

杜仲主要化学成分及保健作用与应用

王晓瑞, 王鋈坦, 朱海华*, 平 洋, 王法云, 王 永, 王 慧*

(河南省商业科学研究所有限责任公司, 郑州 450002)

摘 要: 杜仲(*Eucommia ulmoides*)是杜仲科杜仲属植物, 分布于我国河南、陕西、云南、四川等地, 是我国二级珍稀保护植物。杜仲含有多种化学成分, 包括黄酮类、木脂素类、环烯醚萜类、酚类化合物、杜仲胶、氨基酸、脂肪酸、维生素以及其他, 主要成分为黄酮类、木脂素、环烯醚萜、酚类化合物等。杜仲表现出多种显著的生物活性, 具有良好的药理作用; 现代药理学研究发现杜仲具有抗衰老、抗氧化、抗过敏、抗炎、抗癌、抗菌、心脏保护和神经保护等药理特性。本文主要从杜仲的化学成分、保健作用、用途与价值的研究进行综述, 旨在为杜仲的进一步开发与利用提供参考。

关键词: 杜仲; 化学成分; 保健作用; 应用价值

Main chemical components and health care function and application of *Eucommia ulmoides*

WANG Xiao-Rui, WANG Jun-Tan, ZHU Hai-Hua*, PING Yang, WANG Fa-Yun, WANG Yong, WANG Hui*

(Henan Commercial Science Research Institute Co., Ltd, Zhengzhou 450002, China)

ABSTRACT: *Eucommia ulmoides* is a plant belonging to the *Eucommia* Oliv. in *Eucommiaceae*, distributes in Henan, Shanxi, Yunnan, Sichuan and other places of China, and it is a second-level rare protected plant in China. *Eucommia ulmoides* contains many chemical components, including flavonoids, lignans, iridoids, phenolic compounds, eucommia gum, amino acids, fatty acids, vitamins and other ingredients. The main components are flavonoids, lignans, iridoids, phenolic compounds, etc. *Eucommia ulmoides* various biological activities and strong medicinal value. Modern pharmacological studies have found that *Eucommia ulmoides* has anti-aging, anti-oxidant, anti-allergic, anti-inflammatory, anti-cancer, antibacterial, cardioprotective and neurological properties. This article mainly reviewed the research on the chemical composition, health function, values and utilization of *Eucommia ulmoides*, aiming to provide references for the further development and utilization of *Eucommia ulmoides*.

KEY WORDS: *Eucommia ulmoides*; chemical component; health care effect; application value

基金项目: 中央引导地方科技发展专项(200911002)、河南省高端外国专家引进计划项目(HNGDB2020022)、河南省科学院科研开发基本科研费项目(200611117)、河南省省级特聘研究员项目(200511003)

Fund: Supported by the Central Guidance Local Projects (200911002), High-Level Foreign Experts Introduction Program in Henan Province (HNGDB2020022), Basic Research Funds for Scientific Research and Development of Henan Academy of Sciences (200611117), and Provincial-Level Specially-Appointed Researcher Project of Henan Province (200511003)

*通信作者: 朱海华, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全与营养健康。E-mail: 94672834@qq.com

王慧, 教授, 主要研究方向为食品安全与营养健康。E-mail: huiwang@shsmu.edu.cn

*Corresponding author: ZHU Hai-Hua, Senior Engineer, the Institute of Commercial Sciences Co., Ltd. of Henan Province, No.87, Wenhua Road, Zhengzhou 450002, China. E-mail: 94672834@qq.com

WANG Hui, Professor, the Institute of Commercial Sciences Co., Ltd. of Henan Province, No.87, Wenhua Road, Zhengzhou 450002, China. E-mail: huiwang@shsmu.edu.cn

0 引言

杜仲又名思仙、思仲, 为杜仲科杜仲属多年生落叶乔木^[1], 在我国海拔 300~1300 m 地区广泛种植, 主要分布于河南、陕西、云南、四川、新疆、甘肃、湖北等地^[2]。杜仲为我国特有的经济树种, 已被列为国家二类重点保护植物, 在日本、朝鲜、北美、俄罗斯、北欧等国家和地区也有引种^[3]。杜仲自古以来因树皮可入药享有美誉, 其树皮、皮质、树叶已被列入中国药典^[4]。《神农本草经》中记载早在二世纪杜仲已被广泛应用, 《本草纲目》《本草正》《玉楸药解》等医书记载杜仲具有强筋骨、抗衰老、补肝肾、安胎等功效^[5]。现代研究表明杜仲皮与杜仲叶有相似的活性成分和药理作用^[6]。目前, 从杜仲中共分离出约 200 种化合物, 包括黄酮类、木脂素类、环烯醚萜类、酚类、甾体、苯丙素类、氨基酸、多糖、脂肪酸和维生素等化合物^[7-8]。杜仲物质成分的多样性决定了其具有丰富的生物活性。药理学研究表明, 杜仲的化学成分对高血压、骨质疏松、高血糖、肥胖症、老年痴呆、衰老、糖尿病和性功能障碍等具有广泛药理作用^[9-14]。本文主要对杜仲不同部位的化学成分、保健作用及用途与价值进行综述, 以期对杜仲资源的食品加工与药品的开发利用提供参考。

1 杜仲的形态特征

杜仲为雌雄异株落叶乔木, 树高可达 20 m, 胸径约为 50 cm。树皮含橡胶, 表面粗糙呈灰褐色, 树枝有片状髓, 嫩枝带有黄褐色毛, 短期内变秃净, 老枝有皮孔。树叶为单叶互生, 圆形或椭圆形, 长约 6~15 cm, 宽为 3.5~6.5 cm; 缘有锯齿, 老叶表面网脉下陷。花单性, 雌雄异株, 花与叶同时开放或先于叶开放, 有花柄, 无花被。坚果有翅位于中央, 长椭圆形, 扁而薄, 长 1.4~5 cm, 宽约 3 mm, 顶端有 2 裂。枝、叶、果断裂后有弹性胶丝相连^[15]。杜仲原产于我国中西部地区, 喜光、耐严寒、适应性强, 在酸性、轻盐土、中性或钙质土中均可生长。幼树生长速度较缓慢, 7~20 年为快速生长期, 20 年后生长速度逐年减缓, 50 年后树高基本停止生长并自然枯萎^[16]。杜仲体内含有大量的胶质, 可提炼橡胶^[17]; 树皮可供药用^[18]。杜仲树及各部分形态特征见图 1。

2 杜仲不同部位的化学成分

国内外学者对杜仲的化学成分进行了大量研究, 近年来, 随着对杜仲资源开发利用越来越丰富, 研究杜仲不同部位的化学成分显得很有必要。杜仲的树皮、叶、种子和花都含有多种化学物质, 可以作为工业生产活性物质的原料^[19]。对杜仲不同部位活性物质成分进行鉴定, 以期用

杜仲的叶、树皮、种子生产高附加值产品, 如功能性食品、药物和动物饲料添加剂等^[20]。



图 1 杜仲树、树皮、树叶、花、种子形态图

Fig.1 Morphology of *Eucommia ulmoides* tree, bark, leaves, flowers and seeds

2.1 木脂素和环烯醚萜类

木脂素及其衍生物是杜仲的重要组成成分^[21]。树皮中含有大量的木脂素, 种子和叶片也可分离到少量的木脂素。迄今为止, 从杜仲的树皮、叶中共分离出约 46 种木脂素, 主要包括双环氧木酚素、单环氧木酚素、新木脂素和环木脂素等^[22], 见表 1。环烯醚萜是杜仲的一类次生代谢物, 也是杜仲的第二大主要成分, 环烯醚萜类化合物又称为糖苷, 主要存在于杜仲的树皮和树叶中^[23]。目前从杜仲中共分离出 41 种环烯醚萜类化合物, 主要包括京尼平苷、京尼平、桃叶珊瑚苷等^[24], 见表 2。

