

# 种子抑菌研究进展

夏敏, 潘明, 王世宽, 闵静, 张薇\*

(四川轻化工大学, 四川 宜宾 644000)

**摘要:**种子作为植物遗传资源的有效保存体,对延续物种起着重要作用,也是重要的种质创新原料。因其具有一定的抑菌作用,在医用及食用领域被广泛研究与应用。该文论述银杏、苦参、薏仁、萝卜籽等多类植物种子中的抑菌蛋白、多酚类物质、原花青素、生物碱类等活性物质对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、黑曲霉、青霉、毛霉等细菌或真菌的抑制作用,并且综述其在果蔬、肉类以及其它食品上的防腐应用,以期为更广泛的种子抑菌作用方面的研究提供参考。

**关键词:**食品;种子;抑菌;果蔬;防腐保鲜

## Research Progress of Seed Bacteriostasis

XIA Min, PAN Ming, WANG Shi-kuan, MIN Jing, ZHANG Wei\*

(Sichuan University of Science &amp; Engineering, Yibin 644000, Sichuan, China)

**Abstract:** As an effective conserver of plant genetic resources, seed plays an important role in the continuation of species, and is also an important source of germplasm innovation. Because of its bacteriostasis, it has been widely studied and applied in medical and edible fields. In this paper, the inhibitory effects of antimicrobial proteins, polyphenols, proanthocyanidins, alkaloids and other active substances in the seeds of *Ginkgo biloba*, *Sophora flavescens*, job's tears and radish on bacteria or fungi such as *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Aspergillus niger*, *Penicillium*, *Mucor* were discussed, and their antiseptic applications in fruits, vegetables, meat and other foods were summarized. In order to provide a reference for the study of seed bacteriostasis.

**Key words:** food; seed; bacteriostasis; fruits and vegetables; antiseptics

引文格式:

夏敏,潘明,王世宽,等.种子抑菌研究进展[J].食品研究与开发,2021,42(7):215-219.

XIA Min, PAN Ming, WANG Shikuan, et al. Research Progress of Seed Bacteriostasis[J]. Food Research and Development, 2021,42(7):215-219.

我国现有种子植物超过24万种。它具有复杂的化学成分,其中最主要的是水、糖类、脂肪、蛋白质及其它含氮物质,此外还含有少量矿物质、酶及色素等。其中包括抑菌蛋白、生物碱、酚酸等抑菌活性成分。种子作为植物特有的繁殖体,除对物种延续起着重要作用,还具有食用和药用价值,早有医学记载,黄瓜籽对

骨质疏松、手脚麻木、腿脚抽筋、腰腿酸痛有很好的效果;葡萄籽能抗老化、增强免疫力、软化血管、抗癌等。随着科技的发展,对种子的研究越来越全面。对种子的综合利用包括在食品、酿造、饲料、医药和油脂化工等行业也随之增加。种子的具体成分及含量随品种的不同有着明显差异。种子抑菌活性还未被广泛研究,因此活性成分的抑菌作用也成为了研究热点。

## 1 种子抑菌作用

种子数目众多且抑菌成分丰富,具有良好的抑菌效果。现有关于植物种子各类抑菌活性成分的研究也多种多样,其中关于抑菌种子的研究主要集中在以下

基金项目:四川轻化工大学人才引进项目(2016RCL15);四川省科技厅项目(2018JY0099)

