

马梦月, 徐紫薇, 于博, 等. 藜麦粉添加量对碱面条品质和体外消化特性的影响 [J]. 食品工业科技, 2025, 46(7): 42–48. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024030319

MA Mengyue, XU Ziwei, YU Bo, et al. Effects of Quinoa Powder Addition on the Quality and *in Vitro* Digestive Characteristics of Alkaline Noodles[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(7): 42–48. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024030319

· 研究与探讨 ·

藜麦粉添加量对碱面条品质和体外 消化特性的影响

马梦月¹, 徐紫薇¹, 于博¹, 杨利华², 吴进菊^{1,3,*}

(1.湖北文理学院食品科学与化学工程学院, 湖北襄阳 441053;

2.襄辣坊(湖北)食品科技有限公司, 湖北襄阳 441100;

3.湖北省食品配料工程技术研究中心, 湖北襄阳 441053)

摘要:为改善碱面条的营养价值, 在小麦粉中添加不同比例(0%、4%、8%、12%、16%)的藜麦粉, 研究藜麦粉的添加对碱面条色泽、质构特性、烹煮特性、感官及体外消化特性的影响。结果表明:随着藜麦粉含量的增加, 碱面条的亮度越来越低, 颜色逐渐偏向红色和黄色; 拉伸长度和拉伸强度先升高后降低, 在 4% 时达到最大, 分别为 60.63 mm 和 24.76 g, 而硬度、咀嚼度和黏附性呈现先降低后升高的趋势; 干物质吸水率逐渐降低, 而烹煮损失率逐渐升高。随着藜麦粉含量的增加, 碱面条淀粉消化速率逐渐减慢, 抗性淀粉含量相对增加, 当添加量为 16% 时, 抗性淀粉含量最高, 达到了 59.91%; 感官得分逐渐降低, 当藜麦添加量为 16% 时, 感官评价得分最低为 79.41 分。综合考虑, 藜麦添加量在 4%~8% 之间碱面条的品质较佳。本研究可为藜麦碱面条的开发提供一定的研究基础, 并拓宽藜麦在食品行业中的应用。

关键词:碱面条, 藜麦, 质构, 烹煮特性, 消化特性

中图分类号: TS213

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2025)07-0042-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2024030319

本文网刊:



Effects of Quinoa Powder Addition on the Quality and *in Vitro* Digestive Characteristics of Alkaline Noodles

MA Mengyue¹, XU Ziwei¹, YU Bo¹, YANG Lihua², WU Jinju^{1,3,*}

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

2.Xianglafang (Hubei) Food Technology Limited Company, Xiangyang 441100, China;

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

Abstract: To improve the nutritional value of alkali noodles, different proportions (0%, 4%, 8%, 12% and 16%) of quinoa powder were added to wheat flour to investigate the effects of quinoa powder addition on color, textural properties, cooking characteristics, sensory and *in vitro* digestive characteristics of alkali noodles. The results showed that with the increase of quinoa flour content, the brightness of alkaline noodles decreased, and the color gradually leant towards red and yellow. The tensile length and strength firstly increased and then decreased, reaching their maximum at 4%, which were 60.63 mm and 24.76 g, respectively. However, the hardness, chewiness, and adhesion showed a trend of firstly decreasing and then increasing. The water absorption rate of dry matter gradually decreased, while the cooking loss rate gradually increased. With the increase of quinoa flour content, the starch digestion rate of alkaline noodles gradually slowed down, and the content of resistant starch relatively increased. When the addition amount was 16%, the content of resistant starch was the highest, reaching 59.51%. The sensory score gradually decreased, and when the amount of quinoa added was 16%, the

收稿日期: 2024-03-21

基金项目: 湖北文理学院教师科研能力培育基金项目(2024kpngq10)。

作者简介: 马梦月(2003-), 女, 本科, 研究方向: 淀粉与谷物食品, E-mail: 3510449590@qq.com。

* 通信作者: 吴进菊(1983-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 淀粉与谷物食品、食品生物技术, E-mail: wujinju302@163.com。

lowest sensory evaluation score was 79.41 points. Taking all factors into consideration, alkaline noodles with quinoa powder added between 4% and 8% had better quality. This study can provide a certain research foundation for the development of quinoa alkaloid noodles and broaden the application of quinoa in the food industry.

Key words: alkaline noodles; quinoa; texture; cooking characteristics; digestive characteristics

藜麦是苋科藜属双子叶植物,富含大量的膳食纤维,总膳食纤维含量为 7%,包括 2.5% 的可溶性纤维素和 4.5% 的不可溶性纤维素^[1],具有良好的调节血糖、降血脂、保护心肌、减肥、促进肠道蠕动、促进粪便排出等功效^[2]。同时藜麦不含胆固醇,是非常好的减脂食物,它具有预防肠癌发生、抗氧化、抗衰老等作用^[3],因此藜麦作为一种功能性食品或食品配料逐渐吸引众多学者的研究。在国外,藜麦在食品、医药及饲料等行业已成为一种较为普遍的原料^[4-6],国内对藜麦的研究也取得了一定进展。近年来,姜奕祺^[7]利用藜麦粉制作藜麦低脂香肠,于书蕾等^[8]利用藜麦粉制作海绵蛋糕,藜麦啤酒生产工艺的研究也成为热点^[9],卞猛^[10]、KORDIALIK-BOGACKA 等^[11]利用藜麦为辅料进行啤酒的酿造,发现藜麦啤酒比普通啤酒更加柔和更易被人接受。

