

Research Advance in Bioactive Constituents and Major Biological Activities of *Asparagus officinalis* L.

Xinglei Zhu¹, Caixia Li², Ling Zhang³, Yudan Zhu⁴

¹Editorial Department of Journal of Yunnan Normal University, Yunnan Normal University, Kunming Yunnan

²Editorial Department, Kunming Medical University, Kunming Yunnan

³Editorial Department of Natural Products and Bioprospecting, Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Science, Kunming Yunnan

⁴Yunnan Dadi Fenyu Environmental Protection Co., Ltd., Kunming Yunnan

Email: shidaxuebao@163.com

Received: Jan. 20th, 2020; accepted: Feb. 3rd, 2020; published: Feb. 10th, 2020

Abstract

Asparagus (*Asparagus officinalis* L.) is a healthy and nutritious vegetable rich in bioactive constituents such as steroidal saponins, flavonoids, polysaccharides, organic selenium and free amino acid. In addition to its edible value, asparagus and its extracts have been reported to possess anti-tumour, immunologic enhancement, antioxidant, hypolipidaemic and hypoglycaemic activities. The current research achievements in bioactive constituents and major biological activities of asparagus were summarized. Although the inedible part of asparagus is always discarded as by-product during industrial processing, it has been reported to be a rich source of steroidal saponins, flavonoids and polysaccharides and might have biological activities. So the research advance of this by-product in bioactive factors and their functions was also reviewed. Besides, this paper suggests an economically beneficial way to use the inedible part of asparagus and thereby reduce environmental pollution.

Keywords

Asparagus officinalis L., Bioactive Constituents, Biological Activities, Inedible Part of Asparagus

芦笋的活性成分及生物学活性研究综述

朱兴磊¹, 李彩霞², 张凌³, 朱玉丹⁴

¹云南师范大学, 学报编辑部, 云南 昆明

²昆明医科大学, 学报编辑部, 云南 昆明

³中国科学院昆明植物研究所《Natural Products and Bioprospecting》编辑部, 云南 昆明

⁴云南大地丰源环保有限公司, 云南 昆明
Email: shidaxuebao@163.com

收稿日期: 2020年1月20日; 录用日期: 2020年2月3日; 发布日期: 2020年2月10日

摘要

芦笋是一种营养丰富且食药兼用的名贵蔬菜, 因富含皂苷、黄酮、多糖、硒及游离氨基酸等多种活性因子, 从而具有多种生物学活性。本文对芦笋所含的活性成分及其在抗肿瘤、增强免疫、抗氧化、降血脂和降血糖等方面的研究进展进行了综述, 并对传统加工过程中废弃的芦笋非食用部位所含的活性成分及生物学活性研究进行了归纳, 展望了深度加工和综合利用芦笋的发展趋势。

关键词

芦笋, 活性成分, 生物学活性, 芦笋非食用部位

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

芦笋(*Asparagus officinalis* L.)学名石刁柏, 是百合科天门冬属植物, 至今已有两千多年的栽培历史[1]。芦笋的食用部位是幼嫩茎, 在西方被视为营养丰富且食药兼用的名贵蔬菜, 在国际上有“蔬菜之王”的美誉。而现代生物学研究表明, 芦笋因富含皂苷、黄酮、多糖、硒及游离氨基酸等多种活性因子, 从而具有多种生物学活性, 已成为药用功能型植物研究的热点之一。

2. 芦笋的活性成分

2.1. 皂苷类

皂苷因其水溶液振荡后可产生肥皂样泡沫而得名, 分为三萜皂苷和甾体皂苷两类。芦笋中的皂苷主要为甾体皂苷, 其主要母核皂苷元为菝葜皂苷元(化学结构见图1)[2][3]。从芦笋的茎、根及种子中均能提取分离出皂苷。方幼兰[4]将新鲜芦笋下脚料和芦笋干品在乙醇体积分数 95%、液料比 6:1、温度 90℃ 以及提取时间 4 h 的条件下提取总皂苷, 皂苷得率分别为 1.70%和 4.01%; 李长秀[5]等的研究表明风干芦笋根中菝葜皂苷元含量在 1%以上; 此外, 从芦笋种子中也能分离出皂苷[6]。

关于芦笋甾体皂苷结构的研究早于 20 世纪 70 年代就有报道, 国内外学者都对此做了大量研究。Kawano 等[7]于 1975 年首次从芦笋根分离得到甾体皂苷, 至今至少已有 27 种不同结构的甾体皂苷从芦笋中分离得到, 其中有螺甾型皂苷 13 种, 呋甾型皂苷 14 种[8]。

