

植物多酚抑菌活性、作用机理及应用研究进展

The research progress on antimicrobial activity, mechanism and application of plant polyphenols

费 鹏¹ 赵胜娟¹ 陈 曦¹ 向进乐¹ 杨同香¹

FEI Peng¹ ZHAO Sheng-juan¹ CHEN Xi¹ XIANG Jin-le¹ YANG Tong-xiang¹

徐云凤¹ 周莲昕¹ 郭 鸽² 康怀彬¹

XU Yun-feng¹ ZHOU Lian-xin¹ GUO Ling² KANG Huai-bin¹

(1. 河南科技大学食品与生物工程学院, 河南 洛阳 471023;

2. 东北农业大学食品学院乳品科学教育部重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150030)

(1. College of Food and Biological Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471023, China; 2. Key Laboratory of Dairy Science, Ministry of Education Food Science College, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China)

摘要:综述了植物多酚对食源性致病微生物的抑菌效果, 并从细胞形态、细胞膜电位、正常能量代谢、生物大分子合成等方面进行了抑菌机理的阐述, 分析了植物多酚作为潜在的防腐剂在食品保鲜和储藏中的应用及其存在的问题。

关键词:植物多酚; 抑菌活性; 机理; 应用

Abstract: In this review, the antimicrobial effect of plant polyphenols on foodborne pathogenic microorganisms was firstly comprehensively summarized, and the antimicrobial mechanisms of plant polyphenols were elucidated from the aspects of cell morphology destruction, cell membrane potential, normal energy metabolism and inhibition of macromolecular synthesis. Moreover, the applications of plant polyphenols as potential preservatives in food fresh keeping and storage were generalized. Finally, the current problems about antimicrobial mechanisms and applications of plant polyphenols were analyzed.

Keywords: plant polyphenols; antimicrobial activity; mechanism; application

食源性疾病是备受关注的公共卫生问题, 研究^[1]表明 44% 左右的食源性疾病都是由于摄入了被食源性致病微生物污染的食物引起的。食源性致病微生物广泛地分布在空气、土壤和水中, 能够定植在包装材料、器具和食品本身, 给食品品质和货架期带来了负面影响, 并严重危害消费者的健康^[2]。

目前, 化学合成的防腐剂仍然被认为是控制食源性致病菌污染的最有效的方法, 比如苯甲酸钠、山梨酸钾、对羟基苯甲酸盐、丙酸盐和亚硝酸盐等食品中常用的防腐剂可以有效地抑制病原微生物的繁殖, 延长食品的货架期^[3-4]。然而, 一些研究^[5-6]表明长期使用化学合成防腐剂会增加人体发生恶心、癫痫、瘫痪、智力低下、高血压和癌症等疾病的风险, 因此, 越来越多的消费者更愿意接受天然的防腐剂, 从而增加食品的安全性。

植物多酚是一种广泛存在于植物体内的次级代谢产物, 主要由花青素、单宁、黄酮、酚酸等活性成分组成, 不同植物来源的多酚其组成也存在一定的差异^[7]。近年来, 由于植物多酚的天然性和抑菌的广谱性, 越来越多的研究者^[8-10]致力于植物多酚抑菌的研究, 并取得了一定的进展。本文旨在总结分析植物多酚抑菌的活性和机理, 为植物多酚作为天然防腐剂的推广提供理论依据。

1 植物多酚对食源性致病菌的抑菌效果

抗氧化能力是植物活性成分抑菌的基础, 因此理论上多酚对金黄色葡萄球菌、沙门氏菌、单增李斯特菌、大肠杆菌、蜡芽孢杆菌、阪崎克罗诺杆菌、黑曲霉、青霉等食源性致病菌微生物具有良好的抑菌效果^[11-12]。表 1

基金项目: 河南科技大学博士科研启动基金项目(编号: 13480066); 河南省科技攻关项目(编号: 172102110019); 河南省重点攻关项目(编号: 161100110900); 国家自然科学基金(编号: 31702218)

