

花生芽中白藜芦醇的提取及抗氧化研究

杨怡然, 周绮云, 张思雨, 马密霞*

北京联合大学生物化学工程学院, 北京

收稿日期: 2025年3月20日; 录用日期: 2025年6月5日; 发布日期: 2025年6月13日

摘 要

白藜芦醇因其抗氧化、抗炎、抗癌以及对心血管保护方面的良好作用而引起人们重视。因此对白藜芦醇进行深入研究、开发利用显得尤为重要且具有经济意义、社会价值。本文综述了白藜芦醇近几年国内外提取工艺、抗氧化性等方面的有关研究。研究发现目前对于白藜芦醇的提取方式分为超声波提取法、酶提取法、微波辅助提取法、超临界流体提取法等, 通过各个方法的对比分析, 以提高白藜芦醇的提取效率为目的, 综述白藜芦醇的抗氧化性, 以期对白藜芦醇进行更深层面的开发提供一定的参考依据。

关键词

白藜芦醇, 提取工艺, 抗氧化研究

Investigation into the Extraction and Antioxidant Properties of Resveratrol from Peanut Sprouts

Yiran Yang, Qiyun Zhou, Siyu Zhang, Mixia Ma*

College of Biochemical Engineering, Beijing Union University, Beijing

Received: Mar. 20th, 2025; accepted: Jun. 5th, 2025; published: Jun. 13th, 2025

Abstract

Resveratrol has attracted people's attention because of its good effects in antioxidant, anti-inflammatory, anticancer and cardiovascular protection. Therefore, the in-depth research, development and utilization of resveratrol is particularly important and has economic significance and social value. This paper reviews the research of resveratrol in recent years at home and abroad in terms of extraction technology and antioxidant activity. It was found that the current extraction methods of resvera-

*通讯作者。

文章引用: 杨怡然, 周绮云, 张思雨, 马密霞. 花生芽中白藜芦醇的提取及抗氧化研究[J]. 有机化学研究, 2025, 13(2): 146-154. DOI: 10.12677/jocr.2025.132015

trol were divided into ultrasonic extraction method, enzyme extraction method, microwave-assisted extraction method, supercritical fluid extraction method, etc. through the comparative analysis of various methods, in order to improve the extraction efficiency of resveratrol, and the antioxidant properties of resveratrol were reviewed, in order to provide a reference for the further development of resveratrol.

Keywords

Resveratrol, Extraction Technology, Antioxidant Research

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

白藜芦醇是具有抗氧化、抗炎症以及心血管保护作用的一类典型的多酚类化合物。大量存在于葡萄、花生及虎杖等植物中。白藜芦醇因其具有抗氧化、抗炎症、心血管保护作用等获得了大量的研究及关注[1]。随着人们对天然产品的广泛关注及其作用机理的深入探讨,食品科学、药学以及生物医药科学领域对白藜芦醇提取方法及白藜芦醇抗氧化活性的研究成为当前研究的热点之一。白藜芦醇作为一种天然的抗氧化剂,在对其作用机理的研究以及功能性食品和药物的开发中,都为其相关领域的发展提供了至关重要的理论基础。由于抗氧化剂具有能有效延缓衰老、预防慢性疾病的发展和对人体健康有益的功效,因此有必要去深入研究。

然而,白藜芦醇也存在着提取率较低、易受外界因素影响与难以阐释的抗氧化作用机制等问题[2][3]。这些问题大大降低了白藜芦醇在功能食品与药物中的应用与发展进程。所以,深入开展对白藜芦醇提取方式与抗氧化性作用等的研究,这对白藜芦醇的提取方式改善、抗氧化性指标利用效率的提高等具有重要作用。本文综述性地对近年来白藜芦醇提取方式与抗氧化性能作用鉴定方法与技术的进展加以归纳,分析性地指出当前研究中存在的不足,明确以后的研究方向,试图为后续研究提供一种新的参考和启发。

2. 白藜芦醇简介

2.1. 白藜芦醇结构及生物活性作用

白藜芦醇,化学式为 $C_{14}H_{12}O_3$ [4],主要存在于葡萄、虎杖、花生、桑葚等植物中,是一种非黄酮类多酚化合物。白藜芦醇有反式白藜醇和顺式白藜醇两种异构体[5]。其中,反式白藜芦醇比顺式白藜芦醇更稳定,生物活性更高。白藜芦醇顺式和反式结构如图1。在紫外线照射[6]、温度升高[7]或 pH 降低[8]的情况下,反式白藜芦醇都会变成顺式白藜芦醇,使生物活性下降。白藜芦醇对光不稳定,可溶于丙酮和乙醇,微溶于水[9],可在 306 nm 处测得紫外吸收光谱[10]。

