

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2018.05.007

黑芝麻的营养成分及保健价值研究进展

封 铧, 张锦丽, 李向阳, 唐晓珍, 吴 澎

(山东农业大学 食品学院 山东省高校食品加工技术与质量控制
重点实验室, 山东 泰安 271018)

摘要: 黑芝麻营养丰富, 作为药食同源物质具有保护肝肾、抗肿瘤、消炎杀菌、抗氧化、抗衰老、防止动脉粥样硬化、调节血脂、保护神经等功效。综述了黑芝麻的营养成分和保健功能, 并对目前存在的问题进行了分析和展望, 为黑芝麻的进一步研发和利用提供参考。

关键词: 黑芝麻; 营养成分; 药食同源; 保健价值

中图分类号: TS 218; S 565.3 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2018)05-0036-06

Research progress of nutritional components and health value of black sesame

FENG Hua, ZHANG Jin-li, LI Xiang-yang, TANG Xiao-zhen, WU Peng

(Key Laboratory of Food Processing Technology and Quality Control of Colleges and Universities of Shandong Province, College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an Shandong 271018)

Abstract: Black sesame is rich in nutrition, as homologous substances of medicine and food which has the functions of protecting liver and kidney, anti-tumor, anti-inflammatory, antioxidant, anti-aging, preventing atherosclerosis, regulating blood lipid and protecting nerve. The nutritional content and health function was summarized, and the current problems in research were analyzed and forecasted, providing reference for the further development and utilization of black sesame.

Key words: black sesame; nutrient composition; homology of medicine and food; health value

芝麻, 又称胡麻、脂麻, 分布在热带及部分温带地区^[1], 主要在亚洲、非洲等发展中国家种植, 其种植面积占世界总种植面积的90%以上。芝麻是我国历史最悠久的油料作物之一^[2], 营养丰富, 用途较为广泛, 根据种皮颜色的不同, 芝麻可分为

白芝麻、黑芝麻、褐芝麻等类型, 其中最为常见的是白芝麻和黑芝麻^[3]。黑芝麻因其具有独特的营养保健价值, 于2002年2月28日被卫生部列入“药食同源”名单, 并越来越受到人们的关注^[4]。黑芝麻药食两用, 含有丰富的脂类、蛋白质、维生素、矿物质等, 自古以来就被认为是养生保健的佳品, 古代养生学家陶弘景评价黑芝麻为“八谷之中, 唯此为良”。近年来, 随着中医和养生学家对黑色食品的推崇, 黑芝麻等黑色食品渐渐引起了人们的广泛关注。在国内市场上多将黑芝麻加工成糊类、羹类食品, 或者制备芝麻油等, 以黑芝麻为原料的营养保健食品越来越多^[5-6]。本文着重对黑芝麻的营养成分、保健价值等进行综述, 旨在为进一步研究开发黑芝麻提供依据。

收稿日期: 2018-03-28

基金项目: 山东省科技发展计划项目(2013GNC11307); 泰安市科技发展计划(201640576); “十三五”国家重点研发计划课题(2016YFD0401400); 山东省2017年度农业重大应用技术创新项目(310137); 山东农业大学作物生物学国家重点实验室开放课题基金(2015KF14); 山东省重点研发计划(公益类)(2017GNC10101); 山东“双一流”奖补资金资助(SYL2017XTTD01)

作者简介: 封铧, 1995年出生, 男, 硕士研究生。

通讯作者: 吴澎, 1972年出生, 女, 副教授。

1 黑芝麻的营养成分分析

近年来的研究证明，芝麻含有丰富的营养成分及相关保健价值。李林燕等^[7]鉴定出的成分有油脂、蛋白质、碳水化合物、矿物质、维生素、木脂素类物质、色素等。但不同品种芝麻，其含有的化学成分也有所差异。

