

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2019.06.016

# 芝麻的营养与功能价值评价研究进展

邵家威<sup>1</sup>, 祁国栋<sup>2</sup>, 张桂香<sup>1</sup>, 付建鑫<sup>1</sup>, 张炳文<sup>1</sup>

(1. 济南大学 食品科学与营养系, 山东 济南 250002;

2. 山东省农业科学院作物研究所, 山东 济南 250100)

**摘要:** 芝麻是一种药食同源的重要食品, 具有较高的营养价值。近年来研究表明, 芝麻中的活性组分有诸多功能价值。综述了芝麻的营养组分以及现代生命科学对芝麻木酚素类物质, 如芝麻素、芝麻酚等功能价值的研究, 并展望其未来发展, 为进一步研究开发芝麻提供支撑。

**关键词:** 芝麻; 营养价值; 活性组分; 功能价值

中图分类号: TS222 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2019)06-0086-07

## Research progress of evaluation of nutrition and functional value of sesame

SHAO Jia-wei<sup>1</sup>, QI Guo-dong<sup>2</sup>, ZHANG Gui-xiang<sup>1</sup>, FU Jian-xin<sup>1</sup>, ZHANG Bing-wen<sup>1</sup>

(1. Department of Food Science and Nutrition, University of Jinan, Jinan Shandong 250002;

2. Crop Research Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan Shandong 250100)

**Abstract:** Sesame is an important food which is homology of medicine and food and has a high nutritional value. Recently studies showed that the active components in sesame had a lot of functional value. The nutrient components of sesame and the functional value of sesame lignan substances such as sesamin and sesamol researched by modern life sciences were reviewed. The development in future on sesame is prospected to provide support for further research and development of sesame.

**Key words:** sesame; nutrition value; active component; functional value

芝麻 (*Sesamum indicum* Linn.), 又称油、脂麻<sup>[1]</sup>, 最早发现于古代遗址巴基斯坦, 作为历史悠久的种植作物之一, 因其嗅味醇厚深受人们喜爱<sup>[2]</sup>。据史料记载, 芝麻原产地为巽他群岛, 后由印度传至中国。芝麻作为人类生产食用最早的胡麻科油料作物, 不但口感香醇、种植广泛, 同时可作为重要的中医金方药材。因此, “芝麻”被列入2002年原卫生部公布的药食同源名单中, 从法律层面奠定了芝麻的科学营养价值地位。

近年来, 随着经济发展和生活水平提高, 人们对生活质量, 尤其是健康质量愈加关注, 进而促使功能性食品行业蓬勃发展。芝麻作为一种重

要的药食同源食品, 含有丰富的营养价值及功能组分, 拥有很强的营养、保健功能, 引起国内外学者的广泛研究。本文结合现代医学与营养学, 对芝麻的营养和功能价值进行综述, 为进一步研究开发芝麻提供支撑。

## 1 芝麻的分类

芝麻是亚热带地区短日性作物, 多产于亚洲中部及北非地区, 种植面积占世界的65%<sup>[3]</sup>。我国芝麻品种分布广泛, 地区产量发展不平衡。居秦岭淮河以北及长江中下游地区为主要短日照产区, 其中江西省素有“芝麻油乡”的美称<sup>[4]</sup>。

### 1.1 按种质色泽分类

按照种质色泽的差异, 可以将其分为白芝麻、黑芝麻、黄芝麻等, 其中黑芝麻与白芝麻比较常见, 也是广泛种植的优势品种<sup>[5]</sup>。黑芝麻品种生长力旺盛, 具有较强的抗倒伏、耐旱特点; 白芝

收稿日期: 2019-03-19

基金项目: 山东省科技重大专项(2015ZDJJQ07003); 济南市农业科技创新计划项目(201709)

