

尹显婷, 杨凯博, 林志洋, 等. 鹰嘴豆粉对面条品质及血糖生成指数的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(24): 363–368. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022020167

YIN Xianting, YANG Kaibo, LIN Zhiyang, et al. Effect of Chickpea Flour on Noodle Quality and Glycemic Index[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(24): 363–368. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022020167

· 营养与保健 ·

鹰嘴豆粉对面条品质及血糖生成指数的影响

尹显婷^{1,2}, 杨凯博², 林志洋², 解明哲², 杨俊鹏²

(1. 通化师范学院长白山食用植物资源开发工程中心, 吉林通化 134002;

2. 通化师范学院食品科学与工程学院, 吉林通化 134002)

摘要: 为提高鹰嘴豆的应用范围和经济价值, 本文将不同添加量 (0%、10%、20%、30% 和 40%) 的鹰嘴豆粉与小麦粉混合制作面条, 通过测定面条的质构品质、蒸煮品质、微观结构及血糖生成指数 (GI) 等指标, 探讨鹰嘴豆粉对面条加工品质和功能品质的影响。结果表明, 鹰嘴豆粉的添加量在 0%~20% 范围内, 对面条的质构品质、蒸煮品质和微观结构无明显影响变化; 相反, 添加量在 20%~40% 范围内, 面条的质构品质、蒸煮品质均显著下降, 微观结构遭到明显破坏, 较高添加量的鹰嘴豆粉使面条的加工品质劣变。体外酶法测定 GI 值结果为: 0%、10%、20%、30% 和 40% 添加量的鹰嘴豆粉面条 GI 值分别是 76.97 ± 0.49 、 67.19 ± 0.84 、 64.95 ± 0.71 、 63.24 ± 0.29 和 61.84 ± 0.55 , 均属于中 GI 食品。灌胃小鼠餐后血糖排序从高到低依次为, 小麦粉面条>10% 添加量鹰嘴豆粉面条>20% 添加量鹰嘴豆粉面条>30% 添加量鹰嘴豆粉面条>40% 添加量鹰嘴豆粉面条, 和体外酶法试验结果相符合。综上, 低于 20% 添加量的鹰嘴豆粉可使面条的加工品质得到改善, 同时鹰嘴豆粉的添加能够显著降低淀粉的消化特性, 为患有糖尿病等特殊人群膳食提供了更多选择。

关键词: 鹰嘴豆粉, 面条, 品质特性, 血糖生成指数

中图分类号: TS214

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)24-0363-06

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022020167



本文网刊:

Effect of Chickpea Flour on Noodle Quality and Glycemic Index

YIN Xianting^{1,2}, YANG Kaibo², LIN Zhiyang², XIE Mingzhe², YANG Junpeng²

(1. Changbai Mountain Edible Plant Resources Development Engineering Center, Tonghua Normal University, Tonghua 134002, China;

2. College of Food Science and Engineering, Tonghua Normal University, Tonghua 134002, China)

Abstract: To improve the application scope and economic value of chickpea, chickpea flour with different additions (0%, 10%, 20%, 30%, and 40%) was mixed with wheat flour to make noodles. Texture quality, cooking quality, microstructure, and glycemic index (GI) were used to explore the effects of chickpea flour on noodles' processing quality and functional quality. The results showed that the addition of chickpea flour in the range of 0% to 20% had no significant effect on the texture quality, cooking quality, and microstructure of noodles. However, the texture quality and cooking quality of noodles were significantly reduced and the microstructure was significantly damaged when the addition amount was in the range of 20%~40%. The higher addition amount of chickpea flour deteriorated the processing quality of noodles. 0%, 10%, 20%, 30%, and 40% additions of chickpea flour noodles *in vitro* enzymatic method of the GI values were 76.97 ± 0.49 , 67.19 ± 0.84 , 64.95 ± 0.71 , 63.24 ± 0.29 and 61.84 ± 0.55 , respectively. All belonged to middle GI food. The order of postprandial blood glucose in mice after gavage was wheat flour noodles>10% added chickpea flour noodles>20% added chickpea flour noodles>30% added chickpea flour noodles>40% added chickpea flour noodles. It was consistent with the results of *in vitro* enzymatic method. In summary, the addition of chickpea flour below 20% could improve the processing quality of noodles. The addition of chickpea flour could significantly reduce the digestive properties of starch. It would provide more choices for the diet of special populations such as diabetes.