汪学德等^[8]对我国不同地区的 46 份芝麻籽样品进行脂肪酸组成测定，并分析了不同脂肪酸之间的相关性。由表 1 可知，不同种皮颜色芝麻籽中脂肪酸组成及其平均含量没有明显差异。在黑芝麻中分离鉴定出 21 种脂肪酸^[9]，其中不饱和脂肪酸占 71.30%；白芝麻中分离鉴定出 20 种脂肪酸，其中不饱和脂肪酸占 73.58%。亚油酸和油酸是芝麻籽中的主要脂肪酸，平均含量分别为 45.40%和 39.56%。亚油酸和油酸属于人体必需脂肪酸，不仅能够治疗血管壁硬化^[10]，而且也具有防止头发过早变白、脱落及美容润肤等功效。混合脂肪酸中亚油酸、油酸、棕榈酸和硬脂酸的含量分别为 41.72%~48.51%、35.49%~43.60%、7.44%~10.39%和 4.52%~6.00%。因此，芝麻拥有“油科皇后”的美誉^[11]，而芝麻油有

“油中之王”之称。

芝麻籽粒中蛋白质丰富，氨基酸种类齐全，含已发现氨基酸种类中的 18 种和人体必需氨基酸中的 7 种。芝麻中的蛋白质含量一般为 18%~20%，甚至可达到 20%~25%，而且均属于高质蛋白，包括 80%左右的 α -球蛋白和 20%左右的 β -球蛋白，具有较高的营养和生物学价值^[12]。芝麻蛋白的氨基酸组成与瘦肉比较接近，含有人体必需的 7 种氨基酸，与联合国粮农组织与世界卫生组织 (FAO/WHO) 推荐的人类蛋白质的标准非常接近。芝麻蛋白属于完全蛋白质^[13]，富含多种人体必需氨基酸，不含胆固醇，无抗营养因子，其中赖氨酸为碱性必需氨基酸，是粮油产品重要营养成分之一，人体自身不能合成，必须从食物中摄取，它是人和动物最易缺乏的氨基酸之一，也被称为第一限制氨基酸^[14]。因此，芝麻蛋白是一种理想的植物蛋白资源^[15]。黄晓荣等^[16]采用盐酸水解—氨基酸自动分析仪法进行分析，实现了对黑芝麻与白芝麻样品中氨基酸的定量分析。由数据分析可得，黑芝麻和白芝麻的氨基酸组成与含量大致相同，均含有常见的 17 种氨基酸 (表 2)，其中精氨酸和谷氨酸含量较高。

表 1 黑芝麻、褐芝麻、白芝麻中脂肪酸的组成与含量分布^[9] %

样品	样品数	棕榈酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	亚麻酸	花生酸	二十碳一烯酸
黑芝麻	6	8.85	5.52	40.47	44.16	0.31	0.59	0.18
褐芝麻	1	8.43	5.45	41.12	44.00	0.28	0.60	0.16
白芝麻	39	8.82	5.22	39.38	45.62	0.31	0.55	0.18

表 2 黑芝麻和白芝麻中氨基酸的组成与含量分布^[16] %

序号	氨基酸	黑芝麻	白芝麻	序号	氨基酸	黑芝麻	白芝麻
1	天冬氨酸	2.07±0.26	2.09±0.27	10	异亮氨酸	0.87±0.13	0.89±0.12
2	苏氨酸	0.90±0.09	0.91±0.09	11	亮氨酸	1.53±0.12	1.53±0.12
3	丝氨酸	1.19±0.12	1.20±0.13	12	酪氨酸	0.69±0.11	0.72±0.07
4	谷氨酸	4.82±0.51	4.81±0.53	13	苯丙氨酸	1.15±0.08	1.16±0.08
5	甘氨酸	1.15±0.09	1.15±0.10	14	赖氨酸	0.86±0.06	0.83±0.05
6	丙氨酸	1.15±0.13	1.18±0.13	15	组氨酸	0.64±0.06	0.66±0.09
7	半胱氨酸	0.57±0.06	0.56±0.05	16	精氨酸	2.28±0.26	2.86±0.24
8	缬氨酸	1.11±0.13	1.13±0.12	17	脯氨酸	0.75±0.06	0.83±0.46
9	蛋氨酸	0.51±0.11	0.57±0.07				

