

板栗加工副产物抑菌作用的研究进展

刘祎帆¹, 李妍馥¹, 庄储仲¹, 马路凯¹, 钟玉鸣¹, 肖更生¹, 王琴¹, 余元善², 余强^{3*}, 林文渊⁴

(1. 仲恺农业工程学院轻工食品学院, 广东省岭南特色食品科学与技术重点实验室, 广东广州 510225)

(2. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610)

(3. 南昌大学食品学院, 食品科学与技术国家重点实验室, 江西南昌 330031)

(4. 广东绿百多生物开发有限公司, 广东湛江 524052)

摘要: 板栗加工过程易产生诸如板栗壳、板栗花、板栗总苞、板栗次果及次品等副产物, 大量资源常被当作废弃物丢弃, 未得到有效利用, 开发的产品较少, 造成资源浪费。近年来, 有关板栗加工副产物的研究得到关注, 板栗中存在的多种天然活性成分相继被报道, 其中具有抑菌作用的成分占比较高。因此, 该研究综述了板栗加工副产物含有的抑菌成分及其作用机理, 以期对板栗加工副产物在抑菌材料方面的应用提供一定的参考。

关键词: 板栗; 加工副产物; 活性成分; 抑菌

文章编号: 1673-9078(2022)01-390-397

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.1.0347

Research Progress on the Antibacterial Effect of Chestnut Processing By-products

LIU Huifan¹, LI Yanfu¹, ZHUANG Chuzhong¹, MA Lukai¹, ZHONG Yuming¹, XIAO Gengsheng¹,
WANG Qin¹, YU Yuanshan², YU Qiang^{3*}, LIN Wenyuan⁴

(1.College of Light Industry and Food Technology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangdong Key Laboratory of Science and Technology of Lingnan Specialty Food, Guangzhou 510225, China) (2.Guangdong Key Laboratory of Agricultural Product Processing, Sericulture and Farm Product Processing Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510610, China) (3.College of Food Science and Technology Nanchang University, State Key Laboratory of Food Science and Technology, Nanchang, 330031, China)
(4.Guangdong Lvbaidou Biological Technology Co. Ltd., Zhanjiang 524052, China)

Abstract: Chestnut processing tends to produce by-products such as chestnut shell, flower, involucre, and chestnut secondary fruits and inferior products. Large amounts of these resources are often discarded as wastes within effective utilization and few developed products, causing waste of resources. In recent years, research on the by-products of Chinese chestnut processing has attracted attention. A variety of natural active ingredients in the chestnut have been reported successively, among which the components with an antibacterial effect account for a relatively high proportion. Therefore, this article reviews the antimicrobial components in the by-products of chestnut processing and their mechanisms of action, in order to provide a certain reference for the application of chestnut processing by-products in antimicrobial materials.

Key words: Chinese chestnut; processing by-products; bioactive components; antibacterial activity

引文格式:

刘祎帆,李妍馥,庄储仲,等.板栗加工副产物抑菌作用的研究进展[J].现代食品科技,2022,38(1):390-397,+62

LIU Huifan, LI Yanfu, ZHUANG Chuzhong, et al. Research progress on the antibacterial effect of chestnut processing by-products [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(1): 390-397, +62

收稿日期: 2021-03-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(32001622); 国家重点研发计划项目(2019YFD1002300; 2018YFC1602101); 广东河源国家农业科技园区农副产品精深加工关键技术成果转化项目(河科〔2020〕12); 广东省自然科学基金面上项目(2021A1515011060)

作者简介: 刘祎帆(1990-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 天然产物开发, E-mail: lm_zkng@163.com

通讯作者: 余强(1986-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 功能食品研究与开发, E-mail: yuqiang8612@163.com

板栗属于壳斗科,栽培历史已超过 3000 年,是我国重要的食用坚果^[1]。板栗在我国种植范围广,全国共 20 多省、直辖市、自治区都有栽培历史^[2],其中山东、河南、河北等省份是我国板栗的著名产区,其总年产量约 1.0×10^6 t,约占全球总产量的 70%^[3]。常见的板栗加工产品主要包括炒板栗、糖水罐头板栗、速冻板栗仁、板栗脯、板栗粉、板栗酱、板栗饮料、板栗酒等。

随着我国板栗种植面积的扩大,产量不断增加,板栗深加工不断深入,深加工技术不断成熟,新产品层出不穷,其板栗壳、板栗花、板栗总苞、板栗次果及次品等副产物产量也日益增多。板栗加工副产物常作为废弃物,造成资源浪费、环境污染等问题^[4]。板栗加工副产物含有丰富的生物活性成分,其中,板栗总苞包含多种酚酸衍生物^[5],具有抗氧化、抗肿瘤^[6]、抗糖尿病功效^[7];板栗壳含有丰富的纤维素和木质素^[8],可提取栲胶和天然色素,通过加工进行系列产品开发,作为饲料添加剂和食用菌的袋料,还可用之烧制栗苞炭^[9];板栗花含有丰富的黄酮类物质^[10],能够抑制黑色素形成且显著降低细胞中酪氨酸酶活性及其蛋白表达水平^[11]。同时,随着对板栗加工副产物的深入研究,关于其抑菌方面的应用逐渐受到关注,因此,本文对板栗加工副产物的主要活性物质、抑菌成分及其抑菌机制和应用情况进行综述,以期对板栗加工副产物在替代化学合成杀菌剂方面的开发与利用等方面提供思路。

