DOI:10.13193/j.issn.1673-7717.2026.05.018

黄芩化学成分和药理作用研究进展及质量标志物预测分析

刘晓金[1,2]
(1.山东医学高等专科学校,山东 临沂 276000;2.山东中医药大学,山东 济南 250355)

摘要:在中国传统医药宝库中,黄芩是一种极为重要的药材,具有清热燥湿、泻火解毒、止血、安胎之功效。黄芩主要含有的化合物包括黄酮类、挥发油类、有机酸类以及其他类,具有抗菌、抗病毒、抗炎、抗氧化、抗肿瘤、保护肝脏、免疫调节、神经保护等多种药理作用。归纳总结黄芩的化学成分和药理作用研究进展,并基于其植物亲缘学及化学成分特有性、传统药性和药效相关性、化学成分可测性、炮制与化学成分相关特性、药动学等研究,预测分析了其质量标志物(Quality markers,Q-Marker)。研究表明,黄芩的主要Q-Marker可能包括黄芩苷、黄芩素、汉黄芩苷、汉黄芩素等黄酮类化合物,这些成分因其在黄芩中稳定存在、明确的药理作用以及可靠的检测方法而被认为是评价黄芩质量的重要指标,为黄芩质量控制体系的建立和临床用药提供参考。

关键词:黄芩;化学成分;药理作用;质量标志物;临床用药
中图分类号:R282.71 **文献标志码**:A **文章编号**:1673-7717(2026)05-0088-09

Research Progress on Chemical Composition and Pharmacological Effects of Huangqin (Scutellariae Radix) and Predictive Analysis of Quality Markers

LIU Xiaojin[1,2]
(1. Shandong Medical College, Linyi 276000, Shandong, China;
2. Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250355, Shandong, China)

Abstract: Huangqin (Scutellariae Radix) is a particularly important medicinal material in the treasure trove of traditional Chinese medicine, with properties such as clearing heat and drying dampness, purging fire and removing toxin, stopping bleeding and tranquilizing the fetus. The main components in Huangqin (Scutellariae Radix) are flavonoids, volatile oils, organic acids and other compounds, with antibacterial, antiviral, anti-inflammatory, antioxidant, anti-tumor, liver protection, immunomodulation, neuroprotection and other pharmacological effects. This paper summarized the research progress on the chemical composition and pharmacological effects of Huangqin (Scutellariae Radix), and its quality markers (Q-markers) were predicted and analyzed based on the research of plant genetics and chemical composition specificity, correlation between traditional medicinal properties and efficacy, measurability of chemical composition, correlation between processing and chemical composition, pharmacokinetics and so on. The studies have shown that the main Q-markers of Huangqin (Scutellariae Radix) may include baicalin, baicalein, wogonoside, wogonin and other flavonoids, and these components are considered as the important indicators to evaluate the quality of Huangqin (Scutellariae Radix) due to their stable existence in Huangqin (Scutellariae Radix), clear pharmacological effects and reliable detection methods, which provide reference for the establishment of Huangqin (Scutellariae Radix) quality control system and clinical medication.

Keywords: Huangqin (Scutellariae Radix); chemical composition; pharmacological effects; quality markers; clinical medication

黄芩又名山茶根、土金茶根,为唇形科植物黄芩 *Scutellaria baicalensis Georgi* 的根部,主要分布在中国的东北、华北、华中和西南等地区,其性味苦、寒,归肺、胆、脾、大肠、小肠经,临床上可用于胸闷呕恶、湿热痞满、泻痢、黄疸、高热烦渴、痈肿疮毒、胎动不安等症[1]。黄芩最早记载于东汉《神农本草经》中,“主诸热黄疸,肠澼泄痢,逐水,下血闭,恶疮疽蚀火疡”[2];《本草纲目》中记载黄芩“治风热湿热头疼,火咳肺痿喉腥,诸失血”[3];《名医别录》记载黄芩“主治痰热,胃中热,小腹绞痛,消谷,利小肠,女子血闭、淋露、下血,小儿腹痛。”[4]。现代研究表明,黄芩主要含有黄酮类化合物、挥发油类、有机酸类等成分,具有抗炎、抗氧化、抗菌、抗病毒等药理作用[5]。

黄芩的质量受其生长环境、采收时期、炮制工艺、药材来源以及采集处理等多方面因素的影响。2025年版《中华人民共和

基金项目:国家中医药管理局共建科技项目(GZY-KJS-SD-2023-057);山东省中医药科技项目(M-2023255)
作者简介:刘晓金(1990-),女,山东临沂人,讲师,博士在读,研究方向:中药质量控制。

国药典》中仅以黄芩苷含量作为评定黄芩质量的指标性成分，尚不能全面反映黄芩的质量标准，亟需从药材基原、化学成分、药理作用等方面，进一步完善黄芩质量评价标准。本文对黄芩的化学成分和药理作用进行系统总结，针对不同方面对黄芩的 Q－Marker 进行预测分析，以期为黄芩建立科学合理的质量评价体系，为黄芩的质量控制和临床应用提供一定的理论基础。

1 化学成分

1.1 黄酮类 黄酮类成分是以 $C_6-C_3-C_6$ 的基本骨架为基础的一系列衍生物，其化学性质由于母核上不同取代基的存在而呈现出显著的多样性，这类化合物通常与单糖分子结合形成苷的形式，从而展现出多种药理活性。黄芩中含有丰富的黄酮类化合物，种类多样，目前已分离鉴定出 56 种游离黄酮类化合物[5]，见表 1、图 1。

1.2 挥发油类 挥发油是由多种小分子芳香族化合物组成的混合物，它们通常具有较强的挥发性和特殊性气味。黄芩中的挥发油成分是一类复杂的混合物，主要由多种小分子芳香族化合物组成，包括单萜类、倍半萜类和其他小分子化合物，对于黄芩的香气特征以及部分药理作用有一定的贡献。宋双红等[6]采用共水蒸馏法分别从黄芩的花、茎叶、根和种子提取挥发油，不同器官挥发油的成分和相对含量各不相同，黄芩花中鉴定出 53 种化合物，主要成分为香叶烯 D、β－石竹烯、乙酸龙脑酯等；茎叶中鉴定出 48 种化合物，主要成分为乙酸龙脑酯、二苯胺、β－石竹烯等；根中鉴定出 39 种化合物，主要成分为二苯胺、甲基丁二酸、双(1－甲基丙基)酯等；种子中鉴定出 32 种化合物，主要成分为十六烷酸、二苯胺、十八烷酸等。陈欣等[7]从海南黄芩挥发油中鉴定了 54 个成分，主要成分为 10S，11S－雪松醛－3(12)，4－二烯(15.3%)、石竹烯(7.92%)、邻苯二甲酸单乙基己基酯(6.99%)和 4－乙烯基－2－甲氧基苯酚(6.54%)。巩江等[8]用水蒸气蒸馏法从黄芩地上部分提取挥发油，分离并鉴定出37个化合物，占挥发油总量的85.03%，

