DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts. H20251219003
引用格式: 王燕红. 杜仲蝉体内杜仲性活性成分研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(6): 252–259.
WANG YH. Study on *Eucommia*-derived bioactive components in *Eucommia cicada* [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(6): 252–259. (in Chinese with English abstract).

杜仲蝉体内杜仲性活性成分研究

王燕红*

(济南市莱芜区综合检验检测中心, 济南 250000)

摘 要: 目的 探究杜仲蝉体内主要活性成分的代谢与积累情况。**方法** 采用超声辅助提取结合高效液相色谱法, 对杜仲蝉幼虫及新羽化的杜仲蝉体内 9 种杜仲来源的活性成分(桃叶珊瑚苷、京尼平苷酸、绿原酸、京尼平苷、松脂醇二葡萄糖苷、芦丁、紫云英苷、槲皮素和山柰酚)进行了定性与定量分析。**结果** 杜仲蝉幼虫与新羽化的杜仲蝉体内均检测到桃叶珊瑚苷、京尼平苷酸、绿原酸、松脂醇二葡萄糖苷和紫云英苷; 其中, 新羽化的杜仲蝉特有性地含有京尼平苷与芦丁, 而幼虫体内此两种成分未检出; 所有样品中均未检测到槲皮素和山柰酚。统计分析显示, 两类样品在多数成分含量上存在显著差异(P<0.05)。**结论** 本研究证实杜仲蝉能够通过食物链摄取并积累杜仲来源的活性成分, 使其兼具杜仲与蝉的双重药食价值, 为杜仲蝉作为一种新型功能性食品或药用植物资源的深入开发与利用提供了科学依据。

关键词: 杜仲蝉; 活性成分; 高效液相色谱法; 成分积累

Study on *Eucommia*-derived bioactive components in *Eucommia cicada*

WANG Yan-Hong*

(*Comprehensive Inspection and Testing Center of Laiwu District*, *Ji'nan City*, *Ji'nan* 250000, *China*)

ABSTRACT: Objective To investigate the metabolism and accumulation of major bioactive components in *Eucommia cicada*. **Methods** Ultrasound-assisted extraction coupled with high performance liquid chromatography was employed to qualitatively and quantitatively analyze 9 kinds of Eucommia-derived bioactive components (aucubin, geniposidic acid, chlorogenic acid, geniposide, pinoresinol diglucoside, rutin, astragalin, quercetin and kaempferol) in both larval and newly emerged *Eucommia cicadas*. **Results** The results showed that aucubin, geniposidic acid, chlorogenic acid, pinoresinol diglucoside and astragalin were detected in both larval and newly emerged *Eucommia cicadas*. Notably, geniposide and rutin were only found in newly emerged *Eucommia cicadas*, but not in larvae. Quercetin and kaempferol were not detected in any samples. Statistical analysis revealed significant differences (P<0.05) in the content of most components between the 2 sample types. **Conclusion** This study provides that *Eucommia cicadas* can absorb and accumulate bioactive compounds derived from *Eucommia* through the food chain, endowing them with the dual medicinal and nutritional value of both *Eucommia* and cicadas. It offers a scientific basis for the further development and utilization of *Eucommia cicadas* as a novel functional food or medicinal plant resource.

KEY WORDS: *Eucommia cicada*; bioactive components; high performance liquid chromatography; component accumulation

收稿日期: 2025-12-19

第一作者/*通信作者: 王燕红(1987—), 女, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为食品检验检测。E-mail: wyh19870609@126.com

0　引　言

杜仲为杜仲科杜仲属落叶乔木, 是我国特有的传统中药材, 具有悠久的药用历史[1–2]。现代研究表明, 杜仲的皮、叶、雄花和种子中均富含多种活性成分, 如环烯醚萜类、木脂素类、多糖等[3–6], 具有降血压、降血糖、抗炎、抗氧化等多种药理作用[7–11]。近年来, 随着对杜仲研究的深入, 人们开始关注其有效成分在不同生物体内的代谢积累情况[12–14]。刘秉正[13]通过对黑蚱蝉代谢组学分析, 推测黑蚱蝉的代谢物及次生代谢物中具有药用价值的化学物质, 从而使黑蚱蝉自身更具有综合利用价值。靳可[14]研究表明, 以杜仲叶为饲料的畜禽产品中, 已检测到杜仲来源的木脂素类和黄酮类成分, 且产品的抗氧化活性明显提升。杜仲蝉是一种以杜仲树汁为食的昆虫, 作为一种新兴的特色食品资源, 具有较高的药食两用开发价值。阮瑞宝等[15]研究表明, 杜仲蝉具有杜仲和蝉双重药食保健作用, 营养丰富, 并且口感和风味独特。该蝉市场价格较普通金蝉高出 2~3 倍, 收入 30~135 万元/hm^2, 效益非常可观。杜仲蝉可能通过食物链将杜仲中的有效成分积累到自身体内, 从而兼具杜仲和蝉的双重药食保健功效。然而, 目前关于杜仲蝉的研究仅局限于寄主特性、养殖技术及经济价值的报道[15], 而关于杜仲蝉体内有效成分的研究鲜少报道。本研究通过超声辅助-高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)对杜仲蝉幼虫和新羽化的杜仲蝉体内的多种活性成分进行了分离与含量测定[16–20], 旨在为杜仲蝉的进一步研究和开发提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　材料与试剂

