

# 药食同源植物杜仲化学成分、药理作用及产品开发生的研究概况

向智, 李焕杰, 谌鑫阳, 林昊锴, 彭彩云, 王炜, 余黄合\*  
(湖南中医药大学药学院, 长沙 410208)

**[摘要]** 杜仲(*Eucommia ulmoides*), 又称胶木, 为杜仲科杜仲属植物, 在我国已有超过两千年的药用历史。杜仲通常使用其干燥的树皮和叶子入药。由于其在临床应用中的较高安全性, 杜仲叶已在2019年通过食用安全性评价正式列为药食同源物质, 成为食品和保健品开发的有力资源。根据中医理论, 杜仲具有补肝肾、强筋骨、安胎等功效。现代研究表明, 杜仲的不同部位, 如皮、叶、花和种子等, 含有类似的化学成分, 主要包括苯丙素类、萜类、黄酮类、酚酸类、甾体和多糖类等物质。杜仲因其丰富的成分, 具有降血压、降血脂、降血糖、预防骨质疏松、抗肿瘤、抗菌抗病毒、抗炎、抗氧化、肝保护等多种药理作用, 因此具有开发多样化药食同源产品的潜力。该文对杜仲不同部位的化学成分、药理作用及代表性的药食同源产品进行了系统整理, 旨在为杜仲及其活性成分的临床应用及药食同源产品的开发利用提供理论参考。这将有助于深入了解杜仲的药用特性, 并为进一步探索其在健康领域的应用提供指导。作为一种传统药食同源植物, 杜仲将在未来的研究中引起更多关注, 并有望为人们的健康作出更大贡献。

**[关键词]** 杜仲; 药食同源; 化学成分; 药理作用; 产品开发; 研究概况

**[中图分类号]** R284.2; R285; R289; R287; R22; R2-031; R33; R24 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903 (2024)02-0190-13

**[doi]** 10.13422/j.cnki.syfjx.20231416 **[增强出版附件]** 内容详见 <http://www.syfjxzz.com> 或 <http://cnki.net>

**[网络出版地址]** <https://link.cnki.net/urlid/11.3495.R.20231031.1537.007>

**[网络出版日期]** 2023-10-31 17:03:00

## Chemical Constituents, Pharmacological Effect, and Product Development of *Eucommia ulmoides* with Both Medicinal and Edible Values: A Review

XIANG Zhi, LI Huanjie, SHEN Xinyang, LIN Haokai, PENG Caiyun, WANG Wei, YU Huanghe\*  
(School of Pharmacy, Hunan University of Chinese Medicine, Changsha 410208, China)

**[Abstract]** *Eucommia ulmoides*, a plant belonging to Eucommiaceae, has a history of medical use for over two thousand years in China. The dried bark and leaves of this plant are usually used as medicinal materials. Due to the high safety in clinical application, *E. ulmoides* leaves were officially recognized for both medicinal and edible use by the food safety evaluation in 2019, providing a valuable resource for the development of food and health products. According to the traditional Chinese medicine theory, *E. ulmoides* has the effects of nourishing the liver and kidneys, strengthening sinews and bones, and calming fetus. Modern research has shown that different parts such as the bark, leaves, flowers, and seeds of *E. ulmoides* contain similar chemical components, including phenylpropanoids, terpenoids, flavonoids, phenolic acids, steroids, and polysaccharides. *E. ulmoides* exhibits diverse pharmacological activities such as lowering blood pressure and

**[收稿日期]** 2023-07-31

**[基金项目]** 国家自然科学基金项目(82204766, 82174078); 湖南省自然科学基金项目(2023JJ40490); 湖南省教育厅优秀青年项目(21B0394); 湖南中医药大学科研项目(B2023055); 湖南中医药大学优秀青年项目(202202); 湖南省药学一流建设学科项目; 湖南省中医药民族医药国际联合实验室开放基金项目(2022GJSYS02); 湖南省科技人才托举工程项目(2023TJ-X71); 湖南省大学生研究性学习和创新性实验计划项目(S202210541050); 湖南中医药大学研究生科研创新项目(2022CX88)

**[第一作者]** 向智, 中药师, 从事中药及民族药药理学研究, E-mail: a021111456@163.com

**[通信作者]** \*余黄合, 博士, 讲师, 从事中药及民族药药理学研究, E-mail: yhh@hnuem.edu.cn

blood lipid and glucose levels, preventing osteoporosis and possesses anti-tumor, anti-bacterial, antiviral, anti-inflammatory, antioxidant, and hepatoprotective effects. Therefore, it holds great potential for the development of products with both medicinal and edible values. This review systematically summarizes the chemical constituents, pharmacological activities, and representative medicinal and edible products of different parts of *E. ulmoides*. It is expected to provide theoretical references for the clinical application of *E. ulmoides* and its active components and the development and utilization of the products with both medicinal and edible values. This review contributes to a deeper understanding of the medicinal properties of *E. ulmoides* and provides guidance for further exploration of its applications in the healthcare field. As a plant with both medicinal and edible values, *E. ulmoides* is expected to attract more attention in future research and contribute to human health.

**[Keywords]** *Eucommia ulmoides*; medicinal and edible values; chemical constituents; pharmacological effects; product development; research overview

杜仲(*Eucommia ulmoides*)为杜仲科、杜仲属植物杜仲,为多年生落叶乔木,主要分布于陕西、甘肃、四川、云南、贵州、湖南及浙江等省份<sup>[1]</sup>。通常以干燥树皮和叶入药,国家食品安全标准与检测评估司已将杜仲叶增补至《按照传统既是食品又是中药材的物质目录》。其味甘,性温,归肝、肾经,具有补肝肾,强筋骨,安胎等功效,目前主要用于肝肾不足,腰膝酸痛,筋骨无力,头晕目眩,妊娠漏血,胎动不安等。《神农本草经》上经记载“杜仲味辛平,主腰脊痛、补中、益精气、坚筋骨、强志、除阴下痒湿、小便余沥。久服轻身耐老,一名思仙,生山谷”。杜仲的化学成分主要有苯丙素类、萜类、黄酮类、酚酸类、甾体和多糖类等,具有降血压、降血脂、降血糖、预防骨质疏松、抗炎、抗氧化、肝保护等药理作用,常单独或配伍成方剂用于治疗各种疾病。目前,杜

仲作为一种药食同源资源,其叶、皮、籽、雄花等部分已被开发成多种药食同源功能性健康产品,极大地拓展了杜仲资源的应用范围,广泛且深入地挖掘了其应用价值。本文对杜仲化学成分、药理作用及近年来代表性的药食同源产品进行系统综述,以期作为杜仲的临床应用和新型功能性健康产品开发提供一定的参考价值。

### 1 杜仲的化学成分

杜仲的化学成分包括苯丙素、环烯醚萜、黄酮、酚酸、甾体和多糖等类别。其中苯丙素类、环烯醚萜类、黄酮类、酚酸类成分是杜仲主要的活性成分。

**1.1 苯丙素类** 杜仲木脂素是一类由双分子或多分子苯丙素通过侧链 $\beta,\beta'$ 或苯环直接相连而成的天然产物。已有研究鉴定的杜仲苯丙素类化合物有50种。见表1、增强出版附加材料。

表1 杜仲中的苯丙素类化合物

Table 1 Phenylethanoid compounds in *Eucommia ulmoides*

No.	英文名称	中文名称	来源部位	文献
1	forsythin	连翘苷	叶	[2]
2	eucommin A	杜仲脂素 A	树皮、叶	[2]
3	(+)-epipinoresinol	(+)-表松脂素	树皮、叶	[3]
4	medioresil	5'-甲氧基松脂素	树皮、花	[4]
5	(+)-medioresinol-di-O- $\beta$ -D-glucopyranoside	(+)-中树脂醇二-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷	树皮	[5]
6	(+)-syringaresinol-4'-O- $\beta$ -D-glucopyranoside	丁香脂素葡萄糖苷	树皮	[5]
7	1-hydroxypinoresinol-di-O- $\beta$ -D-glucopyranoside	1-羟基松树脂醇二-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷	树皮	[5]
8	olivil-4',4''-di-O- $\beta$ -D-glucopyranoside	橄榄素-4',4''-二葡萄糖苷	树皮、叶	[5]
9	epipinoresinol	表松脂酚	树皮	[5]
10	(-)-pinoresinol	(-)-松脂素	树皮	[6]
11	(+)-pinoresinol-di-O- $\beta$ -D-glucopyranoside	(+)-松脂醇二-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷	树皮、叶	[6]
12	(+)-pinoresinol-4'-O- $\beta$ -D-glucopyranoside	(+)-松脂醇-4'-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷	树皮	[6]
13	(+)-syringaresinol	(+)-丁香酚	树皮	[6]

