

Research Progress of Plant Active Ingredient Antibacterial Abilities and Mechanism

Keke He, Xuechen Yang, Liya Song*

Beijing Key Lab of Plant Resources Research and Development, Beijing Technology and Business University, Beijing

Email: 13121516520@163.com, *songsong201409@126.com

Received: Dec. 6th, 2017; accepted: Dec. 28th, 2017; published: Jan. 12th, 2018

Abstract

Plant-based antibacterial substances can be obtained from a variety of natural resources and these antibacterial substances includes flavonoids, terpenoids, tannins, plant essential oils and polysaccharides according to the special structure. In this paper, these plant-based antibiotic material and their antibacterial effects and antifungal mechanism were summarized. Moreover, conclusion and prospect of the research are given finally. The study provided evidence for the research and development of botanical bacteriostats.

Keywords

Plant Resource, Antibacterial Mechanism, Research Progress

植物源有效成分抑菌活性及机理研究进展

贺可可, 杨雪晨, 宋丽雅*

北京工商大学, 北京市植物资源研究开发重点实验室, 北京

Email: 13121516520@163.com, *songsong201409@126.com

收稿日期: 2017年12月6日; 录用日期: 2017年12月28日; 发布日期: 2018年1月12日

摘要

具有抑菌活性的植物源有效成分来源广泛, 大致可分为黄酮类、萜类、单宁类、植物精油类、多糖类等。本文综述了黄酮类、萜类、单宁类、植物精油类、多糖类以及其他有效成分的抑菌活性以及机理研究进展, 并对植物源抑菌剂进行总结和展望, 期望为开发植物源抑菌剂提供借鉴意义。

*通讯作者。

关键词

植物源, 抑菌机理, 研究进展

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

防腐剂是食品、药品、化妆品等产品不可缺少的添加剂, 具有延长产品保质期及确保产品质量的作用。目前, 致病菌的耐药性以及人们对化学防腐剂可能引起健康问题的担忧, 使得研究人员将目光投向了来源广泛的植物源抑菌剂。植物源抑菌剂是指由植物中提取得到具有抑菌活性的物质。与现有的防腐剂相比, 植物源抑菌剂的优势在于部分植物源抑菌剂已有上千年的使用历史, 安全性较高, 同时我国幅员辽阔, 地理复杂多变, 植物资源丰富, 为植物源抑菌剂开采利用提供了得天独厚的条件。植物源有效成分如黄酮类、萜类、单宁类、植物精油类、多糖类以及其他有效成分皆具有抑菌功能。本文总结比较了各类植物源有效成分的抑菌活性并对抑菌机制进行梳理, 期望为植物源抑菌剂的研发及应用做出贡献。

2. 黄酮类

黄酮类物质是含有 2-苯基色原酮结构的统称。黄酮类物质又称为黄酮、黄碱素。黄酮类分子上 1 号位是碱性氧原子可与酸性物质结合形成盐, 而该盐的羟基衍生物显示黄色, 黄酮因此而得名[1]。黄酮类物质具有清除自由基、抗衰老、抗菌等活性。黄酮类物质开发的抑菌类药物已运用到实际生产中, 对人体造成严重不良反应的案例未见报道[2]。