作者简介: 邵家威, 1994年出生, 男, 在读硕士生。

通讯作者: 祁国栋, 1964年出生, 男, 副研究员。

麻含油率高、品质较好，因此，其种植面积最大、分布最广泛；对于黄芝麻等其它杂色品种，其植株多为分枝型，含油率会随着种质色泽的加深而

逐渐降低<sup>[6]</sup>。

### 1.2 按种植区域和季节分类

根据种植区域和季节分类见表 1<sup>[7]</sup>。

表 1 芝麻按种植区域和季节分类

种植地区	气候、地形特点	耕作方式	品种季节	品种特点	成熟周期/d
东北、西北地区	日照长、气温低、降雨量少	一年一熟	春芝麻	叶小，色深，全缘无裂片，茸毛少、短，耐干性强	110~120
华北地区（长城以南、黄河以北）	夏季高温多雨，冬季寒冷干燥	一年一熟	春芝麻	叶片较大、较宽，颜色较浅，叶缘部分有缺刻和浅裂、单秆型品种为主	100
黄淮平原	光照、温度、降雨量都较为适宜	一年两熟	夏芝麻	植株高大，生长发育好，产量潜力大、单秆型品种较多	50~60
长江中游江汉平原及河南南阳盆地	盆地、丘陵居多，夏季炎热、降水量大，冬季降水量少、气候温和	一年两熟	夏芝麻	种皮颜色为白色、品质优良、商品率高，以分枝型、四稜、单花品种为多	50~60
华中南地区（江西及鄂南）	气温较高、生长季节较长	一年三熟	秋芝麻	株高一般，结蒴不密，叶形全缘，种皮多为褐色	30~40
华南地区（广东省海南岛和雷州半岛）	年平均气温近 20	一年两熟	春芝麻	抗倒伏、秆硬不易折断、不裂蒴，主要为分枝型	50~60

## 2 芝麻的营养组分及其价值

芝麻中的营养物质丰富、种类齐全。经过传统制油方法得到的压榨“香油”富含不饱和脂肪酸、脂溶性维生素、非必需氨基酸等<sup>[8]</sup>。研究发现，其蛋白质和脂肪含量高达 21.9%、61.7%，同时因其蕴含丰富的 Fe、Ca 等矿物质，故而有“全能营养库”、“八谷之冠”之美誉<sup>[9]</sup>。

### 2.1 蛋白质

芝麻中的蛋白质属于完全蛋白，其中，必需氨基酸含量配比与人体比例极为相近。张国治等<sup>[10]</sup>对不同提取条件下，多种芝麻蛋白的氨基酸组成进行比较研究（见表 2），发现通过亚临界工艺提取的 SPSI 对蛋白质的破坏程度低，氨基酸含量高于其他两种，更适宜作为食品原料。

表 2 不同提取工艺芝麻蛋白的氨基酸组成

g/100g

氨基酸	NSPA	SPSI	SPHS	FAO 推荐标准	氨基酸	NSPA	SPSI	SPHS	FAO 推荐标准
Asp	7.56	7.54	7.48	-	Val	4.39	4.28	4.57	4.2
Thr	3.64	3.64	2.86	2.8	Met	2.82	2.82	2.74	2.2
Ser	4.59	4.64	3.40	-	Ile	3.66	3.59	3.52	4.2
Glu	17.45	17.44	17.36	-	Leu	6.59	6.44	6.28	4.8
Gly	4.26	4.23	4.16	-	Tyr	3.90	3.86	3.98	-
Ala	4.34	4.29	4.33	-	Phe	4.78	4.74	4.70	2.8
His	2.90	2.90	2.55	2.4	Arg	12.10	12.12	10.46	2.0
Pro	2.98	2.96	2.97	-	Trp	0.88	0.89	0.83	1.4
Cys	1.20	1.20	0.39	2.0	Lys	2.44	2.43	1.25	4.2

芝麻蛋白种类丰富，主要包括球蛋白、清蛋白、醇溶蛋白、谷蛋白四种，其中球蛋白的含量最高，为 67.3%；醇溶蛋白的含量最少，为 1.3%<sup>[11]</sup>。因芝麻种皮颜色深浅度不同，所以在亚洲国家，人们普遍认为食用黑芝麻对人体健康的有益程度大于食用白芝麻。梅鸿献<sup>[12]</sup>研究发现，芝麻中蛋

白质的含量随着芝麻种皮的颜色深度的加深而上升，其中较为直观的就是黑芝麻蛋白质含量高于白芝麻蛋白质含量。虽然芝麻中的蛋白质含量高，但是经过榨油处理后的芝麻渣或芝麻粕中的蛋白质含量高出一倍<sup>[13]</sup>。

相关研究表明，多肽类物质不仅可以被促进

生长发育的营养物质所利用,而且对机体调节与健康有重要意义。赵世光等<sup>[14]</sup>采用芝麻粕为原料,利用蛋白酶水解法制备芝麻多肽,最终的多肽产率可达 3.51%。李旸<sup>[15]</sup>研究发现在体内实验中,通过芝麻粕制备得到的三肽、四肽可显著提高小鼠的体内抗氧化能力;三肽、四肽、六肽可以提高在高脂环境中小鼠的抗氧化水平,保证健康。因此芝麻粕是制备蛋白质多肽很好的原料,且具有较高的功能价值。

## 2.2 脂类

芝麻中的脂质主要存在于芝麻籽粒中,是芝麻的重要组成成分。芝麻在几种主要油料作物中是含油量最高的,高达 45%~57%<sup>[16]</sup>。所以芝麻自古就有“油料皇后”之美誉。芝麻油中含有大部分的不饱和脂肪酸和少量的饱和脂肪酸,其具体组成成分见表 3<sup>[17]</sup>。

