

# 辣椒籽中生物活性成分及其功能活性研究进展

## Research progress on the bioactive compounds and their bioactivities of pepper seed

钟 瑾 刘一达 肖 愈

ZHONG Jin LIU Yi-da XIAO Yu

(湖南农业大学食品科学技术学院, 湖南 长沙 410128)

(College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China)

**摘要:**对近年来国内外关于辣椒籽中的主要营养成分、生物活性物质以及主要功能活性的研究成果进行了综述, 阐明了该领域的主要研究进展, 为进一步开发利用辣椒籽资源提供参考依据和新的思路。

**关键词:**辣椒籽; 生物活性成分; 功能活性

**Abstract:** In this review, the current research progress on the main nutritional components, bioactive substances and biological activities of pepper seed worldwide were summarized, to provide reference basis and new ideas for its comprehensive utilization.

**Keywords:** pepper seed; bioactive compounds; biological activities

中国是世界上最大的辣椒生产国和消费国, 2015~2017 年辣椒的平均年产量已达 2 800 万 t, 占世界辣椒总产量的 46%, 年产值达 700 亿元, 辣椒产业已经成为中国最大的蔬菜产业<sup>[1]</sup>。除了作为餐桌上不可缺少的调料品及蔬菜, 辣椒提取物制品还可广泛用于医药、食品、化妆品、保健油品、天然抗氧化剂等多个领域<sup>[2]</sup>。然而, 目前对于辣椒的研究及相关产品的开发多集中在其果肉上, 而占辣椒干重 30%~60% 的辣椒产品加工副产物辣椒籽, 却常作为废弃物处理掉<sup>[3]</sup>, 造成了大量的资源浪费, 还污染环境。辣椒籽中含有丰富的营养物质及生物活性成分, 具有多种生物活性功能, 近年来引起了研究者及相关产业的广泛关注。综合目前的研究现状, 本文拟就近年来国内外有关辣椒籽的活性成分及其活性功能的相关研究进行梳理, 为进一步综合利用辣椒籽提供参考依据。

## 1 辣椒籽中主要营养成分及生物活性物质

辣椒籽作为辣椒生长的种子, 富含多种营养物质和生物活性成分(表 1)。Zou 等<sup>[4]</sup>对东北地区的辣椒籽的营养成分含量进行测定, 结果为: 含水分 4.48%、灰分 4.94%、粗脂肪 23.65%、粗蛋白 21.29%、膳食纤维 38.76%, 其他成分如氨基酸以谷氨酸和天冬氨酸为主, 矿物质元素以钾为主。除上述, 王知松等<sup>[5]</sup>采取气相色谱和质谱联用的方法得出辣椒籽中的不饱和脂肪酸主要是油酸和亚油酸。李达等<sup>[6]</sup>测得辣椒籽中氨基酸和油脂含量较高, 并且通过微波辅助提取了辣椒籽中的黄酮物质, 平均提取量高达 116.22 mg/g。马燕等<sup>[7]</sup>对 8 个品种(益都椒、朝天椒、新疆甜椒、四平头辣椒等)辣椒籽的营养成分进行了探究, 发现辣椒籽中主要含膳食纤维、蛋白质和脂肪, 还含有氨基酸、维生素、黄酮、多酚、辣椒碱等活性成分。Sim 等<sup>[8]</sup>从辣椒籽中分离出总黄酮、总酚类物质, 其含量分别为(21.27±0.85) mg 没食子酸/g、(29.10±0.18) mg 儿茶素/g。

## 2 辣椒籽的活性功能

### 2.1 辣椒籽的抗氧化作用

人体内自由基积累会导致正常细胞和组织的损伤, 是引起人体慢性疾病(如肿瘤、冠心病、关节炎、神经变性等)发生的重要原因之一。化学合成类抗氧化剂的使用对预防氧化损伤具有显著的效果, 然而, 经常使用化学合成抗氧化剂对机体具有明显的副作用, 会引起肝脏发生病变, 甚至致癌<sup>[9-10]</sup>。天然来源的抗氧化剂由于具有安全且无副作用的特点, 因此一直是当今临床医药和食品研究开发的热点<sup>[11]</sup>。大量研究(表 2)表明, 辣椒籽提取物及其分离的组分都具有良好的抗氧化活性, 主要体现在两个方面。

