

莲蓬膳食纤维的高温改性及其理化和应用特性研究

孙杰¹ 韩苗苗¹ 龚超¹ 王宏勋^{1,2} 侯温甫^{1,2} 易阳^{1,2,*}

(1. 武汉轻工大学食品科学与工程学院 湖北武汉 430023;

2. 湖北省生鲜食品工程技术研究中心 湖北武汉 430023)

摘要: 采用响应面法优化莲蓬不溶性膳食纤维(LIDF)的高温改性工艺,分析改性对其理化和应用特性的影响。以可溶性膳食纤维(SDF)含量为指标,优化LIDF高温改性的最佳工艺参数为:料液比1:6.75(g/mL)、处理温度115℃、处理时间40 min。在此条件下改性所得产品中SDF含量达4.33%。通过理化分析和扫描电镜观察发现,改性后膳食纤维的溶胀率、持水性和胆酸钠吸附能力显著增强($p < 0.05$),持油力明显降低($p < 0.05$),并呈现为剥落分散片层状。LIDF的添加仅显著影响挂面的硬度和凝聚力($p < 0.05$),而对酥性饼干的硬度和酥性均无显著影响($p > 0.05$)。LIDF经改性后,在挂面中添加量由3%增加至5%以及在饼干中添加量由6%增加至8%均未显著改变产品的质构特征($p > 0.05$)。LIDF添加能增强产品的苦味、涩味和回味-B,而改性能减弱其对产品滋味的影响。高温改性能有效改善LIDF在挂面和酥性饼干中的应用品质。

关键词: 莲蓬 膳食纤维 高温改性 挂面 饼干

Modification of dietary fiber from lotus seedpod using high-temperature: physicochemical property and application research

SUN Jie¹ HAN Miao-miao¹ GONG Chao¹ WANG Hong-xun^{1,2} HOU Wen-fu^{1,2} YI Yang^{1,2,*}

(1. College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China;

2. Hubei Engineering Research Center for Fresh Food, Wuhan 430023, China)

Abstract: High-temperature modification of insoluble dietary fiber from lotus seedpod (LIDF) was optimized by response surface methodology. Effects of modification on the physicochemical properties and application of LIDF were analyzed. The content of soluble dietary fiber (SDF) was used as the evaluation index for technology optimization. The optimized technological parameters were as follows: ratio of material to liquid 1: 6.75 (g/mL), processing temperature 115 °C, and processing time 40 min. Under this condition, the modified LIDF contains 4.33% SDF. Physicochemical analysis confirmed that high temperature modification could significantly enhance the swelling rate, water binding capacity and adsorption capacity on sodium cholate of LIDF ($p < 0.05$), but the oil-holding capacity were obviously decreased ($p < 0.05$). In addition, the microstructure of LIDF was changed to be peeled layers. The addition of LIDF could significantly improve the hardness and cohesion of noodles ($p < 0.05$), but showed insignificant effect on the hardness and brittleness of biscuit ($p > 0.05$). Adding 3% ~ 5% modified LIDF in noodles or 6% ~ 8% in biscuit did not significantly change the texture of products ($p > 0.05$). The adding of LIDF could enhance the bitterness, astringency, and aftertaste-B of product, but the modification was on the contrary. The results indicated that high-temperature modification could increase the application value of LIDF as nutrient supplement in noodle and biscuit.

Key words: lotus seedpod; dietary fiber; high-temperature modification; noodle; biscuit

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2017)02-0141-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2017.02.018