1 板栗加工副产物的主要活性物质

表 1 板栗副产物中的活性成分

Table 1 The active constituents of chestnut by-product

提取对象	提取方法	主要活性成分	参考文献
板栗总苞	微波辅助醇提法	色素	[18]
	醇提法	多酚	[19]
	醇提法	总黄酮	[20]
	索氏提取法	多酚	[21]
板栗壳	乙酸乙酯提取法	黄酮	[22]
	醇提法	单宁	[23]
	醇提法	黄酮类色素	[24]
	醇提法	棕色素	[25]
板栗雄花	超声辅助醇提法	原花青素	[26]
	醇提法	黄酮	[27]
	醇提法	没食子酸、黄酮	[28]

板栗总苞是板栗总苞为板栗毛壳,又名风栗壳、板栗壳斗,其主要活性成分为多酚和黄酮。板栗壳是板栗的总皮,其主要活性成分包括纤维素、木质素、

多糖(或苷类)、有机酸、酚类、内酯、香豆素(或其苷类)、黄酮(或皂苷类)、植物甾醇(或三萜)和鞣质等^[12-15]。板栗花是指栗树的雄性花序,呈长条形穗状花序。板栗花中不仅含有氨基酸、蛋白质、还原糖、粗纤维等营养成分,还含有黄酮、挥发油等多种生物活性物质^[16,17]。

2 板栗加工副产物的抑菌成分

2.1 板栗总苞的抑菌成分

经研究发现,板栗总苞水提物和醇提物具有抑菌作用,其中已被证实主要发挥抑菌功效的成分有没食子酸和水溶性色素,详见表 2,是否有其他化学成分发挥抑菌功效还有待进一步研究。张琳等人^[29]从板栗总苞醇提物中分离出 9 种化合物,得到山奈酚、没食子酸、没食子酸正丁酯、没食子酸甲酯、3,4-二羟基苯甲酸、2,4,6-三羟基苯甲酸、鞣花酸、苯甲基-6-O- β -D-吡喃葡萄糖苷。焦启扬等人^[30,31]分离板栗总苞的醇提物鉴定得到 18 种化合物,首次分离出齐墩果酸、2-羟基-丁二酸二丁酯、豆甾-4-烯-6 β -3 酮,并发现醇提物对大肠杆菌、藤黄微球菌、金黄色葡萄球菌起到抑菌作用,尤其对藤黄微球菌抑菌活性最强,对其进行分离和结构鉴定,证实醇提物中主要的抑菌成分为没食子酸。You 等人^[18]发现板栗总苞中的水溶性色素具有抑菌功效,可能是其中的类黄酮原花青素 B3(缩合单宁)、槲皮素-3-O-糖苷和类固醇皂苷元发挥作用。

2.2 板栗壳的抑菌成分

板栗壳乙酸乙酯提取物、水提物、醇提物、碱提物、丙酮提取物均具有抑菌活性,有研究发现其中起抑菌作用的成分主要是黄酮类物质、可水解单宁和原花青素,详见表 2。席芳等人^[32]从板栗壳中鉴定出成分有 β -谷甾醇、 β -胡萝卜苷、豆甾-5-烯-3 β ,7 α -醇等 19 种化合物,并首次从板栗壳中分离出豆甾-5-烯-3 β ,7 α -醇等 11 种化合物。李云雁等人^[33,34]发现板栗壳中含黄酮类色素,色素得率达 64 mg/g ^[35],板栗壳色素经研究鉴定具有抑菌活性。Scalbert^[36]发现单宁对真菌、细菌和酵母的最低抑菌浓度(MIC)存在巨大差异,提出单宁对不同的微生物存在不同抑菌方式的可能性。韦琴等人^[26]用 65%的乙醇对板栗壳进行提取得到原花青素,发现其对啤酒酵母菌、真菌类的白色念珠菌、金黄色葡萄球菌均具有抑制作用。

2.3 板栗花的抑菌成分

近年来,研究者发现板栗花提取物能广泛抑制细

菌活性,其中板栗花提取物中的主要抑菌成分见表2。高丽梅等人^[28]采用重结晶、凝胶柱色谱、硅胶柱色谱等分离方法对板栗花进行化学分离,分离出11种化合物,发现板栗花中的黄酮类物质含量较高,且主要以游离黄酮如槲皮素、山奈酚、杨梅黄酮、异鼠李素等与糖基结合形成糖苷的形式存在。吴雪辉等人^[10]用三

种方法在板栗花中提取出黄酮类物质,发现其均能有效消除·OH与DPPH。陈亚蓝等人^[27]发现,板栗花黄酮具有较强的还原力,清除·OH能力显著高于Vc对照组,且对Hela细胞活力起明显抑制作用,抑制率高达81%。板栗花提取物中已被证实有抑菌功效的是黄酮类物质,而该物质中最具抑菌活性的是槲皮素和山奈酚。