表 3 芝麻油中主要脂肪酸组成

类别	含量/%
棕榈酸 (C16:0/P)	8.14~8.97
棕榈烯酸 (C16:1/PA)	0.12~0.69
硬脂酸 (C18:0/St)	4.25~5.07
亚油酸 (C18:2/L)	45.05~48.64
油酸 (C18:1/O)	36.63~39.64
亚麻酸 (C18:3/Ln)	0.30~0.95
花生四烯酸 (C20:0/He)	0.54~0.60
顺-11-二十碳烯酸 (C20:1/Me)	0.15~1.07

亚油酸和亚麻酸属于不饱和脂肪酸,是在人体内无法合成,但却是必须获得且不可缺少的必需脂肪酸<sup>[18]</sup>。亚油酸参与胆固醇代谢、舒展血管上皮细胞韧性,同时有助于生长发育;亚麻酸可以促进淋巴 B 细胞分化增殖,提高获得性外源免疫能力。因此,芝麻油作为芝麻重要的产品形式,其含有 45%的亚油酸和 36%的油酸,无疑是补充必需脂肪酸的佳品,所以历来就有“油中之王”

的美称。

芝麻油不仅亚油酸含量高,还能对某些疾病起到预防和治疗的作用。关立克<sup>[19]</sup>利用兔动脉粥样硬化模型,研究黑芝麻油对其硬化的血管壁的影响。发现,黑芝麻油饲养组中 TC、TG、LDL 均显著低于正常饲喂组,能降低血清中 TC 和 LDL 水平,对动脉粥样硬化有预防和减轻的功能。

## 2.3 维生素

维生素在芝麻营养成分中也占有一定比重,其中维生素 E 在芝麻中含量最丰富,尤其是在黑芝麻中含量可高达 50.4 mg/100 g<sup>[20]</sup>。研究表明, $\gamma$ -生育酚是芝麻中维生素 E 的主要形式,而  $\alpha$ -生育酚相对较少;体外实验中显示, $\gamma$ -生育酚比  $\alpha$ -生育酚的抗氧化能力强,但总体维生素 E 的功能活性较强<sup>[21]</sup>。

## 2.4 矿物质元素

据相关报道,每 100 g 芝麻中主要含钙 564 mg、磷 368 mg、铁 50 mg。耿薇等<sup>[22]</sup>利用微波消解法分别测定了黑芝麻和白芝麻中的矿质元素,发现在芝麻中含有 18 种矿物质元素,包括常量元素和微量元素,这与高桐梅等<sup>[23]</sup>对白芝麻中微量元素的测定也一致。

## 3 芝麻的功能组分

芝麻除含有丰富的营养物质外,还含有很多重要的功能组分。芝麻素约占主要成分芝麻木酚素类的 50%,芝麻林素、芝麻酚、芝麻素酚(图 1)等占少部分比重<sup>[24-26]</sup>。芝麻木酚素主要可以分为两类,一类是脂溶性木酚素,以结合态存在;另一类是水溶性木酚素,以配位糖体的结构形式游离存在。芝麻籽压榨过程中,发生了以芝麻素和芝麻林素为代表的,转化为芝麻酚、芝麻素酚、芝麻林素酚等不饱和低聚合度结构物质的变性转化<sup>[27]</sup>。

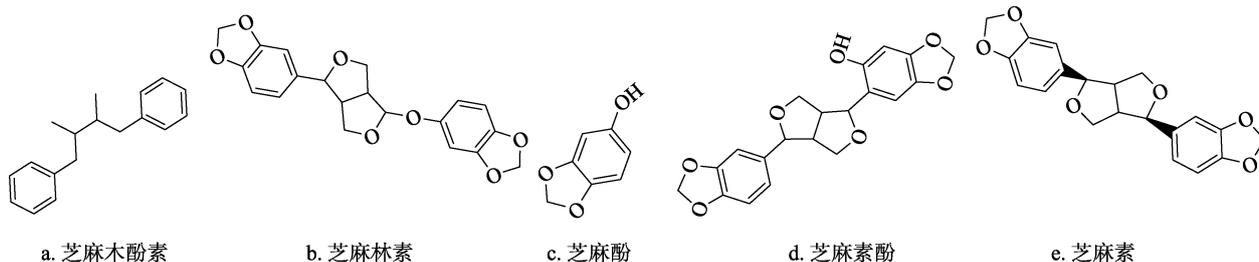


图 1 芝麻功能组分结构式

## 4 现代生命科学对芝麻功能价值的研究

近年来,芝麻中所存在的功能成分,因为其对人体健康拥有的积极作用如抗氧化、清除自由基抗衰老、预防糖尿病、预防肥胖症、治疗高血压、抗癌抗肿瘤、抑制肝损伤、对神经细胞损伤的修复等,在世界范围内引起广泛的关注<sup>[28]</sup>。

### 4.1 自由基的转化剔除

自由基是机体进行正常生理代谢活动时产生的,机体免疫系统也有一定清除自由基的能力,一般自由基的清除与生成处于动态平衡,若此平衡被打破,将对机体不利。在芝麻中含有各种功能成分主要为芝麻木酚素类物质,拥有很强的抗氧化能力以及自由基的清除能力,进而对细胞的衰老起到一定的作用。

