

## 沙棘果渣添加量对面条品质及消化特性的影响

秦永萍, 曾 鹏, 房丹丹, 陈 麟

**Effect of Sea Buckthorn Pomace Addition on the Quality and Digestive Attributes of Noodles**

QIN Yongping, ZENG Peng, FANG Dandan, and CHEN Lin

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024060322>

## 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

秦永萍, 曾鹏, 房丹丹, 等. 沙棘果渣添加量对面条品质及消化特性的影响 [J]. 食品工业科技, 2025, 46(10): 112–121. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024060322

QIN Yongping, ZENG Peng, FANG Dandan, et al. Effect of Sea Buckthorn Pomace Addition on the Quality and Digestive Attributes of Noodles[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(10): 112–121. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024060322

· 研究与探讨 ·

# 沙棘果渣添加量对面条品质及消化特性的影响

秦永萍<sup>1</sup>, 曾 鹏<sup>1</sup>, 房丹丹<sup>1,2,\*</sup>, 陈 麟<sup>1,2</sup>

(1.新疆理工学院食品科学与工程学院, 新疆阿克苏 843000;

2.新疆黑木耳工程技术研究中心, 新疆阿克苏 843000)

**摘要:** 基于资源有效利用及食品营养与健康发展趋势, 为开发功能性面条提供理论参考, 在小麦粉中添加不同比例 (0%、1%、3%、5%、7%、9%) 的沙棘果渣, 研究其对面条的品质特性、抗氧化活性和消化特性的影响。结果表明, 随着沙棘果渣添加量的增多, 面条的外观颜色逐渐变深, 吸水率、硬度呈逐渐上升的趋势, 在 9% 时最大分别为 115.34% 和 510.20 g; 蒸煮损失率和断条率呈先下降后上升的趋势, 在 5% 时最低为 3.31% 和 3.13%。面条的感官评分先上升后下降, 在 5% 时达最高 90 分; 拉断距离和最大拉断力显著下降 ( $P<0.05$ ), 在 9% 时分别减少了 56.16% 和 21.42%。面条的抗氧化活性随沙棘果渣增加显著上升 ( $P<0.05$ ), 在 9% 时黄酮、多酚含量最高分别为 0.264 mg/g 和 0.086 mg/g, 淀粉消化速率逐渐减慢, 在 3%~9% 之间的面条血糖生成指数明显降低。综合分析不同沙棘果渣添加量对面条蒸煮特性、感官评价、质构特性、抗氧化活性及消化特性的影响, 添加量为 5% 时, 有潜力开发集营养、美味、健康于一体的面条。

**关键词:** 沙棘果渣, 面条, 品质特性, 抗氧化活性, 消化特性

中图分类号: TS213.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2025)10-0112-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2024060322

本文网刊: 

## Effect of Sea Buckthorn Pomace Addition on the Quality and Digestive Attributes of Noodles

QIN Yongping<sup>1</sup>, ZENG Peng<sup>1</sup>, FANG Dandan<sup>1,2,\*</sup>, CHEN Lin<sup>1,2</sup>

(1. College of Food Science and Engineering, Xinjiang Institute of Technology, Aksu 843000, China;

2. Xinjiang Auricula Engineering Technology Research Center, Aksu 843000, China)

**Abstract:** This study provided a theoretical framework for the development of functional noodles based on effective utilization of resources and developmental trends in food nutrition and health. The effects of varying proportions (0%, 1%, 3%, 5%, 7%, and 9%) of sea buckthorn pomace on the quality, antioxidant activity, and digestive attributes of noodles were studied. The results showed that the appearance color of noodles gradually darkened with an increase in sea buckthorn pomace proportion, and the water absorption rate and hardness of the noodles gradually increased to a maximum of 115.34% and 510.20 g at 9% sea buckthorn pomace, respectively. However, the cooking loss and strip breakage rates initially decreased but eventually increased to a minimum of 3.31% and 3.13% at 5% sea buckthorn pomace, respectively. The sensory score of noodles initially increased and subsequently decreased, reaching a maximum of 90 points at 5%. The breaking distance and maximum breaking force decreased significantly ( $P<0.05$ ), by 56.16% and 21.42%, respectively, at 9%. However, the antioxidant activity of noodles significantly increased with an increase in sea buckthorn pomace proportion ( $P<0.05$ ), and the highest levels of flavonoids and polyphenols were 0.264 and 0.086 mg/g, respectively, at 9%.

收稿日期: 2024-06-24

基金项目: 新疆维吾尔自治区教育厅培育类项目 (XJEDU2024P092); 新疆理工学院慕萨莱思品质检测重点实验室 (PT202102)。

作者简介: 秦永萍 (2003-), 女, 本科, 研究方向: 食品营养与检验教育, E-mail: 2328476253@qq.com。

\* 通信作者: 房丹丹 (1987-), 女, 硕士, 副教授, 研究方向: 食品加工与感官评价, E-mail: fdc2015087202112@qq.com。

Conversely, the starch digestion rate gradually slowed, and the glycemic index of the noodles obviously decreased between 3% and 9%. Comprehensive analyses of the effects of different proportions of sea buckthorn pomace on the cooking characteristics, sensory evaluation, texture property, antioxidant activity, and digestive attributes of noodles showed a significant improvement in the nutritional value, delicacy, and healthiness at 5% sea buckthorn pomace.

**Key words:** sea buckthorn pomace; noodles; quality properties; antioxidant activity; digestive attributes

沙棘(*Hippophae rhamnoides* Linn.)是一种兼具药食功能的植物<sup>[1]</sup>, 其种子、籽、果实等均蕴含着丰富的营养与生物活性成分。我国拥有丰富的沙棘资源, 沙棘林总面积达全球的 90% 以上, 稳居世界首位<sup>[2]</sup>。沙棘在去除果肉取汁或种子榨油的过程中, 约有 20% 的果渣作为副产物产生, 包括果皮、残余的果肉以及籽壳等部分<sup>[3-4]</sup>。沙棘果渣中富含膳食纤维、蛋白质、维生素以及黄酮类化合物等多种营养成分<sup>[5]</sup>, 在调节免疫、降低血糖和抗氧化等方面有较大开发利用价值<sup>[6-7]</sup>。然而, 沙棘果渣资源仍未得到充分有效利用, 据相关报道指出, 我国沙棘产业每年所产生的废弃沙棘果渣量高达上百万吨<sup>[8]</sup>, 这种废弃的做法造成了资源的浪费和一定的环境压力。

目前, 国内外关于沙棘果渣的研究主要集中在饲料应用和有效成分的提取及利用上。张巧仙等<sup>[9]</sup>研究了饲料中添加沙棘果渣对种蛋孵化的影响, 结果表明添加 6% 沙棘果渣孵化效果最理想。Wu 等<sup>[10]</sup>使用不同的溶剂结合超声辅助方法提取沙棘果渣中不同的活性成分, 研究了提取物有效成分与抗氧化特性之间的相关性, 得出沙棘果渣提取物是天然酚类和抗氧化剂的宝贵来源。王薇等<sup>[11]</sup>以沙棘果渣多糖和硝酸银为材料, 研究了制备复合纳米颗粒的最佳工艺, 发现该复合纳米颗粒对大肠杆菌和白色葡萄球菌的生长均具有较强抑制作用。关于利用沙棘果渣加工产品也有少量研究, 杨韵凝等<sup>[12]</sup>利用微波处理后的果渣粉开发出风味优良的沙棘果渣咀嚼片, Furulyas 等<sup>[13]</sup>利用沙棘果渣作为功能性苹果汁成分, 研究发现增加了苹果汁样品中有价值成分的含量并能够抑制储存过程中微生物的生长。

面条是我国的传统主食, 以小麦粉为原料制成的面制品, 因其制作简便、营养较丰富的特性而深受大众喜爱<sup>[14]</sup>。但由于小麦精加工的发展, 纯小麦面条存在血糖生成指数高、膳食纤维和矿物质含量低等不足<sup>[15]</sup>。随着人们健康饮食观念的加深, 富含多种营养物质和功能活性成分的面条日益成为人们的关注焦点<sup>[16]</sup>, 纯小麦面条逐渐难以满足国民的多元化需求。近年来, 研究者在小麦粉中添加刺梨果渣<sup>[17]</sup>、油橄榄果渣<sup>[18]</sup>来制作面条, 以改善面条的营养价值和为消费者提供更多元化、更健康的面条选择。有关沙棘果渣面条的研究鲜有报道, 基于此, 本研究拟将沙棘果渣加入小麦粉中, 探究不同添加量的沙棘果渣对面条蒸煮特性、色泽、感官评价、抗氧化活性、消化特性等指标的影响, 以期能够为开发集营养、美味、健康于一体的面条提供新思路, 为沙棘副产物在