#### 2.1.1 辣椒籽生物性的抗氧化作用 辣椒籽的提取物中

**作者简介:**钟瑾, 女, 湖南农业大学在读本科生。

**通信作者:**肖愈(1989—), 男, 湖南农业大学讲师, 博士。

E-mail: yuxiao\_89@163.com

**收稿日期:**2019-02-25

表 1 辣椒籽主要营养成分及生物活性成分<sup>[4-8]</sup>  
Table 1 The content of main nutrient and bioactive compounds of pepper seed

| 成分             | 单位       | 含量          |
|----------------|----------|-------------|
| 水分             | %        | 4.12~7.88   |
| 膳食纤维           | %        | 38.76~51.27 |
| 蛋白质            | %        | 7.20~21.29  |
| 脂肪             | %        | 11.53~19.82 |
| 灰分             | %        | 2.98~4.94   |
| 总糖             | %        | 0.99~4.20   |
| 谷氨酸            | %        | 1.68~5.73   |
| 天冬氨酸           | %        | 1.49~2.03   |
| 精氨酸            | %        | 0.50~1.92   |
| 组氨酸            | %        | 0.32~1.62   |
| 苯丙氨酸           | %        | 0.58~1.26   |
| 丙氨酸            | %        | 0.32~1.17   |
| 丝氨酸            | %        | 0.43~1.17   |
| 亮氨酸            | %        | 0.38~1.16   |
| 半胱氨酸           | %        | 0.30~0.97   |
| 亚油酸            | %        | 2.38~16.82  |
| 油酸             | %        | 0.66~5.68   |
| 棕榈酸            | %        | 1.43~3.31   |
| 亚麻酸            | %        | 0.24~0.31   |
| 总黄酮            | mg RE/g  | 2.36~12.58  |
| 总酚             | mg GAE/g | 11.43~29.10 |
| V <sub>E</sub> | mg/100 g | 1.27~8.01   |
| V <sub>C</sub> | mg/100 g | 0.24~2.36   |
| 辣椒碱            | mg/g     | 0.07~5.21   |

含有多酚、黄酮类等活性物质,它们能够通过提供电子或氢原子给氧自由基,使自身成为较稳定的共振自由基,从而终止自由基链式反应。同时,黄酮、酚类物质还具有螯合金属离子,阻碍金属离子催化氧化的作用<sup>[11]</sup>。试验表明,辣椒籽具有清除 ABTS 自由基、DPPH 自由基、NO 自由基和超氧阴离子的作用<sup>[12]</sup>,并且能够显著提高大鼠体内自由基“天敌”——超氧化物歧化酶 SOD 的活力,降低氧化产物丙二醛 MDA 水平<sup>[16]</sup>。Sim 等<sup>[8]</sup>将不同浓度的辣椒籽提取物分别加入含有 DPPH 自由基、ABTS 自由基、还原型烟酰胺腺嘌呤二核苷酸 NADH、Fe<sup>2+</sup> 等溶液中,发现辣椒籽提取物具有清除各种氧自由基、螯合金属离子的能力,并且相比辣椒果皮的提取物,辣椒籽提高 SOD 活性和清除超氧阴离子的能力更强。

此外,一些植物蛋白的水解产物如多肽及氨基酸被广泛报道具有抗氧化活性<sup>[25]</sup>,近年来受到广泛关注。但由于具有抗氧化能力的多肽或氨基酸被包裹在蛋白核内,使蛋白质的抗氧化活性受其空间结构的限制而不能

很好地发挥抗氧化作用,采用酶解的方法可以有效地从蛋白中释放抗氧化肽<sup>[26]</sup>。辣椒籽的蛋白质含量在 20% 左右,Li 等<sup>[15]</sup>发现甜椒籽蛋白质酶解产物具有良好的持水力、溶解性、乳化性和起泡性,更引人注意的是,当蛋白质分离物浓度为 3.0 mg/mL 时,具有良好的自由基清除能力,尤其对 ABTS 自由基清除能力高达 (92.56 ± 0.12)%,Fe<sup>2+</sup> 螯合能力达 (80.08 ± 0.45)%。

2.1.2 辣椒籽物理性的抗氧化作用 从辣椒籽中提取的油脂成分,其油酸层可以包裹在食物表面,阻隔氧气,减弱紫外线的照射,对食物起到有效抗氧化的作用,能够较好地保护食物的颜色。迟明梅等<sup>[17]</sup>利用辣椒籽油对辣椒红素的护色进行了研究,光照条件下,添加辣椒籽油的辣椒红素降解率比未添加辣椒籽油降解率低 7% 左右。沈文娇等<sup>[27]</sup>将辣椒籽油加入肉糜中,结合真空包装后隔绝了氧气,极大程度地抑制了脂肪及蛋白质的氧化,降低了 TABRS 值和 TVB-N 值。