面条在中国有着十分悠久的历史,因其烹饪方法简单,食用方便,成为人们生活中常吃的食物之一。根据加工工艺和配方不同,面条主要分为三类,即鲜面条、碱面条和方便面^[12]。碱面条虽有其自身特有的口感和风味,但由于其主要由精加工的小麦粉制得,小麦粉因精加工使得矿物质和膳食纤维含量降低,导致面条营养价值降低。近年来,许多研究者在小麦粉中添加亚麻籽粉^[13]、马铃薯粉^[14]等来制作面条,以增加面条的营养价值。由于藜麦中含有多种矿物质与膳食纤维^[15],将藜麦粉加入小麦粉中制作成碱面条,可以提高碱面条的营养价值。本试验将藜麦粉与小麦粉进行复配,比较 0%、4%、8%、12%、16% 藜麦粉的添加对碱面条的加工特性、烹煮品质和消化特性的影响,为制备具有良好品质的碱面条提供一定依据。

1 材料与方法

1.1 材料及仪器

藜麦 沈阳信昌粮食贸易有限公司;金龙鱼高筋麦芯小麦粉 益海粮油工业有限公司;碘盐 湖北广盐蓝天盐化有限公司;碳酸钾 浙江大洋生物科技集团股份有限公司;3,5-二硝基水杨酸(分析纯)、猪胰 α -淀粉酶(10 U/mg)、淀粉葡萄糖苷酶(100000 U/mL) 上海源叶生物科技有限公司。

TA.XT Plus 质构仪 英国 Stable Micro Systems; UltraScan PRO 色度仪 美国 HunterLab 仪器公司; AR-2000 动态流变仪 美国马尔文仪器公司; V-1800 分光光度计 上海美普达仪器有限公司; FSJ-A03D1 多功能粉碎机、SJJ-B10Q1 和搅面机

小熊电器股份有限公司; FKM-180 压面机 上海俊媳妇厨具有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 藜麦粉的制备 将藜麦置于 50 ℃ 烘箱中烘干 3 h 经高速粉碎机粉碎,过 80 目筛,制成藜麦粉,密封保存备用。

1.2.2 藜麦碱面条的制备 参照王丹等^[16]的面条制备方法改进:将 2 g 碳酸钾、4 g 碘盐加入到 70 g 纯水中搅拌融化,制成碱水备用。称取 200 g 小麦粉,按照小麦粉质量 0%、4%、8%、12%、16% 的比例加入藜麦粉,制备成藜麦粉-小麦粉混合样品。

准确称取藜麦粉-小麦粉混合样品 200 g。将混合粉和碱水倒入搅面机中搅拌 90 s,醒面 15 min。将醒发的碱面团放置电动轧面机中压片,其中 2 mm 压辊间距压片一次,初成面片,然后复合压延 2 次。再依次将压辊间距调整为 1.6、1.4、1.2、1.0 mm,将面片压片一次。最后用切面机将面片切割成宽度为 3 mm,长度为 200 mm 和 440 mm 的碱面条以备不同试验测试使用。

1.2.3 碱面团的动态流变学特性测定 参考汤晓智等^[17]的测试方法稍作修改进行测试,按 1.2.2 碱面条制备方法制备不同藜麦粉添加比例的碱面团,醒发后称取藜麦碱面团 3.3 g,放置于流变仪平台上进行测定,仪器设置参数如下:平板间距 1 mm,频率扫描范围 0.1~100 rad/s,测试温度为 25 ℃,采用直径 40 mm 的平行板,测试样品储能模量、损耗模量以及损耗因子的变化。每组面团做三组平行且每份面团测两次。

1.2.4 碱面条的色泽测定 试验时,由于碱面条的宽度过窄,测定不便,故以面片的形式进行测定。制作好不同藜麦粉添加比例的面片,将面片切割成 80 mm×80 mm 的小面片,用色度仪先后对不同藜麦粉添加比例的面片进行测定,首先点击 EZMQC 进入程序,选择包含镜面反射模式,先用光阱校正,再用白板校正,并把白板作为标准量,测定 L^* 、 a^* 、 b^* 值,每组做十次平行,取其平均值。

1.2.5 碱面条的质构测定

1.2.5.1 碱面条的剪切试验 根据国际标准 AACC66-50 方法进行面条坚实度测定,并参照 KLINMALAI 等^[18]的方法,设置参数如下:探头类型 A/LKB-F,测前速度为 2.00 mm/s,测中速度为 2.00 mm/s,测后速度为 10.00 mm/s,探头回复距离为 10 mm,剪切距离为 9.55 mm,数据采集速率 500 个/s,触发力为 5 g。测定时,平行等间距排列 3 根碱面条置承重平台上进行剪切,每组进行十次平行试验。

1.2.5.2 碱面条的拉伸试验 设置仪器参数如下:探头类型 A/SPR,测前速度为 1.00 mm/s,测中速度为 1.00 mm/s,测后速度为 10.00 mm/s,起始上下辊间距为 20 mm,拉伸距离为 80 mm,数据采集速率 400 个/s,触发力为 5 g。测定时,将碱面条按要求缠绕在测试棒上,启动质构仪将面条拉断,记录每次拉断面条的最大拉伸距离和拉伸力,每组进行十次平行试验取其平均值。

