

芸豆渣膳食纤维超声辅助酶法提取工艺优化及特性研究

Optimization of ultrasonic assisted enzymatic extraction of dietary fiber from light speckled kidney bean

张艳莉¹ 王颖^{1,2} 王迪¹ 佐兆杭¹ 刘淑婷¹

ZHANG Yan-li¹ WANG Ying^{1,2} WANG Di¹ ZUO Zhao-hang¹ LIU Shu-ting¹

(1. 黑龙江八一农垦大学食品学院, 黑龙江 大庆 163319;

2. 国家杂粮工程技术研究中心, 黑龙江 大庆 163319)

(1. College of Food Science, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China;

2. National Coarse Cereals Engineering Research Center, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

摘要:超声波辅助复合酶(1.0%碱性蛋白酶和 0.2%耐高温 α -淀粉酶)酶解脱脂后的奶白花芸豆豆渣,提取其中的膳食纤维。研究了超声条件对水不溶性膳食纤维(IDF)和水溶性膳食纤维(SDF)提取率的影响,优化了提取工艺条件,并研究了芸豆渣膳食纤维的结构及理化性质。试验结果表明:超声时间 25 min、功率 250 W、温度 60 ℃ 时,IDF 提取率达到 60.11%,SDF 提取率为 5.63%;两种膳食纤维的红外光谱中有特征吸收峰;SDF 持水力比 IDF 高出 1.828 g/g,持油力高出 0.69 g/g。

关键词:超声辅助酶法;芸豆;豆渣;膳食纤维;结构表征;理化性质

Abstract: Ultrasonic assisted complex enzyme (1.0% alkaline protease and 0.2% high temperature resistant α -amylase) was used to extract dietary fiber from milk white colored kidney bean residue after enzymolysis. The effect of ultrasonic conditions on the extraction rate of water-insoluble dietary fiber (IDF) and water-soluble dietary fiber (SDF) was studied. The results showed that the extraction rate of IDF and SDF reached 60.11% and 5.63% respectively, when extracted with 250 W of ultrasonic at 60 ℃ 25 min. There were characteristic absorption peaks in the infrared spectra of DF. The water holding capacity of SDF was 1.828 g/g higher than that of IDF, and the oil holding capacity

was 0.69 g/g higher than that of IDF.

Keywords: ultrasound-assisted enzymatic method; kidney bean; bean dregs; dietary fiber; structural characterization; physico-chemical property

奶白花芸豆(light speckled kidney bean)是黑龙江省盛产的地标性杂豆^[1],营养丰富,药用价值高。富含皂苷、尿毒酶和多种球蛋白等特有功能因子,可促进 DNA 合成,增强免疫力^[2]。豆渣是杂豆制品的加工副产物,常被当作农产品废弃物以饲料化、肥料化及能源化处理^[3-4]。研究^[5-6]表明,豆渣干物质中富含膳食纤维、蛋白质、矿物质和其他甾醇类化合物等。现阶段有关大豆豆渣的研究相对成熟,但对于芸豆豆渣的研究^[7]甚少且未见有关芸豆渣膳食纤维的相关研究报道。

膳食纤维根据其溶解性分为水溶性膳食纤维(soluble dietary fiber, SDF)和水不溶性膳食纤维(insoluble dietary fiber, IDF),豆渣膳食纤维因其独特的膨胀性、发酵性等物化特性而呈现出不同的生理功能^[8]。如控制体重,预防肥胖症;降血脂,预防心血管疾病^[9];改变消化道的 pH 值、渗透压,降血糖,预防糖尿病^[10];改善肠道菌群及其他物化特性和生理功能^[11]。目前,常见的膳食纤维提取方法分五大类:化学提取^[12]、物理提取^[13]、酶法提取^[14]、发酵法提取^[15]及复合提取。张祖蛟等^[16]采用酶法辅助碱液的复合方法提取生姜残渣中 SDF,研究发现复合的提取方法比单一提取方法得率高出 4.7%。陆红佳等^[17]研究了超声辅助碱法提取姜渣中 IDF,最佳工艺条件下,IDF 得率达 54.14%,较前人单一碱法提取有所提高。试验拟以奶白花芸豆豆渣为原料,参照前