表 1 黄芩中黄酮类成分

序号	化合物	分子式	相对分子质量	序号	化合物	分子式	相对分子质量
1	黄芩素(5,6,7－三羟基黄酮)	$C_{15}H_{10}O_5$	270	31	5,7－二羟基－8,2′,3′,6′－四甲氧基黄酮	$C_{19}H_{18}O_8$	374
2	5,6－二羟基－7－甲氧基黄酮	$C_{16}H_{12}O_5$	284	32	7－甲氧基白杨素(5－羟基－7－甲氧基黄酮)	$C_{16}H_{12}O_4$	268
3	野黄芩素(5,6,7,4′－四羟基黄酮)	$C_{15}H_{10}O_6$	286	33	5,8－二羟基－7－甲氧基黄酮	$C_{16}H_{12}O_5$	284
4	5,6,7－三羟基－4′－甲氧基黄酮	$C_{16}H_{12}O_6$	300	34	芫花素(5,4′－二羟基－7－甲氧基黄酮)	$C_{16}H_{12}O_5$	284
5	千层纸素 A(5,7－二羟基－6－甲氧基黄酮)	$C_{16}H_{12}O_5$	284	35	5,8,2′－三羟基－7－甲氧基黄酮	$C_{16}H_{12}O_6$	300
6	韧黄芩素Ⅱ(5,7,2′－三羟基－6－甲氧基黄酮)	$C_{16}H_{12}O_6$	300	36	7－O－甲基汉黄芩素(5－羟基－7,8－二甲氧基黄酮)	$C_{17}H_{14}O_5$	298
7	5,7,4′－三羟基－6－甲氧基黄酮	$C_{16}H_{12}O_6$	300	37	黄芩新素Ⅰ(5,2′－二羟基－7,8－二甲氧基黄酮)	$C_{17}H_{14}O_6$	314
8	5,7－二羟基－6,8－二甲氧基黄酮	$C_{17}H_{14}O_6$	314	38	黏毛黄芩素Ⅱ(5,2′,6′－三羟基－7,8－二甲氧基黄酮)	$C_{17}H_{14}O_7$	330
9	5,7,2′－三羟基－6,8－二甲氧基黄酮	$C_{17}H_{14}O_7$	330	39	半枝莲素(5,6′－二羟基－7,8,2′－三甲氧基黄酮)	$C_{18}H_{16}O_7$	344
10	5,8－二羟基－6,7－二甲氧基黄酮	$C_{17}H_{14}O_6$	314	40	6′－羟基－5,6,7,8,2′－五甲氧基黄酮	$C_{20}H_{20}O_8$	388
11	5,8,2′－三羟基－6,7－二甲氧基黄酮	$C_{17}H_{14}O_7$	330	41	6,6′－二羟基－5,7,8,2′－四甲氧基黄酮	$C_{19}H_{18}O_8$	374
12	韧黄芩素Ⅰ(5,2′－二羟基－6,7,8－三甲氧基黄酮)	$C_{18}H_{16}O_7$	344	42	5,7,3′,4′,5′－五甲氧基黄酮	$C_{20}H_{20}O_7$	372
13	5,2′,5′－三羟基－6,7,8－三甲氧基黄酮	$C_{18}H_{16}O_8$	360	43	黏毛黄芩素Ⅰ(5,7,2,6－四羟基黄酮醇)	$C_{15}H_{10}O_7$	302
14	黄芩新素Ⅱ(5,6′－二羟基－6,7,8,2′－四甲氧基黄酮)	$C_{19}H_{18}O_8$	374	44	5,7,6′－三羟基－2′－甲氧基黄酮醇	$C_{16}H_{12}O_7$	316
15	5,4′－二羟基－6,7,3′,5′－四甲氧基黄酮	$C_{19}H_{18}O_8$	374	45	异红花素[(2S)－5,7,8,4′－四羟基黄烷酮]	$C_{15}H_{12}O_6$	288
16	5,2′－二羟基－6,7,8,3′－四甲氧基黄酮	$C_{19}H_{18}O_8$	374	46	红花素[(2S)－5,6,7,4′－四羟基黄烷酮]	$C_{15}H_{12}O_6$	288
17	白杨素(5,7－二羟基黄酮)	$C_{15}H_{10}O_4$	254	47	(2S)－5,7,4′－三羟基－6－甲氧基黄烷酮	$C_{16}H_{14}O_6$	302
18	去甲汉黄芩素(5,7,8－三羟基黄酮)	$C_{15}H_{10}O_5$	270	48	(＋)－圣草酚[(2S)－5,7,3′,4′－四羟基黄烷酮]	$C_{15}H_{12}O_6$	288
19	异黄芩素(5,7,8,4′－四羟基黄酮)	$C_{15}H_{10}O_6$	286	49	(2S)－5,4′－二羟基－7－甲氧基黄酮	$C_{16}H_{14}O_5$	286
20	芹菜素(5,7,4′－三羟基黄酮)	$C_{15}H_{10}O_5$	270	50	二氢千层纸素 A[(2S)－5,7－二羟基－6－甲氧基黄烷酮]	$C_{16}H_{14}O_5$	286
21	4′－羟基汉黄芩素(5,7,4′－三羟基－8－甲氧基黄酮)	$C_{16}H_{12}O_6$	300	51	(2S)－7－羟基－5－甲氧基黄烷酮	$C_{16}H_{14}O_4$	270
22	2′－羟基白杨素(5,7,2′－三羟基黄酮)	$C_{15}H_{10}O_5$	270	52	(2S)－5,7,2′,6′－四羟基黄烷酮	$C_{15}H_{12}O_6$	288
23	5,7,2′,3′－四羟基黄酮	$C_{15}H_{10}O_6$	286	53	(2S)－7,2′,6′－三羟基－5－甲氧基黄烷酮	$C_{16}H_{14}O_6$	302
24	5,7,2′,5′－四羟基黄酮	$C_{15}H_{10}O_5$	286	54	(2R,3R)－3,5,7,2′,6′－五羟基黄烷酮	$C_{15}H_{12}O_7$	304
25	5,7,2′,6′－四羟基黄酮	$C_{15}H_{10}O_6$	286	55	2,6,2′,4′－四羟基－6′－甲氧基查尔酮	$C_{16}H_{14}O_6$	302
26	5,7,6′－三羟基－2′－甲氧基黄酮	$C_{16}H_{12}O_6$	300	56	8,8″－二黄芩素	$C_{30}H_{18}O_{10}$	538
27	汉黄芩素(5,7－二羟基－8－甲氧基黄酮)	$C_{16}H_{12}O_5$	284				
28	灯盏花素(5,7,2′－三羟基－8－甲氧基黄酮)	$C_{16}H_{12}O_6$	300				
29	5,7,6′－三羟基－8,2′－二甲氧基黄酮	$C_{17}H_{14}O_7$	330				
30	黏毛黄芩素Ⅲ(5,7,3′,6′－四羟基－8,2′－二甲氧基黄酮)	$C_{17}H_{14}O_8$	346				