Key words: chickpea flour; noodles; quality characteristics; glycemic index

收稿日期: 2022-02-21

基金项目: 通化师范学院非师范专业学生创新训练项目 (CS2021102)。

作者简介: 尹显婷 (1992-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学, E-mail: 2534870273@qq.com。

面条因其易于烹饪、食用方便、口味独特和营养丰富受到广泛欢迎^[1]。但原料小麦粉在制粉过程中去除了营养价值较高的麸皮和胚芽,仅保留了以淀粉为主要成分的胚乳,导致面制品的营养价值降低且血糖生成指数 GI 值较高,不适宜糖尿病等特殊人群食用^[2]。

随着生活水平的提高,人们对食品的需求向营养化、方便化、个性化和功能化等多元化方向发展,市场上逐渐出现了复合粉面条。目前,市场上主要销售的复合粉面条有杂粮面、蔬菜面等^[3],但种类和数量有限,存在感官品质不佳、煮制后易浑汤等问题。面向特定消费群体的面条制品更为少见。鹰嘴豆富含多种有益于人体健康的营养物质,其蛋白质和膳食纤维含量较多,能促进人体营养的消化与吸收^[4]。刘树萍^[5]以鹰嘴豆粉为原料,采用正交试验,研究不同因素对鹰嘴豆粉面条品质的影响,最后得出结论鹰嘴豆粉面条的感官评分优于小麦面条,添加鹰嘴豆粉所制得的面条品质特性得到显著提升。刘璐^[6]探讨不同种类杂豆的添加对糙米米线食用品质和 GI 值的影响,其中鹰嘴豆糙米米线最终水解率的降低,有利于米线 GI 值的降低。因此,将鹰嘴豆粉应用在面条中不仅可增添其独有风味,还可增加面条的营养价值,从而满足消费者对美味和健康相结合的创新型低 GI 产品追求。

本文采用将不同比例鹰嘴豆粉(0%、10%、20%、30%及40%)与小麦粉复配的方法,探讨鹰嘴豆粉的添加量对面条的质构品质、蒸煮品质、微观结构及 GI 值的影响,并与小麦粉面条进行对比,为鹰嘴豆粉面条的开发及品质调控提供一定的参考价值。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

小麦粉 华龙农庄;白面包、鹰嘴豆 市售; α -淀粉酶(8 U/mg)、DNS 试剂 Sigma 公司;葡萄糖淀粉酶(3260 U/mL) 美国爱尔兰公司;葡萄糖 河南万邦化工科技有限公司;普通级小鼠维持饲料 辽宁长生生物技术股份有限公司;SPF 级雄性小鼠(6~8 周龄,30±3 g) 长春市亿斯实验动物技术有限责任公司,动物饲养许可证号(SCXK(吉)2020-0002),所有动物在通风良好、恒定温度(23±1)℃、恒定湿度 55%±5%,12 h 昼夜交替的房间适应性饲养 5 d。

TA-XT 2i/5 质构仪 上海保圣;JYN-YM1 压面机、M10-MC91 和面机 九阳股份有限公司;SIGMA 300 扫描电镜 德国卡尔蔡司公司;ACCU-CHEK 血糖仪 罗氏诊断产品(上海)有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 鹰嘴豆粉的制备 参照李俊华^[7]试验方法:将鹰嘴豆 45℃ 干燥 10 h,粉碎过筛(100 目),密封备用。

1.2.2 鹰嘴豆粉面条的制作 搅面:将不同比例的鹰嘴豆粉(占比两者混合粉 0%、10%、20%、30%和 40%)和小麦粉充分混匀后加入适当的水,设定搅面

时间为 20 min。醒面:和好的面团 30℃ 恒温醒发 20 min。压延:设定压面机不同轨距分别进行压延,直至面片成型良好。切条:将品质较佳的面片切条、备用。

1.2.3 面条质构特性的测定 参照刘勇等^[8]方法。取 30 根相对均一的面条煮制 2 min 后,捞出沥干水分,选取 3 根等间距放置在测定台上。测试探头:采用 TA44,参数设定:预测试速度 2.00 mm/s;测试速度 1.00 mm/s;返回速度 1.00 mm/s;出发点负载 5 g。

1.2.4 面条吸水率和损失率的测定 称量一定质量生面条记为 m_1 ,煮制 2 min 后捞出称重记为 m_2 ;将面汤转移至 250 mL 容量瓶中,用蒸馏水定容,量取 25 mL 倒入已知重量的铝盒记为 $m_{\text{铝盒}}$,铝盒烘至恒重记为 m_3 。面条的吸水率、损失率分别按公式(1)、(2)计算^[9-11]:

$$\text{吸水率}(\%) = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad \text{式(1)}$$

$$\text{损失率}(\%) = \frac{10(m_3 - m_{\text{铝盒}})}{m_1} \times 100 \quad \text{式(2)}$$

