



孔德崴,牛若超,毛彦芝,等.植物内生菌活性代谢物研究进展[J].黑龙江农业科学,2019(12):151-154.

# 植物内生菌活性代谢物研究进展

孔德崴,牛若超,毛彦芝,刘玲玲

(黑龙江省农业科学院 克山分院,黑龙江 克山 161606)

**摘要:**植物内生菌是指其生活史的部分或全部阶段存在于植物的各种器官、组织以及细胞间隙内,同时宿主植物一般不表现出外在感染症状的一类微生物,包括内生真菌、内生细菌和内生放线菌。据报道,植物内生菌活性代谢物具有抗菌、抗肿瘤、抗病毒、抗氧化等多种活性。本文对近年来植物内生菌在活性代谢物研究方面取得的进展进行简要概述,为科研人员对植物内生菌的进一步研究提供参考。

**关键词:**植物内生菌;活性代谢物;生物活性

植物内生菌的研究始于 1898 年,科学家 Vogl 从黑麦草的种子内分离获得了第一株内生真菌<sup>[1]</sup>,而对药用植物内生菌的研究则是在 1993 年 Stierle 首次从短叶红豆杉(*Taxus brevifolia* Nutt)的韧皮部中获得一株产抗癌物质紫杉醇的内生真菌(*Taxomyces andreanae*)开始的<sup>[2]</sup>。这一发现对学术界造成巨大影响,此后,许多学者纷纷投入到对植物内生菌的研究。植物内生菌种类繁多,是一个庞大的微生物类群,分布于不同寄主植物的不同部位,因此能产生多种不同的代谢产物。植物内生菌的次生代谢产物作用颇多。首先,植物内生菌的次生代谢产物能够有效地刺激宿主植物生长、发育,同时还可促使植物本身抵抗非生物胁迫及生物胁迫能力的提高<sup>[3]</sup>。除此之外,植物内生菌次生代谢产物还具有抗菌、抗肿瘤、抗病毒、抗氧化、杀虫、免疫抑制和降糖等活性<sup>[4]</sup>。据统计,在次生代谢产物中已知结构化合物占比 49%,新型活性代谢物的比例达 51%<sup>[5]</sup>,这一比例远远超过从土壤微生物获得新型活性化合物的比例(38%),被视为新型生物活性物质的重要来源。

本文对近些年对植物内生菌活性代谢物的研究加以总结,包括与宿主植物相同、相似的活性化合物及一些具有特殊活性的全新化合物的研究进展,为研究者进行相关科研试验提供参考。

## 1 与宿主相同活性代谢物的研究进展

据报道,多数植物特别是药用植物的内生菌能够产生与宿主植物相同、相似的药用生物活性化合物或活性前体物质外<sup>[6]</sup>,有些内生真菌还能够促使宿主药用植物有效活性成分的合成<sup>[7]</sup>,这

一突破性发现为生产与天然药物有效活性成分相同的物质提供新的思路<sup>[8]</sup>,与此同时解决了某些天然植物生长缓慢或者由于人为的大量采挖导致的资源紧缺和生态破坏问题。

Zhang 等<sup>[9]</sup>从连翘(*Forsythia suspensa*)中分离出一株能够产与宿主药效成分相同的活性化合物连翘苷的内生真菌 G10;Xia 等<sup>[10]</sup>从药用植物掌叶大黄(*Rheum palmatum* L.)中获得一株产大黄酸的内生真菌 R13;Cui 等<sup>[11]</sup>从银杏(*Ginkgo biloba* L.)根部分离出 27 株内生真菌,其中一株为产银杏内酯的内生真菌;Yin 等<sup>[12]</sup>从药用植物长春花(*Vinca minor*)中分离得到一株可产长春蔓胺的内生真菌;Chithra 等<sup>[13]</sup>从植物胡椒的茎部分离到内生真菌 *Colletotrichum gloeosporioides*,可产生具有抗菌、抗氧化功能的胡椒碱;徐慧超等<sup>[14]</sup>从药用植物甘草的根部分离获得一株可产与宿主植物甘草相同的有效成分甘草次酸的内生真菌轮枝孢属大丽轮枝菌(*Verticillium dahlia*)RE7;翟李欣等<sup>[15]</sup>从东北地区的膜荚黄芪(*Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bge.) (北芪)分离获得 2 株可产与北芪生药相同活性成分芒柄花素得内生细菌 HX8、HX14;Miao G 等<sup>[16]</sup>从药用植物雷公藤(*Tripterygium wilfordii* Hook. f.)中分离获得一株产与宿主植物相同活性成分雷公藤精碱的内生菌链霉菌(*Streptomyces* sp.)F4-20。

