

于金慧, 尤升波, 高建伟, 等. 芹菜功能性成分及生物活性研究进展[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(7): 5-10.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.07.002

芹菜功能性成分及生物活性研究进展

于金慧¹, 尤升波¹, 高建伟², 马德源¹, 黄超¹, 石士涛¹, 毕玉平¹

(1. 山东省农业科学院生物技术研究中心, 山东济南 250100; 2. 山东省农业科学院蔬菜花卉研究所, 山东济南 250100)

摘要:近年来, 人们对健康的意识增强, 功能性产品的消费也日益增长。芹菜作为一种药食两用的原料, 具有降压、抗动脉硬化等功效。芹菜的功效价值有待于进一步开发。基于前人的研究结果, 对芹菜的营养价值、目前研究的功能性成分和相关生物活性进行综述, 并汇总目前以芹菜为原料制成的产品, 总体来看, 芹菜是一种具有开发价值和应用潜力的原材料。本研究旨在为芹菜相关产品的进一步深加工和系列高附加值产品的开发提供借鉴和参考。

关键词:芹菜; 芹菜素; 瑟丹内酯; 保肝; 抗氧化

中图分类号: S184 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)07-0005-06

芹菜, 属伞形科植物, 它的新鲜植株既可作为蔬菜食用, 也可药用, 是药食两用的重要原料。芹菜药用历史悠久, 药用价值最早记载于《新修本草》中, 芹菜的植株和种子均可入药, 具有散气、消肿、开通阻滞、降低血压、延缓衰老等功效^[1]。《本草纲目》中记载“旱芹, 其性滑利”。《本草推陈》指出, 芹可治肝阳头痛、面红目赤、头重脚轻、步行飘摇等症。《卫生通讯》中也详述了芹具有清胃涤热, 通利血脉, 利口齿咽喉, 明目通鼻, 醒脑健胃, 润肺止咳等功效。现代研究表明, 芹菜含有人体需要的多种营养成分, 而且其中的黄酮类、丁基苯酞类、氨基酸、不饱和脂肪酸等活性物质具有抗菌、抗氧化、抗肿瘤、抗高血压、降血脂等功效。由此看来, 以芹菜为原料

开发具有抗氧化、抗高血压、降血脂等功效的功能性产品是可行的。因此, 笔者对芹菜相关的系列研究进行综述, 旨在为后期的产品开发提供借鉴和参考。

1 芹菜概述

芹菜(*Apium graveolens* L.) 为伞形科中 1 年或 2 年生草本植物, 原产于地中海地区和中东, 目前世界各地普遍栽培。Peter 认为根据形态可以将芹菜分为 3 种类型: 本芹(*A. graveolens* var. *secalinum*)、西芹(*A. graveolens* var. *dulce*) 和根芹(*A. graveolens* var. *rapaceum*)^[2]。实际上, 我国芹菜栽培品种有本芹、西芹、本芹与西芹的杂交改良型和根芹, 其中, 根芹作为稀特菜类较少种植^[3]。国内外有关芹菜种质资源的研究相对较少, 特别是我国芹菜的命名和来源较为混乱, 且芹菜栽培品种繁多, 研究人员对我国芹菜种质资源的遗传背景了解很少。近年来, 学者们也开展了芹菜品种亲缘关系方面的研究^[4-8], 这对芹菜种质资源的分类和保存具有重要意义。

2 芹菜的营养成分

芹菜营养丰富, 但是不同的品种之间有些差异。前期对芹菜营养成分的文献资料^[2,9]研究表明, 芹菜不同品种之间的营养成分有一定的差异(表 1), 而同一品种不同部位的营养成分也有着明显的差别(表 2)。

收稿日期: 2017-12-04

基金项目: 国家国际科技合作专项(编号: 2012DFA30450); 山东省农业科学院青年基金(编号: 2015YQN32); 山东省科技发展计划(编号: 2012GNC11016); 山东省现代农业产业技术体系建设专项资金(编号: SDAIT-26-09); 山东省现代农业产业技术体系蔬菜创新团队建设项目(编号: SDAIT-02-022-04)。

作者简介: 于金慧(1985—), 女, 山东济宁人, 博士, 助理研究员, 主要从事功能性成分及其生物活性研究。E-mail: faith_2002@163.com。

通信作者: 毕玉平, 博士, 研究员, 主要从事微藻培养及次生代谢产物积累及活性研究。E-mail: yupingbi@vip.sina.com。

bovine *NRAMP1* gene into murine RAW264.7 cells; effect on *Brucella abortus* survival[J]. Infection and Immunity, 2001, 69(5): 3110-3119.

[46] Pereira - Suarez A L, Estrada - Chavez C, Arriaga - Diaz C, et al. Coexpression of *NRAMP1*, iNOS, and nitrotyrosine in bovine tuberculosis[J]. Veterinary Pathology, 2006, 43(5): 709-717.

[47] Capparelli R, Alfano F, Amoroso M G, et al. Protective effect of the *NRAMP1* BB genotype against brucella abortus in the water buffalo (*Bubalus bubalis*) [J]. Infection and Immunity, 2007, 75(2): 988-996.

[48] Ganguly I, Sharma A, Singh R, et al. Association of microsatellite (GT)_n polymorphism at 3' UTR of *NRAMP1* with the macrophage function following challenge with *Brucella* LPS in buffalo (*Bubalus*

bubalis) [J]. Veterinary Microbiology, 2008, 129(1/2): 188-196.

[49] 郭洋, 王洪梅, 侯明海, 等. 中国荷斯坦牛 *SLC11A1* 基因多态性与乳腺炎的相关性研究[J]. 中国农业科学, 2011, 44(19): 4072-4080.