表2 板栗副产物的抑菌成分

Table 2 Chestnut by-product extract with antibacterial effect

提取对象	提取方法	抑菌成分	可抑制菌种	参考文献
板栗总苞	醇提法	-	细菌	[31]
板栗总苞	醇提法	色素	细菌、真菌	[18]
板栗壳	乙酸乙酯提取	1-羟基-3-甲氧基苯甲酸	细菌	[37,38]
板栗壳	乙酸乙酯提取	没食子酸乙酯	-	[37,38]
板栗壳	乙酸乙酯提取	黄酮类物质	-	[37,38]
板栗壳	醇提法	可水解单宁	细菌	[39-41]
板栗壳	醇提法	色素	细菌、真菌	[42,43]
板栗壳	醇提法	棕色素	细菌、真菌	[44]
板栗壳	超声辅助醇法提取	棕色素	细菌	[45]
板栗壳	超声辅助醇法提取	色素	细菌、真菌	[24]
板栗壳	超声辅助醇法提取	原花青素	真菌	[26]
板栗壳	超声辅助碱法提取	酚类物质	细菌	[38]
板栗壳	超声辅助碱法提取	黄酮类物质	-	[38]
板栗壳	丙酮提取法	可水解单宁	细菌、真菌	[46]
板栗壳	水提法	可水解单宁	细菌	[47]
板栗花	水提法	-	细菌	[48]
板栗花	水蒸气蒸馏法	黄酮类化合物	细菌	[49]
板栗花	水蒸气蒸馏法	精油	细菌、真菌	[50,51]
板栗花	半仿生提取法	黄酮类化合物	细菌、真菌	[52,53]
板栗雄花序	醇提法	-	细菌	[54]
板栗雄花序	醇提法	黄酮	真菌	[55]

3 板栗加工副产物抑菌成分的抑菌机制

通过整理相关文献,归纳得到板栗加工副产物中抑菌成分的主要机制包括:(1)破坏菌体细胞结构使胞内物质外漏,导致菌体死亡;(2)影响菌体蛋白质正常表达,破坏蛋白质生理功能;(3)影响菌体酶活性,引起菌体细胞功能障碍,影响菌体能量代谢与菌体生长,使菌体死亡。

3.1 破坏菌体细胞结构

板栗加工副产物中的抑菌成分可直接对菌体细胞结构进行破坏,从而起到抑菌作用。没食子酸通过破坏菌体细胞,使得大部分菌体细胞出现破损状态,导致细胞原生质外漏,从而起到抑菌作用^[56]。没食子酸对荧光剂单胞菌的细胞膜^[57]和水稻细菌性条斑病菌

细胞壁^[58]具有破坏作用。槲皮素对大肠杆菌的细胞壁有破坏作用,但对金黄色葡萄球菌抑菌效果较差^[59]。原花青素对菌体细胞作用,使得菌体细胞表面产生褶皱且细胞壁遭到破坏,从而起到抑菌作用^[60]。Cushnie^[61]发现黄酮醇高良姜素使细菌细胞聚集,可能暗示细胞膜是该化合物活性的靶位点,也可能暗示抑菌实验中检测到的细菌数量减少部分归因于聚集效应。该研究结果警醒研究者不能仅仅通过细菌数量多少判定抑菌成分活性强弱,而应进行多项验证。板栗加工副产物含有的抑菌成分还可间接破坏菌体细胞结构,如通过膜交互作用抑菌、抑制信号受体和抑制酶活性。正常细胞膜具有选择透过性,当细胞损伤或受到侵扰时,细胞膜选择透过性会被破坏,引起细胞外膜渗透性增大^[62]。黄酮类化合物通过膜交互作用对大肠杆菌起到抑菌作用,其中影响其抑菌活性的主要因

素是黄酮类化合物的电子效应与疏水性,且疏水性的影响更大^[63]。黄酮类化合物还可通过抑制群体感应信号受体来抑制铜绿假单胞菌的粘附和生物膜的形成^[64]。原花青素^[65]通过抑制 β -内酰胺酶的活性,降低了细菌细胞膜的稳定性,其具体表现为细菌对低渗透压和高离子强度溶液的耐受性降低。

3.2 影响菌体内蛋白质

板栗加工副产物中的抑菌成分通过破坏细胞结构或改变细胞膜的通透性降低可溶性蛋白含量以及抑制菌体可溶性蛋白的表达能力,从而起到抑菌作用。没食子酸通过破坏菌体细胞膜让菌体内蛋白质类物质等细胞内容物溶出,从而起到抑菌作用^[57],对菌体可溶性蛋白的表达能力起到明显的抑制作用,但不会对菌体总蛋白量产生明显影响^[66]。槲皮素通过对大肠杆菌部分蛋白的正常表达进行干扰,破坏菌体细胞结构以及影响菌体正常生理功能,使细菌细胞膜通透性增大,可溶性蛋白大量渗出^[67],从而达到抑菌效果^[59]。原花青素通过抑制菌体可溶性蛋白含量起到抑菌作用^[68]。

