

龙血竭化学成分与药理作用研究进展

颜晓睿^{1, 2}, 赵相轩^{3, 4}



1. 辽宁中医药大学中医药创新工程技术中心 (沈阳 110847)
2. 辽宁中医药大学中医脏象理论及应用教育部重点实验室 (沈阳 110847)
3. 辽宁中医药大学药学院 (辽宁大连 116600)
4. 辽宁中医药大学实验动物医学院 (沈阳 110847)

【摘要】龙血竭是一种历史悠久的传统中药,具有活血化瘀、止血定痛、敛疮生肌等功效。现代研究表明,其主要化学成分包括酚类、萜类、甾体及甾体皂苷类、二苯乙烯类、木脂素、生物碱类、多糖类、挥发油等。药理学研究显示,龙血竭具有促进皮肤创伤愈合、抗炎镇痛、抗血小板聚集和抗血栓、心血管保护、抗菌、神经保护、放射保护、抗肿瘤、调节代谢、抗病毒等多种广泛作用。本文通过对近年来国内外关于龙血竭化学成分和药理作用的研究报道进行总结,以期为深入挖掘其药用价值和开发相关产品提供参考。

【关键词】龙血竭;天然化合物;抗炎镇痛;抗血小板聚集;神经保护;抗肿瘤

【中图分类号】 R284; R285

【文献标识码】 A

Advances of the chemical components and pharmacological effects of dragon's blood

YAN Xiaorui^{1,2}, ZHAO Xiangxuan^{3,4}

1. Innovation Engineering Ttechnology Center, Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, Shenyang 110847, China

2. Key Laboratory of Education Ministry on Chinese Medicine Viscera Image Theory and Application, Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, Shenyang 110847, China

3. School of Pharmacy, Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, Dalina 116600, Liaoning Province, China

4. College of Experimental Animal Medicine, Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, Shenyang 110847, China

Corresponding author: ZHAO Xiangxuan, Email: xiangxuanzhao@163.com

【Abstract】Dragon's blood is a traditional Chinese medicine with a long history, which has the effects of promoting blood circulation and removing blood stasis, stopping bleeding and relieving pain, and healing sores and promoting muscle growth. Modern research shows that dragon's blood mainly contains chemical components such as phenols, terpenoids, steroids and steroidal saponins, styrenees, lignans, alkaloids, polysaccharides, and volatile oils. Pharmacological research reveals that it has extensive effects such as promoting skin wound healing, anti-inflammatory and analgesic effect, anti-platelet aggregation and anti-thrombosis, cardiovascular protection, antibacterial effect,

DOI: 10.12173/j.issn.2097-4922.202505024

基金项目: 辽宁中医药大学高层次人才引进科研启动经费项目 (21601A2177); 辽宁省科技厅 2022 年中国医科大学高质量发展专项立项项目 (辽科发〔2022〕54 号)

通信作者: 赵相轩, 教授, 博士研究生导师, Email: xiangxuanzhao@163.com

<https://yxqy.whuznhmedj.com>

neuroprotection, radiation protection, anti-tumor effect, regulating metabolism, and antiviral effect. By summarizing the research reports on the chemical components and pharmacological effects of dragon's blood at home and abroad in recent years, this paper provides references for the in-depth exploration of the medicinal value of dragon's blood and the development of related products.

【Keywords】 Dragon's blood; Natural compounds; Anti-inflammatory and analgesic; Anti-platelet aggregation; Neuroprotection; Anti-tumor

龙血竭为百合科植物剑叶龙血树 [*Dracaena cochinchinensis* (Lour.) S. C. Che] 的茎、根及其含脂木质液经有机溶剂提取浓缩而成的棕红色树脂, 又称广西血竭、龙血树、山铁树或剑叶木等^[1-2]。该药材原产于阿拉伯地区, 经丝绸之路传入中国, 在中医药中的应用已有 500 余年历史, 最早记载见于《雷公炮炙论》玉石部, 并在《新修本草》《本草图经》等典籍中广泛收录。龙血竭性甘、咸、平, 有小毒, 归心、肝经, 内服可活血化瘀、定痛, 外用能止血生肌、敛疮, 主要用于跌打损伤、金创出血、瘀血凝滞、心腹疼痛以及疮疡不敛等症^[3]。作为多种经典方剂的重要组成部分, 龙血竭在现代成方制剂中也应用广泛, 《中国药典(2020 年版)》共收载 7 种含龙血竭的成方制剂, 如复方龙血竭胶囊、散结镇痛胶囊和骨痛灵酊等。其化学成分丰富, 包括酚类、萜类、甾体及甾体皂苷类、二苯乙烯类、木脂素、生物碱类、多糖类、挥发油等^[4-5]。现代药理学研究表明, 龙血竭具有促进皮肤创伤愈合、抗炎镇痛、抗血小板聚集和抗血栓、心血管保护、抗菌、神经保护、放射保护、抗肿瘤、调节代谢、抗病毒等多种药理作用^[4-6]。本文系统综述了近年来龙血竭在化学成分与药理作用方面的研究进展, 以期为该药材的深入开发利用及相关药物研发提供理论依据。

1 化学成分

1.1 酚类化合物

龙血竭的酚类化合物根据结构特征可分为查耳酮、二氢查耳酮、黄酮、黄烷、聚合黄酮、色原酮类等黄酮类化合物, 以及其他酚类成分。该类成分具有抗氧化、抗炎、神经保护、抗肿瘤和抗血栓等多种药理作用, 是龙血竭的主要活性成分。

1.1.1 二氢查耳酮类化合物

二氢查耳酮类化合物属于黄酮类化合物的一

种, 常以二氢查耳酮苷、二氢查耳酮衍生物等形式存在^[7]。根据羟基和甲基化位置的不同, 可形成多种结构不同的二氢查耳酮类化合物。龙血竭中含有多种该类成分, 其中以龙血素 A、龙血素 B 和龙血素 D 为主要代表。相关化合物信息见表 1, 部分化合物结构见图 1。

表 1 龙血竭中二氢查耳酮类化合物化学成分

Table 1. Chemical composition of dihydrochalcones in dragon's blood

编号	化合物	文献
1	2,6-二甲氧基-4,4'-二羟基二氢查耳酮	[8]
2	4-甲氧基-2,4'-二羟基二氢查耳酮	[9]
3	2,4,4'-三羟基二氢查耳酮-4-O-β-D-葡萄糖苷	[10]
4	2,4,4'-三羟基-3'-甲氧基-3-甲基二氢查耳酮	[5]
5	2,4,4'-三羟基-3-甲基二氢查耳酮	[5]
6	2,4,4'-三羟基二氢查耳酮	[5]
7	2,4,2',5'-四羟基二氢查耳酮	[10]
8	龙血素 C	[5]
9	龙血素 D	[11]
10	龙血素 A	[11]
11	剑叶龙血素 A	[11]
12	剑叶龙血素 C	[11]
13	龙血素 B	[11]
14	4'-羟基-2,4,5-三甲氧基二氢查耳酮	[12]
15	4,4'-二羟基-2,3'-二甲氧基二氢查耳酮	[5]
16	4,4'-二羟基-2,6-二甲氧基二氢查耳酮	[5]
17	2,4,4'-三羟基-6-甲氧基二氢查耳酮	[13]
18	2,4'-二羟基-4,6-二甲氧基二氢查耳酮	[13]
19	2,4'-二羟基-4-甲氧基二氢查耳酮	[5]
20	2,4-二甲氧基-6,4'-二羟基二氢查耳酮	[5]
21	2,3'-二羟基-4,4'-二甲氧基二氢查耳酮	[5]

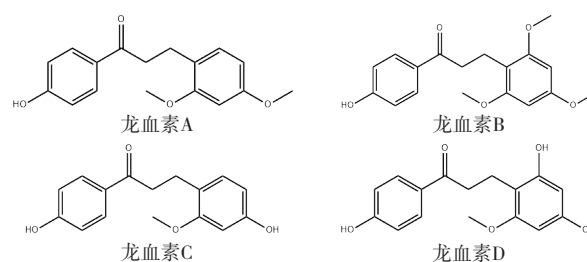


图 1 二氢查耳酮类化合物部分成分的化学结构

Figure 1. Chemical structure of some components of dihydrochalcone compounds

1.1.2 查耳酮类化合物

查耳酮是芳香醛与酮经羟醛缩合反应生成的产物，也是合成黄酮类化合物的重要中间体。通过在苯环上引入羟基、甲氧基、杂环等不同取代基，或对碳链中的双键、羰基进行还原（或置换），以及通过环合等结构修饰方式，可形成多种结构多样的查耳酮类化合物^[14]。龙血竭中含有多种查耳酮类成分，其中以 2,4,4'-三羟基查耳酮为主要代表，相关化合物的信息见表 2，部分化合物结构见图 2。

表2 龙血竭中查耳酮类化合物化学成分
Table 2. Chemical composition of chalcone compounds in dragon's blood

