

油茶籽饼粕中活性成分对果蔬保鲜作用的研究进展

王承瑞¹, 刘思思², 易有金¹, 李昌珠², 肖志红², 刘汝宽²

(1. 湖南农业大学 食品科学技术学院, 长沙 410128; 2. 湖南省林业科学院 省部共建木本油料资源利用国家重点实验室, 长沙 410004)

摘要: 果蔬采后储藏保鲜过程中极易招致微生物侵染而引起腐烂变质, 严重影响其货架期与质量安全, 因而开发安全、高效、低副作用的天然植物源防腐剂成为研究的趋势。作为油茶籽加工的主要副产物, 油茶籽饼粕中含有皂苷类、黄酮类、蛋白多肽类、多糖类、多酚类等多种活性成分, 具有较强的抑菌防腐作用。介绍了油茶籽饼粕的抑菌活性成分及其在果蔬储藏保鲜中的应用, 并对相关工作进行了展望, 旨在为油茶籽饼粕活性成分在果蔬储藏保鲜中的应用开发提供参考。

关键词: 油茶籽饼粕; 活性成分; 抑菌活性; 果蔬保鲜

中图分类号: TS229; TS255.36 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2021)10-0121-06

Advance in the effect of active ingredients of oil – tea camellia seed cake and meal on the preservation of fruits and vegetables

WANG Chengrui¹, LIU Sisi², YI Youjin¹, LI Changzhu²,
XIAO Zhihong², LIU Rukuan²

(1. College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;
2. State Key Laboratory of Utilization of Woody Oil Resources, Hunan Academy of Forestry, Changsha 410004, China)

Abstract: Fruits and vegetables are susceptible to microbial infestation and spoilage during post-harvest storage and preservation, which seriously affects their shelf life and quality safety, thus the development of safe, efficient and low side-effect natural plant-derived preservatives has become a research trend. As the main by-product of oil-tea camellia seed processing, oil-tea camellia seed cake and meal contains a variety of active ingredients such as saponins, flavonoids, peptides (produced with protein), polysaccharides and polyphenols, which have strong antibacterial and antiseptic effects. The antibacterial active ingredients of oil-tea camellia seed cake and meal, and their applications in storage and preservation of fruits and vegetables were introduced, and the related research work was prospected, so as to provide reference for the application development of active ingredients of oil-tea camellia seed cake and meal in storage and preservation of fruits and vegetables.

Key words: oil-tea camellia seed cake and meal; active ingredient; antibacterial activity; preservation of fruits and vegetables

收稿日期: 2020-03-29; 修回日期: 2021-07-30

基金项目: 长株潭国家自主创新示范区专项(2018XK2006-2); 中央引导地方科技发展专项资金(2020ZYT002); 长沙市科技计划(kq1801029); 湖湘青年英才计划(2017RS3056); 国家重点研发计划(2018YFD0401104)

作者简介: 王承瑞(1996), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品加工原理与技术(E-mail) wchengrui@126.com。

通信作者: 易有金, 教授(E-mail) yiyoujin@163.com; 刘汝宽, 研究员(E-mail) liurukuan@gmail.com。

果蔬采后因储藏保鲜不当, 易造成经济损失。据统计, 发达国家每年新鲜水果腐损率为 10% ~ 20%, 发展中国家的腐损率高至 40% ~ 50%, 我国易腐烂特色水果总产量达 1.16 亿 t, 采后损失率为 25% ~ 30%, 大约 700 亿元^[1]。果蔬采后腐烂变质的原因主要有果蔬自身生理代谢的消耗或衰老、病原微生物的生长繁殖与侵害、运输过程中的机械损伤, 其中病原微生物的生长繁殖与侵害是最主要的

原因。为了减少损失,果蔬保鲜剂的研究与应用已屡见不鲜,相对于化学防腐保鲜剂,植物源果蔬保鲜剂因具有更加安全、环保,储存条件易控制等优点,引起了越来越多的关注,已成为国内外果蔬保鲜剂研发的新方向。

