

· 综述 ·

豆豉抗氧化作用研究进展[△]

孙晓丛, 杜杰*, 陈彦琳, 钟荣荣, 范亚楠, 周旭, 王奕博

中国中药有限公司, 北京 102600

[摘要] 豆豉是中国传统发酵豆制品, 可食用, 亦可入药, 其含有丰富的生物活性物质。对豆豉常用的抗氧化测定方法, 豆豉中的大豆异黄酮、大豆多肽、酚类等主要抗氧化成分及大豆发酵前后抗氧化活性变化进行综述, 并对豆豉抗氧化方法开发、质量控制及功能开发进行分析与展望, 以为豆豉抗氧化研究和开发提供参考。

[关键词] 豆豉; 抗氧化活性; 自由基清除活性; 大豆异黄酮; 大豆多肽; 酚类

[中图分类号] R282 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-4890(2023)02-0429-06

doi:10.13313/j.issn.1673-4890.20220509005

Antioxidant Activity of Douchi: A Review

SUN Xiao-cong, DU Jie*, CHEN Yan-lin, ZHONG Rong-rong, FAN Ya-nan, ZHOU Xu, WANG Yi-bo

China National Traditional & Herbal Medicine Co., Ltd., Beijing 102600, China

[Abstract] Douchi is traditional fermented soybean in China, which is edible and medicinal, and rich in active biological substances. The present study reviewed the methods for the determination of antioxidant activity in Douchi, summarized the main antioxidant components, such as soybean isoflavones, soybean peptides, and phenols, and analyzed the changes in antioxidant activity before and after fermentation. Finally, the development of antioxidant methods, quality control, and functional development of Douchi were analyzed and prospected, aiming to provide a reference for the research and development of antioxidation of Douchi.

[Keywords] Douchi; antioxidant activity; free radical scavenging activity; soy isoflavones; soy peptides; phenols

豆豉是中国传统特色发酵豆制品, 味道独特、营养丰富。其含有很多具有生理功能的活性物质, 具有较高的食用、药用价值。豆豉按照加工原料可分为黄豆豆豉和黑豆豆豉; 按口味分为淡豆豉、咸豆豉和酒豆豉; 按用途分为食用豆豉和药用豆豉(淡豆豉); 按接种菌种分为细菌型豆豉、曲霉型豆豉和霉菌型豆豉, 不同豆豉的用途、味道及功效都有一定的差别。食用豆豉主要是以黑豆或黄豆为主要原料经过发酵而成, 结合地域特点及地方饮食文化的不同, 又产生了永川豆豉、阳江豆豉、贵州豆豉及日本纳豆等几大流派。日本的纳豆(日本细菌型豆豉)、味噌及天培(印度尼西亚根霉型豆豉)等食品源于中国豆豉, 具有溶栓、降血压、防治糖尿病等保健作用。药用豆豉(淡豆豉)则是以大豆为主料, 以青蒿、桑叶等为辅料, 经过发酵加工而成,

具有解表、除烦、宣发郁热的功效, 用于治疗感冒、寒热头痛、烦躁胸闷、虚烦不眠等^[1]。

研究表明, 豆豉有预防骨质疏松、降血糖、抗肿瘤、保护血管、调血脂、抗动脉粥样硬化的作用^[2]。豆豉富含异黄酮、酚类等抗氧化成分, 具有提高机体抵抗癌症、冠心病和老年疾病的能力^[3-5]。本文综述近年来豆豉抗氧化活性研究进展, 旨在为豆豉药用和食用价值的开发提供参考。

1 自由基的产生及其对人体的影响

机体在自身新陈代谢过程中, 会在酶催化电子转移的过程中产生许多自由基中间体, 常见的人体内源自由基有活性氧(ROS)、氧自由基(OFR)、脂自由基等。体内正常量的自由基不会对人体产生危害, 但是由于疾病的产生、辐射、药物甚至饮食

[△] [基金项目] 国家重点研发计划项目(2018YFC1707202)