2.2. 白藜芦醇的作用

白藜芦醇作为一种植物抗毒素,通常具有包括抗氧化、抗菌、防癌等多种功效在内的多种生物活性,会在植物遭受致病菌污染时产生[11]。

2.2.1. 抗氧化作用

人体衰老的原因之一就是健康身体的调节机制失衡,造成自由基的过度蓄积,进而破坏人体的组织

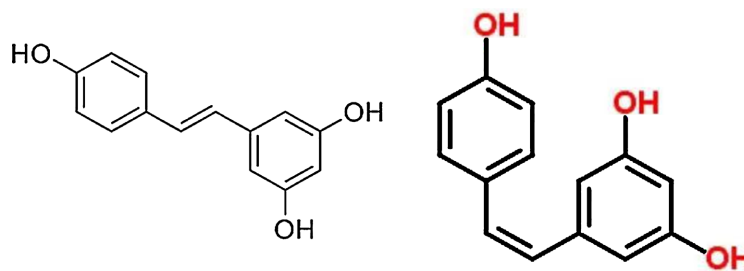


Figure 1. Structure diagram of trans resveratrol (left) and CIS resveratrol (right)

图 1. 反式白藜芦醇(左)和顺式白藜芦醇(右)结构图

和器官。研究发现,在动脉血管炎症模型中,国外心血管病的发病和死亡原因主要是动脉壁僵硬,而白藜芦醇通过减少炎症因子的表达,显著降低了动脉硬化和相关病理变化,起到抑制氧化应激相关炎症通路的作用[12],从而起到维护心血管健康的作用,其作用是通过减少炎症因子的表达,达到改善血管的目的,因此,白藜芦醇可以通过减少炎症因子的表达来达到改善血管的目的。同时,研究显示,通过调节 SIRT1 所依赖的抗氧化路径,白藜芦醇还可以提高线粒体功能,达到抗氧化的作用[13]。

2.2.2. 抗菌作用

多重抗铜绿假单胞菌建立多重复合膜可使其对白藜芦醇的耐药能力增强,随之引起的相关抗生素难治性感染则是目前医疗行业的热点话题。而最近的最新研究结果显示,白藜芦醇和多粘菌素 B 合用不仅可协同破坏细菌细胞膜的完整性,并且增强多粘菌素 B 的抗菌作用能力,这也为抗感染的新治疗药物的开发提供新的试验方向[14]。另外,当白藜芦醇在水产致病性嗜水气单胞菌中使用,发现其不仅可以通过抑制细菌形成生物膜的能力并削弱了细菌的运动特性,还可以通过改变某些外膜蛋白编码基因转录,从而减少细菌毒性水平,并保护宿主细胞免受毒害,即通过抑制这些基因而减弱细菌的毒性和使水生物易于处理,因而这些研究结果也进一步说明白藜芦醇在用于水生生物抗菌剂中的潜在功能,可研究其作为水产生物疾病的治疗剂的使用可能性[15]。

2.2.3. 抗癌作用

有资料显示,白藜芦醇能够很好地抑制胶质瘤细胞的增殖,通过 NLRP3 炎症小体及炎症因子的释放,抑制胶质瘤的炎症反应,起到抗胶质瘤的作用[16]。在通过药效团杂交分析后发现,将白藜芦醇与苯并咪唑结构的药效团活性单元相结合,在体外试验中表现出对癌细胞良好的抑制增殖活性[17]。该研究一方面丰富了白藜芦醇作为抗癌药物的良好理论依据,同时也为今后寻找创新性的脑胶质瘤治疗方法提供了强有力地证据,具有临床癌症治疗价值。

3. 白藜芦醇提取方法

3.1. 超声波提取法

超声提取法具有提取效率高、方法简单、产物纯度高、提取率高等优点,因此在中药提取成分的提取、食品工业、化学加工工业方面有着广阔的应用前景。近年来,超声法提取白藜芦醇的研究逐渐增多,从多层面开展该方法应用现状及工艺优化研究。