编号	化合物	文献
22	4,4'-二羟基-2'-甲氧基查耳酮	[5]
23	4,2',4'-三羟基查耳酮	[5]
24	3,2',3',4'-四羟基-4-甲氧基查耳酮	[5]
25	苏木查耳酮	[5]
26	3-去氧苏木查耳酮	[5]
27	3,2',4'-三羟基-4-甲氧基查耳酮	[5]
28	2',4',4'-三羟基-3-甲氧基查耳酮	[5]
29	2'-甲氧基-4,4'-二羟基查耳酮	[15]
30	2-甲氧基-4,4'-二羟基查耳酮	[16]
31	2',4,4'三羟基查耳酮	[15]
32	2',4',4三羟基查耳酮	[15]
33	4'-甲氧基-2,4-二羟基查耳酮	[16]
34	2',4'-二羟基-4-甲氧基查耳酮	[16]
35	4,4'-二羟基-2-甲氧基查耳酮	[15]
36	2,4-二羟基-4'-甲氧基查耳酮	[15]

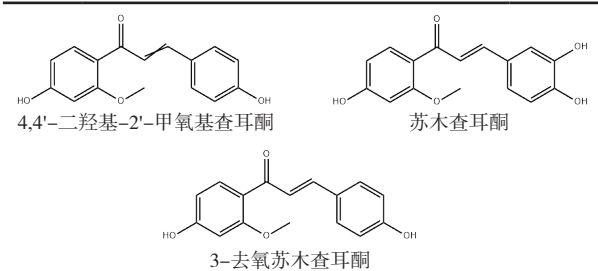


图2 查耳酮类化合物部分成分的化学结构
Figure 2. Chemical structures of some components of chalcone compounds

1.1.3 黄酮类和二氢黄酮类化合物

黄酮类化合物，又称类黄酮，其基本结构是由两个含酚羟基的苯环（A 环和 B 环）通过 3 个不饱和碳原子（C6-C3-C6）连接而成的一类化合物，常以 O-糖苷或 C-糖苷形式存在^[17]。二氢黄酮是黄酮类化合物中 C2-C3 位双键被氢化后形成的衍生物，若 C3 位连有羟基，则通常称为二氢黄酮醇类。龙血竭中含有多种黄酮类及二氢黄酮类化合物，其中以 7,4'-二羟基二氢黄酮为代表，相关化合物的

详细信息见表 3，部分化合物结构见图 3。

1.1.4 黄烷类化合物

黄烷类化合物是一类广泛存在于植物中的天然产物，其基本结构为 2-苯基色原酮。该类化合物分子中含有 1 个酮式羰基，且第 1 位氧原子具

表3 龙血竭中黄酮类和二氢黄酮类化合物化学成分
Table 3. Chemical composition of flavonoids and dihydroflavonoids in dragon's blood

编号	化合物	文献
37	5,7-二羟基-4'-甲氧基黄酮	[15]
38	7-羟基黄酮	[15]
39	5,7,4'-三羟基黄酮	[15]
40	5,7,4'-三羟基-8-甲氧基黄酮	[15]
41	5,7,4'-三羟基-6-甲氧基黄酮	[15]
42	5,7,4'-三羟基二氢黄酮	[5]
43	7,4'-二羟基-5-甲氧基-8-甲基黄酮	[15]
44	4'-甲氧基-3',7'-二羟基黄酮	[15]
45	4',7'-二羟基黄酮	[15]
46	7,4'-二羟基二氢黄酮	[15]
47	7-羟基-3'-甲氧基-4'-丁氧基黄酮	[15]
48	5-羟基-3,7,3',4'-四甲氧基黄酮	[15]
49	7,4'-二羟基高异黄酮	[5]
50	7,4'-高异黄酮	[5]
51	3,4'-二羟基-7-甲氧基黄酮	[5]
52	7-羟基二氢黄酮	[5]
53	熊竹素B	[5]
54	4'-二羟基-5-甲氧基二氢高异黄酮	[5]
55	10,11-二羟基龙血酮	[5]
56	(±)-7,4'-二羟基-二氢异黄酮	[5]
57	(±)-7,4'-二羟基-3'-甲氧基黄酮	[5]
58	7,4'-二羟基-8-甲基黄酮	[5]
59	10-羟基-11-甲氧基龙血酮	[5]
60	(3S)-7,3'-二羟基-4'-乙氧基二氢异黄酮	[5]
61	4',5,7-三羟基黄酮	[5]
62	4,5,7-三羟基高异黄酮	[5]
63	4,7-二羟基高异黄酮	[5]
64	4,7-二羟基-8-甲基高异黄酮	[5]
65	(7S,12BS)-11-羟基-1,10-二甲氧基龙血酮	[5]
66	(7S,12BS)-10,11-二羟基-1-甲氧基龙血酮	[5]
67	(3R)-7,4'-二羟基-6-甲氧基异黄酮	[5]
68	(7R,12bR)-7,10-二羟基-4, 11-二甲氧基龙血酮	[5]
69	(7S,12BS)-10,11-二羟基-1-甲氧基龙血酮	[5]

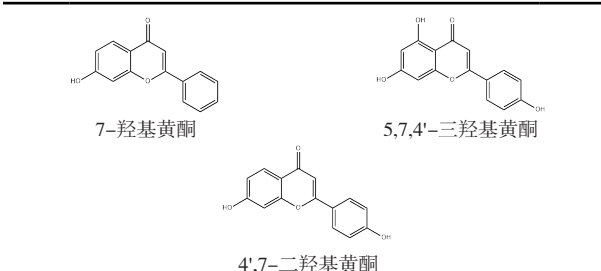


图3 黄酮类化合物部分成分的化学结构
Figure 3. Chemical structure of some components of flavonoids

有碱性，可与强酸成盐；其羟基衍生物多呈黄色，故也被称为黄碱素或黄酮。龙血竭中含有多种黄酮类化合物，代表性成分包括 4',7-二羟基-3'-甲氧基黄烷和 7-羟基-4'-甲氧基黄烷。

1.1.5 聚合黄酮类化合物

聚合黄酮类化合物是一类结构特殊的黄酮衍生物，由两个或更多黄酮单体通过 C-C 键或 C-O-C 键等特定化学键连接形成二聚或多聚结构。该类化合物的基本结构特征为多个黄酮单元通过共价键相连，形成复杂分子骨架。根据连接方式与整体结构差异，可进一步分为双黄酮、三黄酮等亚类。龙血竭中含有多种聚合黄酮类化合物，其中以剑叶血竭素为主要代表。

1.1.6 色原酮类化合物

色原酮类化合物是一类天然存在的苯并吡喃衍生物，其结构以 γ -吡喃酮为特征。根据结构复杂程度，可分为简单色原酮和稠环色原酮衍生物两类。该类化合物具有抗肿瘤、抗菌、抗病毒、抗炎、抗氧化、神经保护、降血糖及抗血小板聚集等多种药理活性^[18]。在龙血竭中，色原酮类成分以剑叶龙血素 B 为代表^[18]，其化学结构如图 4 所示。

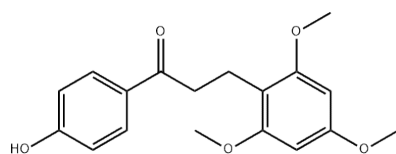


图4 剑叶龙血素B的化学结构

Figure 4. Chemical structure of cochinchinenin B

1.1.7 酚酸类

酚酸类化合物是一类含有酚环结构的有机酸，具有抗氧化、保肝、抗肿瘤、降血糖及心脏保护等多种药理作用。在龙血竭中，该类成分以对羟基苯甲酸为主要代表^[19-20]。

1.2 萜类、甾体及甾体皂苷类化合物

萜类化合物是一类由甲戊二羧酸衍生、分子骨架以异戊二烯单元 (C_5 单元) 为基本结构单元的化合物及其衍生物，其含氧衍生物包括醇、醛、酮、羧酸、酯等多种类型^[21]。根据分子中所含异戊二烯单元的数目，萜类化合物可分为单萜、倍半萜、二萜、三萜和四萜等类别，具有抗炎、抗菌、抗肿瘤、保肝及降血糖等多种药理活性^[22]。在龙血竭中，萜类化合物以 hardwickiic acid 为代表^[23]。

甾体化合物是一类结构复杂多样的天然产物，以环戊烷多氢菲为基本母核，具有抗炎、免疫调节、抗肿瘤和激素调节等多种药理作用^[24]。甾体皂苷是其中一类重要衍生物，由甾体母核与糖链通过糖苷键连接形成，具有调节免疫、改善心血管功能及抗肿瘤等显著活性。在龙血竭中，甾体及甾体皂苷类成分以豆甾醇、4-烯-3-胆甾酮、 β -谷甾醇和薯蓣皂苷元等为代表。

1.3 二苯乙烯类化合物

二苯乙烯类化合物是一类重要的酚类天然产物，广泛分布于葡萄科、豆科、龙脑香科等植物中。其结构以 C6-C2-C6 为基本骨架，通常存在顺式和反式两种异构体。药理研究表明，该类化合物具有抗癌、抗菌、抗氧化、抗炎、抗神经退行性疾病、降血糖、神经保护、抗衰老及心脏保护等多种生物活性^[25]。在龙血竭中，二苯乙烯类成分以紫檀芪和白藜芦醇为代表，其中紫檀芪的化学结构如图 5 所示。