* [通信作者] 杜杰, 副研究员, 研究方向: 中药炮制工艺规范化、中药饮片质量控制; E-mail: 13522479332@163.com

等的作用,人体会产生过多的自由基,打破体内环境的平衡。在这种情况下,自由基就会攻击机体内的各种细胞器,造成生物膜的脂质过氧化损伤,对内脏器官、免疫系统的功能产生影响,加快机体衰老,甚至引起疾病(高血压、动脉粥样硬化等)。一般认为,体内的自由基过多是造成衰老和疾病的罪魁祸首,研究表明体外补充抗氧化成分可达到清除自由基,延缓机体损害的作用^[6-7]。

2 常用抗氧化评价方法

抗氧化评价方法分为体外评价和体内评价方法^[8-11]。目前应用最多的是体外评价方法,如自由基清除能力评价、还原力评价等。测定方法的主要机制是在一定的条件下,通过测定抗氧化剂对检测体系中自由基的清除能力、还原能力来反映其抗氧化活性。自由基清除能力评价方法有1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基(DPPH·)清除、羟基自由基(·OH)清除、2,2'-联氮-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)自由基(ABTS⁺)清除、超氧阴离子自由基(O₂⁻)清除等;其他体外检测方法有抑制亚硝酸胺合成亚硝酸根离子(NO₂⁻)清除、铁氰化钾还原性、过氧化值(POV)、硫代巴比妥酸值(TBA)等。常用体外抗氧化检测方法分类及原理见表1。目前体内抗氧化测定方法有DNA氧化损伤检测、线粒体氧化损伤检测、蛋白质氧化损伤检测等,如单细胞凝胶电泳法(SCGE)、丙二醛(MDA)实验、超氧化物歧化酶(SOD)活力测定、过氧化氢酶(CAT)活力测定、

免疫印迹法测定核转录因子(NF)-E₂相关因子2(Nrf2)的表达等,为了更好地反映食物或中药抗氧化剂在生理条件、细胞或者体内产生的效应,细胞抗氧化活性(CAA)测定法也被逐步采用。

3 豆豉的抗氧化活性成分及其对应功能研究

研究发现,大豆发酵后整体抗氧化性大幅提高,大豆发酵所得豆豉中大豆苷元和染料木素大幅增加,酚类成分明显增高,必需氨基酸含量也有所提高^[12-13]。异黄酮、酚类、抗氧化肽等抗氧化成分是一类天然的抗氧化剂,能有效清除各类自由基,促使机体自由基保持平衡。豆豉抗氧化成分按其来源大致分两类:一类是大豆中本身具有的天然抗氧化成分,如维生素E、维生素C、异黄酮类等化合物;第二类是发酵过程中多种酶及微生物的综合作用所形成的具有抗氧化活性的物质^[14],如异黄酮苷类转变成异黄酮苷元类成分,蛋白质在蛋白酶的作用下分解成大豆多肽和氨基酸,脂肪在微生物作用下转化为脂肪酸,在各类酶系的催化作用下合成多酚化合物,谷氨酸在谷氨酸脱氢酶作用下脱羧产生γ-氨基丁酸(GABA),部分蛋白和糖类在美拉德反应后生成类黑精成分等。大豆发酵前后抗氧化成分变化见图1。

