

杜仲叶化学成分、药理活性及现代应用研究进展

李婉玉^{1,2}, 张家旭^{2,3}, 谢兴文^{1*}, 石晓峰^{2*}

¹甘肃中医药大学附属医院, 兰州 730099; ²甘肃省医学科学研究所, 兰州 730050; ³甘肃中医药大学, 兰州 730000

摘要: 杜仲叶是一种传统中药, 现收录于《中华人民共和国药典》一部, 同时其作为一种药食两用中药, 具有较高的研究价值和开发潜力。现代研究表明, 杜仲叶主要含有黄酮类、酚酸类、木脂素类、环烯醚萜类等化学成分, 具有抗氧化、降血压、降血脂、神经保护和骨保护等药理作用。目前已研制和开发出较多以杜仲叶为主药或原料的药品、保健品和食品, 在医疗、化工和养殖业等多个领域均有应用。该文通过检索近 20 年国内外对杜仲叶的相关研究报道, 对其化学成分、药理活性和应用进行整理总结, 为后续杜仲叶的研究及资源开发提供科学依据。

关键词: 杜仲叶; 化学成分; 药理活性; 开发利用

中图分类号: R932

文献标识码: A

Research progress on chemical components, pharmacological activities, and modern applications of *Eucommiae Folium*

LI Wan-yu^{1,2}, ZHANG Jia-xu^{2,3}, XIE Xing-wen^{1*}, SHI Xiao-feng^{2*}

¹*Affiliated Hospital of Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730099, China;* ²*Gansu Academy of Medical Science, Lanzhou 730050, China;* ³*Gansu University of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China*

Abstract: *Eucommiae Folium* is a traditional Chinese medicine included in the *Chinese Pharmacopoeia* and valued for their potential as a medicinal and edible herb. Modern research has shown that *Eucommiae Folium* contains various chemical components, including flavonoids, phenolic acids, lignans, and iridoids, which exhibit pharmacological activities such as antioxidation, blood pressure reduction, lipid-lowering, neuroprotection, and bone protection. At present, a large number of drugs, health products, and foods have been developed with *Eucommiae Folium* as the main drug or raw material, and have been applied in various fields such as medical treatment, chemical industry, and animal husbandry. This review summarizes the chemical components, pharmacological activities, and applications of *Eucommiae Folium* based on literature searches of domestic and foreign studies over the past 20 years, providing scientific evidence for future research and resource development..

Key words: *Eucommiae Folium*; chemical composition; pharmacological activity; development and utilization

杜仲叶 (*Eucommiae Folium*) 是杜仲科药用植物杜仲 (*Eucommia ulmoides* Oliv.) 的干燥叶, 现收录于 2020 版《中国药典》一部。杜仲叶叶片呈椭圆形、卵形或矩圆形, 暗绿色或褐色, 脉上有毛, 边缘有锯齿, 揉开时有胶丝黏连。杜仲叶归肝、肾经, 具有补肝肾, 强筋骨的功效, 在我国主要分布于陕西、甘肃、河南、湖北和四川等地^[1-2]。杜仲叶在古代就有记载和应用, 宋代《本草图经》记载杜仲“初生嫩叶可采食”。明代《本草纲目》也有引用, 清代《广群芳谱》根据《本草图经》的说明也对杜仲叶的可食用性做了阐述。2019 年国家杜仲叶开展药食同源试点工作, 到 2023 年被正式纳入药食同源中药名单, 表明杜仲叶安全性较高, 可开发成保健食品。近年来不仅在药品和食品领域, 养殖业和化工领域对杜仲叶的开发利用也逐渐增多, 因此有了不少相关文献报道。有关药用植物杜仲的研究虽然较多, 但关于杜仲叶的综述却十分有限, 因此本文综述了 2003~2023 年国内外对于杜仲叶在化学成分、药理活性和现代应用方面的研究, 以期为杜仲叶的深入研究和资源开发提供参考。

1 化学成分

本文整理出近 20 年关于杜仲叶研究报道较多的单体化合物共 150 个, 包括黄酮类化合物 27 个 (1~27), 酚酸类化合物 20 个 (28~47), 木脂素类化合物 28 个 (48~75), 环烯醚萜类化合物 22 个 (76~97), 萜及甾体类化合物 53 个 (98~150), 其中有五环三萜类化合物 20 个 (98~117)、甾体类化合物 3 个 (118~120)、降倍半萜类化合物 28 个 (121~148)、倍半萜类化合物 2 个 (149、150)。

1.1 黄酮类

黄酮类化合物具有抗炎、抗菌、抗氧化等多种药理作用, 杜仲叶中含有丰富的黄酮类化合物。近年来杜仲叶中的黄酮类成分以总黄酮的研究较多, 主要是用新的提取、分离纯化方法来纯化富集总黄酮, 具体见表 1。杜仲叶中的黄酮类化合物以槲皮素及其糖苷为主, 其具体名称见表 2, 化学结构见图 1。

表 1 杜仲叶中总黄酮的不同提取方法与含量

Table 1 Different extraction methods and contents of total flavonoids in *Eucommiae Folium*

提取分离纯化方法	含量/纯度	参考文献
Extraction, separation and purification method	Content/Purity	Ref.
一次柱层析 HPD-826 大孔树脂	纯度 65.19%	3
二次柱层析聚酰胺树脂		
超临界 CO ₂ 萃取法	提取率 73.26%	4
	纯度 19.82%	

酶法及半仿生法	得率 0.044%	5
微波辅助提取	69.02 mg/g (以柚皮苷计)	6
亚临界水萃取法	得率 3.09%	7
超声波辅助酶法	得率 3.295%	8
液相反溶剂沉淀法	83 mg/mL	9

表 2 杜仲叶中的黄酮单体化合物

Table 2 Flavonoids monomer compounds in Eucommiae Folium

编号	化合物	参考文献
No.	Compound	Ref.
1	芦丁 Rutin	10-12
2	异槲皮苷 Isoquercitrin	10,11
3	槲皮素 Quercetin	11-13
4	槲皮苷 Quercetin-3-rhamnoside	14
5	槲皮素-3- <i>O</i> - β - <i>D</i> -吡喃葡萄糖基- β - <i>D</i> -吡喃木糖苷 Quercetin-3- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranose- β - <i>D</i> -pyranosyloside	14
6	槲皮素-3- <i>O</i> - β - <i>D</i> -木糖基-(1 \rightarrow 2)- β - <i>D</i> -葡萄糖苷 Quercetin-3- <i>O</i> - β - <i>D</i> -xylose-(1 \rightarrow 2)- β - <i>D</i> -glucoside	15
7	槲皮素-3- <i>O</i> - α -鼠李糖基(1 \rightarrow 6)- β -吡喃葡萄糖基-(1 \rightarrow 3)- β -葡萄糖苷 Quercetin-3- <i>O</i> - α -rhamnosyl (1 \rightarrow 6)- β -glucopyranose-(1 \rightarrow 3)- β -glucoside	14
8	槲皮素-3- <i>O</i> -阿拉伯基葡萄糖苷 Quercetin-3- <i>O</i> -arabinoglucoside	12
9	山柰酚 Kaempferol	11
10	紫云英苷 Astragaln	10,11,13,15
11	山柰酚-3- <i>O</i> - α - <i>L</i> -鼠李糖基-(1 \rightarrow 6)- β - <i>D</i> -葡萄糖苷 Kaempferol-3- <i>O</i> - α - <i>L</i> -rhamnose-(1 \rightarrow 6)- β - <i>D</i> -glucoside	15
12	山柰酚-3- <i>O</i> - α - <i>L</i> -鼠李糖苷 Kaempferol-3- <i>O</i> - α - <i>L</i> -rhamnoside	14
13	山柰酚-3- <i>O</i> - β - <i>D</i> -6'-鼠李糖苷 Kaempferol-3- <i>O</i> - β - <i>D</i> -6'-rhamnoside	14
14	山柰酚-3- <i>O</i> - β - <i>D</i> -6'-乙酰吡喃葡萄糖苷 Kaempferol-3- <i>O</i> - β - <i>D</i> -6'-acetylpyranoside	14
15	山柰酚-3- <i>O</i> - α - <i>L</i> -吡喃阿拉伯糖苷 Kaempferol-3- <i>O</i> - α - <i>L</i> -arabinoside	14

16	山柰酚-3- <i>O</i> -芸香糖苷 Kaempferol-3- <i>O</i> -rutoside	16
17	异鼠李素-3- <i>O</i> - β -D-葡萄糖苷 Isorhaminol-3- <i>O</i> - β -D-glucoside	13
18	花旗松素-3'- <i>O</i> - β -D-葡萄糖苷 Taxifolin-3'- <i>O</i> - β -D-glucoside	15
19	芹菜素 Apigenin	14
20	2 <i>S</i> -圣草酚 2 <i>S</i> -Eriodictyol	14
21	柚皮素 Naringenin	14
22	葛根素 Puerarin	14
23	大豆苷 Daidzin	14
24	儿茶素 Catechin	10
25	槲皮素-3- <i>O</i> - α -L-吡喃阿拉伯糖基-(1 \rightarrow 2)- β -D-葡萄糖苷 Quercetin-3- <i>O</i> - α -L-pyranoarabinose-(1 \rightarrow 2)- β -D-glucoside	11
26	槲皮素-3- <i>O</i> -葡萄糖(1 \rightarrow 2)葡萄糖苷 Quercetin-3- <i>O</i> -glucose (1 \rightarrow 2) glucoside	13
27	槲皮素-3- <i>O</i> -阿拉伯糖(1 \rightarrow 2)葡萄糖苷 Quercetin-3- <i>O</i> -arabinose (1 \rightarrow 2) \rightarrow 2)glucoside	13

