

# 秦岭植物源抗菌活性物质的研究进展

蔺蓓蓓, 徐尤美, 吴三桥, 陈琛\* (陕西理工大学中德天然产物研究所/陕西省天麻山茶茱萸工程技术研究中心/陕西理工大学生物科学与工程学院/陕南秦巴山区资源生物综合开发协同创新中心, 陕西汉中 723000)

**摘要** 综述了秦岭植物资源抗菌活性物质的分类及抑菌作用(抗细菌、抗真菌、抗植物病原菌等), 指出了目前植物抗菌活性物质研究中存在的问题, 并展望了今后的研究方向, 为研究和开发秦岭植物抗菌活性物质提供参考。

**关键词** 秦岭植物; 次生代谢产物; 抗菌活性; 病原微生物

**中图分类号** S482.2<sup>+</sup>92 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)13-0015-05

## Progress on Antimicrobial Substances in Qinling Mountains

LIN Bei-bei, XU You-mei, WU San-qiao et al (Chinese-German Joint Institute for Natural Product Research/Shaanxi Engineering Research Center of Tall Gastrodia Tuber and Medical Dogwood/College of Biological Science and Engineering, Shaanxi University of Technology/Qinling-Bashan Mountains Bioresources Comprehensive Development C. I. C., Hanzhong, Shaanxi 723000)

**Abstract** We summarized classification and bacteriostatic action of antimicrobial activities in plant resources in Qinling Mountains, pointed out the problems in the research on plant antimicrobial activities at present, and put forward the future research direction, so as to provide reference for the future research and development of the antimicrobial activity of Qinling plants.

**Key words** Plants from Qinling Mountains; Secondary metabolites; Antimicrobial activities; Pathogenic bacterium

秦岭是我国南北自然地理分界线, 也是长江、黄河两大水系的分水岭, 是东亚两大植物区系、中国喜马拉雅森林亚区以及日本森林亚区的交汇地区, 由于其独特的地理位置, 孕育了种类独特、丰富多样的植物资源<sup>[1]</sup>, 是我国重要的生物多样性自然保护区。种类繁多的秦岭植物能够产生丰富的代谢产物, 为人们以秦岭植物资源研究开发抗菌活性物质奠定了基础。

近年来, 抗生素在人类医疗、农业及畜牧业的大量使用甚至滥用导致病原菌耐药性不断进化与发展, 从单一耐药到多重耐药<sup>[2]</sup>, 甚至最终成为超级耐药菌。人类面临着超级耐药菌不断出现且新抗生素难以获得的局面, 将把人类带入无抗生素可用的“后抗生素时代”, 因此, 寻找新的抗菌药物已成为当务之急<sup>[3]</sup>。植物是传统医学的天然药物的重要来源, 来源于植物的抗菌物质受到了很多关注。目前, 植物中具有抗菌活性的物质已被用于医药<sup>[4]</sup>、化妆品<sup>[5]</sup>和畜牧<sup>[6]</sup>等行业。由此可见, 研究植物中的有效抗菌活性物质对于人类对抗病原菌感染及减少耐药菌有着重要意义。笔者综述了秦岭植物资源中抗菌活性物质的研究进展, 旨在为秦岭植物资源的进一步研究与开发提供参考。

## 1 植物中抗菌活性物质分类

植物中含有许多具有活性的次生代谢产物, 从植物中提取得到的黄酮类、生物碱类、甾体皂苷类等次生代谢产物都具有抗菌活性。植物中抗菌活性物质分类及其活性见表1。

## 2 秦岭植物中活性成分的抑菌作用

秦岭丰富的植物资源产生大量的功能活性成分, 有挥发油、有机酸、黄酮类、多酚、生物碱类等化学成分, 能够抑制革兰氏阳性细菌( $G^+$ )、革兰氏阴性细菌( $G^-$ )、真菌和植物病原菌, 其中水杨梅中的黄酮类化合物山奈酚对乳链球菌(*Streptococcus lactis*)的抑菌效果最佳, 最小抑菌浓度(MIC)为7.8  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。7种秦岭植物源中的黄酮类化合物对 $G^+$ 菌、 $G^-$ 菌和植物病原菌均有较好的抑菌效果, MIC为7.8~62.5  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。

**2.1 抗细菌活性物质** 细菌感染是感染性疾病中最常见的类型, 抗生素一直被认为是治疗细菌感染性疾病最有力的武器。天然的植物次生代谢产物抗菌作用显著, 抗菌谱广, 对葡萄球菌、链球菌、芽孢杆菌等均有较强的抑制作用。5种秦岭植物中抗细菌活性成分及其MIC见表2。

