

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2021.02.037

石榴皮提取物的抑菌作用及应用研究进展

Research progress on antimicrobial effects and application of pomegranate peel extract

徐云凤¹ 赵胜娟¹ 费 鹏¹XU Yun-feng¹ ZHAO Sheng-juan¹ FEI Peng¹向进乐¹ 石 超² 夏效东³XIANG Jin-le¹ SHI Chao² XIA Xiao-dong³

(1. 河南科技大学食品与生物工程学院, 河南 洛阳 471023; 2. 西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西 杨凌 712100; 3. 大连工业大学食品学院, 辽宁 大连 116034)

(1. College of Food and Bioengineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471023, China; 2. College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. School of Food Science and Technology, Dalian Polytechnic University, Dalian, Liaoning 116034, China)

摘要:文章对石榴皮的主要成分、对细菌的抑菌作用效果与机理、对真菌的抗菌效果以及在食品防腐保鲜等领域中的应用进行了综述。

关键词:石榴皮; 抑菌作用; 作用机理; 应用

Abstract: In this review, the main components of pomegranate peel, its antimicrobial effect and mechanism on bacteria and fungi and its application in food preservation etc. were discussed.

Keywords: pomegranate peel; antimicrobial effects; mechanism of action; application

石榴(*Punica Granatum* Linne)为石榴科石榴属植物,原产于中亚地区。目前,中国的石榴资源十分丰富,主要分布于新疆、陕西、山东、安徽、四川、云南等地^[1]。石榴果实具有较高的营养价值和良好的医疗保健功效,如抗氧化、抑菌、抗病毒、抗炎、抗肿瘤、抗心脑血管疾病和免疫调节作用等^[2]。石榴皮约占果实总重量的 20%~30%^[3],因含有多功能活性成分,在食品、医药等领域体现出极高的应用价值。《中国药典》^[4]记载,石榴皮性酸、温、涩,具有涩肠止泻、止血和驱虫等作用。在民间,常被用于治疗痢疾、腹泻、溃疡、酸中毒、出血、寄生虫感

染等疾病^[5]。现代体外研究^[6]初步证实,石榴皮提取物具有抑制多种病原微生物的作用。而实际生产中,石榴皮常作为石榴加工产业的下脚料被抛弃,若对其进行开发利用,可大大提高石榴产品的附加值。文章拟综述石榴皮的主要成分、抑菌作用与机理以及在食品防腐保鲜等领域应用的最新研究进展,以期对石榴皮资源的开发利用提供参考。

1 石榴皮的主要成分

石榴皮富含生物活性化合物,主要包括鞣质类、黄酮类、生物碱和有机酸等。鞣质亦称单宁,一般分为水解鞣质、缩合鞣质和复合鞣质 3 种。石榴皮中的鞣质类化合物含量较高,以水解鞣质为主,其成分包括安石榴林、安石榴苷、没食子酸、石榴皮亭 A、石榴皮亭 B、鞣云实精、没食子酰双内酯、木麻黄宁、英国栎鞣花酸、特里马素 I、鞣花酸、二鞣花酸鼠李糖基(1→4)吡喃葡萄糖苷、2,3-(S)-六羟基联苯二甲酰基-D-葡萄糖等^[7]。黄酮类物质为色原酮或色原烷的衍生物,其以 C6-C3-C6 结构为基本母核。石榴皮中的黄酮类成分主要为花青素,包括天竺葵素、飞燕草素、矢车菊素及其衍生物,此外,还有黄烷醇类化合物(如儿茶素、表儿茶素)和黄酮醇类化合物(如槲皮素)等^[8]。生物碱是存在于自然界中的一类含氮的碱性有机化合物。石榴皮中的生物碱主要为哌啶类化合物,包括石榴碱、N-甲基石榴碱、N-乙酰石榴碱、伪石榴碱、2-(2-羟丙基)-Δ1-哌啶等^[9]。有机酸类成分在石榴果汁中含量较高,石榴皮中也有部分有机酸存在,如熊果酸、齐墩果酸^[10]。石榴皮中还含有丰富的氨基酸,其中以谷氨

