

杜仲叶药用品质评价及安全利用的影响因素研究进展

张国霞^{1,2}, 杨莹³, 李群⁴, 杨帆¹, 周鑫伟¹, 周颖¹, 张家春^{1,2*}

1. 贵州省植物园, 贵州 贵阳 550004
2. 贵州中医药大学, 贵州 贵阳 550025
3. 遵义市种植业发展服务中心, 贵州 遵义 563000
4. 贵阳生产力促进中心, 贵州 贵阳 550004

摘要: 杜仲叶 *Eucommiae Folium* 作为一种药食同源中药, 具有较高的药用价值。其药用品质特征主要由有效成分、重金属及微量元素 3 类指标共同决定, 分别关联药用功效、安全风险及营养增益。通过收集并整理相关文献, 系统分析了生长年限、采收时期、产地及种植模式对杜仲叶品质的影响规律, 讨论杜仲叶药用品质的影响因素及其影响机制。并深入了解杜仲叶药用潜力, 及对杜仲叶下一步在品质、采收时期、种植模式的研究内容进行展望, 为杜仲叶的质量控制及资源合理开发利用提供参考依据。

关键词: 杜仲叶; 有效成分; 微量元素; 重金属; 影响因素

中图分类号: R282 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2025)15-5632-13

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2025.15.028

Research progress on influencing factors of medicinal quality evaluation and safe utilization of *Eucommiae Folium*

ZHANG Guoxia^{1,2}, YANG Ying³, LI Qun⁴, YANG Fan¹, ZHOU Xinwei¹, ZHOU Ying¹, ZHANG Jiachun^{1,2}

1. Guizhou Botanical Garden, Guiyang 550004, China
2. Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang 550025, China
3. Zunyi Plantation Development Service Center, Zunyi 563000, China
4. Guiyang Productivity Promotion Center, Guiyang 550004, China

Abstract: Duzhongye (*Eucommiae Folium*), as a traditional Chinese medicine with medicinal and edible homology, possesses high medicinal value. Its medicinal quality characteristics are mainly determined by three categories of indicators: Effective components, heavy metals and trace elements, which are respectively related to medicinal efficacy, safety risk and nutritional gains. By collecting and sorting out relevant literature, the effects of growth years, harvest periods, producing areas and planting patterns on the quality of *Eucommiae Folium* were systematically analyzed, and the influencing factors and their mechanism of the medicinal quality of *Eucommiae Folium* were discussed. In addition, this paper deeply understands the medicinal potential of *Eucommiae Folium*, and prospects future research on its quality, harvest periods and planting patterns, to provide a reference for the quality control of *Eucommiae Folium* and the rational development and utilization of its resources.

Key words: *Eucommiae Folium*; active components; trace elements; heavy metals; influence factors

杜仲叶为杜仲科杜仲属药用植物杜仲 *Eucommia ulmoides* Oliv. 的干燥叶, 具有补肝肾、强筋骨的功效^[1]。其应用历史悠久, 早在《本草图经》中就有关于其食用及药用价值的记载。2005 年载入

《中国药典》, 2023 年通过食用安全性评价正式列入药食同源目录, 成为食品和保健品开发的有力资源^[2], 杜仲叶的价值得到进一步挖掘。杜仲叶具有年产量高、成本低、质量优且可再生的优势^[3], 促进杜仲叶

收稿日期: 2025-03-20

基金项目: 贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2021]一般491); 贵州省省级科技特派员创新创业服务-培训示范点(示范基地)建设项目

作者简介: 张国霞, 女, 硕士研究生, 研究方向为中药学。E-mail: zhangguoxia2024@163.com

*通信作者: 张家春, 男, 正高级工程师, 从事药用植物栽培研究。E-mail: zhangjiachun198806@163.com

在药用食用方面的广泛应用，如杜仲叶在治疗高血压^[4]、脂肪肝^[5]、高血脂症^[6]等方面具有较好的治疗作用；并且杜仲叶作为功能性保健食品：杜仲叶茶^[7]、杜仲叶甜米酒^[8]等，也备受青睐。然而，目前关于杜仲叶的研究仍存在诸多空白，尤其是其药用品质特征及影响因素尚未得到系统深入的探究。

中药材的品质，关系着人们的用药安全和临床治疗效果，因此其品质问题一直备受关注^[9]。杜仲叶作为药食同源资源，其品质更为重要。优质的杜仲叶不仅能充分发挥药用和食用价值，还能保障使用者的健康。本文从功效性、安全性与营养价值方面考虑，在对杜仲叶品质特征进行分析时，选取了有效成分、重金属及微量元素 3 类关键指标展开深入分析。其中，杜仲叶中的有效成分绿原酸、桃叶珊瑚苷、京尼平苷酸及芦丁等，可直接参与调节血压、清除自由基等关键药理作用^[10]，是杜仲叶发挥药效的重要指标成分；重金属因具有高毒性及环境富集特性，被列为安全风险评价标志物^[11-12]，以镉、铅、砷、汞、铬、铜作为保障杜仲叶安全性的指标；微量元素则因兼具双重功能，既支撑杜仲叶次生代谢产物的生物合成^[13]，又通过调节免疫、抗氧化等途径影响人体健康^[14]，其中，锌、硒、铁、锰是药用植物中常见的微量元素，可作为“药效-营养”关联性评价的关键指标。因此，选择以上 4 种有效成分、6 种重金属、4 种微量元素作为杜仲叶品质特征指标，3 类指标分别从“正向功效”“负向风险”“协同增益”3 个维度进行探讨杜仲叶品质特征，为其高质量发展提供科学依据。

中药材的品质受到诸多因素的影响，如品种、生态环境及人为活动等因素。其中品种差异导致化学成分合成与积累模式不同，优良品种在有效成分合成上更具优势^[15]；采收时机的选择直接影响化学成分含量，适宜采收可确保其处于较高水平^[16]；生长环境中的光照、温度、水分及土壤肥力不仅调控

化学成分的合成与积累，还显著影响微量元素的吸收与分布^[17-18]；此外，受污染的土壤、大气及灌溉水是重金属积累的主要来源^[19-20]，而栽培管理设施和加工方法的选择也会对化学成分含量产生显著影响^[21-22]。本文通过系统梳理和总结，全面了解这些因素对杜仲叶品质的影响规律，深入探究如何保障和提升杜仲叶的品质，为杜仲叶的种植、加工和应用提供有价值的参考。

1 杜仲叶有效成分研究现状

杜仲叶具有抗氧化、降血压、调血脂、神经保护等药理活性，这与杜仲叶中含有的多种成分有关，桃叶珊瑚苷具有神经保护、抗炎、抗氧化、抗菌、抗肿瘤等药理作用^[23]，临床上可通过减轻神经炎症反应和调节神经递质治疗癫痫^[24]。京尼平苷酸具有抗氧化、抗衰老、抑制癌细胞等活性，是杜仲叶调脂的有效成分之一，并且还是抗非酒精性脂肪肝活性成分，具有较强的抗衰老能力^[25]。绿原酸是《中国药典》中用于品质评价的指标性成分，具有抗氧化、抗炎、抗菌、抗病毒、双向调整血压、抗肿瘤等药理作用^[26]，是杜仲叶降压的主要原因。芦丁具有良好的抗炎、抗氧化和肾脏保护作用^[27]，是杜仲叶发挥抗氧化作用的有效成分之一^[10]。因此，以桃叶珊瑚苷、京尼平苷酸、绿原酸、芦丁为衡量杜仲叶药用价值的有效成分。

1.1 不同生长年限杜仲叶有效成分特征

杜仲叶中有效成分在药用中发挥着重要作用，其含量的高低直接决定杜仲叶药用品质的优劣。为了探索不同生长年限对杜仲叶中有效成分的影响，收集了小于 10 年、10~20 年、大于 20 年杜仲叶中桃叶珊瑚苷、京尼平苷酸、绿原酸、芦丁的含量^[21,28-37]，见表 1。表明绿原酸、京尼平苷酸 2 种成分在 10~20 年含量较高，绿原酸含量在 20 年之后明显减少，且与小于 10 年、10~20 年具有显著性；桃叶珊瑚苷与芦丁含量在不同年限中的变化趋势均与生长年

表 1 不同生长年限杜仲叶有效成分含量 ($\bar{x} \pm s$)

Table 1 Contents of active ingredients in *Eucommiae Folium* from different growth years ($\bar{x} \pm s$)

年限	质量分数/%			
	绿原酸	京尼平苷酸	桃叶珊瑚苷	芦丁
<10 年	2.18±0.11 ^a	0.45±0.07 ^b	1.14±0.10 ^a	0.19±0.02 ^a
10~20 年	2.33±0.19 ^a	2.02±0.26 ^a	1.04±0.12 ^{ab}	0.12±0.01 ^a
>20 年	1.49±0.18 ^b	0.51±0.11 ^b	0.65±0.22 ^b	0.08±0.01 ^a

不同小写字母表示有显著差异 ($P < 0.05$)；下同。

Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$), same as below.