膳食纤维作为一种多糖具有相当重要的生理作用,摄取不足将增加肥胖、糖尿病、心脏病等慢性疾病发病率^[1-2]。近年来,主食及休闲食品中膳食纤维

的补充添加成为重要的消费诉求。麸皮膳食纤维、大豆膳食纤维、马铃薯膳食纤维在面制品中的添加应用已有报道^[3-6],其含量成为衡量产品营养品质的

收稿日期: 2016-05-06

作者简介: 孙杰(1986-)男,在读硕士研究生,研究方向:农产品加工, E-mail: sunjsz0710@163.com。

* 通讯作者: 易阳(1986-)男,博士,副教授,研究方向:农产品加工, E-mail: yiy86@whpu.edu.cn。

基金项目: 湖北省重点新产品新工艺研究开发项目(YJN0136)。

重要指标之一。此外,膳食纤维添加对食品感官及物性品质的影响也备受研究关注。适量的膳食纤维添加能显著改良面团的粉质特性,并改善其加工性能,如延缓面包的陈化速率^[3]、增强面条的弹性和咀嚼性^[3]、改善饼干的硬度和口感^[5]。膳食纤维在食品中的添加量及其对产品品质的改良作用较大程度取决于自身的理化特性^[7-8],通过改性提高膳食纤维的应用品质已被广泛认可。目前,膳食纤维的改性方法主要包括化学法、生物法和物理法,其中安全且简便的物理法颇受青睐^[9]。膳食纤维的物理改性研究以超微粉碎、超高压和挤压为主^[10-11],而高温处理对膳食纤维品质的影响尚鲜见报道。

作为籽莲加工的主要副产物,莲蓬尚缺乏有效的加工利用途径。莲蓬中的化学成分主要包括多酚、生物碱、蛋白质、脂肪、糖类、纤维、胡萝卜素、维生素等,其中仅原花青素因特异的生物功效引起广泛关注^[12]。莲蓬中粗膳食纤维含量达 84.16% (干重)^[13],而涉及膳食纤维的研究开发尚鲜见报道。本研究采用双酶法制备莲蓬膳食纤维^[13],通过响应面法优化其高温改性工艺,评价改性对膳食纤维理化及应用特性的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

干莲蓬壳 由湖北万荷堂莲业发展有限公司提供;高筋和中筋小麦面粉 河南金龙面业有限公司;细砂糖 广东福正东海食品有限公司;精致碘盐 湖北盐业集团有限公司;玉米油 中国粮油食品(集团)有限公司;碳酸氢钠、碳酸氢铵及其他辅料 食品级,国药集团化学试剂有限公司; α -淀粉酶 上海阿拉丁生化科技股份有限公司;木瓜蛋白酶 上海 Kayon 公司;盐酸、氢氧化钠、磷酸氢二钠、磷酸二氢钾和无水乙醇 分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

YB-1000A 型高速多功能粉碎机 永康市速锋工贸有限公司;V-1100D 型可见光光度计 上海美谱达仪器有限公司;Scout SE 电子天平 奥豪斯仪器(常州)有限公司;QM-430 家用面条机 常州市墅乐厨具有限公司;BO-K35 电烤箱 佛山市贝奥电器有限公司;S-3000N 扫描电镜 日本 HATACHI 公司;TS-5000Z 型电子舌 日本 INSENT 公司;TAXTPlus 型质构仪 英国 SMSTA 公司;LS-30 型立式压力蒸汽灭菌锅 上海博迅实业有限公司医疗设备厂。

1.2 实验方法

1.2.1 莲蓬不溶性膳食纤维的改性工艺 采用复合酶法制备莲蓬不溶性膳食纤维(LIDF)^[13]。称取适量的 LIDF 粉末置于锥形瓶中,加入一定比例的蒸馏水湿润后以硅胶塞密封。将锥形瓶置于灭菌锅内高温处理一段时间后,测定可溶性膳食纤维(SDF)含量;或高温高压处理后过滤分离滤渣,75℃下热风干燥获得改性莲蓬膳食纤维(MLDF)。

1.2.2 单因素实验设计

1.2.2.1 料液比 在改性温度 115℃和时间 30 min 的

条件下,考察料液比(1:3、1:6、1:9、1:12、1:15 g/mL)对 SDF 生成的影响。

1.2.2.2 改性温度 在料液比 1:9 g/mL 和改性时间 30 min 的条件下,考察改性温度(105、110、115、120、125℃)对 SDF 生成的影响。