3.1 大豆异黄酮

豆豉抗氧化作用研究最多的成分是大豆异黄酮,其是豆豉的中主要的活性成分,具有抗肿瘤、抗氧化、防治心血管疾病、预防骨质疏松和改善更年期综合征等作用^[15-16]。

表1 常用体外抗氧化检测方法分类及原理

检测方法	原理
清除DPPH·能力	DPPH·是一种很稳定自由基,在517 nm有强吸收,其乙醇水溶液呈深紫色,加入抗氧化剂后,能清除自由基,从而引起吸光度减少,在517 nm不同时间测定其吸光度的变化
清除ABTS ⁺ 能力	ABTS在适当的氧化剂作用下氧化成绿色的ABTS ⁺ ,在抗氧化剂存在时,ABTS ⁺ 的产生会被抑制,在734 nm或405 nm测定其吸光度
清除O ₂ ⁻ 的能力	O ₂ ⁻ 与氯化硝基四氮唑蓝结合后呈蓝色,在530 nm处有最大吸收峰,抗氧化剂的加入会使氯化硝基四氮唑蓝与O ₂ ⁻ 结合减少,颜色变浅,测定吸光度的变化
清除·OH的能力	在有·OH的体系中,加入二甲基亚砷或水杨酸等,与·OH结合成在特定波长有吸收的物质,加入抗氧化剂后,测定吸光度变化
清除NO ₂ ⁻ 的能力	在酸性条件下,水样中的亚硝酸氮与磺胺反应,形成重氮化合物,最终形成红色的重氮偶合化合物,在540 nm有最大吸收,加入抗氧化剂会抑制重氮化合物的形成
POV测定	油脂氧化后产生的过氧化物能把碘化钾氧化成游离碘,用硫代硫酸钠滴定,计算POV
TBA测定	不饱和脂肪酸的氧化产物醛类可与硫代巴比妥酸生成有色化合物,如MDA与TBA生成有色物,在530 nm处有最大吸收
铁氰化钾还原性	抗氧化剂能使铁氰化钾的三价铁还原成二价铁(亚铁氰化钾),二价铁(亚铁氰化钾)进一步在和三氯化铁的反应下生成在700 nm处有最大吸光度的普鲁士蓝{Fe ₄ [Fe(CN) ₆] ₃ },在700 nm处有最大吸收
总抗氧化能力(T-AOC)检测试剂盒	抗氧化物质能还原Fe ³⁺ 生成Fe ²⁺ ,Fe ²⁺ 可与菲林类物质形成有色络合物,测定测定吸光度反应总抗氧化能力

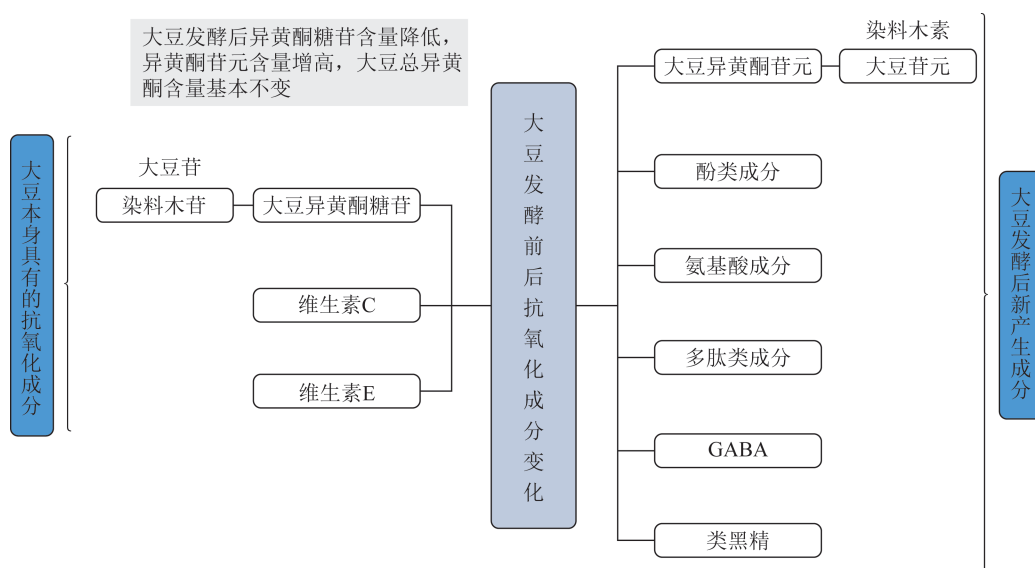


图1 大豆发酵前后抗氧化成分变化

未发酵的大豆中异黄酮主要是以糖苷型异黄酮形式存在, 而发酵大豆异黄酮主要是以苷元型异黄酮形式存在, 且发酵后氧化活性明显增强。对大豆发酵前后异黄酮各组分的变化进行研究, 发现大豆发酵后, 大豆苷、染料木苷成分含量显著下降, 大豆苷元和染料木素成分显著增加, 在炮制过程中存在苷向苷元的转化^[17-18]。多项研究表明, 异黄酮成分在豆豉抗氧化中起到关键作用, 且苷元型异黄酮比糖苷型异黄酮具有更强的抗氧化活性, 苷元型异黄酮在抗自由基、抗脂质过氧化、抗氧化等方面的活性均比糖苷型异黄酮高^[19-22]。豆豉异黄酮成分抗氧化检测方法及抗氧化活性见表2。