基金项目:河南科技大学博士科研启动基金项目(编号:13480067);兴辽计划青年拔尖人才项目(编号:XL1807220)

作者简介:徐云凤,女,河南科技大学讲师,博士。

通信作者:夏效东(1981—),男,大连工业大学教授,博士。

E-mail: foodscixiaodong@yahoo.com

收稿日期:2020-08-25

酸含量最高,其次是天门冬氨酸^[11]。此外,石榴皮还含有矿物质,如 K、Ca、P、Mg 和 Na 等^[12]。

2 石榴皮提取物的抑菌作用

2.1 对细菌的抑制作用

石榴皮提取物具有广谱抗菌作用,其对金黄色葡萄球菌、单核细胞增生李斯特菌、枯草芽孢杆菌、大肠杆菌、沙门氏菌、铜绿假单胞菌等多种致病和腐败微生物具有抑制作用(表 1)。

石榴品种、产地、成熟期、提取方法、抑菌方法和细菌亚型的不同均会影响石榴皮的抑菌效果。由表 1 可知,石榴皮提取物常用的提取溶剂为乙醇、甲醇、丙酮和水,常用的抑菌方法有扩散法(滤纸片法、管碟法、琼脂打孔法)和稀释法(固体稀释法、液体稀释法)。Al-Zoreky^[6]使用常规浸提法获得石榴皮乙醚、80%甲醇和水提取物,其

表 1 石榴皮各种提取物的作用对象及最小抑菌浓度
Table 1 Object of action and minimum inhibitory concentration of extracts from pomegranate peel

作用对象	粗提物/纯化物	最小抑菌浓度/ (mg · mL ⁻¹)	文献
金黄色葡萄球菌	80%甲醇提取物	2.00	[6]
	75%乙醇提取物	1.024	[13]
	80%甲醇提取物	0.26~0.78	[14]
	甲醇提取物	0.25	[15]
	安石榴苷	0.25	[16]
	70%丙酮提取物	0.36	[17]
	70%乙醇提取物	0.20	[18]
单核细胞增生李斯特菌	80%甲醇提取物	0.50	[6]
	60%丙酮	1.25~5.00	[19]
枯草芽孢杆菌	80%甲醇提取物	0.50	[6]
	80%甲醇提取物	0.20~0.39	[14]
	70%丙酮提取物	0.25	[17]
	80%甲醇提取物	1.00	[6]
	80%甲醇提取物	0.39~0.78	[14]
大肠杆菌	甲醇提取物	0.25	[15]
	70%丙酮提取物	0.46	[17]
	80%甲醇提取物	4.00	[6]
	乙醇提取物	0.062 5~1.000 0	[20]
沙门氏菌	75%乙醇提取物	1.024	[13]
	安石榴苷	0.25~1.00	[21]
	70%丙酮提取物	0.66	[17]
	70%乙醇提取物	0.25	[18]
铜绿假单胞菌	75%乙醇提取物	1.024	[13]
	70%丙酮提取物	0.41	[17]