1.2.2.3 改性时间 在料液比 1:9 g/mL 和改性温度 115℃的条件下,考察改性时间(10、20、30、40、50 min)对 SDF 生成的影响。

1.2.3 响应面实验设计 在单因素实验的基础上,采用 Box-Behnken 中心组合设计响应面实验,实验因素及水平见表 1。

表 1 实验因素与水平表

Table 1 Experimental factors and levels table

| 水平 | 因素 | | |
|----|------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| | X ₁ 料液比 (g/mL) | X ₂ 改性温度 (℃) | X ₃ 改性时间 (min) |
| -1 | 1:3 | 115 | 20 |
| 0 | 1:6 | 120 | 30 |
| 1 | 1:9 | 125 | 40 |

1.2.4 膳食纤维的理化特征分析 参考国标方法测定可溶性膳食纤维含量^[14];参考王亚伟等^[15]的方法测定膳食纤维的溶胀性;参考高荫榆等^[16]的方法测定吸附胆酸钠能力;参考刘倍毓等^[17]的方法测定持水力和持油力;参考梅新等^[18]的方法测定电镜扫描。

1.2.5 莲蓬膳食纤维产品的制作工艺 莲蓬膳食纤维挂面参考商业标准^[19]制作,其中膳食纤维添加量为 3%、4%、5%,盐添加量为 1.5%、水分添加量为 35.5%。

莲蓬膳食纤维酥性饼干参考文献[5]制作,其中膳食纤维添加量为 6%、8%、10%,食用油添加量为 27.5%,疏松剂添加量为 1% (碳酸氢钠与碳酸氢铵质量比为 2:1),烘烤底火和面火温度均为 180℃,烘烤至饼干色泽变深且无焦黑色。

1.2.6 产品质构分析 随机选取烹调后的挂面(约 8 cm 长)进行 TPA 测试^[20]。选取探头 P/50,测试速度 1 mm/s,应变位移 70%,感应力 5 g,每秒获得点数 400 pps,间隔时间 3 s。测定挂面的硬度、粘附性、弹性、内聚性、回复性和咀嚼性,平行重复三次。

酥性饼干质构特征采用物性测试仪 HDP/3PB 探头进行三点弯曲实验^[21]。测试模式为压缩,测前速度 5.00 mm/s,测中速度 1.7 mm/s,测后速度 10.0 mm/s,目标模式为应变 40%,触发力为 5.0 g。每组样品平行测定 3 次。取信号曲线的最大值为样品的硬度(g),取曲线起点到最大峰值的线性距离为酥性(g·s)。

1.2.7 产品滋味分析 称取约 2.0 g 样品,加入 100 mL 的去离子水后匀浆,离心(5000 r/min,10 min),取上清液过滤。设置采样时间 120 s 和清洗时间 10 s,采用电子舌分析产品的滋味,平行测定三次。

1.3 数据处理

响应面实验采用 SAS(V8) 软件进行设计和回归分析。采用 SPSS17.0 软件进行方差分析,采用

S-N-K 检验组间数据差异,显著性水平为 $\alpha = 0.05$,图(表)中不同小写字母及*表示 0.05 水平显著性差异。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果

2.1.1 料液比对 SDF 生成的影响 由图 1 可见 SDF 含量随着料液比的增加呈下降的趋势。料液比为 1:3 g/mL 时的 SDF 含量显著高于其他实验组 ($p < 0.05$)。料液比为 1:6 和 1:9 (g/mL) 时的 SDF 含量无显著差异 ($p > 0.05$),而料液比的进一步增加导致 SDF 含量显著降低 ($p < 0.05$)。原因可能是:随着料液比增加非 SDF 杂质溶出增多,致使 SDF 含量降低。故最佳料液比为 1:3 g/mL。