Zhao 等[18]提出一种离子液体与超声和酶解的耦合萃取体系,提高了虎杖中白藜芦醇的提取率,并且经过工艺条件的设计,使提取率大幅提高。Fletes-Vargas 等[19]验证了使用超声方法可以很好地萃取虎杖源白藜芦醇,同时又不影响白藜芦醇的活性,其为后续的抗氧化和抗炎活性研究提供了具有较高纯度的抗氧化剂。Xu 等[20]将超声技术应用于花生芽,通过工艺优化,使白藜芦醇得到提取,比较了提取的

白藜芦醇的抗氧化活性,验证了此方法在功能产品研究中的可行性。

工艺优化:Guo 等[21]通过对超声辅助提取葡萄中反式白藜芦醇及其糖苷的工艺进行响应曲面优化,实现有效分离,结合超高效液相色谱-质谱(Ultra Performance Liquid Chromatograph-TOFMS, UPLC-TOFMS)法对提取物进行定性定量,为产业化提供了技术支持。国内学者武鹏程[22]以及宋青云等[23]研究了花生芽、花生根中白藜芦醇超声提取工艺,旨在解决其提取效率低的问题、筛选出高效的分离纯化工艺。孟晓华[24]通过超声和微波辅助酶解结合构建花生红衣中白藜芦醇复配提取技术。

综上可知,虽然其提取对象和研究方法不同,但超声辅助提取的方法在提高其白藜芦醇的提取效率、降低成本、保护其生物活性方面有良好的表现。在下一步的研究中,还需扩大超声辅助提取这一技术对不同基质的扩展研究和对功能食品和药物开发的应用潜能的发掘。

3.2. 酶提取法

酶法萃取技术具有较低的处理温度和环境温度,因而对萃取作用轻微;但酶可以催化反应进行,使其在白藜芦醇的萃取及作用研究中有着良好的效果,与其他多种萃取辅助物理场相结合使用,是一种有效的技术手段。唐功[25]研究了酶法对草莓基质的预处理,不仅对白藜芦醇萃取具有良好的效果,而且还能提高其抗氧化性的功效,是目前草莓加工过程中基质副产物开发的高附加值的一种有效手段。王月珍等[26]使用响应曲面法探讨了酶法萃取的最佳工艺条件,通过对花生根茎中白藜芦醇的萃取,减少了能源及试剂的浪费。Căpruciu 和 Gheorghiu [27]综述了葡萄藤源白藜芦醇的萃取技术与分析技术中的问题和困难,其强调了在纯度和结构上的提高及验证依赖于酶法。

在扩大用途上, Ma 等[28]对桑葚渣中的黄酮类提取物采用酶解法分离,并验证其具有抗氧化和抗癌等生物活性,体现酶法技术应用于功能食品的广泛潜力。李学玲等[29]采用超声辅助酶解联用方法优化了咖啡果皮中白藜芦醇的最佳提取工艺并验证了其体外抗氧化活性。Averilla 等[30]采用热处理酶解组合法促进葡萄皮中白藜芦醇的提取,且不影响白藜芦醇抗氧化活性。

以上研究说明,酶法条件温和,在与其他方法联用时技术高效,能够有效地萃取白藜芦醇同时在保留其生物活性方面体现出了突出的优势,进一步研究可侧重于酶法与其他补充技术(如超声、微波)的联用以及该技术的普适性和应用转化的相关性研究。

3.3. 微波辅助提取法

近年来,微波辅助萃取白藜芦醇技术具有较好的技术可行性,一些研究从技术和机理研究到功能效果验证对其进行了拓展与应用。Setyaningsih 等[31]采用响应面实验研究了微波辅助提取工艺,并应用于功能果酱及饼干提取中,提高了白藜芦醇的回收率,可用于食品工业生产废渣中的高附加值成分开发;Li 等[32]构建了一种绿色微波提取体系,利用高油酸花生油有效地进行了白藜芦醇提取,并且有效地减少了有机溶剂的使用量,可以更好地支持开发一种可持续的提取方法;王娜等[33]又研究了在超声-微波辅助下对花生芽进行提取白藜芦醇,结果发现超声联合微波辅助提取白藜芦醇表现出比单独超声和微波提取率更佳,超声联合微波能够使白藜芦醇的回收率更高,并且白藜芦醇抗氧化能力未发生变化,从而可推广为工业化生产方式。