辣椒籽主要通过总黄酮、总酚清除自由基实现抗氧化活性,另外大量脂肪酸的存在可以起到隔绝氧气和紫外线,延缓食物氧化的作用。

2.2 辣椒籽的抗肥胖活性

辣椒籽提取物对防治肥胖有一定的疗效(表 3),作用机理主要是其提取物组分能够通过抑制脂肪转录因子活动,通过激活一磷酸腺苷 (AMP) 依赖的蛋白激酶 (AMPK) 的途径抑制脂肪细胞的分化从而阻止脂肪积累。脂肪酸合成酶 FAS 和脂肪酸结合蛋白 FABP4 是脂肪细胞进行代谢的主要标记物质,FAS 在 NADPH 存在下催化乙酰辅酶 A 和丙二酰辅酶 A 合成脂肪酸<sup>[33]</sup>,FABP4 在脂质积累过程中对细胞内的脂肪酸转运起重要作用<sup>[34]</sup>。在脂肪细胞的分化过程中,FAS 和 FABP4 的转录由 PPAR $\gamma$ 、C/EBP $\alpha$ 、SREBP1c 脂肪转录因子控制。Sung 等<sup>[28-30]</sup>从辣椒籽中提取得到辣椒甙 G,它能够有效抑制 PPAR $\gamma$ C、EBP $\alpha$ 、SREBP1c 脂肪转录因子的活动,减少 FAS 和 FABP4 相关基因的表达。此外,辣椒甙 G 还能延长脂肪细胞分裂间期的 G<sub>0</sub>/G<sub>1</sub> 期,从而减少脂质的积累。另一方面,AMPK 是 AMP 依赖的蛋白激酶,它通过调节细胞能量状态以维持生物体能量稳态,当脂肪组织中的 AMPK 活化后,可以诱发脂肪生成通量降低、大量脂肪酸氧化和甘油三酯合成降低的效果<sup>[35-36]</sup>。当加入浓度为 100  $\mu$ g/mL 辣椒籽的热水提取物时,促进了 3T3-L1 脂肪细胞分化早期 AMPK 的磷酸化,抑制脂肪的形成<sup>[31]</sup>。

此外,辣椒籽中含有丰富的膳食纤维,并且以不溶性膳食纤维为主,被人体摄入后能够增加餐后饱腹感,减少随后的饥饿,并且有助于防治便秘和排毒<sup>[37]</sup>。但目前有关辣椒籽膳食纤维的专门研究尚少,有待进一步探究。辣椒籽对于体重的控制、预防肥胖具有良好效果,主要是通过抑制脂肪细胞分化实现的。

2.3 辣椒籽抑菌活性

辣椒籽中含有丰富的抗菌类物质,能够抑制多种真菌、细菌的生长(表 4)。从动物或植物体内提取得到的抗菌肽被普遍认为是一种能够抵抗细菌、真菌、病毒、原生动物侵袭的小肽类分子,在食品、医药、水产养殖等方面具有广阔的应用前景<sup>[44-45]</sup>。韩玉竹等<sup>[38]</sup>从辣椒籽中提

取出分子量为 7.8 kDa 左右的目标抗菌肽 PSP7.8,发现它在玉米贮藏过程中,起到的防霉效果与传统防霉剂丙酸钙、那他霉素不相上下。此外,PSP7.8 对黄曲霉生长具有显著的抑制作用,主要是通过抑制黄曲霉孢子的萌发和生长以及改变菌丝体膜的通透性实现的<sup>[39]</sup>。

