

## 单宁的结构、提取工艺及抑菌、 抗病毒功效研究进展

杨苗苗<sup>1</sup>, 吴丹<sup>1</sup>, 王雅兰<sup>1</sup>, 任彩霞<sup>1</sup>, 李白存<sup>1</sup>,  
王立霞<sup>1</sup>, 王小玲<sup>2\*</sup>, 段彦丽<sup>3\*</sup>

(<sup>1</sup>陕西学前师范学院生物食品与化学学院, 西安 710100;<sup>2</sup>江西省科学院生物资源研究所/特色果树茶叶种植与高值利用江西省重点实验室, 南昌 3300962;<sup>3</sup>北京农业职业学院, 北京 102442)

**摘要:** 目的: 基于植物单宁多种生物功效, 综述其结构、提取工艺、抑菌、抗病毒、降低农药毒性等方面的研究进展。方法: 基于文献检索, 分析植物单宁应用现状及存在问题。结果: 单宁作为一种多酚类物质, 其丰富的生物功效具备了开发成植物病害的绿色杀菌剂、果蔬保鲜剂、食品防腐剂、动物饲喂添加剂以及医药等方面的巨大潜能。结论: 本综述可为植物单宁在食品有害病原菌生物防治中的应用提供思路, 并可为富含单宁的植物资源的高值综合利用提供科学依据。

**关键词:** 单宁; 生物功效; 绿色杀菌剂; 绿色保鲜剂

单宁为酚类化合物, 属于植物次生代谢产物, 植物在生长过程中, 单宁具有抵抗病原菌的侵染、昆虫侵害、动物取食等作用<sup>[1]</sup>。长期以来, 植物单宁被认为是抗营养因子, 然而, 随着对单宁功能的不断挖掘, 研究发现, 单宁具有抑菌<sup>[2]</sup>、抗病毒<sup>[3]</sup>、抗氧化<sup>[4]</sup>、抗紫外、消炎<sup>[5]</sup>、降血糖、降血脂<sup>[6-7]</sup>、吸附重金属从而减少重金属对机体损伤等功效<sup>[8]</sup>、降低农药毒性等多种生物功效<sup>[9]</sup>。单宁对大肠杆菌 (*Escherichia coli*)、沙门氏菌 (*Salmonella paratyphi*)、产气荚膜梭菌 (*Clostridium perfringens*)、金黄色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*)<sup>[2]</sup>、根霉菌 (*Rhizopus*)、青霉菌 (*Penicillium*) 及酵母菌 (*Saccharomyces cerevisiae*)、猴耳环炭

疽病菌 (*Colletotrichum* sp.)、拟茎点霉 (*Phomopsis* sp.)、广藿香青枯病菌 (*Ralstonia* sp.)<sup>[10]</sup>、苹果锈果病毒 (RNA 病毒)<sup>[11]</sup> 均具有较高的抑制作用, 而对人体肠道益生菌, 乳杆菌 (*Lactobacillus plantarum*) 和双歧杆菌 (*Bifidobacterium longum*) 有增殖作用<sup>[12-13]</sup>。团队前期研究发现, 柿单宁对引起猕猴桃根腐的尖孢镰刀菌 (*Fusarium oxysporum*) 和茄腐镰刀菌 (*Haematonectria haematococca*) 等均有抑制作用。随着植物单宁抑菌、抗病毒、降低农药毒性等功效研究的新进展, 植物单宁有望开发为绿色抑菌剂、杀菌剂、食品保鲜剂等。

基于单宁丰富的生物功效, 综述其结构、提取工艺、抑菌、抗病毒、降低农药毒性等方

收稿日期: 2025-05-20

基金项目: 西安市科技计划项目 (项目编号: 23NYGG0035、23NYGG0061); 陕西省科技计划项目 (项目编号: 2024NC-YBXM-136); 陕西学前师范学院科研创新团队建设计划 (项目编号: XJKYCXTD02); 陕西省教育厅重点科学研究计划项目 (项目编号: 24JR049)。

作者简介: 杨苗苗 (1977—), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 农林产品开发。

\*共同通信作者: 王小玲 (1979—), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 园艺植物高值利用; 段彦丽 (1969—), 博士, 副教授, 研究方向: 植物病原微生物防治。

