

薏仁米糠膳食纤维酶法制备工艺 优化及品质研究

Study on optimizing technology and physicochemical properties of coix
bran dietary fiber prepared by enzymatic method

林廷龙^{1,2} 邹 兰² 潘晓威¹ 刘元靖¹

LIN Tinglong^{1,2} ZOU Lan² PAN Xiaowei¹ LIU Yuanjing¹

(1. 中国热带农业科学院农产品加工研究所, 广东 湛江 524001; 2. 黔西南州检验检测中心, 贵州 兴义 562400)

(1. Agricultural Products Processing Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Zhanjiang, Guangdong 524001, China; 2. Qianxinan Institution Inspection and Testing Center, Xingyi, Guizhou 562400, China)

摘要:目的:优选薏仁米糠制备膳食纤维工艺,并对其品质进行研究。方法:以薏仁米糠为原料,考察料液比、淀粉酶添加量和碱性蛋白酶添加量对薏仁米糠膳食纤维提取率的影响,并对最优制备条件下所得的膳食纤维进行化学组成和物化特性分析。结果:薏仁米糠膳食纤维最佳工艺条件为料液比($m_{\text{薏仁米糠}}:V_{\text{水}}$)1:10 (g/mL),淀粉酶添加量 100 U/g,碱性蛋白酶添加量 100 U/g,此时薏仁米糠膳食纤维提取率为 84.39%。薏仁米糠膳食纤维中的不溶性膳食纤维含量明显提高,达 64.49%;可溶性膳食纤维含量为 0%,水分、脂肪、淀粉和蛋白质含量明显降低;膨胀力、持水力和持油力随温度的增高相应增大,分别为 3.12 mL/g、4.02 g/g、4.29 g/g。结论:该方法可作为提取薏仁米糠膳食纤维的可靠方法,具有较大的实用价值。

关键词:薏仁米糠;膳食纤维;物化特性;品质

Abstract: Objective: The study aimed to optimize the preparation process and investigate the quality of coix bran dietary fiber. **Methods:** The coix bran was used as raw material; the effects of solid-liquid ratio, the amount of amylase and alcalase on the extraction rate were analyzed by using orthogonal experiments. The chemical composition and physicochemical properties of the dietary fiber obtained under the optimal preparation conditions

was analyzed. **Results:** The optimal extraction parameters of dietary fiber were as follows: solid-liquid ratio was 1:10 (g/mL), the amount of amylase and alcalase was 100 U/g, respectively, and the extraction rate was up to 84.39%. The insoluble dietary fiber (64.49%) was significantly ($P < 0.05$) improved compared to coix bran. And the soluble dietary fiber was 0%, the content of moisture, fat, starch, and protein was significantly decreased ($P < 0.05$). When the temperature increased, swelling capacity, water holding capacity and oil holding capacity were improved, and was 3.12 mL/g, 4.02 g/g and 4.29 g/g, respectively. **Conclusion:** The method could be used as a reliable method to extract the coix bran dietary fiber.

Keywords: coix bran; dietary fiber; physicochemical properties; quality

膳食纤维是一类天然植物提取的有机化合物,不能被人体小肠消化,但能被大肠菌群完全或部分发酵。由于其能够改善人体营养情况并调节机体功能,因此被视为“第七类营养素”^[1]。膳食纤维又分为水溶性膳食纤维(SDF)和不溶性膳食纤维(IDF)^[2]。SDF不被人体消化,但可溶于温水或热水,主要成分为微生物多糖和合成类多糖;IDF不被人体消化且不能溶于温水或热水,主要成分为纤维素、半纤维素和木质素等。膳食纤维可以促进消化,降低血液中的胆固醇和血糖含量,从而改善健康^[3-4]。目前,膳食纤维已被作为添加剂应用于鱼糜制品、肉制品、焙烤制品、面条、馒头、饮料和乳制品中^[5-6]。在食品加工中添加一定量的膳食纤维,不仅可以提高食品的口感和风味,还增加了其保健功能,如乳制品中添加的膳食纤维可以帮助肠道保持紧凑,防止便秘、降低胆固

基金项目:黔西南州科技计划项目—科技支撑计划(编号:2018-1-13号);海南省自然科学基金(编号:321QN0927)