续表 1

No.	英文名称	中文名称	来源部位	文献
14	(+)-pinosresinol	(+)-松脂素	树皮	[7]
15	8-hydroxy pinosresinol	8-羟基松脂素	树皮	[7]
16	balanophonin	蛇菰宁	树皮	[7]
17	pinosresinol-4'-O-β-D-glucopyranoside	松脂醇-4'-O-β-D-吡喃葡萄糖苷	树皮	[7]
18	dehydrodiconiferyl alcohol-γ'-O-β-D-glucopyranoside	去氢二松柏醇-γ'-O-β-D-吡喃葡萄糖苷	树皮	[7]
19	(-)-olivil	橄榄树脂素	树皮	[8]
20	pinosresinol vanillic acid ether-di-glucopyranoside	松脂醇香草酸醚二葡萄糖苷	树皮	[8]
21	(-)-olivil-4'-O-β-D-glucopyranoside	-	树皮、叶	[9]
22	(-)-olivil-4''-O-β-D-glucopyranoside	-	树皮	[9]
23	(+)-lariciresinol	落叶松树脂醇	叶	[10]
24	chlorogenic acid	绿原酸	树皮、叶、种子	[10]
25	ethyl caffeate	咖啡酸乙酯	叶	[11]
26	coniferin	松柏苷	茎、叶	[11]
27	caffeic acid	咖啡酸	树皮、叶、种子	[12]
28	citrusin B	柑属苷 B	树皮	[12]
29	guaiacylglycerol-β-syringaresinol ether-4', 4''-di-O-β-D-glucopyranoside	愈创木酰甘油-β-丁香醛醚-4', 4''-二-O-β-D-葡萄糖苷	树皮	[10]
30	syringaresinol vanillic acid ether-di-glucopyranoside	丁香酚香草酸醚二甘苷	树皮	[10]
31	3-O-caffeoylquinic acid methyl ester	3-咖啡酰奎尼酸甲酯	叶	[13]
32	liriodendrin E	刺五加苷 E	树皮	[14]
33	1-hydroxypinosresinol	-	树皮	[15]
34	erythro-guaiacylglycerol-β-coniferyl aldehyde ether	红愈创木酰甘油-β-针叶树醛醚	树皮	[16]
35	dihydrodehydrodiconiferyl alcohol	二氢去氢二愈创木基醇	树皮	[16]
36	erythro-dihydroxydehydro-di-coniferyl alcohol	红二羟基二氢二针叶醇	叶	[17]
37	1-hydroxypinosresinol-4-O-β-D-glucopyranoside	-	树皮	[18]
38	(+)-1-hydroxypinosresinol-4'-O-β-D-glucopyranoside	-	树皮	[18]
39	(+)-cycloolivil	(+)-环橄榄树脂素	树皮、叶	[19]
40	8'-methoxy-olivil	8'-甲氧基橄榄	叶	[11]
41	dehydrodiconiferyl alcohol 4, γ'-di-O-β-D-glucopyranoside	脱氢二针叶醇 4, γ'-二-O-β-D-葡萄糖苷	树皮	[20]
42	hedyotol-C-4', 4''-di-O-β-D-glucopyranoside	-	树皮	[10]
43	syringylglycerol-β-syringaresinol ether-4', 4''-O-β-D-glucopyranoside	丁香基甘油-β-丁香醛醚-4', 4''-O-β-D-葡萄糖苷	树皮	[11]
44	vladinol D	-	树皮	[10]
45	9α-hydroxy pinosresinol	9α-羟基树脂醇	树皮	[10]
46	guaiacylglycerol-8-O-4'-(sinapyl aldehyde) ether	愈创木酰甘油-8-O-4'-(芥醛)醚	树皮	[10]
47	guaiacylglycerol-8-O-4'-(sinapyl alcohol) ether	愈创木酰甘油-8-O-4'-(芥醇)醚	树皮	[10]
48	guaiacylglycerol-8-O-4'-coniferyl aldehyde ether	愈创木酰甘油-8-O-4'-针叶树醛醚	树皮	[10]
49	8-methoxy-medioresinol	8-甲氧基中烯醇	叶	[10]

1.2 环烯醚萜类 环烯醚萜类主要存在于杜仲叶、树皮和花中的活性成分,具有广泛的生物活性,目前已有研究分离鉴定出的杜仲环烯醚萜类化合物有23种。其中的京尼平苷、桃叶珊瑚苷等被证实具

有多种药理活性,如预防骨质疏松、抗菌、抗病毒等作用<sup>[21-22]</sup>。具体见表2和增强出版附加材料。

1.3 黄酮类 黄酮类化合物也是杜仲的重要成分之一,有降血压、降血糖、降血脂、抗氧化作用,其含

表2 杜仲中的环烯醚萜类化合物

Table 2 Cyclohexene-fused lactone and terpenoid compounds in *Eucommia ulmoides*

No.	英文名称	中文名称	来源部位	文献
1	aucubine	桃叶珊瑚苷	叶	[3]
2	geniposide( $\beta$ -D-Glc)	梔子苷	树皮、叶	[3]
3	asperuloside	车叶草苷	叶	[3]
4	pinusolidic acid	松柏酸	树皮	[7]
5	genipin	京尼平	树皮	[7]
6	eucommiol	杜仲醇	树皮、叶	[7]
7	deoxyeucommiol	脱氧杜仲醇	树皮	[7]
8	geniposide	京尼平苷	树皮	[8]
9	borreriagenin	巴戟醚萜	树皮	[10]
10	geniposidic acid	京尼平苷酸	树皮、叶、种子	[23]
11	ajugoside	筋骨草苷	叶	[19]
12	harpagide acetate	-	叶	[19]
13	eucommiol I	杜仲醇 I	树皮、叶、种子	[24]
14	reptoside	雷扑妥苷	叶	[25]
15	eucommiol II	杜仲醇 II	树皮、叶	[26]
16	asperulosidic acid ethyl ester	铜蓝藻酸乙酯	花	[27]
17	daphylloside	交让木苷	花	[27]
18	4-dihydro-3-methoxypaederoside	-	花	[27]
19	scandoside methyl ester	鸡矢藤次苷甲酯	叶	[23]
20	deacetyl asperulosidic acid methyl ester	去乙酰双唾液酸甲酯	叶	[23]
21	loganin	马钱子苷	叶	[23]
22	7-epi-loganin	7-epi-马钱子苷	叶	[23]
23	8-epi-loganin	8-epi-马钱子苷	叶	[23]

量是评价杜仲药材质量的重要指标,目前已从杜仲中分离鉴定的黄酮类化合物有22种,具体见表3和增强出版附加材料。

**1.4 酚酸类** 酚酸类化合物是杜仲中活跃的抗氧化剂,具有抗炎、抗肿瘤等活性。已有研究中分离鉴定出酚酸类化合物有14种。具体见表4和增强出版附加材料。

**1.5 其他** 此外,杜仲中还含有氨基酸、多糖、生物碱、脂质及维生素等物质。董芬等<sup>[34]</sup>从杜仲叶中分离得到了白桦脂酸,反式桂皮酸,(Z)-氧代二氢吡啶-3-亚基酮,熊果酸等化合物。钱文丹等<sup>[37]</sup>从杜仲提取物中分离得到了五环三萜类化合物及杜仲多糖等活性成分<sup>[38]</sup>。这些成分分别具有抗肿瘤、抗炎、增强机体免疫功能的作用,为后续杜仲药理作用及功能产品开发提供了物质基础。

## 2 杜仲的药理作用

**2.1 降血压** 杜仲木脂素类成分是杜仲发挥降压

作用的主要成分。韩莉娟<sup>[39]</sup>还发现了杜仲木脂素类成分松脂醇二葡萄糖苷对血压的调节作用,结果表明尾静脉注射、灌胃和腹腔注射松脂醇二葡萄糖苷均能降低自发性高血压大鼠(SHR)的血压。此外,杜仲木脂素还有明显的舒张血管作用,能显著降低SHR血浆血管紧张素II(Ang II)浓度,还可使离体主动脉血管环和灌流肠系膜动脉血管舒张,其降压机制可能与抑制肾素-血管紧张素系统以及对血管的舒张作用相关。杜仲木脂素还可明显降低血浆中肾上腺素活性和血管紧张素Ang II水平,迅速松弛肠系膜动脉,从而降低高血压小鼠的血压。李辉等<sup>[40]</sup>研究发现杜仲提取物能调控内皮一氧化氮合成酶(eNOS)/NO信号通路,抑制RhoA/ROCK信号通路的激活,从而降低SHR血压和保护大鼠血管内皮的作用。