1.2.6 碱面条的烹煮特性测定

1.2.6.1 断条率 参照姜海燕等^[19]的方法,取 20 根 200 mm 的藜麦碱面条,称好重量后将面条放入 500 mL 的沸水中煮 5 min。5 min 后捞起平铺在滤纸上冷却。观察碱面条的断条数,根据式(1)计算碱面条的断条率。

$$\text{碱面条断条率}(\%) = \frac{\text{断条数}}{20} \times 100 \quad \text{式(1)}$$

1.2.6.2 干物质吸水率 滤纸上的碱面条冷却 10 min,沥干表面的水分,再次称重,根据式(2)计算碱面条干物质吸水率。

$$\text{干物质吸水率}(\%) = \frac{M_3 - M_1}{M_1(1 - W)} \times 100 \quad \text{式(2)}$$

式中:W 表示鲜面条水分含量,%;M₁表示鲜面条的质量,g;M₃表示面条烹煮后的质量,g。

1.2.6.3 烹煮损失率 将之前煮面所剩的面汤放凉后全部倒入容量瓶中定容至 500 mL,摇匀并从中取出 100 mL 转移到恒重的小烧杯中。先将其放在电炉上烘至近干,再放到温度为 105 ℃ 烘箱内继续烘干至恒重,根据式(3)计算烹煮损失率。

$$\text{烹煮损失率}(\%) = \frac{M_2 \times 5}{M_1(1 - W)} \times 100 \quad \text{式(3)}$$

式中:W 表示鲜面条水分含量,%;M₁表示鲜面条的质量,g;M₂表示面条烘干后干物质的质量,g。每组进行三次平行试验。

1.2.7 总淀粉的测定 参考 GB 5009.9-2023《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》,采用酶水解法测定藜麦碱面条中淀粉含量^[20]。

计算见式(4):

$$Y(g/100 g) = \frac{(X_1 - X_0) \times 0.9}{m \times 1000} \times 100 \quad \text{式(4)}$$

式中:Y 表示试样中淀粉的含量,g/100 g;X₁表示所称试样中葡萄糖的量,mg;X₀表示试剂空白值,mg;0.9 表示还原糖(以葡萄糖计)换算成淀粉的换算系数;m 表示试样质量,g。

1.2.8 体外消化特性测定 根据 ENGLYST 等^[21]的方法稍作修改,测定复配体系的快速消化淀粉(RDS),缓慢消化淀粉(SDS)和抗性淀粉(RS)含量。根据面条中淀粉的含量,称量一定量的熟面条,使其淀粉含量为 200 mg,加入 15 mL 醋酸钠缓冲溶液(0.1 mol/L, pH5.2),置于水浴锅 37 ℃ 中水浴 20 min,

冷却,加入 5 mL 混合酶液(290 U/mL 猪胰 α-淀粉酶和 15 U/mL 淀粉葡萄糖苷酶),置于 37 ℃、200 r/min 水浴摇床中进行消化,在 0、20、120 min 时吸取样液 0.5 mL,加入 4 mL 无水乙醇充分摇匀,3000 r/min 离心 10 min^[22]。利用 3,5-二硝基水杨酸法计算消化过程中还原糖的含量。将 20 min 和 120 min 水解后的葡萄糖含量分别标记为 G₂₀ 和 G₁₂₀,使用公式计算 3 种淀粉含量:

$$RDS(\%) = \frac{(G_{20} - FG) \times 0.9}{TS} \times 100 \quad \text{式(5)}$$

$$SDS(\%) = \frac{(G_{120} - G_{20}) \times 0.9}{TS} \times 100 \quad \text{式(6)}$$

$$RS(\%) = (1 - RDS - SDS) \times 100 \quad \text{式(7)}$$

式中:FG 表示酶解前游离葡萄糖的量,mg;G₂₀表示酶解 20 min 后产生的游离葡萄糖的量,mg;G₁₂₀表示酶解 120 min 后产生的游离葡萄糖的量,mg;TS 表示样品中总淀粉含量,mg。每组进行三次平行试验。

1.2.9 藜麦碱面条感官评定 评价标准参考 LS/T 3202-1993《中华人民共和国行业标准 面条用小麦粉》^[23]。

1.3 数据处理

采用 Microsoft Office Excel 2019 软件进行数据处理,采用 SPSS 26 软件进行显著性分析(P<0.05),使用 Origin 2018 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 藜麦粉的添加量对碱面团动态流变学特性的影响

添加不同比例藜麦粉碱面团的储能模量、损耗模量及力学损耗因子随角频率变化曲线如图 1 所示。弹性模量代表物体的弹性本质,表示物体受到作用力的变形程度,弹性模量越大,物体受到作用力时的形变越小,弹性越好。黏性模量反映物体受力时阻碍其流动的特性,黏性模量越大表示物体受力时越不容易流动^[24]。

由图 1a 可知碱面团储能模量随角频率的增大而增大,这表明面团具有典型的弹性。随着藜麦粉的添加,碱面团弹性先增加后减小再增加,弹性虽有浮动,但始终高于未添加藜麦粉的面团的弹性,当藜麦粉添加量为 4% 时,弹性最大。这可能是由于适量的食用碱有收敛面筋的作用^[25],使面团的弹性增加,同时由于面条里的蛋白质经高温变性后,形成了立体网络结构,淀粉颗粒受热吸水糊化后,填充在面筋网络结构中,从而使得熟面条具有很高的弹韧性,而随着藜麦粉添加量的增多,稀释了面筋蛋白含量,使得面条的面筋网络结构变得松散,从而削弱了面条的弹性。