杜仲蝉幼虫、新羽化的杜仲蝉、金蝉由山东高密杜仲蝉基地提供, 各 20 份。

桃叶珊瑚苷(CAS 479-98-1, 纯度≥99.2%)、京尼平苷酸(CAS 27741-01-1, 纯度≥99%)、绿原酸(CAS 327-97-9, 纯度≥99%)、京尼平苷(CAS 24512-63-8, 纯度≥99%)、松脂醇二葡萄糖苷(CAS 63902-38-5, 纯度≥99%)、芦丁(CAS 153-18-4, 纯度≥98.0%)、紫云英苷(CAS480-10-4, 纯度≥99%)、槲皮素(CAS 117-39-5, 纯度≥98%)、山柰酚(CAS 520-18-3, 纯度≥98%)(成都金麦瑞生物科技有限公司), 磷酸(色谱纯, 天津市恒兴化学试剂制造有限公司); 甲醇(色谱纯, 国药集团化学试剂有限公司)。

1.2　仪器与设备

Ultimate 3000 高效液相色谱仪、Thermo Hypersil ODS C_{18} 色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm)(美国 Thermo Fisher Scientific 公司); MP 5002 分析天平(感量 0.01 g, 上海舜宇恒平科学仪器有限公司); ME 204 分析天平(感量 0.1 mg, 瑞士梅特勒-托利多公司); 101-I 电热鼓风干燥箱(北京科伟永兴仪器有限公司); KQ-500B 型超声波清洗器(昆山市超声波仪器有限公司)。

1.3　标准溶液配制

准确称取适量上述标准品, 用甲醇溶解并定容, 配制成 10 mg/mL 的单标储备液, 置于 4 ℃冰箱保存。各吸取一定量上述质量浓度的单标储备液, 用甲醇溶液配制成 10、50、100、300、500 μg/mL 的混合标准工作液。

1.4　色谱条件

Thermo Hypersil ODS C_{18} 色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm); 柱温 30 ℃; 检测波长 0~8 min (207 nm), 9~30 min (237 nm), 31~40 min 207 nm, 41~57 min 320 nm, 58~67 min 360 nm; 进样量 10 μL。梯度洗脱条件见表 1。

表 1　梯度洗脱条件

Table 1　Conditions of gradient elution

保留时间/min	甲醇占比/%	0.1%磷酸水占比/%
0	5.0	95.0
12	8.0	92.0
17	11.0	89.0
25	13.0	87.0
28	14.0	86.0
40	14.5	85.5
41	20.0	80.0
56	30.0	70.0
65	24.0	76.0
66	5.0	95.0
67	5.0	95.0

1.5　样品处理

将样品烘干至恒重, 磨碎, 准确称取 0.5~3.0 g, 置于 100 mL 锥形瓶中, 精密加入 15 mL 甲醇, 超声处理 35 min, 取出, 放冷, 甲醇补足减失的质量, 摇匀, 滤过, 8000 r/min 离心 5 min, 取上清液, 0.45 μm 微孔滤膜过滤, 即得, 密封后低温避光保存[21–23]。

1.6　数据处理

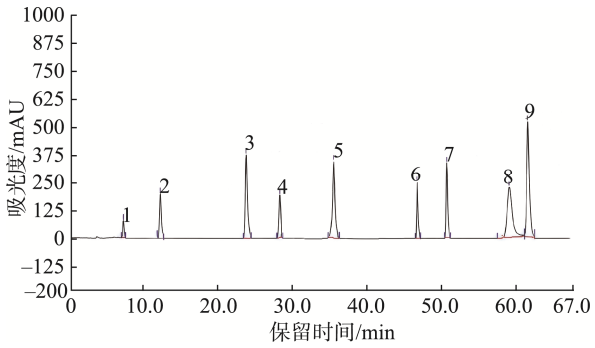
应用 Ultimate 3000 自带软件工作站及 WPS Office 2025 进行数据处理和表格绘制, 应用 OriginPro 2021 进行谱图处理, 使用 SPSS 20.0 软件对不同处理间显著性差异进行分析。所有实验均进行 3 次平行测定, 以确保实验结果的可靠性与可重复性。