限呈负相关,其中,小于10年的桃叶珊瑚苷含量与大于20年的具有显著性。杜仲叶有效成分含量与树龄呈非线性关系,其中绿原酸、京尼平苷酸在10~20年树龄时积累最多,可能与成年期次生代谢旺盛相关。这一趋势与银杏叶“代谢窗口期”现象一致^[38],提示木本药材存在最佳药用年龄阈值。张康健等^[35]研究表明不同树龄的次生代谢物含量不同,绿原酸与桃叶珊瑚苷含量随着树龄的增长而降低,杜仲胶则相反,这与叶的发育程度有关。随着树龄增长,资源分配转向其他代谢路径。从而促使绿原酸等次生代谢物含量随着树龄的增长而降低。

1.2 不同采收时期杜仲叶有效成分特征

药材中所含药用成分与采收时间密切相关^[39]。杜仲叶中药用成分同样也和采摘时间有关,为了探索杜仲叶的最佳采收时期,寻找有效成分的积累规律,收集并整理了4~12月的杜仲叶中绿原酸、京尼平苷

酸、桃叶珊瑚苷、芦丁的含量^[21,23,28,31,34-37,40-60],见图1。绿原酸在4~12月含量变化规律是先高后低的趋势波动,4月绿原酸质量分数达到峰值,为3.01%;其次是11月,绿原酸质量分数达到2.98%。张康健等^[35]研究表明杜仲叶在11月次生代谢物含量增加主要与其生理休眠期的代谢特性及初级与次级代谢的时序关系有关。同时,此时杜仲已度过生长高峰,初级代谢减弱,资源更多转向次生代谢途径,加之环境胁迫可能激活防御反应,进一步促进次生代谢物的合成与积累。京尼平苷酸含量在6月达到最高值,12月达到最低值,且6月京尼平苷酸含量比12月高7.73倍。桃叶珊瑚苷含量在4~12月变化规律是从4月开始升高,9月达到最高,此时桃叶珊瑚苷质量分数达到2.0%。芦丁含量在4~12月的含量变化波动不大,但12月最低。因此,建议杜仲叶的采收期在春秋2季进行较好。

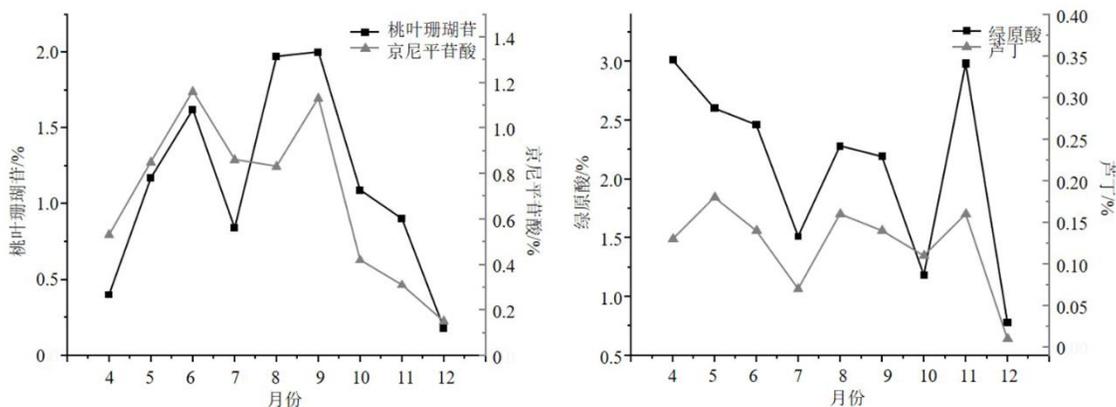


图1 杜仲叶不同月份中有效成分含量变化图

Fig. 1 Variation in active ingredient contents in *Eucommiae Folium* in different months

1.3 不同产地杜仲叶有效成分特征

中药品质除了受采收时期与生长年限影响外,还极易受到地理位置的影响,为了掌握不同产地杜仲叶中有效成分含量的变化特点与规律,收集并整理主要产地杜仲叶中桃叶珊瑚苷、京尼平苷酸、绿原酸、芦丁含量^[15-18,22-23,26,28-33,35-37,40-48,50,52-88],见表2。绿原酸的含量变化规律为山西>陕西>江西>四川>重庆>湖北>河南>湖南>贵州>北京>上海,其中,山西产地杜仲叶中绿原酸质量分数高达3.01%,与上海、北京具有显著差异,相较于《中国药典》2020年版规定的0.08%多出37.63倍。京尼平苷酸含量在不同产地间的变化规律为江西>陕西>河南>重庆>湖南=湖北>山西>贵州>北京>上海>四川,江西产地杜仲叶中京尼平苷酸质量分数为1.78%,且与重庆、湖南、四川等地具

有显著差异,其中,江西产地的京尼平苷酸含量是四川产地的9.37倍。桃叶珊瑚苷质量分数在陕西产地最高,为2.32%;芦丁含量在几个产地中没有显著差异。不同产地杜仲叶有效成分含量差异显著,主要受地理环境和栽培管理影响。刘荣华等^[43]研究表明,导致南北区域杜仲叶有效成分含量差异的原因是产地差异导致化学成分自然变异;气候条件影响样品处理效果,北方干燥利于快速干燥保存成分,而南方潮湿延缓干燥过程,易使不稳定成分发生酶解降解。

1.4 不同林分类型杜仲叶有效成分特征

杜仲属于乔木植物,随着杜仲叶药用和食用价值被发现,杜仲叶在医药和食品领域得到了广泛应用。由于杜仲叶的需求量持续增加,杜仲叶的采摘便成为一个难题,研究发现,可运用特定的栽培技

表2 不同产地杜仲叶有效成分含量 ($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Contents of active ingredients in *Eucommiae Folium* from different producing areas ($\bar{x} \pm s$)

产地	质量分数/%			
	绿原酸	京尼平苷酸	桃叶珊瑚苷	芦丁
湖南	1.98 ± 0.12 ^{abc}	0.47 ± 0.05 ^b	0.95 ± 0.12 ^a	0.12 ± 0.01 ^a
陕西	2.56 ± 0.11 ^a	1.02 ± 0.15 ^{ab}	2.32 ± 0.24 ^a	0.23 ± 0.05 ^a
贵州	1.52 ± 0.13 ^{abc}	0.44 ± 0.08 ^b	1.03 ± 0.19 ^a	0.11 ± 0.01 ^a
四川	2.18 ± 0.22 ^{ab}	0.19 ± 0.07 ^b	1.87 ± 0.26 ^a	0.12 ± 0.04 ^a
北京	0.79 ± 0.22 ^{bc}	0.33 ± 0.07 ^b	0.26 ± 0.17 ^a	—
河南	1.99 ± 0.09 ^{abc}	0.84 ± 0.06 ^{ab}	1.52 ± 0.17 ^a	0.21 ± 0.02 ^a
湖北	2.04 ± 0.34 ^{abc}	0.47 ± 0.25 ^b	1.68 ± 0.69 ^a	0.18 ± 0.13 ^a
重庆	2.15 ± 0.58 ^{abc}	0.50 ± 0.07 ^b	0.70 ± 0.28 ^a	0.13 ± 0.01 ^a
上海	0.60 ± 0.07 ^b	0.26 ± 0.07 ^b	0.54 ± 0.13 ^a	—
山西	3.01 ± 0.33 ^a	0.46 ± 0.14 ^b	2.18 ± 0.64 ^a	0.22 ± 0.05 ^a
江西	2.21 ± 0.24 ^{ac}	1.78 ± 0.53 ^a	1.20 ± 0.27 ^a	0.20 ± 0.04 ^a

术使高大乔木矮化，从而便于采集杜仲叶^[21]。为了探究矮化是否对杜仲叶中有效成分产生影响，收集并整理矮化杜仲叶和非矮化杜仲叶中绿原酸、京尼平苷酸、桃叶珊瑚苷和芦丁的含量^[21,29,34,82,89-93]，结果见图2。杜仲叶4个成分的含量均是矮化林>非矮化林，其中，绿原酸与芦丁含量在非矮化林和矮化林中存在显著差异，说明矮化林叶更具优势。矮化林杜仲叶有效成分含量高于非矮化林的原因可能为(1)矮化林杜仲通过定期修剪实现1年2次采收，叶片保持幼嫩状态，而幼叶中次生代谢产物含量通常高于成熟叶。非矮化林杜仲采收间隔长，叶片老化可能导致部分活性成分降解^[21,68]。此外，矮化林的密植和集约化管理有助于维持叶片品质^[33]。(2)

