

真空挤压对杂粮面条品质与功能的影响

Effect of vacuum extrusion on the quality and function of coarse cereal noodles

闫美姣^{1,2,3}李云龙^{1,2}李红梅^{1,2}YAN Mei-jiao^{1,2,3}LI Yun-long^{1,2}LI Hong-mei^{1,2}仪鑫^{1,2}孙元琳⁴赵琳^{1,2}YI Xin^{1,2}SUN Yuan-lin⁴ZHAO Lin^{1,2}

(1. 山西省农业科学院农产品加工研究所, 山西 太原 030031; 2. 特色农产品加工山西省重点实验室,

山西 太原 030031; 3. 山西大学生命科学学院, 山西 太原 030006;

4. 运城学院生命科学系, 山西 运城 044000)

(1. Institute of Agro-Products Processing Science and Technology, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan, Shanxi 030031, China; 2. Shanxi Key Laboratory of Characteristic Agro-Products Processing, Taiyuan, Shanxi 030031, China; 3. College of Life Sciences, Shanxi University, Taiyuan, Shanxi 030006, China; 4. College of Life Science, Yuncheng University, Yuncheng, Shanxi 044000, China)

摘要:为探究真空挤压对杂粮面条品质的影响,将制作得到的真空挤压杂粮面条、常压挤压杂粮面条及小麦粉面条进行营养成分、品质分析和功能特性评价。结果表明,真空挤压对杂粮面条的营养成分和功能特性的影响不显著($P>0.05$);与常压挤压杂粮面条相比,真空挤压杂粮面条具有良好的质构特性,面条表面光滑,不粘牙,大众接受度较高。杂粮面条的总酚、总黄酮以及芦丁和鞣皮素的含量均明显高于小麦粉面条($P<0.05$),且抗氧化特性优于小麦粉面条,淀粉消化率低于小麦粉面条,更适合糖代谢异常人群食用。

关键词:杂粮面条;真空挤压;品质分析;功能特性

Abstract: In order to explore the effect of vacuum extrusion on the noodles, the nutritional components, quality analysis and functional evaluation of the vacuum extruded coarse cereal noodles, common extruded coarse cereal noodles and wheat flour noodles were carried out. The results showed that the effect of vacuum extrusion on the nutritional composition and functional

characteristics of noodles was not significant ($P>0.05$); Compared with normal-pressure extruded multi-grain noodles, the vacuum-extruded ones had good texture characteristics with a smooth surface, showing teeth non-sticky. The content of total phenols, total flavonoids, rutin and quercetin in the multigrain noodles was significantly higher than that of wheat flour noodles ($P<0.05$), and the antioxidant properties were superior. The starch digestibility of coarse cereal noodles was lower than that of the noodles with wheat flour, which was more suitable for people with abnormal sugar metabolism.

Keywords: coarse cereal noodles; vacuum-extruded technology; quality analysis; functional characteristics

基金项目:国家现代农业(燕麦荞麦)产业体系建设专项(编号: CARS-07-E-2); 山西省重点研发计划项目(编号: 201703D211001-06-02, 201803D221013-2); 山西省农业科学院院市(县)共建"研发专项科研项目(编号: YCX2018D2YX11)

作者简介:闫美姣,女,硕士。

通信作者:李云龙(1979—),男,山西省农业科学院农产品加工研究所副研究员,硕士。E-mail: liyunlong125@126.com

收稿日期:2020-01-27

真空挤压是一种新型制面方式,能够在真空负压状态下对面粉和水进行混合搅拌,促进水分的迁移,使水分和面粉颗粒快速结合,改善面团的延展性和弹性,使面条具有紧密、均匀的结构,提高面条质量^[1-2]。研究^[3]表明,真空和面可以改善面条光泽;刘锐等^[4]研究真空技术对面条质量的影响,同样表明生鲜面的色泽和弹性主要受真空度的影响;此外对面团理性特征研究的比较深入,真空和面可促进水分与面筋蛋白相互作用,降低水分子的流动性,利于面团结构形成^[5];适宜的真空度和面会使面团中的谷蛋白大聚合物更多的游离巯基参与二硫键交联,提高面团蛋白质聚合度^[6];蛋白质水合后二级结构会发生变化, β -折叠和 α -螺旋减少, β -转角和无规则卷曲

增多^[7]。

目前,有关小麦粉真空和面的面团以及面条的研究较多,对真空技术在无麸质杂粮中应用及深入研究较少。杨健等^[8]通过对真空工艺研究,制备出复水性较好的青稞杂粮方便面;孙伊琳^[9]通过研究真空工艺对七成燕麦全粉面质地的影响,将真空和面技术应用于高添加燕麦挂面工艺中;单珊^[10]研究发现,真空环境可以使淀粉颗粒更好的包裹在面筋蛋白中,改善面筋网络结构,提高紫薯面条的感官品质。研究拟在前期高含量杂粮面条工艺制作的基础上,对真空挤压杂粮面条、常压挤压杂粮面条以及小麦粉面条的基本成分进行测定,并进行感官评价、蒸煮品质分析、质构分析以及淀粉消化率和抗氧化试验,分析 3 种面条的品质和功能特性,研究真空挤压杂粮面条与常压挤压杂粮面条和小麦粉面条品质和功能特性上的差别,为后续杂粮面条的研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