3.3 影响菌体内活性物质

板栗加工副产物抑菌成分通过影响菌体内活性物质,从而破坏菌体细胞结构以及影响菌体可溶性蛋白,影响菌体生长繁殖或使菌体死亡,达到抑菌效果。槲皮素通过使细菌细胞膜通透性增大,进而影响细菌内ATP酶活性,且槲皮素浓度越大,作用时间越长, β -半乳糖苷酶大量溶出,起到破坏菌体细胞结构、抑制菌体生长繁殖的作用^[67]。槲皮素与催化d-Ala-d-Ala肽聚糖前体组装中连接的酶特异性结合,与ATP结合区重叠,抑制酶的活性,从而抑制幽门螺杆菌和大肠杆菌^[69];通过抑制ATP酶活性和DNA转录,起到抑制大肠杆菌繁殖的作用^[70]。槲皮素通过抑制DNA回旋酶,抑制细菌旋酶的超卷曲活性并诱导DNA切割,也抑制了回旋酶b的ATP酶活性^[70],达到抑菌效果。黄酮通过抑制DNA旋转酶的催化活性,阻止DNA结合或催化,达到抑菌效果^[71]。黄酮醇、黄烷-3-醇和黄酮类化合物已被证明可以通过ATP合成酶抑制能量代谢,导致细胞凋亡^[72]。

4 板栗加工副产物在抑菌方面的应用

目前,板栗加工副产物制备的抑菌产品鲜少在市场进行流通,多数产品仍处于实验室研究阶段。吴龙云^[47]运用板栗壳浸膏抑制醋酸所致小鼠腹膜炎渗出和巴豆油所致的小鼠耳廓肿胀,并发现与黄连相比,板栗壳浸膏对大肠杆菌的抗菌作用更强;对宋内氏、

绿脓杆菌及金黄色葡萄球菌的抗菌作用更弱;对鲍氏、福氏、志贺氏杆菌的抗菌作用基本相同。刘绍雄等^[41]发现板栗苞壳提取物能够抑制思茅松毛虫肠道细菌,因此,板栗苞壳提取物为开发治理思茅松毛虫的新型生物农药提供了新思路。李利红等^[73]发现板栗壳碱提取物在兽医临床中对常见菌具有一定抑菌活性,抗生素中添加板栗壳提取物具有增强抗生素抑菌效果的作用,可以减少抗生素用量。周国燕等^[24]发现板栗壳提取物在较低浓度下对苹果汁有较明显的抑菌作用。李云雁等^[74]发现板栗壳提取物热稳定性好,在经高温处理后与高温处理前抑菌效果并无明显差异。因此,板栗加工副产物是一种较有效的天然抑菌剂和值得大力推广使用的食品防腐剂。

5 结语

板栗是我国重要的经济作物,板栗加工副产物拥有巨大的发展前景。板栗加工副产物中主要的抑菌活性成分包括黄酮、原花青素、单宁、没食子酸等,可以通过破坏菌体细胞结构、影响菌体内蛋白质、影响菌体内活性物质等方式影响细菌的生长繁殖甚至导致菌体死亡,从而达到抑菌目的。目前,对板栗加工副产物抑菌物质的研究已有较大突破,但对板栗总苞及板栗壳抑菌成分的研究水平和层次不够成熟,板栗加工副产物抑菌成分的具体抑菌机制还需进一步研究,板栗加工副产物抑菌物质的产品开发仍有较大的发展空间。因此,加强对板栗加工副产物抑菌成分的深入分析,明确其具体作用机制,开发高效低毒的抗菌药物,对于板栗加工副产物抑菌成分的应用意义重大。

参考文献

- [1] Borges O P, Carvalho J S, Correia P R, et al. Lipid and fatty acid profiles of *Castanea sativa* Mill. chestnuts of 17 native Portuguese cultivars [J]. Journal of Food Composition & Analysis, 2007, 20(2): 80-89
- [2] 高海生,常学东.板栗贮藏与加工[M].板栗贮藏与加工,2004 GAO Haisheng, CHANG Xuedong. Storage and Processing of Chinese Chestnut [M]. Storage and Processing of Chinese Chestnut, 2004
- [3] 郑玉梅,战红英,毕磊.7种板栗的营养成分比较研究[J].食品安全导刊,2021,7:45-47 ZHENG Yumei, ZHAN Hongying, BI Lei. Comparative study on nutritional components of seven kinds of Chestnut [J]. China Food Safety Magazine, 2021, 7: 45-47
- [4] Sun Y K, Yang L F, Yang L Y, et al. *In vitro* antibacterial activity of water extract of chestnut flowers [J]. Chinese