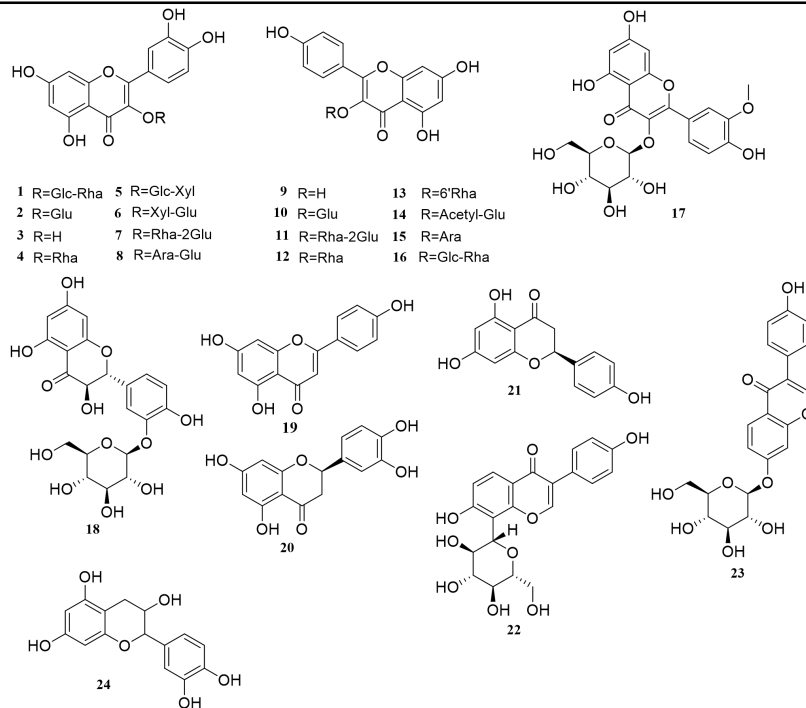


图 1 杜仲叶中黄酮类单体化合物的结构

Fig.1 Structures of flavonoids monomer compounds in *Eucommiae Folium*

1.2 酚酸类

杜仲叶中的酚酸类成分主要是绿原酸，是一种有机酸。2020版《中国药典》一部也将绿原酸作为杜仲叶质量评价的指标性成分。杜仲叶中绿原酸含量丰富，可对其进行分离富集。与黄酮类成分结构类似，酚酸类成分也具有抗氧化、抗炎等多种药理作用，杜仲叶中的酚酸类有效成分的提取与应用也以总多酚研究较多，其中以抗氧化活性研究较多。总多酚的提取方法有超声提取^[17]、超声微波辅助提取^[18]、表面活性剂辅助超声萃取^[19]、月桂酰基谷氨酸钠辅助微波萃取^[20]、高压脉冲电场辅助水酶法^[21]等，值得关注的是，与杜仲叶总黄酮提取方法类似，新的提取方法固然有效，但应该与传统提取方法进行比较，综合考虑提取效率和成本等多个问题，使提取方法更便捷、高效、低成本，适合于工业大生产。杜仲叶中绿原酸的提取分离分析方法见表3，主要酚酸类化合物的名称见表4，化学结构见图2。

表3 杜仲叶中绿原酸的不同提取方法与含量

Table 3 Different extraction methods and content of chlorogenic acid in Eucommiae Folium

提取分离纯化方法	含量/纯度	参考文献
Extraction and separation purification methods	Content/Purity	Ref.
微波破壁法	31.7 mg/g	22
酶法及半仿生法	得率 1.29%	5
全酶解法	含量 61.8 μg/g	23
高速逆流色谱法	含量 82.7 μg/mg	24
20%乙醇回流提取法	得率 2.78%	25
超声提取法	提取率 2.529%	26
天然低共熔溶剂超声辅助提取法	含量 31.46 mg/g	27

表4 杜仲叶中的绿原酸及其他酚酸类单体化合物

Table 4 Chlorogenic acid and other phenolic acid monomer compounds in Eucommiae Folium

编号	化合物	参考文献
No.	Compound	Ref.
28	绿原酸 Chlorogenic acid	12
29	绿原酸甲酯 Chlorogenic acid methylester	28
30	原儿茶酸 Protocatechuic acid	29
31	咖啡酸 Caffeic acid	28
32	反式桂皮酸 <i>trans</i> -Cinnamic acid	12

33	4-羟基肉桂酸 <i>trans-p</i> -Hydroxycinnamic acid	15
34	紫丁香苷 Syringin	28
35	对香豆酸 <i>p</i> -Coumaric acid	14
36	1,2,4-苯三酚 1,2,4-Benzenetriol	14
37	没食子酸甲酯 Methyl gallate	14
38	3,4-二羟基苯甲酸甲酯 Methyl 3,4-dihydroxybenzoate	14
39	对羟基苯乙酸 <i>p</i> -Hydroxyphenylacetic acid	14
40	(7 <i>S</i> ,8 <i>S</i>)-Alatusol D	14
41	(7 <i>R</i> ,8 <i>R</i>)-Alatusol D	14
42	(7 <i>S</i> ,8 <i>R</i>)-Alatusol D	14
43	(7 <i>R</i> ,8 <i>S</i>)-Alatusol D	14
44	Eucophenolic A	14
45	Eucophenolic B	14
46	Eucophenolic C	14
47	Eucophenolic D	14

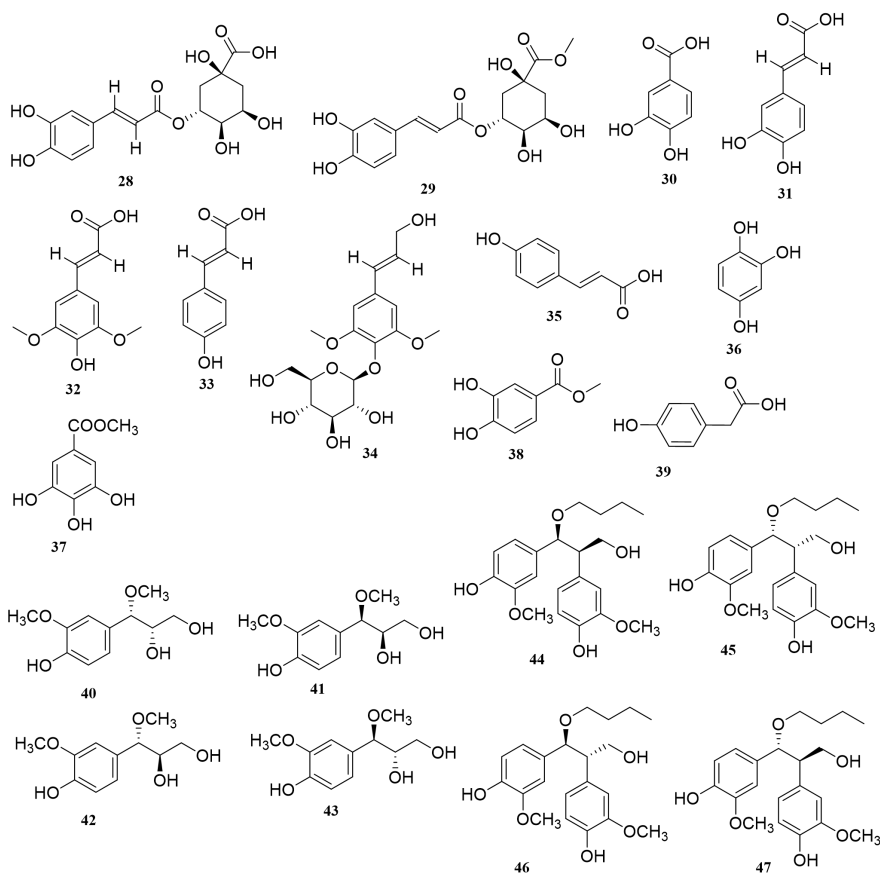


图 2 杜仲叶中的酚酸类单体化合物结构式

Fig. 2 Structures of phenolic acid monomer compounds in *Eucommiae Folium*

1.3 木脂素类

木脂素类成分松脂醇二葡萄糖苷是 2020 版《中国药典》一部评价杜仲质量的指标性成分，杜仲叶中松脂醇二葡萄糖苷含量比杜仲茎皮中少^[30]，老叶和干叶中含量比新鲜叶中少^[30-31]。因此研究杜仲叶中的松脂醇二葡萄糖苷应选用新鲜杜仲叶。杜仲叶中主要木脂素类化合物的名称见表 5，化学结构见图 3。

表 5 杜仲叶中的木脂素类单体化合物

Table 5 Lignan monomer compounds in *Eucommiae Folium*

编号	化合物	参考文献
No.	Compound	Ref.
48	松脂醇二葡萄糖苷 Pinosesinol diglucoside	30
49	去氢二松柏醇-4-O-β-D-吡喃葡萄糖苷 Dehydrodiconiferyl-4-O-β-D-glucopyranoside	32
50	二氢脱氢二松柏醇 Dihydrodehydrodiconiferyl alcohol	29,32

51	杜仲脂素 A Eucommin A	32
52	松脂素 Pinoresinol	33
53	松脂素-4- <i>O</i> - β - <i>D</i> -吡喃葡萄糖苷 Piresil-4- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyraside	33
54	8-羟基-松脂素-4'- <i>O</i> - β - <i>D</i> -吡喃葡萄糖苷 8-Hydroxypinoresinol-4'- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside	32
55	8-羟基-松脂素-4,4'- <i>O</i> - β - <i>D</i> -双吡喃葡萄糖苷 8-Hydroxy-pineolin-4,4'- <i>O</i> - β - <i>D</i> -dipyranside	32
56	表松脂素 Epinephelin	29
57	中脂素-4- <i>O</i> - β - <i>D</i> -吡喃葡萄糖苷 Mediresinol-4- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside	33
58	8-羟基-中脂素 8-Hydroxy-mediresinol	33
59	8-甲氧基-中脂素 8-Methoxy-mediresinol	33
60	中脂素-4,4'- <i>O</i> - β - <i>D</i> -双吡喃葡萄糖苷 Mediresinol -4,4'- <i>O</i> - β - <i>D</i> -dipyranside	32
61	丁香脂素 Syringaresinol	33
62	丁香脂素-4- <i>O</i> - β - <i>D</i> -吡喃葡萄糖苷 Syringaresinol-4- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside	33
63	橄榄脂素 Olivil	33
64	新橄榄脂素 New olivil	32
65	环橄榄脂素 Cycloolivil	15
66	8'-甲氧基-橄榄素 8'-Methoxy-olivine	28
67	8'-羟基-落叶松脂醇-4'- <i>O</i> - β - <i>D</i> -吡喃葡萄糖苷 8'-Lariciresinol-4'- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside	32
68	左旋马尾松树脂醇-3 α - <i>O</i> - β - <i>D</i> -吡喃葡萄糖苷 Massoniresinol-3 α - <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside	32
69	牛蒡子苷 Arctiin	29
70	牛蒡子苷 B ArctiinB	32
71	连翘苷 Phillyrin	32
72	(8 <i>S</i> ,7' <i>S</i> ,8' <i>R</i>)-Vladinol D-4,4'- <i>O</i> - β - <i>D</i> -diglucopyranoside	32
73	(7' <i>S</i> ,8 <i>S</i> ,8' <i>R</i>)-4,4'-Dihydroxy-3,3',5',5'-tetramethoxy-7',9-epoxylignan-9'-ol-7-one	14
74	Wikstrone	14
75	Ficusesquilignan A	14