1.2.5 断条率的测定 参照范会平等^[12]研究方法。将 30 根均匀面条煮制 10 min 后捞出用冷水冲洗,选取 20 根按公式(3)计算:

$$S(\%) = \frac{N}{20} \times 100 \quad \text{式(3)}$$

式中: S 为熟断条率,%; N 为选取 20 根面条中断面条根数。

1.2.6 面条微观结构的测定 将真空冷冻干燥后样品断裂,选取横截面较为平整的样品放于扫描电镜载物腔内,抽真空,加压,调节 2000 倍数进行扫描、观察并记录图像^[13]。

1.2.7 面条血糖生成指数的测定 参考赵娜等^[14]方法。将面条煮制后称取一定量的熟面条,加水用均质机将面条制品均质成样液,吸取 50 mg 放入试管中,加入 15 mL pH6.9 含有 2.6 IU α -淀粉酶的 Tris-Maleate 缓冲液,水浴锅温度设定 37℃,振荡 180 min。每隔 30 min 取 1 mL 样液,100℃ 下水浴 5 min 将酶灭活,从水浴锅中取出冷却至室温。再向样液中加入 3 mL 醋酸钠缓冲溶液和 60 μ L 葡萄糖淀粉酶,60℃ 水浴锅中涡旋振荡 45 min。利用 3,5-二硝基水杨酸(DNS)法进行还原糖含量测定。淀粉水解率满足公式(4):

$$\text{淀粉水解率}(\%) = \frac{\text{取样时间点还原糖当量}(\%) \times 0.9}{\text{总淀粉含量}(\%)} \quad \text{式(4)}$$

使用 Origin 2017 软件绘制纵坐标为淀粉水解率,横坐标为水解时间的曲线,遵循由 GONI 等^[15]建立的非线性模型。一阶方程的形式如式(5):

$$C = C_{\infty}(1 - e^{-kt}) \quad \text{式(5)}$$

式中: C 是在时间 t 时水解淀粉的百分比,%;

C_{∞} 是淀粉水解达到平衡时的百分比; k 是动力学常数; t 是时间,min。

数据进行非线性拟合得到 C_{∞} 及和 k 值,利用积分函数求取淀粉水解曲线下面积 AUC。

$$AUC = C_{\infty}(t_{\infty} - t_0) - (C_{\infty}/k)[1 - \exp[-k(t_{\infty} - t_0)]]$$

式 (6)

式中: C_{∞} 是反应平衡时的浓度; t_{∞} 为最终时间 (180 min); t_0 为反应初始时间 (0 min); k 是动力学常数。

可得到淀粉水解指数 HI 公式(7):

$$HI = AUC_{\text{样品}} / AUC_{\text{白面包}}$$

式 (7)

进而得到血糖生成指数公式(8):

$$GI = (0.549 \times HI) + 39.71$$

式 (8)

1.2.8 健康小鼠餐后血糖实验 参照苏文^[16]。购买 100 只健康雄性小白鼠(体重 30 ± 3 g),正常喂养饲料和水 5 d,使其适应环境,5 d 后进行随机分组,每组选取 8 只小鼠,再次进行正常饲养两天后开始试验。试验前 8 h 小鼠禁食不禁水,对每只小鼠进行标记、体重测定和空腹血糖测定。灌胃量按照每千克体重灌胃 0.72 g 计算(人体体内试验成年男性一般体重 65 kg,进食 50 g 样品后计算得出 0.72 g/kg 的样品量)。采用剪尾取血法,在小白鼠进食后的 0、15、30、45、60、90、120 min 分别取小鼠尾血,用血糖仪对小鼠的血糖值进行测定。(表 1)

表 1 试验分组情况

Table 1 Test grouping

组别	分组	进食种类	雄性小鼠
对照组	1	葡萄糖	8
	2	饲料空白	8
	3	小麦粉面条	8
	4	10%添加量鹰嘴豆粉面条	8
试验组	5	20%添加量鹰嘴豆粉面条	8
	6	30%添加量鹰嘴豆粉面条	8
	7	40%添加量鹰嘴豆粉面条	8

