

杜仲的活性成分和保健功效及杜仲在食品加工中的应用

王亮亮, 唐小兰*, 王 凯, 陈同强, 周兴旺, 徐文泐, 陈 雄

(湖南省食品质量监督检验研究院, 食品安全监测与预警湖南省重点实验室, 长沙 410000)

摘 要: 杜仲活性成分丰富, 主要含有黄酮类、苯丙素类、环烯醚萜类、多糖类、多酚类、苯丙素类、木脂素类等, 且杜仲药理作用突出, 具有多种保健功效。文章对近年来研究发现的杜仲中活性成分进行梳理, 并对其保健功效及杜仲在食品中的开发利用状况进行综述, 展开讨论, 以期对杜仲的精深加工、综合利用提供参考。

关键词: 杜仲; 活性成分; 保健功效; 加工应用

The active ingredient and health-care function of *Eucommia ulmoides* and its development in food processing

WANG Liang-Liang, TANG Xiao-Lan*, WANG-Kai, CHEN Tong-Qiang, ZHOU Xing-Wang, XU Wen-Yang, CHEN Xiong

(Hunan Institute of Food Quality Supervision Inspection and Research, Hunan Provincial Key Laboratory of Food Safety Monitoring and Early Warning, Changsha 410000, China)

ABSTRACT: *Eucommia ulmoides* is rich in active ingredients, such as flavonoids, phenylpropanoids, iridoids, polysaccharides, polyphenols, phenylpropanoids, lignans, etc, and has prominent pharmacological effects with numerous health benefits. This paper reviewed the chemical constituents of *Eucommia ulmoides* Oliv. in recent years, and screened the active ingredients, then introduced the health care function of *Eucommia ulmoides*, development and utilization to food, in order to provide research reference for intensive processing and comprehensive utilization as well.

KEY WORDS: *Eucommia ulmoides*; active ingredient; health care; processing application

1 引 言

杜仲(*Eucommia ulmoides* Oliv.), 又名胶木, 是杜仲科杜仲属植物。为我国特有的名贵滋补中药材, 药用价值高, 具有强筋健骨、保肝护肺等功效^[1,2]。我国湖南省是杜仲的重要原产地和传统栽培模式的主要产区之一, 其张家界慈

利县有上千年的杜仲栽培历史, 有“中国杜仲之乡”之称。近年来, 随着消费者对杜仲的认知加深, 加上经营模式发生革命性的改变, 引发了新一轮的杜仲种植和开发利用, 具有广阔的开发前景。据资料显示, 如果以杜仲为资源, 发展工农业复合循环资源, 在 10 年内可培育年产出 2000~2500 亿元的大型绿色循环经济产业集群^[3-5]。本文总结

基金项目: 湖南省市场监督管理局科研项目(2019KJJH53)、湖南省科技创新平台与人才计划项目(2019TP1058)

Fund: Supported by the Hunan Province Market Supervision Administration (2019KJJH53) and the Hunan Province Technology Innovation Platform and Talent Plan Project (2019TP1058)

*通讯作者: 唐小兰, 高级工程师, 主要研究方向为食品检测。E-mail: Tangxiaolan1968@163.com

*Corresponding author: TANG Xiao-Lan, Senior Engineer, Hunan Institute of Food Quality Supervision Inspection and Research, Changsha 410000, China. E-mail: Tangxiaolan1968@163.com

梳理了杜仲的活性成分及其保健功效, 归纳了杜仲在食品中的加工和利用状况, 并展开讨论, 以期对杜仲的精深加工及开发利用提供参考。

2 杜仲活性成分和保健功效

国内外学者对杜仲进行了大量的研究, 主要集中在 2 个方面, 一方面是杜仲皮的化学成分和药理作用的研究, 使得人们基本上搞清楚了杜仲皮中化学成分以及大部分化学成分的药理作用; 另一方面是关于杜仲叶、杜仲籽、杜仲花粉化学成分及其药理活性的研究, 使得各种以杜仲叶、杜仲籽、杜仲花粉为原料的保健食品诞生。近年来, 杜仲的研究得到进一步丰富, 逐步深入到活性成分上, 并取得一定的成果。

2.1 杜仲的活性成分

杜仲活性成分丰富, 有研究表明, 杜仲所含的有效活性成分达 200 余种, 主要包括黄酮类、苯丙素类、环烯醚萜类、多糖类、多酚类、苯丙素类、木脂素类等^[6,7]。此外, 还含有丰富的营养成分, 如氨基酸、脂肪、微量元素等^[8,9]。

2.1.1 黄酮类

黄酮类化合物是杜仲的主要活性成分之一, 主要富含在杜仲的叶和花中, 其皮和果实中也有, 但含量较少^[10]。杜仲中的黄酮具有很强的抗氧化和消除自由基作用, 有抗过敏、抑制细菌、抑制寄生虫等功能。目前在杜仲中发现的黄酮类化合物有 10 余种, 经结构鉴定, 发现其主要包括槲皮素、山奈酚、芦丁、金丝桃苷、槲皮苷、quercetin-3-*O*-sambubioside、kaempferol-3-*O*-sambubioside 等^[11,12]。