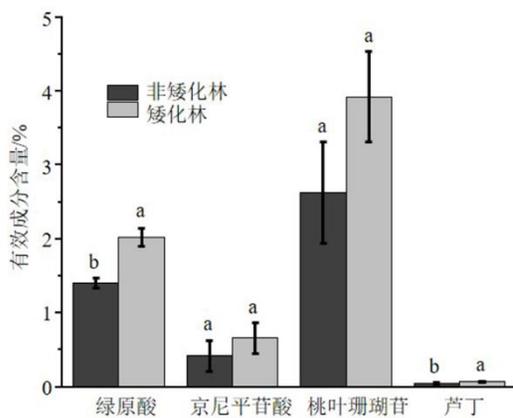
频繁修剪等机械胁迫会激活植物的防御反应，调控内源激素信号通路，促进次生代谢产物的合成与积累，从而提高有效成分含量^[94]。矮化林杜仲因持续修剪而维持较高的代谢活性。

2 杜仲叶重金属研究现状

中药材重金属超标，会给人体健康带来极大危害，这些重金属可伴随中药进入人体，进而引发因重金属超标导致的疾病。邓新等^[95]研究表明镉对人体的危害是严重的，摄入或吸入过量的镉会对人体的免疫、泌尿、骨骼、神经、循环、生殖等系统造成损伤，还会产生致癌效应。谢文强^[96]动物实验结果表明，口服六价铬4~8周后，小鼠肝脏、肾脏、脾脏、肌肉和血液中都含有大量的六价铬，对机体组织形成较大的危害。张英等^[97]表示铅能够影响人的智力发育和骨骼发育、造成消化不良和内分泌失调、导致贫血、高血压和心律失常、破坏肾功能和免疫功能等。曹会兰^[98]研究表明砷能通过血液循环，作用于毛细血管壁，使其通透性增大，麻痹毛细血管，引起组织营养障碍，产生急性和慢性砷中毒。药用植物中的重金属主要来源于土壤、施加的农肥、加工过程中交叉污染等^[99]。重金属在药用植物中含量也与生长年限、采收期、产地、栽培模式等有关，通过分析药用植物重金属超标的主要原因，从而减少重金属对药用植物品质的影响。

2.1 不同生长年限杜仲叶重金属特征

重金属含量高低与种植年限存在关联，因此对杜仲叶不同生长年限重金属镉、铅、砷、铜的含量进行收集与整理^[36,100-104]，并参照《药用植物及制剂进出口绿色行业标准》(WM/T2-2004)和中草药重



不同小写字母表示有显著差异 ($P < 0.05$)；下同。
Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$), same as below.

图2 矮化与非矮化杜仲叶有效成分含量

Fig. 2 Contents of effective ingredients in dwarf and non-dwarf *Eucommiae Folium*

表 3 不同生长年限杜仲叶重金属含量 ($\bar{x} \pm s$)

Table 3 Contents of heavy metal in *Eucommiae Folium* with different growth years ($\bar{x} \pm s$)

生长年限	质量分数/(mg·kg ⁻¹)			
	镉	铅	砷	铜
2 年	0.04±0.00 ^b	0.33±0.01 ^b	5.33±2.51 ^a	—
5 年	0.03±0.01 ^b	0.38±0.06 ^b	5.26±5.18 ^a	—
8 年	0.04±0.00 ^b	0.50±0.04 ^b	4.57±0.82 ^a	4.47±0.25 ^b
12 年	0.28±0.07 ^a	1.96±0.24 ^a	—	7.90±0.34 ^a
WM/T2-2004	0.30	5.00	2.00	20.00
ISO 18664 : 2015	2.00	10.00	4.00	—

金属限量国际标准 (ISO 18664 : 2015) 进行评价, 结果见表 3。种植年限为 12 年的杜仲叶中镉含量最高, 且与 2、5、8 种植年限杜仲叶中镉元素含量具有显著性差异; 铅元素的含量变化规律是随着生长年限的增长而增加, 12 年铅含量达到峰值, 为 1.96 mg/kg, 与 2、5、8 年杜仲叶中铅元素含量具有显著差异; 砷元素含量变化规律是随着生长年限增长而降低的; 12 年杜仲叶中铜元素含量是 8 年杜仲叶中的 1.77 倍, 且差异显著。与 WM/T2-2004 和 ISO 18664 : 2015 标准比较, 镉、铅、铜均未超标, 砷含量均高于 2 个标准, 说明杜仲叶对砷元素的吸附较大。

2.2 不同采摘时期杜仲叶重金属特征

根据杜仲叶有效成分在不同月份中积累量, 建议在春秋 2 季采收, 但重金属影响着人类的生命健

康, 故不同采收期也要重视重金属含量变化, 收集并整理了 4~11 月杜仲叶中重金属含量^[36,46-47,52,100-107]。结果见图 3, 镉元素在 5 月与 11 月质量分数较高, 特别是 0.33、0.32 mg/kg, 超过了 WM/T2-2004 规定的 0.3 mg/kg, 10 月份最低; 铅元素质量分数在 5 月份最高, 为 2.85 mg/kg, 随后降低, 11 月回升; 砷元素在 10 月质量分数最高, 超过了 WM/T2-2004 和 ISO 18664 : 2015 标准分别规定的 2、4 mg/kg, 5 月最低, 其质量分数为 0.08 mg/kg; 铬元素与铜元素含量变化趋势相似, 均是从 4~6 月急剧下降, 在 11 月降到最低。可见, 重金属含量在不同月份中累积不同, 需要注意的是 5 月和 10 月存在重金属超标的问题, 采收时应特别重视, 在 11 月, 所有重金属含量均较低, 且 11 月杜仲叶中有效成分含量也较高, 建议可以在 11 月进行采收工作。

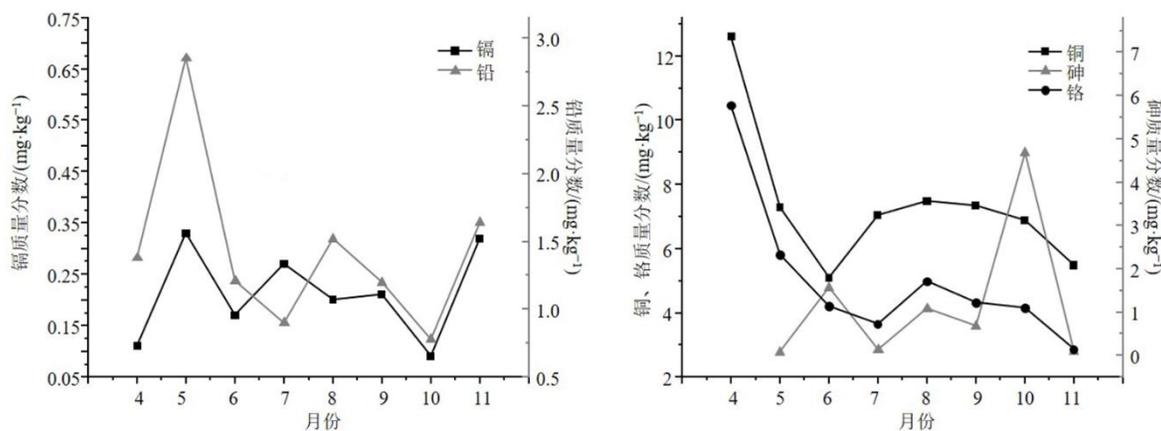


图 3 杜仲叶不同月份中重金属含量变化图

Fig. 3 Variation in heavy metal contents in *Eucommiae Folium* in different months

2.3 不同产地杜仲叶重金属特征

药用植物中重金属含量不仅与生长年限和采收期有关, 还与杜仲叶的生长环境有关。因此, 对杜仲叶在不同地区 6 种重金属含量进行收集与整理^[14,17,19,36,46-47,52,64,75,80,82,84,100-104,106-114], 结果见表 4。

镉元素在不同地区含量呈现出陕西>河南>江西>四川>重庆>湖南=广西=安徽>湖北=河北=云南的变化规律, 陕西杜仲叶中镉的质量分数最高为 0.58 mg/kg, 显著高于其他产地; 铅元素含量呈现出河南>江西>湖南>四川>重庆的变化规律,

表 4 不同产地杜仲叶重金属含量 ($\bar{x} \pm s$)

Table 4 Contents of heavy metal in *Eucommiae Folium* from different producing areas ($\bar{x} \pm s$)