基金项目:国家科技部重点研发计划(编号:2017YFD0401203);黑龙江省科技厅项目(编号:TDJH201806);黑龙江省特色杂粮学科项目(编号:201705);黑龙江省农垦总局科技项目(编号:HNK135-05-02)

作者简介:张艳莉,女,黑龙江八一农垦大学在读硕士研究生。

通信作者:王颖(1979—),女,黑龙江八一农垦大学教授,博士。
E-mail: wychen156@163.com

收稿日期:2019-05-08

人^[18-20]的成果采用超声辅助碱性蛋白酶和耐高温 α -淀粉酶法提取膳食纤维,以期为芸豆膳食纤维的功能性研究提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 试验材料

奶白花芸豆豆渣:黑龙江省漠河市新建村;

石油醚、乙醇、氢氧化钠、盐酸:分析纯,大庆高新区锦晟鑫经贸有限公司;

碱性蛋白酶(酶活 2×10^5 U/g)、耐高温 α -淀粉酶(酶活 2×10^4 U/mL):上海通蔚实业有限公司。

1.1.2 仪器设备

数显型实验室搅拌机:LABSJB-450 型,常州励岸宝

豆渣→预处理→脱脂→脱蛋白→灭酶→脱淀粉→灭酶→离心→
 滤液→浓缩→醇沉→抽滤→滤出物干燥→IDF
 滤渣→水洗至中性→抽滤→滤出物冷冻干燥→SDF

1.2.2 操作要点

(1) 豆渣预处理:将豆渣烘干($50 \sim 60$ °C)至恒重,粉碎 30 s 左右后过 40 目筛备用。

(2) 脱脂:豆渣与石油醚按料液比 1:5(g/mL)混匀,搅拌脱脂 4~6 h,按上述条件脱脂两次。

(3) 脱蛋白:准确称取 10 g 脱脂后的豆渣粉,按料液比 1:10(g/mL)加入蒸馏水,用氢氧化钠调 pH 至 8~9,加入 1.0%碱性蛋白酶^[21],在超声辅助下酶解蛋白质。

(4) 脱淀粉:用盐酸调 pH 至 5.5,加入 20 μ L 耐高温 α -淀粉酶^[22],在超声辅助下酶解淀粉。

(5) 灭酶:121 °C,15 min。

(6) 离心:4 000 r/min,15 min。

(7) 分离 IDF 和 SDF:用蒸馏水冲洗滤渣至中性,55 °C 干燥 6~8 h 得 IDF;35~40 °C 旋转蒸发仪浓缩滤液至 20 mL,5 倍体积的乙醇醇沉 12 h 后抽滤,絮状物清洗至中性后,冷冻干燥 12 h 得 SDF。于冰箱 4 °C 保存。

1.2.3 IDF 和 SDF 提取率的计算 按式(1)计算 IDF 或 SDF 提取率。

$$c = \frac{m_1}{m_2} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

c ——IDF 或 SDF 提取率,%;

m_1 ——提取的 IDF 或 SDF 质量,g;

m_2 ——样品质量,g。

1.2.4 单因素试验设计

(1) 超声温度对 SDF 和 IDF 提取率的影响:控制超声时间 30 min,超声功率 200 W,考察超声温度(50,55,60,65,70 °C)对 SDF 和 IDF 提取率的影响。

(2) 超声时间对 SDF 和 IDF 提取率的影响:控制超声温度 60 °C,超声功率 200 W,考察超声时间(20,25,30,

机械设备科技有限公司;

超声波清洗机:DL-360B 型,上海之信仪器有限公司;

冷冻干燥机:FD-1A-50 型,上海之信仪器有限公司;

高速超微粉碎机:YC-04B 型,广州金本机械设备有限公司;

电热恒温干燥箱:DGG-9140A 型,上海贝仑仪器设备有限公司;