中 80%甲醇提取物的多酚含量最高(262.5 mg/g),且抑菌效果最好,其对单核细胞增生李斯特菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、肺炎克雷伯菌、大肠杆菌、肠炎沙门氏菌和小肠结肠炎耶尔森氏菌均有抑菌活性,最小抑菌浓度(MIC)为 0.25~4.00 mg/mL。Moorthy 等^[13]使用索氏提取装置以 75%乙醇从石榴皮中提取功能性化合物,通过纸片扩散和肉汤稀释方法测试其对 19 种细菌的抑菌活性,其乙醇提取物对测试的微生物表现出显著的抑菌活性,对表皮葡萄球菌和小肠结肠炎耶尔森氏菌的 MIC 为 0.512 mg/mL,对金黄色葡萄球菌、变形链球菌、甲型副伤寒沙门氏菌、鼠伤寒沙门氏菌、铜绿假单胞菌和洋葱伯克霍尔德菌的 MIC 为 1.024 mg/mL。Fawole 等^[14]研究了 7 种石榴品种的果皮提取物对革兰氏阳性菌(枯草芽孢杆菌 ATCC 6051、金黄色葡萄球菌 ATCC 12600)和革兰氏阴性菌(大肠杆菌 ATCC 11775、肺炎克雷伯菌 ATCC 13883)的抑菌作用,结果表明不同品种石榴果皮 80%甲醇提取物对 4 种细菌均有很强的抑制作用,其 MIC 为 0.20~0.78 mg/mL;而水提取物的抑菌作用较差,其 MIC>12.50 mg/mL。Ismail 等^[17]发现石榴皮提取物对枯草芽孢杆菌 ATCC 6633、大肠杆菌 ATCC 25922、金黄色葡萄球菌 ATCC 25923、铜绿假单胞菌 ATCC 27853、鼠伤寒沙门氏菌 ATCC 14028 的抑制作用较强,MIC 为 0.25~1.30 mg/mL,且抑菌效果与提取物的总酚含量呈正相关。Choi 等^[20]将石榴皮粉在乙醇中煮沸 3 h 获得石榴皮乙醇提取物,其对 16 株沙门氏菌的 MIC 为 0.062 5~1.000 0 mg/mL。此外,石榴皮提取物对小鼠死亡率和从粪便中恢复的鼠伤寒沙门氏菌的活菌数具有显著影响。高效液相色谱技术显示提取物中存在安石榴苷同分异构体、鞣花酸和没食子酸,推断其为发挥抗菌作用的主要物质。

石榴皮提取物不仅能抑制各种细菌的生长,对于细菌生物膜的形成和毒力因子的表达也具有抑制作用。Bakkiyaraj 等^[15]研究发现,石榴皮甲醇提取物对金黄色葡萄球菌 ATCC 11632、耐甲氧西林金黄色葡萄球菌 ATCC 33591 和大肠杆菌 ATCC 10536 的 MIC 均为 0.25 mg/mL,在低于 MIC 浓度下能显著抑制生物膜的形成,并且对已形成的生物具有清除作用。Li 等^[21]研究了石榴皮中的重要成分安石榴苷对沙门氏菌的抑制作用,其 MIC 为 0.25~1.00 mg/mL,在亚抑菌浓度下安石榴苷通过抑制运动相关基因的表达抑制细菌的游动与群集运动,且具有抗群体感应以及抑制细菌对 HT29 细胞的侵入作用。Xu 等^[22]研究表明,石榴皮单宁以剂量依赖的方式显著降低单核细胞增生李斯特菌对 Caco-2 细胞的粘附和侵入,当单增李斯特菌生长在含 2.5 mg/mL 石榴皮单宁提取物的培养基中时,*prfA*、*inlA*、*hly* 基因的转录水平分别降低了 17,34,28 倍。Yang 等^[23]以紫色杆菌为模型,发现石榴皮提取物具有抑制细菌群体感应的作用,并

且能够抑制大肠杆菌生物膜的形成和运动性,转录分析进一步表明,石榴皮单宁抑制了菌毛和各种运动相关基因的表达。

Xu等^[16]研究发现,安石榴苷能够导致金黄色葡萄球菌胞外钾离子浓度升高,并且通过扫描电子显微镜观察到安石榴苷结合到菌体表面,使细胞形态受到损伤。Li等^[19]研究了石榴皮单宁(含有64.2%的安石榴苷和3.1%的鞣花酸)对单增李斯特菌的抑菌机理,与空白对照相比,经石榴皮单宁(5,10 mg/mL)处理后的细菌细胞内腺嘌呤核苷三磷酸(ATP)浓度降低,细胞外钾和ATP浓度升高,膜外pH明显降低,且细胞膜发生了超极化,说明石榴皮单宁能导致李斯特菌胞内稳态的丧失及细胞膜结构的损伤。多酚类物质一般通过破坏细胞壁的完整性及细胞膜的通透性,导致胞内成分泄漏,引起膜电位紊乱,造成能量代谢、核苷酸合成等功能障碍,从而抑制微生物的生长^[24]。