长期以来,从植物中提取获得天然产物是目前药品原料及食品加工的主要来源之一。但是,植物内生菌随着近年市场需求量的逐步扩大,以及对天然植物的乱采乱伐现象日益严重,加之植物的生长周期较长,有些稀有的植物现已经濒临灭绝,使得从植物中获得天然产物更加困难,天然产物的工业化生产困难逐年递增。由于植物内生菌可分泌产生和宿主植物相同、相似活性物质,同时内生菌具有繁殖周期短、生长速度快、易于工业

收稿日期:2019-07-15

第一作者简介:孔德崴(1989-),女,硕士,研究实习员,从事植物内生菌开发利用研究。E-mail: kongdewei\_521@163.com。

化生产等特点,因此,通过利用植物内生菌发酵培养提取活性代谢物的方法为获得宿主植物的天然产物提供了一条新的途径,在农业、医药及其他产业上应用前景广阔<sup>[17]</sup>。

## 2 新型活性代谢物的研究进展

### 2.1 抑菌活性代谢物

植物内生菌的研究近些年发展迅速,已从人参、乌头、金银花、枸杞、石斛、黄花蒿及玉米等植物中分离获得一批具有抑菌活性的内生菌<sup>[18-22]</sup>。实验证明,药用植物内生真菌、细菌及内生放线菌在某种程度上都有一定的抑菌活性,3种内生菌作为筛选拮抗植物病原菌的重要资源有着举足轻重的地位<sup>[23]</sup>。

Zilla 等<sup>[24]</sup>从植物毛野牡丹藤(*Clidemia hirta*)中分离获得可产生两种有抑菌作用化合物的内生菌 *Cryptosporiopsis* sp.; Siriwach 等<sup>[25]</sup>从泰国药用植物蠕藻中获得一株产新的抗真菌活性代谢产物 bipolamide B 的内生真菌 MU349;李乐溪等<sup>[26]</sup>从 10 种大蒜鳞茎中共分离得到大蒜内生菌 102 株,现其中有 19 株内生菌对至少 5 种病原真菌有拮抗作用,菌株 KLBMPGC 90 的拮抗性最强,对白腐小核菌的抑菌率达到 90.24%;施蕊等<sup>[27]</sup>从滇重楼块茎中分离获得内生真菌多达 98 株,其中有 8 株内生真菌对立枯丝核菌、尖孢镰刀菌和烟草黑胫病菌 3 种植物病原菌有一定的抑制作用;柴晓蕾等<sup>[28]</sup>从海南特有药用植物华石斛(*Dendrobium sinense*)野生植株中分离内生真菌 179 株,其中,YT-2-2 拟盘多毛孢属和 JP-3-4 蓝状菌属菌株对供试真菌具有较强且广谱的抑制作用;王瑞飞等<sup>[29]</sup>从药用植物怀地黄的根中分离出 32 株内生细菌,有 2 株细菌 DH-10 和 DH-11 具有较强的抗菌活性,具备生防菌开发潜力;LI 等<sup>[30]</sup>从苦楝树皮中分离获得一株能够产对植物病原真菌(灰霉病、早疫病菌、链格孢、炭疽病菌、茄病镰刀菌、枯萎病菌等)有抗真菌活性新型生物碱的内生真菌烟曲霉 LN-4;Wang 等<sup>[31]</sup>从药用植物温郁金中分离一株内生真菌 L18,其次生代谢产物新化合物 chaetoglobosin X(20)对玉米大斑病病原菌、黄瓜枯萎病病原菌、弯孢霉有较抑菌活性;Arora 等<sup>[32]</sup>从甘草属植物中分离一株茎点霉菌 *Phoma* sp. GG1F1,该菌株可产抑制病原体生物膜形成的硫代二酮哌嗪类化合物;Cao 等<sup>[33]</sup>从药用植物银杏(*Ginkgo biloba*)中分离获得抑制多节孢菌 *Nodulisporium* sp. A21,该菌株可产化合物 Sporothriolide 抑制稻瘟病菌,可作为植物抗菌剂使用。

