

纳豆芽孢杆菌发酵黑豆豆豉的前发酵工艺优化

Optimization on pre-fermentation process of black bean douchi fermented by *bacillus subtilis* natto

张 琪¹ 朱 丹² 牛广财¹

ZHANG Qi¹ ZHU Dan² NIU Guang-cai¹

魏文毅¹ 赵 婧¹ 武 悦¹

WEI Wen-yi¹ ZHAO Jing¹ WU Yue¹

(1. 黑龙江八一农垦大学食品学院, 黑龙江 大庆 163319;

2. 黑龙江八一农垦大学生命科学技术学院, 黑龙江 大庆 163319)

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

2. College of Life Science and Technology, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

摘要:以黑豆为主要原料,以总多酚含量和 DPPH·清除率为指标,采用单因素试验与正交试验设计优化纳豆芽孢杆菌发酵黑豆豆豉的前发酵工艺条件。结果表明:其最优发酵工艺条件为发酵时间 4 d,发酵温度 39℃,纳豆芽孢杆菌接种量 2.5 g/100 g·黑豆,在该条件下得到的黑豆豆豉总多酚含量为 4.24 mg/g, DPPH·清除率为 79.86%,表明黑豆经纳豆芽孢杆菌发酵后能够获得具有较高抗氧化活性的黑豆豆豉。

关键词:黑豆;豆豉;纳豆芽孢杆菌;前发酵;多酚;抗氧化活性

Abstract: Taking the black bean as the main raw material, the total polyphenol content and DPPH radical scavenging rate as the indexes, the single factor experiment and orthogonal experiment design were used to optimize the pre-fermentation conditions of black bean douchi made by *bacillus subtilis* natto. The results showed that the optimum fermentation conditions were as follows: fermentation time was 4 d, fermentation temperature was 39℃, inoculation amount of *bacillus subtilis* natto was 2.5 g/100 g·black bean. Under this condition the total polyphenol content of black bean douchi was 4.24 mg/g, and the

DPPH radical scavenging rate was 79.86%, which indicated that black bean douchi fermented by *bacillus subtilis* natto could obtain high antioxidant activity.

Keywords: black bean; douchi; *bacillus subtilis* natto; pre-fermentation; polyphenol; antioxidant activity

黑豆为豆科植物大豆的黑色种子,又称乌豆、黑大豆,在东北地区产量最大。黑豆营养丰富,因含植物固醇、黄酮、皂苷等成分,具有较好的降血脂、降胆固醇、抗氧化等功能^[1-3],是开发抗氧化、抗衰老食品的优质药食兼用资源。

豆豉是一种以大豆为主要原料,经过制曲、微生物发酵阶段和后熟而形成的传统发酵食品^[4],具有药食两用性。目前,豆豉的制作原料以黄豆为主,发酵采用的菌种较多,所得产品的抗氧化性也各不相同。例如,侯竹美等^[5]通过米曲霉发酵黄豆,发现黄豆豉在发酵 24 d 时还原能力和总酚含量达到最高值,总酚含量为 0.024 mg/mL;发酵 27 d 时黄豆豉对羟自由基和 DPPH 自由基的清除率达到最大,分别达到了 36.07% 和 64.86%。吴兰芳等^[6]研究了霉菌型黑豆豆豉的主要成分及其抗氧化活性,结果显示:黑豆经过选用米曲霉(*Aspergillus oryzae* RIB40)、米根霉(*Rhizopus oryzae* strain FSU 6156)发酵后,抗氧化活性增强。

枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)是发酵细菌型豆豉的最主要的菌株,而纳豆芽孢杆菌(*Bacillus subtilis* natto, BSN)是枯草芽孢杆菌的一个亚种,其对环境具有较高的耐受性和稳定性^[7],是制作发酵食品常用的一种

基金项目:黑龙江省特色杂粮学科项目(编号:201705);黑龙江八一农垦大学科研项目(编号:XZR2017-08);黑龙江八一农垦大学研究生创新科研项目(编号:YJSCX-Y55)