油茶(*Camellia oleifera*)属山茶科(Theaceae)山茶属(*Camellia*)植物,为常绿灌木或中乔木,是我国南方重要的一种油料树种^[2],与油棕、油橄榄和椰子并称世界四大木本油料植物。我国每年油茶籽产量在265万t左右^[3],加工油茶籽油后残留的油茶籽饼粕产量约为70万t/年,大部分都被废弃,未能得到很好的利用^[4]。研究表明,油茶籽饼粕中含有多种抗菌成分,如皂苷类、多糖类、黄酮类、蛋白多肽类、多酚类物质等^[5],对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、沙门氏菌等食源性致病菌,以及番茄小核病菌、玉米小斑病菌、香蕉枯萎病菌等植物病原菌均有较好的抑制作用^[6-8],对火龙果、荔枝和圣女果等具有良好的保鲜效果^[9-11]。因此,本文总结了油茶籽饼

粕中抗菌成分以及其在果蔬保鲜中的应用情况,旨在开发新型高效的天然植物源果蔬保鲜剂,这对于提升油茶副产物综合利用水平以及促进油茶产业可持续性发展具有十分重要的意义。

1 油茶籽饼粕活性成分对果蔬采后病原菌的抑菌活性

果蔬采后感染的病菌以真菌较多,主要有灰葡萄孢菌属(*Botrytis* spp.)、青霉属(*Penicillium* spp.)、曲霉属(*Aspergillus* spp.)、链格孢属(*Alternaria* spp.)、根霉属(*Rhizopus* spp.)、炭疽病菌(*Colletotrichum* spp.)等^[12]。另外,果蔬在后期运输过程中携带对人体有害的致病细菌主要有大肠杆菌(*Escherichia coli*)、沙门氏菌(*Salmonella*)、李斯特菌(*Listeria monocytogenes*)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)等^[13]。油茶籽饼粕中的皂苷类、黄酮类、蛋白多肽类及多酚类物质能够有效地抑制金黄色葡萄球菌、大肠杆菌和枯草芽孢杆菌等常见致病细菌,还对真菌有抑制作用,详见表1。

表1 油茶籽饼粕活性成分的抑菌活性

活性成分	菌种名称	菌种类型	实验方法	抑菌效果	参考文献
皂苷类物质	李斯特菌	G+	BMID	MIC为20 mg/mL	[14]
	金黄色葡萄球菌	G+	DDM	MIC为31.30 μg/mL	[6]
	枯草芽孢杆菌	G+	DDM	MIC为62.30 μg/mL	[6]
	沙门氏菌	G-	BMID	MIC为10 mg/mL	[14]
	铜绿假单胞杆菌	G+	BMID	MIC为20 mg/mL	[14]
	大肠杆菌	G+	BMID	MIC为20 mg/mL	[14]
	黑曲霉	真菌	BMAD	MIC>100 mg/mL	[15]
	米曲霉	真菌	BMAD	MIC>100 mg/mL	[15]
	番茄小核病菌	真菌	CPM	抑菌率为61.36%	[8]
	黄瓜炭疽病菌	真菌	CPM	抑菌率为27.89%	[8]
	香蕉枯萎病菌	真菌	CPM	抑菌率为-10.45%	[8]
	荔枝霜疫霉菌	真菌	CPM	抑菌率为53.85%	[8]
	西瓜枯萎病菌	真菌	CPM	抑菌率为-8.97%	[8]
	玉米小斑病菌	真菌	CPM	抑菌率为54.48%	[8]
	芒果炭疽病菌	真菌	CPM	抑菌率为-31.65%	[8]
	香蕉炭疽病菌	真菌	CPM	抑菌率为8.08%	[8]
	黄瓜疫霉菌	真菌	CPM	抑菌率为-22.73%	[8]
	柑橘青霉菌	真菌	CPM	抑菌率为61.54%	[8]
	酵母菌	真菌	DDM	MIC为5 mg/mL	[16]
	白色念珠菌	真菌	DDM	MIC为20 mg/mL	[16]
黄酮类物质	金黄色葡萄球菌	G+	ADM	抑菌圈直径为1.51 mm	[17]
	枯草芽孢杆菌	G+	ADM	抑菌圈直径为1.21 mm	[17]
	大肠杆菌	G-	ADM	抑菌圈直径为1.02 mm	[17]
	荧光假单胞杆菌	G-	ADM	MIC为0.50 mg/mL	[18]
	黑曲霉	真菌	DDM	抑菌圈直径为8.43 mm	[19]
蛋白多肽类物质	金黄色葡萄球菌	G+	ADM	MIC为0.75 mg/mL	[20]
	枯草芽孢杆菌	G+	ADM	MIC为1 mg/mL	[20]
	大肠杆菌	G-	ADM	MIC为0.75 mg/mL	[20]
	黑曲霉	真菌	ADM	MIC为2 mg/mL	[20]