2.2 酚类

研究表明, 酚类化合物是一类主要的非必需膳食成分, 具有抗氧化、抗诱变、抗炎和抗癌等功能^[25]。杜仲叶富含抗氧化活性的多酚类物质, 目前从杜仲中分离鉴定出 37 种酚类化合物^[26], 主要包括黄氏甙、绿原酸、山奈酚、异槲皮素等, 见表 3。杜仲叶中氨基酸、维生素、矿物质和黄酮类物质含量丰富, 黄酮类物质是自然界常见的重要次生代谢化合物, 具有化学信使、生理调节因子和细胞周期抑制因子的功能^[9]。从杜仲叶中分离出来的黄酮类物质有 36 种, 主要包括槲皮素、芦丁和槲子酸^[27], 其中芦丁和槲皮素是重要的黄酮类化合物, 见表 4。

2.3 甾类、萜类

杜仲的化学成分还包括甾类和萜类, 迄今为止从杜仲中共分离出 6 种甾类化合物和 15 种萜类化合物^[28]。甾类化合物主要包括 β -谷甾醇、 β -谷甾醇-3-吡喃葡萄糖苷、环桉烯酮、环桉烯醇等。萜类化合物主要有乌索酸、白桦脂酸、白桦脂醇、熊果醇、科罗索酸、醋酸乌索酸等, 上述化合物均可从杜仲皮、树叶中分离出来^[29], 见表 5。

表 1 杜仲中木脂素类成分
Table 1 Lignans in *Eucommia ulmoides*

序号	中文名	英文名	部位
1	香蒲素	balanophonin	树皮
2	8'-甲氧基-橄榄素	8'-Methoxy-olivil	树叶
3	拉西树脂醇	lariciresinol	树叶
4	弗拉迪诺 D	vladinol D	树皮
5	橄榄素	(-)-olivil	树皮
6	橄榄素-4'-吡喃葡萄糖苷	(-)-olivil 4'- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside	树皮
7	橄榄素-4"-吡喃葡萄糖苷	(-)-olivil 4"- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside	树皮
8	橄榄素 4',4"-二吡喃葡萄糖苷	(-)-olivil 4', 4"-di- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside	树皮
9	(7R, 8S, 8'R)-4,9,4',8'-四羟基-3,3'-二甲氧基-7,9'单环氧木脂素	(7R,8S,80R)-4,9,4',8'-tetrahydroxy-3,3'-Dimethoxy-7,9'-monoepoxy lignin	树皮
10	环橄榄素	(+)-cyclo-olivil	树皮
11	松脂醇	(+)-pinoresinol	树皮
12	表松脂醇	(+)-epipinoresinol	树皮
13	1-羟基松脂醇	(+)-1-hydroxy-pinoresinol	树皮
14	丁香脂醇	(+)-syringaresinol	树皮
15	丁香脂醇-二吡喃葡萄糖苷	(+)-syringaresinol di- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside	树皮
16	丁香脂醇-4-吡喃葡萄糖苷	(+)-syringaresinol 4- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside	树叶
17	丁香脂醇-吡喃葡萄糖苷	(+)-syringaresinol - <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside	树皮
18	中松脂醇	(+)-medioresinol	树皮
19	中松脂醇-二吡喃葡萄糖苷	(+)-medioresinol di- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside	树皮
20	中松脂醇-4'-吡喃葡萄糖苷	(+)-medioresinol 4'- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside	树皮
21	1-羟基-6-表松脂醇	(+)-1-hydroxy-6-epipinoresinol	树叶
22	松脂醇-二吡喃葡萄糖苷	(+)-pinoresinol di- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside	树皮
23	松脂醇-吡喃葡萄糖苷	(+)-pinoresinol - <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside	树皮
24	8-羟基-中松脂醇	8-hydroxy-medioresinol	树叶
25	9 α -羟基-松脂醇	9 α -hydroxy-pinoresinol	树皮
26	8-甲氧基-中松脂醇	8-methoxy-medioresinol	树叶
27	1-羟基松脂醇-4'-吡喃葡萄糖苷	(+)-1-hydroxypinoresinol 4'- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside	树皮
28	1-羟基松脂醇-4"-吡喃葡萄糖苷	(+)-1-hydroxypinoresinol 4"- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside	树皮
29	1-羟基松脂醇 4', 4"-吡喃葡萄糖苷	(+)-1-hydroxypinoresinol 4',4"- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside	树皮
30	牛蒡子苷	Arctiin	树皮
31	脱氢二松柏醇二葡萄糖苷	dehydrodiconiferylalcohol 4- γ '-di- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside	树皮
32	赤式甘油- β -松柏醇醛醚	erythro-guaiacylglycerol- β -coniferyl aldehyde ether	树皮
33	赤式-二羟基脱氢二松柏醇	erythro-dihydroxydehydrodiconiferyl alcohol	树皮
34	赤式甘油-8-O-4'-(芥子醛)醚	erythro(+)-guaiacylglycerol-8-O-4'-(sinapyl aldehyde) ether	树皮
35	赤式甘油-8-O-4'-(芥子醇)醚	erythro(+)-guaiacylglycerol-8-O-4'-(sinapyl alcohol) ether	树皮
36	苏式甘油- β -松柏醇醛醚	threo-guaiacylglycerol- β -coniferyl aldehyde ether	树皮

表 1(续)

序号	中文名	英文名	部位
37	苏式二氢脱氢二松柏醇	<i>threo</i> -dihydroxydehydrodiconiferyl alcohol	树皮
38	柑属甙 B	citrusin B	树皮
39	二氢脱氢二松柏醇	dihydroxydehydrodiconiferyl alcohol	树皮
40	耳草醇 C	hedyotol C	树皮
41	耳草醇 D	hedyotol D	树皮
42	耳草醇-C-4"-4"-二吡喃葡萄糖苷	hedyotolC 4",4"-di- <i>O</i> - β -D- glucopyranoside	树皮
43	丁香丙三醇- β -丁香脂素醚二糖苷	syringylglycerol- β -syringaresinol ether 4",4"-di- <i>O</i> - β -D-glucopyranoside	树皮
44	(+)丁香脂素香草酸醚二吡喃葡萄糖苷	(+)-syringaresinol vanillic acid ether diglucopyranoside	树皮
45	(+)松脂醇香草酸醚二吡喃葡萄糖苷	(+)-pinoresinol vanillic acid ether diglucopyranoside	树皮
46	甘油- β -丁香脂素乙醚-4",4"-二吡喃葡萄糖苷	guaiaacylglycerol- β -syringaresinoether4",4"-di- <i>O</i> - β -D-glucopyranoside	树皮

