

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2025.06.026

平贝母活性成分及生理作用研究进展

王馨翊¹, 乔永飞¹, 王荣灿¹, 李亚丽^{1,2*}

(1. 中国农业科学院特产研究所, 吉林 长春 130112; 2. 吉林省中药材种植(养殖)重点实验室, 吉林 长春 130112)

摘要: 平贝母(*Fritillaria ussuriensis* Bulbs)是我国药食同源天然资源, 药用历史悠久, 效果显著。现代研究证明, 平贝母中主要含生物碱类、多糖及核苷类等活性成分, 具有止咳化痰、抗炎和抗氧化等生理作用, 广泛应用于临床和日常保健中, 已经成为食品和医药领域的研究热点。该文系统归纳平贝母主要活性成分、品质影响因素及生理作用等方面的研究成果, 以期平贝母深入研究以及进一步开发利用提供参考。

关键词: 平贝母; 活性成分; 品质; 生理作用; 影响因素

Research Progress on Active Ingredients and Physiological Effects of *Fritillariae ussuriensis* Bulbs

WANG Xinyi¹, QIAO Yongfei¹, WANG Rongcan¹, LI Yali^{1,2*}

(1. Institute of Special Animal and Plant Sciences of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130112, Jilin, China; 2. Jilin Provincial Key Laboratory of Traditional Chinese Medicinal Materials Cultivation and Propagation, Changchun 130112, Jilin, China)

Abstract: *Fritillaria ussuriensis* Bulbs are a natural resource of medicinal and food origin in China with a long history of medicinal use and remarkable effects. Modern research has proved that *F. ussuriensis* Bulbs primarily contain active ingredients such as alkaloids, polysaccharides, and nucleosides, and have physiological effects such as relieving cough, resolving phlegm, anti-inflammation, and anti-oxidation. These attributes have led to its widespread application in clinical settings and daily health care, making them a research hotspot in the food and pharmaceutical fields. This paper systematically summarized the research findings on the main chemical components, quality influencing factors, and physiological effects of *F. ussuriensis* Bulbs, so as to provide a reference for further in-depth research and development of *F. ussuriensis* Bulbs.

Key words: *Fritillaria ussuriensis* Bulbs; active ingredients; quality; physiological effects; influencing factors

引文格式:

王馨翊, 乔永飞, 王荣灿, 等. 平贝母活性成分及生理作用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2025, 46(6): 197-204.

WANG Xinyi, QIAO Yongfei, WANG Rongcan, et al. Research Progress on Active Ingredients and Physiological Effects of *Fritillariae ussuriensis* Bulbs[J]. Food Research and Development, 2025, 46(6): 197-204.

平贝母为百合科植物平贝母(*Fritillaria ussuriensis* Maxim)的干燥鳞茎, 又名贝母、平贝、北贝, 是贝母类药材的一种, 也是东北地区的重要林药。野生平贝母主要分布于长白山山脉及小兴安岭南部地区。由于林木乱伐以及过度采挖, 野生平贝母资源急剧减少, 已被列为国家三级重点保护植物^[1]。贝母有着悠久的历史, 《名医别录》准确记载了贝母的功效, 《中华人民共和国药典》1977版正式收录平贝母, 平贝母已被列入

药食同源名录中, 其在中药制剂中常用于治疗干咳少痰、阴虚劳咳, 具有祛痰化痰、止咳平喘、抗氧化和抗衰老等作用, 临床疗效显著^[2]; 用于膳食补充可以明显改善咽喉疾病状况, 以平贝母为基础的药品及保健食品具有较为广泛的应用前景。

平贝母生物活性较强且应用价值较高, 含有多种活性成分, 如生物碱类、核苷类物质、多糖、微量元素和氨基酸等^[3], 这些活性成分共同发挥作用, 赋予平贝

基金项目: 吉林省科技厅重点专项(20210204178YY)