王昱儒等[3]利用超声乙醇提取法提取荞麦麸皮中黄酮类物质, 所得的含量为 2.93%, 并对水果腐败菌大肠杆菌、荧光假单胞菌进行抑菌实验, 结果发现荞麦麸皮中黄酮类提取物对上述两种菌的最低抑菌浓度为 0.595、1.190 mg/mL。荞麦麸皮黄酮对二者的最低杀菌浓度分别为 1.19、2.38 mg/mL。杨小慧[4]采用紫外分光光度法测量得到文冠果落果中含有 1.84% 的黄酮类物质, 采用红外光谱与高效液相色谱、显色反应测定发现文冠果落果中一共含有 15 种黄酮单体, 其中芦丁占据总黄酮的 6%。牛津杯抑菌实验中, 黄酮类含量在 15 mg/mL 时, 大肠杆菌的抑菌圈直径可达 16.0 ± 0.3 mm, 枯草芽孢杆菌的抑菌圈直径为 13.0 ± 0.5 mm。黄酮类含量为 20 mg/mL 时, 对金黄色葡萄球菌的抑菌圈直径可达 14.0 ± 0.1 mm。王丽丽等[5]利用 28 μ g/mL、140 μ g/mL、280 μ g/mL、560 μ g/mL 不同浓度的洋葱黄酮提取物单独、同时复配不同的抗结核病药物利福平、异烟肼、链霉素和乙胺丁醇干预结核杆菌生长。结果发现单独使用 280 μ g/mL 洋葱黄酮提取物的抑菌效果优于单独使用上述各种抗结核杆菌药物。小鼠腹腔巨噬细胞与结核杆菌共培养加入不同组别的洋葱黄酮提取物或是抗结核杆菌药物, 检测巨噬细胞因子发现 280 μ g/mL 与 560 μ g/mL 洋葱黄酮提取物相比于 140 μ g/mL 洋葱黄酮提取物 IFN- γ 、IL-1 β 、IL-6 水平升高显著($p < 0.05$)。与异烟肼组相比, 280 μ g/mL 与 560 μ g/mL 洋葱黄酮提取物处理组巨噬细胞因子升高显著($p < 0.05$), 被巨噬细胞吞噬的分枝杆菌 DNA 扩增 Ct 值较低, DNA 拷贝数增加。该实验表明洋葱黄酮提取物能够抑制结核杆菌生长, 提高吞噬细胞的吞噬能力, 具有一定的浓度依赖性。

目前关于黄酮类物质抑菌机理的探索主要集中于细胞膜的完整性, DNA、蛋白质的合成上等。王海涛[6]发现大豆异黄酮在 0.3 mg/mL 浓度下能够抑制金黄色葡萄球菌的生长, 在该抑制浓度下, 第 6 h 时

细菌培养液电导率变化达 4.61%，细胞膜通透性遭到破坏，第 24 h 时细胞壁在扫描电镜下观察看到菌体干瘪，变形；同时，大豆异黄酮能够抑制供试菌株糖代谢途径中三羧酸循环途径，影响 DNA、RNA、蛋白质合成。何梦影[7]利用山奈酚、橙皮素、儿茶素、鹰嘴豆芽素 A 四种黄酮类物质作用于人工模拟的金黄色葡萄球菌细胞膜，研究黄酮类在细胞膜水平上的抑菌方式，结果发现山奈酚能够插入细胞膜磷脂的极性区域，儿茶素、橙皮素、鹰嘴豆芽素 A 则是进入到细胞膜的疏水区，磷脂分子排列顺序被打乱，同时细胞膜的流动性改变，菌体受到破坏。Wu 等[8]人研究发现黄酮类物质可通过改变黑曲霉的通透性进而抑制黑曲霉的生长。

3. 萜类

萜类物质主要为异戊二烯为单元的衍生物，按照结构主要分为单萜(C10)、倍半萜(15)、二萜(C20)、三萜(30)等。萜类物质因为含有氧原子，据此可分为醇、酸、酮、羧酸、酯及苷等萜类。萜类物质种类繁多，目前结构已被解析的萜类物质高达 5 万多。萜类物质的功能主要为抗肿瘤、抗疟疾、抗炎、杀虫、抑菌等[9]。

杨婷等[10]选取了百里香酚、香芹酚、丁香酚、异丁香酚、薄荷酮、香芹酮、长叶薄荷酮、马鞭草烯酮、小茴香酮、荜酮、柠檬醛、香茅醛、枯茗醛十三种萜类在浓度为 400 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时对胶孢炭疽菌与链格孢杆菌进行抑菌率实验，优选出五种抑菌率较高的萜类，之后将五种优选萜类物质浓度设置为 50 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 、100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 、200 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 、400 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 进行梯度活性实验，结果发现五种萜类抑制孢炭疽菌的效果强弱依次为：香芹酚 > 丁香酚 > 异丁香酚 > 枯茗醛 > 百里香酚，其 IC_{50} 分别为 40.89、42.95、88.86、170.58、348.56 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。五种优选萜类抑制链格孢杆菌强弱依次为：香芹酚 > 异丁香酚 > 丁香酚 > 枯茗醛 > 百里香酚， IC_{50} 分别为 18.19、22.43、114.64、339.35、384.65 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。王晓玲[11]用 250 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 紫芝胞内酸性三萜、紫芝胞外酸性三萜处理人肝癌细胞 BEL7402 和人乳腺癌细胞 MCF-7，结果发现两种癌细胞生长受到显著抑制($p < 0.05$)，同时抑菌实验表明 40 mg/mL 的胞内酸性三萜能够显著抑制大肠杆菌、金黄色葡萄球菌的生长($p < 0.05$)。李娟等[12]从水菖蒲分离倍半萜物质，利用波谱技术鉴定出 11 种物质，其中鉴定出的三种倍半萜 *teuclatriol*、*oxyphyllenodiols*、*bullatantriol* 对于细菌、真菌具有较好的抑菌活性。此抑菌实验结果与 Begum J 等[13]人研究一致。郭阿君[14]利用固相微萃取与气质联用技术从红皮云杉中分离鉴定了 14 种萜类物质，其中 1S- α -蒎烯、 β -月桂烯在 50 $\mu\text{L}/\text{mL}$ 浓度时能够完全一致枯草芽孢杆菌的生长。Yumi Eguchi 等[15]利用从百里香中分离出的 γ -松油烯进行抑菌实验，发现其浓度为 0.05 $\mu\text{L}/\text{mL}$ 时即可抑制灰葡萄孢菌的生长。