- Journal of Animal Infectious Diseases, 2010
- [5] 郭雷,郝倩,孙颖,等.板栗壳活性成分的提取工艺条件研究[J].江苏农业科学,2010,0(3):356-357
- GUO Lei, HAO Qian, SUN Ying, et al. Study on extraction conditions of active components from chestnut shell [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2010, 0(3): 356-357
- [6] 林思文,殷嫦娥,殷明,等.板栗总苞总黄酮对三种不同肿瘤细胞的抑制作用[J].天然产物研究与开发,2015,27(1):143-147
- LIN Siwen, YIN Changchang, YIN Ming, et al. Effect of total flavonoids from castanea involucre on 3 tumor cells [J]. Natural Product Research and Development, 2015, 27(1): 143-147
- [7] 张琳.板栗总苞抗糖尿病活性成分及 *Seseli hartvigii* 的化学成分研究[D].沈阳:沈阳药科大学,2010
- ZHANG Lin. Studies on anti-diabetic constituents of involucre of castanea mollissima blume and chemical substances of *Seseli hartvigii* [D]. Shenyang: Shenyang Pharmaceutical University, 2010
- [8] 李云雁,罗渊,宋光森,等.乙酸乙酯法分离板栗壳木质素的研究[J].林业科技,2007,4:41-44
- LI Yunyan, LUO Yuan, SONG Guangsen, et al. Isolation of lignin from chestnut shell by ethyl acetate [J]. Forestry Science & Technology, 2007, 4: 41-44
- [9] 杨志斌,杨柳,徐向阳.板栗加工现状及剩余物利用前景[J].湖北林业科技,2007,1:57-59
- YANG Zhibin, YANG Liu, XU Xiangyang. Prospect on utilization of current status and residual for castanea mollissima [J]. Hubei Forestry Science and Technology, 2007, 1: 57-59
- [10] 吴雪辉,张喜梅,李廷群,等.板栗花粗提物的抗氧化活性研究[J].现代食品科技,2008,1:22-24,27
- WU Xuehui, ZHANG Ximei, LI Tingqun, et al. Study on antioxidant activity of crude extract from chestnut flower [J]. Modern Food Science and Technology, 2008, 1: 22-24, 27
- [11] Sapkota K, Park S E, Kim J E, et al. Antioxidant and antimelanogenic properties of chestnut flower extract [J]. Biosci Biotechnol Biochem, 2010, 74(8): 1527-1533
- [12] 张雪丹,张倩,辛力,等.板栗壳的化学成分及其应用研究进展[J].落叶果树,2012,1:20-22
- ZHANG Xuedan, ZHANG Qian, XIN Li, et al. Research progress on chemical constituents and application of chestnut shell [J]. Deciduous Fruits, 2012, 1: 20-22
- [13] 赵德义,高文海,花成文,等.板栗壳化学成分的初步研究[J].陕西林业科技,2003,2:1-3
- ZHAO Deyi, GAO Wenhai, HUA Chengwen, et al. Chemical components of castanea mollissima shell [J]. Shaanxi Forest Science and Technology, 2003, 2: 1-3
- [14] Maurelli L, Ionata E, Cara F. Chestnut shell as unexploited source of fermentable sugars: effect of different pretreatment methods on enzymatic saccharification [J]. Applied Biochemistry & Biotechnology, 2013, 170(5): 1104-1118
- [15] 席芳.板栗壳化学成分的研究[D].郑州:郑州大学,2007
- XI Fang. Study on chemical constituents of chestnut shell [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2007
- [16] 赵永孝.板栗果实和花粉的氨基酸含量[J].落叶果树,2000,4:15
- ZHAO Yongxiao. Amino acid content in chestnut fruit and pollen [J]. Deciduous Fruits, 2000, 4: 15
- [17] 于绍夫,姜中武.7个板栗品种花粉中氨基酸及矿质元素含量的比较[J].烟台果树,1988,29(1):22-26
- YU Shaofu, JIANG Zhongwu. Comparison of the contents of amino acids and mineral elements in pollens of seven Chinese chestnut cultivars [J]. Yantai Fruits, 1998, 29(1): 22-26
- [18] You T T, Zhou S K, Wen J L, et al. Chemical composition, properties, and antimicrobial activity of the water-soluble pigments from castanea mollissima shells [J]. J Agric Food Chem, 2014, 62(8): 1936-1944
- [19] 石恩慧,郭凯军,李红,等.板栗总苞多酚提取工艺优化及其抗氧化性研究[J].动物营养学报,2013,25(2):406-414
- SHI Enhui, GUO Kaijun, LI Hong, et al. *Castanea mollissima* Blume polyphenols: extraction technology optimization and its antioxidant activity [J]. Acta Zoonutrimenta Sinica, 2013, 25(2): 406-414
- [20] 叶君,孙博航,黄健,等.板栗总苞中总黄酮提取工艺及含量测定[J].现代中医药,2010,6:106-108
- YE Jun, SUN Bohang, HUANG Jian, et al. Extraction technology and content determination of total flavonoids in *Castanea mollissima* Blume involucre [J]. Modern Traditional Chinese Medicine, 2010, 6: 106-108
- [21] 田桂芝,李绍明,王大超,等.Folin-Ciocalteu 比色法测定板栗总苞提取液中总多酚的含量[J].安徽农业科学,2015,43(6):289-291,370
- TIAN Guizhi, LI Shaoming, WANG Dachao, et al. Determination of total polyphenols in chestnut shell by Folin-Ciocalteu method [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2015, 43(6): 289-291, 370
- [22] 史玲玲,王建中,刘玉军,等.板栗壳乙酸乙酯提取物活性研究及其化合物结构分析[J].食品与机械,2017,33(2):130-134