作者简介:林廷龙,男,黔西南州检验检测中心副主任药师。

通信作者:刘元靖(1988—),男,中国热带农业科学院农产品加工研究所助理研究员,硕士。

E-mail: 353718283@qq.com

收稿日期:2023-05-23 **改回日期:**2023-08-10

醇,并有助于调节血脂^[7]、血糖,进而促进减肥。

薏仁米糠是薏仁米在加工过程中产生的副产品,其中富含的油脂类物质和膳食纤维,是一种极具开发潜力、有高附加值的资源。目前,有关米糠类的研究还仅限于水稻等农作物^[8-10],对薏仁米糠中膳食纤维的提取研究尚未见报道,仅有部分研究人员利用薏仁米糠来提取米糠油和蛋白质^[11-13]。而薏仁米糠主要用作牲畜的饲料,甚至被当作废弃物丢掉或烧掉,利用价值极低。试验拟对薏仁米糠膳食纤维的提取工艺和特性进行研究,旨在为薏仁米糠的产品开发提供依据,并提高薏仁米糠的社会经济效益。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

薏仁米糠:贵州兴仁聚丰薏苡股份公司;

盐酸、氢氧化钠和乙醇:分析纯,重庆川东化工(集团)有限公司;

高温淀粉酶、碱性蛋白酶:上海如吉生物科技发展有限公司;

膳食纤维测定试剂盒:爱尔兰 Megazyme 公司。

1.2 仪器与设备

数显恒温振荡器:SHA-CA 型,上海梅香仪器有限公司;

高速粉碎机:XS-10 型,上海兆申科技有限公司;

pH 计:DDS-307A 型,上海盛磁仪器有限公司;

电热恒温水浴锅:DK-98-II 型,天津泰斯特仪器有限公司;

电热鼓风干燥箱:101-2AB 型,天津泰斯特仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 薏仁米糠预处理 将薏仁米糠浸入超纯水中清洗 10 min,以去除杂质,于 60 ℃热空气中烘干,粉碎备用。

1.3.2 薏仁米糠膳食纤维的制备 将 4 g 样品与超纯水按一定比例混合,加入沸水浴中糊化 15 min,50 ℃超声处理 30 min,放冷后调整 pH 至 5.5,加入淀粉酶,95 ℃振摇 60 min,调节 pH 至 10.0,添加碱性蛋白酶,60 ℃振摇 120 min,抽滤,将残渣加入预热到 60 ℃的 4 倍体积的 95%乙醇中,60 ℃水浴 60 min,取出,抽滤,60 ℃烘干,得薏仁米糠膳食纤维。

1.3.3 单因素试验

(1) 料液比:固定淀粉酶添加量 150 U/g,碱性蛋白酶添加量 150 U/g,考察料液比($m_{\text{薏仁米糠}}:V_{\text{水}}$)[1:5, 1:10, 1:15, 1:20, 1:25 (g/mL)]对薏仁米糠膳食纤维提取率的影响。

(2) 淀粉酶添加量:固定料液比($m_{\text{薏仁米糠}}:V_{\text{水}}$)1:15 (g/mL),碱性蛋白酶添加量 150 U/g,考察淀粉酶添

加量(50,100,150,200,250 U/g)对薏仁米糠膳食纤维提取率的影响。

(3) 碱性蛋白酶添加量:固定料液比($m_{\text{薏仁米糠}}:V_{\text{水}}$)1:15 (g/mL),淀粉酶添加量 150 U/g,考察碱性蛋白酶添加量(50,100,150,200,250 U/g)对薏仁米糠膳食纤维提取率的影响。

1.3.4 正交优化试验 以料液比、淀粉酶添加量和碱性蛋白酶添加量为因素,以膳食纤维提取率为考察指标,采用正交试验进行薏仁米糠膳食纤维制备工艺优化。

1.3.5 膳食纤维提取率计算 按式(1)进行计算。

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

式中:

R ——薏仁米糠膳食纤维提取率,%;

m_1 ——薏仁米糠膳食纤维干燥后质量,g;

m_2 ——处理前薏仁米糠质量,g。

1.4 薏仁米糠及膳食纤维的化学组成分析

1.4.1 水分含量 参照 GB 5009.3—2016。

1.4.2 蛋白质含量 参照 GB 5009.5—2016。

1.4.3 脂肪含量 参照 GB 5009.6—2016。

1.4.4 灰分含量 参照 GB 5009.4—2016。

1.4.5 淀粉含量 参照 GB 5009.9—2016。

1.4.6 总膳食纤维、可溶性膳食纤维及不溶性膳食纤维含量 参照 GB 5009.88—2014。

1.5 薏仁米糠膳食纤维的物化特性分析

1.5.1 膨胀力 根据文献[14],按式(2)计算膨胀力。

$$S_c = \frac{V_1 - V_0}{w_0}, \quad (2)$$

式中:

S_c ——膨胀力,mL/g;

V_1 ——吸水膨胀后膳食纤维粉的体积,mL;

V_0 ——吸水膨胀前膳食纤维粉的体积,mL;

W_0 ——吸水膨胀前膳食纤维粉的质量,g。

1.5.2 持水力 根据文献[15-16],按式(3)计算持水力。

$$W_{HC} = \frac{m_i - m_d}{m_d}, \quad (3)$$

式中:

W_{HC} ——持水力,g/g;

m_i ——膳食纤维吸水后的湿重,g;

m_d ——膳食纤维吸水后烘干的干重,g。

1.5.3 持油力 根据文献[17-18],按式(4)计算持油力。

$$O_{HC} = \frac{m_r - m_d}{m_d}, \quad (4)$$

式中:

O_{HC} ——持油力, g/g;

m_r ——吸油饱和后膳食纤维粉的质量, g;

m_d ——吸油前膳食纤维粉的质量, g。

1.6 统计分析

所有试验重复 3 次, 采用 SAS 9.0 软件进行方差分析, 以 $P < 0.1$ 为显著性检验水平。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 料液比 由图 1 可知, 当料液比($m_{\text{薏仁米糠}} : V_{\text{水}}$)为 1 : 10 (g/mL) 时, 膳食纤维提取率最低, 当料液比($m_{\text{薏仁米糠}} : V_{\text{水}}$)为 1 : 15 (g/mL) 时, 膳食纤维提取率达到最高; 当料液比($m_{\text{薏仁米糠}} : V_{\text{水}}$) > 1 : 15 (g/mL) 时, 随着料液比的增加, 膳食纤维提取率逐渐降低。这可能是因为料液比($m_{\text{薏仁米糠}} : V_{\text{水}}$)为 1 : 5 ~ 1 : 10 (g/mL) 时, 反应体系比较黏稠, 酶解反应不充分, 而在料液比($m_{\text{薏仁米糠}} : V_{\text{水}}$)为 1 : 15 ~ 1 : 25 (g/mL) 时, 由于底物含量较低, 导致酶与底物接触不充分, 使提取率降低^[19]。

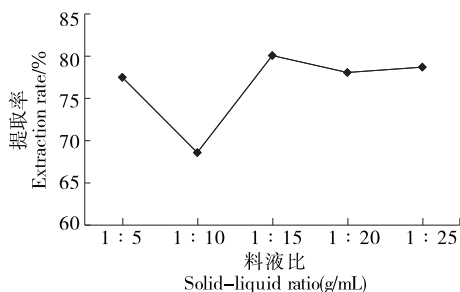


图 1 料液比对糠膳食纤维提取率的影响

Figure 1 Effect of solid-liquid ratio on the extraction rate of coix bran dietary fiber

2.1.2 淀粉酶添加量 由图 2 可知, 随着淀粉酶添加量的增加, 膳食纤维提取率先降低后升高再降低, 当淀粉酶添加量为 150 U/g 时, 薏仁米糠膳食纤维提取率达到最高, 可能是因为淀粉酶添加量 < 150 U/g 时, 体系反应不充分, 膳食纤维提取率下降; 当淀粉酶添加量 > 150 U/g 时, 体系中酶过量, 使体系中的大分子被降解为小分子在

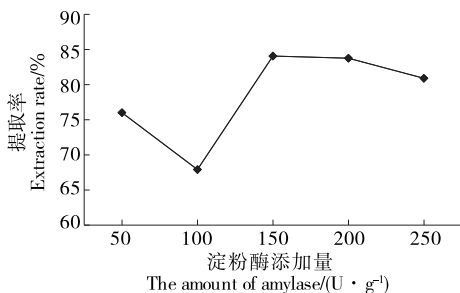


图 2 淀粉酶添加量对膳食纤维提取率的影响

Figure 2 Effect of the amount of amylase and alcalase on extraction rate of coix bran dietary fiber

后续工艺中被除去^[20]。

2.1.3 碱性蛋白酶添加量 由图 3 可知, 当碱性蛋白酶添加量为 200 U/g 时, 薏仁米糠膳食纤维提取率达到最高。

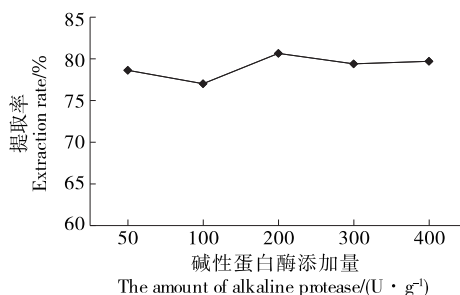


图 3 碱性蛋白酶添加量对膳食纤维提取率的影响

Figure 3 Effect of the amount of alkaline protease on extraction rate of coix bran dietary fiber

