

【综述】

桑黄化学成分、药理活性研究进展及质量标志物（Q-Marker）预测

赵 鹏^{1,2}, 李彩霞¹, 左凡娇¹, 欧阳慧子¹, 毛浩萍^{1*}, 何 俊^{1*}

1. 天津中医药大学 组分中药国家重点实验室, 天津 301617

2. 现代中医药海河实验室, 天津 301617

摘 要: 桑黄是一种应用广泛的药用真菌。现代研究表明桑黄的化学成分主要为多糖、酚酸、黄酮、萜类、甾体等, 具有抗炎、抗肿瘤、镇静催眠、降血糖等多种药理作用。基于桑黄化学成分和药理作用的研究进展, 从物质功效关联性、有效性、特有性、可测性及传递性, 对桑黄质量标志物（Q-Marker）进行推测, 预测麦角甾醇、phellibaumin D 及包括桑黄素、花旗松素等在内的黄酮类成分可能为桑黄 Q-Marker 的候选成分。

关键词: 桑黄; 质量标志物; 黄酮; 酚类; 萜类; 麦角甾醇; phellibaumin D; 桑黄素; 花旗松素

中图分类号: R969.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-6376(2025)04-1002-14

DOI: 10.7501/j.issn.1674-6376.2025.04.023

Chemical components and pharmacological effects for *Phellinus igniarius* and predictive analysis on quality markers (Q-Marker)

ZHAO Peng^{1,2}, LI Caixia¹, ZUO Fanjiao¹, OUYANG Huizi¹, MAO Haoping¹, HE Jun¹

1. State Key Laboratory of Component-based Chinese Medicine, Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 301617, China

2. Haihe Laboratory of Modern Chinese Medicine, Tianjin 301617, China

Abstract: *Phellinus igniarius* (Sanghuang) is a widely used medicinal fungus. Modern research indicates that its chemical components primarily include polysaccharides, phenolic acids, flavonoids, terpenoids, steroids, and others, which exhibit diverse pharmacological activities such as anti-inflammatory, anti-tumor, sedative-hypnotic, and hypoglycemic effects. Based on advances in the study of its chemical composition and pharmacological properties, this paper evaluates potential quality markers (Q-Marker) for Sanghuang by analyzing substance-efficacy correlations, effectiveness, specificity, measurability, and transferability. It is hypothesized that ergosterol, phellibaumin D, and flavonoid constituents such as sanghuangin and taxifolin may serve as candidate Q-Marker for Sanghuang.

Key words: *Phellinus igniarius* (L. ex Fr.) Quél.; quality marker; flavonoid; phenol; terpenoid; ergosterol; phellibaumin D; sanghuangin; taxifolin

桑黄为多孔菌科植物针层孔 *Phellinus igniarius* (L. ex Fr.) Quél. 的子实体, 常寄生于桑树和杨树, 也有少部分寄生在松树和流苏树, 主要分布于我国吉林、云南、西藏等地。桑黄化学成分复杂, 主要含有多糖类、酚类、黄酮类和萜类等成分, 具有显著的抗氧化、抗衰老、抗肿瘤、抗炎和改善睡眠作

用。具有活血止血、健脾止泻、补益肝阳、助眠安神的功效^[1], 主要用于治疗血淋、经闭、脾虚泄泻、肝肾阴虚、失眠多梦等症。

自刘昌孝院士^[2]2016年提出了中药质量标志物（quality marker, Q-Marker）的概念后, 围绕物质功效关联性、有效性、特有性、可测性以及传递性五

收稿日期: 2024-09-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (82274091)

作者简介: 赵 鹏 (1998—), 男, 在读硕士研究生, 研究方向为中药分析。E-mail: zhaopeng980623@163.com

*通信作者: 毛浩萍 E-mail: maohaoping@tjutcm.edu.cn

何 俊 E-mail: hejun673@163.com

原则寻求能反映中药材质量和安全性的 Q-Marker 研究已经成为热点方向^[3]。本文对桑黄化学成分及药理活性相关研究进行综述,并基于已有研究数据对桑黄的 Q-Marker 进行预测,以期为桑黄质量控制体系的完善提供参考。

1 化学成分

1.1 黄酮类

研究人员已经从桑黄中分离鉴定出多种黄酮类化合物,包括樱花亭^[4]、柚皮素^[4]、桑皮酮 E^[5]、桑黄素 D^[5]、黄芩素^[5]、甲基桑黄黄酮 A^[6]、甲基桑黄黄酮 B^[6]、橙皮素^[6]、二氢茨非素^[6]、北美圣草素^[6]、7-甲基柚皮素^[6]、7-甲基圣草素^[6]、花旗松

素^[6]、桑黄黄酮 A^[7]、桑黄黄酮 B^[7]、紫柳素^[8]、柚皮素^[8]、二氢鼠李素^[8]、高车前素^[8]、香叶木素^[8]、杨梅素^[8]、香橙素^[9]、橙皮素^[9]、川陈皮素^[9]、桔皮素^[9]等。黄酮结构母核见图 1,化合物名称、分子式及取代基详情见表 1;二氢黄酮类成分结构母核见图 2,化合物名称、分子式及取代基详情见表 2。黄酮类成分在桑黄中含量较高,通过 NaNO₂-Al(NO₃)₃ 比色法和紫外比色法测定,桑黄醇提取物中总黄酮含量可达 20%。不同寄生宿主间桑黄黄酮成分存在显著差异,桑树桑黄的总黄酮含量最高及黄酮类化合物种类最丰富,其次为杨树桑黄,其他种类桑黄黄酮的含量和种类均相对较少^[10-12]。

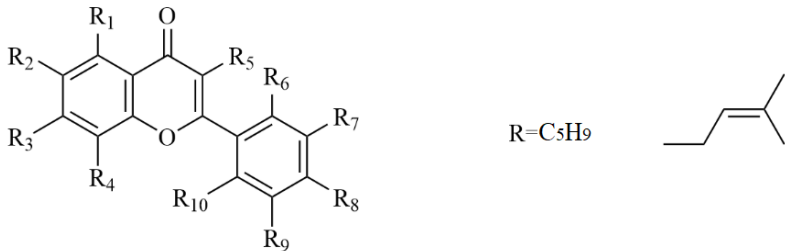


图 1 桑黄中黄酮结构母核及取代基结构
Fig. 1 Flavonoid core structure and substituent groups in *P. igniarius*

表 1 桑黄中的黄酮类成分
Table 1 Flavonoids in *P. igniarius*

名称	分子式	取代基									
		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉	R ₁₀
芫花素 ^[8]	C ₁₆ H ₁₂ O ₅	OH	H	OCH ₃	H	H	H	H	OH	H	H
芹菜素 ^[8]	C ₁₅ H ₁₀ O ₅	OH	H	OH	H	H	H	H	OH	H	H
黄芩素 ^[5]	C ₁₅ H ₁₀ O ₅	OH	OH	OH	H	H	H	H	H	H	H
金合欢素 ^[8]	C ₁₆ H ₁₂ O ₅	OH	H	OH	H	H	H	H	OCH ₃	H	H
高车前素 ^[8]	C ₁₆ H ₁₂ O ₆	OH	OCH ₃	OH	H	H	H	H	OH	H	H
香叶木素 ^[8]	C ₁₆ H ₁₂ O ₆	OH	H	OH	H	H	H	OCH ₃	OH	H	H
苜蓿素 ^[8]	C ₁₇ H ₁₄ O ₇	OH	H	OH	H	H	H	OCH ₃	OH	OCH ₃	H
樱黄素 ^[8]	C ₁₆ H ₁₂ O ₅	OH	H	OCH ₃	H	H	H	H	OCH ₃	H	H
桑黄酮 ^[9]	C ₂₅ H ₂₆ O ₆	OH	H	OH	C ₅ H ₉	C ₅ H ₉	OH	H	OH	H	H
川陈皮素 ^[9]	C ₂₁ H ₂₂ O ₈	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	H	H	OCH ₃	OCH ₃	H	H
鼠李素 ^[9]	C ₁₆ H ₁₂ O ₇	OH	H	OCH ₃	H	OH	H	H	OH	OH	H
槲皮素 ^[9]	C ₁₅ H ₁₀ O ₇	OH	H	OH	H	OH	H	H	OH	OH	H
山柰素 ^[8]	C ₁₆ H ₁₂ O ₆	OH	H	OH	H	OH	H	H	OCH ₃	H	H
山柰酚 ^[8]	C ₁₅ H ₁₀ O ₆	OH	H	OH	H	OH	H	H	OH	H	H
桑黄素 ^[8]	C ₁₅ H ₁₀ O ₇	OH	H	OH	H	OH	OH	H	OH	H	H
杨梅素 ^[8]	C ₁₅ H ₁₀ O ₈	OH	H	OH	H	OH	H	H	OH	OH	OH
桔皮素 ^[9]	C ₂₀ H ₂₀ O ₇	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	OCH ₃	H	H	H	OCH ₃	H	H