- SHI Lingling, WANG Jianzhong, LIU Yujun, et al. Study on activity and structure analysis of extracts from Chinese chestnut shell by ethyl acetate [J]. Food & Machinery, 2017, 33(2): 130-134
- [23] 王杰兴,王全杰,杜山山,等.分光光度法测定板栗刺壳、核桃青皮及葡萄皮中的单宁含量[J].西部皮革,2013,6:20-23
- WANG Jiexing, WANG Quanjie, DU Shanshan, et al. Determination of tannin content in chestnut shell, walnut seedcase and grape husk via spectrophotometry [J]. West Leather, 2013, 6: 20-23
- [24] 周国燕,桑迎迎,宫春波,等.板栗壳色素的提取工艺优化及其抑菌性能[J].食品科学,2010,22:101-105
- ZHOU Guoyan, SANG Yingying, GONG Chunbo, et al. Optimal extraction parameters and antibacterial properties of pigment from chestnut shell [J]. Food Science, 2010, 31(22): 101-105
- [25] 陈思佳.板栗壳色素的提取工艺优化及稳定性研究[D].北京:北京农学院,2019
- CHEN Sijia. Optimization of extraction technology and stability studies of pigment from chestnut shell [D]. Beijing: Beijing University of Agriculture, 2019
- [26] 韦琴,乐薇,吕凯波,等.板栗壳原花青素的提取及体外抑菌作用研究[J].食品与发酵工业,2016,42(4):214-219
- WEI Qin, LE Wei, LYU Kaibo. Study on extracting technology by orthogonal design and antibacterial activity of procyanidins from chestnut shells [J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(4): 214-219
- [27] 陈亚蓝,王雪青,李月娇,等.板栗花黄酮的抗氧化作用及其对Hela细胞活力的影响[J].食品工业科技,2015,36(14):165-168
- CHEN Yalan, WANG Xueqing, LI Yuejiao, et al. Effect of the flavonoids from chestnut flower on antioxidant activity and cellular viability of Hela line [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(14): 165-168
- [28] 高丽梅,吴立军,黄健,等.板栗花的化学成分[J].沈阳药科大学学报,2010,27(7):544-547
- GAO Limei, WU Lijun, HUANG Jian, et al. Chemical constituents from the flowers of *Castanea mollissima* Blume [J]. Journal of Shenyang Pharmaceutical University, 2010, 27(7): 544-547
- [29] 张琳,高慧媛,马场正树,等.板栗总苞中的抗糖尿病活性成分[J].沈阳药科大学学报,2010,27(7):24-26,32
- ZHANG Lin, GAO Huiyuan, MACHANG Zhengshu, et al. Constituents with anti-diabetic activity from the involucre of *Castanea mollissima* Blume [J]. Journal of Shenyang Pharmaceutical University, 2010, 27(7): 24-26, 32
- [30] 焦启扬,吴立军,孙博航,等.板栗总苞的化学成分及其抗菌活性[C].2008年中国药学会学术年会暨第八届中国药师周论文集,2008
- JIAO Qiyang, WU Lijun, SUN Bohang, et al. Chemical constituents and antimicrobial activity of involucre of chestnut [C]. Proceedings of the 2008 Annual Conference of Chinese Pharmaceutical Association and the 8th Chinese Pharmacist Week, 2008
- [31] 焦启扬,吴立军,黄建,等.板栗总苞化学成分的分离与鉴定[J].沈阳药科大学学报,2009,1:26-29
- JIAO Qiyang, WU Lijun, HUANG Jian, et al. Chemical constituents from the involucre of *Castanea mollissima* Blume [J]. Journal of Shenyang Pharmaceutical University, 2009, 1: 26-29
- [32] 贾陆,席芳,王娜,等.板栗壳化学成分研究[J].中国医药工业杂志,2010,41(2):98-102
- JIA Lu, XI Fang, WANG Na, et al. Chemical constituents of *Castanea mollissima* Blume shell [J]. Chinese Journal of Pharmaceutical, 2010, 41(2): 98-102
- [33] 李云雁,宋光森.超声波协助提取板栗壳色素的研究[J].食品科技,2003,8:57-58
- LI Yunyan, SONG Guangsen. Ultrasound-assisted extraction of pigment from chestnut shell [J]. Food Science and Technology, 2003, 8: 57-58
- [34] 刘平,李云雁.板栗壳色素超声波提取方法研究[J].江苏农业科学,2007,4:196-198
- LIU Ping, LI Yunyan. Extraction of pigment from chestnut shell by ultrasonic wave [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2007, 4: 196-198
- [35] Calvo C, Salvador A. Use of natural colorants in food gels. Influence of composition of gels on their colour and study of their stability during storage [J]. Food Hydrocolloids, 2000, 14(5): 439-443
- [36] Augustin Scalbert. Antimicrobial properties of tannins [J]. Phytochemistry, 1991, 30(12): 3875-3883
- [37] 吴龙云,凌桂生,许学健,等.板栗毛壳的抗菌活性成分[J].中草药,1991,8:370
- WU Longyun, LING Guisheng, XU Xuejian, et al. Antibacterial active ingredient of chestnut hair shell [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 1991, 8: 370
- [38] 曾超珍,刘志祥,董旭杰.板栗壳抑菌物质提取工艺的优化[J].广东农业科学,2014,41(21):102-105
- ZENG Chaozhen, LIU Zhixiang, DONG Xujie. Optimization on the extraction technology for antibacterial substances in