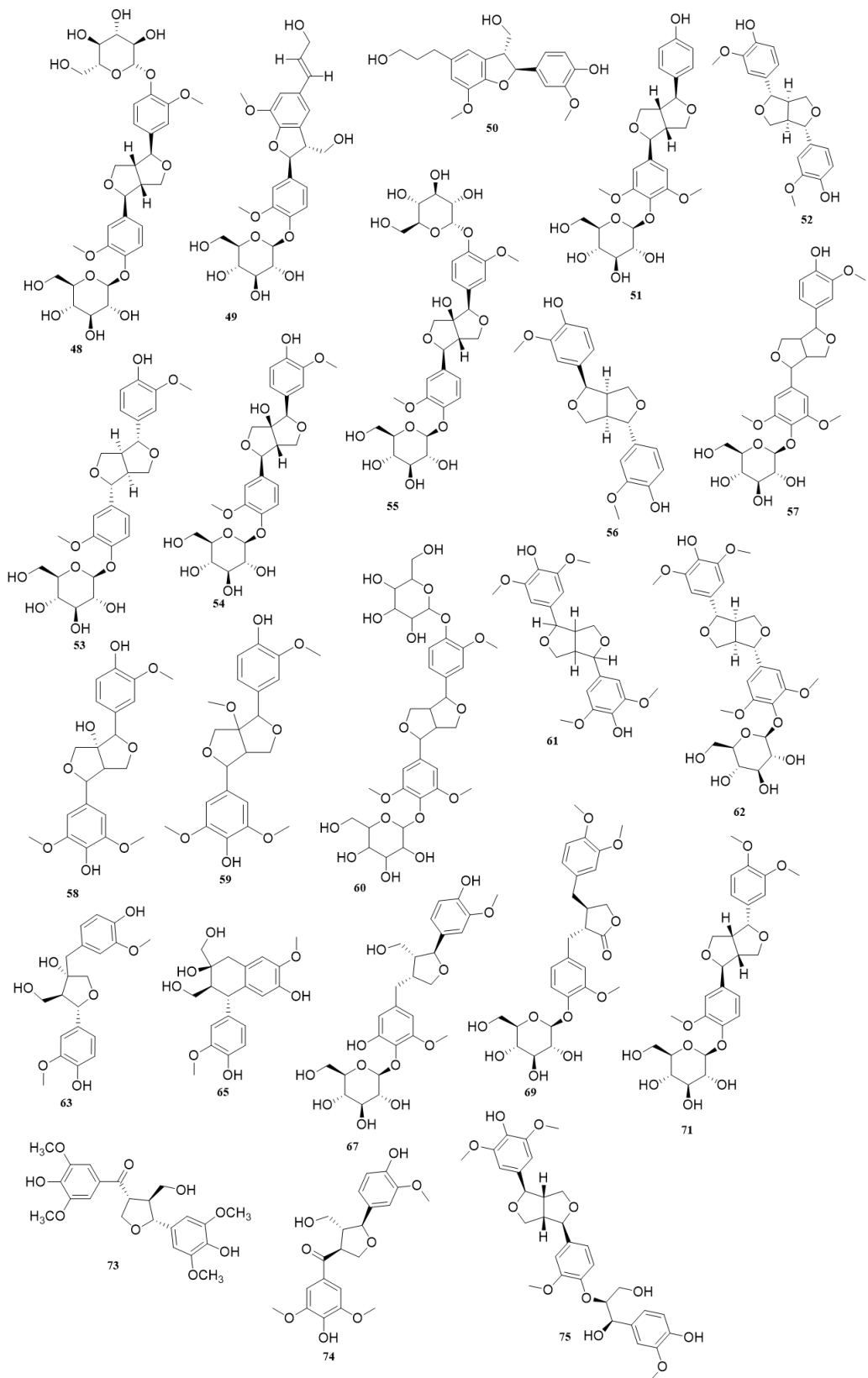


图3 杜仲叶中的木脂素类单体化合物结构式

Fig.3 Structures of lignan monomer compounds in Eucommiae Folium

1.4 环烯醚萜类

杜仲叶中的环烯醚萜类成分有桃叶珊瑚苷、杜仲醇、京尼平苷酸等，这些化合物具有抗炎镇痛、保肝护肝、抗肿瘤等多种重要的生物活性，目前主要以桃叶珊瑚苷和杜仲醇研究较多。杜仲叶中主要环烯醚萜类化合物的名称见表 6，化学结构见图 4。

表 6 杜仲叶中的环烯醚萜类单体化合物

Table 6 Iridoids monomers in Eucommiae Folium

编号	化合物	参考文献
No.	Compound	Ref.
76	杜仲醇 Eucommiol	29
77	1-脱氧杜仲醇 1-Deoxyeucommiol	29
78	表杜仲醇 Epieucommiol	14
79	3'4'-二脱氧杜仲醇 3'4'-Bisdeoxyeucommiol	14
80	乙酰基脱氧杜仲醇 Acetyl-1-deoxyeucommiol	14
81	3-乙酰基杜仲醇 3-Acetylucommiol	14
82	杜仲苷 Eucommioside	14
83	二脱氧杜仲苷 Eucommioside-II	14
84	车叶草苷 Asperuloside	34
85	车叶草苷酸 Asperulosidic acid	14
86	去乙酰车叶草苷酸甲酯 Deacetylasperulosidic acid methyl ester	34
87	京尼平苷 Geniposide	34
88	京尼平苷酸 Geniposidic acid	34
89	桃叶珊瑚苷 Aucubin	35
90	马钱苷 Loganin	34
91	8-表马钱素 8-Epipremnum aureum	34
92	7-表马钱素 7-Epipremnum aureum	34
93	鸡屎藤苷甲酯 Paederosidic acid methyl ester	34
94	交让木苷 Daphylloside	34

95	筋骨草苷 Ajugoside	14
96	乙酰哈巴苷 8-O-Acetylharpagide	14
97	巴戟醚萜 Borreriagenin	14

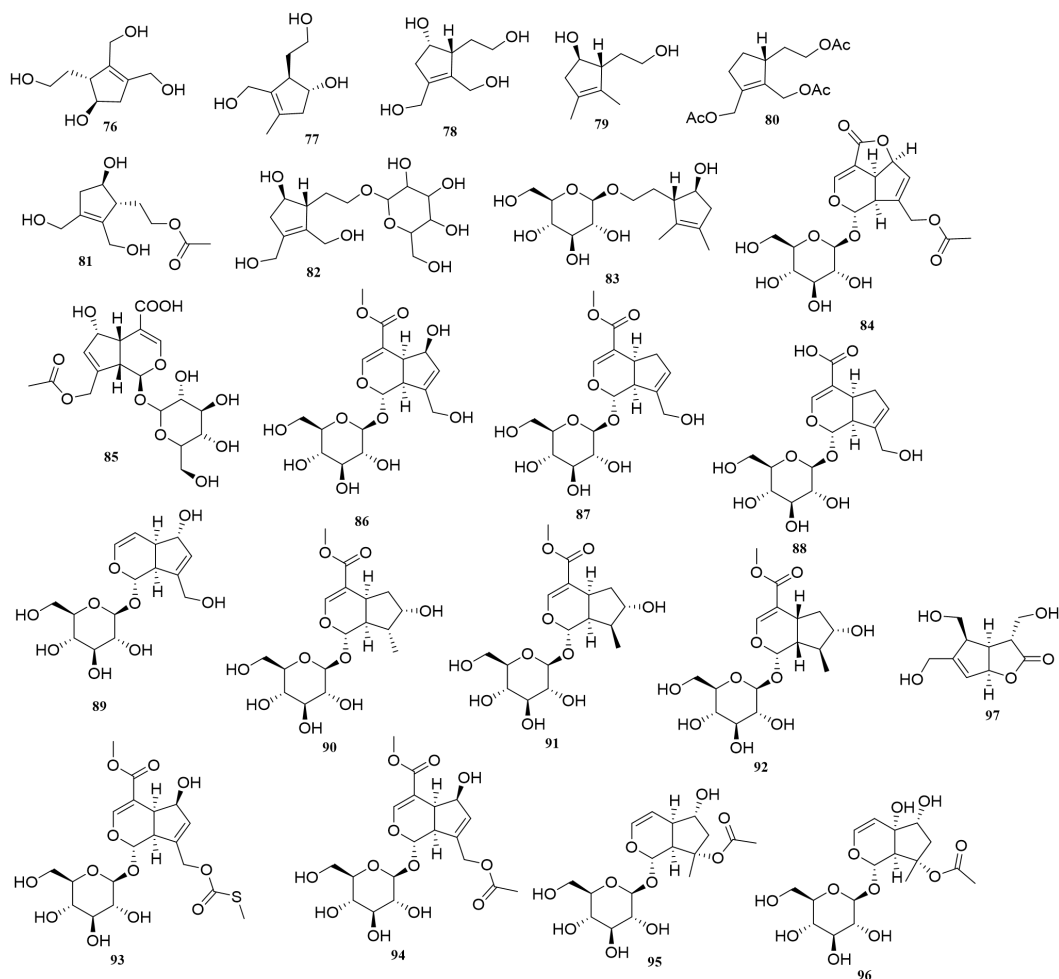


图 4 杜仲叶中的环烯醚萜类单体化合物结构式

Fig. 4 Structures of iridoids monomer compounds in *Eucommiae Folium*

1.5 萜类及甾体类

除上述几类化学成分外，杜仲叶中含有丰富的萜类及甾体类化合物，但关于该部分的生物活性研究极少。杜仲叶中主要萜类及甾体类化合物的名称见表 7，其中五环三萜类与甾醇类化合物的化学结构见图 5，降倍半萜类与倍半萜类化合物的化学结构见图 6。

表 7 杜仲叶中的萜类及甾体类化合物

Table 7 Terpenoids and steroids in *Eucommiae Folium*

类别	编号	名称	参考文献
Category	No.	Name	Ref.

