

苦杏仁活性成分及其现代药理作用研究进展

郭文¹, 靳培培², 郑浩然³, 刘璐³, 程泽恒³, 齐慧^{4*}

(1. 河北中医药大学 研究生学院, 石家庄 050091; 2. 河北以岭医院, 石家庄 050091;
3. 河北医科大学 研究生院, 石家庄 050017; 4. 络病理论创新转化全国重点实验室, 石家庄 050035)

[摘要] 苦杏仁为蔷薇科植物山杏等干燥成熟种子,药用历史悠久。现代研究表明,其核心活性成分苦杏仁苷、脂肪酸、挥发油等,具有镇咳平喘、抗炎、抗氧化、抗肿瘤、抗纤维化及免疫调节等多重药理作用,在呼吸系统疾病、肿瘤、组织损伤及代谢相关疾病中的应用潜力备受关注。然而,目前仍缺乏对苦杏仁传统功效与现代药理间关联性、关键物质基础及多通路机制的系统整合分析。该文通过文献计量学方法,结合引文空间(CiteSpace)可视化技术,系统总结了苦杏仁及其代表成分苦杏仁苷的研究热点,包括其在炎症调控、诱导细胞凋亡、阻滞细胞周期、氧化应激平衡、纤维化调节等方面的关键作用。从传统用途、可视化分析、物质基础、现代药理研究四大维度整合苦杏仁研究进展,为其在呼吸系统、肿瘤及免疫相关疾病中的进一步基础与临床研究提供参考。

[关键词] 苦杏仁; 苦杏仁苷; 镇咳平喘; 抗炎; 氧化应激; 抗肿瘤

[中图分类号] R277;R285;R289 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2026)19-0326-09

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.20260537

[网络出版地址] <https://link.cnki.net/urlid/11.3495.R.20260312.1826.012>

[网络出版日期] 2026-03-13 14:16:45 **[增强出版附件]** 内容详见 <http://www.syfjxzz.com> 或 <http://cnki.net>



Active Compounds and Modern Pharmacological Effect of Armeniacae Semen Amarum : A Review

GUO Wen¹, JIN Peipei², ZHENG Haoran³, LIU Lu³, CHENG Zeheng³, QI Hui^{4*}

(1. Graduate School, Hebei University of Chinese Medicine, Shijiazhuang 050091, China;
2. Hebei Yiling Hospital, Shijiazhuang 050091, China; 3. Graduate School, Hebei Medical University,
Shijiazhuang 050017, China; 4. State Key Laboratory for Innovation and Transformation of
Luobing Theory, Shijiazhuang 050035, China)

[Abstract] Armeniacae Semen Amarum, the dried mature seeds of plants such as *Prunus armeniaca* var. *ansu* (Rosaceae), have a long history for medicinal use. Modern research indicates that the core active compounds of Armeniacae Semen Amarum, such as amygdalin, fatty acids, and volatile oils, exhibit multiple pharmacological effects including antitussive, bronchodilatory, anti-inflammatory, antioxidant, antitumor, antifibrotic, and immunomodulatory effects. Consequently, their potential applications in treating respiratory diseases, tumors, tissue injury, and metabolic disorders have garnered significant attention. However, a systematic integrated analysis of the relationship between the traditional efficacy, modern pharmacology, key material basis, and multi-pathway mechanisms of Armeniacae Semen Amarum remains lacking. Using bibliometric methods combined with CiteSpace visualization technology, this study systematically summarizes the research hotspots on Armeniacae Semen Amarum and its representative component amygdalin, including the key roles in inflammation regulation, apoptosis induction, cell cycle arrest, oxidative stress balance, and fibrosis modulation. This article reviews the research progress in Armeniacae Semen Amarum across from four major dimensions—traditional applications, visualization analysis, material basis, and modern pharmacological studies, providing a reference for the further basic and clinical studies of Armeniacae Semen Amarum in respiratory diseases, oncology, and

[收稿日期] 2025-12-16

[基金项目] 国家自然科学基金重点项目(82130123);河北省省级科技计划项目(24462501D);石家庄市市级科技计划项目(2577905807A)

[第一作者] 郭文,在读博士,从事中医络病理论指导心肺疾病研究,E-mail:17730565381@163.com

[通信作者] *齐慧,博士,正高级工程师,从事中医络病理论指导心肺疾病研究,E-mail:qihui_qh@163.com

immune-related disorders.

[Keywords] Armeniacae Semen Amarum; amygdalin; antitussive and bronchodilatory effects; anti-inflammatory effects; oxidative stress; antitumor effect

苦杏仁为蔷薇科植物山杏、西伯利亚杏、东北杏或杏的干燥成熟种子^[1]。其化学成分丰富,含有氰苷类、脂肪酸类、挥发油类等化合物^[2],具有止咳平喘、抗氧化、免疫调节、抗炎、抗纤维化、抗肿瘤^[3-9]等作用。苦杏仁最早记载于《神农本草经》,名“杏核仁”,清代《临证指南医案》始称“苦杏仁”。本品味苦,微温,有小毒,归肺、大肠经,具有降气止咳平喘、润肠通便的功效,可用于治疗咳嗽气喘、胸闷痰多、肠燥便秘等症。历代广用于肺气不利诸证,现代亦常用于咳嗽、哮喘及慢性阻塞性肺病等呼吸系统疾病。

1 古籍文献中对于苦杏仁功效、方剂应用的记述

苦杏仁的应用雏形最早见于《神农本草经》^[10],称其为“杏核仁”,主“咳逆上气”,奠定了其止咳平喘、下气之基本功能。《名医别录》^[10]、《药性论》^[11]等历代本草在此基础上,进一步强调其解肌散表、润燥通腑等作用,并逐步明确用量、禁忌及炮制要点;至《本草纲目》^[12]、《本草新编》^[13]则以“苦能泄、辛能散”“能散能降”为纲,系统归纳其宣肺降气、润燥通便的综合特性,并提出“孕妇慎用、过量有毒”等安全边界,使苦杏仁的传统认识逐步由经验积累走向更为成熟的理论体系。

中药古籍记载苦杏仁在方剂中应用广泛,自《伤寒论》奠基以来,历代逐渐形成以“肺与大肠”为核心、宣降并用的完整应用体系。与麻黄、石膏、甘草等药配伍组成麻杏石甘汤、三拗汤^[14],可宣肺清热、降气平喘,主治外感表实、里热互结所致咳喘;与白果、桑白皮、款冬花、紫苏子等配伍如定喘汤^[15],以清肺化痰、肃降定喘之效,适用于痰热壅肺之咳喘;与桑叶、菊花、薄荷、连翘、桔梗等配伍为桑菊饮^[16],有疏风清肺、宣降止咳之效,多用于风热犯肺咳嗽初起;与麦冬、阿胶、枇杷叶等组成清燥救肺汤^[16],偏于润燥清肺、止咳下气;与苏叶、前胡、半夏、陈皮、枳壳、茯苓等配伍为杏苏散^[16],兼具宣燥理气、润肺止咳之功;与桃仁、柏子仁、郁李仁、松子仁等配伍如五仁丸^[17],则多用于肠燥便秘。综观历代记载,苦杏仁始终围绕“宣肺降气、润燥通便”两大主线展开。在历代方书中形成以“肺-大肠”为中轴、随证配伍的稳定应用谱系,为其现代临床应用提供系统方证支撑。

