

# 黄芪的化学成分及药理作用研究进展

刘贵珍<sup>1</sup>, 李 军<sup>2</sup>, 范志梁<sup>1</sup>, 顾春松<sup>3</sup>, 田兴中<sup>4</sup>, 李 文<sup>5</sup>, 陈云志<sup>5</sup>, 柴艺汇<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup>贵州中医药大学药学院, 贵州 贵阳

<sup>2</sup>贵州中医药大学中药民族药资源研究院, 贵州 贵阳

<sup>3</sup>贵州中医药大学第二临床医学院, 贵州 贵阳

<sup>4</sup>张家口市第五医院中医科, 河北 张家口

<sup>5</sup>贵州中医药大学基础医学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2023年2月16日; 录用日期: 2023年3月3日; 发布日期: 2023年5月18日

## 摘 要

黄芪为补药之长, 是补气升阳的要药, 具有固表止汗、利水消肿、生津养血等功效。黄芪的化学成分复杂, 包括黄芪多糖、黄芪皂苷、黄芪黄酮类、氨基酸及微量元素等其他成分。黄芪的药理作用广泛, 包括对骨代谢的影响、抗病毒及抗肿瘤等。本文总结了近年来有关黄芪的化学成分及药理作用, 为黄芪继续深入研究奠定理论基础。

## 关键词

黄芪, 化学成分, 药理作用

# Progress of Research on Chemical Composition and Pharmacological Effects of *Astragalus membranaceus*

Guizhen Liu<sup>1</sup>, Jun Li<sup>2</sup>, Zhiliang Fan<sup>1</sup>, Chunsong Gu<sup>3</sup>, Xingzhong Tian<sup>4</sup>, Wen Li<sup>5</sup>, Yunzhi Chen<sup>5</sup>, Yihui Chai<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup>School of Pharmacy, Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang Guizhou

<sup>2</sup>School of Traditional Chinese Medicine Resources, Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang Guizhou

<sup>3</sup>The Second Clinical Medical School, Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang Guizhou

<sup>4</sup>Department of Traditional Chinese Medicine, Zhangjiakou Fifth Hospital, Zhangjiakou Hebei

<sup>5</sup>School of Basic Medical Sciences, Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang Guizhou

\*通讯作者。

文章引用: 刘贵珍, 李军, 范志梁, 顾春松, 田兴中, 李文, 陈云志, 柴艺汇. 黄芪的化学成分及药理作用研究进展[J]. 药物化学, 2023, 11(2): 70-80. DOI: 10.12677/hjmce.2023.112010

Received: Feb. 16<sup>th</sup>, 2023; accepted: Mar. 3<sup>rd</sup>, 2023; published: May 18<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

*Astragalus membranaceus* is the longest of the tonic herbs and is an important medicine for tonifying qi and raising yang, with the efficacy of fixing the surface to stop sweating, preventing water retention and swelling, and generating fluid to nourish blood. The chemical composition of *Astragalus membranaceus* is complex, including *Astragalus* polysaccharides, *Astragalus* saponins, *Astragalus* flavonoids, amino acids and other components such as trace elements. *Astragalus* has a wide range of pharmacological effects, including effects on bone metabolism, antiviral and anti-tumor. This paper summarizes the chemical composition and pharmacological effects of *Astragalus membranaceus* in recent years, and lays the theoretical foundation for further research on *Astragalus membranaceus*.

## Keywords

*Astragalus membranaceus*, Chemical Composition, Pharmacological Effects

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

黄芪是豆科植物蒙古黄芪 *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bge. var. *mongholicus* (Bge.) Hsiao 或膜荚黄芪 *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bge. 的干燥根, 主要分布于内蒙古、宁夏、陕西和山西等地, 味甘性微温, 归肺脾两经, 具有补气升阳、固表止汗、利水消肿、生津养血等功效[1] [2]。黄芪入药历史悠久, 始载于《神农本草经》, 该书首次提出黄芪可用于治疗内科虚证、外科痈疽症及儿科病症, 随着医家从不同角度对黄芪功效及作用机制进行深入研究及系统阐述, 黄芪治疗妇科病症、消渴症、痛症及汗症等疾病病机被进一步探明, 黄芪益气固表、甘温除热及补益中气等功效被进一步明确[3]。现代中医将黄芪常用于治疗气虚乏力、食少便溏、表虚自汗及久泻脱肛等疾病[2]。研究表明黄芪含有黄芪多糖类、皂苷类及黄酮类等其他多种成分; 结合现代药理学研究发现黄芪具有影响骨代谢、提高免疫力及抗氧化应激等多种生物活性[3]。本文总结了近年来有关黄芪化学成分及药理作用等方面的研究报道, 为今后黄芪的研究与开发提供参考。

## 2. 黄芪的化学成分

### 2.1. 黄芪多糖

黄芪多糖(APS)是黄芪的初生代谢产物之一[3]。APS 结构复杂, 目前主要是通过 APS 的分子量、单糖组成比例、糖链的连接顺序及空间结构等结构表征来了解 APS 的结构[4]。APS 的分子量分布广泛, 如李红法[5]等人采用分级醇沉法研究 APS 的分子量分布, 结果显示 APS 的分子量分布为 1000~4500 kDa、420~720 kDa、90~200 kDa、46~68 kDa、10~20 kDa 及 6~8 kDa。组成 APS 的单糖种类丰富, 单糖的组成种类及比例会因品质、分子量等因素而产生差异, 如颜军[6]等人对提取分离得到的 3 种 APS 进行单糖