产地	质量分数/(mg·kg ⁻¹)					
	镉	铅	砷	铬	汞	铜
四川	0.14±0.02 ^b	1.01±0.16 ^{bc}	0.21±0.04 ^b	3.28±0.41 ^{bc}	0.04±0.01 ^b	6.34±0.49 ^{bc}
河南	0.22±0.05 ^b	2.66±0.64 ^a	0.19±0.06 ^b	8.28±0.63 ^a	0.03±0.01 ^b	10.64±0.69 ^a
贵州	—	—	—	2.38±0.36 ^{bc}	—	5.11±0.29 ^c
陕西	0.58±0.24 ^a	—	0.86±0.02 ^b	1.51±0.57 ^c	0.46±0.19 ^a	4.86±0.25 ^c
湖南	0.02±0.01 ^b	1.98±0.58 ^{ab}	0.21±0.08 ^b	1.93±0.51 ^c	0.03±0.01 ^b	7.75±0.90 ^b
吉林	—	—	—	—	0.01±0.01 ^b	6.54±0.35 ^{bc}
江西	0.19±0.03 ^b	2.10±0.38 ^{ab}	0.25±0.05 ^b	4.81±0.63 ^b	0.11±0.03 ^b	9.94±0.75 ^a
重庆	0.04±0.00 ^b	0.44±0.02 ^c	5.42±0.84 ^a	—	—	—
广西	0.02±0.01 ^b	—	0.86±0.01 ^b	—	0.02±0.00 ^b	—
安徽	0.02±0.01 ^b	—	0.15±0.06 ^b	—	0.03±0.01 ^b	—
湖北	0.01±0.00 ^b	—	—	—	0.03±0.02 ^b	—
河北	0.01±0.00 ^b	—	0.10±0.06 ^b	—	0.03±0.02 ^b	—
云南	0.01±0.00 ^b	—	0.14±0.03 ^b	—	0.04±0.02 ^b	—
WM/T2-2004	0.30	5.00	2.00	—	0.20	20.00
ISO 18664 : 2015	2.00	10.00	4.00	—	3.00	—

河南铅质量分数为 2.66 mg/kg, 显著高于重庆和四川; 砷元素含量呈现出重庆>广西=陕西>江西>四川=湖南>河南>安徽>云南>河北的变化规律, 重庆砷质量分数为 5.42 mg/kg; 铬元素含量呈现河南>江西>四川>贵州>湖南>陕西的变化规律, 河南杜仲叶中铬质量分数为 8.28 mg/kg, 显著高于其他产地; 汞元素含量呈现出陕西>江西>四川=云南>河南=湖南=安徽=湖北=河北>广西>吉林的变化规律, 陕西汞质量分数为 0.46 mg/kg, 显著高于其他产地; 铜元素含量呈现出河南>江西>湖南>吉林>四川>贵州>陕西的变化规律, 河南杜仲叶中铜质量分数为 10.64 mg/kg, 显著高于贵州、陕西等地。陕西的镉和汞含量已超过 WM/T2-2004 标准, 重庆杜仲叶中砷元素含量超过 WM/T2-2004 和 ISO 18664 : 2015 标准。

2.4 不同林分类型杜仲叶重金属特征

杜仲矮化林与非矮化林中重金属含量的变化特征, 是矮化杜仲林发展进程中的关键考量因素之一。收集并整理杜仲矮化和非矮化叶中镉、铅、砷、铬、汞、铜元素含量^[82,90-91,107], 结果见图 4, 汞元素含量是矮化林=非矮化林, 镉、铅、砷、铬、铜均是矮化林<非矮化林。非矮化林叶中镉含量显著高于矮化林叶。参照 WM/T2-2004 和 ISO 18664 : 2015 标准, 镉、铅、砷、铬、汞、铜均没有超标。总体上, 相较于非矮化林叶, 矮化林叶中重金属含量均较低, 从重金属含量方面考察不同栽培模式杜

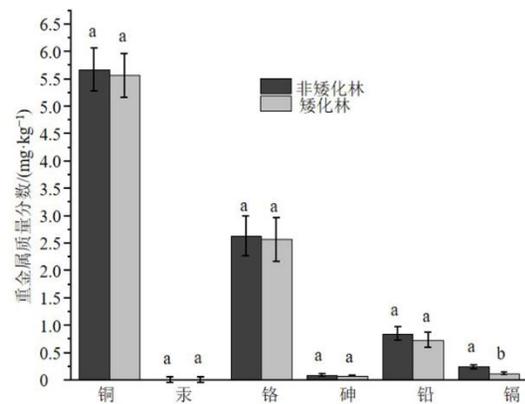


图 4 矮化与非矮化杜仲叶中重金属含量

Fig. 4 Heavy metal contents in dwarf and non-dwarf *Eucommiae Folium*

仲叶的安全性, 可以得出矮化林叶更安全, 且叶片采摘方面更具优势, 操作更为便捷, 能够有效节省时间与人力成本。

3 杜仲叶微量元素研究现状

微量元素属于人体必需物质, 尽管人体对其需求量较少, 但却能发挥一系列不可或缺的生理功能。其中, 锌、硒、铁、锰是人体必需的微量元素, 在人体中发挥着重要作用^[115-116]。同时, 杜仲叶也需要微量元素维持生长, 缺乏微量元素时会导致杜仲叶片不正常生长^[13]。微量元素在药用植物自身及人体新陈代谢过程中起着重要作用, 人体的微量元素大多是通过外界摄取。杜仲叶是药食同源的药材, 在人们生活中应用广泛, 充足的微量元素可以补充

人体缺乏的微量元素。

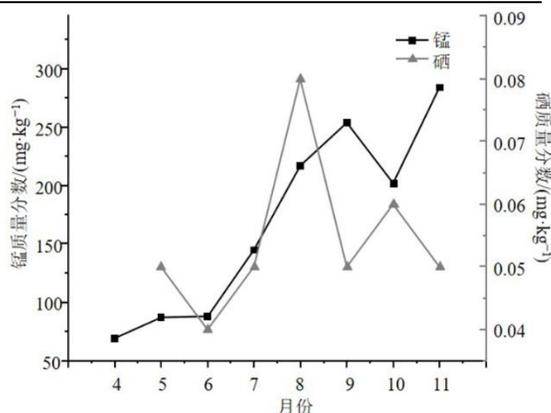
3.1 不同生长年限杜仲叶微量元素特征

药用植物中微量元素含量高低将会影响其品质，为了深入探究其在不同生长年限杜仲叶的含量，收集并整理 8、12 年杜仲叶中锌、锰、铁等微量元素的含量^[36,100-102,104]，结果见表 5，锌、锰、铁均是生长年限在 12 年的含量高于 8 年，其中锌和锰的含量差异尤为显著。若以微量元素含量作为采收依据，12 年杜仲叶可能更具药用价值。然而，现有研究仅聚焦于 8 年与 12 年的杜仲叶，数据覆盖范围有限，难以全面揭示微量元素含量随种植年限

表 5 不同生长年限杜仲叶微量元素含量 ($\bar{x} \pm s$)

Table 5 Contents of trace element in *Eucommiae Folium* with different growth years ($\bar{x} \pm s$)

年限	质量分数/(mg·kg ⁻¹)		
	锌	铁	锰
8 年	24.08 ± 2.19 ^b	305.43 ± 13.35 ^a	85.95 ± 5.89 ^b
12 年	31.26 ± 2.47 ^a	406.75 ± 58.15 ^a	170.27 ± 20.65 ^a



变化的规律。因此，未来研究可进一步扩大种植年限范围，系统分析不同生长年限杜仲叶中微量元素的动态变化，以期为杜仲叶的合理采收及品质评价提供更科学、更全面的理论依据。

3.2 不同采收时间杜仲叶微量元素特征

为了探索不同采收月份杜仲叶中微量元素累积量，收集并整理 4~11 月杜仲叶中锌、硒、铁、锰的含量^[36,46-47,100-102,104,106-107]，结果见图 5。锌元素含量在不同月份中变化规律是 4 月最高，6 月降到最低；硒元素含量变化规律是先低后高，在 8 月达到最高值为 0.08 mg/kg；铁元素含量变化规律是从 4 月后开始降低，至 8 月时降到最低，最高值是最低值的 5.56 倍；锰元素含量在不同月份中最高峰与锌和铁相反，变化趋势与铁相反，其最高峰 11 月锰质量分数为 283.86 mg/kg，是最低峰时的 4.11 倍。由此可见，这 4 种元素在不同月份的含量变化各有特点，反映了植物自身生长发育对不同元素需求的动态变化，还与外界环境因素的季节性波动密切相关。

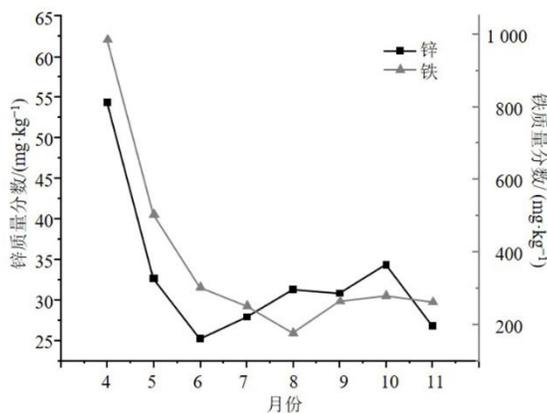


图 5 杜仲叶不同月份中微量元素含量变化图

Fig. 5 Variation in trace element contents in *Eucommiae Folium* in different months