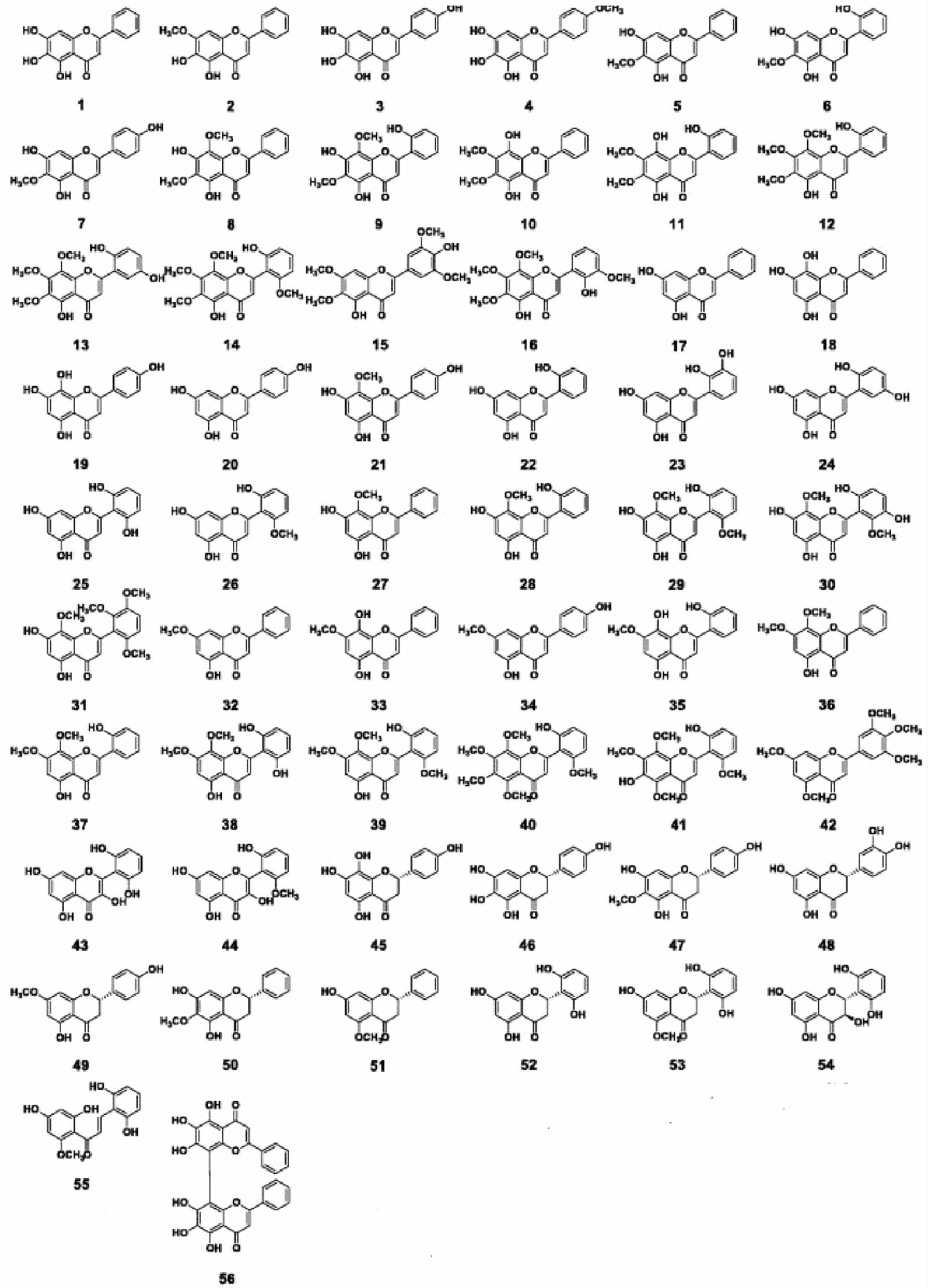


图1 黄芩中黄酮类成分的化学结构

挥发油中含量在 3% 以上的组分有烯丙醇(5.53%)、苯乙酮(4.62%)、石竹烯(18.90%)、α-葎草烯(3.99%)、香叶烯 D(19.44%)、γ-榄香烯(6.23%)、1-乙烯基-1-甲基-2-(1-甲基乙烯基)-4-(1-甲基亚乙基)-环己烷(3.98%)。

1.3 有机酸类 有机酸类化合物是由碳、氢、氧组成的具有酸性的化合物,它们在植物中通常参与多种生理过程,具有一定的生物活性。黄芩中的有机酸类化合物是一类重要的非黄酮类成分,对于黄芩的药理作用有一定的贡献,其有机酸类化合物主要包括绿原酸、咖啡酸、对羟基苯甲酸等具有抗氧化、抗炎等生物活性,具体有机酸成分详见表 2。

表 2 黄芩中有机酸类成分

序号	化合物	分子式	相对分子质量	参考文献
1	苹果酸	$C_4H_6O_5$	134.09	[9]
2	柠檬酸	$C_6H_8O_7$	192.12	[9]
3	咖啡酸(3,4-二羟基肉桂酸)	$C_9H_8O_4$	180.16	[9]
4	羟基苯甲酸	$C_7H_6O_3$	138.12	[9]
5	水杨酸	$C_7H_6O_3$	138.12	[9]
6	hydroxyl-carboxyl phenylpropionic acid	$C_{10}H_{10}O_5$	210.18	[9]
7	绿原酸	$C_{16}H_{18}O_9$	354.31	[9]
8	葡萄糖酸	$C_6H_{12}O_7$	196.16	[9]
9	原儿茶酸	$C_7H_6O_4$	154.12	[9]
10	没食子酸	$C_7H_6O_5$	170.12	[9]
11	辛酸	$C_8H_{16}O_2$	144.12	[10]
12	乙醇酸	$C_2H_4O_3$	76.02	[10]
13	丙酮酸	$C_3H_4O_3$	88.02	[10]
14	乳酸	$C_3H_6O_3$	90.03	[10]
15	甘油酸	$C_3H_6O_4$	106.03	[10]
16	富马酸	$C_4H_4O_4$	116.01	[10]
17	己酸	$C_6H_{12}O_2$	116.08	[10]
18	琥珀酸	$C_4H_6O_4$	118.03	[10]
19	草酸	$C_2H_2O_6$	121.99	[10]
20	苯甲酸	$C_7H_6O_2$	122.04	[10]
21	苏糖酸	$C_4H_8O_5$	136.04	[10]
22	壬酸	$C_9H_{18}O_2$	158.13	[10]
23	对-香豆酸	$C_9H_8O_3$	164.05	[10]
24	香草酸	$C_8H_8O_4$	168.04	[10]
25	莽草酸	$C_7H_{10}O_5$	174.05	[10]
26	奎宁酸	$C_7H_{12}O_6$	192.06	[10]
27	阿魏酸	$C_{10}H_{10}O_4$	194.06	[10]
28	丁香酸	$C_9H_{10}O_5$	198.05	[10]
29	芥子酸	$C_{11}H_{12}O_5$	224.07	[10]
30	十四酸	$C_{14}H_{28}O_2$	228.21	[10]
31	正十六烷酸	$C_{16}H_{32}O_2$	256.24	[10]
32	亚油酸	$C_{18}H_{32}O_2$	280.24	[10]
33	硬脂酸	$C_{18}H_{36}O_2$	284.27	[10]
34	4-O-β-D-葡萄糖基-顺式-对-香豆酸	$C_{15}H_{18}O_8$	326.10	[10]
35	4-O-β-D-葡萄糖基-反式-对-香豆酸	$C_{15}H_{18}O_8$	326.10	[10]
36	(Z,Z)-9,12-十八碳二烯酸	$C_{36}H_{68}O_4$	564.51	[10]

1.4 其他类 黄芩中还含有多种其他活性成分,包括苯丙素、甾体、醇、生物碱以及微量元素等[10-11]。

2 药理作用

现代药理学研究发现,黄芩具有抗菌、抗病毒、抗炎、抗氧化、抗肿瘤、保护肝脏、免疫调节和神经保护等药理作用,发挥药理作用的主要成分为黄酮类、多糖类和挥发油类等成分。

2.1 抗菌作用 黄芩具有广泛的抗菌作用,尤其是对革兰氏阳性菌,如金黄色葡萄球菌等,其机制可能与抑制细菌生长、影响细菌细胞壁合成或者直接破坏细菌细胞膜有关[12-13]。杨丽等[14]探讨黄芩乙酸乙酯提取物对藏细绵羊养殖过程中的抗炎、抗氧化和体内抑菌作用,结果表明黄芩乙酸乙酯部位体外抑菌效果最好,主要有效成分为黄芩苷和黄芩素,对沙门氏菌、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌都有抑制作用。黄芩素可能通过抑制细菌细胞壁及细胞膜通透性、蛋白质合成、丙酮酸激酶、山梨醇脱氢酶、苹果酸脱氢酶、脱氧核糖核酸拓扑异构酶Ⅰ、脱氧核糖核酸拓扑异构酶Ⅱ等的调控达到抗菌的活性[15-16]。黄芩素[17]还能通过下调核转录因子-κB(Nuclear factor kappa-B,NF-κB)和有丝分裂原激活蛋白激酶 mRNA 的表达水平,明显减少感染小鼠支气管肺泡灌洗液中蛋白总量和细胞渗出,降低淋巴细胞和中性粒细胞比例,减少血清肿瘤坏死因子(Tumor necrosis factor,TNF)、白细胞介素(Interleukin,IL)-8 和 IL-6 含量,对肺炎球菌性肺炎小鼠具有良好的保护作用。此外,体外研究发现黄芩苷联合不同抗生素具有较好协同或相加作用,黄芩苷联合青霉素可有效抑制耐药淋病奈瑟氏菌 WHO L 株的生长,通过增加淋球菌 MlaA 蛋白表达,抑制细菌外膜囊泡分泌,改善淋球菌对青霉素的耐药性[18]。

2.2 抗病毒作用 黄芩苷具有广泛的抗病毒作用[19]。体外实验研究中,黄芩苷可能通过介导抑制新型冠状病毒 S 蛋白与细胞表面受体的融合过程,在非吸附阶段抑制病毒的入侵,发挥抗新型冠状病毒活性[20]。黄芩苷[21]在体外和体内均可通过半胱天冬氨酸蛋白酶-3/E 蛋白途径有效抑制 H_1N_1 诱导的肺泡上皮细胞焦亡,促进受感染的肺泡上皮细胞的存活,使得气泡状突起细胞和乳酸脱氢酶释放减少,从而发挥潜在的抗病毒活性。另有研究表明,黄芩苷可能通过调控磷脂酰肌醇 3 激酶(Phosphatidylinositol 3-Kinase,PI3K)/蛋白激酶 B(Protein kinase B,AKT)信号通路,抑制自噬发生及自噬体和溶酶体融合,降低 2 型登革病毒诱导的自噬,从而抑制 2 型登革病毒的 RNA 和 NS1 蛋白的表达[22]。黄芩苷对呼吸道合胞病毒肺炎幼鼠肺损伤具有改善作用,可能是通过影响 p38 丝裂原活化蛋白激酶(p38 mitogen-activated protein kinase,p38MAPK)信号通路,从而降低呼吸道合胞病毒肺炎幼鼠炎症因子水平,调节 T 淋巴细胞亚群比例,减轻肺损伤[23]。