面的研究进展,可为有害病原菌的生物防治提供思路,也可为富含单宁的植物资源,如柿果、柿叶、香蕉皮、石榴皮、核桃青皮、五倍子等资源的高值综合利用提供科学依据。

## 1 单宁的化学结构、分类及来源

### 1.1 单宁的分类及结构

依据化学结构,单宁可分为水解单宁和缩合单宁。水解单宁多元醇结构中的羟基能跟酚羧酸中的羧基发生反应后,以伴有苷键的酯键连接为一体,基于此,水解单宁在酶、稀酸、稀碱环境中易被水解,性状很不稳定。以水解产物进行水解单宁的结构分析,橡碗单宁、五倍子单宁、塔拉单宁等为常见的水解单宁。

相比水解单宁,缩合单宁因以碳链相连,结构非常稳定,稀酸和酶的作用下不易水解。酸性体系下,其以黄烷-3-醇为结构单元(槲儿茶素、表儿茶素、儿茶素、表没食子儿茶素、没食子酸酯等),在4、6位或4、8位的碳-碳键(或碳-氧-碳)上连接、缩合、最终形成寡聚体或多聚体<sup>[14-16]</sup>,且其分子会不断聚合、变大,终呈不溶物红粉<sup>[17]</sup>。柿单宁、黑荆树皮单宁、落叶松单宁、杨梅单宁、茶单宁等为常见的缩合单宁。而缩合单宁和水解单宁形成的混合单宁,常呈现出缩合单宁的生物特征。缩合单宁的结构单元—黄烷-3-醇,缩合单宁功效与结构单元的构型、数量、聚合度、形成过程等因素有关,据推测,生物功效可能因黄烷-3-醇数量的增多而提升。

### 1.2 单宁的来源

单宁广泛存在于植物的根皮、茎秆、叶子、花、果实、果皮、种子中,植物茎皮中含有单宁的报道居多<sup>[21-23]</sup>。富含单宁的植物有五倍子、栗木、橡碗、塔拉、白坚木、荆树皮、紫荆叶片、果荚<sup>[2,4]</sup>、马桑<sup>[24]</sup>、薯蓣<sup>[10]</sup>、柿果、柿叶<sup>[11]</sup>、香蕉皮<sup>[25]</sup>、石榴皮、石榴籽<sup>[26]</sup>、马占相思树皮<sup>[27]</sup>、五倍子<sup>[28]</sup>、山竹皮<sup>[29]</sup>等,以及葡萄、草莓、漆树、栲胶、木麻黄、茶叶、诃子、苦

菜、冷杉、木磺化杨梅、金露梅、荔枝壳、柠条、橘子皮、核桃青皮等多种植物中。其中石榴<sup>[30]</sup>、草莓<sup>[31]</sup>、橡树和栗子<sup>[32]</sup>、五倍子<sup>[33]</sup>、漆树中所含单宁为水解单宁<sup>[34]</sup>、苹果、葡萄<sup>[35]</sup>、浆果、花生、柿子、李子、鳄梨、肉桂<sup>[36]</sup>中单宁为缩合单宁。植物中单宁的含量、结构、功效等因部位、来源等的不同而存在差异。

## 2 植物单宁的提取及纯化

### 2.1 植物单宁的提取

目前,单宁常用的提取方法有水提法、有机溶剂提取法、超声辅助提取法、微波辅助提取法和酶辅助提取法以及超临界CO<sub>2</sub>萃取法等。

**2.1.1 溶剂提取法** 目前,单宁的提取试剂常用水、乙醇、丙酮、甲醇和乙酸乙酯等。王明豪等<sup>[4]</sup>在提取紫荆叶片及荚果中的单宁用70%丙酮、料液比1:10、浸提60 min条件下提取效果最佳。周莉君等<sup>[24]</sup>发现,马桑叶水提取物单宁对真菌和细菌的抑菌功效低于乙醇的。李落叶<sup>[10]</sup>发现,丙酮更适合薯蓣及其渣中单宁的提取。李云超等<sup>[28]</sup>发现,在提取五倍子单宁时,去离子水提取的抑菌效果更好,最佳料液比1:10、提取温度100℃、提取时间120 min。Laeliocattleya等<sup>[37]</sup>在提取香蕉果肉中单宁时发现,96%的乙醇提取效果高于乙酸乙酯,乙醇提取率高达209.83 mg/kg。舒杨雄等<sup>[38]</sup>在石榴皮单宁的提取中发现,料液比为1:25时,用60%丙酮在50℃下提取120 min,单宁提取率可达27.41%。蒋红芝等<sup>[29]</sup>研究发现,山竹皮单宁的最佳提取工艺是50%乙醇为溶剂、料液比1:225、温度65℃、提取时间50 min,单宁提取率可达10.78%。