3.3 不同产地杜仲叶微量元素特征

杜仲叶中微量元素不仅受生长年限和采摘季节的影响，还与产地有关，收集不同产地杜仲叶中微量元素含量^[14,36,46-47,52,64,75,80,82,100-102,104,106-109,111-114,117]，结果见表 6。在不同产地的杜仲叶中，锌元素含量变化规律为湖南>河南>江西>四川>贵州>吉林>陕西，湖南产地杜仲叶中锌质量分数达到 119.15 mg/kg，显著高于其他产地；硒元素含量变化规律呈江西>湖南>四川，最高的产地江西，其质量分数为 0.78 mg/kg，显著高于湖南和四川；铁元素的含量表现为河南>贵州>陕西>湖南>四川>吉林，河南杜仲叶中铁元素质量分数高达 522.59 mg/kg，显著高于其他产地；不同产地杜仲叶

锰元素含量差异显著，依次为四川>贵州>河南>陕西>吉林>湖南，四川产地锰含量显著高于湖南、陕西和吉林；贵州和河南产地锰含量显著高于湖南和吉林。表明杜仲叶中的微量元素含量在不同产地之间差异显著，并且受环境的影响较大。其中硒含量在江西产地杜仲叶中含量较高，在农业行业标准富硒茶 (NY/T 600—2002) 标准规定的硒质量分数为 0.25~4.00 mg/kg，可以考虑将江西产地杜仲叶做成富硒杜仲茶。

4 杜仲叶药用品质影响研究现状

4.1 土壤特性

土壤作为药用植物生长发育的重要基础，不仅为其提供必要的养分，还直接影响中药药效成分的

表 6 不同产地杜仲叶微量元素含量 ($\bar{x} \pm s$)

Table 6 Contents of trace element in *Eucommiae Folium* from different producing areas ($\bar{x} \pm s$)

产地	微量元素质量分数/(mg·kg ⁻¹)			
	锌	硒	铁	锰
四川	27.90±0.96 ^b	0.05±0.00 ^c	200.86±16.31 ^b	180.27±25.77 ^a
湖南	119.15±29.09 ^a	0.12±0.05 ^b	230.57±22.14 ^b	43.26±8.49 ^c
陕西	22.74±1.63 ^b	—	274.26±18.57 ^b	91.23±6.87 ^{bc}
河南	42.13±3.20 ^b	—	522.59±97.59 ^a	155.16±16.31 ^{ab}
吉林	22.93±0.99 ^b	—	71.36±6.16 ^c	43.78±3.14 ^c
江西	40.00±3.47 ^b	0.78±0.52 ^a	—	—
贵州	24.39±4.75 ^b	—	301.47±32.16 ^b	163.14±45.21 ^{ab}

积累^[35]。研究表明,土壤因子与杜仲叶中的化学成分含量存在显著相关性。王兴宁^[17]研究表明杜仲叶中芦丁的含量与有机质呈显著的正相关,与全磷呈显著的负相关。此外,有研究发现桃叶珊瑚苷含量的主导因子为速效钾、全磷;影响京尼平苷酸含量的为全磷、有机质、碱解氮;影响绿原酸含量的为碱解氮;影响芦丁含量的是 pH 值^[29,118]。影响不同成分的土壤因子有所不同,有些成分受多种土壤因子共同影响,而同一土壤因子对不同成分的作用效果不同,这可能是由于该土壤因子通过不同的路径对不同成分进行调控所导致。此外,土壤内部存在着复杂的微生物群落网络,进一步增加了土壤组分调控途径的复杂性。刘小^[119]表示土壤微生物通过影响杜仲林地土壤的理化性质、养分循环、杜仲对养分的吸收、抗逆性及叶中活性成分的积累,进而对杜仲叶的生长环境、营养吸收、品质产量和健康状况产生重要作用。

杜仲叶具有耐水湿的特性,但水分供应需适量。土壤干旱会抑制杜仲的生长,而水分过多则易引发病虫害^[16]。杨全等^[120]对 3 年生杜仲苗木进行土壤水分胁迫处理,结果表明土壤水分胁迫会显著影响杜仲叶片的光合作用、蒸腾作用、气孔导度及水分利用效率,进而影响其生长发育和干物质积累。钱长江^[62]进一步研究发现,杜仲叶的形状与土壤养分及 pH 值密切相关,土壤中的钙含量不利于杜仲叶性状对生境的响应。从土壤类型来看,浅灰壤比紫壤、黑壤、红壤和黄壤更有利于杜仲叶有效成分的积累^[121]。综上,土壤因子通过多层次、多途径的复杂机制显著调控杜仲叶的生长动态和药效成分积累。

4.2 气候特征

中药材的品质与生长环境气候息息相关,且日

照时数、光照的质量和强度是影响植物生长的重要因素,中药材的生长都需要特定的气候条件。如半夏幼苗生长最适温度 20~25 °C,其生长需充足的阳光,但又要避免烈日直射的气候条件^[122]。石斛喜温暖、湿润及阴凉的环境^[123]。红花在海拔 1 700 m 以下的地区均可种植,尤其适宜种植在冬春干旱及半干旱地区^[124]。杜仲叶的生长气候也不同,其最适宜种植在海拔 600~1 390 m;年均降水量 800 mm 以上,年均积温 4 000 °C 以上,pH 值在 5.5~7.5^[108]。

当杜仲叶生长环境受到酸雨胁迫时,杜仲的光合生理及膜脂过氧化会产生负面影响,从而导致杜仲叶中药用有效成分含量降低^[125]。研究表明,温度和蒸发量是影响杜仲叶品质的关键气候因素,在一定的温度区间内,温度和蒸发量越高,越有利于杜仲叶次生代谢物的积累^[126]。温度对植物生长发育的影响,并非仅仅体现在温度本身,还在于它会引发湿度、蒸发等其他生态因子的变化,从而改变生态因子的综合作用,最终影响植物的生长发育和产量。水分作为植物生命活动不可或缺的条件,不同的水分状况会在不同程度上影响植物体内的生理生化过程,干扰次生代谢,最终对植物有效成分的积累产生影响^[126]。杜仲叶中的药用成分含量会受气候因子的影响,蔡萍等^[127]研究表明年均最高温、最低温及年均相对湿度对杜仲叶中的桃叶珊瑚苷、京尼平苷酸、绿原酸、松脂醇二葡萄糖苷的积累影响较大。综上,杜仲叶的有效成分积累、药效等都受温度、光照、水分等气候因子的影响。

4.3 人为活动

杜仲是我国二级保护植物,目前药用资源主要依赖人工栽培,杜仲叶的品质受多种人为因素的影响。如种植管理、采收加工及生长调节剂的使用等。为便于杜仲叶的采收,矮化密植栽培模式已被广泛

应用,其中种植密度是影响杜仲叶产量和有效成分含量的关键因素。罗步高等^[33]研究表明,不同种植密度对杜仲的生长、叶产量及有效成分积累具有显著影响;刘慧东等^[128]指出在短周期杜仲矮林栽培模式下,较高的种植密度有助于提高杜仲叶产量;张颖^[21]在杜仲矮化密植林的种植中,修枝矮化时间安排在 12 月左右,采收叶片后可再次进行修枝处理,从而实现 1 年 2 收,提高杜仲叶的采收量,进而提升经济效益。

杜仲叶中化学成分含量除了受种植管理的影响,还受不同产地加工方法、不同炮制方法及不同采收期的影响,如王蓝等^[73]研究发现秋季杜仲叶和各器官中所含的各有效成分含量高于夏季。屠万倩等^[22]指出不同加工方法对杜仲叶化学成分含量产生一定影响。陈书明等^[41]研究表明远红外干燥和微波干燥对杜仲叶成分影响较小,是较为理想的干燥方式。刘荣华等^[43]建议采用低温快速干燥以最大限度保留主要化学成分。此外,提取方法也是影响杜仲叶化学成分含量的重要因素,如兰济艳等^[78]通过研究不同产地杜仲叶中化学成分含量变化,发现提取方法可能会导致化学成分含量不同。夏循礼等^[70]发现杜仲叶有效成分醇提水沉法优于水提醇沉法。但是曾吉祥等^[129]认为杜仲叶的水提物比醇提物更安全。因此,在优化提取工艺时,需兼顾有效成分提取率与安全性。

值得注意的是,生长调节剂的使用可促进杜仲叶次生代谢物的积累。曹瑞致^[130]研究表明适宜浓度的植物生长调节剂和微量元素均能在一定程度上提高杜仲叶片次生代谢物的含量。在实际生产中,可通过适当提升温度、增加蒸发量、多施铁、锌、锰、硼等微量元素,及适当提高土壤 pH 值等农艺手段来调控杜仲叶的品质。综上可知,人为活动可通过栽培方式、采收加工及农艺手段等途径综合影响杜仲叶产量及品质。

5 结语与展望

杜仲叶的有效成分含量与其品质及药用疗效密切相关。本研究发现,杜仲叶的有效成分含量受生长年限和采收时期的显著影响,其中,生长 20 年以内的杜仲叶有效成分含量较高,20 年后含量逐渐降低,资源利用价值下降;从采收时期来看,绿原酸在 4 月与 11 月含量最高,京尼平苷酸在 6 月达到峰值,桃叶珊瑚苷则在 9 月含量最高。此外,杜仲叶中重金属含量在生长 12 年之前相对较低,其