1.3 数据处理

所有试验均重复 3 次取平均值,采用 Statistix 软件进行显著性分析,使用 Origin 2017 软件制图。

2 结果与分析

2.1 不同添加量的鹰嘴豆粉对面条质构品质的影响

粘性、弹性、咀嚼性和硬度是影响消费者对面条可接受程度的重要指标^[17]。由表 2 可知,0%~20% 添加量范围内,面条的粘性、弹性和咀嚼性增强,超过 20% 添加量,质构品质削弱,硬度总体呈上升趋势。添加量为 10% 和 20% 对面条质构品质的影响不显著,原因可能是鹰嘴豆粉富含脂肪氧化酶,适量的脂肪氧化酶可促进-S-S 的形成,改善面条的品质特性^[18]。当添加量为 30% 和 40% 时,小麦粉被鹰嘴豆粉替换量过高,面筋蛋白的相对含量降低,面筋蛋白

网络难以为面条提供粘弹性与延展性,导致弹性、粘性和咀嚼性降低。淀粉糊化过程中,直链淀粉和支链淀粉聚集、结晶,形成一种淀粉网络结构,通过分子间作用力和空间构象变化稳定其网络结构,使面条的硬度增加^[19]。这与郑刚等^[18] 研究结果基本符合。

表 2 不同添加量的鹰嘴豆粉对面条质构品质的影响

Table 2 Effects of different amounts of chickpea flour on the texture quality of noodles

添加量(%)	粘性(mJ)	弹性(mm)	咀嚼性(mJ)	硬度(g)
0	0.65±0.07 ^a	4.93±0.02 ^a	1.30±0.20 ^b	57.00±1.41 ^c
10	0.69±0.03 ^a	4.97±0.11 ^a	1.85±0.07 ^{ab}	55.03±1.00 ^c
20	0.72±0.09 ^a	4.52±0.23 ^a	2.06±0.32 ^a	54.42±1.51 ^c
30	0.32±0.08 ^b	3.84±0.21 ^b	0.68±0.12 ^c	104.00±3.46 ^b
40	0.17±0.06 ^b	3.51±0.31 ^c	0.50±0.17 ^c	205.33±3.06 ^a

注:各列字母不同时表示差异显著($P<0.05$)。

2.2 不同添加量的鹰嘴豆粉对面条蒸煮品质的影响

吸水率、损失率和断条率是影响面条食用品质非常重要的指标。指标数值越大,表明面条蒸煮品质越差^[20]。由图 1 可得出,0%~20% 添加量范围内,面条的吸水率、损失率和断条率均增大但变化较小,表明较低添加量的鹰嘴豆粉对面条蒸煮品质无明显影响;20%~40% 添加量范围内,面条的吸水率、损失率和断条率均相比空白组显著增大($P<0.05$),表明高添加量的鹰嘴豆粉使面条的蒸煮品质变恶劣。面条的蒸煮品质与面筋网络结构的稳定性及和淀粉结合的紧密程度密切相关^[21]。鹰嘴豆粉添加量过高使面筋蛋白含量明显下降,同时束缚淀粉颗粒的能力也下降,面筋网络结构因此受到破坏。并且鹰嘴豆粉含有较多的膳食纤维,周玉瑾^[22] 研究发现膳食纤维的添加会使面条具有更高的吸水率,蒸煮损失随之上升。与上述质构品质试验结果一致。

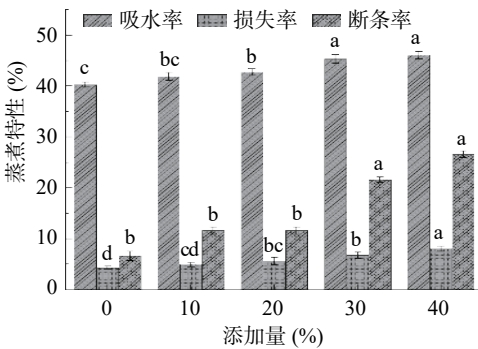


图 1 不同添加量的鹰嘴豆粉对面条蒸煮品质的影响

Fig.1 Effects of different amounts of chickpea flour on the cooking quality of noodles

注:字母不同时表示差异显著($P<0.05$)。

2.3 不同添加量的鹰嘴豆粉对面条微观结构的影响

图 2 为添加不同比例鹰嘴豆粉制作的面条,其横截面放大 2000 倍的图像。图 2b、图 2c 与图 2a 进行对比,可以发现低于 20% 添加量鹰嘴豆粉面条中蛋白基质变得更加密实,使面筋蛋白的网络结构变