**2.2 降血脂** 杜仲能够降低血浆甘油三酯(TG)、胆固醇(TC)、游离脂肪酸和低密度脂蛋白的浓度发

表3 杜仲中黄酮类化合物

Table 3 Flavonoid compounds in *Eucommia ulmoides*

No.	英文名称	中文名称	来源部位	文献
1	(-)-epicatechin	(-)-表儿茶素	树皮	[12]
2	rutinum	芦丁	叶	[12]
3	isoliquiritigenin	异甘草素	树皮	[10]
4	prunin	柚皮素-7-O-葡萄糖苷	花	[27]
5	isorhamnetin-3-O-β-D-glucopyranoside	异鼠李素-3-O-葡萄糖苷	花	[27]
6	quercetin-3-O-glucoside	异槲皮苷	树皮、叶、花	[23]
7	hyperoside	金丝桃苷	树皮、叶	[5]
8	luteolin	木樨草素	叶	[11]
9	licoflaven B	甘草黄酮B	树皮	[28]
10	liquiritigenin	甘草素	树皮	[28]
11	formononetin	7-羟基-4-甲氧异苯酮	树皮	[28]
12	3,5,4'-trihydroxy-7,3'-dimethoxyflavones	3,5,4'-三羟基-7,3'-二甲氧基黄酮	树皮	[28]
13	dihydrochalcone	二氢查尔酮	树皮、叶	[29]
14	quercetin	槲皮素	树皮、叶、花	[29]
15	wogonoside	汉黄芩苷	树皮	[10]
16	astragaln	紫云英苷	树皮、叶、花	[30]
17	pelargidenon	山柰酚	叶	[30]
18	naringenin	柚皮素	花、叶	[30]
19	4-methyl-7-hydroxycoumarin	羟甲香豆素	根	[31]
20	procyanidin B <sub>2</sub>	原花青素B <sub>2</sub>	根	[31]
21	quercetin-3-O-β-D-glucopyranosyl (1→2)-β-D-glucopyranoside	槲皮素-3-O-β-D-葡萄糖苷(1→2)-β-D-葡萄糖苷	根、花	[31]
22	licochalcone A	甘草查尔酮A	树皮	[32]

表4 杜仲中酚酸类化合物

Table 4 Phenolic acid compounds in *Eucommia ulmoides*

No.	英文名称	中文名称	来源部位	文献
1	alternariol	格链孢醇	树皮	[7]
2	dihydrocaffeic acid	二氢咖啡酸	树皮	[33]
3	3-O-feruloylquinic acid	3-O-阿魏酰奎尼酸	叶	[10]
4	isochlorogenic acid C	异绿原酸C	叶、树皮	[15]
5	isochlorogenic acid A	异绿原酸A	叶	[24]
6	(-)-epigallocatechin	(-)-表没食子儿茶素	根	[31]
7	vanillic acid	香草酸	树皮、叶	[34]
8	methyl chlorogenate	绿原酸甲酯	树皮、叶	[34]
9	3-(3-hydroxyphenyl)propionic acid	3-(3-羟基苯基)丙酸	叶、种子	[32]
10	ferulic acid	阿魏酸	叶	[10]
11	chlorogenic acid	绿原酸	树皮、叶、种子	[35]
12	3,4-dihydroxybenzoate	3,4-二羟基苯甲酸甲酯	树皮	[10]
13	koaburaside	(-)-3,5-二甲氧基-4-羟基苯基 BETA-D-葡萄糖苷	茎	[36]
14	syringin	紫丁香酚苷	茎	[36]

挥降血脂作用<sup>[41]</sup>。雷燕妮等<sup>[42]</sup>发现杜仲叶多糖和绿原酸能降低高脂小鼠血脂水平和调节肝脏中脂质代谢的作用,并能有效调节高脂小鼠的血脂代谢水平,具有良好的降血脂作用。陈保玲<sup>[41]</sup>研究发

现的杜仲花粉灌胃给药能够明显降低高脂血症大鼠的血清TC、TG的含量。余成馨等<sup>[43]</sup>研究发现杜仲叶提取物能显著降低高脂血症模型大鼠血浆中的TG和TC浓度,减少模型大鼠肝脏切片中的脂质

沉积。肠道菌群 Alpha 多样性分析推测杜仲叶提取物可能通过提高厚壁菌门等有益菌、降低变形杆菌门和拟杆菌门等有害菌丰度改善高脂血症所致肠道菌群紊乱,进而改善脂质代谢紊乱产生降血脂的作用。

**2.3 降血糖** 杜仲在糖尿病治疗上富有开发潜力,研究发现杜仲叶多糖对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶具有显著的抑制作用,能有效抑制糖原分解从而使血糖升高<sup>[44]</sup>;杜仲槲皮素糖苷能够改善人肝癌细胞(HepG2)细胞的胰岛素抵抗,通过调控 IRS-1/磷脂酰肌醇 3-激酶(PI3K)/蛋白激酶 B(Akt)/糖原合成酶激酶(GSK)- $3\beta$  信号通路提高 HepG2 细胞对胰岛素的敏感性,增加其对葡萄糖摄取和糖原生成<sup>[18]</sup>。范春惠等<sup>[45]</sup>探讨了杜仲黄酮对链脲佐菌素联合高脂高糖饮食共同诱导的糖尿病小鼠胰腺线粒体功能的影响,杜仲黄酮高、低剂量组小鼠空腹血糖水平显著下降,血清胰岛素含量增加,过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)等抗氧化酶活性增强;胰腺三磷酸腺苷(ATP)含量增加、活性氧(ROS)含量减少;胰腺组织细胞中核呼吸因子 1(NRF1)、线粒体融合蛋白 1(Mfn1)的表达量增加,推测杜仲黄酮可能通过调节线粒体生物合成因子和融合因子的表达,提高胰腺的抗氧化能力和线粒体的代谢功能,使胰岛素分泌增加,发挥降血糖作用。PENG 等<sup>[46]</sup>研究发现,杜仲总黄酮提取物可缓解胰岛素抵抗模型多囊卵巢综合征大鼠的胰岛素抵抗程度,对血糖具有调节作用。

**2.4 骨保护作用** 杜仲具有很好预防治疗骨质疏松症的药理作用,近些年对杜仲抗骨质疏松的不同研究表明杜仲抗骨质疏松的作用是多途径的。杜仲具有明显的抗骨质疏松、调节骨代谢的作用。杜仲水提物能促进骨髓间质细胞分裂增殖并向成骨细胞方向分化;能促进骨骼矿质含量增加,增高骨骼密度,修复和保护骨小梁微体的结构<sup>[21]</sup>。秧荣昆等<sup>[47]</sup>结合中医理论“肾主骨生髓”探讨杜仲对去势骨质疏松大鼠的影响;发现杜仲组大鼠骨密度、股骨质量和压碎力、血清碱性磷酸酶(ALP)活性、骨钙素水平及骨组织中破骨细胞分化抑制因子(OPG)、NF- $\kappa$ B 受体活化因子配基(RANKL)、NF- $\kappa$ B 受体活化因子(RANK)mRNA 及蛋白表达量均升高,尿液钙和磷水平降低。证明杜仲可以通过减少钙、磷流失,激活 OPG/RANK/RANKL 通路,进而改善大鼠骨质疏松症状,起到补肾健骨的作用。此外,SONG 等<sup>[48]</sup>从杜仲中分离出酸性多糖,能使地塞米松诱导

的骨质疏松小鼠皮质骨厚度、矿化骨面积、成骨细胞数量增加,并减少皮质骨表面破骨细胞数量,证明了其在抗骨质疏松治疗的潜在作用。郑刘振<sup>[35]</sup>研究发现杜仲提取物能够降低产蛋鸡胫骨 RANK 受体和 RANK 受体配体的 mRNA 水平,同时提高蛋鸡胫骨骨保护素 mRNA 相对表达水平,对鸡骨骼形态结构具有促进作用。林奇生等<sup>[49]</sup>通过动物实验和体外实时荧光定量聚合酶链式反应(Real-time PCR)发现杜仲醇提取物能够激活 RhoA/ROCK 信号通路,上调相关基因表达,促进骨质疏松症大鼠骨髓间充质干细胞成骨分化。王方杰等<sup>[50]</sup>采用代谢组学技术结合生化指标分析,研究杜仲抗骨质疏松可能的机制。推测杜仲可能通过调控双侧卵巢切除骨质疏松模型大鼠氨基酸代谢、氧化应激等途径缓解骨质疏松症状。王真等<sup>[51]</sup>研究发现杜仲提取物可降低类风湿模型小鼠血清免疫球蛋白(Ig)A、IgG、IgM 及 T 淋巴细胞水平,抑制类风湿 Toll 样受体 2(TLR2)、NF- $\kappa$ B 信号通路,从而减缓类风湿关节炎骨破坏。