关于萜类的抑菌机理研究，目前已有较多报道出现。程敬丽[16]收集了红豆杉内生真菌紫杉木霉代谢产物木霉菌素，并在 C4 位、C8 位、C9 位进行衍生物的设计。实验发现木霉菌素 C4 位衍生物中的部分物质比木霉菌素的对稻瘟病菌抑制作用强 2.1 倍，通过 Autodock 4 和 DS Libdock 技术发现抑菌活性物质真正作用于在细菌、真菌中 P450 家族中 CYP51 蛋白。Shang 等[17]发现双萜类化合物截短侧耳素能够作用细菌核糖体 50S 亚基，结合位点为肽基转移酶，抑制蛋白质的合成。丁兰[18]由香茶菜属植物中分离鉴定得到二萜 *leukamenin E*，实验证明 *leukamenin E* 能使得尖镰孢菌丝体细胞膜微丝细胞内微丝结构被破坏，细胞膜通透性增加，进而影响菌丝体生长。

4. 单宁类

低聚体或多聚体酚类被称为单宁，目前已知的酚类物质高达 8000 种。单宁在植物中含量极高，仅仅低于木质素、纤维素。单宁根据其结构又可分为缩合单宁和水解单宁。单宁具有抗菌、抗病毒、抗寄生虫、抗氧化等功效[19]。

王虹玲等[20]采用滤纸片法测定香蕉单宁对细菌、霉菌和酵母菌的抑制能力,结果香蕉提取单宁对大肠杆菌的最低抑菌浓度(MIC)为 0.78 mg/mL,金黄色葡萄球菌和酵母菌的 MIC 为 6.25 mg/mL,霉菌的 MIC 为 1.56 mg/mL。徐云凤等[21]发现纯化后的石榴皮中提取液中,单宁成分安石榴苷含量高达 64.2%,纯化提取物对单核细胞增生李斯特氏菌、沙门氏菌和大肠杆菌、金黄色葡萄球菌的 MIC 分别为 5.000、0.625、10.000、0.156 mg/mL。郑正男等[22]采用了滤纸片法和琼脂二倍稀释法研究单宁酸的抑菌性,结果发现单宁酸对金黄色葡萄球菌和藤黄微球菌的最小抑菌浓度为 0.39 mg/mL 和 0.09 mg/mL,其抑菌效果优于食品常用防腐剂山梨酸钾。王翠颖等[23]由木麻黄提取单宁粗体并利用大孔吸附树脂进一步纯化,发现纯化后的单宁提取物对青枯菌具有抑制效果。Mazni 等[24]发现银合欢中的缩合单宁抗菌效果较好,其对革兰氏阳性菌、阴性菌的最低杀菌浓度与最低抑菌浓度分布在 6.25~50 mg/mL 之间,同时该缩合单宁对人乳腺癌细胞的 IC₅₀ = 38.33 ± 2.08 μg/mL,表明其对人乳腺癌细胞具有一定抑制作用。Jordan 等[25]发现蒽类单宁有利于糖尿病溃疡创面愈合,同时其在 0.25 mg/ml 浓度时可显著抑制耐甲氧西林金黄色葡萄球菌生长($p < 0.05$)。