对黑芝麻和白芝麻 (包括未经处理的芝麻，已被处理的芝麻和脱皮的芝麻) 中的碳水化合物成分及含量的研究表明，芝麻中的碳水化合物有 D-葡萄糖 (3.63%)、D-半乳糖 (0.40%)、D-果糖 (3.43%)、蔗糖 (0.17%)、棉籽糖 (0.59%)、水苏糖 (0.38%)、车前糖 (0.23%)、芝麻糖 (0.14%) 等。

据相关报道称^[17-19]，采用微波消解 ICP-OES 法对黑芝麻和白芝麻中的矿物质元素进行测定分析，结果表明：黑芝麻和白芝麻均被检出含有 Ca、P、S、Mg、K、Al、Si、Fe、Na、Zn、Se、Sr、Cu、Mn、Ba、B、Ti 和 Cr 这 18 种矿物质元素，其中黑芝麻和白芝麻中的常量矿物质元素含量和微量矿物质元

素含量分别见表3和表4。从表3和表4可以看出,黑芝麻含有的常量矿物质元素和微量矿物质元素大部分比白芝麻丰富。尤其是Mg、Fe、Zn、Cu以及Mn,其在白芝麻中的含量均低于其在黑芝麻中的含量。由此也可说明,相比白芝麻,黑芝麻拥有更高的营养价值与药用价值。

表3 黑芝麻和白芝麻中常量矿物质元素的组成与含量分布^[20] %

芝麻	Ca	P	S	Mg	K	Na
黑芝麻	1.79	1.08	0.59	0.43	0.41	0.009 1
白芝麻	1.40	0.78	0.71	0.36	0.34	0.000 60

表4 黑芝麻和白芝麻中微量矿物质元素的组成与含量分布^[20] mg/100 g

芝麻	Fe	Zn	Se	Cu	Mn	B	Cr	Sr	Si	Al
黑芝麻	18.6	4.55	3.87	1.74	1.62	0.91	0.079	3.21	78.8	125.8
白芝麻	8.26	4.24	4.48	1.61	1.40	1.22	0.048	7.52	29.1	95.6

李崇玮等^[21]采用氢化物—原子荧光光谱法测定白芝麻与黑芝麻中硒的含量,测定结果与微波消解ICP-OES法结果一致,证实芝麻是一种良好的补硒食品。

芝麻中的维生素含量比较丰富,含 V_A 、 V_B 、 V_C 、 V_D 、 V_E 等维生素。在所有食品中,黑芝麻中的 V_E 含量较高^[22]。作为一种脂溶性维生素, V_E 具有很强的抗氧化作用。与合成的 V_E 相比,天然 V_E 不仅具有更强的抗氧化性,而且能够更有效地降低胆固醇的含量。表5比较了不同种皮芝麻的 V_E 含量。

芝麻中的木脂素可分为含有配糖体的水溶性木脂素和游离状的脂溶性木脂素两大类。水溶性木脂素由于与1~3个葡萄糖相连而形成具有较强极性的糖苷,所以容易溶于水,但在芝麻油中的含量极少;脂溶性木脂素主要包括芝麻素、芝麻素酚、芝麻酚、芝麻林素、芝麻林素酚、P1、松脂醇、sesangolin等^[23]。芝麻素和芝麻林素是主要的芝麻木脂素,分别占种子质量的0.2%~0.5%和0.1%~0.3%^[24]。黑芝麻和白芝麻的木脂素含量见表5。汪学德^[8]参照NY/T 1595—2008法检测得出,白芝麻中芝麻素含量极显著地高于黑芝麻,同时芝麻林素含量也显著高于黑芝麻,这与Wang^[25]的研究结果相一致。但同时表明,个别黑芝麻品种(鄱阳黑芝麻)芝麻素含量、芝麻林素含量均接近白芝麻含量的最大值,说明此类抗氧化物质含量不仅与种皮颜色有关,与芝麻的品种也有关。芝麻素由于具有抑制人体肠道对胆固醇的吸收以及降低血液中胆固醇含量的功能,因此