2　结果与分析

2.1　分析条件优化

为使组分获得更好的分离效果, 本研究对色谱柱、流

动相、样品前处理过程等进行了筛选和优化。对不同厂家色谱柱(Agilent、岛津、Thermo)的分离效果进行了比较研究，同时比较了 150 mm 和 250 mm 不同色谱柱长度对几种成分的分离效果；结果表明，Thermo Hypersil ODS C_{18} 色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm)对各目标成分的分离度均大于 1.5，分离效果优于其他色谱柱，且保留时间适宜，故选择该色谱柱进行进一步分析。本研究通过比较不同流动相组成对信号强度的影响，最终选择以 0.1%磷酸水和甲醇为流动相进行梯度洗脱，该体系下各色谱峰峰形对称、基线噪声最低，分离效果好、灵敏度高、重现性好且分离时间短，明显优于乙腈-水和甲醇-水体系。同时，分别对样品提取物取样量(0.5、1.0、3.0 g)、超声提取时间(30、35、40、50 min)等进行了筛选研究，结果表明，当样品提取物取样量为 3.0 g，超声提取时间为 35 min，样品回收率均达到 90%以上，满足定量分析要求。图 1 为经过优化后按表 1 梯度洗脱得到 9 种化合物的液相色谱图。



注: 1. 桃叶珊瑚苷; 2. 京尼平苷酸; 3. 绿原酸; 4. 京尼平苷; 5. 松脂醇二葡萄糖苷; 6. 芦丁; 7. 紫云英苷; 8. 槲皮素; 9. 山柰酚。

图 1 9 种化合物的高效液相色谱图

Fig.1 High performance liquid chromatogram of the 9 kinds of compounds

2.2 线性关系与检出限

按选定的仪器条件对已配制好的系列标准溶液进行测量，以组分的质量浓度为横坐标(X, μg/mL)，色谱峰面积为纵坐标(Y)，绘制标准曲线。结果显示，各目标物在此浓度范围内浓度和峰面积之间呈良好的线性关系，相关系数 r^2 均大于等于 0.9990，表明线性关系良好。标准曲线回归方程及相关系数如表 2 所示。检出限和定量限的测定是通过逐步稀释标准溶液，分别进样来确定，将信噪比 S/N=3 时的质量浓度作为各组分的检出限，将 S/N=10 时的质量浓度作为定量限。结果表明，检出限均可达到 0.0015 mg/g，定量限均可达到 0.0050 mg/g，表明方法灵敏度较高，可满足检测需求，结果列于表 2 中。

2.3 加标回收率及精密度测定

取金蝉样品，精密称定，分别加入不同体积的 10 mg/mL 的混合溶液，按 1.5 方法制备供试品溶液，处理成分别添加相当于 10、150、300 μg/mL 的标准溶液，计算加标回收率。每个质量浓度设 6 个平行样品，计算其相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)。结果如表 3 所示。由表 3 可知，方法加标平均回收率为 91.56%~100.01%，RSDs 为 0.65%~1.98%，表明方法准确度与精密度良好。

2.4 样品含量测定

取杜仲蝉幼虫、新羽化的杜仲蝉样品，按 1.5 方法制备供试品溶液，在 1.4 色谱条件下进样测定，计算含量。结果如表 4，色谱图如图 2。

结果表明，杜仲蝉幼虫和新羽化的杜仲蝉体内均含有桃叶珊瑚苷、京尼平苷酸、绿原酸、松脂醇二葡萄糖苷和紫云英苷等成分。其中，新羽化的杜仲蝉还含有京尼平苷及芦丁，而杜仲蝉幼虫体内未检测到这两种成分。此外，所有杜仲蝉体内均未检测到槲皮素和山柰酚。对新羽化的杜仲蝉及杜仲蝉幼虫组内不同样品编号样本进行差异性分析，结果表明同组内各样品间含量差异较小，样品一致性良好。

表 2 线性回归方程、相关系数、检出限和定量限

Table 2 Linear regression equations, correlation coefficients, limit of detection and limit of quantitation

名称	线性方程	相关系数(r^2)	检出限/(mg/g)	定量限/(mg/g)
桃叶珊瑚苷	Y=0.0670X–0.6693	0.9996	0.0015	0.0050
京尼平苷酸	Y=0.1839X–1.7214	0.9990	0.0015	0.0050
绿原酸	Y=0.3497X–0.9401	0.9990	0.0015	0.0050
京尼平苷	Y=0.2205X–1.7834	0.9991	0.0015	0.0050
松脂醇二葡萄糖苷	Y=0.4268X–0.5194	0.9992	0.0015	0.0050
芦丁	Y=0.1605X–1.3710	0.9993	0.0015	0.0050
紫云英苷	Y=0.2598X–2.4693	0.9990	0.0015	0.0050
槲皮素	Y=0.8288X+0.4145	0.9992	0.0015	0.0050
山柰酚	Y=0.5675X+9.8200	0.9990	0.0015	0.0050