中铬和铜在 11 月含量最低,镉在 10 月含量最低。微量元素的含量也随采收时期变化,锌和铁在 4 月达到峰值,硒在 8 月含量最高,锰则在 11 月达到最大值。综合考虑有效成分、重金属和微量元素的含量,杜仲叶的较佳种植年限应控制在 20 年以内,且在 4 月和 11 月采收质量较好。为了确定最合适的种植年限、采收时间及管理措施等,需要建立一套基于有效成分、微量元素、重金属的综合品质评价体系。目前,关于杜仲叶多指标综合评价体系建立的研究还未有报道,未来可加强这方面的研究。同时,笔者统计发现,种植 20 年以后,杜仲叶中 4 种有效成分的含量有所降低,但其是否积累独特代谢物仍未知。并且,当前关于 12 年以上杜仲叶的微量元素和重金属含量的研究相对较少。故后续需扩大化学成分筛查范围,以挖掘杜仲叶资源利用价值。

重金属含量与药材安全性息息相关,本研究对杜仲叶中 6 种重金属含量积累特征系统分析发现,杜仲叶重金属积累存在潜在安全风险,其中,砷元素在杜仲叶中具有富集特征。而矮化杜仲叶的砷含量均未超标,可能是因为矮化杜仲叶频繁修枝整枝,缩短了砷在叶内的富集周期,减少了重金属的生物累积。为了保障用药安全性,未来可开展杜仲叶和土壤中砷的形态转化研究,明确砷在杜仲叶中的吸收、转运和积累规律,基于形态特征研发针对性的阻控技术。从地理分布来看,不同产地的杜仲叶在有效成分、重金属和微量元素含量上存在显著差异。山西的杜仲叶绿原酸含量较高,江西的京尼平苷酸含量较高,陕西的桃叶珊瑚苷和芦丁含量较为突出。湖北和云南的杜仲叶中镉含量较低,河北的镉和砷含量较低,重庆的铅含量较低,陕西的铬和铜含量较低,吉林的汞含量较低。然而,陕西的杜仲叶中镉和汞含量、重庆的砷含量存在超标现象,这可能与杜仲生长的土壤、大气、水质及化肥农药使用等环境条件有关,需及时采取土壤修复、优化灌溉等措施,降低重金属含量。湖南的锌元素含量较高,江西的硒元素含量较高,河南的铁元素含量较高,四川的锰元素含量较高。基于此,建议在山西、陕西、河南、贵州等生态环境适宜地区开展杜仲叶的规范化种植。同时,应重点监测土壤重金属含量、优化种植区气候条件选择,并实施标准化田间管理措施,以有效控制杜仲叶中重金属的积累,保障其药用安全性和产品质量。

微量元素含量不仅关乎植物代谢,也对人体健

康有益,具有双重增益作用。矮化栽培技术可以显著提高杜仲叶的有效成分含量,同时降低重金属含量,确保用药安全有效。然而,目前关于矮林中杜仲叶微量元素含量的研究尚未得到充分关注,未来可从微量元素的角度展开深入研究,为杜仲叶的资源开发提供科学依据。此外,杜仲叶中有效成分含量与微量元素含量具有协同作用,而与重金属含量存在拮抗作用。如在4月和11月,随着有效成分含量的增加,微量元素含量也显著增加,而重金属含量则降低。未来可以重点关注三者之间的相互作用机制,特别是绿原酸与铬、铜,及锰、铁、锌之间的相关性,为精准调控杜仲叶品质提供理论依据。本文发现江西地区杜仲叶中硒含量丰富,建议优先选择江西作为富硒杜仲叶茶产品开发试点,依托当地优质的硒资源,打造特色品牌。针对其他不同产地杜仲叶的品质特性,可因地制宜推广叶面硒肥精准施用技术,同时构建“林药间作”生态循环系统,促进资源高效利用与生态可持续发展。通过科学的种植方式、采收时间及产地选择,可以有效提高杜仲叶的品质和药用价值,同时实现资源的高效利用和可持续发展。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 中国药典 [S]. 一部. 2020: 173.
- [2] 王馨, 吴孟仙, 陈媛媛, 等. 杜仲叶固态混菌发酵工艺优化及其体外活性研究 [J]. 中国食品添加剂, 2025, 36(3): 29-37.
- [3] 王一飞, 刘亚芳, 王书辉, 等. 杜仲叶药食同源研究进展 [J]. 河南大学学报: 医学版, 2018, 37(1): 65-68.
- [4] Li M Y, Zheng Y C, Deng S, et al. Potential therapeutic effects and applications of *Eucommia Folium* in secondary hypertension [J]. *J Pharm Anal*, 2022, 12(5): 711-718.
- [5] Gong M, Su C F, Fan M Z, et al. Mechanism by which *Eucommia ulmoides* leaves regulate nonalcoholic fatty liver disease based on system pharmacology [J]. *J Ethnopharmacol*, 2022, 282: 114603.
- [6] Duan Y, Guo F Q, Li C, et al. Aqueous extract of fermented *Eucommia ulmoides* leaves alleviates hyperlipidemia by maintaining gut homeostasis and modulating metabolism in high-fat diet fed rats [J]. *Phytomedicine*, 2024, 128: 155291.
- [7] Dai X P, Huang Q, Zhou B T, et al. Preparative isolation and purification of seven main antioxidants from *Eucommia ulmoides* Oliv. (Du-Zhong) leaves using HSCCC guided by DPPH-HPLC experiment [J]. *Food Chem*, 2013, 139(1/2/3/4): 563-570.
- [8] Ren N, Gong W W, Zhao Y C, et al. Innovation in sweet rice wine with high antioxidant activity: *Eucommia ulmoides* leaf sweet rice wine [J]. *Front Nutr*, 2023, 9: 1108843.
- [9] 赵露颖, 施梦瑶, 张巧艳, 等. 道地药材品质特征及形成机制研究进展 [J]. 中草药, 2022, 53(21): 6931-6947.
- [10] 李婉玉, 张家旭, 谢兴文, 等. 杜仲叶化学成分、药理活性及现代应用研究进展 [J]. 天然产物研究与开发, 2024, 36(5): 900-917.
- [11] 黄军根, 王海娃, 彭小强, 等. 重金属对富硒农作物的影响及防治研究现状 [J]. 质量探索, 2023, 20(2): 65-73.
- [12] 梁晓艳, 梁旭霞. 中药重金属超标的研究概况 [J]. 广西中医药, 2021, 44(3): 75-77.
- [13] 毛永洁. 杜仲缺 Mn 对幼苗发育及橡胶积累的影响研究 [D]. 贵阳: 贵州大学, 2021.
- [14] 耿立威, 刘宏. 火焰原子吸收光谱法测定杜仲叶中8种元素的含量 [J]. 吉林师范大学学报: 自然科学版, 2004, 25(2): 89-90.
- [15] 苏印泉, 彭金年, 马希汉, 等. 不同品种杜仲叶中有效成分含量差异性研究 [J]. 西北植物学报, 2003, 23(12): 2180-2183.
- [16] 张靛灵, 马亚团, 赵德义, 等. 杜仲叶次生代谢物季节和地域差异性研究 [J]. 林产化学与工业, 2009, 29(5): 104-108.
- [17] 王兴宁. 杜仲叶黄酮类成分含量与土壤环境因子相关性研究 [D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2008.
- [18] 汤诗杰, 盛宁, 陆长根, 等. 不同地理种源杜仲叶片中绿原酸和总黄酮的含量 [J]. 植物资源与环境, 1999, 8(1): 60-61.
- [19] 刘鹏, 胡文友, 黄标, 等. 大气沉降对土壤和作物中重金属富集的影响及其研究进展 [J]. 土壤学报, 2019, 56(5): 1048-1059.
- [20] 银玲, 彭月, 刘荣, 等. 产地生态环境要素与中药品质相关性研究 [J]. 中药与临床, 2012, 3(6): 9-14.
- [21] 张颖. 基于矮化密植技术的杜仲栽培模式研究 [J]. 现代园艺, 2023(11): 41-43.
- [22] 屠万倩, 李宁, 张留记, 等. 不同加工方式生产的杜仲叶中8种化学成分的含量及抗氧化活性研究 [J]. 中国新药杂志, 2020, 29(16): 1863-1867.
- [23] 郑艳萍, 潘艳琼, 秦昆明, 等. 不同干燥方式对杜仲叶4种活性成分含量的影响 [J]. 中国药房, 2017, 28(28): 3973-3976.
- [24] 张敏, 梁凤妮, 孙延文, 等. 杜仲化学成分、药理作用和临床应用研究进展 [J]. 中草药, 2023, 54(14): 4740-4761.