作者简介: 王馨翊(1999—), 女(汉), 硕士研究生, 研究方向: 食药分析及质量评价。

*通信作者: 李亚丽(1981—), 女(汉), 副研究员, 研究方向: 食药分析及质量评价。

母一定的生理活性和药用价值,包括镇咳化痰、润肺平喘、清热散结、抗炎、抗氧化、抗溃疡等生理作用^[4],可以被用于药物治疗或日常保健,在未来的市场上具有

广阔的开发前景。因此,本文从平贝母成分及制品、作用通路及活性作用等方面进行归纳总结(图1),以期为平贝母的开发利用提供参考。

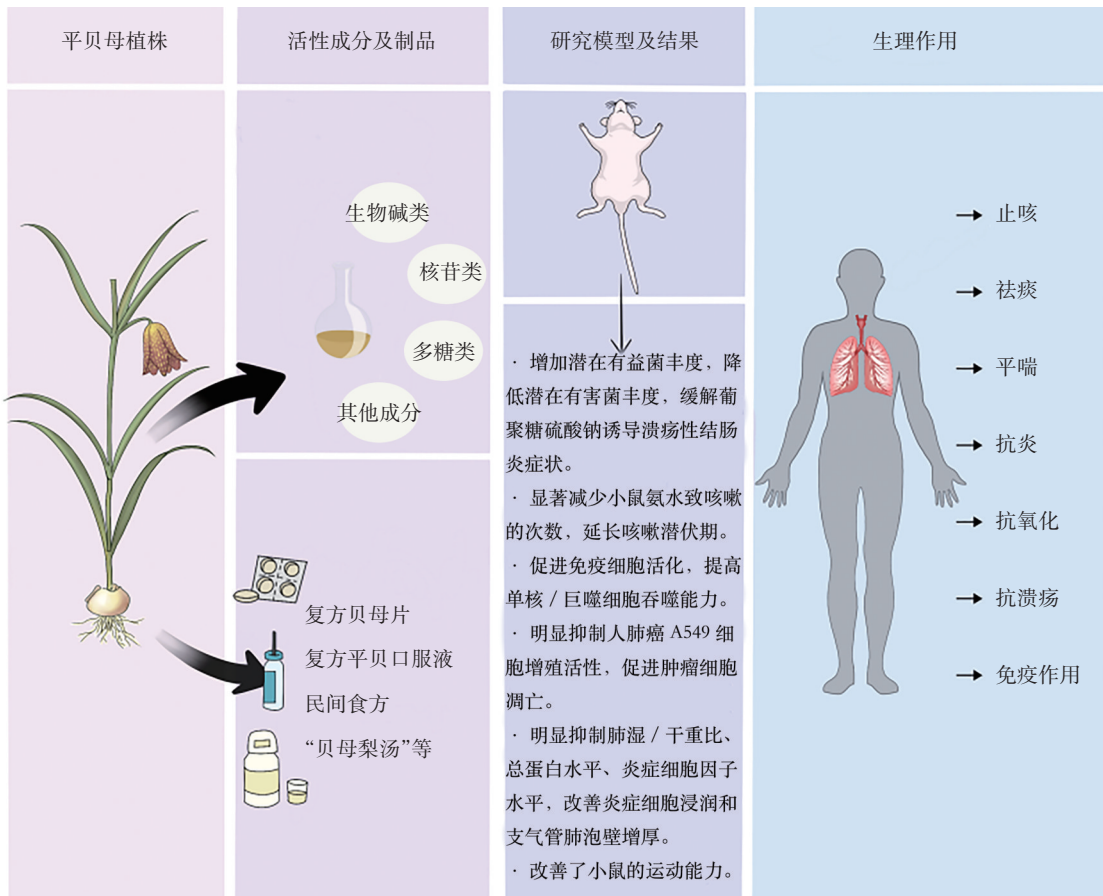


图1 平贝母活性成分及生理作用

Fig.1 Active ingredients and physiological effects of *Fritillariae ussuriensis* Bulbs

1 平贝母活性成分

1.1 生物碱类

研究发现平贝母最主要的有效次生代谢物为贝母辛、西贝素和贝母甲素等异甾体生物碱,其结构小众,数量不多,但是其独特的结构及生理活性持续引起国内外学者关注^[5]。异甾体生物碱是一类以异甾烷骨架为基础结构的天然生物碱,通常具有 C27 骨架,基本骨架结构具有 5~6 个碳环^[6];其结构变化多样,并且具有广泛的生理活性,如抗菌、抗炎、抗氧化、抗肿瘤、抗病毒、镇静和抗抑郁等^[7-9],异甾体生物碱也是百合科贝母属植物发挥生理活性作用的主要成分,除了入药的平贝母鳞茎,其植物茎、叶和花中均有发现生物碱成分。平贝母 *HMGR*、*FPS*、*DXR* 基因的保守序列已被成功克隆,但其在平贝母中的功能尚不明确^[10]。通过数据对比发现, *HMGR*、*FPS* 基因对生物碱含量有所影响,吴秋丽等^[11]对浙贝母生物碱合成相关基因进行研究,发现 *HMGR*、*FPS* 与生物碱含量变化趋势大致相同,并认为其对生物碱合成调控作用显著。

生物碱类结构较为饱和,因此在获得紫外数据方面具有难度。在研究初期使用两项滴定法是测定平贝母生物碱中常见的方法之一,其采用酸性染料溴麝香草酚蓝为试剂,常用于测定不同生长发育期的平贝母生物总碱含量。王栋等^[12]通过此法测定不同生长发育期平贝母鳞茎中总生物碱含量,结果发现生物碱含量在花前期及枯萎中后期呈现高含量,此规律对后期研究起到重要作用。高效液相色谱法是目前测定成分含量的常用方法之一,该方法操作简便、准确,具有较好的精密度、稳定性及重复性;Yang 等^[13]采用超高效液相色谱-串联质谱 (ultra performance liquid chromatography - tandem mass spectrometry, UPLC-MS/MS)法测定贝母素甲和贝母素乙含量。车朋等^[14]建立了超高效液相色谱-蒸发光散射检测 (ultra performance chromatography-evaporative light scattering detector, UPLC-ELSD)法同时测定贝母类药材中 6 种生物碱的含量,该方法操作简单、快速准确,可以同时分析平贝母中多种生物碱含量,为平贝母品质评价提供了依据。平贝母生物碱成分见表 1。

表1 平贝母生物碱成分

Table 1 Alkaloids from *Fritillaria ussuriensis* Bulbs

序号	生物碱成分名称	分子式	生物碱构型	提取部位	性状	参考文献
1	西贝素(imperialine)	C ₂₇ H ₄₁ O ₃ N	瑟文型	鳞茎	无色针状结晶	[15-16]
2	平贝碱乙(pingoeimin B)	C ₂₇ H ₄₅ O ₆ N	瑟文型	鳞茎、茎叶	白色针状结晶	[15-16]
3	西贝素苷(imperialine-e-β-D-glucoside)	C ₂₇ H ₄₃ NO ₃	瑟文型	鳞茎	/	[17]
4	贝母辛(peimissine)	C ₂₇ H ₄₃ O ₃ N	藜芦胺型	鳞茎、茎叶、花	无色针状结晶	[15, 18]
5	平贝碱甲(pingoeimin A)	C ₂₇ H ₄₅ O ₃ N	瑟文型	鳞茎、茎叶、花	无色针状结晶	[15, 18]
6	贝母素甲(peimine)	C ₂₇ H ₄₅ NO ₃	瑟文型	鳞茎、茎叶、花	白色粉末	[17-18]
7	平贝母酮	C ₂₆ H ₃₉ NO ₂	瑟文型	鳞茎	白色针状结晶	[19]
8	黑龙贝母碱	C ₂₇ H ₃₉ NO ₂	瑟文型	鳞茎	无色棱晶	[19]
9	平贝碱苷(petilinineglucoside)	C ₃₃ H ₅₅ O ₇ N	瑟文型	鳞茎	/	[20]
10	平贝碱丙(pingbeimine C)	C ₂₇ H ₄₃ NO ₆	瑟文型	鳞茎	无色棱柱状结晶	[21]
11	平贝宁甙	C ₃₄ H ₅₇ NO ₈	裂环茄碱型	鳞茎	无色针状结晶	[21]
12	平贝母酮A(pingbeimuone A)	C ₂₇ H ₃₉ NO ₄	藜芦胺型	鳞茎	白色无定型粉末	[22]
13	乌苏里啶(ussuriedine)	C ₂₇ H ₃₇ NO ₃	乌苏里贝母碱型	鳞茎	白色粉末	[22]
14	脱水平贝碱甲 (benzo[7, 8]fluoreno[2, 1-b]quinolizineceevane-3, 6, 16, 20-tetrol)	C ₂₇ H ₄₃ NO ₄	瑟文型	鳞茎	/	[22]
15	去氢鄂贝啶碱(ebeidinone)	C ₂₇ H ₄₃ NO ₂	瑟文型	鳞茎	无色针状结晶	[22]
16	乌苏里宁(ussuriene)	C ₂₈ H ₃₉ NO ₃	乌苏里贝母碱型	鳞茎	/	[23]
17	乌苏里酮	C ₂₈ H ₃₇ NO ₃	乌苏里贝母碱型	鳞茎	/	[23]
18	平贝啶碱甙(pingbeidinoside)	C ₃₄ H ₅₇ NO ₉	裂环茄碱型	茎叶	无色针状结晶	[24]
19	藜芦定碱(veratridine)	C ₃₆ H ₅₁ NO ₁₁	介藜芦胺型	鳞茎	/	[25]
20	茄啶(solanidine)	C ₂₇ H ₄₃ NO	茄碱型	鳞茎	白色长针状结晶	[26]
21	贝母素乙(peiminine)	C ₂₇ H ₄₃ NO ₃	瑟文型	鳞茎	白色粉末	[26]