表 3　加标回收率及精密度实验结果

Table 3　Results of spike recovery and precision tests

名称	加标质量浓度/(μg/mL)	平均回收率/%	RSDs/%	名称	加标质量浓度/(μg/mL)	平均回收率/%	RSDs/%
桃叶珊瑚苷	10	98.25	1.65	芦丁	10	91.56	1.98
	150	97.85	0.65		150	97.25	0.95
	300	98.56	0.66		300	98.36	0.85
京尼平苷酸	10	92.35	1.23	紫云英苷	10	93.68	1.85
	150	96.35	1.96		150	96.63	1.96
	300	97.85	0.68		300	96.85	0.79
绿原酸	10	97.23	1.67	槲皮素	10	95.36	1.46
	150	97.77	0.69		150	96.78	1.25
	300	98.86	0.76		300	98.23	0.96
京尼平苷	10	93.56	1.98	山柰酚	10	92.36	0.98
	150	96.53	0.87		150	96.58	1.68
	300	97.86	0.79		300	97.56	0.86
松脂醇二葡萄糖苷	10	92.38	0.75				
	150	98.89	0.73				
	300	100.01	0.73				

表 4　各成分含量测定结果(mg/g, 干重)

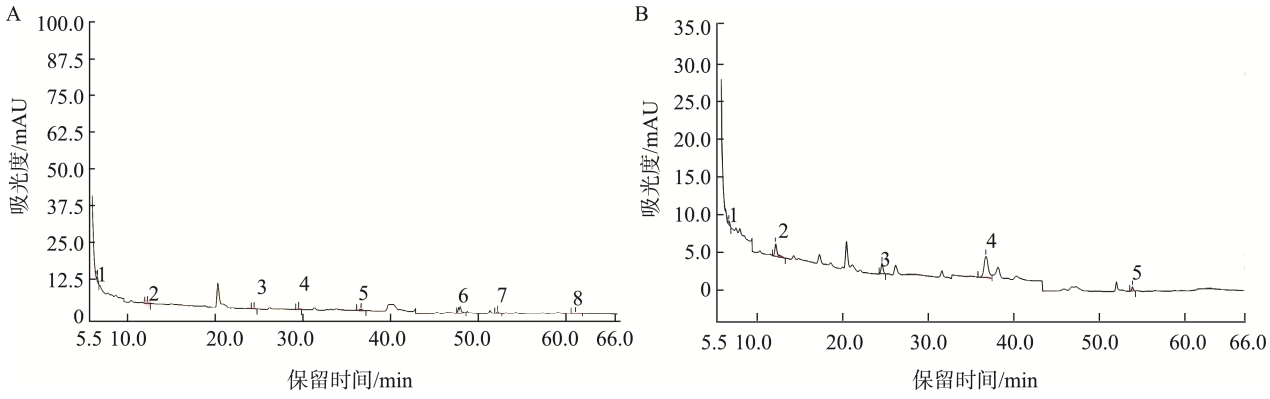
Table 4　Determination results of the content of each component (mg/g, dry weight)

样品类型	样品编号	桃叶珊瑚苷	京尼平苷酸	绿原酸	京尼平苷	松脂醇二葡萄糖苷	芦丁	紫云英苷
新羽化的杜仲蝉	1	0.064	0.050	0.014	0.042	0.007	0.073	0.051
	2	0.064	0.051	0.012	0.043	0.007	0.072	0.051
	3	0.063	0.051	0.014	0.042	0.006	0.071	0.051
	4	0.063	0.049	0.015	0.042	0.007	0.073	0.052
	5	0.065	0.051	0.014	0.041	0.006	0.074	0.050
	6	0.067	0.050	0.013	0.043	0.007	0.073	0.051
	7	0.064	0.050	0.014	0.044	0.006	0.073	0.052
	8	0.062	0.052	0.013	0.041	0.008	0.073	0.052
	9	0.065	0.051	0.014	0.042	0.006	0.073	0.051
	10	0.063	0.049	0.015	0.042	0.007	0.073	0.052
	11	0.063	0.050	0.016	0.042	0.007	0.072	0.050
	12	0.064	0.051	0.014	0.041	0.006	0.073	0.050
	13	0.064	0.050	0.012	0.043	0.007	0.072	0.050
	14	0.063	0.051	0.014	0.042	0.007	0.074	0.051
	15	0.064	0.050	0.014	0.041	0.008	0.073	0.050
	16	0.063	0.049	0.013	0.040	0.006	0.074	0.051
	17	0.063	0.052	0.015	0.043	0.007	0.071	0.050
	18	0.063	0.051	0.014	0.043	0.007	0.072	0.051
	19	0.064	0.048	0.014	0.042	0.007	0.073	0.051
	20	0.064	0.050	0.014	0.043	0.006	0.073	0.051

表 4(续)