2.1.2 绿原酸

杜仲中也含有丰富的绿原酸, 含量一般为 1%~5%^[13], 正因其含量丰富, 《中国药典》中将绿原酸含量的高低作为该类药品质量的控制指标之一。绿原酸属于苯丙素类化合物, 具有较好的抗菌、抗病毒、抗氧化、抗肿瘤等生理功能。现有学者研究了不同品种、产区、采摘时期的杜仲叶中绿原酸含量区别, 结果发现湖南省种植的杜仲叶中绿原酸含量最高, 其次是四川省^[14]。同时, 不同的采摘时期杜仲中绿原酸含量也有明显的区别, 其最佳的采摘月份在 6~7 月^[15]。

2.1.3 环烯醚萜类

杜仲含有丰富的环烯醚萜类化合物, 含量约 5.07 mg/g^[16]。环烯醚萜类化合物是植物中的臭蚁二醛转变而来的单萜类化合物, 分子中存在环烯醚萜键^[17]。杜仲中含有的环烯醚萜类化合物, 主要是京尼平苷、京尼平苷酸、京尼平、桃叶珊瑚苷等。

2.1.4 多糖类

杜仲中含有丰富的多糖, 含量达 11.42%^[18], 是近年来发现的又一活性物质, 但因其成分复杂, 研究成果相对较少。杜仲多糖具有较好的抗疲劳, 提高机体免疫等作用,

其机制与其调节机体糖代谢、节约蛋白质有关, 杜仲多糖还有降血糖、降血脂等作用^[19,20]。

2.1.5 多酚类

杜仲还含有丰富的具有抗氧化活性的多酚类物质, 主要有茶多酚、葡萄籽多酚、苹果多酚、石榴皮多酚等^[21]。研究发现杜仲叶中多酚含量与传统中药材相当, 甚至显著高于金银花、连翘等常用药材^[22,23]。

2.1.6 其他

杜仲中除了含有以上的黄酮类、绿原酸、环烯醚萜类、多糖类、多酚类, 还含有木脂素类、苯丙素类抗菌蛋白以及氨基酸和对人体有益的矿物质元素^[24]。杜仲所含有的人体必需氨基酸种类齐全, 含量较高, 见表 1。由表 1 可知, 杜仲叶和杜仲皮相比, 杜仲叶中氨基酸含量高于杜仲皮, 含量最高的必需氨基酸为亮氨酸, 其次是缬氨酸和赖氨酸, 此外还含有鸡蛋、牛奶中缺乏的半必需氨基酸-酪氨酸, 及婴儿生长必需的组氨酸^[10]。

杜仲中维生素和矿物质含量也较为丰富, 含量见表 2^[10], 由表 2 可以看出, 杜仲中维生素 E 较为丰富, 钙、磷、镁、钾的含量较高, 其中杜仲叶中的钙含量是杜仲皮的 5.6 倍, 镁、钠是 3 倍, 钾是 4 倍。

2.2 杜仲的保健功效

杜仲保健功效多, 现代药理学研究表明杜仲具有抗衰老、抗氧化、降血压、降血脂、降血糖、抗诱变抗癌、抗菌及抗病毒等作用^[25-27]。但有部分保健功效缺少科学论据的支持, 其活性作用机制并不透彻, 值得进一步研究。

2.2.1 抗衰老作用

杜仲抗衰老效果明显, 其京尼平苷酸(geniposidic acid, GPA)、多酚类物质在保护神经系统及抗氧化上起重要作用。研究发现, 杜仲叶浸膏物 3 g/kg 和 1.5 g/kg 能极显著地降低小鼠脑单胺氧化酶的活性, 延缓了神经系统的衰老, 另外也可以提高红细胞 C3b 受体花环结合率及显著提高免疫复合物花环结合率, 说明杜仲叶浸膏物能增强老年期免疫功能, 延缓衰老^[28]; 杜仲叶醇提物可以通过提高脑组织抗氧化的能力, 达到保护脑神经 DNA 的作用, 且在保护脑神经 DNA 和抗氧化作用中, 总多酚类成分发挥了极其重要的作用^[29]。杜仲中京尼平苷酸可通过影响 A β 的生成和降解 2 方面调控小鼠脑内 A β 水平, 减轻转基因小鼠的神经炎症, 发挥神经保护作用, 为抗衰老的主要次生代谢物之一^[30]。

2.2.2 保护心血管、降血压作用

杜仲还有保护心血管、降血压作用, 可通过选择性和血管壁上血栓结合, 或是清除自由基及抗脂质过氧化, 保护血管, 防治高血压血栓栓塞性疾病, 其主要功效成分是山奈酚、槲皮素及绿原酸等。姚丽娜^[31]从杜仲叶中分离到 27 种已知化合物, 通过核磁共振 (nuclear magnetic

resonance, NMR)和质谱(mass spectrum, MS)鉴定了化合物的结构,其中山奈酚和槲皮素在非竞争性抑制中显示出潜在的活性,并说明其具有保护心血管作用。槲皮素的显著的降血压作用,是通过选择性与血管壁上的血栓结合,抑制血小板脂氧酶和环氧脂酶使得血管内壁释放血栓溶解素