刘锦绣等^[21]发现, 发酵前后豆豉中的苷元型异

黄酮含量明显增加, 黄酮类化合物含量提高31.20%~45.19%。徐彬人等^[20]从淡豆豉中提取出大豆黄素和染料木素异黄酮成分, 发现其具有显著的体外清除DPPH·的能力。李爽等^[22]对发酵大豆中的异黄酮苷元进行含量测定, 结果表明发酵后的大豆中的染料木素含量是未发酵大豆的5.71倍, 且发酵后大豆的乙醇提取物均具有较强的抗氧化能力及较高的还原力。

3.2 大豆多肽、氨基酸

大豆多肽类成分也是近年来豆豉抗氧化活性研究的热点。大豆中含有丰富的蛋白质, 很多研究发现大豆发酵期间, 微生物在生长代谢过程中产生大量的蛋白酶, 蛋白酶水解大豆中的大豆蛋白,

表2 豆豉异黄酮类成分抗氧化检测方法和活性

抗氧化成分	提取方式	抗氧化实验	活性	参考文献
总异黄酮	正己烷脱脂, 乙醇提取	MDA实验; SOD活力测定	显著降低MDA水平, 增加SOD活力	[19]
	大孔吸附树脂	抑制脂肪氧化 (POV值、TBA值)	很强烈地抑制猪油脂肪氧化作用	
总苷元型异黄酮	石油醚脱脂, 乙醇提取	DPPH·清除	半数抑制浓度 (IC ₅₀) 为8.18 μg·mL ⁻¹ , 对照品叔丁基对羟基茴香醚 (BHA) 的IC ₅₀ 为15.79 μg·mL ⁻¹	[20]
		铁氰化钾还原性	发酵后还原能力明显增强	[21]
		DPPH·清除, ·OH清除	DPPH·和·OH清除能力增强, 且活性与苷元型异黄酮含量呈正相关	
总苷元型异黄酮+总酚	乙醇提取	DPPH·清除, ABTS·清除, 铁氰化钾还原性	自由基清除活性、还原力能力明显优于未发酵大豆	[22]
	乙醇提取	DPPH·清除	清除率为93.67%	[23-24]
		·OH清除	清除率为90.23%	
		O ₂ ⁻ 清除	清除率为88.38%	
		总抗氧化能力	抗氧化能力为1 088.91 U·g ⁻¹	

产生多肽类或氨基酸成分,也可通过自身生长代谢产生次级代谢产物多肽类物质。这些多肽类物质具有很强的抗氧化活性,被称为大豆抗氧化肽,其是一类具备抑制氧化应激作用、清除自由基能力的生物活性肽。豆豉多肽及氨基酸成分的抗氧化检测方法及抗氧化活性见表3。

通过对大豆酶解物进行分离,得到多肽类成分,研究发现其具有抗亚油酸脂质过氧化的作用,且具有很强的自由基清除能力^[30]。范琳^[31]通过对毛霉型豆豉后发酵过程中抗氧化肽及其氧化性进行研究,发现随着后发酵的进行,蛋白质不断分解成多肽及氨基酸等物质,其氧化性也随着发酵时间的延长基本保持增加的趋势。研究报道,细菌型的淡豆豉在发酵过程中蛋白质分解产生的抗氧化肽的速率明显高于异黄酮的水解速率,且活性与抗氧化肽含量呈正相关,认为多肽在豆豉抗氧化活性中起主导作用,而异黄酮对豆豉抗氧化活性影响很小^[32]。周芳等^[29]认为,蛋白质降解是引起豆豉抗氧化活性增强的主要原因,经Pearson's相关性分析,苷元型异黄酮和氨基酸态氮含量对豆豉抗氧化活性变化有显著性影响,但是与相关系数比较,氨基酸态氮含量对抗氧