面制品中的高附加值应用提供重要理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

沙棘果渣(干品) 新疆达尔生物科技有限公司; 小麦粉 阿克苏华星面粉有限公司; 食盐、白面包市售; 福林酚、芦丁标准品、糖化酶(活性≥10 万 U/g)、猪胰腺  $\alpha$ -淀粉酶(活性 9 U/mg) 上海源叶生物科技有限公司; 无水乙醇 国药集团化学试剂有限公司; 过硫酸钾、无水碳酸钠 天津市光复百世化工有限公司; 没食子酸 天津市光复精细化工研究所; 水杨酸 天津市永大化学试剂有限公司; DPPH、ABTS 山东西亚化学股份有限公司; 硝酸铝、乙酸钠、氢氧化钠、结晶乙酸钠 天津市鑫铂特化工有限公司, 以上试剂均为分析纯。

KY156-3 压面机 永康市凯元工贸有限公司; JZ-350 色彩色差计 深圳市金准仪器设备有限公司; UV759 紫外可见分光光度计 上海佑科仪器仪表有限公司; ENS-TDV 质构仪、C-PEN3 电子鼻

北京怡诺威腾科技发展有限公司; FD-1A-50 冷冻干燥机 江苏天翔仪器有限公司; TG16-WS 高速离心机 常州市金坛友联仪器研究所; SB-3200DTD 超声波清洗机 宁波新芝生物科技股份有限公司; SHA-C 水浴恒温振荡器、HWS-24 恒温水浴锅 上海精密仪器仪表有限公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 沙棘果渣面条制作工艺流程 原料预处理→称量→和面→熟化→压延→切条→定长切断→成品。

1.2.2 操作要点 沙棘果渣倒入盆中, 料水比为 12:1, 搅拌 10 min, 浸泡 30 min, 取上层果渣捏干后放入托盘, 挑选、除去非果渣成分, 继续放水浸泡 30 min, 反复清洗 4 次。把清洗完毕的果渣放入托盘上平铺均匀, 50 °C 烘干至恒重后取出, 冷却至室温, 粉碎, 过 60 目筛, 装袋备用<sup>[19]</sup>。

按小麦粉质量(100 g)的 0%、1%、3%、5%、7%、9% 称取沙棘果渣、1.5% 的食用盐, 加水量为沙棘果渣和小麦粉总量的 40%(食盐溶于水中), 搅拌至其呈絮状后捏成面团。38 °C 熟化 30 min 后将面团合片在压面机上反复压延, 使其厚度逐渐从 5 mm 压延至 2 mm, 最后用切刀切成 2 mm 的方状面条, 定长切断后即为成品。

### 1.2.3 面条蒸煮特性的测定

1.2.3.1 面条最佳蒸煮时间的确定 参照王金晶

等<sup>[20]</sup>的方法，并略有改动。取 15 根 10 cm 长的面条，放入沸水锅中，5 min 后开始计时，每隔 15 s 捞出 1 根面条，用小刀切开面条截面观察是否有白芯，当面条中间白芯恰好完全消失时，即为面条的最佳蒸煮时间。

**1.2.3.2 面条吸水率的测定** 参照蔡茜茜等<sup>[21]</sup>测定的方法，并略有改动。锅中水煮沸后，加入 15 根 20 cm 长的面条，记录其煮前初始质量为  $m_0$ 。煮至面条中心无白芯，迅速捞出面条，流水冲洗 30 s。面条沥干后记录其煮后质量为  $m_1$ ，具体公式为：

$$A(\%) = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100 \quad \text{式 (1)}$$

式中：A—吸水率(%)； $m_0$ —煮前面条的质量(g)； $m_1$ —煮后面条的质量(g)。

**1.2.3.3 面条蒸煮损失率的测定** 参考崔彦利等<sup>[22]</sup>的方法，取一定质量的生面条，沸水煮至面条无白芯后捞出面条，流水冲洗面条 30 s，自然冷却 5 min 后，105 °C 烘干至恒重，称量并记录  $S_2$ 。同时取一份等质量的生面条，烘干至恒重，称量并记录  $S_1$ ，具体公式为：

$$W(\%) = \frac{S_1 - S_2}{S_1} \times 100 \quad \text{式 (2)}$$

式中：W—蒸煮损失率(%)； $S_1$ —生面条干质量(g)； $S_2$ —熟面条干质量(g)。

**1.2.3.4 面条断条率的测定** 取 40 根 20 cm 长的面条，放入沸水中煮至面条中心无白芯，捞出，计算完整面条根数，记为 N，具体公式为：

$$Q(\%) = \frac{40 - N}{40} \times 100 \quad \text{式 (3)}$$

式中：Q—面条断条率(%)；N—完整面条根数；

**1.2.4 面条色泽的测定** 按照 1.2.2 的操作要点制作并裁剪为长为 10 cm，宽为 5 cm 的面片，使用色差计对面片的颜色进行测定。每次测定，选择三个不同的位置进行取样，记录并计算面条的  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  的平均值。其中  $L^*$  值表示面片的亮度， $a^*$  值表示红绿色度的偏向， $b^*$  值表示黄蓝色度的偏向。

## 1.2.5 面条质构特性的测定

### 1.2.5.1 全质构分析(Texture Profile Analysis, TPA)

参照季香青等<sup>[23]</sup>测定的方法，并略有改动。面条在最佳蒸煮时间下蒸煮后，过凉水 30 s，用吸水纸吸干多余水分后测定。选取 3 根面条为一组，每根面条裁剪成相同长度后等距平行的摆放在载物台上。选用 12.7 mm 圆柱凝胶探头，测试条件为压缩测量模式，测前速度为 120 mm/min，测试速度和测后速度均为 60 mm/min，两次压缩之间的间隔时间为 5.0 s，触发力为 5 g，压缩比设定为 70%。每个试样至少做六次平行。

**1.2.5.2 拉伸强度测定** 参照施建斌等<sup>[24]</sup>测定的方法，并略有改动。每次从试样中选取 1 根面条，将其

缠绕在两个平行设置的摩擦轮之间，确保面条在拉伸过程中能够保持稳定，避免滑动或松动。测定时上方的轮子会以恒定的速率向上牵引面条，直至面条因承受不住拉力而自然断裂。选用缠绕拉伸探头，参数设置：测前运行速度和测后返回速度均为 120 mm/min，测试速度为 60 mm/min，测试拉伸距离为 100 mm，触发力为 5 g。

**1.2.6 面条感官评价** 选择 10 名食品营养与检验教育专业的学生作为评价员(男女比例 1:1)，评价员各自根据设定的评分标准，对面条的色泽、表观状态、适口度、韧性、气味及滋味这五个方面进行独立的感官评定。评分结束后取这 10 位评价员评分的平均值作为综合评定结果，如表 1 所示。感官评分标准参照王贝贝等<sup>[25]</sup>的方法，并略作修改。

表 1 沙棘果渣面条感官评分标准  
Table 1 Sea buckthorn pomace noodle sensory scoring scale

项目	满分	评分标准
色泽	20	面条呈乳黄色，色泽均匀，光亮为 16~20 分； 亮度一般，变暗为 11~15 分； 颜色发暗，发灰，亮度差，色泽不均一为 1~10 分
表观状态	20	表面结构细密、光滑为 17~20 分； 表面结构、光滑度一般为 12~16 分； 表面粗糙、膨胀、变形严重或者不成型为 1~11 分
适口度 (软硬)	20	咬断面条所需要力的大小，力适中为 15~20 分； 稍硬或稍软为 8~14 分； 过硬或过软为 1~7 分
韧性	25	咀嚼面条时感受到弹性和咬劲的大小， 富有弹性、有咬劲为 20~25 分； 弹性、咬劲一般为 13~19 分； 弹性、咬劲不足或过差为 1~12 分
气味及滋味	15	无异味，有沙棘特有的香气和小麦粉本身的清香味为 13~15 分； 基本无异味，沙棘味较重或偏淡为 8~12 分； 有异味，沙棘味浓或者过淡为 1~7 分