作者简介: 费鹏, 女, 河南科技大学讲师, 博士。

通信作者: 郭鸽(1975—), 女, 东北农业大学副教授, 博士。

E-mail: guoling@neau.edu.cn

康怀彬(1963—), 男, 河南科技大学教授, 硕士。

E-mail: khbin001@163.com

收稿日期: 2019-03-28

以最小抑菌浓度(MIC)为衡量标准,总结了近年来不同来源植物多酚的抑菌活性。

由于不同来源的植物多酚的组成成分不同,使得其抑菌活性存在显著的差异,研究表明大黄多酚^[13]、石榴皮多酚^[15]、枣椰树花粉多酚^[17]、牛蒡多酚^[18]、秦冠叶多酚^[19]、蓝莓叶多酚^[20]和菱茎多酚^[22]对金黄色葡萄球菌具有良好的抑菌效果,但不同来源多酚的抑菌效果存在差异,秦冠叶多酚>大黄多酚>枣椰树花粉多酚>石榴皮多酚>蓝莓叶多酚>菱茎多酚,其中秦冠叶多酚的MIC为25 μg/mL;而对大肠杆菌的抑菌效果则秦冠叶多酚>菱茎多酚>蓝莓叶多酚>石榴皮多酚>紫檀多酚。

此外,同一种植物多酚对不同食源性致病菌的抑菌效果也不尽相同,如菱茎多酚对受试菌株的抑菌效果为大肠杆菌>腐败希瓦氏菌>青霉>蜡样芽孢杆菌>金黄色葡萄球菌^[22]。Gao等^[25]认为可能是由于受试菌株细胞壁的结构和组成不同,相比革兰氏阳性菌,革兰氏阴性菌的细胞壁较薄,且高的脂多糖含量增加了细胞壁的通透性,因此,植物多酚更容易进入革兰氏阴性菌中。这一观点与He等^[21]、申凯等^[22]的研究结果相符,但并不能解释所有的结果^[15],因为病原体对多酚的耐受能力是一复杂的体系。上述研究表明植物多酚对食源性致病菌具有良好的抑菌作用,由于成分组成上的差异,不同来源的

表 1 不同来源植物多酚的抑菌活性

Table 1 Antimicrobial activity of plant polyphenols from different sources

植物多酚种类	食源性致病微生物	最小抑菌浓度	参考文献
大黄多酚	葡萄菌属	125~250 μg/mL	[13]
香柏木多酚	粪肠球菌和枯草芽孢杆菌	0.625 mg/mL	[14]
石榴皮多酚	金黄色葡萄球菌	3.9 mg/mL	[15]
	大肠杆菌	15.6 mg/mL	
	志贺氏杆菌	100 mg/mL	
	大肠杆菌	100 mg/mL	
紫檀多酚	粪肠球菌	12.5 mg/mL	[16]
	奇异变形杆菌	12.5 mg/mL	
	伤寒沙门氏菌	25 mg/mL	
	单增李斯特菌	0.98 mg/mL	
枣椰树花粉多酚	金黄色葡萄球菌	1.95 mg/mL	[17]
	大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和沙门氏菌	6.25%	
牛蒡多酚	黑曲霉	12.50%	[18]
	枯草芽孢杆菌	12.50%	
	根霉	25.00%	
秦冠叶多酚	大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、鼠伤寒沙门氏菌	25 μg/mL	[19]
	志贺氏菌和阪崎肠杆菌	50 μg/mL	
	金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、单增李斯特菌、鲍氏志贺氏菌	<4.65 mg/mL	
蓝莓叶多酚	肠炎沙门氏菌、枯草芽孢杆菌	<9.3 mg/mL	[20]
茶多酚	革兰氏阴性杆菌	313~625 mg/L	[21]
	革兰氏阳性杆菌	156~5 000 mg/L	
	金黄色葡萄球菌	6.25 mg/mL	
	蜡样芽孢杆菌	3.13 mg/mL	
菱茎多酚	大肠杆菌	0.2 mg/mL	[22]
	腐败希瓦氏菌	0.39 mg/mL	
	青霉	1.56 mg/mL	
橄榄多酚	阪崎克罗诺杆菌	0.625~1.250 mg/mL	[23-24]
	蜡样芽孢杆菌	0.625 mg/mL	