杨东升<sup>[30]</sup>对长松萝中2-甲基-4-乙氧基-6-甲氧基苯甲酸、巴而巴地衣酸、松萝酸、2-甲基-4-甲氧基-6-羟基苯甲酸和 $\text{C}_{15}\text{H}_{28}\text{O}_2$ 这5种化合物进行抑菌试验, 发现抗菌能力最强的是松萝酸, 对*E. coli*的MIC为25  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。靳磊<sup>[35]</sup>从秦巴山区野生百合资源中的宜昌百合、岷江百合、野百合和卷丹鳞茎提取物分离得到黄酮类、生物碱类、多糖和皂苷类化合物对6种菌种均表现出抑制活性。王冬梅<sup>[18]</sup>从黄精属玉竹根茎中提取得到的环阿爾廷醇化合物、高异黄酮化合物和甾体皂苷类化合物对4种细菌均有明显的抑制效果; 卷叶黄精根茎中的(25R/S)-螺甾-5-烯-3 $\beta$ -醇-3-O- $\alpha$ -L-鼠李糖(1 $\rightarrow$ 2)-[ $\alpha$ -L-鼠李糖(1 $\rightarrow$ 4)]- $\beta$ -D-葡萄糖苷和(25R)-螺甾-5-烯-3 $\beta$ -醇-3-O- $\alpha$ -L-鼠李糖(1 $\rightarrow$ 4)- $\beta$ -D-葡萄糖苷对*B. subtilis*、普通变形杆菌(*Proteus vulgaris*)有抑菌活性, 抑菌圈直径分别为12.37和8.57 mm, 而薯蓣皂素对*P. vulgaris*、*B. cereus*、*B. subtilis*的抑制作用较强, 其抑菌圈直径分别为15.96、11.06、12.87 mm。

**基金项目** 国家高端外国专家项目(GDW20146100228, GDT20176100048); 国家重点引智项目(W20166100045); 陕西省科技统筹创新工程计划项目(2015KTTSSF01-03, 2015HBGC-18); 陕西省科技研究发展计划项目(2015NY-070); 陕南秦巴山区生物资源综合开发协同创新中心项目[QBXT-Z(P)-15-21]。

**作者简介** 蔺蓓蓓(1995—), 女, 陕西榆林人, 硕士研究生, 研究方向: 天然产物研究与开发。\*通讯作者, 副教授, 硕士生导师, 从事天然产物研究与开发。

**收稿日期** 2018-01-28

表1 植物中抗菌活性物质分类及活性  
Table 1 Classification and activity of antibacterial substances in plants

活性物质 Active substance	来源或植物种类 Source or plant species	抗菌活性 Antibacterial activity	参考文献 References
黄酮类 Flavonoids	紫葳科木蝴蝶、桑科榕属	抗细菌	[7-8]
	唇形科黄芩属、薄荷科植物	抗真菌、抗细菌	[9-10]
	豆科植物	抗植物病原菌	[11]
生物碱类 Alkaloids	芸香科吴茱萸属、锦葵科锦葵属植物	抗细菌、抗真菌	[12-13]
	芸香科植物	抗植物病原菌	[14]
甾体皂苷类 Steroid saponin	茄属植物	抗细菌	[15]
	无患子科无花果、花椒属植物	抗细菌、抗真菌	[16-17]
萜类 Terpenoids	黄精属植物	抗植物病原菌	[18]
	胸腺属植物	抗细菌	[19]
	凤尾蕨属植物	抗细菌、抗真菌	[20]
多糖 Polysaccharide	桃金娘科植物	抗植物病原菌	[21]
	楝科楝树植物	抗细菌	[22]
酚类 Phenols	兰科石斛属植物	抗细菌、抗真菌	[23]
	蔷薇科腺肋花椒属植物	抗细菌、抗真菌	[24]
抗菌肽 Antimicrobial peptides	麻黄科麻黄属植物	抗细菌	[25]
醌类 Quinones	来源及分布广泛	抗细菌、抗真菌	[26]
蛋白类 Proteins	百合科、茜草科、大黄等植物	抗细菌、抗真菌、抗植物病原菌	[27]
	百合科葱属、竹叶、大戟科蓖麻属蓖麻等植物	抗细菌、抗真菌、抗植物病原菌	[28-29]

表2 秦岭植物活性物质的抗菌效果  
Table 2 Antibacterial effect of active substances from plant sources in the Qinling Mountains