五环三萜类	98	白桦酸 Betulinic acid	12
Pentacyclic triterpenes	99	熊果酸 Ursolic acid	12
	100	齐墩果酸 Oleanolic acid	36
	101	α -香树脂醇 α -amyrin	14
	102	β -香树脂醇 β -amyrin	14
	103	山楂酸 Maslinic acid	14
	104	积雪草酸 Asiatic acid	14
	105	2 α -Hydrourosolic acid	14
	106	Neoilexonol	14
	107	Ilekudinols A	14
	108	熊果醇 Uvaol	14
	109	Euscaphic acid	14
	110	二羟基熊果酸 Corosolic acid	14
	111	Ulmoidol A	36
	112	Ulmoidol	36
	113	Eucotriterpene A	14
	114	2 α -(<i>trans-p</i> -coumaroyloxy)-3 β ,24Dihydroxyurs-12-en-28-oic acid	14
	115	2 α -(<i>cis-p</i> -coumaroyloxy)-3 β ,24Dihydroxyurs-12-en-28-oic acid	14
	116	Ilelatifol B	14
	117	2 α ,3 β -Dihydroxy-23-norolean-4(24),12(13)-dien-28-oic acid	14
甾醇类	118	环阿屯醇 Cycoartenol	14
Sterols	119	Stigmast-4-en-3-one	14
	120	β -谷甾醇 β -Sitosterol	14
降倍半萜类	121	Foliasalacioside B1	37
Norisoprenoids	122	Foliasalacioside E2	16
	123	(6 <i>R</i> , 7 <i>E</i> , 9 <i>R</i>)-9-Hydroxy-4,	37

7-megastigmadien-3-one-9-*O*-[α -L-arabinopyranosyl-(1 \rightarrow 6)- β -D-glucopyranoside

124	(6 <i>S</i> ,9 <i>R</i>)-Blumenol C	38	
125	(6 <i>S</i> ,9 <i>S</i>)-Blumenol C	38	
126	(6 <i>R</i>)-Eucomegastigmane A	38	
127	(6 <i>S</i>)-Eucomegastigmane A	38	
128	(3 <i>S</i> ,4 <i>S</i>)-EucomegastigmaneB	38	
129	(3 <i>R</i> ,4 <i>R</i>)-Eucomegastigmane B	38	
130	Eleganoside A	37	
131	(6 <i>S</i> ,9 <i>S</i>)-Vomifoliol	14	
132	(6 <i>R</i> ,9 <i>R</i>)-Vomifoliol	14	
133	(6 <i>S</i> ,9 <i>R</i>)-Vomifoliol	14	
134	(6 <i>R</i> ,9 <i>S</i>)-Vomifoliol	14	
135	(6 <i>R</i> ,9 <i>R</i>)-3-oxo- α -Ionol	14	
136	(6 <i>S</i> ,9 <i>S</i>)-3-oxo- α -Ionol	14	
137	(6 <i>R</i> ,9 <i>S</i>)-3-oxo- α -Ionol	14	
138	(6 <i>S</i> ,9 <i>R</i>)-3-oxo- α -Ionol	14	
139	(3 <i>R</i> ,5 <i>R</i> ,6 <i>R</i> ,7 <i>E</i>)-3,5,6-Trihydroxy-7-megastigmen-9-one	39	
140	(3 <i>S</i> ,5 <i>R</i> ,6 <i>R</i> ,7 <i>E</i>)-3,5,6-Trihydroxy-7-megastigmen-9-one	39	
141	(6 <i>R</i> ,9 <i>S</i>)-9,10-Dihydroxy-4-megastigmen-3-one	39	
142	蚱蜢酮 Grasshopper ketone	39	
143	(3 <i>S</i> ,5 <i>R</i> ,6 <i>R</i> ,7 <i>E</i> ,9 <i>R</i>)-Megastigman-7-ene-3,5,6,9-tetrol	39	
144	(3 <i>S</i> ,5 <i>R</i> ,6 <i>R</i> ,7 <i>E</i> ,9 <i>S</i>)-Megastigman-7-ene-3,5,6,9-tetrol	39	
145	<i>cis</i> -3,4-Dihydroxy- β -ionon	39	
146	3-Hydroxy-5,6-epoxy- β -ionol	39	
147	(<i>S</i>)-3-Hydroxy-8-ionone	39	
148	Cucumegastigmane I	39	
倍半萜类	149	菜豆酸 Phaseolic acid	39
Sesquiterpenes	150	2 <i>E</i> -菜豆酸 2 <i>E</i> -Phaseolic acid	39

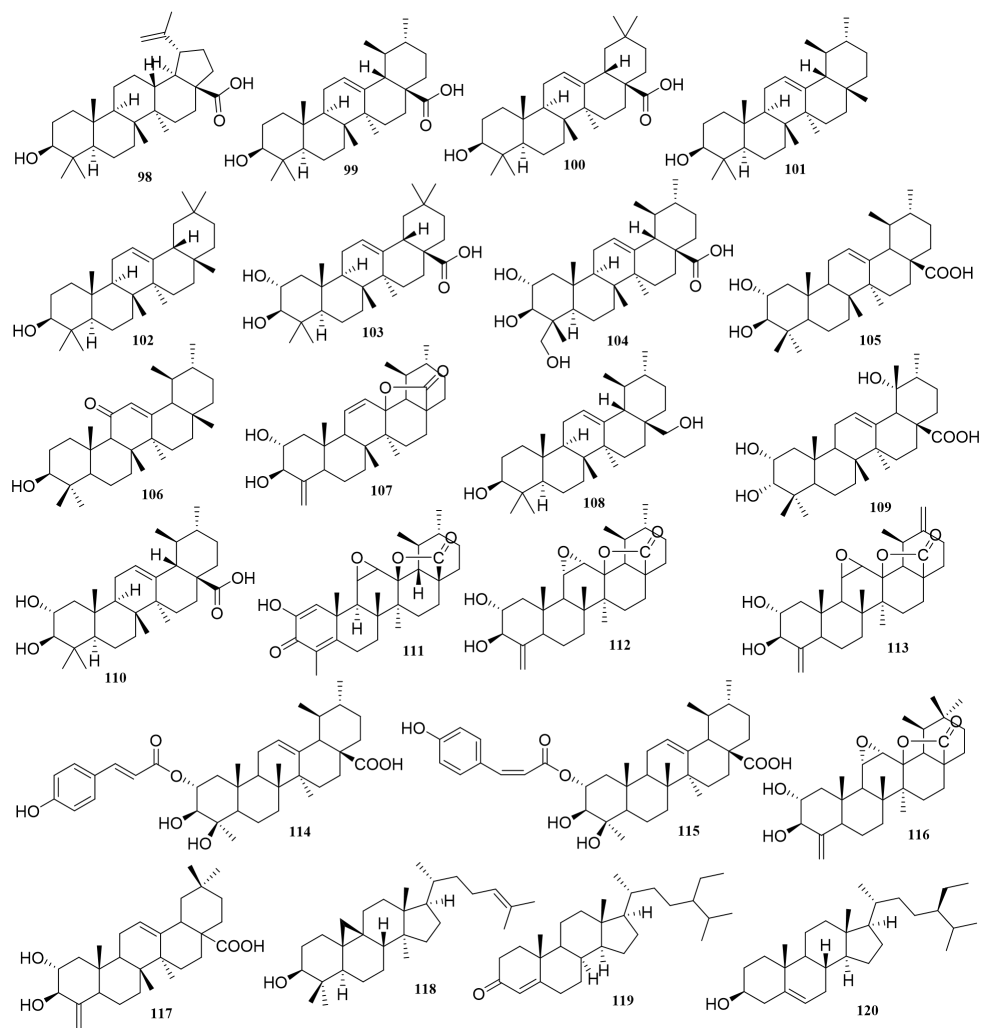


图5 杜仲叶中的五环三萜类与甾醇类单体化合物结构式

Fig. 5 Structures of pentacyclic triterpenes and sterols monomer compounds in *Eucommiae Folium*

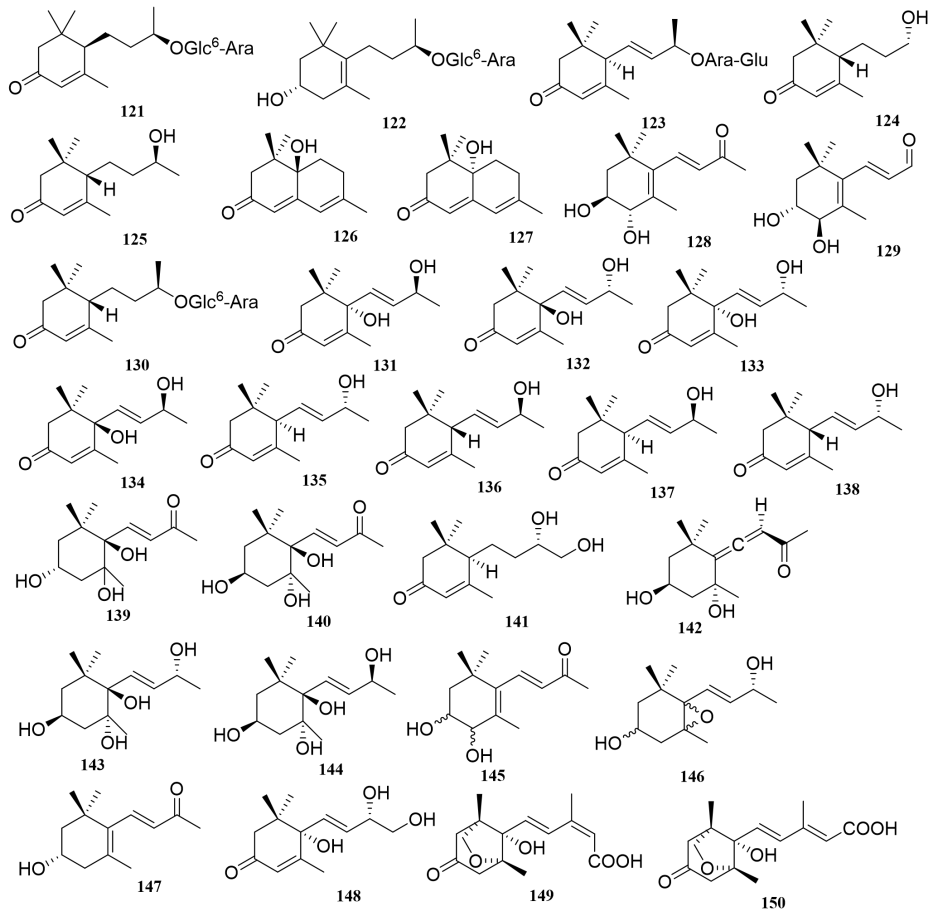


图6 杜仲叶中的降倍萜类与倍萜类单体化合物结构式

Fig. 6 Structures of norisoprenoids and sesquiterpenes monomer compounds in *Eucommiae Folium*