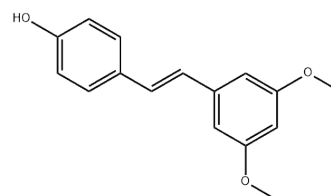


图5 紫檀芪的化学结构

Figure 5. Chemical structure of pterostilbene

1.4 其他成分

除上述主要成分外，龙血竭中还含有木脂素、生物碱、多糖、挥发油、烷烃、有机酸、脂类、含氯化合物、醇类、烯烃、酯类等多种其他成分。

2 药理作用

2.1 促进皮肤创伤愈合

龙血竭的一个代表性传统用途是促进皮肤创伤愈合。临床观察显示，在褥疮的局部治疗中，采用龙血竭相比其他局部治疗方法可显著提高愈合率、缩短愈合时间，表明其对褥疮具有明显疗效，并能有效促进创伤愈合^[26]。在一项针对压力性手外伤的临床研究中，龙血竭涂布治疗在促进肉芽组织生长、减少创面渗出及加速创面缩小方面均优于无菌纱布包扎，其机制可能与上调基质金属蛋白酶-3 (matrix metalloproteinase 3, MMP-3)、血管内皮生长因子 (vascular endothelial growth factor, VEGF) 和转化生长因子- β

(transforming growth factor- β , TGF- β) 水平, 以及降低 MMP 组织抑制因子 1 (tissue inhibitor of metal protease 1, TIMP-1) 有关, 从而促进伤口愈合^[27]。

体内实验进一步证实, 龙血竭提取物能显著加速大鼠切口创面的愈合过程, 促进创面收缩和硬化, 并提高抗张强度。免疫组化分析显示, 龙血竭可增强血小板-内皮细胞黏附分子 (platelet endothelial cell adhesion molecule-1, PECAM-1/CD31) 的表达和微血管密度。mRNA 检测结果表明, 其通过上调 TGF- β 1 和 VEGF 的表达以促进创面愈合^[28]。

体外研究发现, 龙血竭乙酸乙酯提取物能以剂量依赖的方式促进人成纤维细胞增殖, 这可能是其加速创伤愈合的机制之一^[29]。研究还表明, 该提取物可显著促进人角质形成细胞的增殖与迁移, 以及人脐静脉血管内皮细胞管的形成, 进一步证实其为促进伤口愈合的有效成分^[30]。此外, 龙血竭提取物还能减轻糖尿病引起的炎症细胞浸润时间延长, 抑制 Toll 样受体 4 (Toll-like receptor 4, TLR4) 通路及相关炎症因子的增加, 并在愈合后期通过增加内皮型一氧化氮合酶 (endothelial nitric oxide synthase, eNOS) 表达和一氧化氮 (nitric oxide, NO) 含量促进创面愈合^[31]。

2.2 抗炎镇痛

龙血竭作为天然镇痛药长期应用于临床, 现代药理学研究证实其具有显著的抗炎作用, 可有效缓解疼痛。龙血竭中的黄酮类化合物能够调节背根神经节神经元中的抗河豚毒素 (tetrodotoxin-resistant, TTX-R) 钠电流, 以剂量依赖方式抑制 TTX-R 钠电流峰值, 并影响其激活过程, 这种对疼痛信息的干扰可能与其镇痛作用机制相关^[32]。此外, 从龙血竭中提取的黄酮类化合物剑叶龙血素 B 对大鼠背根神经节神经元中辣椒素激活电流表现出可逆的非竞争性抑制作用, 通过影响香草酸受体 1 (vanilloid receptor 1, VR1) 信号通路发挥镇痛效果, 因此剑叶龙血素 B 被认为是针对 VR1 受体的潜在新型镇痛候选药物^[33]。

体内研究进一步表明, 龙血竭通过抑制环氧合酶-2 (cyclooxygenase-2, COX-2) 蛋白的表达及细胞内钙离子浓度, 阻断 P 物质的合成与释放, 从而有效减轻卡拉胶诱导的炎症或坐骨神经损伤所致的大鼠足部水肿和痛觉过敏, 显示出良好的

抗炎镇痛效果^[34]。酸敏感离子通道 (acid-sensing ion channels, ASICs) 在痛觉传递中起关键作用, 龙血竭中的 3 种黄酮类化合物可不同程度抑制大鼠背根神经节神经元的 ASICs 电流, 并通过下调炎症状态下 Fos 原癌基因 (fos proto-oncogene, c-fos) 和 ASIC3 蛋白的表达, 缓解炎症性热痛觉, 进而发挥镇痛作用^[35]。

在阿尔茨海默病的研究中, 龙血竭提取物紫檀芪被证明可减轻小胶质细胞过度活化所引起的神经炎症, 其机制可能通过阻断 TLR4 与髓系分化蛋白 2 (myeloid differentiation protein 2, MD2) 的相互作用, 抑制 TLR4 介导的炎症反应, 从而为阿尔茨海默病的治疗提供潜在策略^[36]。

龙血竭还可用于溃疡性结肠炎的治疗。研究表明, 哺乳动物雷帕霉素靶蛋白 (mammalian target of rapamycin, mTOR) / 核糖体通路功能障碍导致的核糖体合成抑制在小鼠急性溃疡性结肠炎的发生发展中起重要作用。龙血竭能够显著上调该模型中 mTOR、p-mTOR 及 p70S6K 蛋白的表达, 并下调蛋白激酶 B (protein kinase B, Akt)、p-Akt 和磷酸化真核细胞起始因子 4E 结合蛋白 1 (p-4EBP1) 蛋白的表达, 提示其可能通过 mTOR/核糖体途径促进核糖体生物合成和蛋白质合成, 从而缓解结肠炎症状^[37]。另一研究也证实, 龙血竭提取物可通过同一通路改善急性溃疡性结肠炎的症状和肠道组织损伤^[38]。在牙周炎模型中, 龙血竭提取物处理可使大鼠牙周组织中白细胞介素 (interleukin, IL)-17、IL-4、TLR4、核因子 κ B (nuclear factor kappa-B, NF- κ B) p65 蛋白和 ABL 原癌基因 1 (ABL proto-oncogene 1, ABL1) 水平显著升高, 同时骨形态发生蛋白 2 (bone morphogenetic protein 2, BMP-2) 水平下降, 表明其可通过抑制 TLR4/NF- κ B 信号通路激活以抑制炎症反应, 并促进牙周组织修复^[39]。

此外, 龙血竭还能通过调节特定基因和蛋白 [如硫氧还蛋白 -1 (thioredoxin-1, TRX-1) 和谷胱甘肽还原酶 (glutathione reductase, GR)] 的表达, 抑制破骨细胞的形成过程。其显著降低关键信号蛋白如 c-Jun 氨基末端激酶 (c-Jun N-terminal kinase, JNK) 的磷酸化水平, 并抑制 p65 在 TNF 受体相关因子 6 (TNF receptor associated factor 6, TRAF6) /JNK 和 NF- κ B 通路中的核定位。体内实验进一步证明, 龙血竭通过抑制破骨细胞活性

和活性氧 (reactive oxygen species, ROS) 生成, 有效延缓大鼠激素性股骨头坏死的进展^[40]。

2.3 抗血小板聚集和抗血栓作用

龙血竭中的黄酮类化合物表现出凝血酶抑制活性^[41]。其乙醇提取物中含有具有抗血栓作用的有效成分, 能够部分改善血小板功能并增强抗凝活性^[42]。体外研究进一步表明, 龙血竭中的黄酮类化合物对激动剂 [如胶原蛋白、胶原相关肽、二磷酸腺苷 (adenosine diphosphate, ADP) 和凝血酶] 诱导的血小板聚集具有抑制作用: 以剂量依赖方式抑制胶原诱导的血小板三磷酸腺苷 (adenosine triphosphate, ATP) 分泌, 减少凝血酶刺激的 p-选择素表达, 并几乎完全阻断胶原诱导的 Akt Ser473 位点磷酸化。这些结果提示, 龙血竭可能通过磷脂酰肌醇 3 激酶 (phosphatidylinositol 3-kinase, PI3K) /Akt 信号通路抑制血小板活化^[43]。

龙血素 B 作为龙血竭的一种提取成分, 可延长小鼠出血时间, 减少动脉血栓的重量和大小, 降低羟脯氨酸水平, 并部分逆转肝纤维化。其作用机制包括抑制纤溶酶原激活剂抑制剂-1 (plasminogen activator inhibitor 1, PAI-1) 与尿激酶型纤溶酶原激活物 (urokinase type plasminogen activator, uPA) 复合物的形成, 从而通过拮抗 PAI-1 发挥抗血栓效果^[44]。

临床研究通过凝血指数检测、多普勒超声及 mRNA 测序分析显示, 龙血竭可影响 D-二聚体、纤维蛋白原降解产物等凝血相关指标及基因表达。在髋部骨折手术患者中, 龙血竭在预防深静脉血栓方面的作用与低分子肝素效果相当, 且引起类似的基因表达变化, 表明龙血竭可能是一种更为便捷的抗血栓药物选择^[45]。