和血管保护介质,起到抗血栓和降血压作用^[32]。另外,绿原酸也可通过清除自由基及抗脂质过氧化,保护血管内皮细胞,进而防治动脉粥样硬化、血栓栓塞性疾病及高血压等疾病;实验证明,桃叶珊瑚苷、绿原酸等均有不同程度的降压作用^[33]。

表 1 杜仲中氨基酸的种类和含量(mg/g)
Table 1 Types and contents of amino acids in *Eucommia ulmoides* (mg/g)

氨基酸名称	幼树嫩叶	幼树老叶	成年老叶	杜仲皮
天冬氨酸	16.00	12.98	7.49	4.24
苏氨酸*	6.52	5.97	3.57	1.85
丝氨酸	6.60	6.15	3.83	2.88
谷氨酸	19.74	18.18	11.20	5.32
脯氨酸	6.53	6.36	3.58	2.40
甘氨酸	7.78	7.64	4.48	3.39
丙氨酸	9.12	7.97	4.94	2.75
缬氨酸*	8.45	7.97	4.88	2.01
蛋氨酸*	0.68	1.42	0.74	0.18
异亮氨酸*	6.65	6.42	4.02	2.04
亮氨酸*	13.16	12.49	7.59	3.03
酪氨酸	4.42	4.59	2.57	1.95
苯丙氨酸*	7.50	7.23	4.53	1.38
赖氨酸*	7.82	8.66	5.22	3.44
组氨酸	3.03	2.94	1.70	1.00
精氨酸	9.31	8.43	4.72	3.63
必需氨基酸含量	50.78	50.16	30.55	13.93
氨基酸总量	133.31	125.40	75.06	41.49
比值/%	38.09	40.00	40.70	33.57

注: *标识为必需氨基酸。

表 2 杜仲中维生素、矿物质含量(mg/100 g)
Table 2 Vitamin and mineral substance in *Eucommia ulmoides* (mg/100 g)

名称	杜仲皮	名称	杜仲叶	杜仲皮
维生素 B ₂	0.59	维生素 B ₁	微	微
维生素 E	4.61	B 胡萝卜素	1.93	2.14
锌	33.04	钛	1.46	5.05
锰	73.09	铬	3.06	4.33
铜	21.71	钾	7479.00	2706.10
铁	207.20	钠	528.00	166.34
钙	3986.33	硒	0.58	0.54
磷	2191.91	钡	50.10	39.86
铝	122.45	镉	0.59	-
镁	2039.42	硼	62.60	6.23

2.2.3 抗诱变及抗癌作用

杜仲还有抗癌变的功效, 其作用机制主要是清除癌变因子, 阻止癌细胞增殖。刘晓河等^[34]研究发现, 杜仲多糖对亚硝酸盐有较强消除作用, 浓度为 4.98% 时, 消除率最大, 达 73.41%。亚硝酸盐是目前所知的最强化学致癌物之一, 杜仲多糖通过清除合成 N-亚硝酸胺的前体物质-亚硝酸根, 达到阻断致癌物质的合成。杜仲中槲皮素也有抗癌作用, 它能在毫摩尔浓度下直接阻滞癌细胞增殖, 抑制癌细胞的生长, 具有抗始发致癌作用^[35]。

2.2.4 抗菌及抗病毒作用

杜仲还有抗菌抗病毒的功效, 其提取物可作为一种抗菌素。经药理实验证明, 杜仲中桃叶珊瑚苷具有抗菌作用, 还可刺激副交感神经中枢、加快尿酸转移和排出, 利尿作用明显。王明英等^[36]研究杜仲叶提取液对常用细菌的体外抑菌作用, 药敏试验结果显示, 大肠杆菌、沙门氏菌对提取液中度敏感, 金黄色葡萄球菌对提取液轻度敏感, 且杜仲叶提取物对大肠杆菌等肠道菌有一定的抑菌作用。

2.2.5 降血脂作用

杜仲有降血脂功效, 其具体的功效成分及作用机制并不透彻, 有待继续深入研究; 国内外学者研究发现杜仲次生代谢物具有显著的降血脂功能, 杜仲提取物大大降低了与脂肪肝形成相关的肝脏中甘油三酯的含量, 说明杜仲对脂肪的沉积有抑制作用, 对高胆固醇和高甘油三酯导致的肝硬化和缺血性心脏病均有一定的预防作用^[37]。杜仲能降低血清中甘油三酯和低密度脂蛋白含量, 提高高密度脂蛋白含量, 并参与体内脂肪代谢, 与脂肪的吸收、合成、分解代谢有关^[38]。

2.2.6 降血糖作用

杜仲有明显的降血糖的功效, 杜仲叶的降血糖作用与增强胰岛素阳性 β -细胞功能有关, 甚至可以发挥胰岛素的作用^[39]。通过对比包括杜仲在内的 28 种食用植物中的 α -葡萄糖苷酶抑制剂对酵母- α -葡萄糖苷酶的抑制强度, 杜仲叶以高达 92% 的抑制率居首位^[40]。另外, 杜仲叶的(+)-丁香脂素能防止糖尿病的发生与发展, 研究发现杜仲提取物能增加 3T3-L1 脂肪细胞的葡萄糖的基础转运率和消耗量, 其作用并不需要胰岛素的存在, 也说明杜仲提取物发挥似胰岛素的作用^[41]。