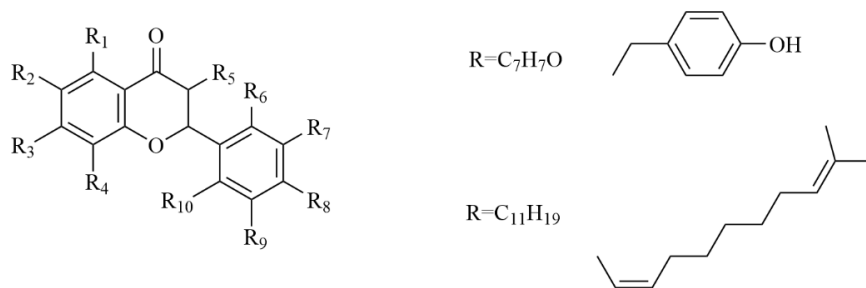


图 2 桑黄二氢黄酮结构母核及取代基结构
Fig. 2 Flavanone core structure and substituent groups in *P. igniarius*

表 2 桑黄中的二氢黄酮类成分
Table 2 Flavanone in *P. igniarius*

名称	分子式	取代基									
		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	R ₇	R ₈	R ₉	R ₁₀
樱花亭 ^[4]	C ₁₆ H ₁₄ O ₅	OH	H	OCH ₃	H	H	H	H	OH	H	H
北美圣草素 ^[6]	C ₁₅ H ₁₂ O ₆	OH	H	OH	H	H	H	H	OH	OH	H
柚皮素 ^[4]	C ₁₅ H ₁₂ O ₅	OH	H	OH	H	H	H	H	OH	H	H
7-甲氧基柚皮素 ^[6]	C ₁₆ H ₁₄ O ₅	OH	H	OCH ₃	H	H	H	H	OH	H	H
7-甲氧基圣草素 ^[6]	C ₁₆ H ₁₄ O ₆	OH	H	OCH ₃	H	H	H	H	OH	OH	H
异樱花亭 ^[9]	C ₁₆ H ₁₄ O ₅	OH	H	OH	H	H	H	H	OCH ₃	H	H
橙皮素 ^[9]	C ₁₆ H ₁₄ O ₆	OH	H	OH	H	H	H	H	OCH ₃	OH	H
isonaringin ^[8]	C ₂₇ H ₃₂ O ₁₄	OH	H	GLC-RHA	H	H	H	H	OH	H	H
草大戟素 ^[17]	C ₁₅ H ₁₂ O ₆	OH	H	OH	H	H	H	H	OH	H	OH
紫柳素 ^[16]	C ₁₅ H ₁₂ O ₅	H	H	OH	H	H	H	H	OH	OH	H
桑黄酮 E ^[9]	C ₂₅ H ₂₈ O ₆	OH	H	OH	H	H	OH	H	OH	C ₁₁ H ₁₉	H
短叶松素 ^[16]	C ₁₅ H ₁₂ O ₅	OH	H	OH	H	OH	H	H	H	H	H
二氢山奈酚 ^[14]	C ₁₅ H ₁₂ O ₆	OH	H	OH	H	OH	H	H	OH	H	H
花旗松素 ^[14]	C ₁₅ H ₁₂ O ₇	OH	H	OH	H	OH	H	H	OH	OH	H
phelligrin C ^[9]	C ₂₉ H ₂₄ O ₇	OH	C ₇ H ₇ O	OH	C ₇ H ₇ O	H	H	H	OH	H	H
phelligrin D ^[9]	C ₂₂ H ₁₈ O ₇	OH	C ₇ H ₇ O	OH	H	OH	H	H	OH	H	H
异甲基桑黄酮 A ^[14]	C ₂₃ H ₂₀ O ₆	OH	C ₇ H ₇ O	CH ₃ O	H	H	H	H	OH	H	H
甲基桑黄酮 A ^[14]	C ₂₃ H ₂₀ O ₆	OH	C ₇ H ₇ O	CH ₃ O	H	H	H	H	OH	H	H
桑黄酮 A ^[15]	C ₂₂ H ₁₈ O ₆	OH	C ₇ H ₈ O	OH	H	H	H	H	OH	H	H
甲基桑黄酮 B ^[14]	C ₂₃ H ₂₀ O ₆	OH	H	OCH ₃	C ₇ H ₇ O	H	H	H	OH	H	H
异甲基桑黄酮 B ^[14]	C ₂₃ H ₂₀ O ₆	OH	H	OCH ₃	C ₇ H ₇ O	H	H	H	OH	H	H
桑黄酮 B ^[15]	C ₂₂ H ₁₈ O ₆	OH	H	OH	C ₇ H ₇ O	H	H	H	OH	H	H
7-甲氧基二氢茨非素 ^[14]	C ₁₆ H ₁₄ O ₆	OH	H	OCH ₃	H	OH	H	H	OH	H	H
二氢茨非素 ^[8]	C ₁₅ H ₁₂ O ₆	OH	H	OH	H	OH	H	H	OH	H	H
二氢鼠李素 ^[14]	C ₁₆ H ₁₄ O ₇	OH	H	OCH ₃	H	OH	H	OH	OH	H	H

1.2 多糖类

多糖类成分是桑黄的主要化学组成，含量高达 30%^[13]。桑黄多糖主要由半乳糖、葡萄糖、阿拉伯糖、甘露糖和木糖构成，具有良好的抗肿瘤、抗炎、降血糖等药理作用。研究人员通过采用交换树脂、串联过柱、凝胶柱色谱等技术对桑黄粗多糖进行分

离纯化，推测出桑黄多糖多以葡萄糖、甘露糖和岩藻糖为主^[14]。其中，小分子多糖的单糖组成多为 β-D-半乳糖，大分子多糖的单糖组成多为 β-D-葡萄糖^[15]。此外，桑黄总多糖中的单糖配体按摩尔质量由大到小分别为葡萄糖、甘露糖、阿拉伯糖、半乳糖醛酸、岩藻糖、鼠李糖、木糖、葡萄糖醛酸、葡萄糖胺、

半乳糖胺、半乳糖^[16]。

1.3 酚类

酚类成分是桑黄的主要化学组成之一，具有抗炎、抗肿瘤等药理活性^[17]。目前研究人员从桑黄中分离得到了 hispidin^[18]、原儿茶酸^[4]、原儿茶醛^[4]、咖啡酸^[5]、丁香酸^[5]、桑黄素 H^[19]、桑黄素 L^[19]、meshimakobonl B^[19]、4-(3,4-二羟基苯基)-3-丁烯-2-酮^[20]等成分，见表 3。其中 hispidin 及其类似物是桑黄特征性酚类成分^[21]。hispidin 及桑黄中含苯并呋喃骨架的 hispidin 类化合物的结构见图 3。

1.4 萜类

研究表明萜类成分具有显著的抗炎、抗肿瘤等药理活性^[22-23]。桑黄提取物中三萜类成分含量达 12%^[24]，目前发现的三萜类成分主要包括 natalic^[5]、torulosic^[5]、lanosta-8，25-dien-3-ol^[25]、javeoic acid^[25]、phellinic acid^[25]、pomacerone^[26]、senexdiolic acid^[26]、albertic acid^[27]、igniarens A~D^[28]、 β -乳香酸^[4]、熊果酸^[5]、垂石松酸 A^[19]等。此外研究人员从桑黄中分离得到的二萜类成分主要包括 8, 11, 13-abietadien-18-oic acid^[29]、8, 14-labdadien-13-ol^[29]、6-abietanolide 等^[29]。桑黄中的萜类成分的结构见图 4，成分名称见表 4。

表 3 桑黄中的酚酸类成分

Table 3 Phenolic acids in *P. igniarius*

序号	名称	序号	名称
1	hispidin ^[7]	14	桑黄素 H ^[10]
2	没食子酸 ^[8]	15	桑黄素 L ^[10]
3	苯三甲酸 ^[8]	16	meshimakobonl B ^[10]
4	袂康酸 ^[8]	17	纤孔菌素 A ^[10]
5	柠檬酸 ^[8]	18	4-(3,4-二羟基苯基)-3-丁烯-2-酮 ^[11]
6	原儿茶酸 ^[8]	19	phellibaumin A ^[12]
7	原儿茶醛 ^[8]	20	phellibaumin B ^[12]
8	咖啡酸 ^[9]	21	phellibaumin C ^[12]
9	丁香酸 ^[9]	22	phellibaumin D ^[12]
10	2-甲氧基肉桂酸 ^[9]	23	phelligrindins A ^[14]
11	三棱酸 ^[9]	24	phelligrindins B ^[14]
12	芥酸 ^[9]	25	phelligrindins C ^[14]
13	异海松酸 ^[9]	26	phelligrindins D ^[14]

1.5 其他类

研究人员还从桑黄子实体中检测出了对羟基苯乙酸甲酯^[6]、邻羟基苯甲醛^[6]、麦角甾醇^[30]、麦角甾醇过氧化物^[30]、啤酒甾醇^[31]、 β -谷甾醇^[31]、蒲公英赛醇^[31]、齿孔酸^[32]、白桦脂酸^[32]、丁二酸^[32]等成分。