植物多酚的抑菌效果不尽相同,后续可对植物多酚的化学组成进行重点研究。

2 植物多酚的抑菌机理

植物多酚抑菌机理一直是研究的热点,由于植物多酚成分和受试菌株的不同,很难从某一方面阐明植物多酚的抑菌机理。目前,对植物多酚抑菌机理的研究主要涵盖以下几个方面。

2.1 对微生物细胞形态的破坏

细胞壁和细胞膜对细菌维持其细胞形态起着至关重要的作用,而植物多酚可以破坏细胞壁的完整性和细胞膜的通透性,从而破坏微生物的细胞形态^[26]。Nohynek 等^[27]发现多酚类物质可以与细菌外膜的二价阳离子结合使得细胞壁出现气泡、凹陷、坍塌等现象,导致细胞壁的完整性被破坏。同时,研究^[28-29]发现植物多酚能够改变细胞膜中脂肪酸的构成,并抑制麦角甾醇的合成,从而降低细胞膜的流动性,提高细胞膜的通透性。植物多酚对细胞壁和细胞膜的破坏使得胞内对生理具有重要意义的碱性磷酸酶、ATP、蛋白质及其他营养物质泄漏,导致细胞形态不可逆的损伤^[6, 30-32]。植物多酚物质对微生物细胞形态的破坏作用是其抑菌机理的基础,细胞形态被破坏会导致胞内 ATP、蛋白质和 DNA 等物质的泄漏,从而很难判断这些生命活性物质的减少是由于泄漏还是由于合成功能被破坏,因此,为了深入了解植物多酚的抑菌机理还需进行进一步的研究。

2.2 对微生物膜电位的影响

膜电位异常会导致微生物生理活动紊乱,正常情况下,细胞膜的钠离子和钾离子通道关闭,使得细胞膜的电位处于极化状态。植物多酚能够影响受试菌株的膜电位,造成膜电位的去极化或者超极化,从而起到抑制微生物生长繁殖的作用^[23, 33-34]。Fei 等^[23-24]研究发现,在橄榄多酚的作用下,阪崎克罗诺杆菌和蜡样芽孢杆菌细胞钠离子通道打开,胞内钠离子浓度升高,产生细胞去极化。同样的结果也发生在原儿茶醛(葡萄藤叶和大麦中的一种多元酚)抑制阪崎克罗诺杆菌的过程中^[33]。而在 Li 等^[34]的报道中发现石榴皮单宁能够使得单增李斯特菌胞内钾离子外泄,造成细胞的超极化,从而起到抑制该致病菌生长的作用。然而,上述研究表明膜电位的紊乱对微生物只能起到抑制生长繁殖的作用,并不能达到杀菌的效果。

2.3 影响微生物的能量代谢

胞内 ATP 的含量直接影响着微生物正常的能量代谢,研究表明植物多酚可以通过降低胞内 ATP 的含量抑制微生物的生长。植物多酚对胞内 ATP 的影响主要体现在两个方面:① 植物多酚能够增加细胞膜的通透性,从而使胞内 ATP 外泄,扰乱微生物正常的能量代谢^[23];

② 植物多酚可以通过抑制 ATP 的合成达到降低胞内 ATP 含量的目的,如百里香酚在抑制沙门氏菌的过程中抑制了 ATP 合成酶的表达,从而起到了抑菌的效果^[35]。然而,微生物的能量代谢是一个复杂的过程,包含了糖酵解途径、三羧酸循环途径、戊糖磷酸途径和 2-酮-3-脱氧-6-磷酸葡萄糖酸等多种途径,而且植物多酚对微生物能量代谢更深层的影响及机理尚未被揭示。

2.4 抑制生物大分子合成

蛋白质、DNA 和 RNA 等生物大分子是微生物维持其生命活动的基础,研究表明植物多酚可以通过抑制生物大分子的合成发挥其抑菌作用。Ulanowska 等^[36]发现多酚类物质进入受试细胞后能够干扰 DNA 和 RNA 的合成,从而降低细胞遗传物质的表达,起到抑菌的作用。Gradisar 等^[37]认为多酚类物质能够降低 DNA 旋转酶的活性,从而抑制 DNA 的合成。Chung 等^[38]发现多酚类物质在抑制大肠杆菌的过程中能够对 DNA 的修复起到阻碍作用,从而达到抑菌的目的。Pasqua 等^[35]发现百里香酚在抑制沙门氏菌的过程中,能够抑制该病原体蛋白质的合成和表达,从而阻断其柠檬酸代谢途径。上述研究表明,植物多酚不仅能够对生物大分子物质起到损伤作用,而且能够抑制这些生物大分子的合成,从而降低微生物胞内大分子的含量,此外,在植物多酚作用下微生物细胞膜通透性的提高也是胞内大分子含量降低的原因之一。