2.2.7 免疫调节作用

杜仲还有调节免疫等功能, 但该功效成分的研究大多为杜仲提取物, 其具体活性成分及作用机制尚不明确。李燕舞等^[42]研究饲料中添加杜仲叶提取物对肉兔生长性能及血清生化、免疫与抗氧化指标的影响; 结构表明, 饲料中添加 100 ~ 300 mg/kg 的杜仲叶提取物可显著提高肉兔血清中总蛋白、白蛋白含量 ($P < 0.05$); 饲料中添加 200 mg/kg 的杜仲叶提取物还可显著提高肉兔血清中球蛋白含量 ($P < 0.05$), 且不同程度提高血清中免疫球蛋白 A 含量 ($P < 0.05$)、超氧化物歧化酶 ($P > 0.05$) 和谷胱甘肽过氧化物

酶活性 ($P < 0.05$)。

2.2.8 保肝和其他作用

杜仲具有明显的保肝活性, 能明显抑制乙型肝炎病毒 DNA 的复制; 另外, 杜仲还有治疗骨质疏松等作用。动物实验表明杜仲总黄酮能显著降低急性肝损伤小鼠血清中的谷丙转氨酶、谷草转氨酶活性与肝脏中的丙二醛含量, 并能提高肝脏中的超氧化物歧化酶与谷胱甘肽活性, 具有保肝护肺作用^[43,44]。杜仲中山奈酚、芦丁、槲皮素 3 种药物成分均可降低尿液中钙、磷的丢失, 同时增强碱性磷酸酶的活性, 可改善绝经后骨质疏松的骨微结构, 增加骨密度, 有治疗骨质疏松的作用^[45]。

3 杜仲在食品加工中的应用

杜仲全身都是宝, 其籽、花、皮、叶均可食用。经毒理学鉴定, 杜仲籽油和杜仲雄花都是安全无毒的, 两者已被国家卫计委批准为新食品原料, 杜仲叶也于 2019 年被国家卫健委批准列入药食同源试点名单中, 在健康食品开发方面有很大的前景。杜仲的开发经近 30 年的发展, 已开发出杜仲茶、杜仲花提取物胶囊、杜仲口服液、杜仲饮品、杜仲饼干、杜仲糖、杜仲可乐等食品, 但这些产品大多为粗制剂, 技术含量低。然而结合杜仲多种功效及多方面的药理活性, 可将杜仲的花、果、叶、皮等综合利用, 开发高档功能性食品或者天然营养、天然美容减肥等产品, 以满足孕妇、婴幼儿、学生、老年人等特殊人群的需求。

3.1 杜仲茶

杜仲茶是杜仲功能性食品中开发最早也是最多的一种产品, 早在 20 世纪 80 年代, 日本就投入大量物力财力研制杜仲, 推出杜仲茶的减肥功效, 或者搭配名贵中药制作复合茶饮^[46]。美国等国家研究表明, 杜仲是世界上“最高质量的降压药”, 并通过集约化种植, 生产出高品质的杜仲茶^[47]。

目前杜仲茶产品主要以 2 种方式呈现, 一种是以杜仲绿叶为原料, 经传统工艺制作成杜仲茶, 该产品具有杜仲特有的清香, 具有良好的保健功效, 比如补肝护肺、降血压等。另一种是以杜仲为辅料, 添加于传统茶叶中, 共同加工制作成茶叶, 此方式可适当降低杜仲本身带来的苦感。杜仲茶有杜仲红茶和绿茶, 工艺流程一般如下:

杜仲叶 → 挑选 → 清洗 → 杀青 → 叶打 → 揉捻 → 炒干 → 冷却 → 切叶 → 焙煎 → 过筛 → 混合 → 灭菌 → 包装 → 入库^[48,49]。

3.2 杜仲胶囊

随着对杜仲的认识加深, 人们开始将杜仲的保健功效融入食品当中, 制作杜仲保健食品, 比如杜仲胶囊、杜仲制剂等。张康健等^[10]以杜仲叶为原料, 研发了“杜仲叶胶囊”, 送往陕西省疾病预防控制中心进行了毒理学动物实验, 结果表明其无毒副作用, 并批准为增强免疫力的保健

品(G20070052)。

3.3 杜仲果冻

杜仲产品也以方便副食品出现在大众视野,一般将杜仲粉末或杜仲提取液加入食品原材料当中,经加工制作成杜仲产品,如杜仲果冻、杜仲饼干等。宗留香等^[50]根据老年人的生理特点及食用要求,研制出杜仲茶果冻,确定杜仲茶果冻的最佳配方为杜仲茶液 10%,卡拉胶 0.06%,CMC-Na 0.1%,白砂糖 8%,甜叶菊溶液 1.5%,柠檬酸 0.2%,柠檬酸钠 0.02%,草莓香精 0.05%~0.1%,该食品符合老年人的身体特点,能促进机体代谢,增强细胞活力,抗衰老、抗疲劳作用显著。