2.2. 多糖类

研究表明, 芦笋茎、根及种子中都含有丰富的多糖[9]。黄晓德等[10]的研究表明, 从芦笋茎叶中提取多糖的最佳条件为: 料液比 1:20, 提取温度 90℃, 提取时间 2 h, 沉淀乙醇浓度 80%, 沉淀时间 8 h; 将上述条件下所得的芦笋粗多糖先后经过 DEAE-纤维素柱色谱和凝胶柱色谱可获得纯度较高的多糖。

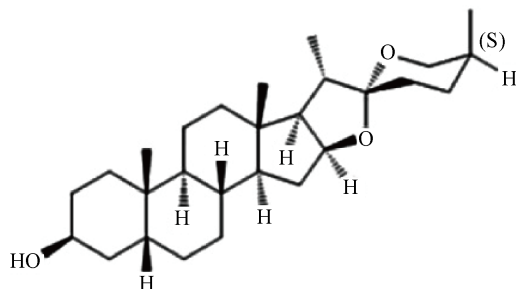


Figure 1. The chemical structure of sarsasapogenin
图 1. 菝葜皂苷元的化学结构

关于芦笋多糖的结构组成, Villanueva-Surez 等[11]的研究结果显示, 芦笋多糖由鼠李糖、岩藻糖、阿拉伯糖、木糖、甘露糖、半乳糖和葡萄糖等单糖组成, 相应的摩尔比为 2.4:1.0:8.8:16.7:4.2:14.5:39.6; 方幼兰[12]从芦笋中分离得到两种平均相对分子质量分别为 85000 和 14500 的多糖, 单糖组成及摩尔比为木糖: 岩藻糖: 果糖 = 1.0:5.07:8.93; 季宇彬等[13]用高效毛细管电泳测定从新鲜芦笋中提取得到的多糖的单糖组成为木糖、果糖、鼠李糖、阿拉伯糖和半乳糖, 且对应的百分比含量分别为 3.44%、7.92%、10.52%、17.15%和 41.85%。

2.3. 黄酮类

芦笋中所含的黄酮类物质主要是芦丁、槲皮素、香橼素和山奈素, 其中含量最高的是芦丁[14]。芦笋不同器官间的黄酮含量有所差距, 依次为叶 > 茎 > 根[15]。有研究显示即使同为芦笋嫩茎, 部位不同, 所含的芦丁量也不同, 尖部最高, 分别是中部和底部的 1.7 倍和 5.5 倍[16]。此外, 随着笋尖的伸长, 芦笋作为蔬菜食用的品质下降了, 但芦丁总含量却逐渐增加, 因此一些错过了采收期的芦笋可用来提取芦丁[17]。

目前, 从芦笋中提取黄酮的方法研究很多, 如张素华等[18]确定了溶剂法提取芦笋黄酮的最佳条件: 提取溶剂为质量分数 60%的乙醇, 料液比 1:30, 提取温度 80℃, 提取时间 4 h, 在上述条件下提取黄酮类化合物得率为 0.498%, 并比较了 6 种大孔树脂对芦笋黄酮的吸附性能, 结果表明 AB-8 型大孔树脂效果最佳; 谢建华等[19]用 80%乙醇, 料液比 1:60, 提取温度 75℃, 提取时间 100 min 的条件提取芦笋黄酮, 得率达 0.87%。此外, 谢建华等[20]还研究了超声辅助法提取芦笋黄酮的最佳条件, 得到黄酮类化合物含量为 10.23 mg/g。王卫东等[21]的研究表明微波辅助法提取芦笋黄酮的最佳条件为: 料液比 1:3, 微波功率 309 W, 提取时间 120 s, 在此条件下黄酮得率为 0.695%, 并与热水提取法和超声提取法做比较, 得出微波辅助提取溶剂消耗少、效率高、能耗低且芦笋黄酮得率高。张素华等[22]利用超临界 CO₂ 萃取法提取芦笋黄酮, 在萃取压力 30 MPa, 温度 75℃, 时间 60 min, 夹带剂 95%乙醇的最优条件下, 芦笋黄酮的萃取得率为 1.27%。董孝元等人[23]确定了纤维素酶协同乙醇提取法从芦笋中提取黄酮的最佳条件为: 料液比 1:50、酶添加量 0.20%、酶解时间 1.5 h、温度 50℃、提取溶剂 38.9%乙醇及 PH5.0, 在此条件下, 芦笋黄酮得率为 3.99%。