- chestnut shells [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2014, 41(21): 102-105
- [39] 孙永科,杨林富,杨亮宇,等.板栗花提取物体外抑菌效果研究[J].动物医学进展,2010,31(S1):149-152
SUN Yongke, YANG Linfu, YANG Liangyu, et al. Isolation and identification of porcine encephalomyocarditis virus [J]. Progress in Veterinary Medicine, 2010, 31(S1): 149-152
- [40] 李军红,田胜尼,陆晓宇.三种坚果类食品壳提取物的抑菌性比较研究[J].食品科学,2008,29(8):70-73
LI Junhong, TIAN Shengni, LU Xiaoyu. Comparative study on antibacterial characteristics of hull extracts from three kinds of nuts foods [J]. Food Science, 2008, 29(8): 70-73
- [41] 刘绍雄,王明月,王金华,等.板栗苞壳提取物对思茅松毛虫肠道细菌的抑菌作用[J].南方农业学报,2012,43(12):1968-1972
LIU Shaoxiong, WANG Mingyue, WANG Jinhua, et al. Inhibition effect of *Castanea mollissima* Blume bract extract on intestinal bacteria in *Dendrolimu kikuchii* Matsumura [J]. Journal of Southern Agriculture, 2012, 43(12): 1968-1972
- [42] 吴雪辉,张远志,秦慧慧,等.板栗壳天然色素的抑菌和清除自由基作用研究[J].食品科技,2006,31(6):133-136
WU Xuehui, ZHANG Yuanzhi, QING Huihui, et al. Study on the antimicrobial properties and scavenging free radical effect of natural pigment from *Castanea mollissima* shell [J]. Food Science, 2006, 6: 133-136
- [43] 徐玲玲,王转莉,刘志伟.板栗壳色素抑菌作用的研究[J].化学工程师,2018,7:4-7
XU Lingling, WANG Zhuanli, LIU Zhiwei. Study on the antimicrobial effect of chestnut shell pigments [J]. Chemical Engineer, 2018, 7: 4-7
- [44] 段蕊,张俊杰.板栗壳棕色素的提取工艺研究及性能初探[J].食品与机械,2001,2:19-20
DUAN Rui, ZHANG Junjie. Study on extraction technology and properties of brown pigment from chestnut shell [J]. Food & Machinery, 2001, 2: 19-20
- [45] 陈苛蒙,王明,张佳惠,等.板栗壳棕色素的抑菌性能研究[J].天津农业科学,2015,5:38-40
CHEN Kemeng, WANG Ming, ZHANG Jiahui, et al. Study on antimicrobial properties of brown pigment from chestnut shell [J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2015, 5: 38-40
- [46] 陈晓天,李俊卿,宋元达.栗壳抑菌物质的提取及其抑菌作用的研究[J].食品与生物技术学报,2016,35(1):60-64
CHEN Xiaotian, LI Junqing, SONG Yuanda. Extraction and antimicrobial activity assay of bioactive compounds from chestnut shell [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2016, 35(1): 60-64
- [47] 吴龙云,凌桂生,许振朝.板栗壳浸膏的抗菌抗炎作用及对胃肠平滑肌运动的影响[J].广西中医药,2002,25(4):54-56
WU Longyun, LING Guisheng, XU Zhenchao. Antibacterial and anti-inflammatory effects of chestnut shell extract and its effect on gastrointestinal smooth muscle movement [J]. Guangxi Journal of Traditional Chinese Medicine, 2002, 25(4): 54-56
- [48] 孙永科,杨林富,杨亮宇,等.板栗花提取物体外抑菌效果研究[C].中国畜牧兽医学会食品卫生分学会第十一次学术研讨会论文集,2010
SUN Yongke, YANG Linfu, YANG Liangyu, et al. Study on the *in vitro* antibacterial activity of the chestnut flowers extract [C]. Proceedings of the 11th Symposium of Food Hygiene sub-society of Chinese Society of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2010
- [49] 王浩然.板栗花的综合利用研究[D].石家庄:河北科技大学,2010
WANG Haoran. Comprehensive utilization of chestnut flower [D]. Shijiazhuang: Hebei University of Science and Technology, 2010
- [50] 赵文越.板栗花精油驱避作用及其花露水的制备[D].天津:天津商业大学,2014
ZHAO Wenyue. Repellent of essential oil from chestnut flower and preparation toilet water of chestnut flower [D]. Tianjin: Tianjin University of Commerce, 2014
- [51] 赵文越,王雪青,邵明辉,等.水蒸气蒸馏法制备板栗花精油及其抑菌活性[J].食品研究与开发,2014,13:38-43
ZHAO Wenyue, WANG Xueqing, SHAO Minghui, et al. Extraction technology of the essential oil from chestnut flower and its antibacterial activity [J]. Food Research and Development, 2014, 13: 38-43
- [52] 李月娇,王雪青,陈亚蓝,等.板栗花黄酮的提取工艺及其抑菌活性研究[J].食品工业科技,2016,37(10):298-302
LI Yuejiao, WANG Xueqing, CHEN Yalan, et al. Optimization of technologies for extracting flavones from chestnut flower and its antibacterial activity [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(10): 298-302
- [53] 李月娇.板栗花黄酮的提取、纯化及其生物学功能研究[D].天津:天津商业大学,2015
LI Yuejiao. Studies on the extracting and purifying technology and bio-functions of the total flavonoids from chestnut flower [D]. Tianjin: Tianjin University of Commerce, 2015
- [54] 柏宏伟,成军,杨柳,等.板栗雄花序萃取物抗氧化及抑菌效