台式多用途高速离心机:JIDI-18D 型,广州吉迪仪器有限公司;

傅里叶变换红外光谱仪:FTIR-1500 型,中世沃克(天津)科技发展股份有限公司。

1.2 方法

1.2.1 工艺流程

豆渣→预处理→脱脂→脱蛋白→灭酶→脱淀粉→灭酶→离心→
 滤液→浓缩→醇沉→抽滤→滤出物干燥→IDF
 滤渣→水洗至中性→抽滤→滤出物冷冻干燥→SDF

35,40 min)对 SDF 和 IDF 提取率的影响。

(3) 超声功率对 SDF 和 IDF 提取率的影响:控制超声温度 60 °C,超声时间 30 min,考察超声功率(100,150,200,250,300 W)对 SDF 和 IDF 提取率的影响。

1.2.5 正交试验设计 在单因素试验的基础上,以超声时间、温度及功率 3 个因素为正交试验因素,设计 $L_9(3^3)$ 正交表,以 IDF 和 SDF 的提取率为考察指标,通过正交试验进行结果分析,确定最佳超声提取工艺。

1.2.6 基本结构及理化性质的测定

(1) 傅里叶红外光谱:称约 2 mg 样品,KBr 压片法样品压片,4 000~400 cm^{-1} 红外光谱范围内扫描。将充分干燥膳食纤维粉末与 KBr 按质量比 1:100 混匀测定^[21]。

(2) 持水力:准确称样品 1.000 g 溶解于 100 mL 离心管,(25 ± 2) °C 下搅拌 30 min,静置 1 h,4 000 r/min 离心 10 min,倾去上清液,甩干称重,按式(2)计算持水力。

$$c = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

c ——持水力,g/g;

m_1 ——样品湿重,g;

m_2 ——样品干重,g。

(3) 膨胀力:准确称取干燥样品 0.100 0 g,置于 10 mL 量筒内,移液管准确移取 5.00 mL 蒸馏水加入其中,振荡均匀,在(25 ± 2) °C 下放置 24 h,然后读取量筒中不溶性膳食纤维的体积,按式(3)计算膨胀力。

$$c = \frac{v_1 - v_2}{m_1} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

c ——膨胀力,mL/g;

v_1 ——膨胀后样品体积, mL;

v_2 ——干品体积, mL;

m_1 ——样品干重, g。

(4) 持油力测定:精确称取 1.00 g 样品于 50 mL 离心管中,加入 20 mL 大豆油,混匀,每隔 5 min 搅拌一次,0.5 h 后,将混合物在 1 600 r/min 下离心 25 min,除上层油液,残渣称重。按式(4)计算持油力。

$$c = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100\%, \quad (4)$$

式中:

c ——持油力, g/g;

m_1 ——样品湿重, g;

m_2 ——样品干重, g。

1.2.7 数据处理 采用 Excel 处理原始数据,利用 Origin 18.0 进行数据处理及分析。试验重复 3 次。

2 结果与讨论

2.1 提取工艺优化

2.1.1 超声温度对提取率的影响 超声温度对 SDF 和 IDF 提取率的影响如图 1 所示。随温度升高, SDF 和 IDF 的提取率递增,达 60 °C 时 DF 提取率达到最高,之后随温度升高提取率快速下降,其中 SDF 下降趋势更明显。推测适宜的温度有利于打破纤维素与半纤维素间的氢键^[22],过高的温度使大分子多糖不易溶出,导致提取率降低。

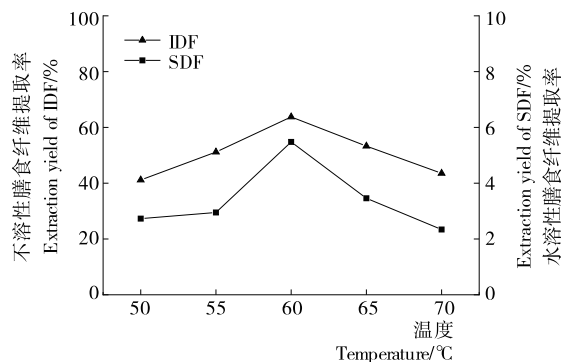


图 1 超声温度对膳食纤维提取率的影响

Figure 1 Ultrasonic temperature on the influence of dietary fiber extraction yield

