

# 酚类化合物对人类健康的研究进展

刘 牛

湖南农业大学生物科学技术学院 湖南长沙 410128

**摘 要:** 酚类化合物是一类结构中含有一个或多个羟基连接在芳香环上的有机化合物,广泛存在于植物中。近年来,越来越多的研究表明,酚类化合物在促进人类健康方面具有重要作用。其显著的抗氧化、抗菌、抗炎、抗癌等多种生物活性,使其成为预防和治疗多种慢性疾病的潜在药物。本文综述了近年来酚类化合物在抗氧化、抗菌、抗癌和抗炎等领域的研究进展,探讨了其作用机制及应用前景,并提出了当前研究中存在的挑战和未来的发展方向。通过系统性的总结与分析,本文旨在为酚类化合物在医学领域的进一步研究和应用提供参考。

**关键词:** 酚类化合物; 来源; 生理功能; 人类健康; 应用前景

## 前言

酚类(Phenolics)是指芳香烃苯环上一个-H被-OH取代后生成的含有酚羟基的一大类化合物,广泛存在于植物中,是植物次生代谢产物的一部分。根据酚羟基的数目,酚类化合物可划分为一元酚和多元酚。多元酚又称多酚,被称为“第七类营养素”<sup>[1]</sup>,这类物质都来自于天然植物,基本上不存在毒副作用,主要包括黄酮类、单宁素类等。近20年来,从生物学和医学的视角出发,我们深入探索了多酚类物质在食品营养和预防医学领域的作用。经过大量的实证研究,现已明确证实,多酚类物质对人体具有多方面的健康益处,能够有效促进和维护人体的生理机能<sup>[2]</sup>。

## 一、多酚的种类

根据多酚的化学结构将其分为三大类别<sup>[3]</sup>,主要包括:黄酮类化合物(黄酮、黄酮醇、黄烷酮、查耳酮、花青素、异黄酮、二氢异黄酮等)、酚酸类化合物(阿魏酸、咖啡酸、绿原酸、对香豆酸、没食子酸、芥子酸等)和其他非黄酮类化合物(木酚素、芪类、鞣酸类等)。酚类物质通常并不以简单的形式存在,它们往往会与其他物质相结合<sup>[4]</sup>,如:原花青素类常与木质素类物质结合而形成聚合物;黄酮苷在植物体中常以糖苷的形式与不同的糖结合而存在;酚酸也是以酯合或糖苷化的形式存在于植物体内。由此就形成了酚类物质在植物体的3种存在形式,即游离态、结合态和酯化态。游离态、酯化态的酚类物质通常是可溶的,能溶于水和极性溶剂;而结合态的酚类物质多不溶于水,常存在于共价结合体

中。其中,游离态多酚在水果中的含量比结合态多酚高,特别是某些颜色较深或酸涩味较重的水果,其游离多酚含量占总多酚的90%以上<sup>[5]</sup>。而在粮谷类中,尤其是在玉米和小麦制品中,其结合态多酚含量大多比游离态多酚多得多<sup>[6]</sup>。当前的研究焦点主要聚焦于游离酚类化合物的组成及其所承担的生物学功能。然而,对于结合态酚类化合物,尽管它们同样在生物体内扮演着重要角色,但关于其组成和生物学功能的深入探究却相对较少。这一研究领域的空白,无疑为我们提供了进一步探索和理解决生物体内酚类物质复杂作用机制的重要机会。