作者简介:夏敏(1995—),女(汉),硕士研究生,研究方向:果蔬防腐保鲜。

\*通信作者:张薇(1984—),女(汉),讲师,博士,研究方向:植物分子生物学。

几种:萝卜种子、银杏种子、花生种子、苦瓜种子、葡萄籽、大豆等。华菁<sup>[1]</sup>、吴海霞等<sup>[2]</sup>分别从银杏种子中分离得到了具有抑菌作用的蛋白质;除此之外倪学文等<sup>[3-4]</sup>、吴海霞等<sup>[5]</sup>、沈凤俊等<sup>[6]</sup>都研究并证明了银杏种子中酚酸的抑菌作用。除被大量研究的种子外,也有许多被少量研究的种子,例如:薏仁种子、苦参、绿豆、芒果核仁、葡萄柚种子、西芹种子等。张萍萍<sup>[7]</sup>、戎晋华等<sup>[8]</sup>研究苦参种子中的抑菌活性物质,许多研究也证实了大多数植物种子具有抑菌成分。抑菌活性物质主要为以下这几类:抑菌蛋白、多酚类物质、原花青素、酚酸、黄酮、生物碱等。但不同种子的抑菌活性成分对不同菌类的抑菌效果各不相同。

### 1.1 种子对真菌的抑制作用

研究发现种子对真菌均有抑制作用,由于银杏种子含有银杏酚酸和种子蛋白等多种具有抑菌活性的物质而被大量研究。王国艳等<sup>[9]</sup>、赵东亚等<sup>[10]</sup>从银杏外种皮中分离得到白果酸,证明其对真菌具有有效的抑制作用。一定含量的总白果酸提取物对赤霉菌、镰孢霉菌、轮枝霉菌、根霉菌和疫霉菌等多种植物致病性真菌有不同程度的抑制作用。杨晶琪等<sup>[11]</sup>也发现葡萄籽提取物(grape seed extract, GSE)对青霉菌有抑制作用,其最低抑菌浓度(minimum inhibitory concentration, MIC)为0.625 mg/mL。蔡马等<sup>[12]</sup>也通过研究得出苦瓜籽蛋白对啤酒酵母有抑制作用,并得出它的最低抑菌浓度低于0.4 mg/mL。种子中抑菌成分多样,种子对真菌抑制效果具体情况见表1。

表1 种子抑菌成分对真菌的抑制情况

Table 1 Inhibition of seed antimicrobial components on fungi

菌种	抑菌物质及来源	MIC/( $\mu\text{g/mL}$ )	文献
水稻纹枯病菌	葡萄籽 GSE	625	[11]
黑曲霉	银杏种仁蛋白	12 000	[2]
	花生红衣多酚(纯度 64%)	250	[13]
	花生红衣乙醇提取物乙酸乙酯组分	500	[14]
	苦瓜种子蛋白	<1 600	[12]
青霉	银杏种仁酚酸	25 000	[5]
	葡萄籽 GSE	625	[11]
	花生红衣多酚(纯度 64%)	250	[13]
	花生红衣乙醇提取物乙酸乙酯组分	500	[14]
啤酒酵母	苦瓜种子蛋白	<400	[12]
毛霉	花生红衣多酚(纯度 64%)	250	[13]
	花生红衣乙醇提取物乙酸乙酯组分	500	[14]
戴尔有孢圆酵母	银杏种仁蛋白	20 000	[2]
链格孢菌	葡萄籽提取物	625	[11]
红酵母	苦瓜种子蛋白	<400	[12]
葡萄灰霉菌	腊梅籽提取物	>1 000	[15]

### 1.2 种子对细菌的抑制作用

细菌是地球上种类最多、数量最多的有机体,它们栖息在地下深处到云中微粒的环境中<sup>[16]</sup>。除了研究种子对真菌抑菌效果外,其对细菌的抑制作用也被研究探讨。蛋白质分子因其表面具有水化膜,所以具有稳定性<sup>[17]</sup>。有些蛋白也具有抑菌效果,华菁<sup>[1]</sup>发现银杏种仁蛋白对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌有一定抑制作用,落葵种子<sup>[18]</sup>对这两种细菌也有明显抑制作用。除此之外,在苦瓜种子蛋白对枯草芽孢杆菌和沙门氏菌的抑菌试验中,出现明显抑菌圈<sup>[12]</sup>表明苦瓜种子蛋白具有抑菌作用。李军等<sup>[19]</sup>研究也证实了萝卜籽的种子蛋白也具有抑菌作用。银杏种皮中的酚酸也具有抑菌作用<sup>[3,5,20]</sup>,其它研究也证实了萝卜籽的种子蛋白、银杏种皮的酚酸均具有抑菌作用。不同种子的提取物其抑菌效果各有不同,各提取物对细菌的最低抑菌浓度 MIC 也不尽相同,具体见图2。