2.1.2 超声功率对提取率的影响 超声功率对 SDF 和 IDF 提取率的影响如图 2 所示。随着功率增加, IDF 和 SDF 提取率呈上升趋势,到达 200 W 时,提取率最大;随功率继续增加,提取率开始下降, SDF 的下降速度较 IDF 更为明显。推测超声的共振作用和空化效应会影响膳食纤维的内部结构,超声波功率较高时机械剪切作用会破坏单糖的链,因此 SDF 提取率波动更显著。

2.1.3 超声时间对提取率的影响 超声时间对 SDF 和

IDF 提取率的影响如图 3 所示。随时间增加,提取率呈现缓慢增加趋势,在 25~30 min 时提取率上升趋势最明显,30 min 后提取率有所下降,可能是膳食纤维内部结构被打开,使果胶、低聚糖等单糖物质溶出,时间增加,提取率缓慢下降。考虑成本因素,确定 30 min 为最佳超声时间。

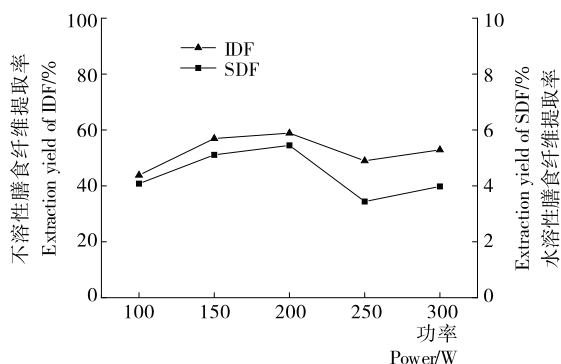


图 2 超声功率对膳食纤维提取率的影响

Figure 2 Ultrasonic power on the influence of dietary fiber extraction yield

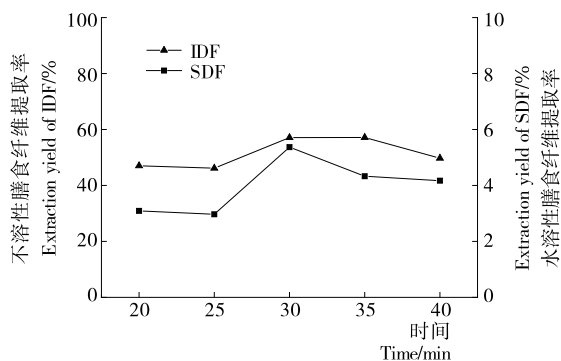


图 3 超声时间对膳食纤维提取率的影响

Figure 3 Ultrasonic time on the influence of dietary fiber extraction yield

2.1.4 正交试验 $L_9(3^3)$ 正交试验因素与水平设计见表 1,正交试验结果见表 2。 R_j 值越大表明该因素水平对指标影响越大, IDF 和 SDF 提取率影响因素的主次顺序都为 $A>B>C$,最优超声提取工艺为 $A_2B_1C_3$,即超声温度 60 °C、超声时间 25 min、超声功率 250 W。按该条件进行验证实验重复 3 次,得到奶白花芸豆 IDF 的平均提取率为 60.11%, SDF 的平均提取率为 5.63%。