**1.2.7 电子鼻传感器检测** 参照郑开迪等<sup>[26]</sup>的方法，并略作修改。准确称取 5 g 样品放入样品杯中，静置 30 min 后使用 PEN3 型电子鼻进行测定。测定过程中，传感器需先自行清洗 60 s，再归零 5 s，准备

表 2 PEN3 型电子鼻各传感器的响应特性  
Table 2 Response characteristics of each sensor of the PEN3 electronic nose

阵列序号	传感器名称	传感器响应特性
1	W1C	芳香族化合物
2	W5S	氮氧化合物
3	W3C	氨类、芳香族化合物
4	W6S	氢化物
5	W5C	烷烃、芳香族化合物
6	W1S	甲烷等短链烷烃
7	W1W	硫化物和萜烯类
8	W2S	醇类和部分芳香族化合物
9	W2W	有机硫化物和芳香族化合物
10	W3S	烷烃

样品 5 s, 最后分析采样 80 s, 各传感器的响应特性见表 2。

### 1.2.8 面条活性成分及抗氧化能力的测定

**1.2.8.1 样品处理** 将面条样品冷冻干燥 24 h, 粉碎过 60 目筛。称取 10 g 面条粉末, 加入 100 mL 体积分数为 80% 的乙醇, 混匀 37 °C 水浴提取 2 h, 超声提取 15 min, 2500 r/min 离心 10 min, 收集上清液为样品提取液, 备用<sup>[27]</sup>。

**1.2.8.2 多酚含量测定** 参考江梦影等<sup>[28]</sup>的方法, 并略作修改。量取 1 mL 样品提取液, 加入 19 mL 蒸馏水, 摆匀, 依次加入 1 mL 福林酚试剂、3 mL 20% 的碳酸钠溶液, 充分混匀后定容, 暗处放置 1 h, 以没食子酸标准液为空白对照, 760 nm 波长处测吸光度。以没食子酸含量(mg/mL)为横坐标、吸光度为纵坐标绘制标准曲线, 得回归方程:  $y=1.6938x+0.014$ ,  $R^2=0.9936$ 。

**1.2.8.3 黄酮含量测定** 取 2 mL 样品提取液, 加入 0.3 mL 10% 的硝酸铝、0.3 mL 5% 的亚硝酸钠, 混匀后室温静置 6 min, 加入 4 mL 40% 的氢氧化钠溶液, 室温静置 15 min, 510 nm 波长处测定吸光度。以芦丁含量(mg/mL)为横坐标、吸光度为纵坐标绘制标准曲线, 得回归方程:  $y=7.217x+0.0972$ ,  $R^2=0.9913$ 。

**1.2.8.4 DPPH 自由基清除能力的测定** 参考 Xiao 等<sup>[29]</sup>的方法, 并略作修改。将样品提取液与 DPPH 自由基乙醇溶液各取 2 mL 混合, 暗处放置 30 min, 使用乙醇代替试样作为对照组以模拟无样品条件, 蒸馏水作为空白组以校正基线, 波长 517 nm 处测定吸光值。

$$\text{DPPH自由基清除率}(\%) = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}\right) \times 100 \quad (4)$$

式中:  $A_0$ —蒸馏水与 DPPH 试剂的吸光值;  $A_1$ —样品提取液与 DPPH 试剂的吸光值;  $A_2$ —样品提取液与乙醇的吸光值。

**1.2.8.5 ABTS<sup>+</sup>自由基清除能力的测定** 参考 Xiao 等<sup>[29]</sup>的方法并略作修改。将 ABTS 溶液与 K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> 溶液等体积混合, 暗处静置 12 h。用蒸馏水对混合液进行稀释, 使其在波长 734 nm 处吸光值为 0.7±0.02。取 0.4 mL 样品提取液与 3 mL ABTS 试剂在暗处混合, 避光静置 6 min, 用乙醇作为对照组, 734 nm 波长处测定吸光值。

$$\text{ABTS}^+\text{自由基清除率}(\%) = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100 \quad (5)$$

式中:  $A_0$ —乙醇与 ABTS 试剂的吸光值;  $A$ —样品提取液与 ABTS 试剂的吸光值。

### 1.2.9 面条淀粉消化特性的测定

**1.2.9.1 总淀粉含量测定** 参考 Agama-Acevedo

等<sup>[30]</sup>的方法并略作修改, 制备葡萄糖标准溶液浓度梯度分别为 (0、0.02、0.04、0.08、0.10、0.12 mg/mL), 540 nm 波长处测定吸光值。以葡萄糖浓度(mg/mL)为横坐标、吸光度为纵坐标绘制标准曲线, 得回归方程:  $y=0.5007x-0.1579$ ,  $R^2=0.9970$ 。还原糖提取液制备参考江梦影等<sup>[28]</sup>的方法, 还原糖含量测定采用 3,5-二硝基水杨酸法。每组样品重复 3 次试验, 求取平均值。

$$\text{总淀粉含量}(\%) = \text{葡萄糖当量} \times 0.9 \quad (6)$$

**1.2.9.2 血糖生成指数** 参照王金晶等<sup>[20]</sup>的方法并略作修改。称取 1 g 面条粉末, 加入 20 mL pH5.2 的醋酸钠缓冲液, 加入 10 mL 混合酶液(0.32 g α-淀粉酶、0.01 g 糖化酶), 在 37 °C 条件下进行水浴振荡。取不同时间点(0、30、60、90、120、180 min)的反应液各 1 mL, 立即与 4 mL 无水乙醇混匀, 离心(2500 r/min, 10 min), 煮沸 5 min 后立即冰浴, 采用 3,5-二硝基水杨酸法测定上清液葡萄糖含量, 计算淀粉水解率。

$$\text{淀粉水解率}(\%) =$$

$$\frac{\text{取样点提取液中葡萄糖当量} \times 0.9}{\text{总淀粉含量}} \times 100 \quad (7)$$

以淀粉水解率(%)为纵坐标, 时间(min)为横坐标绘制曲线。样品淀粉水解指数 HI 为样品和对照品(白面包)在 0~180 min 内淀粉水解曲线面积比; eGI 为样品的预测血糖生成指数(expected glycemic index)。

$$\text{淀粉水解指数(HI)} = \frac{\text{AUC}_{\text{样品}}}{\text{AUC}_{\text{参考}}} \quad (8)$$

$$\text{血糖生成指数(eGI)} = 39.71 + 0.549 \times \text{HI} \quad (9)$$

### 1.3 数据处理

各组实验数据至少进行 3 次重复, 实验结果以“平均值±标准偏差”的形式表示。使用 SPSS 24 软件进行显著性分析, 显著性水平为  $P<0.05$ , 采用 Origin 2021 软件对所得数据进行作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 沙棘果渣对面条蒸煮特性的影响

由表 3 的数据可以看出, 沙棘果渣的添加量与面条的吸水率之间存在正相关性, 这主要是因为沙棘果渣中富含膳食纤维, 这些纤维中的亲水基团能高效结合并吸收大量水分, 从而提升了面条的吸水率<sup>[31]</sup>。随着沙棘果渣添加量的递增, 面条的蒸煮损失率和断条率先出现减少的趋势, 随后逐渐增加。当沙棘果渣添加量达到 5% 时, 蒸煮损失率和断条率均达到最低值, 与未添加沙棘果渣的空白组相比, 分别降低了 3.14% 和 1.55%。当沙棘果渣添加量不超过 5% 时, 其中的可溶性膳食纤维、黄酮和多酚等物质与小麦淀粉结合形成复合物<sup>[32]</sup>, 能够有效的减少烹饪过程中淀粉的溶出现象, 从而降低了面条的蒸煮损失率和断

条率。然而,当沙棘果渣的添加量在5%至9%之间时,面条的蒸煮损失率和断条率却显著上升。这是因为沙棘果渣中不含面筋蛋白,而小麦粉的主要成分包括淀粉和面筋蛋白。随着果渣添加量的增加,混合粉中面筋蛋白的含量相对减少,影响了面筋蛋白网络结构的形成和淀粉的包裹能力<sup>[17]</sup>,致其烹饪过程中淀粉和沙棘果渣颗粒更易流失,最终使面条的蒸煮损失率和断条率增大。

表3 不同沙棘果渣添加量对面条蒸煮特性的影响

Table 3 Effect of different addition amount of sea buckthorn pomace on cooking characteristics of noodles