根据图 1b 可知碱面团损耗模量随角频率的增大而增大,这表明面团具有典型的黏性。随着藜麦粉的添加,黏性逐渐减小,这可能是由于藜麦几乎不含

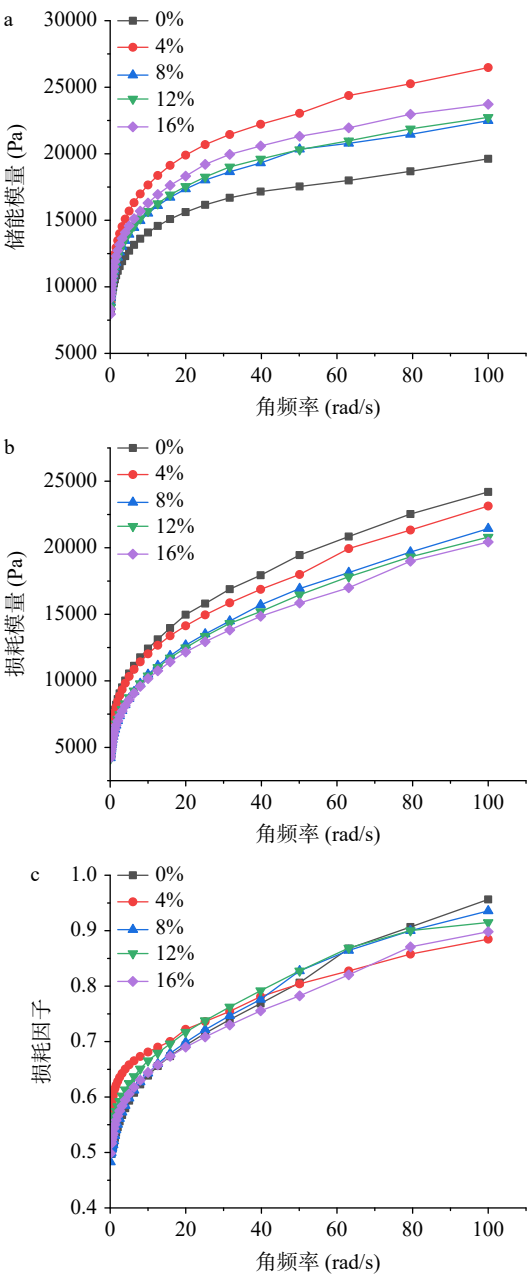


图 1 不同藜麦粉添加量碱面团的动态流变曲线
Fig.1 Dynamic rheological curves of alkali dough with different quinoa powder addition amount

面筋蛋白^[26],无法形成有序的面筋网络结构,且藜麦淀粉中直链淀粉含量较低^[27],糊化后形成的淀粉凝胶强度较低,同时丰富的膳食纤维也会破坏面筋的网络结构,降低面团稳定性,导致藜麦面条产品黏性降低。根据图 1c 可知,正切值始终小于 1,说明碱面团的储能模量始终大于损耗模量,即碱面团的弹性大于

黏性,碱面团更多的是固态特性而非液态特性,对于后续面条的压制、整形等加工工序有积极作用。

2.2 藜麦粉添加量对碱面条色泽的影响

L^* 表示明亮度, L^* 越大表示亮度越高; a^* 表示红绿值, $+a^*$ 为红色方向, $-a^*$ 为绿色方向; b^* 表示黄蓝值, $+b^*$ 为黄色方向, $-b^*$ 为蓝色方向^[28]。由表 1 可知,随着藜麦粉含量的增加, L^* 显著降低($P<0.05$), a^* 、 b^* 显著增大($P<0.05$),这表明面条亮度越来越低,颜色逐渐偏向红色和黄色。 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值的变化范围分别是 70.11~79.42、0.16~1.86 和 25.66~34.78。这是因为藜麦本身颜色呈现淡黄色,并含有较高的膳食纤维、多酚和黄酮类物质^[29]。当藜麦粉添加量为 16% 时, L^* 最小为 70.11, a^* 和 b^* 最大,分别为 1.86 和 34.78。

表 1 藜麦粉添加量对碱面条色泽的影响
Table 1 Effect of quinoa powder supplementation on the color of alkali noodles

藜麦粉添加量(%)	L^*	a^*	b^*
0	79.42±0.64 ^a	0.16±0.09 ^e	25.66±0.18 ^e
4	77.30±0.27 ^b	0.51±0.13 ^d	30.33±0.22 ^d
8	74.92±0.13 ^c	1.15±0.05 ^c	31.72±0.25 ^c
12	71.62±0.77 ^d	1.53±0.23 ^b	33.66±0.38 ^b
16	70.11±0.57 ^e	1.86±0.18 ^a	34.78±0.37 ^a