3.4 杜仲饮品

杜仲饮品主要是以杜仲提取物为原料,配以其他辅料,加工制作成饮品,比如,冷桂华等人以杜仲叶提取液、白糖等为主要原料,利用酵母菌、醋酸菌混合发酵,真空浓缩后再与酸奶粉、甜味剂、酸味剂等调配,采用恰当的固体饮料工艺,制成低热量具有保健作用的发酵固体饮料^[51]。2010年,张康健等^[10]以杜仲叶为原料,研发了“杜仲叶饮料”,并批准为增强免疫力和缓解体力疲劳的双功能保健食品(G20110321)。

3.5 在其他食品中的应用

杜仲除了制作茶和饮料长期饮用,还有的将杜仲叶研磨成粉末添入糖果、饼干、挂面等食品中^[10]。调查者发现,现市面上流通的杜仲加工产品以杜仲皮为主,将其制作药材,其次是以杜仲叶制作的茶和饲料,但还有部分企业已经开始生产杜仲籽油、杜仲雄花茶、杜仲胶、杜仲酒等杜仲功能性食品^[52]。目前,湖南省某公司发现一种亚麻酸含量较高的杜仲,并与高校合作研发了杜仲系列产品,首先是杜仲袋泡茶,后又相继研发出了杜仲籽油、杜仲籽蛋白、杜仲籽胶囊及杜仲胶等产品^[52]。

中国杜仲功能食品、饮品开发主要集中在贵州、湖南、河南等地,主要开发的也是杜仲口服液、杜仲酒、杜仲酱油、杜仲醋、杜仲可乐等,其中杜仲茶的生产规模最大,占据了杜仲食品产量的 60%。但近年来杜仲保健品的开发并不理想,存在销路不畅,市场没有打开的状况,主要是杜仲保健品的生产存在较大的盲目性,产品质量差,品种结构失调。因此,我们应加强杜仲的基础研究,提高加工技术,开发高附加值的杜仲产品,并以此带动杜仲产业的发展。

4 展 望

近些年来,国内外学者纷纷对杜仲的活性成分及营养价值 and 保健功效进行了深入研究,但杜仲仍有较大的研究空间和开发潜力,主要体现在以下 3 个方面:

(1)杜仲活性成分及营养成分丰富,但目前杜仲的活性成分研究范围仍有限,杜仲中还有许多活性成分及其代谢物尚不明确。需进一步研究其活性成分及代谢物,了解其动力学过程,为其机制的研究和开发提供更好的依据。

(2)传统医学对杜仲的保健功效描述虽然很多,如杜仲的降血脂及血糖,增强免疫力等,但其研究多限于溶剂提取物,其活性成分及作用机制并不透彻,对杜仲加工过程中活性成分的变化研究也比较少。故深入系统地研究杜仲活性成分的结构、分离、提取、筛选、作用机制及加工过程中活性物质的变化亟不可待,为进一步开发杜仲新功能食品提供技术基础。

(3)杜仲大部分研究对象在其药理作用,运用于医药领用较多,而杜仲叶作为 2019 年药食同源新试点物质之一,在食品领域的研究较少。现有的产品多把杜仲作为一种辅料,或粗加工成杜仲茶及代用茶等,产品档次低,技术含量低,重复建设严重,品种结构失调,并没有充分发挥杜仲相关功效成分的作用。因此可深入研究杜仲食品的工业化技术,比如杜仲营养保存技术、杜仲活性成分提取强化技术等,从而提高杜仲产品质量。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015.
State Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the people's republic of China [M]. Beijing: China Pharmaceutical Science and Technology Press, 2015.
- [2] 黄丽莉, 段玉芳, 杨春霞. 杜仲综合开发利用及产业化发展探讨[J]. 农学学报, 2013, 3(6): 57-60.
Huang LL, Duan YF, Yang CX. Discussion on the comprehensive utilization and industrialization of *Eucommia ulmoides* [J]. J Agric, 2013, 3(6): 57-60.
- [3] 高均凯, 杜红岩, 菅根柱, 等. 现代杜仲产业发展状况及相关政策研究[J]. 林业经济, 2014, (11): 83-88.
Gao JK, Du HY, Jian GZ, et al. Development of modern *Eucommia* industrialization and related policies [J]. For Econ, 2014, (11): 83-88.
- [4] 程科智. 杜仲化学成分及抗氧化活性研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2017.
Cheng KZ. Study on the chemical constituents and antioxidant activity of *Eucommia ulmoides* [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2017.
- [5] 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. The chemical active components and pharmacology of *Eucommia ulmoides* [J]. Asia-Pacific Tradit Med, 2013, 9(5): 82-83.
- [6] 左涛, 宋航. 杜仲中环烯醚萜类物质对性激素转化的调控作用[J]. 化工进展, 2016, 35(2): 319-323.
Z T, Song H. Regulation effects of *Eucommia iridoids* on sex hormone transformation [J]. Chem Ind Eng Prog, 2016, 35(2): 319-323.
- [7] 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.
Wang JJ, Qin XM, Gao XX, et al. Research progress on chemical compounds, pharmacological action, and quality status of *Eucommia ulmoides* [J]. Chin Tradit Herb Drug, 2017, 48(15): 3228-3237.

