

核桃粕固态发酵酱油的制备及抗氧化性分析

Preparation of solid-fermented soy sauce in walnut dregs and analysis of antioxidant properties

王宸轩 吴丹 张素榕 马爱进 商雨婷 张子杰

WANG Chen-xuan WU Dan ZHANG Su-rong MA Ai-jin SHANG Yu-ting LI Zi-jie

(北京工商大学食品与健康学院, 北京 100048)

(Department of Food and Health, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

摘要:目的:以米曲霉为菌种制备核桃酱油,开发功能性酱油。方法:制备酱油基础上,利用高效液相色谱仪、全自动氨基酸分析仪和气相色谱仪测定酱油营养成分,使用超滤对 10 kDa 以下组分进行分离,然后测定核桃酱油组分中多肽含量、ABTS 自由基清除能力、羟自由基清除能力及 DPPH 自由基清除能力。结果:核桃酱油中 16 种氨基酸总含量为 4.86 g/100 g, 不饱和脂肪酸含量占脂肪酸总量的 82.84%。核桃酱油组分中多肽含量为 6.804 g/100 mL, 当多肽质量浓度为 3.6 mg/mL 时,核桃酱油组分 ABTS 自由基清除能力达到 95.13%、羟自由基清除能力达到 28.20%、DPPH 自由基清除能力达到 20.08%。结论:核桃酱油组分具有较高的抗氧化性,且其抗氧化能力与多肽含量有关。

关键词:核桃;酱油;多肽;固态发酵;ABTS 自由基清除能力;羟自由基清除能力;DPPH 自由基清除能力

Abstract: Objective: Walnut soy sauce was prepared with *Aspergillus oryzae* as a strain, to explore the functional soy sauce. **Methods:** Based on the preparation of soy sauce. The nutritional components of soy sauce were determined by using high-performance liquid chromatography, automatic amino acid analyzer and gas chromatography. Components less than 10 kDa were separated by using ultrafiltration. Then the peptide content, ABTS, hydroxyl radical scavenging capacity and DPPH radical scavenging capacity in walnut soy sauce fraction were determined. **Results:** The total content of 16 amino acids in walnut soy sauce was 4.86 g/100 g, and the content of unsaturated fatty acids accounted for 82.84% of the total fatty acids. The peptide content in the walnut soy sauce component was 6.804 g/100 mL. When the concentration of polypeptide was 3.6 mg/mL, the scavenging ability of ABTS of walnut soy sauce component reached 95.13%,

the scavenging ability of hydroxyl radical reached 28.20%, and the scavenging ability of DPPH free radical reached 20.08%.

Conclusion: The components of walnut soy sauce has high antioxidant properties and its antioxidant capacity is related to peptide content.

Keywords: walnuts; soy sauce; peptides; solid state fermentation; ABTS scavenging ability; hydroxyl radical scavenging ability; DPPH free radical scavenging ability

核桃是胡桃科胡桃属植物。与扁桃、腰果、榛子并称为世界著名的“四大干果”。核桃仁含有丰富的营养素,每百克含蛋白质 15~20 g,碳水化合物 10 g,脂质 55~70 g^[1],其中约 70% 的脂质成分为亚油酸(C_{18:2})和亚麻酸(C_{18:3})等多不饱和脂肪酸,并含有丰富的胡萝卜素、核黄素等维生素以及铬、锌、硒、钙、磷、铁等多种对人体有益的微量元素和矿物质且不含胆固醇^[2]。酱油作为如今的生活必需品之一,以核桃为原料制成酱油,能够将核桃的各种功效存于酱油之中,制成功能性酱油,使酱油的品质和营养价值得以提升。

中国是核桃大国,但市面上的核桃除直接食用外,大多仅被用于提取核桃油、制备核桃蛋白粉、核桃蛋白乳及饮料等产品,核桃多肽的加工产品则相对较少,对于核桃产品的开发存在很大空白,特别是对于核桃产品的深加工工艺。门德盈等^[3]通过研究发现核桃蛋白经发酵或直接酶解可以产生多种天然生物活性肽。其中,抗氧化肽是一种天然的抗氧化剂,可以促进人体对其他营养素如钙和铁的吸收,最重要的是可以起到抗氧化的作用,食用外源抗氧化肽,可以有效阻断和消除各种氧化损伤,使身体保持健康状态,延缓衰老。弘子姗等^[4]对核桃粕多肽的制备及其抗氧化活性进行了研究,但将核桃粕深加工为酱油后,其多肽抗氧化活性及其机理尚未见报道。