脂质转移蛋白 LTP 是植物体生命活动中的一类重

表 2 辣椒籽的抗氧化作用<sup>†</sup>  
Table 2 The antioxidant activity of pepper seeds

| 组分      | 试验模型       | 作用机理和效果                                                                                                                                                     | 文献来源    |
|---------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 甲醇提取物   | 体外抗氧化试验    | 清除 DPPH · (IC <sub>25</sub> 可达 0.413 mg/mL), 清除 NO · (IC <sub>25</sub> : 0.105 ~ 0.108 mg/mL);当提取物浓度为 0.05 mg/mL 时,O <sub>2</sub> <sup>-</sup> · 减少 45%~47% | [12]    |
|         | 体外抗氧化试验    | 清除 ABTS <sup>+</sup> ·、DPPH ·,浓度为 500 μg/mL 时,很大程度减少活性氧 ROS 的形成                                                                                             | [13]    |
|         | —          | 氧化反应动力学转变为零级反应,降低反应速率                                                                                                                                       | [14]    |
| 分离蛋白    | 体外抗氧化试验    | 清除 DPPH ·、O <sub>2</sub> <sup>-</sup> ·、ABTS <sup>+</sup> ·,螯合 Fe <sup>2+</sup> ,浓度为 3 mg/mL 时,抗氧化能力最强                                                      | [15]    |
| 辣椒籽油    | 体内:SD 雄性大鼠 | 提高大鼠红细胞内超氧化物歧化酶 SOD 活力,降低红细胞中 MDA 含量,剂量越高效果越好                                                                                                               | [16]    |
|         | —          | 所含油酸层能够将辣椒籽粉颗粒包裹在油酸层内部,阻止与氧气接触,减少紫外线入射,有效地降低辣椒籽粉失色率                                                                                                         | [17]    |
|         | 体外氧化试验     | 具有较强的还原能力,对自由基具有抑制或消除作用,与同浓度的 V <sub>C</sub> 和 V <sub>E</sub> 的抗氧化效果相当                                                                                      | [18]    |
| 脱脂甲醇提取物 | —          | 所含类黄酮物质比辣椒红素抗氧化活性更强从而竞争自由基反应,抑制了辣椒红素的氧化从而保护辣椒色素                                                                                                             | [19]    |
| —       | —          | 各种抗氧化成分(多酚、黄酮)的存在使油脂的氧化得以抑制,减小油脂过氧化值 POV 的变化,延缓油脂酸败                                                                                                         | [20-21] |
| 乙醇提取物   | —          | 浓度为 250 μg/mL 时,O <sub>2</sub> <sup>-</sup> · 清除率达 66%,并能激活 SOD 活性                                                                                          | [8]     |
|         | 体外抗氧化试验    | 与辣椒皮提取物相比,清除 O <sub>2</sub> <sup>-</sup> · (IC <sub>50</sub> = 328.90 μg/mL)、保护 SOD 酶活的能力强,清除 NO ·、ABTS <sup>+</sup> ·、螯合 Fe <sup>2+</sup> 能力较弱             | [22]    |
|         | —          | 0.02% 的乙醇提取物对猪油的抗氧化效果接近 0.02% BHA 的 30%                                                                                                                     | [23]    |
|         | 体内:SD 雄性大鼠 | 减少活性氧 ROS 产生,保护 SOD 酶活,清除 O <sub>2</sub> <sup>-</sup> ·,降低硫代巴比妥酸反应产物 TABRS 值和羰基值                                                                            | [24]    |

<sup>†</sup> “—”表示目前没有相关报道。

表 3 辣椒籽的抗肥胖作用  
Table 3 Anti-obesity effect of pepper seeds

| 组分          | 试验模型            | 作用机理和效果                                                                                                                 | 文献来源 |
|-------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 辣椒甙 A/辣椒甙 G | 体外:3T3-L1 前脂肪细胞 | 抑制 3T3-L1 细胞脂质的积累                                                                                                       | [28] |
| 辣椒甙 G       | 体外:3T3-L1 前脂肪细胞 | 抑制脂肪转录因子 PPAR $\gamma$ 、C/EBP $\alpha$ 和 SREBP1 和脂肪细胞特异性基因 FAS 和 FABP4 的表达,延长脂肪细胞分裂间期的 G <sub>0</sub> /G <sub>1</sub> 期 | [29] |
|             | 体内:C57BL/6J 小鼠  | 抑制 FAS 和 FABP4 2 种脂肪细胞标记物的表达                                                                                            | [30] |
| 热水提取物       | 体外:3T3-L1 前脂肪细胞 | 激活 AMP 依赖的蛋白激酶,抑制脂肪形成过程早期的 3T3-L1 细胞分化                                                                                  | [31] |
| 甲醇提取物       | 体外:3T3-L1 前脂肪细胞 | 减少 3-磷酸甘油脱氢酶活动和脂肪转录因子 C/EBP $\beta$ 、C/EBP $\alpha$ 和 PPAR $\gamma$ 的表达                                                 | [32] |

表 4 辣椒籽的抑菌作用  
Table 4 Antibacterial effect of pepper seeds

| 组分        | 作用机理和效果                                                       | 文献来源    |
|-----------|---------------------------------------------------------------|---------|
| 无水乙醚提取物   | 抑制霉菌生长,显著降低玉米贮藏过程中的脂肪酸值                                       | [38]    |
|           | 抑制黄曲霉生长和孢子的产生,改变其细胞膜通透性,使黄曲霉利用培养基中营养物质能力显著降低                  | [39]    |
| 正己烷和氯仿提取物 | 两种提取物对铜绿假单胞菌、肺炎克雷伯菌、金黄色葡萄球菌、白色念珠菌均有抑制生长的作用                    | [40]    |
| 辣椒甙       | 抑菌作用与辣椒甙的分子结构性性质有关,它的低聚糖链在 R <sub>3</sub> 处和甲基结合以及在 C-2 处存在羟基 | [41]    |
| 抗菌肽       | 抑制了酿酒酵母在葡萄糖刺激下的培养基酸化作用,并引起酵母的形态学改变                            | [42—43] |