- [8] 刘聪, 郭非非, 肖军平, 等. 杜仲不同部位化学成分及药理作用研究进展[J]. 中国中药杂志, 2020, (1): 1-17.
Liu C, Guo FF, Xiao JP, *et al.* Research progress in chemical constituents and pharmacological action of different parts of *Eucommia ulmoides* [J]. Chin J Tradit Chin Med, 2020, (1): 1-17.
- [9] 王亚洁, 何玉钰. 今年杜仲茶成分及工艺探讨[J]. 科学教育, 2017, (7): 192.
Wang YJ, He YY. Discussion on the composition and technology of *Eucommia* tea this year [J]. Sci Edu, 2017, (7): 192.
- [10] 张康健, 马希汉. 杜仲次生代谢物与人类健康[M]. 北京: 西北农林科技大学出版社, 2013.
Zhang KJ, Ma XH. Secondary metabolites of *Eucommia ulmoides* and human health [M]. Beijing: Northwest Agricultural and Forestry University Press, 2013.
- [11] Tohidi B, Rahimmalek M, Arzani A. Essential oil composition, total phenolic and flavonoid contents, and antioxidant activity of thymus species collected from different regions of iran [J]. 2017, (1): 153-161.
- [12] 唐芳瑞, 张忠立, 左月明, 等. 杜仲叶黄酮类化学成分[J]. 中国实验方剂学杂志, 2014, 20(5): 90-92.
Tang FR, Zhang ZL, Zuo YM, *et al.* Chemical components of flavonoids of *Eucommiae folium* [J]. Chin J Experim Traditi Med Formu, 2014, 20(5): 90-92.
- [13] 叶宏, 马娟, 黎干文, 等. 杜仲叶中绿原酸的最佳水提取工艺研究[J]. 企业技术开发, 2012, 31(2): 179-180.
Ye H, Ma J, Li GW, *et al.* Study on the best water extraction technology of chlorogenic acid from *Eucommia ulmoides* leaves [J]. Technol Dev Enter, 2012, 31(2): 179-180.
- [14] 刘荣华, 唐芳瑞, 陈兰英, 等. 不同产地杜仲叶中 5 种主要有效成分的含量比较[J]. 中国实验方剂学杂志, 2015, 21(18): 31-34.
Liu RH, Tang FR, Chen LY, *et al.* Comparison of contents of five effective components in *Eucommiae folium* from different areas [J]. Chin J Exp Tradit Med Formul, 2015, 21(18): 31-34.
- [15] 宣志红, 浦锦宝, 梁卫青. 不同采收时期杜仲叶中活性成分变化规律的研究[J]. 中华中医药学刊, 2013, 31(6): 1336-1338.
Xuan ZH, Pu JB, Liang WQ. Research on *Eucommia* leaves active ingredient variation in different harvest periods [J]. Chin Arch Tradit Chin Med, 2013, 31(6): 1336-1338.
- [16] 张倩茹, 高颖, 李群芳, 等. 杜仲叶环烯醚萜类化合物提取工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(8): 4051-4052.
Zhang QR, Gao Y, Li QF, *et al.* Study on the extraction of iridoids from *Eucommia ulmoides* leaves [J]. Anhui Agric Sci, 2010, 38(8): 4051-4052.
- [17] 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]. 中草药, 2014, 37(2): 252-254.
Zuo YM, Zhang ZL, Wang YY, *et al.* Study on chemical constituents of iridoids from *Eucommiae folium* [J]. J Chin Med Mater, 2014, 37(2): 252-254.
- [18] 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.* The extraction and content measurement of acidic polysaccharides from *Eucommia ulmoides* leaves [J]. Sci Silvae Sinicae, 2006, 42(10): 59-64.
- [19] 张学俊, 伊廷金, 孙黔云, 等. 杜仲叶多糖的提取分离、抗补体活性及结构研究[J]. 天然产物研究与开发, 2011, 23(4): 606-611.
Zhang XJ, Yi TJ, Sun QY, *et al.* Isolation, anti-complement activities, and chemical structures of polysaccharide from *Eucommia ulmoides* leaves [J]. Nat Prod Res Dev, 2011, 23(4): 606-611.