作者简介:张琪,女,黑龙江八一农垦大学在读硕士研究生。

通信作者:牛广财(1971—),男,黑龙江八一农垦大学教授,博士。

E-mail:gcniu@126.com

收稿日期:2019-04-23

有益菌^[8]。例如,徐春明等^[9]研究了纳豆芽孢杆菌发酵大豆(黄豆)的不同发酵阶段,纳豆总酚和异黄酮含量的变化规律以及体外模拟消化过程中总酚、异黄酮含量与抗氧化活性的变化,结果表明:总酚含量提高了 65.12%,然而异黄酮含量却降低了 63.30%,在模拟胃消化阶段,后熟 24 h 大豆清除 ABTS 自由基能力和 ORAC 值分别是干燥大豆的 1.80、2.22 倍;模拟肠消化阶段,后熟 24 h 大豆清除 ABTS 自由基能力和 ORAC 值分别是干燥大豆的 1.70、1.41 倍,经过发酵的纳豆抗氧化活性加强。

试验拟以黑豆为原料,采用纳豆芽孢杆菌为菌种,发酵制备黑豆豉,以总多酚含量和 DPPH·清除率为指标,采用正交试验来确定其最佳的前发酵工艺条件,以期黑豆豉工业化生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试剂和仪器

1.1.1 原料和试剂

黑豆:黑龙江省农垦九三荣军农场;

纳豆芽孢杆菌粉:上海贺普实业有限公司;

福林酚试剂:上海蓝季科技发展有限公司;

没食子酸、氢氧化钠、三氯化铁、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、三氯乙酸、抗坏血酸、铁氰化钾、碳酸钠:分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;

1,1-二苯基-2-三硝基苯肼基自由基(DPPH):分析纯,梯希爱化成工业发展有限公司。

1.1.2 仪器与设备

电子天平:EX324 型,奥豪斯仪器(上海)有限公司;

隔水式恒温培养箱:GHP-9160 型,上海市一恒科学仪器有限公司;

电热恒温鼓风干燥箱:DGG-9053A 型,上海森信实验仪器有限公司;

低速离心机:L420 型,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;

紫外—可见分光光度计:L5 型,上海仪电分析仪器有限公司;

立式压力蒸汽灭菌锅:LDZX-75KB 型,上海中安医疗器械厂。

1.2 方法

1.2.1 工艺流程

黑豆→浸泡→高温高压蒸汽→冷却→接菌→发酵→取样→测定

1.2.2 操作要点

(1) 室温下,黑豆与蒸馏水的比例为 1:5 (g/mL),

浸泡 24 h 后取出沥干,然后在 121 °C 的高温高压蒸汽灭菌锅中蒸豆处理 17 min。

(2) 蒸豆后在室温下冷却 30 min,接入不同比例的纳豆芽孢杆菌粉(均匀撒在黑豆样品表面)。

(3) 在温度为 35~39 °C 的恒温箱中培养 1~4 d,进行前发酵,并按发酵时间进行取样,测定相关指标。

1.2.3 单因素试验设计

(1) 发酵时间对黑豆豉总多酚含量和 DPPH·清除率的影响:将高温高压处理的黑豆冷却后,接入 1.5 g/100 g·黑豆纳豆芽孢杆菌,置于 39 °C 恒温箱中培养发酵,发酵时间分别为 1,2,3,4 d,测定所得黑豆豉的总多酚含量和 DPPH·清除率。

(2) 发酵温度对黑豆豉总多酚含量和 DPPH·清除率的影响:将高温高压处理的黑豆冷却后,接入 1.5 g/100 g·黑豆纳豆芽孢杆菌分别置于 35,37,39,41,43 °C 的恒温箱中培养发酵 3 d,测定所得黑豆豉的总多酚含量和 DPPH·清除率。