具有降低动脉粥样硬化风险的功效;芝麻酚和芝麻素酚都具有非常强的抗氧化作用,是芝麻油能够保持稳定性的一个主要因素。

表5 黑芝麻和白芝麻中 V_E 以及木脂素含量分布^[8] mg/kg

芝麻	V_E	芝麻素	芝麻林素
黑芝麻	510±65.46	220±120	140±30
白芝麻	590±64.79	410±80	180±30

黑芝麻中的黑色素成分具有清除自由基、抗氧化、抗肿瘤、降血脂等诸多功能^[20]。因此,作为一种优良的天然绿色食品,黑芝麻在中国历史上被称为“仙家”食品。

2 黑芝麻的保健价值

现代医学理论和营养学已验证黑芝麻及其所含活性成分对健康具有积极的功效,主要体现在:保护皮肤、滋养头发、防止脱发,保护神经、抗焦虑,抗氧化、延缓衰老,清除胆固醇、保护肝脏、稳定血压、降血脂、调血糖,抗癌、抗肿瘤,补硒、补铁、补钙。因此黑芝麻可起到活血化瘀,延年益寿的效果,属于一类很好的滋补品。

2.1 滋养皮肤,防止脱发

通过调查发现减肥过程中不注意营养的摄入,容易导致皮肤缺乏养分从而变得粗糙无光泽,常吃黑芝麻,可起到很好的滋补作用,有利于皮肤保持柔嫩光滑,这主要和黑芝麻中的蛋黄素、胆碱之类物质有关。洗澡过程中,人体表皮油脂也有一部分会被洗去,这也会导致皮肤干燥,而黑芝麻可起到润滑皮肤的效果,这和其中的 V_E 有一定相关性,这种维生素可提高机体对 V_A 的吸收水平,降低皮肤病菌感染机率,有利于提升皮肤中胶原活性,从而保持了皮肤弹性,此外黑芝麻还可以促进血液循环进而滋补皮肤。黑芝麻中的必需脂肪酸、含硫氨基酸和多种微量元素都是生发的必需物质,能使头发乌黑亮丽,有效防止脱发^[26]。徐继敏^[27]研究表明黑芝麻能提高黑素瘤细胞酪氨酸酶活性,促进黑色素细胞增殖和黑色素的形成,证明黑芝麻能够有效促进黑色素生成。

2.2 保护神经,抗焦虑

郭红亮^[28]研究了芝麻素的神经保护作用和抗焦虑作用,并对其机制进行了研究,结果表明芝麻素的神经保护作用可能与降低钙离子超载、增加Bcl-2蛋白表达以及调节Bax/Bcl-2比率有关。同时芝麻素

能够使小鼠慢性炎症痛诱发的焦虑行为减少,这可能是通过逆转 GABA 和谷氨酸受体表达异常,恢复兴奋性和抑制性神经网络平衡而发挥作用。

2.3 抗氧化, 延缓衰老

在黑芝麻中,主要是 V_E 、黑色素、芝麻木脂素类物质影响其抗氧化能力。在植物性食物中黑芝麻的 V_E 含量最高。 V_E 使细胞分裂速度加快,延缓细胞衰老,经常食用黑芝麻可降低细胞内氧自由基水平,对延缓衰老有一定帮助作用。刘帅^[29]采用细胞实验对几种不同抗氧化活性物质进行对比,实验结果表明,在芝麻素处理组 T-AOC、SOD 指标含量提高了 305.2%、339.4%,MDA 含量降低 59.0%,说明芝麻素能够有效延缓细胞衰老,黑芝麻中的黑色素也可清除自由基^[30]。黑芝麻色素是人体内重要的活性物质,具有较好的光稳定性,在较高的温度下也不容易分解,具有还原性^[31]。当前国内外对芝麻活性肽的制备、纯化、结构鉴定、生物活性等方面的研究有较大进展^[32],已经研制出具有降血压和金属螯合作用的活性肽,在抗氧化、抑菌等方面也表现出了一定的生物活性。芝麻素的抗氧化性能也被大量实验证实^[33-35]。Nakai^[36]通过化学实验分析了老鼠肝脏中的代谢产物,结果表明肝脏酶可促使芝麻素中的苯基环转换为儿茶酚,从而起到一定抗氧化效果。研究发现儿茶酚还可以阻止过氧化脂质的生成,对细胞起到一定保护作用,有利于血液循环,抵御有害物质对人体组织细胞造成危害。芝麻素的抗氧化性比 V_E 强,更能保持机体活力,其中熟芝麻的抗氧化能力最强^[37],而新鲜芝麻须经过高温焙炒才达到最高抗氧化能力。芝麻油中含有的木脂素物也具有很高的抗氧化活性,因而芝麻油稳定性很高,在高温下也不容易分解变性^[38]。