[50] Nam H M, Lim S K, Kim J M, et al. Antimicrobial susceptibility of coagulase - negative staphylococci isolated from bovine mastitis between 2003 and 2008 in Korea [J]. Journal of Microbiology and Biotechnology, 2010, 20(10): 1446-1449.

[51] Bagheri M, Moradi - Sharhrbabak M, Miraie - Ashtiani R, et al. Case - control approach application for finding a relationship between candidate genes and clinical mastitis in Holstein dairy cattle [J]. Journal of Applied Genetics, 2016, 57(1): 107-112.

表 1 不同品种芹菜中营养成分组成^[9]

项目	本芹叶柄	西芹叶柄
可溶性糖含量(g/kg)	4.8~11.0	5.6~12.0
可溶性固形物含量(g/kg)	20~46	23~37
叶绿素含量(SPAD 值)	32.63~45.75	33.10~42.53
维生素 C 含量(g/kg)	118~173	117~203
纤维素含量(g/kg)	1.0~1.5	1.1~1.6
蛋白质含量(g/kg)	57.3~85.5	62.3~76.6
氨基酸含量(g/kg)	45.6~67.1	52.5~60.9
钙含量(mg/kg)	647~1 141	823~1 164
钾含量(mg/kg)	303~620	422~658
镁含量(mg/kg)	147~244	231~263
钠含量(mg/kg)	1 624~2 740	1 454~2 468
铜含量(mg/kg)	258~407	226~355
铬含量(mg/kg)	107~262	141~413
铁含量(mg/kg)	6~8	4~8
锌含量(mg/kg)	2~3	2~3
镉含量(mg/kg)	4~7	4~5

表 2 芹菜不同部位中营养成分组成^[2]

组分	外叶柄	内叶柄	叶片	种子
能量(kJ/kg)	1 213	1 423	2 678	16 408
水分(g/kg)	960	950	813	60
蛋白质含量(g/kg)	7	9	60	181
脂肪含量(g/kg)	1	1	6	253
碳水化合物含量(g/kg)	12	12	86	414
维生素 A 含量(IU/kg)	900	1 200	800	520
维生素 B ₂ 含量(mg/kg)	0.3	0.3	trace	
维生素 B ₁₂ 含量(mg/kg)	0.2	0.4		
烟酸含量(mg/kg)	3	3		
维生素 C 含量(mg/kg)	70	100	62	170
钙含量(mg/kg)	250	700	230	17 670
铁含量(mg/kg)	3	5	60	450
锰含量(mg/kg)	100	140		4 400
磷含量(mg/kg)	270	340	140	5 470
钾含量(mg/kg)				14 000
钠含量(mg/kg)				1 600
锌含量(mg/kg)				70

注:trace 表示痕量。

3 芹菜功能性成分

3.1 黄酮及其苷类化合物

芹菜中的黄酮类化合物有芹菜素、芦丁、槲皮素和木樨草素等。其中,芹菜素是芹菜中最主要的黄酮类化合物,以黄色素的形式存在于植物体内^[10-11]。总的来说,芹菜花和叶片中芹黄素含量最高,种子中次之,而叶柄部位最少^[10-11]。芹菜根中也含有芹菜素、槲皮素和木樨草素等黄酮类化合物^[12]。Liu 等采用聚酰胺树脂及高效液相色谱法从芹菜中分离出黄酮类化合物,分别为木樨草素 7-O-β-d-呋喃芹糖基(1→2)-β-d-吡喃葡萄糖苷、木樨草素 7-O-β-d-吡喃葡萄糖苷、芹菜苷、金圣草黄素 7-O-β-d-呋喃芹糖基(1→2)-β-d-吡喃葡萄糖苷、木樨草素 7-O-[β-d-呋喃芹糖基(1→2)-(6"-O-丙二酰基)]-β-d-吡喃葡萄糖苷和芹黄素 7-O-[β-d-呋喃芹糖基(1→2)-(6"-

O-丙二酰基)]-β-d-吡喃葡萄糖苷^[13]。

3.2 膳食纤维

膳食纤维是纤维素类化合物的总称,主要是由非水溶性纤维素(纤维素、半纤维素、木质素)和水溶性纤维素(果胶、果胶类似物及树胶等)组成。芹菜中主要以纤维素、半纤维素、木质素等为主。赵全利等以榨汁后的芹菜渣为原料,以产率和不溶性膳食纤维含量为主要指标,采用碱解和酸解法得到最佳工艺,芹菜膳食纤维总产率达 79.5%,其中不溶性膳食纤维含量达 69.0%,溶胀性为 12.2 mL/g,持水力为 2.11 g/g^[14]。张永芳采用酸碱溶解法对芹菜膳食纤维的提取工艺进行了优化,通过温度、时间、pH 值和溶剂等因素的优化,得到最佳工艺条件下不溶性膳食纤维总产率达 54.3%^[15]。而李昌文等的研究表明,芹菜中也含有水溶性纤维素,采用微波提取芹菜渣水溶性膳食纤维,提取率为 13.13%^[16]。

3.3 脂肪酸类

芹菜所含主要脂肪酸包括伞形花子油酸(64.3%)、油酸(8.1%)、亚油酸(18%)、亚麻酸(0.6%)、棕榈酸(6.9%)和硬脂酸(1.4%)等^[17]。孙莲等研究发现,芹菜籽中油酸、亚油酸、软脂酸等 3 种脂肪酸含量分别为 32.2%、59.4%、4.9%^[18]。而在芹菜根油共分离鉴定出了 11 种脂肪酸,被鉴定出来的脂肪酸成分相对质量分数占总脂肪酸组分的 98.84%,主要成分为不饱和脂肪酸。其中,相对质量分数最高的为 12-十八碳烯二酸(48.0%),其次为 9-十八碳烯酸(15.5%)、十二烷酸(14.2%)、十六烷酸(11.2%)^[19]。笔者对鲍芹根和外周叶柄的脂肪酸含量也进行了测定,共检测出 29 种脂肪酸(数据未发表),其中含量较高的为十六烷酸和十八碳二烯酸。可见,芹菜不同部位内脂肪酸组成及含量均有差异。