秦岭植物 Qinling plants	活性成分 Active ingredients	抑制菌种的MIC Inhibit bacteria's MIC// $\mu\text{g/mL}$						参考文献 References
		A	B	C	D	E	F	
长松萝 <i>Usnea longissima</i>	巴尔巴地衣酸	—	50	—	—	—	—	[30]
	松萝酸	—	25	—	—	—	—	
	2-甲基-4-甲氧基-6-羟基苯甲酸	—	100	—	—	—	—	
	长松萝中化合物E	—	100	—	—	—	—	
木姜子 <i>Litsea cubeba</i> (Lour.) Pers.	松属素	25	12.5	25	25	25	12.5	[31]
	松属素查儿酮	12.5	25	25	25	25	12.5	
	木犀草素7-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷	50	50	50	50	50	50	
	$\beta$ -谷甾醇	—	200	200	—	—	—	
	芹菜素	50	25	25	50	25	50	
	山奈苷	25	12.5	50	50	50	50	
	异槲皮素	50	50	50	50	50	50	
	芹菜素7-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷	50	50	50	50	50	50	
水杨梅 <i>Adina rubella</i>	$\beta$ -谷甾醇	—	—	—	—	—	250	[32]
	熊果酸	250	250	250	250	—	—	
	山奈酚	31.2	15.6	15.6	7.8	—	—	
	槲皮素	125	125	31.2	125	—	—	
	山奈酚3-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷	250	120	250	125	—	—	
	槲皮素3-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷	250	250	250	250	—	—	
	胡萝卜苷	—	—	—	—	—	250	
老鹳草 <i>Geranium wilfordii</i> Maxim.	山奈酚	—	31.2	15.6	62.5	—	62.5	[33]
	没食子酸	—	62.5	62.5	62.5	—	62.5	
	$\beta$ -谷甾醇	—	125	125	250	—	125	
	水杨酸	—	62.5	31.2	125	—	62.5	
	没食子酸乙酯	—	62.5	62.5	62.5	—	125	
	琥珀酸	—	125	62.5	125	—	62.5	
	短叶苏木酚酸乙酯	—	62.5	31.2	125	—	62.5	
	山奈酚-7-O- $\alpha$ -L-鼠李糖苷	—	62.5	31.2	125	—	62.5	
	胡萝卜苷	—	125	125	250	—	250	
	山奈酚-3,7-O- $\alpha$ -L-鼠李糖苷	—	62.5	62.5	125	—	62.5	
索骨丹 <i>Rodgersia aesculifolia</i> Batalin	$\beta$ -谷甾醇	—	125	250	250	—	125	[34]
	麦角甾醇	—	500	500	500	—	500	
	对羟基苯甲酸	—	62.5	125	125	—	62.5	
	没食子酸	—	62.5	62.5	125	—	62.5	
	儿茶素	—	62.5	62.5	125	—	125	
	琥珀酸	—	125	125	125	—	125	
	3 $\beta$ -羟基齐墩果-12-烯-27-酸	—	15.6	500	500	—	31.3	
	苯甲酸甲酯	—	250	500	500	—	250	
	岩白菜素	—	62.5	125	125	—	125	
	胡萝卜苷	—	500	500	500	—	500	
	正丁基- $\beta$ -D-吡喃果糖	—	500	125	125	—	500	
	异槲皮素	—	62.5	62.5	62.5	—	125	

注:“—”表示未检测到或者未设置试验;A.枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*);B.大肠杆菌(*Escherichia coli*);C.金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*);D.乳链球菌(*Streptococcus lactis*);E.纳豆芽孢杆菌(*Bacillus natto*);F.绿脓杆菌(*Pseudomonas aeruginosa*)

Note:“—”indicated no detection or no test;A. *Bacillus subtilis*;B. *Escherichia coli*;C. *Staphylococcus aureus*;D. *Streptococcus lactis*;E. *Bacillus natto*;F. *Pseudomonas aeruginosa*

康杰芳<sup>[36]</sup>研究发现银线草和多穗金粟兰全草的挥发油对 8 种 G<sup>+</sup>、3 种 G<sup>-</sup> 均有抑制作用,其 MIC 在 0.39 ~ 12.50 mg/mL。陈林<sup>[37]</sup>从长茎毛茛苔、岩豇豆和髯丝蛛毛茛苔中分离得到的 15 种化合物中,有 7 种化合物对 *S. aureus*、耐甲氧西林的金黄色葡萄球菌 Methicillin-resistant *S. aureus* (MARS)、 $\beta$ -内酰胺酶阳性的金黄色葡萄球菌 ESBL<sub>s</sub>-SA 均有抑制作用,其抑菌圈在 8 ~ 10 mm。王贝<sup>[38]</sup>研究发现 3 种贯众属植物的地上部分和地下部分对 10 种常见致病细菌都有抑菌效果,特别是对芽孢杆菌最敏感,贯众属植物具有较强的抗菌活性和较宽的抗菌谱。

