

怀山药酵素粉的制备及抗氧化作用

Preparation and antioxidant activity of chinese yam ferment powder

费 鹏 杨同香 赵胜娟 徐云凤
FEI Peng YANG Tong-xiang ZHAO Sheng-juan XU Yun-feng
陈俊亮 李芳梅 康怀彬

CHEN Jun-liang LI Fang-mei KANG Huai-bin
(河南科技大学食品与生物工程学院,河南 洛阳 471023)

(College of Food and Bioengineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471023, China)

摘要:通过单因素和正交试验优化怀山药酵素液的发酵条件,利用喷雾干燥技术制备怀山药酵素粉,分析怀山药酵素原液喷雾干燥前后超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性的变化,最后利用邻苯三酚自氧化法和 H_2O_2/Fe 体系反应法测定其对超氧阴离子和羟自由基的清除能力。结果表明,怀山药酵素液的最佳发酵工艺参数为糖浓度 12%、接种量 6%、发酵时间 30 h、发酵温度 42 ℃,该条件下怀山药酵素液 SOD 的活性为 15.35 U/mL。喷雾干燥后的怀山药酵素粉 SOD 活性没有显著的变化($P>0.05$)。抗氧化活性试验结果显示,怀山药酵素粉复原液能够有效地清除超氧阴离子和羟自由基。

关键词:怀山药;酵素粉;喷雾干燥;抗氧化能力

Abstract: The fermentation condition of Chinese yam ferment liquid was optimized with single factor experiments and orthogonal experiment. The Chinese yam ferment powder was prepared using spray drying. The changes in superoxide dismutase (SOD) activity between Chinese yam ferment liquid and recovery ferment liquid were analyzed. The abilities to remove superoxide anions and hydroxyl radicals were measured using the methods of pyrogallol autoxidation and H_2O_2/Fe system. the optimum fermentation process parameters of Chinese yam ferment liquid were as follow: sugar concentration 12%, inoculum concentration 6%, fermentation time 30 h, fermentation temperature 42 ℃. Under the control of this condition, the SOD activity of the Chinese yam ferment liquid was 15.35 U/mL. There was no significant change in the SOD activity between Chinese yam ferment liquid and powder after spray drying ($P>0.05$). The results of antioxidant activity showed that the superoxide anion and hy-

droxyl radical could be effectively eliminated by the recovery ferment liquid.

Keywords: Chinese yam; ferment powder; spray drying; antioxidant activity

怀山药又被称为山药、白山药,肉质细嫩、营养丰富、富含必需氨基酸及钾、镁、钙、铁、锌、 V_C 、 V_A 、视黄醇、胡萝卜素等多种微量元素^[1-2]。经常食用怀山药可以预防脂肪堆积、降低胆固醇、增强免疫功能、提高记忆力、消除神经疲劳、调节神经失调、调节更年期症状^[3-4]。随着人们对怀山药营养价值和保健功能的认可,如何提高怀山药产品的多样性,充分开发其保健功能成为了目前需要解决的问题。

植物酵素是以一种或多种新鲜蔬菜、水果、谷豆、海藻、药食两用本草等食材为原料,加(或不加)糖类物质,经过较长时间发酵而得到的功能性发酵产品^[5-6]。经过长时间的发酵,酵素会产生多种有益于人体健康的生物活性物质,如酚类、黄酮类、有机酸类、多糖类以及酶类等,这些生物活性物质能够清除机体内多余的自由基,减轻它们对机体的损伤,从而改善人体机能^[7-9]。Sulasayah 等^[10]利用米曲霉发酵姜黄,并通过清除自由基能力的评估、总酚的测定和植物性化学物质的筛选评价其抗氧化能力,结果发现姜黄酵素的抗氧化活性随着发酵时间的延长而显著增加。Oladeji 等^[11]发现玉米胚乳酵素中总类胡萝卜素和 V_C 的含量显著增加,提高了其对自由基、二铵盐和脂质过氧化物的清除能力。Jgf 等^[12]制备了葡萄皮酵素,并发现经过发酵的葡萄皮中总酚的含量显著增加,抗氧化能力显著提高,从而有助于内皮依赖性血管扩张。此外,西兰花^[13]、海棠果^[14]、麦苗^[15]、纳豆^[16]、蓝靛果椰子复合酵素^[17]等植物酵素的制备及抗氧化的研究也已被报道。