组成及比例分析时发现 APS-1 由半乳糖、葡萄糖、阿拉伯糖组成,其组成比为 1.0:24.8:2.5;APS-2 与 APS-3 都由鼠李糖、半乳糖醛酸、葡萄糖、半乳糖、阿拉伯糖组成,但其组成比却不相同。不同种类的 APS 中的糖苷键类型存在差异,如刘卫宝[7]等人对从蒙古黄芪中提取分离出的 2 种 APS 进行红外光谱检测,结果显示 APS-1 以  $\alpha$ -型吡喃糖苷键为主;APS-2 则同时包含  $\alpha$ -型糖苷键和  $\beta$ -型糖苷键。APS 的糖链连接方式复杂多样,如林梦感[8]等人对提取出的黄芪多糖 MAPS-5 进行甲基化分析,发现该糖末端是以 1 $\rightarrow$ 4、1 $\rightarrow$ 4, 6 连接葡萄糖;刘荣强[9]对所提取出 APS- I 和 APS- II 进行甲基化分析,结果显示 2 种黄芪多糖是以 1 $\rightarrow$ 3 连接为主链的葡聚糖,少量 1 $\rightarrow$ 4、1 $\rightarrow$ 6 连接的葡萄糖及 1 $\rightarrow$ 4 连接的阿拉伯糖和木糖以分支形式存在。APS 还存在高级结构,目前可通过扫描电子显微镜、刚果红实验等进行研究,如李红法[5]等人采用扫描电子显微镜观察所提取到的 6 种多糖的形态学特征,结果显示 6 种 APS 的表面特征有差异。

## 2.2. 黄芪皂苷类

黄芪皂苷类化合物在黄芪中虽含量偏低,但种类丰富,黄芪皂苷类化合物属于三萜皂苷及衍生物,其结构主要是由母核皂苷元及不同数量、种类的糖基构成[10]。通过查阅文献,黄芪皂苷类成分,见表 1。

**Table 1.** Saponins of *Astragalus membranaceus*

**表 1.** 黄芪皂苷类成分

序号	成分名称	文献	序号	成分名称	文献
1	Cyclocanthoside A	[11]	23	agroastragalosides IV	[16]
2	Isoastragaloside IV	[11]	24	Astramembranoside B	[17]
3	Cyclocanthoside E	[11]	25	Isoastragaloside V	[17]
4	Astragaloside VII	[11]	26	Isoastragaloside VI	[17]
5	Astragaloside III	[11]	27	Astraverrucin I	[18]
6	Astragaloside VI	[11]	28	Astragaloside VIII	[19]
7	Astragaloside IV	[11]	29	Soyasaponin I	[19]
8	Isoastragaloside II	[12]	30	Neoastragaloside I	[20]
9	Astragaloside II	[12]	31	Cycloastragenol	[21]
10	Astragaloside III	[12]	32	Agroastragalosides	[21]
11	Isoastragaloside I	[12]	33	Soyasapogeno I B	[21]
12	Brachyoside B	[12]	34	Isocyclocanthosides E	[22]
13	cycloaraloside A	[12]	35	Agroastragaloside V	[22]
14	Astragaloside I	[13]	36	Mongholicoside A	[23]
15	Astragaloside II	[13]	37	Mongholicoside B	[23]
16	Isoastragaloside I	[13]	38	Huangqiyenins II	[24]
17	Isoastragaloside II	[13]	39	Huangqiyenins B	[24]
18	Astragaloside IV	[14]	40	azukisaponin V	[25]
19	Astragaloside V	[14]	41	azukisaponin V methyl ester	[25]
20	Astragaloside IV	[14]	42	astragaloside VIII methyl ester	[25]
21	Acetytastragaloside	[15]	43	robinioside F	[26]
22	agroastragalosides III	[16]	44	robinioside B	[26]

### 2.3. 黄芪黄酮类

黄芪黄酮是黄芪重要的次生代谢产物之一,具有增强免疫力、抗氧化等药理作用[27]。通过查阅文献,黄芪黄酮类成分,见表2。

**Table 2.** Flavonoids of *Astragalus membranaceus*

**表 2.** 黄芪黄酮类成分

序号	化合物名称	文献
1	Formononetin	[28]
2	calycosin	[28]
3	Calycosin-7-O- $\beta$ -D-glucopyranoside	[28]
4	Odoratin-7-O- $\beta$ -glucopyranoside	[28]
5	8,3'-dihydroxy-7,4'-dimethoxyisoflavone	[28]
6	7,3'-dihydroxy-8,4'-dimethoxyisoflavone	[28]
7	Genistin	[29]
8	Pratensein-7-O- $\beta$ -glucoside	[29]
9	(6aR,11aR)-9,10-dimethoxypterocarpan-3-O- $\beta$ -D-glycoside	[29]
10	Pratensein	[30]
11	Afromosin-7-O- $\beta$ -D-glycoside	[30]
12	Calycosin-7-O- $\beta$ -D-glycoside-6"-O-acetate	[30]
13	2'-Hydroxy-7,3',4'-trimethoxyisoflavan	[30]
14	Formononetin-7-O- $\beta$ -D-glycoside-6"-O-acetate	[30]
15	Afromosin-7-O- $\beta$ -D-glycoside-6"-O-malonate	[30]
16	Calycosin-7-O- $\beta$ -D-glycoside-6"-O-malonate	[30]
17	Formononetin-7-O- $\beta$ -D-glycoside-6"-O-malonate	[30]
18	9,10-Dimethoxypterocarpan-3-O- $\beta$ -D-glycoside	[30]
19	2'-Hydroxy-3',4'-dimethoxyisoflavan-7-O- $\beta$ -D-glycoside	[30]
20	(6aR,11aR)-3-Hydroxy-9,10-dimethoxypterocarpan	[30]
21	(3R)-7,2'-Dihydroxy-3',4'-dimethoxyisoflavan	[30]
22	Astrapterocarpan-glucoside-6"-O-malonate	[31]
23	Astraisoflavanglucoside-6"-O-malonate	[31]
24	(3R)-isomucronulatol	[32]
25	(3R)-7-O- $\beta$ -glucoside-isomucronulatol	[33]
26	Isomucronulatol-7,2'-di-O-glucoside	[33]
27	5'-hydroxyisomucronulatol-2',5'-di-O-glucoside	[33]
28	7-O-methylisomucronulatol	[33]
29	3,9-di-O-methylnissolin	[33]
30	Isomucronulatol-7-O-glucoside	[33]
31	(3R)-8,2'-di-OH-7,4'-dimethoxyisoflavane	[34]
32	(3R)-7,2',3'-trihydroxy-4'-methoxyisoflavan	[34]
33	(6aR,11aR)-3,9-dimethoxy-10-hydroxypterocarpan	[35]
34	(6aR,11aR)-3,9,10-tri-methoxypterocarpan	[35]