化活性变化的影响更显著。

3.3 酚类

近年来,许多研究表明豆豉中酚类物质具有抗氧化、抗癌、预防心血管疾病等功效。豆豉酚类成分抗氧化检测方法及活性见表4。

大豆经过发酵处理后,酚类化合物含量明显升高。侯竹美等^[33]发现,大豆在一定发酵时间内,随发酵时间的增加总酚含量也在增加。李爽^[12]采用福林酚法测定了发酵处理的毛豆中酚类化合物的总含量约是大豆中的2.9倍。陈怡等^[23]发现,大豆发酵后总酚质量分数从 $2.78\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 迅速提升至 $5.76\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,说明酚类成分在豆豉抗氧化活性方面也起到重要作用。相关研究证实,豆豉的DPPH·、·OH、 O_2^- 清除能力及总抗氧化能力与总酚含量变化趋势一致,具有很高的相关性,认为发酵有助于大豆总酚的增加,且总酚含量的增加是引起豆豉抗氧化活性增强、提高豆豉功能性的关键因素之一^[23-24]。

3.4 其他抗氧化成分

影响豆豉抗氧化能力的原因除了异黄酮苷向苷元的转变、蛋白质降解为大豆多肽和氨基酸等,还

表3 豆豉多肽和氨基酸类成分抗氧化检测方法和活性

抗氧化成分	提取方式	抗氧化实验	活性	参考文献
总肽+总酚	水提取	ABTS·清除 人永生生化角质形成细胞 HaCaT 内 ROS 清除、Nrf2、SOD 和 CAT 酶活	发酵后 ABTS·清除能力是发酵前的 10 倍 ROS、Nrf2 水平升高、SOD 和 CAT 酶活增强	[25]
大豆肽 (glutathione, glycine)	超滤+色谱凝胶	O_2^- 清除 ·OH 清除	在 $10\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 质量浓度下对 O_2^- 清除率为 62% 在 $10\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 质量浓度下对 ·OH 清除率为 96%	[26]
总肽	水提取	·OH 清除	半最大效应浓度 (EC_{50}) 为 $17.84\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$, 较发酵前提高了 1.2 倍	[27]
总肽+总酚	水提取	ABTS·清除 DPPH·清除 DPPH·清除, O_2^- 清除 总抗氧化活性 铁氰化钾还原性	EC_{50} 为 $1.14\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$, 较发酵前提高了 4.75 倍 EC_{50} 为 $17.84\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$, 较发酵前提高了 2.16 倍 自由基清除能力增加 3.1~24.0 倍 总抗氧化活性提高 还原能力提高	[28]
氨基酸态氮	乙醇提取	·OH 清除, NO_2^- 清除, O_2^- 清除	清除率与氨基酸态氮含量呈显著正相关	[29]

表4 豆豉总酚抗氧化检测方法和活性

提取方式	抗氧化实验	活性	参考文献
乙醇提取	DPPH·清除, ABTS·清除 铁氰化钾还原法	自由基清除活性增强 还原力增强	[12]
70%乙醇提取	·OH 清除 DPPH·清除 铁氰化钾还原法	黑豆豉和黄豆豉自由基清除率分别为 40.12%、36.07% 黑豆豉和黄豆豉自由基清除率分别为 59.78%、64.86% 发酵后还原性明显增强	[33]
95%乙醇提取	DPPH·清除, ·OH 清除	对 DPPH·和 ·OH 具有较强的清除能力	[34]

有研究发现豆豉多糖、类黑精、GABA等的生成也提高了豆豉的抗氧化性能。劳风云等^[3]从淡豆豉中提取出了淡豆豉多糖,其对DPPH·和·OH有很强的清除能力。李朋月等^[35]利用超声波辅助法提取淡豆豉多糖,发现淡豆豉多糖有较强的DPPH·、·OH清除能力,IC₅₀值分别为4.842、1.099 mg·mL⁻¹。阚建全等^[36]对豆豉类黑精进行深入研究,发现毛霉型豆豉非透析类黑精具有较强清除自由基能力,在干燥物系中对猪油有较明显的抗氧化作用。近年来,有研究提出GABA是豆豉的药效物质,其是淡豆豉发酵过程中产生的新物质,是一种非蛋白质组成天然氨基酸,其具有降血压、调血脂的作用。任佳秀等^[37]发现,淡豆豉中存在较高含量的GABA、谷氨酸,并且高于目前已报道的大多数中药材和传统食用发酵豆制品。