续表 1

活性成分	菌种名称	菌种类型	实验方法	抑菌效果	参考文献
多酚类物质	蜡状芽孢杆菌	G +	BMID	MIC 为 0.96 mg/mL	[21]
	金黄色葡萄球菌	G +	BMID	MIC 为 250 mg/L	[22]
	枯草芽孢杆菌	G +	BMID	MIC 为 63 mg/L	[22]
	大肠杆菌	G -	BMID	MIC 为 125 mg/L	[22]
	匍茎根霉菌	真菌	BMID	MIC 为 500 mg/L	[22]
	毛霉	真菌	BMID	MIC 为 2 000 mg/L	[22]
	米曲霉	真菌	BMID	MIC 为 1 000 mg/L	[22]
多糖类物质	金黄色葡萄球菌	G +	BMID	MIC 为 38.35 μ g/mL	[23]
	大肠杆菌	G -	BMID	MIC 为 22.3 μ g/mL	[23]

注:DDM. 滤纸片法;BMID. 微量肉汤稀释法;ADM. 琼脂扩散法;CPM. 琼脂打孔法;BMAD. 大量肉汤稀释法;MIC. 最小抑菌浓度。

1.1 皂苷类物质对果蔬采后病原菌的抑菌活性

油茶籽饼粕中的皂苷类物质主要为茶皂素,茶皂素作为天然优良的表面活性剂,具有较强的发泡^[24]、乳化、分散、湿润^[25]以及抑菌^[26]、消炎^[27]、镇痛^[28]、抗癌^[29]等生理活性。近年来茶皂素对常见的果蔬采后易携带的食源性致病菌的抑制作用已有一定的研究,如:何荣荣等^[14]采用微量肉汤稀释法证明茶皂素能有效抑制革兰氏阳性菌和革兰氏阴性菌,其中对沙门氏菌和枯草芽孢杆菌的抑制效果最佳,最小抑菌浓度为 10 mg/mL;郭海阳等^[30]研究发现,茶皂素对枯草芽孢杆菌和大肠杆菌有明显的抑制,且抑制效果与浓度呈正相关;潘任桃^[31]研究发现,茶皂素、庆大霉素、氟苯尼考、恩诺沙星、氨苄青霉素对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌具有强烈的联合抑制效应,能有效地减少抗菌药物的用量,扩展抗菌药物的抑菌谱。

茶皂素不仅能抑制细菌的生长,对于一些植物病原真菌也具有抑制作用。黄继光等^[8]研究了茶皂素对 12 种植物病原真菌的抑菌活性,发现茶皂素对稻瘟病菌和柑橘青霉病菌具有较好的抑制效果,其 EC_{50} 值分别为 20.15 μ g/mL 和 11.39 μ g/mL,当茶皂素质量浓度为 1 000 μ g/mL 时,对稻瘟病菌、黄瓜炭疽病菌、番茄小核病菌、玉米小斑病菌的抑制效果逐渐减弱,抑菌率分别为 100.00%、89.12%、87.27% 和 83.13%,其对稻瘟病菌的抑菌活性明显优于硫·三环唑,对番茄小核病菌的抑菌活性与速克灵相当。魏婷婷等^[32]等采用最小抑菌浓度(MIC)法测定茶皂素对玉米纹枯病菌、白色葡萄球菌、白色念珠菌、蜡状芽孢杆菌、黑曲霉等 10 种菌的抑制效果,结果表明,茶皂素对玉米纹枯病菌抑制效果最好,对白色葡萄球菌、白色念珠菌、蜡状芽孢杆菌的抑制效果一般,对变形杆菌和温和气单胞菌没