彭金砖<sup>[29]</sup>采用乙醇萃取法对水代、冷榨、热榨三种工艺制得的芝麻油中的木酚素进行提取,经分析提取出的木酚素主要含有芝麻素和芝麻林素。将三种提取物添加到花生油和大豆油中发现热榨工艺芝麻油中的提取物对调和油脂的氧化诱导时间提升最大。由此可以看出,热榨工艺对芝麻木酚素的抗氧化功能有一定影响,可能是其中的芝麻林素在高温下不稳定分解的产物的影响。在此基础上,汪学德等<sup>[30]</sup>发现用亚临界丁烷萃取法提取芝麻木酚素的抗氧化能力高于热榨法。MOHAMED 等<sup>[31]</sup>以葵花籽油作为基料,研究芝麻木酚素类物质对其氧化稳定性。发现加入芝麻木酚素物质后,葵花籽油更加稳定,不易被氧化。HEMALATHA 等<sup>[32]</sup>进一步研究,发现当芝麻木酚素类物质加入到基料油,如大豆油、葵花籽油,其主要是与维生素 E 产生协同作用,进而增加基料油的抗氧化性能。

在抗氧化实验中,吴静<sup>[33]</sup>测定了芝麻木酚素混合物的体外自由基清除能力,发现芝麻木酚素对 DPPH 及羟基自由基具有一定的清除作用,并且总抗氧化能力和还原能力随浓度增加而增强,这与周篇篇<sup>[34]</sup>、朱秀灵<sup>[35]</sup>的研究结果一致;汪学德<sup>[36]</sup>用芝麻木酚素对 D-半乳糖衰老小鼠模型进行体内干预,通过 MDA、SOD、GSH-PX 酶活力变化来测定其抗氧化功效,结果发现不同的酶对芝麻木酚素的需求量虽然不同,但总体上也呈现

出量效关系。

### 4.2 剂量效应影响下调亡通路的抑癌功能

芝麻酚、芝麻素作为存在于芝麻中强大的功能活性成分,不但有较高的抗氧化、清除自由基能力,而且还有抗癌、抗肿瘤的功能。抗癌作用以及抑制肿瘤实现的最主要特征是对癌细胞有明显的抗增殖能力。

据研究,芝麻素可以对前列腺癌、乳腺癌、结肠癌、肺癌等产生较强的抑制作用,可以使肿瘤细胞的增殖活性降低<sup>[37]</sup>。HARIKUMAR<sup>[38]</sup>主要研究芝麻素抗癌作用的机制,表明其可能通过抑制与 NF-KB 信号传导相关的途径来对抗癌症和其他慢性疾病。郑珍玉等<sup>[39]</sup>通过检测芝麻素对 A549 细胞株的抗增殖及细胞毒性作用,发现在体外培养肺癌细胞 A549 细胞株时加入芝麻素,通过测定发现 A549 细胞的增殖活性明显变缓,并且随加入芝麻素浓度的增大和培养时间的延长而减慢,由此可看出,A549 细胞的增殖活性随芝麻素浓度和培养时间呈现剂量效应。在此基础上,孙方博等<sup>[40]</sup>也用类似的方法研究了芝麻素对 SW480 增殖抑制率的变化,阐明其机制大概是激活 caspase-3 和 caspase-8 进而影响凋亡通路,其研究结果表明芝麻素具有抑制结肠癌细胞增殖的作用。MOHAMED<sup>[41]</sup>研究表明芝麻素显著抑制药物转运蛋白 ABCB1 和 ABCB5 在癌细胞中的表达,并且抑制其过度表达而增殖的 MDR 肿瘤细胞,而且表明这些作用都是有剂量依赖性的。此外,芝麻素除了具有直接的抗增殖活性外,还可增强其它化合物对癌细胞的抗增殖能力。张东旭等<sup>[42]</sup>研究芝麻素与环磷酰胺联合应用与肿瘤治疗,发现芝麻素对环磷酰胺在肿瘤细胞抑制增殖方面有增强作用。AKL<sup>[43]</sup>将  $\gamma$ -生育三烯酚和芝麻素联合应用于肿瘤小鼠(+SA)和人体乳腺癌细胞(MCF-7 和 MDA-MB-231),结果发现若单独用  $\gamma$ -生育三烯酚和芝麻素对癌细胞的增殖不显著,联合使用时,癌细胞增殖明显减弱。

在芝麻酚的抗癌作用方面。朱铭等<sup>[44]</sup>以芝麻酚与取代醌为基料,通过缩合反应合成多种新型衍生物(合成过程见图 2),发现其衍生物有抑制人白血病细胞(K562)和肺癌细胞(K549)增殖

