DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20251021005
引用格式: 李若云, 刘振平, 李翔宇, 等. 杜仲茶加工工艺研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 17(2): 34–40.
LI RY, LIU ZP, LI XY, *et al*. Research progress on the processing technology of *Eucommia ulmoides* tea [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 17(2): 34–40. (in Chinese with English abstract).

杜仲茶加工工艺研究进展

李若云[1], 刘振平[1], 李翔宇[1], 张顺华[1], 向艳洪[1], 刘 艳[2],
李洪涛[3], 裴新荣[4], 张广峰[1*], 刘青茹[1*]

(1. 西华大学食品与生物工程学院, 成都 610039; 2. 四川智高农业开发有限公司, 广元 628000;
3. 山东巧媳妇食品集团有限公司, 淄博 255000; 4. 中国食品药品检定研究院, 北京 100010)

摘 要: 杜仲皮是重要的传统中药材但其采收易损伤植株。杜仲叶与雄花因富含木脂素、环烯醚萜和黄酮等活性成分且具可持续性, 成为皮的良好替代资源。特别是杜仲叶于 2023 年被列入药食同源目录, 为其在代用茶等日常康养产品中的开发奠定了基础。目前, 杜仲茶主要借鉴传统茶的工艺进行加工, 且主要集中在绿茶、红茶的生产, 有少量黑茶和乌龙茶的工艺尝试。本文重点综述了现有工艺流程、杀青和干燥等关键工艺环节的研究进展与不足。然而, 由于杜仲与茶鲜叶的内质成分存在显著差异, 简单的工艺平移对于尽可能地保留杜仲的活性成分、提升产品感官品质与储藏稳定性的作用效果缺乏研究。因此, 未来有必要围绕杜仲茶加工过程中的物质转化规律展开系列研究, 重点针对护色、提香、优化滋味和改善功能等目标探索创新工艺, 以期拓展杜仲资源的高值化利用。

关键词: 杜仲茶; 加工工艺; 绿茶; 红茶; 黑茶; 乌龙茶

Research progress on the processing technology of *Eucommia ulmoides* tea

LI Ruo-Yun[1], LIU Zhen-Ping[1], LI Xiang-Yu[1], ZHANG Shun-Hua[1], XIANG Yan-Hong[1],
LIU Yan[2], LI Hong-Tao[3], PEI Xin-Rong[4], ZHANG Guang-Feng[1*], LIU Qing-Ru[1*]

(1. *School of Food and Bioengineering*, *Xihua University*, *Chengdu* 610039, *China*; 2. *Sichuan Zhigao Agricultural Development Co.*, *Ltd.*, *Guangyuan* 628000, *China*; 3. *Shandong Qiaoxifu Food Group Co.*, *Ltd.*, *Zibo* 255000, *China*; 4. *National Institutes for Food and Drug Control*, *Beijing* 100010, *China*)

ABSTRACT: *Eucommia ulmoides* bark is an important traditional Chinese medicinal material, but its harvesting often damages the trees. *Eucommia ulmoides* leaves and male flowers have emerged as excellent alternative resources due to their rich content of bioactive compounds such as lignans, iridoids and flavonoids, along with their higher sustainability. Notably, the inclusion of *Eucommia ulmoides* leaves in the medicinal and food homologous directory in 2023 has laid a foundation for their application in daily health products like herbal teas. Currently, the processing of *Eucommia ulmoides* tea primarily adapted techniques used for traditional tea [*Camellia sinensis* (L.) O. Ktze.], with a focus on green tea and black tea production, along with limited attempts in dark tea and oolong tea processing.

收稿日期: 2025-10-21
基金项目: 广元市科技计划项目(23ZDYF0024)
第一作者: 李若云(2003—), 女, 主要研究方向为现代食品加工方面的研究。E-mail: 13451145927@163.com
***通信作者:** 张广峰(1985—), 男, 副教授, 主要研究方向为农产品加工。E-mail: 418284396@qq.com
刘青茹(1991—), 女, 主要研究方向为传统酿造饮食品质监控及标准化生产体系构建。E-mail: seaflyru@126.com

This review summarized the existing processing techniques and research progress in key steps such as enzyme inactivation and drying, while also pointed out their limitations. However, due to significant compositional differences between leaves of *Eucommia ulmoides* and *Camellia sinensis*, whether the direct transfer of traditional tea processing techniques from *Camellia sinensis* was truly beneficial for enhancing the sensory quality and retaining functional components of *Eucommia ulmoides* tea remains a questionable issue. Therefore, future research should focus on investigating the substance transformation mechanisms during processing, with an emphasis on developing innovative techniques aimed at preserving color, enhancing aroma, optimizing flavor and improving functionality, so as to promote the high value utilization of *Eucommia ulmoides* resources.