在混合样品中, Beilankouhi 等[34]利用绿色的样品提取方法和液相色谱-串联质谱技术对葡萄茎中白藜芦醇等多酚类物质进行准确提取和识别,进一步体现了微波技术在混合样品中运用的可行性。马霞等[35]以微波-超声相结合的方法优化了白藜芦醇和其糖苷的提取条件,并应用高效液相色谱对其提取物进行准确检测,为标准化样品提取过程提供了指导;卜晓英等[36]利用微波程序控温控压辅助双水相萃取法在虎杖果实中提取白藜芦醇并提高了白藜芦醇的产率;冯涛和王玥[37]在之前进行了白藜芦醇微

波提取的相关研究，成功进行了花生根及葡萄籽的白藜芦醇提取条件优化。

由此可见，微波辅助提取技术在提高白藜芦醇提取率、节约成本、降低活性损失等方面都体现出了较强的优势，后续可考虑引入微波辅助提取的其它方法(如超声、酶解)，以及其应用于其他植物中的通用性及大规模生产可行性，对寻求有效的、绿色、经济的白藜芦醇提取技术具有一定指导意义。

3.4. 超临界流体提取法

CO₂超临界流体萃取法(SFE)近年来在提取白藜芦醇过程中更具技术可行性。目前已有许多关于该法工艺优化、作用机理、环境影响等相关问题的研究，如张青松[38]证明通过 CO₂超临界流体萃取法萃取葡萄皮渣白藜芦醇时，将萃取和后续精制相结合可提高所得产物白藜芦醇得率和纯度，为葡萄酒酿造副产品的深加工提供技术保障。井山林与彭国平[39]证明应用 SFE 技术提取山葡萄藤白藜芦醇的萃取效率和环境友好性均优于其它法，从而提出开发 SFE 提取的绿色提取工艺，Jitrangsri 等[40]设计了花生仁中反式白藜芦醇 SFE 的工艺条件，提出了压力、温度和流速对白藜芦醇提取率影响的关键因素，从而为 SFE 的工业化应用提供了技术参数。

另外，对于在拓展 SFE 应用研究方面，Pascual-Martí 等[41]和 Casas [42]分别在葡萄皮和葡萄渣中应用 SFE 技术，确认了 SFE 可选择性地分离白藜芦醇和多酚类成分，与 HPLC 一起测定了提取物，建立了精准的定量分析，为确定提取操作提供了参考依据。Cvejić 和 Hajduk Veljkova [43]以及 Molina-García [44]建立了 SFE 技术可应用于葡萄酒中测定白藜芦醇，并通过方法学考察证明 SFE 可用在食品饮料中进行功能品质的评估。

综上，SFE 技术无论在提高白藜芦醇的提取率、降低生产成本以及减少环境污染方面都已显现出较大优势，今后研究应注重 SFE 技术与其他技术组合机理，以及 SFE 技术在各植物提取领域的广泛性及工程化应用开发研究，为实现白藜芦醇更高效绿色的提取提供基础。

4. 白藜芦醇提取方法对比分析

Table 1. Comparative analysis of extracion methods for resveratrol
表 1. 白藜芦醇提取方法对比分析

提取方法	原理	白藜芦醇来源	提取结果	优缺点	参考文献
超声波提取法	通过空化效应、机械效应、热破碎植物细胞膜，促进有效成分释放	虎杖 虎杖 花生芽 葡萄 花生芽 花生红衣	10.23 mg/g	优点：提取率高、操作简单、纯度高 缺点：能耗大、穿透力较强	[18]-[24]
酶提取法	针对性的破坏植物细胞壁，使目标物质析出	草莓 咖啡果皮 葡萄皮	5.23 mg/g	优点：反应温和、绿色 缺点：一般作为辅助方法与其他方法连用	[25]-[30]
微波辅助提取法	通过微波热效应，使细胞内部温度升高，以致细胞破裂目标物溶出	功能性食品 花生芽 花生芽和葡萄籽	8.64 mg/g	优点：能耗低、操作简便。提取效率较高 缺点：对于溶剂种类的选择有要求	[31]-[37]
超临界流体提取法	超临界流体能凭借自身的扩散性和低粘度溶解目标物，通过减压或升温，改变超临界流体的物态，分离目标物	葡萄皮渣 葡萄藤 花生仁 葡萄皮	0.78 µg/g	优点：提取高效安全、低温提取 缺点：设备成本高、操作复杂	[38]-[44]