苦荞(晋荞麦 5 号)、燕麦(白燕 2 号)、青稞(藏青 2000):山西省农业科学院农产品加工研究所;

富强高筋小麦粉:五得利面粉集团;

面条改良剂:安琪酵母股份有限公司;

芦丁、槲皮素:纯度 92.5%,中国药品生物制品检定所;

DPPH、TPTZ:分析纯,美国 Sigma 公司;

α -胰淀粉酶:13 U/mg,美国 Sigma 公司;

胃蛋白酶:400 U/mg,美国 Sigma 公司;

没食子酸:分析纯,天津科密欧化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

五谷杂粮磨粉机:HK-860 型,广州市旭朗机械设备有限公司;

混料机:定制,扬州双鹰精密机械有限公司;

真空挤压面条试验机:TFSY-9.41 型,扬州双鹰精密机械有限公司;

质构仪:TA-XT2i SMS 型,英国 Stable Micro Systems 公司;

液相色谱仪:1100 型,安捷伦科技有限公司;

紫外分光光度计:A380 型,翱艺仪器(上海)有限公司;

数显恒温振荡器:SHA-CA 型,常州朗越制造有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 面条样品制备

(1) 真空挤压杂粮面条:小麦:燕麦:青稞:苦荞比例为 2.00:3.75:1.25:3.00,加入 0.5% 面条改良剂,加

水量 45%、水温 58℃,醒发 10.5 min 后真空挤压制作。

(2) 常压挤压杂粮面条:小麦:燕麦:青稞:苦荞比例为 2.00:3.75:1.25:3.00,加入 0.5% 面条改良剂,加水量 45%、水温 58℃,醒发 10.5 min 后常压挤压制作。

(3) 小麦粉面条:参考 GB/T 35875—2018,加入 0.5% 面条改良剂,加水量 31%、水温 30℃,醒发 10.5 min 后常压挤压制作。

将制作好的面条干燥后粉碎,过 40 目筛,于-4℃密封保存。

1.3.2 基本营养成分测定

(1) 水分:按 GB 5009.3—2016 执行。

(2) 总灰分:按 GB 5009.4—2016 执行。

(3) 蛋白质:按 GB 5009.5—2016 执行。

(4) 脂肪:按 GB 5009.6—2016 执行。

(5) 淀粉:按 GB 5009.9—2016 执行。

(6) 总膳食纤维:按 GB 5009.88—2014 执行。

(7) 破损淀粉:按 GB/T 9826.88—2008 执行。

(8) 直链淀粉:按 GB/T 15683—2008 执行。

1.3.3 总黄酮含量测定 称取 0.5 g 面条粉末,加入 50 mL 70% 甲醇,在 70℃ 下水浴提取 3 h。过滤,取滤液 1 mL,加入 0.1 mol/L 三氯化铝溶液 2 mL 和 1.0 mol/L 醋酸钾溶液 3 mL,定容后摇匀,静置 30 min,在 420 nm 处测吸光度,分别吸取 0.0,0.5,1.0,2.0,3.0,4.0 mL 浓度为 0.05 mg/mL 的芦丁标准溶液(70% 甲醇为溶剂)置于 10 mL 具塞试管中,按上述方法测定吸光度,绘制标准曲线^[11],经试验测得标准曲线为 $Y = 0.1628X + 0.0002$, $R^2 = 0.9997$ 。按式(1)计算总黄酮含量。

$$F = \frac{m \times 50}{V \times M}, \quad (1)$$

式中:

F ——总黄酮或总酚含量,mg/g;

m ——测试样品中芦丁或没食子酸的质量,mg;

V ——测定液体积,mL;

50——样液总体积,mL;

M ——样品质量,g。

1.3.4 总酚含量测定 取 1.3.2 中样品滤液 0.5 mL 于 25 mL 具塞试管中,加 70% 甲醇 3 mL,十二烷基硫酸钠溶液(0.3%)2 mL、混合溶液(0.6% 三氯化铁和 0.9% 的铁氰化钾以 1:0.9 比例混合)1 mL,摇匀,避光放置 5 min,用 0.1 mol/L 盐酸定容,避光放置 30 min,在 720 nm 下测定吸光值,将 0.05 mg/mL 没食子酸标准溶液(70% 甲醇为溶剂)稀释为不同浓度的没食子酸工作液(0.002~0.016 mg/mL),分别吸取 2 mL 不同浓度的没食子酸工作液,按上述方法测定吸光度,绘制标准曲线^[12-13],经试验测得标准曲线为 $Y = 9.0863X - 0.0057$, $R^2 = 0.9996$ 。按式(1)计算总酚含量。