此外,王媛<sup>[31]</sup>从木姜子枝叶中分离得到 9 种化合物,研究发现  $\beta$ -谷甾醇只对 *S. lactis*、*E. coli* 有较强的抑制活性, MIC 均为 200  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ;除棕榈酸外,黄酮类化合物与其他物质对 *S. aureus*、*B. subtilis*、*B. natto*、*P. aeruginosa* 均有一定的抑菌活性,其 MIC 在 12.5 ~ 100.0  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。张鑫<sup>[32]</sup>对水杨梅乙酸乙酯萃取物中分离到的 8 种化合物进行了抑菌试验,发现黄酮类化合物山奈酚的抑菌效果最好,对 G<sup>+</sup> 菌和 G<sup>-</sup> 菌均具有较好的活性,显示出广谱的抗菌活性, MIC 为 15.6 ~ 62.5  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ;黄酮苷、三萜酸和甾体类化合物的抑菌活性则相对较差。程小伟<sup>[33]</sup>发现老鹳草的各相提取物中分离得到黄酮类和多酚类等其他化合物对 4 种菌种均具有抑菌活性,尤其是对 *S. aureus* 具有较好的抑菌活性, MIC 在 15.6 ~ 62.5  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,其中黄酮类化合物山奈酚对 *S. aureus* 的抑菌活性最强, MIC 为 15.6  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。王啸洋<sup>[39]</sup>研究发现顶花板蕨

果中的甾体生物碱类对 3 种标准菌和 4 种耐药菌均具有抑菌活性。闫梦茹<sup>[34]</sup>从七叶鬼灯檠的干燥根茎——索骨丹提取物中获得多酚类及其他 12 种化合物,其中有 9 种化合物(包括多酚类化合物)对 4 种细菌有抑制作用,其中 3 $\beta$ -羟基齐墩果-12-烯-27-酸对 G<sup>-</sup> 菌 *E. coli* 和 *P. aeruginosa* 的抑菌效果较强, MIC 分别为 15.6 和 31.3  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。

**2.2 抗真菌活性物质** 真菌感染严重威胁人类的健康,特别是由真菌引起的组织及内脏器官的感染,严重时可引起脑膜炎、败血症和心内膜炎等,尽管临床上有多多种抗生素用于治疗真菌感染,但由于其耐药性的不断产生,需要进一步开发新型的抗真菌药物。

植物次生代谢产物中含有多种抗真菌活性物质。杨东升<sup>[30]</sup>发现从松萝科松萝属长松萝中分离出的巴而巴地衣酸和松萝酸对假丝酵母(*Candida norvegica*)有抑制能力。康杰芳<sup>[36]</sup>发现银线草和多穗金粟兰全草挥发油对 4 种真菌均有抑制作用,其 MIC 为 0.78 ~ 6.25 mg/mL。

**2.3 抗植物病原菌活性物质** 植物病原菌是导致果蔬腐烂变质的直接原因,植物病原菌多以真菌为主,且不同病原菌可通过代谢物(酶、分泌毒素和生长调节物)对寄主植株进行不同程度的致病和破坏,严重影响果蔬的商品性及贮藏期<sup>[40]</sup>,食用腐烂变质的果蔬后可导致人类患病,因此,迫切需要寻找一种天然的抗菌剂,植物次生代谢产物便成为首选。秦岭植物中抗植物病原菌活性成分及其 MIC 见表 3。

表 3 秦岭植物源中活性成分抗植物病原菌效果

Table 3 Antibacterial effect of active components from plant sources of Qinling Mountains on plant pathogens

秦岭植物 Qinling plants	活性成分 Active ingredients	抑制菌种的 MIC Inhibit bacteria' MIC// $\mu\text{g}/\text{mL}$												参考 文献 Refer- ences	
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L		
木姜子 <i>Litsea cubeba</i> (Lour.) Pers.	松属素	12.5	25	50	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	[31]
	松属素查儿酮	25	12.5	50	12.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	木犀草素 7-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷	25	12.5	50	12.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	芹菜素	25	12.5	50	12.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	山奈苷	50	25	100	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	异槲皮素	25	12.5	50	12.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	芹菜素 7-O- $\beta$ -D-葡萄糖苷	50	50	12.5	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
索骨丹 <i>Rodgersia aesculifolia</i> Batalin	$\beta$ -谷甾醇	—	500	500	—	500	500	500	500	500	500	500	500	500	[34]
	麦角甾醇	—	500	500	—	500	500	500	500	500	500	500	500	500	
	对羟基苯甲酸	—	125	125	—	125	125	125	250	125	125	125	125	125	
	没食子酸	—	125	62.5	—	125	125	125	125	62.5	62.5	125	125	125	
	儿茶素	—	125	125	—	125	62.5	62.5	62.5	125	62.5	62.5	62.5	62.5	
	琥珀酸	—	125	125	—	125	250	250	250	125	125	125	125	125	
	3 $\beta$ -羟基齐墩果-12-烯-27-酸	—	62.5	62.5	—	31.3	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	31.3	62.5	62.5	
	苯甲酸甲酯	—	125	—	—	125	125	—	—	—	—	—	—	125	
	岩白菜素	—	125	125	—	125	125	62.5	62.5	125	125	62.5	62.5	62.5	
	胡萝卜苷	—	500	500	—	500	500	250	500	250	500	500	500	125	
	正丁基- $\beta$ -D-吡喃果糖	—	500	250	—	500	500	500	500	500	500	250	500	500	
	异槲皮素	—	125	62.5	—	125	62.5	62.5	62.5	125	62.5	62.5	62.5	62.5	