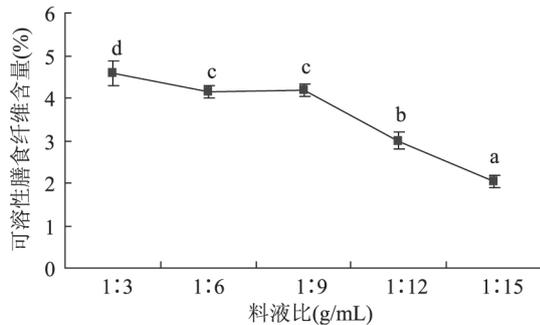


图 1 料液比对 SDF 生成的影响

Fig.1 Effect of solid-liquid ratio

on the production of soluble dietary fiber

注:不同小写字母表示可溶性膳食纤维含量在 0.05 水平的显著性差异,图 2 和图 3 同。

2.1.2 改性温度对 SDF 生成的影响 由图 2 可见,在 105~125 °C 范围内,随着处理温度的升高,SDF 含量呈现显著增加的趋势 ($p < 0.05$)。温度越高,可能对膳食纤维分子键破坏程度越大,导致一定程度的 SDF 降解^[22]。故最佳处理温度为 125 °C。

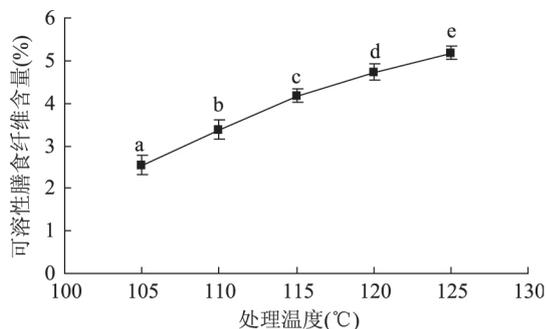


图 2 改性温度对 SDF 生成的影响

Fig.2 Effect of processing temperature

on the production of soluble dietary fiber

2.1.3 改性时间对 SDF 生成的影响 由图 3 可见,改性时间由 10 min 延长至 30 min 的过程中,SDF 含量呈显著增加趋势 ($p < 0.05$),进一步延长时间至 40 min 并未显著增加 SDF 含量 ($p > 0.05$)。但当处理时间超过 40 min 后,SDF 含量发生显著下降 ($p < 0.05$),SDF 含量由 4.20% 降低至 3.94%,可能由于长时高温作用导致部分 SDF 降解^[22]。故最佳处理时间为 30 min。

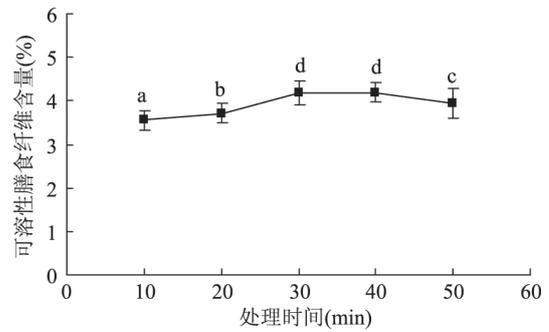


图 3 改性时间对 SDF 生成的影响

Fig.3 Effect of the processing time

on the production of soluble dietary fiber

2.2 响应面实验结果

方差分析结果表明(表 3),Y 的决定系数 R^2 值为 91.09%。逐项显著性检验结果显示:线性项 X_1 和 X_2 对 Y 有显著影响 ($p < 0.05$)。交互项对 Y 影响均不显著 ($p > 0.05$)。

表 2 响应面实验结果

Table 2 Results of response surface methodology experiment

| 实验号 | X_1 | X_2 | X_3 | Y SDF 含量(%) |
|-----|-------|-------|-------|-------------|
| 1 | -1 | -1 | 0 | 2.01 |
| 2 | 1 | -1 | 0 | 3.86 |
| 3 | -1 | 1 | 0 | 3.37 |
| 4 | 1 | 1 | 0 | 5.00 |
| 5 | -1 | 0 | -1 | 2.42 |
| 6 | -1 | 0 | 1 | 3.23 |
| 7 | 1 | 0 | -1 | 3.25 |
| 8 | 1 | 0 | 1 | 3.54 |
| 9 | 0 | -1 | -1 | 2.79 |
| 10 | 0 | 1 | -1 | 5.13 |
| 11 | 0 | -1 | 1 | 4.21 |
| 12 | 0 | 1 | 1 | 4.25 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 4.09 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 4.89 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 4.67 |

