

大豆膳食纤维对小麦粉面条品质特性及血糖生成指数的影响

尹显婷^{1,2}, 范杰英¹, 孙洪蕊¹, 刘香英¹, 田志刚¹, 张佳霖^{1*}, 康立宁^{1*}

(1. 吉林省农业科学院农产品加工研究所, 长春 130033; 2. 吉林农业大学食品科学与工程学院, 长春 130118)

摘要:为改善小麦粉面条的品质,本研究将不同比例(0%、2%、4%、6%、8%)的大豆膳食纤维添加到小麦粉面条中,测定其拉伸特性、蒸煮特性以及血糖生成指数(GI)等指标。结果表明,随着大豆膳食纤维添加量的增加,面条的拉伸性能呈先上升后下降的趋势;蒸煮特性方面,吸水率、膨胀率、断条率随着大豆膳食纤维添加量的增加呈上升趋势,蒸煮损失率呈先下降后上升的趋势。从拉伸性能、蒸煮特性来看,添加量以不高于4%较为合适。另外,添加大豆膳食纤维能抑制淀粉的水解,降低面条的GI值。

关键词:大豆膳食纤维;小麦粉面条;品质特性;血糖生成指数

中图分类号:TS213.24

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2024)01-0093-05

Effects of Soy Dietary Fiber on the Quality Characteristics and Glycemic Index of Wheat Noodles

YIN Xianting^{1,2}, FAN Jieying¹, SUN Hongrui¹, LIU Xiangying¹, TIAN Zhigang¹, ZHANG Jialin^{1*}, KANG Lining^{1*}

(1. Institute of Agro-food Technology, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033; 2. College of Food Science and Engineering, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract:To improve the quality of wheat noodles, this study added different proportions (0%, 2%, 4%, 6%, 8%) of soybean dietary fiber to wheat flour noodles, and measured their stretching properties, cooking properties, and glycemic index (GI). The results showed that the addition of soybean dietary fiber made the tensile properties of noodles increase first and then decrease. The results of cooking characteristics showed that the water absorption rate, expansion rate and breaking rate increased with the increase of soybean dietary fiber, and the loss decreased first and then increased, which indicated that proper addition of soybean dietary fiber could optimize the quality characteristics of noodles. The tensile properties and cooking characteristics indicate that the addition amount is less than 4%. The GI value of cooked noodles was determined by compound enzyme method in vitro. It was proved that adding soybean dietary fiber could inhibit the hydrolysis of starch and reduce the GI value of mixed noodles.

Key words:Soy dietary fiber; Wheat noodle; Quality characteristic; Glycemic index

膳食纤维是指可抵抗人体小肠消化和吸收,但在人体大肠内可以部分或者全部发酵的可食用的植物成分和碳水化合物的总和,包括寡糖、多糖、木质素及相关的植物成分^[1]。膳食纤维虽然不能被人体胃肠道很好地消化吸收,但能调节人

们的膳食结构,促进人体胃肠道微生物的生长,提高胃肠道免疫能力,降低各类慢性代谢性疾病的患病风险,对维持人体健康具有重要的作用^[2-3]。膳食纤维作为一类功能性食品配料,受到科研工作者的普遍关注,特别是在生命科学领域,被誉为“第七大营养素”^[4]。

面条是用小麦粉制作的传统食品,在中国已有4 000多年的历史,因其原料便宜、制作方法简单、营养价值高在世界范围内广受欢迎。小麦粉在精细加工过程中会损失部分营养成分,无法满足消费者日益增长的健康需求。因此,添加膳食纤维粉可以缓解面条营养不均衡的问题。本研究将大豆膳食纤维应用到面条的加工制作过程中,

收稿日期:2023-03-06

基金项目:吉林省科技厅重点研发项目(20210202106NC);吉林省农业科技创新工程项目(CXGC2023RCG007)

作者简介:尹显婷(1992-),女,助教,硕士,从事食品生物化学及功能性食品研究。

通讯作者:张佳霖,男,硕士,高级工程师,E-mail: 281539130@qq.com

康立宁,男,博士,研究员,E-mail: lnkang@sina.com

研究不同添加量对面条拉伸特性、蒸煮品质及血糖生成指数(GI)的影响,为提高富含膳食纤维的面条质量品质提供理论支持^[5]。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