有抑制作用。Hao 等^[33]发现,将茶皂素与咪鲜胺和抑霉唑复合使用时可以显著抑制柑橘青绿军菌丝生长和孢子萌发;Jiang 等^[34]发现利用茶多酚和茶皂素处理匍枝根霉时,可以抑制该霉菌丝的生长;Chen 等^[35]也发现茶皂素与茶多酚可以协同抑制菌丝生长。

1.2 黄酮类物质对果蔬采后病原菌的抑菌活性

油茶籽饼粕中黄酮类物质主要为山奈酚-3-O-[2-O- β -木糖-6-O- α -L-鼠李糖]- β -D-葡萄糖苷(黄酮苷 1)和山奈酚-3-O-[2-O- β -半乳糖-6-O- α -L-鼠李糖]- β -D-葡萄糖苷(黄酮苷 2)^[36]。研究表明,黄酮类化合物具有抗菌、抗炎、抗氧化等功效^[37-38]。饶澄等^[39]发现,油茶饼乙醇提取物对细菌有一定的抑制作用,但对霉菌抑制作用不明显,其抑菌成分可能与黄酮有关。肖新生等^[40]发现,油茶饼乙醇提取物和水提取物均能明显抑制大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的生长,但对霉菌抑制作用较弱。彭玲^[17]研究表明,油茶壳总黄酮提取物对枯草芽孢杆菌、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌均有明显抑制作用,对金黄色葡萄球菌的抑制作用最强,对大肠杆菌的抑制作用较弱。覃佐东等^[18]研究也表明,黄酮类物质能够有效地抑制大肠杆菌、枯草芽孢杆菌、荧光假单胞杆菌、金黄色葡萄球菌等多种果蔬采后病原菌。大部分黄酮类物质主要通过破坏细胞壁及细胞膜的完整性,改变细胞膜渗透性,影响细胞膜的功能,从而发挥抑菌作用;还有部分黄酮类物质通过抑制核酸合成以及细菌能量代谢来抑制细菌生长^[41]。

1.3 多酚类物质对果蔬采后病原菌的抑菌活性

多酚按照结构分为类黄酮和非类黄酮化合物两大类,前者包括花色苷、黄酮醇和黄烷酮等,后者包括咖啡酸、阿魏酸和绿原酸等小分子酚酸以及正反

式白藜芦醇等^[42]。Taguri 等^[43]研究发现,连苯三酚显示出比邻苯二酚或间苯二酚基团更高的抑菌活性,然而连苯三酚基团的数量与多酚的抑菌活性之间没有明确的关系。Zhang 等^[22]对油茶籽饼粕中多酚类物质抑菌效果的研究表明,多酚类物质对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、米曲霉和毛霉 5 种病原菌均有抑制作用,其中对枯草芽孢杆菌有明显抑制作用, MIC 为 63 mg/L。有学者研究得出,多酚类物质是通过抑制酶活性或清除自由基来显示抑菌活性的^[44]。茶多酚作用于菌体细胞后,可以破坏细胞壁的完整性,使碱性磷酸酶渗出,使细胞膜的通透性增加,导致代谢发生紊乱,从而起到抑菌作用^[21]。

1.4 其他活性成分对果蔬采后病原菌的抑菌活性

除了皂苷类物质、黄酮类物质、多酚类物质外,对油茶籽饼粕中蛋白多肽类、多糖类物质的抑菌活性也有一定的研究。龚吉军^[20]研究发现,油茶粕多肽能抑制细菌、酵母和霉菌的生长繁殖,对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑制效果显著,但对啤酒酵母和黑曲霉的抑制效果相对较弱。多糖类物质作为油茶籽饼粕的主要活性成分之一,对大肠埃希氏菌、金

黄色葡萄球菌、沙门氏菌及黑曲霉等均具有良好的抑制效果^[45]。多糖类物质可与细胞膜上的卵磷脂结合,使细胞膜脂肪酸游离,从而改变细胞膜的通透性并伴随内容物外溢,由此而产生抑菌效果^[46]。