2 基于引文空间(CiteSpace)的苦杏仁药理研究可视化

文献计量学作为一种定量分析方法,能够处理大量高度异质的文献数据,客观、直观地呈现学术研究的历史活动与成果,有助于减少人为因素导致的评价偏差。目前,该方法及其可视化技术已在众多领域广泛应用。在中药研究领域,已有大量文献计量学分析被用于梳理研究现状、识别热点、预测趋势,并为未来研究方向提供思路。因此,本研究采用文献计量学方法,借助 CiteSpace 软件,对收录于中国知网(CNKI)及科学引文索引核心合集(WOS)数据库的苦杏仁研究的相关中英文文献进行可视化分析。以“苦杏仁”为中文检索词,以“Armeniacae Amarum(苦杏仁)”为英文检索词,

检索时限为2000年1月1日—2025年11月30日。最终采用中文文献108篇,英文文献105篇。排除与药理研究不相关的关键词,并构建关键词共现网络图谱、关键词词频分析表格、关键词聚类分析网络及表格。

2.1 中英文文献关键词共现 分析所纳入的中文文献,得到排名前10的高频核心关键词,见增强出版附加材料,共现网络见增强出版附加材料。除“苦杏仁”这一基础关键词外,中文文献高频关键词主要聚焦于以“苦杏仁苷”为核心的有效成分及其药理活性与临床应用机制研究。研究内容主要围绕苦杏仁的传统药理作用,包括“止咳”“祛痰”“平喘”等呼吸系统相关功效,并深入拓展至“抗炎”“抗氧化”等机制,与“肝纤维化”“抗肿瘤”等疾病模型相关联,提示苦杏仁在炎症、免疫调节、抗氧化、器官纤维化、肿瘤抑制等方面的应用潜力。此外,“桔梗”作为常与苦杏仁合用的配伍药(如二母散、杏苏散),与“止咳”“祛痰”共同聚类,进一步提示当前经方药对协同配伍在呼吸系统疾病中的经典地位仍是研究关注的重点。

分析所纳入的英文文献,得到排名前10高频核心关键词,见增强出版附加材料,共现网络见增强出版附加材料。英文文献研究中,“Cancer(癌症)”为核心研究主题,其节点规模显著大于其他关键词,并与“Apoptosis(凋亡)”“Cell cycle(细胞周期)”等机制词高度共现,表明抗肿瘤作用及诱导细胞凋亡机制是其国际研究的主流方向。“Inflammation(炎症)”与“Oxidative stress(氧化应激)”共同构成苦杏仁抗炎与抗氧化应激的分子基础。关键词“核转录因子- κ B(NF- κ B)”“Activation”与“Inhibition”,构成典型的信号通路类共现簇,并与“Amygdalin(苦杏仁苷)”紧密相连,印证了苦杏仁苷是介导这些药理活性的主要代表成分,并多集中于调控NF- κ B相关炎症通路与凋亡信号实现多靶点生物活性。

2.2 中英文文献关键词热点聚类分析 中文文献关键词聚类共形成8个聚类标签,见增强出版附加材料,整体聚类结构稳定。网络模块度 $Q=0.6655(>0.3)$,表明聚类结果的网络结构显著;轮廓值 $S=0.9237(>0.7)$,说明聚类内部具有良好一致性。各聚类之间呈现一定程度的交叠,提示研究主题间具有较强的关联性。聚类结果见表3:聚类#0、#1以苦杏仁代表性成分苦杏仁苷及桔梗为核心,主题集中于“配伍规律、祛痰止咳、桔梗合用、苦杏仁药效物质基础”,揭示了苦杏仁在中医传统“肺系用药”“止咳平喘”“祛痰润肺”等方面的应用基础,尤其突出桔梗-苦杏仁配伍在宣肺化痰、改善呼吸道疾病中的作用机制。聚类#2、#11主要围绕“转化生长因子- β (TGF- β)信号通路、成纤维细胞活化、肺纤维化”展开,关键词包括成纤维细胞株、TGF- β 、肺纤维化、体外培养等,提示近年来苦杏仁苷在肺纤维化及结构重塑研究中的关注度不断提升。聚类#3聚焦“细胞增殖、肿瘤、五味理论、妇科疾病

如子宫肌瘤与痛经”,提示苦杏仁在现代肿瘤药理及妇科相关疾病中的研究已逐渐拓展。聚类#4则以麻黄、麻黄碱及其配伍为中心,关键词包括急症、慢性、支气管炎、哮喘,突出苦杏仁作为麻杏石甘汤等经典方剂中核心药味,在急慢性呼吸道疾病、哮喘发作控制中的传统应用价值。聚类#5主要涉及三仁汤体系与苦杏仁相关的“湿热、消化系统症状、男性疾病(阳痿、不射精)”等,反映苦杏仁药性与湿热内蕴、腠理不固相关疾病之间的传统联系。聚类#6与#7涵盖黄芩苷、柴银颗粒、麻黄汤等复方及相关“有效组分、发热、清利湿热、分子机制”等内容,表明苦杏仁在中药复方体系及现代成分研究中也占据重要位置。综上,当前苦杏仁中文献研究主要聚焦3大方向:配伍规律与传统功效(祛痰、止咳、宣肺、配伍桔梗/麻黄等);现代药理机制探索,特别是抗炎、抗纤维化及呼吸系统保护作用;

英文文献关键词共聚分析形成12个聚类标签,聚类图谱结构紧密,内部一致性良好,见增强出版附加材料。其中,网络模块度 $Q=0.6864(>0.3)$,说明聚类结构清晰且具有显著意义;总体轮廓值 $S=0.8675(>0.7)$,提示聚类标签吻合度高、可信度强。各聚类之间呈现一定程度交叠,表明不同研究主题间具有较强的关联性与交叉性。聚类结果:Cluster#5、#7、#8、#11、#12聚焦于苦杏仁及苦杏仁苷的免疫炎症调节、气道炎症、疼痛及关节炎反应、氧化应激调控等主题,关键词包括气道炎症(airway inflammation)、toll样受体(toll-like receptor)、肿瘤坏死因子- α (TNF- α)、NF- κ B、肺泡巨噬细胞(alveolar macrophages)、一氧化氮(NO)等,突显其在呼吸系统炎症、抗炎镇痛及免疫调控中的研究热点;Cluster#0、#1、#6、#10主要围绕苦杏仁苷在肿瘤抑制、细胞凋亡、细胞周期、抗增殖、抗癌药物敏感性方面的应用,涉及B细胞淋巴瘤-2相关X蛋白(Bax)、B细胞淋巴瘤-2(Bcl-2)、胱天蛋白酶-3(Caspase-3)、前列腺癌(prostate cancer)、乳腺癌(breast cancer)、黏附(adhesion)等关键词,提示苦杏仁苷在癌症研究中具有持续热度;Cluster#3、#9则与神经保护、新型神经药物开发、再生医学、组织损伤修复密切相关,包括阿尔茨海默病(Alzheimer's disease)、胆碱酯酶抑制剂(cholinesterase inhibitors)、神经保护作用(neuroprotectivity)、再生(regeneration)等术语,显示其在神经退行性疾病与神经再生方面的重要研究价值;Cluster#4、#11聚焦于免疫调节、转化生长因子- β (TGF- β)信号通路、间质细胞活化、组织纤维化,如调节性T细胞(regulatory T cells)、基质金属蛋白酶(MMP)-2、MMP-9、肾间质纤维化(renal interstitial fibrosis)、上皮-间充质转化(epithelial-mesenchymal transition)、TGF- β_1 ,突出其在肝纤维化、肾纤维化与肺部结构重塑方面的功能研究;此外,Cluster#2与苦杏仁的成分鉴定、代谢组学、活性成分筛选、中药现代化研究相关,包括代谢组(metabolomics)、转录组(transcriptomics)、活性组分(active component)、肺纤维化(pulmonary fibrosis)等,显示近年来多组学技术在苦杏仁研究中的应用趋势。综上所述,当前苦杏仁英文文献研究主要聚焦3大方向:苦杏仁及苦杏仁苷的抗炎、免疫调节与呼吸系统保护机制;抗肿