目前,怀山药的酵素产品尚未见报道,本研究拟以怀山药为原料,利用植物乳杆菌发酵怀山药原液以发掘怀山药的

基金项目:河南科技大学博士科研启动基金项目(编号:13480066)

作者简介:费鹏,女,河南科技大学讲师,博士。

通信作者:康怀彬(1963—),男,河南科技大学教授,硕士。

E-mail: khbin001@163.com

收稿日期:2018-03-25

益生功能,以怀山药酵素的抗氧化能力为指标,优化植物乳杆菌发酵怀山药的工艺参数,利用喷雾干燥技术制得怀山药酵素粉,并对怀山药酵素粉清除超氧阴离子和羟自由基的能力进行评估。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

怀山药:洛阳丹尼斯超市;
植物乳杆菌(*Laobacillus plantarum* KLDS-511):东北农业大学食品学院菌种库;
茛三酮、邻苯三酚、硫酸亚铁、苯酚、邻二氮菲、V_C等:分析纯,北京奥博星生物技术有限责任公司;
30%双氧水溶液:陕西三桥精细化工有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

电子分析天平:HZK-FA210S型,上海精学科学仪器有限公司;
喷雾干燥机:SP-1500型,江苏互帮干燥设备有限公司;
紫外/可见分光光度计:UV-1100型,深圳市信之邦仪器设备有限公司;
电热恒温隔水式培养箱:BG-160型,上海知楚仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 怀山药酵素粉的制备流程

(1) 怀山药预处理:清洗、去皮,切片,护色,加水打浆,糊化,过滤,冷却,备用
(2) 怀山药酵素的制备:怀山药汁,调配(加糖),均质,杀菌,冷却接种,发酵(恒温箱发酵),恒温加热(25℃),检测(测各条件下吸光度值,计算出SOD活性值),喷雾干燥,成品

1.2.2 超氧化物歧化酶(superoxide dismutase,SOD)活力的测定 取发酵好的怀山药酵素液5 mL置于烧杯中,加入3 mL、0.05 mol/L的磷酸缓冲液,在25℃下离心20 min,取上清液。采用邻苯三酚自氧化法^[18]测定样品SOD酶活力。

1.2.3 单因素试验

(1) 糖浓度:在接种量4%、发酵时间24 h、发酵温度42℃下,分析糖浓度(6%,8%,10%,12%,14%)对怀山药发酵液SOD活性的影响。
(2) 接种量:在糖浓度10%、发酵时间24 h、发酵温度42℃下,分析接种量(3%,4%,5%,6%,7%)对怀山药发酵液SOD活性的影响。
(3) 发酵时间:在糖浓度10%、接种量4%、发酵温度42℃下,分析发酵时间(12,18,24,30,36 h)对怀山药发酵液SOD活性的影响。
(4) 发酵温度:在糖浓度10%、接种量4%、发酵时间24 h下,分析发酵温度(36,38,40,42,44℃)对怀山药发酵液SOD活性的影响。

1.2.4 正交试验 根据单因素试验的结果,进一步用L₉(3⁴)正交试验方案进行优化。以怀山药发酵液SOD活性值为指

标,确定糖浓度、接种量、发酵时间、发酵温度的最优参数组合。

1.2.5 喷雾干燥 以最优参数条件下得到的怀山药酵素液为原料,利用喷雾干燥法制备怀山药酵素粉,进料量分别设置为300,350,400 mL/h,进料温度设置为140℃,最终得到颗粒度均匀的产品。将制得的怀山药酵素粉加水复原到原来的体积,测定其SOD活性,比较喷雾干燥前后酵素液SOD活性的变化。