- [25] 蔡丹红, 薛梅, 李玉, 等. 杜仲叶提取物所含四种主要成分体外抗非酒精性脂肪肝活性研究 [J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2021, 23(1): 81-87.
- [26] 张雪梅, 谢金芮, 陈玉甫, 等. 全酶解法提取杜仲叶中绿原酸及其含量测定 [J]. 中国酿造, 2016, 35(10): 149-152.
- [27] Yi T T, Zhang W, Hua Y, *et al.* Rutin alleviates lupus nephritis by inhibiting T cell oxidative stress through PPAR γ [J]. *Chem Biol Interact*, 2024, 394: 110972.
- [28] 章发盛, 黄继红, 黄静. 人工种植和野生杜仲叶中主要活性成分含量变化研究 [J]. 农业与技术, 2022, 42(9): 19-23.
- [29] 刘才英. 杜仲活性成分与土壤因子相关性及其化学成分 HPLC-Q-TOF-MS 分析的研究 [D]. 长沙: 湖南中医药大学, 2013.
- [30] 张子东, 付冬梅, 张威鹏, 等. HPLC 法同时测定不同生长年限不同部位杜仲中 5 种苯丙素类成分 [J]. 食品科学, 2019, 40(8): 186-191.
- [31] 张康健, 王蓝, 张风云, 等. 杜仲叶与皮有效成分含量的比较研究 [J]. 西北林学院学报, 1996, 11(2): 44-48.
- [32] 王琦, 杜庆鑫, 孟益德, 等. 不同良种杜仲叶主要营养成分的动态变化与综合评价 [J]. 华南农业大学学报, 2024, 45(4): 558-568.
- [33] 罗步高, 雷思璇, 周紫嫣, 等. 不同立地类型下种植密度对杜仲叶产量和质量的影响 [J]. 林业科技, 2023, 48(3): 6-9.
- [34] 赵丹, 秦利军, 赵德刚. 杜仲矮化密植栽培模式研究 [J]. 山地农业生物学报, 2021, 40(3): 74-78.
- [35] 张康健, 马希汉, 马梅, 等. 杜仲叶次生代谢物生长积累动态的研究 [J]. 林业科学, 1999, 35(2): 18-23.
- [36] 韩建国. 杜仲叶化学成分的差异性研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.
- [37] 张康健, 白明生, 张檀, 等. 杜仲叶次生代谢物与个体生长发育特性的研究 [J]. 林业科学, 2001, 37(6): 45-51.
- [38] 毛欣雨. 不同树龄银杏叶片药用有效成分积累规律及多组学分析 [D]. 扬州: 扬州大学, 2021.
- [39] 曾庆亮. 中药材采收的最佳时期 [J]. 四川农业科技, 2000(2): 36.
- [40] 张立攀, 孙超伟, 樊济军, 等. 不同海拔杜仲叶功效成分分析及抗氧化活性研究 [J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(4): 88-95.
- [41] 陈书明, 张宁. 不同干燥方法对杜仲叶四种常见成分的影响 [J]. 安徽化工, 2023, 49(1): 94-97.
- [42] 吴冬. 双水相-大孔吸附树脂-有机溶剂萃取制备杜仲叶活性成分工艺研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [43] 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.
- [44] 谢娟平, 商江伟, 马贝, 等. 不同干燥方法及存放时间对杜仲叶中绿原酸含量的影响研究 [J]. 陕西农业科学, 2015, 61(11): 15-16.
- [45] 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.
- [46] 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.
- [47] 张俊巍, 黄勇, 任健航. 贵州不同产地杜仲叶的化学成分比较研究 [J]. 贵阳中医学院学报, 1998, 20(2): 58-59.
- [48] 张前程, 齐培兰. HPLC 对不同采摘时期杜仲叶活性成分的测定 [J]. 安徽化工, 2024, 50(4): 125-127.
- [49] 黄继红. 高效液相色谱法测定杜仲叶中 4 种成分含量 [J]. 食品与药品, 2023, 25(5): 449-452.
- [50] 黄琛斐, 张哲, 王茁, 等. 不同采收时间下杜仲叶绿原酸含量的差异及绿原酸提取工艺的优化研究 [J]. 饲料研究, 2022, 45(15): 84-87.
- [51] 代叶, 李玮, 梁珊珊, 等. 基于多指标评价杜仲加工方法及其采收期的研究 [J]. 时珍国医国药, 2022, 33(7): 1727-1731.
- [52] 高致明, 王太霞, 喜进安. 杜仲叶在生长发育过程中化学成分含量和结构的变化 [J]. 河南农业大学学报, 1997, 31(2): 44-47.
- [53] 张康健, 王亚琴, 马希汉, 等. 杜仲叶次生代谢物生态学研究初报 [J]. 林业科学, 1999, 35(6): 28-34.
- [54] 蒋齐翻, 张凯, 周明干, 等. 杜仲叶微波热风组合干燥工艺研究 [J]. 真空电子技术, 2020(3): 77-81.
- [55] 张留记, 李宁, 屠万倩, 等. HPLC 法同时测定杜仲叶中 8 种成分的含量 [J]. 中国药房, 2019, 30(24): 3383-3387.
- [56] 裴晓红, 吴仙, 张林鑫, 等. 不同制干工艺对杜仲叶药效成分的影响 [J]. 贵州农业科学, 2017, 45(5): 95-98.
- [57] 陈海莉, 张峰, 徐婧, 等. 杜仲叶中有效成分的闪式提取工艺优选 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2014, 20(19): 19-22.
- [58] 李稳宏, 李多伟, 张阿鹏, 等. 杜仲叶中有效成分提取工艺的研究 [J]. 西北大学学报: 自然科学版, 1996, 26(6): 511-514.
- [59] 龚频, 柯瀛瀛, 翟鹏涛, 等. 不同产地杜仲叶活性成分的定量分析 [J]. 陕西科技大学学报, 2024, 42(4): 70-77.
- [60] 李慧, 张婉, 李静, 等. ‘华仲 12 号’ 杜仲叶片黄酮类物质组成鉴定及含量分析 [J]. 经济林研究, 2022, 40(3): 133-141.
- [61] 周昫菲, 杜庆鑫, 王志勇, 等. 蒸汽爆破对杜仲叶水提液活性成分、抗氧化活性及香气组分的影响 [J]. 南京