2.4. 氨基酸及微量元素

研究显示芦笋中大部分的蛋白质(>50%)以游离氨基酸形式存在, 其中嫩茎和笋尖部分的含量较高[24]。芦笋中所含的游离氨基酸大约有 17 种, 其中必需氨基酸 8 种, 半必需氨基酸 2 种[1]。从含量上来看, 天门冬氨酸占 17%~22.1%, 谷氨酸占 14%~17.7%, 此外亮氨酸、赖氨酸和丙氨酸的含量也较高[25]。有报道称芦笋含有丰富的组蛋白, 以天冬酰胺为主[2]。

芦笋富含锌、铜、铁、锰和硒等多种微量元素，硒(Se)是其中最重要的一种。研究显示，鲜芦笋中硒含量高达 17~33 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，远高于一般蔬菜，也高于猪肉和鸡蛋，仅低于海鱼、猪肝和海虾等[24] [26]。

3. 芦笋的生物学活性研究进展

3.1. 抗肿瘤

大量的研究表明，芦笋具有明显的抗肿瘤活性，不但可以直接抑制肿瘤细胞的生长，还能诱导肿瘤细胞凋亡。

(1) 直接抑制肿瘤细胞的生长

王嘉彦等[27]通过临床观察证明，芦笋中的天门冬酰胺一方面可抑制正常细胞向恶性肿瘤细胞转变，另一方面能使恶性肿瘤细胞产生营养障碍，生长增殖受到抑制。夏俊等[28]的研究显示，不同浓度的芦笋原汁和乙醇提取液都对小鼠 S180 肉瘤细胞和小鼠艾氏腹水癌细胞 EAC 的 DNA 和 RNA 的生物合成有明显的抑制作用，且呈浓度依赖关系。黄玲等[29]的试验结果表明新鲜芦笋汁不仅能抑制胃癌细胞 SGC-7901 的增殖，还能抑制其 DNA 和 RNA 的生物合成，且呈剂量依赖关系。Shao 等人的研究表明 75~100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的芦笋皂苷能抑制急性髓性白血病细胞 HL-60 的生长，浓度高于 200 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 即可诱导 HL-60 细胞凋亡[30]。Zhao 等[31]的研究表明，三种芦笋多糖均能显著抑制人宫颈癌细胞 Hela 及肝癌细胞 BEL-7404 的生长。

(2) 诱导肿瘤细胞凋亡

夏俊等人[32]的研究表明芦笋提取液不但对人恶性黑色素瘤 A375 细胞的增殖具有抑制作用，还能诱导 A375 细胞凋亡和坏死，且上述作用具有明显的浓度依赖性。季宇彬等人用芦笋皂苷作用人肝癌细胞 HepG-2 和人胃癌细胞 SGC-7901 48 h 后，可在荧光显微镜下观察到细胞凋亡小体，流式细胞仪分析细胞周期检测到亚二倍体凋亡峰[33]。Liu [34]等人的研究表明芦笋皂苷能通过调控细胞周期的方式诱导人肝癌细胞 HepG-2 凋亡。此外，芦笋黄酮也可诱导多种恶性肿瘤细胞凋亡，如人肺癌细胞、人乳腺癌细胞及人结肠癌细胞等[35]。还有研究显示，从芦笋中分离出的熊果酸不仅能抑制 HL-60 细胞的增殖，还能诱导其凋亡[36]。

3.2. 增强免疫

研究表明，芦笋中的多种活性成分均可以增强机体免疫力[37]。芦笋多糖在体外体系中可增强小鼠腹腔巨噬细胞的吞噬能力，促进巨噬细胞产生 NO，提高体系的非特异性免疫[38]。季宇彬等[39]的研究显示，芦笋多糖对荷瘤小鼠的红细胞有保护作用，能缩短其电泳迁移时间，改善其生理功能，从而增强红细胞的免疫调节能力。王芳等人的研究结果表明，芦笋乙醇提取物可显著提高小鼠腹腔巨噬细胞的吞噬能力、增强淋巴细胞的增殖能力并明显提高小鼠的脾脏指数，且呈剂量依赖性[40]。叶木荣等[41]研究发现，连续服用 20 天后，芦笋汁不但能增强小鼠巨噬细胞的吞噬功能，还能增加小鼠免疫器官的重量。此外，还有试验证明芦笋汁可明显促进人外周血自然杀伤细胞的活性[42]。