活性的特点。由此从侧面表明芝麻酚对肿瘤细胞有抑制其活性的作用。在此基础上,林晓慧等<sup>[45]</sup>比较阿魏酸、芝麻酚和松脂素对肝癌细胞 Hep G2 的抗增殖活性,结果发现,三种物质的抗增殖能力由大到小为芝麻酚>松脂素>阿魏酸,由此可看出,芝麻酚对癌细胞增殖具有较强的抑制能力。

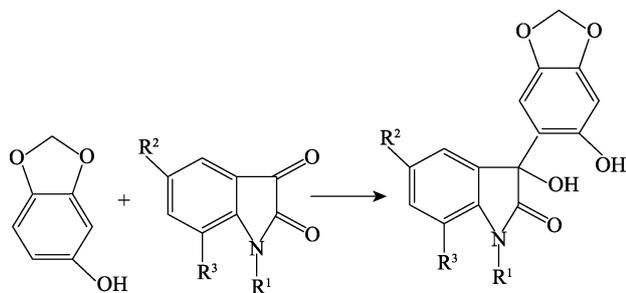


图 2 新型衍生物合成图解

#### 4.3 保护神经元损伤及抗炎的潜在功效

芝麻中一些有效的功能成分对一些慢性疾病可以起到较好的治疗与预防作用。

在芝麻酚对神经损伤保护方面。孙亚莉<sup>[46]</sup>采用高脂高果糖小鼠模型,利用芝麻酚对其进行干预,研究芝麻酚对中枢神经系统神经元的损伤保护。结果发现,芝麻酚可以减少小鼠神经元的损伤以及减轻小鼠学习记忆障碍,促进小鼠大脑海马区神经再生,并表明这可能是芝麻酚促进小鼠大脑 ERK/CREB/BDNF 分子通路的开放,以及增加神经营养 mRNA 及相关蛋白的表达。高秀娟<sup>[47]</sup>采用脑缺血大鼠模型,通过对大鼠腹腔注射芝麻酚的方式,研究芝麻酚对神经保护的作用。结果发现,连续注射 7 d 后,大鼠体内的氧化应激反应明显变弱,一些炎症反应也得到控制,同时神经细胞的凋亡也变缓,说明芝麻酚对神经有一定保护作用。由此可看出芝麻酚有可能是适合防治中风的辅助药物。此外,芝麻酚对细胞损伤也有较好的保护作用。路璐等<sup>[48]</sup>研究发现,芝麻酚在较高浓度可以提高 c-kit 细胞活力和形成数量。

除芝麻酚对神经损伤有保护外,芝麻素也有相似的功能价值。郭红亮<sup>[49]</sup>在探究 N-甲基天冬氨酸(NMDA)诱导的兴奋性神经元损伤保护作用,并阐明其机制。其表明芝麻素可能通过降低钙离子超载和增加 Bcl-2 蛋白的表达来进行对神经元

损伤的保护。此外 CHENG 等<sup>[50]</sup>利用脑缺血沙鼠模型,研究在芝麻素的干预下对其神经的保护作用。结果发现,经过芝麻素干预后,沙鼠大脑海梗死的体积减少了 56%。MOHD 等<sup>[51]</sup>也证实,芝麻素可以通过其强大的抗氧化能力,降低 MCAO 模型大鼠引起的神经元死亡。HOU 等<sup>[52]</sup>通过体外培养神经元细胞,建立神经元缺氧模型,研究芝麻素干预后 PC12 细胞的损伤。结果显示,芝麻素可以有效减少缺氧条件下神经元的损伤,同时也能降低该条件下 PC12 细胞的损伤。

#### 4.4 抑制非酶糖基化蛋白质生成

刘江辉等<sup>[53]</sup>进行芝麻叶多酚粗提物对蛋白质非酶糖基化抑制活性的研究,发现芝麻叶多酚粗提物对蛋白质非酶糖基化的生成有较好的抑制作用,且存在剂量效应关系。这与张蓉<sup>[54]</sup>的研究结果相似,都表明其可以作为潜在预防糖尿病的膳食功能因子。

#### 4.5 促进 Cyp7a1 基因通路开放

Liu 等<sup>[55]</sup>利用高脂高果糖诱导小鼠肥胖模型探究芝麻酚对肥胖的抑制作用,发现其可以明显降低脂肪、胆固醇生成基因的表达,加快胆固醇分解基因 Cyp7a1 的表达。由此可看出芝麻酚可能是通过调节脂肪酸合成与分解过程以及改善胆固醇代谢紊乱来抑制肥胖的发生。