样品类型	样品编号	桃叶珊瑚苷	京尼平苷酸	绿原酸	京尼平苷	松脂醇二葡萄糖苷	芦丁	紫云英苷
杜仲蝉幼虫	1	0.057	0.061	0.019	/	0.024	/	0.050
	2	0.056	0.06	0.018	/	0.025	/	0.050
	3	0.057	0.061	0.019	/	0.024	/	0.045
	4	0.056	0.062	0.018	/	0.023	/	0.049
	5	0.057	0.06	0.019	/	0.024	/	0.051
	6	0.057	0.06	0.020	/	0.025	/	0.052
	7	0.056	0.061	0.019	/	0.024	/	0.050
	8	0.058	0.061	0.020	/	0.023	/	0.050
	9	0.057	0.061	0.019	/	0.025	/	0.052
	10	0.057	0.06	0.020	/	0.023	/	0.050
	11	0.056	0.062	0.019	/	0.025	/	0.051
	12	0.058	0.061	0.021	/	0.025	/	0.050
	13	0.057	0.061	0.019	/	0.023	/	0.050
	14	0.058	0.062	0.020	/	0.024	/	0.051
	15	0.056	0.059	0.019	/	0.024	/	0.050
	16	0.057	0.060	0.020	/	0.024	/	0.049
	17	0.058	0.061	0.019	/	0.025	/	0.050
	18	0.056	0.061	0.018	/	0.023	/	0.050
	19	0.057	0.061	0.019	/	0.024	/	0.051
	20	0.057	0.061	0.019	/	0.024	/	0.050

注: /代表未检出或低于检出限。



注: A. 新羽化的杜仲蝉, B. 杜仲蝉幼虫; A 中 1. 桃叶珊瑚苷, 2. 京尼平苷酸, 3. 绿原酸, 4. 京尼平苷, 5. 松脂醇二葡萄糖苷, 6. 芦丁, 7. 紫云英苷, 8. 槲皮素, 9. 山柰酚。B 中 1. 桃叶珊瑚苷, 2. 京尼平苷酸, 3. 绿原酸, 4. 松脂醇二葡萄糖苷, 5. 紫云英。

图 2 新羽化的杜仲蝉及杜仲蝉幼虫高效液相色谱图

Fig.2 High performance liquid chromatogram of newly emerged and larval *Eucommia cicada*

2.5 各化学成分差异性分析

基于杜仲蝉幼虫和新羽化的杜仲蝉体内所含的化学成分, 采用独立样本 t 检验, 对各化学成分在体内的含量差异进行比较, 详见表 5。

由表 5 的统计结果可知, 杜仲蝉幼虫和新羽化的杜仲蝉对于槲皮素、山柰酚不会表现出显著性(P>0.05), 意味着杜仲蝉幼虫和新羽化的杜仲蝉对于槲皮素, 山柰酚全部均表现出一致性, 并没有差异性。另外, 对于桃叶珊瑚苷、京尼平苷酸、绿原酸、京尼平苷、松脂醇二葡萄糖苷、芦丁、紫云英苷呈现出显著性(P<0.05), 意味着杜仲蝉幼虫和新羽化的杜仲蝉对于桃叶珊瑚苷、京尼平苷酸、绿原酸、京尼平苷、松脂醇二葡萄糖苷、芦丁、紫云英苷有着差异性。

表 5　新羽化的杜仲蝉与杜仲蝉幼虫化学成分含量的差异性分析

Table 5　Analysis of differences in chemical component content between newly emerged and larval *Eucommia cicadas*

类别	桃叶珊瑚苷	京尼平苷酸	绿原酸	京尼平苷	松脂醇二葡萄糖苷	芦丁	紫云英苷	槲皮素	山柰酚
新羽化的杜仲蝉(n=20)/(mg/g)	0.06±0.00	0.05±0.00	0.01±0.00	0.04±0.00	0.01±0.00	0.07±0.00	0.05±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
杜仲蝉幼虫(n=20)/(mg/g	0.06±0.00	0.06±0.00	0.02±0.00	0.00±0.00	0.02±0.00	0.00±0.00	0.05±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
t	23.773	–36.527	–19.185	194.520	–77.986	382.449	2.373	null	null
P	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.000**	0.023*	null	null