## Continued

35	(3R)-2'-hydroxy-7,3',4'-trimethoxy-isoflavan	[35]
36	Daucosterol	[36]
37	Afromosin	[36]
38	Formononetin-7-O- $\beta$ -D-glucoside	[36]
39	(3R)8,2'-dihydroxy-7,4'-dimethoxyisoflavan	[36]
40	6-Hydroxy-7-methoxy-3',4'-methylenedioxyisoflavone	[37]
41	5',7-di-OH-3'-methoxyisoflavone	[38]
42	(3R)-2'-hydroxy-3',4'-dimethoxyisoflavan-7-O- $\beta$ -D-glucoside	[38]
43	5'-hydroxy-3'-methoxyisoflavone-7-O- $\beta$ -D-glucoside	[38]
44	(3R)-7,2'-Dihydroxy-3',4'-dimethoxyisoflavan	[38]
45	5,7,4'-trihydroxyisoflavones	[39]
46	4,2',4'-trihydroxychalcone	[39]
47	(3R)-8,2'-dyhydroxy-7,4-dimethoxy-isoflavane	[39]
48	7,2'-dyhydroxy-3',4'-dimethoxy-isoflavane-3-O- $\beta$ -D-glucoside	[39]
49	6''-O-acetyl-formononetin	[40]
50	6''-O-acetyl-(3R)-7,2'-dyhydroxy-3',4'-dimethoxy-isoflavane-7-O- $\beta$ -D-glucoside	[40]
51	6''-O-acetyl-(6aR,11aR)-3-hydroxy-9,10-dimethoxy-rosealtane-3-O- $\beta$ -D-glucoside	[40]
52	5,7-dyhydroxy-4'-methoxyisoflavones-7-O- $\beta$ -D-glucoside	[40]
53	5,7,4'-trihydroxyl-3'-methoxyisoflavones	[40]
54	(-)-methylnissolin 3-O- $\beta$ -D-(6'-acetyl)-glucoside	[41]
55	(-)-methylnissolin 3-O- $\beta$ -D-{6'-[(E)-but-2-enoyl]}-glucoside	[41]
56	(-)-methylnissolin 3-O- $\beta$ -D-glucoside	[41]
57	3'-methoxy-5'-hydroxy-isoflavone-7-O- $\beta$ -D-glucoside	[42]
58	4,4'-Dimethyl-6'-hydroxychalcone	[43]
59	4-methoxy-4',6'-dihydroxychalcone	[43]
60	7,4'-dihydroxydihydroflavone	[43]
61	4,4',6'-trihydroxychalcone	[43]
62	4'-hydroxydihydroflavone-7-O- $\beta$ -D-glucoside	[43]
63	3,2'-dihydroxy-3',4'-dimethoxyisoflavane-7-O- $\beta$ -D-glucoside	[43]
64	(3R)7,2'-dyhydroxy-5',6'-dimethoxyisoflavane-7-O- $\beta$ -D-glucoside	[44]
65	liquiritigenin	[12]
66	pendulone	[12]
67	Licoricchalcone	[12]
68	Licorice chalcone	[12]
69	2'-methoxyisoliquritigenin	[12]
70	4',7-dihydroxyflavone	[12]
71	3',4',7-trihydroxyflavone	[12]
72	3',7,8-trihydroxy-4'-methoxyisoflavone	[12]
73	Lupenone	[15]
74	9,10-dimethoxy-3-hydroxypterocarpa	[15]
75	(6aR,11aR)-3,9-dimethoxy-10-hydroxy-pterocarpan	[15]

## 2.4. 其他成分

除了以上三类成分外,黄芪还含有丰富的微量元素,有研究利用微波消解-ICP-OES法测定黄芪中13种微量元素,其中K、P、S、Ca、Mg的含量较高,这可能与黄芪补气的功效有一定的相关性[45]。黄芪中所含氨基酸的数量超过14种,其中主要以脯氨酸、天冬氨酸及谷氨酸为主,而且不同的炮制方法对黄芪中氨基酸的含量也有影响,其中生黄芪中总氨基酸的含量最高,其次为炒黄芪、酒黄芪,最低为盐黄芪[46]。此外,黄芪还含有绿原酸、阿魏酸、烟酰胺等化学成分[47]。