3.4 香豆素类化合物

香豆素类化合物是一类具有芳香气味的天然活性成分。香豆素是芹菜中具有重要生理活性的物质之一。刘力敏报道从芹菜种子中获得 1 种新香豆素,命名为 celerin,还分离出 2 种已知香豆素 osthenol 和 apigranin^[20]。耿萍从新疆维药芹菜根醇提物的氯仿部位中分离出佛手柑内酯^[21]。

研究人员对芹菜中香豆素的提供工艺进行了摸索,钟平等采用微波辐射法从芹菜中提取香豆素,通过正交试验优化提取工艺,所得香豆素的产率为 0.65%^[22]。王涛等采用超声波辅助提取芹菜香豆素,通过单因素和正交试验优化工艺条件,芹菜香豆素提取率为 0.73%^[23]。

3.5 挥发性成分

芹菜地上和地下部位均含挥发油。据报道,芹菜籽含有 2% 的挥发油,其中 60% 为柠檬烯,20% 为芹子烯,而形成芹菜特征性气味的瑟丹内酯、3-丁酯苯酚、芹籽酸酐等所占比例较小^[17]。但也有研究表明,不同的提取方法可能会使芹菜籽油中组分存在差异^[24],况且不同部位、品种、地域、采收时间等也会造成含量的不同,因此各组分的含量还要根据具体测定结果而定。芹菜籽油中其他挥发性成分还有 4,11-桉叶二烯、1-(4-乙苯基)乙基酮、β-石竹烯、月桂烯、β-蒎烯、反-对-薄荷-2,8-二烯-1-醇、石竹烯氧化物、罗勒烯、乙基芳樟醇、乙酸己酯、柠檬烯氧化物、反-香芹醇、顺-香芹醇、反-乙酸松香芹酯、反-乙酸香芹酯、α-石竹烯、

β - 榄香烯、邻苯二甲酸二丁酯等^[24]。芹菜地上部分所含的挥发油主要有 α - 蒎烯、 β - 蒎烯、月桂烯、反式- 金合欢醇、蛇麻烯、柠檬烯、罗勒烯、松香烯、罗勒烯、洋芹醚、蛇床烯、蛇床内酯等^[25]。此外, 芹菜根部主要挥发性成分有新蛇床内酯、蛇床内酯、川芎内酯及苯酚类等^[26]。

3.6 糖类化合物

糖是多羟基醛或多羟基酮以及可以水解产生这些化合物的物质总称, 广义上来讲包括简单糖类和糖复合物。Rupérez 等对芹菜叶和叶柄中的可溶性糖和甘露醇的含量进行了测定, 结果表明, 芹菜叶柄和叶片中含有蔗糖(5.7% ~ 6.0%)、葡萄糖(7.0% ~ 11.7%)、果糖(7.6% ~ 12.8%)和甘露醇(13.3% ~ 15.2%), 总糖含量可达 33.9% ~ 45.5%。其中, 叶柄中总糖和甘露醇含量均高于叶柄和叶片混合样品^[27]。耿萍从新疆维药芹菜根醇提物的正丁醇和乙酸乙酯部位中分别分离出香叶木素-7-O- β -D 葡萄糖苷和柯伊力素-7-O- β -D 葡萄糖苷^[21]。

3.7 其他化合物

除以上成分, 还有关于芹菜中其他化合物的报道。芹菜汁中含有多种苯酚类化合物, 其中 3- 亚异丁基-3 α ,4- 双氢苯并呋喃酮、3- 异亚戊基-3 α ,4- 双氢苯并呋喃酮、3- 亚异丁基苯并呋喃酮、3- 异亚戊基苯酚、顺-3- 己烯-1- 丙酮酸酯和双乙酰可能是芹菜香味的重要物质基础^[28]。乌莉娅·沙依提等在芹菜根中分离出豆甾醇、棕榈酸豆甾醇酯等甾醇类化合物^[29]。

4 芹菜功能成分的生理活性研究

芹菜药用历史悠久, 古代医学典籍中多有记载。它的药用部位有根、叶和种子, 传统上主要以芹菜籽入药, 主要用于缓解关节疼痛、治疗风湿性关节炎。芹菜根也是多种维药成药制剂的主药。现代医学研究表明, 芹菜所含成分对于多种疾病都具有很好的疗效。下面主要从保肝、降三高、抗肿瘤、抗炎、抗氧化等生理活性方面展开论述。

4.1 保肝作用

研究表明, 芹菜根提取物对 CCl_4 导致的患有急性肝损伤的小鼠有保护作用。采用 1.5 ~ 3.0 g/kg 剂量的芹菜根提取物处理小鼠, 1 周后进行指标检测, 发现芹菜根提取物能够显著降低血清谷草转氨酶 (AST) 含量、丙氨酸氨基转移酶 (ALT) 含量和肝脏中丙二醛 (MDA) 含量, 提高肝脏超氧化物歧化酶 (SOD) 活性, 显著改善了 CCl_4 导致的肝组织损伤^[30]。芹菜叶提取物也具有不错的保肝效果, Shivashri 等采用乙酰氨基酚诱导的淡水鲨鱼肝损伤模型验证了芹菜叶粉的保肝功能。在 500 mg/kg 芹菜根提取物处理 24 h 后可显著提高肝组织中 AST、ALT 和碱性磷酸酶 (ALP) 的活性, 减少肝组织内肝糖原、甘油三酯和胆固醇含量, 提高了组织中硫代巴比妥酸反应物 (TBARS)、过氧化氢脂质 (LHP) 和蛋白羰基 (PCO) 的水平, 改善了组织中 SOD、过氧化氢酶 (CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶 (GSH-Px)、谷胱甘肽转移酶 (GST)、谷胱甘肽 (GSH) 等抗氧化指标和细胞内总巯基 (T-SH)、非蛋白巯基 (NP-SH)、蛋白巯基 (P-SH) 的水平, 改善了肝组织形态结构^[31]。Li 等证实芹菜素能够显著清除肝组织中 MDA 和心肌脂褐素 (LPF), 促进总抗氧化能力, 显著提升肝组织中 SOD、