2.4 清除胆固醇, 保护肝脏, 稳定血压

相关研究发现芝麻油在清理血管垃圾方面有很好的效果,这主要和其中的不饱和脂肪酸有关,例如黑芝麻中的亚油酸可提高胆固醇代谢水平,并将血管壁上的沉积物清除,提高血管弹性。Ikeda 等研究芝麻素抗氧化效应的保护机制,证实芝麻素可以加快血浆脂质过氧化物的降解,保护肝脏免受过氧化物的毒害。将芝麻素注入到肝脏受损且伴随有高血压的小白鼠中,结果发现实验对象的血压有一定程度的降低,并且肾脏损伤程度明显减轻。卢春远^[39]研究芝麻酸甲酯对 CCl_4 致大鼠肝损伤的保护作用,

其机制可能与抑制 NF- κ B 信号通路,减轻炎症反应以及减少细胞凋亡有关。

在芝麻素对脂肪肝的影响方面,芝麻素可对脂质过氧化损伤起到一定的抑制作用。代利等^[40]对芝麻素预防大鼠的非酒精性脂肪肝实验研究发现,芝麻素具有预防大鼠非酒精性脂肪性肝病 (NAFLD) 能力,可降低肝脏脂质含量,同时显著增加 SOD 活性,抑制氧化代谢产物 MDA 含量,显著降低 CYP2E1 mRNA 的表达,提高机体的抗氧化性能。此外芝麻素还可以降低肝细胞色素 P450 遗传物质的表达,对预防肝细胞脂肪病变有很好的效果。雷红等^[41]采用高脂饮食建立小鼠非酒精性脂肪肝模型,从血脂水平、游离脂肪酸组成、氧自由基代谢及肝细胞损伤方面进行研究,指出芝麻素对非酒精性脂肪肝病具有防治作用,作用机理与降血脂、调节血脂组成即提高游离不饱和脂肪酸比例、抗氧化和抑制肝细胞损伤有关。郭莉群等^[42]研究结果表明,芝麻素对消除脂肪肝有较好效果,这主要和其调节脂质代谢的作用有关。Noguchi 等^[43]对实验对象注射芝麻素和 V_E 后体内血栓形成受到明显的抑制,血压水平也有所降低。Nakano 等^[44]在研究中联合芝麻素和抗高血压药物对高血压小鼠进行治疗,结果发现其可大幅度降低脱氧皮质酮乙酸盐引起的高血压风险。

2.5 降血脂、调血糖

日本福冈大学与印度医学研究委员会合作的研究显示,将稻米油和芝麻油调配在一起食用,有助于中、轻度糖尿病和高血压患者恢复人体血糖正常指标。陈焯丹^[45]采用传统的硅胶柱层析法、高效液相色谱法等方法对野芝麻地上部分进行分离提取,得到包括 20-羟基蜕皮甾酮在内的 5 种化合物单体及若干分段产物,结果显示各产物均具有降糖活性。另外,黑芝麻和黑芝麻中的黑色素成分都具有降血脂等功能^[46-48]。

2.6 抗癌、抗肿瘤作用

黑芝麻含有的硒元素是谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-PX) 的重要组成元素,并参与合成机体辅酶 Q,在抗癌治疗方面有一定应用价值。东京大学科研人员将能强力诱发肝癌变的物质二乙基亚硝胺 (DENA, 能产生活性氧药剂) 注射到小鼠体内诱发肝癌,实验组在癌细胞生长的各阶段注入芝麻素,结果表明,与对照组相比,实验组癌发数的抑制率明显提高,且鼠重、肝脏重量均无变化。Hirose N