瘤、促凋亡与细胞信号通路调控;抗氧化、神经保护及组织纤维化调控,并呈现出“多技术融合、多靶点机制、多系统适应证拓展”的鲜明特征。

3 苦杏仁的活性成分

3.1 苷类 苦杏仁所含的苷类成分以氰苷为主,是其特征性药效与毒性物质基础,也是其苦味的主要来源。代表成分为苦杏仁苷,属于芳香族 α -羟基腈苷,广泛存在于蔷薇科植物种子中^[18]。除苦杏仁苷外,其他已分离鉴定的氰苷类化合物还包括野黑樱苷、丙基- β -龙胆二糖苷、扁桃酸酰胺- β -D-吡喃葡萄糖苷等^[19]。苦杏仁苷化学性质不稳定,在体内外易被其专属的苦杏仁苷酶水解,逐级生成野黑樱苷、苯甲醛及微量氢氰酸等代谢产物^[20],这些代谢过程既是其发挥药理效应的物质基础,也是其潜在毒性的来源^[21]。苦杏仁水解示意图见增强出版附加材料。研究表明,苦杏仁苷还具有一定的立体异构性,在不同温度和pH条件下可在D-型与L-型之间转化,随着温度与碱性环境的升高D-苦杏仁苷更易转化为L-型异构体,因此温度和pH是影响苦杏仁苷立体构型稳定性的关键因素,对制剂工艺和安全性评价具有重要意义^[20]。

3.2 脂肪酸类 苦杏仁中的脂肪酸成分以不饱和脂肪酸为主^[22],是苦杏仁油脂部分的主要活性物质,其中油酸含量最为丰富,占总脂肪酸的70%左右^[23],此外还含有亚油酸、棕榈酸、硬脂酸、亚麻酸及花生酸等^[24]。整体来看,这类脂质成分赋予苦杏仁较强的“油润”特性,与其传统上的润肺、润肠等功效密切相关,为机体提供能量与基础营养支持。

3.3 挥发油类 苦杏仁除含有显著的氰苷成分外,还富含以芳香族小分子为主的挥发油,其中苯甲醛是最具代表性的成分,赋有典型“杏仁香”^[25]。其他已分离鉴定的挥发性成分还包括氢氰酸、苯乙醛等。苦杏仁挥发油具有显著的镇咳平喘及抗菌活性,其药理作用与苯甲醛的含量密切相关。研究表明,苯甲醛不仅可直接作用于呼吸道黏膜产生镇咳效果,还可通过中枢抑制作用缓解哮喘症状^[26]。

3.4 其他类 苦杏仁所含的其他类成分构成其多元药理活性的重要物质基础,主要包括黄酮类、酚酸类、氨基酸、维生素、微量元素及蛋白质等。其中黄酮及酚酸类以槲皮素、山柰酚、黄烷醇等为代表^[27];氨基酸类以天冬酰胺、脯氨酸、精氨酸等为主;维生素以维生素B族与维生素E含量较高;微量元素则富含钾、镁、锌、硒等,此外还含有多种具有生物活性的蛋白质与酶类。尽管这些成分的含量相对较低,但其在抗氧化、防御应激反应及协同抗炎等方面发挥重要的背景作用^[28-29],与氰苷类、脂肪油等共同构成了苦杏仁多成分协同、多通路参与的整体物质基础。

4 苦杏仁的现代药理活性研究

4.1 呼吸系统保护作用 呼吸系统是苦杏仁传统应用的主要靶器官,苦杏仁所含的苦杏仁苷及苯甲醛等活性成分已被证实具有多层次呼吸系统保护作用,在病毒性肺损伤、哮喘、慢性气道炎症等呼吸系统疾病模型中展现出明确疗效^[30]。其作用机制通过多途径协同实现:①在气道炎症调控方面,SI等^[31]研究发现苦杏仁苷能够显著拮抗脂多糖(LPS)对支气管上皮细胞的作用,降低TNF- α 、白细胞介素(IL)-6、IL-8

和黏蛋白5AC(MUC5AC)的表达,有效缓解气道炎症与黏液高分泌。卫昊等^[32]发现苦杏仁苷可依赖性地升高 γ 干扰素(IFN- γ)水平,减少患病小鼠BALF中IL-4水平,降低IL-4/IFN- γ 以此调节1型辅助性T淋巴细胞(Th1)/2型辅助性T淋巴细胞(Th2)比例的平衡,从而达到抑制炎症介质的释放和聚集、减轻哮喘气道炎症的目的;②在气道重塑干预方面,TGF- β 诱导的支气管上皮细胞上皮-间质转化(EMT)是哮喘、慢性阻塞性肺疾病(COPD)气道重塑的特征性表现。ZHANG等^[33]发现苦杏仁苷治疗可减轻气道壁重塑并降低上皮间质转化,并推断其作用机制与对乙酰肝素酶(HPSE)的表达调节作用相关。ZHAO等^[34]证实苦杏仁苷通过TGF- β /Smad信号通路中TGF- β_1 、Smad2、Smad3蛋白表达水平来减少胶原蛋白和纤维的形成,从而有效延缓气道纤维化进程,明确苦杏仁苷在哮喘中的治疗潜力;③在镇咳平喘机制方面,苦杏仁所含的苦杏仁苷在体内的水解产物苯甲醛和氢氰酸可通过抑制咳嗽中枢与调节气道感觉神经活性,使呼吸运动趋于平缓,从而发挥镇咳与支气管舒张的作用^[35];④在氧化应激调节方面,苦杏仁中黄酮类成分能增强肺组织抗氧化能力,苦杏仁苷可抑制氧化应激及炎症反应,减轻氧化损伤对气道上皮的破坏,修复气道损伤^[36]。综合现有研究,苦杏仁活性成分的呼吸保护作用机制主要涉及:抑制气道炎症、干预纤维化进程、调节神经反射及减轻氧化损伤等多重途径,为其在呼吸系统疾病中的应用提供了药理学依据。

4.2 抗炎与免疫调节作用 苦杏仁所含的苦杏仁苷、黄酮类及不饱和脂肪酸等活性成分已被证实具有显著的抗炎与免疫调节活性,其作用机制在多种炎症和免疫紊乱模型中得到验证。多项研究表明,苦杏仁活性成分通过多靶点发挥抗炎免疫调节效应:①在先天免疫调控层面,HWANG等^[37]通过LPS诱导的细胞系来评估苦杏仁苷的抗炎活性,结果发现苦杏仁苷可显著抑制RAW264.7巨噬细胞中TNF- α 和IL-6的表达;钟晓琴等^[38]进一步发现苦杏仁苷对RAW264.7炎症模型的干预作用可能与抑制炎症因子、趋化因子的表达,以及抑制NF- κ B、p38丝裂原活化蛋白激酶(p38 MAPK)信号通路的过度激活相关。②在适应性免疫调节层面,周欢、崔雯等^[6,39-40]通过多项实验证明苦杏仁苷能够降低Th2型细胞因子水平(IL-4、IL-5、IL-13),同时促进Th1型细胞因子IFN- γ 的分泌,重塑免疫稳态。③在分子信号通路层面,ZHANG等^[41]研究发现苦杏仁苷则是通过抑制NF- κ B和NOD样受体蛋白3(NLRP3)信号通路,降低中性粒细胞浸润及TNF- α 、IL-1 β 和IL-6的产生;WANG等^[42]则证实苦杏仁苷通过抑制MAPK信号通路的磷酸化,阻断NF- κ B p65的核转位并下调IL-6、TNF- α 等促炎因子,从而发挥显著的抗炎作用。④提高机体免疫功能:苦杏仁苷能显著增强聚羟基脂肪酸酯(PHA)诱导的人外周血T淋巴细胞增殖;并能促进PHA刺激的外周血淋巴细胞分泌IL-2和IFN- γ ,进而抑制TGF- β_1 的分泌,从而增强免疫功能。这些研究结果共同表明,苦杏仁活性成分通过调控免疫细胞分化与功能、抑制炎症信号通路活化等多重机制,构成了一个完整的抗炎免疫调节网络,