2.2 正交优化试验

在单因素试验基础上, 选择料液比、淀粉酶添加量和碱性蛋白酶添加量为影响因素, 以膳食纤维提取率为指标, 采用三因素三水平正交试验优化薏仁米糠膳食纤维酶法提取工艺, 试验因素水平见表 1, 试验设计及结果见表 2。

表 1 正交试验因素水平

Table 1 Orthogonal experiment factors and levels

水平	A 料液比 (g/mL)	B 淀粉酶添加 量/(U · g ⁻¹)	C 碱性蛋白酶添 加量/(U · g ⁻¹)
1	1 : 10	100	100
2	1 : 15	150	200
3	1 : 20	200	300

表 2 正交试验结果

Table 2 Results of orthogonal experiment

试验号	A	B	C	膳食纤维提取率/%
1	1	1	1	86.03
2	1	2	2	84.07
3	1	3	3	80.10
4	2	1	2	82.77
5	2	2	3	83.54
6	2	3	1	81.60
7	3	1	3	83.66
8	3	2	1	84.33
9	3	3	2	83.20
k_1	83.40	84.15	84.26	
k_2	82.64	83.98	83.11	
k_3	83.73	81.63	82.40	
R	1.09	2.52	1.86	

由表 2 可知,影响薏仁米糠膳食纤维提取的各因素影响程度依次为淀粉酶添加量>碱性蛋白酶添加量>料液比,酶法制备薏仁米糠膳食纤维的最佳提取工艺为 $A_3B_1C_1$,即料液比为 1:15 (g/mL),淀粉酶添加量为 100 U/g,碱性蛋白酶添加量为 100 U/g。而在试验中得到最优组为试验 1。因此,在此基础上进行验证实验,得出最佳提取条件为 $A_1B_1C_1$,即料液比为 1:10 (g/mL),淀粉酶添加量为 100 U/g,碱性蛋白酶添加量为 100 U/g,

此时,薏仁米糠膳食纤维提取率为 84.39%,该提取率显著高于朱任威等^[21]的。

2.3 薏仁米糠及膳食纤维的组成成分

由表 3 可知,薏仁米糠及其膳食纤维中均不含可溶性膳食纤维。薏仁米糠中不溶性膳食纤维含量为 51.52%;酶法制备的膳食纤维中不溶性膳食纤维含量为 64.49%;与薏仁米糠相比,脂肪、淀粉和蛋白质含量均有较大幅度下降,且与原料中不溶性膳食纤维相比也有较大幅度提高。

表 3 薏仁米糠及其膳食纤维主要成分含量

Table 3 Composition and content of coix bran and its dietary fiber %

组别	水分	灰分	脂肪	淀粉	蛋白质	可溶性膳食纤维	不溶性膳食纤维	总膳食纤维
薏仁米糠	8.38	18.63	2.98	3.70	6.24	—	51.52	51.52
酶法—膳食纤维	5.51	20.28	0.025	0.35	3.30	—	64.49	64.49

2.3 膳食纤维的物化特性

膳食纤维的膨胀力、保水力及吸油力的强弱是衡量膳食纤维品质好坏的指标^[22]。由表 4 可知,温度对薏仁米糠膳食纤维的物化特性有一定影响。同等条件下,随着温度的升高,膳食纤维的膨胀力、持水力和持油力增大。

表 4 膳食纤维的物化特性

Table 4 Physicochemical properties of coix bran dietary fiber

温度/ ℃	膨胀力/ (mL · g ⁻¹)	持水力/ (g · g ⁻¹)	持油力/ (g · g ⁻¹)
25	2.92	3.75	3.95
37	3.12	4.02	4.29