沙棘果渣添加量(%)	吸水率(%)	蒸煮损失率(%)	断条率(%)
0	97.52±3.54 <sup>d</sup>	6.45±0.84 <sup>b</sup>	4.68±0.59 <sup>c</sup>
1	101.77±2.29 <sup>cd</sup>	6.15±0.26 <sup>b</sup>	3.52±0.45 <sup>cd</sup>
3	103.10±2.14 <sup>bcd</sup>	5.21±0.26 <sup>b</sup>	3.39±0.43 <sup>d</sup>
5	107.52±2.96 <sup>abc</sup>	3.31±0.75 <sup>c</sup>	3.13±0.83 <sup>d</sup>
7	109.46±3.07 <sup>ab</sup>	5.31±0.88 <sup>b</sup>	10.11±0.55 <sup>b</sup>
9	115.34±2.14 <sup>a</sup>	8.21±0.64 <sup>a</sup>	13.17±0.60 <sup>a</sup>

注:同一指标数据不同字母上标表示差异显著( $P<0.05$ ),表4~表6同。

## 2.2 沙棘果渣对面条外观与色泽的影响

不同添加量的沙棘果渣面条成品见图1,从外观上看,随着沙棘果渣添加量的增加,面条的颜色发生明显的改变。其中未添加沙棘果渣的面条颜色呈现出纯净的乳白色,表面细腻光滑,而不同添加量沙棘果渣的面条颜色逐渐变深,表面带有一些细小的果渣颗粒,颇有质感。

由表4可知,面条的 $L^*$ 值从79.66降至60.49,说明沙棘果渣的添加显著降低了面条的亮度( $P<0.05$ )。这可能是因为沙棘果渣的添加通过替换等量的面粉,导致了混合粉中面筋蛋白含量的减少,从而改变了面筋蛋白的网络结构,进一步影响了光反

射比的降低<sup>[33]</sup>。随着沙棘果渣添加量的增加,面条的 $a^*$ 、 $b^*$ 值均呈显著上升的趋势( $P<0.05$ ), $a^*$ 值和 $b^*$ 值的变化范围分别是0.51~7.83和12.66~41.87。这可能是由于沙棘果渣本身的颜色呈红黄色,使得添加沙棘果渣的面条总体上比未添加沙棘果渣面条的颜色偏红黄。

表4 不同沙棘果渣添加量对面条色泽的影响

Table 4 Effect of different addition amount of sea buckthorn pomace on color of noodles

沙棘果渣添加量(%)	$L^*$	$a^*$	$b^*$
0	79.66±0.22 <sup>a</sup>	0.51±0.05 <sup>f</sup>	12.66±0.03 <sup>e</sup>
1	72.65±0.64 <sup>b</sup>	2.88±0.19 <sup>e</sup>	26.27±0.56 <sup>d</sup>
3	67.38±0.28 <sup>c</sup>	4.87±0.20 <sup>d</sup>	34.74±0.98 <sup>c</sup>
5	65.61±1.09 <sup>d</sup>	6.45±0.22 <sup>c</sup>	39.54±1.11 <sup>b</sup>
7	63.74±0.36 <sup>e</sup>	7.22±0.09 <sup>b</sup>	40.65±0.93 <sup>ab</sup>
9	60.49±0.57 <sup>f</sup>	7.83±0.18 <sup>a</sup>	41.87±0.51 <sup>a</sup>

## 2.3 沙棘果渣对面条质构特性的影响

2.3.1 全质构分析 从表5的数据可以观察到,随着沙棘果渣添加量的增加,除面条的硬度持续上升外,面条的其它参数均呈现先上升后下降的趋势。对比添加与未添加沙棘果渣的面条,两者的硬度差异显著,弹性、内聚性、胶粘性、咀嚼性差异不明显。面条质构发生变化的原因可能与沙棘果渣富含的高膳食纤维有关,这种成分增加了面条的吸水能力,同时淀粉颗粒受热吸水糊化,从而形成了更加紧致的类似于面筋蛋白的特性的凝胶结构<sup>[34~35]</sup>。这种凝胶结构让面条更加紧密,面条的硬度、弹性、内聚性、胶粘性、咀嚼性也相应提高。但当沙棘果渣添加量超过5%时,其与面筋的结合达到相对饱和状态,沙棘果渣量的增加反而面筋蛋白的相对含量可能会降低,进



图1 不同沙棘果渣添加量面条的外观

Fig.1 Appearance of noodles with different sea buckthorn pomace additions

注:图中的数字编号1~6分别指沙棘果渣的添加量为0%、1%、3%、5%、7%和9%。

表5 不同沙棘果渣添加量对面条质构特性的影响

Table 5 Effect of different addition amount of sea buckthorn pomace on texture properties of noodles

沙棘果渣添加量(%)	硬度(g)	弹性(mm)	内聚性	胶粘性	咀嚼性
0	311.97±12.46 <sup>d</sup>	1.01±0.01 <sup>a</sup>	0.28±0.01 <sup>b</sup>	0.94±0.05 <sup>c</sup>	0.70±0.03 <sup>b</sup>
1	391.07±15.38 <sup>c</sup>	1.02±0.02 <sup>ab</sup>	0.28±0.01 <sup>b</sup>	1.10±0.08 <sup>c</sup>	0.79±0.08 <sup>b</sup>
3	415.03±6.65 <sup>b</sup>	1.05±0.03 <sup>ab</sup>	0.33±0.03 <sup>a</sup>	1.77±0.16 <sup>a</sup>	0.99±0.15 <sup>a</sup>
5	420.33±10.83 <sup>b</sup>	0.98±0.02 <sup>bc</sup>	0.35±0.01 <sup>a</sup>	1.36±0.03 <sup>b</sup>	1.04±0.03 <sup>a</sup>
7	432.37±10.51 <sup>b</sup>	0.96±0.02 <sup>c</sup>	0.34±0.01 <sup>a</sup>	1.09±0.13 <sup>c</sup>	0.75±0.07 <sup>b</sup>
9	510.20±18.72 <sup>a</sup>	0.94±0.03 <sup>c</sup>	0.32±0.01 <sup>a</sup>	1.00±0.09 <sup>c</sup>	0.72±0.06 <sup>b</sup>

而削弱面筋网络结构的紧密性<sup>[36]</sup>, 造成面条弹性、咀嚼性、内聚性、胶粘性出现一定程度的降低。

**2.3.2 拉伸特性分析** 拉伸特性可用拉断距离和最大拉断力表示, 不同沙棘果渣添加量面条的拉伸特性如图 2 所示。由图可以看出, 当沙棘果渣添加量为 1% 时, 面条的拉断距离和最大拉断力均呈现出显著的下降( $P<0.05$ )。进一步增加至 9% 时, 与未添加沙棘果渣的空白组相比, 面条的拉断距离和最大拉断力分别减少了 56.16% 和 21.42%。面条的拉伸特性主要受面筋蛋白含量及其强度的影响<sup>[37]</sup>, 面筋蛋白通过特定的化学键(如二硫键和氢键)聚集, 形成坚固的蛋白网络结构, 为面条赋予良好的拉伸性<sup>[12]</sup>。然而, 沙棘果渣的添加会稀释混合粉中的面筋蛋白, 进而影响到面筋蛋白网络结构的完整性和强度, 最终导致面条拉断距离和最大拉断力的降低。

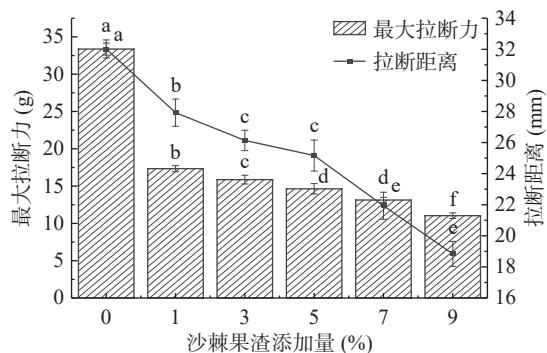


图 2 不同沙棘果渣添加量对面条拉伸特性的影响

Fig.2 Effect of different addition amount of sea buckthorn pomace on the tensile properties of noodles