为其在治疗复杂性炎症与免疫性疾病方面的应用提供了坚实的药理学基础。

4.3 抗肿瘤作用 近年来,围绕苦杏仁及其代表性成分苦杏仁苷的抗肿瘤活性研究逐渐深入,现代药理学证据表明其抗肿瘤效应主要涉及抑制肿瘤细胞增殖、诱导凋亡与细胞周期阻滞、抑制侵袭转移及调节免疫微环境等多重环节。体外研究表明,苦杏仁苷在一定浓度范围内可对多种实体瘤细胞(乳腺癌、肺癌、结直肠癌、肝癌、膀胱癌等)产生选择性增殖抑制作用,并诱导线粒体途径依赖的细胞凋亡,表现为促凋亡蛋白Bax上调、抗凋亡蛋白Bcl-2下调及Caspase-3激活,同时下调细胞周期蛋白D₁(Cyclin D₁)、周期蛋白依赖性激酶2(CDK2)等细胞周期相关蛋白,干预蛋白激酶B/哺乳动物雷帕霉素靶蛋白(Akt/mTOR)信号通路、细胞外信号调节激酶(ERK)/NF- κ B等关键信号通路,使细胞周期停滞于G₀/G₁期并减少进入S期和G₂/M期的细胞比例,从而削弱肿瘤细胞的持续增殖能力^[43-49]。此外,部分研究表明苦杏仁苷可通过下调MMP-2、MMP-9、整合素及促进癌细胞转移特定靶点蛋白激酶B α (Akt1)、局部黏着斑激酶(FAK)和整合素连接激酶(ILK)的分子表达,阻断细胞黏附与基质降解过程,从而削弱肿瘤细胞迁移与侵袭能力,在抗浸润和抗转移方面显示出显著的潜力^[50-52]。在体内研究方面,MAGEID等^[53]利用7,12-二甲基苯并蒽(DMBA)诱导小鼠乳腺癌模型发现,苦杏仁苷可显著降低DMBA所致的肝肾损伤,使氧化应激水平恢复至基线状态,并上调肿瘤组织中超氧化物歧化酶(SOD)与谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)的活性,伴随Caspase-3与肿瘤蛋白p53(TP53)表达的增强,组织学结果显示炎性细胞浸润明显减轻,提示其兼具化学预防与治疗双重作用。汪晶等^[54]进一步发现,苦杏仁苷可通过调控海马/Yes相关蛋白(Hippo/YAP)信号通路上调磷酸化Yes相关蛋白(p-YAP)并下调程序性死亡配体1(PDL1)表达,从而抑制卵巢癌细胞的免疫逃逸与肿瘤生长。伍玉南^[55]则报道苦杏仁苷可增强乙型肝炎病毒相关性肝癌患者外周血T淋巴细胞活性,激活Janus激酶2/信号转导及转录激活因子3(JAK2/STAT3)信号通路,促进分化簇4阳性T淋巴细胞/分化簇8阳性T淋巴细胞(CD4⁺/CD8⁺T)细胞比例平衡并提升抗肿瘤免疫应答。与此同时,研究还发现苦杏仁苷及其结构类似物可能通过干预蛋白酶体功能^[56]、调节应激信号及免疫效应细胞活化状态,从多层面重塑肿瘤微环境、削弱肿瘤细胞存活与耐受性。

4.4 抗纤维化与器官保护作用 近年大量体内外研究表明,苦杏仁及其主要活性成分(以苦杏仁苷为代表)在多种器官纤维化及损伤模型中展现出显著的保护作用,其作用机制集中表现为对纤维化核心信号通路的抑制、对关键效应细胞的活化干预,以及通过调节炎症-氧化应激与代谢稳态来阻断病理性重塑。肝脏研究表明,苦杏仁苷及其酶代谢产物野黑樱苷可以抑制巨噬细胞介导的炎症反应并下调 α -平滑肌肌动蛋白(α -SMA)与I型胶原的mRNA表达,抑制肝星状细胞(HSC)活化,进而减轻肝间质纤维化(体内外证据一致)^[57]。并有研究提示苦杏仁苷可通过激活沉默信息调节因

子1/肝激酶B1/腺苷酸活化蛋白激酶(SIRT1/LKB1/AMPK)信号轴恢复能量代谢稳态,缓解高脂饮食诱导的非酒精性脂肪性肝病(NAFLD)相关纤维化,体现出代谢-信号双重调控的保护模式^[58]。在呼吸系统中,苦杏仁及其与麻黄的特定配比制剂被报道可减轻气道上皮结构改变与细胞凋亡,抑制EMT^[59-60],并通过抑制TGF- β_1 /Smad2/Smad3信号通路及下调NOD样受体蛋白3(NLRP3)激活来缓解肺纤维化与COPD相关的重塑进程。值得注意的是,不同构型的苦杏仁苷(L型、D型)在某些模型中显示出效力差异,提示构型与药效相关的立体化学意义^[61]。此外,在急性肺损伤模型中,苦杏仁苷可通过抑制NF- κ B和NLRP3炎症小体活化,减轻脂多糖诱导的肺部炎症和继发纤维化倾向^[41]。胰腺与肾脏保护方面的研究亦显示,苦杏仁苷可抑制胰腺星状细胞(PSC)激活、减少促纤维化细胞因子产生,改善慢性胰腺炎相关纤维化^[62]。在某些药物或毒物(如马兜铃酸I)诱导的肝肾损伤模型中,加工或炒制的苦杏仁制剂可通过调节药物代谢酶及转运蛋白活性,减轻器官损害并改善微循环障碍^[63]。临床与流行病学研究亦提示适量食用杏仁类食品与改善部分心肝肾功能指标相关,例如在冠心病人群中可见尿酸及肝功能指标的改善,但需谨慎解读并结合剂量、制备方式与个体代谢差异^[64-65]。这些研究结果共同表明,苦杏仁活性成分通过干预纤维化核心信号通路、调节炎症反应及抑制关键效应细胞活化等多重机制,在多种器官纤维化及损伤模型中发挥保护作用。

4.5 抗氧化应激作用 氧化应激被认为是机体衰老、炎症及多种疾病发生的重要机制,而苦杏仁及其活性成分在抗氧化领域的研究逐渐受到重视。现代药理学研究表明,苦杏仁所含的氰苷类、多酚类、黄酮类及维生素E等成分共同构成其抗氧化活性的物质基础。在体外实验中,苦杏仁苷、苦杏仁油等均可有效清除1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、羟自由基及超氧阴离子($O_2^{\cdot-}$)等活性氧物种(ROS)^[66-71]。此外,其还能上调核因子E₂相关因子2/血红素氧合酶1(Nrf2/HO-1)及SOD1、GSH-Px、过氧化氢酶(CAT)等经典抗氧化通路分子表达,促进细胞内谷胱甘肽合成与还原型烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸(NADPH)再生,从而形成稳定的内源性抗氧化屏障。动物实验亦证实,苦杏仁提取物可在D-半乳糖诱导卵巢功能早衰小鼠模型中显著提升卵巢组织中GSH-Px和SOD的水平,降低丙二醛(MDA)水平,改善因氧化应激诱导的炎症因子水平的升高^[70]。YURT等^[71]研究发现干燥杏及其果仁对于乙醇诱导的肝损伤大鼠通过增强其抗氧化防御系统从而达到肝脏保护作用。OZTURK等^[72]研究表明苦杏仁含有丰富的抗氧化营养素(β -胡萝卜素和维生素)及较高的自由基清除能力,能够有效地改善对四氯化碳(CCl_4)诱导的肝脂肪变性和肝损伤。部分研究还发现,苦杏仁苷通过调节Nrf2/抗氧化反应元件(ARE)信号轴^[73]、抑制NF- κ B炎症信号通路活化^[74],从而实现抗氧化与抗炎反应的双向调控。这些研究结果提示,苦杏仁苷不仅能够通过直接清除自由基发挥抗氧化效应,更能通过激活内源性抗氧化信