## 3. 药理作用

### 3.1. 对骨代谢的影响

骨髓间充质干细胞(BMSCs)向成骨细胞分化是维持骨代谢的关键因素,BMSCs衰老是导致老年性骨质疏松发生的重要因素之一,细胞实验证明黄芪可促进D-半乳糖诱导的衰老BMSCs向成骨细胞分化并延缓BMSCs的衰老,从而减缓骨质疏松的发生发展[48]。另有研究证明黄芪含药血清可提高D-半乳糖诱导的衰老BMSCs的维生素D受体及Klotho基因、蛋白的表达水平,下调FGF23至正常水平,达到抑制BMSCs衰老的作用,进而发挥防治骨质疏松的药效[49]。有学者发现黄芪的有效成分对绝经后骨质疏松的防治具有一定的疗效,黄芪甲苷可通过调节FoxO3a/Wnt2/ $\beta$ -catenin通路,抑制氧化损伤,促进成骨细胞的增殖与分化来改善去卵巢大鼠的骨代谢失衡[50]。APS能改善骨微结构特性,增加血钙含量,对去卵巢大鼠的骨质疏松具有积极的治疗作用,其机制可能与激活BMP-2/Smads信号通路有关[51]。

### 3.2. 对心脑血管系统的影响

黄芪可通过调节氨基酸代谢来维持神经递质稳态,修复脑神经元损伤,发挥脑保护效应[52]。研究发现黄芪甲苷能抑制细菌性脑膜炎大鼠的神经元凋亡,阻止神经元骨架重构,促进中枢神经系统内源性修复,其机制与抑制RhoA/ROCK通路激活有关[53]。毛蕊异黄酮可减少脑缺血再灌注大鼠脑梗死体积,减少凋亡关键蛋白Caspase-3的表达,阻碍神经细胞的凋亡,从而发挥脑神经保护作用[54]。另外,黄芪能通过改善脂肪酸代谢来增强心脏能量供应,治疗心血管疾病[52]。APS可下调脓毒症小鼠促炎细胞因子白细胞介素- $1\beta$ 水平,减少心肌细胞凋亡,改善小鼠心功能障碍[55]。黄芪甲苷对缺氧/复氧损伤的乳鼠原代心肌细胞有保护作用,其机理与上调血红素氧化酶-1mRNA及蛋白水平,下调炎症因子水平有关[56]。唐石欢[57]等人发现APS能抑制衰老小鼠促凋亡基因/蛋白p53表达,抑制造血干细胞的凋亡。

### 3.3. 对免疫系统的影响

胸腺和脾脏分别是机体的中枢及外周免疫器官,实验研究显示黄芪可升高环磷酰胺所致免疫失衡小鼠的胸腺指数,减轻环磷酰胺所致的脾肿大,降低外周血CD3+T细胞数量,提高CD19+T细胞和CD314+T细胞数量,进而改善机体免疫失衡[58]。此外黄芪甲苷可上调细胞因子白细胞介素-2和可溶性二聚体细胞因子水平,促进B细胞增殖及抗原呈递,加强自然杀伤细胞的杀伤能力,进而增强环磷酰胺所致免疫抑制小鼠的免疫功能[59]。另有研究发现APS能通过调节细胞因子水平来促进免疫抑制小鼠胸腺及脾的免疫功能恢复[60]。APS可干预变应性哮喘大鼠模型中树突状细胞表型的表达,调节机体免疫功能失衡,促进大鼠肺功能的恢复[61]。实验研究发现黄芪总黄酮既能适度活化正常RAW264.7细胞的NF- $\kappa$ B信号通路及提高细胞因子含量,增强机体免疫功能,也能抑制脂多糖刺激的RAW264.7细胞NF- $\kappa$ B信号通路的过度激活及细胞因子的过度释放,减少炎症反应,从而对巨噬细胞RAW264.7发挥抗炎免疫双向调节作用[62]。

### 3.4. 抗肿瘤作用

滤泡辅助性 T 细胞(Tfh 细胞)在抗肿瘤免疫中发挥着重要作用,实验证明黄芪可通过促进 Tfh 细胞向肿瘤的迁移,增加肿瘤中 CD8 + T 细胞数量,来减缓肾细胞癌小鼠肿瘤的生长[63]。黄芪注射液能下调小鼠 4T1 乳腺癌细胞移植瘤组织中细胞周期蛋白 D1 表达水平,阻滞肿瘤细胞由 G0/G1 期进入 S 期,抑制肿瘤细胞的增殖,同时促进凋亡关键酶 Caspase-3 的表达,减少抗凋亡因子 Bcl-2 的表达,诱导肿瘤细胞的凋亡[64]。细胞实验显示黄芪提取物可抑制 PI3K/Akt/mTOR 信号通路来抑制体外培养的人乳腺癌细胞的生长并诱导其凋亡[65]。此外,研究表明黄芪甲苷可促进巨噬细胞内信号传导及转录激活因子 1 发生磷酸化,进而诱导巨噬细胞向具有抗肿瘤作用的 M1 型巨噬细胞发生极化,从而启动巨噬细胞相关的抗肿瘤免疫应答[66]。APS 能通过减少与肿瘤转移密切相关的蛋白酶基质金属蛋白酶-2 和基质金属蛋白酶-9 的表达水平来抑制人结肠癌 HCT116 细胞的侵袭和转移[67]。

### 3.5. 抗病毒作用

柯萨奇 B3 病毒(CVB3)感染可造成心肌细胞受损死亡,研究发现黄芪皂苷可抑制 CVB3 基因复制,降低 CVB3 表达量,从而减轻 CVB3 对心肌细胞的损伤,对病毒性心肌炎大鼠的心肌细胞具有保护作用[68]。APS 对人呼吸道合胞病毒(RSV)复制有抑制作用,可调节 RSV 引起的免疫及氧化反应,对被 RSV 感染的小鼠发挥抗病毒作用,其机制与抑制 TLR4/MAPK/NF- $\kappa$ B 通路激活有关[69]。另外,采用网络药理学方法发现玉屏风散治疗新型冠状病毒肺炎(COVID-19)筛选出的 44 个活性化合物中有 20 个来自黄芪[70]。防瘟九味饮筛选出防治 COVID-19 作用最强的 8 个化合物中有 2 个化合物归属于黄芪,通过建立中药-化合物-靶点-疾病网络模型分析这 2 个化合物可能具有抗肠道病毒 71 型等其他病毒的活性[71]。