注: '—' 表示未检测到或未设置试验; A. 西瓜枯萎病菌(*Fusarium oxysporum* F. sp. niveum); B. 芍药炭疽病(*Colletotrichum gloeosporioides*); C. 番茄灰霉病菌(*Botrytis cinerea*); D. 苹果腐烂病菌(*Valsa mali*); E. 苹果树腐烂病菌(*Cytospora mandshurica*); F. 油菜菌核病菌(*Sclerotinia sclerotiorum*); G. 小麦赤霉病(*Gibberella saubinerii*); H. 芍药炭疽病菌(*Phytophthora anthracnose*); I. 白菜黑斑病菌(*Alternaria brassicae*); J. 辣椒炭疽病菌(*Phytophthora capsici*); K. 烟草赤星病菌(*Alternaria lternata*); L. 玉米大斑病菌(*Setosphaeria turcica*)

Note: '—' indicated no detection or no test; A. *Fusarium oxysporum* F. sp. niveum; B. *Colletotrichum gloeosporioides*; C. *Botrytis cinerea*; D. *Valsa mali*; E. *Cytospora mandshurica*; F. *Sclerotinia sclerotiorum*; G. *Gibberella saubinerii*; H. *Phytophthora anthracnose*; I. *Alternaria brassicae*; J. *Phytophthora capsici*; K. *Alternaria lternata*; L. *Setosphaeria turcica*

王冬梅<sup>[18]</sup>测定了玉竹根茎提取物对植物病原菌的抑菌效果,发现环阿尔廷醇三萜类化合物对黄瓜炭疽病原菌(*Colletotrichum lagenarium*)有专属抑菌活性,抑菌率达100%;3种甾体皂苷类化合物对玉米大斑病原菌(*Exserohilum turcicum*)有较强的抑菌效果,抑菌率最高可达74.36%;4种6-甲基取代的高异黄烷酮类化合物对多数植物病原菌有较强的抑菌效果。在卷叶黄精根茎中,(25R/S)-螺甾-5-烯-3 $\beta$ -醇-3-O- $\alpha$ -L-鼠李糖(1 $\rightarrow$ 2)-[ $\alpha$ -L-鼠李糖(1 $\rightarrow$ 4)]- $\beta$ -D-葡萄糖苷对玉米大斑病原菌(*E. turcicum*)、三倍体毛白杨溃疡病原菌(*Botryosphaeria ribis*)的抑制作用较强,抑菌率分别为76.0%和73.7%;薯蓣皂素仅对油松猝倒A病原菌(*Fusarium oxysporum*)的抑制效果明显,抑菌率为52.4%。王媛<sup>[31]</sup>对木姜子枝叶中的化合物进行抗植物病原菌试验,发现除 $\beta$ -谷甾醇和棕榈酸外,其他化合物均对4种植物病原菌有抗菌活性。闫梦茹<sup>[34]</sup>研究发现索骨丹中有8种单体化合物对供试植物病原菌有抑制作用,其中3 $\beta$ -羟基齐墩果-12-烯-27-酸对植物病原真菌均表现出较强的抑制作用, MIC 在31.3~62.5  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。

**2.4 其他抗菌物质** 还有一些植物的提取液或者水煎剂也具有抗菌作用。任茜等<sup>[41-42]</sup>用80种秦岭“七药”水煎剂对11种致病菌进行抗菌试验,发现有17种“七药”植物对11种致病菌有抑制作用;还研究了10种蔷薇属药用植物水煎剂对11种致病体外抗菌作用,发现有8种植物具有广谱抗菌作用,其中6种植物的抗菌作用接近或强于中医常用的清热解毒药物黄连。杨朝福<sup>[43]</sup>测定了水冬瓜各个部位提取物对常见植物病原真菌的抑制作用,种子正丁醇部分对稻瘟病原菌(*Magna porthe*)的抑制率达95.33%;果皮和种子的乙酸乙酯部分抑菌作用最好,果皮乙酸乙酯部分对杨树溃疡病原菌(*Dothiorella gregaria*)的抑制率达91.67%;抑制菌丝生长效果最佳的为水冬瓜种子乙酸乙酯部分,它对小麦赤霉病原菌(*Fusarium graminearum*)、黄瓜炭疽病原菌(*C. lagenarium*)、苹果炭疽病原菌(*Glomerella cingulata* s. str.)的生长抑制率高达100%。