- 果[J].林业科学,2015,51(5):145-152
- BAI Hongwei, CHEN Jun, YANG Liu, et al. Antioxidation and antimicrobial activities of extracts parts of chestnut catkins [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2015, 51(5): 145-152
- [55] 张利燕.板栗雄花序黄酮提取物抗氧化活性及抑菌性的研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2013
- ZHANG Liyan. Research of male chestnut pollen's flavonoids antioxidant and antimicrobial activity [D]. Huhehot: Inner Mongolia Agricultural University, 2013
- [56] 张雅丽,李建科,刘柳.没食子酸的体外抑菌作用研究[J].食品工业科技,2013,34(11):81-84
- ZHANG Yali, LI Jianke, LIU Liu. Antimicrobial activities of Gallic acid *in vitro* [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34(11): 81-84
- [57] 卢静,任梦柔,陈锐,等.没食子酸对荧光假单胞菌的抑制作用研究[J].食品科技,2015,40(6):300-303
- LU Jing, REN Mengrou, CHEN Rui, et al. Antibacterial effects of gallic acid on *Pseudomonas fluorescens* [J]. *Food Science*, 2015, 40(6): 300-303
- [58] 魏昌英.没食子酸抑制水稻细菌性条斑病菌的机制及其对病害的防治作用[D].南宁:广西大学,2016
- WEI Changying. Antibacterial mechanism of gallic acid against *Xanthomonas oryzae* pv. *Oryzicola* and its control effect on rice bacterial leaf streak [D]. Nanning: Guangxi University, 2016
- [59] 洪志伟,孟令宇,葛雅琨,等.槲皮素对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的体外抑菌作用的研究[J].吉林化工学院学报,2017, 34(5):38-41
- HONG Zhiwei, MENG Lingyu, GE Yakun, et al. *In vitro* bacteriostasis of quercetin against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* [J]. *Journal of Jilin Institute of Chemical Technology*, 2017, 34(5): 38-41
- [60] 董晓敏,韩瑞芳,刘天明.葡萄籽原花青素对金黄色葡萄球菌的抑菌研究[J].食品工业,2015,36(8):188-192
- DONG Xiaomin, HAN Ruifang, LIU Tianming. Antibacterial mechanism of grape seed procyanidins against *Staphylococcus aureus* [J]. *The Food Industry*, 2015, 36(8): 188-192
- [61] Cushnie T, Hamilton V, Chapman D G, et al. Aggregation of *Staphylococcus aureus* following treatment with the antibacterial flavonol galangin [J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2010, 103
- [62] 刘映君,李素芬,王琴,等.抗菌肽 Met-Ala-Lys 对铜绿假单胞菌细胞膜的作用机制[J].现代食品科技,2019,35(6):56-63
- LIU Yingjun, LI Sufen, WANG Qin, et al. Mechanism of antibacterial peptide Met-Ala-Lys affecting on the cytomembrane of *Pseudomonas aeruginosa* [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2019, 35(6): 56-63
- [63] 吴婷.基于膜交互作用的黄酮类化合物抑制大肠杆菌的机理及定量构效关系研究[D].武汉:华中农业大学,2014
- WU Ting. Studies on antibacterial quantitative structure-activity relationship against *Escherichia Coli* of flavonoids based on memberane interaction [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014
- [64] Cushnie T, Lamb A J. Recent advances in understanding the antibacterial properties of flavonoids [J]. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 2011, 38(2): 99-107
- [65] Kusuda M, Inada K, Ogawa T O, et al. Polyphenolic constituent structures of zanthoxylum piperitum fruit and the antibacterial effects of its polymeric procyanidin on methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* [J]. *Biosci Biotechnol Biochem*, 2006, 70(6): 1423-1431
- [66] 卢晓,周磊,谢鲲鹏,等.没食子酸对金黄色葡萄球菌抑菌活性及机制研究[J].中国食用菌,2012,31(4):54-56
- LU Xiao, ZHOU Lei, XIE Kunpeng, et al. Antibacterial activity and mechanism of gallic acid on *Staphylococcus aureus* [J]. *Edible Fungi of China*, 2012, 31(4): 54-56
- [67] 滕楠.槲皮素抑菌作用的体内和体外研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2015
- TENG Nan. Bacteriostasis of quercetin *in vivo* and *in vitro* [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2015
- [68] 董晓敏,韩瑞芳,刘天明.葡萄籽原花青素对金黄色葡萄球菌的抑菌研究[J].食品工业,2015,36(8):188-192
- DONG Xiaomin, HAN Ruifang, LIU Tianming. Antibacterial mechanism of grape seed procyanidins against *Staphylococcus aureus* [J]. *The Food Industry*, 2015, 36(8): 188-192
- [69] Wu D, Kong Y, Cong H, et al. d-Alanine: d-alanine ligase as a new target for the flavonoids quercetin and apigenin [J]. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 2008, 32(5): 421-426
- [70] Plaper A, Golob M, Hafner I, et al. Characterization of quercetin binding site on DNA gyrase [J]. *Biochemical & Biophysical Research Communications*, 2003, 306(2): 530-536
- [71] Ohemeng K A, Schwender C F, Fu K P, et al. DNA gyrase inhibitory and antibacterial activity of some flavones (1) [J]. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 1993, 3(2): 225-230