表2 种子抑菌成分对细菌的抑制情况

Table 2 Inhibition of seed antimicrobial components on bacteria

菌种	抑菌物质及来源	MIC/ ( $\mu\text{g/mL}$ )	文献	
金黄色葡萄球菌	银杏酚酸	100	[3]	
	银杏外种皮酚酸	15 000	[20]	
	花生红衣多酚(纯度 64%)	250	[13]	
	花生红衣乙醇提取物乙酸乙酯组分	500	[14]	
	落葵籽蛋白	4 867	[18]	
	银杏种仁蛋白	20 000	[21]	
	花生红衣多酚	150	[22]	
	葡萄籽原花青素	4 000	[23]	
	银杏酸	25.0	[24]	
	绿豆生物碱	800	[25]	
大肠杆菌	银杏酚酸	>400	[3]	
	银杏种仁酚酸	7 500	[5]	
	银杏外种皮酚酸	30 000	[20]	
	花生红衣多酚(纯度 64%)	250	[13]	
	花生红衣乙醇提取物乙酸乙酯组分	500	[14]	
	苦瓜籽蛋白	<200	[12]	
	花生红衣多酚	310	[22]	
	银杏酸	>200	[24]	
	枯草芽孢杆菌	银杏酚酸	6.25	[3]
		银杏种仁酚酸	15 000	[5]
银杏外种皮酚酸		1250	[20]	
花生红衣多酚(纯度 64%)		250	[13]	
花生红衣多酚		625	[22]	
	绿豆生物碱	800	[25]	

续表2 种子抑菌成分对细菌的抑制情况  
Continue table 2 Inhibition of seed antimicrobial components on bacteria

菌种	抑菌物质及来源	MIC/ ( $\mu\text{g/mL}$ )	文献
蜡样芽孢杆菌	银杏酚酸	0.78	[3]
	银杏外种皮酚酸	7 500	[20]
藤黄微球菌	银杏外种皮酚酸	5 000	[20]
	芒果核仁没食子酸	500~100	[26]
绿脓杆菌	银杏外种皮酚酸	15 000	[20]
巨大芽孢杆菌	银杏外种皮酚酸	1 250	[20]
变形杆菌	银杏外种皮酚酸	7 500	[20]
普通变形杆菌	银杏酸	>200	[24]
产气杆菌	银杏酸	>200	[24]
肺炎杆菌	银杏酸	>200	[24]
干燥棒状杆菌	芒果核仁没食子酸	500~100	[26]
伤寒杆菌	银杏外种皮酚酸	5 000	[20]
粘性放线菌	葡萄籽原花青素	12 500	[27]
溶血性链球菌	银杏酸	3.12	[24]
不溶血性链球菌	银杏酸	1.65	[24]
铜绿假单胞菌	银杏酚酸	>400	[3]
溶壁微球菌	银杏酚酸	>400	[3]
痢疾志贺氏菌	银杏外种皮酚酸	15 000	[3]
肺炎克雷伯氏菌	银杏外种皮酚酸	20 000	[2]
痤疮丙酸杆菌	银杏酸	1.65	[24]
表皮葡萄球菌	银杏酸	6.25	[24]
粪链球菌	银杏酸	6.25	[24]
草绿色链球菌	银杏酸	6.25	[24]
幽门螺杆菌	银杏酸	>200	[24]