通过回归模型方差分析发现,各因素对 SDF 含量的影响为反应温度 > 料液比 > 反应时间。采用 RSREG Procedure 分析加权值回归模型得到一个稳定点,该点各因子的编码值为: $X_1 = 0.26$ 、 $X_2 = -1.03$ 、 $X_3 = 1.04$,即为料液比 1:6.78 g/mL、处理温度 114.85 °C、处理时间 40.40 min,预测值为 4.32%。为便于实际应用,优化高温法改性 LIDF 工艺条件为:料液比 1:6.75 g/mL、处理温度 115 °C、处理时间 40 min,在此条件下其可溶性膳食纤维含量达 4.33%。

2.3 改性对 LIDF 理化特性的影响

由表 4 可以看出,改性后的 MLDF 的溶胀率、持水力和吸附胆酸钠能力均显著高于 LIDF ($p < 0.05$),原因可能是:改性后膳食纤维的表面结构疏松,具有更大的比表面积,在与胆酸盐或其他物质和溶剂相接触时也能形成更多的毛细管,且更多的亲水基团暴露到表面,于是表现出更大的吸附容量^[23]。

表3 回归模型方差分析
Table 3 Regression analysis of variance

| 方差来源 | 自由度 | 平方和 | 均方 | F 值 | p |
|-------------------------------|-----|------------------------|------------------------|----------------------|--------|
| 模型 | 9 | 11.55 | 1.28 | 6.01 | 0.0312 |
| X ₁ | 1 | 0.15 | 0.15 | 12.50 | 0.0166 |
| X ₂ | 1 | 0.20 | 0.20 | 13.95 | 0.0135 |
| X ₃ | 1 | 0.02 | 0.02 | 1.58 | 0.2649 |
| X ₁ ² | 1 | 0.48 | 0.48 | 16.87 | 0.0093 |
| X ₁ X ₂ | 1 | 3.6 × 10 ⁻³ | 3.6 × 10 ⁻³ | 6.20 | 0.0552 |
| X ₁ X ₃ | 1 | 0.04 | 0.04 | 0.32 | 0.5979 |
| X ₂ ² | 1 | 0.03 | 0.03 | 1 × 10 ⁻⁴ | 0.9921 |
| X ₂ X ₃ | 1 | 0.08 | 0.08 | 0.06 | 0.8212 |
| X ₃ ² | 1 | 0.09 | 0.09 | 3.54 | 0.1185 |
| 残差 | 5 | 1.07 | 0.21 | | |
| 失拟项 | 3 | 0.73 | 0.24 | 1.42 | 0.4394 |
| 纯误差 | 2 | 0.34 | 0.17 | | |
| 总和 | 14 | 12.62 | | | |

表4 LIDF 和 MLDF 的理化特性比较

Table 4 Comparison on the physicochemical properties between LIDF and MLDF

| 理化特性 | LIDF | MLDF |
|---------------------|-------------|--------------|
| 溶胀率(%) | 0.66 ± 0.03 | 0.94 ± 0.01* |
| 持水力(%) | 2.25 ± 0.13 | 3.24 ± 0.28* |
| 持油力(%) | 4.24 ± 0.22 | 3.66 ± 0.08* |
| 吸附胆酸钠的能力 (mg/mL) | 0.28 ± 0.02 | 0.54 ± 0.04* |

注: *表示 MLDF 与 LIDF 相比相应理化指标在 0.05 水平上的显著性差异($p < 0.05$)。

在 2000 倍的放大倍数下通过电镜扫描观察发现(图4), LIDF 和 MLDF 的表现形态呈现明显差异, 前者的表面粗糙且呈无规则卷曲块状, 而后者呈分散的剥落片层状。

2.4 改性对 LIDF 添加产品质构特征的影响

由表5可知, 添加 LIDF 及 MLDF 的挂面的硬度显著高于空白组($p < 0.05$), 而其凝聚力显著低于空白组($p < 0.05$), 其余质构指标均与空白组无显著差异($p > 0.05$)。添加等量 LIDF 和 MLDF 的挂面的质构品质均无显著差异($p > 0.05$)。添加 3%~5% MLDF 的挂面的质构指标亦无显著差异($p > 0.05$), 说明改性处理 MLDF 的应用品质有效提升, 从而在产品中的添加量也可适度增加。