**2.1.2 超声、微波辅助提取法** 超声波通过产生较强的机械震动而破坏植物细胞结构,致使细胞内含物快速溶出。但超声功率和超声时间与单宁提取率并非正比关系,薛鹤<sup>[39]</sup>在金露梅黄单宁的提取中发现,300 W超声

功率下进行40 min后,金露梅中的黄酮化合物已基本完全提出。采用超声辅助提取单宁时,超声时间和功率因植物种类不同而有差异<sup>[40-41]</sup>。因此,采用此法提取单宁时,时间和功率亦考虑植物组织结构特性。微波通过强穿透力破裂细胞壁和细胞膜,使单宁快速溶出细胞。刘宁等<sup>[42]</sup>和王虹铃等<sup>[43]</sup>分别用70%的丙酮和75%的乙醇采用此法提取香蕉皮中的单宁,单宁得率分别高达72.37%和87.04%。微波提取相比其他方法更为高效,且能够有效保护植物单宁。

**2.1.3 酶辅助提取法** 纤维素酶、单宁酶、多酚酶、蛋白酶、糖酶多用于植物单宁及其他多酚衍生物的提取,酶因原料性状的不同而不同<sup>[44-46]</sup>。目前未见有超声波影响酶结构的报道。因酶的成本较高,此法并不被广泛应用。

**2.1.4 其他提取法** 超临界CO<sub>2</sub>萃取法已用于单宁的提取,离子沉淀提取法和吸附分离提取法等亦引起了关注<sup>[47]</sup>。

## 2.2 单宁的纯化

大孔吸附树脂法、色谱法、萃取分离法及膜分离法是单宁纯化的主要方法,其中大孔吸附树脂广泛应用,其具有绿色环保、易操作、成本低、吸附性强、靶性好、容量大、洗脱易、再利用等优点。王明豪等<sup>[4]</sup>采用SephadexLH-20色谱柱,经50%甲醇淋洗去除杂质后,以70%的丙酮为洗脱剂,获得纯化单宁。李云超等<sup>[28]</sup>通过大孔树脂(XDA-6)柱,获得了纯化五倍子单宁。蒋红芝等<sup>[29]</sup>研究发现,大孔树脂ADS-21是纯化山竹皮单宁的最佳色谱柱,最佳洗脱溶剂为75%的乙醇,而荔枝皮单宁则为大孔树脂ADS-21和HPD826,最佳洗脱剂为90%乙醇<sup>[48]</sup>。曲俊儒等<sup>[49]</sup>发现,X-5型大孔树脂是纯化蕨麻块根单宁的最佳大孔树脂,洗脱剂为60%的乙醇。ZOU等<sup>[50]</sup>通过改进大孔树脂纯化法,获得了三步法的柿单宁纯化新方法,首先采用AB-8大孔树脂吸附其粗提物,纯水洗脱糖类、色

素、酸等杂质;接着10%的乙醇洗脱小分子酚类物质;最后用95%乙醇洗脱获得93.4%的高纯度单宁。郭林新<sup>[51]</sup>利用大孔吸附树脂纯化马桑皮单宁时发现,D101大孔吸附树脂效果最佳,用70%乙醇洗脱时,马桑皮单宁的纯度达到了70.6%。杜凯等<sup>[52]</sup>在纯化杏仁皮单宁时发现,HP-20型大孔吸附树脂将纯度为9.97%的杏仁皮单宁提高到了32.58%。

## 3 植物单宁的抑菌机理及其抑菌、抗病毒功效

### 3.1 植物单宁的抑菌机理

LIU Miaomiao等<sup>[53]</sup>研究发现,柿单宁抑制食源性耐甲氧西林金黄色葡萄球菌是通过破坏菌体细胞膜结构,导致膜通透性增强,菌体细胞功能受损,菌体生长基因表达下调,代谢紊乱,菌体生长营养物质不足实现的。李海帆等<sup>[41]</sup>研究发现,大肠杆菌能被香蕉皮单宁抑制是因其细胞膜的完整性受到单宁的破坏。纳希斯研究发现,单宁酸抑制苹果黑霉菌菌是通过破坏菌丝的支原体形态,导致菌糖酵解不能正常运行<sup>[54]</sup>。单宁酸通过抑制金黄色葡萄球菌生物膜的形成,从而达到了抑菌作用<sup>[55]</sup>。单宁酸通过靶标沙门氏菌三型分泌系统(T3SS)的调控蛋白HilD,阻止其与hilA、invF启动子的结合而抑制沙门氏菌对宿主细胞的黏附和入侵<sup>[56]</sup>。