注: *表示差异显著 P<0.05; **表示差异极显著 P<0.01; null 表示该成分在两组样品中均未检出, 无法计算 t 值与 P 值。

3　讨　论

3.1　化学成分差异的生物学意义

杜仲蝉幼虫和新羽化的杜仲蝉在成分上的差异可能与它们在不同生长阶段对杜仲树汁的摄取和代谢方式有关。杜仲蝉幼虫主要以吸食杜仲树汁为生, 而新羽化的杜仲蝉在脱壳后对树汁中的某些微量成分可能具有更强的摄取和转化能力。研究表明, 植物中次生代谢产物的含量和分布会随植物组织、生长环境等因素变化[24–25]。京尼平苷及芦丁在杜仲树汁中的含量可能较低, 在新羽化的杜仲蝉这一特殊阶段, 杜仲蝉的代谢系统才可能将这些微量成分积累到可检测的水平。槲皮素和山柰酚是常见的植物次生代谢产物, 具有抗氧化、抗炎等多种生物活性[26–28]。然而, 本研究中所有杜仲蝉体内均未检测到这两种成分。这两种成分可能在杜仲树汁中含量极低, 即使杜仲蝉在吸食树汁过程中摄取了这些物质, 由于含量过低, 也难以在体内积累到可检测水平。此外, 杜仲蝉体内也可能缺乏合成槲皮素和山柰酚的关键酶系, 无法将树汁中的相关前体物质转化为这两种成分。但需要指出的是, 本研究对化合物的定性主要依赖于高效液相色谱法, 尽管该方法能有效进行定量分析, 但相比较质谱等方法, 在定性确认方面存在一定局限。未来若采用液相色谱-质谱技术, 将能更准确地验证上述成分, 并有望发现更多痕量或未知的差异代谢物, 从而更深入地揭示杜仲蝉不同发育阶段的代谢生物学内涵[29]。从已知化学成分与其具有的药性来看, 新羽化的杜仲蝉含有芦丁和京尼平苷, 适合需要增强免疫力或抗氧化的人群食用; 而幼虫中绿原酸和松脂醇二葡萄糖苷含量较高, 适合需要补充抗氧化剂或支持生长发育的人群食用。

3.2　杜仲蝉的药食价值

杜仲蝉作为一种以杜仲树汁为食的昆虫, 可能通过食物链将杜仲中的有效成分富集到自身体内, 从而兼具杜仲和蝉的双重药食保健功效[30–31]。本研究发现, 杜仲蝉体内含有多种杜仲中的活性成分, 如桃叶珊瑚苷、京尼平苷酸、绿原酸等, 这些成分具有降血压、降血糖、抗炎、抗氧化等多种药理作用。因此, 杜仲蝉不仅具有丰富的营养价值, 还可能具有一定的药用价值, 尤其是在传统中医药中的应用潜力值得进一步挖掘[32–34]。

3.3　未来研究方向

尽管本研究对杜仲蝉体内的有效成分进行了初步分析, 但仍有许多问题需要进一步研究。首先, 杜仲蝉体内有效成分的代谢机制尚不明确, 未来可以通过代谢组学和转录组学等技术, 深入研究杜仲蝉对杜仲树汁中有效成分的摄取、转化和积累机制。其次, 杜仲蝉的药理作用尚未得到充分验证, 未来可以通过动物实验和临床试验, 进一步验证杜仲蝉的降血压、降血糖、抗炎等药理作用。最后, 杜仲蝉的规模化养殖和加工技术也需要进一步研究, 以确保其在功能性食品和中药制剂中的广泛应用。

4　结　论

本研究通过高效液相色谱法对杜仲蝉体内的多种活性成分进行了定量分析, 发现杜仲蝉体内含有桃叶珊瑚苷、京尼平苷酸、绿原酸等多种杜仲中的有效成分。这些成分赋予了杜仲蝉降血压、降血糖、抗炎、抗氧化等多种药理作用, 使其兼具杜仲和蝉的双重药食保健功效。本研究为杜仲蝉的扩大利用和新产品开发提供了科学依据, 同时也为杜仲相关产业的发展提供了参考。未来, 随着对杜仲蝉研究的深入, 其在功能性食品和中药制剂中的应用前景将更加广阔。

参考文献

[1] GONG M, SU CF, FAN MZ, *et al*. Mechanism by which *Eucommia ulmoides* leaves regulate nonalcoholic fatty liver disease based on system pharmacology [J]. Ethnopharmacol, 2022, 282: 114603.

[2] DUAN Y, GUO FQ, 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.

[3] 裘佳吉, 王娅红, 章建华, 等. HPLC 同时测定杜仲-川芎药对中的 7 种成分[J]. 华西药学杂志, 2023, 38(6): 695–699.
QIU JJ, WANG YH, ZHANG JH, *et al*. Simultaneous determination of seven components in the Herb-Pair of *Eucommia ulmoides* and *Ligusticum chuanxiong* by HPLC [J]. West China Journal of Pharmaceutical Sciences, 2023, 38(6): 695–699.

[4] 房春林, 吴学渊, 章林, 等. HPLC 法同时测定杜仲叶提取物中 5 种成分含量[J]. 中国兽药杂志, 2023, 57(6): 46–51.
FANG CL, WU XY, ZHANG L, *et al*. Simultaneous determination of five components in *Eucommia ulmoides* leaves extract by HPLC [J]. Chinese Journal of Veterinary Drug, 2023, 57(6): 46–51.