1.6 杜仲胶

杜仲胶是一种天然的高分子化合物，研究表明杜仲除皮部含有杜仲胶外，叶中也含有杜仲胶，含量约在4%^[40]。且杜仲叶产量高易再生，是获取杜仲胶的优质资源。Zhang等^[41]研究表明，杜仲叶中的杜仲胶能在80℃的石油醚中溶出，在-20~-25℃析出，且纯度较高。Gao等^[42]利用稀酸水解干燥杜仲叶，结果表明杜仲胶得率为16.1%，高于石油醚直接提取的得率9.5%，是一种从杜仲叶中获得杜仲胶的新方法。此外还有研究表明杜仲叶中的杜仲胶产量在9~11月较为丰富，可为实际应用中开发利用杜仲胶提供理论依据。

1.7 营养物质

1.7.1 多糖类

研究表明杜仲叶中总多糖含量较高^[43-45]。其中的酸性多糖有较好的抗补体活性^[46]，其组成多为阿拉伯糖、半乳糖、鼠李糖、葡萄糖和糖醛酸。

1.7.2 无机元素类

Zhang等^[47]研究表明，杜仲叶中含有的无机元素，含量由高到低依次为Mg、Ca、K、

Na、Fe、Zn、Mn、Cu，其中 Fe 离子能与杜仲叶中含有多羟基的黄酮类、酚酸类成分形成络合物，提示杜仲叶中的无机金属离子可能以游离态之外的更多形态存在。

1.7.3 蛋白质与氨基酸

Guo^[48]研究表明，利用 30%的硫酸铵溶液可以提取得到蛋白组分较多的杜仲叶粗蛋白，且具有较好的抗氧化和抗肿瘤活性。此外在杜仲叶中可测得 16 种氨基酸，除人体必需的 8 种氨基酸外，还有天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、组氨酸和甲硫氨酸等^[49-50]。

2 药理作用

现代研究表明杜仲叶具有抗氧化、降血压、降血脂、神经保护等多种药理活性，本文对杜仲叶近 20 年来报道较多的药理作用进行总结整理，以期为杜仲叶的临床用药和制剂研发提供参考。

2.1 抗氧化

杜仲叶的抗氧化活性研究以体外研究较多。Tu 等^[51]的研究表明，杜仲叶无水乙醇提取物对体外清除 DPPH 自由基具有较好的活性，并提示绿原酸等酚酸类成分和芦丁等黄酮类成分是其发挥作用的物质基础。Yu 等^[27]的研究结果也表明绿原酸对 DPPH、ABTS 和 OH 自由基均有较强的清除作用。体外实验结果还表明杜仲叶多糖^[44]和多酚类物质^[21]也具有体外抗氧化活性。

2.2 神经保护

Chen 等^[52]研究表明，杜仲叶醇提物可改善缺血再灌注引起的 PC12 细胞的凋亡，其机制与上调了 miR-140-5p 的表达有关。Hu 等^[53]的研究结果也表明杜仲叶 70%醇提物中的黄酮类成分对脂多糖诱导的小鼠小胶质细胞（BV-2）具有抗神经炎活性，对 H₂O₂ 诱导的 PC12 细胞具有明显的神经保护作用。Zhang 等^[54]发现杜仲叶总黄酮可以加快脑出血大鼠脑神经功能的修复，作用机制可能与抑制了 RhoA/ROCK 信号通路的激活有关。Han 等^[55]发现杜仲叶木脂素类成分可通过 PI3K/Akt/GSK-3 β /Nrf2 途径对 H₂O₂ 诱导的 PC12 细胞起到保护作用。此外还有研究表明杜仲叶中的一种三萜类化合物可以减轻小胶质细胞的神经炎症反应，改善神经炎症。以上结果表明杜仲叶发挥神经保护作用的药效物质丰富，作用机制与参与调控多条炎症通路有关。

2.3 骨保护

杜仲叶提取物在体内外均有促进成骨细胞增殖发育，减轻炎症和抑制骨肿瘤细胞恶性增殖的作用。Liu 等^[56]将人牙周膜提取物与杜仲叶提取液和胶原蛋白支架体外共培养后发现杜仲叶提取物与胶原蛋白支架协同作用可促进人牙周膜细胞增殖，促进成骨细胞分化功能。

He 等^[57]研究表明,杜仲叶中的黄酮类物质可显著抑制人成骨肉瘤细胞 MG-63 的增殖,作用机制可能与激活 TLR-4、MyD88 和 NF- κ B 等信号通路有关。Zhang 等^[58]通过 NF- κ B 通路探讨杜仲叶醇提物对关节炎大鼠的治疗作用,结果表明杜仲叶醇提物可以减轻关节炎大鼠的关节炎症,缓解关节软骨和骨的破坏。Liu 等^[59]利用 UHPLC-Q-Exactive Orbitrap MS 结合网络药理学实验结果表明杜仲叶中的黄酮类、环烯醚萜类、木脂素类和酚酸类化合物可通过对 NF- κ B、PI3K-Akt 和 AMPK 炎性通路的调控,对骨关节炎起到治疗作用。Guan 等^[60]发现杜仲叶水提物能够增强成骨细胞 MC3T3-E1 的增殖、分化和矿化,促进成骨细胞发育。

2.4 降血压

近年来关于杜仲叶降压作用的研究较少,部分研究表明杜仲叶提取物中的绿原酸等成分是杜仲叶发挥降压作用的物质基础,且对清醒大鼠作用明显,有降低急慢性血压的作用^[61-62]。Lee 等^[63]人的研究结果表明,杜仲叶水提物中的绿原酸、京尼平苷酸等成分可清除人脐静脉内皮细胞中的 DPPH 自由基,具有抗氧化活性,增加 NO 水平,能够预防心血管疾病的发生。Ishimitsu 等^[64]的研究也表明杜仲叶中的京尼平苷酸能够降低大鼠血压,改善肾血流动力学。

2.5 降血脂、降血糖

Yu 等^[65]研究表明杜仲叶 50%醇提物能够降低高脂血症大鼠的血清三酰甘油、血清总胆固醇、血清低密度脂蛋白和血清高密度脂蛋白含量,并改善高脂血症大鼠肠道菌群的失调。Cai 等^[66]通过网络药理学和体内外实验验证结果可知,杜仲叶水提物能够改善非酒精性脂肪肝,主要机制与 AMPK 信号通路有关。作者又用细胞实验证明杜仲叶 60%乙醇提取物中的绿原酸、杜仲苷,京尼平苷酸可以降低 HepG2 细胞中的脂质含量,且京尼平苷酸的效果最好^[67]。同样,Gong 等^[68]人的研究表明杜仲叶黄酮类成分也可调节脂质代谢,改善非酒精性脂肪肝。杜仲叶提取物中的绿原酸、京尼平苷酸等成分具有优良的降脂作用,能降低小鼠组织中的白色脂肪含量,达到降低体重的效果^[69]。

杜仲叶的 20%乙醇洗脱物能在体外抑制 α 葡萄糖苷酶活性,对 Caco-2 细胞内糖降解酶和葡萄糖转运起到抑制作用,发挥降糖作用^[70]。Jin 等^[71]研究表明杜仲叶水提物能够降低糖尿病大鼠的血糖值,降低肠系膜小动脉远端神经纤维的支配,起到血管保护作用。以上结果提示杜仲叶发挥降血糖血脂的物质基础集中在大极性提取部位,后续可对这些提取分离部位进行针对性研究。

2.6 抗肿瘤

Lei 等^[44]研究表明杜仲叶多糖可抑制乳腺癌 MCF-7 细胞的生长,表明其具有较好的体外抗肿瘤活性。Wu^[21]的研究结果表明,杜仲叶多酚可抑制 Caco-2 结直肠癌细胞的生长,

通过增加活性氧的产生促进 Caco-2 细胞凋亡，发挥抗肿瘤作用。

2.7 镇静安神

Shi 等^[72]将杜仲叶中的化学成分和安神作用相关靶点进行分子对接，结果表明杜仲叶中的儿茶素、桃叶珊瑚苷等成分可能为杜仲叶中可治疗失眠的活性成分，但具体作用还有待实验验证。Li 等^[73]研究结果表明，从杜仲叶中分离得到的山柰酚-3-O- β -D-吡喃葡萄糖苷具有中枢抑制活性，具有镇静催眠的作用。