GSH-Px 和 CAT 的活性^[32]。

芹菜籽油对于邻苯二甲酸二乙基己酯导致的小鼠肝组织增大、肝功能指标活性升高、血清胆固醇和甘油三酯增加具有很好的改善作用, 在 50 $\mu\text{L/kg}$ 的剂量条件下处理 6 周后, 显著提高了 PPAR α 的表达, 改善血清脂质含量, 并使肝功能趋于正常^[33]。芹菜提取物还能抑制小鼠肝微粒体 CYP2A5 和人肝微粒体 CYP2A5 活性^[34]。佐剂诱导的关节炎小鼠模型通常伴随着肝组织氧化胁迫, 芹菜的甲醇提取物能够减少肝组织自由基生产, 增加肝组织中抗氧化酶的活性^[35]。

4.2 降“三高”

三高症是指高血压、高血脂和高血糖 (糖尿病), 这 3 种疾患可能单独存在, 也可能相互关联。在现代饮食习惯和生活方式下, 三高症已经成为威胁人们健康的杀手。丁基苯酚是从芹菜种子中提取出的 1 种成分, 学者研究丁基苯酚对被链脲霉素诱导的糖尿病小鼠中枢神经损伤的影响, 连续处理 8 周后, 丁基苯酚显著降低了小鼠空腹血糖, 提高了 SOD 水平, 降低了 MDA 含量, 并降低了海马组织中炎症因子的表达, 说明丁基苯酚对糖尿病引发的认知紊乱有较好的效果^[36-37]。Tashakori-Sabzevar 等验证了芹菜籽正己烷萃取物对被链脲佐菌素诱导糖尿病的小鼠具有降血糖和降血脂作用, 能够抵抗链脲佐菌素导致的小鼠肾脏毒性^[38]。Iyer 等研究了芹菜种子的乙醇提取物及其三氯甲烷萃取成分、水相萃取组分的抗高血糖作用, 3 种成分分别以 200, 400 mg/kg 的剂量灌胃大鼠, 30 min 后再给小鼠服用 5 mL/kg 橄榄油, 2, 4 h 后采血样可以发现, 处理组血清中总胆固醇、甘油三酯和低密度脂蛋白的含量显著下降, 高密度脂蛋白含量显著增加^[39]。芹菜叶提取物还能有效改善果糖诱导高血压大鼠的症状, 以 100, 200 mg/kg 的剂量进行处理显著降低了大鼠血压和血清中的血脂含量^[40]。

4.3 抗肿瘤

近几年来, 关于芹菜抗肿瘤的报道越来越多, 包括提取物或来源于芹菜的有效成分, 特别是芹菜素、瑟丹内酯和 3- 丁基- 苯酚。Koken 等研究了芹菜醇提取物对人前列腺癌细胞株 LNCaP 的影响, 结果表明, 芹菜提取物能够通过诱导细胞凋亡抑制细胞的活性, 血管表皮生长因子也显著下调^[41]。芹菜种子粉对 17 β - 雌二醇诱导的大鼠乳腺癌细胞增生也有明显的抑制效果, 芹菜籽粉在质量分数为 7.5% 的剂量条件下 3 周后就能够显著降低雌二醇和催乳素的水平, 抑制垂体生长, 这一现象在 12 周时更加明显^[42]。

苯酚类化合物是芹菜中最重要的活性成分之一。而瑟丹内酯和 3- 丁基- 苯酚是抗肿瘤效果最好的苯酚类化合物。Zheng 等发现瑟丹内酯和 3- 丁基- 苯酚分别能够将癌症发病率从 68% 降至 30% 和 11%, 它们能发挥抗癌效果可能与诱导谷胱甘肽解毒相关^[43]。瑟丹内酯还能够通过调控 PI3K, p53 和 NF- κ B 等信号因子诱导自噬抑制人肝癌细胞 J5 的活性^[44]。

芹菜素对乳腺癌可能也有着潜在的抑制效果, 从 Nabavi 等对芹菜素抗乳腺癌的研究综述来看, 无论是体外还是体内实验都验证了芹菜素能够显著改善乳腺癌^[45]。有研究认为, 芹菜素的抗肿瘤活性可能是通过调控细胞对氧化胁迫和 DNA 损伤、抑制炎症和血管生成、阻滞细胞增殖, 诱导肿瘤细

胞自噬和凋亡来实现的。目前已经公认的机制是芹菜素能够促进细胞周期停滞,并通过 p53 相关信号通路诱导肿瘤细胞凋亡^[46]。

4.4 抗炎

炎症是机体对于刺激的一种防御反应,多种疾病的发生都与炎症,特别是与慢性炎症密切相关。研究表明,芹菜提取物及其有效成分具有很好的抗炎效果。从芹菜醇提物萃取得到 2 种苷元,能够显著抑制脂多糖(LPS)诱导 RAW 264.7 巨噬细胞的 NO 生成,它们的半抑制浓度 IC₅₀ 分别为 24.0、28.6 μmol/L^[47]。芹菜叶醇提物(含有 1.12% 芹菜素)和芹菜素都能显著抑制 LPS 激活的 J774A1 细胞中 NO 的生成(IC₅₀ 分别为 0.073、0.08 mg/mL)和 iNOS 的表达(IC₅₀ 分别为 0.095、0.049 mg/mL)。采用巴豆油致小鼠耳肿胀法验证了芹菜提取物的体内抗炎活性(半数致死剂量 ID₅₀ 为 730 mg/cm²),其抗炎活性可能归因于降低了一氧化氮合酶(iNOS)的表达^[48]。芹菜素和富含芹菜素的食物还可通过减少 LPS 诱导的 miR-155 表达,从而有效抑制炎症发展,恢复机体免疫功能^[49]。