2.4 心血管保护作用

龙血竭历来被用于心血管疾病的治疗。基于超高效液相色谱的代谢组学研究显示, 龙血竭可能通过调节紊乱的血管平滑肌收缩以及鞘脂代谢、苯丙氨酸代谢和支链氨基酸代谢, 从而缓解心肌缺血^[46]。

由龙血竭、三七和冰片组成的龙血竭胶囊可用于冠心病和心肌缺血的临床治疗。一项研究采用网络药理学方法探讨其作用机制, 发现 PI3K-Akt 通路是关键途径, 并通过 qRT-PCR 验证了该通路中多个关键基因的表达变化。结果显

示, 龙血竭胶囊干预后 PI3K、磷酸肌醇依赖性蛋白激酶-1 (3-phosphoinositide-dependent protein kinase 1, *PDK1*)、*Akt*、MDM2 原癌基因 (MDM2 proto-oncogene, *MDM2*)、B 细胞淋巴瘤/白血病-2 基因 (B-cell lymphoma-2, *Bcl-2*) 和 *mTOR* 的表达均显著升高, 而肿瘤蛋白 P53 (tumor protein P53, *TP53*) 和促凋亡蛋白含半胱氨酸的天冬氨酸蛋白水解酶-3 (*Caspase-3*) 的表达则下降, 表明龙血竭胶囊通过激活 PI3K/Akt 信号通路发挥抗心肌缺血作用^[47]。

另一研究发现, 龙血竭提取物可抑制急性心肌梗死小鼠心脏组织的炎症反应, 并调控 IL-6-Janus 激酶 2 (Janus kinases2, *JAK2*) /信号转导和转录激活因子 3 (signal transducer and activator of transcription 3, *STAT3*) 信号通路中关键蛋白的表达。同时, 该提取物还能激活 PI3K-AKT-mTOR 信号通路, 进而影响其下游靶点 VEGF、COX-2 和过氧化物酶体增殖物激活受体 α (peroxisome proliferator-activated receptor α , *PPAR- α*) 的表达。这些结果表明, 龙血竭通过 JAK2-STAT3 和 PI3K-AKT-mTOR 通路实现对心脏的保护作用^[48]。

在树鼩心肌缺血再灌注模型中, 龙血竭提取物治疗显著减小了梗死面积, 增强了超氧化物歧化酶活性 (superoxide dismutase, *SOD*) 活性, 降低了丙二醛 (malonic dialdehyde, *MDA*) 浓度, 并下调了促凋亡蛋白 Bcl-2 相关 X 蛋白 (Bcl-2-associated X protein, *Bax*) 和 Bcl-2 的表达。同时, 内质网应激相关蛋白 C/EBP 同源蛋白 (C/EBP homologous protein, *CHOP*)、分子伴侣葡萄糖调节蛋白 78 (glucose regulated protein, *GRP78*) 的表达水平也出现下降。研究进一步表明, 龙血竭提取物可上调 miR-423-3p 的表达, 下调细胞外信号调节激酶 (extracellular signal-regulated kinases, *ERK*) 的表达, 说明其通过调控 miR-423-3p/ERK 信号通路抑制内质网应激诱导的心肌细胞凋亡, 从而发挥心脏保护效应^[49]。

此外, 龙血竭的酚类提取物能够减少高脂饮食诱导的 ApoE^{-/-} 小鼠主动脉窦的动脉粥样硬化斑块面积, 并缓解氧化型低密度脂蛋白 (oxidized low-density lipoprotein, ox-LDL) 刺激所致的人脐静脉内皮细胞功能障碍。其机制可能与抑制丝裂原活化蛋白激酶 (mitogen-activated protein kinase, *MAPK*) / κ B 抑制因子激酶 (inhibitor of

kappa B kinase, IKK)/NF- κ B 的抑制蛋白 (inhibitor of NF- κ B, I κ B)/NF- κ B 信号通路有关, 从而降低单核细胞与内皮细胞的黏附, 改善动脉粥样硬化病变^[50]。

2.5 抗菌作用

龙血竭中的黄酮类化合物对金黄色葡萄球菌和耐甲氧西林金黄色葡萄球菌表现出抑菌活性。研究显示, 其中 9 种黄酮类成分对金黄色葡萄球菌具有抑制作用, 7 种对耐甲氧西林金黄色葡萄球菌有效^[51]。此外, 部分黄酮类化合物还能抑制幽门螺杆菌^[52]。

龙血竭提取物与聚- ϵ -己内酯纳米纤维协同使用时, 可抑制金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、大肠杆菌和铜绿假单胞菌^[53]。该提取物对金黄色葡萄球菌、耐甲氧西林金黄色葡萄球菌和白色念珠菌均有一定的抑制效果, 其中对金黄色葡萄球菌的抑制作用尤为显著^[54]。通过最低抑菌浓度测定、生长曲线和时间-杀菌曲线分析, 进一步证实龙血竭能有效抑制金黄色葡萄球菌的生长^[55]。此外, 龙血竭提取物还对灰霉病菌、稻瘟病菌、指状青霉菌和菌核病菌表现出明显的抗真菌活性^[56]。

2.6 神经保护作用

龙血竭在缺血性脑卒中的治疗中具有重要作用。其有效成分龙血素 C 能够显著减轻大脑中动脉闭塞再灌注模型小鼠的脑损伤, 并抑制神经元铁死亡。机制研究表明, 龙血素 C 通过激活核因子 E2 相关因子 2 (nuclear factor erythroid-2-related factor 2, Nrf2) 通路, 促进 Nrf2 核易位, 进而提高缺血性脑卒中后血红素氧合酶-1 (heme oxygenase-1, HO-1)、磷酸酰胺腺嘌呤二核苷酸醌氧化还原酶-1 [NAD(P)H quinone dehydrogenase 1, NQO1] 和谷胱甘肽过氧化物酶 4 (glutathione peroxidase 4, GPX4) 的表达水平, 最终通过抑制铁死亡改善神经功能损伤^[57]。

龙血竭合并片 (含冰片) 联合使用可增强缺血性卒中疗效。该复方通过调节肠道菌群 (如 s- 拟杆菌属、f- 假单胞菌属和 g- 假单胞菌属) 及血清代谢物 (如 lysoPCs 和 lysoPEs), 抑制 TLR4/髓样分化因子 (myeloid differentiation factor 88, MyD88)/NF- κ B 和 IL-17 信号通路, 减轻神经炎症反应。其作用机制涉及维持肠道菌群平衡、改善代谢紊乱、抑制炎症及调节免疫应答^[58]。

在细胞模型中, 龙血素 B 通过正向调控

PC12 细胞中的 PI3K/AKT/cAMP 反应元件结合蛋白 (cyclic-AMP response binding protein, CREB) 和 Nrf2 信号通路, 对抗氧糖剥夺/再灌注损伤, 并促进 HO-1 和 Bcl-2 的表达; 另一成分 4',7-二羟基黄酮则通过抑制脂多糖诱导的 BV-2 细胞中 COX-2、肿瘤坏死因子- α (tumor necrosis factor- α , TNF- α) 和 IL-6 的表达发挥抗炎作用^[59]。此外, 龙血素 C 还可通过 Triad3A 介导的 TLR4 泛素化与降解, 抑制小胶质细胞激活和神经炎症, 从而治疗缺血性卒中^[60]。

体内实验证实, 龙血素 C 具有雌激素样活性, 可通过雌激素受体 α (estrogen receptor α , ER α) 改善阿尔茨海默病模型小鼠的认知功能障碍, 并对阿尔茨海默病细胞模型发挥神经保护作用^[61]。在慢性不可预测轻度应激诱导的抑郁小鼠模型中, 龙血素 C 治疗显著改善抑郁样行为 (如过度活跃、社交时间减少、进食延迟延长和强迫游泳不动时间增加), 并降低前额叶皮质中 IL-17 的表达, 表明其具有神经保护与抗炎作用, 可能与抑制 IL-17 通路有关^[62]。

小胶质细胞介导的神经炎症是阿尔茨海默病进展的重要因素。龙血竭提取物紫檀芪能够增强 APP/PS1 小鼠的学习记忆能力, 减少海马区小胶质细胞激活和 A β 沉积。其机制包括阻断 TLR4/MD2 相互作用以抑制 TLR4 介导的炎症反应, 并通过增强自噬恢复受损的 A β 1-42 寡聚体内吞作用, 从而发挥治疗作用^[36]。

脑源性神经营养因子 (brain-derived neurotrophic factor, BDNF) 缺失参与重度抑郁症的发病机制。长期皮质酮处理可诱发小鼠行为异常, 如旷场实验首次潜伏期延长、社交时间缩短和进食潜伏期延长, 并降低前额叶皮质中 BDNF、p-Akt、mTOR 和 CREB 的表达水平。龙血素 C 治疗能够逆转这些行为异常和分子变化, 提示其通过调控 BDNF/Akt/mTOR/CREB 通路发挥抗抑郁作用^[63]。