2.2 对真菌的抑制作用

石榴皮提取物对多种真菌表现出较强的抗菌活性。Endo等^[25]从石榴皮中纯化得到安石榴苷,其对白色念珠菌和近平滑念珠菌具有明显的抗真菌活性,最低抑菌浓度分别为3.9,1.9 $\mu\text{g/mL}$ 。Tayel等^[26]研究表明,与标准杀真菌剂(咪康唑、特比萘芬和噻康唑)相比,石榴皮甲醇提取物显示出强烈的抗晕染活性,其对白色念珠菌的抑菌圈直径为18.3 mm,乙醇、水提取物对白色念珠菌的抑菌圈直径分别为15.9,14.8 mm。Tehraniifar等^[27]研究了石榴的不同部位(皮、种子、叶)的水、甲醇提取物对3种采后真菌(柑橘青霉、匍枝根霉和灰霉菌)的抑制作用,结果表明,甲醇提取物对菌丝体生长和孢子萌发的抑制作用优于水提取物,果皮和种子提取物比叶提取物具有更强的抑制作用,而果皮和种子中含有较高含量的多酚类化合物,这些化合物使提取物发挥抗真菌作用。Glazer等^[28]发现石榴皮水提取物对腐败真菌(如链格孢霉、匍柄霉、镰刀菌属等)的生长具有明显的抑制作用,其抗菌活性强弱与提取物中总多酚类化合物含量密切相关,安石榴苷为其发挥抗真菌作用的最主要的鞣质类成分。Foss等^[29]研究发现石榴皮水一醇提取物对皮肤真菌,如须癣毛癣菌 ATCC 1481、红色毛癣菌 ATCC 28189、犬小孢子菌 ATCC 32903 和石膏样小孢子菌 ATCC 14683 有抑制作用,两个属的 MIC 分别为 0.125,0.250 mg/mL;光谱分析显示安石榴苷是其主要活性物质,粗提物和安石榴苷对真菌的孢子萌发和菌丝生长阶段有抑制作用。

3 石榴皮提取物的应用

3.1 在食品防腐保鲜领域的应用

石榴皮提取物含有丰富的生物活性物质,具有抑菌活性强、抑菌谱广等优点,可作为一种潜在的天然抑菌材料。近年来,关于石榴皮在食品防腐保鲜领域的应用研究日益增加。Kanatt等^[30]研究发现,石榴皮提取物可以

通过抑制脂质氧化和一些食品腐败菌的生长,从而延长冷藏鸡肉的货架期。董周永等^[31]研究发现,石榴皮提取物对冷却猪肉具有较好的保鲜作用,其中1%的提取物浓度的保鲜效果最好,优于500 IU/g Nisin及其他处理。Shan等^[32]发现石榴皮乙醇提取物能在9 d贮藏期内显著抑制奶酪中单增李斯特菌 ATCC BAA-839、金黄色葡萄球菌 ATCC 13565 和沙门氏菌 ATCC 13311 的生长,并抑制脂质氧化,具有成为天然食物防腐剂的潜力。Tayel等^[18]发现石榴皮70%乙醇提取物对鼠伤寒沙门氏菌 ATCC 13311 和金黄色葡萄球菌 ATCC 700788 的 MIC 分别为 0.25,0.20 mg/mL,牛排中加入石榴皮乙醇提取物,能显著抑制鼠伤寒沙门氏菌和金黄色葡萄球菌的生长,使用2 MIC不仅抑菌效果好,而且能使牛排保持理想的感官品质。Tayel等^[33]发现,在碎牛肉中加入石榴皮提取物能完全防止鼠伤寒沙门氏菌的生长,并在贮藏过程中保留牛肉的整体品质和感官特性。Hayrapetyan等^[34]在肉酱中接种3.5 lg(CFU/g)单增李斯特菌,4℃培养46 d后,添加7.5%石榴皮提取物组的李斯特菌数增长至5.0 lg(CFU/g),明显低于对照组[9.2 lg(CFU/g)]。Yuan等^[35]研究表明,壳聚糖涂膜与石榴皮提取物结合可以抑制太平洋白虾黑变病和颜色变化,并改善其感官质量、硬度和弹性,还可以抑制太平洋白虾的pH值、挥发性盐基氮含量和菌落总数的增加。