要的防御蛋白<sup>[46]</sup>,它具有一定的抑菌活性,是一种常见的植物抗菌肽<sup>[47]</sup>。Ribeiro 等<sup>[48]</sup>发现含有 LTP 的多肽组分能够抑制真菌、尖孢镰刀菌、枯萎病菌、酵母菌、酿酒酵母、膜毕赤酵母、热带念珠菌、白色念珠菌的生长,以及抑制酿酒酵母细胞在葡萄糖刺激下的培养基酸化作用,并引起酵母的形态学改变。Diz 等<sup>[42]</sup>用离子交换色谱法和反相高效液相色谱法从辣椒籽中提取多肽,获得接近 10 kDa 的 3 个肽组分,经试验证明它们与从其他植物种子获得的 LTP 具有较高的序列同源性,提取的肽组分对白色念珠菌、酿酒酵母和柚皮裂殖酵母有较强的抗真菌活性,同时,酿酒酵母在葡萄糖刺激下由 H<sup>+</sup>-ATP 酶介导的酸化作用随辣椒籽提取物剂量的增加而降低,并且酵母质膜对 SYTOX 荧光绿色染料的渗透作用增强,说明在辣椒籽抗菌肽的作用下,改变了酵母细胞膜的通透性,酵母的生长繁殖受到了限制。

2.4 辣椒籽其他活性

辣椒籽除了报道有抗氧化、预防肥胖及抑菌活性外,还被报道具有其他生物活性功能。Jeon 等<sup>[13]</sup>用辣椒籽甲醇提取物对人乳腺癌细胞 MCF7、人结肠癌细胞(HCT116)、人胃癌细胞(MKN45)进行研究,发现即使在低剂量时,辣椒籽对肿瘤细胞也有较强的抗增殖作用。Sim 等<sup>[22]</sup>用辣椒籽的水提取物处理 MCF7 肿瘤细胞,可以使抑癌基因 CDH1 在 MCF7 肿瘤细胞的表达提高 1.2 倍,同时能够抑制 92 kDaⅣ型胶原酶和 72 kDaⅣ型胶原酶的分泌,抑制肿瘤细胞的产生,这两种Ⅳ型胶原酶能降解组成细胞基底膜的支架——Ⅳ型胶原,且酶活越高,肿瘤细胞的侵袭能力越强<sup>[49]</sup>。辣椒籽的活性成分对肿瘤细胞起到了抑制作用,但要清楚其中的作用机理,还需要对辣椒籽体内未知化合物的分离、鉴定和表征进行进一步的研究。

此外,辣椒籽提取物对降低血脂也具有一定效果。3-磷酸甘油脱氢酶 GPDH 在甘油转化为甘油三酯的过程中起重要作用<sup>[50]</sup>,用辣椒籽甲醇提取物在体外处理 3T3-L1 脂肪细胞,可明显降低 GPDH 的含量从而减少甘油三

酯的合成<sup>[32]</sup>。从辣椒籽中提取得到的辣椒籽油<sup>[16]</sup>、不溶性膳食纤维<sup>[51]</sup>均有降低血清胆固醇和甘油三酯的效果。

近年来,利用天然活性成分研发乙酰胆碱酯酶 AChE 抑制剂和记忆增强剂对于治疗阿尔茨海默病或其他形式的痴呆具有重大意义<sup>[52]</sup>。研究<sup>[53]</sup>表明,一些植物籽具有抗糖基化能力从而抑制神经元细胞的凋亡,降低罹患痴呆的风险。Silva 等<sup>[12]</sup>对辣椒籽提取物是否能够抑制 AChE 的活性进行了研究,可能是提取物中含抑制 AChE 的活性成分少或者是提取物成分缺乏对 AChE 的亲合力等缘故,试验没能得到理想效果,但可以通过优化试验条件进行进一步探索。所以,对于辣椒籽在调节神经功能方面的研究与开发仍需付诸努力。

3 结论与展望

辣椒籽是一种能够被高值化利用的天然产物,将其添加到其他食品中可发挥它的功能活性,但目前将辣椒籽成分应用于临床或医药研究尚处于初级阶段,所以对辣椒籽生物活性功能的发掘和应用有待进一步研究和完善。随着消费者对天然、健康食品日益需求的增长,以及全球对环境保护问题的持续关注,辣椒籽的综合利用将会受到越来越多的关注,更多的辣椒籽也将会应用于食品加工及其他医药学研究领域中。