小麦面粉(五得利面粉集团)、白面包(市售)、大豆膳食纤维(武汉信之德生物科技有限公司总膳食纤维含量≥90%)。

α-淀粉酶(sigma公司),葡萄糖淀粉酶(美国爱尔兰公司)3 260 U/mL,DNS试剂(上海源叶生物公司)。

1.2 试验仪器

物性分析仪 TA.XT Express(英国 Stable Micro Systems 公司),和面机 JHMZ 200、醒发箱 JXFD 7、试验面条机 JMTD 168/140(北京东孚久恒仪器技术有限公司),紫外可见分光光度计 D-7(让奇仪器科技有限公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 面条的制作

加入不同比例(0%、2%、4%、6%、8%)的大豆膳食纤维与小麦粉的总质量为 100.0 g,加入 40%的水,用和面机搅面 10 min 后置于醒发箱,设置温度 25 °C、湿度 80%,熟化 20 min 后反复进行压延,最后压延成 1.0 mm 的面片,切条,备用。

1.3.2 拉伸性能的测定

将面条放入沸水中煮制 2 min,立即捞出放在冷水下冲洗 2 次,取 1 根熟面条,将其两端分别缠绕于物性分析仪探头的上下臂上,使面条固定,测定拉断力与拉断距离。探头型号:A/SPR,参数设定如下,模式:Tension;测试速度:3 mm/s;距离:100.00 mm;起始间距:10 mm^[6]。

1.3.3 面条吸水率、膨胀率、蒸煮损失率的测定

称取适量面条记为 m_1 ,放入 200 mL 沸水中煮制 2 min,捞出称取重量记为 m_2 ,称量后的面条放于干燥箱烘至恒重记为 m_3 ;面汤冷却至室温后用蒸馏水定容至 250 mL,量取 25 mL 倒入干燥的铝盒(重量记为 $m_{铝盒}$)中,烘至恒重记为 m_4 。面条的膨胀率、吸水率、蒸煮损失率分别按公式(1)~公式(3)计算^[7-9]。

$$\text{膨胀率}/\% = \frac{m_2 - m_3}{m_3} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{吸水率}/\% = \frac{m_2 - m_1}{m_3} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{蒸煮损失率}/\% = \frac{10(m_4 - m_{铝盒})}{m_1} \times 100 \dots (3)$$

1.3.4 断条率的测定

取 20 根完好无损、长度较均匀的面条置于 1 000 mL 沸水中煮制 10 min 后捞出并用冷水反复冲洗 2 次,冷却至室温,按下列公式(4)计算断条率^[10]。

$$S/\% = \frac{N}{20} \times 100 \dots\dots\dots (4)$$

式中:S 表示断条率,N 表示面条断裂的根数。

1.3.5 面条血糖生成指数(GI)的测定

GI 的测定参照马雨洁^[11]、赵娜^[12]等的方法。将面条煮熟后捞出称取一定量后加入蒸馏水,利用均质机均质,吸取 50 mg 样液滴入试管中,加入 pH 值为 6.9 的 Tris-Maleate 缓冲液 10 mL,再加入含有酶活力 2.6 IU 的 α-淀粉酶的 Tris-Maleate 缓冲液 5 mL,持续 37 °C 恒温水浴振荡 180 min。分别在 0、30、60、90、120、180 min 取样,每次取 1 mL 样液滴入试管中,然后置于沸水中 5 min,终止反应,待冷却至室温后放入 4 °C 冷藏室。6 个时间点样液均取出后分别加入 3 mL 醋酸钠缓冲液(0.4 mol·L⁻¹,pH=4.75)和液体葡萄糖苷酶(60 μL),再次 60 °C 水浴恒温振荡 45 min 后,用 DNS 法进行葡萄糖含量测定,用公式(5)计算淀粉水解率。

$$\text{淀粉水解率}/\% = \frac{\text{取样时间点葡萄糖当量} \times 0.9}{\text{总淀粉含量}} \times 100 \dots\dots\dots (5)$$

绘制淀粉水解曲线(纵坐标为淀粉水解率,横坐标为时间),遵循由 Goni 等^[13]建立的非线性模型,用来描述淀粉水解的动力学。模型方程式如公式(6)。

$$C = C_{\infty}(1 - e^{-kt}) \dots\dots\dots (6)$$

式中:C 表示在时间 t 时水解淀粉的百分比,C_∞表示 180 min 后水解淀粉的平衡百分比,k 表示动力学常数;t 表示时间。

对淀粉水解方程式的数据进行拟合,可求得 C_∞及 k 值,利用公式(7)计算曲线下面积(AUC)。

$$AUC = C_{\infty}(t_{\infty} - t_0) - (C_{\infty}/k)[1 - \exp[-k(t_{\infty} - t_0)]] \dots\dots\dots (7)$$