### 3.2 单宁的抑菌、抗病毒作用

近年来的研究发现,单宁具有抑制有害菌、抗病毒、抗紫外、抗氧化、增加肠道益生菌抑菌等作用。刘青等<sup>[2]</sup>研究发现,水解单宁:塔拉单宁、栗木单宁、五倍子单宁、橄榄单宁和缩合单宁:白坚木单宁、荆树皮单宁对大肠杆菌、沙门氏菌、产气荚膜梭菌、金黄色葡萄球菌均有抑菌效果,对大肠杆菌的效果最好,抑菌效果随单宁浓度的升高而增加,抑菌效果因植物来源的不同而存在明显差异。王虹铃等<sup>[43]</sup>研究发现,香蕉皮单宁对大肠杆菌、金

黄色葡萄球菌、根霉、青霉及酵母菌均有抑菌效果。赵立<sup>[57]</sup>研究发现,香蕉皮单宁对啤酒酵母无抑制作用,而对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、黄曲霉菌和黑曲霉菌均有抑菌作用,抑菌效果为,大肠杆菌 $\approx$ 金黄色葡萄球菌 $>$ 枯草芽孢杆菌 $>$ 黑曲霉和黄曲霉,且对细菌的抑制效果强于山梨酸钾。李丽等<sup>[58]</sup>研究发现,香蕉皮单宁抑菌功效与其单宁结构、体系pH、盐质量分数等因素密切相关。

李落叶等<sup>[10]</sup>研究发现,薯蓣单宁对猴耳环病原菌,炭疽病菌、拟茎点霉和广藿香青枯病菌均有明显的抑制效果。舒杨雄等<sup>[38]</sup>研究发现,石榴皮单宁对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌有较强的抑制作用,对霉菌和酵母菌的抑菌功效不明。孟明佳研究发现,柿单宁对苹果锈果病毒(RNA病毒)和大肠杆菌均有抑制作用<sup>[11]</sup>。林款等<sup>[12]</sup>研究发现,柿单宁对肠道中的益生菌——乳杆菌和双歧杆菌具有促进增殖作用,对有害菌——肠球菌、大肠杆菌、梭菌和拟杆菌具有抑制作用。纳希斯<sup>[59]</sup>研究发现,单宁对苹果黑腐病菌链格孢菌(*Alternaria alternata*)有抑制作用。孙莎等<sup>[47]</sup>研究发现,五倍子单宁能有效抑制灰葡萄孢霉(*Botrytis cinerea*)对蓝莓的侵染。2020年日本奈良县立医科大学研究发现,柿单宁对新冠病毒有抑制作用,但抗病毒机理尚不明晰。同年5月,中国科学院武汉病毒研究所对本团队研发的柿子果汁(果肉约20%)进行抗新冠病毒检测,结果显示柿果汁对新冠病毒的体外抑制率高达99%。

### 3.3 单宁的抑菌、抗病毒等方面的应用情况

3.3.1 植物有害病菌的防治方面 研究发现,5.0 mg/mL的柿单宁对苹果黑腐病的防治效果可达60%,柿单宁能提升苹果的抗病性,从而延缓苹果采后贮藏时间<sup>[59]</sup>,柿单宁亦对苹果锈病有很好的防控作用,当单宁浓度 $\geq 0.25\%$ 时,苹果锈果病毒完全被抑制<sup>[11]</sup>。

3.3.2 食品有害菌的防腐方面 单宁作为一

种天然的多酚类化合物,对引起食物变质的革兰氏阳性菌和革兰氏阴性菌具有较高的抑制作用。徐艳阳等<sup>[60]</sup>研究发现,黑腺肋花楸单宁对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌及黄曲霉菌、烟曲霉菌等具有很好的抑制作用。随着人们对食品安全的重视,利用单宁开发食品添加剂的市场前景广阔,李丽等<sup>[61]</sup>研究发现,单宁对细菌的抑制作用高于山梨酸钾。

3.3.3 防腐、杀菌方面 利用金属离子络合改性后的金合欢单宁对白蚁具有较高的接触性致死性,因此,单宁复合物具有绿色低毒木材防腐潜能<sup>[62]</sup>。汤杰<sup>[63]</sup>研究发现,单宁酸辅助蜂蜜源葡萄糖氧化酶能在生物材料表面形成具有持续杀菌和抗感染作用的功能涂层,其对金黄色葡萄球菌的抑菌率可达99.7%。