参考文献

[1] 郑井元,李雪峰,周书栋,等. 2017 年度辣椒科学研究进展[J]. 中国蔬菜, 2018(5): 9-15.  
[2] 程绍玲. 辣椒的分析与综合利用[J]. 粮食加工, 2004, 29(2): 52-55.  
[3] 朱姐. 辣椒籽综合开发利用前景分析[J]. 中国调味品, 2014, 39(1): 120-123.  
[4] ZOU Yu, MA Kun, TIAN Mi-xia. Chemical composition and nutritive value of hot pepper seed (*Capsicum annuum*) grown in Northeast Region of China[J]. Food Science and Technology, 2015, 35(4): 659-663.  
[5] 王知松,李达,丁筑红,等. 贵州主要品种辣椒籽营养成分分析[J]. 中国调味品, 2010, 35(5): 93-96.



- [6] 李达, 王知松, 丁筑红, 等. 辣椒籽品质分析及黄酮提取工艺研究[J]. 中国调味品, 2010, 35(4): 48-51.
- [7] 马燕, 徐贞贞, 邹辉, 等. 8 个品种辣椒籽成分分析与比较[J]. 食品科学, 2017, 38(22): 185-190.
- [8] SIM K H, SIL H Y. Antioxidant activities of red pepper (*Capsicum annuum*) pericarp and seed extracts[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2008, 43(10): 1 813-1 823.
- [9] VALKO M, RHODES C J, MONCOL J, et al. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer[J]. Chemico-Biological Interactions, 2006, 160(1): 1-40.
- [10] ITO N, FUKUSHIMA S, HAGIWARA A, et al. Carcinogenicity of butylated hydroxyanisole in F344 rats[J]. JNCI Journal of the National Cancer Institute, 1983, 70(2): 343-352.
- [11] SHAHIDI F, AMBIGAIPALAN P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects: A review[J]. Journal of Functional Foods, 2015, 18: 820-897.
- [12] SILVA, L R, AZEVEDO J, PEREIRA M J, et al. Chemical assessment and antioxidant capacity of pepper (*Capsicum annuum* L.) seeds[J]. Food and Chemical Toxicology, 2013, 53: 240-248.
- [13] JEON G, CHOI Y, LEE S M, et al. Antioxidant and anti-proliferative properties of hot pepper (*capsicum annuum* L.) seeds[J]. Journal of Food Biochemistry, 2012, 36(5): 595-603.
- [14] 刘建平, 张玉军, 刘彩丽. 辣椒籽中甲醇提取物的抗氧化动力学研究[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2011, 32(5): 25-28.
- [15] LI Mo, WEN Xin, PENG Yu, et al. Functional properties of protein isolates from bell pepper (*Capsicum annuum*, L. var. *annuum*) seeds [J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 97: 802-810.
- [16] 张军, 韩伟, 马寅斐, 等. 辣椒籽油抗氧化 降血脂保健功能研究[J]. 农产品加工: 创新版, 2009(6): 32-34.
- [17] 迟明梅, 王凤娟. 辣椒籽油提取条件及应用研究[J]. 食品工业, 2016, 37(11): 56-59.
- [18] 李润丰, 石瑞珍, 杨惠丽. 辣椒籽提取物抗氧化活性研究[J]. 食品科技, 2007, 32(4): 79-81.
- [19] 丁筑红, 谭书明, 张汝练, 等. 辣椒籽提取物对水分散性辣椒红素的抗氧化作用[J]. 食品科技, 2004(12): 49-52.
- [20] 丁筑红, 张汝练, 蒋航. 辣椒籽提取物对菜籽油的抗氧化作用[J]. 食品科技, 2004, 23(9): 56-58.
- [21] 张汝练. 辣椒籽提取物对猪油抗氧化作用研究[J]. 食品与发酵工业, 2004, 30(9): 41-43.
- [22] SIM K H, HAN Y S. The antimutagenic and antioxidant effects of red pepper seed and red pepper pericarp (*Capsicum annuum* L.) [J]. Journal of Food Science and Nutrition, 2007, 12(4): 273-278.