## 2 种子提取物在食品防腐上的作用

民以食为天,人们对食品品质要求也逐日提高,但食品在原材料采收、加工、贮藏、销售等一系列步骤中都存在着微生物侵害的风险。食源性疾病的发生与致病微生物直接相关,所以预防微生物污染对于延长食品货架期、保持食品品质十分关键。食品微生物的危害包括真菌性和细菌性危害,因此种子中抑菌活性成分作为无毒无害的天然防腐剂被人们研究和应用。

### 2.1 种子提取物在果蔬防腐中的作用

申莉丽<sup>[21]</sup>将白果种子作为高钙饮料的原料。中医将有些种子作为药物服用,证明部分种子的可食用性,因此人们研究利用种子中的抑菌特性用于食品的防腐保鲜。贾俊英<sup>[22]</sup>通过研究发现西芹种子浸提液对黄瓜枯萎病菌有抑制作用;银杏外种皮提取物对小菜蛾幼虫等多种农业害虫具有一定的抑制毒杀作用<sup>[27-29]</sup>,可将其应用于果蔬的贮存。何首林等<sup>[30]</sup>也表明菜籽油、丹参等对苹果、番茄具有防腐保鲜作用。李鹏霞等<sup>[31]</sup>也

通过研究得出茶籽精油对番茄有防腐保鲜作用。由于葡萄种子提取物的活性成分具有抑菌、抗氧化的作用,因此人们将其应用于食品保鲜剂。葡萄柚种子提取物是潜在的广谱性细菌、真菌杀菌剂,许文涛等<sup>[32]</sup>将其应用于葡萄和柿子的保鲜。尽管种子种类繁多,其提取物对食源性病原菌的抑菌作用研究也大量存在,但对种子提取物直接应用于食品保鲜的相关研究涉及甚少,有待进一步探究。

### 2.2 种子提取物在肉类食品中的应用

肉类具有丰富的营养物质,是人们获取蛋白质等营养物质的主要来源食物之一,但由于在加工、运输、销售等一系列环节中,肉类容易受到微生物和光、热、金属离子等的影响而发生腐败变质。因此许多学者研究种子的抑菌作用,并将其应用于肉类的防腐保鲜。如金海莉等<sup>[33]</sup>研究发现葡萄籽提取物对延边黄牛肉有较好的保鲜效果,能有效增加延边黄牛肉的保鲜期。除此之外,还有研究发现将葡萄籽提取物添加到冷却猪肉中,可以延长其保鲜期<sup>[34]</sup>。在烤肉串中添加0.5%~1%的葡萄籽提取物能使病菌对热的致死效应更加敏感<sup>[35]</sup>。在此基础上,有研究发现将壳聚糖-海藻酸钠涂膜结合葡萄籽提取物的抗菌活性,这种双层涂膜通过防止壳聚糖溶解时产生的醋酸气味,降低了虾在贮藏期间的异味,可以延长虾的货架期<sup>[36]</sup>。以上研究均表明种子提取物的活性物质在肉类保鲜具有一定的作用。

### 2.3 种子提取物在其他食品中的应用

种子提取物具有抑菌、抗氧化的特性,可以抑制有害微生物对食物的侵害,发挥保鲜的作用。除了将其应用于果蔬和肉类的防腐保鲜,也可以将其运用于其他食品。童彤<sup>[36]</sup>发现葡萄柚籽萃取物能够制成透明薄膜,可双倍延长易腐烂食品的保质期;还有研究发现通过对醪糟储存过程的各生物、理化指标的测定得出葡萄柚籽的提取物对醪糟饮品具有延长货架期的功能<sup>[26]</sup>。

## 3 种子抑菌机理

根据已有研究表明抑菌机理主要涉及3个方面:1)作用于病原体细胞壁或者细胞膜,破坏其屏障,致使细胞不能继续生长繁殖;2)作用于遗传物质,阻碍遗传信息的复制;3)作用于病原物部分酶或功能蛋白,使细胞丧失生长繁殖的物质基础<sup>[37]</sup>。由于一般细菌或真菌具有相同的结构,因而不同物质的抑菌机理相差不大,即种子的抑菌机制也大致相同。韦璐等<sup>[38]</sup>从薏仁种子中分离纯化出一种抗植物病原真菌的蛋白,该种蛋