### 2.2 抗肿瘤活性代谢物

据报道,植物内生菌发酵产物经过乙酸乙酯

或者甲醇提取,其提取物均能显示出一定的生物学活性,而经过分离纯化获得的单体化合物也显示出一定生物学活性<sup>[34]</sup>,而抗肿瘤活性作为医学研究的重要部分也备受广大学者的关注。

Gallo 等<sup>[35]</sup>从雪莲果中分离获得一株能够产极强的抗肿瘤活性化合物的内生菌 *Nigrospora sphaerica*;El-Hawary 等<sup>[36]</sup>从药用植物龙葵中分离获得一株能够产具有细胞毒活性的化合物 Solamargine 的内生菌黄曲霉 *Aspergillus flavus* SNFSt;陈传文研究小组<sup>[37]</sup>从植物长春花中获得两株放线菌 PA09006 和 PA09009,这两株内生菌都能产生具有抗肿瘤活性化合物;Yan 等<sup>[38]</sup>从植物温玉金(*Curcuma wenyujin*)分离一株产抗肿瘤活性成分姜黄素的内生真菌 M7226;陈子涵等<sup>[39]</sup>从茅苍术植株中获得一株内生真菌 KLM-PAL027,该菌株的发酵液对人肝癌细胞 HepG2 细胞具有很好的抑制效果;王伟等<sup>[40]</sup>从络石(*Trachelospermum jasminoides*)内生的露湿漆斑菌属真菌 *Myrothecium roridum* (IFB-E009)液体发酵产物中获得对 SW1116(人结肠癌细胞株)具有抑制作用单端孢霉烯类化合物 1、4;Conti 等<sup>[41]</sup>从巴西药用植物(*Lychnophora ericoides* NART.)中分离一株链霉菌 *Streptomyces* sp. RL8,该菌株可产生具有抗肿瘤活性的化合物 2,3-dihydro-2,2-dimethyl-4(1H)-quinazolinone。

### 2.3 抗氧化活性代谢物

抗氧化是预防衰老的重要途径。对于一些由于自身自由基引起的老化相关疾病,如果能够消除过多的氧化自由基达到预防相关疾病,意义是相当重要的。这也使得抗氧化活性在科学界有关生物学活性研究中备受关注<sup>[42]</sup>,目前研究较多的主要是内生真菌和内生放线菌。

Harper 等<sup>[43]</sup>从植物 *Terminalia marobensis* 中分离得到一株能够产强抗氧化活性的代谢物 Pestacin 和 Isopestacin 的内生真菌 *Pestalotiopsis microspora*;宋新月等<sup>[44]</sup>从竹叶兰中分离得到 2 株具有较强的抗氧化作用菌株 BSSF-2 及 YN-LF-1(其中对 DPPH 自由基的清除率 $\geq 80\%$ );阎雪芬等<sup>[45]</sup>从红树林中分离获得产生抗氧化活性物质的内生真菌;杜晓宁等<sup>[46]</sup>从宁夏枸杞获得产较强抗氧化活性化合物的内生真菌 fL6 和 fL9;熊党生<sup>[47]</sup>从植物葛根中分离获得 2 株产抗氧化活性次生代谢产物的内生菌 S1 和 S2;谢辉等<sup>[48]</sup>从植物杜仲(*Eucommia ulmoides*)叶片中分离获得一株可产抗氧化活性化合物的植物内生真菌 No. 173;Zhao 等<sup>[49]</sup>从植物 pigeon pea 新鲜根部中分离获得一株可产抗氧化活性代谢物的内生真菌 MD-R-1;Zheng 等<sup>[50]</sup>从植物黄花蒿(*Artemis-*