- [23] 沈文娇, 何新益, 冯长禄, 等. 辣椒籽对猪油抗氧化作用研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(12): 170-174.
- [24] WONYOUNG S, KYUNGHYUNG K, JEONGHWA C. Effect of ethanol extracts from red pepper seeds on antioxidative defense system and oxidative stress in rats fed high-fat, high-cholesterol diet[J]. Nutrition Research & Practice, 2010, 4(1): 11-15.
- [25] XUE Zhao-hui, WEN Hai-chao, ZHAI Li-juan, et al. Antioxidant activity and anti-proliferative effect of a bioactive peptide from chickpea (*Cicer Arietinum*, L.) [J]. Food Research International, 2015, 77: 75-81.
- [26] CIAN R E, VIOQUE J, DRAGO S R. Structure-mechanism relationship of antioxidant and ACE I inhibitory peptides from wheat gluten hydrolysate fractionated by pH[J]. Food Research International, 2015, 69: 216-223.
- [27] 沈文娇, 何新益, 甄润英, 等. 辣椒籽油对肉糜低温贮藏特性的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(5): 128-133.
- [28] SUNG J, BANG M H, LEE J. Bioassay-guided isolation of anti-adipogenic compounds from defatted pepper (*Capsicum annuum* L.) seeds[J]. Journal of Functional Foods, 2015, 14: 670-675.
- [29] SUNG J, LEE J, CAPSICOSIDE G. A furostanol saponin from pepper (*Capsicum annuum* L.) seeds, suppresses adipogenesis through activation of AMP-activated protein kinase in 3T3-L1 cells[J]. Journal of Functional Foods, 2016, 20(20): 148-158.
- [30] SUNG J, JEONG H S, LEE J. Effect of the Capsicoside G-rich fraction from pepper (*Capsicum annuum*, L.) seeds on high-fat diet-induced obesity in mice[J]. Phytotherapy Research, 2016, 30(11): 1-8.
- [31] KIM H J, YOU M K, WANG Zi-yun, et al. Red pepper seed inhibits differentiation of 3T3-L1 cells during the early phase of adipogenesis via the activation of AMPK[J]. The American Journal of Chinese Medicine, 2018, 46(1): 107-118.
- [32] GEONUK J, YOUNGMIN C, SEON-MI L, et al. Anti-obesity activity of methanol extract from hot pepper (*Capsicum annuum* L.) seeds in 3T3-L1 adipocyte [J]. Food Science and Biotechnology, 2010, 19(4): 1 123-1 127.
- [33] PAULASKIS J D, SUL H S. Cloning and expression of mouse fatty acid synthase and other specific mRNAs: Developmental and hormonal regulation in 3T3-L1 cells[J]. Journal of Biological Chemistry, 1988, 263(15): 7 049-7 054.
- [34] CABRE A, LAZARO I, GIRONA J, et al. Plasma fatty acid-binding protein 4 increases with renal dysfunction in type 2 diabetic patients without microalbuminuria [J]. Clinical Chemistry, 2007, 54(1): 181-187.
- [35] CARLING D, THORNTON C, WOODS A, et al. AMP-activated protein kinase: New regulation, new roles? [J]. Biochemical Journal, 2012, 445(1): 11-27.