### 3.6. 抗氧化应激

Nrf2-ARE 和 MAPKs 是抗氧化应激重要的信号通路,Nrf2-ARE 信号通路可激活下游抗氧化应激基因血红素氧合酶-1 来减少氧化损伤[72]。实验研究发现黄芪提取物对病毒性心肌炎大鼠的心肌组织具有保护作用,其可增加抗氧化蛋白超氧化物歧化酶(SOD)及还原型谷胱甘肽含量,减少活性氧及过氧化物终产物丙二醛的产生,从而减轻大鼠心肌细胞内氧化应激损伤,其机制与调节 Nrf2/HO-1 通路有关[73]。MAPKs 信号通路主要包括 JNK 及 p38MAPK 信号通路[72]。糖尿病酮症酸中毒小鼠经口给予的,黄芪甲苷可调节 JNK 及 Nrf2 信号通路,增强胰腺组织抗氧化能力[74]。黄芪甲苷可降低间歇性缺氧诱导的人肺上皮 Beas-2B 细胞活性氧水平,提高 SOD 水平,抑制 JNK 及 p38MAPK 信号通路,抑制氧化应激反应[75]。

### 3.7. 其他作用

黄芪还具有其他药理作用,如保护肝脏、保护肾脏等。肝纤维化是细胞外基质降解与失衡产生的结果,基质金属蛋白酶-1 (MMP-1)及组织金属蛋白酶抑制剂-1 (TIMP-1)与细胞外基质的降解相关,黄芪可通过上调肝纤维化大鼠的 MMP-1 及下调 TIMP-1 表达水平,抑制细胞外基质的表达,从而阻止大鼠肝纤维化的发生发展[76]。黄芪对糖尿病肾病大鼠的肾小球具有一定的保护作用,其作用主要通过阻断大鼠肾脏内质网应激反应的激活来完成[77]。黄芪可降低慢性肾小球肾炎大鼠机会致病菌及尿素素产生菌相对丰度,增加短链脂肪酸产生菌相对丰度,提高大鼠肠道屏障修复相关代谢,从而改善肾损伤[78]。细胞实验研究发现黄芪能抑制缺氧诱导的视网膜新生血管的形成,改善糖尿病视网膜病变[79]。

## 4. 总结与展望

黄芪作为常用的中药材之一,含有丰富的化学成分,如黄芪多糖、黄芪皂苷、黄酮类及微量元素等

成分。近年来随着黄芪化学成分分离提取、结构鉴定及色谱分析等方面研究的深入开展及各种检测技术的成熟,研究人员对黄芪多糖、黄芪皂苷及黄酮类等含量较高的有效成分不断地展开深入地研究,而对于氨基酸等含量较低的化学成分关注度则较少,且近年来从黄芪中提取分离鉴定出的新化合物较少,因此可以在现有的研究基础上加大对黄芪中化合物相关方面的研究力度,从不同方面探寻新的化合物,为黄芪的药用开发提供选择。随着黄芪中的化合物被不断地发掘,黄芪的药理作用也广受关注,如防治骨质疏松、抗肿瘤、抗炎抗病毒等药理作用。虽然目前研究人员对黄芪的药理作用及其机制方面做了大量的基础实验研究,但存在不足,如黄芪调节骨代谢的体内研究较少;基于网络药理学研究发现玉屏风散治疗新型冠状病毒肺炎能筛选出来自黄芪的活性化合物[70],但这些活性化合物是否具有抗新冠病毒的作用需要实验进一步验证。黄芪具有重要的药用价值,较大的开发潜力,今后需要对黄芪进行深入的药理药效研究,促进黄芪进一步的开发及利用。

## 基金项目

贵州省科技计划项目,项目编号:黔科合基础-ZK[2022]一般 456;2023 年度贵州省卫生健康委科学技术基金项目,项目编号:gzwkj2023-524;贵州省中医药管理局中医药、民族医药科学技术研究课题专项,项目编号:QZYY-2021-022。