## 二、酚类物质对人类健康的研究

### 1. 酚类物质的来源

自然界中存在的酚类化合物大部分是植物生命活动的结果。植物体内所含的酚称为内源性酚,它们参与植物的生长、发育、防御等生物过程。酚类化合物广泛存在于各种高等植物器官中<sup>[7]</sup>,蔬菜、水果、香辛料、谷物、豆类和果仁等食材中普遍含有酚类物质,并且这些酚类物质多数分布在植物的外皮部位,尤其是那些直接接受阳光照射的部分。这些区域由于长时间暴露在阳光下,促进了酚类物质的合成和积累,使其成为植物防御外界环境压力的重要成分。从特定植物中提取的酚类物质具有特定的用途,例如从葡萄中提取的酚可用于制造化妆品,从茶叶中提取的酚可用于制备食品防腐剂和抗癌药物。酚类物质最早被发现于茶叶中,约占茶叶干重的20%~30%,其决定了茶叶的色、香、味及功效。茶多酚是茶叶中多酚类物质的总称,按其主要化学成分可分为儿茶素Catechin、黄酮Flavonoid、花青素Anthocyanin、

酚酸Phenolic acid四大类<sup>[8]</sup>。酚类物质既来源于自然界中的植物,也来源于工业合成和废水排放。自然来源的酚类物质通常具有特定的生物活性,如抗氧化、抗菌等,而人工来源的酚类化合物则广泛应用于工业生产中。由于酚类化合物的广泛应用和潜在的环境风险,对其来源、用途和环境影响的研究具有重要意义。

## 2. 酚类物质对人类健康的作用

### (1) 抗氧化作用

酚类化合物因其强大的抗氧化能力而受到广泛关注,能够有效清除体内的自由基,减缓细胞老化过程。自由基是由环境污染、紫外线辐射、吸烟和不良饮食习惯等因素引起的反应性分子,能够破坏细胞膜、DNA和其他生物大分子,导致细胞损伤和衰老。酚类化合物通过提供氢原子或电子中和自由基,防止这些有害分子对细胞的进一步损伤,从而在预防和治疗多种慢性疾病方面发挥重要作用。

例如,绿茶中的儿茶素(Catechin)是一类强效的天然抗氧化剂,已被证明可以显著降低氧化应激水平,改善心血管健康<sup>[9]</sup>。儿茶素通过抑制低密度脂蛋白(LDL)氧化,减少动脉粥样硬化的发生,降低心血管疾病的风险。此外,研究表明儿茶素还具有抗癌活性,能够通过诱导癌细胞凋亡和抑制肿瘤血管生成来抑制癌症的发生和发展<sup>[10]</sup>。

同样,红葡萄酒中的白藜芦醇(Resveratrol)也是一种备受关注的多酚类化合物,因其显著的抗氧化和抗炎特性而广泛研究<sup>[11]</sup>。白藜芦醇不仅能够清除自由基,还能通过激活SIRT1等长寿基因,延缓细胞老化过程。大量研究表明,白藜芦醇具有保护心血管系统的作用,能够降低心肌梗死和中风的风险<sup>[12]</sup>。此外,白藜芦醇在神经退行性疾病的预防中也显示出潜力,研究发现其可以通过减少神经炎症和保护神经元来延缓阿尔茨海默病和帕金森病的进展<sup>[13]</sup>。

### (2) 抗菌和抗病毒作用

酚类化合物显示出良好的抗菌和抗病毒活性,具有广泛的应用前景,可以用于防治各种感染性疾病。这些化合物通过多种机制抑制病原微生物的生长和繁殖,成为研究和开发新型抗菌、抗病毒药物的重要方向。

例如,丁香酚(Eugenol)是从丁香(*Syzygium aromaticum*)中提取的一种重要的酚类化合物,广泛应用于食品、药品和化妆品中<sup>[14]</sup>。丁香酚具有强效的抗菌活性,能够破坏细菌细胞膜,导致细胞内容物泄漏,从

而抑制细菌的生长和繁殖<sup>[15]</sup>。研究表明,丁香酚对多种致病菌如大肠杆菌(*Escherichia coli*)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)和肺炎链球菌(*Streptococcus pneumoniae*)具有显著的抑制作用。此外,丁香酚还具有抗病毒活性,能够抑制病毒的复制和传播,减少病毒感染的严重程度<sup>[16]</sup>。