注:/表示性状暂不明确。

1.2 核苷类

苷类化合物是平贝母水溶性活性部位中存在的一类非生物碱成分,参与DNA代谢过程,具有抗病毒和抗肿瘤等生理作用,其含量可以作为质量评价的新指标^[27]。在平贝母核苷类化合物中,腺苷含量最多,且腺苷是抑制血小板聚集的主要成分^[28]。徐汝明等^[29]利用薄层层析结合紫外分光光度法首次建立药用植物中腺苷含量的测定方法,测得平贝母中腺苷的含量。目前常使用高效液相色谱(high performance liquid chromatography, HPLC)法测定平贝母中腺苷含量,该方法便捷、准确、重复性好。He等^[30]建立了同时测定贝母药材中4种核苷类化合物的HPLC法,测定平贝母药材中4种核苷类化合物含量高低顺序为腺苷>鸟苷>尿苷>尿嘧啶,且不同贝母类药材中核苷类化合物含量差异较大,该方法不仅可以用于含量测定,也可以用于鉴定区分贝母类药材。韩静等^[31]在平贝母样品制备过程中,发现超声辅助提取法效率最高,提取1次时基本提取完全,且检测波长260 nm、7%的乙腈作为流动相分离效果最佳,有利于快速、高效、准确分离。

1.3 多糖类

大量研究表明,植物多糖具有免疫调节、抗炎症、抗肿瘤、抗病毒、降血糖和抗衰老等作用^[3]。目前贝母多糖的提取方法主要有热水提取法、超声辅助提取法以及优化的红外辅助提取法和微波辅助提取法等,Liu

等^[32]采用响应面法优化了平贝母多糖超声辅助提取工艺,结果表明最佳提取条件为料液比1:29(g/mL)、提取温度34℃、超声功率50 W、超声时间14 min;根据单糖组分分析发现平贝母多糖主要由葡糖糖组成,并含有少量的阿拉伯糖和半乳糖。水提醇沉法在实际生产中作为多糖富集的主要手段,具有操作简单、收率高的优势,在料液比为1:15(g/mL)、温度60℃、提取时间30 min、醇沉浓度80%,将提取液进行浓缩处理,使其达到料液比为1:1.5(g/mL),此时贝母多糖提取率可以达到0.903 9%^[33]。

1.4 其他成分

现代研究表明,中药中的微量元素含量会影响其生理、毒理、生物活性和生物利用度^[34]。平贝母挥发油可通过二氧化碳超临界流体萃取法提取,有研究发现平贝母中含有10种挥发油成分,其中2种成分具有降压效果^[35]。Yao等^[36]用电感耦合等离子体质谱(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)法分析了长白山种植和野生贝母中的微量元素,结果发现贝母含有丰富的必需微量元素,如Cu、Fe、Zn、Mg和Mn等。ICP-MS被看作是检测平贝母中微量元素的关键技术,它可以为农民合理施肥提供科学依据和指导,实现肥料的最大化利用。

氨基酸的含量与药材质量密切相关且氨基酸含量的积累与植物营养元素的积累有一定的相关性,目前

已有研究表明平贝母中含有15种氨基酸,含量十分丰富,且不同等级平贝母中的氨基酸含量不同,平贝母的等级与氨基酸含量具有相关性,氨基酸含量是平贝母品质评价的重要组成部分^[37]。魏云洁等^[38]测定分析了不同生育时期平贝母矿质元素含量的变化,并分析其变化规律,为平贝母栽培施肥提供了帮助。

2 平贝母生理作用

2.1 止咳、祛痰、平喘作用

贝母属植物大多都具有平喘功效,其生物碱类成分被认为是平喘功效的有效成分^[39]。周颖等^[40]研究证明贝母甙体生物碱可强烈抑制卡巴胆碱引起的豚鼠离体气管收缩,提示贝母的平喘作用很可能是通过作用于气管壁M受体而起到舒张气管的作用。

平贝母是常用的止咳化痰药物,贝母总碱属于天然高效止咳成分,从平贝母中分离的西贝素等生物碱显著抑制了氨诱导的小鼠咳嗽频率和咳嗽潜伏期,具有很好的镇咳、祛痰和抗炎作用^[41]。贝母中的有效成分,具有增加支气管腺体组织分泌、降低痰液黏度的作用,还可以松弛平滑肌,从而减轻咳嗽、利于痰液排出^[42]。徐东铭等^[15]从平贝母中分得平贝碱甲和平贝碱苷2种单体化合物,经生理试验证明有明显的祛痰作用,且平贝母对呼吸系统疾病不良反应较小^[43];另外Cui等^[44]采用网络生理学结合分子对接的研究方法,发现异甙体生物碱贝母素甲和贝母素乙可通过作用于PTGS2、AKT1等靶点而抑制呼吸道炎症,减少黏液分泌,抑制气管重塑。