白藜芦醇的提取方法有超声波提取法、微波辅助提取法、酶提取法、超临界流体提取法等。通过对文献研究,整理了虎杖、葡萄、葡萄皮、葡萄藤、花生芽、花生红衣、花生仁、草莓、咖啡果皮等各种提取方法,并进行了对比分析,如表 1 所示,各种提取方法各有其优缺点。

5. 白藜芦醇抗氧化研究

天然抗氧化活性成分白藜芦醇在疾病预防及生物活性方面起到重要作用。如张晓春和杨青[45]研究指出,白藜芦醇利用自由基清除和调节抗氧化酶发挥抗心血管疾病和神经退行性疾病的作用,为功能食品和医药品的研究提供新思路;Qin 等[46]发现,白藜芦醇参与了调节抗氧化防御和线粒体生物合成机制,显著促进肌肉损伤后功能恢复,为运动医学和康复研究提供了一个新的治疗方法。Bej 等[47]指出白藜芦醇参与抗氧化应激调节 Nrf2 信号通路,减轻神经元的氧化应激损伤,为抗衰老作用的干预研究提供了靶点。

刘光宪等[48]和周巾英等[49]报道了白藜芦醇对花生和食品抗氧化特性的研究,证明了白藜芦醇能较好地清除 DPPH 自由基及改善食品品质,从功能食品角度助力健康膳食;Silva 等[50]提出了基于体外消化模型研究白藜芦醇的生物递送载体稳定性,为其在体外活性载体中的应用研究提供参考。Wang 等[51]以及 Bao [52]从炎症疾病的治疗角度进行研究,报道了其能通过增强 SIRT1-Nrf2 激活显著改善类风湿性关节炎的炎症、组织损伤,从而为炎症疾病的治疗开辟了新的研究方向。

Olszowy-Tomczyk 和 Wianowska 等[53]研究认为白藜芦醇的抗氧化活性与其提取条件有很大关系,同一品种不同提取物的抗氧化活性有较大差异。马姜娜等[54]对白藜芦醇及其衍生物在抗氧化、抗炎以及抗肿瘤研究中应用的药理作用进行了系统总结,认为其具有良好的发展前景;而王修德、孙华斌[55]重点关注白藜芦醇在抗氧化、抗炎的作用下对机体疾病的预防和治疗研究。

综上所述,在不同研究领域与技术方法上,白藜芦醇抗氧化机制、防治疾病与食品应用均具有明确用途,可以进一步分析不同生物系统内的靶点,研究其与其他抗氧化剂的联合优势,从而更加有效地应用于白藜芦醇的应用与开发。

6. 结论

白藜芦醇的提取方法多集中在超声波提取法、酶提取法、微波辅助提取法、超临界流体提取法等,其中,超声波提取法较其他方法而言更加绿色高效。而白藜芦醇自身的抗氧化性也在预防和治疗中发挥更大的作用。在功能性食品方面和药物开发中的潜力也收到了广泛认可。

虽然白藜芦醇的研究已经取得了突破性进展,但是仍存在很多亟待解决的问题。从产率上来看,有待通过工艺改进提高目标产物的提取纯度和提取率;从药理学来看,有待继续研究白藜芦醇的体内代谢稳定性及生物可利用度;在临床应用上,有待继续临床试验来证实白藜芦醇对各类复杂病症的应用价值。

未来,仍可通过跨学科交叉研究及集成创新,有望克服目前存在的研究局限:① 基础研究方面:开展白藜芦醇的多靶点作用及其与机体的相互关系研究;② 技术研发方面:研发递送系统,使其体内稳定性及靶向性更强;③ 临床研究方面:通过新的临床研究设计,获取临床研究更高的证据质量。通过建立新技术模式,能够充分发挥白藜芦醇作为功能活性物质抗氧化应激和调节炎症、预防癌症的潜在应用价值,为人类重大疾病防治及生活质量提供新方案。

参考文献

- [1] 李长兴,李红芳,黄金炳,等.白藜芦醇对雌二醇诱发的去卵巢大鼠子宫内膜渗出和血清 VEGF 的影响[J].中国现代医学杂志,2013,23(3):23-26.
- [2] 胡婧.虎杖中白藜芦醇、大黄素、黄酮联合提取工艺研究[D]:[硕士学位论文].武汉:武汉理工大学,2020.
- [3] 李建波.白藜芦醇的制备方法研究进展[J].河南科技,2011(10):47.