(3) 纳豆芽孢杆菌接种量对黑豆豉总多酚含量和 DPPH·清除率的影响:将高温高压处理的黑豆冷却后,接入纳豆芽孢杆菌,其接种量分别为 0.5,1.0,1.5,2.0,2.5 g/100 g·黑豆,后置于 41 °C 恒温箱中培养发酵 3 d,测定所得黑豆豉的总多酚含量和 DPPH·清除率。

1.2.4 正交试验设计 在单因素试验的基础上,以发酵时间、发酵温度、接种量为试验因素,以总多酚含量和 DPPH 清除率为评价指标,设计 $L_9(3^3)$ 正交试验优化纳豆芽孢杆菌发酵黑豆豉工艺条件。

1.2.5 总多酚测定 采用 Folin-Ciocalteu 比色法。标准曲线的绘制根据文献^[10],修改如下:准确称取没食子酸 0.100 0 g,用容量瓶定容至 100 mL,得到没食子酸标准液浓度为 1 000 mg/L。分别配制浓度为 0.0,12.5,25.0,50.0,100.0 mg/L 的标准溶液。得到没食子酸标准曲线(见图 1)方程为: $y = 0.018x + 0.0784$, $R^2 = 0.9985$ 。

取 2 g 黑豆样品加以研磨后加蒸馏水定容至 20 mL。3 000 r/min 离心 10 min,取上清液 1 mL,将其稀释 50 倍;

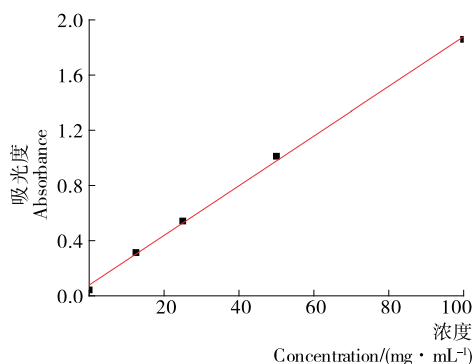


图 1 没食子酸标准曲线

Figure 1 The standard curve of gallic acid

分别加入福林酚显色剂 1 mL, 20% Na_2CO_3 溶液 3 mL, 混匀, 在 50 °C 水浴反应 30 min 后测定吸光度。按式(1)计算总多酚含量^[11]。

$$R = \frac{C \times V \times N}{W}, \quad (1)$$

式中:

R ——总多酚含量, mg/g;

C ——样液总酚浓度, mg/mL;

V ——提取液体积, mL;

N ——稀释倍数;

W ——黑豆质量, g。

1.2.6 DPPH 自由基(DPPH·)清除率的测定 根据文献[12], 修改如下: 称取 19.7 mg DPPH, 用 95% 乙醇溶解并定容至 100 mL(DPPH 浓度为 0.5 mmol/mL), 配制好后 0~4 °C 下避光保存。取 2 mL 稀释后的样液与 0.5 mL DPPH 溶液, 混合均匀后在 37 °C 下黑暗处放置 20 min, 此时用 95% 甲醇为空白, 在 517 nm 条件下测定其吸光度; 取 2 mL 95% 甲醇与 0.5 mL DPPH 溶液混合, 混合均匀后在 37 °C 下黑暗处放置 20 min, 此时用无水甲醇为空白, 在 517 nm 条件下测定其吸光度; 取 2 mL 处理好的样液与 0.5 mL 95% 甲醇混合, 混合均匀后 37 °C 下黑暗处放置 20 min, 此时用 95% 甲醇为空白, 在 517 nm 条件下测定其吸光度。按式(2)计算 DPPH· 清除率。

$$Y = \frac{A_c - (A_i - A_j)}{A_c} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

Y ——DPPH· 清除率, %;

A_i ——加发酵液反应后 DPPH 溶液的吸光度;

A_c ——加 DPPH 溶液, 不加发酵液的吸光度;