4 讨论

4.1 豆豉抗氧化测定方法开发

豆豉作为一种天然的抗氧化剂,可以预防或减缓人类心血管疾病等慢性病的发生。抗氧化活性测定方法有体外模型和体内模型,体外模型一般为化学分析法,操作简便且应用较多,但是有一定的缺陷,如容易受光照、试剂和样本的影响,测定数据重复性差,在非生理条件下进行缺乏说服力等。可以通过体外实验对具有抗氧化活性的物质进行初筛,然后再通过体内实验进一步验证。目前对豆豉体内抗氧化活性方面的研究较少,对丰富豆豉体内抗氧化活性进行研究,采用多种方法相结合,科学地评价豆豉抗氧化活性,会有利于豆豉抗氧化活性的应用及功能性药品食品等方面的开发。

4.2 豆豉质量控制

目前,我国市面上的豆豉质量参差不齐,不乏气不香,甚至有腐败味道的豆豉,这会直接影响人体健康和临床疗效。豆豉质量受原料、辅料、发酵工艺、菌种等因素影响,产品质量稳定性、均一性较差,对豆豉的质量评价方法也相对粗浅。如何开发出质量均一稳定的豆豉,首先是控制好豆豉发酵原料、辅料及菌种;其次是根据用药需求,如咸淡、药性温凉等,选用合适的炮制方法,在注重遵循和传承古法炮制的前提下,结合现代炮制工艺和自动化生产设备,提升产品质量稳定性;最后应用现代

研究技术,制定和完善其质量标准,客观地控制和评价豆豉的质量。例如,建立豆豉多指标成分的含量测定方法、指纹图谱、近红外光谱聚类分析,把豆豉的功效和有效成分相结合,提取和分离豆豉有效成分,进行药效学和作用机制方面的研究。

4.3 豆豉功能性研究

中国豆豉虽然历史悠长,但相对日本等国,对豆豉的功能成分研究相对较少,且加工范围窄,其功能活性没有得到深度挖掘,因此需要大力开发其抗病能力、抗衰老、调血脂等方面的作用,着力豆豉大豆异黄酮的转化,豆豉功能性食品的开发等。优化发酵工艺,扩大豆豉研究领域,提高我国传统发酵大豆食品的质量、档次与国际市场竞争力,扩大市场影响力。

参考文献

- [1] 牛广财,贾亭亭,魏文毅,等.淡豆豉的研究进展[J].中国酿造,2013,32(9):1-5.
- [2] 贾璠,郭霞,何晨,等.传统发酵豆制品营养成分研究进展[J].中国酿造,2019,38(4):1-6.
- [3] 劳风云,刘正猛,王洪波.淡豆豉多糖的提取及其清除自由基的活性研究[J].现代预防医学,2008,35(10):1909-1910.
- [4] 黄进,杨国宇,李宏基,等.抗氧化剂作用机制研究进展[J].自然杂志,2004,26(2):74-78.
- [5] 张梦涵,丁长河.发酵大豆食品功能性研究现状[J].食品工业,2018,39(6):241-245.
- [6] 鞠薇薇.氧自由基与心血管系统疾病的研究进展[J].黑龙江科技信息,2008(11):171.
- [7] 李勇,孔令青,高洪,等.自由基与疾病研究进展[J].动物医学进展,2008,29(4):85-88.
- [8] 王会,郭立,谢文磊.抗氧化剂抗氧化活性的测定方法(一)[J].食品与发酵工业,2006,32(3):92-98.
- [9] 王会,郭立,谢文磊.抗氧化剂抗氧化活性的测定方法(二)[J].食品与发酵工业,2006,32(4):98-102.
- [10] 徐清萍,钟桂芳,孟君.抗氧化剂抗氧化方法研究进展[J].食品工程,2007(2):23-25.
- [11] 夏春燕,郭晓晖,李富华,等.细胞抗氧化活性方法在食物抗氧化活性评价中的研究进展[J].食品科学,2012,33(15):297-302.
- [12] 李爽.发酵毛豆中大豆异黄酮苷元与总多酚含量测定及其药理活性研究[D].长春:吉林农业大学,2015.
- [13] XU L, DU B, XU B J. A systematic, comparative study on the beneficial health components and antioxidant activities of commercially fermented soy products