2.2 抗炎、抗氧化作用

平贝母中生物碱成分有很好的抗炎作用。贝母素乙可以显著抑制肿瘤坏死因子- α (tumor necrosis factor- α , TNF- α)、白细胞介素-6(interleukin-6, IL-6)、白细胞介素-1 β (interleukin-1 β , IL-1 β),并促进白细胞介素-10(interleukin-10, IL-10)的产生,通过阻断丝裂原活化蛋白激酶(mitogen-activated protein kinase, MAPK)和活化B细胞的核因子 κ B(nuclear factor kappa-lightchain-enhanced of activated B cells, NF- κ B)信号通路抑制脂多糖(lipopolysaccharide, LPS)诱导的炎性细胞因子的产生^[45]。Xu等^[46]研究报道了平贝母镇痛和抗炎的潜在机制,发现贝母素乙不仅能够阻断Nav1.7离子通道,而且优先抑制Kv1.3离子通道。Liu等^[47]通过LPS诱导的RAW 264.7巨噬细胞进行研究,发现异甙体生物碱能够抑制NO、TNF- α 和IL-6产生和TNF- α 和IL-6的mRNA转录,其抗炎机制与MAPK信号通路磷酸化有关。通过PPI蛋白网络关系显示,平贝母抗炎作用可能与CASP3、IL-6、JUN、TNF、NR3C1、IL-1 β 和NR3C1等靶点有关,其生物碱可能通过TNF信号通路、IL-17信号通路、NF- κ B信号通路和MAPK信号通

路等通路发挥抗氧作用^[48]。

人体内多种疾病的发生都与氧化损伤存在很大关系,随着年龄增加,机体对自由基清除能力下降,导致机体衰老;目前已有大量研究表明中药材中含有多种天然抗氧化成分^[49]。平贝母多糖FUP-1能显著降低D-半乳糖诱导衰老小鼠肝脏组织中丙二醛含量,提高肝组织中总抗氧化能力和肝组织中谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)活性和超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性,认为平贝母具有一定的抗氧化、延缓衰老作用^[50]。平贝母醇提物、总黄酮和总皂苷在一定剂量下具有很好的抗炎、抗氧化活性,能显著抑制二甲苯所致的小鼠耳廓肿胀、蛋清所致的足趾肿胀等炎症早期出现的组织损伤,其抗炎机制可能与拮抗前列腺素E2(prostaglandin E2, PGE2)、抑制丙二醛的合成或释放有关;平贝母总黄酮和总皂苷均有较好的清除DPPH自由基能力,同等剂量下醇提物的抗氧化活性较弱^[51]。

2.3 抗溃疡作用

溃疡是黏膜表面或者皮肤表皮组织由于溃烂、损伤及破坏等原因造成的表面覆盖坏死组织,严重时会引起脓肿。张彤等^[52]利用葡聚糖硫酸钠(dextran sulfate sodium salt, DSS)诱导建构了溃疡性结肠炎小鼠模型,探讨了平贝母浸出物抗溃疡性结肠炎的效果,认为平贝母浸出物可以改善肠组织损伤、显著增加有益菌丰度并降低潜在有害菌丰度,通过调节肠道菌群失调改善模型小鼠的溃疡性结肠炎症状。

2.4 免疫作用

平贝母醇提物可以显著提高小鼠外周血T淋巴细胞CD69+/CD3+比值,具有促进免疫细胞活化的作用,此外,平贝母醇提物可以提高小鼠腹腔巨噬细胞吞噬荧光微球的吞噬百分率,有利于增强机体非特异性免疫功能^[53]。张婷婷等^[54]评价了以平贝母和人参为原料制成的参贝咀嚼片免疫调节活性,报道了高剂量组(1.20 g/kg)能显著提高小鼠抗体生成细胞数量、巨噬细胞吞噬指数以及小鼠血清中溶血素水平,认为参贝咀嚼片拥有提升免疫力的作用,且安全性良好。

贝母药用历史悠久,在基础研究及临床应用上表现出了明显的止咳平喘、抗炎、抗氧化、抗溃疡及免疫作用,具体见表2。目前市场上以平贝母为主药或参与组成的复方贝母片、复方平贝口服液等均为治疗呼吸系统疾病药物,临床疗效显著,有效率高、副作用低。平贝母的功能主治和用法用量与川贝母非常相似^[55],且人工栽培技术较为成熟,大量研究均认为其可以替代川贝母使用^[56],在临床使用上,已经大量使用平贝母代替川贝母,如蛇胆川贝液中实际添加的为平贝母。此外,平贝母还可以作为日常保健使用,如添加在食品中制成“贝母梨汤”等民间食用方,可以明显改善咽喉