1.2.6 怀山药酵素粉对超氧阴离子清除能力的测定 采用邻苯三酚自氧化法^[19]。以相同浓度的V_C作为对照组,测定不同浓度怀山药酵素粉处理后的样品在320 nm波长下的吸光值,按式(1)计算怀山药酵素粉对超氧阴离子的清除率。

$$c_1 = \frac{A_0 - A_n}{A_0} \times 100\%, \tag{1}$$

式中:
c₁——超氧阴离子清除率,%;
A₀——空白对照;
A_n——不同浓度怀山药酵素粉处理后的样品吸光度。

1.2.7 怀山药酵素粉对羟自由基清除能力的测定 采用H₂O₂/Fe体系反应法^[20]。以等浓度的V_C作为对照组,测定不同浓度怀山药酵素粉反应系统在536 nm下的吸光值,并按式(2)计算怀山药酵素粉对羟基自由基的清除率。

$$c_2 = \frac{(A_0 - A_1) - (A_2 - A_3)}{A_0 - A_1} \times 100\%, \tag{2}$$

式中:
c₂——羟基自由基清除率,%;
A₀——空白对照;
A₁——只添加H₂O₂的吸光度;
A₂——只添加怀山药酵素粉的吸光度;
A₃——添加怀山药酵素粉和H₂O₂的吸光度。

1.2.8 数据分析 试验数据利用SPSS 19.0软件进行统计学分析,选择Tukey's检验,当P<0.05时差异显著。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 糖浓度对怀山药酵素液SOD活性的影响 由图1可知,怀山药酵素液SOD活性随着糖浓度的增加先升高再降低,糖浓度为12%时SOD活性最高;当糖浓度大于12%,

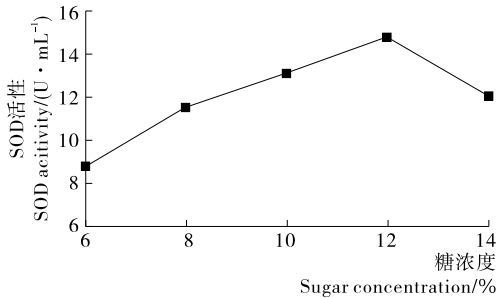


图1 糖浓度对怀山药酵素液SOD活性的影响
Figure 1 Effect of sugar concentration on SOD activity of Chinese yam ferment liquid

SOD 活性开始下降,这是因为高浓度的糖会造成怀山药液体体系渗透压升高,不利于植物乳杆菌的发酵,因此,糖浓度为 12%最佳。

2.1.2 接种量对怀山药酵素液 SOD 活性的影响 由图 2 可知,怀山药酵素液 SOD 活性随着植物乳杆菌接种量的增加而增加,当接种量达到 5%后 SOD 活性趋于稳定,可能是怀山药混合液中的碳源在 5%发酵剂的作用下已经被全部消耗,在这种情况下,即便增加发酵剂 SOD 的活性也不会提高,因此,接种量为 5%最佳。

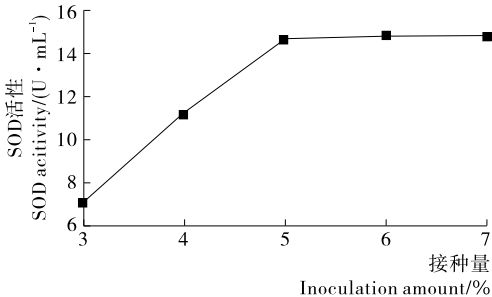


图 2 接种量对怀山药酵素液 SOD 活性的影响
Figure 2 Effect of inoculum concentration on SOD activity of Chinese yam ferment liquid

2.1.3 发酵时间对怀山药酵素液 SOD 活性的影响 由图 3 可知,怀山药酵素液 SOD 活性随着发酵时间的延长而增加,当发酵时间大于 30 h 时 SOD 活性不再继续增加,说明怀山药酵素液已经发酵完成。因此,发酵时间为 30 h 最佳。

2.1.4 发酵温度对怀山药酵素液 SOD 活性的影响 由图 4 可知,怀山药酵素液 SOD 活性随着发酵温度的上升先增加

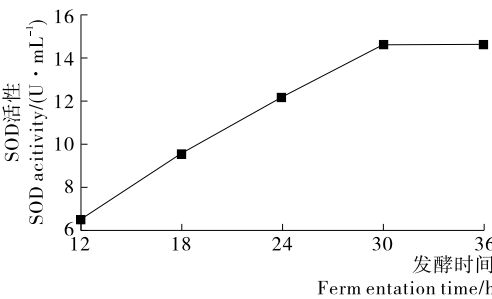


图 3 发酵时间对怀山药酵素液 SOD 活性的影响
Figure 3 Effect of fermentation time on SOD activity of Chinese yam ferment liquid