注:不同的小写字母表示同一指标不同藜麦粉添加量之间有显著性差异($P<0.05$),表2~表5同。

2.3 藜麦粉添加量对碱面条质构的影响

拉伸长度表征碱面条的延展特性和可塑性,拉伸强度表征碱面条的强度和筋度,即数值越大表明碱面条越韧越硬^[30]。由表 2 可知,随着藜麦粉含量的增加,碱面条的拉伸长度和拉伸强度呈现先增大后减小的趋势,当藜麦粉添加量为 4% 时,碱面条拉伸长度和拉伸强度最大;碱面条的硬度和咀嚼度呈现先减小后增大的趋势,当藜麦粉添加量为 8% 时,硬度和咀嚼度最小,分别为 146.61 g 和 48.59 g,而黏附性变化相对较小。这可能是由于藜麦粉本身不含有面筋蛋白,随着藜麦粉比例的增加,稀释了面团中面筋的含量,使得面筋蛋白没有充分结合,降低了面筋的延展性,减弱了混合粉面团筋力和强度。

2.4 藜麦粉添加量对碱面条烹煮特性的影响

鲜面条在烹煮的过程中,随着面条中的淀粉等营养物质逐渐流失到面汤中,面条的营养价值也会逐渐变差。从表 3 中可以看出,随着藜麦粉含量的增加,碱面条干物质吸水率逐渐降低,当藜麦粉添加量

表 2 藜麦粉添加量对碱面条质构的影响
Table 2 Effect of quinoa powder supplementation on the texture of alkali noodles

藜麦粉添加量(%)	拉伸长度(mm)	拉伸强度(g)	硬度(g)	咀嚼度(g)	黏附性(g·s)
0	58.14±6.51 ^{ab}	22.66±0.07 ^c	163.88±1.08 ^c	55.47±0.89 ^b	0.61±0.16 ^a
4	60.63±2.50 ^a	24.76±0.04 ^a	160.96±2.55 ^c	53.62±1.50 ^b	0.48±0.03 ^{ab}
8	60.08±5.63 ^a	24.40±0.16 ^{ab}	146.61±2.84 ^d	48.59±2.65 ^c	0.41±0.06 ^b
12	52.37±4.44 ^b	23.75±0.78 ^b	169.22±3.92 ^b	55.67±1.42 ^b	0.60±0.15 ^a
16	45.09±2.55 ^c	22.61±0.18 ^c	175.44±2.56 ^a	58.99±1.27 ^a	0.45±0.07 ^{ab}

为 0% 时,面条的吸水率最大,为 144.14%;藜麦粉添加量为 16% 时,面条吸水率最低,为 133.81%。这可能是由于随着藜麦粉添加量逐渐增多时,藜麦形成的“弱凝胶”结构也越来越多^[31],限制了淀粉溶胀的能力,加上藜麦粉中存在着 4%~10% 的脂质^[32],脂质-淀粉复合物的作用也会减少淀粉对水分的吸收,从而导致吸水率下降。同时从表 3 中可以看出,随着藜麦粉含量的增加,碱面条的烹煮损失率逐渐升高,这可能是由于藜麦粉的添加稀释了面条中面筋蛋白的含量,弱化了面筋网络,导致面条结构不紧密,淀粉-蛋白网络结构中的淀粉或蛋白质便易脱落到面汤中,同时藜麦面条中含有较多的膳食纤维和灰分随之一起溶出,使得烹煮损失率显著增加($P<0.05$)。

表 3 藜麦粉添加量对碱面条烹煮特性的影响
Table 3 Effects of quinoa powder addition on the cooking characteristics of alkali noodles

藜麦粉添加量(%)	干物质吸水率(%)	烹煮损失率(%)	断条率(%)
0	144.14±1.42 ^a	10.10±0.13 ^c	0
4	136.34±2.37 ^{ab}	10.34±0.07 ^c	0
8	136.10±2.44 ^{ab}	10.93±0.14 ^b	0
12	135.82±6.96 ^{ab}	11.11±0.13 ^b	0
16	133.81±2.40 ^b	11.73±0.19 ^a	0

2.5 藜麦粉添加量对碱面条体外消化特性的影响

经测定,葡萄糖标准曲线方程为 $y=1.478x+0.102$, $R^2=0.99767$ 。藜麦粉添加量为 0% 时 RDS、SDS 和 RS 的含量分别为 5.08%、48.98%、45.92%。随着藜麦粉含量的增加,RDS 和 SDS 呈现下降的趋势,RS 呈现上升的趋势(见图 2),这与 MEI 等^[33]和 GEWEHR 等^[34]研究结果相似。当藜麦粉添加量为 16% 时,RDS、SDS 和 RS 的含量分别为 3.66%、

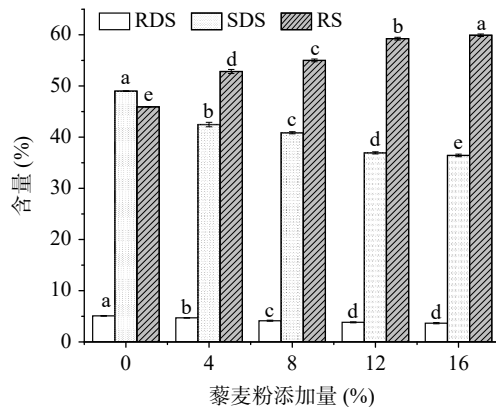


图 2 不同比例藜麦粉添加量的碱面条淀粉组成及含量

Fig.2 Composition and relative content of alkaline noodle starch with different proportions of quinoa flour addition