表 1 $L_9(3^3)$ 正交试验因素与水平设计

Table 1 $L_9(3^3)$ Orthogonal test factors and horizontal design

水平	A 超声温度/°C	B 超声时间/min	C 超声功率/W
1	55	25	150
2	60	30	200
3	65	35	250

表 2 正交试验结果
Table 2 Orthogonal test result

试验号	A	B	C	提取率/%	
				IDF	SDF
1	1	1	1	50.36	3.87
2	1	2	2	46.32	2.97
3	1	3	3	47.89	3.24
4	2	1	2	59.07	5.45
5	2	2	3	57.14	5.11
6	2	3	1	53.06	3.98
7	3	1	3	51.34	2.95
8	3	2	1	49.79	3.02
9	3	3	2	47.29	2.57
IDF	k_1	48.19	53.59	51.07	最优组合 $A_2B_1C_3$
	k_2	56.42	51.08	50.89	
	k_3	49.47	49.41	52.12	
	R_j	8.23	4.18	1.23	
SDF	k_1	3.36	4.09	3.62	最优组合 $A_2B_1C_3$
	k_2	4.85	3.70	3.66	
	k_3	2.85	3.26	3.76	
	R_j	2.00	0.83	0.15	

2.2 膳食纤维的结构表征

对最优工艺提取的奶白花芸豆膳食纤维进行结构表征见图 4。由图 4 可看出, IDF 在 $3\,421.26\text{ cm}^{-1}$ 处有特征吸收峰, 是由 O—H 伸缩振动产生; 在 $2\,925\text{ cm}^{-1}$ 处有明显吸收峰, 表明有 C—H 存在; 在 $2\,500\sim1\,000\text{ cm}^{-1}$ 间有吸收峰, 是由 C=C 伸缩振动及 C—H 弯曲振动引起, 有研究^[23-24]表明纤维素、半纤维素类物质在 $3\,500\sim1\,000\text{ cm}^{-1}$ 间有吸收峰。SDF 在 $3\,420.55\text{ cm}^{-1}$ 处有特征吸收峰, 表明有—OH 存在; 在 $3\,000\sim1\,300\text{ cm}^{-1}$ 间有

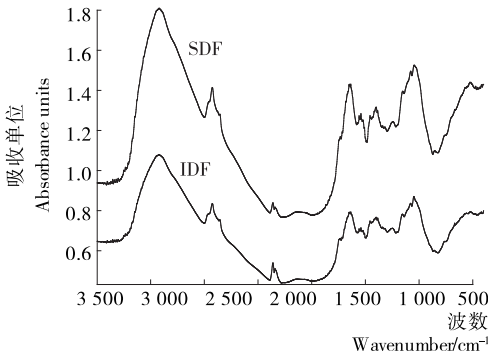


图 4 奶白花芸豆 SDF 和 IDF 的红外光谱图

Figure 4 Infrared spectra of SDF and IDF of light speckled kidney bean

明显的吸收峰, 是由 C=O 伸缩振动产生; 在 $1\,300\sim1\,000\text{ cm}^{-1}$ 间也有吸收峰, 表明有—C—O—C 的存在, 半乳糖、鼠李糖等单糖在 $3\,300\sim2\,500\text{ cm}^{-1}$ 和 $1\,700\sim650\text{ cm}^{-1}$ 间都有吸收峰, 说明所提取的可溶性膳食纤维中有单糖类物质的存在。

2.3 膳食纤维的理化性质

以最优超声条件提取的奶白花芸豆膳食纤维为测定样本, 测得样品的指标如下: IDF 的持水力为 3.922 g/g , SDF 的持水力为 5.750 g/g ; IDF 的持油力 0.68 g/g , SDF 的持油力 1.37 g/g ; IDF 的膨胀力为 5 mL/g , SDF 的膨胀力为 2 mL/g 。可见奶白花芸豆水溶性膳食纤维的持水力和持油力明显高于水不溶性膳食纤维, 与 Kaya 等^[25]对杂豆膳食纤维性质的研究结果一致, 因为水溶性膳食纤维中含有的果胶、多糖等物质具有可以包裹水和油脂的三键和羰基等组分, 使其具有更好的持水性和持油性。