#### 4.6 保肝护肝、降低血压

芝麻中的活性成分对肝脏的保护以及对血压的控制与降低都有较好的表现。对于高脂高糖引起的非酒精性脂肪肝的保护作用,雷红等<sup>[56]</sup>采用芝麻素对小鼠模型进行干预的相关研究。通过病理组织学观察,表明芝麻素可明显减轻非酒精性脂肪肝小鼠肝细胞脂肪化病变程度,并指明其作用机理与降低血脂、调节血脂游离脂肪酸组成、提高机体抗氧化能力与抑制肝细胞损伤相关。另外,魏艳静等<sup>[57]</sup>对大鼠进行灌胃处理,构建酒精性肝病大鼠模型,研究芝麻素对酒精性肝损伤的保护机制。结果发现,芝麻素可以明显抑制大鼠中的 ALT、AST、 $\gamma$ -GT 水平,并能够增强 SOD 活性,同时减少 MDA 氧化代谢物的生成,进而提高动物体的抗氧化能力并对酒精性肝损伤进行有效的保护。

在降低与稳定血压方面，胡晓恒等<sup>[58]</sup>采用肾型雄性 SD 大鼠模型探究芝麻木酚素对高血压的影响，发现对大鼠饲喂芝麻木酚素样品后，血压变化及氧化应激反应均能体现芝麻木酚素可通过减轻血管内皮溶出的机能来降低血压，这与王宇<sup>[59]</sup>的研究一致。此外，芝麻素对自发性高血压也有一定的控制作用。李伟<sup>[60]</sup>采用自发性高血压大鼠（SHR）模型，研究芝麻素对其降压的作用机制。结果表明，芝麻素可能通过增强 SHR 主动脉 NO 生物活性改善血管内皮功能障碍，来降低高血压，其机制可能是通过上调 Phospho-eNOS 蛋白和抑制 eNOS 二聚体的破坏来提高 NO 生物合成。其机制见图 3。

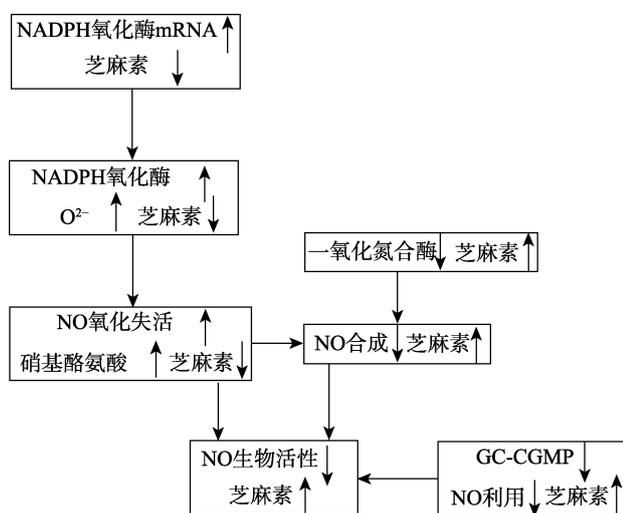


图 3 芝麻素降压机制图

总之，芝麻素可有效降低 SHR 血压，改善主动脉内膜的病理损伤，提高主动脉内皮依赖性舒张能力。另外，赵梦秋<sup>[61]</sup>研究也说明芝麻素对降低及稳定高血压有一定作用。李先伟<sup>[62]</sup>还发现芝麻素对野百合碱诱导大鼠的肺动脉高压有显著降低作用，并且有利于肺血管重构，因此芝麻素还具有改善肺动脉高压血流动力学的作用。

### 5 展望

芝麻的营养价值丰富，又具有诸多功能价值。因此，我国对芝麻的研究每年都逐步加深。目前，主要对芝麻中的蛋白质、芝麻素的研究较多，以及对芝麻种质中的营养成分进行一些基础研究。对于芝麻制油后的副产物芝麻渣或芝麻粕中的相关研究较少，若对其加大研究，则会产生较大的