注:不同的小写字母表示同一指标不同藜麦粉添加量之间有显著性差异($P<0.05$)。

36.43%、59.91%。

对藜麦碱面条的总淀粉水解率进行测定,结果如表 4。根据表 4 可知,碱面条在 0~30 min 时水解率较快,30~90 min 时水解率缓慢增加,在 90~180 min 时水解率基本趋于平稳。在 180 min 时,藜麦粉添加量为 0% 的碱面条总淀粉水解率为 55.17%,随着藜麦粉添加量的增加淀粉的水解率逐渐降低,当藜麦粉添加量为 16% 时,淀粉水解速率最小,水解率最低。其原因可能是添加藜麦粉后,碱面条中膳食纤维含量增加,形成网状结构,延缓了淀粉的消化^[35]。另外,藜麦粉中的黄酮类物质以及酚类物质的存在也会抑制淀粉酶的活性,降低淀粉的消化速率^[36]。

2.6 藜麦粉添加量对碱面条感官的影响

由表 5 可知,添加藜麦粉会对碱面条的色泽、表现状态、适口度、韧性、粘度、光滑度和食味均产生

表 4 不同比例藜麦粉添加量对碱面条体外总淀粉水解率的影响

Table 4 Effect of different proportions of quinoa powder addition on the total starch hydrolysis rate of alkali noodles *in vitro*

藜麦粉添加量(%)	总淀粉水解率(%)						
	0 min	30 min	60 min	90 min	120 min	150 min	180 min
0	2.92±0.08 ^a	30.33±0.06 ^a	41.70±0.10 ^a	48.30±0.26 ^a	51.60±0.10 ^a	54.00±0.20 ^a	55.17±0.31 ^a
4	2.61±0.03 ^b	26.60±0.17 ^b	38.03±0.15 ^b	42.60±0.10 ^b	45.07±0.35 ^b	45.60±0.17 ^b	46.33±0.08 ^b
8	2.52±0.11 ^b	24.83±0.15 ^c	34.73±0.15 ^c	40.43±0.06 ^c	43.03±0.15 ^c	43.83±0.06 ^c	44.73±0.08 ^c
12	2.47±0.09 ^b	21.23±0.15 ^d	33.09±0.15 ^d	38.27±0.15 ^d	39.17±0.15 ^d	39.57±0.06 ^d	39.97±0.21 ^d
16	1.99±0.12 ^c	20.50±0.20 ^e	32.03±0.15 ^e	37.10±0.26 ^e	38.57±0.21 ^e	39.13±0.06 ^e	39.37±0.12 ^e

表 5 藜麦碱面条感官评价

Table 5 Sensory evaluation of quinoa alkali noodles

藜麦粉添加量(%)	0	4	8	12	16
色泽	8.67±0.52 ^a	8.80±0.38 ^a	8.68±0.72 ^a	8.14±0.56 ^b	7.77±0.48 ^b
表现状态	8.97±0.15 ^a	8.90±0.39 ^a	8.75±0.29 ^a	8.15±0.46 ^b	8.00±0.54 ^b
适口度	18.29±0.65 ^a	18.31±0.99 ^a	18.38±0.51 ^a	16.76±0.86 ^b	16.65±1.34 ^b
韧性	22.90±1.04 ^a	22.10±1.45 ^a	19.20±1.45 ^b	19.20±2.14 ^b	20.00±0.87 ^b
粘度	22.67±1.47 ^a	22.10±1.14 ^a	21.48±1.02 ^{ab}	20.00±2.14 ^{bc}	19.20±2.48 ^c
光滑度	4.62±0.24 ^a	4.27±0.28 ^b	4.15±0.24 ^b	4.08±0.46 ^{bc}	3.82±0.33 ^c
食味	4.67±0.26 ^a	4.41±0.28 ^a	3.88±0.38 ^b	3.71±0.41 ^b	3.97±0.30 ^b
感官总分	90.79±1.68 ^a	88.89±2.08 ^a	84.52±2.25 ^b	80.04±3.10 ^c	79.41±3.45 ^c

显著性影响($P<0.05$),且藜麦粉比例为 16% 时,碱面条的色泽、表现状态、适口度、粘度和光滑度得分均为最低。随着藜麦粉含量的增加,碱面条感官得分逐渐降低,当藜麦粉比例为 16% 时,碱面条感官得分最低,仅为 79.41 分。所以,在考虑添加藜麦粉改善碱面条营养价值的同时还需要注意碱面条的食用口感。

3 结论

藜麦粉的添加对碱面条品质和体外消化特性影响较大。藜麦粉的加入,导致碱面团黏性降低,弹性增大。随着藜麦粉含量的增加,碱面条 L^* 逐渐降低,而 a^* 和 b^* 逐渐增大;拉伸长度和拉伸强度先升高后降低,在 4% 时达到最大,分别为 60.63 mm 和 24.76 g,而硬度、咀嚼度和黏附性呈现先降低后升高的趋势,且均在 8% 时达到最低;干物质吸水率逐渐降低,而烹煮损失率逐渐升高,当藜麦粉添加至 16% 时,烹煮损失增加了 1.63%。随着藜麦粉含量的增加,碱面条淀粉消化速率逐渐减慢,抗性淀粉含量相对增加,当添加量为 16% 时,抗性淀粉比例增加了 13.99%;感官得分逐渐降低,当添加量大于 8% 后,感官得分降至 85 分以下。因此,本研究认为适量添加藜麦粉可以改善面条的品质,增加面条中抗性淀粉相对含量、显著降低淀粉消化速率。研究结果可为低 GI 食品的研发提供理论参考,也可作为藜麦碱面条的生产提供了一定理论依据。