由表6可知, 添加 6% LIDF 和 6%~8% MLDF 并

表5 LIDF 和 MLDF 对挂面质构品质的影响

Table 5 Effects of LIDF and MLDF on the textural properties of noodle

| 实验组 | 硬度 | 凝聚力 | 胶着性 | 咀嚼性 | 弹性 | 韧性 |
|---------|---------------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 空白 | 5594.13 ± 1972.45 ^a | 0.78 ± 0.05 ^b | 4271.42 ± 1287.48 ^a | 3144.76 ± 1781.84 ^a | 0.69 ± 0.24 ^a | 0.49 ± 0.06 ^a |
| 3% LIDF | 7827.133 ± 1018.32 ^b | 0.69 ± 0.03 ^a | 5434.57 ± 857.93 ^a | 4557.19 ± 714.50 ^a | 0.84 ± 0.01 ^a | 0.42 ± 0.04 ^a |
| 3% MLDF | 8067.97 ± 349.90 ^b | 0.70 ± 0.01 ^a | 5633.60 ± 184.69 ^a | 4445.40 ± 399.09 ^a | 0.79 ± 0.05 ^a | 0.42 ± 0.01 ^a |
| 4% MLDF | 8273.76 ± 451.87 ^b | 0.69 ± 0.02 ^a | 5690.42 ± 188.72 ^a | 5147.76 ± 128.77 ^a | 0.90 ± 0.01 ^a | 0.42 ± 0.01 ^a |
| 5% MLDF | 7999.82 ± 677.16 ^b | 0.69 ± 0.01 ^a | 5519.31 ± 493.14 ^a | 4770.71 ± 538.38 ^a | 0.86 ± 0.02 ^a | 0.43 ± 0.01 ^a |

注: 不同小写字母表示不同实验组的同一质构品质在 0.05 水平的显著性差异, 表6同。

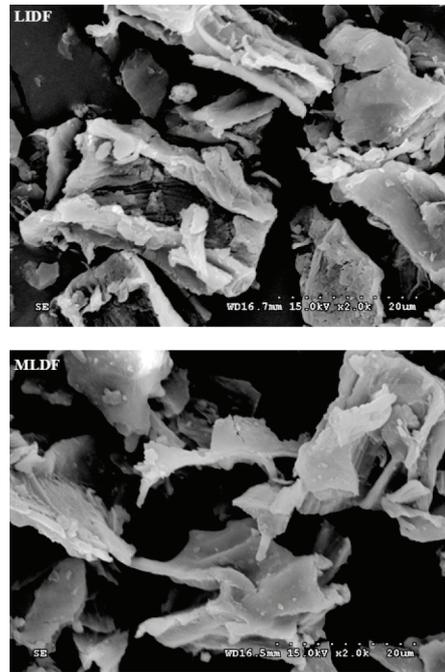


图4 LIDF 和 MLDF 的 SEM 图比较(2000 ×)

Fig.4 Comparison on the SEM images of LIDF and MLDF(2000 ×)

未显著改变酥性饼干的硬度和酥性, 改性能适度增加 MLDF 在饼干中的添加量。但当其添加量增大至 10% 时, 饼干的硬度和酥性亦随之显著增大($p < 0.05$), 其原因可能在于: 随着添加量的增加, 面团中的面筋含量被稀释, 影响面筋网络的形成, 降低面团的韧性, 使饼干空隙增大, 水分很难被保留下来, 导致饼干变干, 使酥性、硬度增大^[24]。