3 结论

通过单因素试验选出最优水平, 由 $L_9(3^3)$ 正交试验得出最优超声工艺: 超声温度 $60\text{ }^\circ\text{C}$ 、时间 25 min 、功率 250 W , 此条件下所得膳食纤维提取率最高, 奶白花芸豆水不溶性膳食纤维提取率为 60.11% , 水溶性膳食纤维的提取率为 5.43% 。所得水溶性膳食纤维的持水力和持油力均高于水不溶性膳食纤维, 分别为 $5.75, 1.37\text{ g/g}$, 而水不溶性膳食纤维的膨胀力明显优于水溶性膳食纤维, 为 5 mL/g 。红外光谱表明, 奶白花芸豆水不溶性膳食纤维中含有纤维素和半纤维素类物质, 水溶性膳食纤维中含有半乳糖、鼠李糖等功能因子。膳食纤维中水溶性膳食纤维的含量高于 10% 为优质膳食纤维, 因此后期可研究对豆渣进行改性以提高其水溶性膳食纤维的含量。

参考文献

[1] HAN Chun-ran, YAO Shan-shan, XU Xin. Granule structure and physico-chemical properties of light speckled kidney bean starch[J]. Food Science, 2012, 33(3): 63-67.
[2] 于雪慧, 童军茂, 张建. 奶花芸豆中凝集素的提取、纯化及鉴定[J]. 食品工业科技, 2018, 39(15): 54-60, 65.
[3] ZHU Guang-yong, ZHU Xian, QI Fan, et al. Production of reducing sugars from bean dregs waste by hydrolysis in sub-critical water[J]. Journal of Analytical & Applied Pyrolysis, 2011, 90(2): 182-186.
[4] TAO Ji-de, HE Yu-feng, YANG Cai-xia, et al. Advanced in extraction, modification, and utilization of the active constituents from beandregs[J]. Natural Product Research and Development, 2012, 20(3): 55-58.
[5] 赵影, 韩建春, 郑环宇, 等. 豆渣深加工及综合利用的研究现状[J]. 大豆科学, 2013, 32(4): 555-560.

- [6] 李梓铭, 李红爱. 膳食纤维研究现状的问题分析及发展方向的预测[J]. 现代食品, 2018(10): 18-22, 26.
- [7] 张武松, 迟永楠, 孙艳, 等. 白芸豆豆渣中淀粉的提取及其特性研究[J]. 粮食加工, 2017(5): 44-48.
- [8] 张松. 膳食纤维的功能特性及在食品领域的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(17): 221-225.
- [9] GUO Zeng-wang, MA Ping, DIAO Jing-jing, et al. Physico-chemical and adsorption properties of ultramicro insoluble dietary fiber from soybean hull[J]. Food Science, 2018, 39(5): 106-112.
- [10] 佐兆杭, 王颖, 刘淑婷, 等. 杂豆膳食纤维对糖尿病大鼠的降血糖作用[J]. 食品科学, 2018, 39(1): 177-181.
- [11] ADAMS S, CHE Dong-sheng, QIN Gui-xin, et al. Interactions of dietary fiber with nutritional components on gut microbial composition, function, and health in monogastrics[J]. Current Protein & Peptide Science, 2018, 19(10): 1 011-1 023.
- [12] 耿舒雯, 张有林, 张润光, 等. 核桃粕膳食纤维提取、结构分析及粒度差异对其理化性质的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(18): 50-55.
- [13] WANG Li, LIU Hua-min, XIE Ai-jun, et al. Dietary fiber extraction from defatted corn hull by hot-compressed water[J]. Polish Journal of Food & Nutrition Sciences, 2017, 68(2): 133-140.
- [14] 张玉锋, 宋彦博, 王志煌, 等. 椰蓉膳食纤维的酶法提取与理化性质分析[J]. 食品研究与开发, 2018(3): 24-29.
- [15] 闵钟燮, 贾笑雨, 解铁民, 等. 微生物发酵法提取米糠粕中可溶性膳食纤维的研究[J]. 中国酿造, 2017, 36(8): 53-56.
- [16] 张祖姣, 王博, 李梦龙. 酶法辅助碱液提取生姜残渣中可溶性膳食纤维的研究[J]. 湖南科技学院学报, 2018, 39(5): 42-44.
- [17] 陆红佳, 况慧, 刘庆庆. 超声波辅助法提取姜渣中不溶性膳食纤维的研究[J]. 食品工业, 2018(7): 32-36.
- [18] 薛山. 紫薯不溶性膳食纤维超声辅助酶法提取工艺及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(5): 153-157, 163.
- [19] 赵泰霞, 张明玉. 超声波辅助酶法提取红豆中的膳食纤维[J]. 农产品加工, 2016(7): 8-11.
- [20] 徐学玲. 大豆膳食纤维的超声提取及性质研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2010: 41-49.
- [21] 沈杰. 黑豆豆渣不溶性膳食纤维硫酸酯制备及其功能性质[D]. 扬州: 扬州大学, 2015: 23-31.
- [22] CHEN Sheng-nan, JIANG Lian-zhou, YANG Li, et al. Ultrasound-assisted enzymatic extraction of dietary fiber from pods[J]. Procedia Engineering, 2011, 15(2): 5 056-5 061.
- [23] 杨梦曦, 朱叶, 邓雪盈, 等. 复合酶法提取豆渣膳食纤维的研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 186-189.
- [24] QIAN Jian-ya, DING Xiao-ling. Effect of twin-screw extrusion on the functional properties of soya fibre[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1996, 71(1): 64-68.
- [25] KAYA E, TUNCEL N B. The effect of ultrasound on some properties of pulse hulls[J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 54(9): 2 779-2 788.