疾病状况,深受人们欢迎;还有人参平贝母保健食品、平贝母压片、平贝母酒和清咽润喉的平贝母花茶等制品。平贝母制品广泛渗透到现代医药产业产品和人们日常生活中。

表2 平贝母及其制剂生理作用
Table 2 physiological effects of *Fritillaria ussuriensis* Bulbs

成分	模型	给药剂量及方式	结果	结论	参考文献
平贝母浸出物	C57BL/6J 雄性小鼠(22~24 g)建立DSS模型	灌胃, 8 mg/kg	显著抑制DSS组小鼠体质量减轻及结肠缩短并减轻肠组织损伤和炎性细胞浸润 显著改善DSS组小鼠症状肠道和菌群失调 显著增加DSS诱导溃疡性结肠炎小鼠的肠道菌群丰富度和多样性	平贝母浸出物可以通过改善肠道菌群失调,增加潜在有益菌丰度,降低潜在有害菌丰度,来缓解DSS诱导溃疡性结肠炎症状	[52]
平贝母醇提物	雄性SPF级昆明种小鼠	灌胃, 0.2 mL/g	显著减少小鼠氨水致咳嗽的次数,延长咳嗽潜伏期并降低小鼠的耳肿胀率 显著增加小鼠的酚红分泌量	醇溶性成分中的生物碱是止咳、祛痰和抗炎的主要成分;止咳和抗炎作用生理研究表明中贝母有优于小贝母的趋势	[57]
平贝母醇提物	雄性SPF级昆明种小鼠(质量18~22 g)	灌胃	明显增高外周血T淋巴细胞CD69+/CD3+比值、腹腔巨噬细胞吞噬荧光微球百分率及脾脏NK细胞CD69+/NKG2D+比值	平贝母醇提物具有促进免疫细胞活化的作用,提高单核/巨噬细胞吞噬能力的作用,有利于增强机体非特异性免疫功能。	[53]
贝母素乙	人肺癌A549细胞		降低肺癌A549细胞存活率、抗凋亡蛋白Bcl-2蛋白表达水平、p-38MAPK、p-p53、p53和PUMA蛋白表达水平 升高促凋亡蛋白Bax、cleaved-caspase-3和MDM2蛋白表达水平	贝母素乙明显抑制人肺癌A549细胞增殖活性,对肿瘤细胞的生长具有抑制作用,能促进肿瘤细胞凋亡	[58]
贝母素甲	雄性白化瑞士小鼠(20~22 g)在异氟烷麻醉下对小鼠进行坐骨神经慢性压迫性损伤	鞘内注射	激活PI3K,抑制MAPK及NF-κB	在神经病理疼痛模型中发现,贝母素乙除镇痛作用外,还能有效增强阿片类药物在神经病变中的镇痛作用	[59]
贝母素甲、贝母素乙	雄性BALB/c小鼠(6~8周)口服吸入脂多糖5 mg/kg建立小鼠急性肺损伤模型	口服,悬浮在索甲基纤维素钠中0.5%	明显抑制肺湿/干重比、总蛋白水平、炎症细胞因子(TNF-α、IL-6、IL-1β和IL-17)水平、与TLR4/MAPK/NF-κB信号通路相关的蛋白质的上调和IL-17的激活 改善炎症细胞浸润和支气管肺泡壁增厚	贝母素甲、贝母素乙和连翘苷A联合给药能以协同方式改善脂多糖诱导的急性肺损伤小鼠的炎症反应。	[60]
平贝母制剂	C57BL/6 雄性小鼠(18~22 g)气管内滴注LPS(2 mg/50 μL)建立急性肺损伤模型	灌胃	改善小鼠的运动能力,降低肺湿/干重比,减少IL-6和TNF-α的产生,但增加急性肺损伤组IL-10的释放	可以减轻LPS诱导的急性肺损伤模型中的炎症反应,TLR通路可能是抗急性肺损伤的基本作用机制	[61]

3 结论

平贝母作为天然药用资源,使用历史悠久、治疗效果显著,一直受到人们的重视。本文通过对大量的文献和研究报告的梳理,对平贝母的活性成分及生理作用进行总结。综合研究结果表明,平贝母是一种具有广泛应用前景的重要植物资源。然而,尽管已有很多关于平贝母的研究,但对其化学成分的具体机制和作用途径了解还不够深入,且目前还缺乏大规模的临床研究来验证其在人体中的安全性和有效性,这限制了平贝母作为药用植物的应用和推广,还需进一步深入研究和实验验证,以充分发挥其潜在的药用价值和应用前景。本文综述了平贝母主要活性成分、品质影响因素及生理作用,以期平贝母的研究提供基本的理论参考和研究思路,推动相关领域的发展和进步。

参考文献:

[1] 杜浩源,王兴塑,马立苹,等.平贝母群落伴生被子植物区系特征分析[J].中国科技信息,2022(15):71-72.

DU Haoyuan, WANG Xingsu, MA Liping, et al. Floristic characteristics of angiosperms associated with *Fritillaria ussuriensis* community[J]. China Science and Technology Information, 2022(15): 71-72.

[2] 陈德勇,张泽洲,李瑞理,等.贝母质量安全现状及分析方法研究进展[J].食品安全质量检测学报,2021,12(23):9242-9250.

CHEN Deyong, ZHANG Zezhou, LI Ruixing, et al. Research progress on quality safety status and analytical methods of *Bulbus fritillaria*[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(23): 9242-9250.

[3] WANG R C, WANG X Y, QIAO Y F, et al. Research progress on the analysis of active ingredients and elements in *Fritillaria ussuriensis* Bulbus[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2022, 51(5): 100192.

[4] 张曼,张宇,徐少博,等.平贝母多糖铁配合物的合成、结构特征及抗氧化活性[J].食品科学,2020,41(6):36-42.

ZHANG Man, ZHANG Yu, XU Shaobo, et al. Preparation, structural characteristics and antioxidant activity of polysaccharide-iron complex from *Fritillaria ussuriensis*[J]. Food Science, 2020, 41(6): 36-42.

[5] RASHID I, YAQOOB U. Traditional uses, phytochemistry and pharmacology of genus *Fritillaria*—a review[J]. Bulletin of the National Research Centre, 2021, 45(1): 124.