石榴皮提取物对于果蔬制品的防腐保鲜也有良好的效果。张立华等^[36]用1.25%壳聚糖和1%石榴皮提取液制成复合可食性涂膜保鲜剂处理新鲜草莓,可明显延缓果实中抗坏血酸、可溶性固形物和可滴定酸的降解速度,减缓丙二醛的生成速度,降低水分损失,减少软化腐烂率,延长室温下草莓保鲜期1~2 d。石亚中等^[37]研究发现,怀远石榴皮提取液对黄瓜具有良好的保鲜效果,1%石榴皮水提取液在黄瓜质量损失率、软化腐烂情况以及维生素C和丙二醛含量的变化方面均优于1.25%壳聚糖溶液和0.5%乳酸钙溶液。Li等^[38]研究证明,石榴皮提取物处理对于控制柑橘类水果和甜樱桃的采后真菌腐烂是一种安全且有效的方法,使用1.2 mg/mL石榴皮提取物处理柠檬,可完全预防人工接种的指状青霉和柑橘青霉导致的腐烂;在半商业条件下,使用2.4 mg/mL石榴皮提取物处理后的柠檬总腐烂率降低73.5%,使Moreau和Giorgia甜樱桃的腐烂率分别降低28.0%,37.9%。Nair等^[39]研究表明,富含石榴皮提取物的壳聚糖和藻酸盐涂膜可在冷藏条件下保持辣椒的整体品质,其不仅可以减轻样品在重量、硬度、颜色、抗坏血酸和总叶绿素含量方面的变化,还能抑制微生物的生长,保持较高的感官评分,10℃下将保存期限延长至25 d。Rongai等^[40]研究发现,石榴皮水提取物对灰霉菌菌丝体的生长具有抑制作用,能延长草莓的货架期,通过计算化学方法证明了石榴皮中的主要成分安石榴苷与抗真菌药物两性霉素B具有相

似的分子相互作用特性,可能与其形成孔状聚集体的能力有关。

3.2 在其他领域的应用

石榴皮提取物不仅在食品防腐保鲜领域具有广阔的应用前景,在医药、纺织、木材加工等领域也极具开发利用价值。Hayouni 等^[41]将 5%石榴皮甲醇提取物软膏涂在豚鼠皮肤伤口上,连续治疗 12 d,可明显促进伤口愈合;提取物对所测试的伤口病原菌,如铜绿假单胞菌 ATCC 9027、金黄色葡萄球菌 ATCC 25923、大肠埃希氏菌 ATCC 25922、肺炎克雷伯菌、鸭沙门氏菌、鼠伤寒沙门氏菌、肺炎链球菌、白色念珠菌、光滑念珠菌、红色毛癣菌和曲霉菌具有显著的抑菌作用。石榴皮是阿娜尔妇洁液的主要成分,用于治疗各种细菌性、霉菌性、滴虫性阴道炎。周华锋等^[42]发现,采用苦参凝胶联合阿娜尔妇洁液治疗滴虫性阴道炎具有良好的治愈效果。