白对霉菌菌丝形态有影响。董晓敏<sup>[20]</sup>扫描电镜照片显示经原花青素处理过的菌体细胞表面褶皱,细胞壁遭到破坏。葡萄籽原花青素通过破坏细胞通透性及减少胞内蛋白(酶)量而使菌体丧失了增殖能力或者死亡。汪少芸等<sup>[21]</sup>研究发现绿豆非特异性脂转移蛋白所带电荷与金黄色葡萄球菌细胞壁表面所带电荷二者相互吸引。蛋白的疏水性使得其分子借助疏水段分子的柔性插入到细胞质膜中形成离子通道从而表现出抗菌的效果。葡萄籽原花青素也能抑制细胞活力,使细胞凋零,对细胞起到破坏作用<sup>[40-41]</sup>,现有大部分研究证明种子的抑菌机理为破坏菌体细胞壁或细胞膜,到达抑菌的作用,但相较其他物质的抑菌机理而言,种子抑菌机理研究还有待进一步探究。

#### 4 展望

种子作为最主要的繁殖材料和生产资料<sup>[42]</sup>,种类繁多且多样。因此对种子的研究涉及面广且多,例如研究表明山茶花种子对肝癌细胞有抑制作用<sup>[43]</sup>、牛油果种皮对种子萌发的影响<sup>[44]</sup>。但目前可食用植物种子针对某种具体食品的防腐作用研究很少;并且由于种子成分复杂,现有对种子抑菌成分的研究仅止于一类物质,不同抑菌化合物之间存在的协同或拮抗作用尚缺少研究证明;另外目前对种子的抑菌机理、毒理和药理评价等研究不够深入。针对这些问题,种子在具体抑菌方面的应用和安全性评价等方面均有一定的研究意义。可食用植物种子将在食品防腐保鲜方面展现出广阔的应用前景。