香草醛(Vanillin)是香草豆(*Vanilla planifolia*)中的主要活性成分,也是一种重要的酚类化合物,广泛应用于食品调味和药物开发。香草醛具有显著的抗菌活性,能够通过干扰细菌的细胞壁合成和DNA复制,抑制细菌的生长<sup>[17]</sup>。研究发现,香草醛对多种细菌如沙门氏菌(*Salmonella spp.*)、枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)和链球菌(*Streptococcus spp.*)均具有良好的抑制效果。此外,香草醛还显示出抗病毒活性<sup>[18]</sup>,可以通过抑制病毒蛋白合成和病毒颗粒组装,减少病毒感染的传播。

### (3) 抗癌作用

许多酚类化合物因其独特的分子结构和多样的生物活性,展现出显著的抗癌潜力。这些化合物能够通过多种机制抑制癌细胞的增殖和转移,成为抗癌研究的重要方向。其抗癌机制包括诱导细胞凋亡、抑制细胞周期进程、抑制肿瘤血管生成和增强机体免疫反应等。

例如,姜黄素(Curcumin)是从姜黄(*Curcuma longa*)根茎中提取的一种天然多酚类化合物,广泛用于传统中医药中。姜黄素的抗癌作用已经在多种癌症模型中得到证实。姜黄素能够通过多种途径诱导癌细胞凋亡(程序性细胞死亡)。具体而言,姜黄素可以激活细胞内的凋亡信号通路,如Caspase-3和Caspase-9,从而启动细胞凋亡程序<sup>[19]</sup>。此外,姜黄素还能够通过上调p53蛋白表达,促进细胞凋亡。p53是一种重要的肿瘤抑制蛋白,能够监测细胞内的DNA损伤并启动修复或凋亡程序。

除了诱导凋亡,姜黄素还具有抑制癌细胞增殖的能力。研究表明,姜黄素可以通过抑制细胞周期蛋白(Cyclins)和细胞周期蛋白依赖性激酶(CDKs)的活性,阻止癌细胞进入细胞周期的S期和M期,从而抑制其增殖。此外,姜黄素能够下调多种与细胞增殖相关的信号通路,如PI3K/Akt和MAPK通路,从而有效地抑制癌细胞的增殖<sup>[20]</sup>。

姜黄素还具有抑制肿瘤血管生成的作用。肿瘤血管生成是肿瘤生长和转移的重要过程,姜黄素通过抑制血管内皮生长因子(VEGF)的表达和其受体的激活<sup>[21]</sup>,阻断肿瘤新生血管的形成,从而限制肿瘤的营养供应,抑

制其生长和转移。

除了姜黄素，其他酚类化合物如白藜芦醇 (Resveratrol)、槲皮素 (Quercetin) 和没食子酸 (Gallic acid) 也显示出显著的抗癌活性。白藜芦醇通过调控细胞周期、诱导凋亡和抑制血管生成，展现出广谱的抗癌效果<sup>[22]</sup>。槲皮素则通过抗氧化、抗炎和抑制细胞信号通路，发挥其抗癌作用<sup>[23]</sup>。没食子酸则通过其强大的抗氧化能力，保护细胞免受氧化应激引起的损伤，同时抑制癌细胞增殖<sup>[24]</sup>。

#### (4) 膳食多酚

膳食多酚在维护和促进人类健康方面发挥着重要作用。其显著的抗氧化、抗炎、抗菌特性使其在预防和减少慢性病风险方面具有潜力，包括心血管疾病、糖尿病和某些癌症<sup>[25]</sup>。膳食多酚通过调节体内自由基水平，抑制炎症反应，增强免疫功能，从而有效维护身体健康<sup>[26]</sup>。此外，膳食多酚还能通过调节肠道微生物群的组成，改善消化健康，进一步提升人体的整体健康水平<sup>[27]</sup>。更进一步，膳食多酚还能够调节肠道微生物群的组成，增加有益菌的数量，改善肠道环境，促进消化健康<sup>[28]</sup>。肠道微生物群的平衡对整体健康至关重要，因为它不仅影响消化功能，还与免疫调节、代谢健康等多方面密切相关。