注: 同组数据中不同小写字母代表差异显著( $P<0.05$ ), 图 7 同。

## 2.4 沙棘果渣对面条感官评价的影响

由图 3 可知, 沙棘果渣从 0% 到 9% 添加, 面条的感官评分先升高后下降。当沙棘果渣添加量不超过 5% 时, 与未添加沙棘果渣的空白组相比, 面条的色泽、适口度、气味及滋味均有所提升。当沙棘果渣添加量为 5% 时, 综合感官评分最高为 90 分, 此时面条的色泽均匀, 表面结构细密光滑, 软硬适宜, 富有弹性, 带有沙棘独特的香气。当沙棘果渣添加量超过 5% 时, 面条的感官评分开始降低, 此时的面条表面略显粗糙, 亮度一般, 适口性较差, 沙棘味较浓。这是因为沙棘果渣的高脂肪和膳食纤维含量可能在一定程度上影响面筋网状结构的稳定性<sup>[38]</sup>, 从而略微降低面条的韧性和表观状态。由此得出, 当沙棘果渣添加量控制在 5% 以内, 不仅不会影响面条的口感, 反而能提升其营养价值。

## 2.5 沙棘果渣对面条电子鼻检测的影响

**2.5.1 雷达图分析** 由图 4 可知, 随着沙棘果渣添加量的增加, 面条在 W5S、W1S、W2W、W1W、W2S 这五个传感器中的响应值逐渐增大, 当沙棘果渣添加量为 9% 时, 五个传感器对其响应值均为最大。其余传感器响应值变化不明显, 呈近似重叠状态。与未添

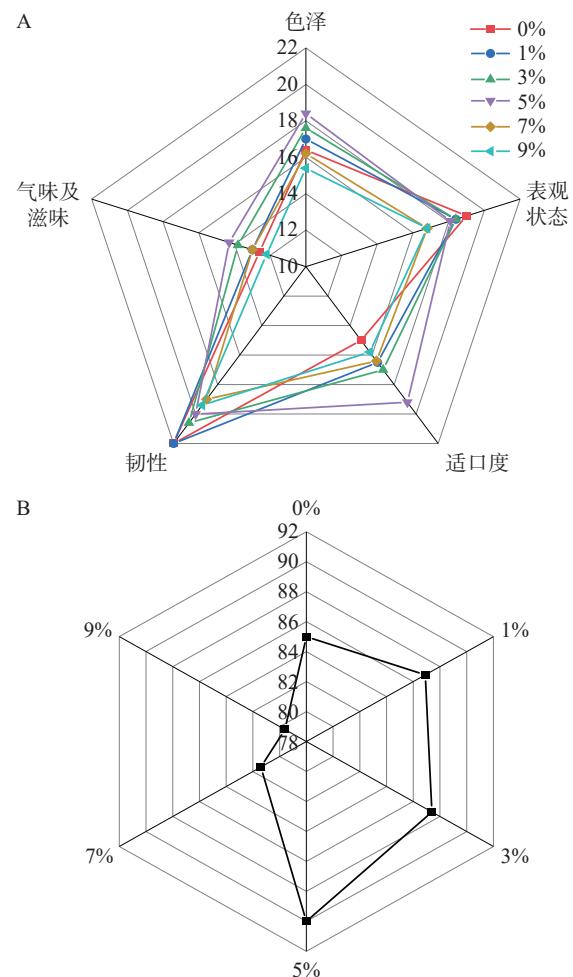


图 3 不同沙棘果渣添加量对面条感官评价的影响

Fig.3 Effect of different addition amount of sea buckthorn pomace on the sensory evaluation of noodles

注: A: 不同添加量各个评分指标的数值变化; B: 不同添加量综合感官评分变化。

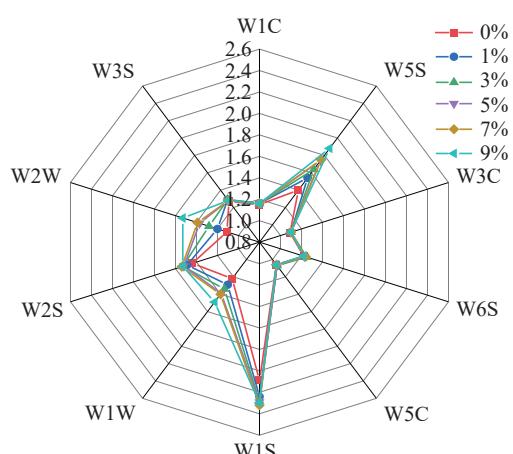


图 4 不同沙棘果渣添加量的面条风味电子鼻响应值雷达图

Fig.4 Radar plot of noodle flavor electronic nose response with different sea buckthorn pomace addition amounts

加沙棘果渣的空白组相比, 添加沙棘果渣的面条在 W5S、W1S、W2W 这三个传感器中响应值较高。表明电子鼻所感应到面条的主要风味物质为氮氧化合物、甲烷等短链烷烃、有机硫化物和芳香族化合物, 且在沙棘果渣面条中这些风味物质含量较多<sup>[39]</sup>。

**2.5.2 主成分分析(PCA)** 由图5可知,第一主成分PC1和第二主成分PC2的贡献率分别是93.81%和5.49%,累计方差贡献率是99.3%(>85%),表明两个主成分可以有效反映原始数据的总体传感信息<sup>[40]</sup>,且能准确区分和识别添加与未添加沙棘果渣的面条。不同沙棘果渣添加量与未添加沙棘果渣的面条相互分离,没有重叠现象,这说明PCA在区分添加与未添加沙棘果渣面条方面的有效性。其中,添加3%和5%沙棘果渣的面条在图中存在部分交叉,表明两者在香气成分上有部分相似性<sup>[41]</sup>。

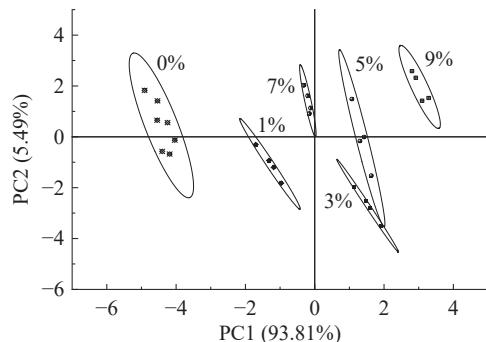


图5 不同沙棘果渣添加量的面条主成分分析(PCA)

Fig.5 Principal component analysis (PCA) of noodle with different sea buckthorn pomace addition amounts

**2.5.3 载荷>Loading)分析** 由图6可知,W5S传感器对PC1的贡献率最大,W1S传感器对PC2的贡献率最大,W2W和W1W传感器对PC1有一定的贡献,W2S、W6S和W3S传感器对PC2有一定的贡献,W5C、W3C和W1C传感器对不同沙棘果渣添加量面条的区分贡献最小。可见面条的挥发性气味差异主要表现在W5S、W1S和W2W传感器所检测到的特定气味成分上,在其余传感器对应的气味成分上也存在一定的差异。由此说明面条风味的多样性,且其差异主要表现在氮氧化合物和甲烷等短链烷烃上,烷类物质的香味阈值相对较高,人们往往不太容易直接闻到烷类物质所散发出的气味,虽然传感器检测到的烷类物质对面条整体风味的贡献率较小<sup>[42]</sup>,但其含量相当丰富,烷类物质作为形成杂环化合物的关键中间物,实际上在提升面条整体风味品质方面发挥

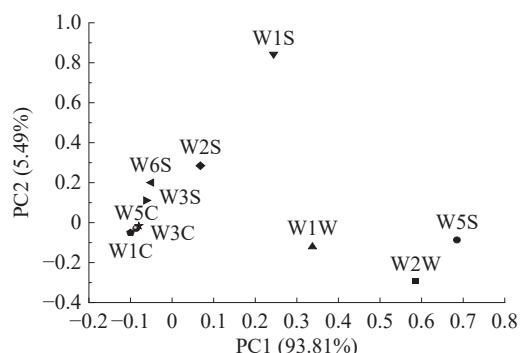


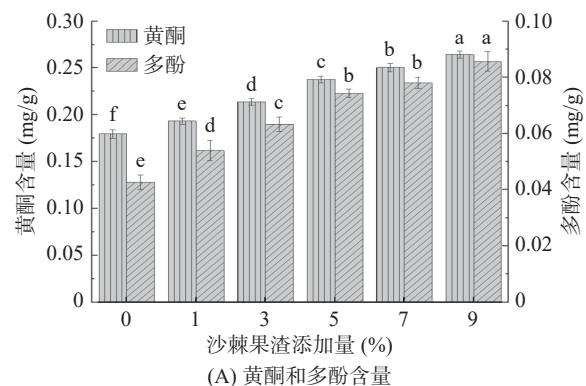
图6 不同沙棘果渣添加量的面条载荷>Loading)贡献率分析

Fig.6 Analysis of the contribution rate of noodle loading with different sea buckthorn pomace addition amounts