#### 参考文献:

- [1] 华菁. 银杏种仁抑菌蛋白的提取分离及抑菌性研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2014.
- [2] 吴海霞, 吴彩娥, 范龚健, 等. 银杏种仁蛋白分离纯化及其抑菌活性[J]. 食品科学, 2014, 482(13): 122-127.
- [3] 倪学文, 吴谋成. 银杏酚酸的分离鉴定及其抗菌活性研究[J]. 食品科学, 2004(9): 59-63.
- [4] 倪学文, 杨志坚, 吴谋成. 银杏外种皮中银杏酚酸的分离和抑菌试验[J]. 天然产物研究与开发, 2001(6): 30-32.
- [5] 吴海霞, 吴彩娥, 刘金达, 等. 银杏种仁酚酸的纯化、鉴定及其抑菌活性分析[J]. 中国食品学报, 2015, 15(3): 215-223.
- [6] 沈凤俊, 王璐, 郭舒航, 等. 银杏外种皮中银杏酸对真菌的抑制作用[J]. 大连工业大学学报, 2020, 39(4): 241-244.
- [7] 张萍萍. 苦参种子抗菌活性物质基础研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2016.
- [8] 戎晋华, 赵文英, 张娣. 苦参种子抑菌活性研究[J]. 青岛科技大学学报(自然科学版), 2014, 35(5): 15-18.
- [9] 王国艳, 朱晶晶, 楼凤昌. 银杏外种皮的化学成分及其对植物真菌的抑制作用[J]. 中国药科大学学报, 2014, 45(2): 48-52.
- [10] 赵东亚. 银杏外种皮有效成分的提取及生物活性的研究 [D]. 南京: 南京林业大学, 2013.
- [11] 杨晶琪, 崔畅, 曹建康, 等. 葡萄籽提取物对鸭梨果实黑斑病和青霉病的抑制作用[J]. 食品科技, 2010, 35(7): 200-203.
- [12] 蔡马, 于群, 朱新产. 苦瓜籽蛋白的 PEG/(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 双水相分离及抑菌作用的研究[J]. 天然产物研究与开发, 2011, 23(4): 26-33.
- [13] 赵萍, 林樱姬, 金征宇, 等. 花生红衣中多酚类物质清除 DPPH 自由基能力和抑菌性能的研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(10): 81-84.
- [14] 赵萍, 竹军, 刘冰, 等. 花生红衣乙醇提取物乙酸乙酯组分抑菌活性的研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(2): 136-139.
- [15] 张姝, 夏玮, 徐志珍, 等. 蜡梅籽生物碱类成分及其抗氧化和抑菌活性[J]. 农药, 2016(9): 651-653.
- [16] JOHNSON L A, HUG L A. Distribution of reactive oxygen species defense mechanisms across domain bacteria[J]. Free Radical Biology & Medicine, 2019, 140: 93-102.
- [17] 郑彩燕. 鸡蛋清中两组蛋白质相互作用及其功能性质的研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
- [18] 张清, 桂萌, 高亮, 等. 落葵种子蛋白提取工艺优化及其抑菌和抗氧化特性分析[J]. 南方农业学报, 2019, 50(4): 146-154.
- [19] 李军, 李平兰, 王顺, 等. 萝卜籽蛋白提取物对鲟鱼腐败菌抑制作用及其理化性质的研究[J]. 食品科学, 2018, 39(13): 48-53.
- [20] 邓业成, 骆海玉, 张明, 等. 银杏外种皮酚酸类物质的抑菌活性[J]. 河南农业科学, 2010, 421(2): 64-66.
- [21] 申莉丽. 发芽和不同加工方式处理对白果生物活性物质的影响及其高钙乳饮料的开发[D]. 南京: 南京农业大学, 2016.
- [22] 贾俊英. 西芹种子浸提液对黄瓜枯萎病菌化感作用及其机理的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011.
- [23] 阳振. 银杏外种皮杀虫活性物质及应用研究[D]. 桂林: 广西师范大学, 2007.
- [24] 杨小明, 朱伟, 陈钧, 等. 银杏酸单体的抗菌活性研究[J]. 中药材, 2004(9): 661-663.
- [25] 初丽君, 张睿, 尹贤华, 等. 花生红衣多酚类物质组成及抑菌活性研究[J]. 中国油脂, 2014, 39(6): 114-116.
- [26] 董晓敏. 葡萄籽原花青素的提取、抑菌活性及其对鸡肉保鲜研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2015.
- [27] 刘学军, 姜新亚, 张玲玲. 葡萄籽原花青素对粘性放线菌影响的实验研究[J]. 实用口腔医学杂志, 2011, 27(6): 761-764.
- [28] 李健, 王旭, 刘宁. 绿豆提取物的抑菌作用研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2010, 26(6): 44-47.
- [29] 梁耀光, 徐巧林, 谢海辉, 等. 芒果核仁的化学成分及其抑菌活性[J]. 热带亚热带植物学报, 2010, 18(4): 107-110.
- [30] 何首林, 何军, 高保卫, 等. 28种植物提取物对苹果、番茄防腐保鲜活性研究[J]. 西北林学院学报, 2012(6): 121-125.
- [31] 李鹏霞, 张兴, 刘亚敏, 等. 36种精油对采后番茄防腐保鲜活性的影响[J]. 西北林学院学报, 2008, 91(3): 156-159.
- [32] 许文涛, 黄昆仑, 屈玮, 等. 葡萄柚种子提取物对真菌的抑制作用及其在葡萄和柿子保鲜中的应用[J]. 食品科学, 2008, 347(10): 41-46.