3.3.4 动物饲料方面的应用 近年来,随着人们安全意识的增强,我国陆续出台了畜禽养殖中抗生素类添加的相关政策和措施。单宁作为多酚类物质,具有抗菌<sup>[64]</sup>抗病毒<sup>[65]</sup>等多种功效。近年来单宁在动物饲料中的应用表明,适量的单宁可改善动物的生长性能、提高机体免疫力、抗病毒、抗炎等功效,部分含有植物单宁的植物加工残渣,如石榴皮、葡萄渣等可作为饲料添加剂添加到饲料中饲喂动物<sup>[66]</sup>。

## 4 结论与展望

因植物单宁在结构上具有多个活性反应位点,因此其具有许多特有的化学性质,能与氨基酸、蛋白质、多肽结合,其与蛋白质的结合是一种可逆反应,受反应温度、时间、pH及多酚和蛋白质的分子质量的影响。目前,植物单宁抑菌、抗病毒研究大多基于体外试验,实践应用偏少,虽有单宁抑菌抗病毒的机理研究,但大多基于推测,缺乏系统、深入的实践应用研究。植物单宁的生物功效与其化学结构、结构单元的组合形式、靶标病原菌的种类、单宁使用方法、作用环境等有十分密切的关系,同时单宁与靶标菌的寄主之间有十分

复杂的关系,作用机理须进一步深入探析。

尽管如此,单宁作为一种多酚类物质,其丰富的生物功效具备了开发成植物病害的绿色杀菌剂、果蔬保鲜剂、食品防腐剂、动物饲料添加剂以及医药等方面的巨大潜能。由于植物单宁的功能与其结构关系十分紧密,因此,未来的开发研究应关注以下几个方面:一是环保、高效、低成本提取工艺和纯化技术,生物杀菌剂的功效、成本是其进入市场的重要影响因素,同时,环境友好型提取和纯化环节亦十分重要;二是明晰结构、并建立高效结构鉴定手段,结构决定功能,不同来源的单宁其结构特性不一,因此,明确单宁结构是开展实践应用的重要保障;三是基于单宁多酚羟基结构和生物特性,挖掘单宁改性生物潜在功效;四是加强实践应用,目前单宁的生物功效主要集中在理论研究,生物防腐剂、绿色杀菌剂、保鲜剂等亟待开发和应用。