因此，膳食多酚通过其抗氧化、抗炎和调节肠道微生物群的多重作用，全面维护和提升人类健康。随着研究的深入，未来将会有更多富含多酚的功能性食品和药品面市，为慢性病的预防和治疗提供更有效的解决方案。

### 三、结论和展望

酚类物质来源广泛，具有多种生理功能，应用前景广阔。目前，酚类物质多用于化妆品，如芦荟、金缕梅、银杏叶提取物常用于清洁类化妆品<sup>[29]</sup>，茶多酚和葡萄籽提取物常用于护肤类化妆品<sup>[30]</sup>。此外，酚类物质还用于天然多酚生物材料的制备，如金属多酚涂层、分层薄膜、胶囊、纳米微粒和多酚凝胶等。这些材料不仅改善了天然多酚的水溶性差、稳定性差、生物利用率低等问题，还能与多种药物结合，用于治疗癌症、细菌感染和炎症。由于所用材料均为食品级且制备过程安全简便，因此是一种可靠的技术手段<sup>[31]</sup>。尽管酚类物质在化妆品和生物材料方面已有广泛应用，但其发展仍面临诸多限制。首先，在原料方面，目前对酚类物质的研究和应用还不够全面，未来应扩大研究范围，以实现更广泛和灵活的应用。其次，在生理功能方面，对酚类物质功能特性的研究尚不深入，未来需加强对其成分、结构及相关生物活

性机制的研究，特别是探讨其对高血压、高血糖、高血脂的影响机制，以明确改性目标。最后，从未来发展趋势看，应推动酚类物质在特殊医学用途配方食品中的应用，通过优化提取工艺和改性方法，扩大和深化其应用范围。随着酚类物质系统研究的不断深入，富含酚类物质且对人体有益的食品和药品将不断涌现，为医药和保健食品领域做出更大贡献。

### 参考文献

- [1] 凌关庭. 有“第七类营养素”之称的多酚类物质[J]. 中国食品添加剂, 2000, (01): 28-37.
- [2] 颜才植, 叶发银, 赵国华. 食品中多酚形态的研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(15): 249-254.
- [3] 李健, 杨昌鹏, 李群梅, 等. 植物多酚的应用研究进展[J]. 广西轻工业, 2008, (12): 1-3.
- [4] Tsao R. Chemistry and Biochemistry of Dietary Polyphenols[J]. Nutrients, 2010, 2(12): 1231.
- [5] 王玲平, 周生茂, 戴丹丽, 等. 植物酚类物质研究进展[J]. 浙江农业学报, 2010, 22(05): 696-701.
- [6] Mora-Rochin S, Guti é rrez-Urbe A J, Serna-Saldivar O S, et al. Phenolic content and antioxidant activity of tortillas produced from pigmented maize processed by conventional nixtamalization or extrusion cooking[J]. Journal of Cereal Science, 2010, 52(3): 502-508.
- [7] 金莹, 孙爱东. 多酚的食物来源及生物有效性[J]. 食品与发酵工业, 2006, (09): 101-106.
- [8] 韦铮, 贺燕, 黄先智, 等. 茶多糖-茶多酚对小鼠肠道氧化应激的改善与作用机制[J]. 食品科学, 2022, 43(11): 149-155.
- [9] 尹敏. 茶叶提取物的药用价值[J]. 福建茶叶, 2024, 46(06): 18-20.
- [10] 谢明杰, 陈穗保. 基于PI3K/AKT信号通路探讨表儿茶素对口腔癌细胞的作用[J]. 医学信息, 2022, 35(15): 46-50.
- [11] 关正萍, 武佳慧, 关正, 等. 白藜芦醇的生理活性及其研究进展[J]. 农产品加工, 2023(15): 81-85.
- [12] 郭子源. Nrf2-ARE抗氧化通路及GSK-3 $\beta$ 在冠状动脉粥样硬化性心脏病中的作用[D]. 吉林大学, 2012.
- [13] 李雨婷, 宁佳怡, 李腾云, 等. 白藜芦醇在神经系统疾病中的研究进展[J]. 医学综述, 2020, 26(19): 3763-3768.