杜仲叶的抗肿瘤、镇静安神作用研究较少，但体外研究和网络药理学技术已经初步证实其作用，后续研究应重点探讨其体内作用及机制和物质基础。

2.8 其他

Chen^[74]的研究结果表明杜仲叶多糖提取物能够升高受试青年男性血清中 IgG 含量，可提高免疫力。Peng 等^[75]研究表明杜仲叶总黄酮具有雌激素样作用，可改善多囊卵巢综合征大鼠的卵巢和胰腺组织病理结构，调节性激素分泌。Gong 等^[76]利用网络药理学和实验验证得知，杜仲叶水提物能够降低高尿酸血症大鼠的血尿酸，缓解肾损伤。Hung 等^[77]研究表明杜仲叶水提物能够缓解 CCl₄所致的大鼠肝损伤，具有保护肝脏的作用。Zhang^[78]研究发现，杜仲叶中的异槲皮苷可通过提高大鼠运动能力、减少运动损伤等发挥抗疲劳作用。初步表明杜仲叶中的黄酮类成分具有抗疲劳作用。Chen 等^[79]的研究表明，杜仲叶多糖可延长活化部分凝血活酶时间、血浆凝血酶原时间和凝血酶时间，表明杜仲叶多糖通过体内外途径共同发挥抗凝血作用。Gong 等^[80]研究表明，杜仲叶提取物可通过 PI3K/Akt/NF- κ B 信号通路改善因盐酸乙醇诱导的胃溃疡，其中绿原酸、芦丁等成分发挥了主要作用。

3 现代应用

3.1 药品与保健品

检索相关资料发现，目前少见临床应用杜仲叶相关方剂的报道。杜仲叶相关药品有杜仲平压片，主要以杜仲叶干浸膏为原料。杜仲平压片作为一种上市处方药，2008 年至今的研究集中在关于成方制剂的质量控制，却少见相关机制的研究和临床应用的报道，原因需要关注。检索国家特殊食品注册网站信息发现，以杜仲叶或杜仲叶提取物为主要原料或配伍的注册保健品（见表 8）有胶囊剂、茶剂和饮料等类型，种类丰富，表明杜仲叶相关保健产品已有成功的先例，市场前景大好，应加大开发力度，促进更多剂型的新产品上市。

表 8 以杜仲叶或杜仲叶提取物为主要原料或配伍的注册保健品

Table 8 Registered health products with *Eucommiae Folium* extract as the main raw material or compatibility

剂型	产品
Formulation	Products
胶囊剂	惠信牌藜蒿杜仲叶胶囊
	和藤牌天麻杜仲叶软胶囊
	西部植化牌杜仲叶胶囊
	林兰花牌天麻杜仲叶胶囊
	马氏源古方®杜仲叶补骨脂胶囊
	林兰花牌石斛葛根杜仲叶胶囊
	陕科牌蜂胶杜仲叶胶囊
	以岭牌人参刺五加杜仲叶胶囊
茶剂	万松堂牌银杏叶杜仲叶三七茶
	威门牌罗布麻叶杜仲叶天麻槐花菊花绿茶袋泡茶
	羚锐® 杜仲叶牛膝茶
片剂	九樟牌杜仲叶金银花破壁灵芝孢子粉咀嚼片
	景珍堂®三七杜仲叶片
液体制剂	汇源农谷牌杜仲叶饮料
	顺势牌杜仲叶枸杞子口服液

3.2 食品应用

杜仲叶作为药食同源中药，安全性较高，在食品中也有广泛应用。杜仲叶茶经新鲜杜仲叶炒制而成，并具有一定的抗氧化活性^[81]，杜仲叶茯砖茶由新鲜杜仲叶杀青，与茯砖茶加工工艺一致，经压制、发酵、陈化等一系列工艺制备而成，其中的黄酮类成分与酚酸类成分种类和含量与茶发酵过程中的微生物相关^[82]。在馒头制作过程中加入杜仲叶超微粉，制成的馒头在硬度、黏性，咀嚼性方面优于普通馒头，且具有一定的营养价值^[83]，同样将杜仲叶超微粉加入面包中，在改善了普通面包的口感、硬度的同时增加了其功能性，具有抗氧化活性^[84]。Zhang 等将杜仲叶超微粉加入发酵苹果汁中，能够改善发酵果汁的色泽和风味，增加营养成分含量^[85]，此外，该作者还将杜仲鲜叶原汁与乳酸杆菌共发酵，制得的饮料具有良好的清除 DPPH 自由基的活性^[86]。Wang 等^[87]将杜仲叶提取物加入草鱼鱼丸中，结果表明杜仲叶提取物能改善草鱼鱼丸的保鲜度。Jia 等^[88]将杜仲叶发酵成杜仲叶醋，体外抑菌实验表明杜仲叶醋的抑菌效果优于镇江香醋。Ren 等^[89]将杜仲叶细粉添加到酿制的米酒中，米

酒中的黄酮类、多糖类等成分含量明显高于普通米酒，体外抗氧化活性也更强。由此可见杜仲叶作为食品添加剂效果显著，但若要以产品进行推广和应用还应对其进行质量控制，安全性评价研究，将杜仲叶早日开发为形态、口味丰富的食品和安全有效的食品添加剂。

3.3 饲料添加剂

杜仲叶作为饲料添加剂的应用，近年来的研究也逐渐增多。Li 等^[90]的研究结果表明，在黄河鲤鱼的饲料中添加 4%~6% 的杜仲叶粉能提高黄河鲤鱼肉中的氨基酸含量，改善黄河鲤鱼的鲜味，丰富营养物质。Yang 等^[91]研究表明将杜仲叶提取物添加到草鱼饲料中也可改善草鱼肉质，促进草鱼生长发育。Song 等^[92]的研究表明，在湘西土鸡的饲料中添加 0.15% 的杜仲叶水提物能促进湘西土鸡的发育，提高土鸡免疫力。Mao 等^[93]在绿壳蛋鸡饲料中添加 4% 的杜仲叶粉能改善绿壳蛋鸡的肉质。Li 等^[94]的研究也表明在鸡饲料中添加杜仲叶发酵物和杜仲叶提取物均能促进雏鸡发育，改善鸡的肉质，提高免疫力。Yang 等^[95]研究表明，在猪饲料中添加 0.1%~0.2% 的杜仲叶水提物能够改善猪肉风味，提高猪肉品质。在仔猪饲料中添加杜仲叶提取物也能够改善断奶后仔猪的胃肠道功能，降低腹泻率，且效果同抗生素^[96]。

以上结果提示杜仲叶安全可靠，效果显著，可作饲料添加剂的优质资源。后续应进行安全性评价研究，明确其作为饲料添加剂的安全用量范围。

3.4 其他应用

Zhang 等^[97]将杜仲叶水提物作稳定剂和还原剂，制成的铂纳米粒子可抑制黑色素生成，具有开发美白产品的潜力。Ma 等^[98]以杜仲叶提取物为原料合成银纳米粒子，合成的银纳米粒子对牡丹茎端具有一定的抑菌作用，保证了扦插植株的存活率。Yang 等^[99]研究表明，杜仲叶渣能减少锂电池中 KOH 的用量，防止设备腐蚀，减少环境污染。

4 结语与展望

杜仲叶作为一种传统中药，具有与杜仲相似的化学成分和功效。近年来杜仲（杜仲皮）因其药用部位的特殊性被列为易危植物，资源开发受到限制，而杜仲叶资源丰富，且具有可再生性，适宜大规模开发利用。2010 年至今，关于杜仲叶的研究开发逐渐增多，因其安全性较高，作用效果明显，目前研究成果已从药品、食品和保健品扩展到饲料添加剂、化工、日用品等方面，发展势头良好。

未来杜仲叶的研究发展可以关注以下几个方面：（1）综述时检索文献发现，在初期对杜仲叶进行研究时，并没有对其进行系统研究，所得研究结论较为单一，因此在后续研究中可继续将杜仲叶的化学成分与药理作用研究结合起来，进一步阐明杜仲叶的药效物质基础和作用机理，保证临床和生活生产应用杜仲叶的合理性和安全性。（2）目前，对于杜仲叶中

化学成分的研究,如黄酮类、酚酸类等已经较多,应在前期研究的基础上结合生物信息、分子生物学等技术继续深入研究,而杜仲胶和蛋白质、微量元素等成分研究较为空白,应在后续研究中重点关注。(3)杜仲叶资源丰富,应尽快将杜仲叶相关食品、保健品、饲料添加剂、日用化工产品等按照工业化模式进行研究生产,创造经济效益,带动林业、加工业、销售业等多个行业共同发展。

综上所述,杜仲叶相关药品、食品、保健品和化工产品的研究极具开发前景和价值,杜仲叶的成功开发与应用不仅缓解了杜仲的资源开发压力,更是为类似药用植物和天然产物的开发提供了新的思路,因此应在后续研究中对杜仲叶加强开发力度,充分发挥杜仲叶的资源价值。

参考文献

- 1 National Pharmacopoeia Commission.Pharmacopoeia of the People's Republic of China:Vol I(中华人民共和国药典:第一部)[M].Beijing:China Medical Science and Technology Press,2020.
- 2 Editorial Committee of Flora of China,Chinese Academy of Sciences.Flora Reipublicae Popularis Sinieae(中国植物志)[M].Beijing:Science Press,1991.
- 3 Su JJ,et al.Study on isolation and purification of flavonoids by two-column method[J].Appl Chem Ind(应用化工),2023,52:2972-2975.
- 4 Li QH,et al.Study on supercritical CO₂ extraction of flavonoids from *Eucommia ulmoides* leaves[J].Food Sci(食品科学),2006,27:553-555.
- 5 Chen XJ,et al.Semi-bionic extraction and enzymic treatment for extraction of chlorogenic acid and flavonoid in *Eucommia ulmoides* Olive[J].Fine Chem(精细化工),2006,23:257-260.
- 6 Li X,et al.Optimization of microwave-assisted extraction of flavonoids from *Eucommia ulmoides* leaf and investigation of their antioxidative effect[J].Sci Technol Food Ind(食品工业科技),2013,34:243-248.
- 7 Dong XY,et al.Optimization of subcritical water extraction processing of flavonoids from *Eucommia ulmoides* leaves[J].J Henan Univ Technol:Nat Sci(河南工业大学学报:自科版),2016,37:84-87.
- 8 Wang TT,et al.Optimization of extraction process of total flavonoids from *Eucommia ulmoides* leaves by ultrasonic-assisted enzymatic method[J].Feed Res(饲料研究),2022,45:69-74.
- 9 Wu M,et al.Enrichment of the flavonoid fraction from *Eucommia ulmoides* leaves by a liquid antisolvent precipitation method and evaluation of antioxidant activities *in vitro* and *in vivo*[J].RSC Adv,2023,13:17406-17419.
- 10 Zhang L,et al.Simultaneous determination of contents of 8 components in *Eucommia ulmoides* leaves by HPLC[J].China Pharm(中国药房),2019,30:3383-3387.
- 11 Zhang X,et al.Simultaneous determination of seven compounds in *Eucommiae Folium* by HPLC[J].J China Pharm Univ(中国药科大学学报),2012,43:435-437.
- 12 Dong F,et al.A New natural product from *Eucommia ulmoides* leaves and its activities[J].Pharmacol Clin Chin Mater Med(中药药理与临床),2020,36:104-109.
- 13 Xu LB,et al.Simultaneous determination of six flavonoids in leaves of *Eucommia ulmoides* Oliv. by HPLC[J].Chin J Pharm Anal(药物分析杂志),2014,34:1422-1425.
- 14 Yan JK.Studies on the Chemical constituents and biological activities of *Eucommia ulmoides* leaves[D].Shenyang:Shenyang Pharmaceutical University(沈阳药科大学),2022.
- 15 Yang F,et al.Chemical constituents of leaf of *Eucommia ulmoides*[J].China J Chin Mater Med(中国中药杂