表 2 杜仲中环烯醚萜类成分
Table 2 Iridoids in *Eucommia ulmoides*

序号	中文名	英文名	部位
1	京尼平	genipin	树皮
2	京尼平苷	geniposide	树皮/树干
3	京尼平苷酸	geniposidic acid	树皮/树干/树叶
4	车叶草苷酸	asperulosidic acid	树叶
5	桃叶珊瑚苷	aucubin	树皮/果实
6	鸡屎藤苷-10-O-乙酸酯	scandoside 10-O-acetate	树叶
7	筋骨草苷	ajugoside	树皮
8	杜仲醇	eucommiol	树皮/树干/树叶
9	杜仲醇 I	eucommioside I	树皮
10	杜仲醇 II	eucommiosides II	树叶/树枝
11	雷朴妥苷	reptoside	树皮
12	哈帕苷乙酸酯	harpagide acetate	树皮
13	车叶草苷酸乙酯	asperulosidic acid ethyl ester	雄花
14	脱氧杜仲醇	1-deoxyeucommiol	树皮/树干/树叶
15	10-去乙酰基车叶草苷酸	10-deacetyl asperulosidic acid	树叶
16	表杜仲醇	epieucommiol	树叶
17	车叶草苷	asperuloside	树叶
18	京尼平苷酸三聚体	uimoidoside A	果实
19	京尼平苷酸四聚体	uimoidoside B	果实
20	京尼平苷酸三聚体乙酸酯	uimoidoside C	果实
21	京尼平苷酸四聚体乙酸酯	uimoidoside D	果实
22	杜仲苷	ulmoside	树皮
23	梔二醇	gardendiol	树皮

表 2(续)

序号	中文名	英文名	部位
24	交让木苷	daphylloside	树叶
25	马钱子苷	loganin	树叶
26	7-表阿霉素-马钱子苷	7-epi-loganin	树叶
27	8-表阿霉素-马钱子苷	8-epi-loganin	树叶
28	鸡屎藤苷甲酯	scandoside methyl ster	树叶
29	-	eucomoside A	树叶
30	-	eucomoside B	树叶
31	-	eucomoside C	树叶
32	去乙酰基车叶草苷酸甲酯	deacetyl asperulosidic acid methyl ester	树叶
33	青蒿素 C	artselaenin	雄花
34	3,4 二氢-3 β -乙氧基芦荟甙	3,4-dihydro-3 β -ethoxydesacetylasperuloside	雄花
35	3,4 二氢-3 β -乙氧基脱乙基芦荟甙	3,4-dihydro-3 β -ethoxydesacetylasperuloside	雄花
36	3 β -甲氧基蛋黄素 C	3 β -methoxyartselawnin C	雄花
37	6 β -羟基-1 β ,3 β -二甲氧基青蒿素 III	6 β -hydroxyl-1 β ,3 β -dimethoxyartsclaenin III	雄花
38	哈巴苷	harpagide	树皮
39	杜仲苷 C	ulmoside C	树叶
40	杜仲苷 D	ulmoside D	树叶
41	梓醇	catalpol	树皮

表 3 杜仲中酚类化合物
Table 3 Phenolic compounds in *Eucommia ulmoides*

序号	中文名	英文名	部位
1	赤式甘油	(\pm)- <i>erthro</i> -guaiacylglycerol	树皮
2	苏式甘油	(\pm)- <i>threo</i> -guaiacylglycerol	树皮
3	9- <i>n</i> -正丁基-甘油	9- <i>n</i> -butyl-guaiacylglycerol	树叶
4	9- <i>n</i> -正丁基-异甘油	9- <i>n</i> -butyl-isoguaiacylglycerol	树叶
5	5-甲氧基-甘油	5-methoxy-guaiacylglycerol	树叶
6	5,9-二甲氧基-甘油	5,9-dimethoxy-guaiacylglycerol	树叶
7	5-羟基-9-异丙醚-甘油	5-hydroxy-9-isopropylether-guaiacylglycerol	树叶
8	绿原酸	chlorogenic acid	树叶
9	绿原酸甲酯	methyl chlorogenate	树皮
10	乙酰甘油	C-veratroylglycol	树皮
11	阿魏酰奎尼酸	3- <i>O</i> -feruloylquinic acid	树叶
12	咖啡酸	caffeic acid	树皮
13	β -羟基丙烷酮	β -hydroxypropiovanllone	树皮
14	3-(3-羟基苯基)丙酸	3-(3-hydroxyphenyl) propionic acid	树叶
15	3-(3,4-羟基苯基)丙酸(二羟基脱氧咖啡酸)	3-(3,4-dihydroxyphenyl) propionic acid (dihydrocaffeic acid)	树叶
16	3-羟基-4-甲氧基肉桂醛	3-hydroxy-4-methoxycinnamaldehyde	树皮

表 3(续)

序号	中文名	英文名	部位
17	1,4 二羟基-2,6 二甲氧基苯-4-吡喃葡萄糖苷	1,4-dihydroxy-2,6-dimethoxybenzene-4- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside	树干
18	焦鞣酸	pyrogallol	树叶
19	儿茶酚	catechol	树叶
20	原儿茶酸	protocatechuic acid	树叶
21	阿魏酸	ferulic acid	树根皮
22	赤式-1-(4-羟基-3-甲氧基苯基)1,2,3-丙三醇(愈创木基丙三醇)	<i>erythro</i> -1-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl) propan-1,2,3-triol (guaiacyl-glycerol)	树叶
23	二羟基苯甲酸	3,4-dihydroxy benzoic acid	树叶
24	对香豆酸	<i>p</i> -coumaric acid	树叶/ 树根皮
25	咖啡酸乙酯	caffeic acid ethyl ester	树叶
26	原儿茶酸甲酯	protocatechuic acid methyl ester	树皮
27	交链孢酚	alternariol	树皮
28	香草酸	vanillic acid	树皮
29	异绿原酸 A	isochlorogenic acid A	树皮
30	异绿原酸 C	isochlorogenic acid C	树皮
31	水杨叶醇	salicifoliol	树皮
32	-	macranthoin G	-
33	7-羟基-香豆素	7-hydroxy-coumarin	树叶
34	芥子酚	eucophenoside	树皮
35	新绿原酸	neochlorogenic acid	树皮
36	顺式绿原酸	cis-chlorogenic acid	树叶
37	隐绿原酸	cryptochlorogenic acid	树皮

表 4 杜仲中黄酮类化合物

Table 4 Flavonoids compounds in *Eucommia ulmoides*

序号	中文名	英文名	部位
1	槲皮素	quercetin	树叶
2	山奈酚	kaempferol	树叶
3	金丝桃苷	hyperin	树叶
4	黄芪苷	astragalin	树叶
5	芦丁	rutin	树叶/树皮
6	异槲皮素	isoquercetin	树叶
7	槲皮素-3-木吡喃糖基(1 \rightarrow 2)-吡喃葡萄糖苷	quercetin-3- <i>O</i> - β - <i>D</i> -xylopyranosyl (1 \rightarrow 2)- β - <i>D</i> -glucopyranoside	树叶
8	槲皮素-3-红景天苷	quercetin 3- <i>O</i> - β - <i>D</i> -sambubioside	树叶
9	山奈酚-3- <i>O</i> -(6"-乙酰基)-吡喃葡萄糖苷	kaempferol-3- <i>O</i> -(6"-acetyl)- β - <i>D</i> -glucopyranoside	树叶
10	汉黄芩素	wogonin	树皮
11	黄芩素	baicalein	树皮

表 4(续)