**2.5 抗氧化和抗炎作用** 杜仲叶提取物有明显的抗炎、抗氧化能力,其主要活性成分为黄酮类及酚类<sup>[52]</sup>。邓云云等<sup>[53]</sup>发现用 60% 甲醇提取杜仲叶,提取物具有最好的 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基(DPPH $\cdot$ )清除能力和最好的 2,2'-联氮-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸阳离子自由基(ABTS $^{+\cdot}$ )清除能力,其半数清除量值分别为 72.86 mg $\cdot$ L $^{-1}$  和 169.55 mg $\cdot$ L $^{-1}$ 。陈保玲<sup>[41]</sup>研究发现杜仲花粉可升高高脂血症大鼠血清中 SOD、谷胱甘肽过氧化氢酶(GSH-Px)等抗氧化因子水平,降低丙二醛(MDA)等氧化程度指标。近几年对杜仲抗炎抗氧化作用机制研究有了进一步的进展,目前已证明的机制包括升高血清中抗氧化因子的水平,减少氧化损伤预防炎症;调节肠道菌群减少炎症因子产生;抑制 NF- $\kappa$ B 通路的激活,降低 NO 和促炎细胞因子的释放。陈保玲<sup>[41]</sup>研究发现杜仲花粉可升高高脂血症大鼠血清中 SOD、GSH-Px 等抗氧化因子水平,降低 MDA 等氧化程度指标。HU 等<sup>[54]</sup>发现杜仲中原儿茶酸可减轻脂多糖(LPS)感染断奶仔猪的氧化应激,降低白细胞介素(IL)-6、IL-2 和肿瘤坏死因子- $\alpha$ (TNF- $\alpha$ )等炎症因子水平。肠道微生物群分析显示,原儿茶酸抑制了普雷沃菌 9、霍氏菌 2 中促炎细胞因子的产生,上调了玫瑰氏菌和脱硫弧菌抑制炎症细胞因子的产生。GONG 等<sup>[17]</sup>研究发现杜仲叶活性成分提取物灌胃胃溃疡模型小鼠后,血浆中

MDA、TNF- $\alpha$ 和IL-6水平显著被抑制,说明杜仲叶能够减轻胃溃疡小鼠的氧化应激和炎症反应。杨志友等<sup>[55]</sup>发现杜仲中环烯醚萜苷类化合物京尼平昔酸(GEN)对LPS诱导BV2细胞炎症反应有明显的抑制作用,GEN可以通过抑制p38和p65的磷酸化水平来抑制NF- $\kappa$ B通路的激活进而降低LPS诱导的NO和促炎细胞因子的释放。

**2.6 肝保护作用** 杜仲具有显著的抗免疫性肝损伤和抗肝纤维化作用,能明显降低CCl<sub>4</sub>诱导急性肝损伤模型大鼠血清中丙氨酸氨基转移酶(ALT)和天冬氨酸氨基转移酶(AST)、谷氨酰转肽酶(GGT)、TNF、IL-6、IL-1水平及肝组织MDA的水平,还能阻止肝脏中的SOD和GSH-Px等抗氧化酶活性降低,从而减轻CCl<sub>4</sub>对肝脏造成的损伤<sup>[56]</sup>。研究发现杜仲多糖具有显著抗肝纤维化作用,其机制与抗氧化、抑制胶原增生、调节转化生长因子- $\beta_1$ (TGF- $\beta_1$ )水平等有关。杜仲花粉对血清中氧自由基(AOD)、GSH-Px等具有升高作用从而减少超氧化物、过氧化物对肝脏造成的损伤。通过ALT、AST检测法和肝脏系数检测研究杜仲花粉提取物对高脂血症大鼠肝脏的影响,结果表明杜仲花粉可以降低肝脏系数、减少肝脏组织中的脂肪空泡数、降低大鼠血浆中相关代谢酶ALT、AST的含量发挥肝保护作用<sup>[41]</sup>。

**2.7 肾保护** 最近研究发现杜仲木脂素、多糖均具有肾保护作用。黄玲等<sup>[57]</sup>发现杜仲木脂素类化合物可抑制高糖诱导的人肾小球系膜细胞增殖,呈较好的剂量依赖性。沈磊等<sup>[58]</sup>通过单变量对照细胞实验发现,杜仲多糖对高糖诱导的人肾小管上皮细胞(HK-2)损伤具有抑制作用,表现为细胞凋亡率、剪切的胱天蛋白酶-3(cleaved Caspase-3)蛋白表达、IL-6、TNF- $\alpha$ 含量、miR-1207-5p表达降低。因此,杜仲多糖抑制肾小管上皮细胞损伤的机制是降低miR-1207-5p的表达以减少相关蛋白表达及细胞凋亡。

**2.8 抑菌作用** 研究发现杜仲提取物对大肠埃希菌、金黄色葡萄球菌、沙门氏菌等都有抑制作用<sup>[59-60]</sup>;杜仲所含桃叶珊瑚苷对金黄色葡萄球菌、大肠埃希菌、枯草芽孢杆菌、沙门氏菌有很强的抗菌活性<sup>[22]</sup>。在门水平,杜仲能有效抑制大鼠肠道菌群中的变形杆菌门、拟杆菌门,改善肠道菌群紊乱<sup>[43]</sup>。

**2.9 其他药理作用** 最近研究发现杜仲还具有治疗脊髓疾病和神经保护等作用。张帅男等<sup>[61]</sup>研究表明杜仲叶可能对3种脊髓疾病:肌萎缩性脊髓侧

索硬化症、脊髓损伤及脊髓小脑共济失调具有治疗潜能,可能涉及到杜仲抑制细胞凋亡、抑制炎症、抗氧化应激等方面。胡凤成等<sup>[62]</sup>发现杜仲中槲皮素,槲皮素-3-O-葡萄糖苷和槲二醇具有较强的抗神经炎症活性。张秀峰等<sup>[63]</sup>通过动物实验探索了杜仲对脑出血神经功能的修复作用及其机制,结果发现杜仲叶总黄酮处理后能显著提高脑出血大鼠血肿周围组织神经生长因子(NGF)、神经营养蛋白3(NT3)、突触后密度蛋白-95(PSD-95)等神经生长因子及突出素(SYP)重组蛋白表达,加入RhoA激动剂组激活RhoA/ROCK通路可使杜仲叶总黄酮对NGF、NT3、PSD-95及SYP蛋白表达的促进作用明显减弱,证明杜仲叶黄酮可能通过抑制RhoA/ROCK通路增加促神经元及突触生长相关蛋白表达,减轻脑出血症状,加速神经功能恢复。见表5。

### 3 杜仲的药食同源代表产品

杜仲的药理作用为其药食同源产品的开发提供了方向,多成分、多活性使其在药品、食品和保健品方面具有较大的应用潜力。根据不同成分的药理作用,不同成分所在杜仲的部位可以进行针对性的开发。李冰等<sup>[134]</sup>制备的杜仲叶超微粉馒头具有丰富的营养价值,不仅可以提高免疫力,长期做早餐食用还能降低血压,是高血压患者的替代食品。曾桥<sup>[135]</sup>开发的杜仲叶茯苓茶可下调血清中TG、TC和低密度脂蛋白胆固醇水平和上调高密度脂蛋白胆固醇水平。洪茹<sup>[136]</sup>以杜仲雄花作为新食品原料,制备出杜仲雄花粉面条能显著降低餐后血糖指数,还可降低面条的脂肪含量,增加膳食纤维的含量,为糖尿病人食品开发提供了新思路。在骨保护方面,维D杜仲海洋鱼骨胶原肽粉可增强骨密度,保护骨组织,具有强筋健骨的功效。另外,王小媛等<sup>[137]</sup>制备的杜仲籽油苹果汁饮料具有较好的抗氧化性,为杜仲抗氧化产品提供了实例。目前开发出的石斛葛根杜仲叶胶囊、杜仲叶金银花破壁灵芝孢子粉咀嚼片等还具有保护化学、药物性肝损伤的作用,长期使用能保肝护肝。目前在售的杜仲茶、杜仲酒还可以缓解机体的疲劳,为机体提供能量。在食物抑菌制品方面,邢敏<sup>[138]</sup>发现杜仲雄花提取物能抑制金黄色葡萄球菌的生长,制备出了熟肉保鲜添加剂,为杜仲作为抗菌功能的药食两用产品提供新的方向。近年来以上产品的研发是杜仲作为药食同源产品多样性开发的有力尝试,也为后续研发杜仲新产品提供新的思路和方向。

表5 杜仲中具有明确药理作用的主要成分

Table 5 Major components with well-defined pharmacological effects in *Eucommia ulmoides*