- 志),2014,39:1445-1449.
- 16 Bai MM,et al.Soluble epoxide hydrolase inhibitory and anti-inflammatory components from the leaves of *Eucommia ulmoides* Oliver (Duzhong)[J].J Agric Food Chem,2015,63:2198-2205.
 - 17 Zhang LJ,et al.Optimization of ultrasonic assisted extraction technolog for total polyphenols in leaves of *Eucommia ulmoides* Olive using response surface methodology[J].Sci Technol Food Ind(食品工业科技),2014,35(08):228-232.
 - 18 Wang X,et al.Extraction of total polyphenols from *Eucommia ulmoides* Oliver leaves assiste by ultrasound-microwave and their antioxidant activity[J].Chem Ind For Prod(林产化学与工业),2018,38:85-92.
 - 19 Li LJ,et al.Study on surfactant-assisted ultrasonic extraction of total polyphenols from *Eucommia ulmoides* leaves and their antioxidant activity[J].Chin Surf Det Cosmet(日用化学工业),2020,50:164-170.
 - 20 Zhang GY,et al.Extraction of total polyphenols from *Eucommia ulmoides* Oliver leaves assisted by sodium lauroyl glutamine-microwave and activities of the extracts[J].J Food Saf Qual(食品安全质量检测学报),2022,13(07):2158-2167.
 - 21 Wu HY.Study on the extraction process and antioxidant and antitumor effects of polyphenols from *Eucommia ulmoides* leaves[D].Changsha:Hunan Agricultural University(湖南农业大学),2022.
 - 22 Li JM,et al.Study on extracting process of caffetannic acid from Folium Cortex Eucommiae via microwave[J].Appl Chem Ind(应用化工),2006,35:243-245.
 - 23 Zhang XM,et al.Extraction of chlorogenic acid from Folium Cortex Eucommiae by enzymatic hydrolysis method and determination of its content[J].China Brew(中国酿造),2016,35:149-152.
 - 24 Zhang M,et al.Isolation and purification of chlorogenic acid from *Eucommia ulmoides* Oliver. leaves by high-speed counter-current chromatography[J].China Food Addit(中国食品添加剂),2016,27:170-173.
 - 25 Zhu ZB,et al.Optimization of extraction process and separation of chlorogenic acid from *Eucommia ulmoides* leaves[J].Chin Wild Plant Res(中国野生植物资源),2023,42:36-43.
 - 26 Wu HY,et al.Optimization of ultrasound-assisted extraction of chlorogenic acid from *Eucommia ulmoides* leaves by response surface methodology[J].Food Res Dev(食品研究与开发),2020,41:112-117.
 - 27 Yu F,et al.Extraction of chlorogenic acid from *Eucommia ulmoides* leaves by natural deep eutectic solvent and its antioxidant activity[J].Chem Ind For Prod(林产化学与工业),2022,42:101-109.
 - 28 Zhang ZL,et al.Phenylpropanoids constituents of *Eucommia ulmoides* leave[J].J Chin Med Mater(中药材),2014,37(03):421-423.
 - 29 Zhang ZL,et al.Chemical constituents of Eucommiae Folium II[J].Chin J Exp Tradit Med Form(中国实验方剂学杂志),2014,20:118-120.
 - 30 Liu ZL,et al.Extraction of effective components from *Eucommia ulmoides* leaves[J].Food Sci(食品科学),2003,24:62-64.
 - 31 Zheng X,et al.Extraction, separation and content determination of pinoresinol diglucoside in *Eucommia* leaves[J].Food Sci(食品科学),2012,33:166-170.
 - 32 Zuo YM,et al.Chemical constituents of epoxy lignans of *Eucommia ulmoides* leaves[J].J Chin Med Mater(中药材),2022,45:2139-2143.
 - 33 Zuo YM,et al.Study on the chemical components of lignans of Folium Eucommiae[J].Lishizhen Med Mater Med Res(时珍国医国药),2014,25:1317-1319.
 - 34 Zuo YM,et al.Study on chemical constituents of iridoids from Eucommiae Folium[J].J Chin Med Mater(中药材),2014,37:252-254.
 - 35 Peng S,et al.Extraction and separation of aucubin from the leave of *Eucommia ulmoides* in aqueous two-phase system[J].Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发),2010,22:264-267.

- 36 Li C, et al. A new ursane-type nor-triterpenoid from the leaves of *Eucommia ulmoides* Oliv[J]. *Molecules*, 2012, 17: 13960-13968.
- 37 Yan JK, et al. Megastigmane glycosides from leaves of *Eucommia ulmoides* Oliver with ACE inhibitory activity[J]. *Fitoterapia*, 2017, 116: 121-125.
- 38 Yan J, et al. Nine pairs of megastigmane enantiomers from the leaves of *Eucommia ulmoides* Oliver[J]. *J Nat Med*, 2017, 71: 780-790.
- 39 Shi XL, et al. Isolation and identification of sesquiterpenoids and norisoprenoids from leaves of *Eucommia ulmoides* Oliver[J]. *Chin J Med Chem*(中国药物化学杂志), 2021, 31: 8-16.
- 40 Liu HD, et al. Fast determination of *Eucommia* rubber content in *Eucommia ulmoides* leaves using filter bag technology[J]. *Nat Prod Res Dev*(天然产物研究与开发), 2016, 28: 498-504.
- 41 Zhang XJ, et al. The Solution-precipitation of *Eucommia ulmoides* gum in petroleum ether at different temperatures to extract the gum[J]. *Nat Prod Res Dev*(天然产物研究与开发), 2007, 19: 1062-1066.
- 42 Gao R, et al. Extraction of *Eucommia ulmoides* gum and microbial lipid from *Eucommia ulmoides* Oliver leaves by dilute acid hydrolysis[J]. *Biotechnol Lett*, 2023, 45: 619-628.
- 43 Wang Y, et al. Analysis of content of total flavonoids and total polysaccharides in leaves of *Eucommia ulmoides* Oliv[J]. *Appl Chem Ind*(应用化工), 2016, 45: 550-552.
- 44 Lei YN, et al. Separation and in vitro activity of polysaccharides from *Eucommia folium* leaves[J]. *J Northwest A & F Univ: Nat Sci*(西北农林科技大学学报: 自科版), 2020, 48: 97-103.
- 45 Chen XH, et al. Optimization of ultrasonic and enzymatic-assisted extraction of polysaccharides from *Eucommia ulmoides* Oliver leaves by response surface method[J]. *Sci Technol Food Ind*(食品工业科技), 2020, 41: 193-198.
- 46 Zhang XJ, et al. Isolation, anti-complement activities, and chemical structures of polysaccharide from *Eucommia ulmoides* leaves[J]. *Nat Prod Res Dev*(天然产物研究与开发), 2011, 23: 606-611.
- 47 Zhang LJ, et al. Study on combined forms of mineral elements in both water decoction and ethanol extract of *Eucommia ulmoides* Olive's leaves[J]. *J Anal Sci*(分析科学学报), 2014, 30: 895-898.
- 48 Guo HL. Purification and pharmacological activity of *Eucommia ulmoides* leaf protein[D]. Kaifeng: Henan University(河南大学), 2017.
- 49 Wu QF, et al. Assay of amino acids in leaves of *Eucommia ulmoides* under arbor forest mode and leaf-oriented cultivation mode by pre-column derivatization HPLC[J]. *China J Chin Mater Med*(中国中药杂志), 2023, 48: 1824-1832.
- 50 Zhou LB, et al. Stoichiometric analysis of amino acids in *Eucommia ulmoides* leaves from different habitats[J]. *J Anhui Agric Sci*(安徽农业科学), 2020, 48: 180-181.
- 51 Tu WQ, et al. DPPH kinetic characteristics and identification of antioxidant compounds in *Eucommia ulmoides* leaves[J]. *Chin Pharm J*(中国药学杂志), 2022, 57: 264-268.
- 52 Chen MY, et al. *Eucommia ulmoides* leaves extract reduces neuronal damage caused by ischemia/reperfusion by upregulating miR-140-5p[J]. *Chin J Gerontol*(中国老年学杂志), 2023, 43: 1735-1739.
- 53 Hu FC, et al. Chemical constituents of the leaves of *Eucommia ulmoides* and its neuroprotective activity[J]. *Chem Ind For Prod*(林产化学与工业), 2023, 43: 9-15.
- 54 Zhang XF, et al. *Eucommia ulmoides* leaves total flavonoids participate in the repair of neural function in rats with cerebral hemorrhage through RhoA/ROCK signaling pathway[J]. *Tianjin Med J*(天津医药), 2023, 51: 252-258.
- 55 Han R, et al. Lignans from *Eucommia ulmoides* Oliver leaves exhibit neuroprotective effects via activation of the PI3K/Akt/GSK-3 β /Nrf2 signaling pathways in H₂O₂-treated PC-12 cells[J]. *Phytomedicine*, 2022, 101: 154124.

