG J Y, XIANG Q H, YAN X Y, et al. Changes of flavor, taste and quality of black glutinous rice sweet wine during fermentation process[J]. China Brewing, 2023, 42(11): 122-127.
- [17] YANG W J, YU J, PEI F, et al. Effect of hot air drying on volatile compounds of *Flammulina velutipes* detected by HS-SPME-GC-MS and electronic nose[J]. Food Chemistry, 2016, 196: 860-866.
- [18] 董画, 何雨, 薛桂新. 电子鼻技术对山葡萄酒酒龄的识别[J]. 中国酿造, 2018, 37(10): 87-92.
DONG H, HE Y, XUE G X. Identification of the age of wild grape wine by electronic nose technology[J]. China Brewing, 2018, 37(10): 87-92.
- [19] BURATTI S, CASIRAGHI A, MINGHETTI P, et al. The joint use of electronic nose and electronic tongue for the evaluation of the sensorial properties of green and black tea infusions as related to their chemical composition[J]. Food and Nutrition Sciences, 2013, 4(6): 605-615.
- [20] ENGLYST H N, KINGMAN S M, CUMMINGS J H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions[J]. European Journal of Clinical Nutrition, 1992, 46(Suppl 2): S33-S50.
- [21] ÅKERBERG A, LILJEBERG H, BJÖRCK I. Effects of amylose/amylopectin ratio and baking conditions on resistant starch formation and glycaemic indices[J]. Journal of Cereal Science, 1998, 28(1): 71-80.
- [22] GRANFELDT Y, BJÖRCK I, DREWS A, et al. An *in vitro* procedure based on chewing to predict metabolic response to starch in cereal and legume products[J]. European Journal of Clinical Nutrition, 1992, 46(9): 649-660.
- [23] 秦小转, 陈欣. 正交优化藜麦饼干的工艺配方研究[J]. 中州大学学报, 2022, 39(2): 125-128.
QIN X Z, CHEN X. Study on the technology of quinoa biscuit by orthogonal design[J]. Journal of Zhongzhou University, 2022, 39(2): 125-128.
- [24] 周亚丽, 崔利华, 游新勇, 等. 藜麦粉对小麦面团流变学特性及酥性饼干品质的影响[J]. 食品科技, 2022, 47(6): 191-196.
ZHOU Y L, CUI L H, YOU X Y, et al. Effect of quinoa flour on the rheological properties of wheat dough and the quality of crisp biscuits[J]. Food Science and Technology, 2022, 47(6): 191-196.
- [25] 朱凯莉. 藜麦营养成分和色泽与食用品质的研究[D]. 天津: 天津大学, 2021: 13.
ZHU K L. Study on nutritional components, color and edible quality of quinoa[D]. Tianjin: Tianjin University, 2021: 13.
- [26] 马艳蓉. 藜麦—小麦复配粉的品质特性与感官评价分析[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2022: 17.
MA Y R. Quality characteristics and sensory evaluation of the product of the supplementation flour comprising of quinoa and wheat flour[D]. Xianyang: Northwest A & F University, 2022: 17.
- [27] 杨丹, 邢泓雨, 范志遥, 等. 藜麦营养品质及其在面条加工方面的研究进展[J]. 粮食与饲料工业, 2024(1): 18-23, 28.
YANG D, XING H Y, FAN Z Y, et al. Research progress on nutritional quality of quinoa and its application in noodle processing[J]. Cereal & Feed Industry, 2024(1): 18-23, 28.
- [28] LI C R, GAO Y, LUO T Y, et al. Effects of low-GI biscuits as pre-loads or mid-meal snacks on post-prandial glycemic excursions in women with recent gestational diabetes: a protocol for a randomized crossover trial and an extended tailored intervention[J]. Frontiers in Nutrition, 2023, 10: 1122102.
- [29] 王天. 藜麦膳食纤维的特性及藜麦曲奇制作[D]. 成都: 成都大学, 2022: 44-45.
WANG T. Characteristics of dietary fiber of quinoa and preparation of quinoa cookies[D]. Chengdu: Chengdu University, 2022: 44-45.