经济及商业价值。

### 参考文献：

- [1] 高天霞. 从敦煌写本《俗务要名林》看唐代敦煌地区的主要农作物种植[J]. 农业考古, 2017(3): 36-40.
- [2] SAWAYA W N, AYAZ M, KHALIL J K, et al. Chemical composition and nutritional quality of tehneh (sesame butter)[J]. Food Chemistry, 1985, 18(1): 35-45.
- [3] 杜仲镛. 我国芝麻种植、制品加工现状、存在问题及对策[C]. 上海市粮油学会 2005 年学术年会, 2005.
- [4] 赵国志. 芝麻的生产与贸易概况[C]. 2006 年全国芝麻及芝麻制品新技术论坛, 2006.
- [5] 杨文娟, 高媛, 魏鑫, 等. 芝麻种质资源信息数据库的设计与构建[J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(1): 57-63.
- [6] 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.
- [7] 陈翠云, 冯祥运, 陈和兴, 等. 芝麻品种资源的研究与展望[J]. 中国油料, 1982(1): 31-34+23.
- [8] 李亚会. 白芝麻与黑芝麻功能品质差异的研究[D]. 河南工业大学, 2018.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 李园, 汪学德. 芝麻蛋白质的构造和功能特性研究[J]. 农业机械, 2011(35): 43-45.
- [12] 梅鸿献, 魏安池, 刘艳阳, 等. 芝麻种质资源芝麻素、蛋白质、脂肪含量变异及其相关分析[J]. 中国油脂, 2013, 38(4): 87-90.
- [13] 李凤霞, 刘洪泉, 陈守江. 芝麻蛋白功能性质的研究[J]. 粮油加工, 2007(1): 52-54+56.
- [14] 赵世光, 张焱, 杨超英, 等. 酶法水解芝麻粕制备芝麻多肽[J]. 中国油脂, 2012, 37(11): 28-31.
- [15] 李旻. 发酵芝麻粕小肽体内抗氧化和免疫活性研究[D]. 安徽农业大学, 2014.
- [16] 麻梦含, 刘玉兰, 舒焱, 等. 低脂芝麻酱制取工艺及品质研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(9): 66-70.
- [17] SALUNKHE D K. World oilseeds: chemistry, technology, and utilization[M]. Van Nostrand Reinhold, New York, 1992: 371-402.
- [18] 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.
- [19] 关立克, 王淑兰. 黑芝麻油对兔实验性动脉粥样硬化血管壁的影响[J]. 山东医药, 2007(32): 47-48.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 高桐梅, 卫双玲, 张海洋, 等. 食用白芝麻营养成分分析[J]. 营养学报, 2011, 33(4): 419-420.
- [24] ZHOU J C, FENG D W, ZHENG G S. Extraction of sesamin from sesame oil using macroporous resin[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 100(2): 289-293.
- [25] DAR A A, ARUMUGAM N. Lignans of sesame: purification