3 结论

研究利用酶提取法探讨了料液比、淀粉酶添加量和碱性蛋白酶添加量对薏仁米糠膳食纤维提取率的影响。结果表明,薏仁米糠膳食纤维酶法提取的最佳工艺条件为料液比($m_{\text{薏仁米糠}}:V_{\text{水}}$)1:10 (g/mL),淀粉酶添加量 100 U/g,碱性蛋白酶添加量 100 U/g 时,此时膳食纤维提取率为 84.39%。与薏仁米糠相比,薏仁米糠膳食纤维的不溶性膳食纤维含量明显提高,达到 64.49%;水分、脂肪、淀粉和蛋白质含量大幅下降。温度较高(37℃)时,薏仁米糠膳食纤维的膨胀力、持水力和持油力相应增大,分别为 3.12 mL/g、4.02 g/g、4.29 g/g。后续将继续研究薏仁米糠膳食纤维的功能特性和结构特性,并积极探索其作为添加剂应用于食品中的可能性,加强对薏仁米糠膳食纤维产品的开发,提高其经济效益。

参考文献

[1] 李悦洋,王双辉,贺魏,等. 稗子膳食纤维的提取工艺研究[J]. 粮

食与油脂, 2022, 35(12): 133-136, 140.
LI Y Y, WANG S H, HE W, et al. Study on extraction technology of dietary fiber from Eleusine coracana (L.) Gaertn[J]. Cereals & Oils, 2022, 35(12): 133-136, 140.
[2] JIE L, ZONG W W, ZI Y W, et al. Physicochemical and functional properties of soluble dietary fiber from different colored quinoa varieties (Chenopodium quinoa Willd) [J]. Journal of Cereal Science, 2020, 95: 103045.
[3] 李悦, 张钰, 张玉萍, 等. 汽爆对麦麸可溶性膳食纤维功能性质的影响[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(11): 48-51.
LI Y, ZHANG Y, ZHANG Y P, et al. Effect of steam explosion on functional property of soluble dietary fiber from wheat bran[J]. Cereals & Oils, 2022, 35(11): 48-51.
[4] 刘鸿斌, 樊红秀, 赵鑫, 等. 改性处理对绿豆皮膳食纤维结构及功能特性的影响[J]. 中国食品学报, 2022, 22(9): 82-91.
LIU H C, FAN H X, ZHAO X, et al. Effects of modification on the structure and functional properties of dietary fiber in mung bean skin [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(9): 82-91.
[5] 徐燕, 谭熙蕾, 周才琼. 膳食纤维的组成、改性及其功能特性研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(23): 211-218.
XU Y, TAN X L, ZHOU C Q. Composition, modification and functional properties of dietary fiber [J]. Food Research and Development, 2021, 42(23): 211-218.
[6] KARIMI R, HOSSEIN M. Effect of different enzymatic extractions on molecular weight distribution, rheological and microstructural properties of barley bran β -glucan [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 126: 298-309.
[7] MOCZKOWSKA M, KARP S, NIU Y, et al. Enzymatic, enzymatic-ultrasonic and alkaline extraction of soluble dietary fibre from flaxseed: A physicochemical approach[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 90: 105-112.
[8] 吴丽萍, 孙虹, 朱婷婷, 等. 发酵毛竹笋制备水溶性膳食纤维工