- [20] 苏卓, 郭诚, 梁韬. 杜仲多糖对链脉佐菌素致糖尿病小鼠的作用[J]. 中国实验方剂学杂志, 2016, 22(14): 159-162.
Suo Z, Guo C, Liang T. Effects of *Eucommiae* cortex polysaccharide on streptozotocin-induced diabetic mice [J]. Chin J Exp Tradit Med Formul, 2016, 22(14): 159-162.
- [21] Zhang L, Ji X, Tan B, *et al.* Identification of the composition of fatty acids in *Eucommia ulmoides* seed oil by fraction chain length and mass spectrometry [J]. Food Chem, 2010, 121: 815-819.
- [22] Hirata T, Kobayashi T, Wada A, *et al.* Anti-obesity compounds in green leaves of *Eucommia ulmoides* [J]. Bioorg Med Chem Lett, 2011, 21: 1786-1791.
- [23] Bajalan I, Zand M, Good AM, *et al.* Antioxidant activity and total phenolic and flavonoid content of the extract and chemical composition of the essential oil of *Eremostachys laciniata* collected from Zagros [J]. Asian Pacific J Tropical lomed, 2017, 7(2): 144-146.
- [24] 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. Chemical constituents and pharmacology of *Eucommia ulmoides* Oliv. [J]. Chin J Clin Pharm Ther, 2015, 20(6): 713-720.
- [25] 马伟, 曾里, 程健, 等. 杜仲茶辅助降血脂功能评价研究[J]. 食品科技, 2016, (6): 43-45.
Ma W, Zeng L, Cheng J, *et al.* Function evaluation of *Eucommia* tea auxiliary hypolipidemic action [J]. Food Sci Technol, 2016, (6): 43-45.
- [26] 张红霞, 杨丹丹, 王凤, 等. 杜仲叶乙醇提取物的降糖作用机理[J]. 食品科学, 2014, (17): 197-203.
Zhang HX, Yang DD, Wang F, *et al.* Ethanol extract of *Eucommia ulmoides* leaves inhibits alpha-glucosidase in caco-2 cells [J]. Food Sci, 2014, (17): 197-203.
- [27] 潘亚磊, 翟远坤, 牛银波, 等. 杜仲防治骨质疏松症的研究进展[J]. 化学与生物工程, 2013, 30(7): 6-9.
Pan YL, Zhai YK, Niu YB, *et al.* Research progress on *Eucommia ulmoides* Oliv. prevention and treatment of osteoporosis [J]. Chem Bioeng, 2013, 30(7): 6-9.
- [28] 马山, 卢少海, 田景振. 杜仲药效成分和药理学研究概况[J]. 食品与药品, 2013, 15(6): 449-451.
Ma S, Lu SH, Tian JZ. Overview on medicinal ingredients and pharmacological effects of *Eucommia ulmoides* Oliv. [J]. Food Drug, 2013, 15(6): 449-451.
- [29] 周张玖智, 侯加卫, 任盟乔, 等. 京尼平苷酸对 APP/PS1 小鼠学习记忆能力及脑内淀粉样蛋白沉积的影响[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2019, 37(3): 382-388.
Zhouzhang JZ, Hou JW, Ren MQ, *et al.* Effect of geniposidic acid on learning and memory abilities and β -amyloid aggregations in APP/PS1 mice [J]. J Shihezi Univ (Nat Sci Ed), 2019, 37(3): 382-388.
- [30] 范玉洁, 王江英, 唐蕾, 等. 杜仲叶提取物对乙醇导致的小鼠小脑和大脑皮层 DNA 损伤的保护作用[J]. 河南大学学报(自然科学版), 2019, 49(6): 675-680.
Fan YJ, Wang JY, Tang L, *et al.* Protective effect of eucommia folium extract against DNA damage in cerebellum and cerebral cortex of mice induced by ethanol [J]. J Henan Univ (Nat Sci Ed), 2019, 49(6): 675-680.
- [31] 姚丽娜. 杜仲的化学成分研究[D]. 天津: 天津大学, 2010.
Yao LN. Studies on the chemical constituents of *Eucommia ulmoides* [D]. Tianjin: Tianjin University, 2010.