通过小白鼠实验发现,芝麻素对一些乳腺癌具有抑制作用。Miyamertry 等采用芝麻素处理淋巴样白血病细胞,结果表明处理后这种细胞生长速度明显降低。邓鹏裔^[49]研究了芝麻素对人肝癌细胞系 HepG2 的作用,结果发现该物质可抑制 NF- κ B 引发的 G2/M 期阻滞,因而对肝癌的治疗有一定价值,可以据此开发相关药物。张淑琴等^[50]研究报道芝麻素在体外能明显抑制人肝癌细胞 HepG2 的增殖,诱导其凋亡,其分子机制与调节抑制细胞增殖和促凋亡相关蛋白的表达有关。

2.7 补硒、补铁、补钙

人体缺硒会导致机能下降,患病毒性疾病的机率大幅升高。相关研究结果表明硒是红细胞中抗氧化剂的主要组成,可以转化体内的过氧化氢而起到一定抗氧化效果。此外含硒的多种酶还具有降低前列腺发病率的效应^[51]。黑芝麻中铁含量较高,对一些缺铁性贫血有较好的疗效,对骨骼发育也有一定帮助作用。此外,黑芝麻中含有的赖氨酸可与钙、铁等矿物质元素螯合形成可溶性小分子单体,促进这些矿物质元素的吸收,进而促进骨、软骨及结缔组织的形成^[52]。

3 结论和展望

黑芝麻营养丰富,具有独特的保健价值,作为药食同源物品,自古以来都是保健佳品。近年来,为了提高黑芝麻的利用价值,我国逐步开展了对其进行综合利用的技术研究,主要是对黑芝麻中的功能性成分进行开发,重点包括对黑芝麻中蛋白质、木脂素的分离制备及其性质的研究,尤其对芝麻素方面的研究较多。目前芝麻素提取纯度可达到 90% 以上,随着相关技术的进步,芝麻素的提取难度和成本不断降低,其在中药、食品领域开始受到广泛关注,具有广阔的应用前景,另外黑芝麻中的黑色素也具有潜在利用价值。芝麻粕蛋白资源丰富、廉价,所获得的生物活性肽成本低且安全性好,因此利用芝麻蛋白制备生物活性肽将有良好的应用前景。

在食品加工、食品营养和现代医药技术快速发展的今天,黑芝麻的保健功效越来越受到重视,受到众多爱好者的追捧,市面上也出现了各种黑芝麻相关保健产品,但产品种类、功能单一。此外,在药用方面没有深入研究黑芝麻的基础药理,其入药标准不够完善,应在此方面深入研究制定出明确标准。

参考文献:

- [1] 孙丰婷,孙风光. 芝麻和芝麻油的质量标准研究及思考[J]. 农业与技术, 2017, 37(16): 240, 246.
- [2] 何东平,袁剑秋,崔瑞福. 中国制油史[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2015.
- [3] 颜廷献,乐美旺,饶月亮,等. 中国黑芝麻育种研究进展[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(2): 249-254, 261.
- [4] 冯航. 黑芝麻药用成分研究进展[J]. 农技服务, 2016, 33(9): 153.
- [5] 高磊. 红枣黑芝麻复合饮料的工艺研究[J]. 轻工科技, 2012, 28(9): 1-2.
- [6] 孙月娥,刘彬倩,王卫东. 黑米黑豆黑芝麻复合饮料的研制[J]. 食品科学, 2012, 33(14): 312-317.
- [7] 李林燕,李昌,聂少平. 黑芝麻的化学成分与功能及其应用[J]. 农产品加工(学刊), 2013(21): 58-62, 66.
- [8] 汪学德,崔英德,刘兵戈,等. 芝麻各成分相关性分析[J]. 中国油脂, 2015, 40(11): 99-103.
- [9] 汪学德,崔英德,刘日斌,等. 芝麻籽中脂肪酸组成测定及相关性分析[J]. 中国油脂, 2016, 41(1): 95-99.
- [10] VANGAVETI V N, JANSEN H, KENNEDY R L, et al. Hydroxyoctadecadienoic acids: Oxidised derivatives of linoleic acid and their role in inflammation associated with metabolic syndrome and cancer[J]. European Journal of Pharmacology, 2016: 785.
- [11] 秦早. 芝麻油风味物质分析研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2012.
- [12] ZHAO J, LIU D, CHEN F, et al. Functional properties of sesame seed protein prepared by two different methods[J]. J Chem Soc Pak, 2012, 34(5): 1101-1106.
- [13] 张国治,袁东振,芦鑫,等. 3 种芝麻蛋白结构和性质比较研究[J]. 中国油脂, 2017, 42(7): 55-58, 64.
- [14] 田颖,时明慧. 赖氨酸生理功能的研究进展[J]. 美食研究, 2014, 31(3): 60-64.
- [15] 侯利霞,刘云花,汪学德,等. 利用冷榨芝麻蛋白酶解物制备短肽螯合锌的条件优化[J]. 粮油食品科技, 2014, 22(6): 83-87.
- [16] 黄晓荣,张良晓,李培武,等. 黑芝麻和白芝麻中氨基酸组成的比较研究[J]. 中国油料作物学报, 2017, 39(1): 123-127.
- [17] 李映瑞. 微波消解-原子吸收测定杂粮黑芝麻糊中钙、铁、锌[J]. 食品安全导刊, 2016(12): 148-149.
- [18] 曹蕾,耿薇,魏永生. 微波消解-ICP-OES 法测定黑芝麻中的 18 种矿质元素[J]. 应用化工, 2012, 41(5): 910-913.
- [19] 耿薇,古元梓,魏永生,等. 微波消解-ICP-OES 法测定白芝麻中的 18 种矿质元素[J]. 化工时刊, 2012, 26(3): 32-34.
- [20] 康静静. 黑芝麻黑色素的分离及其结构性质的研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2015.