- [4] 侯连杰, 何嘉, 谢梅英. 白藜芦醇在水产养殖中应用研究进展[J]. 科学养鱼, 2025(1): 76-77.
- [5] 吴茜, 李会敏, 杨春昆, 等. 白藜芦醇对心血管的保护作用机制的研究进展[J/OL]. 中国中药杂志, 2025: 1-8. <https://doi.org/10.19540/j.cnki.cjcm.20250213.703>, 2025-02-24.
- [6] 乌斯嘎勒. 蛋白复合物/组装粒子对活性成分的保护及其相互作用研究[D]: [博士学位论文]. 无锡: 江南大学, 2020.
- [7] 崔如霞. 白藜芦醇通过 ILP-2 抑制三阴性乳腺癌细胞增殖和迁移的机制研究[D]: [硕士学位论文]. 吉首: 吉首大学, 2023.
- [8] 李皓晨. 不同生育期花生根、茎白藜芦醇提取方法优化及含量分析[D]: [硕士学位论文]. 广州: 仲恺农业工程学院, 2015.
- [9] 刘士壮. 花生白藜芦醇种质的筛选研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 仲恺农业工程学院, 2015.
- [10] 施亮亮. 固体脂质纳米粒调控米糠油乳液的氧化稳定性研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉轻工大学, 2024.
- [11] 王斯柔, 张谦, 赵国建, 等. M2 小胶质细胞在缺血性脑卒中的作用及干预的研究进展[J]. 中国药理学通报, 2025, 41(3): 411-416.
- [12] Mattison, J.A., Wang, M., Bernier, M., Zhang, J., Park, S., Maudsley, S., *et al.* (2014) Resveratrol Prevents High Fat/Sucrose Diet-Induced Central Arterial Wall Inflammation and Stiffening in Nonhuman Primates. *Cell Metabolism*, **20**, 183-190. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2014.04.018>
- [13] Price, N.L., Gomes, A.P., Ling, A.J.Y., Duarte, F.V., Martin-Montalvo, A., North, B.J., *et al.* (2012) SIRT1 Is Required for AMPK Activation and the Beneficial Effects of Resveratrol on Mitochondrial Function. *Cell Metabolism*, **15**, 675-690. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2012.04.003>
- [14] 齐琳. 白藜芦醇联合多粘菌素 B 对多重耐药铜绿假单胞菌的体外抑菌和生物膜抑制作用研究[D]: [硕士学位论文]. 锦州: 锦州医科大学, 2023.
- [15] 谭宏亮. 白藜芦醇对致病嗜水气单胞菌的抗菌作用研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京农业大学, 2019.
- [16] 张超. 白藜芦醇在胶质瘤中的抗肿瘤作用及其机制研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 安徽医科大学, 2024.
- [17] 陈罡, 李雅娜, 孟祥璟. 新型白藜芦醇-苯并呋喃类衍生物的设计、合成与体外抗癌活性评价[J/OL]. 中南药学, 2025: 1-9. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1408.R.20250408.1308.002.html>, 2025-04-15.
- [18] Zhao, H., Wang, J., Han, Y., Wang, X. and Sheng, Z. (2024) Optimization of Process Conditions for Ionic Liquid-Based Ultrasound-Enzyme-Assisted Extraction of Resveratrol from *Polygonum cuspidatum*. *Ultrasonics Sonochemistry*, **108**, Article ID: 106973. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.106973>
- [19] Fletes-Vargas, G., Rodríguez-Rodríguez, R., Pacheco, N., Pérez-Larios, A. and Espinosa-Andrews, H. (2023) Evaluation of the Biological Properties of an Optimized Extract of *Polygonum cuspidatum* Using Ultrasonic-Assisted Extraction. *Molecules*, **28**, Article No. 4079. <https://doi.org/10.3390/molecules28104079>
- [20] Xu, X., Zhang, D., Liu, X., Zheng, R. and Jiang, T. (2024) Ultrasonic-Assisted Extraction and Antioxidant Evaluation of Resveratrol from Peanut Sprouts. *Processes*, **12**, Article No. 2295. <https://doi.org/10.3390/pr12102295>
- [21] Guo, J., Zhao, J., Zhang, M., Sun, Z. and Liu, L. (2021) Optimization of the Ultrasonic-Assisted Extraction of Trans-Resveratrol and Its Glucoside from Grapes Followed by UPLC-MS/MS Using the Response Surface Methodology. *Journal of Food Measurement and Characterization*, **16**, 1124-1136. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-01236-7>
- [22] 武鹏程. 花生芽中白藜芦醇的提取纯化、抗氧化及抑制酶活性研究[D]: [硕士学位论文]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2021.
- [23] 宋青云, 李玟君, 庞子皓, 等. 花生根白藜芦醇的超声辅助提取工艺优化及分离提纯[J]. 食品工业科技, 2023, 44(16): 228-235.
- [24] 孟晓华. 超声波-微波辅助酶法提取花生红衣白藜芦醇的工艺研究[J]. 粮食加工, 2024, 49(2): 48-53.
- [25] 唐功. 酶法提取草莓中白藜芦醇及其抗氧化性研究[J]. 河南化工, 2024, 41(2): 5-8.
- [26] 王月珍, 汪岩, 马千里, 刘志红, 牛艳秋. 响应面法优化酶解提取花生根茎中白藜芦醇[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(1): 134-137.
- [27] Căpruciu, R. and Gheorghiu, C.N. (2025) Methods for Synthesis and Extraction of Resveratrol from Grapevine: Challenges and Advances in Compound Identification and Analysis. *Foods*, **14**, Article No. 1091. <https://doi.org/10.3390/foods14071091>
- [28] Ma, J., Li, P., Ma, Y., Liang, L., Jia, F., Wang, Y., *et al.* (2024) Extraction of Flavonoids from Black Mulberry Wine Residues and Their Antioxidant and Anticancer Activity *in Vitro*. *Heliyon*, **10**, e31518. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31518>
- [29] 李学玲, 龙婷, 杨莉, 等. 超声辅助酶法提取咖啡果皮白藜芦醇工艺优化及其体外抗氧化活性[J]. 食品研究与开