式中:C_∞表示反应平衡时的浓度;t_∞表示最终时间(180 min);t₀表示反应初始时间(0 min);k 表示动力学常数。

设定白面包为参照样品,可得出不同大豆膳食纤维添加量面条的淀粉水解指数(hydrolysis index, HI),如公式(8)。

$$HI = AUC_{\text{样品}} / AUC_{\text{参考样品(白面包)}} \dots\dots\dots (8)$$

综上,可得到血糖生成指数的计算公式(9)。

$$GI = (0.549 \times HI) + 39.71 \dots\dots\dots (9)$$

1.4 数据处理

本研究所有试验数据为3次测量的平均值,得到的数据利用SPSS 19.0及Excel 2016软件进行分析,利用Origin 2017软件进行绘图处理。

2 结果与分析

2.1 大豆膳食纤维对面条拉伸性能的影响

拉伸性能由拉断力和拉伸距离两个指标组成。拉断力指的是面条被拉断的瞬间产生的力的大小,可证明面筋结构结合的紧密程度,值越大说明结合得越紧密;拉伸距离指的是面条最开始处于的位置到被拉断时上升的距离,反映了面条的延展性和拉伸性,其值越大面条的延展性和拉伸性越好^[14]。由图1可知,在添加量低于6%时,随添加量的增加拉断力逐渐上升,当添加量超过

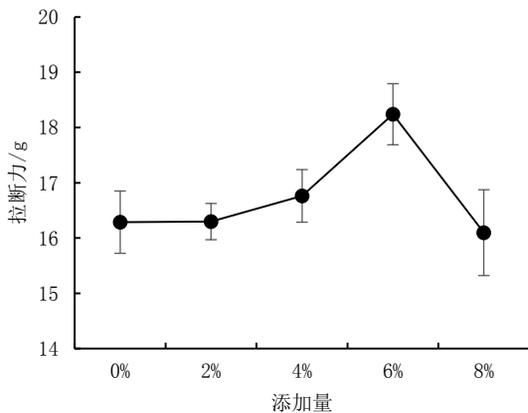


图1 大豆膳食纤维对面条拉断力的影响

6%后,拉断力开始下降。由图2可知,在添加量低于4%时,随着添加量的增加拉伸距离逐渐上升,当添加量高于4%后,拉伸距离随添加量的增加而下降。二者均呈先上升后下降趋势,说明拉伸性能先提高后下降。

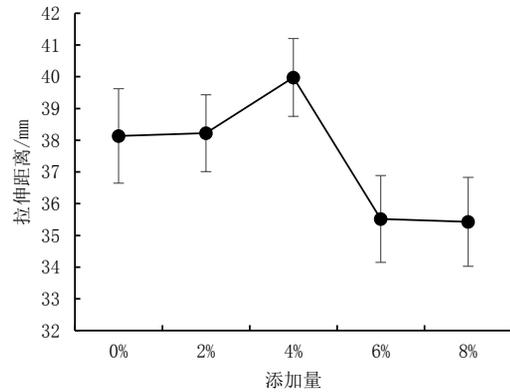


图2 大豆膳食纤维对面条拉伸距离的影响

2.2 大豆膳食纤维对面条蒸煮特性的影响

蒸煮特性主要包括吸水率、断条率、膨胀率及蒸煮损失率等。由表1可知,随着大豆膳食纤维添加量的增加,面条的吸水率从40.02%上升到56.33%,0添加量与高于4%添加量的处理之间差异显著;断条率从5.00%上升到31.67%,根据《DB43/338-2007湿面》中的规定,生鲜面的断条率应不超过15%,因此不高于4%添加量的大豆膳食纤维面条符合规定要求;膨胀率从124.86%上升到161.77%,各处理之间差异明显;蒸煮损失率先从4.29%下降到3.83%,再上升到6.37%。因此,从蒸煮特性上看,添加量低于4%,对质构的影响不明显,为最适添加量。

表1 大豆膳食纤维对面条蒸煮特性的影响

添加量	吸水率	断条率	膨胀率	蒸煮损失率
0	40.02±0.66c	5.00±0.00d	124.86±1.28d	4.29±0.38c
2	46.50±2.12bc	8.33±2.89cd	138.52±0.33c	3.83±0.39bc
4	50.67±2.89ab	13.33±2.89c	144.62±0.56bc	5.23±0.61ab
6	54.67±3.06ab	23.33±2.89b	152.36±4.38b	5.12±0.12ab
8	56.33±3.51a	31.67±2.89a	161.77±0.46a	6.37±0.19a