3 植物多酚在食品中的应用

随着植物多酚抑菌作用研究的不断深入,其在食品保鲜延长货架期中的应用越来越受到人们的重视,展现了作为天然防腐剂的巨大潜力。动物性食品由于其含有丰富的蛋白质、脂肪等营养物质,更容易滋生食源性致病微生物。黄和等^[39]以 0.15% 的山梨酸钾为阳性对照,分析了番石榴多酚对虾肉糜的保鲜作用,发现 0.6% 的番石榴多酚可以显著抑制微生物的生长,延缓产品品质下降的速度,从而达到对虾肉糜保鲜的目的。郭静婕等^[40]将杨桃多酚应用于猪肉保鲜中,研究发现质量分数为 0.35% 的杨桃多酚能够有效抑制猪肉中微生物的生长,从而延长产品的货架期。李应洪等^[41]认为樟树叶多酚可以作为天然的防腐剂应用于鱼肉的保鲜中,研究发现樟树叶多酚对金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、大肠杆菌、青霉、黑曲霉、毛霉等具有显著的抑菌效果,5 mg/g 樟树叶多酚可以将冷藏鱼肉的货架期从 3 d 延长至 6 d。宋微等^[42]则将石榴皮多酚应用于鲜牛乳保藏中,研究发现石榴皮多酚能够有效抑制牛乳中大肠杆菌、单增李斯特菌及沙门氏菌的繁殖,并有助于牛乳原有风味的保持,是一种潜在的天然防腐剂。此外,含有植物多酚的复合保鲜剂也能展现出其抑菌作用的优越性,如茶多酚改性胶原蛋白—

壳聚糖复合膜能够显著降低冷藏斜带石斑鱼的菌落总数,从而达到更好的保鲜效果,而将茶多酚与溶菌酶相互作用得到的复合保鲜剂则可以通过抑制食物中微生物的生长和降低蛋白质的氧化分解延长白鲢鱼丸的保质期^[43-44]。综上可知,植物多酚在食品中应用的研究已经比较成熟,然而针对不同的食品原料和有害微生物,选择怎样的剂量,既能有效地抑制食品储存期间微生物的生长,又不会影响食品的风味有待进一步研究。

4 结论

近年来,对天然防腐剂和杀菌剂的关注,使得植物多酚抑菌的研究取得了很大的进展,但仍有一些问题亟待解决:① 自然环境中微生物是多种菌种的复杂体系,而目前对植物多酚抑菌作用的研究大多以单一菌种为研究对象,忽略了自然环境中菌株之间的相互作用。② 对植物多酚抑菌机理的研究大多集中在对细胞形态的研究中,通常利用电镜观察受试细胞形态的变化和细胞液的泄漏情况,从而推测其对细胞膜通透性的影响。而对于能量代谢、蛋白合成和DNA损伤方面的研究还处于初步阶段,只能简单地得到对上述方面的不利影响,深层的分子机制还需深入探讨。③ 植物多酚在食品中的应用已经备受关注,并取得了一定的成绩,但还需考虑植物多酚对食品安全性、感官品质的影响,比如目前的研究主要集中于对食物中致病菌微生物的抑制作用探讨,并未关注植物多酚对人体健康的影响。此外,多酚类物质通常呈涩味且对食品的颜色有一定的影响,因此如何保证植物多酚的安全性和有效避免对食品感官品质的不良影响仍需要进一步的研究。