号网络维持氧化应激平衡,进而减轻炎症反应和细胞凋亡,为其在抗衰老、抗纤维化及器官保护等方面的作用奠定了重要的分子基础。

4.6 其他药理作用 除前述主要药理作用外,现代研究还表明苦杏仁及其代表活性成分苦杏仁苷在心血管、代谢与神经系统等方面具有多维度的保护作用。现代药理学研究表明^[75-76],苦杏仁苷能够通过阻断磷脂酰肌醇3-激酶(PI3K)/Akt/mTOR信号通路调节血小板膜糖蛋白IIb/IIIa(GP IIb/IIIa)受体活化过程,并下调环氧合酶-1及血栓素A₂合成酶的表达,从而抑制血小板聚集与血栓素A₂的生成,缓解血液高凝状态,表现出显著的抗凝血、抗血栓作用,该机制提示苦杏仁苷在预防心脑血管事件(如动脉血栓、缺血性心脏病及脑卒中)中具有潜在应用价值。其次,在动脉粥样硬化防治方面,体内外研究均表明苦杏仁苷可通过抑制Toll样受体4(TLR4)/NF- κ B炎症信号通路、调节Bcl-2/Bax介导的细胞凋亡平衡并增强调节性T细胞(Treg)功能,从而减轻血管炎症与内皮功能障碍^[77-79]。同时,苦杏仁苷还可降低血清总胆固醇、低密度脂蛋白、甘油三酯水平,在LDLR^{-/-}小鼠模型中显示出通过“调脂-抗炎”双重机制有效抑制动脉粥样硬化斑块形成、血管重构及高脂血症进展^[80]。在神经系统方面,苦杏仁水提取物及苦杏仁苷表现出较好的神经营养与神经保护活性:体外可抑制乙酰胆碱酯酶(AChE)活性并减轻大鼠嗜铬细胞瘤(PC12)细胞中过氧化氢(H_2O_2)诱导的氧化损伤^[81]。此外,YANG等^[82]研究证实,苦杏仁苷以浓度依赖方式上调 β 3-微管蛋白与生长相关蛋白-43(GAP-43)的表达,并通过激活ERK1/2信号通路促进神经突起生长与神经元分化。在镇痛与抗神经炎症方面,动物与细胞模型均提供了支持性证据:在福尔马林致痛大鼠模型中,苦杏仁苷显著减少舔舐、抖动等伤害性行为并降低脊髓中c-Fos表达及足底皮肤中炎症细胞因子(TNF- α 和IL-1 β)的转录水平^[83]。在LPS诱导的BV2小胶质细胞中,苦杏仁苷可抑制环氧合酶-2(COX-2)和诱导型一氧化氮合酶(iNOS)的表达,减少前列腺素E₂(PGE₂)与NO的生成,从而抑制神经炎症反应^[84],提示其兼具抗炎与镇痛双重作用。

5 结语

苦杏仁作为一味传承千年的经典中药,其“宣降肺气、润肠通便”的传统功效在历代本草与方剂应用中得到了充分验证。现代研究不仅证实了其镇咳平喘、呼吸保护等传统作用的科学性,更深入揭示了其丰富的活性成分(以苦杏仁苷为核心)及其在抗炎、免疫调节、抗肿瘤、抗纤维化、抗氧化应激等多方面的药理活性,展现出多成分、多靶点的作用特征。文献计量学分析表明,当前研究已形成传统方药理论与现代药理机制相互印证、协同并进的格局。中文研究侧重于配伍规律与呼吸系统保护,而英文研究则更聚焦于苦杏仁苷的抗肿瘤机制与信号通路探索。尽管如此,苦杏仁的深入研究仍面临挑战:其特征性成分苦杏仁苷的构-效关系、体内代谢过程与毒性窗口的精准控制,以及其在复方中与其他药味的协同/拮抗机制等关键科学问题尚待系统阐明,仍需要通过深化对其整体作用网络的理解,推动苦杏仁在呼吸系统疾病、肿瘤

辅助治疗及器官纤维化防治等领域的精准用药与新药研发,从而更好地发掘这一传统药物的临床价值与科学内涵。

[利益冲突] 本文不存在任何利益冲突。

[参考文献]

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2025:218.
Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China: Volume 1 [M]. Beijing: China Medical Science Press, 2025: 218
- [2] 柏寒,贺梦媛,徐洋,等. 中药苦杏仁研究进展及质量标志物的预测分析[J]. 中华中医药学刊,2024,42(9):199-209.
BO H, HE M Y, XU Y, et al. Research progress on traditional Chinese medicine bitter apricot seed and predictive analysis of its quality markers [J]. Chin Arch Tradit Chin Med, 2024, 42 (9): 199-209.
- [3] HE X Y, WU L J, WANG W X, et al. Amygdalin - A pharmacological and toxicological review [J]. J Ethnopharmacol, 2020, 254: 112717.
- [4] MOSLEHI A, FARAHABADI M, CHAVOSHADEH S A, et al. The effect of amygdalin on endoplasmic reticulum (ER) stress induced hepatic steatosis in mice [J]. Malays J Med Sci, 2018, 25(1): 16-23.
- [5] 韩金承,孟鑫,吴慎威,等. 体外和体内评价法分析苦杏仁油抗氧化能力[J]. 保鲜与加工,2023,23(2):31-36.
HAN J C, MENG X, WU S W, et al. Analysis of antioxidant capacity of bitter apricot kernel oil using *in vitro* and *in vivo* evaluation methods [J]. Storage Process, 2023, 23(2): 31-36.
- [6] 周欢,刘亚尊,杨艳,等. 苦杏仁苷对哮喘模型小鼠肺组织病理及辅助性T细胞17/调节性T细胞免疫平衡的影响[J]. 世界中医药,2024,19(19):2920-2923.
ZHOU H, LIU Y Z, YANG Y, et al. Effect of amygdalin on lung histopathology and Th17/Treg immune balance in a mouse model of asthma [J]. World Chin Med, 2024, 19(19): 2920-2923.
- [7] 方克勇. 苦杏仁苷对慢性阻塞性肺疾病小鼠肺组织上皮间质转化的作用及机制研究[D]. 长春:吉林大学,2018.
FANG K Y. Effect and mechanism of amygdalin on epithelial-mesenchymal transition in lung tissue of mice with chronic obstructive pulmonary disease [D]. Changchun: Jilin University, 2018.
- [8] 张爱莉,曹丙林,张良,等. 苦杏仁多肽的制备及其抗氧化活性研究[J]. 许昌学院学报,2022,41(5):45-49.
ZHANG A L, CAO B L, ZHANG L, et al. Preparation and antioxidant activity of bitter apricot kernel polypeptides [J]. J Xuchang Univ, 2022, 41(5): 45-49.
- [9] 李贵海,刘青,孙付军,等. 不同炮制方法对苦杏仁主要药效作用的影响[J]. 中成药,2007,29(7):1031-1034.
LI G H, LIU Q, SUN F J, et al. Effects of different processing methods on the main pharmacodynamic effects of bitter apricot seed [J]. Chin Tradit Pat Med, 2007, 29 (7) : 1031-