序号	中文名	英文名	部位
12	槲皮素-3-吡喃糖基	quercetin 3- <i>O</i> - β - <i>D</i> -xylopyranosyl	树皮
13	山奈素-3-吡喃葡萄糖苷	kaempferide-3- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside	树叶
14	山奈酚-3-红景天苷	kaempferol-3- <i>O</i> - β - <i>D</i> -sambubioside	树叶
15	山奈素-3-芸香糖苷	kaempferol-3- <i>O</i> - β - <i>D</i> -rutinoside	树叶
16	山奈酚-3- <i>O</i> - α - <i>L</i> -鼠李糖-(1 \rightarrow 6)-吡喃葡萄糖苷	kaempferol-3- <i>O</i> - α - <i>L</i> -rhamnopyranosyl (1 \rightarrow 6)- β - <i>D</i> -glucopyranoside	树叶
17	木蝴蝶素	oroxilin A	树皮
18	汉黄芩苷	wogonoside	树皮
19	广寄生苷	avicularin	树根皮
20	柚皮素	naringenin	雄花
21	樱桃苷	prunin	雄花
22	木犀草素	luteolin	树根皮
23	槲皮苷	quercitrin	树根皮
24	槲皮素-3- <i>O</i> - α - <i>L</i> -阿拉伯呋喃糖基-(1 \rightarrow 2)- β - <i>D</i> -吡喃葡萄糖苷	quercetin-3- <i>O</i> - α - <i>L</i> -arabinofuranosyl (1 \rightarrow 2)- β - <i>D</i> -glucopyranoside	雄花
25	儿茶酸	catechin	树皮
26	异鼠李素-3-吡喃葡萄糖苷	isorhamnetin-3- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside	雄花
27	儿茶酸-(7,8-b,c)-4 α -(3,4-二羟苯基)-2(3H)-吡喃酮	catechin-(7,8-b,c)-4 α -(3,4-dihydroxyphenyl)-2(3H)-pyranone	树叶
28	三羟基查尔酮	4,2',4'-trihydroxychalcone	树皮
29	槲皮素-3-吡喃葡萄糖苷(1 \rightarrow 2)-吡喃葡萄糖苷	quercetin-3- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside (1 \rightarrow 2)- β - <i>D</i> -glucopyranoside	雄花
30	儿茶素-(7,8-b,c)-4 β -(3,4-二羟苯基)-2(3H)-吡喃酮	catechin-(7,8-b,c)-4 β -(3,4-dihydroxyphenyl)-2(3H)-pyranone	雄花
31	(α R)- α ,4,2',4'-四羟基二氢查尔酮	(α R)- α ,4,2',4'-tetrahydroxydihydro chalcone	树皮
32	(α R)- α -吡喃葡萄糖苷-4,2',4'-三羟基二氢查尔酮	(α R)- α - <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside-4,2',4'-trihydroxydihydrochalcone	树皮
33	甘草查尔酮 A	licochalcone A	树皮
34	表儿茶素	(-)-epicatechin	树皮
35	二氢槲皮素-3-吡喃葡萄糖苷	(2S,3S)-taxifolin-3- <i>O</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside	树叶
36	丁香醇 C	thunberginol C	树叶

表 5 杜仲中甾类、萜类成分
Table 5 Steroids and terpenoids in *Eucommia ulmoides*

序号	中文名	英文名	部位
1	β -谷甾醇	β -sitosterol	树皮
2	-	ulmoidol	树叶
3	-	ulmoidol A	树叶
4	环桉烯醇	cycloeucalenol	树皮
5	环桉烯酮	cycloeucalenone	树皮

表 5(续)

序号	中文名	英文名	部位
6	β -谷甾醇-3-吡喃葡萄糖苷	β -sitosterol-3-O- β -D-glucopyranoside	树皮/果实
7	乌索酸	ursolic acid	树皮
8	白桦脂酸	betulic acid	树皮
9	白桦脂醇	betulin	树皮
10	熊果醇	uvaol	雄花
11	科罗索酸	corosolic acid	树叶
12	醋酸乌索酸	ursolic acid acetate	雄花
13	齐墩果酸	oleanolic acid	树叶
14	吗啉内酯	moridolide	树皮
15	β -胡萝卜素	β -carotene	树皮/树叶
16	杜仲甙 C	eucomegastiginsides C	树叶
17	豆蔻甙 A	eleganside A	树叶
18	黑麦草内酯	loliolide	树叶
19	尿苷	uridine	树叶
20	松柏苷	coniferin	树干
21	紫丁香甙	coniferin	树皮/树干

2.4 其他类成分

杜仲还含有脂肪酸、多糖、氨基酸、维生素、微量元素和杜仲胶等多种成分, 多糖是近年来从杜仲中发现的一类活性物质, 其含量丰富, 可达 11.42%^[30]。研究表明从杜仲叶和皮中共发现 17 种游离氨基酸, 其中必需氨基酸种类齐全, 幼树嫩叶的必需氨基酸含量更高^[25]。杜仲果实中的氨基酸主要以蛋白质的形式存在, 水解产物包含 18 种氨基酸, 其中 8 种为人类必需氨基酸^[31]。杜仲种子提取油含有不同浓度的多不饱和脂肪酸, 主要为亚油酸、亚麻酸(占总脂肪酸的 56.51%)和反亚油酸(占总脂肪酸的 12.66%)^[32]。杜仲中的矿物质和维生素含量也是比较丰富的, 含有 15 种矿物质元素, 主要包括钙、磷、镁、钾等宏量元素以及铜、铁、锌等微量元素^[33]。杜仲叶维生素 E 含量最高, 其次是钙、磷、镁、钾等, 杜仲叶中钙元素含量是杜仲皮的 5.6 倍^[34]。杜仲胶存在于树皮、树叶和果实中, 因其具有较强的热塑性和绝缘性, 已广泛用于新型医疗材料、绿色轮胎、高铁部件等制造领域^[35]。

3 活性成分的保健作用

3.1 心血管保护作用

杜仲是心脏病治疗中常见的一种中药, 具有降血脂、降血压、降胆固醇等作用, 杜仲皮提取物是抗血压制

剂的常见有效成分。目前发现杜仲中的降血压成分主要有松脂醇二葡萄糖苷(pinoresinol diglucoside, PDG)、京尼平、松脂醇二葡萄糖、槲皮素、京尼平苷酸、咖啡酸、脱氢二松柏醇二糖苷、阿魏酸、柑桔素 B 和芦丁, 其中松脂醇二葡萄糖是主要的降血压成分^[36]。研究发现, 杜仲皮的降血压效果主要是通过诱导血管内皮组织产生更多的舒血管物质一氧化氮合酶(nitric oxide synthase, NO)和内皮依赖性超极化因子实现的^[37]。研究表明连续 8 周给成年人分别注射 500 和 1000 mg 的杜仲提取物, 每天 3 次, 实验组血压均有明显的改善, 24 h 内杜仲组受试者的舒张压和收缩压平均下降 3.2/1.2 mmHg^[38]。黄酮类物质可通过抑制肝脏脂肪酸和胆固醇的生物合成从而达到降血脂和降胆固醇的作用^[39], 现已证实槲皮素、京尼平苷、绿原酸和桃叶珊瑚苷等成分与杜仲调节血脂作用相关^[40]。

3.2 抗氧化作用

杜仲所含的抗氧化成分主要有黄酮类、环烯醚萜类、苯丙素类、多糖等, 多酚类和黄酮类物质对缓解氧化损伤有重要作用。杜仲叶富含绿原酸、多酚、黄酮类化合物以及多糖等, 相比于树皮、花和果实, 具有更好的抗氧化活性^[41]。杜仲中的活性物质主要通过清除体内过多的自由基和将氧化物还原, 缓解氧化应激引起的疾病, 增强红细胞、超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、谷胱甘肽和过氧化物酶的作用, 降低肝脏、肾脏、红细胞中过氧化氢和脂质的