## 参考文献

- [1] 彭露茜,郭彦龙. 中国黄芪地理分布和未来适生区预测[J]. 四川农业大学学报, 2017, 35(1): 60-68.
- [2] 马艳春,胡建辉,吴文轩,等. 黄芪化学成分及药理作用研究进展[J]. 中医药学报, 2022, 50(4): 92-95.
- [3] 杨祎辰,党艳妮,安莉,等. 营养元素对黄芪初生及次生代谢的影响[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(11): 178-180.
- [4] 芮雯,李婵艺,陈宏远. 黄芪多糖的结构表征与生物活性研究进展[J]. 中药新药与临床药理, 2019, 30(2): 264-270.
- [5] 李红法,郭松波,满淑丽,等. 乙醇分级沉淀提取黄芪多糖及其理化性质和抗氧化活性研究[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(11): 2112-2116.
- [6] 颜军,易勇,邬晓勇,等. 黄芪多糖的相对分子量测定及单糖组成分析[J]. 食品科技, 2012, 37(12): 278-283.
- [7] 刘卫宝,余讯,徐静静,等. 黄芪多糖的分离、结构表征及益生活性研究[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(7): 50-56.
- [8] 林梦感,杨义芳,许海燕. 黄芪多糖 MAPS-5 的化学结构及其体外淋巴细胞增殖活性[J]. 中草药, 2009, 40(12): 1865-1868.
- [9] 刘荣强. 黄芪多糖结构与抗肿瘤活性研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津科技大学, 2011.
- [10] 肖亦菽,王如锋,赵淑娟. 中药黄芪皂苷类成分生物合成研究进展[J]. 上海中医药大学学报, 2021, 35(5): 80-88, 96.
- [11] 王雪,唐生安,段宏泉. 膜荚黄芪中皂苷类化学成分研究[J]. 天津医科大学学报, 2017, 23(6): 516-518.
- [12] 李延勋,栗章彭,颜世利,等. 膜荚黄芪化学成分研究[J]. 中草药, 2017, 48(13): 2601-2607.
- [13] 郭璐. 黄芪中皂苷类成分及黄芪甲苷结构修饰的研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2014.
- [14] 杨芮平. 膜荚黄芪的化学成分研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳药科大学, 2008.
- [15] 禹建芳,赵江源,杨智明,等. 膜荚黄芪化学成分研究[J]. 中药材, 2022, 45(2): 341-345.
- [16] Yu, Z., Hirotani, M., Rui, H. and Furuya, T. (1995) Two Triglycosidic Triterpene Astragalosides from Hairy Root Cultures of *Astragalus membranaceus*. *Phytochemistry*, **38**, 1407-1410. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(94\)00833-F](https://doi.org/10.1016/0031-9422(94)00833-F)
- [17] Kim, J.S., Yean, M.H., Lee, E.-J., Jung, H.S., Lee, J.Y., Kim, Y.J. and Kang, S.S. (2008) Two New Cycloartane Saponins from the Roots of *Astragalus membranaceus*. *Chemical & Pharmaceutical Bulletin*, **56**, 105-108. <https://doi.org/10.1248/cpb.56.105>
- [18] Pistelli, L., Pardossi, S., Flamini, G., Bertoli, A. and Manunta, A. (1997) Three Cycloastragenol Glucosides from *Astragalus verrucosus*. *Phytochemistry*, **45**, 585-587. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(96\)00862-X](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(96)00862-X)
- [19] 郑善松,王峥涛. 蒙古黄芪化学成分研究[J]. 上海中医药大学学报, 2011, 25(5): 89-94.