- 1034.
- [10] 陶弘景. 名医别录[M]. 北京:人民卫生出版社,1986.
TAO H J. Mingyi Bielu [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 1986.
- [11] 甄权. 药性论·药性趋向分类论(合刊本)[M]. 尚志钧,整理. 合肥:安徽科学技术出版社,2006:20.
ZHEN Q. Yaoxing Lun: Yaoxing Quxiang Fenlei Lun combined edition [M]. SHANG Z J, ed. Hefei: Anhui Science and Technology Press, 2006: 20.
- [12] 李时珍. 本草纲目[M]. 朱斐译注. 南昌:21世纪出版社,2017:56.
LI S Z. Bencao Gangmu [M]. ZHU F, trans. and annot. Nanchang: 21st Century Publishing House, 2017: 56.
- [13] 职廷广,任仲传,侯美玉. 陈士铎医学全集:本草新编[M]. . 北京:中医古籍出版社,1999.
ZHI T G, REN Z C, HOU M Y. Complete Medical Works of Chen Shiduo: Bencao Xinbian [M]. Beijing: Publishing House of Ancient Chinese Medical Books, 1999.
- [14] 太平惠民和剂局. 太平惠民和剂局方[M]. 北京:人民卫生出版社,1959.
Taiping Huiming Hejiju. Taiping Huimin Hejiju Fang [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 1959.
- [15] 崔振泽,黄燕,刘明涛,等. 定喘汤“宣降清”三法组方规律探析[J]. 辽宁中医杂志,2016,43(7):1384-1386.
CUI Z Z, HUANG Y, LIU M T, et al. Analysis on the formulation rules of Dingchuan decoction based on the three methods of "diffusing, descending and clearing" [J]. Liaoning J Tradit Chin Med, 2016, 43(7): 1384-1386.
- [16] 吴塘. 温病条辨[M]. 北京:人民卫生出版社,2005.
WU T. Wenbing Tiaobian [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2005.
- [17] 彭怀仁. 常用成方考源(三)[J]. 南京中医学院学报,1985, doi: 10. 14148/j. issn. 1672-0482. 1985. 04. 022.
PENG H R. Investigation on the origin of common formulas (Part 3) [J]. J Nanjing Univ Chin Med, 1985, doi: 10. 14148/ j. issn. 1672-0482. 1985. 04. 022.
- [18] 赵祥君,秦焕云,邵冰梅,等. 中药苦味呈现机制、掩味技术及其评价方法研究进展[J]. 中成药,2024,46(1):170-176.
ZHAO X J, QIN H Y, SHAO B M, et al. Research progress on bitterness presentation mechanism, taste masking techniques and evaluation methods of traditional Chinese medicine [J]. Chin Tradit Pat Med, 2024, 46(1): 170-176.
- [19] CRESSEY P, REEVE J. Metabolism of cyanogenic glycosides: A review [J]. Food Chem Toxicol, 2019, 125: 225-232.
- [20] 段帅,吴晓彤,李博. 苦杏仁苷的结构及其降解过程的研究进展[J]. 食品科技,2020,45(9):233-237.
DUAN S, WU X T, LI B. Research progress on the structure and degradation process of amygdalin [J]. Food Sci Technol, 2020, 45(9): 233-237.
- [21] THODBERG S, DEL C J, MAZZEO R, et al. Elucidation of the amygdalin pathway reveals the metabolic basis of bitter

- and sweet almonds (*Prunus dulcis*) [J]. *Plant Physiol*, 2018, 178(3):1096-1111.
- [22] 张涛. 苦杏仁抑菌肽的制备纯化、抑菌机制及应用研究 [D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学, 2025.
- ZHANG T. Preparation, purification, antibacterial mechanism and application of antimicrobial peptides from bitter apricot seed [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2025.
- [23] DUDAREVA N, PICHERSKY E, GERSHENZON J. Biochemistry of plant volatiles [J]. *Plant Physiol*, 2004, 135(4):1893-1902.
- [24] LIU L, YU X, ZHAO Z, et al. Efficient salt-aided aqueous extraction of bitter almond oil [J]. *J Sci Food Agric*, 2017, 97(11):3814-3821.
- [25] SANCHEZ-PEREZ R, JORGENSEN K, OLSEN C E, et al. Bitterness in almonds [J]. *Plant Physiol*, 2008, 146(3):1040-1052.
- [26] JANG T Y, PARK C S, KIM K S, et al. Benzaldehyde suppresses murine allergic asthma and rhinitis [J]. *Int Immunopharmacol*, 2014, 22(2):444-450.
- [27] BOLLING B W, DOLNIKOWSKI G, BLUMBERG J B, et al. Polyphenol content and antioxidant activity of california almonds depend on cultivar and harvest year [J]. *Food Chem*, 2010, 122(3):819-825.
- [28] WEI Y, LI Y, WANG S, et al. Phytochemistry and pharmacology of Armeniaceae Semen Amarum: A review [J]. *J Ethnopharmacol*, 2023, 308:116265.
- [29] KODAD O, SOCIAS I Company R, ALONSO J M. Genotypic and environmental effects on tocopherol content in almond [J]. *Antioxidants (Basel)*, 2018, 7(1):6.
- [30] 岳星海, 赵克明. 苦杏仁的药理作用和临床应用研究概况 [J]. *中国民族民间医药*, 2023, 32(2):45-49.
- YUE X H, ZHAO K M. Overview of pharmacological effects and clinical applications of bitter apricot seed [J]. *Chin J Ethnomed Ethnopharm*, 2023, 32(2):45-49.
- [31] SI Z, ZHANG B. Amygdalin attenuates airway epithelium apoptosis, inflammation, and epithelial-mesenchymal transition through restraining the TLR4/NF- κ B signaling pathway on LPS-treated BEAS-2B bronchial epithelial cells [J]. *Int Arch Allergy Immunol*, 2021, 182(10):997-1007.
- [32] 卫昊, 许栋, 姚东风, 等. 苦杏仁苷对变应性哮喘小鼠气道炎症的影响 [J]. *陕西中医*, 2016, 37(12):1691-1693.
- WEI H, XU D, YAO D F, et al. Effect of amygdalin on airway inflammation in mice with allergic asthma [J]. *Shaanxi J Tradit Chin Med*, 2016, 37(12):1691-1693.
- [33] ZHANG A N, LI N, CHEN Z C, et al. Amygdalin alleviated TGF- β -induced epithelial-mesenchymal transition in bronchial epithelial cells [J]. *Chem Biol Interact*, 2023, 369:110235.
- [34] ZHAO J, WANG Y, WANG H. Amygdalin alleviates airway inflammation and remodeling in asthma mice: Involvement of TGF- β /Smads signaling pathway [J]. *Discov Med*, 2025, 37(197):1096-1104.
- [35] XU S, XU X, YUAN S, et al. Identification and analysis of amygdalin, neoamygdalin and amygdalin amide in different processed bitter almonds by HPLC-ESI-MS/MS and HPLC-DAD [J]. *Molecules (Basel)*, 2017, 22(9):1425.
- [36] 周开放, 黄刚, 肖雄, 等. 麻黄-苦杏仁药对减轻大鼠气道损伤的物质基础及作用机制分析 [J]. *中国实验方剂学杂志*, 2018, 24(19):172-178.
- ZHOU K F, HUANG G, XIAO X, et al. Material basis and mechanism of Ephedra-Bitter Apricot Seed herb pair in alleviating airway injury in rats [J]. *Chin J Exp Tradit Med Form*, 2018, 24(19):172-178.
- [37] HWANG H J, LEE H J, KIM C J, et al. Inhibitory effect of amygdalin on lipopolysaccharide-inducible TNF- α and IL-1 β mRNA expression and carrageenan-induced rat arthritis [J]. *J Microbiol Biotechnol*, 2008, 18(10):1641-1647.
- [38] 钟晓琴, 李冷, 卢传坚, 等. 苦杏仁苷对脂多糖诱导的 RAW264. 7 巨噬细胞炎症模型的影响 [J]. *中药新药与临床药理*, 2018, 29(3):257-263.
- ZHONG X Q, LI L, LU C J, et al. Effect of amygdalin on lipopolysaccharide-induced inflammation in RAW264. 7 macrophages [J]. *Tradit Chin Drug Res Clin Pharmacol*, 2018, 29(3):257-263.
- [39] 周欢, 薛征, 刘亚尊, 等. 苦杏仁苷通过 TSLP-DC-OX40L 通路改善哮喘小鼠 Th1/Th2 免疫失衡的研究 [J]. *医学研究杂志*, 2022, 51(7):31-35, 40.
- ZHOU H, XUE Z, LIU Y Z, et al. Effect of amygdalin on Th1/Th2 immune imbalance in asthmatic mice via the TSLP-DC-OX40L pathway [J]. *J Med Res*, 2022, 51(7):31-35, 40.
- [40] CUI W, ZHOU H, LIU Y Z, et al. Amygdalin improves allergic asthma via the thymic stromal lymphopoietin-dendritic cell-OX40 ligand axis in a mouse model [J]. *Iran J Allergy Asthma Immunol*, 2023, 22(5):430-439.
- [41] ZHANG A, PAN W, LV J, et al. Protective effect of amygdalin on LPS-induced acute lung injury by inhibiting NF- κ B and NLRP3 signaling pathways [J]. *Inflammation*, 2017, 40(3):745-751.
- [42] WANG Y, JIA Q, ZHANG Y, et al. Amygdalin attenuates atherosclerosis and plays an anti-inflammatory role in ApoE knock-out mice and bone marrow-derived macrophages [J]. *Front Pharmacol*, 2020, 11:590929.
- [43] 王青瑛, 王郁金, 邢文文, 等. 苦杏仁苷介导人肝癌细胞 HuH-7 凋亡的实验研究 [J]. *现代生物医学进展*, 2021, 21(17):3227-3231, 3216.
- WANG Q Y, WANG Y J, XING W W, et al. Amygdalin induces apoptosis in human hepatocellular carcinoma HuH-7 cells [J]. *Prog Mod Biomed*, 2021, 21(17):3227-3231, 3216.
- [44] 章阳, 刘晖杰, 曹立功, 等. 基于 ERK/NF- κ B 通路探讨苦杏仁苷对乳腺癌 MDA-MB-231 细胞增殖、侵袭、迁移的影响 [J]. *中国老年学杂志*, 2024, 44(1):81-85.
- ZHANG Y, LIU H J, CAO L G, et al. Effects of amygdalin on proliferation, invasion and migration of breast cancer MDA-MB-231 cells based on ERK/NF- κ B pathway [J]. *Chin J Gerontol*, 2024, 44(1):81-85.