- marketed in China[J]. Food Chem, 2015, 174:202-213.
- [14] 邹磊,甄少波,王静,等. 发酵豆制品抗氧化作用的研究进展[J]. 中国调味品, 2008, 33(8):20-24.
- [15] 张翠芬. 大豆异黄酮对心血管疾病的研究综述[J]. 中国食品添加剂, 2018(9):210-213.
- [16] 王莹,田蜜,贺红,等. 大豆异黄酮对围绝经期和绝经后妇女安全性的Meta分析[J]. 毒理学杂志, 2018, 32(4):277-286.
- [17] 牛丽颖,杜红娜,刘姣,等. 淡豆豉炮制前后异黄酮组分含量的比较[J]. 大豆科学, 2008, 27(4):672-674.
- [18] 宋永生,张炳文,郝征红,等. 发酵处理对豆豉抗氧化活性影响的研究[J]. 食品科学, 2002, 23(8):263-267.
- [19] 吴勤民. 发酵豆制品异黄酮含量及其抗氧化活性测定[J]. 中国调味品, 2009, 34(8):109-111.
- [20] 徐彬人,黄林艳,杨翠萍,等. 淡豆豉异黄酮的提取分离及对DPPH自由基清除能力的研究[J]. 贵州中医药大学学报, 2020, 42(3):91-94.
- [21] 刘锦绣,陈伟,程芳,等. 混合菌种发酵对豆豉抗氧化性影响的研究[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(4):17-21.
- [22] 李爽,郑毅男,韩佳彤,等. 发酵处理对毛豆异黄酮苷元含量及其乙醇提取物抗氧化活性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(7):202-208.
- [23] 陈怡,刘洋,蒋立文,等. 浏阳豆豉发酵过程中抗氧化成分及活性变化研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(19):273-278.
- [24] 陈怡,陆敏捷,刘洋,等. 不同类型豆豉抗氧化活性差异与影响因素分析[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(13):36-41.
- [25] 陈彬和,赵炳天,孙亚娟,等. 大豆发酵液的抗氧化活性[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(17):119-124.
- [26] YU B, LU Z X, BIE X M, et al. Scavenging and anti-fatigue activity of fermented defatted soybean peptides[J]. Eur Food Res Technol, 2008, 226(3):415-421.
- [27] 尹乐斌,周娟,何平,等. 乳酸菌发酵豆清液制备多肽及其体外抗氧化活性研究[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(11):131-137.
- [28] SANJUKTA S, RAI A K, MUHAMMED A, et al. Enhancement of antioxidant properties of two soybean varieties of Sikkim Himalayan region by proteolytic *Bacillus subtilis* fermentation[J]. J Funct Foods, 2015, 14:650-658.
- [29] 周芳,索化夷. 永川豆豉发酵过程中抗氧化活性变化及影响因素分析[J]. 中国调味品, 2019, 44(1):15-19.
- [30] CHEN H M, MURAMOTO K, YAMAUCHI F, et al. Antioxidative properties of histidine-containing peptides designed from peptide fragments found in the digests of a soybean protein[J]. J Agric Food Chem, 1998, 46(1):49-53.
- [31] 范琳. 毛霉型豆豉后发酵过程中微生态的变化及抗氧化性研究[D]. 长沙:湖南农业大学, 2013.
- [32] FAN J J, ZHANG Y Y, CHANG X J, et al. Changes in the radical scavenging activity of bacterial-type Douchi, a traditional fermented soybean product, during the primary fermentation process [J]. Biosci Biotechnol Biochem, 2009, 73 (12), 2749-2753.
- [33] 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.
- [34] 王希春,钱和. 豆豉干提物功能特性的研究[J]. 江苏调味副食品, 2007, 24(3):27-31.
- [35] 李朋月,朱艳苹,国旭丹,等. 淡豆豉多糖及其酶解产物的理化性质和抗氧化活性研究[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(10):42-47.
- [36] 阚建全,陈宗道,石轶松,等. 豆豉非透析类黑精抗氧化和抑制亚硝胺合成的研究[J]. 营养学报, 1999, 21(3):349-352.
- [37] 任佳秀,黄越燕,梁永红,等. 应用柱前在线衍生-高效液相色谱技术测定淡豆豉中 γ -氨基丁酸含量[J]. 中华中医药杂志, 2018, 33(9):3900-3904.

(收稿日期: 2022-05-09 编辑: 王笑辉)