浓度,从而达到抗氧化与维持机体正常功能的作用^[42-43]。对糖尿病大鼠的研究表明,杜仲皮中的活性物质可使大鼠体内超氧化物歧化酶的活性从 55.83 unit/mg 升高至 56.96 unit/mg,同时还将大鼠血液中过氧化氢酶和谷胱甘肽还原酶的活性分别提高了 0.56、1.1 unit/mg,从而能够中和体内产生的过多自由基^[43]。杜仲提取物可缓解多种细胞氧化损伤,对细胞氧化损伤的缓解作用具有剂量依赖性^[44]。

3.3 抗炎、抗菌、抗病毒

杜仲提取物可抑制细菌生长和减少促炎因子分泌,具有抗炎、抗菌、抗病毒的功效^[45]。KWON 等^[46]研究发现杜仲提取物的抗炎作用主要是通过调节促分裂原激活的蛋白激酶(MAPK)、磷酸肌醇-3-激酶(PI3K)/Akt 和糖原合酶激酶的表达,从而抑制核因子- κ B(NF- κ B)活化并诱导核因子红系 2 相关因子 2(Nrf2)依赖的血红素加氧酶-1(HO-1)的活化。杜仲的抑菌活性主要是通过叶片中分离出的内生真菌,杜仲叶的天然活性成分绿原酸、桃叶珊瑚苷、京尼平具有很强的抗菌性^[47-48]。绿原酸具有较强的抗炎、抗菌性,对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、伤寒杆菌、溶血性链球菌、肺炎球菌、痢疾球菌等有较好地抑制及杀灭作用^[49]。桃叶珊瑚苷具有抗菌、抗病毒、调节血压等作用,研究表明桃叶珊瑚苷对革兰氏阳性及阴性菌有一定的抑制作用,桃叶珊瑚苷和葡萄糖苷酶联合作用具有抗病毒的效果^[50]。

3.4 免疫调节作用

杜仲叶提取物有良好的免疫调节作用,可改善机体免疫力,增强机体抵抗疾病、病原体入侵的能力,其主要功能成分为杜仲叶中的多糖^[51]。杜仲的免疫调节作用主要是通过以下 4 个方面进行的:(1)促进免疫器官的发育;(2)增强吞噬细胞的吞噬活性;(3)促进白细胞介素和淋巴因子的产生;(4)促进 T 淋巴细胞的增殖和分化^[52]。徐贤柱等^[53]给小鼠注射杜仲多糖,能够显著提高血清中白细胞介素 2、免疫球蛋白、白细胞介素 4 的水平,其中高剂量组小鼠的免疫球蛋白含量也有明显升高,IgG 的含量由 6.14 mg/L 上升至 7.48 mg/L,IgM 含量由 0.4 mg/L 上升至 0.45 mg/L。因此杜仲多糖可通过增强机体的免疫应答能力,提高机体免疫力。

3.5 其他作用

杜仲还具有保护肝脏、抗肥胖、调节代谢与骨骼、神经保护等多种生理作用。研究结果表明,杜仲对缓解免疫性肝损伤和肝纤维化的效果显著,对 CCl₄ 诱导的急性肝脂质积累具有一定保护作用^[54]。杜仲绿叶提取物的抗肥胖作用与京尼平苷酸、车叶草苷和绿原酸等物质有关,研究发现杜仲叶提取物和杜仲绿叶粉均能显著抑制小鼠体重和白色脂肪组织增长^[55]。杜仲还具有抗骨质疏松和促进骨细胞增殖的作用,其功能与木脂素、京尼平苷、桃

叶珊瑚苷、杜仲籽总苷等活性物质有关^[56]。杜仲皮提取物可诱导释放促进骨骼成熟与骨骼重塑的生长激素,对骨代谢平衡有着较好的调节作用^[32]。研究表明,杜仲树皮的提取物可抑制乙酰胆碱酯酶活性,具有神经保护作用,当提取物浓度为 10~20 mg/kg 时,对大鼠记忆功能障碍具有更好的保护作用^[57]。

4 用途与价值

4.1 生态价值

杜仲适应性强,对土壤条件要求不严格,在中性、微碱性、酸性土壤中均可生长。杜仲对气候适应性强,能耐 -21 °C 的低温。最适宜的生长条件为深厚土层、湿润、疏松、肥沃、排水良好、土壤 pH 值在 5~7.5 之间^[58]。杜仲具有庞大的根系,在农田防护林方面发挥了重要作用,还可维持生态平衡;目前国内杜仲栽培技术对于丘陵山区风沙、荒化的防护起到了重要作用^[59]。杜仲树体高大、枝叶茂密、遮阴面积大,树叶夏季淡绿色、秋季深棕色,病虫害极少发生,具有较高的观赏性与经济价值,可用做行道树、风景园林、风景林等绿化用途^[60]。

4.2 饲用价值

杜仲叶及其提取物是一种常见的植物性饲料。杜仲叶作为动物饲料添加剂的主要原料,其中粗蛋白质含量约为 12.22%~13.56%,粗脂肪含量为 5.47%~7.91%,粗纤维含量为 6.87%~8.42%,有机物含量为 87.18%~90.80%,钙含量为 2.17%~2.30%。杜仲叶中含有大量京尼平苷,饲料中添加京尼平苷能够显著促进机体蛋白的合成,尤其是增加胶原蛋白的含量,从而增强动物肌肉组织密度,增加肉的弹性,使肉质更加细腻^[61]。杜仲作为饲料添加剂可增强畜禽的生长性能、改善肉质,提高畜禽免疫力、提升畜禽产品的营养价值,故将杜仲作为饲料添加剂对畜牧业的发展具有重要意义^[62]。

4.3 食用价值

《本草纲目》《神农本草经》以及《中国药典》等传统医书中均有记载,杜仲具有强筋、补肾、健腰等功效,《本草图经》中记载杜仲“初生嫩叶可采食”^[63]。2018 年我国批准杜仲叶作为新食品原料,国家食品药品监督管理局已审批通过杜仲叶、杜仲雄花、杜仲食用菌、杜仲晶等约 32 种与杜仲有关的食物。杜仲作为健康食品原料的应用历经 30 多年的发展,现已开发出杜仲茶、杜仲口服液、杜仲饼干、杜仲可乐、杜仲饮品、杜仲糖等食品,目前市场上的杜仲食品制作粗放,技术含量较低。将杜仲的叶、花、果实、皮等综合利用,开发功能性食品或者特需人群的营养品等可作为杜仲食品研究的新方向^[24]。

4.4 工业价值

杜仲皮、种子、叶、果实中含有丰富的杜仲胶,杜仲胶是一种天然高分子化合物,与天然三叶橡胶互为同分异构体,杜仲胶的主要成分为反式异戊二烯的高聚体,由于具有独特的橡-塑二重性而成为新材料开发领域的研究热点^[64-66]。杜仲胶具有绝缘性好、耐腐蚀、热塑性好、耐水性好、耐摩擦等优点,可用于绿色轮胎、航空航天、船舶、体育、国防、化工、医疗等重要领域。杜仲胶与塑料橡胶共混性好,具有良好的绝缘性,可作为制造海底电缆和飞机轮胎等重要原料^[67];由于杜仲胶耐摩擦和密封性能优异,广泛应用于高铁部件、空气弹簧和密封部件等的加工与制造过程^[68];杜仲胶具有熔点低、无毒、易加工、轻便、透气性好等优点,现已作为医学新材料用于口腔材料、运动员护具、假肢套、骨科固定夹板等^[35]。