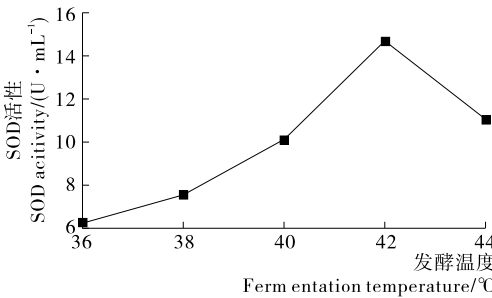


图 4 发酵温度对怀山药酵素液 SOD 活性的影响
Figure 4 Effect of fermentation temperature on SOD activity of Chinese yam ferment liquid

后减少,当发酵温度为 42 ℃ 时 SOD 活性最高。因此,发酵温度为 42 ℃ 最佳。

2.2 正交试验

利用 L₉(3⁴) 正交试验因素优化怀山药酵素的发酵条件,正交试验因素与水平如表 1 所示,试验结果如表 2、3 所示。

表 1 正交试验因素与水平表					
Table 1 Factors and levels of orthogonal test					
水平	A 糖浓度/%	B 接种量/%	C 发酵时间/h	D 发酵温度/℃	
1	10	4	24	40	
2	12	5	30	42	
3	14	6	36	44	

表 2 正交试验结果表					
Table 2 The orthogonal test results table					
试验号	A	B	C	D	SOD 活性/ (U · mL ⁻¹)
1	1	1	1	1	10.12
2	1	2	2	2	13.96
3	1	3	3	3	14.12
4	2	1	2	3	13.02
5	2	2	3	1	12.33
6	2	3	1	2	13.18
7	3	1	3	2	12.74
8	3	2	1	3	12.41
9	3	3	2	1	13.27
k ₁	12.73	11.96	11.90	11.91	
k ₂	12.84	12.90	13.42	13.29	
k ₃	12.75	13.52	13.06	13.08	
R	0.11	1.56	1.52	1.38	

表 3 正交试验方差分析表 [†]					
Table 3 Orthogonal test analysis of variance					
误差来源	平方和	自由度	均方	F 值	显著水平
B	3.716	2	1.858	206.44	* *
C	3.761	2	1.880	208.88	* *
D	3.565	2	1.782	198.00	* *
误差	0.019	2	0.009		
总和	11.079	10			

[†] * * 表示因素对试验结果具有极显著的影响(P<0.01)。

由表 2 可知,4 个因素对怀山药酵素液 SOD 活性的的影响顺序为:接种量>发酵时间>发酵温度>糖浓度。怀山药酵素液的最佳因素水平组合为糖浓度 12%、接种量 6%、发酵时间 30 h、发酵温度 42 ℃。由表 3 可知,接种量、发酵时间、发酵温度对怀山药酵素液 SOD 活性的影响极显著(P<0.01)。

2.3 验证实验

按照最佳因素水平 A₂B₃C₂D₂ 进行 3 次怀山药酵素液制备实验,怀山药酵素液的 SOD 活性分别为 15.38,15.32,

15.35 U/mL,3 次实验的平均值为 15.35 U/mL,高于正交试验各组 SOD 活性,验证实验的变异系数(coefficient of variation,CV)为 0.20%,说明该最佳工艺稳定可行。

2.4 喷雾干燥前后 SOD 活性的比较

利用喷雾干燥将怀山药酵素液制备成粉,并比较怀山药酵素原液和同浓度下怀山药酵素粉复原液 SOD 活性,结果见图 5。与怀山药酵素原液(SOD 活性为 15.35 U/mL)相比,怀山药酵素粉 SOD 活性(SOD 活性为 14.73 U/mL)稍有下降,但不显著($P>0.05$)。说明虽然怀山药酵素原液在喷雾干燥中会受到高温的破坏,但是由于时间较短,怀山药酵素原液中的活性物质并没有被显著破坏,因此可以利用喷雾干燥制备怀山药酵素粉。