© The Author(s) 2025. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] 王天,江含秀,路丽妮,等.藜麦可溶性膳食纤维提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J].中国食品添加剂,2022,33(2):137-146. [WANG T, JIANG H X, LU L N, et al. Optimization of extraction process of quinoa soluble dietary fiber and its antioxidant activity[J]. China Food Additives, 2022, 33(2): 137-146.]
- [2] 郭安然.基于藜麦营养及功能成分的健康食品研发[J].中国食品工业,2024(4):138-140. [GUO A R. Research and development of health foods based on the nutritional and functional components of quinoa[J]. China Food Industry, 2024(4): 138-140.]
- [3] 蒙志明,刘莹,席越阳,等.藜麦蛋白对低钠盐体系中猪肉肌原纤维蛋白凝胶特性的影响[J].肉类研究,2023,37(5):31-38. [MENG Z M, LIU Y, XI Y Y, et al. Effect of quinoa protein on gel properties of pork myofibrillar protein in low-sodium salt system[J]. Meat Research, 2023, 37(5): 31-38.]
- [4] ISAM A M A, FAHAD A J, MEHMET M O. Insights into the nutritional value and bioactive properties of quinoa (*Chenopodium quinoa*): Past, present and future prospective[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2021, 56(8): 3726-3741.
- [5] MELINI F, MELINI V. Phenolic compounds in novel foods insights into white and pigmented quinoa[J]. European Food Research and Technology, 2022, 248: 2955-2968.
- [6] HAZZAM K E, HAFSA J, SOBEH M, et al. An insight into saponins from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): A review[J]. Molecules, 2020, 25: 1059.
- [7] 姜奕祺.藜麦粉对肌原纤维蛋白凝胶特性的影响及其在低脂香肠中的应用研究[D].泰安:山东农业大学,2023. [JIANG Y Q. Effect of quinoa powder on the properties of myofibrillar protein gel and its application in fat-reduced sausage[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2023.]
- [8] 于书蕾,尚珊,臧梁,等.不同藜麦粉添加量对海绵蛋糕面糊特性及烘焙特性的影响[J].食品研究与开发,2024,45(2):14-21. [YU S L, SHANG S, ZANG L, et al. Effects of quinoa flour in different proportions on batter characteristics and baking characteristics of sponge cake[J]. Food Research and Development, 2024, 45(2): 14-21.]
- [9] 孙靖譔,何新益,程凯悦,等.藜麦啤酒的研究进展[J].食品研究与开发,2021,42(16):199-204. [SUN J X, HE X Y, CHENG K Y, et al. Research progress of quinoa beer[J]. Food Research and Development, 2021, 42(16): 199-204.]
- [10] 卞猛.藜麦啤酒工艺的研究[D].武汉:武汉轻工大学,2018. [BIAN M. Study on the quinoa beer[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2018.]
- [11] KORDIALIK-BOGACKA E, BOGDAN P, PIELECH-PRZYBYLSKA K, et al. Suitability of unmalted quinoa for beer production[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018, 98(13): 5027-5036.
- [12] 郑范园,汪师帅.食用碱对碱水面品质的影响[J].粮食与油脂,2020,33(12):65-67. [ZHENG P Y, WANG S S. Effect of edible alkali on the quality of alkali noodles[J]. Cereals & Oils, 2020, 33(12): 65-67.]
- [13] 王贝贝,张永顺,郭洪涛,等.亚麻籽粉对面条品质和消化特性的影响[J].食品工业科技,2024,45(18):72-79. [WHANG B B, ZHANG Y S, GUO H T, et al. Effect of flaxseed powder on the quality and digestive characteristics of noodles[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(18): 72-79.]
- [14] 张婧娟,吴子煜,丁媛,等.马铃薯全粉面条配方的优化[J].现代食品,2023,29(17):106-109. [ZAHNG J J, WU Z Y, DING Y, et al. Optimization of the formula of potato noodles[J]. Modern Food, 2023, 29(17): 106-109.]
- [15] 魏爱春,杨修仕,么杨,等.藜麦营养成分及生物活性研究进展[J].食品科学,2015,36(15):272-276. [WEI A C, YANG X S, MO Y, et al. Progress in research on nutritional and functional components and bioactivity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. Food Science, 2015, 36(15): 272-276.]
- [16] 王丹,郑惠华,纪阳,等.木耳粉对面团流变学特性及面条品质的影响[J].食品科学,2019,40(21):43-50. [WANG D, ZHENG H H, JI Y, et al. Effects of auricularia powder on dough rheological properties and noodle quality characteristics[J]. Food Science, 2019, 40(21): 43-50.]
- [17] 汤晓智,扈战强,周剑敏,等.糙米粉对小麦面团流变学及饼干品质特性的影响[J].中国农业科学,2014,47(8):1567-1576. [TANG X Z, HU Z Q, ZHOU J M, et al. Influence of brown rice flour on wheat dough rheological properties and cookie quality characteristics[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(8): 1567-1576.]
- [18] KLINMALAI P, HAGIWARA T, SAKIYAMA T, et al. Chitosan effects on physical properties, texture, and microstructure of flat rice noodles[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 76: 117-123.
- [19] 姜海燕,章绍兵,牛巧娟,等.氨酰胺转氨酶对燕麦熟面条质构及蒸煮特性的影响[J].食品科技,2015,40(3):186-190. [JIANG H Y, ZHANG S B, NIU Q J, et al. Effect of transglutaminase on the cooked oat noodles textural and cooking property[J].