单宁抑菌机理目前仍在探索中。刘秀丽[26]研究了紫色达利菊牧草和红豆草牧草中的缩合单宁对大肠杆菌的抑菌机理,主要从以下方面展开: 1) 实验中发现缩合两种牧草提取物的缩合单宁能够自氧化产生过氧化氢,影响菌体生长。2) 将蛋黄卵磷脂作为细菌结构模型并用缩合单宁处理,发现缩合单宁使之凝聚,而且缩合单宁浓度越高其凝聚作用越强。3) 大肠杆菌脂肪酸 C16:0/C16:1、TT16:0/TT16:1、C18:0/C18:1、SFA/USFA 显著升高,脂肪酸含量改变。4) β-D-半乳糖苷酶含量检测实验探究细胞膜的通透性,结果发现细胞外膜通透性改变。5) 利用考马斯亮蓝 G250 方法研究缩合单宁对细菌蛋白质影响,实验表明其对蛋白质具有极强的沉淀作用。杨沁南[27]在 qRT-PCR 实验中发现 0.038 mg/mL、0.078 mg/mL 和 0.156 mg/mL 浓度石榴皮单宁处理的大肠杆菌,其生物膜形成以及运动性相关基因如 *qseB*、*qseC*、*fimA*、*csgB*、*csgD*、*fimH* 和 *flhD* 等表达下调。0.312 mg/mL、0.625 mg/mL 的单宁纯化物质使得 AI-1 型群体感应系统能力下降。在分子对接实验中,单宁纯化物质中的鞣花酸可结合大肠杆菌上的受体蛋白。该项研究表明石榴皮单宁纯化物质能够显著影响大肠杆菌生物膜的合成、菌体运动性、群体系统感应性等。

5. 植物精油类

植物精油是具有挥发性的植物次级代谢产物,广泛存在于植物的各个部位,又称挥发油。精油不溶于水,易溶于乙醇等有机试剂。植物精油的抑菌广谱性好、对环境危害小,具有较好发展前景[28]。

黄文部等[29]采用肉桂、茴香、牛至、丁香、百里香和香茅六种精油对西兰花储存期间常见菌链格孢菌进行抑菌实验,结果发现六种精油中对链格孢菌抑制效果最好的是肉桂精油,其 MIC 和 MBC 分别为 0.05 μL/mL 和 0.15 μL/mL,茴香和牛至精油抑菌效果次之。张玲玲等[30]研究了向仔猪喂食植物精油与丁酸钠复合制剂后,其肠道菌群的变化,实验结果表明植物精油制剂能对肠道菌群产生积极影响。崔惠敬等[31]为了研究百里香酚、丁香酚、柠檬醛等 14 种植物精油对大菱鲆弧菌的抑菌性能,利用纸片扩散法和微量肉汤稀释法测定抑菌效果,采用投射电镜观察精油对菌体的作用,同时检测胞内乳酸脱氢酶、核酸释放量。实验结果发现肉桂醛抑菌效果最好,其 MIC 为 0.25 μL/mL,百里香酚、丁香酚、柠檬醛和山苍子油的 MIC 值为 0.5 μL/mL。山苍子精油处理后的大菱鲆弧菌电镜下观察细胞膜遭到破坏,同时检测到胞内蛋白酶、核酸外泄到胞外。Xie 等[32]发现牛至、香茅、百里香、香叶天竺葵、肉桂、丁香对木腐菌、毛栓菌、硫磺菌存在抑制作用,其中牛至抑菌效果最优,对毛栓菌、硫磺菌 IC₅₀ 分别为 79.1、36.9 μg/mL。

有关植物精油的抑菌机理国内外学者都进行了深入研究。黄聪华[33]研究发现其精油抑制金黄色葡萄球菌的生长,生长曲线测定、SDS-凝胶电泳实验表明其精油作用于对数生长时期细菌胞体蛋白质,

进而导致细胞膜破坏, 菌体凝结使得其无法正常生长。Wang 等[34]人发现野胡麻精油金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、肠炎沙门氏菌最低抑菌浓度分别为 0.5、1、2 $\mu\text{l/ml}$, 最低杀菌浓度为 1、2、4 $\mu\text{L/mL}$ 。同时碱性磷酸酶检测与碘化丙啶染色实验表明细胞膜完整性遭到破坏, 电镜下观察菌体也证明了这点。试剂盒与结晶紫实验表明野胡麻精油能够影响细胞生物膜合成, 疏水性检测则显示其细胞的粘附性降低。