表6 LIDF 和 MLDF 对酥性饼干质构品质的影响

Table 6 Effects of LIDF and MLDF on the textural properties of biscuit

| 实验组 | 硬度 | 酥性 |
|----------|--------------------------------|--------------------------------|
| 空白 | 4002.93 ± 285.60 ^a | 3963.61 ± 302.75 ^a |
| 6% LIDF | 2966.30 ± 243.59 ^a | 3105.20 ± 464.48 ^a |
| 6% MLDF | 3888.87 ± 1294.37 ^a | 3811.06 ± 1274.97 ^a |
| 8% MLDF | 4362.19 ± 370.27 ^a | 4289.37 ± 364.31 ^a |
| 10% MLDF | 6193.02 ± 1319.60 ^b | 6140.49 ± 1385.72 ^b |

2.5 改性对 LIDF 添加产品滋味特征的影响

由图5可知, 3% LIDF 添加挂面的苦味、涩味、回味-B 及咸味均强于空白组; 3% MLDF 添加挂面的苦味、涩味、回味-B 及咸味均弱于 LIDF 添加挂面;

随着 MLDF 添加量的增加,挂面的苦味及回味-B 明显增强。改性后 LIDF 对挂面的滋味影响减弱,过量的 MLDF 添加主要导致挂面苦味和回味-B 增加,原因可能是:莲蓬膳食纤维中某些导致苦味的物质在挂面中累积所致。

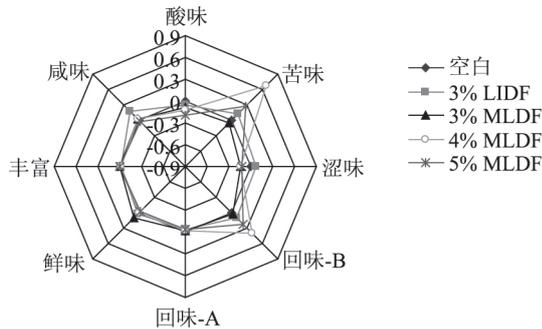


图5 挂面电子舌雷达图

Fig.5 Radar map of the noodle by electronic tongue

由图6可知,6% LIDF 添加能明显增强酥性饼干的苦味、涩味、回味-B 及咸味,并显著降低其酸味;6% MLDF 添加酥性饼干的苦味和回味-B 均弱于 LIDF 添加饼干,但涩味及咸味相对较强;随着 MLDF 添加量的增大,饼干的苦味和回味-B 随之增强。改性能减弱 LIDF 引入的苦味和回味-B,并明显降低饼干的酸味,过量的 MLDF 添加主要导致饼干苦味和回味-B 增加。

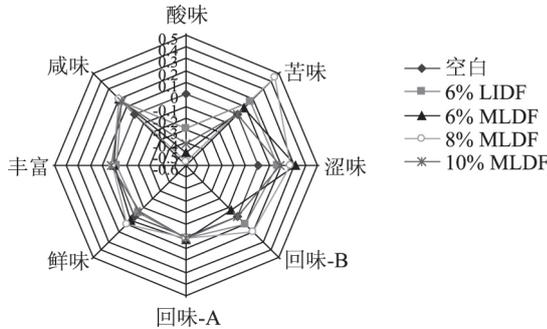


图6 酥性饼干电子舌雷达图

Fig.6 Radar map of the biscuit by electronic tongue

3 结论

3.1 在单因素的基础上,采用响应面法优化莲蓬不溶性膳食纤维(LIDF)的高温改性工艺参数为:料液比 1:6.75 g/mL、处理温度 115 °C、处理时间 40 min,在此条件下可溶性膳食纤维含量达 4.33%。

3.2 相比 LIDF,高温改性所得 MLDF 的溶胀率、持水力和吸附胆酸钠能力显著增加,而持油力显著降低,且表现形态发生明显变化。

3.3 添加粗膳食纤维的挂面硬度显著增大,而凝聚力显著减小,添加高温改性膳食纤维添加量为 10% 时,酥性饼干的硬度与酥性均显著增加。

3.4 挂面和饼干中添加粗膳食纤维其苦味、涩味、回味-B 及咸味升高,添加 3% 的改性膳食纤维有明显降低挂面滋味的作用,过量的 MLDF 添加主要导致挂面和饼干苦味及回味-B 的增加。

参考文献

[1] C W C Kendall, A Esfahani, D J A Jenkins. The link between dietary fiber and human health [J]. Food Hydrocolloids, 2010, 24 (1): 45-46.