3.3. 抗氧化

研究显示，芦笋提取物中富含多种抗氧化活性成分[43] [44]。Khaoula 等人的研究显示，芦笋水提物在体外具有很强的抗氧化活性，且呈浓度依赖关系[45]。崔荧光的研究表明芦笋多糖能显著清除小鼠体外体系中的羟自由基和超氧阴离子自由基，促进体外肝组织的总抗氧化能力，且呈浓度依赖效应[38]。芦笋黄酮也和芦笋多糖一样具有很强的抗氧化活性，可显著清除羟自由基和超氧阴离子自由基，明显抑制脂质过氧化物的形成[46] [47]。Fan 等人的研究结果显示，芦笋的乙醇提取物具有很强的抗氧化能力，能显

著清除 DPPH 和 ABTS 自由基, 其中起主要作用的是黄酮类和多酚类物质, 并鉴定出芦笋 5 个抗氧化成分分别是: 阿魏酸、山奈酚、槲皮素、芦丁和异鼠李素[48]。此外, Poormoosavi 等人研究表明, 芦笋提取物能通过增强大鼠体内的抗氧化活性来抵御双酚 A 诱导的毒性[49]。

3.4. 降血脂和降血糖

拾景达等的研究表明小鼠预先服用 1 周芦笋香菇汁可预防实验性高脂血症, 与高脂血症对照组相比, 芦笋香菇汁可极显著降低小鼠血浆总胆固醇、甘油三酯以及低密度脂蛋白胆固醇含量($P < 0.01$), 极显著升高高密度脂蛋白胆固醇含量($P < 0.01$); 此外他们的临床研究还证实服用芦笋香菇汁一个月后高脂血症患者血浆总胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇含量明显降低($P < 0.05$), 甘油三酯含量极显著降低($P < 0.01$), 高密度脂蛋白胆固醇含量极显著升高($P < 0.01$) [50]。用芦笋皮饲喂高脂血症大鼠也有类似的结果[51]。降血糖方面, Zhao 等的研究表明芦笋水提物能降低链脲佐菌素诱导的糖尿病大鼠的血糖水平, 改善糖耐量异常[52]; Zhang 等的研究表明芦笋汁也能显著降低糖尿病大鼠的血糖水平, 改善大鼠糖耐量异常[53]; Rahman 等人证明芦笋种子的甲醇提取物可通过促进胰岛素分泌及改善胰岛 β 细胞的功能来控制 2 型糖尿病大鼠的血糖水平[54]。

4. 芦笋非食用部分的活性成分和生物学活性研究进展

近年来芦笋在我国的种植面积迅速增加, 中国已成为世界上第一大芦笋生产国和出口国。芦笋主要作为新鲜蔬菜食用或加工成芦笋罐头, 但可食用的部分(嫩茎)仅占整株生物学产量的 2/3 左右, 其余近 40% 的非食用部分被当作废弃物[10]。随着芦笋的大量种植, 越来越多的芦笋非食用部分如果不进行加工利用, 任其自然腐败, 既污染环境, 又造成资源的浪费。大量的研究表明芦笋非食用部分含有丰富的皂苷、黄酮和多糖这三类活性物质。文献报道表明, 芦笋嫩茎和老茎中的皂苷都主要是甾体皂苷[8], 且新鲜芦笋嫩尖(带穗部分)、嫩茎和老茎中皂苷的含量分别为 30.72 mg/100g 鲜重、53.78 mg/100g 鲜重和 33.22 mg/100g 鲜重[55], 芦笋食用部分和废弃部分干品的总皂苷提取率分别为 179.83 mg/g 和 117.81 mg/g [56], 说明虽然废弃的芦笋老茎中的皂苷含量比嫩茎中的皂苷含量少, 但也达到嫩茎含量的 60%。黄酮类方面, 郑贵娟等利用正交试验确定了芦笋食用部分与废弃部分总黄酮的最佳提取工艺, 并比较说明两个部分的总黄酮含量没有显著差异[57]; 刘树兴等[58]用水作提取溶剂, 在温度 50℃, 料液比 1:5, 超声功率 150 W 的条件下, 芦笋老茎的总黄酮得率高达 4.23%。姚红娟等用不同方法提取了芦笋茎秆中的芦丁、槲皮素和白藜芦醇, 并确定了高效液相色谱法对 3 种物质的最佳色谱条件[59]。多糖方面, 董梦连等优化了芦笋食用部分和废弃部分多糖的提取工艺, 并比较得知两个部分粗提物中多糖的含量差异较大[60]; 黄晓德等研究了芦笋茎叶多糖的提取和纯化方法[10]; Yang 等人的研究表明芦笋茎、根及种子中均含有较丰富的活性多糖[9]。此外, 田颖刚等人对芦笋笋基、芦笋老茎、芦笋叶的氨基酸组成, C、N、H 元素、矿质元素和总皂苷、总黄酮、总多糖的含量进行了测定和分析, 结果表明这 3 个部位的营养、功能成分含量丰富, 不同部位具有不同的开发价值[61]。