2.3 抗炎作用 炎症是机体为了应对受伤或感染而启动的一种自我防护机制。黄芩具有显著的抗炎作用,研究表明抗炎的有效成分主要为黄酮类化合物。GAO L 等[24]评估黄芩乙醇提取物的主要成分黄芩苷和黄芩素可以通过抑制嘌呤能配体门控离子通路 3(Purinergicligand-gatedionchannel 3,P2X3)受体来减轻弗氏完全佐剂诱导的炎性疼痛,显著提高了大鼠的机械痛阈和热痛阈,抑制炎症因子 IL-1β、IL-6、TNF-α 的释放,抑制 NF-κB、环氧化酶(Cyclooxygenase,COX)-2 和 P2X3 的表达,明显减轻背根神经节的病理损害。黄芩素[25]通过调节 NF-κB 的表达对葡聚糖硫酸钠诱导的溃疡性结肠炎小鼠发挥疗效,能够降低小鼠疾病活动指数,降低 IL-6、TNF-α 和 NF-κB 的表达,降低血清中脂多糖水平从而降低炎性反应,并提高血清中分泌型免疫球蛋白 A 的含量增强机体免疫。董

国良[26]通过建造慢性阻塞性肺疾病动物模型和细胞炎症模型,发现黄芩苷能够通过激活抑炎因子组蛋白去乙酰化酶,上调组蛋白去乙酰化酶、GR 蛋白表达,抑制 NF-κB 的蛋白或 mRNA 表达发挥抗炎的作用。黄芩苷还可能会通过激活 Hippo-yes 相关蛋白信号通路,干预膝骨关节炎大鼠,缓解膝关节肿胀,抑制炎症反应和细胞凋亡,延缓关节软骨退变[27]。

2.4 抗氧化作用 黄芩含有多种抗氧化成分,包括黄芩苷、黄芩素以及其他黄酮类化合物,这些成分显示出强大的抗氧化能力,有助于抵抗氧化应激,进而保护细胞免受自由基损伤[28-29]。钟晨晨等[30]采用脂多糖诱导构建斑马鱼氧化应激模型,2′,7′-二氯荧光素二乙酸酯荧光探针染色斑马鱼体内活性氧(reactive oxygen species,ROS)含量水平,结果表明黄芩提取物在质量浓度为 0.02、0.04 mg/mL 时均具有减弱斑马鱼 ROS 相对荧光强度的作用,且呈剂量依赖效应,具有明显的抗氧化作用。黄小倩[31]以体外培养鸡胚原代肝细胞和三黄鸡为研究对象,通过铜和黄芩苷的单独或联合处理,结果表明黄芩苷可缓解过量铜导致的鸡胚原代肝细胞和三黄鸡肝脏病理损伤、氧化损伤和铜死亡。郁有丽等[32]采用高脂饮食和腹腔注射链脲佐菌素联合建立小鼠糖尿病肾病模型,每天给予黄芩苷进行干预,结果表明黄芩苷可通过激活叉头转录蛋白 O3a,降低丙二醛(Malondialdehyde,MDA)和 8-羟基脱氧鸟苷的表达,增加过氧化氢酶和锰超氧化物歧化酶的表达,清除氧自由基,减轻氧化应激,维持内环境平衡,有效降低糖尿病肾病小鼠空腹血糖浓度、血清尿素氮、血肌酐、24 h 排尿量和尿白蛋白排泄率,减轻肾脏组织损伤,改善肾功能,从而治疗糖尿病肾病。此外,黄芩素能够通过抑制氧化应激来预防 1-甲基-4-苯基吡啶离子(1-methyl-4-phenylpyridinium ion,MPP^+)/1-甲基-4-苯-1,2,3,6-四氢吡啶(I-methy1-4-phenyl-1,2,3,6-tetrahydropyridine,MPTP)诱导的神经毒性,在体外试验中黄芩素增加了 MPP^+ 处理的 SH-SY5Y 细胞的细胞活力,减少 MDA 和 ROS 水平,提高谷胱甘肽水平;在 MPTP 治疗的小鼠中,黄芩素改善了 MPTP 诱导的运动障碍,并抑制了 MPTP 诱导的铁和脂质过氧化物的积累,同时降低神经毒性,升高酪氨酸羟化酶,降低单胺氧化酶-B[33]。

2.5 抗肿瘤作用 黄芩及其主要活性成分黄酮类化合物,如黄芩苷、汉黄芩苷、黄芩素、汉黄芩素等,经体内体外研究表明,其对黑色素瘤、肺癌、结肠癌、卵巢癌、胃癌、膀胱癌、肝癌等具有显著的抗肿瘤活性。黄芩素和黄芩苷通过影响哺乳动物雷帕霉素靶蛋白(Mammalian target of rapamycin,mTOR)-缺氧诱导因子 1α 信号通路来抑制肿瘤细胞葡萄糖的摄取和代谢,能够显著抑制黑色素瘤细胞的生长和增殖,抑制肿瘤细胞集落形成和迁移,并诱导黑色素瘤细胞凋亡和衰老,可作为潜在的治疗黑色素瘤的药物[34]。黄芩及其黄酮类化合物尤其是汉黄芩素、黄芩素、黄芩苷,能够通过抑制肿瘤细胞生长、诱导肿瘤细胞凋亡、抑制肿瘤侵袭转移、增强药物的细胞毒性等方面,达到治疗卵巢癌的作用[35]。此外,黄芩及其成分还可以通过诱导细胞凋亡、细胞周期停滞、抑制增殖、侵袭转移等,对肺癌和结肠癌具有显著的抗肿瘤活性和安全性[36]。汉黄芩素对 Hep G2、He La 和 A549 细胞的活性均具有显著的抑制作用,且能够显著抑制 S180 移植荷瘤小鼠的肿瘤体积和质量,具有一定的量效关系,抗肿瘤效果明显[37]。研究表明,黄芩苷可通过调控、抑制 NF-κB、COX-2 表达,抑制肿瘤细胞增殖,降低肿瘤细胞侵袭迁移率,促进肿瘤细胞凋亡,有利于控制结肠癌发生、发展[38]。

2.6 保护肝脏作用 姜黄素联合黄芩苷可能通过核因子-E2 相关因子 2(Nuclear factor erythroid-2-related factor 2,Nrf2)/血红素加氧酶 1(Heme oxygenase 1,HO-1)信号通路介导的氧化应激、凋亡信号调控激酶 1/丝裂原活化蛋白激酶 3 内质网应激信号通路介导的细胞凋亡、p38MAPK 通路和结节性硬化复合物 1/真核翻译起始因子-2α/转录激活因子 4 自噬信号通路介导的炎症反应,能够显著改善乙醇诱导的大鼠肝脏损伤,且其联合干预效果优于两药物的单独干预效果[39]。黄芩苷能够通过上调 p62-kelch 样 ECH 相关蛋白 1-Nrf2 信号级联,显著降低促炎生物标志物并增强抗氧化酶,减少代谢功能障碍相关脂肪性肝病小鼠肝组织中的脂质积累、肝硬化和肝细胞凋亡[40]。此外,黄芩苷还可以通过 NF-κB 信号通路抑制 miR-205 介导的 importinα5 来保护肝脏免受酒精引起的损伤、炎症、氧化应激和肝细胞凋亡,从而发挥对酒精相关性肝病的保肝作用[41]。

2.7 免疫调节作用 蒋雪玉等[42]采用人类红细胞与佐剂脂多糖联合输注 C57BL/6 小鼠建立红细胞输注模型,结果表明黄芩苷能够抑制小鼠血清中免疫球蛋白(Serum immunoglobulin,Ig)G 和 IgM 的生成,同时抑制脾脏中 B 细胞增殖和降低 $CD4^+$ T 细胞活化,从而抑制红细胞免疫。黄芩苷能够使环孢素所致免疫功能低下小鼠的脾指数和胸腺指数显著升高,外周血中 $CD4^+$ T 淋巴细胞百分比及 $CD4^+/CD8^+$ 比值显著升高,IL-2、干扰素-γ 浓度显著上升,IL-6 水平显著下降,增强免疫功能低下小鼠的免疫功能[43]。黄芩提取液能够有效降低罗非鱼无乳链球菌感染,其中的 Ly-9 基因可能是增强罗非鱼免疫作用中的潜在调控基因[44]。研究表明[45],黄芩汤一方面通过调节 Toll 样受体(Toll-like receptor,TLR)4、TLR5、TLR15 的表达,调控 IL-1β、IL-6、TNF-α、IL-10 等炎症因子水平,另一方面通过调节鸡肠道菌群,使其结构平衡,保障鸡肠黏膜屏障的完整,从而达到防治人工感染雏鸡大肠杆菌病的作用。黄芩素还可能是其在众多干预系统性红斑狼疮的潜在药理核心靶点,可缓解包括系统性红斑狼疮在内的多种自身免疫性疾病的进程[46]。