Food Science and Technology, 2015, 40(3): 186–190.]

[20] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. GB 5009.9—2023 食品安全国家标准 食品中淀粉的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023. [The National Health Commission of the People's Republic of China, The State Administration for Market Regulation. GB 5009.9-2023 National food safety standard Determination of Starch in Food[S]. Beijing: China Standards Publishing House, 2023.]

[21] 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(2): 33–50.

[22] 徐芬, 胡宏海, 张春江, 等. 不同蛋白对马铃薯面条食用品质的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(12): 269–276. [XU F, HU H H, ZHANG C J, et al. Effects of different types of proteins on the eating quality of potato noodles[J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(12): 269–276.]

[23] 商业部谷物化学研究所. LS/T 3202-1993 中华人民共和国行业标准 面条用小麦粉[S]. 北京: 中国标准出版社, 1993. [Grain Chemistry Research Institute of the Ministry of Commerce. LS/T 3202-1993 Industry standards of the People's Republic of China Wheat flour for noodles[S]. Beijing: China Standards Publishing House, 1993.]

[24] 王杰. 小麦加工线后路粉特性及挂面制作品质研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2023. [WANG J. Study on the characteristics of patent flour and clear flour from wheat processing line and the quality of noodle making[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2023.]

[25] 任佳影, 陈洁, 张九魁. 碱面团在和面过程中面筋网络结构变化的影响[J]. 食品工业, 2019, 40(8): 155–158. [REN J Y, CHEN J, ZHANG J K. Effect of alkali dough on the structure change of gluten in the process of smoothing[J]. The Food Industry, 2019, 40(8): 155–158.]

[26] 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.]

[27] 王春妹, 王梅, 王红霞, 等. 干旱胁迫下藜麦种子糖代谢转录组学研究[J]. 植物遗传资源学报, 2024, 25(8): 1370–1384. [WANG C M, WANG M, WANG H X, et al. Transcriptomics of sugar metabolism in quinoa seeds under drought stress[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2024, 25(8): 1370–1384.]

[28] 赵克义, 苏玲, 王珊, 等. 花穗整形方式对‘巨玫瑰’葡萄果实品质的影响[J]. 中国果树, 2024(3): 61–66. [ZHAO K Y, SU L, WANG S, et al. Effect of different ways of floral clusters pruning on fruit quality of ‘Jumeigui’ grape (*Vitis vinifera* × *V. labrusca*) [J]. China Fruits, 2024(3): 61–66.]

[29] 刘永江, 覃鹏. 藜麦营养成分成分及应用研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 2020(3): 123–127. [LIU Y J, XUN P. Research progress in nutritional components and application of *Chenopodium quinoa* Willd. [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2020(3): 123–127.]

[30] 牛海力, 卢柏志, 马朗天, 等. 藜麦淀粉和藜麦抗性淀粉的理化性质[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(18): 45–52. [NIU H L, LU B Z, MA L T, et al. Physicochemical properties of quinoa starch and quinoa resistant starch[J]. Food Research and Development, 2023, 44(18): 45–52.]

[31] 朱永, 梁彬, 张敏, 等. 添加不同品质和类型的马铃薯全粉对鲜湿面条品质的影响[J]. 食品科学技术学报, 2019, 37(2): 94–101. [ZHU Y, LIANG S, ZHANG M, et al. Effect of potato flour with different varieties and types on quality of fresh wet noodles[J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 37(2): 94–101.]

[32] 郭浩彬, 李敏杰, 张陆燕, 等. 美拉德反应优化藜麦多肽抗氧化活性的研究[J]. 中国调味品, 2023, 48(12): 59–68. [GUO H B, LI M J, ZHANG L Y, et al. Optimization of antioxidant activity of quinoa polypeptides by maillard reaction[J]. China Condiment, 2023, 48(12): 59–68.]

[33] MEI J L, ZHANG L, LIN Y, et al. Pasting, rheological and thermal properties and structural characteristics of large and small arenga pinnata starch granules[J]. Starch-Starke, 2020, 72(11): 1–8.

[34] GEWEHR M F, DANELLI D, MELO L D M, et al. Nutritional and technological evaluation of bread made with quinoa flakes (*Chenopodium quinoa* Willd) [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(2): 1–8.

[35] 王鹏, 程志强, 祖亿, 等. 杂粮淀粉体外消化特性的分析[J]. 食品科技, 2017, 42(10): 170–174. [WANG P, CHENG Z Q, ZU Y, et al. Effect of starch grains on the *in vitro* digestibility in different processing methods[J]. Food Science and Technology, 2017, 42(10): 170–174.]

[36] 王庆卫, 刘启玲. 藜麦粉对面条品质以及体外消化特性的影响[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(1): 31–34. [WANG Q W, LIU Q L. Effects of quinoa powder on noodle quality and *in vitro* digestion characteristics[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(1): 31–34.]