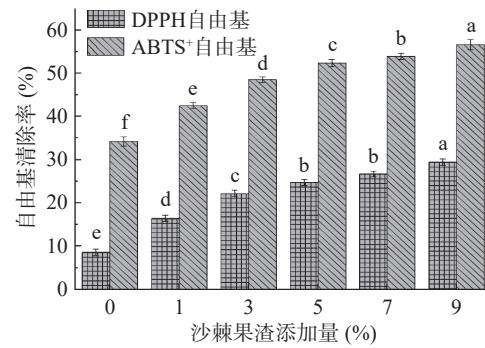
着积极作用<sup>[43]</sup>。

## 2.6 沙棘果渣对面条活性成分及抗氧化活性的影响

不同沙棘果渣添加量对面条中黄酮和多酚含量的变化,如图7(A)所示。由图可知,随着沙棘果渣添加量的增加,面条中的黄酮和多酚含量呈现逐渐上升的趋势,这可能是因为一方面,沙棘果渣作为沙棘果汁等加工的副产物,仍然含有丰富的黄酮和多酚类化合物<sup>[9,44]</sup>;另一方面,沙棘果渣中的纤维素类物质与黄酮类物质结合紧密,在面条加工过程中可能会使纤维素解链,释放出更多的黄酮和多酚类物质<sup>[45]</sup>,故当沙棘果渣的添加量逐渐增加时,面条中的黄酮和多酚类物质的含量也会相应增加。当沙棘果渣添加量为9%时,黄酮含量为0.264 mg/g,多酚含量为0.086 mg/g,显著高于未添加沙棘果渣面条中的黄酮和多酚含量( $P<0.05$ )。



(A) 黄酮和多酚含量



(B) DPPH自由基和ABTS<sup>+</sup>自由基清除率

图7 不同沙棘果渣添加量对面条活性成分及抗氧化活性的影响

Fig.7 Effect of different addition amount of sea buckthorn pomace on the active ingredients and antioxidant activity of noodles

不同沙棘果渣添加量对面条中DPPH自由基和ABTS<sup>+</sup>自由基清除率的变化,如图7(B)所示。由图可知,当沙棘果渣的添加量逐渐提升时,DPPH和ABTS<sup>+</sup>自由基清除率也相应有显著的提升( $P<0.05$ ),这与黄酮与多酚含量的趋势一致。这是因为沙棘果渣中含有丰富的黄酮和多酚类化合物,这些化合物是天然的抗氧化剂,对DPPH和ABTS<sup>+</sup>自由基均有一定的清除作用<sup>[46]</sup>。由此可见,黄酮、多酚含量与DPPH和ABTS<sup>+</sup>自由基清除率之间具有良好的相关

性<sup>[28]</sup>。当沙棘果渣添加量为 5% 时, DPPH 和 ABTS<sup>+</sup>自由基清除率与未添加沙棘果渣的面条相比分别由 8.56%、34.25% 增长为 24.73%、52.36%, 提高了 2.89 倍和 1.53 倍。当沙棘果渣添加量为 9% 时, DPPH 和 ABTS<sup>+</sup>自由基清除率与未添加沙棘果渣的面条相比分别提高了 3.44 倍和 1.65 倍。

## 2.7 沙棘果渣对面条消化特性的影响

不同添加量的沙棘果渣对面条淀粉水解率的影响如图 8 所示。由图可知, 不同面条的淀粉消化过程均呈现出相似的趋势, 即先快后慢, 并且随着时间的增长, 消化速度逐渐减缓。其中, 180 min 时, 未添加沙棘果渣的面条淀粉水解率达到了 49.27%, 而添加量为 1%、3%、5%、7% 和 9% 则分别为 46.6%、44.4%、43.3%、41.27% 和 40.03%。随着沙棘果渣的增加, 面条的淀粉水解率呈现出显著下降的趋势 ( $P<0.05$ ), 说明添加沙棘果渣可以减缓面条的消化速率。这种影响主要归因于沙棘果渣对面筋蛋白网络结构的改变, 沙棘果渣与淀粉之间发生的相互作用, 可能占据了淀粉和消化酶的结合位点, 从而阻碍了淀粉的水解过程<sup>[47]</sup>。此外, 沙棘果渣中含有的黄酮和多酚类物质也可能对淀粉酶的活性产生抑制作用, 进一步降低了淀粉的消化速率<sup>[48]</sup>。

血糖生成指数(expected glycemic index, eGI) 是一个衡量食物如何影响餐后血糖水平的关键生理指

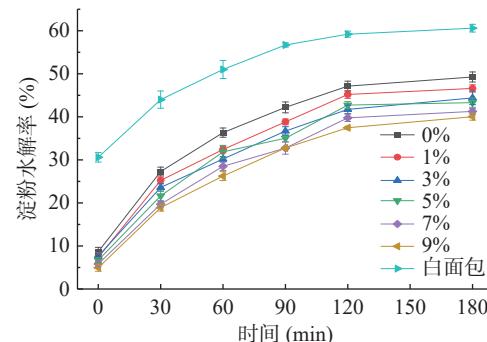


图 8 不同沙棘果渣添加量对面条消化特性的影响

Fig.8 Effect of different addition amount of sea buckthorn pomace on the digestive attributes of noodles

标。相较于高 eGI 值的食物, 低 eGI 值的食物在胃部停留时间更长, 葡萄糖释放更平稳, 且胰岛素响应更为温和<sup>[49]</sup>。不同添加量的沙棘果渣对面条血糖生成指数的影响如表 6 所示。关于沙棘果渣对面条血糖生成指数的影响, 表中数据显示, 添加了沙棘果渣的面条 eGI 值均显著低于未添加的面条。且随着沙棘果渣添加量的增加, 面条的 eGI 值呈现明显的下降趋势。其中, 当 eGI 值  $\leq 55$  的食品为低 eGI 食品<sup>[50]</sup>, eGI 值  $\geq 75$  的食品为高 eGI 食品<sup>[28]</sup>。根据实验结果得出, 未添加和添加 1% 沙棘果渣的面条属于高 eGI 食品, 而添加 3%、5%、7% 和 9% 沙棘果渣的面条属于中 eGI 食品。

表 6 不同沙棘果渣添加量对面条血糖生成指数(eGI)的影响  
Table 6 Effect of different addition amount of sea buckthorn pomace on glycemic index (eGI) of noodles

沙棘果渣添加量(%)	0	1	3	5	7	9
HI	72.73 $\pm$ 0.68 <sup>a</sup>	67.81 $\pm$ 1.13 <sup>b</sup>	63.63 $\pm$ 0.78 <sup>c</sup>	62.98 $\pm$ 0.33 <sup>c</sup>	58.40 $\pm$ 0.69 <sup>d</sup>	55.82 $\pm$ 0.94 <sup>e</sup>
eGI	79.64 $\pm$ 0.39 <sup>a</sup>	76.94 $\pm$ 0.61 <sup>b</sup>	74.64 $\pm$ 0.32 <sup>c</sup>	74.29 $\pm$ 0.21 <sup>c</sup>	71.77 $\pm$ 0.42 <sup>d</sup>	70.35 $\pm$ 0.57 <sup>e</sup>

## 3 结论

本文探究了不同沙棘果渣添加量对面条的品质特性(蒸煮特性、色泽、质构特性、感官评价、电子鼻检测)、抗氧化活性和消化特性的影响。研究表明, 沙棘果渣的添加可以改善面条的吸水率、色泽、质构特性和感官评价, 且随着添加量的增加, 面条的抗氧化活性得到显著提升; 电子鼻能够准确区分和识别添加与未添加沙棘果渣的面条, 在 9% 时主要传感器响应值均为最大, 主成分分析(PCA)累计方差贡献率是 99.3%, 载荷>Loading)分析表明面条风味的多样性, 添加沙棘果渣能够提升面条风味品质。此外, 沙棘果渣的添加降低了面条的淀粉消化速率, 在 3%~9% 之间的面条为中 eGI 食品。沙棘果渣添加量为 0%~5% 时, 面条的综合感官评分较好, 在 5% 时最高达 90 分, 蒸煮特性在一定程度上得到改善; 沙棘果渣添加量在 7%~9% 时, 面条的蒸煮损失率和断条率明显上升, 最大拉断力和拉断距离显著下降, 在 9% 时较未添加的分别减少了 56.16% 和 21.42%, 综合感官评分开始降低。综合不同沙棘果