6. 多糖类

植物多糖通常是指植物体内由大于 10 个分子数的单糖以糖苷键构成的物质。在 1993 年美国召开的糖类工作国际会议上, “糖生物学”研究重大意义首次被提出, 糖生物学有望成为生物学领域研究最有前景的方向之一。植物多糖作用原先被认为仅是提供能量来源, 现在更多的研究表明植物多糖在抗氧化、抗炎、抗肿瘤、抗病毒、抗菌等方面都有作用[35]。

王世佳等[36]采用 Sevage 法、盐酸法、三氯乙酸法、酶法、酶与 Sevage 结合法洗脱桔梗多糖中的蛋白, 利用滤纸片法测定桔梗多糖脱蛋白前后对根霉、青霉、黄曲霉抑菌活性, 脱蛋白前桔梗多糖对根霉抑菌作用较强, 而脱蛋白后对青霉、黄曲霉抑菌效果更强。罗敬文等[37]测定了玉木耳、黑木耳、毛木耳多糖的抑菌性, 结果表明三种多糖能够抑制大肠杆菌生长, 玉木耳多糖对金黄色葡萄球菌和枯草芽孢杆菌抑制效果较好。田艳花等[38]采用热水提取法提取甘草粗多糖, 并利用 DEAE-52 阴离子交换柱、Sephadex G100 凝胶柱纯化粗多糖, 滤纸片法抑菌实验结果表明 3.0 mg/mL 和 4.0 mg/mL 的纯化甘草多糖对大肠杆菌和肺炎克雷伯菌抑菌作用较强, 抑菌圈直径可达 11 mm。徐子恒等[39]通过正交实验设计方案优化提取银杏外种皮多糖, 发现其多糖总含量为 44.06%。抑菌实验表明银杏外种皮多糖对金黄色葡萄球菌的 MIC 为 1.563 mg/mL 。Sellimi 等[40]研究发现突尼斯海藻多糖对金黄色葡萄球菌、蜡样芽胞杆菌、粪肠球菌、藤黄微球菌均有抑制作用, 且最小抑菌浓度分别为 $10.00 \pm 0.00 \text{ mg/mL}$ 、 $20.00 \pm 0.00 \text{ mg/mL}$ 、 $20.00 \pm 0.00 \text{ mg/mL}$ 、 $20.00 \pm 0.00 \text{ mg/mL}$, 但是对大肠杆菌、铜绿假单胞菌、沙门氏菌无抑制作用。Meng 等[41]人研究表明新疆核桃分心木粗多糖利用 DEAE 纤维素离子交换色谱法、Sephadex G-100 凝胶渗透色谱法纯化多糖, 纯化后的多糖成分经鉴定为阿拉伯糖、半乳糖、葡萄糖、木糖、甘露糖, 其摩尔比为 0.27: 0.55: 1: 0.14: 0.08。滤纸片法测定抑菌活性发现 1.2 mg/mL 的纯化多糖对大肠杆菌、铜绿假单胞菌、金黄色葡萄球菌、单核细胞增生李斯特菌均有抑制作用, 抑菌圈直径分别为 $14.85 \pm 0.83 \text{ mm}$ 、 $15.31 \pm 0.96 \text{ mm}$ 、 $15.97 \pm 1.02 \text{ mm}$ 、 $14.35 \pm 0.78 \text{ mm}$ 。

植物多糖的抑菌机理探究已有众多学者的研究报道。孙义玄[42]分别由松针、艾蒿和蒿本三种植物中采用水提法提取多糖, 实验发现当三种水提多糖之间复配比为 3: 3: 2 时, 对大肠杆菌、枯草芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌、腐败菌孢汉逊酵母、隐球酵母抑菌效果较优。生长曲线测定实验表明复配多糖存在时, 菌体生长曲线下降。复配多糖处理后的菌体电镜观察, 其表面与对照组相比变得萎缩, 变形。电导率实验则说明随着复配多糖浓度的升高, 胞内物质外泄严重, 壁膜受损。邢珂[43]研究了壳聚糖的纳米体系对细菌的抑菌作用。首先将壳聚糖与油酰氯反应制备油酰壳聚糖复合物(OCS), 之后通过乳化法制成颗粒相同纳米球(OCNP)。抑菌实验中主要有如下发现: 1) OCNP 处理后的大肠杆菌、金黄色葡萄球菌 A260 增加, 表明细胞内的 DNA、RNA 外流, 细胞膜完整性遭到破坏。疏水性荧光探针 1-N-苯基-萘胺实验、电导率测定实验也证明了细胞膜通透性的破坏。2) 聚丙烯酰胺凝胶电泳实验表明 OCNP 影响了胞内蛋白质的合成, 或是由于细胞膜的破坏使得蛋白质外泄。3) 透射电镜观察到 OCNP 能够直接作用于壁膜, 使得细胞表面形成孔洞, 进而作用于细胞内部。4) 利用异硫氰酸荧光素标记的纳米球(FITC-OCS)作用于金黄色葡萄球菌、大肠杆菌, 荧光显微镜下发现 FITC-OCS 能够迅速穿透金黄色葡萄球菌的细胞壁膜, 而至少需要 15 分钟 FITC-OCS 才能进入大肠杆菌菌体。