#### 参考文献

- [1] KHANBABAEE K, REE T V. Tannins: classification and definition[J]. *Natural Product Reports*, 2001, 18(6): 641-649.
- [2] 刘青,彭红艳,马春霞,等.不同植物来源单宁和没食子酸对常见致病菌的体外抑菌效果研究[J]. *中古畜牧种业*, 2022, 18(9): 37-42.
- [3] 曾一桐,朱靛芸,童庆芳,等.单宁酸对猪流行性腹泻病毒增殖的体外抑制作用[J]. *中国畜牧兽医*, 2023, 50(10): 4150-4159.
- [4] 王明豪,张静涵,赵京轲,等.紫荆、湖北紫荆中单宁化学结构及其抗氧化活性研究[J]. *林产化学与工业*, 2022, 4(6): 84-89.
- [5] 段冰潮,郝红丹,何雨乐,等.单宁酸/丝素蛋白光热复合水凝胶的制备与性能表征[J]. *复合材料学报*, 2024, 1-11.
- [6] SASMANA P A G I, WILHANDANI M D, SADEVA A K G I, et al. Antiobesity and antidiabetic properties of *Clitoria ternatea* petals aqueous extract against rats induced by high-fat diet[J]. *Turkish Journal of Medical Sciences*, 2024, 54(2): 401-410.
- [7] 张艳华,汪雄,王文利,等.葡萄籽原花青素对高脂高糖饮食诱导代谢综合征大鼠干预作用[J]. *食品科学*, 2020, 41(1): 112-120.
- [8] 云少君,褚东阳,何兴帅,等.原花青素对铁超载大鼠肾脏铁含量、氧化应激及 Fas、Bax 基因表达的影响[J]. *食品科学*, 2020, 41(13): 106-111.
- [9] ZENG X Q, DING X M, PU Y J, et al. Banana condensed tannins scavenge glyphosate in aqueous solution through non-covalent interactions[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 131: 109697.
- [10] 李落叶,杨晓朱,雷梦英,等.薯蓣单宁的提取及其抑菌活性研究[J]. *林业与环境科学*, 2022, (38)3: 80-85.
- [11] 孟明佳. 柿子单宁对大肠杆菌及苹果锈果病毒抑制效果研究[C]. 长沙:中国生物工程学会第十二届学术年会暨2018年全国生物技术大会, 2018: 308-309.
- [12] 林款,李春美. 柿子单宁对体外模拟发酵环境中肠道微生物的影响[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(22): 160-163,167.
- [13] 王妍,郭长征,黎观红,等.植物单宁的提取方法、生物学功能及其在动物营养中的应用[J]. *动物营养学报*, 2024, 36(11): 6942-6957.
- [14] QUIDEAU S, DEFFIEUX D, DOUAT C C, et al. Plant polyphenols: chemical properties, biological activities, and synthesis[J]. *Angewandte Chemie International Edition*, 2010, 50(3): 586-621.
- [15] LANG T, HUSSAIN M, Li M, et al. Unlocking the structure-activity relationship of mangrove condensed and hydrolysable tannins: Unveiling their potential ecological significance in antioxidant and antibacterial functions [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2025, 307(P2): 141918.
- [16] 张亮亮,汪咏梅,徐曼,等.植物单宁化学结构分析方法研究进展[J]. *林产化学与工业*, 2012, 32(3): 107-116.
- [17] 贾喜庆,姚庆达,杨义清,等.植物鞣剂的结构、改性及其在制革中的应用[J]. *西部皮革*, 2018, 40(21): 35-42.
- [18] 张亮亮,汪咏梅,徐曼,等.植物单宁化学结构分析方法研究进展[J]. *林产化学与工业*, 2012, 32(3): 107-116.
- [19] 曾祥权,李倩倩,姜微波,等.香蕉单宁的提取、结构及功能研究进展[J]. *食品科学*, 2022, 43(23): 326-335.
- [20] 贾喜庆,姚庆达,杨义清,等.植物鞣剂的结构、改性及其在制革中的应用[J]. *西部皮革*, 2018, 40(21): 35-42.
- [21] SARTORI C J, MOTA G S, MIRANDA I, et al. Tannin extraction and characterization of polar extracts from the barks of two *Eucalyptus urophylla* hybrids [J]. *BioResources*, 2018, 13(3): 4820-4831.
- [22] ZHOU Q, RATHER L J, ALI A, et al. Environmental friendly bioactive finishing of wool textiles using the tannin-rich extracts of Chinese tallow (*Sapium sebiferum*) wash/fallen leaves[J]. *Dyes Pigm*, 2020, 176: 108-230.
- [23] BRAGA W M, ROBERTO J A, Vac C, et al. Extraction and optimization of tannin from the flower of *Musa* sp. Applied to the treatment of iron ore dump [J]. *Journal Environ Chem Eng*, 2018, 6(4): 4310-4317.