- 56 Liu Y,et al.Effect of collagen scaffold on proliferation and osteogenic differentiation of human periodontal ligament stem cells treated by *Eucommia ulmoides* Oliver leaf extract[J].Chin J Tissue Eng Res(中国组织工程研究),2020,24:2537-2543.
- 57 He ZM,et al.The inhibitory effect and mechanism of flavonoids from *Eucommia ulmoides* leaves on the proliferation of osteoblast MG-63[J].Chin J Pharmacol Toxicol(中国药理学与毒理学杂志),2021,35:742-743.
- 58 Zhang Y,et al.Effects of ethanol extracts of barks and leaves from *Eucommia ulmoides* on inflammatory bone destruction in collagen-induced arthritis rats based on NF- κ B pathway[J].Chin Tradit Herb Drugs(中草药),2021,52:1645-1653.
- 59 Liu T,et al.Combination of UHPLC-Q exactive-orbitrap MS and network pharmacology to reveal the mechanism of *Eucommia ulmoides* leaves in the treatment of osteoarthritis[J].J Food Biochem,2022,8:e14204.
- 60 Guan MQ,et al.The aqueous extract of *Eucommia* leaves promotes proliferation, differentiation, and mineralization of osteoblast-like MC3T3-E1 cells[J].Evid-Based Complement Alternat Med,2021,2021:3641317.
- 61 Li X,et al.Optimization of extraction process for chlorogenic acid from *Eucommia ulmoides* leaves and its hypotensive effect on spontaneously hypertensive rats[J].Food Sci(食品科学),2013,34:30-34.
- 62 Tang ZH,et al.Effect of extractives of *Eucommia ulmoides* leaves on levels of blood pressure in awake rats[J].Chin Hosp Pharm J(中国医院药学杂志),2007,27:901-903.
- 63 Lee GH,et al.*Eucommia ulmoides* leaf (EUL) extract enhances NO production in OX-LDL-treated human endothelial cells[J].Biomed Pharmacother,2018,1164-1172.
- 64 Ishimitsu A,et al.*Eucommia ulmoides* (Tochu) and its extract geniposidic acid reduced blood pressure and improved renal hemodynamics[J].Biomed Pharmacother,2021,111901.
- 65 Yu CX,et al.Study on the lipid-lowering effect and gut microbiota influence of *Eucommia ulmoides* leaves extract on hyperlipidemia model rats[J].Pharmacol Clin Chin Mater Med(中药药理与临床),2023,39:55-61.
- 66 Cai DH,et al.*Eucommia folium* extracts alleviate nonalcoholic fatty liver disease *in vivo* and *in vitro* based on the network pharmacology study(English)[J].J Nanjing Univ Tradit Chin Med(南京中医药大学学报),2022,38:703-716.
- 67 Cai DH,et al.Activity study of four main components contained in *Eucommia ulmoides* leaves against nonalcoholic fatty liver disease *in vitro*[J].Mod Tradit Chin Med Mater Med World Sci Technol(世界科学技术-中医药现代化),2021,23:81-87.
- 68 Gong M,et al.Mechanism by which *Eucommia ulmoides* leaves regulate nonalcoholic fatty liver disease based on system pharmacology[J].J Ethnopharmacol,2022,282:114603.
- 69 Hirata T,et al.Anti-obesity compounds in green leaves of *Eucommia ulmoides*[J].Bioorg Med Chem Lett,2011,21:1786-1791.
- 70 Zhang Y,et al.The ethanol extract of *Eucommia ulmoides* Oliv. leaves inhibits disaccharidase and glucose transport in Caco-2 cells[J].J Ethnopharmacol,2015,163:99-105.
- 71 Jin X,et al.Ameliorative effect of *Eucommia ulmoides* Oliv. leaves extract (ELE) on insulin resistance and abnormal perivascular innervation in fructose-drinking rats[J].J Ethnopharmacol,2010,128:672-678.
- 72 Shi LY,et al.Investigate the sedative components in *Eucommiae Folium* with molecular simulation[J].Chem Res Appl(化学研究与应用),2023,35(03):506-514.
- 73 Li X,et al.Evaluation of the sedative and hypnotic effects of astragalosin isolated from *Eucommia ulmoides* leaves in mice[J].Nat Prod Res,2017,31:2072-2076.
- 74 Chen L.Study on the extraction of polysaccharide molecules from *Eucommia ulmoides* leaves and its effect

- on human immune function in sports[J].*Genomics Appl Biol*(基因组学与应用生物学),2019,38:5238-5243.
- 75 Peng MF,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.
- 76 Gong M,et al.Effect of *Eucommia ulmoides* leaves on hyperuricemia and kidney injury induced by a high-fat/high-fructose diet in rats[J].*Iran J Basic Med Sci*,2022,4:527-535.
- 77 Hung MY,et al.Du-Zhong (*Eucommia ulmoides* Oliv.) leaves inhibits CCl₄-induced hepatic damage in rats[J].*Food Chem Toxicol*,2006,44:1424-1431.
- 78 Zhang HH.Study on the anti-fatigue exercise activity of isoquercitrin derived from the leaves of *Eucommia ulmoides*[J].*Mol Plant Breed*(分子植物育种),2022,20:4813-4819.
- 79 Chen YP,et al.Optimization of ultrasonic-microwave assisted extraction of polysaccharides from *Eucommia ulmoides* leaves and its anticoagulant activity in vitro[J].*Sci Technol Food Ind*(食品工业科技),2023,44:202-211.
- 80 Gong M,et al.Protective effect of active components of *Eucommia ulmoides* leaves on gastric ulcers in rats: involvement of the PI3K/Akt/NF- κ B pathway[J].*J Food Sci*,2022,87:3207-3222.
- 81 Xu WY,et al.Study on in-vitro antioxidant activity of *Eucommia ulmoides* leaves tea and honeysuckle extracts[J].*J Food Saf Qual*(食品安全质量检测学报),2021,12:2540-2545.
- 82 Zeng Q,et al.Bioactive ingredients and microbial diversity in the manufacturing process of Fuzhuan Tea from *Eucommia ulmoides* leaves[J].*Food Sci*(食品科学),2021,42:64-71.
- 83 Li B,et al.Preparation technology and quality characteristics analysis of *Eucommia ulmoides* leaves superfine powder steamed bread[J].*J Food Saf Qual*(食品安全质量检测学报),2022,13:2184-2193.
- 84 Chen SM,et al.Effect of ultrafine *Eucommia ulmoides* powder on bread quality[J].*J Henan Univ Sci Technol Nat Sci*(河南科技大学学报:自科版),2021,42:88-92.
- 85 Zhang LH,et al.Effect of the addition amount of superfine powder of *Eucommia ulmoides* Oliv. leaves on the quality of fermented apple juice[J].*Chin Condiment*(中国调味品),2023,48:43-50.
- 86 Zhang LH,et al.The process technology of *Eucommia ulmoides* leaves beverage fermented by *Lactobacillus plantarum*[J].*Food Sci Technol*(食品科技),2019,44:129-133.
- 87 Wang FR,et al.Effects of *Eucommia ulmoides* Oliver (Du-zhong) leaf extract on the preservation of grass carp fish balls[J].*Food Sci Technol*(食品科技),2017,42:207-210.
- 88 Jia CF,et al.Manufacture and antibacterial characteristics of *Eucommia ulmoides* leaves vinegar[J].*Food Sci Biotechnol*,2019,29:657-665.
- 89 Ren N,et al.Innovation in sweet rice wine with high antioxidant activity: *Eucommia ulmoides* leaf sweet rice wine[J].*Front Nutr*,2023,9:1108843.
- 90 Li HJ,et al.Effects of dietary *Eucommia ulmoides* leaf powder on body composition, muscle amino acid composition, physiological indexes of yellow river carp[J].*Acta Hydrobiol Sin*(水生生物学报),2021,45:1222-1231.
- 91 Yang H,et al.Transcriptomic and biochemical analyses revealed the improved growth, lipid metabolism, and flesh quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) by dietary *Eucommia ulmoides* bark and leaf supplementation[J].*J Anim Sci*,2022,100:skac250.
- 92 Song JQ,et al.Effects of the extracts from *Eucommia ulmoides* leaves on the growth, development and immunity of Xiangxi hybrid chicken[J].*Chin Feed*(中国饲料),2021,24:29-32.
- 93 Mao YF,et al.Effects of *Eucommia ulmoides* leaves powder on egg quality, serum biochemical indexes,slaughtering performance and meat quality in green-shell layers[J].*China Anim Husb Vet Med*(中国畜牧兽医),2021,48:161-171.

- 94 Li ZN,et al.Effects of *Eucommia ulmoides* leaf on growth performance, biochemical indexes and meat quality of chicks[J].Prog Vet Med(动物医学进展),2022,43:85-89.
- 95 Yang YH,et al.Effect of *Eucommia ulmoides* leaf extract on the quality and antioxidant performance of fattening pork[J].Chin J Anim Sci(中国畜牧杂志),2022,58:262-269.
- 96 Ding H,et al.Effects of *Eucommia ulmoides* leaf extracts on growth performance, antioxidant capacity and intestinal function in weaned piglets[J].J Anim Physiol Anim Nutr (Berl),2020,104:1169-1177.
- 97 Zhang YS,et al.Green synthesis of platinum nanoparticles by *Eucommia ulmoides* leaf extract and its whitening effect[J].J Light Ind(轻工学报),2023,38:119-126.
- 98 Ma Z,et al.Green synthesis of silver nanoparticles using *Eucommia ulmoides* leaf extract for inhibiting stem end bacteria in cut tree peony flowers[J].Front Plant Sci,2023,14:1176359.
- 99 Yang Y,et al.*Eucommia* leaf residue-derived hierarchical porous carbon by KCl and CaCl₂ Co-auxiliary activation for lithium sulfur batteries[J].Mater Charact,2023,195:112522.

收稿日期: 2023-11-13 接受日期: xxxx-xx-xx

基金项目: 甘肃省科技重大专项计划 (22ZD6FA021-4)

*通信作者 Tel: 09312302684; E-mail: 827975272@qq.com, shixiaofeng2005@sina.com