[6] 王安汶,刘玉明.异甾体生物碱类化合物及药理活性研究进展

- [J]. 天然产物研究与开发, 2022, 34(1): 164-175.
- WANG Anwen, LIU Yuming. Research progress of isosteroidal alkaloids and their pharmacological activities[J]. Natural Product Research and Development, 2022, 34(1): 164-175.
- [7] WU K, MO C F, XIAO H Y, et al. Imperialine and verticinone from *Fritillaria wabuensis* inhibit pro-inflammatory mediators in LPS-stimulated RAW 264.7 macrophages[J]. Planta Medica, 2015, 81(10): 821-829.
- [8] LI Y, ZHANG Y, ZHAO P Z, et al. Two new steroidal alkaloids from the rhizomes of *Veratrum nigrum* L. and their anti-TYLCV activity[J]. Fitoterapia, 2020, 147: 104731.
- [9] SHANG Y H, DU Q D, LIU S M, et al. Antitumor activity of isosteroidal alkaloids from the plants in the genus *Veratrum* and *Fritillaria*[J]. Current Protein & Peptide Science, 2018, 19(3): 302-310.
- [10] HUANG X, TIAN Y X, WANG Z Q. HMGR, FPS, DXR gene cloning and sequence analysis of *Fritillaria pingbeimu*[J]. Molecular Plant Breeding, 2022: 1-10.
- [11] 吴秋丽, 嵇元烨, 董莉莉, 等. 不同产地浙贝母生物碱含量及其合成相关基因表达研究[J]. 广西植物, 2020, 40(12): 1755-1763.
- WU Qiuli, JI Yuanye, DONG Lili, et al. Alkaloid content and synthesis related gene expression of *Fritillaria thunbergii* in different producing areas[J]. Guihaia, 2020, 40(12): 1755-1763.
- [12] 王栋, 贾树帆, 王启迪, 等. 栽培平贝母不同生长期总生物碱的含量测定[J]. 中医学报, 1996, 24(2): 52.
- WANG Dong, JIA Shuzhi, WANG Qidi, et al. Determination of total alkaloids in cultivated *Fritillaria fritillaria* at different growth stages[J]. Acta Chinese Medicine and Pharmacology, 1996, 24(2): 52.
- [13] YANG Z H, CHENG C, GAO X Y. Determination of peimine and peiminine in Xingbeizhike Granules by high performance liquid chromatography-evaporative light scattering method[J]. China Pharmaceuticals, 2019, 28(6): 31-33.
- [14] 车朋, 刘久石, 齐耀东, 等. UPLC-ELSD 同时测定贝母类药材中 6 种生物碱的含量[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(6): 1393-1398.
- CHE Peng, LIU Jiushi, QI Yaodong, et al. Simultaneous determination of six major isosteroidal alkaloids in Beimu by UPLC-ELSD[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2020, 45(6): 1393-1398.
- [15] 徐东铭, 张本, 李焕荣, 等. 平贝母生物碱的分离和鉴定[J]. 药理学学报, 1982, 17(5): 355-359.
- XU Dongming, ZHANG Ben, LI Huanrong, et al. Isolation and identification of alkaloids from *Fritillaria ussuriensis* maxim[J]. Acta Pharmaceutica Sinica, 1982, 17(5): 355-359.
- [16] 黄鑫, 田义新. 平贝母生物碱含量与合成相关基因关联性研究[J/OL]. 吉林农业大学学报, 1-7(2022-10-12)[2023-01-23]. <https://doi.org/10.13327/j.jjlau.2021.1723>.
- HUANG Xin, TIAN Yixin. Study on the correlation between alkaloid content and synthesis-related genes in *F. pingbeimu*[J/OL]. Journal of Jilin Agricultural University, 1-7(2022-10-12)[2023-01-23]. <https://doi.org/10.13327/j.jjlau.2021.1723>.
- [17] 徐东铭, 张本, 祁彦, 等. 平贝母生物碱研究(II) 西贝素甙的分离和鉴定[J]. 中草药, 1983, 14(2): 7-8.
- XU Dongming, ZHANG Ben, QI Yan, et al. Studies on alkaloids from *Fritillaria fritillaria* (II) isolation and identification of sibirioside[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 1983, 14(2): 7-8.
- [18] 许卯力, 徐东铭, 黄恩喜, 等. 平贝母花生物碱的研究[J]. 中药通报, 1988, 13(8): 32-33.
- XU Maoli, XU Dongming, HUANG Enxi, et al. Study on alkaloids from *Fritillaria fritillaria* flower[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 1988, 13(8): 32-33.
- [19] 倪明勇. 平贝母中的两种新的甙体生物碱[J]. 国外医药(植物药分册), 1990, 5(4): 181.
- NI Mingyong. Two new steroid alkaloids from *Fritillaria fritillaria* [J]. Drugs & Clinic, 1990, 5(4): 181.
- [20] 徐东铭, 张本, 孝延文. 平贝母的化学成分研究——II. 平贝碱甙的分离和鉴定[J]. 药理学报, 1983, 18(11): 868-870.
- XU Dongming, ZHANG Ben, XIAO Yanwen. Studies on chemical constituents of pingpeimu, (*Fritillaria ussuriensis* Maxim)—II. isolation and identification of pingpeimine glucoside[J]. Acta Pharmaceutica Sinica, 1983, 18(11): 868-870.
- [21] 王淑琴, 黄恩喜, 闻晓光, 等. 平贝母茎叶的生物碱成分[J]. 中国中药杂志, 1991, 16(9): 554-555, 576.
- WANG Shuqin, HUANG Enyao, WEN Xiaoguang, et al. Studies on the steroid alkaloids from stems and leaves of *Fritillaria ussuriensis* Maxim[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 1991, 16(9): 554-555, 576.
- [22] 段东柱. 三种药用植物中乙酰胆碱酯酶抑制活性成分的研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2011.
- DUAN Dongzhu. Anti-acetylcholinesterase activity constituents from three medicinal plants[D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2011.
- [23] KITAMURA Y, NISHIZAWA M, KANEKO K, et al. New steroidal alkaloids having a novel seven ring skeleton from maxim[J]. Tetrahedron, 1989, 45(18): 5755-5766.
- [24] 徐东铭, 王淑琴, 黄恩喜, 等. 从平贝母茎叶中分离的平贝啶甙的结构[J]. 药理学报, 1989, 24(9): 668-672.
- XU Dongming, WANG Shuqin, HUANG Enxi, et al. Structure of pingbeidinoside, an alkaloid isolated from the stems and leaves of *Fritillaria ussuriensis* Maxim[J]. Acta Pharmaceutica Sinica, 1989, 24(9): 668-672.
- [25] WANG L, YAO Z P, LI P, et al. Global detection and semi-quantification of *Fritillaria* alkaloids in *Fritillariae ussuriensis* Bulbus by a non-targeted multiple reaction monitoring approach[J]. Journal of Separation Science, 2016, 39(2): 287-295.
- [26] 沈莹, 孙海峰. 平贝母化学成分及药理作用研究进展[J]. 化学工程师, 2018, 32(6): 62-66.
- SHEN Ying, SUN Haifeng. Advance in studies on chemical constituents of *Fritillaria ussuriensis* and their pharmacological effects [J]. Chemical Engineer, 2018, 32(6): 62-66.
- [27] ZHOU J L, JIANG Y, BI Z M, et al. Study on Nucleosides from *Fritillaria pugiensis*[J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2008, 43(12): 894-896.
- [28] 陈泽乃, 陆阳, 徐佩娟, 等. 中药贝母中水溶性成分的研究[J]. 中国中药杂志, 1996, 21(7): 420-422.
- CHEN Zenai, LU Yang, XU Peijuan, et al. Study on water-soluble components in *Fritillaria fritillaria*[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 1996, 21(7): 420-422.
- [29] 徐汝明, 陆阳, 陈泽乃. 紫外分光光度法测定贝母中腺苷的含量[J]. 中国中药杂志, 1996, 21(9): 556-557.
- XU Ruming, LU Yang, CHEN Zenai. Determination of adenosine in *Fritillaria* by ultraviolet spectrophotometry[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 1996, 21(9): 556-557.
- [30] HE M Y, CHEN J, ZHANG X L. HPLC quantitative analysis of uracil and three nucleotides in *Fritillariae bulbus* and the application for variety discrimination[J]. Chinese Journal of Modern Applied Pharmacy, 2014, 31(5): 555-559.
- [31] 韩静, 丁永辉, 宋平顺. HPLC 法测定平贝母中腺苷的含量[J]. 中国药师, 2009, 12(8): 1070-1071.
- HAN Jing, DING Yonghui, SONG Pingshun. Determination of adenosine in *Fritillaria ussuriensis* Maxim. by HPLC[J]. China Pharmacist, 2009, 12(8): 1070-1071.