2.7 放射保护作用

龙血竭提取物能够显著降低辐射暴露大鼠体内的 MDA 和过氧化氢水平, 同时提高 SOD 活性和谷胱甘肽 (glutathione, GSH) 含量, 有效缓解氧化应激状态。此外, 该提取物还可降低炎症因子 TNF- α 、干扰素- γ (interferon- γ , IFN- γ) 和 IL-6 的水平, 抑制海马神经元凋亡, 并上调 BDNF 的表达, 同时抑制促凋亡蛋白 Caspase-3 以及激活蛋

白-1 (activator Protein-1, AP-1) 转录因子家族成员 c-fos 和 c-Jun 的蛋白表达^[64]。

在另一项研究中,成年 BALB/C 小鼠在接受 4 Gy 放射性同位素钴 -60 (⁶⁰Co) γ 射线全身照射前 5 d 起口服龙血竭提取物。结果显示,治疗显著增加了外周血细胞数量和骨髓干细胞/祖细胞的集落形成单位,降低了血清中 IL-6、TNF- α 和 IFN- γ 等炎症因子水平,并改善了 SOD、过氧化氢酶 (catalase, CAT)、GSH 和 MDA 等氧化应激指标。组织病理学检查还表明,龙血竭提取物对骨髓结构具有保护作用^[65]。

同样,在 ⁶⁰Co γ 射线全身辐照前 5 d 给予小鼠龙血竭提取物灌胃,可显著降低肝脏和脾脏中的 MDA 水平,提高 SOD、CAT 活性及 GSH 含量,恢复胸腺指数,减轻辐射对肝脏和脾脏的损伤,并改善其组织形态。这些结果说明龙血竭提取物对辐射诱导的氧化应激损伤具有预防作用^[66]。

此外,龙血竭中的酚类化合物能够有效促进辐射小鼠外周血细胞 (特别是血小板) 的恢复,通过降低 Bax/Bcl-2 比值和 Caspase-3 表达来减少细胞凋亡和周期阻滞。其促进 Mo7e 细胞存活与增殖的效应可能与 ERK 信号通路的激活有关^[67]。

2.8 抗肿瘤作用

现代药理研究表明,龙血竭提取物主要通过抑制细胞增殖、诱导细胞凋亡、引起 DNA 损伤和细胞周期阻滞、促进肿瘤细胞衰老与自噬、抑制转移和血管生成以及逆转多药耐药等多种途径发挥抗肿瘤作用^[68]。具体而言,该提取物对急性髓性白血病 (acute myelogenous leukemia, AML) 细胞株 U937 和 THP-1 表现出细胞毒作用,并可诱导细胞凋亡;其显著降低线粒体膜电位,并下调活化的多聚腺苷二磷酸核糖聚合酶、活化的 Caspase-3 和磷酸化组蛋白 H2A (p-H2A) 的蛋白表达,同时上调磷酸化组蛋白变体 p-H2A.X、CCAAT 增强子结合蛋白 β (CCAAT enhancer binding protein, C/EBP β) 及激活转录因子 4 (activating transcription factor 4, ATF4) 的表达。此外,龙血竭提取物通过抑制 c-Jun 相关的 miR-216b 激活,以浓度依赖的方式增加 ROS 水平;其在 AML 中的抗癌作用依赖于 CHOP 介导的细胞凋亡及 ROS 的积累^[69]。

龙血竭乙酸乙酯提取物对人肝癌细胞 HepG2 和 SK-HEP-1 的生长具有明显抑制作用,并能抑

制这两种细胞的迁移和侵袭能力,其部分抗肝癌活性是通过下调 TGF- β /Smad 信号通路中的关键分子 Smad3 实现的^[70]。此外,龙血竭乙酸乙酯提取物还可抑制人胃癌 MGC-803 和 HGC-27 细胞的增殖与转移能力,抑制上皮-间充质转化过程,并诱导细胞凋亡和自噬性死亡。其自噬诱导机制涉及抑制 mTOR-肌球蛋白样 Bcl-2 结合蛋白 (myosin-like Bcl-2 interacting protein, Beclin1) 信号级联,以及上调自噬相关基因 (autophagy related gene, ATG) 3/ATG7-微管相关蛋白轻链 3 (microtubule-associated protein light chain 3, LC3) 信号通路。在体内实验中,龙血竭乙酸乙酯提取物表现出显著的抗胃癌效果,且未观察到明显毒性或副作用^[71]。另外,龙血素 B 能够通过靶向 PI3K/AKT 信号通路抑制宫颈癌细胞的增殖,诱导其凋亡,并降低其侵袭与迁移能力^[72]。

2.9 调节代谢作用

龙血竭富含黄酮类化合物,对肥胖相关的代谢功能障碍具有保护作用。睡眠限制可破坏昼夜代谢节律,而龙血竭中的黄酮类成分通过直接调节维甲酸受体相关孤儿受体 γ (retinoic acid receptor-related orphan receptor γ , ROR γ), 能够显著改善睡眠限制导致的小鼠糖脂代谢异常,优化睡眠限制条件下的昼夜行为节律,并恢复肝脏生物钟及代谢相关基因的昼夜节律性振荡^[73]。

此外,龙血竭的活性部位对 α -葡萄糖苷酶具有非竞争性抑制作用。在小鼠实验中,龙血竭活性部分与阿卡波糖联用后,可剂量依赖性地抑制蔗糖负荷引起的血糖升高。结果表明,龙血竭提取物通过抑制肠道碳水化合物吸收,有效降低餐后血糖水平,表现出降糖潜力^[74]。

2.10 抗病毒作用

龙血竭中所含的查耳酮类化合物 (2,4'-二羟基-4-甲氧基二氢查耳酮) 能够抑制乙型肝炎病毒的活性,且该抑制作用呈现剂量与时间依赖性^[75]。

2.11 其他作用

龙血素 C 能够有效抑制肾缺血-再灌注损伤。体内实验表明,龙血素 C 可改善肾功能和组织结构损伤,抑制肾氧化应激和铁死亡,清除 ROS,并减轻人肾小管上皮细胞 HK-2 的线粒体功能障碍,从而抑制细胞氧化损伤。此外,龙血

素 C 可有效促进 Nrf2 的核易位，激活下游靶基因 HO-1 和 NQO1 的表达，增强细胞的抗氧化功能。实验结果表明，龙血素 C 对肾缺血-再灌注

损伤的抑制作用可能与其激活 Nrf2 信号通路密切相关^[76]。龙血竭的部分功能成分及其生物学效应见表 4。

表4 龙血竭功能成分及其生物学效应
Table 4. Functional components and biological effects of dragon's blood

天然化合物名称	类型	分子式	作用机制	生物学效应	参考文献
剑叶龙血素B	色原酮类化合物	C ₃₃ H ₃₄ O ₇	影响VR1受体	镇痛	[33]
紫檀芪	二苯乙烯类化合物	C ₁₆ H ₁₆ O ₃	抑制TLR4介导的炎症 阻断TLR4与MD2的相互作用，从而抑制炎症反应	抗炎 神经保护作用	[36]
龙血素B	二氢查耳酮类化合物	C ₁₈ H ₂₀ O ₅	抑制PAI-1/uPA复合物形成 激活Nrf2/HO-1/NQO1/GPX4通路 激活PI3K/AKT/CREB和Nrf2信号通路 靶向PI3K/AKT信号通路诱导凋亡	抗血栓 神经保护作用 神经保护作用 抗宫颈癌作用	[44] [57] [58] [72]
4',7-二羟基黄酮	黄酮类化合物	C ₁₅ H ₁₀ O ₄	抑制COX-2/TNF-α/IL-6通路的表达	神经保护作用	[59]
龙血素C	二氢查耳酮类化合物	C ₁₆ H ₁₆ O ₄	促进TLR4泛素化和降解 具有雌激素活性 减少前额叶皮质中IL-17的表达 激活Nrf2/HO-1/NQO-1通路	神经保护作用 神经保护作用 神经保护作用 抑制肾缺血-再灌注损伤	[60] [61] [62] [76]
酚类化合物			降低AKT、mTOR和CREB的磷酸化水平 降低Bax/Bcl-2比值和Caspase-3表达	神经保护作用 放射保护作用	[63] [67]
乙酸乙酯提取物			下调TGF-β/Smad信号通路 下调mTOR-Beclin1信号通路和上调ATG3/ATG7-LC3信号通路介导自噬	抗肝癌作用 抗胃癌作用	[70] [71]
黄酮类化合物			调节RORγ	调节糖脂代谢作用	[73]
2',4'-二羟基-4-甲氧基二查耳酮类化合物 氢查耳酮	查耳酮类化合物	C ₁₆ H ₁₆ O ₄	抗乙型肝炎病毒活性	抗病毒作用	[75]

3 结语

龙血竭是一种具有极高药用价值的传统中药，但由于其来源植物龙血树生长缓慢、资源稀少且不易培育，导致实际利用率较低。近年来，国内外研究者已对龙血竭的化学成分展开了系统的分离与结构鉴定工作。尽管已发现龙血竭含多种活性成分并具有广泛的药理作用，但其潜力远未被充分挖掘。目前，对龙血竭提取物药理作用的物质基础、作用机制以及传统应用背景的研究仍处于较为初级的阶段。

现有药理学研究主要集中于龙血竭在促进表皮愈合、抗炎、抗肿瘤及神经保护等方面的作用，这些结果初步阐释了其“活血化瘀、生肌敛疮”的传统功效。在药效物质研究方面，目前多集中在粗提物和酚类成分，尤其是黄酮类化合物，而对萜类、酚酸类、甾体皂苷类等其他主要成分的研究仍相对不足。未来需借助更多疾病动物模型和细胞模型，深入探索龙血竭及其活性成分的新

作用机制，为该药材的深入开发与临床合理应用提供更充分的科学依据。

参考文献

1 韦浩明, 蓝日春, 滕红丽, 主编. 中国壮药材 [M]. 南宁: 广西民族出版社, 2016: 392-393.