- 林业大学学报: 自然科学版, 2024, 48(3): 245-256.
- [62] 钱长江. 黔产杜仲道地性特征及其形成机制与林分布局研究 [D]. 贵阳: 贵州大学, 2022.
- [63] 余莲. 杜仲叶中五种活性成分的高效提取与分离工艺研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2021.
- [64] 全熙宇. 杜仲叶和杜仲皮三种成分的提取分离研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020.
- [65] 郑英, 许亚玲, 郭树鑫, 等. 贵州不同产地盐炙杜仲叶的质量测定 [J]. 贵州农业科学, 2018, 46(10): 104-108.
- [66] 王学军, 梁旭华, 徐恒. HPLC 法同时测定杜仲叶中 4 种成分的含量 [J]. 中医药信息, 2017, 34(1): 33-35.
- [67] 马越, 苏东海, 曹奇光, 等. 杜仲叶有效成分的提取 [J]. 江苏农业科学, 2008, 36(6): 249-251.
- [68] 刘宗林, 回九珍, 彭义交. 杜仲叶有效成分的提取 [J]. 食品科学, 2003, 24(8): 62-64.
- [69] 李伟, 谢婷婷, 覃洁萍, 等. 杜仲不同采收期及不同部位中桃叶珊瑚苷的含量测定 [J]. 天然产物研究与开发, 2011, 23(2): 283-285.
- [70] 夏循礼, 陈勇. 醇提水沉与水提醇沉提取杜仲叶活性成分的比较研究 [J]. 湖北大学学报: 自然科学版, 2003, 25(3): 267-270.
- [71] 李进飞. 杜仲叶中绿原酸的提取及动力学研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2004.
- [72] 王亚琴. 杜仲叶有效成分的地理学研究 (I) [J]. 广东药学院学报, 2000, 16(3): 173-176.
- [73] 王蓝, 张康健. 杜仲夏叶与秋叶浸提物比较研究 [J]. 西北林学院学报, 1996, 11(2): 49-51.
- [74] 王嗣岑, 贺浪冲, 高锦明, 等. RP-HPLC 法同时分离测定杜仲叶中 3 种有效成分 [J]. 西北药学杂志, 2001, 16(1): 15-16.
- [75] 朱文佳. 杜仲叶食用安全性评价及健康产品开发 [D]. 南昌: 江西中医药大学, 2023.
- [76] 冯淼, 王超纯, 凌伟红, 等. 基于指纹图谱和化学模式识别评价杜仲叶质量 [J]. 中草药, 2023, 54(9): 2931-2939.
- [77] 刘星. 杜仲不同药用部位化学成分和含量的比较研究及在中成药中的应用 [D]. 南京: 南京中医药大学, 2022.
- [78] 兰济艳, 刘泽, 张芹, 等. 不同产地杜仲生长特性及叶中主要有效成分含量的差异与动态变化 [J]. 河北农业大学学报, 2019, 42(1): 51-56.
- [79] 高振川. 杜仲用做饲料添加剂的研究进展 (上) [J]. 饲料广角, 2005(19): 37-39.
- [80] 严颖. 杜仲药材的品质评价研究 [D]. 南京: 南京中医药大学, 2018.
- [81] 庆军, 魏艳秀, 王鼎涵, 等. 杜仲叶片 6 种主要活性成分的遗传变异研究 [J]. 西北植物学报, 2018, 38(2): 316-323.
- [82] 张昌伟. 杜仲叶渣栽培平菇及制备有机肥料和生物肥料研究 [D]. 吉首: 吉首大学, 2014.
- [83] 阿来·赛坎, 文娥, 田树革. 高效液相色谱法同时测定杜仲叶中 4 种有效成分的含量 [J]. 国际药学研究杂志, 2016, 43(3): 571-574.
- [84] 李明睿. 杜仲叶提取物质量标准研究 [D]. 太谷: 山西农业大学, 2022.
- [85] 陈海莉. 杜仲叶提取物制备工艺及质量标准研究 [D]. 开封: 河南大学, 2014.
- [86] 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.
- [87] 孙桂梅, 孙文基. 杜仲在受热干燥中 3 种成分的含量变化 [J]. 药物分析杂志, 2006, 26(12): 1791-1793.
- [88] 刘锬, 王健英, 魏莉, 等. HPLC 法测定杜仲皮、叶、雄花中 8 种成分 [J]. 中成药, 2021, 43(3): 686-691.
- [89] 杨秀芳, 汪洋, 马养民. 不同栽培模式杜仲体绿原酸含量积累动态的研究 [J]. 陕西科技大学学报: 自然科学版, 2012, 30(2): 9-11.
- [90] 申梦园. 杜仲叶化学成分比较及提取物研究 [D]. 成都: 成都中医药大学, 2022.
- [91] 吴乾锋. 不同栽培模式杜仲叶化学成分比较研究 [D]. 成都: 成都中医药大学, 2023.
- [92] 吕强, 彭密军, 彭胜, 等. 不同栽培模式对杜仲叶及枝皮中多种活性成分含量的影响 [J]. 经济林研究, 2012, 30(1): 73-76.
- [93] 郑阳, 彭胜, 史丽娟, 等. 杜仲中杜仲醇等三种环烯醚萜类化合物检测方法的建立 [A] // 中国化学会第十一届全国生物医药色谱及相关技术学术交流会 (大会特邀报告及墙报) 论文摘要集 [C]. 井冈山: 中国化学会第十一届全国生物医药色谱及相关技术学术交流会, 2016: 77-78.
- [94] 郑玉成. 乌龙茶做青过程叶片响应机械损伤胁迫的挥发性物质动态调控研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2023.
- [95] 邓新, 温璐璐, 迟鑫妹. 镉对人体健康危害及防治研究进展 [J]. 中国医疗前沿, 2010, 5(10): 4-5.
- [96] 谢文强. 六价铬对人体急性与慢性危害探究 [J]. 资源节约与环保, 2016(7): 131.
- [97] 张英, 周长民. 重金属铅污染对人体的危害 [J]. 辽宁化工, 2007, 36(6): 395-397.
- [98] 曹会兰. 砷对人体的危害与防治 [J]. 化学世界, 2003, 44(10): 559-560.
- [99] Bolan S, Kunhikrishnan A, Seshadri B, *et al.* Sources, distribution, bioavailability, toxicity, and risk assessment of heavy metal(loid)s in complementary medicines [J]. *Environ Int*, 2017, 108: 103-118.
- [100] 王彩兰, 孙瑞霞, 吕文英, 等. 原子吸收分光光度法测定杜仲茶中无机元素含量 [J]. 化学研究与应用, 1997,

- 9(5): 101-103.
- [101] 王彩兰, 孙瑞霞, 吕文英. 杜仲叶中无机元素动态含量测定 [J]. 微量元素与健康研究, 1997, 14(4): 35-36.
- [102] 宋予民, 孙瑞霞, 万运京. 原子吸收法测定杜仲叶中无机元素含量 [J]. 河南师范大学学报: 自然科学版, 1997, 25(3): 61-63.
- [103] 马金花. 重庆产杜仲叶的质量及指纹图谱研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2009.
- [104] 张檀, 白明生, 刘丽, 等. 几种矿质元素对杜仲叶次生代谢物的影响初探 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2002, 30(1): 119-122.
- [105] 张琳杰, 张昌伟, 王志宏, 等. 杜仲叶水煎及醇提液中无机元素赋存形态分析 [J]. 分析科学学报, 2014, 30(6): 895-898.
- [106] 耿立威. 不同时间杜仲叶中锌、铜、铁、锰含量分析 [J]. 世界元素医学, 2004, 11(1): 43-44.
- [107] 吴乾锋, 刘友平, 何东, 等. ICP-MS 法结合化学计量学分析杜仲叶无机元素及健康风险评估 [J]. 中药材, 2022, 45(9): 2157-2164.
- [108] 许焯. 杜仲道地性药材形成的物质基础研究 [D]. 成都: 成都理工大学, 2015.
- [109] 耿立威. 杜仲叶 柳枝 柳叶中 8 种元素的含量分析 [J]. 微量元素与健康研究, 2005, 22(5): 21-22.
- [110] 朱琳, 曾晓丹, 张福胜. 长白山产中药材杜仲中痕量元素汞的测定 [J]. 吉林化工学院学报, 2013, 30(3): 29-31.
- [111] 梁淑轩, 孙汉文. 石墨炉原子吸收光谱法分析药用植物中微量营养元素的含量 [J]. 光谱学与光谱分析, 2002, 22(5): 847-849.
- [112] 张琳杰, 彭胜, 张昌伟, 等. 张家界不同产地杜仲叶/皮中矿质元素含量的测定及比较 [J]. 生物质化学工程, 2014, 48(2): 23-28.
- [113] 耿立威, 王成军. 杜仲叶样品五种处理方法的对比分析 [J]. 吉林师范大学学报: 自然科学版, 2007, 28(2): 87-88.
- [114] 童玲. 湘西杜仲有效成分提制分析及其指纹图谱研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2008.
- [115] 邓鹏裔. 人体内 9 种微量元素多了、少了怎么办? [J]. 科技视界, 2023(27): 54-59.
- [116] 董国力. 微量元素铁、锌、碘、硒、氟与人体健康的相关性探究 [J]. 中国当代医药, 2013, 20(6): 183-184.
- [117] 岳红, 胡小玲, 苏克和, 等. 利用杜仲叶开发保健饮品 [J]. 中药材, 1999, 22(8): 385-387.
- [118] 伍庆, 王兴宁, 夏品华. 土壤养分因子对杜仲有效成分含量影响研究 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36(25): 11002-11004.
- [119] 刘小. 杜仲林地土壤微生物群落多样性的研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2023.
- [120] 杨全, 孟平, 李俊清, 等. 土壤水分胁迫对杜仲叶片光合及水分利用特征的影响 [J]. 中国农业气象, 2010, 31(1): 48-52.
- [121] 罗会冠, 陈咏文, 熊利芝. 湘西州生境对杜仲叶绿原酸质量分数的影响 [J]. 吉首大学学报: 自然科学版, 2015, 36(6): 69-71.
- [122] 刘跃辉, 周哲健. 人工栽培半夏的气候条件分析 [J]. 中国农业气象, 2005, 26(2): 129-130.
- [123] 赖泳红, 王仕玉, 萧凤回. 中国石斛属植物资源分布的主要生态因子 [J]. 中国农学通报, 2006, 22(6): 397-400.
- [124] 李洪兵, 刘显翠. 中药材红花高产种植技术 [J]. 中国民族民间医药, 2012, 21(11): 31-33.
- [125] 齐泽民, 钟章成, 杨素珍, 等. 模拟酸雨对土壤酸化及杜仲生长的影响 [J]. 内江师范学院学报, 2006, 21(2): 81-84.
- [126] 彭密军, 彭胜, 王翔, 等. 杜仲叶中多酚类化合物含量与主要生态因子的相关性研究 [J]. 天然产物研究与开发, 2018, 30(5): 823-831.
- [127] 蔡萍, 刘才英, 梁雪娟, 等. 杜仲药材有效成分与环境因子的灰色关联度分析 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2014, 20(23): 10-14.
- [128] 刘慧东, 丁欢欢, 朱景乐, 等. 杜仲短周期矮林的密度效应 [J]. 东北林业大学学报, 2018, 46(4): 1-5.
- [129] 曾吉祥, 王健, 张晓林, 等. 秦巴地区产杜仲皮急性毒性实验的研究 [J]. 川北医学院学报, 2016, 31(3): 342-344.
- [130] 曹瑞致. 不同生长调节剂和微量元素处理对杜仲生长及次生代谢物含量的影响 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.

[责任编辑 赵慧亮]