1.3.5 芦丁槲皮素含量测定 采用高效液相色谱法，0.05 mg/mL 芦丁标准液和 0.05 mg/mL 槲皮素标准液经 0.45 μm 滤膜过滤后，分别进样 0.5, 1.0, 3.0, 5.0, 10.0 μL 和 1, 5, 10, 15, 20, 30 μL ，以进样体积和峰面积作图，得到芦丁和槲皮素的标准曲线，芦丁标准曲线为 $Y=71.72X-7.1064$, $R^2=0.9999$ ，槲皮素标准曲线为 $Y=106.74X-26.703$, $R^2=0.9999$ 。

称取 1.0 g 面条粉末样品，用 70% 甲醇 70 $^{\circ}\text{C}$ 浸提 3 h 后取上清液，定容至 50 mL 容量瓶中，0.45 μm 滤膜过滤后，进样 20 μL 。色谱柱 C_{18} ，柱温 30 $^{\circ}\text{C}$ ，波长 360 nm，流动相如表 1 所示^[14]。

表 1 高效液相色谱流动相
Table 1 Mobile phase of high performance liquid chromatography

时间/ min	水/ %	乙腈/ %	2%乙 酸/%	流速/ ($\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$)
0.0	56	24	20	1.0
6.0	56	24	20	1.0
7.0	20	60	20	1.0
13.0	20	60	20	1.0
13.5	0	100	0	1.5
17.0	0	100	0	1.5

1.3.6 蒸煮品质测定

(1) 最佳煮制时间：取 20 根面条，于 250 mL 沸水中煮制，3 min 时取出一根，玻璃片挤压观察硬心是否存在，如果存在，则每隔 30 s 检测一次，直至无硬心，此时时间为最佳煮制时间^[15]。

(2) 最佳煮制时间：另取 10 根面条，将面条煮至最佳煮制时间后马上捞出，用蒸馏水冲洗面条表面，与面汤一并在电炉上蒸去大部分水分后，置于铝盒中烘至恒重。按式(2)计算蒸煮损失率。

$$CLR = \frac{W}{M \times (1 - c)} \times 100\%, \quad (2)$$

式中：

CLR——蒸煮损失率，%；

W——培养皿增重，g；

M——面条重量，g；

C——面条中的水分含量。

面条水分含量测定方法按湿面条自然干燥散失的水分和干面条粉碎后按直接干燥法测定出的水分之和计算。

(3) 吸水率：另取 10 根面条，称重后，于沸水中煮至最佳蒸煮时间，立即将面条捞出，沥干水分，称量^[15]。按式(3)计算吸水率。

$$WA = \frac{M - m}{m} \times 100\%, \quad (3)$$

式中：

WA——吸水率，%；

M——煮后的面条重量，g；

m——煮前面条的重量，g。

1.3.7 感官评价 采用模糊数学法^[16]对面条进行感官评价，因素集 $U = \{\text{色泽 } U_1, \text{表现状态 } U_2, \text{适口性 } U_3, \text{韧性 } U_4, \text{爽口性 } U_5, \text{润滑度 } U_6, \text{品味 } U_7\}$ ；评语集 $V = \{\text{好}, \text{中}, \text{差}\}$ ，其中好为 90 分、中为 70 分、差为 50 分；

参考标准 SB/T 10137—1993 确定各因素权重为：色泽(0.10)、表现状态(0.10)、适口性(0.20)、韧性(0.25)、爽口性(0.25)、润滑度(0.05)、品味(0.05)，即 $X = \{0.10, 0.10, 0.20, 0.25, 0.25, 0.05, 0.05\}$ 。

由 10 名感官评定员按色泽、表现状态、适口性、韧性、爽口性、润滑度、品味对 3 种面条进行逐一评价，数据除以品评总人数，即得到 3 个模糊矩阵 **R**。模糊关系综合评判集 $Y = X \cdot R$ ，其中 X 为权重集，**R** 为模糊矩阵。

1.3.8 质构测定 将煮熟的面条沥干水分，取 5 根平行放于载物台上，间距近似，试验 5 次。参数设定：

(1) TPA 测试：选用 SMSP/36R 探头，测前速度 2 mm/s、测定速度 1 mm/s、测后速度 1 mm/s；表面上高度 10 mm；起始力 5.0 g；形变量 75%。

(2) 硬度测试：选用 A/LKB-F 探头，测前速度 1 mm/s、测定速度 1 mm/s、测后速度 1 mm/s、表面上高度 5 mm；起始力 5.0 g；形变量 75%。