渣添加量对面条蒸煮特性、质构特性、感官评价、抗氧化活性及淀粉消化特性的影响, 沙棘果渣添加量为 5% 时面条综合品质在可接受范围内, 有潜力开发集营养、美味、健康于一体的面条。本研究可为沙棘果渣资源高附加值利用和在面制品中的应用提供重要理论依据, 也可为开发更多元化、更健康的面条提供新的启发和思路。但沙棘果渣添加量为 5% 的面条蒸煮和质构特性未达到最佳品质, 为得到品质更好的沙棘果渣面条, 在后续的研究中将进一步探究沙棘果渣对面条品质的改良作用。

© 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

- WANG Kewen, XU Zhenzhen, LIAO Xiaojun. Bioactive compounds, health benefits and functional food products of sea buckthorn: A review[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2022, 62(24): 6761–6782.
- 明悦. 《全国沙棘资源本底调查报告》发布[J]. 绿色中国,

- 2022(13): 58–59. [MING Yue, National seabuckthorn resources background investigation report released[J]. Green China, 2022 (13): 58–59.]
- [3] 牟春堂, 郝小燕, 刁小高, 等. 沙棘果渣在动物饲粮中应用的研究进展[J]. 动物营养学报, 2019, 31(7): 2965–2970. [MU Chuntang, HAO Xiaoyan, DIAO Xiaogao, et al. Research progress on the application of seabuckthorn pomace in animal diet[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(7): 2965–2970.]
- [4] YAN Y, LIANG N, DING Z, et al. Effects of sea buckthorn pomace on growth performance, serum metabolites and antioxidant indexes of growing pigs[J]. Semina: Ciências Agrárias, 2023, 44(5): 1777–1788.
- [5] NOUR V, PANAITI T D, CORBU A R, et al. Nutritional and bioactive compounds in dried sea-buckthorn pomace[J]. Erwerbs-Obstbau, 2021, 63(1): 1–8.
- [6] 白建, 薛博文. 沙棘果渣在动物养殖中的应用研究进展[J]. 中国饲料, 2024(13): 22–27. [BAI Jian, XUE Bowen. Research progress on application of sea buckthorn pomace in animal breeding[J]. China Feed, 2024(13): 22–27.]
- [7] ZHAO J, SU T, SUN Q, et al. Ultrahigh pressure enhances the extraction efficiency, antioxidant potential, and hypoglycemic activity of flavonoids from Chinese sea buckthorn leaves[J]. LWT, 2024, 207: 116671.
- [8] 王薇, 曹雯. 沙棘果渣多酚、多糖及黄酮抑菌性及对葡萄保鲜研究[J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(11): 12–18. [WANG Wei, CAO Wen. Study on bacteriostasis of polyphenols, polysaccharides and flavonoids from sea buckthorn pomace and their preservative effects on grapes[J]. China Food Additives, 2023, 34(11): 12–18.]
- [9] 张巧仙, 王金辉, 薛博文, 等. 父母代蛋鸡在饲料中添加沙棘果渣对种蛋孵化的影响[J]. 中国饲料, 2023(11): 152–156. [ZHANG Qiaoxian, WANG Jinhui, XUE Bowen, et al. Effect of adding sea buckthorn pomace to feed by parent laying hens on egg hatching[J]. China Feed, 2023(11): 152–156.]
- [10] WU D, YANG Z, LI J, et al. Optimizing the solvent selection of the ultrasound-assisted extraction of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) pomace: Phenolic profiles and antioxidant activity[J]. Foods, 2024, 13(3): 482.
- [11] 王薇, 曹雯. 沙棘果渣多糖-纳米银复合粒子的制备及其抑菌活性[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(5): 148–154. [WANG Wei, CAO Wen. Preparation and antibacterial activity of polysaccharide-nano-silver composite particles from sea buckthorn pomace[J]. Food Research and Development, 2023, 44(5): 148–154.]
- [12] 杨韵凝. 微波处理对沙棘果渣理化性质的影响及咀嚼片的研发[D]. 辽宁: 沈阳农业大学, 2023. [YANG Yuning. Effect of microwave treatment on physicochemical properties of sea buckthorn pomace and research and development of chewable tablets[D]. Liaoning: Shenyang Agricultural University, 2023.]
- [13] FURULYAS D, SZALÓKI-DORKÓ L, MÁTÉ M, et al. Utilization of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) pomace as functional ingredient in apple juice[J]. Progress in Agricultural Engineering Sciences, 2024, 20(1): 129–138.
- [14] QIAO C C, TIAN X H, WANG L X, et al. Quality characteristics, texture properties and moisture migration of fresh brown rice noodles under different storage and temperatures conditions[J]. Journal of Cereal Science, 2022, 104: 103434.
- [15] RANI S, SINGH R, KAMBLE D B, et al. Structural and quality evaluation of soy enriched functional noodles[J]. Food Biotechnology, 2019, 32: 100465.
- [16] ROOBAB U, MAQSOOD S. Recent developments on utilizing diverse plant seed flours as novel functional ingredients for noodle formulation and their impact on quality attributes[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2024, 59(2): 1082–1093.
- [17] 张灿, 郭依萍, 田艾, 等. 刺梨果渣及其膳食纤维提取物对面条品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(8): 105–112. [ZHANG Can, GUO Yiping, TIAN Ai, et al. Effect of pomace and dietary fiber extract of Rosai roxburghii on noodle quality[J]. Food and Fermentation Industry, 2023, 49(8): 105–112.]
- [18] 洛桑卓玛, 张华玲, 黄俊僮, 等. 油橄榄果渣对面条品质的影响[J]. 现代食品科技, 2020, 36(6): 204–210. [LUOSANG Zhuoma, ZHANG Hualing, HUANG Junyu, et al. Effect of olive pomace on noodle quality[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(6): 204–210.]
- [19] 王世新. 富集沙棘黄酮的猴头菌栽培技术[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2017. [WANG Shixin. Hericium erinaceus cultivation technology for enrichment of flavonoids from sea buckthorn [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2017.]
- [20] 王金晶, 冯乐乐, 沈思宇, 等. 葡萄籽原花青素对小麦面团流变特性及面条品质的影响[J]. 食品工业科技, 2024, 45(21): 85–92. [WANG Jinjing, FENG Lele, SHEN Siyu, et al. Effect of grape seed proanthocyanidins on rheological properties and noodle quality of wheat dough[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(21): 85–92.]
- [21] 蔡茜茜, 陈旭, 陈选, 等. 超微绿茶粉对面条品质特性的影响及绿茶面条配方优化[J]. 食品与机械, 2021, 37(9): 179–185. [CAI Qianqian, CHEN Xu, CHEN Xuan, et al. Effect of ultra-fine green tea powder on the quality characteristics of noodles and optimization of green tea noodle formula[J]. Food and Machinery, 2021, 37(9): 179–185.]
- [22] 崔彦利, 乔雨雨, 刘沁沁, 等. 挤压膨化小扁豆粉对面团特性及面条品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(10): 1–7. [CUI Yanli, QIAO Yuyu, LIU Qinjin, et al. Effect of extruded lentil flour on dough characteristics and noodle quality[J]. Chinese Journal of Cereals and Oils, 2021, 36(10): 1–7.]
- [23] 季香青, 杨定宽, 曾承, 等. 四种生物酶对红豆小麦面团流变性质和面条质构性质的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(20): 94–99. [JI Xiangqing, YANG Dingkuan, ZENG Cheng, et al. Effects of four biological enzymes on rheological properties and texture properties of red bean wheat dough[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(20): 94–99.]
- [24] 施建斌, 隋勇, 熊添, 等. 芦笋粉添加对面团和面条特性的影[J]. 食品工业科技, 2024, 45(5): 62–69. [SHI Jianbin, SUI Yong, XIONG Tian, et al. Effects of asparagus powder addition on dough and noodle properties[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(5): 62–69.]
- [25] 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. [WANG Beibei, ZHANG Yongshun, GUO Hongtao, 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.]
- [26] 郑开迪, 梁杉, 张敏, 等. 添加马铃薯全粉对面条挥发性风味化合物的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(6): 239–245. [ZHENG Kaidi, LIANG Shan, ZHANG Min, et al. Effect of potato flour on volatile flavor compounds in noodles[J]. Food Science, 2020, 41(6): 239–245.]
- [27] 姚月华, 王亚琴, 贾鑫等. 茶多酚对生鲜面品质及抗氧化特性的影响[J]. 核农学报, 2020, 34(10): 2261–2270. [YAO Yuehua, WANG Yaqin, JIA Xin, et al. Effect of tea polyphenols on