另外,植物内生菌及其代谢产物也具有抗菌活性。植物内生菌经过与寄主植物长期的协同进化,成为植物内生态系统的重要组成部分,在植物的生长发育、营养吸收、胁迫应激以及产生次级代谢产物等生理生化行为方面具有显著作用<sup>[44]</sup>。利用植物内生菌及其次级代谢产物,可以将其抗菌生物活性应用于植物修复<sup>[45]</sup>、农业、食品<sup>[46]</sup>等行业。

刘果<sup>[47]</sup>从三尖杉的种皮、茎和叶中分离得到61株内生真菌,其中3株内生真菌对15种指示菌的抑菌圈直径在13~27 mm,其次级代谢产物胶霉毒素和单甲基硫赭曲霉素的抑菌效果最好,其MIC分别为7.8~15.6和7.8~31.3  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。Akbar<sup>[48]</sup>从我国秦岭太白山地区采集的5种典型的“太白七药”药用植物中分离出90株内生细菌,并对其进行了抗微生物活性筛选。结果表明,在这些活性菌株中,有51株具有抗真菌活性,32株具有抗菌活性;15株分离物抑制了至少5种菌株的生长。

### 3 目前存在的问题与展望

随着抗生素耐药性不断增强,植物中抗菌活性物质有望开发为新的抗菌药物。虽然这些抗菌活性物质具有巨大的开发潜力,但是仍然存在一些需要解决的问题,如抗菌物质在植物中含量太低,难以从天然原料中取材;因结构过于复杂,人工合成也十分困难。同时人们对天然抗菌活性物质的安全性也缺乏深入系统的研究,也未开展药效学、动力学和毒理学等方面的研究,无法确定其是否会对人体产生一定的毒副作用。

秦岭植物中含有抗菌活性物质且具有广谱、高效的抗细菌、抗真菌和抗植物病原菌活性,这些活性物质较传统的抗生素具有安全、高效、抗菌能力强等优点,因此,我国应加强对秦岭植物中抗菌活性物质的开发和利用,提高秦岭植物资源的利用率和经济效益,重视秦岭植物中抗菌活性物质综合利用以及创新利用,促进我国抗生素产业快速发展。这些抗菌活性物质绿色无污染,可被广泛应用于食品保鲜、医药业、畜牧业、化妆品行业和农业等领域,且具有广阔的发展前景。此外,秦岭植物内生微生物种类多、分布广,可开发的空间也很大。植物的内生菌次级代谢产物不仅可以作为抗菌物质,也可作为杀虫剂和无公害农药,如利用植物内生菌进行生物防治,可以减少化学农药的使用,减轻环境污染<sup>[45]</sup>。

#### 参考文献

- [1] 田伟,周天华. 秦岭地区乌头属植物资源的研究进展[J]. 广东化工, 2017,44(12):155-156.
- [2] CHEN C H, LIN L C, CHANG Y J, et al. Infection control programs and antibiotic control programs to limit transmission of multi-drug resistant *Acinetobacter baumannii* infections; Evolution of old problems and new challenges for institutes[J]. International journal of environmental research and public health, 2015,12(8):8871-8872.
- [3] CHEN S, WU Q H, SHEN Q Q, et al. Progress in understanding the genetic information and biosynthetic pathways behind *Amycolatopsis* antibiotics, with implications for the continued discovery of novel drugs[J]. Chem Bio Chem, 2016,17(2):119-128.
- [4] TAYLOR P W. Alternative natural sources for a new generation of antibacterial agents[J]. International journal of antimicrobial agents, 2013,43(3):195-201.
- [5] NABAVI S F, DI LORENZO A, IZADI M, et al. Antibacterial effects of cinnamon: From farm to food, cosmetic and pharmaceutical industries[J]. Nutrients, 2015,7(9):7729-7748.
- [6] LI L, SONG X, YIN Z Q, et al. The antibacterial activity and action mechanism of emodin from *Polygonum cuspidatum* against *Haemophilus parasuis* in vitro[J]. Microbiological research, 2016,186/187:139-145.
- [7] FAN Q F, HU Z Y, NA Z, et al. One new flavonoid from *Oroxylum indicum* [J]. Natural product research, 2015,29(19):1-4.
- [8] AWOLOLA G V, KOORBANALLY N A, CHENIA H, et al. Antibacterial and anti-biofilm activity of flavonoids and triterpenes isolated from the extracts of *Ficus sansibarica* Warb. subsp. sansibarica (Moraceae) extracts [J]. Afr J Tradit Complement Altern Med, 2014,11(3):124-131.
- [9] 施高翔,邵菁,汪天明,等. 黄芩及其有效成分抗菌作用新进展[J]. 中国中药杂志, 2014,39(19):3713-3718.
- [10] BOUTERFAS K, MEHDADI Z, AOUAD L, et al. Does the sampling locality influence on the antifungal activity of the flavonoids of *Marrubium vulgare* against *aspergillus niger* and *candida albicans*? [J]. Journal de mycologie médicale, 2016,26(3):201-211.
- [11] ALIFERIS K A, FAUBERT D, JABAJI S. A metabolic profiling strategy for the dissection of plant defense against fungal pathogens[J]. Metabolomics of plant defense against pathogens, 2014,9(11):1-13.
- [12] WANG X X, ZAN K, SHI S P, et al. Quinolone alkaloids with antibacterial and cytotoxic activities from the fruits of *Evodia rutaecarpa* [J]. Fitoterapia, 2013,89:1-7.