1.3.9 DPPH 自由基消除能力测定 用无水乙醇配置浓度为 2×10^{-4} mol/L 的 DPPH 溶液。称取 1.0 g 样品用 50 mL 70% 甲醇 70 $^{\circ}\text{C}$ 浸提 3 h 后，离心，取上清液。取 2 mL DPPH 溶液，加 2 mL 不同浓度的样品提取液(1~5 mg/mL)，在 515 nm 处测吸光度 D_1 ，2 mL 样品提取液，加 2 mL 70% 甲醇，吸光度为 D_2 ，2 mL DPPH 溶液，加 2 mL 70% 甲醇，吸光度为 D_3 ，按式(4)计算 DPPH 自由基的清除率^[17]。

$$K = \left(1 - \frac{D_1 - D_2}{D_3}\right) \times 100\%, \quad (4)$$

式中：

K——DPPH 自由基的清除率，%；

D_1 ——样液在 515 nm 处的吸光度；

D_2 ——样液与 70% 甲醇的混合液在 515 nm 处的吸光度；

D_3 ——加入 DPPH 溶液后样液与 60% 甲醇的混合液在 515 nm 处的吸光度。

1.3.10 总抗氧化能力测定 采用 FRAP 法，将 0.2 mL 样品提取液置于 10 mL 具塞试管中，加入 0.6 mL 水和 6 mL 预热至 37 $^{\circ}\text{C}$ 的 FRAP 工作液(10 mmol/L TPTZ 溶液、20 mmol/L 三氯化铁溶液、0.3 mmol/L 醋酸钠缓

冲溶液 1 : 1 : 10 比例混合), 摇匀后放置 4 min, 于 593 nm 处测吸光值, 另以 0.1~1.0 mmol/L FeSO₄ 的标准溶液作标准曲线, 样品的总抗氧化能力以 FeSO₄ (mmol/g) 表示^[18]。

1.3.11 淀粉消化率测定 称取含有 50 mg 碳水化合物的样品粉末于具塞锥形瓶中(碳水化合物含量以样品重量减去水分、灰分、蛋白质、脂肪和膳食纤维含量计算), 加 5 mL 蒸馏水于沸水中糊化 5 min, 冷却后, 加入 10 mL HCl—KCl 缓冲液 (pH 1.5) 及 0.2 mL 胃蛋白酶液 (0.1 g/mL), 在 40 ℃ 下振荡 60 min, 取出冷却, 加 9.8 mL 0.5 mol/L 乙酸钠 (pH 6.9), 加入 5 mL α-淀粉酶液 (2.6 U) 启动反应, 在 37 ℃ 下匀速振荡, 在 0, 20, 30, 60, 90, 120, 180 min 各取 1 mL 消化样液, 沸水浴中灭酶 5 min, 以葡萄糖为标准品, 按 DNS 法测定葡萄糖含量^[19], 各时间点测得消化液中的葡萄糖含量记为 *S_x*, 总淀粉含量 (按 GB 5009.9—2016 执行) 为 *T_S*, 按式 (5) 计

算淀粉消化率。

$$SD = \frac{S_x \times 0.9}{TS} \times 100\%, \tag{5}$$

式中:

SD——淀粉消化率, %;

S_x——各时间点消化液中的葡萄糖当量, mg;

T_S——测试样品中总淀粉含量, mg。

2 结果与分析

2.1 营养成分分析

由表 2 可知, 小麦粉面条的蛋白质和淀粉含量高于杂粮面条, 但膳食纤维以及总酚、总黄酮等功能性成分显著低于杂粮面条含量 (*P* < 0.05), 且小麦粉面条中不含有芦丁和槲皮素。真空挤压制作的杂粮面条与常压下制作的杂粮面条的营养成分和功能性成分含量间差异并不显著 (*P* > 0.05), 说明真空挤压对杂粮面条的营养价值无不良影响。

表 2 3 种面条的基本成分 (干基重)[†]

Table 2 Basic ingredients of three kinds of noodles (dry basis weight)

样品	灰分/%	蛋白质/%	脂肪/%	淀粉/%	膳食纤维/%
小麦粉面条	0.70±0.02 ^b	14.38±0.08 ^a	0.44±0.04 ^b	73.78±0.78 ^a	4.00±0.33 ^b
真空挤压杂粮面条	1.56±0.00 ^a	13.31±0.05 ^b	3.20±0.03 ^a	69.96±0.52 ^b	9.62±0.34 ^a
常压挤压杂粮面条	1.56±0.01 ^a	13.57±0.06 ^b	3.21±0.04 ^a	69.47±0.40 ^b	9.64±0.37 ^a

样品	总酚/(mg·g ⁻¹)	总黄酮/(mg·g ⁻¹)	芦丁/(mg·g ⁻¹)	槲皮/(mg·g ⁻¹)
小麦粉面条	2.47±0.14 ^b	0.64±0.04 ^b	—	—
真空挤压杂粮面条	5.91±0.09 ^a	5.67±0.06 ^a	0.087±0.002 ^a	0.008±0.002 ^a
常压挤压杂粮面条	5.98±0.08 ^a	5.82±0.05 ^a	0.094±0.008 ^a	0.008±0.001 ^a

† 同列字母不同表示差异显著 (*P* < 0.05)。

研究表明, 苦荞中含有丰富的黄酮类物质^[20], 其主要成分是芦丁^[21], 燕麦、青稞中含有较高含量的膳食纤维, 主要为葡聚糖^[22-23]。因而试验采用苦荞、燕麦、青稞以及小麦粉为原料制备的杂粮面条, 其酚类、黄酮类物质及膳食纤维含量比小麦粉面条高。