KEY WORDS: *Eucommia ulmoides* tea; processing technology; green tea; black tea; dark tea; oolong tea

0　引　言

茶和代用茶是我国最受欢迎的饮品之一, 具有口感适宜, 香气宜人的特点。早在《神农本草经》中就对茶的抗炎消菌作用有记载, 随着黄酮、茶多酚、氨基酸、咖啡碱等 700 多种活性物质[1]被分离鉴定, 其预防肥胖、糖尿病、慢性炎症和其他疾病的潜力被重视[2], 对抑郁和焦虑症状的缓冲作用被证实[3]。此外, 茶对人体肠道菌群的多样性也存在重要影响, 其含有的茶多糖能促进多种益生菌的生长, 抑制部分有害菌生长[2]。同时, 全球具有种类丰富的代用茶, 例如桑叶茶、菊花茶、玫瑰茶、决明子、杜仲茶等, 它们选用可食用植物的叶、花、果实、根茎等制备而成[4]。随着杜仲入选“药食同源”目录, 用杜仲雄花和叶子为原料加工而成的杜仲茶将具有巨大的市场空间。本文主要从杜仲绿茶、红茶和黑茶的加工工艺入手, 系统综述了杜仲茶不同类型的加工工艺及品质特征, 并对研究较多的杀青、干燥等关键环节的研究进展和不足展开论述, 提出未来研究方向, 将为杜仲叶茶的加工技术优化提供参考。

1　杜仲概述

杜仲(*Eucommia ulmoides*), 别名胶木、玉丝皮, 为杜仲科杜仲属的雌雄同株植物。在温暖湿润、阳光充足的地方生长旺盛[5], 故大多在山西、甘肃、湖北等地种植。杜仲含有丰富的活性物质, 包括木脂素、环烯醚萜、黄酮类化合物等[6], 在“三抗”(抗衰老、抗癌、抗菌)[7]、“三降”(降血压、降血脂、降血糖)、调节肠道菌群[8]等方面都具有较好的应用前景[1]。杜仲不同部位各化合物的含量及作用相关研究见表 1。

表 1　杜仲不同部位各化合物的含量及作用

Table 1　Content and functions of various compounds in different parts of *Eucommia ulmoides*

种类	主要成分	含量	作用	参考文献
木脂素	总量	皮叶雄花	降血压、舒张血管改善肾功能、改善自发性高血压、改善肾小管和肾小球损伤、治疗即易卒中型自发性高血压大鼠(stroke-prone spontaneously hypertensive rat, SHRsp)脑卒中	[6,7,9–13]
	β-D-吡喃葡萄糖苷	-		
	松脂醇二葡萄糖苷	皮(25 μg/mL・DW)>叶>雄花		
苯丙素	总量	叶(1.0%~5.5%)>雄花>皮和茎	抗氧化性及抑菌性	[6,10, 14–15]
	绿原酸	叶(350.15 μg/mL)>雄花(298.95 μg/mL)>皮(157.07 μg/mL)		
环烯醚萜	桃叶珊瑚苷	叶(28 μg/mL)>雄花(25 μg/mL)>皮(19 μg/mL)	抗炎, 抑制炎症性肝损伤; 增强骨密度	[6,10,16–18]
	京尼平	雄花(13 μg/mL)>皮(12.5 μg/mL)>叶(0 μg/mL)		
	京尼平酸	雄花(63 μg/mL)>皮(62.5 μg/mL)>叶(18 μg/mL)		
	京尼平苷	雄花(159 μg/mL)>皮(10 μg/mL)>叶(0 μg/mL)		
黄酮	总量	叶(7.0%)>雄花(3.5%~4.0%)>皮	抗氧化、抗炎	[6,19–20]
	芦丁	叶: 49.55 μg/mL; 雄花: 富含, 含量未报道		
	槲皮素	叶: 19.64 μg/mL		
		雄花: 富含槲皮素		
	山柰酚	叶: 3.39 μg/mL		

注: -表示暂未查明其在各部位具体含量对比。

最初人们主要利用杜仲皮, 因为其木质素和杜仲胶丰富, 但切皮操作易损伤杜仲植物, 影响其生长, 因此, 为充分开发和利用杜仲资源, 对杜仲叶、杜仲雄花等其他部位的研究增多。在杜仲叶中检测到的关键特征化合物与杜仲皮有一致之处, 具有较高的开发价值[6]。如表 1 所示, 杜仲叶中部分木脂素、苯丙素、环烯醚萜和类黄酮的含量较皮更丰富, 除此之外, 杜仲叶和雄花中还含有多种维生素, 例如铁、锌、铜、锰、钾、钠、钙、镁、铬、钴、磷、硒、硼、维生素 E、β 类胡萝卜素、维生素 B_1 和维生素 B_2。而且, 杜仲雄花含有桃红素、绿原酸以及氨基酸等多种化合物[14,20]。杜仲多糖的平均相对分子量为 11.4632×10^5 Da, 其单糖成分为葡萄糖、果糖、甘露糖、岩藻糖、半乳糖和阿拉伯糖, 其含量分别为 36.6%、16.6%、14.2%、15.7%、9.5%和 7.4%[21], 能增强 T、B 淋巴细胞的增殖, 有利于提升免疫[21]。综上所述, 杜仲叶和杜仲雄花具有较高的营养价值, 将其制作成杜仲茶可作为一种控制体重、降低血脂的功能性保健食品[18]。

2 杜仲茶加工工艺进展

人们对自身健康的关注度日渐上升, 杜仲茶作为一个拥有保健功效的茶饮对各年龄层消费者都具有推广潜力。目前市面上的杜仲茶包括杜仲绿茶、杜仲红茶、杜仲乌龙茶、杜仲黑茶 4 类(图 1)。其中, 杜仲绿茶和红茶研究较多, 有关杜仲乌龙茶的研究最少[22]。