- [24] 周莉君, 宋良成, 侯若彤, 等. 马桑提取物的抑菌作用和抑菌机理的初步研究[J]. 精细化工, 2021, 38(7): 1432-1429.
- [25] ZENG X Q, DING X M, PU Y J, et al. Banana condensed tannins scavenge glyphosate in aqueous solution through non-covalent interactions [J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 131: 109697.
- [26] 李敏, 曾宇玲, 钱玉梅, 等. 不同干燥方式对石榴皮单宁提取液抑菌效果的研究[J]. 农产品加工, 2022(19): 64-66.
- [27] DURAL A, AVEROUS L. Characterization and physicochemical properties of condensed tannins from acacia catechu [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2016, 64(8): 1751-1760.
- [28] 李云超, 魏思敏, 田启明, 等. 五倍子提取物有效成分含量分析与体外抑菌活性比较[J]. 中国兽药杂志, 2021, 55(12): 38-40.
- [29] 蒋红芝, 韦林双. 山竹皮单宁提取与纯化工艺[J]. 中南农业科技, 2023, 44(10): 30-32.
- [30] SEERAM N P, HENNING S M, ZHANG Y J, et al. Pomegranate juice ellagitannin metabolites are present in human plasma and some persist in urine for up to 48 hours [J]. The Journal of Nutrition, 2006, 136(10): 2481-2485.
- [31] TRUCHADO P, LARROSA M, GARCFA-CONESA M T, et al. Strawberry processing does not affect the production and urinary excretion of urolithins, ellagic acid metabolites, in humans [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(23): 5749-5754.
- [32] CERDA B, TOMA S, BARBERA N F A, et al. Metabolism of antioxidant and chemopreventive ellagitannins from strawberries, raspberries, walnuts, and oak-aged wine in humans: identification of biomarkers and individual variability [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(2): 227-235.
- [33] OKUDA T K, ITO H. Tannins of constant structure in medicinal and food plants-hydrolyzable tannins and polyphenols related to tannins [J]. Molecules, 2011, 16(3): 2191-2217.
- [34] REN Y Y, ZHANG X R, Lit N, et al. *Galla chinensis*, a traditional Chinese medicine: comprehensive review of botany, traditional uses, chemical composition, pharmacology and toxicology [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2021, 278: 114247.
- [35] STOUPI S, WILLIAMSON G, DRYNAN J W, et al. Procyanidin B<sub>2</sub> catabolism by human fecal microflora: partial characterization of dimeric intermediates [J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 2010, 501(1): 73-78.
- [36] DIVYA L, ADHIKESAVAN H, SIVAKUMAR V, et al. Swarming Inhibitory Potential of Cinnamtannin B1 from *Cinnamomum tamala* T. Nees and Eberm on *Pseudomonas aeruginosa* [J]. ACS Omega, 2019, 4(16): 16994-16998.
- [37] LAELIOCATTLEYA R A, ESTIASIH T, GRISELDA G, et al. The bioactive compounds and antioxidant activity of ethanol and ethyl acetate extracts of candi banana (*Musa paradisiaca*) [J]. IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 2018, 131(1): 012013.
- [38] 舒杨雄, 陈亚, 谭念, 等. 石榴皮单宁的提取及抑菌效果研究[J]. 粮食科技与经济, 2016, 41(5): 63-65.
- [39] 薛鹤, 曾阳, 李锦萍, 等. 金露梅黄酮提取工艺的响应面优化及其抗氧化和降血糖活性分析[J]. 南方农业学报, 2022, 53(2): 505-515.
- [40] AOURABI S, SFAIR M, MAHJoubi F. Optimization of ultrasound-assisted extraction of polyphenol content from *Zea mays* Hairs (Waste) [J]. Scientific Word Journal, 2020, 2020: 5072938.
- [41] 尚俊, 冯秀云, 王鑫, 等. 柠檬桉树皮单宁的提取纯化及抗氧化活性[J]. 食品工业科技, 2018, 39(1): 62-69.
- [42] 刘宁, 张铁鹏, 殷仁杰, 等. 微波法提取香蕉皮中水解单宁的工艺研究[J]. 中国食品添加剂, 2018(11): 85-91.
- [43] 王虹玲, 武婷茹, 姜诗文, 等. 香蕉皮单宁的提取及其提取物的抑菌抗氧化活性[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(11): 253-259.
- [44] 杜凯, 刘宇轩, 吕波, 等. 杏仁皮缩合单宁酶法提取工艺优化 [J]. 化工科技, 2024, 32(3): 12-17.
- [45] 李振, 李萍. 超声波辅助单宁酶法提取五倍子没食子酸及其抗氧化作用研究[J]. 动物营养学报, 2019, 31(8): 3830-3842.
- [46] 刘凤云, 谢金枝. 基于响应面法的微波辅助酶法提取核桃树叶单宁[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(11): 37-42.
- [47] 王妍, 郭长征, 黎观红, 等. 植物单宁的提取方法、生物学功能及其在动物营养中的应用[J]. 动物营养学报, 2024, 36(11): 6942-6957.
- [48] 蒋红芝, 义崇宽, 尹翠莹. 荔枝皮提取液单宁纯化工艺 [J]. 科研与生产, 2023, 5(10): 1-5.
- [49] 曲俊儒, 李军乔, 田甜等. 蕨麻单宁的分离纯化及抗氧化活性研究[J]. 安徽农业科学, 2023, 51(12): 142-146.
- [50] ZOU B, LI C, CHEN J, DONG X, et al. High molecular weight persimmon tannin is a potent hypolipidemic in high cholesterol diet fed rats [J]. Food Research International, 2012, 48(2): 970-977.
- [51] 郭林新, 强涛涛, 马养民, 等. 响应面优化马桑皮没食子酸的酶法提取技术[J]. 精细化工, 2021, 38(7): 1423-1429.
- [52] 杜凯, 刘宇轩, 吕波, 等. 杏仁皮缩合单宁酶法提取工