2 黄岑汉, 覃道光, 窦锡彬, 等, 主编. 民族医药与方剂学 [M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 2016: 158-159.

3 陈明岭, 江海燕, 著. 皮肤病常用中药药理及临床. 第2版[M]. 北京: 中国技术出版社, 2017: 338.

4 陈品秋, 班玮康, 王文艳, 等. 龙血竭及其主要活性成分对脑缺血的药理作用与机制研究进展 [J]. 中草药, 2023, 54(18): 6172-6184. [Chen PQ, Ban WK, Wang WY, et al. Research progress of pharmacological effects and mechanism of Resina draconis and its active constituents on cerebral ischemia[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2023, 54(18): 6172-6184.] DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2023.18.034.

5 林忆龙, 文亦磊, 黄洪, 等. 龙血竭化学成分及药理作用研究进展 [J]. 中国民族民间医药, 2020, 29(6): 50-55. [Lin YL, Wen YL, Huang H, et al. Research progress on the chemical components and pharmacological effects of Resina draconis[J]. Chinese Journal of Ethnomedicine and Ethnopharmacy, 2020, 29(6): 50-55.] DOI:

- 10.3969/j.issn.1007-8517.2020.6.zgmzmjyzz202006014.
- 6 Liu Y, Zhao X, Yao R, et al. Dragon's blood from dracaena worldwide: species, traditional uses, phytochemistry and pharmacology[J]. *Am J Chin Med*, 2021, 49(6): 1315–1367. DOI: 10.1142/S0192415X21500634.
- 7 周瑶, 李伟, 曲欣楠, 等. 天然二氢查尔酮类化合物分布及生物活性研究进展 [J]. 中国野生植物资源, 2014, 33(6): 36–40, 46. [Zhou Y, Li W, Qu XN, et al. Review on the Distribution and biological activity of dihydrochalcone[J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2014, 33(6): 36–40, 46.] DOI: 10.3969/j.issn.1006-9690.2014.06.009.
- 8 郑庆安, 陈江毅, 张颖君, 等. 著名民间药物血竭的化学成分与生理活性 [J]. 天然产物研究与开发, 2005, 17(B06): 84–95. [Zheng QA, Chen JT, Zhang YJ, et al. The chemical components and physiological activities of the well-known folk medicine Xuejie[J]. *Natural Product Research and Development*, 2005, 17(B06): 84–95.] https://www.nstl.gov.cn/paper_detail.html?id=e1f676a7afdc9337aff6b663406f7362.
- 9 郑庆安. 龙血竭研究 [D]. 昆明: 中国科学院昆明植物研究所, 2003. DOI: <http://ir.kib.ac.cn:8080/handle/151853/690>.
- 10 周志宏, 陈江毅, 王锦亮, 等. 云南血竭中的酚性成分 (2) (摘要) [J]. 药学实践杂志, 2000, (5): 354. [Zhou ZH, Chen JT, Wang JL, et al. Phenolic components in yunnan blood (2) (abstract)[J]. *Journal of Pharmaceutical Practice*, 2000, (5): 354.] DOI: 1006-0111(2000)05-0354-1A.
- 11 张丽, 王绪平, 黄孝闻, 等. 血竭及龙血竭化学成分、药理作用研究进展 [J]. 中国现代应用药学, 2019, 36(20): 2605–2611. [Zhang L, Wang XP, Huang XW, et al. Advance of the chemical components and pharmacological effects of *Draconis sanguis* and *Resina draconis*[J]. *Chinese Journal of Modern Applied Pharmacy*, 2019, 36(20): 2605–2611.] DOI: 10.13748/j.cnki.issn1007-7693.2019.20.025.
- 12 卢文杰, 王雪芬, 陈家源. 剑叶龙血树氯仿部位化学成分的研究 [J]. 药学报, 1998, 33(10): 755–758. [Lu WJ, Wang XF, Chen JY. Research on the chemical composition of chloroform parts of leaves of *Dracaena cochinchinensis*[J]. *Acta Pharmaceutica Sinica*, 1998, 33(10): 755–758.] DOI: 10.16438/j.0513-4870.1998.10.007.
- 13 张兴锋, 朱功俊, 龚伟凡, 等. 龙血竭黄酮类成分研究 [J]. 广州化工, 2020, 48(9): 92–95. [Zhang XF, Zhu GJ, Gong WF, et al. Study on flavonoids in *Resina draconis*[J]. *Guangzhou Chemical Industry*, 2020, 48(9): 92–95. DOI: 10.3969/j.issn.1001-9677.2020.09.032.
- 14 潘利峰, 董乃维, 吴立军. 查耳酮类化合物的活性及其合成研究进展 [J]. 沈阳药科大学学报, 2018, 35(6): 509–516. [Pan LF, Dong NW, Wu LJ. Study progress on biological activities and synthesis of chalcone derivatives[J]. *Journal of Shenyang Pharmaceutical University*, 2018, 35(6): 509–516.] DOI: 10.14066/j.cnki.cn21-1349/r.2018.06.012.
- 15 杨敏, 杨瑞, 覃彬华, 等. 民族药龙血竭研究进展 [J]. 海峡药学, 2019, 31(11): 49–52. [Yang M, Yang R, Qin BH, et al. Research progress of the ethnic medicine dragon's blood[J]. *Strait Pharmacy*, 2019, 31(11): 49–52.] DOI: 10.3969/j.issn.1006-3765.2019.11.013.
- 16 刘芳, 戴荣继, 邓玉林, 等. 龙血竭化学成分研究进展 [J]. 中国药房, 2010, 21: 1437–1439. [Liu F, Dai RJ, Deng YL, et al. Research progress on the chemical components of dragon's blood[J]. *China Pharmacy*, 2010, 21: 1437–1439.] DOI: 1001-0408(2010)15-1437-03.
- 17 邹立军, 邵宜锐, 熊霞, 等. 黄酮类化合物调控断奶仔猪肠黏膜屏障功能的研究进展 [J]. 中国科学: 生命科学, 2025, 55(1): 30–44. [Zou LJ, Shao YR, Xiong X, et al. Current advances on the regulation of intestinal mucosal barrier function in weaned piglets by flavonoids[J]. *Science in China(Series C)*, 2025, 55(1): 30–44.] DOI: 10.1360/SSV-2023-0264.
- 18 Benny AT, Arikatt SD, Vazhappilly CG, et al. Chromone, a privileged scaffold in drug discovery: developments in the synthesis and bioactivity[J]. *Mini Rev Med Chem*, 2022, 22(7): 1030–1063. DOI: 10.2174/1389557521666211124141859.
- 19 Weng CJ, Yen GC. Chemopreventive effects of dietary phytochemicals against cancer invasion and metastasis: phenolic acids, monophenol, polyphenol, and their derivatives[J]. *Cancer Treat Rev*, 2012, 38(1): 76–87. DOI: 10.1016/j.ctrv.2011.03.001.
- 20 Jiang JS, Gu QC, Feng ZM, et al. The phenolic acids from the plant of *Salvia miltiorrhiza*[J]. *Fitoterapia*, 2022, 159: 105180. DOI: 10.1016/j.fitote.2022.105180.
- 21 高文远, 主编. 中药生物工程 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2023: 5.
- 22 常景玲, 主编. 天然生物活性物质及其制备技术 [M]. 郑州: 河南技术出版社, 2007: 85.
- 23 张荣平, 王兴红, 主编. 圣药龙血竭 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2012: 6.
- 24 周长林, 编. 微生物学与免疫学 [M]. 南京: 东南大学出版社, 2013: 360.
- 25 Tekka T, Zhang L, Ge X, et al. Stilbenes: source plants, chemistry, biosynthesis, pharmacology, application and problems related to their clinical application—a comprehensive review[J]. *Phytochemistry*, 2022, 197: 113128. DOI: 10.1016/j.phytochem.2022.113128.
- 26 Xu J, Xiong T, Yang Y, et al. *Resina draconis* as a topical treatment for pressure ulcers: a systematic review and Meta-analysis[J]. *Wound Repair Regen*, 2015, 23(4): 565–574. DOI: 10.1111/wrr.12314.
- 27 Sun S, Wang P, Yue K, et al. Effect and mechanism of dragon's blood on wound healing of patients with stress hand injury[J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2023, 2023: 6122331. DOI: 10.1155/2023/6122331.
- 28 Liu H, Lin S, Xiao D, et al. Evaluation of the wound healing potential of *resina draconis* (*Dracaena cochinchinensis*) in animal models[J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2013, 2013: 709865. DOI: 10.1155/2013/709865.
- 29 李丹, 惠瑞, 胡咏武, 等. 血竭提取物对成纤维细胞增殖及合成透明质酸的影响 [J]. 中华整形外科杂志, 2015, 31(1): 53–57. [Li D, Hui R, Hu YW, et al. Effects of extracts of dragon's blood on fibroblast proliferation and extracellular matrix