2.1 杜仲绿茶

杜仲绿茶的制作工艺参考传统绿茶, 大致分为 5 个步骤: 采摘、清洗、杀青、做型(揉捻)和干燥, 其中杀青和干燥是影响最终产品品质的关键环节。

2.1.1 杀 青

(1)杀青工艺比较

杀青是绿茶制作的关键工艺, 采取高温措施, 散发原料内水分, 钝化酶的活性, 并使其中的内含物发生一定的化学变化, 从而形成绿茶的品质特征[23]。杀青过程显著影响制茶品质, 尤其对茶叶汤色、滋味及香气的发展起重要作用, 比如, 适度杀青有效阻止酶促反应的发生从而保障叶底和汤色的翠绿, 杀青后茶中氨基酸的增加和黄酮类化合物的减少让茶汤的滋味更加醇厚, 杀青控制不当造成叶绿素和多酚类化合物的损失使得茶汤颜色发黄等[24]。

针对杜仲绿茶, 常见的杀青方法有锅式杀青、微波杀青、蒸汽杀青和沸水烫漂 4 种[25], 分别通过锅体与叶的热传导、微波促使分子高速振动导致摩擦生热、水蒸气和沸水的热传导实现酶活钝化。其中, 蒸汽杀青可保留最多的游离氨基酸, 总量可达 0.75%, 沸水烫漂杀青过程中活性物质溶解于水造成损失[26], 100 ℃、3 min 的锅式杀青具有较好的整体效果[25]。综合其他研究结果[27−28], 发现微波杀青技术是最适合杜仲绿茶加工的杀青方法, 其最有利于活性成分的保留, 且微波杀青与烘干干燥复合加工工艺对杜仲茶的绿原酸、总黄酮含量保存效果较好, 绿原酸约占干物质的 2.72%, 总黄酮含量为 241.6 μg/100 g[29], 采用微波杀青搭配阴干工艺所得杜仲茶总黄酮含量可达 243.6 μg/100 g。张强等[30]通过实验发现用 800 W 微波处理杜仲茶 2.5 min 能较好保存杜仲叶外形, DPPH 自由基清除率达到 93.62%, 黄酮含量为 26.19 mg/g, 且在 160~800 W 区间内, 微波功率越高, 黄酮在加工过程中的损失减少、总含量越高。

总体而言, 微波杀青技术在保留活性成分方面优于传统热处理方式, 但存在设备成本高的问题; 炒制杀青从成本和茶叶香气形成的角度相较于微波杀青展现出明显的优势, 但是需要控制好温度和时间, 防止高温炒制导致叶绿素分解等原因使得茶汤偏黄。

(2)护绿技术在杀青工艺中的应用

翠绿或黄绿的干茶和茶汤色泽是绿茶的重要感官品质。研究发现, 以杜仲雄花为原料的杜仲茶在前期进行炒制和杀青的过程中容易流失部分活性成分, 还会造成颜色上的变化, 为了保护杜仲雄花在杀青过程中的翠绿色泽, 有学者尝试将护绿技术嫁接于杜仲绿茶加工。付卓锐等[31]在杜仲雄花采摘后, 用质量分数 0.04%的 Zn^{2+}水溶液和 0.4%的柠檬酸水溶液分别喷洒杜仲雄花蕾, 每克雄花喷洒溶液 10 mL, 再用蒸汽蒸 40 s, 经过以上处理的杜仲雄花为原料制成的杜仲雄花茶可避免加工过程中出现褐变。DONG 等[32]也将各种护绿方法应用于杜仲绿茶加工, 得出 0.05%硫酸锌或 0.1%柠檬酸喷洒杜仲雄花后蒸 30~60 s 为最佳护绿工艺, 所得的雄花呈绿色, 冲泡后茶汤为绿色偏黄, 叶底鲜绿。已有研究猜测杜仲绿茶颜色发褐主要是由于杀青破坏了茶叶中的环烯醚萜类成分, 但相关证据链不够充分, 仍需开展更为系统的研究进行机制解析和护绿技术开发。

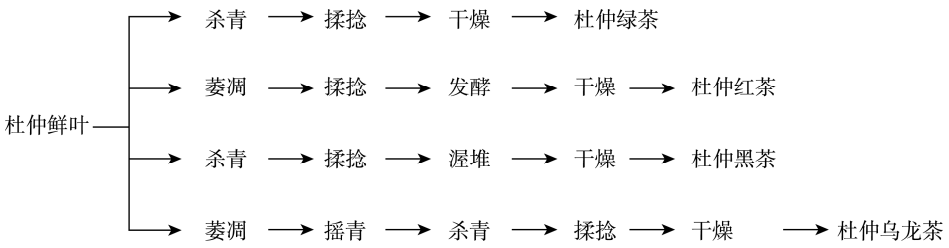


图1 杜仲绿茶、红茶、黑茶和乌龙茶加工工艺流程

Fig.1 Processing techniques of *Eucommia ulmoides* green tea, black tea, dark tea and oolong tea

2.1.2　干　燥

干燥的目的是蒸发水分从而终止酶促反应, 同时固定茶叶的香气和色泽。干燥方法包括烘干、炒干、晒干、阴干等传统工艺, 以及微波、辐射、冷冻、远红外辐射干燥等新型工艺。