2.8 神经保护作用 黄芩中的活性成分,如黄芩苷、黄芩素等黄酮类化合物通过抗氧化应激、抑制炎症反应、调节凋亡通路以及激活神经保护因子等多重机制,对神经系统疾病具有潜在治疗价值[47]。JIN X 等[48]通过被动回避测试和莫里斯水迷宫测试评估得出黄芩苷能够减轻 APP/PS1 小鼠的空间记忆功能障碍,并通过抑制 NLR 家族 Pyrin 域蛋白 3 炎症体和 TLR4/NF-κB 信号通路的激活来抑制小胶质细胞引起的神经炎症。黄芩苷还能够有效提高谷胱甘肽过氧化物酶 4 和溶质载体家族 7 成员 11 的表达水平,抑制脂质 ROS 的积累,最终防止血红素诱导的铁死亡和脑出血诱导的脑损伤[49]。黄芩的乙醇提取物具有神经保护和抗衰老作用,与抑制衰老相关分泌表型(Senescence-associated secretory phenotype,SASP)分泌高度相关,干扰素诱导蛋白 10 介导了黄芩在低糖诱导的星形胶质细

胞中的 SASP 抑制作用，研究强调了延缓星形胶质细胞衰老和抑制 SASP 可能是黄芩缓解神经退行性疾病的新机制[50]。黄芩素[51]通过激活海马区脑源性神经营养因子/细胞外调节蛋白激酶（Extracellular regulated protein kinase，ERK）/环磷腺苷效应元件结合蛋白信号通路，改善慢性轻度应激小鼠的认知功能，具有抗抑郁作用。

2.9 其他作用 现代研究表明，黄芩苷[52]可以通过抑制 Notch 通路降低冠心病大鼠模型心肌细胞凋亡，改善心功能、血脂状况及降低载脂蛋白水平，抑制心肌细胞凋亡率。黄芩素[53]具有改善心脏损伤的作用。此外，黄芩苷对呼吸系统疾病有很好的治疗作用[54]。

3 黄芩 Q－Marker 预测分析

为了完善国家的药品标准体系，实现中药的全程质量控制，加强中药“有效性－物质基础－质量控制”之间的关联，刘昌孝院士于 2016 年提出了 Q－Marker 的概念[55]。本文基于 Q－Marker 的概念，从黄芩植物亲缘学及化学成分特有性、传统药性和药效相关性、化学成分可测性、炮制与化学成分相关特性、药动学等方面对其 Q－Marker 进行预测分析，以期为建立黄芩科学的质量评价体系提供参考。

3.1 基于植物亲缘学及化学成分特有性的 Q－Marker 预测分析 黄芩是唇形科黄芩属多年生草本植物。唇形科主要集中在鼠尾草属、香茶菜属、黄芩属、香薷属、筋骨草属、糙苏属、香科科属[56]。全世界黄芩属植物有 360 余种，多分布于欧洲、东亚和北美等地[57]，中国黄芩属植物约 102 种，50 个变种，多为药用植物，黄芩和半枝莲是最常用的中药，已被收录于《中华人民共和国药典》[58]。黄芩属植物的化学成分很丰富，有 270 余种，主要包括黄酮类、二萜类、苯乙醇苷类等化合物，其中黄酮类化合物含量较多[58]为主要活性物质。迄今为止，现已鉴定出了 154 种黄酮类化合物，主要包括黄酮与黄酮醇、二氢黄酮与二氢黄酮醇、查尔酮以及双黄酮等类型，黄芩苷、汉黄芩苷、黄芩素和汉黄芩素是研究最广的 4 种黄酮类化合物[58-59]。因此，基于上述植物亲缘学和化学成分特有性分析，黄酮类成分可以作为黄芩 Q－Marker 筛选的参考，为黄芩 Q－Marker 的研究提供一定的基础。

3.2 基于传统药性、药效相关性的 Q－Marker 预测分析 2025 版《中华人民共和国药典》[1]记载黄芩味苦，寒，归肺、胆、脾、大肠、小肠经。苦味能坚，能燥，能泄，具有清热泻火、降火气、解毒、除烦躁等作用，适用于热症、湿热症、痈肿疮疡、喘咳、呕恶等症。黄芩的清热燥湿、泻火解毒的功效符合“苦”之性。据报道，苦寒药的化学成分多为生物碱类、黄酮类、苦味素、挥发油等[60-61]，发挥抗炎、抗菌等药效。古人常使用黄芩来治疗多种病症，在临床中常用于治疗肺热咳嗽、湿热腹泻、出血症状以及妊娠期间的胎动不安等情况，同时也用于处理痈肿疮疖等热毒所致的病症。现代研究发现，黄芩中的黄芩苷、黄芩素、汉黄芩苷、汉黄芩素等黄酮类化合物均为主要功效物质基础，具有抗菌、抗病毒、抗炎、抗癌、保护肝脏和神经等作用[62]。HUQC 等[63]的研究表明，黄芩苷主要通过影响上游的氧化应激和炎症反应，进而诱导下游的细胞凋亡和免疫应答途径来发挥其治疗作用。黄芩素能够通过抑制细菌的生物膜形成、影响遗传物质的复制、抑制能量代谢和细胞壁合成发挥抗菌作用[64]。黄芩素可能通过 PI3K/AKT 信号通路改善先兆流产大鼠的妊娠结局[65]。汉黄芩苷[66]能够提升因东莨菪碱所致学习记忆损伤模型小鼠的学习记忆能力，对神经元产生保护作用。汉黄芩素[67]通过调节多种细胞通路，降低肿瘤细胞生存能力，抑制耐药恶性细胞的生长及其迁移和转移。因此，结合传统药性与药效，黄芩中的黄酮类成分可作为其 Q－Marker 的选择依据和参考。

3.3 基于化学成分可测性的 Q－Marker 预测分析 黄芩中化学成分复杂，具有多靶点特征，生物效应多样性，明确活性成分能够更好地解释药效物质基础，其可测性、稳定性是 Q－Marker 筛选的重要标准之一。2025 版《中华人民共和国药典》规定了黄芩中黄芩苷的测定方法，并要求其含量不得少于 8.0%[1]。为了更全面、系统控制黄芩的质量，目前主要通过高效液相色谱（High performance liquid chromatography，HPLC）、气相色谱、液相色谱－质谱联用等方法对黄芩的化学成分进行定性、定量分析，研究不同规格、不同产地、不同炮制方法、不同生长年限的黄芩化学成分的差异是黄芩质量控制的关键。宋亚芳等[68]通过超高效液相色谱建立了不同规格黄芩的特异性指纹图谱，运用主成分分析和正交偏最小二乘－判别分析对其进行模式识别研究，筛选黄芩新素Ⅱ、千层纸素 A 和黄芩素主要差异性成分能够区分子芩与枯芩。张欣蕊等[69]建立黄芩的 HPLC 指纹图谱，同时测定 15 批样品中野黄芩苷、黄芩苷、千层纸素 A 苷、汉黄芩苷、黄芩素、汉黄芩素、千层纸素 A 的含量，结合超快速液相色谱－三重四极杆飞行时间质谱表征技术从黄芩中解析出 72 个成分，通过相似度分析及化学模式识别方法分析出不同产地黄芩样品中 7 个成分的含量具有明显差异，从而为丰富黄芩药材的质量评价体系及资源开发提供了依据。郑如文等[70]建立了黄芩超高效液相色谱－二极管阵列检测器指纹图谱，分析出 5 个产地不同生长年限的黄芩中黄芩苷和汉黄芩苷含量有显著差别，山东秋季二年生黄芩的黄芩苷含量最高（17.02%），甘肃秋季二年生黄芩的汉黄芩苷含量最高（3.63%），二者总含量总体呈二年生＞一年生＞三年生＞野生的规律。徐境荣等[71]采用 HPLC 建立黄芩中黄芩苷、汉黄芩苷、黏毛黄芩素Ⅲ、黄芩素、汉黄芩素、千层纸素 A、去甲汉黄芩素苷和千层纸素 A－7－O－β－D 葡萄糖醛酸苷 8 种黄酮类成分，以黄芩苷为内参比物质的一测多评法同时定量分析，并将 8 种成分的含量与抗氧化活性效价进行灰色关联度分析，得出可以将黄芩的黄酮苷与黄酮苷元含量比值结合黄芩药材性状特征作为划分不同品类黄芩药材的评价指标的结论，建立了基于生物活性的黄芩质量综合评价模式。综上可知基于化学成分可测性，以上化学成分可以作为黄芩 Q－Marker 的参考。