- [32] LIU J W, ZHANG X R, LUO F Y, et al. Study on extraction process and antioxidant activity *in vitro* of polysaccharides from *Fritillaria ussuriensis*[J]. The Food Industry, 2023, 44(8): 39-44.
- [33] 侯敏娜, 侯少平, 赵蓉, 等. 正交试验优选太白贝母多糖的提取工艺及其抗氧化活性的研究[J]. 华西药学杂志, 2023, 38(6): 683-686.
- HOU Minna, HOU Shaoping, ZHAO Rong, et al. Optimization of the extraction process and antioxidant activity of polysaccharides from *Fritillaria taipaiensis* by Orthogonal test[J]. West China Journal of Pharmaceutical Sciences, 2023, 38(6): 683-686.
- [34] 魏小成, 李成义, 周瑞娟, 等. 无机元素与中药关系研究进展[J]. 中国中医药信息杂志, 2022, 29(7): 140-144.
- WEI Xiaocheng, LI Chengyi, ZHOU Ruijuan, et al. Research progress in relationship between inorganic elements and Chinese materia *Medica*[J]. Chinese Journal of Information on Traditional Chinese Medicine, 2022, 29(7): 140-144.
- [35] 韩成花, 罗惠善, 李英姬. 平贝母挥发油化学成分分析[J]. 延边大学医学学报, 2006(4): 264-265.
- HAN Chenghua, LUO Huishan, LI Yingji. Analysis of chemical constituents of volatile oil from *Fritillaria ussuriensis*[J]. Journal of Medicine, Yanbian University, 2006(4): 264-265.
- [36] YAO Y H, XU G H, ZHANG J D, et al. Determination of trace elements in traditional Chinese medicine from Changbai Mountain by ICP-MS[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2008, 28(5): 1165-1167.
- [37] 王姝婷, 许亮, 那红宇, 等. 平贝母不同等级与氨基酸含量的相关性研究[J]. 中药材, 2021, 44(11): 2618-2623.
- WANG Shuting, XU Liang, NA Hongyu, et al. Study on the correlation between different grades and amino acids contents of *Fritillariae ussuriensis* Bulbus[J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2021, 44(11): 2618-2623.
- [38] 魏云洁, 孙海, 张春阁, 等. 平贝母生育期矿质元素变化规律[J]. 特产研究, 2018, 40(4): 21-25.
- WEI Yunjie, SUN Hai, ZHANG Chungge, et al. Changes of mineral elements in the growth stages of *Fritillaria ussuriensis* Maxim[J]. Special Wild Economic Animal and Plant Research, 2018, 40(4): 21-25.
- [39] 徐朗希, 范琳姿, 姜爽, 等. 贝母属植物的化学成分和药理作用研究进展[J]. 中国药物化学杂志, 2022, 32(1): 61-73.
- XU Langxi, FAN Linzi, JIANG Shuang, et al. Recent progress of chemical constituents and pharmacological effects of *Fritillaria*[J]. Chinese Journal of Medicinal Chemistry, 2022, 32(1): 61-73.
- [40] 周颖, 季晖, 李萍, 等. 五种贝母甾体生物碱对豚鼠离体气管条 M 受体的拮抗作用[J]. 中国药科大学学报, 2003, 34(1): 58-60.
- ZHOU Ying, JI Hui, LI Ping, et al. Antimuscarinic function of five *Fritillaria* alkaloids on guinea pig tracheal strips[J]. Journal of China Pharmaceutical University, 2003, 34(1): 58-60.
- [41] WANG D D, WANG S, CHEN X, et al. Antitussive, expectorant and anti-inflammatory activities of four alkaloids isolated from *Bulbus of Fritillaria wabuensis*[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2012, 139(1): 189-193.
- [42] 赵倩, 李波, 沈莹, 等. 不同规格平贝母止咳 祛痰 抗炎的药效研究[J]. 中国现代中药, 2020, 22(9): 1475-1477, 1484.
- ZHAO Qian, LI Bo, SHEN Ying, et al. Antitussive, expectorant and anti-inflammatory effects of *Fritillariae ussuriensis* Bulbus[J]. Modern Chinese Medicine, 2020, 22(9): 1475-1477, 1484.
- [43] 于双双. 儿科止咳祛痰中成药金振口服液化学成分、药理作用及临床应用研究进展[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2019, 21(12): 2759-2763.
- YU Shuangshuang. Research progress on chemical constituents, pharmacological effects and clinical applications of Jinzhen oral liquid as pediatric Chinese patent medicine for treating cough and phlegm[J]. Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica-World Science and Technology, 2019, 21(12): 2759-2763.
- [44] CUI M C, WANG H H, CHEN S J, et al. Antitussive and expectant mechanism of *Fritillariae thunbergii* flos and eribotryae flos based on network pharmacology and molecular docking[J]. Natural Product Research and Development, 2021, 33(2): 282-290.
- [45] YI P F, WU Y C, DONG H B, et al. Peimine impairs pro-inflammatory cytokine secretion through the inhibition of the activation of NF- κ B and MAPK in LPS-induced RAW264.7 macrophages[J]. Immunopharmacology and Immunotoxicology, 2013, 35(5): 567-572.
- [46] XU J W, ZHAO W, PAN L Y, et al. Peimine, a main active ingredient of *Fritillaria*, exhibits anti-inflammatory and pain suppression properties at the cellular level[J]. Fitoterapia, 2016, 111: 1-6.
- [47] LIU S M, YANG T C, MING T W, et al. Isosteroid alkaloids with different chemical structures from *Fritillariae cirrhosae* bulbus alleviate LPS-induced inflammatory response in RAW 264.7 cells by MAPK signaling pathway[J]. International Immunopharmacology, 2020, 84: 106047.
- [48] 金鑫, 吕经纬, 边学峰, 等. 基于网络药理学和分子对接研究平贝母中生物碱的抗炎作用[J]. 中成药, 2022, 44(2): 647-652.
- JIN Xin, LV Jingwei, BIAN Xuefeng, et al. Study on anti-inflammatory effect of alkaloids in *Fritillaria fritillaria* based on network pharmacology and molecular docking[J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2022, 44(2): 647-652.
- [49] XIE Y L, HUANG Y Y, LI X C. Protection effect of engeletin towards DNA against oxidative damage and its possible mechanisms [J]. Chinese Journal of Modern Applied Pharmacy, 2018, 35 (9): 1333-1336.
- [50] 刘春红, 金钟斗, 韩宝瑞. 平贝母多糖对 D-半乳糖诱导衰老模型小鼠的抗氧化作用[J]. 食品科学, 2011, 32(23): 285-288.
- LIU Chunhong, JIN Zhongdou, HAN Baorui. Antioxidant activity of polysaccharide FUP-1 from *Fritillaria ussuriensis* Maxim in D-galactose-induced aging mouse model[J]. Food Science, 2011, 32(23): 285-288.
- [51] 李霞. 平贝母淀粉改性及抗炎抗氧化作用研究[D]. 天津: 天津大学, 2010.
- LI Xia. Study on the modification of starch and the anti-inflammation and antioxidant activities in *Fritillaria ussuriensis* Maxim.[D]. Tianjin: Tianjin University, 2010.
- [52] 张彤, 李玥, 杨霞, 等. 靖宇平贝母浸出物通过调节肠道菌群失调缓解 DSS 诱导溃疡性结肠炎[J]. 长春中医药大学学报, 2023, 39(1): 36-42.
- ZHANG Tong, LI Yue, YANG Xia, et al. Effect of Jingyu fritillaria bulb extracts on DSS-induced ulcerative colitis via regulating gut microbiota[J]. Journal of Changchun University of Chinese Medicine, 2023, 39(1): 36-42.
- [53] 于晓龙, 杨建玲, 朱乐, 等. 平贝母醇提物对小鼠免疫功能的影响[J]. 延边大学学报(自然科学版), 2015, 41(1): 85-88.
- YU Xiaolong, YANG Jianling, ZHU Le, et al. The effect of the ethanol extract of *Fritillaria ussuriensis* Maxim on mice immune function[J]. Journal of Yanbian University (Natural Science Edition), 2015, 41(1): 85-88.
- [54] 张婷婷, 叶子, 王萌, 等. 参贝咀嚼片的免疫调节活性及其安全性评价[J]. 现代食品科技, 2022, 38(9): 80-91.
- ZHANG Tingting, YE Zi, WANG Meng, et al. Immune-regulatory functions and safety of chewable ginseng-fritillary bulb tablet[J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(9): 80-91.