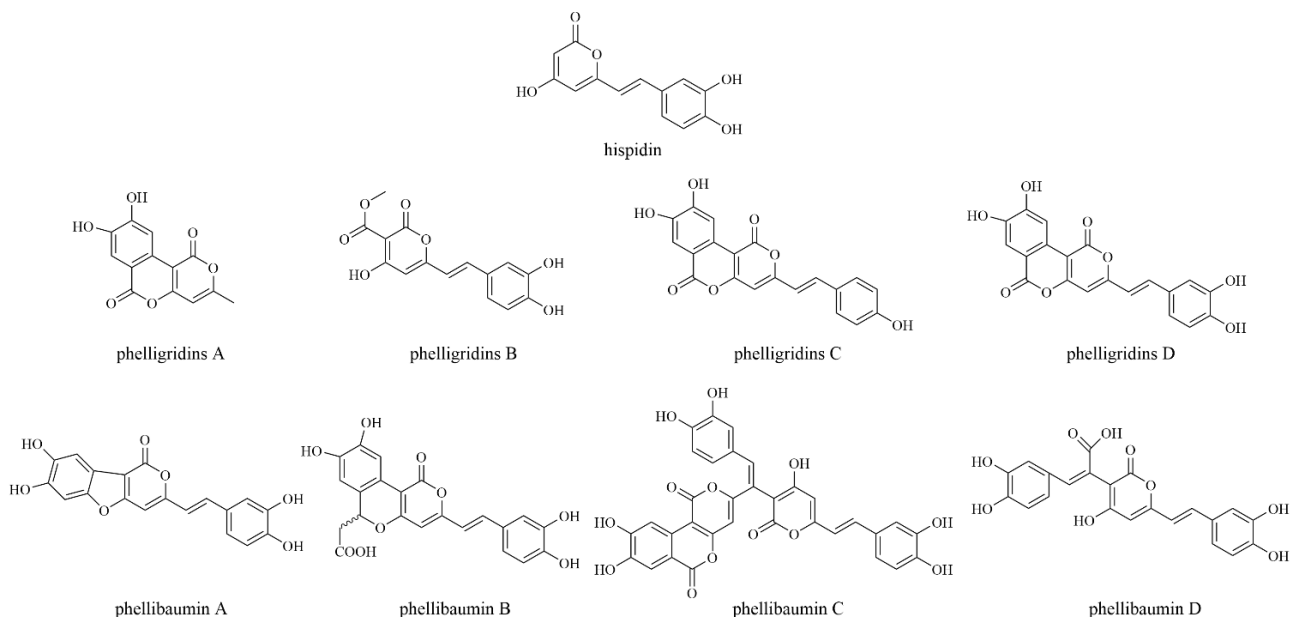


图 3 hispidin 及桑黄中含苯并呋喃骨架的 hispidin 类化合物的结构

Fig. 3 Structures of hispidin and hispidin derivatives containing benzofuran skeleton in *P. igniarius*

2 药理活性

2.1 抗肿瘤

桑黄在抗肿瘤方面具有显著疗效^[33]。现代研究

表明桑黄多糖可抑制肿瘤细胞增殖和迁移，促进肿瘤细胞凋亡。通过给予肝癌 H₂₂ 荷瘤小鼠低、中、高剂量（100、200、300 mg·kg⁻¹）的桑黄多糖水提

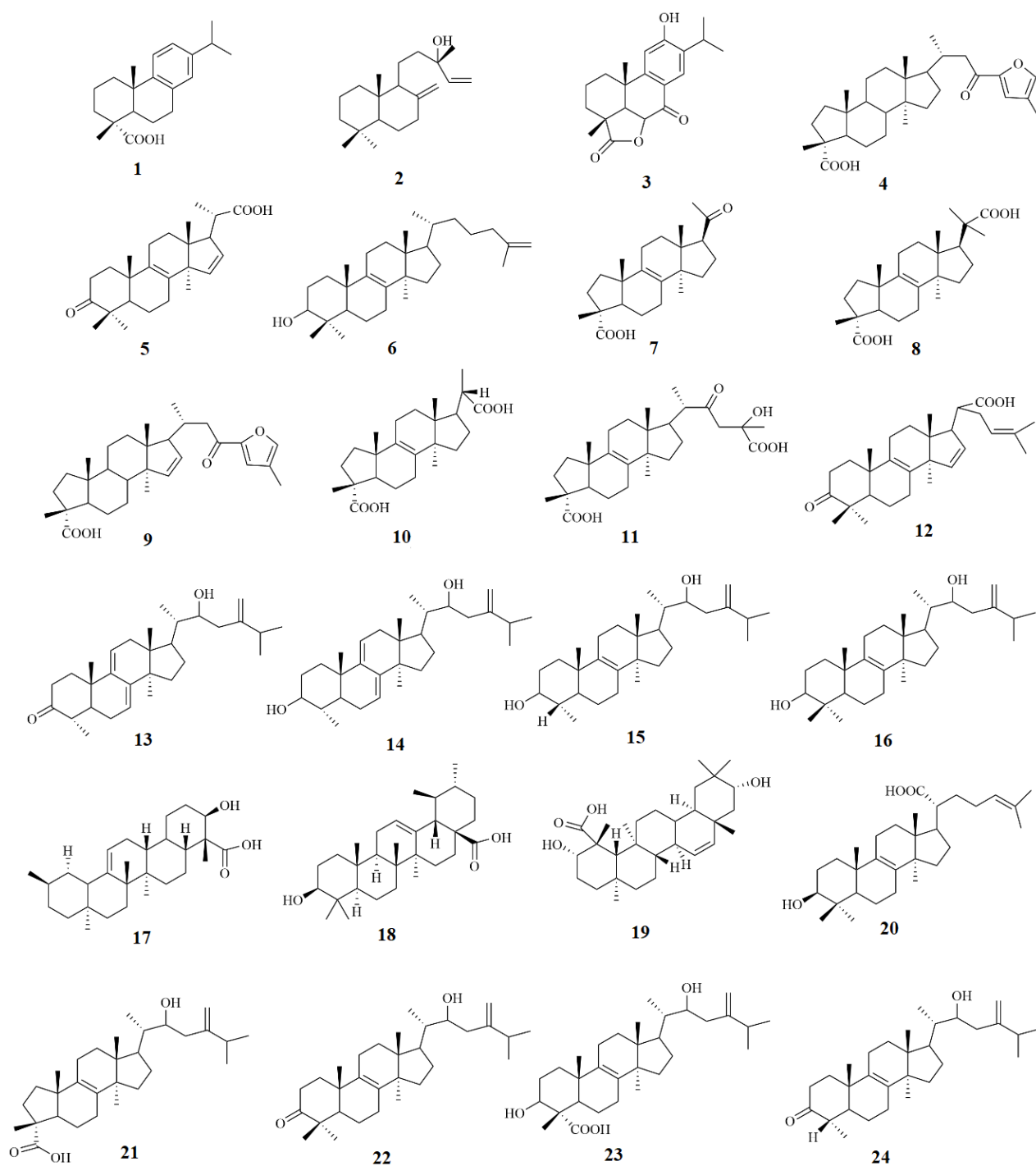


图 4 桑黄中的萜类成分的结构

Fig. 4 Structures of terpenoid components in *P. ignarius*

物,发现桑黄多糖能够提高白细胞介素-2(IL-2)、IL-6、肿瘤坏死因子- α (TNF- α) 水平,促进脾细胞中 T、B 淋巴细胞的增殖,从而改善免疫环境、减缓肿瘤细胞增殖速度、增强免疫应答进而发挥抗肿瘤作用^[34]。桑黄多糖可以降低人脐静脉细胞融合细胞(EA.hy926)中血管内皮生长因子

(VEGF) 的 mRNA 和蛋白表达,抑制 VEGF 受体-2 (VEGFR-2)、蛋白激酶 B (Akt) 和细胞外信号调节激酶 (ERK1/2) 的磷酸化,从而阻碍肿瘤血管的生成^[35]。研究人员采用 MTS 法检测发现超过 $50 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的桑黄总黄酮能对肝癌细胞 HepG2 的 DNA 合成期和合成后期(S+G₂)期

表 4 桑黄中的萜类成分
Table 4 Terpenoid components in *P. igniarius*

序号	名称	序号	名称
1	8,11,13-abietadien-18-oic acid ^[21]	13	igniarens A ^[25]
2	8,14-labdadien-13-ol ^[21]	14	igniarens B ^[25]
3	6-abietanolide ^[21]	15	igniarens C ^[25]
4	natalic ^[9]	16	igniarens D ^[25]
5	torulosic ^[9]	17	β-乳香酸 ^[8]
6	lanosta-8,25-dien-3-ol ^[22]	18	熊果酸 ^[9]
7	javeroic acid ^[22]	19	垂石松酸 A ^[10]
8	phellinic acid ^[22]	20	trarnetanolici acid ^[14]
9	pomacerone ^[23]	21	gilvsins A ^[14]
10	senexdiolic acid ^[23]	22	gilvsins B ^[14]
11	albertic acid ^[24]	23	gilvsins C ^[14]
12	pinicolic acid ^[14]	24	gilvsins D ^[14]

有阻滞作用,浓度相关性地抑制小鼠肝癌 HepG2 细胞增殖^[36]。在人结肠癌细胞株 HT-29、HCT116 和人肝癌细胞株 HepG2 中加入 12.5~800.00 μg·mL⁻¹ 桑黄粗酚提取液,采用 MTT 法检测肿瘤细胞增殖抑制率,结果显示桑黄酚类成分能不同程度地诱导肝癌细胞坏死和凋亡。同时,研究人员还发现桑黄粗酚提取液中的原儿茶酸、原儿茶醛、咖啡酸和丁香酸 4 种单体酚类成分具有相同作用,提示这 4 个化合物可能为桑黄的抗肿瘤活性成分^[37]。