4.5 抗氧化

随着对自由基与疾病关系认识的深入,发现自由基与多种疾病的发生发展密切相关,其中生物源抗氧化物质在清除机体过量自由基过程中无毒副作用,这一优势使得天然产物抗氧化活性研究备受科研工作者的关注。Kooti 等对 1997—2015 年的文献进行芹菜抗氧化相关研究的检索分析,从 980 篇文献中选出 9 篇最符合的文献,总结出芹菜中含有对香豆酸、阿魏酸、咖啡酸、芹菜素、木樨草素、单宁酸、皂素、山奈酚等化合物,这些成分具有很强的抗氧化能力,但是由于成分组成和浓度不同,它们的抗氧化效果也是不一样的^[50]。

Yao 等对不同栽培品种的多酚含量组成和抗氧化活性进行了评价,结果表明,芹菜样品中以黄酮类化合物、多酚类化合物以及对香豆酸为主,样品的抗氧化活性与其所含总黄酮和总酚含量显著正相关^[51]。通过体外化学评价方法,证明芹菜叶中分离纯化的芹菜素具有很好的 DPPH 自由基、超氧自由基和羟基自由基清除能力^[32],Din 等也证实芹菜甲醇提取物中黄酮类化合物最高[(56.95 ± 7.14) mg/g],其抗氧化活性也最高^[52]。体内抗氧化活性表明,芹菜甲醇提取物灌胃经全弗氏佐剂诱导的患有关节炎的大鼠,结果表明,提取物显著降低了组织中超氧阴离子含量、总过氧化物含量和氧化胁迫指数,提高了抗氧化酶的活性^[35],芹菜素能显著降低血清和组织中丙二醛和脂褐素的含量,提高抗氧化酶 SOD、GSH-Px、CAT 等的活性^[32]。

另外,样品抗氧化性还与前期处理方式有关。Ramachandraiah 等使用球磨机在不同温度下粉碎芹菜秆,在 100 ℃ 粉末颜色深且略带红色,在 50、75 ℃ 会增加绿度值。随着温度升高总酚含量增加,最高温度条件下 DPPH 抗氧化能力和还原力的效果最好^[53]。

4.6 抗菌

前人研究表明,辛香类植物精油通常具有抑菌作用,芹菜精油也有相似的效果,且芹菜中的黄酮类物质也有很好的抑制作用。Zhou 等对芹菜种子的乙醇提取物进行分级萃取,对幽门螺旋杆菌的抑菌效果进行试验,结果表明,萃取物对幽门

螺旋杆菌的最小抑菌浓度为 3.15 mg/mL,最低杀菌浓度为 6.78 mg/mL,通过质谱和核磁共振分析其活性成分可能是苯酚类化合物^[54]。Baananou 等采用纸片扩散法研究了芹菜地上提取物和种子提取物的抗菌活性,结果表明,芹菜精油能够显著抑制大肠杆菌,对绿脓杆菌和金黄色葡萄球菌也有很好的抑制效果,鉴定其主要成分为 β-蒎烯、蒎烯、柠檬烯、α-蒎烯、β-伞花烃、γ-萜品烯、桉烯和异松油烯^[55]。陈佳辉对提取的芹菜籽油进行抑菌活性研究,结果表明芹菜籽油对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和枯草芽孢杆菌均有较好的抑制效果,芹菜籽油对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和枯草芽孢杆菌最小抑菌浓度分别为 0.47、0.23、0.23 μL/mL^[56]。汪建旭等通过酶解法提取芹菜废弃茎叶中的黄酮类化合物,发现黄酮类化合物也具有较好的抑菌活性,对枯草芽孢杆菌和金黄色葡萄球菌的最小抑菌浓度为 1.0 mg/mL,对大肠杆菌、青霉、毛霉、曲霉的最小抑菌浓度为 2.0 mg/mL^[57]。

4.7 其他生理活性

除了以上活性外,芹菜相关成分还有很多其他生理功能,比如改善认知功能、增强机体免疫力、抗体外血小板聚集、促进骨骼肌发育等。Boonruamkaew 等研究了芹菜提取物对认知和抗抑郁方面的作用,结果表明,服用芹菜提取物能够改善小鼠认知功能和抗抑郁能力,调控内源性抗氧化系统和神经递质系统,增加神经元密度,提示芹菜提取物在预防与衰老、抑郁相关的认知功能下降方面具有重要作用^[58]。芹菜素对骨骼肌肥大和成肌分化还具有一定的促进作用,能够促进肌球蛋白重链的 mRNA 表达,上调 GPR56 及其配体胶原蛋白 III,增强了转录辅助活化因子(PGC-1α、PGC-1α1 和 PGC-1α4)和胰岛素样生长因子(IGF1 和 IGF2)的表达,上调了血清中鸢尾素的水平,也就是说补充芹菜素可以促进骨骼肌增大和成肌分化,对于骨骼肌无力有很好的预防作用^[59]。