2 油茶籽饼粕活性成分在果蔬保鲜中的应用研究

目前,以茶皂素和茶多酚这两类活性成分在果蔬保鲜中的应用研究居多。油茶籽饼粕中的活性成分经处理后,采取涂膜、浸泡和喷洒等方式对草莓、柑橘、南方砂梨、山楂、黄瓜等多种果蔬进行保鲜^[47-51],可减弱果蔬呼吸强度,抑制果蔬表面细菌繁殖,从而达到保鲜效果。

茶皂素、黄酮类物质、茶多酚、多糖和多肽等均可对不同果蔬起到一定的保鲜作用,其中,单一活性成分和复合其他制剂均有保鲜作用。如:李迅^[47]将草莓浸泡于茶皂素溶液 1 min,并与蒸馏水进行比较,发现茶皂素可以减少草莓营养成分的流失,在一定时间内能够抑制病菌的生长,起到较好的保鲜作用;唐聪^[52]将油茶粕活性成分与壳聚糖配制成复合膜,同样可以保持草莓的新鲜度,并且还能提高草莓的风味与品质,延长草莓的储藏期。油茶籽饼粕活性成分在果蔬保鲜中的应用研究见表 2。

表 2 油茶籽饼粕活性成分在果蔬保鲜中的应用研究

保鲜对象	保鲜成分	处理方法	保鲜效果	参考文献
草莓	茶皂素	浸泡(1 min)	能有效减少草莓营养成分的流失,在一定程度上起到抑菌作用,达到保鲜效果;高浓度的茶皂素效果更佳,经茶皂素浸泡后低温储藏比常温储藏的保鲜效果更好。	[47]
草莓	油茶粕粗提液 + 壳聚糖	涂膜(30 s)	油茶粕粗提液与壳聚糖复合涂膜比油茶粕粗提液单一涂膜的保鲜效果更好,可以减少草莓水分的损失,降低果实的腐烂率,延缓果实中可溶性固形物、可滴定酸和维生素 C 含量的降低。	[52]
柑橘	茶皂素 + 噻菌灵	浸泡(2 ~ 3 min)	能有效保持沙糖橘的品质,延缓果肉可溶性固形物、可滴定酸及抗坏血酸含量的下降。	[48]
柑橘	茶皂素	诱导保鲜	能抑制青霉菌的生长,控制柑橘采后病害,延长保质期。	[53]
圣女果	油茶饼粗提物	涂膜(30 s)	能有效地降低果实的呼吸作用,保护圣女果的色泽及质地,并能保证果实 15 d 不腐烂。	[40]
火龙果	油茶籽饼粕粗提物	采前喷洒	可提高火龙果的色泽、硬度及维生素 C 的含量,并能有效抑制储藏期间腐败菌的生长,延长保质期。	[9]
南方砂梨	油茶粕多糖、蛋白 + 普鲁兰多糖、明胶	涂膜(浸涂 15 s)	表现出良好的保鲜效果,与商品膜保鲜效果极为接近,能有效减缓有机酸含量、还原糖含量、可溶性固形物含量、失重率、酶活性等的损失。	[49]
山楂	茶多酚 + 胶原蛋白 + 明胶 + 甘油	涂膜(浸涂 1 min)	能有效地保持果实原有品质,减少水分损失,减弱呼吸强度,从而降低有机物的损耗,延长货架期。	[50]
樱桃	茶多酚 + 丁香酚	喷洒(4 次共 2.4 mL)	能够改善樱桃的色泽,提高防腐能力。	[54]
油桃	茶多酚 + 茶皂素	诱导保鲜	能抑制油桃灰霉病菌的生长,降低发病率;并且可以降低呼吸强度,延长保质期。	[55]
黄瓜	多肽 + 壳聚糖	涂膜	可有效保持黄瓜的产品品质,减缓维生素 C、可滴定酸、叶绿素含量等的损失,维持果实硬度,延长货架期。	[51]