- 发, 2023, 44(24): 71-77.
- [30] Averilla, J.N., Oh, J., Wu, Z., Liu, K., Jang, C.H., Kim, H.J., *et al.* (2019) Improved Extraction of Resveratrol and Antioxidants from Grape Peel Using Heat and Enzymatic Treatments. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **99**, 4043-4053. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9632>
 - [31] Setyaningsih, W., Guamán-Balcázar, M.d.C., Oktaviani, N.M.D. and Palma, M. (2023) Response Surface Methodology Optimization for Analytical Microwave-Assisted Extraction of Resveratrol from Functional Marmalade and Cookies. *Foods*, **12**, Article No. 233. <https://doi.org/10.3390/foods12020233>
 - [32] Li, Y., Liang, M., Li, T., Qu, Y., Jiang, Y., Shi, H., *et al.* (2023) Green Process for the Preparation of Resveratrol-Containing High Oleic Acid Peanut Oil. *Ultrasonics Sonochemistry*, **100**, Article ID: 106604. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106604>
 - [33] 王娜, 宁灿灿, 赵楠雨, 等. 花生芽白藜芦醇超声-微波协同提取及其抗氧化活性研究[J]. 花生学报, 2022, 51(2): 39-48.
 - [34] Beilankouhi, S., Pourfarzad, A., Ghanbarzadeh, B., Rasouli, M. and Hamishekar, H. (2024) Identification of Polyphenol Composition in Grape (*Vitis vinifera* cv. Bidaneh Sefid) Stem Using Green Extraction Methods and LC-MS/MS Analysis. *Food Science & Nutrition*, **12**, 6789-6798. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4330>
 - [35] 马密霞, 秦宁, 闵清, 等. 微波超声波联用萃取白藜芦醇及其苷的 HPLC 测定[J]. 化工学报, 2019, 70(S1): 124-129.
 - [36] 卜晓英, 姚姝凤, 许新军. 微波程序控温控压辅助双水相萃取虎杖果实中白藜芦醇与大黄素的研究[J]. 林产化学与工业, 2016, 36(5): 113-119.
 - [37] 冯涛, 王玥. 葡萄籽白藜芦醇提取工艺的研究[J]. 食品工业, 2009, 30(4): 39-43.
 - [38] 张青松. CO₂ 超临界萃取葡萄皮渣中白藜芦醇工艺及其纯化研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 甘肃农业大学, 2009.
 - [39] 井山林, 彭国平. SFE 等方法提取山葡萄藤中白藜芦醇的研究[J]. 南京中医药大学学报, 2006(4): 248-249.
 - [40] Jitrangsi, K., Chaidedgumjorn, A. and Satiraphan, M. (2020) Supercritical Fluid Extraction (SFE) Optimization of Trans-Resveratrol from Peanut Kernels (*Arachis hypogaea*) by Experimental Design. *Journal of Food Science and Technology*, **57**, 1486-1494. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04184-9>
 - [41] Pascual-Martí, M.C., Salvador, A., Chafer, A. and Berna, A. (2001) Supercritical Fluid Extraction of Resveratrol from Grape Skin of *Vitis vinifera* and Determination by HPLC. *Talanta*, **54**, 735-740. [https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(01\)00319-8](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(01)00319-8)
 - [42] Casas, L., Mantell, C., Rodríguez, M., Ossa, E.J.M.d.l., Roldán, A., Ory, I.D., *et al.* (2010) Extraction of Resveratrol from the Pomace of Palomino Fino Grapes by Supercritical Carbon Dioxide. *Journal of Food Engineering*, **96**, 304-308. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.08.002>