5 结束语

我国是世界上杜仲资源最为丰富的国家。杜仲对土壤的选择性低,广泛分布于我国的15个省(区),可有效防止水土流失,维持生态平衡。杜仲含有丰富的化学成分,如木脂素类、黄酮类、酚类、环烯醚萜类、甾类、杜仲胶等,具有心血管保护、抗氧化、抗菌、抗肥胖等作用。杜仲的保健作用引起了人们对杜仲活性成分提取和功能开发的关注,现已广泛应用于医药、食品加工、饲料、工业生产等领域。近年来,国内外学者致力于杜仲活性成分提取及功能开发的研究,在进一步的研究中,需要对杜仲某些促进健康特性的分子机制进行深入探讨,为杜仲新功能食品和保健品的开发提供理论和技术基础。

参考文献

- 王颖,李荣,姜子涛,等. 超声微波协同提取杜仲树皮及树叶中的黄酮类化合物[J]. 食品工业科技, 2018, 39(12): 154-163.
WANG Y, LI R, JIANG ZT, et al. Ultrasonic microwave assisted extraction of flavonoids from bark and leaves of *Eucommia ulmoides* [J]. Sci Technol Food Ind, 2018, 39(12): 154-163.
- 杨峻山,张聿梅,姜声虎. 杜仲研究的现状与展望[J]. 自然资源学报, 1997, 12(1): 60-67.
YANG JS, ZHANG YM, JIANG SH. The present situation and prospect of *Eucommia ulmoides* [J]. J Nat Resour, 1997, 12(1): 60-67.
- 李芳东,杜红岩. 杜仲[M]. 北京: 中国中医药出版社, 2001.
LI FD, DU HY. *Eucommia ulmoides* [M]. Beijing: China Press of Traditional Chinese Medicine, 2001.
- 中国药典委员会. 中国药典[M]. 北京: 中国医学科学技术出版社, 2010.
Chinese Pharmacopoeia Commission. Chinese pharmacopoeia [M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2010.
- XIN XM, FENG L, WANG H, et al. Study advancement about chemical composition and pharmacological actions of *Eucommia ulmoides* Oliv. [J]. Med Recapitul, 2007, 13(19): 1507-1509.
- 叶文峰. 杜仲叶中化学成分、药理活性及应用研究进展[J]. 林产化工通讯, 2004, 38(5): 40-44.
YE WF. Advances in chemical constituents, pharmacological activities and application of *Eucommia ulmoides* leaves [J]. Biomass Chem Eng, 2004, 38(5): 40-44.
- ZHANG Q, SU YQ, YANG FX, et al. Antioxidative activity of water extracts from leaf, male flower, raw cortex and fruit of *Eucommia ulmoides* Oliv. [J]. Forest Prod J, 2007, 57(12): 74-78.
- 张康健,王蓝,马柏林. 中国杜仲次生代谢物[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
ZHANG KJ, WANG L, MA BL. Secondary metabolites of Chinese *Eucommia ulmoides* [M]. Beijing: Science Press, 2002.
- HE X, WANG J, LI M, et al. *Eucommia ulmoides* Oliv.: Ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology of an important traditional Chinese medicine [J]. J Ethnopharmacol, 2014, 151(1): 78-92.
- BAI MM, SHI W, TIAN JM, et al. Soluble epoxide hydrolase inhibitory and anti-inflammatory components from the leaves of *Eucommia ulmoides* Oliver (Duzhong) [J]. Agric Food Chem, 2015, 63(8).
- LUO D, OR C, YANG L, et al. Anti-inflammatory activity of iridoid and catechol derivatives from *Eucommia ulmoides* Oliver [J]. ACS Chem Neurosci, 2014, 5(9): 855-866.
- QIU F, YAN X, DONG L, et al. Post-screening characterisation and *in vivo* evaluation of an anti-inflammatory polysaccharide fraction from *Eucommia ulmoides* [J]. Carbohydr Polym, 2017, 169(1): 304-314.
- HOSOO S, KOYAMA M, Watanabe A, et al. Preventive effect of *Eucommia* leaf extract on aortic media hypertrophy in Wistar-Kyoto rats fed a high-fat diet [J]. Hypertens Res Off J Jpn Soc Hypertens, 2017, 40(6): 546-551.
- CHO S, HONG R, YIM P, et al. An herbal formula consisting of *Schisandra chinensis* (Turcz.) bail, lyceum Chinese mill and *Eucommia ulmoides* Oliv alleviates disuse muscle atrophy in rats [J]. J Ethnopharmacol, 2017, 213: 328-339.
- 中国科学院中国植物志委员会. 中国植物志. 第35(2)卷[M]. 北京: 科学出版社, 1979.
Committee of Chinese Flora. Chinese academy of Sciences. Flora of China. 35(2) [M]. Beijing: Science Press, 1979.
- 童孝茂. 杜仲的栽培技术和开发利用[J]. 安徽农学通报, 2007, 13(20): 117-118.
TONG XM. Cultivation techniques, development and utilization of *Eucommia ulmoides* [J]. Anhui Agric Sci Bull, 2007, 13(20): 117-118.
- 宋磊,张学俊,董大鹏,等. 杜仲胶性质及提取研究的进展[J]. 贵州化工, 2006, 31(4): 4-8.
SONG L, ZHANG XJ, DONG DP, et al. Progress in studies on properties and extraction of gutta-percha [J]. Chem Ind Guizhou, 2006, 31(4): 4-8.
- 雒晓梅,宿美凤,常晓燕,等. 基于 LC-MS 联用的杜仲主要化学成分定性及定量分析[J]. 中国现代中药, 2019, 21(8): 1029-1040.
LUO XM, SU MF, CHANG XY, et al. Qualitative and quantitative analysis of main chemical components of *Eucommia ulmoides* based on LC-MS [J]. Mod Chin Med, 2019, 21(8): 1029-1040.
- DONG J, MA X, WEI Q, et al. Effects of growing location on the contents of secondary metabolites in the leaves of four selected superior clones of *Eucommia ulmoides* [J]. Ind Crops Prod, 2011, 34(3): 1607-1614.
- XU Z, TANG M, LI Y, et al. Antioxidant properties of Du-zhong (*Eucommia ulmoides* Oliv) extracts and their effects on color stability and lipid oxidation of raw pork patties [J]. J Agric Food Chem, 2010, 58(12):