2.2 杂粮面条品质分析

2.2.1 蒸煮品质测定 3 种面条的蒸煮品质见表 3, 真空挤压杂粮面条与常压挤压杂粮面条的最佳煮制时间、吸水率之间并无显著差异 (*P* > 0.05), 且均低于小麦粉面条。

表 3 3 种面条的蒸煮品质[†]

Table 3 Cooking quality of three kinds of noodles

样品	最佳煮制时间/min	吸水率/%	蒸煮损失率/%
小麦粉面条	9.00±0.21 ^a	89.92±3.11 ^a	6.71±0.23 ^c
真空挤压杂粮面条	6.50±0.33 ^b	62.54±3.74 ^b	8.15±0.11 ^b
常压挤压杂粮面条	6.00±0.27 ^b	65.10±1.53 ^b	9.61±0.09 ^a

† 同列字母不同表示差异显著 (*P* < 0.05)。

但两种面条的蒸煮损失率差异明显 (*P* < 0.05), 真空挤压杂粮面条的蒸煮损失率小于常压挤压制作的杂粮面条, 这是因为真空状态下挤压的面条外表较光滑, 结构更加紧实, 煮制时损失的固形物较少。由于小麦粉面条中含有大量面筋蛋白, 在制面过程中能够与淀粉有效结合, 强化面条结构, 降低蒸煮损失, 故小麦粉面条的蒸煮损失率明显低于杂粮面条, 仅为 6.71%。

2.2.2 面条的感官评价 由表 4 计算得出 3 种面条的综合评分为: 小麦粉面条 88.20 分、真空挤压杂粮面条 85.05 分、常压挤压杂粮面条 81.20 分。小麦粉面条的各项指标均最佳, 大众接受度高, 综合评分最高; 真空挤压杂粮面条色彩饱满、表面光滑、结构较紧实且入口润滑, 不粘牙, 但由于含有杂粮, 口感稍有粗糙, 品味不如小麦粉面条; 常压挤压制作的杂粮面条口感顺滑, 但颜色发白, 面条发软、比较粘牙, 感官评分最低。

2.2.3 面条的质构评价 如表 5 所示, 真空挤压杂粮面条与小麦粉面条相比, 回复性和胶着度无明显差异 (*P* > 0.05), 硬度小于小麦粉面条, 说明真空挤压杂粮面条对咬

表 4 3 种面条的感官评价结果

Table 4 Sensory evaluation results of three kinds of noodles

样品	等级	色泽	表现状态	适口性	韧性	爽口性	润滑度	品味
真空挤压杂粮面条	好	9	8	7	7	8	8	7
	中	1	2	2	3	2	1	2
	差	0	0	1	0	0	1	1
常压挤压杂粮面条	好	8	7	6	6	7	7	7
	中	2	3	2	3	2	2	1
	差	0	0	2	1	1	1	2
小麦粉面条	好	10	10	9	9	9	8	8
	中	0	0	1	1	1	2	2
	差	0	0	0	0	0	0	0

表 5 3 种面条的质构分析[†]

Table 5 Texture analysis of three kinds of noodles

样品	硬度/g	弹性/g	回复性/g	胶着度	咀嚼度	黏附性/(g·s)
小麦粉面条	399.42±7.30 ^a	84.20±0.28 ^b	36.17±0.02 ^a	8 831.39±27.25 ^a	7 435.28±118.96 ^c	-235.85±7.69 ^a
真空挤压杂粮面条	269.66±8.91 ^b	89.68±3.19 ^a	35.93±0.53 ^a	8 747.01±49.42 ^a	8 134.98±135.18 ^a	-189.23±15.47 ^b
常压挤压杂粮面条	248.12±5.97 ^c	83.89±2.43 ^b	32.38±0.90 ^b	7 210.98±65.96 ^b	7 939.45±200.47 ^b	-248.30±13.91 ^a

[†] 同列字母不同表示差异显著(P<0.05)。

力的抵抗能力低于小麦粉面条,但压缩变形后的恢复能力较强,有着较好的弹性和咀嚼度。真空挤压杂粮面条与常压挤压杂粮面条的质构差异显著(P<0.05),真空挤压制作的面条各项质构指标均好于常压挤压杂粮面条,说明真空条件能够改善杂粮面条的内部结构,使面条更加紧实,富有弹性和嚼劲,真空挤压面条的黏附性绝对值显著低于常压挤压杂粮面条(P<0.05),说明真空挤压能够使面条表面光滑,降低面条对舌头和牙齿的黏附性,提高面条的感官质量。

有学者^[24-25]认为真空和面可以使水分与面粉充分融合,促进蛋白质与水分相互作用,使面筋网络在和面和挤压中充分形成。Li 等^[1,25]及骆丽君等^[26]研究表明,真空可以使面团具有更紧密连续的网络结构,降低蒸煮损失率,提高煮制后面条的硬度。这与试验中真空挤压杂粮面条的硬度显著高于常压挤压杂粮面条硬度,蒸煮损失率低于常压挤压面条的结果一致,也验证了学者们的研究。因此真空挤压可应用于杂粮面条加工,以改善其品质特性。