3 结束语

随着人们食品安全和环保意识的不断提高,对于新鲜果蔬的需求一直在提升。果蔬采摘后,在储藏和流通中会因微生物的大量繁殖而腐败变质。油茶籽饼粕中活性成分能够抑制微生物的生长,适当延长果蔬的货架期并使其保持良好品质。因此,对油茶籽饼粕活性成分的研究与开发为果蔬保鲜提供了新方向。然而,当前油茶籽饼粕活性成分在果蔬保鲜中的应用还处于发展阶段,还存在如下问题:首先,油茶籽饼粕活性成分的纯化及单体的研究不够深入;其次,油茶籽饼粕活性成分的抑菌作用研究较多,但对于其抑菌机制研究不够透彻;最后,对于油茶籽饼粕活性成分在果蔬保鲜的应用中,研究的果蔬种类较少,保鲜机制的研究更是寥寥无几。上述问题严重制约了油茶籽饼粕活性成分在果蔬保鲜领域的广泛应用与发展,有待进一步的探索。因此,可以进一步探究油茶籽饼粕活性成分的抑菌机制,并增加油茶籽饼粕活性成分在多种果蔬中的保鲜应用研究,为其商业应用提供理论基础。

参考文献:

- [1] 聂小宝, 潘洪民, 魏雪琴, 等. 魔芋葡甘聚糖在果品保鲜中应用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(3): 231-234.
- [2] 鲍妮娜, 丁富成, 胡巧缘. 油茶籽粕中茶皂素的优化提取及抑菌活性的研究[J]. 天然产物研究与开发, 2018, 30(1): 127-133.
- [3] 薛雅琳, 潘俊升, 段章群, 等. 油茶籽油安全质量标准的修订研究[J]. 粮油食品科技, 2019, 27(6): 75-80.
- [4] 刘楚岑, 裴小芳, 周文化, 等. 油茶籽饼粕中主要成分及其综合利用研究进展[J]. 食品与机械, 2020, 36(7): 227-232.
- [5] SUN L I, LIAO Z, LI X S, et al. Flavonoids from the fruits of *Camellia oleifera* [J]. Asian J Chem, 2012, 24(11): 4892-4894.
- [6] HU J L, NIE S P, HUANG D F, et al. Antimicrobial activity of saponin - rich fraction from *Camellia oleifera* cake and its effect on cell viability of mouse macrophage RAW 264.7 [J]. J Sci Food Agric, 2012, 92(12): 2443-2449.
- [7] ZHU C F, ZHANG M, TANG Q L, et al. Structure and activity of the *Camellia oleifera* saponin derivatives on growth and biofilm inhibition of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* [J]. J Agric Food Chem, 2019, 67(51): 14143-14151.
- [8] 黄继光, 陈秀贤, 徐汉虹, 等. 茶皂素对 12 种植物病原菌的抑菌活性[J]. 华中农业大学学报, 2013, 32(2): 50-53.
- [9] 谢国芳, 陈欢欢, 杨飞艳, 等. 油菜籽饼粕提取条件优化及其在火龙果贮藏保鲜中的应用[J]. 热带作物学报, 2019, 40(7): 1399-1405.
- [10] ZHANG Z K, HU M J, YUN Z, et al. Effect of tea seed oil treatment on browning of litchi fruit in relation to energy status and metabolism [J]. Postharv Biol Tech, 2017, 132(7): 97-104.