得均匀致密,面条的质构品质得到提高;图 2c、图 2d 与图 2a 进行对比,高添加量时面筋网络结构疏松,有较多孔洞出现且大小不均匀,内部结构遭到明显破坏,导致结构不连续,没有完整的面筋膜。这可能是由于鹰嘴豆粉颗粒比较大且面团中面筋蛋白含量不足,蛋白不能完全包裹淀粉所导致的。大部分淀粉颗粒散布在面筋结构之外,这会影响面条的质构品质(表 2)和蒸煮品质(图 1)^[23]。

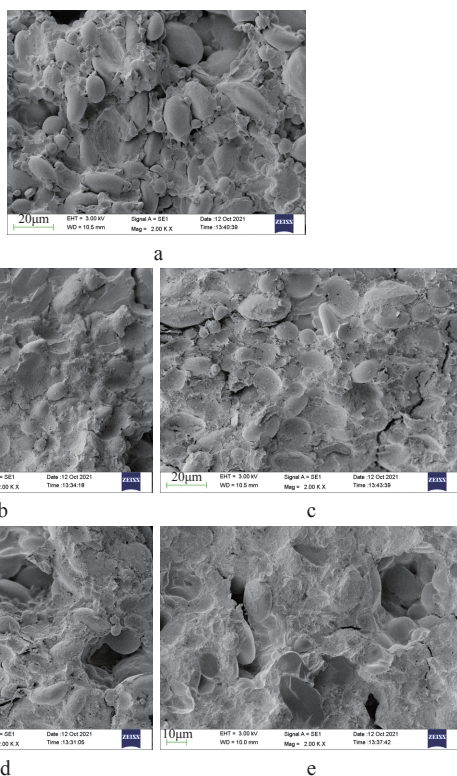


图 2 不同鹰嘴豆粉的添加量面条和小麦面条的微观结构
Fig.2 Microstructure of noodles and wheat noodles with different additions of chickpea flour

注: a: 小麦粉面条; b: 10% 添加量鹰嘴豆粉面条; c: 20% 添加量鹰嘴豆粉面条; d: 30% 添加量鹰嘴豆粉面条; e: 40% 添加量鹰嘴豆粉面条。

2.4 不同添加量的鹰嘴豆粉对面条 GI 值的影响

2.4.1 淀粉体外消化动力学 如图 3 所示,在 30 min 水解时间内,面条的淀粉水解速率均快速上升,30~180 min 缓慢上升,90 min 时已趋于稳定。以白面包为参照食物^[15],180 min 时,小麦粉面条的最终淀粉水解率为 $52.11\% \pm 0.89\%$,不同添加量鹰嘴豆粉面条的最终淀粉水解率分别为 $38.46\% \pm 0.75\%$ 、 $35.39\% \pm 0.89\%$ 、 $33.07\% \pm 0.96\%$ 、 $31.09\% \pm 0.85\%$,均明显低于小麦粉面条。鹰嘴豆中淀粉含量较低,其中直链淀粉含量 $27.2\% \sim 35.6\%$,抗性淀粉含量 $8.4\% \sim 19.5\%$ ^[24]。在加热过程中,直链淀粉中分子间和分子内氢键对淀粉的糊化有抑制作用,从而使淀粉的消化速度有所降低^[25]。抗性淀粉是指直接进入大肠,不能被小肠消化吸收的淀粉,在预防糖尿病和改善糖尿病症状方面有一定的效果^[26]。而且,鹰嘴豆粉富含膳食纤维,大大降低了对消化酶的敏感性,能够有效地延缓淀粉的消

化^[27]。因此,添加鹰嘴豆粉可以有效降低淀粉的水解速率,且添加量越高,水解速率越低。

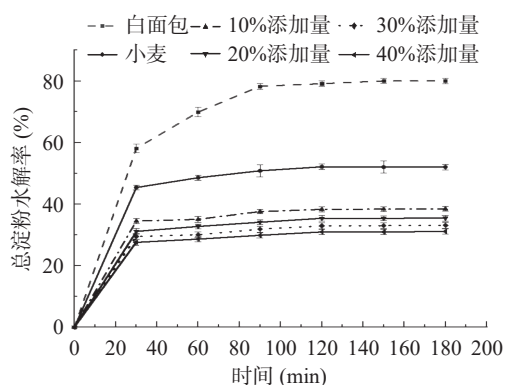


图 3 不同添加量鹰嘴豆粉面条总淀粉水解率
Fig.3 Total starch hydrolysis rate of chickpea flour noodles with different additions