2.3 杂粮面条功能特性评价

2.3.1 抗氧化水平测定 如图 1 所示,3 种面条对 DPPH 自由基的清除能力均随提取液浓度的增加而增加,达到一定浓度后呈现平缓状态,杂粮面条的清除能力明显高于小麦粉面条,与面条中总酚和总黄酮含量有关。在样品浓度为 1~4 mg/mL 时,真空挤压杂粮面条的 DPPH

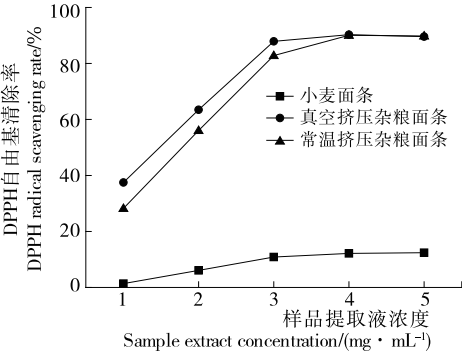


图 1 3 种面条的 DPPH 自由基清除率

Figure 1 DPPH radical scavenging rate of three kinds of noodles

自由基清除率高于常压挤压杂粮面条,但>4 mg/mL 时,二者对 DPPH 自由基的清除能力相近,这是因为两种杂粮面条的原料相同,所包含的活性成分含量相近的原因,也进一步说明真空挤压操作对杂粮面条的 DPPH 自由基清除能力无明显影响。

总抗氧化试验中 FeSO₄ 标准曲线为 $y = 0.707\ 5x + 0.024\ 7$, $R^2 = 0.997\ 0$,可计算得出 3 种面条的总抗氧化能力。如图 2 所示,杂粮面条的总抗氧化能力明显强于小麦粉面条,且真空挤压与否对杂粮面条的总抗氧化能力无显著影响。

杂粮面条的抗氧化能力高于小麦粉面条,与薛朕钰

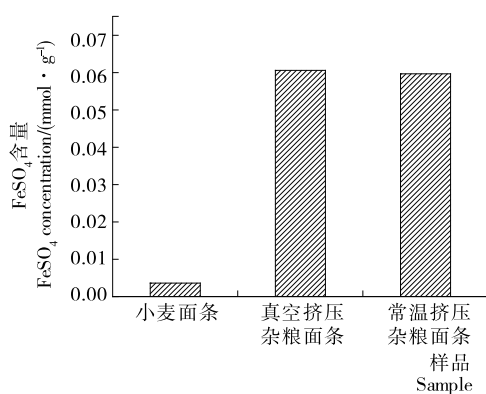


图 2 3 种面条的总抗氧化能力

Figure 2 Total antioxidant capacity of three kinds of noodles

等^[27]的研究结果一致,添加苦荞黄酮提取物可以提高裸燕麦产品的抗氧化能力。

2.3.2 淀粉消化率测定 淀粉消化率试验中,葡萄糖标准曲线方程为 $y = 0.6859x - 0.0088$, $R^2 = 0.9995$ 。由图 3 可以看出,3 种面条的淀粉消化率在前 20 min 均增长较快,这是因为前 20 min 内被消化的淀粉为快速消化淀粉,快速消化淀粉能被人体消化系统快速消化,升高血糖。在 20~120 min 时,杂粮面条的淀粉消化率开始缓慢增加,说明杂粮面条此时消化缓慢,逐渐释放出葡萄糖,缓慢升高人体血糖,而小麦粉面条的淀粉消化率增加较快,在 60 min 时超过杂粮面条,说明小麦粉面条与杂粮面条相比,消化速率较快,能快速升高人体血糖。120 min 之后 3 种面条淀粉消化率曲线逐渐趋于平稳,这是因为消化后期主要为不能被消化的抗性淀粉,使淀粉消化率曲线变化不明显,从消化终点来看,杂粮面条的淀粉消化率明显低于小麦粉面条。

Peng 等^[28]发现槲皮素和芦丁具有较高的抗氧化活性,及抑制 α -葡萄糖苷酶和 α -淀粉酶活性,从而影响淀粉的消化;且何财安等^[29]研究发现苦荞多酚的存在可提高淀粉中抗性淀粉含量,促进淀粉颗粒的交联和聚合。试