研究拟以核桃酱油组分的抗氧化性为研究重点,在对核桃酱油组分分离基础上,分别对核桃酱油组分的多肽含量、ABTS 自由基清除能力、羟自由基清除能力及

作者简介:王宸轩,女,北京工商大学在读本科生。

通信作者:马爱进(1975—),男,北京工商大学教授,博士。

E-mail: aijinma206@sina.com

收稿日期:2022-10-05 改回日期:2023-03-06

DPPH 自由基清除能力进行研究,旨在为功能性酱油的开发提供理论支持。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与amp;仪器

核桃粕、麸皮、面粉:市售;

米曲霉:北京工商大学实验室保存;

羟自由基清除能力试剂盒:苏州格锐思生物科技有限公司;

电热恒温培养箱:DHP-9272 型,上海一恒科技有限公司;

立式自动电热压力蒸汽灭菌锅:YXQ-LS-50A 型,上海博迅医疗生物仪器;

恒温水浴锅:B-260 型,上海亚荣生化仪器厂;

磁力搅拌器:RH 数显型套装,广州仪科实验室技术有限公司;

液相色谱仪:1260II 型,美国安捷伦公司;

全自动氨基酸分析仪:A300 型,德国曼默博尔公司;

气相色谱仪:GC2010-MS 型,日本岛津公司。

1.2 酱油制备方法

1.2.1 工艺流程

麸皮(0.5 kg)
↓
核桃粕(2.5 kg) → 混合 → 润水(45 min) → 灭菌
(0.15 MPa, 30 min) → 冷却(30 ℃) → 接种米曲霉 → 制
曲 → 混合 → 发酵(15 d) → 淋油 → 成品
↑
水(7.5 kg)和食盐(1.2 kg)

1.2.2 制曲 根据文献[5],优化核桃酱油制曲发酵工艺,修改如下:准备 2.5 kg 核桃粕搅碎,0.5 kg 麸皮,分别过 50 目筛后混合,按 115% 加水,润水 45 min。在 0.15 MPa 条件下灭菌 30 min。冷却至 30 ℃ 左右,将灭菌的 0.2 kg 面粉拌匀,按 0.5% 接种米曲霉,搅拌均匀。平铺发酵,厚度 2 cm 左右。30 ℃ 下接种,30~33 ℃ 培养 20 h,然后温度降为 26~28 ℃ 继续培养 20 h,培养时长共 40 h,制曲完成。

1.2.3 发酵 发酵容器中加 7.5 kg 水,1.2 kg 食盐及制好的核桃曲,搅拌均匀,纱布封口。在 45 ℃ 下保温发酵 15 d,当酱醅呈红褐色,有光泽,不发黑,醅层的颜色一致且醅层柔软,松散不黏,不干燥,无硬心,有酱香时,即为成熟酱醅。成熟酱醅在 90 ℃ 下浸泡后淋油,经 12 h 后取上清液即得到生酱油。

1.3 营养成分测定

1.3.1 感官、氨基酸态氮、黄曲霉毒素的测定 根据 GB 2717—2018《食品安全国家标准 酱油》、GB 5009.235—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸态氮的测定》及 GB 5009.22—2016《食品安全国家标准 食品中黄曲霉毒素 B 族和 G 族的测定》测定核桃酱油感官、氨基酸态氮和

黄曲霉毒素。

1.3.2 氨基酸及不饱和脂肪酸含量的测定 根据 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》测得核桃酱油中的氨基酸含量;根据 GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》测得核桃酱油中的脂肪酸含量。

1.3.3 核桃酱油的脱色 量取一定体积的酱油原液,按照 1:20 的比例稀释。再按照活性炭的添加量 1.8%,调节酱油稀释液的 pH 值为 6.4,在水浴摇床上 55 ℃ 震荡 40 min,所得溶液进行抽滤,离心,取上清备用^[6]。