- 7289–7296.
- [21] ZHU M, SUN R. *Eucommia ulmoides* Oliver: A potential feedstock for bioactive products [J]. *J Agric Food Chem*, 2018, 66(22): 5433–5438.
- [22] 范彦博, 周妍, 刘大鹏, 等. 杜仲主要化学成分分类总结[J]. *中国药师*, 2014, 17(10): 1756–1760.
FAN YB, ZHOU Y, LIU DP, *et al.* Classification and summary of main chemical constituents of *Eucommia ulmoides* [J]. *China Pharm*, 2014, 17(10): 1756–1760.
- [23] 刘丽君. 杜仲化学活性成分及其药理学研究概况[J]. *亚太传统医药*, 2013, 9(5): 82–83.
LIU LJ. Overview of chemical active components and pharmacology of *Eucommia ulmoides* [J]. *Asia-Pac Tradit Med*, 2013, 9(5): 82–83.
- [24] 王亮亮, 唐小兰, 王凯, 等. 杜仲的活性成分和保健功效及杜仲在食品加工中的应用[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(10): 3074–3080.
WANG LL, TANG XL, WANG K, *et al.* The active ingredient and health care effect of *Eucommia ulmoides* and its application in food processing [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(10): 3074–3080.
- [25] LONG ZE, LI N, JAMES M, *et al.* A screening method for the identification of glycosylated flavonoids and other phenolic compounds using a standard analytical approach for all plant materials [J]. *J Agric Food Chem*, 2007, 55(4): 1084–1096.
- [26] CHEN X, SANG X, LI S, *et al.* Studies on a chlorogenic acid-producing endophytic fungi isolated from *Eucommia ulmoides* Oliver [J]. *J Ind Microbiol Biotechnol*, 2010, 37(5): 447–454.
- [27] 陈竹君, 何景峰, 唐德瑞, 等. 杜仲树木质元素分布特点与需肥规律[J]. *西北林学院学报*, 2004, 19(3): 15–17.
CHEN ZJ, HE JF, TANG DR, *et al.* Nutrient distribution and uptake characteristics in *Fucommia ulmoides* Oliv plant [J]. *J Northwest For Coll*, 2004, 19(3): 15–17.
- [28] ZHU M, SUN R. *Eucommia ulmoides* Oliver: A potential feedstock for bioactive products [J]. *J Agric Food Chem*, 2018, 66(22): 5433–5438.
- [29] WANG C, TANG L, HEJ W, *et al.* Ethnobotany, phytochemistry and pharmacological properties of *Eucommia ulmoides*: A review [J]. *Am J Chin Med*, 2019, 47(2): 259–300.
- [30] 董娟娥, 梁宗锁, 靳爱仙, 等. 杜仲叶酸性多糖提取分离及含量测定[J]. *林业科学*, 2006, 42(10): 59–64.
DONG JE, LIANG ZS, JIN AX, *et al.* Extraction, separation and content determination of acid polysaccharide from *Eucommia ulmoides* leaves [J]. *Sci Silvae Sin*, 2006, 42(10): 59–64.
- [31] 王俊丽, 陈丕铃, 朱宝成. 杜仲氨基酸成份的研究[J]. *河北大学学报(自然科学版)*, 1994, (2): 80–82.
WANG JL, CHEN PL, ZHU BC. Study on amino acid composition of *Eucommia ulmoides* [J]. *J Hebei Univ (Nat Sci Ed)*, 1994, (2): 80–82.
- [32] HUSSAIN T, TAN B, LIU G, *et al.* Health-promoting properties of *Eucommia ulmoides*: A review [J]. *Evid-Based Compl Altern Med*, 2016, (12): 1–9.
- [33] 吴红艳, 彭呈军, 邓后勤. 杜仲叶化学成分研究进展[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(17): 360–364.
WU HY, PENG CJ, DENG HQ. Progress in chemical constituents of *Eucommia ulmoides* leaves [J]. *Food Ind*, 2019, 40(17): 360–364.
- [34] 张康健, 马希汉. 杜仲次生代谢物与人类健康[M]. 咸阳: 西北农林科技大学出版社, 2009.
ZHANG KJ, MA XH. Secondary metabolites of *Eucommia ulmoides* and human health [M]. Xianyang: Northwest A&F University Press, 2009.
- [35] 李明华, 刘力, 兰婷, 等. 天然高分子材料杜仲胶的特性及研究进展[J]. *应用化工*, 2018, 47(5): 1026–1029.
LI MH, LIU L, LAN T, *et al.* The properties and research progress of natural polymer gutta-percha [J]. *Appl Chem Ind*, 2018, 47(5): 1026–1029.
- [36] 罗丽芳, 吴卫华, 欧阳冬生. 杜仲的降压成分及降压机制[J]. *中草药*, 2006, 37(1): 150–152.
LUO LF, WU WH, OUYANG DS. Antihypertensive composition and antihypertensive mechanism of *Eucommia ulmoides* [J]. *Chin Tradit Herb Drugs*, 2006, 37(1): 150–152.
- [37] 李世康, 何巍. 内皮依赖性超极化因子的研究现状[J]. *广西医学院学报*, 2008, 25(3): 488–490.
LI SK, HE W. Research status of endothelium-dependent hyperpolarization factors [J]. *J Guangxi Med*, 2008, 25(3): 488–490.
- [38] GREENWAY F, LIU Z, YU Y, *et al.* A clinical trial testing the safety and efficacy of a standardized *Eucommia ulmoides* Oliver bark extract to treat hypertension [J]. *Alt Med Rev*, 2011, 16(4): 338–347.
- [39] CHOI MS, JUNG UJ, KIM HJ, *et al.* Du-zhong (*Eucommia ulmoides* Oliver) leaf extract mediates hypolipidemic action in hamsters fed a high-fat diet [J]. *Am J Chin Med*, 2008, 36(1): 81–93.
- [40] 冯晗, 周宏灏, 欧阳冬生. 杜仲的化学成分及药理作用研究进展[J]. *中国临床药理学与治疗学*, 2015, 20(6): 713–720.
FENG H, ZHOU HH, OUYANG DS. Advances in the study of chemical constituents and pharmacological effects of *Eucommia ulmoides* [J]. *Chin J Clin*, 2015, 20(6): 713–720.
- [41] ZHANG Q, SU Y, YANG F, *et al.* Antioxidative activity of water extracts from leaf, male flower, raw cortex and fruit of *Eucommia ulmoides* Oliv [J]. *For Prod J*, 2007, 57(12): 74–78.
- [42] ZHANG Q, SU Y, ZHANG J. Seasonal difference in antioxidant capacity and active compounds contents of *Eucommia ulmoides* Oliver leaf [J]. *Molecules*, 2013, 18(2): 1857–1868.
- [43] PARK SA, CHOI MS, JUNG UJ, *et al.* *Eucommia ulmoides* Oliver leaf extract increases endogenous antioxidant activity in type 2 diabetic mice [J]. *J Med Food*, 2006, 9(4): 474–479.
- [44] LIN J, FAN YJ, MEHL C, *et al.* *Eucommia ulmoides* Oliv. antagonizes H₂O₂-induced rat osteoblastic MC3T3-E1 apoptosis by inhibiting expressions of caspases 3, 6, 7, and 9 [J]. *J Zhejiang Univ Sci B*, 2011, 12(1): 47–54.
- [45] 李雅, 宋晓斌, 马养民, 等. 杜仲内生真菌对植物病原真菌的抑菌活性研究[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2007, (2): 77–81.
LI Y, SONG XB, MA YM, *et al.* Study on the antibacterial activity of endophytic fungi of *Eucommia ulmoides* against plant pathogenic fungi [J]. *J Northwest A F Univ (Nat Sci Ed)*, 2007, (2): 77–81.
- [46] KWON SH, MA SX, HWANG JY, *et al.* The anti-inflammatory activity of *Eucommia ulmoides* Oliv. bark. involves NF- κ B suppression and Nrf2-dependent HO-1 induction in BV-2 microglial cells [J]. *Biomol Ther*, 2016, 24(3): 268–282.
- [47] 张维瑞, 郭秀春, 李钦, 等. 杜仲叶和果实中内生真菌的分离及抑菌活性[J]. *中草药*, 2016, 47(16): 2921–2926.
ZHANG WR, GUO XC, LI Q, *et al.* Isolation and antibacterial activity of endophytic fungi from *eucommia ulmoides* leaves and fruits [J]. *Chin Tradit Herb Drugs*, 2016, 47(16): 2921–2926.
- [48] 郑杰, 刘端, 赵肃清, 等. 杜仲叶桃叶珊瑚苷的酶法提取及其抑菌活性[J]. *中药材*, 2012, 35(2): 304–306.
ZHENG J, LIU D, ZHAO SQ, *et al.* Enzymatic extraction of corallin from peach leaves of *Eucommia ulmoides* and its antibacterial activity [J]. *J*