- hyaluronic acid[J]. Chinese Journal of Plastic Surgery, 2015, 31(1): 53–57.] DOI: [10.3760/cma.j.issn.1009-4598.2015.01.015](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1009-4598.2015.01.015).
- 30 He TC, Wang DW, Zheng SM, et al. Antifungal and wound healing promotive compounds from the resins of *Dracaena cochinchinensis*[J]. Fitoterapia, 2021, 151: 104904. DOI: [10.1016/j.fitote.2021.104904](https://doi.org/10.1016/j.fitote.2021.104904).
 - 31 Xiong Z, Huo M, Jia Y, et al. Dracorhodin perchlorate regulates the expression of inflammatory cytokines through the TLR4 pathway and improves skin wound healing in diabetic rats[J]. Evid Based Complement Alternat Med, 2022, 2022: 9050686. DOI: [10.1155/2022/9050686](https://doi.org/10.1155/2022/9050686).
 - 32 Liu X, Chen S, Zhang Y, et al. Modulation of dragon's blood on tetrodotoxin-resistant sodium currents in dorsal root ganglion neurons and identification of its material basis for efficacy[J]. Sci China C Life Sci, 2006, 49(3): 274–285. DOI: [10.1007/s11427-006-0274-4](https://doi.org/10.1007/s11427-006-0274-4).
 - 33 Wang ST, Chen S, Guo M, et al. Inhibitory effect of cochinchinenin B on capsaicin-activated responses in rat dorsal root ganglion neurons[J]. Brain Res, 2008, 1201: 34–40. DOI: [10.1016/j.brainres.2007.12.068](https://doi.org/10.1016/j.brainres.2007.12.068).
 - 34 Li YS, Wang JX, Jia MM, et al. Dragon's blood inhibits chronic inflammatory and neuropathic pain responses by blocking the synthesis and release of substance P in rats[J]. J Pharmacol Sci, 2012, 118(1): 43–54. DOI: [10.1254/jphs.11160fp](https://doi.org/10.1254/jphs.11160fp).
 - 35 Wan Y, Yu Y, Pan X, et al. Inhibition on acid-sensing ion channels and analgesic activities of flavonoids isolated from dragon's blood resin[J]. Phytother Res, 2019, 33(3): 718–727. DOI: [10.1002/ptr.6262](https://doi.org/10.1002/ptr.6262).
 - 36 Xu J, Liu J, Li Q, et al. Pterostilbene participates in TLR4-mediated inflammatory response and autophagy-dependent $\text{A}\beta_{1-42}$ endocytosis in Alzheimer's disease[J]. Phytomedicine, 2023, 119: 155011. DOI: [10.1016/j.phymed.2023.155011](https://doi.org/10.1016/j.phymed.2023.155011).
 - 37 Lin Y, Xiong W, Xiao S, et al. Pharmacoproteomics reveals the mechanism of Chinese dragon's blood in regulating the RSK/TSC2/mTOR/ribosome pathway in alleviation of DSS-induced acute ulcerative colitis[J]. J Ethnopharmacol, 2020, 263: 113221. DOI: [10.1016/j.jep.2020.113221](https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113221).
 - 38 Lin Y, Xiong W, Xiao S, et al. Pharmacoproteomics reveals the mechanism of Chinese dragon's blood in regulating the RSK/TSC2/mTOR/ribosome pathway in alleviation of DSS-induced acute ulcerative colitis[J]. J Ethnopharmacol, 2020, 263: 113221. DOI: [10.1016/j.jep.2020.113221](https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113221).
 - 39 王艳红, 叶明福, 刘帆. 血竭提取物对牙龈炎大鼠牙周组织修复及 TLR4/NF- κ B 信号通路的影响 [J]. 上海口腔医学, 2022, 31(6): 602–606. [Wang YH, Ye MF, Liu F. The effect of blood exhaustion extract on periodontal tissue repair and TLR4/NF- κ B signaling pathway in rats with gingivitis[J]. Shanghai Journal of Stomatology, 2022, 31(6): 602–606.] DOI: [10.19439/j.sjos.2022.06.007](https://doi.org/10.19439/j.sjos.2022.06.007).
 - 40 Liu Y, Mo L, Lu H, et al. Dragon blood resin ameliorates steroid-induced osteonecrosis of femoral head through osteoclastic pathways[J]. Front Cell Dev Biol, 2023, 11: 1202888. DOI: [10.1002/kjm2.12426](https://doi.org/10.1002/kjm2.12426).
 - 41 Zhu Y, Zhang P, Yu H, et al. Anti-*Helicobacter pylori* and thrombin inhibitory components from Chinese dragon's blood, *Dracaena cochinchinensis*[J]. J Nat Prod, 2007, 70(10): 1570–1577. DOI: [10.1021/np070260v](https://doi.org/10.1021/np070260v).
 - 42 Xin N, Li YJ, Li Y, et al. Dragon's Blood extract has antithrombotic properties, affecting platelet aggregation functions and anticoagulation activities[J]. J Ethnopharmacol, 2011, 135(2): 510–514. DOI: [10.1016/j.jep.2011.03.063](https://doi.org/10.1016/j.jep.2011.03.063).
 - 43 Hao HZ, He AD, Wang DC, et al. Antiplatelet activity of loureirin A by attenuating Akt phosphorylation: *in vitro* studies[J]. Eur J Pharmacol, 2015, 746: 63–69. DOI: [10.1016/j.ejphar.2014.10.059](https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2014.10.059).
 - 44 Jiang Y, Zhang G, Yan D, et al. Bioactivity-guided fractionation of the traditional Chinese medicine resina draconis reveals loureirin B as a PAI-1 inhibitor[J]. Evid Based Complement Alternat Med, 2017, 2017: 9425963. DOI: [10.1155/2017/9425963](https://doi.org/10.1155/2017/9425963).
 - 45 Liang J, Mei S, Qiao X, et al. A botanical medicine dragon's blood exhibited clinical antithrombosis efficacy similar to low molecular weight heparin[J]. Sci China Life Sci, 2021, 64(10): 1691–1701. DOI: [10.1007/s11427-020-1848-8](https://doi.org/10.1007/s11427-020-1848-8).
 - 46 Qi Y, Gu H, Song Y, et al. Metabolomics study of resina draconis on myocardial ischemia rats using ultraperformance liquid chromatography/quadrupole time-of-flight mass spectrometry combined with pattern recognition methods and metabolic pathway analysis[J]. Evid Based Complement Alternat Med, 2013, 2013: 438680. DOI: [10.1155/2013/438680](https://doi.org/10.1155/2013/438680).
 - 47 Su X, Xue H, Lou Y, et al. Investigation of the potential mechanism of compound dragon's blood capsule against myocardial ischemiabased on network pharmacology[J]. Comb Chem High Throughput Screen, 2024, 27(19): 2940–2950. DOI: [10.2174/0113862073264485240102064653](https://doi.org/10.2174/0113862073264485240102064653).
 - 48 Li C, Zhang Y, Wang Q, et al. Dragon's blood exerts cardio-protection against myocardial injury through PI3K-AKT-mTOR signaling pathway in acute myocardial infarction mice model[J]. J Ethnopharmacol, 2018, 227: 279–289. DOI: [10.1016/j.jep.2018.09.010](https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.09.010).
 - 49 Yang TR, Zhang T, Mu NH, et al. Resina draconis inhibits the endoplasmic-reticulum-induced apoptosis of myocardial cells via regulating miR-423-3p/ERK signaling pathway in a tree shrew myocardial ischemia-reperfusion model[J]. J Biosci, 2019, 44(2): 53. DOI: [10.1007/s12038-019-9872-8](https://doi.org/10.1007/s12038-019-9872-8).
 - 50 Zheng J, Liu B, Lun Q, et al. Longxuetongluo capsule inhibits atherosclerosis progression in high-fat diet-induced ApoE^{-/-} mice by improving endothelial dysfunction[J]. Atherosclerosis, 2016, 255: 156–163. DOI: [10.1016/j.atherosclerosis.2016.08.022](https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2016.08.022).
 - 51 Luo Y, Wang H, Zhao YX, et al. Cytotoxic and antibacterial flavonoids from dragon's blood of *Dracaena cambodiana*[J]. Planta Med, 2011, 77(18): 2053–2056. DOI: [10.1055/s-0031-1280086](https://doi.org/10.1055/s-0031-1280086).
 - 52 Zhu Y, Zhang P, Yu H, et al. Anti-*Helicobacter pylori* and thrombin inhibitory components from Chinese dragon's blood, *Dracaena cochinchinensis*[J]. J Nat Prod, 2007, 70(10): 1570–1577. DOI: [10.1021/np070260v](https://doi.org/10.1021/np070260v).
 - 53 Irani M, Abadi PG, Ahmadian-Attari MM, et al. *In vitro* and *in vivo* studies of dragon's blood plant (*D. Cinnabari*)-loaded