1.3.4 核桃酱油组分分离 将脱色后的自制核桃酱油利用 10 kDa 的膜包将酱油组分分成两段,收集 10 kDa 以下的酱油组分,在-4 ℃ 保存备用^[7]。

1.3.5 多肽含量测定 根据 GB/T 22492—2008《大豆花粉》中肽含量测定方法测定核桃酱油组分中多肽的含量。

1.4 核桃酱油组分的抗氧化性测定

1.4.1 ABTS 自由基清除能力 取超滤后的自制核桃酱油组分,用无水乙醇稀释成浓度梯度分别为 3.6,1.8,0.9,0.45,0.225,0.112 5 mg/mL 的溶液。根据 GB/T 39100—2020《多肽抗氧化性测定 DPPH 和 ABTS 法》测定不同浓度的多肽对 ABTS 自由基的清除率。

1.4.2 羟自由基清除能力 取适量自制核桃酱油组分,用蒸馏水配制成浓度梯度分别为 3.6,1.8,0.9,0.45 mg/mL 的溶液作为样本备用。采用羟自由基清除能力试剂盒测定多肽清除羟自由基的能力。

1.4.3 DPPH 自由基清除能力 取适量自制核桃酱油组分,用无水乙醇配制浓度梯度分别为 3.6,1.8,0.9,0.45,0.225 mg/mL 的溶液。根据 GB/T 39100—2020《多肽抗氧化性测定 DPPH 和 ABTS 法》测定不同浓度的多肽清除 DPPH 自由基的能力。

1.5 数据处理

以上所有试验均重复进行 3 次以上,采用 Excel 2019 软件计算平均值,用 SPSS 19.0 软件进行显著性分析,Origin 2022 软件作图。显著性水平 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 感官、氨基酸态氮、黄曲霉毒素

由表 1、表 2 可知,核桃酱油感官、氨基酸态氮和黄曲霉毒素指标均符合对应的国标(GB 2717—2018《食品安全国家标准 酱油》、GB 5009.235—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸态氮的测定》及 GB 5009.22—2016《食品安全国家标准 食品中黄曲霉毒素 B 族和 G 族的测定》)要求。说明在此制备工艺下,核桃酱油色泽、滋味、气味及状态良好,理化指标正常,符合食品安全国家标准。

2.2 氨基酸及不饱和脂肪酸含量

根据 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品

表 1 核桃酱油感官测定

Table 1 Organoleptic determination of walnut soy sauce

项目	要求	检测结果
色泽	具有产品应有的色泽	符合要求
滋味、气味	具有产品应有的滋味和气味,无异味	符合要求
状态	不浑浊,无正常视力可见外来异物,无霉花浮膜	符合要求

表 2 核桃酱油理化指标测定

Table 2 Determination of physical and chemical indexes of walnut soy sauce

项目	单位	指标	检测结果	单项结论
氨基酸态氮	g/100 mL	≥0.4	0.73	符合要求
黄曲霉毒素 B ₁	mg/kg	≤5.0	未检出	符合要求

中氨基酸的测定》测得核桃酱油中 16 种氨基酸总含量为 4.86 g/100 g。由表 3 可知,其中含有 7 种必需氨基酸,必需氨基酸含量在总氨基酸含量中的比例达到 32.06 g/100 g。世界卫生组织与联合国粮农组织(FAO/WHO)^[8]提出优质蛋白质中必需氨基酸在总氨基酸中的比例应大于 12.70 g/100 g。由此可以看出,该工艺制备的核桃酱油富含氨基酸,具有较高的营养价值。

表 3 核桃酱油中 16 种氨基酸含量

Table 3 Content of 16 amino acids in walnut soy sauce

氨基酸种类	含量/ (10 ⁻² g · g ⁻¹)	占比/ %	氨基酸种类	含量/ (10 ⁻² g · g ⁻¹)	占比/ %
天冬氨酸	0.52	10.70	蛋氨酸	0.068	1.40
苏氨酸	0.22	4.53	异亮氨酸	0.22	4.53
丝氨酸	0.26	5.35	亮氨酸	0.34	7.00
谷氨酸	0.96	19.75	酪氨酸	0.10	2.06
脯氨酸	0.22	4.53	苯丙氨酸	0.20	4.12
甘氨酸	0.26	5.35	赖氨酸	0.24	4.94
丙氨酸	0.28	5.76	组氨酸	0.12	2.47
缬氨酸	0.27	5.56	精氨酸	0.58	11.93