7. 其他抑菌物质

生物碱类是植物体内碱性含氮化合物，通常含氮杂环。现已由植物中分离出上千种生物碱物质。生物碱具有抗炎、抗病毒、抗菌等生物活性[44]。王帅等[45]实验发现小花棘豆提取的总生物碱能够抑制金黄色葡萄球菌、乳房链球菌、化脓链球菌和枯草芽孢杆菌的生长。苗智等[46]实验中由夹竹桃内生菌的代谢产物分离出生物碱类尿囊素，抑菌实验结果发现尿囊素对苹果树腐烂病病菌、烟草赤星病病菌、小麦赤霉病病菌等一系列植物病原真菌具有抑制作用。

大蒜素是在大蒜中提取的有效抗菌物质，是一类硫化丙烯类化合物。魏旻晖[46]为解决自然提取率低问题，人工合成了大蒜素 A、合成大蒜素 B，抑菌实验发现大蒜素 A、大蒜素 B 对霉菌、酵母菌、金黄色葡萄球菌、大肠杆菌均有抑制作用。姚珏琦[47]发现 11 mg/ml 的大蒜素与 1% 次氯酸钠对大肠杆菌的抑制作用相同。

8. 总结与展望

植物源抑菌剂来源丰富，目前随着研究不断深入，更多新型抑菌剂被开发出来。植物源抑菌剂研究现阶段仍有许多问题待解决，1) 植物提取物成分复杂，结构鉴定困难，如植物多糖，目前对其结构鉴定较为困难。2) 抑菌机理不清，植物抑菌剂目前较多使用粗体物应用于抑菌，可能为粗体物中多个有效物共同作用。3) 部分抑菌物质易变质，抑菌效果不稳定，如黄酮类物质，其在空气中易被氧化变色，影响其抑菌效果和使用范围。4) 植物抑菌物质的安全性有待考量，植物提取物并非一定安全，如土地污染导致植物重金属超标，农药残留等，相关的法规急需出台以应对其安全性问题。随着新型仪器技术的开发和抑菌机理基础研究的拓展，植物源抑菌剂在不久的将来一定会有更好的发展。

参考文献 (References)

- [1] 刘旺景, 敖长金, 萨茹丽, 等. 植物提取物抑菌活性及作用机理[J]. 动物营养学报, 2016, 28(8): 2344-2352.
- [2] 张媛媛, 李艳利, 李书国. 植物源食品防腐剂抑菌机理和效果及在食品保鲜中的应用[J]. 粮油食品科技, 2014(4): 48-53.
- [3] 王昱儒, 岳田利, 袁亚宏, 蔡瑞, 王周利. 荞麦麸皮中黄酮类物质的提取纯化及壳聚糖复合膜的制备[J/OL]. 现代食品科技, 2017(11): 1-8.
- [4] 杨小慧, 石光波, 拜晓彬, 赵晨焯, 李博生. 文冠果果壳黄酮及抑菌性研究[J/OL]. 食品科学, 1-8, 2017-07-13.
- [5] 王丽丽, 石磊, 范大鹏, 李召东. 洋葱中黄酮类化合物对结核分枝杆菌影响的实验研究[J]. 新中医, 2017, 49(9): 8-12.
- [6] 王海涛. 大豆异黄酮的抑菌活性及其机制的研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 辽宁师范大学, 2009.
- [7] 何梦影. 基于脂质体模型对黄酮类化合物抑菌机理的研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
- [8] Wu, T., Cheng, D., He, M., Pan, S., Yao, X. and Xu, X. (2014) Antifungal Action and Inhibitory Mechanism of Polymethoxylated Flavones from *Citrus reticulata* Blanco Peel against *Aspergillus niger*. *Food Control*, **35**, 354-359. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.07.027>
- [9] 王凌健, 方欣, 杨长青, 李建成, 陈晓亚. 植物萜类次生代谢及其调控[J]. 中国科学: 生命科学, 2013, 43(12): 1030-1046.
- [10] 杨婷, 史红安, 李聪丽, 李建华, 王立华, 李国元, 张志林. 13 种萜类化合物对胶孢炭疽菌和链格孢的抑制活性[J]. 植物保护, 2017, 43(02): 192-195.
- [11] 王晓玲, 刘高强, 周国英, 赵艳, 李杜. 紫萜酸性三萜类化合物体外抑癌和抑菌作用的研究[J]. 菌物学报, 2009, 28(06): 838-845.
- [12] 李娟, 徐博, 赵小芳, 唐敏, 熊斯, 李顺祥. 水菖蒲倍半萜类成分的研究[J]. 中国中药杂志, 2016, 41(11): 2118-2123.
- [13] Begum, J., Sohrab, H., Yusuf, M.D., et al. (2004) In Vitro Antifungal Activity of Azaronisolated from the Rhizome