- electrospun chitosan/PCL nanofibers: cytotoxicity, antibacterial, and wound healing activities[J]. *Int J Biol Macromol*, 2024, 257(Pt 1): 128634. DOI: [10.1016/j.ijbiomac.2023.128634](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128634).
- 54 Wang H, Jiang HM, Li FX, et al. Flavonoids from artificially induced dragon's blood of *Dracaena cambodiana*[J]. *Fitoterapia*, 2017, 121: 1–5. DOI: [10.1016/j.fitote.2017.06.019](https://doi.org/10.1016/j.fitote.2017.06.019).
- 55 Zheng X, Chen L, Zeng W, et al. Antibacterial and anti-biofilm efficacy of chinese dragon's blood against staphylococcus aureus isolated from infected wounds[J]. *Front Microbiol*, 2021, 12: 672943. DOI: [10.3389/fmicb.2021.672943](https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.672943).
- 56 He TC, Wang DW, Zheng SM, et al. Antifungal and wound healing promotive compounds from the resins of *Dracaena cochinchinensis*[J]. *Fitoterapia*, 2021, 151: 104904. DOI: [10.1016/j.fitote.2021.104904](https://doi.org/10.1016/j.fitote.2021.104904).
- 57 Liu Y, Mi Y, Wang Y, et al. Loureirin C inhibits ferroptosis after cerebral ischemia reperfusion through regulation of the Nrf2 pathway in mice[J]. *Phytomedicine*, 2023, 113: 154729. DOI: [10.1016/j.phymed.2023.154729](https://doi.org/10.1016/j.phymed.2023.154729).
- 58 Ren J, Zhang X, Zhou L, et al. Comprehensive evaluation of dragon's blood in combination with borneol in ameliorating ischemic/reperfusion brain injury using RNA sequencing, metabolomics, and 16S rRNA sequencing[J]. *Front Pharmacol*, 2024, 15: 1372449. DOI: [10.3389/fphar.2024.1372449](https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1372449).
- 59 Jiang M, Su X, Liu J, et al. Systems pharmacology–dissection of the molecular mechanisms of dragon's blood in improving ischemic stroke prognosis[J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2020, 2020: 4858201. DOI: [10.1155/2020/4858201](https://doi.org/10.1155/2020/4858201).
- 60 Xu J, Liu J, Li Q, et al. Loureirin C ameliorates ischemia and reperfusion injury in rats by inhibiting the activation of the TLR4/NF- κ B pathway and promoting TLR4 degradation[J]. *Phytother Res*, 2022, 36(12): 4527–4541. DOI: [10.1002/ptr.7571](https://doi.org/10.1002/ptr.7571).
- 61 Xu P, Li S, Wu Q, et al. Loureirin C, from Chinese dragon's blood (*Dracaena cochinchinensis* S.C. Chen), is a novel selective estrogen receptor α modulator with anti-Alzheimer's disease effects[J]. *Fitoterapia*, 2023, 167: 105497. DOI: [10.1016/j.fitote.2023.105497](https://doi.org/10.1016/j.fitote.2023.105497).
- 62 Kunisawa K, Shan J, Lu Q, et al. Loureirin c and xanthoceraside attenuate depression-like behaviors and expression of interleukin-17 in the prefrontal cortex induced by chronic unpredictable mild stress in mice[J]. *Neurochem Res*, 2022, 47(9): 2880–2889. DOI: [10.1007/s11064-022-03692-z](https://doi.org/10.1007/s11064-022-03692-z).
- 63 Yang Y, Mouri A, Lu Q, et al. Loureirin c and xanthoceraside prevent abnormal behaviors associated with downregulation of brain derived neurotrophic factor and AKT/mTOR/CREB Signaling in the prefrontal cortex induced by chronic corticosterone exposure in mice[J]. *Neurochem Res*, 2022, 47(9): 2865–2879. DOI: [10.1007/s11064-022-03694-x](https://doi.org/10.1007/s11064-022-03694-x).
- 64 Xin N, Li YJ, Li X, et al. Dragon's blood may have radioprotective effects in radiation-induced rat brain injury[J]. *Radiat Res*, 2012, 178(1): 75–85. DOI: [10.1667/rr2739.1](https://doi.org/10.1667/rr2739.1).
- 65 Ran Y, Wang R, Hasan M, et al. Radioprotective effects of dragon's blood and its extracts on radiation-induced myelosuppressive mice[J]. *J Ethnopharmacol*, 2014, 154(3): 624–634. DOI: [10.1016/j.jep.2014.04.036](https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.04.036).
- 66 Ran Y, Wang R, Gao Q, et al. Dragon's blood and its extracts attenuate radiation-induced oxidative stress in mice[J]. *J Radiat Res*, 2014, 55(4): 699–706. DOI: [10.1093/jrr/rru013](https://doi.org/10.1093/jrr/rru013).
- 67 Ran Y, Xu B, Wang R, et al. Dragon's blood extracts reduce radiation-induced peripheral blood injury and protects human megakaryocyte cells from GM-CSF withdraw-induced apoptosis[J]. *Phys Med*, 2016, 32(1): 84–93. DOI: [10.1016/j.ejmp.2015.09.010](https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2015.09.010).
- 68 田颖颖, 杨爱琳, 陈孝男, 等. 龙血竭抗肿瘤作用研究进展[J]. *中国中药杂志*, 2021, 46(8): 2037–2044. [Tian YY, Yang AL, Chen XN, et al. Research progress on anti-tumor effect of Chinese dragon's blood[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2021, 46(8): 2037–2044. DOI: [10.19540/j.cnki.cjcm.20201215.601](https://doi.org/10.19540/j.cnki.cjcm.20201215.601).
- 69 Park MN, Jeon HW, Rahman MA, et al. Daemonorops draco blume induces apoptosis against acute myeloid leukemia cells via regulation of the miR-216b/c–Jun[J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 808174. DOI: [10.3389/fonc.2022.808174](https://doi.org/10.3389/fonc.2022.808174).
- 70 Chen X, Zhao Y, Yang A, et al. Chinese dragon's blood etoac extract inhibits liver cancer growth through downregulation of smad3[J]. *Front Pharmacol*, 2020, 11: 669. DOI: [10.3389/fphar.2020.00669](https://doi.org/10.3389/fphar.2020.00669).
- 71 Ouyang L, Li J, Chen X, et al. Chinese dragon's blood ethyl acetate extract suppresses gastric cancer progression through induction of apoptosis and autophagy mediated by activation of MAPK and downregulation of the mTOR–Beclin1 signalling cascade[J]. *Phytother Res*, 2023, 37(2): 689–701. DOI: [10.1002/ptr.7652](https://doi.org/10.1002/ptr.7652).
- 72 Hong Y, Sun X, Lu L. Loureirin B inhibits cervical cancer development by blocking pi3k/akt signaling pathway: network pharmacology analysis and experimental validation[J]. *Appl Biochem Biotechnol*, 2024, 196(12): 8587–8604. DOI: [10.1007/s12010-024-04975-7](https://doi.org/10.1007/s12010-024-04975-7).
- 73 Zhang J, Chang M, Wang X, et al. Pterostilbene targets the molecular oscillator ROR γ to restore circadian rhythm oscillation and protect against sleep restriction induced metabolic disorders[J]. *Phytomedicine*, 2024, 125: 155327. DOI: [10.1016/j.phymed.2023.155327](https://doi.org/10.1016/j.phymed.2023.155327).
- 74 Gu HJ, Lv JC, Yong KL, et al. Antidiabetic effect of an active fraction extracted from dragon's blood (*Dracaena cochinchinensis*)[J]. *J Enzyme Inhib Med Chem*, 2009, 24(1): 136–139. DOI: [10.1080/14756360801936399](https://doi.org/10.1080/14756360801936399).
- 75 Mothana RA, Arbab AH, ElGamal AA, et al. Isolation and characterization of two chalcone derivatives with anti-hepatitis B virus activity from the endemic socotraen *Dracaena cinnabari* (dragon's blood tree)[J]. *Molecules*, 2022, 27(3): 952. DOI: [10.3390/molecules27030952](https://doi.org/10.3390/molecules27030952).
- 76 Qi Y, Zheng J, Zi Y, et al. Loureirin C improves mitochondrial function by promoting Nrf2 nuclear translocation to attenuate oxidative damage caused by renal ischemia–reperfusion injury[J]. *Int Immunopharmacol*, 2024, 138: 112596. DOI: [10.1016/j.intimp.2024.112596](https://doi.org/10.1016/j.intimp.2024.112596).

收稿日期: 2025 年 05 月 12 日 修回日期: 2025 年 08 月 09 日
 本文编辑: 钟巧妮 李 阳