由以上生理活性可以看出,在具体试验中所采用的芹菜制剂多种多样,有些使用植株原料粉或者提取物,有些使用芹菜中的某种有效成分如芹菜素、丁基苯酚等。不论以何种方式,都能证明芹菜具有一定的生理功效,具有很好的开发潜力和应用价值。在前人研究的基础上可以再深入研究,比如对于使用粉剂或者粗提物的一些研究还要进一步明确其发挥功效的具体成分或者某种成分发挥效用的相关机制。

5 芹菜相关产品的开发

芹菜在日常生活中通常是以鲜食为主,但也有一些芹菜相关产品,主要以初级加工为主,本研究就目前所了解的芹菜相关制品进行了汇总。

5.1 芹菜叶和叶柄相关产品

为延长货架期,新鲜蔬菜类(包括芹菜叶和叶柄)可以通过脱水、冷冻或者制成罐头等方式进行初级加工。目前市面上相关产品有鲜切/冷冻芹菜^[60]、脱水芹菜/芹菜粉^[61-62]、芹菜果蔬汁饮品^[63-66]、焯水芹菜、腌芹菜、芹菜罐头。吉林省唯一生物工程有限公司推出一款以芹菜素为功能性成分的芹菜精软胶囊产品,主要功效为降脂降压。

5.2 芹菜籽相关产品

芹菜籽可作为天然调料品,在西方国家较为常见,通常以芹菜籽粉或芹菜籽油的方式出售。市场上可见芹菜籽膳食补

充剂,比如澳洲 Blackmores、Youthit 公司的芹菜籽精华片,Swisse 公司的西芹籽胶囊,新西兰 Thompson's 公司、NutraLife 公司和美国 Twinlab 公司的芹菜籽精华胶囊,主要针对患有痛风、关节炎关节红肿、泌尿系统结石的人群。国内也有芹菜籽胶囊和微胶囊制备与质量研究的相关报道^[67]。此外,还有芹菜籽相关护肤品,比如澳洲 Aesop 公司的香芹籽精华。

5.3 芹菜根相关产品

尽管对芹菜根中的活性成分也有相关报道,也有多篇文献验证了芹菜根的保肝作用,但目前只是局限于维药芹菜根,还未见芹菜根的相关制品。

6 展望

随着人们生活水平的提高和健康意识的改变,健康产业的发展受到更多关注和重视,我国健康产业也面临着前所未有的发展机遇。健康产业涉及疾病诊治、疾病预防、营养保健、娱乐健身、休闲旅游等多方面内容。其中,食品在疾病预防和营养保健中发挥着重要作用,《“十三五”健康产业科技创新专项规划》已经将健康营养食品列入重点发展产品。我国芹菜品种资源丰富,种植面积广,材料获取方便。作为药食两用的原料,芹菜药用历史悠久,其降压减脂的功效也被人们广泛认可,因此,以芹菜为原料,安全性有保障。近几年的研究也表明,芹菜中的活性成分具有抗氧化、抗炎、抗癌等生物活性,但是目前与芹菜相关的一些产品主要是初级加工品,具有我国自主知识产权的功能性食品或药品相对较少。因此,以芹菜为原料进行系列功能性产品研发具有很大的市场潜力,对于推动农产品精深加工也具有积极的推动作用,具有重要的经济效益和社会效益。

参考文献:

- [1] 吕金良,牟新利,王武宝,等. 维药芹菜籽化学成分研究[J]. 时珍国医国药,2006,17(1):6-7.
- [2] Peter K V. Handbook of herbs and spices[M]. 2nd ed. Woodhead Publishing Limited,2012:249-267.
- [3] 高国训,王武台,吴 锋,等. 我国芹菜生产发展变化及育种策略[J]. 长江蔬菜,2014(2):1-4.
- [4] 褚云霞,黄志城,李寿国,等. 芹菜 EST-SSR 分析[J]. 上海农业学报,2013,29(2):24-28.
- [5] 刘庞源,张宝海,何伟明,等. 基于 RAPD 分子标记芹菜品种亲缘关系分析研究[J]. 安徽农业科学,2013,41(27):10923-10925.
- [6] 王武台,古 瑜,韩启厚,等. 芹菜种质资源亲缘关系的 ISSR 分析[J]. 中国蔬菜,2011(8):22-27.
- [7] 武青山,马建华,武峻新,等. 芹菜种质资源遗传多样性 RAPD 分析[J]. 山西农业科学,2013,41(8):774-777.
- [8] 鞠剑峰. 芹菜 AFLP 遗传多样性分析[J]. 中国农学通报,2007,23(7):120-123.
- [9] 隋 璐,刘维信,杨建明,等. 不同品种芹菜品质指标测定及其聚类分析[J]. 北方园艺,2016(23):6-10.
- [10] Yan J, Yu L, Xu S, et al. Apigenin accumulation and expression analysis of apigenin biosynthesis relative genes in celery [J]. Scientia Horticulturæ,2014,165:218-224.
- [11] 龚金炎,石嘉琦,章佳盈,等. HPLC 法测定芹菜中绿原酸和芹菜苷的含量[J]. 食品研究与开发,2015,36(16):122-124.
- [12] 陈 妍,乌莉娅·沙依提,李 茜,等. 维药芹菜根化学成分的研究[J]. 新疆中医药,2008,26(1):33-35.
- [13] Liu G Y, Zhuang L W, Song D D, et al. Isolation, purification, and identification of the main phenolic compounds from leaves of celery (*Apium graveolens* L. var. *dulce* Mill./Pers.) [J]. Journal of Separation Science,2017,40(2):472-479.
- [14] 赵全利,吉 欣,吕 奇,等. 芹菜膳食纤维制备工艺的探讨[J]. 现代食品科技,2006,22(4):142-144.
- [15] 张永芳. 芹菜中膳食纤维的提取工艺研究[J]. 饮料工业,2017,20(2):46-50.
- [16] 李昌文,纵 伟,赵光远,等. 微波辅助提取芹菜渣水溶性膳食纤维工艺条件研究[J]. 食品工业,2015,36(3):49-52.
- [17] Sowbhagya H B. Chemistry, technology, and nutraceutical functions of celery (*Apium graveolens* L.): an overview[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition,2014,54(3):389-398.
- [18] 孙 莲,周 芳,孟 磊,等. 柱前衍生-HPLC 法测定芹菜籽中油脂的组成及含量[J]. 新疆医科大学学报,2013,36(7):942-944.
- [19] 阿依古丽·塔西,郑建琨,张 静,等. 超临界 CO₂ 萃取维药芹菜根油及其成分分析[J]. 精细化工,2010,27(2):133-137.
- [20] 刘力敏. 芹菜中的新香豆素: Celerin [J]. 国外医学(药学分册),1980(5):307.
- [21] 耿 萍. 维药芹菜根化学成分及总黄酮提取工艺研究[D]. 乌鲁木齐:新疆医科大学,2007.
- [22] 钟 平,黄建军. 微波辐射法从芹菜中提取香豆素[J]. 食品研究与开发,2008,29(7):56-58.
- [23] 王 涛,陈 涛,李阳辉. 超声波辅助提取芹菜香豆素工艺的优化[J]. 湖北农业科学,2013,52(4):900-902.
- [24] 李雪梅,周 谨,张晓龙,等. 超临界 CO₂ 流体萃取与常规提取方法制备芹菜籽精油的比较[J]. 精细化工,2004,21(8):581-585.
- [25] Saleh M M, Zwaving J H, Malingré T M, et al. The essential oil of *Apium graveolens* var. *secalinum* and its cercaricidal activity [J]. Pharmaceutisch Weekblad,1985,7(6):277-279.
- [26] Gijbels M, Fischer F, Scheffer J, et al. Phthalides in roots of *Apium graveolens*, *A. graveolens* var. *rapaceum*, *Bifora testiculata* and *Petroselinum crispum* var. *tuberosum* [J]. Fitoterapia,1985,56:17-23.
- [27] Rupérez P, Toledano G. Celery by-products as a source of mannitol [J]. European Food Research and Technology,2003,216(3):224-226.
- [28] Gold H J, Iii C W. The volatile flavor substances of celery [J]. Journal of Food Science,1963,28(4):484-488.
- [29] 乌莉娅·沙依提,陈 妍,耿 萍,等. 维药芹菜根化学成分的研究[J]. 中药材,2007,30(12):1535-1536.
- [30] 李 勇,乌莉娅·沙依提,陈 妍. 芹菜根提取物对四氯化碳所致急性肝损伤保护作用的实验研究[J]. 中国药事,2010,24(2):133-135.
- [31] Shivashri C, Rajarajeshwari T, Rajasekar P. Hepatoprotective action of celery (*Apium graveolens*) leaves in acetaminophen-fed freshwater fish (*Pangasius sutchi*) [J]. Fish Physiology and Biochemistry,2013,39(5):1057-1069.
- [32] Li P, Jia J, Zhang D H, et al. In vitro and in vivo antioxidant activities of a flavonoid isolated from celery (*Apium graveolens* L. var. *dulce*) [J]. Food & Function,2014,5(1):50-56.
- [33] El-Shinnawy N A. The therapeutic applications of celery oil seed