2.2 保肝护肝

桑黄能够降低血清氨基酸的转移水平和血清中胶原成分的含量,从而抑制纤维组织的增生,实现对肝细胞的保护作用。研究通过对 CCl₄ 诱导的肝损伤大鼠进行预防,持续 ig 给予桑黄(5 g·kg⁻¹·d⁻¹) 4 周,与模型组相比,给药组大鼠丙氨酸氨基转移酶(ALT)、天冬氨酸氨基转移酶(AST)及 γ-谷氨酰转肽酶(γ-GT)活性显著下降,透明质酸(HA)、层黏蛋白(LN)Ⅲ型前胶原(PCⅢ)及总胆红素(TBIL)表达降低,胶原生成和沉积减少,表明桑黄具有显著的抗肝纤维化作用^[38]。通过对运动疲劳模型小鼠 ig 给予桑黄多糖水提物(100、200、400 mg·kg⁻¹)后发现,桑黄多糖能有效地上调肝脏中超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)的活性,显著降低肝脏和血清中丙二醛(MDA)含量,升高核因子 E2 相关因子 2(Nrf2)、血红素氧合酶 1

(HO-1) mRNA 表达水平,提示桑黄多糖可以通过激活肝脏 Nrf2 信号通路,减轻氧化损伤,降低炎症反应,从而对运动疲劳小鼠起到恢复作用,减轻小鼠的肝损伤^[39]。

2.3 抗炎

研究显示,在 3%葡聚糖硫酸钠(DSS)诱导的急性溃疡性结肠炎小鼠食物中添加桑黄水提物后,发现桑黄水提物可以显著恢复炎症小鼠的体质量和结肠长度,降低血小板数量和白细胞总数,下调血浆中炎症因子 IL-6、IL-1β 及 TNF-α 的表达,抑制巨噬细胞的炎症型激活,表明桑黄可以发挥抗结肠炎的作用^[40]。使用桑黄的不同极性部位对脂多糖(LPS)刺激的 RAW264.7 细胞模型进行干预,结果表明桑黄的水层、乙醇层、石油醚层、醋酸乙酯层以及正丁醇层提取物均能浓度相关性地抑制巨噬细胞中 TNF-α、IL-6 的 mRNA 的表达,并降低 NO 水平,进一步证实桑黄提取物的抗炎作用^[41-43]。

2.4 抗失眠

睡眠障碍现已逐步成为困扰现代人正常生活的问题之一,并且呈现年轻化发展。通常表现为长时间入睡困难、时间不足,同时伴随情绪不稳定、注意力不集中、反应迟钝等功能障碍^[44]。流行病学研究表明,睡眠剥夺会激活核因子-κB(NF-κB),并诱导循环炎症标志物水平升高,如 C-反应蛋白(CRP)、IL-6 和 TNF-α^[45]。桑黄提取物的抗炎作用可以简介缓解睡眠障碍,调节炎症可能会逆转睡眠

障碍,改善睡眠,并促进睡眠健康^[46-47]。通过手术给目标小鼠植入脑电图和肌电电极,连续记录睡眠-觉醒活动,确定不同的睡眠阶段(清醒、非快速眼动睡眠、快速眼动睡眠)。结果显示给予高剂量的桑黄提取物可以有效延长小鼠非快速眼动睡眠时间和快速眼动睡眠时间^[48]。除此之外,研究人员还发现桑黄提取物可以显著提高 ARE-荧光素酶活性,抑制 LPS 诱导的 RAW264.7 细胞中的 IL-6 的产生和 TNF- α 的释放^[49],进而通过发挥抗炎活性改善睡眠^[48]。

2.5 其他作用

除上述药理作用外,桑黄还能降血糖和降尿酸。如桑黄多酚(100 mg·kg⁻¹)能下调高脂饮食联合链脲佐菌素诱导的 2 型糖尿病(T2DM)模型小鼠血糖、口服葡萄糖耐量(OGTT)、糖耐量曲线下面积(AUC)、糖化血清蛋白(GSP)和胰岛素抵抗(HOMA-IRI)水平,并显著提高小鼠胰岛素(INS)和胰岛 β 细胞功能指数(HOMA- β)水平^[50]。桑黄多糖(25 mg·kg⁻¹)同样可以通过调节过氧化物酶体增殖物激活受体 γ (PPAR- γ)介导的脂类代谢,改善胰岛素的敏感度,达到降血糖的效果^[51]。研究人员使用氧嗪酸钾联合次黄嘌呤构建高尿酸血症小鼠模型,通过 ig 给予不同浓度桑黄酚类提取物(100、200 mg·kg⁻¹),发现桑黄多酚能够降低尿酸转运因子葡萄糖转运体 9(GLUT9)和尿酸盐转运蛋白 1(URATI)基因表达,上调有机阴离子转运蛋白 1(OATI)和 ATP 结合盒亚家族 G 成员 2(ABCG2)基因表达量,抑制尿酸的重吸收的同时促进血液中尿酸的排泄^[17]。

3 Q-Marker 预测

中药质量是中药产业发展的生命线,但由于中药材产地复杂、来源多样、加工方式不同等情况,使得中药材的质量差异悬殊,特别是特异性成分和有效成分的含量存在明显的差异^[52]。针对这一问题,刘昌孝院士于 2016 年提出了中药质量标志物的概念。Q-Marker 是中药材中固有的或者在制备加工中形成的、与中药的功能属性息息相关的一类物质,常用其反映中药的安全性和有效性^[53]。因此,通过查阅古典名方、文献等资料,对桑黄的 Q-Marker 进行预测,有利于建立桑黄质量控制体系和后续研究。

3.1 基于中医药理论“物质功效关联性”预测 Q-Marker

桑黄最早记载于秦汉时期的《神农本草经》:

“桑耳,黑者,治女子漏下赤白汁,血病,症瘕积聚,阴痛,阴阳寒热,无子”^[54]。《药性论》中对桑黄的描述为“桑黄,性甘辛,无毒,治女子崩中帶下,月闭血凝,产后血凝”。研究人员基于中药性味可拆分性和可组合性的中药性味理论研究,发现桑黄黄酮具有降血糖、保肝护肝、活血化瘀的作用,并基于“一药 X 味 Y 性(Y $\leq$ X)”的中药性味理论假说,可将其归属为甘辛味,与桑黄性味一致^[55]。通过给予由盐酸肾上腺素和冰水侵入所诱导的寒凝血瘀证模型鼠一定量的桑黄水提物,发现给药低剂量组(5.2 g·kg⁻¹)和高剂量组(7.8 g·kg⁻¹)均有效降低了大鼠血浆黏度和全血黏度,且效果呈现剂量相关性,并利用液相技术识别鉴定出包括 phellibaumin D、桑黄素等在内的与血浆黏度相关的 11 种酚类和黄酮类成分^[56]。调查研究发现,黄酮类成分在活血化瘀药中发挥着重要作用^[57-59]。从中药不同组分治疗血瘀的效果分析得出,由于结构稳定、疗效确切等优势,黄酮类成分在治疗血瘀证上具有较高的临床价值^[60]。故基于中医药理论“物质功效关联性”,黄酮类成分可当作桑黄 Q-Marker 的候选物。

3.2 基于“物质有效性”预测 Q-Marker

研究证明,多数黄酮类化合物具有扩张血管、抗氧化、抗炎等药理作用,而桑黄是少有的含有黄酮类化合物的药用真菌。研究人员通过黄酮与多糖成分在体内外药效对比,总结出桑黄中的黄酮类成分具有显著的抗氧化活性和降血脂能力^[61]。学者通过进行桑黄治疗大鼠肝纤维化实验发现桑黄黄酮可以诱导提高 SOD 活性,发挥抗脂质过氧化的作用^[62]。此外,对桑黄黄酮进行的抗氧化活性测定和体外降脂活性实验,研究结果显示桑黄黄酮具有良好的抗氧化能力和降脂活性^[63]。故基于“物质有效性”原则,桑黄素、花旗松素、香橙素等黄酮类成分有望成为桑黄潜在的 Q-Marker。

3.3 基于“物质特有性”预测 Q-Marker

锈革孔菌科是高等担子菌的重要类群,目前我国已发现该科真菌超 228 种,数量位居世界第一^[64]。锈革孔菌科生物的化学组成一般为多糖、酚类、甾醇等,在锈革孔菌科中桑黄是为数不多的同时含酚类和黄酮类成分的真菌之一。吡喃酮类化合物是锈革孔菌科真菌常见的多酚类色素,近年来国内外对桑黄吡喃酮类化合物研究较多,发现了许多桑黄所

特有的含有苯乙烯基吡喃酮骨架的化合物。研究人员分离纯化桑黄提取物时,发现了 4 个新型苯乙烯基吡喃酮类化合物,通过结构鉴定,命名为 phellibaumin (A~D)^[6]。同样,其他学者在粗毛纤维菌中也分离鉴定出了 phellibaumin A、phellibaumin C 和 phellibaumin D^[65]。故基于“物质特有性”,桑黄中的 phellibaumin C、phellibaumin D 等苯乙烯基吡喃酮类化合物有成为桑黄 Q-Marker 的潜力。

3.4 基于“物质可测性”预测 Q-Marker

Q-Marker 应具备易于检测且成分性质稳定的特点,同时应具有完善可行的含量测定方法。《山东省中药材标准》中规定:“桑黄本品按干燥品计算,含麦角甾醇不得少于 0.15%”。经调查发现,麦角甾醇经常作为药用真菌含量测定的指标性成分,如松茸^[66]、灵芝^[67]、冬虫夏草^[68]等。目前麦角甾醇的提取工艺逐渐成熟,并且具有性质稳定、易获得、成本低等特点。研究人员还以 phellibaumin D 为指标性成分,建立了 phellibaumin D 含量测定方法^[65]。故基于“物质可测性”,麦角甾醇、phellibaumin D 可作为桑黄 Q-Marker 的参考选择。