关于芦笋非食用部分的生物学活性研究也有很多报道, Wang 等人的研究表明芦笋老茎皂苷能够抑制乳腺、结肠和胰腺肿瘤细胞的生长、迁移和侵袭[62]。田颖刚等人的研究表明芦笋下脚料乙醇提取物具有较明确的增强免疫功能的作用[63]。李娇等人的研究结果显示从芦笋老茎中提取的多糖在体外体系中可显著清除自由基, 并具有抑制红细胞溶血, 抑制肝线粒体肿大的作用, 具有较好的抗氧化活性[64]。赵旌旌等人用芦笋老茎澄清汁灌胃 1 型糖尿病大鼠, 可明显降低糖尿病大鼠的血糖水平, 刺激胰岛素分泌, 调节血脂, 增强抗氧化能力[65]。本人的研究表明, 芦笋老茎醇提物和水提物对高脂血症小鼠具有明显的降血脂作用[66], 此外, 芦笋老茎皂苷一方面对小鼠的高脂血症具有显著的预防和治疗作用[67] [68], 另一

方面对糖尿病大鼠具有明显的降血糖作用[69]。

5. 结语

芦笋是一种营养丰富且食药兼用的名贵蔬菜, 因富含皂苷、黄酮、多糖、硒及游离氨基酸等多种活性因子, 从而具有抗肿瘤、增强免疫、抗氧化、降血脂和降血糖等多种生物学活性, 已成为药用功能型植物研究的热点之一。但芦笋主要是作为新鲜蔬菜和芦笋罐头食用, 生产和加工过程中大量的非食用部分被当作垃圾废弃。若能将传统废弃的非食用部分深度加工, 提取分离其中的皂苷、黄酮和多糖等活性成分, 并且明确他们各自的生物学活性进而研发功能食品或辅助治疗药物, 不但有益于人类健康, 还可解决严重的环境污染问题, 变废为宝, 以加工业带动种植业, 从而提高农民的经济收入, 这将是一件具有明显社会意义和经济价值的工作。