Ghaheh 等^[43]发现石榴皮提取物染色的羊毛织物经洗涤和暴露于光照下不具有持久的抗菌活性,当使用金属盐作媒染剂时,即使洗涤 5 次或暴露于光照下 300 min 后,仍保留较强的抗菌活性。Lee 等^[44]发现石榴皮水提取物染色的棉、丝绸和羊毛织物对金黄色葡萄球菌 ATCC6538 和肺炎克雷伯菌 ATCC 4352 具有出色的抗菌性能(抑菌率 99.9%)。洪浩月等^[45]发现石榴皮植物染料用于真丝染色时,织物有较好的耐皂洗和耐摩擦色牢度,对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌有一定的抑制效果。

Lajnef 等^[46]研究表明,浸渍有石榴皮提取液的样品能够抵抗真菌的侵袭,提高木材的生物抗性,减少木材的重量损失,从而延长木材的耐久性。

4 结论

将石榴加工下脚料石榴皮作多酚类物质提取的原料,可变废为宝,提高石榴的综合利用价值。今后应更深入地研究石榴皮多酚生物活性组分及其作用机理,加快、大规模纯化石榴皮中的有效组分的研究,相信随着研究的深入,石榴皮将更好地造福于人类。

参考文献

- [1] 谢莉, 田莉. 石榴抗肿瘤有效成分的研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志, 2016, 22(2): 211-215.
- [2] 郭海茹, 朱芳娟, 李龙根, 等. 石榴皮化学成分研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2019, 34(2): 362-369.
- [3] 李建科, 李国秀, 赵艳红, 等. 石榴皮多酚组成分析及其抗氧化活性[J]. 中国农业科学, 2009, 42(11): 4 035-4 041.
- [4] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部[M]. 2015 版. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 93.
- [5] 唐丽丽, 张鹏. 石榴皮多酚类物质研究进展[J]. 农产品加工(学刊), 2014(12): 58-59, 63.
- [6] AL-ZOREKY N S. Antimicrobial activity of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit peels[J]. International Journal

- of Food Microbiology, 2009, 134(3): 244-248.
- [7] SATOMI H, UMEMURA K, UENO A, et al. Carbonic anhydrase inhibitors from the pericarps of *Punica granatum* L[J]. Biological and Pharmaceutical Bulletin, 1993, 16(8): 787-790.
- [8] SINGH B, SINGH J P, KAUR A, et al. Phenolic compounds as beneficial phytochemicals in pomegranate (*Punica granatum* L.) peel: A review[J]. Food Chemistry, 2018, 261: 75-86.
- [9] 王如峰, 向兰, 杜力军, 等. 石榴的化学成分[J]. 亚太传统医药, 2006(3): 61-70.
- [10] 热娜·卡斯木, 帕丽达·阿不力孜, 张笑颖, 等. 新疆石榴皮化学成分研究[J]. 中药材, 2009, 32(3): 363-365.
- [11] 刘家富, 周家齐. 云南蒙自石榴主要成分分析[J]. 云南农业科技, 1995(6): 17-18.
- [12] MIRDEHGHAN S H, RAHEMI M. Seasonal changes of mineral nutrients and phenolics in pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit[J]. Scientia Horticulturae, 2007, 111(2): 120-127.
- [13] MOORTHY K, PUNITHA T, VINODHINI R, et al. Antimicrobial activity and qualitative phytochemical analysis of *Punica granatum* Linn (PERICARP)[J]. Journal of Medicinal Plant Research, 2013, 7(9): 474-479.
- [14] FAWOLE O A, MAKUNGA N P, OPARA U L. Antibacterial, antioxidant and tyrosinase-inhibition activities of pomegranate fruit peel methanolic extract[J]. BMC Complementary and Alternative Medicine, 2012, 12: 1-11.
- [15] BAKKIYARAJ D, NANDHINI J R, MALATHY B, et al. The anti-biofilm potential of pomegranate (*Punica granatum* L.) extract against human bacterial and fungal pathogens[J]. Biofouling, 2013, 29(8): 929-937.
- [16] XU Yun-feng, SHI Chao, WU Qian, et al. Antimicrobial activity of punicalagin against *Staphylococcus aureus* and its effect on biofilm formation[J]. Foodborne Pathogens and Disease, 2017, 14(5): 282-287.
- [17] ISMAIL T, AKHTAR S, SESTILI P, et al. Antioxidant, antimicrobial and urease inhibitory activities of phenolics-rich pomegranate peel hydro-alcoholic extracts[J]. Journal of Food Biochemistry, 2016, 40(4): 550-558.
- [18] TAYEL A A, EL-TRAS W F, MOUSSA S H, et al. Surface decontamination and quality enhancement in meat steaks using plant extracts as natural biopreservatives[J]. Foodborne Pathogens and Disease, 2012, 9(8): 755-761.
- [19] LI Guang-hui, XU Yun-feng, WANG Xin, et al. Tannin-rich fraction from pomegranate rind damages membrane of *Listeria monocytogenes*[J]. Foodborne Pathogens and Disease, 2014, 11(4): 313-319.
- [20] CHOI J G, KANG O H, LEE Y S, et al. *In vitro* and *in vivo* antibacterial activity of *Punica granatum* peel ethanol extract against *Salmonella*[J]. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine, 2011, DOI: 10.1093/