A_j ——加发酵液, 不加 DPPH 溶液的吸光度。

1.3 数据处理

采用 SPSS 20.0 软件对试验所得数据进行统计计算, 并采用 Origin 9.0 软件进行作图分析。所有试验均进行 3 次平行。

2 结果与分析

2.1 发酵时间对黑豆豉总多酚含量和 DPPH· 清除率的影响

由图 2 可知, 在前 3 d, 随着发酵时间的延长, 总多酚含量和 DPPH· 清除率均升高, 说明发酵初期对纳豆芽孢杆菌的代谢活动有很大影响; 当发酵时间到第 3 天时, 总多酚含量和 DPPH· 清除率达到最高值, 分别为 3.67 mg/g 和 84.9%, 可能是纳豆芽孢杆菌将复杂的大分子酚类物质转化成小分子酚类物质, 使得总多酚含量升高; 此外, 随着发酵时间的不断增加, 自身的抗氧化物质不断浸出, 而酚类物质能给出一个氢离子并通过共振杂化而稳定^[13], 且含有的多酚类化合物具有较强的自由基清除能

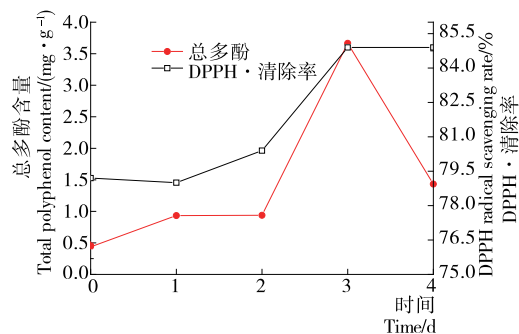


图 2 发酵时间对黑豆豉总多酚含量和 DPPH· 清除率的影响

Figure 2 Effect of different fermentation time on total polyphenol content and DPPH radical scavenging rate of fermented black bean

力^[14]。发酵到第 4 天时, 多酚含量相对较低, 但是, 此时 DPPH· 清除率仍然较高, 说明黑豆豉中除了多酚物质外, 还含有其他具有较高 DPPH· 清除率的活性物质, 如黄酮类物质、原花青素物质等。因此, 发酵时间选择 2, 3, 4 d 进行正交试验。

2.2 发酵温度对黑豆豉总多酚含量和 DPPH· 清除率的影响

由图 3 可知, 在 41 °C 之前, 随着发酵温度的升高, 总多酚含量也持续升高, 当温度在 41 °C 时, 总多酚含量达到最高, 为 3.99 mg/g, 可能是在发酵过程中, 分子的渗透、扩散、溶解速率会随着温度升高而加快^[15], 然而高温可在一定程度上破坏细胞壁的完整性^[16]。当温度为 39 °C 时, DPPH· 清除率达到最高。可以初步判断当发酵时间在 39~41 °C 时总多酚含量高, 抗氧化能力强, DPPH· 清除率高。由于纳豆芽孢杆菌的发酵温度一般在 38~45 °C, 所以, 在后续正交试验中, 发酵温度选择 39, 41, 43 °C 3 个水平。

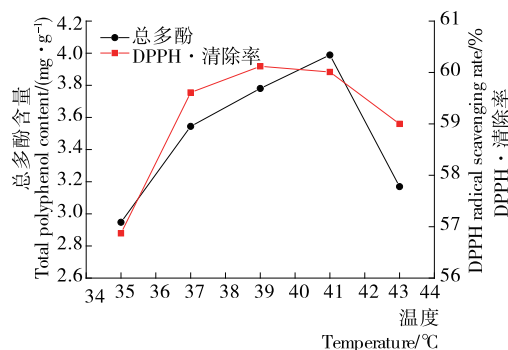


图 3 发酵温度对黑豆豉总多酚含量和 DPPH· 清除率的影响

Figure 3 Effect of different fermentation temperature on total polyphenols content and DPPH radical scavenging rate of fermented black bean