- [13] CRETTON S, DORSAZ S, AZZOLLINI A, et al. Antifungal quinoline alkaloids from *Waltheria indica* [J]. *Journal of natural product*, 2016, 79 (2): 300–301.
- [14] CAROTENUTO G, CARRIERI R, TARANTINO P, et al. Fungistatic activity of *Zanthoxylum rhoifolium* Lam. bark extracts against fungal plant pathogens and investigation on mechanism of action in *Botrytis cinerea* [J]. *Natural product research*, 2015, 29(23): 2251–2255.
- [15] 陈方方, 张宇伟, 黄雪峰. 茄属植物甾体皂苷成分及其药理活性研究进展[J]. *中国中药杂志*, 2016, 41(6): 976–988.
- [16] LUNGA P K, QIN X J, YANG X W, et al. Antimicrobial steroidal saponin and oleanane-type triterpenoid saponins from *Paullinia pinnata* [J]. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 2014, 14: 369.
- [17] 杨秀芳, 龙园园, 吴妍, 等. 花椒属植物活性成分的研究进展[J/OL]. *食品科学*, 2017–09–27 [2017–12–20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20170927.1607.198.html>.
- [18] 王冬梅. 秦岭地区黄精属两种植物化学成分及其生物活性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [19] NABAVI S M, MARCHESI A, IZADI M, et al. Plants belonging to the genus *Thymus* as antibacterial agents: From farm to pharmacy [J]. *Food chemistry*, 2015, 173: 339–347.
- [20] 管玉格, 胡文忠, 石玉生, 等. 凤尾蕨属植物中萜类成分及其生物活性研究进展[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2018, 24(3): 112–113.
- [21] YU D, WANG J, SHAO X, et al. Antifungal modes of action of tea tree oil and its two characteristic components against *Botrytis cinerea* [J]. *Journal of applied microbiology*, 2015, 119(5): 1253–1262.
- [22] QIAN Z G. Cellulase-assisted extraction of polysaccharides from cucurbita moschata and their antibacterial activity [J]. *Carbohydrate polymers*, 2014, 101: 432–434.
- [23] 王玲, 唐德强, 王佳佳, 等. 铁皮石斛原球茎与野生铁皮石斛多糖的抗菌及体外抗氧化活性比较[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2016, 44(6): 167–172.
- [24] 徐艳阳, 王君阳, 仇洋, 等. 黑果腺肋花楸多酚的抗菌及对 $\alpha$ -淀粉酶活性抑制分析[J]. *食品科学*, 2017–10–12 [2017–12–20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20171013.1103.102.html>.
- [25] DEHKORDI N V, KACHOUIE M A, PIRBALOUTI A G, et al. Total phenolic content, antioxidant and antibacterial activities of the extract of *Ephedra procera* fisch. et meyer [J]. *Acta Pol Pharm*, 2015, 72(2): 341–345.
- [26] 田野, 王贵锋, 张向前. 植物抗菌肽的研究进展及其治疗应用[J]. *现代食品科技*, 2017, 33(11): 1–6.
- [27] 邓丽红, 谢臻, 麦蓝尹, 等. 萜类化合物抗菌活性及其机制研究进展[J]. *中国新药杂志*, 2016, 25(21): 2450–2453.
- [28] AL-MAMUN M A, AKTER Z, UDDIN M J, et al. Characterization and evaluation of antibacterial and antiproliferative activities of crude protein extracts isolated from the seed of *Ricinus communis* in Bangladesh [J]. *Complementary and alternative medicine*, 2016, 16: 1–10.
- [29] 杨澍, 高杉. 天然产物抗菌作用的研究进展[J]. *天津中医药*, 2016, 33(2): 125–128.
- [30] 杨东升. 长松萝活性成分的提取分离与活性测定[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.
- [31] 王媛. 木姜子枝叶化学成分及生物活性研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2013.
- [32] 张鑫. 水杨梅化学成分及生物活性研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2013.
- [33] 程小伟. 老鹳草化学成分及其生物活性研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2014.
- [34] 闫梦茹. 索骨丹化学成分及其生物活性研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2016.
- [35] 靳磊. 秦巴山区4种野生百合鳞茎提取物的抑菌性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [36] 康杰芳. 两种金粟兰属植物的化学成分及相关生物活性的研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2010.
- [37] 陈林. 四种苦苣苔科植物的生物活性研究[D]. 开封: 河南大学, 2010.
- [38] 王贝. 秦岭地区3种贯众属植物抗菌、抗氧化活性的比较研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2011.
- [39] 王啸洋. 三种太白山药用植物的活性成分研究[D]. 西安: 第四军医大学, 2014.
- [40] 何靖柳, 张清, 陈洪, 等. 肉桂精油对植物病原菌抑制作用的研究进展[J]. *分子植物育种*, 2017, 15(9): 3723–3730.
- [41] 任茜, 陈国联, 李万波. 80种秦岭七药原植物抗菌作用的实验研究[J]. *国土与自然资源研究*, 2013(1): 86–88.
- [42] 任茜, 陈国联, 李万波. 秦岭10种蔷薇属植物抗菌作用试验研究[J]. *中国园艺文摘*, 2012, 28(2): 20–21.
- [43] 杨朝福. 水冬瓜果实的化学成分及其抑菌活性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [44] 杨斌, 曹君. 植物内生菌及其次级代谢产物的研究进展[J]. *微生物学杂志*, 2016, 36(4): 1–6.
- [45] AFZAL M, KHAN Q M, SESSITSCH A. Endophytic bacteria: Prospects and applications for the phytoremediation of organic pollutants [J]. *Chemosphere*, 2014, 117: 232–242.
- [46] NAIR D N, PADMAVATHY S. Impact of endophytic microorganisms on plants, environment and humans [J]. *The scientific world journal*, 2014, 2014: 1–11.
- [47] 刘果. 三尖杉内生真菌次生代谢产物及抑菌活性的研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2013.
- [48] AKBAR A. Endophytic *Sphingomonas ylomeconis* sp. Nov., isolated from the stem of *Hylomecon japonica* [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.