[5] 潘泉利, 雷光. 基于杜仲降压片指纹图谱的化学模式识别及对松脂醇二葡萄糖苷的含量测定[J]. 湖北中医药大学学报, 2023, 25(5): 41–45.
PAN QL, LEI G. Chemical pattern recognition based on fingerprint of *Eucommia hypotensive* tablets and content determination of pinoresinol diglucoside [J]. Journal of Hubei University of Chinese Medicine, 2023, 25(5): 41–45.

[6] 李佳, 柯威, 王通, 等. 杜仲叶绿原酸提取工艺优化及其稳定性[J]. 林业科技通讯, 2025, 25(6): 44–48.
LI J, KE W, WANG T, *et al*. Optimization of extraction process and stability of chlorogenic acid from *Eucommia ulmoides* leaves [J]. Forest Science and Technology Communication, 2025, 25(6): 44–48.

[7] 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 constituents in different parts of *Eucommia cortex* [J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2023, 45(4): 1184–1194.

[8] SONG JY, ZHANG YF, ZHU YF, *et al*. Structural characterization and anti-osteoporosis effects of polysaccharide purified from *Eucommia ulmoides* Oliver cortex based on its modulation on bone metabolism [J]. Carbohydrate Polymers, 2023, 306: 120601.

[9] DEYAMA T, NISHIBE S, NAKAZAWA Y. Constituents and pharmacological effects of *Eucommia* and *Siberian ginseng* [J]. Acta Pharmacologica Sinica, 2001, 22(12): 1057–1070.

[10] CHENG S, JIA HL, ZHANG YS, *et al*. Geniposidic acid from *Eucommia ulmoides* Oliver staminate flower tea mitigates cellular oxidative stress via activating AKT/NRF2 signaling [J]. Molecules, 2022, 27: 8568.

[11] NGUYEN V, TAINE EG, MENG DH, *et al*. Chlorogenic acid: A systematic review on the biological functions, mechanistic actions, and therapeutic potentials [J]. Nutrients, 2024, 16(7): 924.

[12] 杨航, 袁泉, 吕巍巍, 等. 杜仲的生物学功能及其在水产动物生产中的应用[J]. 南京农业大学学报, 2025, 48(1): 58–69.
YANG H, YUAN Q, LV WW, *et al*. Biological functions of *Eucommia ulmoides* and its application in aquatic animal production [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2025, 48(1): 58–69.

[13] 刘秉正. 基于 UPLC-MS/MS 对取食两种药用植物黑蚱蝉体内主要化学成分分析[D]. 泰安: 山东农业大学, 2023.
LIU BZ. Analysis of the main chemical components of cryptotympana atrata (*Hemiptera: Cicadidae*) feeding on two medicinal plants based on UPLC-MS/MS [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2023.

[14] 靳可. 饲粮添加杜仲叶粉对生长期临武鸭的生长性能/抗氧化及肠道功能的影响[D]. 河南: 河南科技学院, 2025.
JIN K. Effects of dietary supplementation with *Eucommia ulmoides* leaf powder on growth performance,antioxidant status, and intestinal function in LinwuDucks during the growing period [D]. Henan: Henan Institute of Science and Technology, 2025.

[15] 阮瑞宝, 杜萍, 曾启斌, 等. 杜仲蝉养殖技术[J]. 现代农业科技, 2011(19): 331–332.
RUAN RB, DU P, ZENG QB, *et al*. Rearing techniques of *Eucommia cicada* [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2011(19): 331–332.

[16] XU LB, ZHANG F, DING YX, *et al*. Simultaneous determination of six flavonoids in leaves of *Eucommia ulmoides* Oliv. by HPLC [J]. Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis, 2014, 34(8): 1422–1425.

[17] PATTI GJ, YANES O, SIUZDAK G, *et al*. Metabolomics: The apogee of the omics trilogy [J]. Nature Reviews Molecular Cell Biology, 2012, 13(4), 263–269.

[18] 王婷格, 罗陆遥, 薛瑞, 等. 基于 HPLC 指纹图谱和多成分含量测定结合化学计量学的盐杜仲质量评价研究[J]. 中国中药杂志, 2024, 49(1): 141–150.
WANG TG, LUO LY, XUE R, *et al*. Quality evaluation of salt-processed *Eucommia ulmoides* based on HPLC fingerprint, multi-component quantification and chemometrics [J]. China Journal of Chinese Materia Medica. 2024, 49(1): 141–150.

[19] 盛益华, 王洪, 李思迪, 等. 基于 HPLC-Q-TOF-MS 鉴定杜仲不同部位中化学成分及其降血糖活性研究[J]. 中草药, 2023, 54(19): 6228–6240.
SHENG YH, WANG H, LI SD, *et al*. Identification of chemical constituents and study on hypoglycemic activity in different parts of *Eucommia ulmoides* based on HPLC-Q-TOF-MS [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2023, 54(19): 6228–6240.