- ecam/nep105.
- [21] LI Guang-hui, YAN Chun-hong, XU Yun-feng, et al. Punicalagin inhibits *Salmonella* virulence factors and has anti-quorum-sensing potential[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2014, 80(19): 6 204-6 211.
 - [22] XU Yun-feng, LI Guang-hui, ZHANG Bai-gang, et al. Tannin-rich pomegranate rind extracts reduce adhesion to and invasion of Caco-2 Cells by *Listeria monocytogenes* and decrease its expression of virulence genes[J]. Journal of Food Protection, 2015, 78(1): 128-133.
 - [23] YANG Qin-nan, WU Qian, GAO Jian-xue, et al. Tannin-rich fraction from pomegranate rind inhibits quorum sensing in *Chromobacterium violaceum* and biofilm formation in *Escherichia coli* [J]. Foodborne Pathogens and Disease, 2015, 13(1): 28-35.
 - [24] 费鹏, 赵胜娟, 陈曦, 等. 植物多酚抑菌活性、作用机理及应用研究进展[J]. 食品与机械, 2019, 35(7): 226-230.
 - [25] ENDO E H, CORTEZ D A G, UEDA-NAKAMURA T, et al. Potent antifungal activity of extracts and pure compound isolated from pomegranate peels and synergism with fluconazole against *Candida albicans*[J]. Research in Microbiology, 2010, 161(7): 534-540.
 - [26] TAYEL A A, EL-TRAS W F. Anticandidal activity of pomegranate peel extract aerosol as an applicable sanitizing method[J]. Mycoses, 2010, 53(2): 117-122.
 - [27] TEHRANIFAR A, SELAHVARZI Y, KHARRAZI M, et al. High potential of agro-industrial by-products of pomegranate (*Punica granatum* L.) as the powerful antifungal and antioxidant substances[J]. Industrial Crops and Products, 2011, 34(3): 1 523-1 527.
 - [28] GLAZER I, MASAPHY S, MARCIANO P, et al. Partial identification of antifungal compounds from *Punica granatum* peel extracts [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(19): 4 841-4 848.
 - [29] FOSS S R, NAKAMURA C V, UEDA-NAKAMURA T, et al. Antifungal activity of pomegranate peel extract and isolated compound punicalagin against dermatophytes[J]. Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials, 2014, 13(32): 1-6.
 - [30] KANATT S R, CHANDER R, SHARMA A. Antioxidant and antimicrobial activity of pomegranate peel extract improves the shelf life of chicken products[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2010, 45(2): 216-222.
 - [31] 董周永, 刘兴华, 杨东兴, 等. 石榴果皮提取物对冷却猪肉的保鲜效果[J]. 西北农业学报, 2011, 20(8): 48-52.
 - [32] SHAN B, CAI Y Z, BROOKS J D, et al. Potential application of spice and herb extracts as natural preservatives in cheese[J]. Journal of Medicinal Food, 2011, 14(3): 284-290.
 - [33] TAYEL A A, EL-TRAS W F. Plant extracts as potent bio-preservatives for *Salmonella Typhimurium* control and quality enhancement in ground beef[J]. Journal of Food Safety, 2012, 32: 115-121.