基金项目

云南省教育厅科学研究基金资助项目(2019J0070), 云南师范大学博士科研启动基金资助项目。

参考文献

- [1] 孙春艳. 芦笋茎叶中黄酮类化合物的提取工艺研究[J]. 食品工业科技, 2006, 7(4): 141-145.
- [2] 王春燕, 王卫东, 李超, 等. 芦笋的生物活性成分及其生理功能[J]. 食品与药品, 2010, 12(9): 369-372.
- [3] 王洁琼, 赵岷, 冉霞, 等. 芦笋皂苷的抗肿瘤作用研究进展[J]. 现代生物医学进展, 2011, 11(2): 393-396.
- [4] 方幼兰. 芦笋皂苷的提取及其糖基组成[J]. 生物工程学报, 2005, 21(3): 446-450.
- [5] 李长秀. 芦笋根中菝葜皂苷元的气相色谱测定[J]. 分析测试学报, 1995, 14(1): 61-65
- [6] 孙春艳, 赵伯涛, 郁志芳, 等. 芦笋的化学成分及药理作用研究进展[J]. 中国野生植物资源, 2004, 23(5): 1-5.
- [7] Kawano, K., Sakai, K., Sato, H., *et al.* (1975) A Bitter Principle of Asparagus: Isolation and Structure of Furostanol Saponin in Asparagus Storage Root. *Agricultural and Biological Chemistry*, **39**, 1999-2002. <https://doi.org/10.1080/00021369.1975.10861895>
- [8] 张若洁, 王鲁峰, 徐永霞, 等. 芦笋中甾体皂苷结构和功能特性的研究进展[J]. 食品科学, 2011, 32(1): 291-296.
- [9] Yang, Z., Wang, H., Zhang, W., *et al.* (2012) Analysis of Natural Sugars of *Asparagus officinalis* Linn. Polysaccharide by CZE with Amperometric Detection. *Chromatographia*, **75**, 297-304. <https://doi.org/10.1007/s10337-012-2197-5>
- [10] 黄晓德, 赵伯涛, 钱骅. 芦笋茎叶多糖的提取纯化研究[J]. 江西农业学报, 2006, 18(1): 15-18.
- [11] Villanueva-surez, M.J., Redondo-cuenca, A., Rodrguez-sevilla, M.D., *et al.* (2003) Characterization of Nonstarch Polysaccharides Content from Different Edible Organs of Some Vegetables, Determined by GC and HPLC: Comparative Study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **51**, 5950-5955. <https://doi.org/10.1021/jf021010h>
- [12] 方幼兰. 芦笋多糖的研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 1995, 11(2): 69-73.
- [13] 季宇彬, 陈学军, 汲晨锋. 芦笋多糖提取、单糖组分分析及定量测定[J]. 中草药, 2006, 37(8): 1159-1161.
- [14] 蒋丹, 陶凤云, 李亚秋, 等. 芦笋中黄酮类化合物的研究进展[J]. 食品工业科技, 2014, 35(3): 357-362.
- [15] 王建梅. 芦笋中黄酮类物质的分析方法研究[J]. 中国食物与营养, 2003(8): 39-40.
- [16] 朱立华, 孙萍, 曹国红, 等. 反相高效液相色谱法测定芦笋各段芦丁的含量[J]. 济南大学学报(自然科学版), 2007, 21(1): 53-55.
- [17] Satoru, M., Hiroaki, K., Tomonori, K., *et al.* (2012) Rapid Rutin Accumulation during Spear Elongation in Asparagus. *HortScience*, **47**, 599-602. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.5.599>
- [18] 张素华, 王正云, 张翠英, 等. 芦笋中总黄酮的提取及初步精制[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2005, 26(3): 78-83.
- [19] 谢建华, 李志明, 陈艺, 等. 芦笋皮中黄酮类化合物的提取工艺研究[J]. 热带作物学报, 2011, 32(5): 960-964.
- [20] 谢建华, 胡小华, 李志明, 等. 超声波提取芦笋皮中黄酮类化合物及其抗氧化活性的研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版): 2012, 37(1): 92-98.
- [21] 王卫东, 李超, 崔恒薇, 等. 响应面法优化微波辅助提取芦笋黄酮的研究[J]. 中国食品添加剂, 2010(6): 72-76.