3.4 基于炮制与化学成分相关特性的 Q－Marker 预测分析 《本草述钩元》[72]曰：“黄芩，寻常生用，或水炒去寒性亦可；上行酒浸切炒；下行便浸炒；除肝胆火，猪胆汁拌炒；更有用吴茱萸制芩者，欲其入肝散滞火也。”临床上生黄芩与炙黄芩应用差异较大，生品托毒生肌、敛疮，炒制可缓和药性，益气补中。现代炮制黄芩的常用方法有清炒法、土制法、醋制黄芩、蜜制法、酒制法、盐制法等。刘思翰等[73]采用 HPLC 建立了不同产地生黄芩、微波酒黄芩、微波酒蜜黄芩的 HPLC 指纹图谱，测定了黄芩苷、汉黄芩苷、黄芩素、汉黄芩素 4 个黄酮类化学成分，

结合化学模式识别推测黄芩苷和汉黄芩苷为黄芩炮制前后的质量差异标志物。罗兰等[74]采用超高效液相色谱法比较生黄芩、酒黄芩、黄芩炭中 5 种黄酮类成分的含量,结果表明黄芩酒炙后,野黄芩苷、黄芩苷和汉黄芩苷 3 种黄酮苷含量均有所下降,而黄芩素和汉黄芩素 2 种黄酮苷元含量有所增加;黄芩炒炭后,3 种黄酮苷的含量下降更为明显,而 2 种黄酮苷元的含量明显增加。乔瑞瑞等[75]制备不同炮制程度的黄芩炭样品 10 批,采用紫外 - 可见分光光度法测定不同炮制程度黄芩炭样品的总黄酮含量和炭吸附力,并采用不同炮制程度黄芩炭样品对正常小鼠止血及凝血时间的药效评价,结果表明,在黄芩炭炮制过程中,随着炭化程度的增加,总黄酮、没食子酸、5 - 羟甲基糠醛、黄芩苷、汉黄芩苷、黄芩素、汉黄芩素、千层纸素 A 的含量呈先增后降的趋势,野黄芩苷呈下降趋势,且黄芩炭炮制前后炭吸附力和止血、凝血作用差异较大。宋欢等[76]对黄芩饮片生品及炒黄、炒焦、炒炭、土炒法、酒炙法、醋炙法、姜炙法、盐炙法 8 种不同炮制品进行质量差异比较,结果表明醇溶性浸出物含量由高到低的顺序为:黄芩生品 > 炒黄芩 > 焦黄芩 > 土炒黄芩 > 醋黄芩 > 酒黄芩 > 盐黄芩 > 姜黄芩 > 黄芩炭;总黄酮含量由高到低的顺序为:土炒黄芩 > 焦黄芩 > 炒黄芩 > 醋黄芩 > 酒黄芩 > 盐黄芩 > 黄芩生品 > 姜黄芩 > 黄芩炭,体现了不同的炮制方法对黄芩饮片的质量产生一定影响。因此,基于黄芩炮制前后化学成分的差异,可以将黄酮类成分视为分辨黄芩炮制后质量优劣的 Q - Marker。

3.5 基于药动学的 Q - Marker 预测分析 宋亚南等[77]采用超高效液相色谱 - 三重四极杆串联质谱法,测定黄芩炮制品中黄芩苷、5,7,2′,5′- 四羟基 - 8,6′- 二甲氧基黄酮、汉黄芩苷、黄芩素、汉黄芩素、白杨素、5,6 - 二羟基 - 7,8,2′,6′- 四甲氧基黄酮、千层纸素 A 8 种黄酮类成分在大鼠体内含量的差异。刘玥昕等[78]同时检测大鼠血浆中黄芩素、黄芩苷、汉黄芩素、汉黄芩苷、白杨素及千层纸素 A 的含量。李淑娇等[79]采用高效液相色谱 - 四极杆飞行时间串联质谱法对黄芩进行血清药物化学研究,同时建立黄芩及口服黄芩后大鼠血清的 HPLC 指纹图谱,结果表明黄酮类及其代谢产物是黄芩入血的主要成分。基于上述分析,可将黄酮类成分作为黄芩 Q - Marker 的参考依据。

3.6 基于药理作用与化学成分相关特性的 Q - Marker 预测分析 黄芩具有悠久的应用历史,被称为“药中肯綮”和“医中之妙”,被誉为“清热之星”。从现代临床药理看,主要体现在抗炎、抗氧化、抗微生物、抗肿瘤、免疫调节、心血管保护、神经系统保护等方面,可用于治疗炎症相关疾病、感染性疾病、心血管疾病、神经退行性疾病等疾病。汉黄芩素[80]通过激活 ROS/ERK/Nrf2/HO - 1 - 超氧化物歧化酶 2 - 醌 NADH 脱氢酶 1 信号轴调节氧化还原介导的 Nrf2/ARE 通路,调节软骨细胞的代谢,诱导骨关节炎软骨细胞中低水平的 ROS,从而延缓骨关节炎的病情进展。黄芩素[81]可能通过抑制 AKT 通路下游相关蛋白 mTOR、血清/糖皮质激素调节激酶 1、真核翻译起始因子 4E 结合蛋白 1,使凋亡蛋白 Bcl - 2 相关 X 蛋白的表达量升高,B 细胞淋巴瘤因子(B - cell lymphoma,Bcl) - 2 和 Bcl - xl 的表达量降低,进而抑制人三阴性乳腺癌 MDA - MB - 231 细胞增殖并促进细胞发生凋亡。黄芩苷通过 ERK/特异性蛋白 1 信号通路调控细胞色素 P450 2E1(Cytochrome P450 2E1,CYP2E1)的表达,进而抑制 CYP2E1 酶活性与酶含量以及增强小鼠抗氧化应激能力、影响肝细胞的凋亡过程,从而证明其对扑热息痛所致肝损伤具有保护作用[82]。汉黄芩苷[83]可通过激活 Nrf2/Sirt3 途径,增强抗氧化酶活性,改善线粒体功能,部分减弱细胞凋亡,从而显著降低脑卒中大鼠的病死率、神经功能缺陷评分、脑梗死面积和脑含水量,缓解缺血再灌注诱导的氧化应激损伤。野黄芩苷还能通过激活去乙酰化酶 1/Nrf2/HO - 1 信号通路改善 AD 大鼠学习记忆能力[84]。因此,以上化合物可考虑作为黄芩 Q - Marker。

4 讨论

黄芩作为清热燥湿药,在中国有着悠久的药用历史,尤其在清热类方剂中占有重要地位,临床上常用其单体或复方来治疗多种热性疾病。历代医药名著《神农本草经》《本草纲目》和《证类本草》等均记载黄芩具有清热解毒、燥湿止血的功效,用于治疗热病烦渴、咽喉肿痛、湿疹瘙痒等症。近年来,黄芩的研究在国内外取得了一定进展,但其研究的深度和广度仍有待加强。黄芩含有丰富且复杂的多种化学成分,其有效成分的研究主要集中在黄酮类化合物,特别是黄芩苷、黄芩素、汉黄芩苷、汉黄芩素等成分,然而对于其在体内的吸收、分布以及对机体蛋白质组、细胞基因的影响等方面的研究仍显不足。目前,黄芩中所含的萜类、有机酸类等成分的研究相对较少,这些成分的提取、分离及其潜在药理作用尚需进一步探讨。此外,黄芩的活性成分在不同疾病中的作用机制仍不够明确,需要从细胞、分子和基因等多个层面进行系统研究,以揭示其物质基础与药理活性之间的关系,为后续黄芩新药的开发提供理论依据。尽管黄芩被认为相对安全,但在高剂量或长期使用情况下可能出现轻微的不良反应,因此,研究其减毒机制以及通过合理配伍和炮制技术来降低毒性,将有助于提高其临床应用的安全性。由于黄芩的种植环境和品种等差异,其质量和药效常有不同,因此建立科学有效的质量评价体系,对于黄芩的质量控制及其与其他同属植物的鉴别显得尤为重要。