- 艺优化[J]. 化工科技, 2024, 32(3): 12-17.
- [53] LIU M M, YANG K, WANG J, et al. Young astringent persimmon tannin inhibits methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* isolated from pork[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2019, 100: 48-55.
- [54] 李海帆, 李玉环, 黄杰, 等. 香蕉皮单宁提取物对大肠杆菌的抑菌机理探究[J]. *食品与发酵科技*, 2018, 54(3): 42-45.
- [55] 王虹玲, 武婷茹, 姜诗文, 等. 香蕉皮单宁的提取及其提取物的抑菌抗氧化活性[J]. *食品与发酵工业*, 2014, 40(11): 253-259.
- [56] 舒婧妍. 单宁酸抑制沙门氏菌三型分泌系统的作用及机制[D]. 长春: 吉林大学, 2023.
- [57] 赵立. 香蕉皮单宁的提取及抑菌活性研究[J]. *江苏农业科学*, 2009(6): 369-371.
- [58] 李丽, 王川, 牛广杰. 香蕉皮单宁的抑菌性研究[J]. *中国调味品*, 2009, 34(7): 73-76.
- [59] 纳希斯. 单宁酸对苹果黑霉病防治的研究[D]. 沈阳: 辽宁大学, 2021.
- [60] 徐艳阳, 仇洋, 王君晔, 等. 黑果腺肋花楸多酚的抑菌效果及对 $\alpha$ -淀粉酶活性的抑制作用[J]. *食品科学*, 2018, 39(19): 51-57.
- [61] 曾祥权, 李倩倩, 姜微波, 等. 香蕉单宁的提取、结构及功能研究进展[J]. *食品科学*, 2022, 43(23): 326-335.
- [62] YAMAGUCHI H, YOSHINO K, KIDO A. Termite resistance and wood-penetrability of chemically modified tannin and tannin-copper complexes as wood preservatives[J]. *Journal Wood Science*, 2002, 48(4): 331-337.
- [63] 汤杰. 单宁酸及其衍生物辅助构建抗污染/抗菌功能涂层[D]. 重庆: 西南大学, 2023.
- [64] RAED A, NIDAL J, SALEH F. Total phenol, flavonoids, and tannin contents, antimicrobial, antioxidant, vital digestion enzymes inhibitory and cytotoxic activities of *Verbascum fruticosum*[J]. *European Journal of Integrative Medicine*, 2023, 60: 102256.
- [65] GONTIJO D C, GONTIJO P C, BRANDDAO G C et al. Antioxidant study indicative of antibacterial and antimutagenic activities of an ellagitannin-rich aqueous extract and antimutagenic activities of an ellagitannin-rich aqueous extract from the leaves of *Miconia latecrenata*[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2019, 236: 114-123.
- [66] GU M, FAN R, DAI X, et al. Tannic Acid Induces Intestinal Dysfunction and Intestinal Microbial Dysregulation in Brandt's Vole (*Lasiopodomys brandtii*) [J]. *Animals (Basel)*, 2023, 13(4): 586.
- [67] KANG P, HANG Y, CHEN C, et al. Effects of replacing fishmeal with rapeseed meal and dietary condensed tannins on antioxidant capacity, immunity, and hepatic and intestinal health of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *Aquaculture Reports*, 2023, 2023(1): 101548.

## Research Progress on Structural, Extraction Methods and Bacteriostatic and Antiviral Functions of Tannins

YANG Miaomiao<sup>1</sup>, WU Dan<sup>1</sup>, WANG Yalan<sup>1</sup>, REN Caixia<sup>1</sup>, LI Baicun<sup>1</sup>,  
WANG Lixia<sup>1</sup>, WANG Xiaoling<sup>2\*</sup>, DUAN Yanli<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> College of Biological Food and Chemistry, Shaanxi Xueqian Normal University, Xi'an 710100, China;

<sup>2</sup> Institute of Biological Resources, Jiangxi Academy of Sciences/Jiangxi Provincial Key Laboratory of Plantation and High Valued Utilization of Specialty Fruit Tree and Tea, Nanchang 330096, China;

<sup>3</sup> Beijing Vocational College of Agriculture, Beijing 102442, China)

**Abstract: 【Objective】** To review tannin's structure, extraction techniques, antimicrobial, antiviral, pesticide toxicity reduction, and probiotic growth promotion based on the biological effects of tannin. **【Method】** We analyzed the application status and existing problems of plant tannins based on the literature. **【Result】** As a polyphenolic substance, tannin has great potential in developing green fungicides for plant diseases, fruit and vegetable preservatives, food preservatives, animal feed additives, and pharmaceuticals due to its biological effects. **【Conclusion】** The review can provide new ideas for the biological control of harmful pathogens, and provide a theoretical basis for the development of plant-based biobactericides and freshness preservation agents.

**Keywords:** tannins; biological effect; green fungicide; bio-preservative

(责任编辑: 李婷婷)