No.	成分名称	药理作用	文献
1	表松脂素	神经保护、抗氧化	[3]
2	5'-甲氧基松脂素	抗炎、抗氧化	[4]
3	槲皮素及其糖苷	降低病理性血糖	[18]
4	环橄榄树脂素	抗氧化、抗凝血	[19]
5	京尼平	抗骨质疏松	[21]
6	桃叶珊瑚苷	抗病原微生物	[22]
7	柚皮素-7-O-葡萄糖苷	抗氧化	[27]
8	松脂醇二葡萄糖苷	调节血压	[39]
9	原儿茶酸	抗炎、抗氧化	[54]
10	连翘苷	消炎、抗肝纤维化;抗菌;抗炎、抗病毒	[64-66]
11	丁香酚	抗氧化、抗心肌梗死	[67]
12	8-羟基松脂素	抗肿瘤	[68]
13	咖啡酸乙酯	神经保护	[69]
14	刺五加苷E	抗炎、抑制巨噬细胞活化	[70]
15	马钱子苷	抗炎、神经保护	[71]
16	异甘草素	抗炎、抗氧化、抗肿瘤;抗骨质疏松;抗肝脏纤维化	[72-73]
17	木犀草素	调节脂代谢、抗细胞凋亡和抗心肌缺血	[74]
18	甘草黄酮B	改善脂代谢紊乱、抗动脉粥样硬化	[75]
19	7-羟基-4-甲氧异苯酮	抗肿瘤	[76]
20	松柏苷	抗炎症	[77]
21	二氢咖啡酸	抗氧化	[78]
22	异绿原酸C	抗氧化、抗炎	[79]
23	甘草查尔酮A	抗肿瘤;抗氧化、抗炎、心肌保护	[80-81]
24	异绿原酸A	抗氧化、抗炎;抗病毒	[82-83]
25	紫丁香酚苷	肝保护	[84]
26	栀子苷	抗炎、关节保护;抑制乳腺癌	[85-86]
27	车叶草苷	抗肿瘤、抗炎;抗氧化、抗衰老	[87-88]
28	绿原酸	降低病理性高血压;抗菌;抗氧化;抗肿瘤	[89-92]
29	山柰酚	抗氧化;免疫调节、抗类风湿关节炎	[93-94]
30	京尼平苷酸	利胆、抗炎、抗氧化应激、抗肝纤维化	[95]
31	芦丁	调节脂代谢;抗炎;抗肿瘤;抗菌	[96-99]
32	异槲皮苷	抗肿瘤增殖;抗菌;抗骨质疏松;抗氧化、肾保护	[100-103]
33	金丝桃苷	抗脑缺血损伤肝保护、抗心肌缺血损伤、抗炎、抗肿瘤、降糖	[104-108]
34	甘草素	抗肿瘤;抗炎、增强记忆力;抗菌;肝保护	[109-112]
35	二氢查尔酮衍生物	降血糖、抗氧化	[113-114]
36	汉黄芩苷	抗糖尿病肾损伤及纤维化;抗炎、抗氧化	[115-116]
37	紫云英苷	抗肿瘤;抗炎、抗氧化应激;抗骨质疏松	[117-119]
38	柚皮素	抗骨质疏松;抗肝纤维化;抗肿瘤;抗炎;抗氧化	[47, 120-123]
39	羟甲香豆素	解痉、抗肿瘤、抗炎	[124-126]
40	原花青素	抗氧化、抗炎、降血脂	[127-129]
41	表没食子儿茶素	降血糖、抗肿瘤	[130-131]
42	阿魏酸	抗炎、减毒	[132-133]

#### 4 结语与展望

药食同源概念最早可追溯到《黄帝内经》,其中

提到食物可作为药物,在饱腹的同时可提高人体“正气”(免疫力),以达到防治疾病的效果。随着现

代医学的发展,在药食同源植物中发现了他们在增强免疫、抗炎、抗氧化、降血压、降血脂、降血糖、抗肿瘤等活性方面的价值,为当前常见健康问题提供了新的解决思路。药食同源植物以中药的补虚药居多,如杜仲、人参、黄芪、当归、党参、黄精、地黄、黑芝麻、补骨脂、麦冬、山药、枸杞子、桑(桑叶、桑椹)、淫羊藿等均属于补虚药范畴,这些药材多采用叶、根及果实部位,多为温性且无毒。大部分药食同源植物类中药归属肾、肝、肺、脾经,因此具有补肝肾、补气健脾等功效,含有多糖类、黄酮类、苯丙素类、萜类等化学成分<sup>[139]</sup>。现代药理学表明这些药物具有增强免疫、抗氧化、抗肿瘤、调节血糖和血脂等作用,不仅可在临床上防治疾病,还有望被开发成各种食品和保健品<sup>[140-141]</sup>。杜仲是补虚药中的补阳药,在2019年被纳入药食同源管理的植物,具有补肝肾、强筋骨、安胎的功效;其化学成分主要有苯丙素类、黄酮类、萜类,杜仲的肝肾保护作用、骨保护作用、降血压、降血糖、降血脂及抗炎、抗菌、抗氧化等药理作用已经在临床上得以证实并获得大量基础研究支撑,因其较高的安全性,在保健食品、食品、饮料等方面同样具有极大的研究开发潜力和应用价值<sup>[142]</sup>。我国杜仲药用资源丰富,对杜仲的活性成分进行深入系统研究,不断开拓杜仲综合利用新途径,挖掘其更多的临床应用、食品和保健食品开发潜力,可提升杜仲资源的经济价值和社会价值,能为杜仲药食同源研究与开发提供研究依据,推动中药现代化进程。但目前针对杜仲各活性成分的临床疗效研究,药材的质量控制、药品或保健食品等产品的制备工艺和预期效果研究方面尚不完善,还有待进一步的研究和分析。

#### [参考文献]

[1] 王青青,周海燕,周旭,等. 经典名方中杜仲的本草考证[J]. 中国实验方剂学杂志, 2023, 29(19): 88-96.

[2] 左月明,高凌云,张忠立. 杜仲叶环氧木脂素类化学成分研究[J]. 中药材, 2022, 45(9): 2139-2143.

[3] 韩锐. 杜仲叶成分及其神经保护作用机制研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2021.

[4] 李刚,许波,梁学振,等. 杜仲防治骨关节炎的潜在活性成分及作用机制研究[J]. 中医正骨, 2018, 30(9): 4-9.

[5] 曾梅,龙雨青,曾娟,等. 杜仲不同部位化学成分比较[J]. 中成药, 2023, 45(4): 1184-1194.

[6] 黄文平,郭文静,吴永忠,等. 杜仲不同药用部位及制剂中4种木脂素成分含量差异比较[J]. 北京中医药,

2020, 39(5): 504-507.

[7] 吴贵辉. 黔产道地药材杜仲核磁共振指纹图谱研究[D]. 贵阳:贵州大学, 2015.

[8] 付冬梅,张子东,张威鹏,等. 变波长-梯度洗脱HPLC法同时测定杜仲的12种成分[J]. 现代食品科技, 2020, 36(10): 315-323, 58.

[9] SHI S Y, PENG M J, ZHANG Y P, et al. Combination of preparative HPLC and HSCCC methods to separate phosphodiesterase inhibitors from *Eucommia ulmoides* bark guided by ultrafiltration-based ligand screening [J]. Anal Bioanal Chem, 2013, 405(12): 4213-4223.

[10] 刘怡妙. 杜仲不同药用部位的质量评价及资源利用研究[D]. 天津:天津中医药大学, 2022.

[11] 雒晓梅. 杜仲的定性定量分析及安全性评价研究[D]. 北京:北京协和医学院, 2020.

[12] 盛益华,王洪,李思迪,等. 基于HPLC-Q-TOF-MS鉴定杜仲不同部位中化学成分及其降血糖活性研究[J]. 中草药, 2023, 54(19): 6228-6240.

[13] 王娟娟,秦雪梅,高晓霞,等. 杜仲化学成分、药理活性和质量控制现状研究进展[J]. 中草药, 2017, 48(15): 3228-3237.

[14] ZHAO B T, JEONG S Y, KIM T I, et al. Simultaneous quantitation and validation of method for the quality evaluation of *Eucommiae Cortex* by HPLC/UV [J]. Arch Pharm Res, 2015, 38(12): 2183-2192.

[15] 严颖,赵慧,邹立思,等. 基于LC-QTOF MS/MS技术分析不同产地杜仲的差异化学成分[J]. 中国中药杂志, 2017, 42(14): 2730-2737.

[16] 李锟,郝志友,张翠利,等. 杜仲化学成分研究[J]. 中药材, 2016, 39(9): 2016-2018.

[17] GONG M, LI Q, GUO H, et al. Protective effect of active components of *Eucommia ulmoides* leaves on gastric ulcers in rats: Involvement of the PI3K/Akt/NF- $\kappa$ B pathway [J]. J Food Sci, 2022, 87(7): 3207-3222.