本文首先对黄芩的化学成分和药理作用进行了系统总结,在此基础上,以 Q - Marker 为指导,从植物亲缘学及化学成分特有性、传统药性和药效相关性、化学成分可测性、炮制与化学成分相关特性、药动学等多个方面分析预测黄芩 Q - Marker,初步建议以黄芩苷、黄芩素、汉黄芩苷、汉黄芩素可作为黄芩的 Q - Marker,为黄芩建立更加科学、客观、全面的质量评价体系以及质量控制标准提供科学依据。

参考文献

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2025.
[2] 吴普. 神农本草经[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2018.
[3] 李时珍. 本草纲目[M]. 马美著, 校点. 武汉: 崇文书局, 2020.
[4] 陶弘景. 名医别录[M]. 尚志钧, 辑校. 北京: 人民卫生出版社, 1986.
[5] WANG Z L, WANG S, KUANG Y, et al. A comprehensive review on phytochemistry, pharmacology, and flavonoid biosynthesis of Scutellaria baicalensis[J]. Pharm Biol, 2018, 56(1): 465 - 484.
[6] 宋双红, 王喆之. 黄芩不同部位挥发油成分分析(英文)[J]. 中药材, 2010, 33(8): 1265 - 1270.

[7] 陈欣，陈光英，陈文豪，等. 海南黄芩挥发油成分分析及生物活性研究[J]. 热带农业科学，2016，36(5)：93－97.
[8] 巩江，倪士峰，刘阳子，等. 黄芩地上部分挥发性物质气相色谱－质谱研究[J]. 安徽农业科学，2009，37(32)：15844－15845.
[9] 高文雅，李涛，周严严，等. 黄芩水煎液中化学成分的定性及定量研究[J]. 中草药，2022，53(23)：7339－7352.
[10] 黄烈岩，聂黎行，康帅，等. 黄芩化学成分、药理作用和质量控制的研究进展[J]. 辽宁中医药大学学报，2024，26(4)：88－96.
[11] 李化，刘静，付梅红，等. 黄芩中金属元素水溶特性和含量特征分析[J]. 光谱学与光谱分析，2014，34(8)：2264－2267.
[12] 谢丽玲，彭齐，蔡链纯，等. 黄芩醇提物对副溶血性弧菌抑制机制的研究[J]. 生物技术通报，2015，31(8)：159－165.
[13] 赵永师，杜娜，杜艳. 中草药对多重耐药菌的抑制作用及机制研究进展[J]. 中国感染控制杂志，2024，23(4)：530－537.
[14] 杨丽，胡长胜，马成芳，等. 黄芩和大黄提取物在羊体内外抑菌作用研究[J]. 草业科学，2025，42(3)：772－785.
[15] 冯倩倩，陈淼，何嘉丽，等. 夫西地酸联合黄芩素对金黄色葡萄球菌的体内外抗菌作用研究[J]. 中国抗生素杂志，2024，49(1)：90－99.
[16] 王宇航. 鲍曼不动杆菌 CRISPR－Cas 系统抑制耐药及黄芩素联合多西环素的抗菌作用与机制研究[D]. 扬州：扬州大学，2022.
[17] 许鹏飞，陈渊锦，王丽苹，等. 黄芩素有效抑制小鼠肺炎球菌性肺炎感染引起的炎症[J]. 药物生物技术，2021，28(4)：336－341.
[18] 李晓晓. 黄芩苷对耐药淋球菌的抗菌增敏作用及其机制的实验研究[D]. 宜昌：三峡大学，2022.
[19] HUANG Q J，WANG M Y，WANG M，et al. Scutellaria baicalensis：a promising natural source of antiviral compounds for the treatment of viral diseases[J]. Chin J Nat Med，2023，21(8)：563－575.
[20] 耿雪，王雪，周倩，等. 黄芩苷对 SARS－CoV－2 侵袭的抑制作用研究[J]. 药学研究，2024，43(4)：333－337.
[21] WEI Z Q，GAO R，SUN Z，et al. Baicalin inhibits influenza a (H1N1)－induced pyroptosis of lung alveolar epithelial cells *via* caspase－3/GSDME pathway[J]. J Med Virol，2023，95(5)：e28790.
[22] 程瑶，王远迎，姚飞扬，等. 黄芩苷通过调控 PI3K/AKT 信号通路抑制登革病毒感染诱导的人静脉内皮细胞的自噬[J]. 南方医科大学学报，2024，44(7)：1272－1283.
[23] 张静，李静，侯红丽，等. 黄芩苷改善呼吸道合胞病毒肺炎幼鼠肺损伤的作用机制[J]. 安徽医药，2024，28(5)：904－908，1064.
[24] GAO L，ZHAO J X，QIN X M，et al. The ethanol extract of Scutellaria baicalensis Georgi attenuates complete Freund's adjuvant (CFA)－induced inflammatory pain by suppression of P2X3 receptor[J]. J Ethnopharmacol，2023，317：116762.
[25] 成宁宁，郑晨曦，代鑫，等. 黄芩素对葡聚糖硫酸钠诱导的溃疡性结肠炎小鼠的改善作用[J]. 中国新药杂志，2023，32(3)：276－282.
[26] 董国良. 黄芩苷干预 COPD 体内外模型抗炎/抗氧化作用及机制研究[D]. 南昌：南昌大学，2024.
[27] 郭运岭，李蕊，傅聪，等. 基于 Hippo－YAP 信号通路探讨黄芩苷干预膝骨关节炎大鼠的疗效和作用机制[J]. 中医正骨，2024，36(3)：15－22.
[28] 曹盼，张樱山，魏学明，等. 黄芩苷抗氧化作用机制研究进展[J]. 西部中医药，2021，34(2)：134－137.
[29] 段丹丹，高丽，王珂欣，等. 黄芩素通过抗氧化应激延长果蝇寿命的机制[J]. 药学学报，2016，51(9)：1401－1406.
[30] 钟晨晨，吴卓燕，张增峰，等. 基于斑马鱼模型的黄芩提取物抗炎和抗氧化活性评价[J]. 广东药科大学学报，2024，40(3)：18－24.
[31] 黄小倩. 过量铜致三黄鸡肝脏氧化损伤及黄芩苷的保护作用[D]. 扬州：扬州大学，2024.
[32] 郗有丽，王敏，周杰. 黄芩苷调控氧化应激治疗糖尿病肾病[J]. 生物加工过程，2024，22(4)：419－425.
[33] SONG Q X，PENG S X，ZHU X S. Baicalein protects against MPP(+)/MPTP－induced neurotoxicity by ameliorating oxidative stress in SH－SY5Y cells and mouse model of Parkinson's disease[J]. Neurotoxicology，2021，87：188－194.
[34] HUANG L，PENG B，NAYAK Y，et al. Baicalein and baicalin promote melanoma apoptosis and senescence *via* metabolic inhibition[J]. Front Cell Dev Biol，2020，8：836.
[35] CAI J Y，HU Q C，HE Z L，et al. Scutellaria baicalensis Georgi and their natural flavonoid compounds in the treatment of ovarian cancer：a review[J]. Molecules，2023，28(13)：5082.
[36] XIANG L，GAO Y，CHEN S Y，et al. Therapeutic potential of Scutellaria baicalensis Georgi in lung cancer therapy[J]. Phytomedicine，2022，95：153727.
[37] 刘洁，李备，刘春，等. 海南黄芩中汉黄芩素抗肿瘤活性研究[J]. 生物技术通讯，2018，29(4)：501－505.
[38] 廖文静，王国娟，郭敏，等. 黄芩苷抗结直肠癌药理学作用研究进展[J]. 上海中医药杂志，2024，58(7)：83－88.
[39] 王晓霞. 姜黄素联合黄芩苷对乙醇诱导的大鼠肝脏损伤的保护作用及其机制研究[D]. 兰州：兰州大学，2021.
[40] LIU W J，CHEN W W，CHEN J Y，et al. Baicalin attenuated metabolic dysfunction－associated fatty liver disease by suppressing oxidative stress and inflammation *via* the p62－Keap1－Nrf2 signalling pathway in db/db mice[J]. Phytother Res，2025，39(4)：1663－1678.
[41] FANG L，WANG H F，CHEN Y M，et al. Baicalin confers hepatoprotective effect against alcohol－associated liver disease by upregulating microRNA－205[J]. Int Immunopharmacol，2022，107：108553.
[42] 蒋雪玉，杨懿铭，孙娟，等. 黄芩苷预治疗对小鼠红细胞输注模型中 IgG 和 IgM 抑制作用的研究[J]. 临床输血与检验，2024，26(5)：604－609.
[43] 庞晓军，唐丰曼，黎东旺，等. 黄芩苷对环孢素致免疫功能低下小鼠免疫功能的影响[J]. 中国新药与临床杂志，2023，42(1)：37－41.
[44] 丁泽昊. 黄芩提取液对罗非鱼天然免疫的调控[D]. 海口：海南大学，2021.
[45] 武怡荷. 黄芩汤调控人工感染大肠杆菌雏鸡免疫功能与肠道菌群的分子机制[D]. 太谷：山西农业大学，2021.
[46] 邓期尹. 黄芩素干预系统性红斑狼疮疾病靶点的研究[D]. 广州：广州中医药大学，2023.