- quality and antioxidant properties of fresh noodles[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2020, 34(10): 2261–2270.]
- [28] 江梦影, 赵一鸣, 荆曼歌, 等. 黑米酒糟添加量对馒头品质及生理活性的影响[J]. *食品工业科技*, 2024, 45(13): 116–123.
- [JIANG Mengying, ZHAO Yiming, JING Minge, et al. Effect of the addition amount of black rice distiller's grains on the quality and physiological activity of steamed bread[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2024, 45(13): 116–123.]
- [29] XIAO Y, XING G, RUI X, et al. Enhancement of the antioxidant capacity of chickpeas by solid state fermentation with *Cordyceps militaris* SN-18[J]. *J Funct Foods*, 2014, 10: 210–222.
- [30] AGAMA-ACEVEDO E, ISLAS-HERNÁNDEZ J J, PACHECO-VARGAS G, et al. Starch digestibility and glycemic index of cookies partially substituted with unripe banana flour[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2012, 46(1): 177–182.
- [31] WANG Y H, ZHANG Y R, XU F, et al. Effects of water addition and noodle thickness on the surface tackiness of frozen cooked noodles[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2020, 44(9): e14717.
- [32] 赵蓓蓓, 贾祥泽, 孙思薇, 等. 淀粉-多酚复合物理化及功能特性的研究进展[J]. *食品科学*, 2018, 39(13): 297–303. [ZHAO Beibei, JIA Xiangze, SUN Siwei, et al. Research progress on physicochemical and functional properties of starch-polyphenol compound[J]. *Food Science*, 2018, 39(13): 297–303.]
- [33] 张文秀, 陆红佳, 戴媛. 蓝莓酒渣的粒度及添加量对面条品质的影响[J]. *食品科技*, 2020, 45(11): 167–174. [ZHANG Wenxiu, LU Hongjia, DAI Yuan. Effect of particle size and addition amount of blueberry lees on noodle quality[J]. *Food Science and Technology*, 2020, 45(11): 167–174.]
- [34] 段梦杰, 王振华, 托合提萨伊普·图尔荪托合提, 等. 小米粉添加量对生鲜面条品质与多酚含量及抗氧化活性的影响[J]. *食品科学技术学报*, 2022, 40(3): 137–144. [DUAN Mengjie, WANG Zhenhua, TOHETI-SAYIP Tursun Toheti, et al. Effects of millet flour addition on quality, polyphenol content and antioxidant activity of fresh noodles[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2022, 40(3): 137–144.]
- [35] 刘书航, 陈洁, 韩锐. 预糊化玉米粉对挂面品质的影响研究[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2019, 40(3): 26–32. [LIU Shuhang, CHEN Jie, HAN Rui. Effect of pregelatinized corn flour on the quality of dried noodles[J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2019, 40(3): 26–32.]
- [36] 颜晨阳, 周文博, 孙洪蕊, 等. 不同油莎豆粉对面条品质的影响[J]. *食品工业*, 2021, 42(12): 129–133. [YAN Chenyang, ZHOU Wenbo, SUN Hongrui, et al. Effect of different soybean flour on noodle quality[J]. *Food Industry*, 2021, 42(12): 129–133.]
- [37] ZHU F, LI J. Physicochemical and sensory properties of fresh noodles fortified with ground linseed (*Linum usitatissimum*) [J]. *LWT*, 2018, 101: 847–853.
- [38] TORBICA A, HADNADEV M, DAPČEVIĆ T. Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour[J]. *Food Hydrocolloids*, 2010, 24(6–7): 626–632.
- [39] 周小男. 荞米面条加工和贮藏过程中脂肪的酸败及风味变化研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2022. [ZHOU Xiaonan. Study on rancidity and flavor change of fat during processing and storage of barley noodles[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2022.]
- [40] 党昕, 刘军, 姚凌云, 等. GC-MS 结合 GC-O、电子鼻评价不同预处理方式对沙枣风味的影响[J]. *食品科学*, 2023, 44(6): 327–335. [DANG Xin, LIU Jun, YAO Lingyun, et al. GC-MS combined with GC-O and electronic nose to evaluate the effect of different pretreatment methods on the flavor of *S. zabe*[J]. *Food Science*, 2023, 44(6): 327–335.]
- [41] 莫梅清, 江梓仪, 胡梦迪, 等. 刺梨汁冷冻贮藏过程中风味的动态变化规律[J]. *食品工业科技*, 2024, 45(20): 320–331. [MO Meiqing, JIANG Ziyi, HU Mengdi, et al. Dynamic change of flavor during frozen storage of prickly pear juice[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2024, 45(20): 320–331.]
- [42] 张薇, 程晓燕, 黄卫宁, 等. 含天然酵母粉发酵面包的营养与老化特性及风味化合物特征[J]. *食品科学*, 2014, 35(23): 33–38. [ZHANG Wei, CHENG Xiaoyan, HUANG Weining, et al. Nutritional and aging characteristics and flavor compound characteristics of fermented bread containing natural yeast powder[J]. *Food Science*, 2014, 35(23): 33–38.]
- [43] 魏超昆, 赵宇慧, 刘敦华, 等. 鸡油基起酥油对面包感官、风味及老化特性的影响[J]. *食品科学*, 2017, 38(3): 101–106. [WEI Chaokun, ZHAO Yuhui, LIU Dunhua, et al. Effect of chicken fat-based shortening on the sensory, flavor and aging characteristics of bread[J]. *Food Science*, 2017, 38(3): 101–106.]
- [44] 孙伟鹏, 马娜, 党艳艳. 沙棘果渣中多种有效成分的提取及其抗氧化性能研究[J]. *食品工业*, 2018, 39(6): 151–155. [SUN Weipeng, MA Na, DANG Yanyan. Extraction of multiple active components from seabuckthorn pomace and their antioxidant properties[J]. *Food Industry*, 2018, 39(6): 151–155.]
- [45] 焦岩. 大果沙棘果渣黄酮分离纯化及生物活性研究[D]. 齐齐哈尔: 齐齐哈尔大学, 2014. [JIAO Yan. Separation, purification and biological activity of flavonoids from sea buckthorn pomace [D]. Qiqihar: Qiqihar University, 2014.]
- [46] DENG Yong, ZHAO Shunan, YANG Xiaoling, et al. Novel accelerated penetration extraction for polyphenol extraction from pomegranate skins: Utilization of fick's law[J]. *Acs Sustainable Chemistry & Engineering*, 2021, 9(10): 3695–3702.
- [47] 李驰, 姚佳, 韩乔, 等. 马铃薯淀粉消化特性及多酚对其影响研究进展[J]. *食品科技*, 2022, 47(12): 221–227. [LI Chi, YAO Jia, HAN Qiao, et al. Research progress on digestibility characteristics of potato starch and its effects on polyphenols[J]. *Food Science and Technology*, 2022, 47(12): 221–227.]
- [48] 王庆卫, 刘启玲. 薏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 Qingwei, LIU Qiling. Effect of quinoa flour on noodle quality and *in vitro* digestion characteristics[J]. *Grains and Oils*, 2021, 34(1): 31–34.]
- [49] 许芳溢, 李五霞, 吕曼曼, 等. 苦荞馒头抗氧化品质、体外消化特性及感官评价的研究[J]. *食品科学*, 2014, 35(11): 42–47. [XU Fangyi, LI Wuxia, LÜ Manman, et al. Study on antioxidant quality, *in vitro* digestive characteristics and sensory evaluation of tartary buckwheat steamed bread[J]. *Food Science*, 2014, 35(11): 42–47.]
- [50] 张鑫, 任元元, 孟资宽, 等. 低 GI 薏麦面条挤压工艺及体外消化特性研究[J]. *食品与发酵科技*, 2021, 57(4): 57–62, 85. [ZHANG Xin, REN Yuanyuan, MENG Zikuan, et al. Study on extrusion process and *in vitro* digestion characteristics of quinoa noodles with low GI[J]. *Food and Fermentation Science and Technology*, 2021, 57(4): 57–62, 85.]