烘干常采用热风干燥, 炒干又称为炒制干燥, 它们是使用最为普遍的传统干燥工艺, 均存在明显的优缺点。炒制干燥有着较高的生产效率, 可以在短时间内完成茶叶的干燥, 而且可以较好地保留其颜色和香味, 但是干燥的温度和物料的受热程度不易控制, 极易使物料受损[33−34]; 热风干燥采用空气对流干燥, 操作简单, 传热效率高, 能对茶叶进行大批量干燥, 但干燥周期较长且需要较高的流动压力使得其能源损耗大, 所用机器占地面积大。近年来随着技术的发展, 微波、远红外线、冷冻干燥技术等新型技术在杜仲绿茶加工中的应用陆续被报道。例如, 陈书明等[35]使用晒干、阴干、热风干燥、远红外干燥、微波干燥、超声热风干燥这 6 种方法对杜仲叶为原料的杜仲绿茶进行干燥对比试验, 发现远红外线辐射干燥能更好地保存杜仲叶中绿原酸、总黄酮、总多酚、总多糖 4 种有效成分的含量且干燥迅速均匀; 段续等[36]将微波技术与冻干技术相结合形成的微波真空冷冻干燥技术使得杜仲雄花的色泽变化不大且激发了 18 种挥发性成分, 是新鲜杜仲雄花挥发性成分种类的 1.8 倍。杜仲雄花质地软嫩, 其含有环烯醚萜类的热敏性物质, 无论是热风干燥还是炒制干燥都会由于高温而破坏该类物质, 且使产出的茶叶整体颜色呈现褐色, 故杜仲雄花的干燥更适宜使用微波干燥[37−38]。

综合而言, 远红外线、微波、微波真空冷冻干燥等新型技术, 干燥速度快、干燥均匀, 能较好地保留活性成分, 优于传统干燥技术, 但是其设备采购、使用和维护费用高, 低成本设备的开发是产业化应用的关键, 将为多技术联用奠定基础[39]。

2.2　杜仲红茶

杜仲红茶是以杜仲叶或者杜仲雄花为原料经过萎凋、揉捻、发酵及干燥等一系列加工工艺制作而成的茶产品。徐青梅等[40]研究发现, 杜仲叶 95 ℃萎凋 2 min 至叶脉完整、外观呈翠绿色, 然后轻压 10 min、重压 10 min、轻压 10 min 进行揉捻使叶片溢出茶汁而不滴落且略有香气, 最后 30 ℃、湿度 95%时发酵 5 h, 制得的杜仲工夫红茶品质较好, 茶叶有光泽, 沏泡后有淡淡的青草味和微甜味; 而且在萎凋前进行漂烫处理既能起到护色的作用, 又能加快后续萎凋的进程; 干燥和复火等工艺环节, 不仅能去除水分, 同时也起到增香的作用。与绿茶一样, 干燥对红茶的品质也具有重要作用, 董尚胜等[41]比较多种干燥参数, 发现采用 110 ℃复火 1~2 h 所得的杜仲红茶汤色红亮、滋味醇厚, 感官品质良好, 茶红素/茶黄素的含量较高, 还原糖/总糖的含量能保持在 70%左右, 糖胺化合物的积累较多。

发酵是红茶的关键步骤, 以茶(*Camellia sinensis*)为原料的传统红茶, 其发酵原理是茶叶本身的多酚氧化酶和过氧化酶对茶多酚进行催化氧化形成茶红素、茶黄素、茶褐素等多酚氧化物, 从而形成红茶特有的色泽和香气[42]。然而, 杜仲叶子中茶多酚含量远低于茶(100.34 mg/g±4.30 mg/g)[43], 鲜有文献报道其含量范围, 主要功能成分是黄酮(0.65%~0.75%)、绿原酸(0.47%~0.49%)等, 高于茶的含量(黄酮: 0.228%~0.252%、绿原酸: 0)[44−45]。因此, 推测传统红茶与杜仲红茶之间的发酵原理不尽相同, 传统红茶的加工工艺照搬至杜仲红茶, 可能导致糖胺化合物的形成不完全、环烯醚萜类成分被破坏导致茶叶整体颜色呈现褐色等问题, 不利于杜仲红茶的综合品质。未来研究需系统阐明杜仲叶和雄花在红茶加工过程中各种化合物的转化机制与规律, 以期为杜仲红茶工艺参数的优化奠定理论依据和物质基础。

2.3　杜仲黑茶

黑茶属于后发酵茶, 其加工主要包括杀青、揉捻、渥堆、干燥等工序, 滋味醇厚, 茶汤红褐[33]。杜仲茯砖茶是以杜仲为原料经过原料筛分、汽蒸、渥堆、称茶、蒸茶、压制、冷却定型、发花、干燥等工序精制而成制成的黑茶。曾桥等[46]把以杜仲叶、安化黑茶、滇红、蒲公英为原料制成的茯茶进行对比, 发现杜仲叶茯茶的多糖和绿原酸的含量最高, 其质量分数约为 13.66%和 1.21%, 其中多糖含量比其他原料制成的茯茶高 97%以上, 同时杜仲叶茯砖茶多糖对甘氨胆酸钠和牛磺胆酸钠均有较强的结合能力, 具体而言, 当多糖质量浓度为 4 mg/mL 时, 杜仲叶茯砖茶多糖与牛磺胆酸钠的结合率为 31.69%, 与甘氨胆酸钠的结合率为 63.48%, 且随着杜仲多糖质量浓度的提高, 其结合能力逐渐上升[47]。因此, 杜仲叶茯茶具有抗氧化、降血脂潜力。在杜仲茯砖茶的加工过程中, 渥堆和发花是微生物发酵的关键步骤, 相关工艺参数优化的研究也主要集中于这两个步骤。

渥堆是在湿热作用和微生物作用下推动一系列氧化、水解、聚合、次生代谢转化等反应的进行, 促进茶或代用茶中的物质发生变化, 形成黑茶特有的色、香、味品质。杜仲黑茶的渥堆除了自然发酵外也可以人工接种微生物。例如, 张丽华等[48]通过采用冠突散囊菌发酵杜仲绿毛茶, 发现在接种量 20%, 含水量 35%, 渥堆时间 3 h 和渥堆温度 45 ℃, 发酵茶叶孢子数为 1.13×10^6 CFU/g 干茶, 绿原酸含量为 0.478 mg/g, 且金花茂盛, 颗粒饱满, 有金花香气, 气味浓郁。适宜的渥堆发酵条件可以促使茶中多酚类物质发生深度氧化形成茶黄素类、茶红素类以及茶褐素类化合物从而提高茶叶的品质[49], 但杜仲黑茶的物质转化机制尚不清晰, 亟待未来展开系统研究。