 - [34] HAYRAPETYAN H, HAZELEGER W C, BEUMER R R. Inhibition of *Listeria monocytogenes* by pomegranate (*Punica granatum*) peel extract in meat paté at different temperatures[J]. Food Control, 2012, 23(1): 66-72.
 - [35] YUAN Gao-feng, LV Hua, TANG Wen-yan, et al. Effect of chitosan coating combined with pomegranate peel extract on the quality of Pacific white shrimp during iced storage[J]. Food Control, 2016, 59(1): 818-823.
 - [36] 张立华, 张元湖, 曹慧, 等. 石榴皮提取液对草莓的保鲜效果[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 361-365.
 - [37] 石亚中, 伍亚华, 许晖, 等. 怀远石榴皮提取液对黄瓜保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(3): 335-338.
 - [38] LI DESTRI NICOSIA M G, PANGALLO S, RAPHAEL G et al. Control of postharvest fungal rots on citrus fruit and sweet cherries using a pomegranate peel extract[J]. Post-harvest Biology and Technology, 2016, 114: 54-61.
 - [39] NAIR M S, SAXENA A, KAUR C. Characterization and antifungal activity of pomegranate peel extract and its use in polysaccharide-based edible coatings to extend the shelf-life of Capsicum (*Capsicum annum* L.) [J]. Food and Bioprocess Technology, 2018, 11(4): 1 317-1 327.
 - [40] RONGAI D, SABATINI N, PULCINI P, et al. Effect of pomegranate peel extract on shelf life of strawberries: Computational chemistry approaches to assess antifungal mechanisms involved [J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 55(7): 2 702-2 711.
 - [41] HAYOUNI E A, MILED K, BOUBAKER S, et al. Hydroalcoholic extract based ointment from *Punica granatum* L. peels with enhanced *in vivo* healing potential on dermal wounds[J]. Phytomedicine International Journal of Phytotherapy and Phytopharmacology, 2011, 18(11): 976-984.
 - [42] 周华锋, 沈才宏. 苦参凝胶联合阿娜尔妇洁液治疗滴虫性阴道炎临床观察[J]. 新中医, 2015, 47(3): 154-155.
 - [43] GHAHEH F S, NATERI A S, MORTAZAYI S M, et al. The effect of mordant salts on antibacterial activity of wool fabric dyed with pomegranate and walnut shell extracts[J]. Coloration Technology, 2012, 128: 473-478.
 - [44] LEE Y H, HWANG E K, BAEK Y M, et al. Deodorizing and antibacterial performance of cotton, silk and wool fabrics dyed with *Punica granatum* L. extracts[J]. Fibers and Polymers, 2013, 14(9): 1 445-1 453.
 - [45] 洪浩月, 纪俊玲, 王东方. 石榴皮植物染料的提取及其在真丝上的预媒染工艺研究[J]. 印染助剂, 2017, 34(2): 47-52.
 - [46] LAJNEF L, CACERES I, TRINSOUTROT P, et al. Effect of *Punica granatum* peel and *Melia azedarach* bark extracts on durability of European beech and maritime pine[J]. European Journal of Wood and Wood Products, 2018, 76: 1 725-1 735.