- [11] 陈莹, 刘松柏, 何良兴, 等. 油茶籽粕和茶皂素中皂苷的定量检测方法研究[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(2): 105-111.
- [12] 刘涓涓. 自噬在酿酒酵母发酵及拮抗果蔬采后病菌中的作用[D]. 郑州: 河南工业大学, 2015.
- [13] 刘易伟, 胡文忠, 刘程惠, 等. 鲜切果蔬中常见致病菌及其 PCR 快速检测方法[J]. 食品工业科技, 2013, 34(17): 360-364.
- [14] 何荣荣, 谭运寿, 张美虹, 等. 茶皂素对沙门氏菌的抑菌机理及对鸡胸肉的保鲜效果[J]. 热带生物学报, 2019, 10(4): 360-366.
- [15] 侯如燕, 宛晓春, 吴慧平. 油茶总皂甙抑菌活性的初步研究[J]. 食品科学, 2006(1): 51-54.
- [16] 文莉, 芦苇, 蒋倩, 等. 茶皂素毒性刺激性试验及抑菌作用研究[J]. 中国油脂, 2011, 36(6): 58-60.
- [17] 彭玲. 响应面法优化超声提取油茶壳总黄酮及抑菌性研究[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(19): 227-230.
- [18] 覃佐东, 全沁果, 敖艳, 等. 油茶不同部位黄酮的提取及活性研究进展[J]. 科技通报, 2016, 32(7): 67-71.
- [19] 陈虹霞, 王成章, 叶建中, 等. 油茶籽饼粕中黄酮苷类化合物的分离与结构鉴定[J]. 林产化学与工业, 2011, 31(1): 13-16.
- [20] 龚吉军. 油茶粕多肽的制备及其生物活性研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2011.
- [21] 夏俊芳, 王苹, 马瑶, 等. 茶多酚、柠檬醛、肉桂醛对四种接触表面蜡样芽孢杆菌菌膜的影响研究[J]. 中国调味品, 2020, 45(12): 27-32.
- [22] ZHANG D D, NIE S P, XIE M Y, et al. Antioxidant and antibacterial capabilities of phenolic compounds and organic acids from *Camellia oleifera* cake [J]. Food Sic Biotechnol, 2020, 29(1): 17-25.
- [23] QIU Y X, HE D, YANG J X, et al. Kaempferol separated from *Camellia oleifera* meal by high - speed countercurrent chromatography for antibacterial application [J]. Eur Food Res Technol, 2020, 246(7): 32-38.
- [24] AHMED H O A, WANG C M. Determination of tea saponin in camellia seed oil with UV and HPLC analysis [J]. World J Eng Technol, 2017, 3(4): 30-37.
- [25] YANG P J, ZHOU M D, ZHOU C Y, et al. Separation and purification of both tea seed polysaccharide and