- [32] 欧阳冬生. 杜仲研究进展[C]. 第七届中国杜仲产业发展高峰论坛文集, 2017.
Ouyang DS. Research progress of *Eucommia ulmoides* Oliv. [C]. Collected works of the 7th China Eucommia Industry Development Summit Forum, 2017.
- [33] 欧阳冬生. 杜仲药理学研究进展与产业转化战略[C]. 第六届中国杜仲产业发展高峰论坛, 2016.
Ouyang DS. Research progress and industrial transformation strategy of *Eucommia ulmoides* pharmacology [C]. The Sixth China Eucommia Industry Development Summit Forum, 2016.
- [34] 刘晓河, 王治宝, 梁惠花, 等. 杜仲多糖清除亚硝酸盐作用的研究[J]. 河北北方学院学报(医学版), 2009, 26(4): 11-12.
Liu XH, Wang YB, Liang HH, et al. Study on the scavenging effect of *Eucommia* polysaccharide on nitrite [J]. J Hebei North Univ (Med Ed), 2009, 26(4): 11-12.
- [35] Zhu MQ, Sun RC. *Eucommia ulmoides* Oliver.: A potential feedstock for bioactive products [J]. J Agric Food Chem. 2018, 66, 5433-5438.
- [36] 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. Study on the bacteriostasis effects of folium *Eucommiae* extracting solution on five common bacteria *in vitro* [J]. J Tradit Chin Veter Med, 2018, 37(2): 51-52.
- [37] 目鸟幸一, 小桥茂木, 太村利武, 等. 杜仲叶提取物对喂食高脂肪食物白鼠的血浆及肝脏脂肪的影响[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.
Muniao XY, Xiaoqiao MM, Taicun LW, et al. Effects of *Eucommia ulmoides* leaves extract on plasma and liver fat of rats fed with high fat food [M]. Beijing: China Forestry Press, 1999.
- [38] 欧爱明, 薛立群, 邓洽邦. 杜仲叶粉对鸡肉用性能影响的研究[J]. 动物医学进展, 2004, 25(5): 104-109.
Ou AM, Xue LQ, Deng YB. Effects of *Eucommia ulmoides* Oliver. leaves powder on performance of chickens [J]. Prog Veter Med, 2004, 25(5): 104-109.
- [39] 王一民, 郭飞, 熊勃. 杜仲多糖改善运动疲劳的研究[J]. 中国应用生理学杂志, 2016, 32(2): 151-153.
Wang YM, Guo F, Xiong B, et al. Study of *Eucommia ulmoides* polysaccharide on improvement in exercise fatigue [J]. Chin J Appl Physiol, 2016, 32(2): 151-153.
- [40] Kim DK. Antioxidant effect of dried zingiber officinalis in caenorhabditis elegans [C]. Chinese Society of Pharmacognosy Chinese Pharmaceutical Association, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, 2016.
- [41] 曾桥, 韦承伯, 吕生华. 杜仲叶主要活性成分研究进展[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(34): 133-135.
Zeng Q, Wei CB, Lv SH. Research progress on main active components of *Eucommia ulmoides* leaves [J]. J Anhui Agric Sci, 2017, 45(34): 133-135.
- [42] 李燕舞, 姜八一, 刘建胜, 等. 杜仲叶提取物对肉兔生长性能及血清生化、免疫与抗氧化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2019, 31(2): 824-830.
Li YW, Jiang BY, Liu JS, et al. Effects of *Eucommia ulmoides* leaf extracts on growth performance, serum biochemical, immune and antioxidant indexes of meat rabbits [J]. Chin J Anim Nutr, 2019, 31(2): 824-830.
- [43] 蒋真真, 袁带秀, 胡倩, 等. 杜仲总黄酮对小鼠急性肝损伤的保护作用[J]. 广州化工, 2016, 44(2): 69-70.
Jiang ZZ, Yuan DX, Hu Q, et al. Study on the protective effect of total flavonoids of *Eucommia ulmoides* on acute liver injury in mice [J]. Guangzhou Chem, 2016, 44(2): 69-70.
- [44] 曾文兰, 吴朝文. 杜仲黄酮对脂多糖诱导小鼠急性肺损伤的保护作用及机制[J]. 广东药科大学学报, 2019, 35(6): 1-7.
Zeng WL, Wu CW. Protective effect and mechanism of flavonoids from *Eucommia ulmoides* on LPS induced acute lung injury in mice [J]. J Guangdong Pharm Univ, 2019, 35(6): 1-7.
- [45] 袁真, 闵珺, 王恺, 等. 杜仲黄酮类 3 种药物成分治疗大鼠骨质疏松的比较研究[J]. 中国骨质疏松杂志, 2018, 24(2): 244-248.
Yuan Z, Min J, Wang K, et al. effects of different pharmacological components of *Eucommia ulmoides* flavonoids on postmenopausal osteoporosis [J]. Chin J Osteoporosis, 2018, 24(2): 244-248.
- [46] 黄丽莉, 段玉芳, 杨春霞. 杜仲综合开发利用及产业化发展探讨[J]. 农学报, 2013, 3(6): 57-60.
Huang LL, Duan YF, Yang CX. Discussion on the comprehensive utilization and industrialization of *Eucommia ulmoides* [J]. J Agric, 3(6): 57-60.
- [47] 相辉, 郑红星, 杜林杉, 等. 杜仲叶中活性成分积累变化规律[J]. 安徽农业科学, 2016, (1): 182-183.
Xiang H, Zheng HX, Du BB, et al. The accumulated variation of the active ingredient in *Eucommia ulmoides* leaves [J]. J Anhui Agric Sci, 2016, (1): 182-183.
- [48] 郭雅玲. 武夷红茶发酵技术要领[J]. 福建茶叶, 2010, 2: 48-49.
Guo YL. Key points of Wuyi black tea fermentation technology [J]. Tea Fujian, 2010, 2: 48-49.
- [49] 罗秀阳, 田呈瑞. 杜仲叶保健作用及其在食品加工中的应用[J]. 晋东南师范专科学校学报, 2003, 20(5): 36-38.
Luo XY, Tian CR. Health function of *Eucommia* leaves and its application in food processing [J]. J Jindongnan Norm Coll, 2003, 20(5): 36-38.
- [50] 宗留香, 毛薇, 肖青苗. 杜仲茶果冻的研究[J]. 食品工业科技, 2005, 26(4): 140-142.
Zong LX, Mao W, Xiao QM. Development of *Eucommia* tea jelly [J]. Sci Technol Food Ind, 2005, 26(4): 140-142.
- [51] 冷桂华. 杜仲发酵固体饮料的研制[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(11): 110-113.
Leng GH. Study on solid fermented beverage of *Eucommia ulmoides* [J]. Food Res Dev, 2007, 28(11): 110-113.
- [52] 王效宇, 陈毅峰, 伍江波, 等. 湖南省杜仲产业现状调查[J]. 经济林研究, 2016, 34(4): 158-162.
Wang XY, Chen YF, Wu JB, et al. Investigation of current situation of *Eucommia ulmoides* industry in Hunan province [J]. Econ For Res, 2016, 34(4): 158-162.

(责任编辑: 于梦娇)

作者简介

王亮亮, 工程师, 主要研究方向为食品质量与安全。

E-mail: 827289007@qq.com

唐小兰, 高级工程师, 主要研究方向为食品检测。

E-mail: Tangxiaolan1968@163.com