发花的实质是在一定的温度、湿度下，基于开放环境的原料、水和空气的自然接种进行的以冠突散囊菌为主的多菌群协同作用的固态发酵过程。冠突散囊菌是一种常用于茯砖茶加工中的优势菌种，又被称为“金花”菌，为散囊菌属发菌科曲霉属(*Aspergillus*)，在某些茯砖茶的曲霉菌属菌相对丰度达到 99.9%以上，其数量可作为评价茯砖茶品质的重要指标之一[46]。发花的工艺参数(接种时间、接种菌、接种时间)显著影响杜仲茯茶的最终品质，以杜仲绿毛茶为原料制成的杜仲金花茶与冠突曲霉、谢瓦曲霉和阿姆斯特丹曲霉这 3 种菌制成的复配发酵菌种进行发酵，生成了 172 种产物，其中形成的氨基酸和脂类代谢物对香气、滋味均有所提升，但制作杜仲茯砖茶工艺中的渥堆和汽蒸会降低冠突散囊菌在茶叶中的相对丰度，且随着加工过程的进行，其活性成分呈逐步下降的趋势[50−51]。杜仲茯砖茶的微生物组成复杂，其品质与嗜冷杆菌属(*Psychrobacter*)、肉杆菌属(*Carnobacterium*)、红球菌属(*Rbodococcus*)、芽孢杆菌属(*Bacillus*)、雷尔氏菌属(*Ralstonia*)、伯克霍尔德氏菌属(*Burkholderia*)等各类微生物的科学演替和协同发酵密不可分[46]。其中芽孢杆菌属菌同杜仲茯砖茶中的多糖、游离氨基酸、京尼平苷酸、桃叶珊瑚苷的质量分数呈正相关，红球菌属与多糖、总黄酮、游离氨基酸等 9 种活性成分呈显著或极显著负相关，雷尔氏菌属和 *Burkholderia-Caballeronia Paraburkholderia* 同水浸出物、绿原酸和京尼平苷呈显著或极显著正相关[51]。

综上，目前杜仲黑茶的制备采用纯杜仲叶、或多种原料复配的方式生产，渥堆和发花工艺由传统茶平移至杜仲黑茶表现出良好的工艺适应性，所得杜仲黑茶产品具备黑茶的感官品质，且具有抗氧化、降血脂等潜力，天然产物在自身酶系和微生物的共同作用下实现转化，但具体的科学机制尚缺乏研究。

2.4 杜仲乌龙茶

周继荣等[22]采用条状乌龙茶的加工工艺，以杜仲鲜叶为原料经过萎凋、摇青、杀青、揉捻和干燥工艺制备杜仲乌龙茶，所得的成品茶干茶呈青褐色，香气馥郁，叶底色泽为绿叶镶红边，符合乌龙茶的标准，表现出独特的花香，体现了杜仲鲜叶制备成乌龙茶的巨大潜力，能够为杜仲茶提供更广阔的市场前景，但截至目前此类茶研究甚少。

3 结束语

杜仲作为药食同源的植物资源，富含木脂素、环烯醚萜、黄酮等活性物质，具有“三抗”“三降”、调节肠道菌群等多种生理活性。杜仲皮作为中药被长期使用，但剥皮对植物的生长具有不良影响。杜仲叶和雄花的功能成分组成与杜仲皮类似，甚至具有更高的黄酮、环烯醚萜类化合物，其开发利用具有更高的可持续性。2023 年杜仲叶被列入药食同源目录，将杜仲叶加工为代用茶供消费者在日常生活中进行疾病预防和日常康养具有重要意义。截至目前，杜仲茶主要包含杜仲绿茶、杜仲红茶、杜仲黑茶和少量的杜仲乌龙茶，其加工工艺仅是将传统茶的制作方式照搬试制，并没有根据其活性成分含量的不同，有针对性地对加工步骤进行增减或创新，可能会导致部分营养物质损失过多，或使得制出的杜仲茶感官品质不稳定、储藏稳定性较差。亟需系统地开展杜仲茶生产过程的物质转化规律分析，深入解析影响色泽、功能、口感、香气等品质的关键化合物种类及其转化机制，重点针对绿茶的护色、红茶的发酵、黑茶的发花和渥堆，以及乌龙茶的做青生香工序开展成分变化的代谢组学研究，从而建立杜仲茶加工过程的标准参数体系，以期为杜仲茶加工工艺优化提供更多理论支撑。

参考文献

[1] 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 function of *Eucommia ulmoides* and its development in food processing [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(10): 3074–3080.

[2] 曾鸿哲, 周方, 刘昌伟, 等. 茶及其功能成分对肠道菌群调节作用的研究进展[J]. 中国茶叶加工, 2022(1): 5–10.
ZENG HZ, ZHOU F, LIU CW, *et al*. Research progress on the regulatory effect of tea and its functional components on intestinal flora [J]. China Tea Processing, 2022(1): 5–10.