(上接第3页)

- [2] HROMÁDKA M. Bird control problem and bird strike analysis of Czech and Slovak airports [J]. *Transport problems an international scientific journal*, 2013, 8(3): 33–41.
- [3] CARDOSO C O, GOMES D D N, SANTOS A G S D, et al. Bird strike risk analysis at the international airport of Parnaíba, Piauí, Brazil [J]. *Ornitologia neotropical*, 2014, 25(2): 179–193.
- [4] 李士权, 徐焕然, 袁红, 等. 天津滨海国际机场地被昆虫的多样性特征[J]. *天津师范大学学报(自然科学版)*, 2016, 36(3): 44–49.
- [5] 吴克凡. 机场薰衣草种植与鸟击防范关系的研究[J]. *伊犁师范学院学报*, 2016, 10(2): 82–85.
- [6] 柳毅, 徐焕然, 袁红, 等. 天津滨海国际机场鸟类群落结构及多样性特征[J]. *生态学杂志*, 2017, 36(3): 740–746.
- [7] SULKAVA P, HUHTA V. Effects of hard frost and freeze-thaw cycles on decomposer communities and mineralisation in boreal forest soil [J]. *Applied soil ecology*, 2003, 22(3): 225–239.
- [8] SHANNON C E. A mathematical theory of communication [J]. *Bell labs technical journal*, 1948, 27(3): 379–423.
- [9] MA K. Measurement of biotic community diversity [α diversity (Part 1)] [J]. *Biodiversity science*, 1994, 2(3): 162–168.
- [10] PUTMAN R J, WRATTEN S D. *Principles of ecology* [M]. California: University of California Press, 1984.
- [11] MARGALEF D R. Information theory in ecology [J]. *Gen system*, 1957, 3: 36–71.
- [12] DUKIYA J J, GAHLOT V. An evaluation of the effect of bird strikes on flight safety operations at international airport [J]. *International journal for traffic & transport engineering*, 2013, 3(1): 16–33.
- [13] ARSHAD S, HUSSAIN I, ANWAR M, et al. Habitat survey for recognizing bird attractants around Benazir Bhutto International Airport [J]. *Pakistan journal of agricultural research*, 2015, 28(3): 263–271.
- [14] 杨刚, 王勇, 许浩, 等. 城市公园生境类型对鸟类群落的影响[J]. *生态学报*, 2015, 35(12): 4186–4195.
- [15] ALLAN J, BAXTER A, CALLABY R. The impact of variation in reporting practices on the validity of recommended birdstrike risk assessment processes for aerodromes [J]. *Journal of air transport management*, 2016, 57: 101–106.
- [16] LAU J A, STRAUSS S Y. Insect herbivores drive important indirect effects of exotic plants on native communities [J]. *Ecology*, 2005, 86(11): 2990–2997.
- [17] HINZ H L, SCHWARZLAENDER M. Comparing invasive plants from their native and exotic range: What can we learn for biological control [J]. *Weed technology*, 2004, 18: 1533–1541.