- extract on the plasticizer di (2 - ethylhexyl) phthalate toxicity [J]. Toxicology and Industrial Health, 2015, 31 (4) : 355 - 366.
- [34] Deng X, Pu Q H, Wang E H, et al. Celery extract inhibits mouse CYP2A5 and human CYP2A6 activities via different mechanisms [J]. Oncology Letters, 2016, 12 (6) : 5309 - 5314.
- [35] Sukketsiri W, Chonpathompikunlert P, Tanasawet S, et al. Effects of *Apium graveolens* extract on the oxidative stress in the liver of adjuvant - induced arthritic rats [J]. Preventive Nutrition and Food Science, 2016, 21 (2) : 79 - 84.
- [36] Tian Z, Wang J, Wang Y, et al. Effects of butylphthalide on cognitive decline in diabetic rats [J]. Molecular Medicine Reports, 2017, 16 (6) : 9131 - 9136.
- [37] Li J, Zhang S Y, Zhang L H, et al. Effects of *L* - 3 - *n* - butylphthalide on cognitive dysfunction and NR2B expression in hippocampus of streptozotocin (STZ) - induced diabetic rats [J]. Cell Biochemistry and Biophysics, 2015, 71 (1) : 315 - 322.
- [38] Tashakori - Sabzevar F, Ramezani M, Hosseinzadeh H, et al. Protective and hypoglycemic effects of celery seed on streptozotocin - induced diabetic rats: experimental and histopathological evaluation [J]. Acta Diabetologica, 2016, 53 (4) : 609 - 619.
- [39] Iyer D, Patil U K. Effect of chloroform and aqueous basic fraction of ethanolic extract from *Apium graveolens* L. in experimentally - induced hyperlipidemia in rats [J]. Journal of Complementary and Integrative Medicine, 2011, 8 (1) : 1 - 13.
- [40] Dianat M, Veisi A, Ahangarpour A, et al. The effect of hydro - alcoholic celery (*Apium graveolens*) leaf extract on cardiovascular parameters and lipid profile in animal model of hypertension induced by fructose [J]. Avicenna Journal of Phytomedicine, 2015, 5 (3) : 203 - 209.
- [41] Koken T, Koca B, Ozkurt M, et al. *Apium graveolens* extract inhibits cell proliferation and expression of vascular endothelial growth factor and induces apoptosis in the human prostatic carcinoma cell line LNCaP [J]. Journal of Medicinal Food, 2016, 19 (12) : 1166 - 1171.
- [42] Aqil F, Jeyabalan J, Munagala R A, et al. Chemoprevention of rat mammary carcinogenesis by apiaceae spices [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2017, 18 (2) : 425.
- [43] Zheng G Q, Kenney P M, Zhang J, et al. Chemoprevention of benzo [a] pyrene - induced forestomach cancer in mice by natural phthalides from celery seed oil [J]. Nutrition and Cancer, 1993, 19 (1) : 77 - 86.
- [44] Hsieh S L, Chen C T, Wang J J, et al. Sedanolid induces autophagy through the PI3K, p53 and NF - kappa B signaling pathways in human liver cancer cells [J]. International Journal of Oncology, 2015, 47 (6) : 2240 - 2246.
- [45] Nabavi S M, Habtemariam S, Daglia M A. Apigenin and breast cancers: from chemistry to medicine [J]. Anti - cancer Agents in Medicinal Chemistry, 2015, 15 (6) : 728 - 735.
- [46] Sung B, Chung H Y, Kim N D. Role of apigenin in cancer prevention via the induction of apoptosis and autophagy [J]. Journal of Cancer Prevention, 2016, 21 (4) : 216 - 226.
- [47] Zhu L H, Bao T H, Deng Y E, et al. Constituents from *Apium graveolens* and their anti - inflammatory effects [J]. Journal of Asian Natural Products Research, 2017, 19 (11) : 1079 - 1086.
- [48] Mencherini T, Cau A, Bianco G, et al. An extract of *Apium graveolens* var. *dulce* leaves: structure of the major constituent, apiin, and its anti - inflammatory properties [J]. Journal of Pharmacy and Pharmacology, 2007, 59 (6) : 891 - 897.
- [49] Arango D, Diosa - Toro M, Rojas - Hernandez L S, et al. Dietary apigenin reduces LPS - induced expression of miR - 155 restoring immune balance during inflammation [J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2015, 59 (4) : 763 - 772.
- [50] Kooti W, Daraei N. A review of the antioxidant activity of celery (*Apium graveolens* L.) [J]. Journal of Evidence - Based Complementary & Alternative Medicine, 2017, 22 (4) : 1029 - 1034.
- [51] Yao Y, Sang W, Zhou M J, et al. Phenolic composition and antioxidant activities of 11 celery cultivars [J]. Journal of Food Science, 2010, 75 (1) : C9 - C13.
- [52] Din Z U, Shad A A, Bakht J, et al. In vitro antimicrobial, antioxidant activity and phytochemical screening of *Apium graveolens* [J]. Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences, 2015, 28 (5) : 1699 - 1704.
- [53] Ramachandraiah K, Chin K B. Impact of drying and micronization on the physicochemical properties and antioxidant activities of celery stalk [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97 (13) : 4539 - 4547.
- [54] Zhou Y, Taylor B, Smith T J, et al. A novel compound from celery seed with a bactericidal effect against *Helicobacter pylori* [J]. Journal of Pharmacy and Pharmacology, 2009, 61 (8) : 1067 - 1077.
- [55] Baananou S, Boufira I, Mahmoud A, et al. Anticarcinogenic and antibacterial activities of *Apium graveolens* essential oil and extract [J]. Natural Product Research, 2013, 27 (12) : 1075 - 1083.
- [56] 陈佳烨. 芹菜籽油的提取及抑菌活性研究 [D]. 南昌: 南昌大学, 2015.
- [57] 汪建旭, 冯炜弘, 杨道兰, 等. 芹菜废弃茎叶类黄酮提取工艺及抑菌活性研究 [J]. 中国食品工业, 2014 (12) : 54 - 57.
- [58] Boonruamkaew P, Sukketsiri W, Panichayupakaranant P, et al. *Apium graveolens* extract influences mood and cognition in healthy mice [J]. Journal of Natural Medicines, 2017, 71 (3) : 492 - 505.
- [59] Jang Y J, Son H J, Choi Y M, et al. Apigenin enhances skeletal muscle hypertrophy and myoblast differentiation by regulating Prmt7 [J]. Oncotarget, 2017, 8 (45) : 78300 - 78311.
- [60] 郭峰, 古荣鑫, 胡花丽, 等. 不同薄膜包装对鲜切芹菜货架期品质的影响 [J]. 江苏农业科学, 2014, 42 (11) : 297 - 300.
- [61] 任小青, 刘彩红, 马佃珍. 发酵芹菜粉对风干肠冷藏过程中理化特性的影响 [J]. 食品研究与开发, 2015, 36 (17) : 24 - 28.
- [62] 李勇, 周卫东, 宋慧, 等. 速溶芹菜粉湿法粉碎加工工艺研究 [J]. 农业机械, 2012 (5) : 137 - 139.
- [63] 孟秀梅, 王宏勋, 张晓昱. 灵芝发酵生产芹菜全营养产品 [J]. 食品科技, 2005 (3) : 91 - 92, 95.
- [64] 张海悦, 闫小娟, 石翔. 芹菜降压口服液的研制 [J]. 食品工业科技, 2011, 32 (3) : 274 - 276.
- [65] 吴先辉, 周寒松, 田妍基. 黑豆芽菜、芹菜复合汁饮料的研制 [J]. 饮料工业, 2009 (10) : 50 - 52.
- [66] 幸胜平, 冯健雄, 王森, 等. 芦笋芹菜复合饮料加工工艺和配方研究 [J]. 食品研究与开发, 2010, 31 (8) : 91 - 94.
- [67] 陈琰, 赵平, 陈雯慧, 等. 芹菜籽胶囊的制备与质量研究 [J]. 第二军医大学学报, 2012, 33 (12) : 1347 - 1350.