参考文献

- [1] NYACHUBA D G. Foodborne illness: Is it on the rise? [J]. Nutrition Reviews, 2010, 68(5): 257-269.
- [2] NEWELL D G, KOOPMANS M, VERHOEF L, et al. Food-borne diseases—the challenges of 20 years ago still persist while new ones continue to emerge [J]. International Journal of Food Microbiology, 2010, 139(1): S3-S15.
- [3] HEYDARYINIA A, VEISSI M, SADADI A. A comparative study of the effects of the two preservatives, sodium benzoate and potassium sorbate on *Aspergillus niger* and *Penicillium notatum* [J]. Jundishapur Journal of Microbiology, 2011, 4(4): 301-307.
- [4] MISHRA B B, GAUTAM S, SHARMA A. Shelflife extension of sugarcane juice using preservatives and gamma radiation processing [J]. Journal of Food Science, 2011, 76(8): 573-578.
- [5] ANWESA B, RANJAN C R, MASSIMILIANO G. Evaluation of synergistic antibacterial and antioxidant efficacy of essential oils of spices and herbs in combination [J]. Plos One, 2015, 10(7): e0131321.
- [6] LI Ran, FEI Peng, MAN Chao-xin, et al. Tea polyphenols inactivate *Cronobacter sakazakii* isolated from powdered infant formula [J]. Journal of Dairy Science, 2016, 99(2): 1 019-1 028.
- [7] 陈亮, 李医明, 陈凯先, 等. 植物多酚类成分提取分离研究进展 [J]. 中草药, 2013, 44(11): 1 501-1 507.
- [8] CHEN Ming-shun, ZHAO Zhen-gang, MENG He-cheng, et al. The antibiotic activity and mechanisms of sugar beet (*Beta vulgaris*) molasses polyphenols against selected food-borne pathogens [J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 82: 354-360.
- [9] CHIBANE L B, DEGRAEVE P, FERHOUT H, et al. Plant antimicrobial polyphenols as potential natural food preservatives [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(4): 1 457-1 474.
- [10] MOKHTAR M, GINESTRA G, YUCEFI F, et al. Antimicrobial activity of selected polyphenols and capsaicinoids identified in pepper (*Capsicum annum L.*) and their possible mode of interaction [J]. Current Microbiology, 2017, 74(4): 1-8.
- [11] KIM T J, SILVA J L, WENG W L, et al. Inactivation of *Enterobacter sakazakii* by water-soluble muscadine seed extracts [J]. International Journal of Food Microbiology, 2009, 129(3): 295-299.
- [12] ZHU S, SCHNELL S, FISCHER M. Growth inhibition of *Cronobacter* spp. strains in reconstituted powdered infant formula acidified with organic acids supported by natural stomach acidity [J]. Food Microbiology, 2013, 35(2): 121-128.
- [13] KOSIKOWSKA U, SMOLARZ H D, MALM A. Antimicrobial activity and total content of polyphenols of *Rheum L.* species growing in Poland [J]. Central European Journal of Biology, 2010, 5(6): 814-820.
- [14] ZONGO C, SAVADOGO A, OUATTARA L, et al. Polyphenols content, antioxidant and antimicrobial activities of *Ampelocissus grantii* (Baker) Planch. (Vitaceae): A medicinal plant from Burkina Faso [J]. International Journal of Pharmacology, 2010, 6(6): 880-887.
- [15] 陈孝娟, 顾政一, 黄华, 等. 石榴皮总多酚抗菌消炎作用的初步研究 [J]. 西北药学杂志, 2011, 26(4): 268-270.
- [16] KONATÉ K, HILOU A, MAVOUNGOU J F, et al. Antimicrobial activity of polyphenol-rich fractions from *Sida alba L.* (Malvaceae) against co-trimoxazol-resistant bacteria strains [J]. Annals of Clinical Microbiology & Antimicrobials, 2012, 11(1): 5.
- [17] DAOUD A, MALIKA D, BAKARI S, et al. Assessment of polyphenol composition, antioxidant and antimicrobial properties of various extracts of Date Palm Pollen (DPP) from two Tunisian cultivars [J/OL]. Arabian Journal of