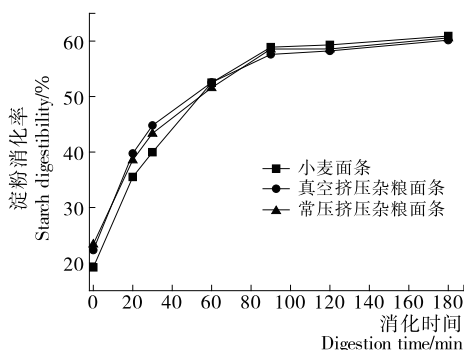


图 3 3 种面条的总淀粉消化率

Figure 3 Total starch digestibility of three kinds of noodles

验中真空挤压杂粮面条芦丁含量达 8.7 mg/100 g,常压挤压杂粮面条芦丁含量为 9.4 mg/100 g,且均含有少量槲皮素,而在小麦粉面条中未检测到芦丁、槲皮素,且黄酮类物质含量也显著低于杂粮面条,且杂粮中含有较多的慢速消化淀粉及抗性淀粉,因而试验中杂粮面条的淀粉消化率低于小麦粉面条。说明食用杂粮面条能够控制餐后人体血糖快速升高,降低高血糖风险。

3 结论

通过对真空挤压杂粮面条、常压挤压杂粮面条以及小麦粉面条进行品质分析和功能特性评价进行了分析,真空挤压对杂粮面条的营养成分与功能特性影响较小,可以提高杂粮面条的硬度、弹性,改善面条的回复性、胶着度和咀嚼度,优化面条的结构形态,并且能够降低杂粮面条的黏附性,提高感官评分。此外,真空挤压技术对杂粮面条内部结构的影响等机理还需进一步研究。

参考文献

- [1] LI Man, LUO Li-jun, ZHU Ke-xue, et al. Effect of vacuum mixing on the quality characteristics of fresh noodles [J]. Journal of Food Engineering, 2012, 110(4): 525-531.
- [2] RATHOD R P, ANNAPURE U S. Physicochemical properties, protein and starch digestibility of lentil based noodle prepared by using extrusion processing [J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 80: 121-130.
- [3] SOLAH V A, CROSBIE G B, HUANG S, et al. Measurement of color, gloss, and translucency of white salted noodles: Effects of water addition and vacuum mixing [J]. Cereal Chemistry, 2007, 84(2): 145-151.
- [4] 刘锐,任晓龙,邢亚楠,等.真空和面工艺对面条质量的影响及参数优化 [J].中国粮油学报,2015,30(9):6-11.
- [5] 刘锐,武亮,张影全,等.基于低场核磁和差示量热扫描的面条面团水分状态研究 [J].农业工程学报,2015,31(9):288-294.
- [6] 刘锐,唐娜,武亮,等.真空和面对面条面团谷蛋白大聚合体含量及粒度分布的影响 [J].农业工程学报,2015,31(10):289-295.
- [7] 刘锐,张影全,武亮,等.真空和面过程中面团蛋白质结构的变化 [J].中国食品学报,2019,19(5):139-147.
- [8] 杨健,张星灿,刘建,等.真空和面对非油炸青稞方便面品质的影响研究 [J].食品与发酵科技,2018,54(5):41-45.
- [9] 孙伊琳.高添加燕麦挂面加工技术研究及其调脂降糖功能评价 [D].镇江:江苏大学,2019:10-23.
- [10] 单珊.紫薯—小麦混合粉的性质及面条品质研究 [D].无锡:江南大学,2012:25-29.
- [11] 李云龙,李红梅,胡俊君,等.响应面法优化苦荞酒糟黄酮提取工艺的研究 [J].中国酿造,2013,32(7):38-42.
- [12] 马强,董玉,那生桑,等.冬葵果中总酚酸含量的测定 [J].时珍国医国药,2010,21(10):2583-2584.
- [13] 张百霞,郭庆梅,王真真,等.响应曲面法优化金银花总酚酸提取工艺 [J].中成药,2013,35(10):2144-2148.
- [14] 胡俊君,仪鑫,李红梅,等.苦荞发芽期不同部位的活性成