[3] 覃玉娜, 杜金杰, 吴新惠, 等. 茶对焦虑与抑郁的缓解作用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(21): 214–219.
QIN YN, DU JJ, WU XH, *et al*. Research progress in amelioration effect on anxiety and depression of tea [J]. Food Research and Development, 2023, 44(21): 214–219.

[4] 马佳丽, 张厅, 赵文慧, 等. 不同杀青方式对多花黄精嫩芽茶品质的影响[J]. 食品工业科技: 1–14. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306. 2023100030
MA JL, ZHANG T, ZHAO WH, *et al*. Effects of different fixation methods on the quality of polygonatum cyrtonema tender bud tea [J]. Science and Technology of Food Industry: 1–14. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023100030

[5] 张文娟, 刘雪娜, 李丽维, 等. 茶多酚生理机制及其保健食品研发进展[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(5): 217–224.
ZHANG WJ, LIU XN, LI LW, *et al*. Physiological mechanism of tea polyphenols and development of their health food [J]. Food Research and Development, 2023, 44(5): 217–224.

[6] LI XY, FU YJ, FU YF, *et al*. Simultaneous quantification of fourteen characteristic active compounds in *Eucommia ulmoides* Oliver and its tea product by ultra-high performance liquid chromatography coupled with triple quadrupole mass spectrometry (UPLC-QqQ-MS/MS) [J]. Food Chemistry, 2022, 389: 133106.

[7] BAO L, SUN Y, WANG J, *et al*. A review of “plant gold” *Eucommia ulmoides* Oliv.: A medicinal and food homologous plant with economic value and prospect [J]. Heliyon, 2024, 10(2): e24851.

[8] WANG X, LIU W, ZHANG C, *et al*. Effects of *Eucommia ulmoides* Oliver leaves on gut microbiota and intestinal function during *in vitro* simulated

digestion and fermentation [J]. Journal of Functional Foods, 2023, 109: 105819.

[9] 张帅帅, 赵历强, 许景垚, 等. 基于转录组测序的杜仲木脂素和木质素生物合成途径及关键酶分析[J]. 中国中药杂志, 2022, 47(14): 3765–3772.
ZHANG SS, ZHAO LQ, XU JY, *et al*. Analysis of the lignan and lignin biosynthesis pathways and key enzymes in *Eucommia ulmoides* based on transcriptome sequencing [J]. Chinese Journal of Traditional Chinese Medicine, 2022, 47(14): 3765–3772.

[10] 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.
ZENG M, LONG YQ, ZENG J, *et al*. Comparison of chemical components in different parts of *Eucommia ulmoides* [J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2023, 45(4): 1184–1194.

[11] 罗丽芳, 吴卫华, 欧阳冬生, 等. 杜仲的降压成分及降压机制[J]. 中草药, 2006(1): 150–152.
LUO LF, WU WH, OUYANG DS, *et al*. The antihypertensive components and mechanisms of *Eucommia ulmoides* [J]. Chinese Herbal Medicines, 2006(1): 150–152.

[12] 刘微, 秦海翔, 黄晓东, 等. 杜仲木质素对自发性高血压大鼠脑卒中的治疗作用[J]. 中国老年学杂志, 2012, 32(24): 5487–5488.
LIU W, QIN HX, HUANG XD, *et al*. The therapeutic effect of *Eucommia ulmoides* lignin on stroke in spontaneously hypertensive rats [J]. Chinese Journal of Gerontology, 2012, 32(24): 5487–5488.

[13] LI L, YAN J, HU K, *et al*. Protective effects of *Eucommia* lignans against hypertensive renal injury by inhibiting expression of aldose reductase [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2012, 139(2): 454–461.

[14] XING YF, HE D, WANG Y, *et al*. Chemical constituents, biological functions and pharmacological effects for comprehensive utilization of *Eucommia ulmoides* Oliver [J]. Food Science and Human Wellness, 2019, 8(2): 177–188.

[15] 胡竞月, 岳芽, 谭欣, 等. 杜仲叶发酵综合利用的研究进展[J]. 中国饲料, 2023(21): 16–20.
HU JY, YUE Y, TAN X, *et al*. Research progress on comprehensive utilization of *Eucommia ulmoides* leaves after fermentation [J]. China Feed, 2023(21): 16–20.

[16] 翁泽斌, 颜翠萍, 高倩倩, 等. 不同炮制品的杜仲含药血清及其环烯醚萜类成分对绝经后妇女成骨细胞增殖与分化的影响[J]. 时珍国医国药, 2015, 26(11): 2636–2638.
WENG ZB, YAN CP, GAO QQ, *et al*. The effects of drug-containing serum from different processed *Eucommia ulmoides* and its iridoid components on the proliferation and differentiation of osteoblasts in postmenopausal women [J]. Journal of Lishizhen Traditional Chinese Medicine, 2015, 26(11): 2636–2638.

[17] 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(S2): 319–323.
ZUO T, SONG H. Regulation effects of eucommia iridoids on sex hormone transformation [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2016, 35(S2): 319–323.

[18] HUANG H, HAN MH, GU Q, *et al*. Identification of pancreatic lipase inhibitors from *Eucommia ulmoides* tea by affinity-ultrafiltration combined UPLC-Orbitrap MS and *in vitro* validation [J]. Food Chemistry, 2023, 426: 136630.

[19] 吕强, 彭密军, 兰文菊, 等. 不同处理方法对杜仲皮及叶中多种活性成分含量的影响[J]. 林产化学与工业, 2012, 32(1): 75–79.
LV Q, PENG MJ, LAN WJ, *et al*. Effect of processing methods on the content of several active ingredients in barks and leaves of *Eucommia ulmoides* Oliv. [J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2012, 32(1): 75–79.