Extract of *Acorus calamus* L. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, **7**, 1376.

<https://doi.org/10.3923/pjbs.2004.1376.1379>

- [14] 郭阿君. 红皮云杉自然挥发物成分及抑菌作用[J]. 北华大学学报(自然科学版), 2016, 17(6): 736-740.
- [15] Eguchi, Y., Widiastuti, A., Odani, H., *et al.* (2016) Identification of Terpenoids Volatilized from *Thymus vulgaris*, L. by Heat Treatment And Their in Vitro, Antimicrobial Activity. *Physiological & Molecular Plant Pathology*, **94**, 83-89. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2016.05.004>
- [16] 程敬丽. 源自内生真菌的倍半萜类新颖高效抑菌化合物的衍生合成与生物活性研究[D]: [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [17] Shang, R.F., Wang, J.T., Guo, W.Z. and Liang, J.P. (2013) Efficient and Actedal Agents: A Review of the Synthesis, Biological Evaluation and Mechanism of Pleummutilin Derivatives. *Current Topics in Medicinal Chemistry*, **13**, 3013-3025.
- [18] 丁兰, 何苗, 王保强, 等. 4 种萜类化合物对蝴蝶兰茎腐病菌的抑制作用及机理的初步研究[J]. 植物保护, 2014, 40(3): 42-47.
- [19] 陈学斌, Nicola Panciroli. 植物单宁的生物活性及在动物饲料中应用[J]. 广东饲料, 2016, 25(12): 38-41.
- [20] 王虹玲, 武娟茹, 姜诗文, 刘丹丹, 司锐, 杨玉红. 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.
- [21] 徐云凤, 李光辉, 梁秀君, 沙影, 陆继源, 夏效东. 石榴皮单宁的提取、纯化及抑菌作用的研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(2): 83-86.
- [22] 郑正男, 谭俊杰, 吴帅, 丁利君, 郑希. 单宁酸的体外抑菌作用及其影响因素[J]. 广东工业大学学报, 2015, 32(4): 46-51.
- [23] 王翠颖, 孙思, 王军. 大孔吸附树脂纯化木麻黄单宁及对青枯菌的抑制[J]. 防护林科技, 2014(8): 23-25.
- [24] Zarin, M.A., Wan, H.Y., Isha, A., *et al.* (2016) Antioxidant, Antimicrobial and Cytotoxic Potential of Condensed Tannins from *Leucaena leucocephala*, Hybrid-Rendang. *Food Science & Human Wellness*, **5**, 65-75. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2016.02.001>
- [25] Lai, C.Y., Lai, H.Y., Rao, N.K., *et al.* (2016) Treatment for Diabetic Ulcer Wounds using a Fern Tannin Optimized Hydrogel Formulation with Antibacterial and Antioxidative Properties. *Journal of Ethnopharmacology*, **189**, 277-289. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.05.032>
- [26] 刘秀丽. 植物缩合单宁对大肠杆菌的抑制作用及抑菌机理的研究[D]: [博士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2013.
- [27] 杨沁南. 鸡肉中大肠杆菌生物膜的污染情况及石榴皮单宁对大肠杆菌生物膜的干预作用[D]: [硕士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [28] 陈秀敏, 方桂丽, 陈敏儿, 等. 植物精油的抑菌作用及检测技术研究进展[J]. 山东化工, 2017, 46(10): 67-69.
- [29] 黄文部, 马菀笛, 文豪, 曾茜, 何靖柳, 秦文. 鲜切西兰花贮藏期病原菌分离鉴定及植物精油抑菌效果的研究[J/OL]. 食品科学, 1-9, 2017-09-25.
- [30] 张玲玲, 冯杰, 李慧, 曾新福, 杨彩梅. 植物精油与丁酸钠复合制剂对断奶仔猪生长性能、血清抗氧化指标、粪便菌群及氨逸失的影响[J/OL]. 动物营养学报, 1-7, 2017-11-28.
- [31] 崔惠敬, 孟玉霞, 徐永平, 赵前程, 姜龙, 马永生. 植物精油对大菱鲆弧菌的体外和体内抗菌活性[J]. 微生物学通报, 2017, 44(2): 274-284.
- [32] Xie, Y., Wang, Z., Huang, Q., *et al.* (2017) Antifungal Activity of Several Essential Oils and Major Components against Wood-Rot Fungi. *Industrial Crops & Products*, **108**, 278-285. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.06.041>
- [33] 黄聪华. 芒萁抑菌有效成分的提取及抑菌机理研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 广东工业大学, 2013.
- [34] Wang, F., Wei, F., Song, C., *et al.* (2017) *Dodartia orientalis* L. Essential Oil Exerts Antibacterial Activity by Mechanisms of Disrupting Cell Structure and Resisting Biofilm. *Industrial Crops & Products*, **109**, 358-366. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.058>
- [35] 郭元亨, 张利军, 曹丽丽, 陈金金, 刘伯言, 赵庆生, 赵兵. 植物多糖中单糖组成分析技术的研究展[J/OL]. 食品科学, 1-8, 2016-12-21.
- [36] 王世佳, 杨晓杰, 王瑶, 张晶, 孙百良. 桔梗多糖脱蛋白方法的优化及对抑菌性的影响[J/OL]. 基因组学与应用生物学, 1-5, 2017-04-07.
- [37] 罗敬文, 司凤玲, 顾子玄, 王林玲, 孟秀秀. 三种木耳多糖的抗氧化活性与抑菌能力的比较分析[J/OL]. 食品科