- [20] 张苗苗, 刘艳丽, 陈重, 等. 艾迪注射液的化学成分研究[J]. 中草药, 2012, 43(8): 1462-1470.
- [21] Kravtsov, V.Kh., Biyushkin, V.N., Rebrova, O.N., Isaev, M.I., Gorovits, M.B., Alaniya, M.D. and Abubakirov N.K. (1989) Triterpene Glycosides of Astragalus and Their Genins. XXVII. X-Ray Structural Investigation of Cyclogalegi genin. *Chemistry of Natural Compounds*, **24**, 458-462. <https://doi.org/10.1007/BF00598531>
- [22] Lee, D.Y., Noh, H.J., Choi, J., et al. (2013) Anti-Inflammatory Cycloartane-Type Saponins of Astragalus Membranaceus. *Molecules*, **18**, 3725-3732. <https://doi.org/10.3390/molecules18043725>
- [23] Yu, Q.T., Li, P., Bi, Z.M., Luo, J. and Gao, X.D. (2007) Two New Saponins from the Aerial Part of *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus*. *Chinese Chemical Letters*, **18**, 554-556. <https://doi.org/10.1016/j.ccllet.2007.03.025>
- [24] Kuang, H., Okada, Y., Yang, B., Tian, Z. and Okuyama, T. (2009) Secocycloartane Triterpenoidal Saponins from the Leaves of *astragalus membranaceus* Bunge. *Helvetica Chimica Acta*, **92**, 950-958. <https://doi.org/10.1002/hlca.200800341>
- [25] Kai, Z., Michela, P., Antonio, P. and Annamaria, P. (2015) Biological Active Ingredients of Traditional Chinese Herb *astragalus membranaceus* on Treatment of Diabetes: A Systematic Review. *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*, **15**, 315-329. <https://doi.org/10.2174/1389557515666150227113431>
- [26] Yahara, S., Kohjyouma, M. and Kohoda, H. (2000) Flavonoid Glycosides and Saponins from *Astragalus shikokianus*. *Phytochemistry*, **53**, 469-471. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(99\)00512-9](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(99)00512-9)
- [27] 张倩倩, 李光跃, 苏优拉, 等. 干旱胁迫对蒙古黄芪和膜荚黄芪不同器官黄酮类成分积累的影响[J]. 西北植物学报, 2020, 40(7): 1201-1208.
- [28] 宋纯清, 郑志仁, 刘涤, 等. 膜荚黄芪中的异黄酮化合物[J]. 植物学报, 1997, 39(8): 764-768.
- [29] 涂天智, 沈剑刚, 蒋建勤. 内蒙黄芪的化学成分研究[J]. 华西药学杂志, 2009, 24(5): 466-468.
- [30] Zhang, X., Xiao, H.B., Xue, X.Y., et al. (2007) Simultaneous Characterization of Isoflavonoids and Astragalosides in Two *Astragalus* species by High-Performance Liquid Chromatography Coupled with Atmospheric Pressure Chemical Ionization Tandem Mass Spectrometry. *Journal of Separation Science*, **30**, 2059-2069. <https://doi.org/10.1002/jssc.200700014>
- [31] Lin, L.Z., He, X.G., Lindenmaier, M., et al. (2000) Liquid Chromatography-Electrospray Ionization Mass Spectrometry Study of the Flavonoids of the Roots of *Astragalus mongholicus* and *A. membranaceus*. *Journal of Chromatography A*, **876**, 87-95. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(00\)00149-7](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)00149-7)
- [32] Pei, Y., Li, R., Fu, H., Wang, J. and Zhou, Y. (2008) A New Isoflavone Glucoside from *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus*. *Fitoterapia*, **78**, 602-604. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2007.04.007>
- [33] Subarnas, A., Oshima, Y. and Hikino, H. (1991) Isoflavans and a Pterocarpan from *Astragalus mongholicus*. *Phytochemistry*, **30**, 2777-2780. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(91\)85143-N](https://doi.org/10.1016/0031-9422(91)85143-N)
- [34] 宋纯清, 郑志仁, 刘涤, 等. 膜荚黄芪中两个新的抗异黄酮烷化合物[J]. 植物学报, 1997, 39(5): 486-488.
- [35] 宋纯清, 郑志仁, 刘涤, 等. 膜荚黄芪中的紫檀烷和异黄酮烷化合物[J]. 植物学报, 1997, 39(12): 1169-1171.
- [36] 卞云云, 管佳, 毕志明, 等. 蒙古黄芪的化学成分研究[J]. 中国药学杂志, 2006, 41(16): 1217-1221.
- [37] Lenssen, A.W., Martin, S.S., Townsend, C.E. and Hawkins, B. (1994) Acicerone: An Isoflavone from *Astragalus cicer*. *Phytochemistry*, **36**, 1185-1187. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)89635-1](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)89635-1)
- [38] 温宇寒, 程亮, 郑丹, 等. 蒙古黄芪化学成分研究[J]. 实用药物与临床, 2010, 13(2): 115-119.
- [39] 李瑞芬. 蒙古黄芪干燥根的化学成分研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳药科大学, 2006.
- [40] 张亚洲, 徐风, 梁静, 等. 蒙古黄芪中异黄酮类化学成分研究[J]. 中国中药杂志, 2012, 37(21): 3243-3248.
- [41] Zhang, L.-J., Liu, H.-K., Hsiao, P.-C., et al. (2011) New Isoflavonoid Glycosides and Related Constituents from *Astragalus membranaceus* and Their Inhibitory Activity on Nitric Oxide Production. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, **59**, 1131-1137. <https://doi.org/10.1021/jf103610j>
- [42] 曹正中, 曹园, 易以军, 等. 膜荚黄芪中新异黄酮苷的结构鉴定[J]. 药学学报, 1999, 34(5): 73-75.
- [43] 王青虎, 王秀兰, 奥·乌力吉, 等. 蒙古黄芪化学成分的研究[J]. 中国药学杂志, 2014, 49(5): 357-359.
- [44] 喻正坤. 膜荚黄芪活性成分研究[J]. 植物资源与环境, 1993(4): 40-43.
- [45] 秦慷妮, 黄俊杰, 秦翠芸. ICP-OES 法测定黄芪中 13 种微量元素[J]. 广州化工, 2017, 45(6): 112-114.
- [46] 江国荣, 禰雪梅, 刘肖林, 等. 不同炮制方法对中药黄芪中糖类和氨基酸类成分含量的影响[J]. 医学理论与实践, 2019, 32(18): 2992-2994.
- [47] 吴娇, 王聪. 黄芪的化学成分及药理作用研究进展[J]. 新乡医学院学报, 2018, 35(9): 755-760.