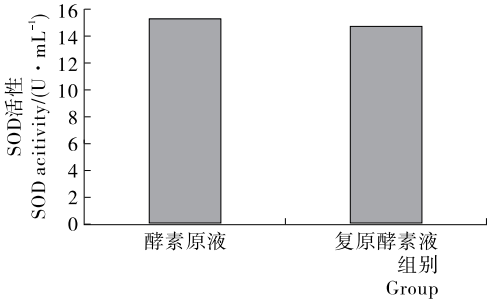


图 5 酵素原液和复原酵素液中的 SOD 活性比较
Figure 5 Comparison of SOD activity between ferment liquid and recovery ferment liquid

2.5 怀山药酵素粉对超氧阴离子的清除能力

对超氧阴离子的清除能力是衡量怀山药酵素粉抗氧化能力的重要指标之一,如图 6 所示,怀山药酵素粉对超氧阴离子的清除能力与其浓度呈正比,0.35 mg/mL 的怀山药酵素粉能够清除 83.56% 的超氧阴离子,稍低于 V_c 的清除能力,说明怀山药酵素粉具有较强的清除超氧阴离子的能力。

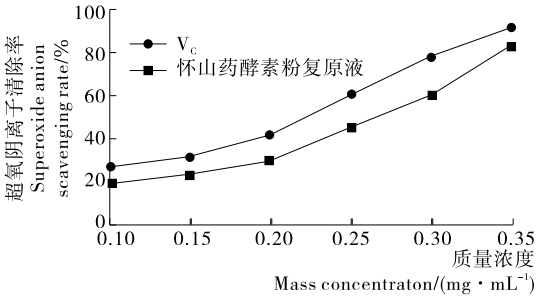


图 6 怀山药酵素粉对超氧阴离子的清除率
Figure 6 Superoxide anion scavenging rate of Chinese yam ferment powder

2.6 怀山药酵素粉对羟自由基的清除能力

羟自由基清除率是评估怀山药酵素粉抗氧化能力的另一个重要指标,如图 7 所示,怀山药酵素粉的羟自由基清除能力略低于 V_c 对照组,且随着酵素浓度的增加而提高。当怀山药酵素粉的质量浓度达到 0.6 mg/mL 时,羟自由基的清除率达到 90.88%,说明怀山药酵素粉具有较强的羟自由基清除能力。

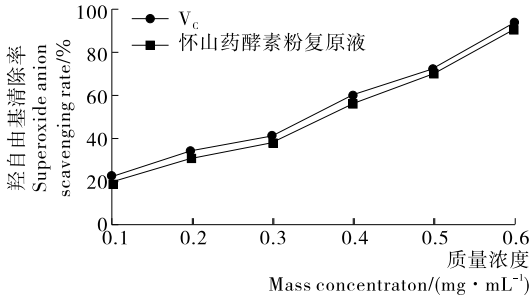


图 7 怀山药酵素粉对羟自由基的清除率
Figure 7 Hydroxyl free radical scavenging rate of Chinese yam ferment powder

3 结论

本研究优化了怀山药酵素粉制备的工艺参数。结果表明,影响怀山药酵素粉 SOD 活性的顺序为:接种量>发酵时间>发酵温度>糖浓度,最佳发酵工艺为糖浓度 12%、接种量 6%、发酵时间 30 h、发酵温度 42 ℃。此条件下怀山药酵素液 SOD 活性为 15.35 U/mL,且经过喷雾干燥制备成怀山药酵素粉后其 SOD 活性没有显著变化。此外,抗氧化活性试验显示 0.35 mg/mL 的怀山药酵素粉复原液能够清除 83.56% 的超氧阴离子,0.6 mg/mL 怀山药酵素粉复原液能够清除 90.88% 的羟自由基,可见本试验制备的怀山药酵素粉具有良好的抗氧化能力。

本试验中制备怀山药酵素粉采用了喷雾干燥的方法,虽然通过分析能够发现喷雾干燥并没有显著地影响怀山药酵素的抗氧化性,但一定程度上降低了产品 SOD 的活性,因此在后续的研究中将采用真空冷冻干燥技术制备怀山药酵素粉,尽可能地保护产品中的功能成分。此外,本研究只对怀山药酵素粉的抗氧化活性进行了评估,并没有对该产品的具体生理功能进行探究。理论上抗氧化活性是生物活性成分发挥益生功能的理论基础,因此在接下来的研究中会针对性地挖掘怀山药酵素粉的生理功能。

参考文献

[1] 蒋方程,李傲然,何静仁,等.不同品种山药的营养成分分析及其水提物的体外抗氧化能力研究[J].食品工业科技,2018,39(4):6-11.