- methods, biological activities and biosynthesis[J]. *Bioorganic Chemistry*, 2013, 50(complete): 1-10.
- [26] MABOOD F, GILANI S A, HUSSAIN J, et al. New design of experiment combined with UV-Vis spectroscopy for extraction and estimation of polyphenols from Basil seeds, Red seeds, Sesame seeds and Ajwan seeds[J]. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2017, 178: 14-18.
- [27] 闫政, 马宇翔, 曾国展, 等. 浸出芝麻油中芝麻木酚素提取工艺的研究[J]. *中国油脂*, 2018, 43(9): 107-111.
- [28] NAMIKI M. Nutraceutical functions of sesame[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2007, 47(7): 651-673.
- [29] 彭金砖. 不同工艺芝麻油中木酚素抗氧化性的研究[D]. 河南工业大学, 2014.
- [30] 汪学德. 亚临界丁烷萃取高木酚素和高抗氧化芝麻油的工艺研究[A]. 中国国际科技促进会、国家级安阳高新技术产业开发区管委会、河南省亚临界萃取设备工程技术研究中心. 首届中国亚临界生物萃取技术发展论坛论文集[C]. 中国国际科技促进会、国家级安阳高新技术产业开发区管委会、河南省亚临界萃取设备工程技术研究中心: 北京城建联企业管理咨询中心, 2016: 12.
- [31] MOHAMED H M A, AWATIF L L. The uses of sesame oil unsaponifiable matter as a natural antioxidant[J]. *Food Chemistry*, 1998, 62(3): 269-276.
- [32] HEMALATHA S. Sesame lignans enhance the thermal stability of edible vegetable oils[J]. *Food Chemistry*, 2007, 105(3): 1076-1085.
- [33] 吴静. 芝麻油中木酚素的提取、纯化及抗氧化活性研究[D]. 南京农业大学, 2012.
- [34] 周篇篇, 袁尔东, 韦庆益, 等. 酸泡对芝麻粕木酚素抗氧化性的影响[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(1): 243-246.
- [35] 朱秀灵, 戴清源, 木朝丽, 等. 安徽不同产地芝麻中木酚素和总酚含量及芝麻提取物抗氧化能力比较[J]. *农产品加工*, 2018(15): 38-43.
- [36] 汪学德. 亚临界萃取芝麻脂溶性和水溶性木酚素及其生物活性研究[D]. 广东工业大学, 2016.
- [37] MAJDALAWIEH A F, MASSRI M, NASRALLAHG K. A comprehensive review on the anti-cancer properties and mechanisms of action of sesamin, a lignan in sesame seeds (*Sesamum indicum*)[J]. *European Journal of Pharmacology*, 2017, 815.
- [38] HARIKUMAR K B, SUNG B, THARAKAN ST, et al. Sesamin manifests chemopreventive effects through the suppression of NF-kappaB-regulated cell survival, proliferation, invasion, and angiogenic gene products[J]. *Molecular cancer research*, 2010, 8(5): 751-761.
- [39] 郑珍玉, 车成日, 白金权, 等. 芝麻素对肺腺癌细胞增殖和凋亡的影响[J]. *肿瘤防治研究*, 2014, 41(4): 331-336.
- [40] 孙方博, 白金权, 王瑶, 等. 芝麻素对人结肠癌 SW480 细胞株的影响[J]. *吉林医药学院学报*, 2015, 36(5): 324-327.
- [41] MOHAMED S, HASSAN K, YOSHIKAZU S, THOMAS E. The lignan, sesamin reveals cytotoxicity toward cancer cells: pharmacogenomic determination of genes associated with sensitivity or resistance[J]. *Phytotherapy: international journal of phytotherapy and phytopharmacology*, 2014, 21(5): 689-96.
- [42] 张东旭, 范引科, 郭淑云, 等. 芝麻素抗肿瘤作用的研究[J]. *中国医药导报*, 2013, 10(29): 101-104.
- [43] AKL M R, AYOUB N M, ABUASAL B S, et al. Sesamin synergistically potentiates the anticancer effects of  $\gamma$ -tocotrienol in mammary cancer cell lines[J]. *Fitoterapia*, 2013, 84(1): 347-359.
- [44] 朱铭, 杨超, 余章彪, 等. 芝麻酚与 3-羟基氧化吲哚拼接衍生物的合成及其抗肿瘤活性[J]. *合成化学*, 2014, 22(4): 444-447.
- [45] 林晓慧. 黑白芝麻体外模拟消化前后植物化学成分组成、抗氧化及抗增殖活性的探究[D]. 华南理工大学, 2017.
- [46] 孙亚莉. 芝麻酚对高脂高果糖膳食诱导小鼠脑部胰岛素抵抗和认知功能障碍的干预作用[D]. 西北农林科技大学, 2017.
- [47] 高秀娟. 芝麻酚对脑缺血再灌注损伤的保护作用及机制研究[D]. 山东大学, 2017.
- [48] 路璐, 张俊伶, 李德冠, 等. 芝麻酚对小鼠骨髓 c-kit 阳性细胞辐射损伤的保护作用研究[J]. *中国生化药物杂志*, 2014, 34(4): 1-4.
- [49] 郭红亮. 芝麻素的神经保护和抗焦虑作用及其机制研究[D]. 第四军医大学, 2015.
- [50] CHENG F C, JINN T R, HOU R C W, et al. Neuroprotective effects of sesamin and sesamol on gerbil brain in cerebral ischemia[J]. *International Journal of Biomedical Science Ijbs*, 2006, 2(3): 284-288.
- [51] KKAN M M, ISHRAT T, AHMAD A, et al. Sesamin attenuates behavioral, biochemical and histological alterations induced by reversible middle cerebral artery occlusion in the rats[J]. *ChemBiol Interact*, 2010, 183(1): 255-263.
- [52] HOU RC W, Huang H M, Tzen J T C, et al. Protective effects of sesamin and sesamol on hypoxic neuronal and PC12 cells[J]. *Neurosci Res*, 2003, 74(1): 123-33.
- [53] 刘江辉, 刘金盾, 刘利娥, 等. 芝麻叶多酚的纯化及对蛋白质非酶糖基化的抑制作用[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(12): 118-122.
- [54] 张蓉, 刘利娥, 杨卫红. 芝麻叶多酚对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制作用研究[J]. *医药论坛杂志*, 2014, 35(1): 69-72.
- [55] LIU Z, QIAO Q, SUN Y, et al. Sesamol ameliorates diet-induced obesity in C57BL/6J mice and suppresses adipogenesis in 3T3-L1 cells via regulating mitochondria-lipid metabolism[J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2017: 1600717.
- [56] 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.
- [57] 魏艳静. 芝麻素对大鼠慢性酒精性肝损伤的保护作用[A]. 中国中西医结合学会实验医学专业委员会. 第十四次中国中西医结合实验医学学术研讨会论文汇编[C]. 中国中西医结合学会实验医学专业委员会: 中国中西医结合学会, 2017: 1.
- [58] 胡晓恒, 滕薇. 芝麻木酚素对肾型高血压大鼠的降压作用及降压机制研究[J]. *世界中医药*, 2017, 12(12): 3055-3057+3062.
- [59] 王宇, 李超, 刘阿娜, 等. 芝麻木酚素对肾型高血压大鼠的降压作用及机制[J]. *中国老年学杂志*, 2017, 37(15): 3693-3694.
- [60] 李伟. 芝麻素改善自发性高血压大鼠主动脉 NO 生物活性的机制研究[D]. 皖南医学院, 2015.
- [61] 赵梦秋. 芝麻素对自发性高血压大鼠心肌重构的改善作用及机制研究[D]. 皖南医学院, 2015.
- [62] 李先伟, 高云星, 李曙, 等. 芝麻素对野百合碱诱导的肺动脉高压大鼠肺血管重构的影响[J]. *中国中药杂志*, 2015, 40(7): 1355-1361. ☞