[18] TANG P, TANG Y, LIU Y, et al. Quercetin-3-O- $\alpha$ -L-arabinopyranosyl- (1 $\rightarrow$ 2) -  $\beta$  -D-glucopyranoside isolated from *Eucommia ulmoides* Oliver leaf relieves insulin resistance in HepG2 cells via the IRS-1/PI3K/Akt/GSK-3 $\beta$  pathway [J]. Biol Pharm Bull, 2023, 46(2): 219-229.

[19] 闫建昆. 杜仲叶化学成分及其生物活性研究[D]. 沈阳:沈阳药科大学, 2016.

[20] 吴贵辉,陈艳,郑黎花,等. 黔产杜仲化学成分研究[J]. 中药材, 2015, 38(5): 980-984.

[21] 薛皋,刘宗玮,刘胜利,等. 中药杜仲治疗骨质疏松症的研究进展[J]. 中医临床研究, 2022, 14(25): 137-139.

- [22] LIAO Y, CHEN F, XU L, et al. Study on extraction and antibacterial activity of aucubin from *Eucommia ulmoides* seed-draff waste biomass[J]. Heliyon, 2022, 8(10):e10765.
- [23] 左月明,张忠立,王彦彦,等. 杜仲叶环烯醚萜类化学成分研究[J]. 中药材,2014,37(2):252-254.
- [24] LUO S, REN X, SHI X, et al. Study on enhanced extraction and seasonal variation of secondary metabolites in *Eucommia ulmoides* leaves using deep eutectic solvents[J]. J Pharm Biomed Anal, 2022, 209: 114514.
- [25] WANG T, FAN L, FENG S, et al. Network pharmacology of iridoid glycosides from *Eucommia ulmoides* Oliver against osteoporosis [J]. Sci Rep, 2022, 12(1):7430.
- [26] 王梦晴,于慧,刘鑫,等. 基于UHPLC-Q-TOF-MS/MS技术探究和表征杜仲提取物在腺嘌呤致肾纤维化大鼠中的入血成分及其代谢产物[J]. 药学学报, 2022, 57(4):1136-1146.
- [27] 丁艳霞,郭洋静,任莹璐,等. 杜仲雄花中黄酮类化学成分及其抗氧化活性研究[J]. 中草药,2014,45(3):323-327.
- [28] 黄卫星,姚铁,丁丽琴,等. 杜仲皮化学成分研究[J]. 中草药,2019,50(14):3279-3283.
- [29] 贾羲,朱春胜. 基于导向分离的杜仲叶抗氧化活性成分研究[J]. 中医药信息,2022,39(5):39-44.
- [30] 闫建昆,张翔宇,石旭柳,等. 杜仲叶中黄酮类化学成分研究[J]. 中国现代中药,2021,23(4):599-604.
- [31] 季馨怿,王秋花,吴静. 杜仲根化学成分研究[J]. 生物化工,2017,3(3):40-42.
- [32] 赵娜. 杜仲籽的化学成分及其生物活性研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2021.
- [33] 万凡. 杜仲叶提取物和绿原酸调控仔猪肠道炎症的机制研究[D]. 兰州:兰州大学,2023.
- [34] 董芬,邓娇,罗翠婷,等. 杜仲叶中一个新天然产物及其活性研究[J]. 中药药理与临床,2020,36(6):104-109.
- [35] 郑刘振. 杜仲提取物缓解笼养蛋鸡骨质疏松症的效应研究[D]. 南昌:江西农业大学,2021.
- [36] 李泽娜,刘畅,李雪,等. 杜仲配方颗粒HPLC指纹图谱及多成分含量测定研究[J]. 中国新药杂志,2022,31(7):705-712.
- [37] 钱文丹,谭艾娟,吕世明,等. 杜仲中五环三萜类及其抗肿瘤活性[J]. 中成药,2019,41(5):1059-1065.
- [38] 张晓芳,胡文忠,姜爱丽,等. 杜仲多糖的提取方法及药理作用研究进展[J]. 中国新药杂志,2021,30(4):347-351.
- [39] 韩莉娟. 松脂醇二葡萄糖苷降压作用及机制研究[D]. 西安:西北大学,2017.
- [40] 李辉,李攀峰,杨婷,等. 杜仲叶提取物对SHR大鼠血管内皮损伤的保护作用[J]. 河南大学学报:医学版,2022,41(5):321-326.
- [41] 陈保玲. 杜仲花粉对高脂血症大鼠血脂的影响及其机制研究[D]. 郑州:河南大学,2020.
- [42] 雷燕妮,张小斌. 商洛杜仲叶多糖对高脂血症小鼠的降血脂作用[J]. 陕西师范大学学报:自然科学版,2018,46(4):120-124.
- [43] 余成馨,王海帆,王鹏,等. 杜仲叶提取物对高脂血症模型大鼠降脂作用及肠道菌群影响研究[J]. 中药药理与临床,2023,39(09):55-61.
- [44] 郎茜,龚蕾,叶婧,等. 杜仲叶多糖对糖尿病大鼠的降血糖作用[J]. 现代食品科技,2020,36(10):27-32,78.
- [45] 范春惠,张琳惠,郑妮. 杜仲黄酮对糖尿病小鼠胰腺线粒体功能的影响[J]. 广西医科大学学报,2021,38(8):1491-1496.
- [46] PENG M F, TIAN S, SONG Y G, et al. Effects of total flavonoids from *Eucommia ulmoides* Oliv. leaves on polycystic ovary syndrome with insulin resistance model rats induced by letrozole combined with a high-fat diet[J]. J Ethnopharmacol, 2021, 273: 113947.
- [47] 秧荣昆,关智宇. 基于肾主骨理论探讨杜仲通过调控OPG/RANKL/RANK通路对去势骨质疏松大鼠的影响[J]. 中成药,2023,45(1):70-74.
- [48] SONG J, ZHANG Y, ZHU Y, et al. Structural characterization and anti-osteoporosis effects of polysaccharide purified from *Eucommia ulmoides* Oliver cortex based on its modulation on bone metabolism[J]. Carbohydr Polym, 2023, 306: 120601.
- [49] 林奇生,邹学农,曾瑞芬,等. 杜仲醇提取物通过RhoA/ROCK信号通路调控大鼠骨髓间充质干细胞成骨分化作用研究[J]. 辽宁中医药大学学报,2019,21(2):26-30.
- [50] 王方杰,王婷,罗芳梅,等. 基于GC-MS代谢组学技术的杜仲抗骨质疏松作用研究[J]. 中国中药杂志,2020,45(22):5555-5560.
- [51] 王真,李娜,曹倩,等. 杜仲提取物对类风湿关节炎大鼠免疫功能及TLR2/NF- $\kappa$ B/TNF信号通路的影响[J]. 中国中医急症,2023,32(4):606-609,619.
- [52] 王翔,胡凤杨,杨秋玲,等. 杜仲叶的营养评价及体外抗氧化活性分析[J]. 食品工业科技,2019,40(21):290-299.
- [53] 邓云云,张俊娥. 杜仲叶活性成分提取方法对其抗氧化性和降血糖能力的影响[J]. 分子植物育种,2018,16(19):6504-6508.
- [54] HU R Z, HE Z Y, LIU M, et al. Dietary