[47] 苏蕾，范有明. 黄芩苷与黄芩素神经保护作用机制研究进展[J]. 中医药导报，2021，27(10)：113－118.
[48] JIN X，LIU M Y，ZHANG D F，et al. Baicalin mitigates cognitive impairment and protects neurons from microglia－mediated neuroinflammation *via* suppressing NLRP3 inflammasomes and TLR4/NF－κB signaling pathway[J]. CNS Neurosci Ther，2019，25(5)：575－590.
[49] DUAN L N，ZHANG Y，YANG Y N，et al. Baicalin inhibits ferroptosis in intracerebral hemorrhage[J]. Front Pharmacol，2021，12：629379.
[50] GAO L，YANG WY，QI H，et al. Unveiling the anti－senescence effects and senescence－associated secretory phenotype (SASP) inhibitory mechanisms of Scutellaria baicalensis Georgi in low glucose－induced astrocytes based on Boolean network[J]. Phytomedicine，2022，99：153990.
[51] JIA Z X，YANG J L，CAO Z Q，et al. Baicalin ameliorates chronic unpredictable mild stress－induced depression through the BDNF/ERK/CREB signaling pathway[J]. Behav Brain Res，2021，414：113463.
[52] 彭兴华，李章红，李海平，等. 黄芩苷调控 Notch 通路对冠心病大鼠血小板功能、血脂水平及 ApoAⅠ、ApoB 的影响[J]. 中国老年学杂志，2024，44(17)：4243－4247.
[53] 宋丽. 黄芩素通过 Nrf2/HO－1 调控心肌铁死亡改善 ISO 诱导心肌损伤的作用[D]. 宜春：宜春学院，2023.
[54] SONG S Y，DING L，LIU G W，et al. The protective effects of baicalin for respiratory diseases：an update and future perspectives[J]. Front Pharmacol，2023，14：1129817.
[55] 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.
[56] 邱晓萍，张懿，陈煜林，等. 中国唇形科药用植物资源及利用现状和开发潜力[J]. 应用与环境生物学报，2023，29(2)：346－356.
[57] BRUNO M，PIOZZI F，MAGGIO A M，et al. Antifeedant activity of neoclerodane diterpenoids from two Sicilian species of Scutellaria[J]. Biochem Syst Ecol，2002，30(8)：793－799.
[58] 李影，周小青，陈杰，等. 黄芩属植物化学成分及药理作用的研究进展[J]. 江西中医药大学学报，2023，35(2)：111－120.
[59] YANG X Y，ZHENG S H，WANG X T，et al. Advances in pharmacology，biosynthesis，and metabolic engineering of Scutellaria－specialized metabolites[J]. Crit Rev Biotechnol，2024，44(2)：302－318.
[60] 吕佳桦，朱婵，唐宗湘. 中药药性中“苦味”形成机制及生物学意义[J]. 广西师范大学学报(自然科学版)，2022，40(5)：324－331.
[61] 陈慧，孙慧，杨秀艳，等. 中药寒热平性质与其化学成分类别相关性研究[J]. 辽宁中医药大学学报，2016，18(7)：103－106.
[62] 黄玉普，吴大章，王森. 黄芩的药理作用及其药对研究进展[J]. 中国药业，2022，31(15)：129－133.
[63] HU Q C，ZHANG W W，WU Z，et al. Baicalin and the liver－gut system：Pharmacological bases explaining its therapeutic effects[J]. Pharmacol Res，2021，165：105444.
[64] 冯倩倩，陈淼，何嘉丽，等. 黄芩素抗菌作用研究进展[J]. 宜春学院学报，2022，44(9)：21－24，51.
[65] 聂露，吴荣华，卢晓芳. 黄芩素调节磷脂酰肌醇 3 激酶/蛋白激酶 B 信号通路对先兆流产模型大鼠妊娠结局的影响[J]. 现代妇产科进展，2025，34(3)：196－200.
[66] 石雪芹. 汉黄芩苷对学习记忆损伤小鼠的神经保护作用及其机制研究[D]. 广州：广州中医药大学，2020.
[67] HUYNH D L，SHARMA N，KUMAR SINGH A，et al. Anti－tumor activity of wogonin，an extract from Scutellaria baicalensis，through regulating different signaling pathways[J]. Chin J Nat Med，2017，15(1)：15－40.
[68] 宋亚芳，夏伯候，杨红，等. 子芩与枯芩超高效液相色谱指纹图谱及模式识别研究[J]. 中国中医药信息杂志，2020，27(9)：92－96.
[69] 张欣蕊，蒋孝峰，张逸婷，等. HPLC 指纹图谱、多成分定量、UFLC－Q－TOF MS/MS 表征技术相结合的黄芩药材质量评价研究[J]. 中药材，2024，47(5)：1181－1189.
[70] 郑如文，刘港辉，江志强，等. 黄芩 UPLC－DAD 指纹图谱的建立及其黄芩苷和汉黄芩苷的含量研究[J]. 中南药学，2021，19(9)：1898－1903.
[71] 徐境荣，于钦川，赖莉，等. 基于多指标成分含量测定探索黄芩药材质量综合评价模式[J]. 药学学报，2021，56(11)：3141－3152.
[72] 杨时泰. 本草述钩元——32 卷[M]. 新 1 版. 上海：科技卫生出版社，1958.
[73] 刘思翰，李利华，王巍，等. 基于指纹图谱结合化学模式识别对黄芩不同炮制品差异性研究[J]. 辽宁中医药大学学报，2025，27(3)：28－32.
[74] 罗兰，魏劭恒，张英，等. UPLC 法比较黄芩不同炮制品中 5 种黄酮类成分[J]. 中成药，2021，43(4)：966－970.
[75] 乔瑞瑞，刘硕，白亚亚，等. 黄芩炒炭过程中主要成分与色度值的变化规律及其止血作用研究[J]. 中草药，2024，55(15)：5083－5092.
[76] 宋欢，吴书好，初旭，等. 黄芩饮片不同炮制品质量评价[J]. 特产研究，2024，46(5)：58－62，71.
[77] 宋亚南，王云，陈影，等. 黄芩不同炮制品黄酮类成分的整合药动学研究[J]. 世界中医药，2024，19(17)：2552－2561，2571.
[78] 刘玥昕，宋敏，杭太俊，等. 牛黄解毒片及黄芩大鼠给药后血浆中黄芩特征成分药代动力学的比较研究[J]. 药物分析杂志，2024，44(7)：1202－1211.
[79] 李淑娇，王宇卿. 基于 HPLC－Q－TOF/MS 法的黄芩血清药物化学分析[J]. 中成药，2019，41(3)：595－600.
[80] 段航，王林华，邝高艳，等. 汉黄芩素在骨关节炎中的药理作用及其机制的研究进展[J]. 中成药，2023，45(12)：4030－4035.
[81] 纪蒲家. 黄芩素对人三阴性乳腺癌细胞 MDA－MB－231 的凋亡作用机制研究[D]. 沈阳：辽宁中医药大学，2023.
[82] 蒋鹏轩. 黄芩苷改善扑热息痛所致肝损伤及其调控 CYP2E1 表达的机制[D]. 大庆：黑龙江八一农垦大学，2023.
[83] 张琳. 基于液质代谢组学的汉黄芩苷抗缺血性脑卒中活性研究[D]. 南京：南京理工大学，2021.
[84] 孙延鹏，丁力，刘璐，等. 野黄芩苷通过刺激 Sirtuin1/Nrf2/HO－1 信号通路改善阿尔茨海默症大鼠学习记忆能力[J]. 徐州医科大学学报，2023，43(1)：20－26.