[2] 周玥,郭华,周洁.铁棍怀山药中主要营养成分的研究[J].中国食物与营养,2011,17(3):69-71.

[3] NIU Xiao-feng, HE Ze-hong, LI Wei-feng, et al. Immunomodulatory Activity of the Glycoprotein Isolated from the Chinese Yam (*Dioscorea opposita* Thunb)[J]. Phytotherapy Research, 2017, 31(10): 1 557-1 563.

[4] 张硕果.怀山药黄酒工艺及抗氧化的初步研究[D].洛阳:河南科技大学,2014:5-6.

[5] 程勇杰,陈小伟,张沙沙,等.柘树植物酵素中氨基酸分析及抗氧化性能研究[J].食品工业科技,2018,39(6):1-7.

[6] 李晓青,刘俊江,陈宏运,等.植物发酵液的发展及其功效[J].农产品加工·学刊:中,2014(1):70-72.

[7] 黄海,王莹,郭云瑕,等.黑果腺肋花楸酵素的抗氧化活性研究[J].食品工业科技,2016,37(22):336-339.

(下转第 220 页)

(上接第 172 页)

- [28] MONTOWSKA M, POSPIECH E. Species-specific expression of various proteins in meat tissue: Proteomic analysis of raw and cooked meat and meat products made from beef, pork and selected poultry species[J]. Food Chem, 2013, 136(3/4): 1 461-1 469.
- [29] DANEZIS G P, TSAGKARIS A S, CAMIN F, et al. Food authentication: Techniques, trends & emerging approaches[J]. Trends in Analytical Chemistry, 2016, 85: 123-132.
- [30] KUMAR Y, CHANDRAKANT KARNE S. Spectral analysis: A rapid tool for species detection in meat products[J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 62: 59-67.
- [31] BILGE G, VELIOGLU H M, SEZER B, et al. Identification of meat species by using laser-induced breakdown spectroscopy[J]. Meat Science, 2016, 119: 118.
- [32] 毛晓婷. 光谱分析技术在食品及医药检测上的应用[D]. 杭州: 中国计量学院, 2016: 70.
- [33] GARRIDO-NOVELL C, GARRIDO-VARO A, PÉREZ-MA-RÍN D, et al. Using spectral and textural data extracted from hyperspectral near infrared spectroscopy imaging to discriminate between processed pork, poultry and fish proteins[J]. Chemometrics & Intelligent Laboratory Systems, 2018, 172: 90-99.

(上接第 194 页)

- [24] 郭文强, 安裕伦, 刘世曦. 基于变异系数法的贵州省石漠化驱动力研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(15): 9 158-9 159, 9 223.
- [25] 周禹含, 毕金峰, 陈芹芹, 等. 不同干燥方式对枣粉品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(11): 36-41.
- [26] 司金金, 辛丹丹, 王晓芬, 等. 干燥方式对红薯叶粉品质特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2018, 46(6): 1-9.
- [27] COSTA F O, PAIS A A C C, SOUSA J J S. Analysis of formulation effects in the dissolution of ibuprofen pellets[J]. Interna-

- [34] 王毅虎, 王颖, 张兵. 傅里叶变换红外光谱在区分牛明胶和猪明胶方面的潜在应用[J]. 明胶科学与技术, 2011(3): 140-144.
- [35] 孟一, 张玉华, 王家敏, 等. 基于近红外光谱技术快速识别不同动物源肉品[J]. 食品科学, 2014, 35(6): 156-158.
- [36] 马灵飞, 周围, 张雅珩, 等. 基于脂肪酸差异的肉制品中猪源性成分鉴别方法的研究[J]. 分析测试学报, 2016, 35(10): 1 295-1 300.
- [37] SHA Xiao-mei, HU Zi-zi, TU Zong-cai, et al. The identification of three mammalian gelatins by liquid chromatography-high resolution mass spectrometry[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 89: 74-86.
- [38] Man Y B C, TAN Chin-ping, NORAINI I, et al. Detection of lard adulteration in rbd palm olein using an electronic nose[J]. Food Chemistry, 2005, 90(4): 829-835.
- [39] NURJULIANA M, CHE MAN Y B, MAT HASHIM D. Analysis of lard's aroma by an electronic nose for rapid halal authentication [J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2010, 88(1): 75-82.
- [40] TIAN Xiao-jing, WANG Jun, CUI Shao-qing. Analysis of pork adulteration in minced mutton using electronic nose of metal oxide sensors[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 119(4): 744-749.