注:小写字母不同表示差异显著(P<0.05),下同

2.3 大豆膳食纤维对面条GI值的影响

2.3.1 淀粉体外消化动力学

由图3可知,在前30min内,大豆膳食纤维面条的总淀粉水解速率上升较快,而后呈缓慢上升趋势,在水解90min时趋于平缓。小麦粉面条(大

豆膳食纤维添加量0%)的最终水解率为52.11%,2%添加量的大豆膳食纤维面条最终总淀粉水解率为46.12%,4%添加量的大豆膳食纤维面条最终总淀粉水解率为39.47%,6%添加量的大豆膳食纤维面条最终总淀粉水解率为37.19%,8%添

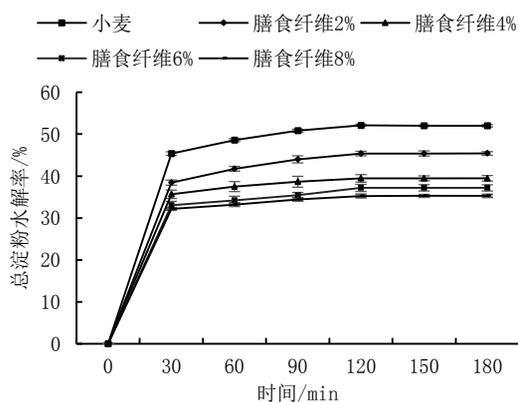


图3 不同添加量大豆膳食纤维面条总淀粉水解率

加量的大豆膳食纤维面条最终总淀粉水解率为35.27%，均低于小麦粉面条的最终总淀粉水解率。因此，添加不同比例大豆膳食纤维均能抑制面条中淀粉的水解。

2.3.2 不同添加量大豆膳食纤维面条的血糖生成指数

由表2可知，与小麦粉面条(GI=76.97)相比，添加大豆膳食纤维的GI值显著降低，差异显著。GI<55为低GI值食品，55≤GI<70为中GI食品，GI≥70为高GI值食品^[15]，因此低于2%添加量制作的大豆膳食纤维面条为高GI值食品，4%~8%添加量制作的面条为中GI值食品。

表2 不同添加量大豆膳食纤维对面条血糖生成指数的影响

添加量/%	C _∞	k	HI	GI
0	51.384±0.512a	0.069±0.006a	67.87±0.541a	76.97±0.490a
2	46.118±0.203b	0.053±0.002b	59.69±0.680b	72.48±0.730b
4	39.020±0.308c	0.080±0.007c	51.96±0.854c	68.24±0.786c
6	36.399±0.517d	0.076±0.002d	48.32±0.787d	66.24±1.027d
8	34.780±0.337e	0.083±0.009e	46.41±0.854e	65.19±0.786e

3 讨论与结论

大豆膳食纤维的加入在一定程度上改善了面条的拉伸性能，使面条的拉断力、拉伸距离均能提高。因为大豆膳食纤维有较强的持水性，可与部分面筋蛋白更好地结合吸水，形成坚实的网络结构，有利于改善面条的品质，当添加量过大时，面团中水分分配不均使蛋白质吸水不充分，面筋结构无法形成，影响面条品质^[16]，导致面条的拉伸性能下降。本研究中拉伸性能随着大豆膳食纤维添加量的增加呈先上升后下降趋势，在制作大豆膳食纤维面条时，以低于4%添加量较合适。

面条的吸水率主要是由于淀粉的糊化吸水，而膳食纤维具有水合作用^[17]，少量添加时吸水率增加，但继续添加会破坏面筋的网络结构，使蛋白质的吸水能力和持水能力下降^[18-19]，且淀粉颗粒的溶出使得蛋白质和淀粉的损失率上升。膨胀率受面条中蛋白质含量和淀粉含量的影响，含量越高膨胀率越大^[20]。蒸煮特性试验结果表明，熟面条的吸水率、膨胀率、断条率随着大豆膳食纤维添加量的增加呈上升趋势，损失率却呈先下降后上升的趋势。大豆膳食纤维的最适添加量为低于4%。