[20] 杜仲产业研究课题组. 杜仲生物产业发展现状与前景[J]. 中国林业产业, 2022(11): 18–47.
The Eucommia Industry Research Group. The current situation and prospects of *Eucommia ulmoides* bio-industry development [J]. China Forestry Industry, 2022(11): 18–47.

[21] FENG H, FAN J, SONG Z, *et al*. Characterization and immunoenhancement activities of *Eucommia ulmoides* polysaccharides [J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 136: 803–811.

[22] 周继荣, 臧中华, 倪德江. 不同加工工艺对杜仲茶品质的影响[J]. 湖北农业科学, 2008(3): 334–337.
ZHOU JR, ZANG ZH, NI SJ, *et al*. Study on quality changes of Du-zhong (*Eucommia ulmoides* Oliv.) tea with different processing techniques [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2008(3): 334–337.

[23] 涂青, 陈秋慧, 穆先, 等. 不同杀青方式对刺梨叶茶风味物质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(20): 140–150.
TU Q, CHEN QH, MU X, *et al*. Effects of different fixation methods on flavoring substances of *Rosa roxburghii* Tratt leaves tea [J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(20): 140–150.

[24] 刘雯, 肖斌, 王丽霞, 等. 杀青工艺对杜仲复合茶活性成分的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(2): 149–154.
LIU W, XIAO B, WANG LB, *et al*. Effects of fixing technology on active components of composite *Eucommia* tea [J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2014, 42(2): 149–154.

[25] 黄友谊, 罗新飞, 阳永学, 等. 杀青工艺对杜仲绿茶活性成分的影响[J]. 食品科学, 2002(1): 80–84.
HUANG YY, LUO XF, YANG YX, *et al*. The influence of pan-frying process on the active components of *Eucommia* green tea [J]. Food Science, 2002(1): 80–84.

[26] 周继荣, 秦志华. 杜仲绿茶杀青技术研究[J]. 安徽农业科学, 2008(10): 4155–4157.
ZHOU JR, QIN ZH. Primary studies on the green-removing technologies in green *Eucommia* tea [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008(10): 4155–4157.

[27] 白喜婷, 朱文学, 廉小梅. 杀青和初炒对杜仲绿茶中绿原酸和总黄酮的影响[J]. 农业机械学报, 2009, 40(1): 132–136, 142.
BAI XT, ZHU WX, LIAN XM. Effect of fixing and drying process on the chlorogenic acid and total flavonoids contents in *Eucommia* green tea [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(1): 132–136, 142.

[28] 刘雯. 杜仲复合功能茶杀青工艺研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学 , 2013.
LIU W. The Study of fixing craft of composite and functional *Eucommia* tea [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2013.

[29] 何永杰. 不同加工工艺对天津产杜仲茶品质的影响[D]. 天津: 天津农学院, 2021.
HE YJ. Effect of different processing methods on the quality of *Eucommia ulmoides* tea produced in Tianjin [D]. Tianjin: Tianjin Agricultural University, 2021.

[30] 张强, 苏印泉, 苑子夜, 等. 杀青工艺对杜仲叶抗氧化活性的影响[J]. 北方园艺, 2011(23): 157–160.
ZHANG Q, SU YQ, YUAN ZY, *et al*. Effects of de-enzyme process on the

antioxidant activity of *Eucommia* leaves [J]. Northern Horticulture, 2011(23): 157–160.

[31] 付卓锐, 董娟娥, 马希汉. 杜仲雄花茶加工中护绿工艺响应面优化[J]. 农业机械学报, 2010, 41(4): 145–150.
FU ZR, DONG JE, MA XH. Green-protecting process optimization in processing of *Eucommia* male flower tea by response surface analysis method [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(4): 145–150.

[32] DONG J, MA X, MA Z, *et al*. Effects of green-keeping treatment on the functional constituents in flower tea of *Eucommia ulmoides* [J]. Industrial Crops and Products, 2012, 36(1): 389–394.

[33] 朱珺语, 杨希, 陈玉琼, 等. 不同干燥方式对黑茶品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(14): 4423–4430.
ZHU JY, YANG X, CHEN YQ, *et al*. Effects of different drying methods on quality of dark tea [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(14): 4423–4430.

[34] 蒋文峰, 蒋文欣, 潘榕群. 茶叶干燥技术现状与对策[J]. 企业科技与发展, 2018(3): 148–149.
JIANG WF, JIANG WX, PAN RQ, *et al*. Current situation and countermeasures of tea drying technology [J]. Enterprise Technology and Development, 2018(3): 148–149.

[35] 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.
CHEN SM, ZHANG N. Effects of different drying methods on four common components of *Eucommia ulmoides* leaves [J]. Anhui Chemical Industry, 2023, 49(1): 94–97.

[36] 段续, 宋艳红, 陈俊亮, 等. 不同干燥方式对杜仲雄花品质特性及挥发性成分的影响[J]. 农业工程学报, 2024, 40(6): 101–110.
DUAN X, XU YH, CHEN JL, *et al*. The effects of different drying methods on the quality characteristics and volatile components of *Eucommia ulmoides* male flowers [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2024, 40(6): 101–110.

[37] 董娟娥, 付卓锐, 马希汉, 等. 不同干燥方法对杜仲雄花茶品质的影响[J]. 农业机械学报, 2011, 42(8): 131–137.
DONG JE, FU ZR, MA XH, *et al*. Effects of different drying methods on quality of *Eucommia ulmoides* male flower tea [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(8): 131–137.