- [48] 李文, 顾春松, 管连城, 等. 黄芪对 D-半乳糖诱导骨髓间充质干细胞钙结节数、骨钙素 mRNA 及蛋白表达水平的影响[J]. 时珍国医国药, 2020, 31(11): 2586-2590.
- [49] 王焕珍, 田永松, 杨殿忠, 等. 黄芪含药血清对 D-半乳糖诱导大鼠衰老骨髓间充质干细胞维生素 D-FGF23-Klotho 轴的影响[J]. 时珍国医国药, 2020, 31(8): 1833-1836.
- [50] 成鹏, 白银亮, 胡彩莉, 等. 黄芪甲苷通过调控 FoxO3a/Wnt2/ $\beta$ -catenin 通路抑制去卵巢大鼠骨质疏松的作用[J]. 中国实验方剂学杂志, 2018, 24(15): 161-166.
- [51] 张小钰, 陈慧, 马敬祖, 等. 黄芪多糖治疗对去卵巢诱导骨质疏松大鼠骨密度、骨量和骨代谢的影响[J]. 中国骨质疏松杂志, 2021, 27(1): 21-25.
- [52] 邓小颖, 杨旭萍, 刘佩芳, 等. 黄芪对小鼠心脑血管系统代谢稳态的影响[J]. 中国药科大学学报, 2020, 51(4): 494-501.
- [53] 于倩, 安喆妮. 黄芪甲苷通过 RhoA/ROCK2 通路对脑膜炎大鼠皮质神经元的保护作用[J]. 中医药导报, 2021, 27(11): 12-17.
- [54] 张三宁, 靳晓飞, 张怡, 等. 黄芪中毛蕊异黄酮不同剂量对脑缺血再灌注大鼠神经细胞的保护作用[J]. 河北中医药学报, 2022, 37(3): 43-47.
- [55] 刘海峰, 谢田田, 刘婷婷, 等. 黄芪多糖抑制 IL-1 $\beta$  表达及改善脓毒症小鼠心功能研究[J]. 中国热带医学, 2018, 18(8): 757-760.
- [56] 杨萍, 周玉平, 夏晴, 等. HO-1 介导黄芪甲苷抗原代心肌细胞缺氧/复氧损伤作用研究[J]. 天津中医药, 2019, 36(1): 79-82.
- [57] 唐石欢, 张先平, 彭露, 等. 黄芪多糖对衰老小鼠造血干细胞凋亡的影响[J]. 黑龙江中医药, 2021, 50(3): 448-449.
- [58] 寇卜心, 柴梦音, 豆双双, 等. 黄芪超微粉对环磷酰胺致免疫失衡小鼠免疫功能的影响[J]. 亚太传统医药, 2022, 18(1): 22-26.
- [59] 胡逸中, 薛征, 胡炆. 黄芪甲苷对环磷酰胺所致免疫抑制小鼠免疫功能的影响[J]. 时珍国医国药, 2021, 32(8): 1843-1844.
- [60] 李红燕, 陈丽莉, 李彦, 等. 黄芪多糖对免疫抑制小鼠肠道黏膜免疫的影响[J]. 中国临床药理学杂志, 2020, 36(21): 3465-3468.
- [61] 刘璟, 游进. 黄芪多糖在变应性哮喘大鼠模型中对树突状细胞的免疫干预作用[J]. 中国生物制品学杂志, 2018, 31(2): 140-144.
- [62] 王萌, 郭泽, 周鸿缘, 等. 黄芪总黄酮对巨噬细胞 RAW264.7 抗炎免疫的双向调节研究[J]. 中国预防兽医学报, 2020, 42(8): 822-829.
- [63] 蔡晨, 徐沈倩, 杜婷婷, 等. 黄芪通过促进滤泡辅助性 T 细胞活性抑制小鼠肾细胞癌生长[J]. 第二军医大学学报, 2021, 42(6): 651-656.
- [64] 郭超, 丁涛, 党文呈, 等. 黄芪注射液对小鼠 4T1 乳腺癌细胞移植瘤 CyclinD1、Bcl-2、Caspase-3 蛋白表达的影响[J]. 中药药理与临床, 2020, 36(1): 104-108.
- [65] 宋凯. 黄芪提取物对乳腺癌细胞增殖的抑制作用机制[J]. 基因组学与应用生物学, 2020, 39(8): 3792-3796.
- [66] 王莉新, 吴文斌, 胥孜杭, 等. 黄芪甲苷通过诱导 M1 型巨噬细胞极化发挥抗肿瘤作用的机制[J]. 中国实验方剂学杂志, 2019, 25(14): 19-24.
- [67] 王旗, 吴成声, 李辉, 等. 黄芪多糖对 HCT116 细胞侵袭和迁移能力的影响[J]. 郑州大学学报(医学版), 2018, 53(6): 820-824.
- [68] 郑恒, 张聪子, 徐金军, 等. 黄芪皂苷对病毒性心肌炎大鼠 PI3K/AKT/mTOR 信号通路和心肌细胞凋亡的影响[J]. 中华医院感染学杂志, 2022, 32(23): 3521-3526.
- [69] 吴振波, 邵淑蓉, 陈虹宇. 黄芪多糖对呼吸道合胞病毒所致幼鼠肺部感染的抗病毒作用及其机制[J]. 解放军医学杂志, 2022, 47(4): 346-352.
- [70] 谢平, 何少贵, 郝春莉, 等. 基于网络药理学和分子对接法探索玉屏风散治疗新冠病毒肺炎(COVID-19)活性化合物研究[J]. 中药材, 2020, 43(6): 1523-1530.
- [71] 范卫锋, 李皓翔, 梅全喜, 等. 防瘟九味饮防治新型冠状病毒肺炎的网络药理学研究[J]. 中药材, 2020, 43(4): 1044-1050.
- [72] 李姿毅, 夏源, 王军义. 黄芪甲苷抗氧化应激分子机制的研究进展[J]. 广东药科大学学报, 2022, 38(4): 118-122.

- [73] 叶章正, 林英娜, 张晓丹, 等. 黄芪提取物对病毒性心肌炎大鼠心肌组织 Nrf2、HO-1 表达水平的影响[J]. 临床和实验医学杂志, 2019, 18(23): 2483-2486.
- [74] Deng, L.L. (2020) Astragaloside IV as Potential Antioxidant against Diabetic Ketoacidosis in Juvenile Mice through Activating Jnk/Nrf2 Signaling Pathway. *Archives of Medical Research*, **51**, 654-663. <https://doi.org/10.1016/j.arcmed.2020.06.013>
- [75] Chen, J.-K., Guo, M.-K., Bai, X.-H., Chen, L.-Q., Su, S.-M., Li, L. and Li, J.-Q. (2020) Astragaloside IV Ameliorates Intermittent Hypoxia-Induced Inflammatory Dysfunction by Suppressing Mapk/Nf-κB Signalling Pathways in Beas-2B Cells. *Sleep and Breathing*, **24**, 1237-1245. <https://doi.org/10.1007/s11325-019-01947-8>
- [76] 陈源. 黄芪对肝纤维化大鼠肝组织 TIMP-1、MMP-1 表达水平的影响[J]. 中西医结合心血管病电子杂志, 2020, 8(22): 155-156.
- [77] 高文, 王增四, 陈菁, 等. 黄芪通过阻断内质网应激改善糖尿病肾病大鼠蛋白尿的研究[J]. 中华中医药学刊, 2021, 39(12): 133-136, 15.
- [78] 高婷婷, 罗广波, 方春平, 等. 基于肠道菌群研究黄芪治疗慢性肾炎[J]. 时珍国医国药, 2022, 33(1): 5-9.
- [79] 胡晗, 王晓琴, 聂浩. 黄芪含药血清对氯化钴诱导 ARPE-19 细胞缺氧损伤的保护作用[J]. 国际眼科杂志, 2022, 22(6): 899-903.