[2] J L Slavin. Dietary fiber and body weight [J]. Nutrition, 2005, 21(3): 411-418.

[3] 明建, 宋欢, 赵国华. 豌豆苗膳食纤维的添加对面团和面包物性的影响 [J]. 食品科学, 2008, 29(10): 67-70.

[4] 张东仙, 项怡, 陈永强, 等. 添加燕麦麸皮对挂面品质特性的影响 [J]. 食品工业科技, 2015, 36(3): 105-109.

[5] 刘宇, 程建军. 豆渣膳食纤维对酥性饼干特性的影响 [J]. 食品工业科技, 2012, 33(4): 173-176.

[6] 刘婷婷, 魏春光, 王大为. 马铃薯高品质膳食纤维在面包生产中的应用 [J]. 食品科技, 2013, 38(12): 188-193.

[7] 吴丽萍, 朱妞, 陈雪峰. 花生壳膳食纤维化学改性工艺参数优化及品质分析 [J]. 食品工业科技, 2014, 35(22): 286-289.

[8] 邵娟娟, 马晓军. 豌豆皮膳食纤维吸附性质和抗氧化性质的研究 [J]. 食品工业科技, 2011, 32(8): 157-159, 163.

[9] 王强, 赵欣. 不同膳食纤维改性技术研究进展 [J]. 食品工业科技, 2013, 34(9): 392-394.

[10] 刘伟, 刘成梅, 黎冬明, 等. 瞬时高压作用对麦麸膳食纤维改性的研究 [J]. 食品科学, 2006, 27(11): 82-85.

[11] 刘婷婷, 魏春光, 王大为. 马铃薯高品质膳食纤维在面包生产中的应用 [J]. 食品科技, 2013, 38(12): 188-193.

[12] 陈超群. 莲房的化学成分研究 [D]. 昆明: 云南中医学院, 2013.

[13] 龚超, 孔萍, 孙杰, 等. 双酶法制备莲房膳食纤维的工艺优化 [J]. 农产品加工, 2015(3): 22-26.

[14] 中华人民共和国国家标准委员会. GB/T 5009.88-2008 食品中膳食纤维的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

[15] 王亚伟, 张一鸣, 胡秋娟. 不同颗粒度玉米膳食纤维与其物化特性的关系研究 [J]. 食品工业科技, 2007, 28(5): 100-103.

[16] 高荫榆, 晁红娟, 丁红秀, 等. 毛竹叶特种膳食纤维制备及特性的研究 [J]. 食品科学, 2007, 28(12): 200-204.

[17] 刘倍毓, 郑红艳, 钟耕, 等. 小米麸皮膳食纤维成分及物化特性测定 [J]. 中国粮油学报, 2011, 26(10): 30-33.

[18] 梅新, 木泰华, 陈学玲, 等. 超微粉碎对甘薯膳食纤维成分及物化特性影响 [J]. 中国粮油学报, 2014, 29(2): 76-80.

[19] SB/T 10175-93 挂面生成工艺技术规程 [S]. 中华人民共和国商业部, 1992.

[20] 文波, 张名位, 张雁, 等. 广式月饼感官评分与 TPA 参数的相关性 [J]. 中国粮油学报, 2012, 27(1): 91-95.

[21] 姜松, 胡慧群, 赵杰文. 三点弯曲法测定饼干在贮藏过程中的质地变化 [J]. 中国粮油学报, 2009, 34(3): 25-29.

[22] 朱洪梅, 于燕, 孟娜. 葵花子皮中水溶性膳食纤维初步研究 [J]. 中国农学通报, 2013, 29(3): 209-214.

[23] 胡叶碧. 改性玉米皮膳食纤维的酶法制备及其降血脂机理研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2008.

[24] 王璐, 雷激, 王明. 柠檬皮渣膳食纤维在饼干中的应用 [J]. 食品与发酵科技, 2014, 50(1): 51-55.