- [55] ZHONG Y C, WANG H Y, WEI Q H, et al. Combining DNA barcoding and HPLC fingerprints to trace species of an important traditional Chinese medicine *Fritillariae* Bulbus[J]. *Molecules*, 2019, 24(18): 3269.
- [56] YANG L, ZHANG M G, YANG T C, et al. LC-MS/MS coupled with chemometric analysis as an approach for the differentiation of bulb *Fritillaria unibracteata* and *Fritillaria ussuriensis*[J]. *Phytochemical Analysis: PCA*, 2021, 32(6): 957-969.
- [57] 赵倩, 李波, 沈莹, 等. 不同规格平贝母止咳 祛痰 抗炎的药效研究[J]. *中国现代中药*, 2020, 22(9): 1475-1477, 1484.
ZHAO Qian, LI Bo, SHEN Ying, et al. Antitussive, expectorant and antiinflammatory effects of *Fritillariae ussuriensis* Bulbus[J]. *Modern Chinese Medicine*, 2020, 22(9): 1475-1477, 1484.
- [58] 杨明星, 董文, 李冀. 贝母素乙对肺癌 A549 细胞凋亡的诱导作用及其机制[J]. *吉林大学学报(医学版)*, 2022, 48(3): 711-717.
YANG Mingxing, DONG Wen, LI Ji. Inductive effect of peiminine on apoptosis of lung cancer A549 cells and its mechanism[J]. *Journal of Jilin University (Medicine Edition)*, 2022, 48(3): 711-717.
- [59] CIAPAŁA K, ROJEWSKA E, PAWLIK K, et al. Analgesic effects of fisetin, peimine, astaxanthin, artemisinin, bardoxolone methyl and 740 Y-P and their influence on opioid analgesia in a mouse model of neuropathic pain[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2023, 24(10): 9000.
- [60] LIU C Y, ZHEN D, DU H H, et al. Synergistic anti-inflammatory effects of peimine, peiminine, and forsythoside a combination on LPS-induced acute lung injury by inhibition of the IL-17-NF- κ B/MAPK pathway activation[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2022, 295: 115343.
- [61] LI Y L, QIN S Y, LI Q, et al. Jinzhen Oral Liquid alleviates lipopolysaccharide - induced acute lung injury through modulating TLR4/MyD88/NF - κ B pathway[J]. *Phytomedicine: International Journal of Phytotherapy and Phytopharmacology*, 2023, 114: 154744.

责任编辑:王艳
收稿日期:2024-01-29