由表 4 可知,核桃酱油中含有两种不饱和脂肪酸,不饱和脂肪酸含量占脂肪酸总量的 82.84%。该工艺制备的酱油,不饱和脂肪酸含量高,具有较高的营养功能。但是,核桃中不饱和脂肪酸含量占脂肪酸总量的 90% 以上^[9],不饱和脂肪酸含量占脂肪酸总量稍微降低的原因可能是由于米曲霉的生成将其作为底物消耗导致的^[10]。

2.3 核桃酱油组分中的多肽含量

经检测,试验制备的核桃酱油的多肽含量高达 6.804 g/100 mL。经过该工艺发酵,米曲霉产生的蛋白酶能够很好地将核桃蛋白分解为多肽,提高了核桃酱油的营养价值。

表 4 核桃酱油中不饱和脂肪酸含量

Table 4 Content of unsaturated fatty acids in walnut soy sauce

不饱和脂肪酸种类	含量/ (10 ⁻² g · g ⁻¹)	占比/%
油酸-顺-9-十八碳一烯酸 C _{18:1n9c}	0.005 5	23.61
亚油酸-顺,顺-9,12-十八碳二烯酸 C _{18:2n6c}	0.013 8	59.23
脂肪酸总量	0.023 3	

2.4 核桃酱油组分的 ABTS 自由基清除活性

由图 1 可以看出,核桃酱油组分中多肽对 ABTS 自由基的清除率随其浓度的增加而增大,当组分中多肽浓度为 3.6 mg/mL 时,ABTS 自由基清除率为 95.13%。抗氧化能力与多肽空间构型、氨基酸组成和分子空间排列等发生变化,产生离子化的氨基或羧基等供氢体^[11]有关。张建友等^[12]也获得了类似的结果。

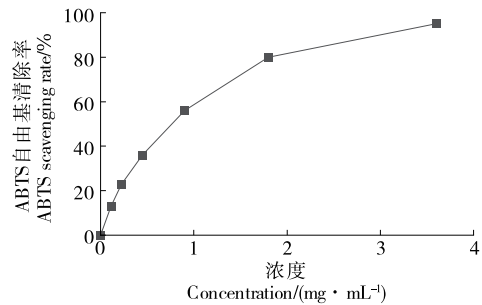


图 1 酱油多肽浓度对 ABTS 自由基清除率的影响
Figure 1 Effects of soy sauce peptide concentration on ABTS scavenging rate

2.5 核桃酱油组分的羟自由基清除能力

由图 2 可以看出,核桃酱油组分中多肽对羟自由基的清除率随浓度的增加而增大,当多肽浓度为 3.6 mg/mL 时,核桃酱油组分中多肽的羟自由基清除率为 28.20%。羟自由基清除能力主要与暴露的氨基酸侧链基团和肽序列有关^[13]。多肽中富含供氢体,具有提供氢质子的能力,可使具有高度氧化性的自由基还原,起到清除或抑制自由基的目的^[14]。

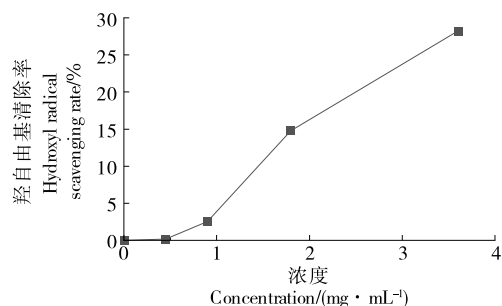


图 2 酱油多肽浓度对羟自由基清除率的影响
Figure 2 Effects of soy sauce peptide concentration on hydroxyl radical scavenging rate