- [33] 金海莉,王海丽,梁成云,等. 葡萄柚籽提取物对延边黄牛肉保鲜效果的影响[J]. 肉类研究, 2013, 27(6): 29-32.
- [34] VALENZUELA-MELENDRES M, PEÑA-RAMOS E A, JUNEJA V K, et al. Effect of grapefruit seed extract on thermal inactivation of *Listeria monocytogenes* during sous-vide processing of two marinated Mexican meat entrées[J]. Journal of Food Protection, 2016, 79(7): 1174-1180.
- [35] VALENZUELA-MELENDRES M, PEÑA-RAMOS E A, JUNEJA V K, et al. Effect of grapefruit seed extract on thermal inactivation of *Listeria monocytogenes* during sous-vide processing of two marinated Mexican meat entrées [J]. Journal of Food Protection, 2016, 79(7):56-62.
- [36] 童彤. 新加坡,葡萄柚籽提取物制成新型保鲜膜延长食物保质期[J]. 中国果业信息, 2016(3):43-43.
- [37] 何艳秋. 壳寡糖对草莓保鲜作用及机制研究[D]. 大连: 大连海洋大学, 2017.
- [38] 韦璐,许文涛,屈伟,等. 一种从薏仁种子中提取出来的抗真菌蛋白[J]. 农业生物技术学报, 2010, 18(4): 73-78.
- [39] 汪少芸,邵彪,叶秀云,等. 绿豆中非特异性脂转移蛋白的抑菌机理分析[J]. 中国食品学报, 2006(6): 9-13.
- [40] LIN K N, JIANG Y L, ZHANG S G, et al. Grape seed proanthocyanidin extract reverses multidrug resistance in HL-60/ADR cells via inhibition of the PI3K/Akt signaling pathway [J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2020, 125: 109885.
- [41] ENGELBRECHT A M, MATTHEYSE M, ELLIS B, et al. Proanthocyanidin from grape seeds inactivates the PI<sub>3</sub> kinase/PKB pathway and induces apoptosis in a colon cancer cell line[J]. Cancer Letters, 2007, 258(1): 144-153.
- [42] 刘娟,归静,高伟,等. 种子老化的生理生化与分子机理研究进展[J]. 生态学报, 2016, 36(16): 84-93.
- [43] DU L C, WU B L, CHEN J M. Flavonoid triglycosides from the seeds of *Camellia oleifera* Abel [J]. Chinese Chemical Letters, 2008, 19(11): 1315-1318.
- [44] LI S X, GU H B, MAO Y, et al. Effects of tallowtree seed coat on seed germination[J]. Journal of Forestry Research, 2012, 23(2): 229-233.

加工编辑:张璐

收稿日期:2020-04-16

(上接第 188 页)

- [44] KANG D H, JUNG H S, AHN N, et al. Biomimetic detection of aminoglycosidic antibiotics using polydiacetylene-phospholipids supramolecules[J]. Chemical Communications(Camb), 2012, 48(43): 5313-5315.
- [45] WANG Z, YU J, GUI R, et al. Carbon nanomaterials-based electrochemical aptasensors[J]. Biosensors and Bioelectronics, 2016, 79: 136-149.
- [46] SHARMA T K, RAMANATHAN R, WEERATHUNGE P, et al. Aptamer-mediated 'turn-off/turn-on' nanozyme activity of gold nanoparticles for kana-mycin detection[J]. Chemical Communications, 2014, 50(100): 15856-15859.
- [47] LIAO Z, WANG J, ZHANG P, et al. Recent advances in microfluidic chip integrated electronic biosensors for multiplexed detection[J]. Biosensors and Bioelectronics, 2018, 121: 272-280.
- [48] CHO I H, LEE J, KIM J, et al. Current technologies of electrochemical immunosensors: perspective on signal amplification[J]. Sensors (Basel), 2018, 18(1): 207.
- [49] RHOUATI A, BULBUL G, LATIF U, et al. Nano-aptasensing in mycotoxin analysis: recent updates and progress[J]. Toxins (Basel), 2017, 9(11): 349.

加工编辑:张弘

收稿日期:2020-05-07