2.3 接种量对黑豆豆豉总多酚含量和 DPPH · 清除率的影响

由图 4 可知,随着接种量的增加,总多酚含量及 DPPH · 清除率均呈先升高再降低的趋势,当接种量为 2.0 g/100 g · 黑豆时,总多酚含量及 DPPH · 清除率均达到最高值,可能是菌种在发酵的过程中产酸,使 pH 降低,从而在一定程度上影响酶的活性,微生物的细胞膜所带电荷会有所改变,因此改变了细胞膜的透性,从而降低了菌种对营养物质的吸收和代谢物的排泄^[17]。因此,在后续正交试验中接种量选择 1.5,2.0,2.5 g/100 g · 黑豆 3 个水平。

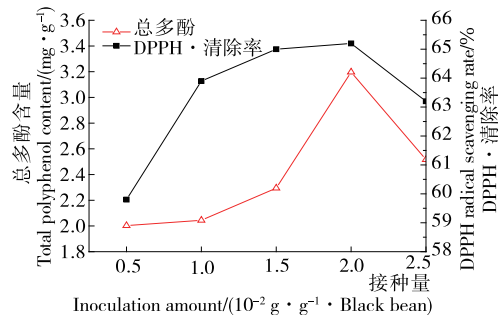


图 4 接种量对黑豆豆豉总多酚含量和 DPPH · 清除率的影响

Figure 4 Effect of different inoculation amount on total polyphenol content and DPPH radical scavenging rate of fermented black bean

2.4 正交试验

以发酵时间、发酵温度、接种量为试验因素,按照表 1 进行正交试验,以确定最佳发酵条件,结果见表 2。由表 2 可知,对总多酚含量和 DPPH · 清除率两个指标的主次影响顺序均为 A>C>B。由发酵产物的总多酚含量的正交试验结果可知,发酵的最佳条件是 A₃B₂C₂;由发酵产物的 DPPH · 清除率的正交试验结果可知,发酵的最佳条件是 A₃B₁C₃。由表 3、4 可知,各因素对总多酚含量和 DPPH · 清除率的影响均不显著(P<0.05)。

综合考虑上述两个正交试验结果的差异,进行验证实验,如表 5 所示,最佳的发酵条件为 A₃B₁C₃,即发酵时间 4 d、发酵温度 39 °C、接种量 2.5 g/100 g · 黑豆,该条件发酵所得黑豆豆豉的总多酚含量可达到 4.24 mg/g, DPPH · 清除率达到 79.86%。

表 1 正交试验因素水平表			
Table 1 Factors and levels of orthogonal experiment			
水平	A 发酵时间/d	B 发酵温度/°C	C 接种量/(10 ⁻² g · g ⁻¹ · Black Bean)
1	2	39	1.5
2	3	41	2.0
3	4	43	2.5

表 2 正交试验结果分析

Table 2 Analysis of the results of orthogonal experiment					
试验号	A	B	C	总多酚含量 / DPPH · 清除率 / % (mg · g ⁻¹)	除率 / %
1	1	1	1	2.10	61.04
2	1	2	2	3.11	59.21
3	1	3	3	1.92	68.26
4	2	1	2	3.21	59.10
5	2	2	3	3.10	60.12
6	2	3	1	3.75	41.71
7	3	1	3	4.24	79.86
8	3	2	1	3.64	65.92
9	3	3	2	4.06	74.06
总	k ₁	2.377	3.183	3.163	
多	k ₂	3.353	3.283	3.460	
酚	k ₃	3.980	3.243	3.087	
含量	R	1.603	0.100	0.373	
DPPH · 清	k ₁	62.837	66.667	56.223	
除	k ₂	53.643	61.750	64.123	
率	k ₃	73.280	61.343	69.413	
	R	19.637	5.324	13.19	

表 3 以总多酚含量为评价指标的正交试验结果方差分析
Table 3 Variance analysis of orthogonal experiments using total polyphenol content as evaluation index