2.6 核桃酱油组分的 DPPH 自由基清除能力

由图 3 可以看出,核桃酱油组分中多肽对 DPPH 自由基的清除率随其浓度的增加而增大,当多肽浓度为 3.6 mg/mL 时,DPPH 自由基清除率为 20.08%。DPPH 自由基清除能力可能是由于核桃发酵过程中释放出可作为质子供体的物质,这种物质可与 DPPH 自由基反应使其转变成稳定的反磁性分子,从而呈现出较强的抗氧化能力^[15]。

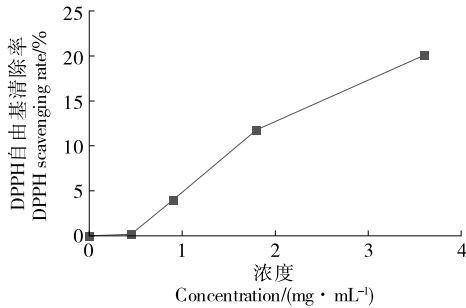


图 3 酱油多肽浓度对 DPPH 自由基清除率的影响

Figure 3 Effects of soy sauce peptide concentration on DPPH scavenging rate

研究表明,蛋白多肽具有氧化性,拥有供氢基团的多肽在适当分子量时,供氢基团能最大程度与自由基作用^[16];肽链内氨基酸的短程相互作用强化了氨基酸作为质子供体的能力,增强了与自由基的相互作用^[17]。核桃酱油具有良好的抗氧化能力,可能与其中含有丰富的多肽有关。另外,核桃酱油中的油酸和亚油酸对于其氧化稳定性也有一定的影响,油酸作为不饱和脂肪酸中的单不饱和脂肪酸,具有较高的抗氧化性^[18],能够实现自由基的清除。

3 结论

采用米曲霉为菌种发酵核桃粕,能将大量核桃蛋白分解为氨基酸,增加核桃酱油营养。利用 ABTS 自由基、DPPH 自由基及羟自由基的清除能力为指标,研究核桃酱油组分的抗氧化性。结果表明,当酱油组分中多肽浓度为 3.6 mg/mL 时,ABTS 自由基清除能力达到 95.13%、羟自由基清除能力达到 28.20%、DPPH 自由基清除能力达到 20.08%。核桃酱油组分具有较高的抗氧化性,且其抗氧化能力可能与多肽含量及其氨基酸组成有关。后续将进一步进行细胞和动物试验来验证核桃酱油组分的抗氧化能力。

参考文献

- [1] 沈旭,郑洁,侯如燕. 核桃的营养价值及功效[J]. 食品安全导刊, 2015(23): 76-78.
SHEN X, ZHENG J, HOU R Y. Nutritional value and efficacy of walnuts[J]. Food Safety Guide, 2015(23): 76-78.
- [2] 曹婧. 成县核桃产业发展现状[J]. 农业科技与信息, 2016(28): 12-14.
CAO J. Development status of walnut industry in Chengxian[J].