- Chin Med Mater, 2012, 35(2): 304–306.
- [49] TSAI TH, TSAI TH, WU WH, *et al.* *In vitro* antimicrobial and anti-inflammatory effects of herbs against ropionibacterium acnes [J]. Food Chem, 2010, 119(3): 964–968.
- [50] 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.
- WANG MY, ZHU YL. *In vitro* bacteriostatic effect of extracts from *Eucommia ulmoides* leaves on 5 common bacteria's [J]. J Tradit Chin Veter Med, 2018, 37(2): 51–52.
- [51] 叶颖霞, 林岚, 赵菊香, 等. 杜仲叶多糖对免疫抑制小鼠免疫功能的影响[J]. 中药材, 2015, 38(7): 1496–1498.
- YE YX, LIN L, ZHAO JX, *et al.* Effects of polysaccharide from *Eucommia ulmoides* leaves on immune function of immunosuppressed mice [J]. J Chin Med Mater, 2015, 38(7): 1496–1498.
- [52] WANG ZH, PANG S, LEI MS, *et al.* Advances in studies on biological activity of *Eucommia ulmoides Oliv* [J]. Nat Prod Res Dev, 2013, 25(9): 1302–1309.
- [53] 徐贤柱, 饶华, 蔡险峰, 等. 杜仲叶多糖提取及对小鼠免疫功能影响研究[J]. 时珍国医国药, 2013, 24(3): 541–542.
- XU XZ, RAO H, CAI XF, *et al.* Study on the extraction of polysaccharide from *Eucommia ulmoides* leaves and its effect on the immune function of mice [J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 2013, 24(3): 541–542.
- [54] JIN C, LI B, LIN S, *et al.* Mechanism of the inhibitory effects of *Eucommia ulmoides Oliv.* cortex extracts (EUCE) in the CCL₄-induced acute liver lipid accumulation in rats [J]. Int J Endocrinol, 2013: 751854–751854.
- [55] HIRATA T, KOBAYASHI T, WADA A, *et al.* Anti-obesity compounds in green leaves of *Eucommia ulmoides* [J]. Bioorg Med Chem Lett, 2011, 21(6): 1786–1791.
- [56] 牟丽秋, 杜俊, 胡旒耘, 等. 杜仲中槲皮素、京尼平苷及桃叶珊瑚苷对小鼠成骨样细胞系 MC3T3-E1 增殖和分化的影响[J]. 药物评价研究, 2015, 38(2): 165–169.
- MOU LQ, DU J, HU YY, *et al.* Effects of quercetin, geniposide and mycoraline in *Eucommia ulmoides* on proliferation and differentiation of mouse osteoblast-like cell line Mc3t3-e1 [J]. Drug Eval Res, 2015, 38(2): 165–169.
- [57] KWON SH, LEE HK, KIM JA, *et al.* Neuroprotective effects of *Eucommia ulmoides Oliv.* bark on amyloid beta(25-35)-induced learning and memory impairments in mice [J]. Neu Lett, 2011, 487(1): 123–127.
- [58] 牟大庆. 杉木、榿树不同混交方式效果分析[J]. 武夷科学, 2007, 23(1): 94–97.
- MOU DQ. Effect analysis of different mixing methods of Chinese fir and sassafras [J]. Wuyi Sci, 2007, 23(1): 94–97.
- [59] 邹仁双. 杜仲综合开发利用现状[J]. 绿色科技, 2016, (11): 39–42.
- ZOU RS. Status of comprehensive development and utilization of *Eucommia ulmoides* [J]. J Green Sci Technol, 2016, (11): 39–42.
- [60] 林开敏, 俞新妥. 杉木人工林地力衰退与可持续经营[J]. 中国生态农业学报, 2001, (4): 43–46.
- LIN KM, YU XT. Degradation of soil fertility and sustainable management of Chinese fir plantation [J]. Chin J Rice Sci, 2001, (4): 43–46.
- [61] 李燕舞, 姜八一, 温华梅, 等. 杜仲叶的活性成分及其在养殖业中应用[J]. 饲料广角, 2017, (7): 42–44.
- LI YW, JIANG BY, WEN HM, *et al.* The active ingredient of *Eucommia ulmoides* leaves and its application in aquaculture [J]. Feed China, 2017, (7): 42–44.
- [62] 江栋材, 杨楠, 单月芳, 等. 杜仲叶及提取物在畜禽生产中的应用[J]. 中国饲料, 2019, 623(3): 60–64.
- JIANG DC, YANG N, SHAN YF, *et al.* Application of *eucommia ulmoides* leaves and extracts in livestock and poultry production [J]. China Feed, 2019, 623(3): 60–64.
- [63] 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.
- WU GH, CHEN Y, ZHENG LH, *et al.* Chemical constituents of *Eucommia ulmoides* in Guizhou province [J]. J Chin Med Mater, 2015, 38(5): 980–984.
- [64] 董宇航, 赵喜源, 曹仁伟, 等. 天然杜仲胶的提取技术和应用研究现状[J]. 弹性体, 2020, 30(1): 68–74.
- DONG YH, ZHAO XY, CAO RW, *et al.* Research status of extraction technology and application of natural gutta-percha [J]. T'an Hsing Ti, 2020, 30(1): 68–74.
- [65] 朱峰, 岳红, 祖恩峰, 等. 新型功能材料杜仲胶的研究与应用[J]. 安徽大学学报(自然科学版), 2005, (3): 89–94.
- ZHU F, YUE H, ZU EF, *et al.* Research and application of new functional material gutta-percha [J]. J Anhui Univ (Nat Sci Ed), 2005, (3): 89–94.
- [66] ZHANG J, XUE Z. Study on under-water sound absorption properties of *Eucommia ulmoides* gum and its blends [J]. Polym Bull, 2011, 67(3): 511–525.
- [67] 沈红娜, 刘显灵, 任海宁. 新型功能材料杜仲胶的应用与研究进展[J]. 科技经济导刊, 2019, 27(19): 90.
- SHEN HN, LIU XL, REN HN. Application and research progress of new functional material gutta-percha [J]. Technol Econ Guide, 2019, 27(19): 90.
- [68] 王凤菊. 关于杜仲胶规模化发展的思考[J]. 中国橡胶, 2013, 29(9): 13–16.
- WANG FJ. Thoughts on the scale development of Gutta-percha [J]. China Rubber, 2013, 29(9): 13–16.

(责任编辑: 张晓寒)

作者简介



王晓瑞, 助理工程师, 主要研究方向为食品安全与营养。
E-mail: 1986873839@qq.com



朱海华, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全与营养健康。
E-mail: 94672834@qq.com



王 慧, 教授, 主要研究方向为食品安全与营养健康。
E-mail: huiwang@shsmu.edu.cn