3.5 基于“物质传递性”预测 Q-Marker

现阶段中药质量良莠不齐,除去产地和种类影响,炮制方式和加工手段也是影响中药质量的主要原因。中药经加工、炮制、制剂、体内吸收等过程,使得其在到达靶部位前的化学组成发生很大变化,而理想的 Q-Marker 应满足加工过程质量传递和质量溯源的控制体系。目前桑黄体内过程研究较少,主要围绕其单体化合物进行考察,如麦角甾醇^[69]、花旗松素^[70]、桑黄素^[71]等,其入血后均能迅速且稳定的发挥药效作用。现代研究表明桑黄在临床剂量下并无不良反应^[72],《中国药典》和各地中药饮片炮制规范也并未明确指定桑黄的炮制方法。因桑黄药材味微辛,故可以通过尝试蜜炙或炒制等方式改善口感或增大药效,研究人员通过炼制蜂蜜,测定出包括桑黄素在内的黄酮类成分含量在炼制后均有不同程度的增加^[73]。研究发现,桑黄素内拥有完整的大 Π 键,结构相对稳定^[74],同时可以作为金属离子良好的配合物,络合物的形成对微量金属的吸收和转运都有着重要的作用,还可以提高桑黄素自身的生物活性^[75]。故基于“物质传递性”,麦角甾醇、桑黄素及花旗松素可作为桑黄 Q-Marker 的

参考选择。

3.6 初步预测候选 Q-Marker

Q-Marker 的提出能够密切中药有效性-物质基础-质量控制标志性成分的关联度,且其研究和确立应基于功效关联、有效、特有、可测和传递的五原则,既应能够反映功效成分与病症的关联关系,又应可以体现中药成分的有效性、差异性和专属性特征。实验室前期结合高扬等^[76]对桑黄子实体的主要活性成分含量的研究和冯佳亮等^[77]对桑黄中酚酸类成分的研究,并参照李南臻等^[78]、周爱芹等^[79]建立了一种利用 HPLC 同时测定桑黄提取物中包括麦角甾醇、桑黄素和花旗松素等在内的 14 种成分含量的分析方法,为上述桑黄 Q-Marker 的部分候选成分可测性进行了初步实验验证。但由于现阶段桑黄有效成分及成分体内代谢转化过程等研究相对匮乏,对桑黄 Q-Marker 候选成分的有效性和传递性还需要后期经过相关实验去验证。目前只能依照前期已有的研究与报道,推测麦角甾醇、phellibaumin D 及包括桑黄素、花旗松素等在内的黄酮类成分可能为桑黄 Q-Marker 的候选成分。桑黄化学成分、药理作用及 Q-Marker 预测关联关系见图 5。

4 结语与展望

桑黄用药历史悠久,素有“森林黄金”之称。其具有抗炎、抗肿瘤、镇静催眠等多种药理作用。现阶段对桑黄化学成分和药理作用的研究多集中在多糖层面,黄酮类、酚酸、吡喃酮类等成分虽有提取、分离、纯化等相关研究,但对应的药理作用方面研究相对较少,仅对其有效性进行评价研究,具体作用机制研究相对不足。同时,桑黄作为少量含有黄酮类成分的药用真菌之一,其黄酮类成分正逐步成为研究热点,后续可通过分子对接、网络药理学、代谢组学等,结合传统药理学研究方法对其作用机制进行深入研究探讨。此外,经调查发现桑黄中不同化学成分在体内的吸收代谢、相互作用等药动学研究相对匮乏,需要进一步加强对桑黄入血成分、代谢成分等的研究,为建立桑黄质量评价和控制体系奠定坚实的基础。

本文主要在综述桑黄化学成分和药理作用的基础上,结合物质“功效关联性”“有效性”“特有性”“可测性”“传递性”质量标志物选取五原则,对桑黄的 Q-Marker 进行推测。随着对桑黄化学

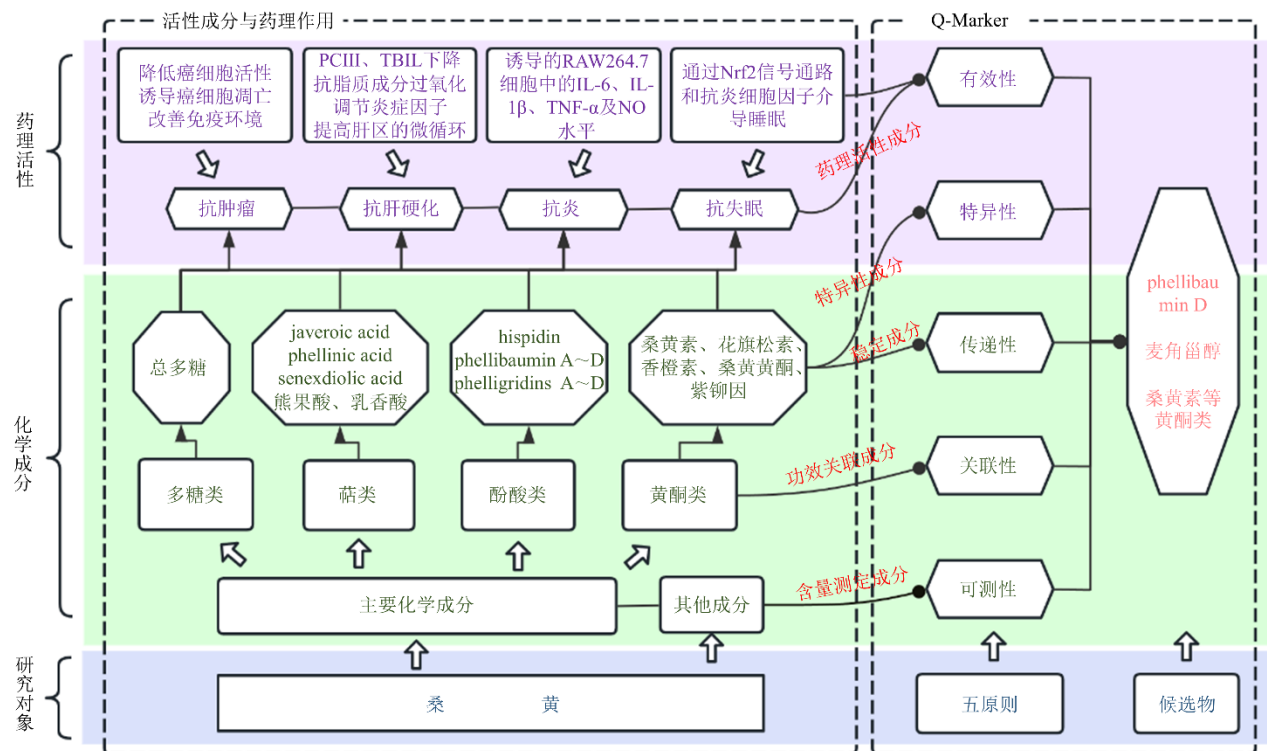


图 5 桑黄化学成分、药理作用及 Q-Marker 预测关联图

Fig. 5 Correlation diagram of chemical components, pharmacological effects, and Q-Marker prediction in *P. igniarius*

成分及相关作用机制的研究,会有更多的活性成分被发现确认,这将对桑黄的 Q-Marker 选择、临床应用和产业发展具有重要意义。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 戴玉成. 中国食药真菌研究发展的新趋势: 以《菌物学报》2000—2021 年发表论文分析 [J]. 菌物研究, 2022, 20(2): 141-156.
Dai Y C. New trend of edible and medicinal fungi research in China: Based on publications in mycosystema during 2020-2021 [J]. J Fungal Res, 2022, 20(2): 141-156.
- [2] 刘昌孝, 陈士林, 肖小河, 等. 中药质量标志物(Q-Marker): 中药产品质量控制的新概念 [J]. 中草药, 2016, 47(9): 1443-1457.
Liu C X, Chen S L, Xiao X H, et al. A new concept on quality marker of Chinese materia medica: Quality control for Chinese medicinal products [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2016, 47(9): 1443-1457.
- [3] 张铁军, 白钢, 陈常青, 等. 基于“五原则”的复方中药质量标志物(Q-marker)研究路径 [J]. 中草药, 2018, 49(1): 1-13.
Zhang T J, Bai G, Chen C Q, et al. Research approaches of

quality marker (Q-marker) of Chinese materia Medica formula based on “five principles” [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2018, 49(1): 1-13.