- [22] 张素华, 王正云, 葛庆丰, 等. 芦笋中活性物质提取技术参数及组分鉴定的研究[J]. 食品科学, 2005, 26(2): 138-141.
- [23] 董孝元, 方冬芬, 杨梅, 等. 纤维素酶辅助提取芦笋黄酮及其抗氧化活性分析[J]. 食品科学, 2014, 35(6): 17-23.
- [24] 张岳平, 瞿华香, 谢启鑫, 等. 芦笋及近缘种重要活性因子与主要功能研究进展[J]. 食品工业科技, 2013, 34(4): 363-367.
- [25] 刘升一. 芦笋中氨基酸和微量元素锌、铜、铁、锰、硒含量测定[J]. 潍坊医学院学报, 1990, 3(12): 50-52.
- [26] 吉喆, 李建国, 王营丰, 等. 芦笋中硒的测定及提取硒元素的优化实验[J]. 西北农业学报, 1999, 8(2): 60-62.
- [27] 王嘉彦. 芦笋糖浆对恶性肿瘤化疗增效减毒作用的临床观察[J]. 中医药学报, 1996(4): 26-27.
- [28] 夏俊, 陈治文, 石莹. 绿芦笋提取液抑制肿瘤细胞核酸生物合成的研究[J]. 癌变·畸变·突变, 2003, 15(4): 212-214.
- [29] 黄玲, 陈玲, 林久茂. 大蒜、芦笋对人胃癌细胞 SGC-7901 增殖的影响[J]. 福建中医学院学报, 2007, 17(2): 27-29.
- [30] Shao, Y. and Chin, C.K. (1996) Anti-Tumor Activity of the Crude Saponins Obtained from Asparagus. *Cancer Letter*, **104**, 31-36. [https://doi.org/10.1016/0304-3835\(96\)04233-4](https://doi.org/10.1016/0304-3835(96)04233-4)
- [31] Zhao, Q., Xie, B., Yan, J., et al. (2012) *In Vitro* Antioxidant and Antitumor Activities of Polysaccharides Extracted from *Asparagus officinalis*. *Carbohydrate Polymers*, **87**, 392-396. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.07.068>
- [32] 夏俊, 陈治文, 胡守芬, 等. 芦笋提取物抑制恶性黑色素瘤 A375 细胞增殖的研究[J]. 蚌埠医学院学报, 2004, 29(2): 95-97.
- [33] 季宇彬, 许贺. 芦笋抗肿瘤活性成分及作用机制的研究进展[J]. 药品评价, 2008, 5(9): 428-432.
- [34] Liu, W., Huang X.F. and Qi, Q. (2009) Asparanin A Induces G2/Mcell Cycle Arrest and Apoptosis in Human Hepatocellular Carcinoma HepG2 Cells. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, **381**, 700-705. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2009.02.124>
- [35] 王海燕, 郭良淼. 槲皮素诱导肿瘤细胞凋亡的相关基因调控[J]. 中药药理与临床, 2005, 21(6): 89-91.
- [36] 黄镜. 芦笋有效成分熊果酸诱导 HL-60 细胞凋亡的实验研究[J]. 中国中西医结合杂志, 1999, 19(5): 296-298.
- [37] 谢雪园. 芦笋口服液对晚期非小细胞肺癌患者免疫功能影响的临床研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 安徽中医药大学, 2017.
- [38] 崔莹光. 芦笋多糖的提取及其生物学活性研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东师范大学, 2005.
- [39] 季宇彬, 汲晨锋, 陈学军. HPLC 分析芦笋多糖对荷瘤小鼠红细胞的影响[J]. 哈尔滨商业大学学报, 2006, 22(5): 31-33.
- [40] 王芳, 马淑凤, 李汉臣, 等. 芦笋醇提物的免疫调节作用[J]. 食品与生物技术学报, 2013, 32(3): 324-329.
- [41] 叶木荣, 李锐, 廖惠芳, 等. 芦笋汁的药理研究[J]. 中国中药杂志, 1994, 19(4): 240-242.
- [42] 杨勤, 庄宗杰, 宁志强, 等. 芦笋对人外周血自然杀伤细胞活性的影响[J]. 贵阳医学院学报, 1994, 19(2): 173-177.
- [43] Zhang, H., Birch, J., Xie, C., et al. (2018) Optimization of Extraction Parameters of Antioxidant Activity of Extracts from New Zealand and Chinese *Asparagus officinalis* L. Root Cultivars. *Industrial Crops and Products*, **119**, 191-200. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.03.066>
- [44] Zhang, H., Birch, J., Xie, C., et al. (2019) Optimization of Ultrasound Assisted Extraction Method for Phytochemical Compounds and *In-Vitro* Antioxidant Activity of New Zealand and China *Asparagus officinalis* L. Roots Extracts. *Food Chemistry*, **294**, 276-284. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.012>
- [45] Khaoula, A., Olf, Z., Hassiba, C., et al. (2018) *In Vitro*, Antioxidant Activity, α -Glucosidase Inhibitory Potential and *in Vivo*, Protective Effect of, *Asparagus stipularis*, Forssk Aqueous Extract against High-Fructose Diet-Induced Metabolic Syndrome in Rats. *Journal of Functional Foods*, **47**, 521-530. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.06.006>
- [46] 姜云云, 叶光明, 范国荣, 等. 芦笋总黄酮及 5 种黄酮苷成分的体外抗氧化活性研究[J]. 中成药, 2012, 34(10): 2009-2012.
- [47] Wang, B.S., Chang, L.W., Wu, H.C., et al. (2011) Antioxidant and Antityrosinase Activity of Aqueous Extracts of Green Asparagus. *Food Chemistry*, **127**, 141-146. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.102>
- [48] Fan, R., Yuan, F., Wang, N., et al. (2015) Extraction and Analysis of Antioxidant Compounds from the Residues of *Asparagus officinalis* L. *Journal of Food Science and Technology*, **52**, 2690-2700. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1360-4>
- [49] Poormoosavi, S.M., Najafzadehvarzi, H. and Behmanesh, M.A. (2018) Protective Effects of *Asparagus officinalis* Ex-