tional Journal of Pharmaceutics, 2004, 270(1/2): 9-19.

- [28] 章波, 冯怡, 徐德生, 等. 粉体流动性的研究及其在中药制剂中的应用[J]. 中成药, 2008, 30(6): 904-907.
- [29] 王弘, 陈宜鸿, 马培琴. 粉体特性的研究进展[J]. 中国新药杂志, 2006, 15(18): 1 535-1 539.
- [30] 宋贤聚. 低吸湿性杨梅粉喷雾干燥工艺的优化[J]. 食品与机械, 2013, 29(3): 226-229.
- [31] 吴锦铸, 胡卓炎, 何松, 等. 干制工艺对胡萝卜复水性的影响[J]. 食品科学, 1998(12): 23-27.
- [32] 张钟, 刘晓明. 不同干燥方法对生姜粉物理性质的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(11): 186-188.

(上接第 206 页)

- [8] 张思, 王蕾, 张志旭, 等. 16 种市售酵素食品功能分析与评价[J]. 食品与机械, 2016, 32(9): 196-200.
- [9] 郭艳萍, 赵金安. 葡萄酵素天然发酵过程中抗氧化性能研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(10): 35-38.
- [10] SULASIYAH S, SARJONO P R, AMININ A L N. Antioxidant from turmeric fermentation products (*Curcuma longa*) by *Aspergillus Oryzae*[J]. Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi, 2018, 21(1): 13-18.
- [11] OLADEJI B S, AKANBI C T, GBADAMOSI S O. Effects of fermentation on antioxidant properties of flours of a normal endosperm and quality protein maize varieties[J]. Journal of Food Measurement & Characterization, 2017, 11(1): 1-11.
- [12] JGF A, ASSIS V L, AJPO A, et al. Antioxidant and vasorelaxant activities induced by northeastern Brazilian fermented grape skins[J]. BMC Complementary & Alternative Medicine, 2017, 17(1): 376.
- [13] 韦仕静, 刘涛, 葛亚中, 等. 西兰花酵素在发酵过程中生化指标

变化及其抗氧化活性研究[J]. 现代食品科技, 2017(8): 123-129.

- [14] 杨志鹏, 王婷, 袁峰, 等. 海棠果酵素产品开发及其生物活性研究[J]. 中国调味品, 2018(1): 48-51.
- [15] 冯彦君, 张慙, 韩宇斌. 麦苗酵素发酵工艺的优化及其抗氧化功能[J]. 食品与生物技术学报, 2018, 37(2): 165-170.
- [16] 玄光善, 华晓雨, 李斌, 等. 复方纳豆酵素粉降血脂作用研究[J]. 青岛科技大学学报: 自然科学版, 2017, 38(s1): 56-58.
- [17] 战伟伟, 魏晓宇, 高本杰, 等. 蓝靛果椰子复合酵素发酵工艺优化[J]. 中国酿造, 2017, 36(1): 191-195.
- [18] 许雅娟, 赵艳景, 胡虹. 邻苯三酚自氧化法测定超氧化物歧化酶活性的研究[J]. 西南民族大学学报: 自然科学版, 2006, 32(6): 1 207-1 209.
- [19] 方玉梅, 张春生, 谭萍, 等. 金针菇黄酮类化合物的抗氧化性作用[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(3): 15-18.
- [20] 侯学敏, 李林霞, 张直峰, 等. 响应面法优化薄荷叶总黄酮提取工艺及抗氧化活性[J]. 食品科学, 2013, 34(6): 124-128.