在面条中添加大豆膳食纤维可以使胃液的黏度增强，减缓了食物从肠胃中排出的速度，使人

体具有更持久性的饱腹感^[21]。也为营养物质的运输传递起到了一定的延缓作用。食物黏度的增强降低了水解酶消化分解食物的速度，从而减缓了消化吸收过程^[22]。人体组织系统对这一系列的延缓作用的最直接表现就是餐后血糖不会过快上升，特别是当营养元素为碳水化合物时，这一机制会起到更加有效和直接的作用^[23-24]。

通过体外复合酶方式测定GI值，随着大豆膳食纤维添加量的增加面条的最终淀粉水解率呈下降趋势，说明膳食纤维能抑制淀粉的水解，使面条的血糖生成指数下降。低于2%添加量制作的大豆膳食纤维面条为高GI值食品，4%~8%添加量制作的大豆膳食纤维面条为中GI值食品。

参考文献：

- [1] 赵欣锐,王秋阳,杨晰茗,等.木聚糖酶改性红松松仁膜衣膳食纤维工艺优化及结构分析[J].东北农业科学,2019,44(5):111-115,122.
- [2] 孔晓雪,王爱,丁其娟,等.高膳食纤维面团粉质特性与面包烘焙特性的研究[J].食品科学,2013,34(17):111-115.
- [3] 朱君,曾茂茂,何志勇,等.膳食纤维对肌原纤维蛋白凝胶性能的影响[J].食品科学,2011,32(17):55-59.
- [4] 张娟,蔺佳慧,杨昉明.大豆膳食纤维挂面的工艺研究[J].食品科技,2012(8):152-157.
- [5] 李天敏,赵玉娟,毕云枫,等.辅助降血糖作用乳杆菌的筛选与评价[J].东北农业科学,2019,44(1):91-96.

- [6] 冯一丹. 马铃薯-小麦混合粉的加工特性及其生鲜面的品质研究[D]. 长春: 长春大学, 2017.
- [7] 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 and Technology*, 2012, 234(3): 467-476.
- [8] Aydin E, Gocmen D. Cooking quality and sensorial properties of noodle supplemented with oat flour[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2011, 20(2): 507-511.
- [9] 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*, 2007, 47(2): 144-152.
- [10] 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, 273.
- [11] 马雨洁, 刘 航, 徐元元, 等. 熟制荞麦面条抗氧化品质及体外淀粉消化特性[J]. *食品科学*, 2013, 34(17): 65-69.
- [12] 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): 36-37.
- [13] Goni I, Garcia-Alonso A, Saura-Calixto F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index[J]. *Nutrition Research*, 1997, 17(3): 427-437.
- [14] 蔡攀福. 低升糖指数高纤面条的研发[D]. 广州: 华南理工大学, 2017.
- [15] 肖新华. 糖尿病早知早治 200 问[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2023: 36-40.
- [16] 邵佩兰, 徐 明. 麦麸膳食纤维面条烹煮品质特性的研究[J]. *农业科学研究*, 2007, 28(2): 27-29.
- [17] Guillon F. Structural and physical properties of dietary fiber, and consequence of processing on human physiology[J]. *Food Research International*, 2000, 33(3-4): 233-245.
- [18] 陈姿含, 管 骁. 大豆膳食纤维对面团流变学特性及面制品品质影响的研究进展[J]. *大豆科学*, 2011, 30(5): 869-873.
- [19] 王 超, 王岸娜, 吴立根, 等. 膳食纤维在面制品中应用研究进展[J]. *粮食油脂*, 2012, 25(10): 49-51.
- [20] Park C S, Baik B K. Cooking time of white salted noodles and its relationship with protein and amylase contents of wheat[J]. *Cereal Chemistry*, 2004, 81(2): 165-171.
- [21] Schwartz S E, Levine R A, Singh A, et al. Sustained pectin ingestion delays gastric emptying[J]. *Gastroenterology*, 1982, 83(4): 812.
- [22] Lopes T J, Bender D A, Davidson M H, et al. Fiber: Forms and functions[J]. *Nutrition Research*, 1998, 18(4): 617-624.
- [23] Glore S R, Van Treeck D, Knehans A W, et al. Soluble fiber and serum lipids: A literature review[J]. *Journal of the American Dietetic Association*, 1994, 94(4): 425-436.
- [24] Kristensen M, Savorani F, Christensen S, et al. Flaxseed dietary fibers suppress postprandial lipemia and appetite sensation in young men[J]. *Nutrition Metabolism & Cardiovascular Diseases NMCD*, 2013, 23(2): 136-143.

(责任编辑: 范杰英)