- protocatechuic acid ameliorates inflammation and up-regulates intestinal tight junction proteins by modulating gut microbiota in LPS-challenged piglets [J]. *J Anim Sci Biotechnol*, 2021, 12(1):328-339.
- [55] 杨志友,马智慧,邓嘉航,等. 药食同源植物杜仲叶中有效成分京尼平苷酸的抗炎作用研究[J]. *广东化工*, 2020, 47(22):47-48, 38.
- [56] 梅蛟,杨帆,王建钢. 杜仲对四氯化碳诱导的肝损伤大鼠的保护作用研究[J]. *特产研究*, 2022, 44(6):24-28, 34.
- [57] 黄玲,苏彦红,蒋跃平,等. 杜仲皮中木脂素类化学成分及其对高糖诱导的肾小球系膜细胞保护作用研究[J]. *天然产物研究与开发*, 2023, 35(3):405-409, 419.
- [58] 沈磊,陈萱,母玉洁,等. 杜仲多糖抑制高糖诱导HK-2细胞损伤的研究[J]. *中国糖尿病杂志*, 2023, 31(2):133-138.
- [59] 王明英,朱岩丽. 杜仲叶提取液对5种常见细菌的体外抑菌作用[J]. *中兽医医药杂志*, 2018, 37(2):51-52.
- [60] 龚卫华,王延云,贺建武,等. 杜仲叶水提物和醇提物抑菌及其抗氧化活性研究[J]. *乐山师范学院学报*, 2023, 38(8):10-14.
- [61] 张帅男,李煦照. 基于生物标签研究模式运用组学和生物信息学定位杜仲叶治疗脊髓疾病的潜能、作用机制及物质基础[J]. *中华中医药学刊*, 2023, 41(4):157-161, 后插29.
- [62] 胡凤成,韩锐,郭聪,等. 杜仲叶化学成分及其神经保护活性研究[J]. *林产化学与工业*, 2023, 43(3):9-15.
- [63] 张秀峰,李小菲,刘明,等. 杜仲叶总黄酮通过RhoA/ROCK信号通路参与脑出血大鼠神经功能修复[J]. *天津医药*, 2023, 51(3):252-258.
- [64] 李佳行. 连翘苷对肝脏纤维化的改善作用及机制研究[D]. 重庆:中国人民解放军陆军军医大学, 2020.
- [65] 张俊顺,骆嘉原,姜喆卉,等. 连翘苷的提取工艺优化及其抑菌活性[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(7):193-201, 104.
- [66] 许泽绪,郑钰,张凯照,等. 连翘苷抗番鸭呼肠孤病毒增殖及对炎症因子表达的抑制作用[J]. *福建农林大学学报:自然科学版*, 2023, 52(3):337-343.
- [67] 黄潇潇,黄连军. 丁香酚对异丙肾上腺素诱导的大鼠心肌梗死保护作用[J]. *浙江中西医结合杂志*, 2023, 33(5):406-411.
- [68] 任英杰,曹彦刚,张贝贝,等. 怀山药茎叶化学成分及抗癌活性筛选研究[J]. *中草药*, 2020, 51(4):918-924.
- [69] 吴柏林,郝亚萌,陈颖,等. 咖啡酸酯类衍生物作为神经保护剂的构效关系研究[J]. *中国药学:英文版*, 2019, 28(9):615-626.
- [70] 陈晓辉. 类风湿性关节炎小鼠模型的制备及刺五加皂苷E对其治疗作用的研究[D]. 江苏:苏州大学, 2015.
- [71] 张进强,易赛妮,申琳敏,等. 马钱子苷对神经干细胞的增殖、存活和分化的调节作用[J]. *山东科学*, 2021, 34(5):8-15.
- [72] 薛慧,王加茹,徐宛婷,等. 异甘草素抗肿瘤药理作用机制的研究[J]. *农产品加工:下半月*, 2019(7):69-70.
- [73] 张畦,安祯祥,何远利. 异甘草素对大鼠肝纤维化的治疗作用及其机制[J]. *安徽医科大学学报*, 2023, 58(4):649-654.
- [74] 邹小艳,范香成,田友清,等. 木樨草素等抗心肌缺血/再灌注损伤及抑制脂代谢和细胞凋亡作用研究[J]. *南京中医药大学学报*, 2020, 36(3):380-386.
- [75] 陈晶,钊岩,高立功. 甘草查尔酮B减轻高胆固醇饮食诱导的动脉粥样硬化[J]. *中国医院药学杂志*, 2023, 43(4):399-403.
- [76] YU X, GAO F, LI W, et al. Formononetin inhibits tumor growth by suppression of EGFR-Akt-Mcl-1 axis in non-small cell lung cancer [J]. *J Exp Clin Cancer Res*, 2020, 39(1):62.
- [77] LEE HYUN JAE. Effects of natural products derived from *Acanthopanax divaricatus* var. *albeofructus* including coniferin on gene expression and production of MUC5AC mucin from human airway epithelial cells [J]. *Yakhak Hoeji*, 2018, 62(2):118-125.
- [78] ZIENIUK B. Dihydrocaffeic acid-is it the less known but equally valuable phenolic acid?[J]. *Biomolecules*, 2023, 13(5):859.
- [79] 陈喜宏,路桂聪,王浩磊,等. 利用牛乳腺细胞和小鼠乳腺组织分析异绿原酸C通过NF- $\kappa$ B信号通路对乳腺炎症反应的抑制效应[J]. *畜牧兽医学报*, 2023, 54(9):3931-3940.
- [80] 万珊珊,梁军,孙晓冬,等. 甘草查尔酮A对人脑胶质瘤U87细胞增殖和侵袭的影响及机制研究[J]. *中国临床药理学杂志*, 2023, 39(13):1875-1878.
- [81] 王雪. 甘草查尔酮A对小鼠心肌梗死的保护效应及其作用机制[D]. 扬州:扬州大学, 2023.
- [82] 卡迪丽娅·木拉提,艾力根·阿不都热依木,张瑾. 异绿原酸A抑制变应性鼻炎大鼠炎症反应[J]. *解剖科学进展*, 2022, 28(2):234-238.
- [83] 焦豪杰,陈绍红,刘铀. 异绿原酸A体外抗小反刍兽疫病毒活性及其作用机制研究[J]. *河南农业大学学报*, 2023, 57(1):125-135.
- [84] 胡闪闪,胡红杰,徐艳萍,等. 紫丁香苷对LPS/D-GalN诱导的急性肝损伤的保护作用研究[J]. *畜牧*

- 与兽医, 2023, 55(4):120-126.
- [85] 杨春燕, 陆松侠, 黄茸茸, 等. 栀子苷对佐剂性关节炎大鼠关节腔透析液中PGE<sub>2</sub>含量的影响[J]. 山东化工, 2023, 52(7):36-38, 42.
- [86] 时延龙, 周鹏, 王雪凯, 等. 栀子苷通过AMPK/SIRT1/NF-κB通路调节乳腺癌细胞增殖、焦亡和侵袭[J]. 广西医科大学学报, 2022, 39(11):1700-1705.
- [87] 初巍巍, 袁菲阳, 丁国臣, 等. 车叶草苷对小鼠Lewis肺癌的抑瘤、抗炎作用及其机制[J]. 武警医学, 2020, 31(5):401-404.
- [88] 洪庆. 基于代谢组学的车叶草苷抗衰老作用评价及机制研究[D]. 镇江:江苏大学, 2019.
- [89] 刘裕婷, 陶玉凤, 曾钰婷, 等. 绿原酸对粪肠球菌致小鼠肾损伤与高血压的作用[J]. 中药新药与临床药理, 2023, 34(1):64-71.
- [90] 刘宇瑶, 廖富娟, 李雨珊, 等. 基于颜色和化学成分研究不同干燥方法对杜仲雄花品质影响[J]. 中国中药杂志, 2023, 48(7):1876-1884.
- [91] 肖作为, 谢梦洲, 甘龙, 等. 山银花、金银花中绿原酸和总黄酮含量及抗氧化活性测定[J]. 中草药, 2019, 50(1):210-216.
- [92] 张希, 许旭东, 田瑜, 等. 绿原酸衍生物的合成及体外抗肿瘤活性研究[J]. 中草药, 2020, 51(4):937-942.
- [93] 王荣, 罗倩, 冯怡. DPPH、ABTS和FRAP微量法测定山奈酚的抗氧化能力[J]. 广州化工, 2021, 49(3):58-59, 63.
- [94] 先梦麟, 耿娜娜, 邓琳, 等. 山奈酚调控细胞衰老治疗类风湿性关节炎的体外研究[J]. 陆军军医大学学报, 2023, 45(12):1281-1291.
- [95] 支廷威, 刘昌辉. 京尼平苷酸通过调控法尼醇X受体对胆管结扎诱导的胆汁淤积小鼠的影响[J]. 中药新药与临床药理, 2022, 33(12):1606-1613.
- [96] 吕迎兰, 程龙, 石璐, 等. 芦丁促进3T3-L1前脂肪细胞棕色化及其机制[J]. 中国实验方剂学杂志, 2023, 29(5):137-143.
- [97] AROWOOGUN J, AKANNI O O, ADEFISAN A O, et al. Rutin ameliorates copper sulfate-induced brain damage via antioxidative and anti-inflammatory activities in rats[J]. J Biochem Mol Toxicol, 2021, 35(1):e22623.
- [98] DA SILVA A B, CERQUEIRA COELHO P L, DAS NEVES OLIVEIRA M, et al. The flavonoid rutin and its aglycone quercetin modulate the microglia inflammatory profile improving antiglioma activity[J]. Brain Behav Immun, 2020, 85:170-185.
- [99] 牟登科, 吴燕芬, 周欢森. 槐花米中芦丁的抗氧化性及抑菌性研究[J]. 广东化工, 2021, 48(13):20-21.
- [100] 蔡颖, 杨英捷. 异槲皮苷通过内质网应激/自噬途径诱导宫颈癌细胞凋亡的作用机制[J]. 世界中医药, 2022, 17(6):795-800.
- [101] TRACANNA M I, FORTUNA A M, CÁRDENAS A V, et al. Anti-leishmanial, anti-inflammatory and antimicrobial activities of phenolic derivatives from *Tibouchina paratropica* [J]. Phytother Res, 2015, 29(3):393-397.
- [102] 汪娅媛, 郭娟, 田仰清, 等. 异槲皮苷促进犬骨髓间充质干细胞(cBMSCs)的成骨分化及机理[J]. 中国兽医学报, 2021, 41(11):2190-2195.
- [103] 王艺蓓, 林欣, 戴友平, 等. 异槲皮苷调控线粒体动力学逆转造影剂所致大鼠急性肾损伤[J]. 生物加工过程, 2023, 21(2):229-236.
- [104] 江飞飞, 陈志志, 徐晏雯, 等. 金丝桃苷保护大鼠脑缺血再灌注损伤的机制研究[J]. 中国现代应用药学, 2021, 38(12):1448-1453.
- [105] 李国栋, 薛涛, 黄学锋. 金丝桃苷对心肌缺血再灌注损伤大鼠的心脏保护作用[J]. 中国临床药理学杂志, 2020, 36(22):3721-3724.
- [106] 林运华, 孔凤瑶, 梁锐明. 金丝桃苷对LPS诱导的体外骨关节炎作用研究[J]. 蛇志, 2020, 32(4):420-423.
- [107] LI J P, LIAO X H, XIANG Y, et al. Hyperoside and let-7a-5p synergistically inhibits lung cancer cell proliferation via inducing G<sub>1</sub>/S phase arrest[J]. Gene, 2018, 679:232-240.
- [108] 刘兆祥, 袁宇, 赵文婷, 等. 金丝桃苷对糖尿病心肌损伤保护作用研究[J]. 亚太传统医药, 2020, 16(10):25-28.
- [109] 王勇, 黄大兵, 沈夏波, 等. 甘草素调控WIG-1基因对肺癌细胞增殖、细胞凋亡以及放疗敏感性影响的研究[J]. 中国免疫学杂志, 2020, 36(10):1194-1200.
- [110] 杜焯湘. 甘草素通过抑制炎症反应对阿尔兹海默病的保护作用及其机制研究[D]. 重庆:重庆医科大学, 2019.
- [111] 孟利, 郑雪, 王宇晴, 等. 产甘草素内生真菌GJZ21的鉴定及其活性研究[J]. 中国新药杂志, 2018, 27(11):1315-1320.
- [112] 房婷, 孙鹏帅, 刘洁. 甘草素抑制HMGB1的表达缓解造血干细胞移植后肝损伤[J]. 河北医学, 2021, 27(10):1592-1598.
- [113] 刘福俊, 王晓晶, 王芳, 等. 天然二氢查尔酮类衍生物的合成及降糖活性筛选[J]. 云南大学学报:自然科学版, 2020, 42(3):545-552.
- [114] 肖郑操. 苹果属植物二氢查尔酮化合物鉴定及体外活性与功能分析[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2019.
- [115] 柯亚琼, 郝建波, 芦玲, 等. 汉黄芩苷抗糖尿病大鼠肾