2.4.2 不同添加量鹰嘴豆粉面条的血糖生成指数 利用体外酶法测定 GI 值,根据 GI 值大小将食品分为低 GI 食品、中 GI 食品和高 GI 食品。GI 值超过 70,属于高 GI 食品,55~70 范围内属于中 GI 食品,GI 值低于 55 属于低 GI 食品^[28]。由表 3 可知,小麦粉面条 GI 值为 76.97 ± 0.49 ,属于高 GI 食品,不同添加量的鹰嘴豆粉面条均属于中 GI 食品。与小麦粉面条 GI 值相比,添加鹰嘴豆粉面条的 GI 值均有所降低且差异显著($P < 0.05$),随着添加量的增大,GI 值下降明显。适当地提高添加量有望制成低 GI 食品,经常食用 GI 值低的食物可抑制餐后血糖生成指数的大幅升高^[29]。

表 3 不同添加量鹰嘴豆粉面条的血糖生成指数
Table 3 Glycemic index of chickpea flour noodles with different additions

添加量(%)	C_{∞}	k	HI	GI
0	51.38 ± 0.51^a	0.07 ± 0.01	67.87 ± 0.54^a	76.97 ± 0.49^a
10	37.70 ± 0.55^b	0.08 ± 0.01	50.06 ± 0.82^b	67.19 ± 0.84^b
20	34.77 ± 0.43^c	0.07 ± 0.01	45.98 ± 0.76^b	64.95 ± 0.71^c
30	32.32 ± 0.49^d	0.08 ± 0.01	42.87 ± 0.68^c	63.24 ± 0.29^{cd}
40	30.42 ± 0.40^d	0.08 ± 0.01	40.32 ± 0.95^c	61.84 ± 0.55^d

注: 各列字母不同时表示差异显著($P < 0.05$)。

2.5 添加鹰嘴豆粉面条对小鼠血糖的影响

通过测定小鼠餐后血糖浓度变化,由图 4 可知,灌胃葡萄糖后,小鼠餐后血糖迅速上升,在短时间 30 min 时达到血糖峰值,血糖升至 3.14 mmol/L ,随后急速下降。灌胃饲料组的小鼠在 15 min 时,餐后血糖浓度变化小,但 15 min 后急速上升,45 min 时升至最高点,随后急速下降。灌胃小麦粉面条小鼠在 15 min 时餐后血糖浓度变化较高,30 min 时升至最高点,然后开始下降。灌胃 10%、20%、30% 及 40% 鹰嘴豆粉面条曲线趋势相似,并且四组曲线平缓程度高于其他试验组。但随着添加量的增加,小鼠餐后血糖上升的速度越慢且曲线越平缓。血糖生成指数可以用小鼠餐后血糖浓度变化值大小及其曲线趋势的

平缓程度表示。餐后血糖上升速度快,且曲线趋势平缓度较低,则说明血糖生成指数较大;食物被摄入后,若血糖上升速度慢,且曲线趋势较平缓,则说明血糖生成指数低^[30]。因此,血糖生成指数排序从高到低依次为:葡萄糖>饲料>小麦粉面条>10%添加量鹰嘴豆粉面条>20%添加量鹰嘴豆粉面条>30%添加量鹰嘴豆粉面条>40%添加量鹰嘴豆粉面条,与表3试验结果相符合。

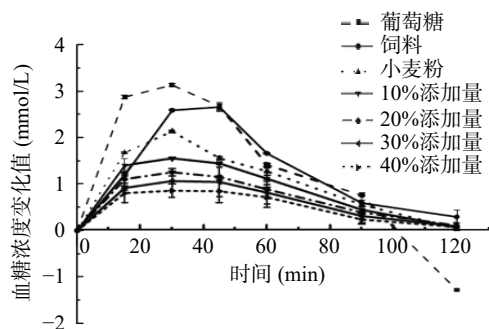


图4 不同添加量鹰嘴豆粉面条小鼠血糖浓度变化

Fig.4 Changes of blood glucose concentration in mice with chickpea flour noodles with different additions

3 结论

本研究证实当低于20%添加量时,鹰嘴豆粉面条的质构特性,蒸煮特性和微观结构都有所上升,表明可以改善面条的加工品质;但添加量过高超过20%时,会破坏面条原有的组织结构,使面条的加工品质下降。