- [4] 咎立峰, 范宇光, 包海鹰, 等. 基于 UPLC-QTOF-MS 技术分析野生与栽培杨树桑黄的化学成分 [J]. 天然产物研究与开发, 2021, 33(11): 1818-1828, 1886.
Zan L F, Fan Y G, Bao H Y, et al. Characterization of chemical compositions from the wild and cultivated *Sanghuangporus vaninii* based on UPLC-QTOF-MS [J]. Nat Prod Res Dev, 2021, 33(11): 1818-1828, 1886.
- [5] 赵天一, 王振洲, 张楠淇, 等. UPLC-Q-TOFMSE 技术结合 UNIFI 数据库快速分析桑黄化学成分 [J]. 特产研究, 2018, 40(1): 20-25.
Zhao T Y, Wang Z Z, Zhang N Q, et al. Rapid identification on chemical constituents of *Phellinus igniarius* by UPLC-Q-TOF-MSE combined with UNIFI platform [J]. Spec Wild Econ Anim Plant Res, 2018, 40(1): 20-25.
- [6] 吴长生. 药用真菌桑黄化学成分的研究 [D]. 济南: 山东大学, 2011.
Wu C S. Chemical components of the medicinal fungus *Phellinus Baumii* [D]. Jinan: Shandong University, 2011.
- [7] 莫顺燕, 杨永春, 石建功. 桑黄黄酮 A 和 B 的分离与合成 [J]. 化学学报, 2003, 61(7): 1161-1163.
Mo S Y, Yang Y C, Shi J G. Isolation and synthesis of

- phelligrins A and B [J]. Acta Chim Sin, 2003, 61(7): 1161-1163.
- [8] 朱姝枚. 忍冬桑黄发酵产黄酮类化合物的研究 [D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2022.
- Zhu S M. Study on flavonoids production from *Lonicera japonica* and *Phellinus igniarius* by fermentation [D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2022.
- [9] 郭晓莹. 杨树桑黄代谢组学分析及其黄酮类化合物的研究 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2023.
- Guo X Y. Metabonomics analysis of *Phellinus igniarius* and study on its flavonoids [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2023.
- [10] 刘艳芳, 杨焱, 贾薇, 等. 药用真菌桑黄总黄酮测定方法研究 [J]. 食用菌学报, 2006, 13(2): 45-48.
- Liu Y F, Yang Y, Jia W, et al. Study on determination method of total flavonoids from medicinal fungus *Phellinus igniarius* [J]. Acta Edulis Fungi, 2006, 13(2): 45-48.
- [11] 齐欣, 张峻, 陈颖, 等. 六种不同树种桑黄有效成分的比较 [J]. 食品科学, 2010, 31(6): 199-201.
- Qi X, Zhang J, Chen Y, et al. Comparative analysis of bioactive components in fruit bodies of *Phellinus linteus* growing on six species of trees [J]. Food Sci, 2010, 31(6): 199-201.
- 伞迦楠. 长白山三种桑黄比较研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2020.
- San J N. Comparative study on three kinds of *Sanghuangporus* in Changbai Mountain [D]. Changchun: Jilin University, 2020.
- [12] 刘梦凡, 殷朝敏, 范秀芝, 等. 三种杨树桑黄活性物质的制备及其生物活性的比较 [A] // 第十二届药用真菌学术研讨会论文集 [C]. 福州: 中国食用菌协会、中国食用菌协会药用真菌委员会, 2023.
- Liu M F, Yin C M, Fan X Z, et al. Preparation and comparative study on biological activities of active substances from three strains of *Phellinus igniarius* (Yangshu Sanghuang) [A]. // Proceedings of the 12th academic symposium on medicinal fungi [C]. Fuzhou: China Edible Fungus Association, Medicinal Fungi Committee, 2023.
- [13] 贾建波, 季彩宏. 桑黄多糖高产菌株产糖营养条件优化 [J]. 食品科技, 2006, 31(10): 31-37.
- Jia J B, Ji C H. Optimization of culture medium and conditions for polysaccharide production by *Phellinus igniarius* [J]. Food Sci Technol, 2006, 31(10): 31-37.
- [14] 葛青, 毛建卫, 张安强, 等. 桑黄子实体多糖的分离纯化及结构鉴定 [J]. 食品科技, 2013, 38(3): 168-171, 175.
- Ge Q, Mao J W, Zhang A Q, et al. Isolation, purification and structural elucidation of polysaccharide from the fruiting bodies of *Phellinus baumii* Pilát [J]. Food Sci Technol, 2013, 38(3): 168-171, 175.
- [15] 万茜淋, 吴新民, 杨雪, 等. 桑黄孔菌属的化学成分及药理作用研究进展 [J]. 菌物研究, 2022, 20(1): 65-71.
- Wan X L, Wu X M, Yang X, et al. Research progress on chemical constituents and pharmacological activity of *Sanghuangporus* [J]. J Fungal Res, 2022, 20(1): 65-71.
- [16] 殷朝敏, 李雨虹, 范秀芝, 等. 杨树桑黄酚类物质的提取、鉴定及其降尿酸功能机制解 [A] // 第十二届药用真菌学术研讨会论文集 [C]. 福州: 中国食用菌协会、中国食用菌协会药用真菌委员会, 2023.
- Yin C M, Li Y H, Fan X Z, et al. Extraction, identification, and hypouricemic mechanism of phenolic compounds from *Sanghuangporus vaninii* (Yangshu Sanghuang) [A]. // Proceedings of the 12th academic symposium on medicinal fungi [C]. Fuzhou: China Edible Fungus Association, Medicinal Fungi Committee, 2023.
- [17] 莫顺燕, 杨永春, 石建功. 桑黄化学成分研究 [J]. 中草药, 2004, 35(10): 1095-1097.
- Mo S Y, Yang Y C, Shi J G. Studies on chemical constituents of *Phellinus igniarius* [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2004, 35(10): 1095-1097.
- [18] 吕国英, 宋婷婷, 蔡为明, 等. 野生桑树桑黄和杨树桑黄化学成分及抗氧化活性比较 [J]. 菌物学报, 2021, 40(7): 1833-1843.
- Lv G Y, Song T T, Cai W M, et al. Comparative study of chemical components and antioxidant Sanghuang and *Sanghuangporus vaninii* [J]. Mycosystema, 2021, 40(7): 1833-1843.
- [19] 韩东岐, 吴海涛, 王铁杰, 等. 桑黄纤孔菌发酵液化学成分的研究 [J]. 中成药, 2018, 40(1): 126-129.
- Han D Q, Wu H T, Wang T J, et al. Chemical constituents from *Inonotus sanghuang* fermentation broth [J]. Chin Tradit Pat Med, 2018, 40(1): 126-129.
- [20] Huang S C, Kuo P C, Hung H Y, et al. Ionone derivatives from the Mycelium of *Phellinus linteus* and the inhibitory effect on activated rat hepatic stellate cells [J]. Int J Mol Sci, 2016, 17(5): 681.
- [21] 郭彤. 桑树桑黄总三萜成分的提取、分离纯化及抗肿瘤活性研究 [D]. 贵州: 贵州中医药大学, 2023.
- Guo T. Extraction, separation, purification, and antitumor activity of total triterpenes from *Sanghuangporus sanghuang* (Yangshu Sanghuang) [D]. Guizhou: Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, 2023.
- [22] 李君梅, 徐红艳, 刘笑笑, 等. 桑黄活性成分及其功能