来源	平方和	自由度	方差	F 值	显著性
A	3.917	2	1.959	3.894	0.204
B	0.015	2	0.008	0.015	0.985
C	0.233	2	0.117	0.232	0.812
误差	1.006	2	0.503		
校正总计	5.172	8			

表 4 以 DPPH · 清除率为评价指标的正交试验结果方差分析
Table 4 Variance analysis of orthogonal experiments using DPPH scavenging rate as evaluation index

来源	平方和	自由度	方差	F 值	显著性
A	579.179	2	289.590	14.144	0.066
B	52.677	2	26.338	1.286	0.437
C	264.370	2	132.185	6.456	0.134
误差	40.947	2	20.474		
校正总计	937.174	8			

表 5 验证实验		
Table 5 Verification experiment		
工艺条件	总多酚含量 / (mg · g ⁻¹)	DPPH · 清除率 / %
A ₃ B ₁ C ₃	4.24	79.86
A ₃ B ₂ C ₂	4.08	67.55

3 结论

通过单因素试验和正交试验得出,黑豆豆豉前发酵的最优工艺组合为发酵时间 4 d,发酵温度 39 ℃,接种量 2.5 g/100 g·黑豆,该条件发酵所得黑豆豆豉的总多酚含量为 4.24 mg/g, DPPH·清除率为 79.86%。研究结果表明,采用纳豆芽孢杆菌发酵来生产抗氧化能力较强的黑豆豆豉是可行的。后续将对后发酵中发酵时间、发酵温度以及食盐、白酒等辅料对黑豆豆豉风味物质形成、营养成分变化、功能因子形成及抗氧化活性的影响作进一步的研究。