- tract against Bisphenol A-Induced Toxicity in Wistar Rats. *Toxicology Reports*, **5**, 427-433. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2018.02.010>
- [50] 拾景达. 芦笋香菇汁对高脂血症的影响[J]. 营养学报, 1998, 20(1): 63-67.
- [51] 冯翠萍. 芦笋皮对实验性高脂血症大鼠血脂水平的影响[J]. 山西农业大学学报, 2001, 21(3): 265-267.
- [52] Zhao, J.J., Zhang, W., Zhu, X.L., et al. (2011) The Aqueous Extract of *Asparagus officinalis* L. By-Product Exerts Hypoglycaemic Activity in Streptozotocin-Induced Diabetic Rats. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **91**, 2095-2099. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4429>
- [53] Zhang, W., Wu, W.B., Wang, Q., et al. (2014) The Juice of Asparagus By-Product Exerts Hypoglycemic Activity in Streptozotocin-Induced Diabetic Rats. *Journal of Food Biochemistry*, **38**, 509-517. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12084>
- [54] Rahman, M.H., Nurul, K. and Sidra, C. (2012) *Asparagus officinalis* Extract Controls Blood Glucose by Improving Insulin Secretion and β -Cell Function in Streptozotocin-Induced Type 2 Diabetic Rats. *British Journal of Nutrition*, **108**, 1586-1595. <https://doi.org/10.1017/S0007114511007148>
- [55] 关云静, 周林燕, 毕金峰, 等. 绿芦笋不同部位营养成分及活性评价研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(5): 343-347.
- [56] 董晶莱, 董梦莲, 郑贵娟, 等. 芦笋食用与废弃部分皂苷含量的比较研究[J]. 海峡药学, 2014, 26(12): 72-75.
- [57] 郑贵娟, 董梦莲, 董晶莱, 等. 芦笋食用部分与废弃部分总黄酮含量比较[J]. 亚太传统医药, 2014, 10(19): 20-22.
- [58] 刘树兴, 魏丽娜, 李红, 等. 超声法提取芦笋老茎中黄酮类物质的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(11): 360-363.
- [59] 姚红娟, 周长生, 刘秀河, 等. HPLC 法测定芦笋茎秆中芦丁、槲皮素及白藜芦醇含量[J]. 生物技术进展, 2016, 6(6): 75-480.
- [60] 董梦连, 郑贵娟, 董晶莱, 等. 芦笋食用部分和废弃部分多糖成分的研究[J]. 中国医药指南, 2015, 13(6): 46-47.
- [61] 田颖刚, 牛俊卿, 张盼, 等. 芦笋植株欠开发部位营养、功能成分分析及比较[J]. 天然产物研究与开发, 2014, 26(9): 1434-1439.
- [62] Wang, J.Q., Liu, Y.L., Zhao, J.J., et al. (2013) Saponins Extracted from By-Product of *Asparagus officinalis* L. Suppress Tumour Cell Migration and Invasion through Targeting Rho GTPase Signalling Pathway. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **93**, 1492-1498. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5922>
- [63] 田颖刚, 张盼, 黄宇玫, 等. 芦笋下脚料乙醇提取物免疫功能及活性成分研究[J]. 食品科学, 2013, 34(1): 277-280.
- [64] 李姣, 王珂, 王瑞坡, 等. 芦笋多糖提取纯化工艺及其体外抗氧化研究[J]. 食品科学, 2011, 32(8): 65-69.
- [65] 赵旌旌, 赵洪军, 赵岷, 等. 芦笋老茎澄清汁对链脲佐菌素致糖尿病大鼠降糖作用的研究[J]. 天然产物研究与开发, 2012, 24(4): 460-464, 472.
- [66] Zhu, X.L., Zhang, W., Zhao, J.J., et al. (2010) Hypolipidaemic and Hepatoprotective Effects of Ethanolic and Aqueous Extracts from *Asparagus officinalis* L. By-Products in Mice Fed a High-Fat Diet. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **90**, 1129-1135. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3923>
- [67] Zhu, X.L., Zhang, W., Pang, X.F., et al. (2011) Hypolipidemic Effect of n-Butanol Extract from *Asparagus officinalis* L. in Mice Fed a High-Fat Diet. *Phytotherapy Research*, **25**, 1119-1124. <https://doi.org/10.1002/ptr.3380>
- [68] 朱兴磊, 张雯, 高云, 等. 芦笋老茎皂苷对小鼠实验性高脂血症的预防作用[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2018, 40(5): 1017-1023.
- [69] 朱兴磊, 张雯, 高云, 等. 芦笋老茎皂苷对糖尿病大鼠的降血糖作用研究[J]. 营养学报, 2019, 41(3): 270-275.