[38] DONG J, MA X, FU Z, *et al*. Effects of microwave drying on the contents of functional constituents of *Eucommia ulmoides* flower tea [J]. Industrial Crops and Products, 2011, 34(1): 1102–1110.

[39] 耿铁, 孟斐, 杨卫东, 等. 不同干燥技术在农产品干燥领域的研究进展[J]. 农产品加工, 2022(14): 81–84.
GENG T, MENG F, YANG WD, *et al*. Research progress of different drying technologies in agricultural products drying field [J]. Agricultural Products Processing, 2022(14): 81–84.

[40] 徐青梅, 李芯妮. 杜仲叶复合工夫红茶的加工工艺研究[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(1): 67–70, 79.
XU QM, LI XN. Processing technology of complex congou black tea of *Eucommia ulmoides* leaves [J]. Storage and Process, 2021, 21(1): 67–70, 79.

[41] 董尚胜, 翁蔚, 查森俊, 等. 杜仲茶风味化学的研究III. 复火对杜仲红茶品质成分的影响[J]. 林业科学研究, 2001(1): 73–77.
DONG SS, WENG W, ZHA SJ, *et al*. Study on flavour chemistry of *Eucommia* tea III. Influence of second drying on quality and flavour composition of *Eucommia* black tea [J]. Forest Research, 2001(1): 73–77.

[42] 王利晖, 贾智彤, 李好, 等. 外源酶添加对茶叶品质形成的研究进展[J]. 蚕桑茶叶通讯, 2023(4): 23–26.
WANG LH, JIA ZT, LI H, *et al*. Research progress on the formation of tea quality by adding exogenous enzymes [J]. Sericulture and Tea Newsletter, 2023(4): 23–26.

[43] 韩卫娟, 张嘉嘉, 杜改改, 等. 柿叶茶、杜仲雄花茶、绿茶和红茶体外抗氧化活性比较研究[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(3): 144–148, 155.
HAN WJ, ZHANG JJ, DU GG, *et al*. Comparative studies on the antioxidant activity of persimmon leaf tea, *Eucommia ulmoides* male flower tea, green tea and black tea *in vitro* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017, 32(3): 144–148, 155.

[44] 王俊红, 周朝学, 安涛, 等. 不同外形凤冈红茶儿茶素、氨基酸和香气组分分析[J]. 广西林业科学, 2023, 52(1): 97–105.
WANG JH, ZHOU CX, AN T , *et al*. Analysis on catechins, amino acids and aromas of different shapes of black teas in fenggang [J]. Guangxi Forestry Science, 2023, 52(1): 97–105.

[45] 叶小辉, 赵峰, 何丽梅, 等. 红茶主要多酚类化合物的 HPLC 分析[J]. 福建茶叶, 2014, 36(6): 18–23.
YE XH, ZHAO F, HE LM, *et al*. HPLC analysis of main polyphenolic compounds in black tea [J]. Fujian Tea, 2014, 36(6): 18–23.

[46] 曾桥, 吕生华, 李祥, 等. 不同原料茯砖茶活性成分及微生物多样性分析[J]. 食品科学, 2020, 41(24): 69–77.
ZENG Q, LV SH, LI X, *et al*. Bioactive ingredients and microbial diversity of Fuzhuan tea produced from different raw materials [J]. Food Science, 2020, 41(24): 69–77.

[47] 曾桥, 韦承伯, 猴会莉, 等. 杜仲叶茯砖茶多糖提取工艺优化及抗氧化降血脂活性[J]. 食品科技, 2018, 43(8): 184–192.
ZENG Q, WEI CB, HOU HL, *et al*. Optimization of the extraction process and evaluation of antioxidant activities and hypolipidemic effects of polysaccharides from *Eucommia ulmoides* leaves Fu brick tea [J]. Food Science and Technology, 2018, 43(8): 184–192.

[48] 张丽华, 李珍珠, 赵光远, 等. 冠突散囊菌发酵杜仲茶的工艺优化[J]. 食品工业科技, 2019, 40(21): 118–123.
ZHANG LH, LI ZZ, ZHAO GY, *et al*. Process optimization of fermentation of *Eucommia ulmoides* tea by *Eurotium cristatum* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(21): 118–123.

[49] 王辉, 刘亚芹, 郑东, 等. 渥堆对黑茶色泽形成的作用及适度判别分析[J]. 中国茶叶加工, 2022(4): 29–38.
WANG H, LIU YQ, ZHENG D, *et al*. Effect of pile-fermentation on the color formation of dark tea and its moderate discrimination analysis [J]. China Tea Processing, 2022(4): 29–38.

[50] 燕飞, 曲东, 纪鹏彬, 等. 基于非靶向代谢组学分析杜仲金花茶发酵过程中代谢物的特征[J]. 食品科学, 2023, 44(10): 300–309.
YAN F, QU D, JI PB, *et al*. Non-targeted metabolomic characterization of metabolites during the fermentation of ‘Golden Flower’ *Eucommia ulmoides* leaf tea [J]. Food Science, 2023, 44(10): 300–309.

[51] 曾桥, 段洁, 边文文, 等. 杜仲叶茯砖茶加工过程中活性成分及微生物多样性[J]. 食品科学, 2021, 42(13): 64–71.
ZENG Q, DUAN J, BIAN WW, *et al*. Bioactive ingredients and microbial diversity in the manufacturing process of Fuzhuan tea *Eucommia ulmoides* leaves [J]. Food Science, 2021, 42(13): 64–71.

(责任编辑: 蔡世佳 安香玉)