- [21] 李崇玮, 卫晋波, 赖长生, 等. 白芝麻与黑芝麻硒的含量对比与膳食推荐[J]. 佛山科学技术学院学报(自然科学版), 2016, 34(5): 66-70.
- [22] 沈旭丽. 芝麻的营养成分及保健价值[J]. 中国食物与营养, 2006(7): 51-52.
- [23] 谢岩黎, 赵文红, 孙淑敏, 等. 芝麻油风味成分和营养功能研究进展[J]. 中国食物与营养, 2016, 22(2): 67-71.
- [24] 陈凤香, 曹文明, 曹国武, 等. 芝麻木脂素研究进展[J]. 粮食与油脂, 2012, 25(6): 1-6.
- [25] WANG L, ZHANG Y, LI P, et al. HPLC Analysis of Seed Sesamin and Sesamol in a Sesame Germplasm Collection in China[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2012, 89(6): 1011-1020.
- [26] 蒲海燕. 火麻保健饮料的工艺研究[J]. 食品工业, 2014, 35(11): 77-80.
- [27] 徐继敏. 黑芝麻水提液对鼠黑素瘤细胞黑色素生成及相关基因表达的影响[D]. 武汉: 华中科技大学, 2009.
- [28] 郭红亮, 杜芬, 潘智伟, 等. 芝麻素抑制 NMDA 诱导的小鼠皮层神经元损伤[J]. 现代生物医学进展, 2015, 15(26): 5019-5024.
- [29] 刘帅. 芝麻素转化为细辛素条件的研究及其抗衰老应用[D]. 郑州: 河南工业大学, 2016.
- [30] PANZELLA L, EIDENBERGER T, NAPOLITANO A, et al. Black sesame pigment: DPPH assay-guided purification and antinitrosating properties, and identification of a degradative structural marker[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(36): 8895-8901.
- [31] 宋高翔, 张艳, 陶宇, 等. 芝麻生理功效研究综述[J]. 粮食与食品工业, 2017, 24(3): 38-40, 44.
- [32] 隋晓, 杜桂彩, 赵爱云, 等. 芝麻活性肽研究进展[J]. 食品与机械, 2016, 32(2): 193-197.
- [33] 马晓丽. 芝麻粕多肽活性物质的分离及其抗衰老作用研究 [A]. 中国药学会、中国药学会生化与生物技术药物专业委员会 2015 年学术年会暨抗体药物研发高峰论坛会议手册[C]. 2015: 3.
- [34] 吴向起, 杨解人. 芝麻素的抗氧化作用及其对代谢综合征大鼠肾病的影响[J]. 中国药理学通报, 2008(8): 1065-1069.
- [35] GHAFOORUNISS A, HEMALATH S, RAO M V. Sesame lignans enhance antioxidant activity of vitamin E in lipid peroxidation systems[J]. Molecular and Biochemistry, 2004, 262(1-2): 195-202.
- [36] NAKAI M, HARADA M, NAKAHARA K. Novel anti-oxidative metaolites in rat liver with ingested sesamin[J]. Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51: 1666-1670.
- [37] 隋晓, 杜桂彩, 赵爱云, 等. 芝麻活性肽研究进展[J]. 食品与机械, 2016, 32(2): 193-197.
- [38] 冯航. 黑芝麻油类研究进展[J]. 农业科技与信息, 2016(20): 34, 38.
- [39] 卢春远, 林兴, 黄权芳, 等. 山芝麻酸甲酯对 CCl₄ 致大鼠慢性肝损伤的作用及其机制的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 2017, 23(7): 141-147.
- [40] 代利, 李绣花, 赵新平, 等. 芝麻素对大鼠非酒精性脂肪肝的预防作用[J]. 中国老年学杂志, 2011, 31(10): 1833-1835.
- [41] 雷红, 王毅, 蔡亮亮, 等. 芝麻素防治非酒精性脂肪肝作用及机理[J]. 食品科学, 2012, 33(23): 331-335.
- [42] 郭莉群, 杨解人, 孔祥. 芝麻素对高脂血症大鼠血脂及脂肪肝形成的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 2009(2): 55-58.
- [43] NOGUUCHI T, IKEDA K, SASAKI Y, et al. Effects of vitamin E and sesamin on hypertension and cerebral thrombogenesis in stroke-prone spontaneously hypertensive rats[J]. Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology, 2004, 31: 24-26.
- [44] NAKANO D, LI HON C, LSHII F, et al. Effects of sesamin on aortic oxidative stress and endothelial dysfunction in deoxycorticosterone acetate-salt hypertensive rats[J]. Biological & Pharmaceutical Bulletin, 2003, 26(12): 1701-1705.
- [45] 陈焯丹. 野芝麻中天然产物的提取分离与细胞活性检测[D]. 西安: 西北大学, 2016.
- [46] 徐利萍. 黑芝麻中黑色素的萃取、纯化及其性质的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2006.
- [47] SHAHIDI F, LIYANA-PATHIRANA C M, WALL D S. Antioxidant activity of white and black sesame seeds and their hull fractions[J]. Food Chem, 2006, 99(3): 478-483.
- [48] WICHITSRANOI J, WEERAPREEYAKUL N, BOONSIRI P, et al. Antihypertensive and antioxidant effects of dietary black sesame meal in pre-hypertensive humans[J]. Nutr J, 2011, 10: 82.
- [49] 邓鹏裔. 芝麻素对人肝癌细胞系 HepG2 的抑制作用及机理研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2013: 98-99.
- [50] 张淑琴, 胡赤丁, 陈茜, 等. 4 种天然药物对人肝癌细胞 HepG2 增殖抑制作用的比较[J]. 华中科技大学学报(医学版), 2016, 45(6): 677-681.
- [51] 李娜. 芝麻的营养成分与食疗保健作用[J]. 中国食物与营养, 2008(5): 55-57.
- [52] 罗敏蓉, 熊正英. 赖氨酸与运动能力的关系[J]. 四川体育科学, 2006(3): 43-46. ☞