- 分含量变化[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(23): 13-17, 87.
- [15] 王乐, 黄峻榕, 张宁, 等. 马铃薯面条制作工艺及品质研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(1): 78-82.
- [16] 孙于庆, 李建新, 闵玉涛, 等. 模糊数学在荞麦方便面配方设计中的应用[J]. 食品科技, 2011, 36(10): 136-138.
- [17] 郑佳欣, 李怡婧, 汪晨阳, 等. 板栗壳鞣质提取及其对DPPH 自由基清除活性的研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(3): 211-215.
- [18] 李云龙, 李红梅, 胡俊君, 等. 抗氧化苦荞酒加工工艺的研究[J]. 酿酒科技, 2014(12): 5-7.
- [19] 马雨洁. 熟制荞麦面条淀粉模拟消化特性及抗氧化品质研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013: 16-21.
- [20] 彭镰心, 赵钢, 王姝, 等. 不同品种苦荞中黄酮含量的测定[J]. 成都大学学报: 自然科学版, 2010, 29(1): 20-21.
- [21] 濮生财, 鲁璐, 焦威, 等. 不同品种苦荞中的4种活性黄酮含量[J]. 应用于环境生物学报, 2015, 21(3): 470-476.
- [22] LUHALOO M, MARTENSSON A C, ANDERSSON R, et al. Composition analysis and viscosity measurements of commercial oat brans[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 1998, 76(1): 142-148.
- [23] 刘新红. 青稞品质特性评价及加工适宜性研究[D]. 西宁: 青海大学, 2014: 15-36.
- [24] FU Bin-xiao. Asian noodles: History, classification, raw materials, and processing[J]. Food Research International, 2008, 41(9): 888-902.
- [25] LI Man, ZHU Ke-xue, PENG Jing, et al. Delineating the protein changes in Asian noodles induced by vacuum mixing[J]. Food Chemistry, 2014, 143(15): 9-16.
- [26] 骆丽君, 李曼, 朱红卫, 等. 真空和面对生鲜面品质特性的影响研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(3): 129-131, 379.
- [27] 薛朕钰, 薛森, 王雪, 等. 添加苦荞黄酮提取物的裸燕麦挤压膨化产品抗氧化剂降血脂功效研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(12): 33-38.
- [28] PENG Lian-xin, WEI Li-juan, YI Qian, et al. In vitro potential of flavonoids from tartary buckwheat on antioxidants activity and starch digestibility[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2019, 54(6): 2 209-2 218.
- [29] 何财安, 张珍, 刘航, 等. 苦荞多酚对苦荞淀粉和小麦淀粉理化性质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(9): 66-71.
-
- (上接第 186 页)
- [11] 丁莎莎, 黄立新, 张彩虹, 等. 高压均质和胶体磨改性对油橄榄果渣水不溶性膳食纤维性能的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(8): 10-13, 18.
- [12] 程明明. 西番莲果皮水不溶性膳食纤维提取、改性及功能特性研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2016: 31-49.
- [13] MORALES-MEDINA R, DONG Dan, SCHALOW S, et al. Impact of microfluidization on the microstructure and functional properties of pea hull fibre[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 103: 105660.
- [14] ROUHOU M C, ABDELMOUMEN S, THOMAS S, et al. Use of green chemistry methods in the extraction of dietary fibers from cactus rackets (*Opuntia ficus indica*): Structural and microstructural studies [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 116: 901-910.
- [15] 杨健, 王立东, 包国风. 超微粉碎对小米麸皮膳食纤维物理特性的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(13): 128-131.
- [16] 张根生, 葛英亮, 聂志强, 等. 马铃薯渣不溶性膳食纤维超微粉碎改性工艺优化[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 186-189.
- [17] 令博. 葡萄皮渣膳食纤维的改性及其生理功能和应用研究[D]. 重庆: 西南大学, 2012: 15-16.
- [18] 金文筠, HUSSAIN Shehzad, 严守雷, 等. 超微粉碎对藕节膳食纤维理化性质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(6): 2 071-2 076.
- [19] 李梁. 杏皮皮渣膳食纤维理化性质分析及应用研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2012: 19.
- [20] 李莉, 张赛, 何强, 等. 响应面法在试验设计与优化中的应用[J]. 实验室研究与探索, 2015, 34(8): 41-45.
- [21] 潘曼. 猕猴桃渣膳食纤维制备工艺及其性质的研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2009: 45-47.
- [22] 杨远通. 猕猴桃渣膳食纤维改性及其应用研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2011: 13-31.
-
- (上接第 139 页)
- oxygen packaging atmosphere influences protein oxidation and tenderness of porcine longissimus dorsi during chill storage[J]. Meat Science, 2007, 77(3): 295-303.
- [22] KIM H J, YONG H I, PARK S, et al. Effects of dielectric barrier discharge plasma on pathogen inactivation and the physicochemical and sensory characteristics of pork loin[J]. Current Applied Physics, 2013, 13(7): 1 420-1 425.
- [23] 马良军, 王佳媚, 黄明明, 等. 不同处理条件对介质阻挡放电低温等离子体杀菌效果及影响机理研究[J]. 微生物学报, 2019, 59(8): 1 512-1 521.
- [24] FERNANDEZ A, NORIEGA E, THOMPSON A. Inactivation of *Salmonella enterica* serovar *Typhimurium* on fresh produce by cold atmospheric gas plasma technology[J]. Food Microbiology, 2013, 33(1): 24-29.
- [25] KIM S J, CHUNG T H, BAE S H, et al. Bacterial inactivation using atmospheric pressure single pin electrode micro-plasma jet with a ground ring[J]. Applied Physics Letters, 2009, 94(14): 496-502.
- [26] LAROUCSI M, LEIPOLD F. Evaluation of the roles of reactive species, heat and UV radiation in the inactivation of bacterial cells by air plasmas at atmospheric pressure[J]. International Journal of Mass Spectrometry, 2004, 233(1/2/3): 81-86.
- [27] NIEMIRA B A, SITES J. Cold plasma inactivates *salmonella stanley* and *escherichia coli* O157:H7 inoculated on golden delicious apples[J]. Journal of Food Protection, 2008, 71(7): 1 357.
- [28] HU Miao, GUO Yun. The effect of air plasma on sterilization of *escherichia coli* in dielectric barrier discharge[J]. Plasma Science and Technology, 2012, 14(8): 735-740.