- [36] GRUZMAN A, BABAI G, SASSON S. Adenosinemonophosphate-activated protein kinase (AMPK) as a new target for antidiabetic drugs: A review on metabolic, pharmacological and chemical considerations[J]. The Reviews of Diabetic Studies; RDS, 2009, 6(1): 13-36.
- [37] 时政, 杨永菊, 黄凯丰. 不同辣椒籽资源的营养保健成分研究[J]. 河南农业科学, 2011, 40(10): 108-110.
- [38] 韩玉竹, 赵建军, 陈强, 等. 辣椒籽抗菌肽的安全性评价及其在玉米防霉中的应用[J/OL]. 食品与发酵工业. (2018-11-23) [2019-05-08]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.019235>.
- [39] 韩玉竹, 曾兵, 孟醒, 等. 辣椒籽抗菌肽对黄曲霉的抑制作用[J/OL]. 食品与发酵工业. (2018-12-28) [2019-05-08]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.019137>.
- [40] GURNANI N, GUPTA M, MEHTA D, et al. Chemical composition, total phenolic and flavonoid contents, and in vitro antimicrobial and antioxidant activities of crude extracts from redchilli seeds (*Capsicum frutescens* L.)[J]. Journal of Taibah University for Science, 2016, 10(4): 462-470.
- [41] IORIZZI M, LANZOTTI V, RANALLI G, et al. Antimicrobialfurostanol saponins from the seeds of *Capsicum annuum*, L. Var. *acuminatum*[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(15): 4 310-4 316.
- [42] DIZ M S, CARVALHO A D, RODRIGUES R, et al. Antimicrobial peptides fromchilli pepper seeds causes yeast plasma membrane permeabilization and inhibits the acidification of the medium by yeast cells[J]. Biochimica et Biophysica Acta, 2006, 1 760(9): 1 323-1 332.
- [43] CRUZ L P, RIBEIRO S F, CARVALHO A D, et al. Isolation and partial characterization of a novel lipid transfer protein (LTP) and antifungal activity of peptides fromchilli pepper seeds[J]. Protein and Peptide Letters, 2010, 17(3): 311-318.
- [44] SUGIARTO H, YU P L. Avian antimicrobial peptides: the defense role of  $\beta$ -defensins[J]. Biochemical & Biophysical Research Communications, 2004, 323(3): 721-727.
- [45] TIAN Jun, WANG Yan-zhen, LU Zhao-qun, et al. Perillaldehyde, a promising antifungal agent used in food preservation, triggers apoptosis through a metacaspase-dependent pathway in aspergillus flavus[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2016, 64(39): 7 404-7 413.
- [46] 田爱梅, 曹家树. 植物脂质转移蛋白[J]. 中国细胞生物学学报, 2008, 30(4): 483-488.
- [47] 燕晓翠, 杨春蕾, 姚大为, 等. 抗菌肽的国内外研究进展[J]. 天津农业科学, 2017, 23(5): 35-41.
- [48] RIBEIRO S F, CARVALHO A D, CUNHA M D, et al. Isolation and characterization of novel peptides fromchilli pepper seeds: Antimicrobial activities against pathogenic yeasts[J]. Toxicon, 2007, 50(5): 600-611.
- [49] 唐勇. 抗IV型胶原酶单链抗体及其融合蛋白的研究[D]. 北京: 中国协和医科大学, 2001: 6-7.
- [50] MOSMANN T. Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: Application to proliferation and cytotoxicity assays[J]. Immunol. Methods, 1983, 65(1/2): 55-63.
- [51] ANDERSON J W, BAIRD P, DAVIS R H, et al. Health benefits of dietary fiber[J]. Nutrition Reviews, 2010, 67(4): 188-205.
- [52] FERREIRA A, PROENÇA C, SERRALHEIRO M L M, et al. The in vitro screening for acetylcholinesterase inhibition and antioxidant activity of medicinal plants from Portugal [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2006, 108(1): 31-37.
- [53] OKADA Y, OKADA M. In vitro screening on amyloid beta modulation of aqueous extracts from plant seeds[J]. Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences, 2016, 8(2): 141-145.
- (上接第 218 页)
- [46] CELLI G B, GHANEM A, BROOKS S L. Optimized encapsulation of anthocyanin-rich extract from haskap berries (*Lonicera caerulea* L.) in calcium-alginate microparticles[J]. J Berry Res, 2016, 6(1): 1-11.
- [47] KANOKPANONT S, YAMDECH R, ARAMWIT P. Stability enhancement of mulberry-extracted anthocyanin using alginate/chitosan microencapsulation for food supplement application[J]. Artif Cells Nanomed Biotechnol, 2017, 46(4): 1-10.
- [48] DE MOURA S, BERLING C L, GERMER S P M, et al. Encapsulating anthocyanins from Hibiscus sabdariffa L. calyces by ionic gelation: Pigment stability during storage of microparticles[J]. Food Chem, 2018, 241: 317-327.
- [49] GUO Jing-xin, GIUSTI M M, KALETUNC G. Encapsulation of purple corn and blueberry extracts in alginate-pectin hydrogel particles: Impact of processing and storage parameters on encapsulation efficiency[J]. Food Res Int, 2018, 107: 414-422.
- [50] ROCHA-SELMÍ G A, BOZZA F T, THOMAZINI M, et al. Microencapsulation of aspartame by double emulsion followed by complex coacervation to provide protection and prolong sweetness[J]. Food Chem, 2013, 139(1/2/3/4): 72-78.
- [51] SHADDEL R, HESARI J, AZADMARD-DAMIRCHI S, et al. Use of gelatin and gum Arabic for encapsulation of black raspberry anthocyanins by complex coacervation[J]. Int J Biol Macromol, 2018, 107: 1 800-1 810.
- [52] SHADDEL R, HESARI J, AZADMARD-DAMIRCHI S, et al. Double emulsion followed by complex coacervation as a promising method for protection of black raspberry anthocyanins[J]. Food Hydrocoll, 2018, 77: 803-816.
- [53] TAN Chen, SELIG M J, ABBASPOURRAD A. Anthocyanin stabilization by chitosan-chondroitin sulfate polyelectrolyte complexation integrating catechin co-pigmentation[J]. Carbohydr Polym, 2018, 181: 124-131.