利用体外酶法测定GI值试验结果为,小麦粉面条的最终淀粉水解率为52.11%,不同添加量(10%、20%、30%和40%)鹰嘴豆粉面条最终淀粉水解率分别为38.46%、35.39%、33.07%、31.09%,试验结果证明鹰嘴豆粉可显著降低淀粉的水解速率。小麦粉面条GI值为76.97,属于高GI食品,不同添加量的鹰嘴豆粉面条均属于中GI食品,与小麦粉面条GI值相比,添加鹰嘴豆粉面条的GI值均有所降低且差异显著。血糖生成指数还可以用小鼠餐后血糖浓度变化值大小及其曲线趋势的平缓程度表示,灌胃添加不同比例鹰嘴豆粉面条的小鼠餐后血糖上升的速度较慢且曲线较平缓,和体外酶法试验结果相符合。

测定血糖生成指数的方法有很多,本研究主要集中在体外酶法试验和小鼠餐后血糖浓度变化试验,有研究表明利用人体模拟试验也可以进行血糖生成指数的测定,这也是本研究的不足之处,希望在未来对功能性面条的开发做出进一步的研究。添加适量鹰嘴豆粉能够改善面条的加工特性和消化特性,为面条向更营养、更健康的低GI食品方向发展提供技术参考,满足人们追求健康与营养饮食的需求。

参考文献

[1] 程丽英,曹振霞,石奇磊,等.鲜湿面条褐变抑制剂的研制[J].*粮食与油脂*,2021,34(9):42-46. [CHENG L Y, CAO Z X, SHI Q L, et al. Study on browning inhibitor of fresh wet noodles[J].

Cereals & Oils, 2021, 34(9): 42-46.]

[2] 李尧尧.红薯淀粉改性及其在面条中的应用研究[D].上海:华东理工大学,2017. [LI Y Y. Modification of sweet potato starch and its application in noodles[D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2017.]

[3] 周小伟.鲜湿面的防腐保鲜及品质控制研究[D].广州:广东工业大学,2016. [ZHOU X W. Research on preservation and quality control of fresh and wet noodles[D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2016.]

[4] SANTOS F G, FRATELLI C, MUNIZ D G, et al. The impact of dough hydration level on gluten-free bread quality: A case study with chickpea flour[J]. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 2021, 26: 1-8.

[5] 刘树萍.鹰嘴豆面条的工艺优化及质构特性研究[J].*哈尔滨商业大学学报(自然科学版)*,2018,34(3):315-318,332. [LIU S P. Process optimization and texture properties of chickpea noodles[J]. *Journal of Harbin University of Commerce (Natural Sciences Edition)*, 2018, 34(3): 315-318,332.]

[6] 刘璐.杂豆添加对糙米米线食用品质及eGI值的影响[D].北京:中国农业科学院,2021. [LIU L. Effects of mixed bean addition on edible quality and eGI value of brown rice noodle[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2021.]

[7] 李俊华.大豆粉对面粉特性及挂面品质的影响研究[D].无锡:江南大学,2009. [LI J H. Study on the effect of soybean flour on flour characteristics and dried noodle quality[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009.]

[8] 刘勇,赵干,魏敏,等.滁菊多糖对粗粮面条质构品质的影响[J].*食品工业*,2021,42(4):34-38. [LIU Y, ZHAO G, WEI M, et al. Effects of cuju polysaccharide on texture and quality of coarse grain noodles[J]. *The Food Industry*, 2021, 42(4): 34-38.]

[9] KRISHNAN J G, MENON R, PADMAJA G, et al. Evaluation of nutritional and physico-mechanical characteristics of dietary fiber-enriched sweet potato pasta[J]. *European Food Research & Technology*, 2012, 234(3): 467-476.

[10] AYDIN E, GOCMEN D. Cooking quality and sensorial properties of noodle supplemented with oat flour[J]. *Food Science & Biotechnology*, 2011, 20(2): 507-511.

[11] CHILLO S, LAVERSE J, FALCONE P M, et al. Influence of the addition of buckwheat flour and durum wheat bran on spaghetti quality[J]. *Journal of Cereal Science*, 2008, 47(2): 144-152.

[12] 范会平,李菲菲,符锋,等.紫薯全粉面条的制备及其品质影响研究[J].*现代食品科技*,2019,35(5):151-158. [FAN H P, LI F F, FU F, et al. Preparation of purple potato whole flour noodles and research on its quality effects[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2019, 35(5): 151-158.]