- 艺优化及功能特性研究[J]. 中国调味品, 2021, 46(12): 42-48.
- WU L P, SUN H, ZHU T T, et al. Study on process optimization and functional properties of soluble dietary fiber from fermented bamboo shoots[J]. China Condiment, 2021, 46(12): 42-48.
- [9] 万仁口, 李功景, 贺杨正, 等. 竹笋膳食纤维的结构特性及其功能性质[J]. 中国食品学报, 2021, 21(5): 75-82.
- WAN R K, LI G J, HE Y Z, et al. Structural and functional properties of dietary fiber from bamboo shoots[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(5): 75-82.
- [10] DANG T, VASANTHAN T. Modification of rice bran dietary fiber concentrates using enzyme and extrusion cooking [J]. Food Hydrocolloids, 2019, 89: 773-782.
- [11] 任颢珂, 陈莉, 卢红梅, 等. 响应面法优化薏仁米糠蛋白碱提工艺的研究[J]. 中国酿造, 2017, 36(8): 99-103.
- REN X K, CHEN L, LU H M, et al. Optimization of alkali extraction process of adlay bran protein by response surface methodology[J]. China Brewing, 2017, 36(8): 99-103.
- [12] 杨华连, 陈莉, 卢红梅, 等. 薏仁米糠多肽的功能特性研究[J]. 中国酿造, 2019, 38(4): 126-130.
- YANG H L, CHEN L, LU H M, et al. Functional properties of adlay bran polypeptide[J]. China Brewing, 2019, 38(4): 126-130.
- [13] 蔡莹. 超临界 CO₂ 流体提取薏仁米糠油及其分析[D]. 上海: 上海交通大学, 2013: 51-54.
- CAI Y. Technology for supercritical CO₂ extraction of pearl barley rice bran oil and composition analysis[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2013: 51-54.
- [14] BENITEZ V, REBOLLO-HERNANZ M, HERNANZ S, et al. Coffee parchment as a new dietary fiber ingredient: Functional and physiological characterization [J]. Food Research International, 2019, 122: 105-113.
- [15] GU M, FANG H, GAO Y, et al. Characterization of enzymatic modified soluble dietary fiber from tomato peels with high release of lycopene[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 99: 105321.
- [16] GAN J P, HUANG Z Y, YU Q, et al. Microwave assisted extraction with three modifications on structural and functional properties of soluble dietary fibers from grapefruit peel[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 101: 105549.
- [17] LIU Y L, ZHANG H B, YI C P, et al. Chemical composition, structure, physicochemical and functional properties of rice bran dietary fiber modified by cellulase treatment[J]. Food Chemistry, 2021, 342: 128352.
- [18] LI B, YANG W, NIE Y, et al. Effect of steam explosion on dietary fiber, polysaccharide, protein and physicochemical properties of okara[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 94: 48-56.
- [19] 李梁, 聂成玲, 薛蓓, 等. 响应面法优化酶辅助提取苹果梨渣中可溶性膳食纤维工艺及品质分析[J]. 中国食品添加剂, 2016, 16(12): 156-163.
- LI L, NEI C L, XUE B, et al. Optimization of SDF extraction in pingguoli pear residue using cellulase by response surface methodology and quality analysis[J]. China Food Additives, 2016, 16(12): 156-163.
- [20] 唐孝青, 焦凌霞, 樊明涛, 等. 梨渣可溶性膳食纤维的提取及抗氧化特性[J]. 西北农业学报, 2010(9): 97-102.
- TANG X Q, JIAO L X, FAN M T, et al. Extraction and antioxidant properties of soluble dietary fiber from pear residue [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2010(9): 97-102.
- [21] 朱仁威, 黄亮, 谭沙, 等. 米糠膳食纤维提取和改性及功能性质的研究进展[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(5): 12-16.
- ZHU R W, HUANG L, TAN S, et al. Research progress on extraction, modification and functional properties of rice bran dietary fiber[J]. Cereals & Oils, 2022, 35(5): 12-16.
- [22] 马梦梅, 木泰华, 闫治斌, 等. 茴香及其秸秆膳食纤维的组成成分、结构与物化功能特性[J]. 中国食品学报, 2016, 16(5): 205-216.
- MA M M, MU T H, YAN Z B, et al. Chemical composition, structure, physicochemical and functional properties of dietary fiber obtained from fennel and its straw [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(5): 205-216.
- (上接第 153 页)
- [22] 陈志锋. 生晒毛虾酶解制备虾风味基料的研究[J]. 食品与机械, 2012, 28(4): 19-22, 76.
- CHEN Z F. Research on preparation of shrimp flavoring base from dried[J]. Food & Machinery, 2012, 28(4): 19-22, 76.
- [23] 薛勇, 赵明明, 王超, 等. 响应面法优化南极磷虾蛋白自溶工艺的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(4): 346-348, 373.
- XUE Y, ZHAO M M, WANG C, et al. Optimization of autohydrolysis of antarctic krill by response surface method[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(4): 346-348, 373.
- [24] FAO/WHO. Protein quality evaluation: Reports of a joint FAO/WHO expert consultation[J]. FAO Food and Nutrition Paper, 1991, 51: 1-66.
- [25] JE J Y, PARK S Y, HWANG J Y, et al. Amino acid composition and in vitro antioxidant and cytoprotective activity of abalone viscera hydrolysate [J]. Journal of Functional Foods, 2015, 16: 94-103.
- [26] UDENIGWE C C, ALUKO R E. Chemometric analysis of the amino acid requirements of antioxidant food protein hydrolysates [J]. Sciences International Journal of Molecular, 2011, 12(5): 3 148-3 161.
- [27] 胡玲萍, 张晓梅, 张鸿伟, 等. 南极磷虾自溶前后氨基酸和胰蛋白酶降解产物的变化[J]. 食品科学, 2019, 40(11): 1-6.
- HU L P, ZHANG X M, ZHANG H W, et al. Changes in amino acids and tryptic peptides from Antarctic krill protein before and after autolysis[J]. Food Science, 2019, 40(11): 1-6.