(上接第 130 页)

中钙盐复配盐降低钠含量效果最为显著,但钙盐复配盐干腌肉块的色泽、风味较差;为保证产品质量,采用 30% KCl 和 7% 咸味肽用于干腌肉块制品中替代钠盐的效果更佳。后续可考虑将钾盐与钙盐、镁盐等联合使用替代钠盐来提升发酵肉制品品质。

参考文献

- [1] 梁静, 赵俊仁, 纪玉刚, 等. 几种发酵肉制品的微生物安全性分析[J]. 黑龙江畜牧兽医: 下半月, 2010(11): 34-35.
- [2] XANTHAKIS E, HAVET M, CHEVALLIER S, et al. Effect of static electric field on ice crystal size reduction during freezing of pork meat[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2013, 20: 115-120.
- [3] GELABERT J, GOU P, GUERRERO L, et al. Effect of sodium chloride replacement on some characteristics of fermented sausages[J]. Meat Science, 2003, 65(2): 833-839.
- [4] 陈佳新, 逢晓云, 夏秀芳, 等. KCl 部分替代 NaCl 对低钠盐肉脯质量的影响[J]. 肉类研究, 2017, 31(6): 24-28.
- [5] 李迎楠, 刘文营, 张顺亮, 等. 牛骨咸味肽氨基酸分析及在模拟加工条件下功能稳定性分析[J]. 肉类研究, 2016, 30(1): 11-14.
- [6] 许美娜. 洋葱皮及洋葱皮提取物对烤牛肉饼风味影响研究[D]. 延吉: 延边大学, 2018: 20-27.
- [7] BARBOSA P T, SANTOS I C V, FERREIRA V C S, et al. Physicochemical properties of low sodium goat kafta[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 76: 314-319.
- [8] 朱国斌, 鲁红军. 食品风味原理与技术[M]. 北京: 北京大学出版社, 1996: 13-221.
- [9] 侯婷婷, 南京熙, 林墨, 等. 延边黄牛肉挥发性风味物质[J]. 食品与机械, 2018, 34(8): 45-47, 114.
- [10] 潘见, 杨俊杰, 邹英子. 不同涂层 SPME 与 GC-MS 联用比较分析两种猪肉挥发性风味成分[J]. 食品科学, 2012, 33(12): 169-172.
- [11] 王珺, 贺稚非, 李洪军, 等. 顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱法分析兔肉的挥发性风味物质[J]. 食品科学, 2013, 34(14): 212-217.
- [12] 刘敬科. 鲢鱼风味特征及热历史对鲢鱼风味的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009: 55.
- [13] 刘丽微, 白卫东, 赵文红, 等. 猪脂控制氧化及其香气成分 GC-MS 分析[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(8): 161-165.