[13] 葛珍珍,张圆圆,李盈,等.魔芋葡甘聚糖对面条质构及微观结构的影响[J].*粮食与油脂*,2021,34(9):67-72. [GE Z Z, ZHANG Y Y, LI Y, et al. Effects of konjac glucomannan on the texture and microstructure of noodles[J]. *Cereals & Oils*, 2021, 34(9): 67-72.]

[14] 赵娜,汪兰,沈杰,等.阴米淀粉的颗粒性质及消化性研究[J].*食品科学*,2010,31(3):35-38. [ZHAO N, WANG L, SHEN

- J, et al. Study on the granule properties and digestibility of yin rice starch[J]. Food Science, 2010, 31(3): 35–38.]
- [15] GONI I, GARCIA A A, SAURA C F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index[J]. Nutrition Research, 1997, 17(3): 427–437.
- [16] 苏文. 复合淀粉制备方便米皮及其消化性研究[D]. 汉中: 陕西理工学院, 2016. [SU W. Preparation of instant rice peel with compound starch and research on its digestibility[D]. Hanzhong: Shaanxi University of Technology, 2016.]
- [17] 贾继伟. 茯苓、枸杞保健面条的开发研制[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012. [JIA J W. Development and development of health-care noodles with poria and *Lycium barbarum*[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2012.]
- [18] 郑刚, 胡小松, 李全宏, 等. 脱脂大豆对面团流变学特性及其制成面条品质的影响[J]. 食品科学, 2007, 28(4): 99–102. [ZHENG G, HU X S, LI Q H, et al. Effects of defatted soybeans on the rheological properties of dough and the quality of noodles made from it[J]. Food Science, 2007, 28(4): 99–102.]
- [19] 张子睿. 低 GI 马铃薯馒头的开发及其对原花青素体外释放的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2021. [ZHANG Z R. Development of low GI potato steamed bread and its in vitro release of proanthocyanidins[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2021.]
- [20] 孙耀军. 藜麦生鲜面条加工工艺研究[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(3): 94–98. [SUN Y J. Study on processing technology of quinoa fresh noodles[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(3): 94–98.]
- [21] 董桂梅. 苦荞鲜湿面条的研制及储藏特性的研究[D]. 郑州: 郑州轻工业大学, 2021. [DONG G M. Development and storage characteristics of fresh and wet buckwheat noodles[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University of Light Industry, 2021.]
- [22] 周玉瑾. 麦麸可溶性与不溶性膳食纤维对面条品质的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2015. [ZHOU Y J. Effects of wheat bran soluble and insoluble dietary fiber on noodle quality[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2015.]
- [23] 张桦, 钟金锋, 雷凡, 等. 鹰嘴豆粉对面团流变学特性及面条品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(1): 171–176. [ZHANG J, ZHONG J F, LEI F, et al. Effects of chickpea flour on dough rheological properties and noodle quality[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(1): 171–176.]
- [24] HOOVER R, HUGHES T, CHUNG H J, et al. Composition, molecular structure, properties, and modification of pulse starches: a review[J]. Food Research International, 2010, 43(2): 399–413.
- [25] LERTPHANICH S, WANSUKSRI R, TRAN T, et al. Comparative study on physicochemical properties of ensete and water caltrop with other root, tuber and legume starches[J]. Starch-Starke, 2013, 65(11-12): 1038–1050.
- [26] 高雅君. 低血糖指数馒头加工工艺及其功能特性研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2018. [GAO Y J. Research on the processing technology and functional characteristics of low glycemic index steamed bread[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2018.]
- [27] 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 flour on noodle quality and in vitro digestive properties[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(1): 31–34.]
- [28] 姚月华, 唐宁, 杨舒莹, 等. 高抗性淀粉箭筈豌豆粉丝的制备及品质评价[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(6): 58–65. [YAO Y H, TANG N, YANG S Y, et al. Preparation and quality evaluation of pea vermicelli with high resistance starch[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(6): 58–65.]
- [29] 刘成梅, 方冲, 刘云飞, 等. 不同添加物对挤压重组米血糖生成指数和理化性质的影响[J]. 中国食品学报, 2020, 20(3): 96–102. [LIU C M, FANG C, LIU Y F, et al. Effects of different additives on the glycemic index and physicochemical properties of extruded reconstituted rice[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(3): 96–102.]
- [30] 洪雁, 顾娟, 顾正彪. 体内外实验测定荞麦淀粉消化特性[J]. 食品科学, 2010, 31(5): 293–297. [HONG Y, GU J, GU Z B. Determination of buckwheat starch digestion characteristics in vitro and in vivo[J]. Food Science, 2010, 31(5): 293–297.]