 - [43] Cvejić, J. (2010) Determination of trans- and cis-Resveratrol in Serbian Commercial Wines.
 - [44] Molina-García, L., Ruiz-Medina, A. and Córdova, M.L.F. (2011) An Automatic Optosensing Device for the Simultaneous Determination of Resveratrol and Piceid in Wines. *Analytica Chimica Acta*, **689**, 226-233. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2011.01.052>
 - [45] 张晓春, 杨青. 白藜芦醇抗氧化作用及其在相关疾病中的防治效果[J]. 食品与营养科学, 2017, 6(2): 59-64.
 - [46] Qin, X., Niu, W., Zhao, K., Luo, Y., Wang, W., He, Y., *et al.* (2025) Resveratrol Enhances Post-Injury Muscle Regeneration by Regulating Antioxidant and Mitochondrial Biogenesis. *Current Research in Food Science*, **10**, Article ID: 100972. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2025.100972>
 - [47] Bej, E., Cesare, P., d'Angelo, M., Volpe, A.R. and Castelli, V. (2024) Neuronal Cell Rearrangement during Aging: Antioxidant Compounds as a Potential Therapeutic Approach. *Cells*, **13**, Article No. 1945. <https://doi.org/10.3390/cells13231945>
 - [48] 刘光宪, 祝水兰, 周巾英, 等. 花生白藜芦醇体外抗氧化活性研究[J]. 中国农机化学报, 2014, 35(6): 202-203+165.
 - [49] 周巾英, 欧阳玲花, 王丽, 等. 白藜芦醇清除 DPPH 自由基反应的动力学[J]. 食品工业, 2020, 41(6): 222-226.
 - [50] Silva, P.M., Neto, M.D., Cerqueira, M.A., Rodriguez, I., Bourbon, A.I., Azevedo, A.G., *et al.* (2024) Resveratrol-Loaded Octenyl Succinic Anhydride Modified Starch Emulsions and Hydroxypropyl Methylcellulose (HPMC) Microparticles: Cytotoxicity and Antioxidant Bioactivity Assessment after *in Vitro* Digestion. *International Journal of Biological Macromolecules*, **259**, Article ID: 129288. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129288>
 - [51] Wang, G., Xie, X., Yuan, L., Qiu, J., Duan, W., Xu, B., *et al.* (2019) Resveratrol Ameliorates Rheumatoid Arthritis via Activation of SIRT1-Nrf2 Signaling Pathway. *BioFactors*, **46**, 441-453. <https://doi.org/10.1002/biof.1599>
 - [52] Bao, L., Ye, J., Liu, N., Shao, Y., Li, W., Fan, X., *et al.* (2022) Resveratrol Ameliorates Fibrosis in Rheumatoid Arthritis-Associated Interstitial Lung Disease via the Autophagy-Lysosome Pathway. *Molecules*, **27**, Article No. 8475.

<https://doi.org/10.3390/molecules27238475>

- [53] Olszowy-Tomczyk, M. and Wianowska, D. (2024) A Comparative Evaluation of the Antioxidant Ability of *Polygonum cuspidatum* Extracts with That of Resveratrol Itself. *Processes*, **13**, Article No. 9. <https://doi.org/10.3390/pr13010009>
- [54] 马姜嫄, 李智新, 王志忠, 等. 白藜芦醇及其衍生物药理作用的研究进展[J]. 中国新药与临床杂志, 2023, 42(12): 787-792.
- [55] 王修德, 孙华斌. 白藜芦醇的抗氧化作用及其在疾病防治中的应用前景[J]. 预防医学论坛, 2009, 15(12): 1246-1247, 1249.