- saponin from camellia cake extract using macroporous resin[J]. *J Sep Sci*, 2015, 38(4): 656–662.
- [26] ZHANG X F, YANG S L, HAN Y Y, et al. Qualitative and quantitative analysis of triterpene saponins from tea seed pomace (*Camellia oleifera* Abel) and their activities against bacteria and fungi[J]. *Molecules*, 2014, 19(6): 7568–7580.
- [27] WU H, LI C Z, LI Z M, et al. Simultaneous extraction of oil and tea saponin from *Camellia oleifera* Abel. seeds under subcritical water conditions [J]. *Fuel Process Technol*, 2018, 174(6): 88–94.
- [28] HEIDERSCHIED E, LEIVISKÄ T. Evaluating the influence of pH adjustment on chemical purification efficiency and the suitability of industrial by-products as alkaline agents[J]. *J Environ Manage*, 2018, 213(3): 180–188.
- [29] 王佳佳, 李国琰, 张雁, 等. 茶皂素连续多级逆流水提工艺的建立[J]. *食品科学技术学报*, 2020, 39(1): 1–11.
- [30] 郭海阳, 莫林兰, 谭海生, 等. 茶皂素的美白功效及其抑菌和抗氧化活性研究[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(6): 83–89.
- [31] 潘任桃. 茶皂素的抗菌活性及毒理学研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014.
- [32] 魏婷婷, 崔晓芳, 文旭, 等. 油茶粕中茶皂素纯化方法与抗菌活性研究[J]. *中国油料作物学报*, 2011, 33(6): 616–621.
- [33] HAO W, ZHONG G, HU M, et al. Control of citrus postharvest green and blue mold and sour rot by tea saponin combined with imazalil and prochloraz [J]. *Postharv Biol Tech*, 2010, 56(1): 39–43.
- [34] JIANG X D, FENG K J, YANG X P. In vitro antifungal activity and mechanism of action of tea polyphenols and tea saponin against *Rhizopus stolonifer* [J]. *Biotechnol Lett*, 2015, 37(7): 269–276.
- [35] CHEN X L, WU G H, HUANG Z L. Structural analysis and antioxidant activities of polysaccharides from cultured *Cordyceps militaris*[J]. *Int J Biol Macromol*, 2013, 58: 18–22.
- [36] SEKINE T, ARITA J, YAMAGUCHI A, et al. Two flavonol glycosides from seeds of *Camellia sinensis* [J]. *Phytochemistry*, 1991, 30(3): 991–995.
- [37] 肖燕, 林海敏, 吴秋平, 等. 油茶枯饼中黄酮类化合物的提取及抗氧化活性研究[J]. *林业实用技术*, 2011(9): 52–53.
- [38] 焦兵, 许承婷, 黎青, 等. 油茶枯黄酮类化学成分及其体外抗炎活性[J]. *中成药*, 2019, 41(2): 327–333.
- [39] 饶澄, 黄显. 黄酮类化合物抗炎和抗肿瘤共同作用机制的研究进展[J]. *海峡药学*, 2010, 22(6): 8–11.
- [40] 肖新生, 胡绍文, 周洁. 油茶饼提取物对圣女果保鲜作用的研究[J]. *食品工业科技*, 2011, 32(11): 141–143.
- [41] 陶海腾, 董宇晴, 张春江, 等. 黄酮化合物的抑菌性及在畜禽水产防腐保鲜中的应用[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(16): 203–207.
- [42] 张晶, 邢媛媛, 徐元庆, 等. 植物提取物活性成分的提取工艺及抑菌活性研究进展[J]. *动物营养学报*, 2019, 31(12): 5461–5467.
- [43] TAGURI T, TANAKA T, KOUNO I. Antibacterial spectrum of plant polyphenols and extracts depending upon hydroxyphenyl structure[J]. *Biol Pharm Bull*, 2006, 29(11): 2226–2235.
- [44] BALZ F, HIGDON J V. Antioxidant activity of tea polyphenols in vivo: evidence from animal studies[J]. *J Nutr*, 2013, 133(10): 3275–3284.
- [45] PIACENTINI E, GIORNO L, DRAGOSAVAC M M, et al. Microencapsulation of oil droplets using cold water fish gelatine/gum arabic complex coacervation by membrane emulsification[J]. *Food Res Int*, 2013, 53(1): 362–372.
- [46] 李元政, 胡文忠, 萨仁高娃, 等. 天然植物提取物的抑菌机理及其在果蔬保鲜中的应用[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(14): 239–244.
- [47] 李迅. 茶皂素的提取、成分鉴定及在草莓保鲜中的应用[D]. 北京: 北京林业大学, 2016.
- [48] 郝卫宁, 李辉, 杨柳, 等. 茶皂素和噻菌灵混配对沙糖橘采后青绿霉菌的防治效果及品质的影响[J]. *果树学报*, 2011, 28(2): 348–352.
- [49] 蒋海明. 油茶粕食品保鲜膜开发的研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2017.
- [50] 孟令伟, 张东杰, 王洪江, 等. 茶多酚复合溶液对山楂涂膜保鲜效果的研究[J]. *包装与食品机械*, 2018, 36(4): 1–4.
- [51] 罗雪云, 吴晓彤, 谢颖思, 等. 抗菌肽壳聚糖复合膜对水果黄瓜的保鲜作用[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(7): 142–149.
- [52] 唐聪. 油茶粕粗提取物抑菌活性的初步研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2016.
- [53] HAO W W, LI H, HU M Y, et al. Integrated control of citrus green and blue mold and sour rot by *Bacillus amyloliquefaciens* in combination with tea saponin [J]. *Postharv Biol Tech*, 2011, 59(3): 316–323.
- [54] 卢芳芳, 王保营, 侯闻婷, 等. 多酚类抑菌成分在樱桃保鲜中的研究[J]. *现代牧业*, 2017, 1(3): 41–44.
- [55] YANG X P, JIANG X D, CHEN J J, et al. Control of postharvest grey mould decay of nectarine by tea polyphenol combined with tea saponin [J]. *Lett Appl Microbiol*, 2013, 57(6): 502–509.