- [14]Ahmed A K ,Ur U R ,Rafiq M K , et al.Essential oil eugenol: sources, extraction techniques and nutraceutical perspectives[J].RSC Advances,2017,7(52):32669-32681.
- [15]盛文胜,谢作桦,周彦如,等.丁香酚的抑菌、抗菌作用及机制研究[J].食品安全导刊,2024(09):180-186.
- [16]易灏森,余润宇,杨芷胭,等.丁香酚的药理作用研究进展[J].现代药物与临床,2024,39(06):1625-1630.
- [17]罗华丽,房震.可生物降解壳聚糖/香草醛抑菌膜的制备及性能[J].工程塑料应用,2023,51(12):27-34.18
- [18]李海波,于洋,王振中,等.热毒宁注射液抗病毒活性成分研究(I)[J].中草药,2014,45(12):1682-1688.
- [19]徐明亮,康清梅,张顺涛,等.姜黄素加重结肠癌细胞株HCT-116线粒体损伤和促进细胞凋亡的作用研究[J].重庆医科大学学报,2024,49(03):270-275. DOI: 10.13406/j.cnki.cyx.003451.
- [20]屈红丽,刘曼丽,李响.姜黄素调控MAPK/NF- $\kappa$ B/AP-1信号通路抑制狼疮性肾炎小鼠炎症反应作用分析[J].实用中医内科杂志,1-5.
- [21]方瑜,陈光伟,杨洋,等.姜黄素在宫颈癌治疗中对MIF、VEGF-C、P53表达及肿瘤生长的影响[J].基因组学与应用生物学,2018,37(09):4148-4154.
- [22]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].吉首大学,2023.DOI:10.27750/d.cnki.gjdx.2023.000596.
- [23]荣耀,刘松华,唐明政,等.槲皮素激活焦亡途径抑制胃癌细胞增殖和迁移的机制研究[J].中国肿瘤临床,2023,50(20):1033-1039.
- [24]方国平.没食子酸诱导黑色素瘤细胞凋亡的机制研究[D].湖北科技学院,2024.
- [25]Augustin S ,T I J ,Mike S .Polyphenols: antioxidants and beyond.[J].The American journal of clinical nutrition,2005,81(1 Suppl):215S-217S.
- [26]Claudine M ,Augustin S ,Christine M , et al.Polyphenols: food sources and bioavailability[J].The American journal of clinical nutrition,2004,79(5):727-47.
- [27]Cardona F ,Andr é s-Lacueva C ,Tulipani S , et al.Benefits of polyphenols on gut microbiota and implications in human health[J].The Journal of Nutritional Biochemistry,2013,24(8):1415-1422.
- [28]Selma M V ,Esp í n J C ,Tom á s-Barber á n F A .Interaction between phenolics and gut microbiota: role in human health[J].Journal of agricultural and food chemistry,2009,57(15):6485-501.
- [29]肖昭竞,童兰艳,李根容,等.气相色谱-质谱/质谱法测定美白化妆品中5种酚类物质[J].日用化学工业,2022,52(01):84-90.
- [30]徐铮奎.植物多酚规模猛增茶多酚异军突起[N].医药经济报,2021-09-20(007).DOI:10.38275/n.cnki.nyyj.2021.001326.
- [31]陈雨露,孙婉秋,高彦祥,等.食品运载体系提高酚类物质生物利用度的研究进展[J].食品科学,2020,41(05):323-330.