- [45] 彭琳,廖彬,龙慧玲. 基于网络药理学和分子对接探讨苦杏仁苷治疗胃癌的作用机制及实验验证[J]. 中南药学,2024,22(12):3200-3205.
- PENG L, LIAO B, LONG H L. Mechanism of amygdalin in treating gastric cancer based on network pharmacology and molecular docking with experimental validation [J]. Cent South Pharm,2024,22(12):3200-3205.
- [46] SALEEM M, ASIF J, ASIF M, et al. Amygdalin from apricot kernels induces apoptosis and causes cell cycle arrest in cancer cells: An updated review [J]. Anticancer Agents Med Chem,2018,18(12):1650-1655.
- [47] CHEN Y, MA J, WANG F, et al. Amygdalin induces apoptosis in human cervical cancer cell line HeLa cells [J]. Immunopharmacol Immunotoxicol,2013,35(1):43-51.
- [48] EL-DESOUKY M A, FAHMI A A, ABDELKADER I Y, et al. Anticancer effect of amygdalin (vitamin B-17) on hepatocellular carcinoma cell line (HepG2) in the presence and absence of zinc [J]. Anticancer Agents Med Chem,2020,20(4):486-494.
- [49] LIN S, WEN J, XU X, et al. Amygdalin induced mitochondria-mediated apoptosis of lung cancer cells via regulating NF- κ B-1/NF- κ B signaling cascade *in vitro* and *in vivo* [J]. Am J Chin Med,2022,50(5):1361-1386.
- [50] 孙卓琳,刘京伟,匡长春. 苦杏仁苷抑制人肺癌NCI-H1299细胞体外侵袭的机制[J]. 中国药科大学学报,2016,47(4):479-482.
- SUN Z L, LIU J W, KUANG C C. Mechanism of amygdalin in inhibiting invasion of human lung cancer NCI-H1299 cells *in vitro* [J]. J China Pharm Univ,2016,47(4):479-482.
- [51] AL-KHAFAJI K, TASKIN TOK T. Molecular dynamics simulation, free energy landscape and binding free energy computations in exploration the anti-invasive activity of amygdalin against metastasis [J]. Comput Methods Programs Biomed,2020,195:105660.
- [52] JUENGEL E, AFSCHAR M, MAKAREVIC J, et al. Amygdalin blocks the *in vitro* adhesion and invasion of renal cell carcinoma cells by an integrin-dependent mechanism [J]. Int J Mol Med,2016,37(3):843-850.
- [53] MAGEID A D A, ABDEL-WADOUD I M, SALIM E I, et al. The protective and chemotherapeutical role of amygdalin in induced mammary cancer in experimental mice and upregulation of related genes [J]. Sci Rep,2025,15(1):9131.
- [54] 汪晶,李新,周筠,等. 苦杏仁苷调节Hippo/YAP信号通路抑制卵巢癌免疫逃逸[J]. 中国老年学杂志,2024,44(18):4463-4469.
- WANG J, LI X, ZHOU Y, et al. Amygdalin regulates the Hippo/YAP signaling pathway to inhibit immune escape in ovarian cancer [J]. Chin J Gerontol, 2024, 44 (18) : 4463-4469.
- [55] 伍玉南. 苦杏仁苷通过 JAK2/STAT3 通路促进 T 细胞活性抑制 HBV 相关性肝癌进展的机制研究 [D]. 长沙:湖南中医药大学,2020.
- WU Y N. Mechanism of amygdalin promoting T-cell activity and inhibiting HBV-associated hepatocellular carcinoma progression via the JAK2/STAT3 pathway [D]. Changsha: Hunan University of Chinese Medicine,2020.
- [56] CECARINI V, SELMI S, CUCCIOLONI M, et al. Targeting proteolysis with cyanogenic glycoside amygdalin induces apoptosis in breast cancer cells [J]. Molecules (Basel),2022,27(21):7591.
- [57] ZHANG C, ZHANG D, WANG Y, et al. Pharmacokinetics and anti-liver fibrosis characteristics of amygdalin; key role of the deglycosylated metabolite prunasin [J]. Phytomedicine, 2022,99:154018.
- [58] 许国超,马向明. 苦杏仁苷调节 SIRT1/LKB1/AMPK 信号通路对非酒精性脂肪肝大鼠肝纤维化的影响及其作用机制 [J]. 中国老年学杂志,2025,45(5):1140-1145.
- XU G C, MA X M. Effect and mechanism of amygdalin on hepatic fibrosis in rats with non-alcoholic fatty liver disease by regulating the SIRT1/LKB1/AMPK signaling pathway [J]. Chin J Gerontol,2025,45(5):1140-1145.
- [59] WANG Z, FANG K, WANG G, et al. Protective effect of amygdalin on epithelial-mesenchymal transformation in experimental chronic obstructive pulmonary disease mice [J]. Phytother Res,2019,33(3):808-817.
- [60] MA J X, XIAO X, ZHOU K F, et al. Herb pair of Ephedrae Herba-Armeniacae Semen Amarum alleviates airway injury in asthmatic rats [J]. J Ethnopharmacol,2021,269:113745.
- [61] JIAO H, LI S, TANG Q. Amygdalin epimers exert discrepant anti-pulmonary fibrosis activity via inhibiting TGF- β_1 /Smad2/3 pathway [J]. Pulm Pharmacol Ther,2023,81:102230.
- [62] ZHANG X, HU J, ZHUO Y, et al. Amygdalin improves microcirculatory disturbance and attenuates pancreatic fibrosis by regulating the expression of endothelin-1 and calcitonin gene-related peptide in rats [J]. J Chin Med Assoc, 2018,81(5):437-443.
- [63] LI C X, XIAO X H, LI X Y, et al. Stir-fried Semen Armeniacae Amarum suppresses aristolochic acid I-induced nephrotoxicity and DNA adducts [J]. Chin J Integr Med, 2025,31(2):142-152.
- [64] JAMSHED H, GILANI A U H, SULTAN F A T, et al. Almond supplementation reduces serum uric acid in coronary artery disease patients: A randomized controlled trial [J]. Nutr J,2016,15(1):77.
- [65] JAMSHED H, ARSLAN J, SULTAN F T, et al. Almond protects the liver in coronary artery disease: A randomized controlled clinical trial [J]. J Pak Med Assoc,2021,71(3):791-795.
- [66] 李柳柳,刘妍如,颜永刚,等. 基于二分类 Logistic 回归分析的桃仁等级预测研究 [J]. 中草药,2019,50(19):4691-4696.
- LI L L, LIU Y R, YAN Y G, et al. Prediction of peach kernel grade based on binary logistic regression analysis [J]. Chin Tradit Herb Drugs,2019,50(19):4691-4696.