- 损伤及纤维化的机制研究[J]. 广州中医药大学学报, 2022, 39(9): 2109-2115.
- [116] 张霞, 杜文泽, 赵汉清, 等. 汉黄芩苷对溃疡性结肠炎大鼠促炎因子、氧化应激标志物水平的影响及黏膜修复作用[J]. 中国老年学杂志, 2022, 42(12): 2994-2998.
- [117] 梁勇, 陈伟. 紫云英苷对肺癌 A549 细胞增殖、迁移、凋亡和氧化应激的影响[J]. 中国临床药理学杂志, 2023, 39(7): 999-1003.
- [118] 马小斐, 马立光, 刘函晔, 等. 紫云英苷抑制哮喘小鼠气道炎症的作用及机制研究[J]. 免疫学杂志, 2022, 38(11): 944-949.
- [119] LIU L, WANG D, QIN Y, et al. Astragalgin promotes osteoblastic differentiation in MC3T3-E1 cells and bone formation *in vivo* [J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2019, 10: 228.
- [120] 吴丽霞, 王雨薇, 吴红雁. 柚皮素通过激活凋亡信号抑制肝星状细胞活化[J]. 中国药房, 2023, 34(10): 1187-1192.
- [121] GEORGE D, MAHESWARI P U, BEGUM K. Chitosan-cellulose hydrogel conjugated with L-histidine and zinc oxide nanoparticles for sustained drug delivery: Kinetics and *in-vitro* biological studies [J]. *Carbohydr Polym*, 2020, 236: 116101.
- [122] 曾文峰, 张发云, 杜刚军, 等. 柚皮素: 新一代免疫调节剂[J]. 生物化学与生物物理进展, 2018, 45(9): 915-925.
- [123] REHMAN K, KHAN I I, AKASH M, et al. Naringenin downregulates inflammation-mediated nitric oxide overproduction and potentiates endogenous antioxidant status during hyperglycemia [J]. *J Food Biochem*, 2020: e13422.
- [124] ALIREZA M, LALEH F, HAMID N, et al. Synthesis, docking study, and biological evaluation of novel umbelliferone/hymecromone derivatives as acetylcholinesterase/butyrylcholinesterase inhibitors [J]. *Med Chem Res*, 2018, 27: 42-51.
- [125] KARALIS T T, HELDIN P, VYNIOS D H, et al. Tumor-suppressive functions of 4-MU on breast cancer cells of different ER status: Regulation of hyaluronan/HAS2/CD44 and specific matrix effectors [J]. *Matrix Biol*, 2019, 78-79: 118-138.
- [126] LI F, HAO P, LIU G, et al. Effects of 4-methylumbelliferone and high molecular weight hyaluronic acid on the inflammation of corneal stromal cells induced by LPS [J]. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2017, 255(3): 559-566.
- [127] 梅瀚, 曹金凤, 刘世巍, 等. 超声辅助提取葡萄籽中原花青素工艺及抗氧化活性研究[J]. 广东化工, 2023, 50(5): 38-41.
- [128] 张秀娟, 吴伟, 陈欣, 等. 葡萄籽原花青素对牙龈上皮细胞炎症介质表达的影响[J]. 华西口腔医学杂志, 2022, 40(1): 39-44.
- [129] 宓伟, 于敏, 李宁, 等. 基于 AMPK/SREBP-1c 分子通路的山楂原花青素调控脂质代谢机制[J]. 食品科学, 2023, 44(15): 129-136.
- [130] 张伟云, 王青, 姚芳华, 等. 没食子儿茶素促进脂肪细胞吸收葡萄糖研究[J]. 上海中医药杂志, 2018, 52(7): 85-88.
- [131] 张盼. 表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)衍生物的合成及生物活性研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017.
- [132] 韦子强, 张雯雯, 郭嘉亮, 等. 阿魏酸抑制 p38 MAPK 信号传导对巨噬细胞 M1 极化的作用[J]. 广东药科大学学报, 2023, 39(3): 68-72.
- [133] 陶玲, 白敦耀, 臧振中, 等. 雷公藤甲素阿魏酸醇质体凝胶经皮给药的长期毒性[J]. 中国实验方剂学杂志, 2022, 28(7): 95-104.
- [134] 李冰, 张立攀, 王春杰, 等. 杜仲叶超微粉馒头制备工艺及品质特性分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(7): 2184-2193.
- [135] 曾桥. 杜仲叶茯苓品质形成机制及其降血脂作用[D]. 西安: 陕西科技大学, 2022.
- [136] 洪茹. 杜仲雄花粉对面团特性及面制品品质影响的研究[D]. 成都: 成都大学, 2023.
- [137] 王小媛, 牛涵, 靳学远, 等. 杜仲籽油苹果汁饮料低温等离子体和热杀菌的比较分析[J]. 现代食品科技, 2022, 38(9): 206-214.
- [138] 邢敏. 杜仲雄花提取物对金黄色葡萄球菌的抑制途径及在熟肉保鲜中的应用[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2022.
- [139] HOU Y, JIANG J G. Origin and concept of medicine food homology and its application in modern functional foods [J]. *Food Funct*, 2013, 4(12): 1727-1741.
- [140] QU S, YU S, MA X, et al. "Medicine food homology" plants promote periodontal health: Antimicrobial, anti-inflammatory, and inhibition of bone resorption [J]. *Front Nutr*, 2023, 10: 1193289.
- [141] LU Q, LI R, YANG Y, et al. Ingredients with anti-inflammatory effect from medicine food homology plants [J]. *Food Chem*, 2022, 368: 130610.
- [142] HUANG L, LYU Q, ZHENG W, et al. Traditional application and modern pharmacological research of *Eucommia ulmoides* Oliv [J]. *Chin Med*, 2021, 16(1): 73.

[责任编辑 顾雪竹]