[20] LI H, CHUMROENPHAT T, BUNYATRATCHATA A, *et al*. Chemical composition and nutritional profile of cicada (*Meimuna opalifera* Walker) at different developmental stages: Implications for functional food applications [J]. Food Chemistry: X, 2024, 21: 101081.

[21] ZHANG JX, DONG XL, LI JJ, *et al*. Optimized extraction and purification of geniposidic acid from *Eucommia ulmoides* leaves and its Anti-Parkinson's disease activity [J]. Industrial Crops and Products, 2025, 38: 122328.

[22] PENG MF, ZHOU YH, LIU BS. Biological properties and potential application of extracts and compounds from different medicinal parts (bark, leaf, staminate flower, and seed) of *Eucommia ulmoides*: A review [J]. Heliyon, 2024, 10(6): 27870.

[23] 庞文娟, 秦海钰, 董斌, 等. 高效液相色谱法同时测定菊花决明子茶中 8 种有效成分的含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(17): 166–171.
PANG WJ, QIN HY, DONG B, *et al*. Simultaneous determination of 8 kinds of active components in chrysanthemum and cassia seed tea by high performance liquid chromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality,

2025, 16(17): 166–171.

[24] 倪建伟, 杨秀艳, 张华新, 等. 代谢组学在植物逆境胁迫研究中的应用[J]. 世界林业研究, 2014, 27(5): 11–17.
NI JW, YANG XY, ZHANG HX, *et al.* Metabolomics and its application to plant stress research [J]. World Forestry Research, 2014, 27(5): 11–17.

[25] DIXON RA, STRACK D. Phytochemistry meets genome analysis, and beyond [J]. Phytochemistry, 2003, 62(6): 815–816.

[26] 张启菲, 邵亭亭, 钱芳芳, 等. 杜仲活性成分及其药理作用研究进展[J]. 食品与药品, 2025, 27(4): 414–424.
ZHANG QF, SHAO TT, QIAN FF, *et al.* Research progress on active components of *Eucommia ulmoides* and their pharmacological effects [J]. Food and Drug, 2025, 27(4): 414–424.

[27] 靳可, 吕璧光, 林谦, 等. 杜仲叶的生物学功能及其在动物生产中的应用[J]. 动物营养学报, 2025, 37(7): 4274–4285.
JIN K, LV BG, LIN Q, *et al.* Biological functions of *Eucommia ulmoides* leaves and their applications in animal production [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2025, 37(7): 4274–4285.

[28] 朱会宇, 李依涵, 李红雨, 等. 杜仲的药理作用、开发应用及剂型应用研究进展[J]. 农技服务, 2025, 42(3): 52–57.
ZHU HY, LI YH, LI HY, *et al.* Research progress on pharmacological effects, development and formulation applications of *Eucommia ulmoides* [J]. Agricultural Technology Service, 2025, 42(3): 52–57.

[29] LI YQ, SHI R, XIA LJ, *et al*. Identification of key active constituents in *Eucommia ulmoides* Oliv. leaves against Parkinson's disease and the alleviative effects via 4E-BP1 Up-regulation [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2025, 26(6): 2762.

[30] 张卫东, 李春, 王艳, 等. 药用昆虫活性成分研究进展[J]. 中国中药杂志, 2018, 43(12): 2437–2445.
ZHANG WD, LI C, WANG Y, *et al.* Research progress on bioactive constituents of medicinal insects [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2018, 43(12): 2437–2445.

[31] TEIXEIRA CSS, VILLA C, COSTA J, *et al.* Edible insects as a novel source of bioactive peptides: A systematic review [J]. Foods, 2023, 12(10): 2026.

[32] 肖伟, 彭代银. 杜仲产业链延伸与价值提升策略研究[J]. 中草药, 2020, 51(10): 2821–2828.
XIAO W, PENG DY. Study on the extension of industrial chain and value-added strategies for *Eucommia ulmoides* [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2020, 51(10): 2821–2828.

[33] 郭兰萍, 黄璐琦. 中药资源生态学与可持续发展[J]. 中国中药杂志, 2017, 42(21): 4077–4081.
GUO LP, HUANG LQ. Ecological research on traditional Chinese medicine resources and sustainable development [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2017, 42(21): 4077–4081.

[34] 张国霞, 杨莹, 李群, 等. 杜仲叶药用品质评价及安全利用的影响因素研究进展[J]. 中草药, 2025, 56(15): 5632–5644.
ZHANG GX, YANG Y, LI Q, *et al.* Research progress on factors influencing the medicinal quality evaluation and safe utilization of *Eucommia ulmoides* leaves [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2025, 56(15): 5632–5644.

(责任编辑: 冯东慧　安香玉)