- 研究现状 [J]. 四川蚕业, 2022, 50(3): 37-39.
- Li J M, Xu H Y, Liu X X, et al. Research advances on active components and pharmacological functions of *Sanghuangporus sanghuang* [J]. Sichuan Sericul, 2022, 50(3): 37-39.
- [23] 何策, 王超, 陈纯, 等. 桑树桑黄总三萜提取工艺优化及其降血脂、抗氧化活性研究 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(7): 208-215.
- He C, Wang C, Chen C, et al. Optimization of extraction technology of total triterpenoids from *Inonotus sanghuang* and their hypolipidemic and antioxidant activities [J]. Sci Technol Food Ind, 2021, 42(7): 208-215.
- [24] Thanh N T, Tuan N N, Kuo P C, et al. Chemical constituents from the fruiting bodies of *Phellinus igniarius* [J]. Nat Prod Res, 2018, 32(20): 2392-2397.
- [25] Jiang Z, Jin M, Zhou W, et al. Anti-inflammatory activity of chemical constituents isolated from the willow bracket medicinal mushroom *Phellinus igniarius* (Agaricomycetes) [J]. Int J Med Mushrooms, 2018, 20(2): 119-128.
- [26] Liu H K, Tsai T H, Chang T T, et al. Lanostane-triterpenoids from the fungus *Phellinus gilvus* [J]. Phytochemistry, 2009, 70(4): 558-563.
- [27] Wang G J, Tsai T H, Chang T T, et al. Lanostanes from *Phellinus igniarius* and their iNOS inhibitory activities [J]. Planta Med, 2009, 75(15): 1602-1607.
- [28] 何坚, 冯孝章. 桦褐孔菌化学成分的研究 [J]. 中草药, 2001, 32(1): 4-6.
- He J, Feng X Z. Studies on chemical constituents of *Fuscoporia obliqua* [J]. Acupunct Res, 2001, 32(1): 4-6.
- [29] 何坚, 冯孝章. 桦褐孔菌化学成分的研究 [J]. 中草药, 2001, 32(1): 4-6.
- He J, Feng X Z. Studies on chemical constituents of *Fuscoporia obliqua* [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2001, 32(1): 4-6.
- [30] 李帅帅. 桑黄的化学成分及其抗炎活性研究 [D]. 延吉: 延边大学, 2018.
- Li S S. Study on chemical constituents from *Phellinus igniarius* (L. ex Fr.) Quél. and their antiinflammatory activities [D]. Yanji: Yanbian University, 2018.
- [31] 闫国卿. 中药桑黄和鼠妇化学成分研究 [D]. 合肥: 安徽大学, 2014.
- Yan G Q. Study on chemical constituents from *Phellinus igniarius* and *Armadillidium* [D]. Hefei: Anhui University, 2014.
- [32] 杨树东, 包海鹰, 王辉. 粗毛纤孔菌的化学成分及抗肿瘤活性成分 [J]. 菌物学报, 2019, 38(1): 127-133.
- Yang S D, Bao H Y, Wang H. Chemical components and anti-tumour compounds from *Inonotus hispidus* [J]. Mycosystema, 2019, 38(1): 127-133.
- [33] 许康, 白丽. 中药及中药提取物抗肿瘤研究进展 [J]. 中华中医药学刊, 2022, 40(10): 54-59.
- Xu K, Bai L. Research progress on anti-tumor effects of traditional Chinese medicine and its extracts [J]. Chin Arch Tradit Chin Med, 2022, 40(10): 54-59.
- [34] 李东东, 刘海燕, 宿抱玉, 等. 桑黄多糖对肿瘤微环境影响的研究 [J]. 泰山医学院学报, 2020, 41(4): 318-320.
- Li D D, Liu H Y, Su B Y, et al. Effect of *Phellinus igniarius* polysaccharide on tumor microenvironment [J]. J Taishan Med Coll, 2020, 41(4): 318-320.
- [35] 刘谟浩, 曾建红. 桑黄化学成分及其抗肿瘤作用机制研究进展 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2023, 29(8): 275-282.
- Liu M H, Zeng J H. Chemical components of *Phellinus* and antitumor mechanism: A review [J]. Chin J Exp Tradit Med Form, 2023, 29(8): 275-282.
- [36] 黄罗丹, 安春艳, 刘德阳, 等. 液体发酵桑黄总黄酮对抗肿瘤活性及细胞周期的影响 [J]. 山东理工大学学报(自然科学版), 2019, 33(2): 65-68, 73.
- Huang L D, An C Y, Liu D Y, et al. Effects of liquid fermented flavonoids of *Phellinus igniarius* on antitumor activity and cell cycle [J]. J Shandong Univ Technol Nat Sci Ed, 2019, 33(2): 65-68, 73.
- [37] 李有贵, 钟石, 计东风. 野生与人工栽培桑黄子实体中的粗多糖和粗酚含量及药用活性比较 [J]. 蚕业科学, 2016, 42(5): 883-891.
- Li Y G, Zhong S, Ji D F. A comparison on contents and medicinal activities of crude polysaccharides and crude polyphenols between wild and cultivated fruit bodies of *Phellinus* spp [J]. Sci Seric, 2016, 42(5): 883-891.
- [38] 张万国, 胡晋红, 蔡漆, 等. 桑黄抗大鼠肝纤维化与抗脂质过氧化 [J]. 中成药, 2002, 24(4): 281-283.
- Zhang W G, Hu J H, Cai Z, et al. Anti-hepatic fibrosis and anti-lipid peroxidation effects of *Phellinus igniarius* on rat liver [J]. Chin Tradit Pat Med, 2002, 24(4): 281-283.
- [39] 张万国, 胡晋红, 蔡漆, 等. 桑黄抗大鼠肝纤维化与抗脂质过氧化 [J]. 中成药, 2002, 24(4): 281-283.
- Zhang W G, Hu J H, Cai Q, et al. Anti-hepatic fibrosis and anti-lipid peroxidation effects of *Phellinus igniarius* on rat liver [J]. Chin Tradit Pat Med, 2002, 24(4): 281-283.
- [40] 李昆展, 王颖, 郑佳, 等. 基于 Nrf2 信号通路探析桑黄多糖对运动疲劳小鼠肝损伤的保护作用 [J]. 现代食品科技, 2024, 40(6): 20-28.
- Li K Z, Wang Y, Zheng J, et al. Exploring protective effect of *Phellinus linteus* polysaccharides on liver injury in

- exercise fatigue mice based on Nrf2 signaling pathway [J]. Mod Food Sci Technol, 2024, 40(6): 20-28.
- [41] 吴怀民, 钟石, 霍进喜, 等. 桑黄水提物对小鼠急性溃疡性结肠炎的防治效果及作用机制 [J]. 蚕业科学, 2021, 47(3): 247-254.
- Wu H M, Zhong S, Huo J X, et al. Prevention effect of Sanghuang aqueous extract on acute ulcerative colitis in mice and its underlying mechanism [J]. Acta Sericol Sin, 2021, 47(3): 247-254.
- [42] 马军成, 魏娟茹, 王雪茹, 等. 桑黄提取物抗炎和抗新冠病毒作用研究 [J]. 菌物学报, 2024, 43(1): 93-105.
- Ma J C, Wei J R, Wang X R, et al. Extracts of *Sanghuangporus vaninii* inhibit SARS-CoV-2 and inflammation [J]. Mycosystema, 2024, 43(1): 93-105.
- [43] 马军成. 百蕊草提取物及其复合物抗新冠病毒和抗炎作用研究 [D]. 合肥: 安徽医科大学, 2023.
- Ma J C. Study on anti-covid-19 and anti-inflammatory effects of thyme extract and its complex [D]. Hefei: Anhui Medical University, 2023.
- [44] 刘利娜, 王仁中, 吴丝雨, 等. 两种桑黄多糖的结构分析及其抗炎活性研究 [J]. 安徽中医药大学学报, 2024, 43(1): 107-112.
- Liu L N, Wang R Z, Wu S Y, et al. Structure and anti-inflammatory activity of two *Sanghuangporus vaninii* polysaccharides [J]. J Anhui Univ Chin Med, 2024, 43(1): 107-112.
- [45] 拜晓伟, 李彤彤, 唐李, 等. 睡眠障碍与糖尿病的研究进展 [J]. 华西医学, 2024, 39(1): 140-146.
- Bai X W, Li T T, Tang L, et al. Research progress of sleep disorder and diabetes mellitus [J]. West China Med J, 2024, 39(1): 140-146.
- [46] Irwin M R, Wang M G, Ribeiro D, et al. Sleep loss activates cellular inflammatory signaling [J]. Biol Psychiatry, 2008, 64(6): 538-540.
- [47] Godos J, Ferri R, Caraci F, et al. Dietary inflammatory index and sleep quality in southern Italian adults [J]. Nutrients, 2019, 11(6): 1324.
- [48] Späth-Schwalbe E, Hansen K, Schmidt F, et al. Acute effects of recombinant human interleukin-6 on endocrine and central nervous sleep functions in healthy men [J]. J Clin Endocrinol Metab, 1998, 83(5): 1573-1579.
- [49] Li I C, Chang F C, Kuo C C, et al. Pilot study: Nutritional and preclinical safety investigation of fermented hispidin-enriched *Sanghuangporus sanghuang mycelia*: A promising functional food material to improve sleep [J]. Front Nutr, 2022, 8: 788965.
- [50] Chen H H, Chen Y T, Huang Y W, et al. 4-Ketopinoresinol, a novel naturally occurring ARE activator, induces the Nrf2/HO-1 axis and protects against oxidative stress-induced cell injury via activation of PI3K/AKT signaling [J]. Free Radic Biol Med, 2012, 52(6): 1054-1066.
- [51] 陈婕婷, 罗小芳, 连伊阳, 等. 桑黄子实体多酚降血糖活性研究 [A]. // 第十二届药用真菌学术研讨会论文集 [C]. 福州: 中国食用菌协会、中国食用菌协会药用真菌委员会, 2023.
- Chen J T, Luo X F, Lian Y Y, et al. Hypoglycemic activity of polyphenols from the fruiting body of *Sanghuangporus sanghuang* [J]. [A]. // Proceedings of the 12th academic symposium on medicinal fungi [C]. Fuzhou: China Edible Fungus Association, Medicinal Fungi Committee, 2023.
- [52] 廖尊胜. 桑黄菌质多糖的分离纯化及降血糖作用的研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2013.
- Liao Z S. Study on separation and purification of *Phellinus igniarius* polysaccharide and its hypoglycemic effect [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2013.
- [53] 刘昌孝. 中药质量标志物(Q-marker): 提高中药质量标准及质量控制理论和促进中药产业科学发展 [J]. 中草药, 2019, 50(19): 4517-4518.
- Liu C X. Quality marker (Q-marker) of Chinese materia Medica: Improving quality standard and quality control theory of CMM and promoting scientific development of CMM industry [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2019, 50(19): 4517-4518.
- [54] 刘昌孝. 基于中药质量标志物的中药质量追溯系统建设 [J]. 中草药, 2017, 48(18): 3669-3676.
- Liu C X. Construction of traceability system of Chinese materia medica product quality based on quality marker of Chinese materia medica [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2017, 48(18): 3669-3676.
- [55] 张思瑶, 余盛武, 魏玉莲. 东亚木层孔菌与两种野生桑黄的活性成分及其抗氧化活性比较 [J]. 菌物学报, 2024, 43(2): 71-86.
- Zhang S Y, Yu S W, Wei Y L. A comparative study on the bioactive components and antioxidant activities of *Phellinus orientoasiaticus* and two species of *Sanghuangporus* [J]. Mycosystema, 2024, 43(2): 71-86.
- [56] 匡海学, 王艳宏, 王秋红, 等. 基于中药性味可拆分性和可组合性的中药性味理论研究新模式 [J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2011, 13(1): 25-29.
- Kuang H X, Wang Y H, Wang Q H, et al. A research model on the theory of TCM property and flavor based on TCM splittability and combinativeness [J]. Mod Tradit Chin Med Mater Med World Sci Technol, 2011, 13(1): 25-29.
- [57] 李庆杰, 包海鹰, 图力古尔, 等. 粗毛纤孔菌对寒凝血瘀证大鼠血液流变学的影响及谱效关系分析 [J]. 吉林大学学报(医学版), 2018, 44(1): 30-35.