参考文献

- [1] 王伟, 吴昊, 石念荣. 黑豆紫米香肠加工工艺研究[J]. 肉类工业, 2019, 40(1): 1-4.
- [2] 李圆圆, 田晨颖, 刘晓美, 等. 添加微量元素对黑豆发芽过程中成分的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(9): 98-104.
- [3] 高洋, 于栋. 黑豆多肽的研究现状[J]. 现代食品, 2017, 3(16): 20-22.
- [4] 张菊, 徐亮, 王帅, 等. 豆豉发酵过程中产乳酸菌株的筛选、鉴定及其培养基的优化[J]. 基因组学与应用生物学, 2018, 37(9): 3 836-3 843.
- [5] 侯竹美, 王凤舞. 黄豆豉和黑豆豉在发酵过程中的抗氧化性[J]. 青岛农业大学学报: 自然科学版, 2016, 33(1): 45-48.
- [6] 吴兰芳, 蒋爱民, 曲直, 等. 霉菌型黑豆豆豉的主要成分及其抗氧化活性研究[J]. 现代食品科技, 2013, 29(1): 51-54.
- [7] 吉美萍, 肖志婷, 那日, 等. 纳豆芽孢杆菌的相关研究进展[J]. 河南师范大学学报: 自然科学版, 2016, 44(5): 83-93.
- [8] 张家慧, 陈金枝, 张琳芝, 等. 纳豆芽孢杆菌液体发酵白木培养条件的研究[J]. 轻工科技, 2019, 35(1): 11-13.
- [9] 徐春明, 陈莹莹, 庞高阳. 纳豆发酵和体外模拟消化中活性物质含量及抗氧化活性的变化研究[J]. 现代食品科技, 2016, 32(11): 78-84.
- [10] 严红光, 李丽, 杨琴, 等. 蓝莓叶多酚及抗氧化研究[J]. 食品科技, 2018, 43(10): 285-288.
- [11] 齐娜, 李涵, 张志宇, 等. 新疆红肉苹果多酚的超声波辅助提取工艺优化[J]. 食品与机械, 2016, 32(9): 177-182.
- [12] 李治龙, 刘新华, 刘文杰, 等. 几种新疆特色干果清除自由基活性[J]. 光谱实验室, 2012, 29(5): 2 680-2 684.
- [13] 蒋增良, 毛建卫, 黄俊, 等. 蓝莓酵素在天然发酵过程中抗氧化性能的变化[J]. 食品工业科技, 2013, 34(2): 194-197, 201.
- [14] 程志华, 龚霄, 袁源, 等. 红心火龙果果酒发酵特性的研究[J]. 酿酒科技, 2018, 40(9): 17-21.
- [15] 王舫楠, 刘维兵, 王雪薇, 等. 响应面法优化复合菌种发酵葡萄玫瑰花饮品及其抗氧化能力的测定[J/OL]. 食品工业科技. (2019-04-16) [2019-05-28]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20190415.1428.040.html>.
- [16] 吴杰, 吴延东, 赵雪松, 等. 不同发酵条件对山竹果酒活性成分溶出的影响[J]. 粮食与食品工业, 2018, 25(2): 42-46, 49.
- [17] 杨艳, 杨荣玲, 邹宇晓, 等. 肠道微生物菌群生物转化天然多酚类化合物研究进展[J]. 食品科学, 2014, 35(17): 319-325.
- [18] QIN Tao, REN Zhe, HUANG Yi-fan, et al. Selenizing *Hericium erinaceus* polysaccharides induces dendritic cells maturation through MAPK and NF- κ B signaling pathways[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 97: 287-298.
- [19] WANG Ming-xing, GAO Yang, XU Duo-duo, et al. A polysaccharide from cultured mycelium of *Hericium erinaceus* and its anti-chronic atrophic gastritis activity [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 81: 656-661.
- [20] LIU Xiao-cui, ZHU Zhen-yuan, TANG Ya-li, et al. Structural properties of polysaccharides from cultivated fruit bodies and mycelium of *Cordyceps militaris*[J]. Carbohydr Polym, 2016, 142: 63-72.
- [21] 李珊珊, 王珊丹, 燕洪涛, 等. 不同提取工艺对猴头菇多糖产率、单糖组成及 DPPH 清除活性的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(11): 154-156.
- [22] LEE Suan-li, LEONG Jin-ying, LIM Lay-hong, et al. Comparative cytotoxicity and hemagglutination activities of crude protein extracts from culinary-medicinal mushrooms[J]. International Journal of Medicinal Mushrooms, 2010, 12(2): 213-222.
- [23] KIYOTAKA H, RANDEEP R, MISATO H, et al. Proteomics of two cultivated mushrooms *Sparassis crispa* and *Hericium erinaceum* provides insight into their numerous functional protein components and diversity[J]. Journal of Proteome Research, 2008, 7(5): 1 819-1 835.

(上接第 121 页)

- [11] 李兰兰, 张宇, 赵统超, 等. 白鲜皮多糖闪式提取最佳工艺及抗氧化活性探讨[J]. 时珍国医国药, 2018, 29(3): 556-558.
- [12] 陈艳蕊, 金文闻, 罗晓捷, 等. 黄芪多糖的闪式提取技术研究[J]. 现代生物医学进展, 2010, 10(17): 3 322-3 325.
- [13] 易晓敏. 猴头菇多糖的分离纯化、表征及其功能活性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017: 32-33.
- [14] 张惟杰. 糖复合物生化研究技术[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1999: 11-12.
- [15] 王文平, 郭祀远, 李琳, 等. 考马斯亮蓝法测定野木瓜多糖中蛋白质的含量[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(1): 115-117.
- [16] 李春红. 三种真菌类中药材的蛋白质凝胶电泳分析[D]. 重庆: 重庆大学, 2016: 20-22.
- [17] 陈健, 张灵芝, 韦丁, 等. 黑虎掌菌多糖的组成和抗肿瘤活性[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2011, 39(12): 110-114.
- [18] QIN Tao, REN Zhe, HUANG Yi-fan, et al. Selenizing *Hericium erinaceus* polysaccharides induces dendritic cells maturation through MAPK and NF- κ B signaling pathways[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017,