学, 1-10, 2017-10-13.

- [38] 田艳花, 杨兆艳, 刘林凤, 刘娜丽, 郭芸. 甘肃甘草多糖的提取、纯化及其生物活性研究[J/OL]. 食品工业科技, 1-9, 2017-02-27.
- [39] 徐子恒, 栾祖香, 王宏军, 蒋红, 岳茹凤, 刘宇明. 新鲜银杏外种皮多糖提取工艺的优化及其抗菌和抗氧化活性[J/OL]. 中成药, 1-5, 2016-10-28.
- [40] Sellimi, S., Benslima, A., Barragan-Montero, V., *et al.* (2017) Polyphenolic-Protein-Polysaccharide Ternary Conjugates from *Cystoseira barbata* Tunisian Seaweed as Potential Biopreservatives: Chemical, Antioxidant and Antimicrobial Properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, **105**, 1375-1383.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.08.007>
- [41] Meng, Q., Li, Y., Xiao, T., *et al.* (2017) Antioxidant and Antibacterial Activities of Polysaccharides Isolated and Purified from *Diaphragma juglandis* Fructus. *International Journal of Biological Macromolecules*, **105**, 431-437.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.07.062>
- [42] 孙义玄. 蓝莓腐败菌的分离鉴定及复配多糖抑菌作用研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2016.
- [43] 邢珂. 壳聚糖纳米分散体系构建及抑菌性能研究[D]: [博士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- [44] 张德华, 黄仁术, 左露, 耿朝辉. 生物碱的提取方法研究进展[J]. 中国野生植物资源, 2010, 29(5): 15-20.
- [45] 王帅, 李怀志, 马明, 张玲, 马春晖. 小花棘豆总生物碱抑菌作用的研究[J]. 新疆农业科学, 2012, 49(1): 175-180.
- [46] 魏旻晖. 大蒜素类化合物的制备与抑菌研究[D]: [博士学位论文]. 杭州: 浙江工业大学, 2012.
- [47] 苗智, 马养民, 孔阳, 闫梦茹, 王健. 1 株链格孢属真菌生物碱类代谢产物的研究[J/OL]. 江苏农业科学, 1-4, 2017-11-28.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2168-5665, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: br@hanspub.org