- Li Q J, Bao H Y, Tu Liguer, et al. Influence of *Inonotus hispidus* in hemorheology in rat model with blood stasis due to cold syndrome and analysis on spectral efficiency [J]. J Jilin Univ Med Ed, 2018, 44(1): 30-35.
- [58] 赵星. 三七总皂苷配伍葛根总黄酮活血化瘀的药效物质基础研究 [D]. 沈阳: 沈阳药科大学, 2013.
- Zhao X. Study on pharmacological material basis of *Panax notoginseng* saponins combined with *Pueraria* total flavonoids for promoting blood circulation and removing blood stasis [D]. Shenyang: Shenyang Pharmaceutical University, 2013.
- [59] 王萍. 丹参花质量及活血化瘀功效研究 [D]. 郑州: 河南中医药大学, 2022.
- Wang P. Study on the quality of *Salvia miltiorrhiza* flowers and the efficacy of promoting blood circulation and removing blood stasis [D]. Zhengzhou: Henan University of Chinese Medicine, 2022.
- [60] 孙成静. 丹参茎叶酚酸和黄酮有效部位研究及其改善微循环障碍作用 [D]. 南京: 南京中医药大学, 2020.
- Sun C J. Study on effective parts of salvianolic acids and flavonoids of *Salvia Miltiorrhiza* stem leaf and its effect on improving microcirculation dysfunction [D]. Nanjing: Nanjing University of Chinese Medicine, 2020.
- [61] 张玉昆, 冯月男, 孙思邈, 等. 中药不同组分在治疗血瘀证方面研究进展 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2020, 26(10): 220-226.
- Zhang Y K, Feng Y N, Sun S M, et al. Research progress of different components of traditional Chinese medicine in treatment of blood stasis syndrome [J]. Chin J Exp Tradit Med Form, 2020, 26(10): 220-226.
- [62] 夏国华, 戚雪勇, 傅海珍, 等. 荷移-UV 分光光度法测定杨树桑黄提取物总黄酮含量 [J]. 光谱实验室, 2013, 30(3): 1362-1366.
- Xia G H, Qi X Y, Fu H Z, et al. Determination of total flavonoids in *Phellinus vaninii* extract using UV spectrophotometry after charge transfer reaction [J]. Chin J Spectrosc Lab, 2013, 30(3): 1362-1366.
- [63] 张万国, 胡晋红. 桑黄预防大鼠肝纤维化作用的实验研究 [J]. 药学服务与研究, 2002, 2(2): 82-84, 137.
- Zhang W G, Hu J H. Prophylactic effect of *Phellinus igniarius* on hepatic fibrosis in rats [J]. Pharm Care Res, 2002, 2(2): 82-84, 137.
- [64] 付婷伟, 周紫微, 邵颖, 等. 桑黄总黄酮的提取、组分分析及其生物活性评价 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(7): 191-200.
- Fu T W, Zhou Z W, Shao Y, et al. Extraction, component analysis and biological activity evaluation of total flavonoids from *Phellinus igniarius* [J]. Sci Technol Food Ind, 2024, 45(7): 191-200.
- [65] 戴玉成, 崔宝凯. 药用真菌桑黄种类研究 [J]. 北京林业大学学报, 2014, 36(5): 1-7.
- Dai Y C, Cui B K. Progress on the species of medicinal fungus *Inonotus sanghuang* [J]. J Beijing For Univ, 2014, 36(5): 1-7.
- [66] 李庆杰, 包海鹰, 图力古尔, 等. 粗毛纤孔菌的化学成分及抗炎活性 [J]. 吉林大学学报(理学版), 2019, 57(1): 177-181.
- Li Q J, Bao H Y, Tu Liguer, et al. Chemical composition and anti-inflammatory activity of *Inonotus hispidus* [J]. J Jilin Univ Sci Ed, 2019, 57(1): 177-181.
- [67] 曹燕妮, 华蓉, 游金坤, 等. 超高效液相色谱-三重四级杆串联质谱法(UHPLC-MS/MS)测定松茸中麦角甾醇含量 [J]. 中国食用菌, 2023, 42(6): 69-73.
- Cao Y N, Hua R, You J K, et al. Determination of ergosterol in *Tricholoma matsutake* by UHPLC-MS/MS [J]. Edible Fungi China, 2023, 42(6): 69-73.
- [68] 金凌云, 陈言枫, 洪丽玲, 等. 灵芝提取物 3 种中性三萜及麦角甾醇的定量分析 [J]. 药物评价研究, 2023, 46(11): 2380-2386.
- Jin L Y, Chen Y J, Hong L L, et al. Quantitative analysis of three neutral triterpenoids and ergosterol from *Ganoderma lucidum* extract [J]. Drug Eval Res, 2023, 46(11): 2380-2386.
- [69] 周妙霞, 庄诗诗, 李文庆, 等. 基于核壳色谱技术快速测定冬虫夏草中麦角甾醇的含量 [J]. 今日药学, 2021, 31(10): 733-736.
- Zhou M X, Zhuang S S, Li W Q, et al. Rapid determination of ergosterol in Chinese *Cordyceps* by core-shell column [J]. Pharm Today, 2021, 31(10): 733-736.
- [70] 孙嘉辰, 陈玉皎, 吴玥婷, 等. 麦角甾醇在小鼠体内药代动力学及生物利用度 [J]. 中成药, 2015, 37(5): 965-970.
- Sun J C, Chen Y J, Wu Y T, et al. The pharmacokinetics and bioavailability of ergosterol in mice [J]. Chin Tradit Pat Med, 2015, 37(5): 965-970.
- [71] 刘丽娟, 吴亚运, 赵亚, 等. 落新妇苷的稳定性、药动学及制剂学研究进展 [J]. 中华中医药学刊, 2023, 41(12): 198-202, 293.
- Liu L J, Wu Y Y, Zhao Y, et al. Research progress on stability, pharmacokinetics and dosage forms of astilbin [J]. Chin Arch Tradit Chin Med, 2023, 41(12): 198-202, 293.
- [72] 张敬茹, 于小桐, 孙宁, 等. 桑黄素和乙酰化白藜芦醇对沙奎那韦在大鼠体内药代动力学的影响 [J]. 中国药理学通报, 2017, 33(10): 1414-1420.
- Zhang J R, Yu X T, Sun N, et al. Effects of co-

- administration with morin and acetyl-resveratrol on pharmacokinetics of saquinavir in rats [J]. Chin Pharmacol Bull, 2017, 33(10): 1414-1420.
- [73] 张赫男, 杨焱, 张劲松, 等. 桑黄纤孔菌子实体粉的毒理研究 [J]. 菌物学报, 2017, 36(3): 376-384.
- Zhang H N, Yang Y, Zhang J S, et al. A toxicological study on fruiting body powder of *Inonotus sanghuang* [J]. Mycosystema, 2017, 36(3): 376-384.
- [74] 王淳, 甘嘉荷, 宋志前, 等. 蜂蜜炼制前后黄酮类成分种类和含量变化分析 [J]. 中草药, 2018, 49(2): 318-324.
- Wang C, Gan J H, Song Z Q, et al. Comparative analysis of species and contents of flavonoids before and after honey refining [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2018, 49(2): 318-324.
- [75] 张慧莹, 吴海龙, 姚德坤, 等. 桑黄素的研究进展 [J]. 中国林副特产, 2016(2): 99-101.
- Zhang H Y, Wu H L, Yao D K, et al. The research development of morin [J]. For Prod Speciality China, 2016(2): 99-101.
- [76] 卢俊, 余希成, 温彩莲. 桑色素-铁配合物的配位测定及其抗菌性研究 [J]. 食品科技, 2009, 34(2): 247-249.
- Lu J, Yu X C, Wen C L. Coordination determination of morin with iron and its antibacteria [J]. Food Sci Technol, 2009, 34(2): 247-249.
- [77] 高扬, 刘昊, 廖方舟, 等. 不同生长期瓦尼桑黄和粗毛纤孔菌子实体主要活性成分含量比较 [J]. 安徽农业科学, 2024, 52(20): 160-162, 178.
- Gao Y, Liu H, Liao F Z, et al. Comparison of the content of main active components in the fruiting bodies of *Sanghuangporus vaninii* and *Inonotus hispidus* in different growth stages [J]. J Anhui Agric Sci, 2024, 52(20): 160-162, 178.
- [78] 冯佳亮. 粗毛纤孔菌中酚酸类成分及抗炎活性研究 [D]. 长春: 长春工业大学, 2020.
- Feng J L. Study on phenolic acids and anti-inflammatory activity in *Inonotus hispidus* [D]. Changchun: Changchun University of Technology, 2020.
- [79] 李南臻, 曾志刚, 王刚, 等. 紫外分光光度法快速测定废菌丝体中麦角甾醇的含量 [J]. 食品与发酵科技, 2021, 57(3): 157-160.
- Li N Z, Zeng Z G, Wang G, et al. Rapid determination of ergosterol in waste *Mycelium* by UV spectrophotometry [J]. Food Ferment Sci Technol, 2021, 57(3): 157-160.
- [80] 周爱芹. HPLC 法同时测定不同产地皂角刺中黄颜木素、花旗松素和槲皮素的含量 [J]. 中国处方药, 2022, 20(10): 26-28.
- Zhou A Q. Simultaneous determination of lutein, taxifolin and quercetin in *Gleditsia sinensis* from different habitats by HPLC [J]. J China Prescr Drug, 2022, 20(10): 26-28.

[责任编辑 刘东博]