- Agricultural Science and Technology and Information, 2016(28): 12-14.
- [3] 门德盈,代佳和,汤木果,等. 核桃肽制备及生物活性的研究进展[J]. 食品科学, 2022, 43(23): 367-376.
MEN D Y, DAI J H, TANG M G, et al. Research progress on bioactivity and application of walnut peptides[J]. Food Science, 2022, 43(23): 367-376.
- [4] 弘子姗,解静,张宝娟,等. 核桃粕多肽的制备及其抗氧化活性研究[J]. 热带农业科学, 2021, 41(12): 45-52.
HONG Z S, XIE J, ZHANG B J, et al. Preparation of polypeptides from walnut dregs and their antioxidant activity [J]. Journal of Tropical Agriculture, 2021, 41(12): 45-52.
- [5] 王晓楠, 蔺立杰, 王丰俊. 响应面分析法优化核桃酱油的发酵条件[J]. 食品工业科技, 2014, 35(5): 209-212.
WANG X N, LIN L J, WANG F J. Optimization of fermentation conditions for preparing walnut soy sauce [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(5): 209-212.
- [6] 魏连会. 酱油中水溶性肽的提纯及抗氧化活性研究[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2013: 13-16.
WEI L H. Extraction, purification and antioxidant of water-soluble peptide in soy sauce[D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2013: 13-16.
- [7] 赵炫. 酱油鲜味肽的分离鉴定及其定向酶解制备研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2019: 4-15.
ZHAO X. Separation, identification and directional enzymatic preparation of umami peptides from soy sauce [D]. Guangzhou: South China Institute of Technology, 2019: 4-15.
- [8] FAO/WHO Nutrition Meetings, Report Series 51. Protein quality evaluation[R]. Rome: Food and Agricultural Organization/World Health Organization, 1990.
- [9] 安传相,裴璞花,马立志,等. 核桃多肽的制备工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品工业, 2018, 39(5): 101-106.
AN C X, PEI P H, MA L Z, et al. Optimization of hydrolysis preparation process of walnut proteins and antioxidant activities of its hydrolysates[J]. Food Industry, 2018, 39(5): 101-106.
- [10] 谢艳华,陈力力,谢靓,等. 不同菌种发酵对豆豉游离脂肪酸构成的影响[J]. 中国酿造, 2017, 36(3): 80-84.
XIE Y H, CHEN L L, XIE L, et al. Effect of starter cultures on free fatty acid composition of Douchi[J]. China Brewing, 2017, 36(3): 80-84.
- [11] 魏连会,董艳,石杰,等. 汉麻籽抗氧化肽的制备与氨基酸序列分析[J]. 中国油脂, 2022, 47(4): 36-40.
WEI L H, DONG Y, SHI J, et al. Preparation and amino acid sequence analysis of antioxidant peptides from hemp seeds [J]. China Oils and Fats, 2022, 47(4): 36-40.
- [12] 张建友,陈志明,王芳,等. 大豆酱油分子量超滤分级及抗氧化活性研究[J]. 中国食品学报, 2019, 19(1): 48-54.
ZHANG J, CHEN Z, WANG F, et al. Molecular mass ultrafiltration classification and antioxidant activity of soybean soy sauce [J]. Chinese Journal of Food, 2019, 19(1): 48-54.

(下转第 202 页)

- [46] ZHU W Y, REN L Y, ZHANG L, et al. The potential of food protein-derived bioactive peptides against chronic intestinal inflammation[J]. *Mediators of Inflammation*, 2020, 2 020: 6817156.
- [47] YAO L J, YANG P, LUO W Q, et al. Macrophage-stimulating activity of European eel (*Anguilla anguilla*) peptides in RAW264.7 cells mediated via NF- κ B and MAPK signaling pathways[J]. *Food & Function*, 2020, 11(12): 10 968-10 978.
- [48] CAI J Y, LI X, WANG X, et al. A human β -casein-derived peptide BCCY-1 modulates the innate immune response [J]. *Food Chemistry*, 2021, 348: 129111.
- [49] YANG B, ZHANG Z, YANG Z, et al. Chanling gao attenuates bone cancer pain in rats by the IKK β /NF- κ B signaling pathway[J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2020, 11: 525-535.
- [50] SOEHNLEIN O, LINDBOM L. Phagocyte partnership during the onset and resolution of inflammation [J]. *Nature Reviews Immunology*, 2010, 10(6): 427-439.
- [51] SURAIYA S, AHMED M K, HAQ M. Immunity boosting roles of biofunctional compounds available in aquafoods: A review[J]. *Heliyon*, 2022, 8(5): e09547.
- [52] CHEN L, DENG H, CUI H, et al. Inflammatory responses and inflammation-associated diseases in organs[J]. *Oncotarget*: 2017, 9: 7 204-7 218.
- [53] YIMIT D, HOXUR P, AMAT N, et al. Effects of soybean peptide on immune function, brain function, and neurochemistry in healthy volunteers[J]. *Nutrition*, 2012, 28(2): 154-159.
- [54] HORIGUCHI N, HORIGUCHI H, SUZUKI Y. Effect of wheat gluten hydrolysate on the immune system in healthy human subjects[J]. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 2005, 69(12): 2 445-2 449.
- [55] 刘睿, 赵明, 段金殿. 基于“蛋白质/肽组学—修饰组学”研究动物药功效物质基础的思路与方法[J]. *药学学报*, 2020, 55(8): 1 735-1 743.
- LIU R, ZHAO M, DUAN J A. Ideas and strategies for investigating the bioactive constituents of animal derived traditional Chinese medicines based on integrated "proteomics/peptidomics-modifications" methods [J]. *Acta Pharmaceutica Sinica*, 2020, 55(8): 1 735-1 743.
- [56] 张科. 基于网络药理学方法探究天麻素抗阿尔兹海默症的作用机制[J]. *云南中医中药杂志*, 2022, 43(9): 39-46.
- ZHANG K. Exploring the mechanism of action of gastrodin against Alzheimer's disease based on network pharmacology [J]. *Yunnan Journal of Traditional Chinese Medicine*, 2022, 43(9): 39-46.