- Chemistry. [2019-06-12]. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1878535215002361>.
- [18] 黄素臻. 牛蒡多酚的提取及抑菌作用研究[J]. 食品工业, 2015, 36(4): 107-110.
- [19] 徐颖, 樊明涛, 程拯良, 等. 7 种苹果叶多酚的抗氧化性及抗菌性研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(10): 90-95.
- [20] 张添菊, 王帆, 李春阳, 等. 蓝莓叶多酚组成及其抗食源性致病菌活性分析[J]. 食品科学, 2016, 37(23): 103-107.
- [21] HE Li, ZOU Li-kou, YANG Qian-ru, et al. Antimicrobial activities of nisin, tea polyphenols, and chitosan and their combinations in chilled mutton[J]. Journal of Food Science, 2016, 81(6): 1466-1471.
- [22] 申凯, 张辉, 严碧云, 等. 菱茎多酚的提取工艺及其抗氧化、抑菌活性研究[J]. 食品工业科技, 2018, 39(11): 106-127.
- [23] FEI Peng, ASLAM A M, GONG Shao-ying, et al. Antimicrobial activity and mechanism of action of olive oil polyphenols extract against *Cronobacter sakazakii* [J]. Food Control, 2018, 94: 289-294.
- [24] FEI Peng, XU Yun-feng, ZHAO Sheng-juan et al. Olive oil polyphenol extract inhibits vegetative cells of *Bacillus cereus* isolated from raw milk[J]. Journal of Dairy Science, 2019, 102(5): 1-9.
- [25] GAO Chun-yan, TIAN Cheng-rui, LU Yue-hong, et al. Essential oil composition and antimicrobial activity of *Sphallerocarpus gracilis* seeds against selected food-related bacteria[J]. Food Control, 2011, 22: 517-522.
- [26] 符莎露, 吴甜甜, 吴春华, 等. 植物多酚的抗氧化和抗菌机理及其在食品中的应用[J]. 食品工业, 2016, 37(6): 242-246.
- [27] NOHYNEK L J, ALAKOMI H L, KÄHKÖNEN M P, et al. Berry phenolics: Antimicrobial properties and mechanisms of action against severe human pathogens[J]. Nutrition and Cancer, 2006, 54(1): 18-32.
- [28] PASQUA R D, HOSKINS N, BETTS G. Changes in membrane fatty acids composition of microbial cells induced by addition of thymol, carvacrol, limonene, cinnamaldehyde, and eugenol in the growing media[J]. J Agric Food Chem, 2006, 54(7): 2745-2749.
- [29] PINTO E, VALE-SILVA L, CAVALEIRO C, et al. Antifungal activity of the clove essential oil from *Syzygium aromaticum* on *Candida*, *Aspergillus* and dermatophyte species[J]. Journal of Medical Microbiology, 2009, 58(11): 1454-1462.
- [30] 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 & Disease, 2017, 14(5): 282-287.
- [31] JOSHI S S, HOWELL A B, D'SOUZA D H. *Cronobacter sakazakii* reduction by blueberry proanthocyanidins[J]. Food Microbiology, 2014, 39: 127-131.
- [32] YI Shu-min, WANG Wei, BAI Feng-ling, et al. Antimicrobial effect and membrane-active mechanism of tea polyphenols against *Serratia marcescens*[J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2014, 30(2): 451-460.
- [33] 石超, 郭都, 张文婷, 等. 原儿茶醛对阪崎克罗诺杆菌的抑制作用及机理[J]. 现代食品科技, 2017, 33(7): 111-117.
- [34] LI Guang-hui, XU Yun-feng, WANG Xin, et al. Tannin-rich fraction from pomegranate rind damages membrane of *Listeria monocytogenes*[J]. Foodborne Pathogens & Disease, 2014, 11(4): 313-319.
- [35] PASQUA R D, MAMONE G, FERRANTI P, et al. Changes in the proteome of *Salmonella enterica* serovar Thompson as stress adaptation to sublethal concentrations of thymol[J]. Proteomics, 2010, 10(5): 1040-1049.
- [36] ULANOWSKA K, TKACZYK A, KONOPA G, et al. Differential antibacterial activity of genistein arising from global inhibition of DNA, RNA and protein synthesis in some bacterial strains[J]. Archives of Microbiology, 2006, 184(5): 271-278.
- [37] GRADISAR H, PRISTOVSEK P, PLAPER A, et al. Green tea catechins inhibit bacterial DNA gyrase by interaction with its ATP binding site[J]. Journal of Medicinal Chemistry, 2007, 50(2): 264-271.
- [38] CHUNG E Y, BYUN Y H, SHIN E J, et al. Antibacterial effects of vulgarone B from *Artemisia iwayamogi* alone and in combination with oxacillin[J]. Archives of Pharmacal Research, 2009, 32(12): 1711-1719.
- [39] 黄和, 曹湛慧, 曹增梅, 等. 番石榴多酚对虾肉糜的保鲜效果研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 159-161.
- [40] 郭静婕, 杨昌鹏, 陈智理. 杨桃多酚对猪肉的抗氧化保鲜作用[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(9): 2189-2192.
- [41] 李应洪, 李忠海, 付湘晋, 等. 樟树叶多酚抑菌活性及在冷藏草鱼肉保鲜中的应用[J]. 食品与机械, 2018, 34(5): 128-130.
- [42] 宋微, AHMED M Q, 韩雪, 等. 石榴皮多酚的抑菌活性及其在鲜牛乳储藏中的应用[J]. 中国甜菜糖业, 2015(2): 41-48.
- [43] 于林, 陈舜胜, 王娟娟, 等. 茶多酚改性胶原蛋白-壳聚糖复合膜对冷藏斜带斑鱼的保鲜效果[J]. 食品科学, 2017, 38(3): 220-226.
- [44] 王当丰, 李婷婷, 国竞文, 等. 茶多酚-溶菌酶复合保鲜剂对白鲢鱼丸保鲜效果[J]. 食品科学, 2017, 38(7): 224-229.