- [67] 董捷,尹策,张红城,等. 杏花花粉中苦杏仁苷的抗氧化性研究[J]. 食品科学,2007,28(8):65-68.
DONG J, YIN C, ZHANG H C, et al. Study on antioxidant activity of amygdalin in apricot pollen[J]. Food Sci, 2007, 28(8):65-68.
- [68] 柴玉霞. 苦杏仁中苦杏仁苷的提取纯化、功能性质及异构化研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2024.
CHAI Y X. Extraction, purification, functional properties and isomerization of amygdalin from bitter apricot seed [D]. Shenyang:Shenyang Agricultural University, 2024.
- [69] 薛蕾. 苦杏仁蛋白及抗氧化活性肽制备工艺研究[D]. 咸阳:西北农林科技大学,2013.
XUE L. Study on preparation technology of bitter apricot seed protein and antioxidant active peptides [D]. Xianyang: Northwest A&F University, 2013.
- [70] JIANG W W, HAN J T, LI J Y, et al. Amygdalin improves ovarian function by inhibiting oxidative stress and inflammation in premature ovarian failure mice [J]. Histol Histopathol, 2026, 41(2):339-347.
- [71] YURT B, CELIK I. Hepatoprotective effect and antioxidant role of sun, sulphited-dried apricot (*Prunus armeniaca* L.) and its kernel against ethanol-induced oxidative stress in rats [J]. Food Chem Toxicol, 2011, 49(2):508-513.
- [72] OZTURK F, GUL M, ATES B, et al. Protective effect of apricot (*Prunus armeniaca* L.) on hepatic steatosis and damage induced by carbon tetrachloride in Wistar rats[J]. Br J Nutr, 2009, 102(12):1767-1775.
- [73] LI S, LU S, WANG L, et al. Effects of amygdalin on ferroptosis and oxidative stress in diabetic retinopathy progression via the NRF2/ARE signaling pathway [J]. Exp Eye Res, 2023, 234: 109569.
- [74] KUNG Y L, LU C Y, BADREALAM K F, et al. Cardioprotective potential of amygdalin against angiotensin II induced cardiac hypertrophy, oxidative stress and inflammatory responses through modulation of Nrf2 and NF- κ B activation[J]. Environ Toxicol, 2021, 36(5):926-934.
- [75] 黄欣莉,吴伟杰,陈杭君,等. 桃仁中苦杏仁苷高效提取及其体外生物活性研究[J]. 中国食品学报, 2023, 23(4): 146-156.
HUANG X L, WU W J, CHEN H J, et al. Efficient extraction of amygdalin from peach kernel and its *in vitro* biological activity [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2023, 23(4): 146-156.
- [76] 王季俊,李玲玲,尹祎洁,等. 苦杏仁活血化癥作用的文献研究[J]. 中华中医药杂志, 2024, 39(9):4860-4865.
WANG J J, LI L L, YIN Y J, et al. Literature study on the effect of bitter apricot seed in promoting blood circulation and removing blood stasis [J]. China J Tradit Chin Med Pharm, 2024, 39(9):4860-4865.
- [77] JIAGANG D, LI C, WANG H, et al. Amygdalin mediates relieved atherosclerosis in apolipoprotein E deficient mice through the induction of regulatory T cells [J]. Biochem Biophys Res Commun, 2011, 411(3):523-529.
- [78] WANG B, SUN T, SUN L, et al. Amygdalin attenuates PM2. 5-induced human umbilical vein endothelial cell injury via the TLR4/NF- κ B and Bcl-2/Bax signaling pathways [J]. Acta Biochim Biophys Sin, 2022, 54(10):1476-1485.
- [79] LV J, XIONG W, LEI T, et al. Amygdalin ameliorates the progression of atherosclerosis in LDL receptor-deficient mice [J]. Mol Med Rep, 2017, 16(6):8171-8179.
- [80] 雷甜甜. 苦杏仁苷抑制 LDLR^{-/-}小鼠动脉粥样硬化的作用及机制研究[D]. 成都:电子科技大学,2020.
LEI T T. Study on the inhibitory effect and mechanism of amygdalin on atherosclerosis in LDLR^{-/-} mice [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2020.
- [81] VAHEDI-MAZDABADI Y, KARIMPOUR-RAZKENARI E, AKBARZADEH T, et al. Anti-cholinesterase and neuroprotective activities of sweet and bitter apricot kernels (*Prunus armeniaca* L.) [J]. Iran J Pharm Res, 2020, 19(4): 216-224.
- [82] YANG C, ZHAO J, CHENG Y, et al. Bioactivity-guided fractionation identifies amygdalin as a potent neurotrophic agent from herbal medicine *Semen Persicae* extract [J]. Biomed Res Int, 2014, doi:10. 1155/2014/306857.
- [83] HWANG H J, KIM P, KIM C J, et al. Antinociceptive effect of amygdalin isolated from *Prunus armeniaca* on formalin-induced pain in rats [J]. Biol Pharm Bull, 2008, 31(8):1559-1564.
- [84] YANG H Y, CHANG H K, LEE J W, et al. Amygdalin suppresses lipopolysaccharide-induced expressions of cyclooxygenase-2 and inducible nitric oxide synthase in mouse BV2 microglial cells [J]. Neurol Res, 2007, 29(Suppl 1):S59-S64.

[责任编辑 孙丛丛]