(上接第 185 页)

- [13] 豆康宁, 董彬, 王银满. 大豆蛋白活性肽的生物功能与应用前景[J]. *粮食加工*, 2007(2): 52-54.
- DOU K N, DONG B, WANG Y M. Biological function and application prospect of soybean protein active peptide[J]. *Grain Processing*, 2007(2): 52-54.
- [14] 周海华, 马海乐. 云芝多糖的体外抗氧化活性研究[J]. *食品研究与开发*, 2008(3): 44-48.
- ZHOU H H, MA H L. In vitro antioxidant activity of Yunzhi polysaccharides[J]. *Food Research and Development*, 2008(3): 44-48.
- [15] 刘文颖, 冯晓文, 李国明, 等. 牡蛎低聚肽的结构表征及体外抗氧化作用[J]. *中国食品学报*, 2021, 21(12): 261-269.
- LIU W Y, FENG X W, LI G M, et al. Structural characterization and in vitro antioxidant effects of oyster oligopeptides[J]. *Chinese Journal of Food Science*, 2021, 21(12): 261-269.
- [16] 李昌文, 张丽华, 纵伟. 核桃多肽制备技术及生理活性研究进展[J]. *食品工业*, 2020, 41(9): 257-259.
- LI C W, ZHANG L H, ZHONG W. Progress on preparation and functional activity of walnut peptides[J]. *Food Industry*, 2020, 41(9): 257-259.
- [17] 方婧杰. 大米活性肽抗氧化机理的研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2013: 15.
- FANG J J. The research on antioxidative mechanism of rice bioactive peptide [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2013: 15.
- [18] 耿婷婷. 芝麻酚和白藜芦醇对高油酸花生油的抗氧化和抗异构化作用[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2019: 4-5.
- GENG T T. Antioxidant and anti-isomerization effects of sesamol and resveratrol on high oleic acid peanut oil [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2019: 4-5.

(上接第 192 页)

- [16] 罗凯, 黄秀芳, 周毅峰, 等. 响应面试验优化复合酶法提取碎米芥多糖工艺及其抗氧化活性[J]. *食品科学*, 2017, 38(4): 237-242.
- LUO K, HUANG X F, ZHOU Y F, et al. Optimization of multi-enzymatic extraction of polysaccharides from cardamine hupingshanensis and their antioxidant activity [J]. *Food Science*, 2017, 38(4): 237-242.
- [17] 许小向, 尹小莉, 洪艳平, 等. 火炬松松针多糖提取工艺及其抗氧化性研究[J]. *林产化学与工业*, 2016, 36(3): 114-120.
- XU X X, YIN X L, HONG Y P, et al. Extraction process and antioxidant activity of *Pinus taeda* L. polysaccharides [J]. *Chemistry and Industry of Forest Products*, 2016, 36(3): 114-120.
- [18] 关海宁. 微波辅助酶法提取玉米皮多糖工艺研究[J]. *粮食与油脂*, 2012, 25(6): 47-49.
- GUAN H N. Study on extraction polysaccharides in cornspermoderm by microwave-assisted enzymatic methods [J]. *Cereals & Oil*, 2012, 25(6): 47-49.
- [19] CUI F J, QIAN L S, SUN W J, et al. Ultrasound-assisted extraction of polysaccharides from *Volvularia volvacea*: Process optimization and structural characterization[J]. *Molecules*, 2018, 23(7): 1 706.