*ia annua* L.)中分离获得一株产胞外多糖的内生菌蜡芽孢杆菌 *Bacillus cereus* SZ-1,其产物中超过 50%的胞外多糖可以清除 DPPH 自由基。

## 2.4 其他活性代谢物

徐海燕等<sup>[51]</sup>从枸杞植株根、茎、叶中共分离得到 10 株内生菌,并从中筛选出一株产纤维素酶的菌株 GQP-3;Chen 等<sup>[52]</sup>从龙葵(*Solanum nigrum* L.)中分离获得一株能够产生表面活性剂的内生菌 *Pseudomonas* sp. Lk9;Salituro 研究小组<sup>[53]</sup>从非洲刚果热带植物中分离获得一株内生菌,该菌株能够分泌小分子化合物,其结构类似胰岛素;李振东等<sup>[54]</sup>从植物珠芽蓼植株中分离获得一株能够分泌植物生长素(IAA)的内生细菌 Z5;杨鑫等<sup>[55]</sup>从花生植株根部分离得到一株能够显著促进花生生长,提高花生叶和根中的 SOD、CAT 酶活力的内生细菌 YX-1;Song 等<sup>[56]</sup>从植物刺齿合叶苔中分离获得一株产具有免疫抑制作用的新型化合物的内生菌 *Aspergillus sydowii*;Ali L 等<sup>[57]</sup>从植物劲端兹亚(*Rhazya stricta*)获得一株产具有中度抗脂质过氧化作用和脲酶活性的化合物 BZR-cotoxin I 和 IV 的内生菌小麦根腐菌 *Bipolaris sorokiniana* LK12。

## 3 展望

地球上的植物种类繁多,总量约有 27 万种之多,以从每种植物中分离获得 4~5 种特有的植物内生菌计算,可分离获得内生菌的数量将超过 100 万种<sup>[1]</sup>,由此可见,地球是一个巨大的植物内生菌银行,可以开发利用的空间巨大。

植物内生菌作为一个巨大的新的微生物资源,由于内生菌代谢产物中活性成分特别丰富,同时内生菌一下微生物共有的一些特点,例如易于控制和培养、生长周期短、代谢能力强且不受地域和季节限制等,因此,可以通过控制发酵条件、优化菌株等方法大幅度的提高有效活性成分的产出量,可见,利用植物内生菌获得有效活性物质来替代对宿主植物自身的利用,能够打破某些植物资源生长周期长或不可再生等制约性的因素,可成为获得有效活性物质的一种新的手段,具有极大的应用价值和开发潜力。对于整个社会而言,也具有很高的经济效益和生态效益。

## 参考文献:

- [1] 华永丽,欧阳少林,陈美兰.药用植物内生真菌研究进展[J].世界科学技术——中医药现代化,2008,10(4): 105-111.
- [2] Stierle A, Strobel G, Stierle D. Taxol and taxane production by *Taxomyces andreanae*, an endophytic fungus of Pacific yew[J]. Science, 1993, 260(5105): 214-216.
- [3] 黎鹏,黎娟,屠乃美,等.外源耐镉菌对水稻镉吸收和积累及内生细菌群落结构的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2019,45(2): 124-130.

- [4] 靳锦,赵庆,张晓梅,等.植物内生菌活性代谢产物最新研究进展[J].微生物学杂志,2018,38(3): 103-113.
- [5] Strobel G A. Endophytes as sources of bioactive product[J]. Microbes Infect, 2003, 5: 535-544.
- [6] 王贵生,陆娟,唐娟,等.1株毫菊内生菌的分离鉴定及其生物活性分析[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2019,47(4): 138-154.
- [7] 张祺玲,杨宇红,谭周进,等.植物内生菌的功能研究进展[J].生物技术通报,2010(7): 29-34.
- [8] 孔德崑.甘草内生真菌 RP4 活性代谢物研究[D].哈尔滨:黑龙江大学,2014.
- [9] Zhang Q M. Phillyrin produced by *Colletotrichum gloeosporioides*, an endophytic fungus isolated from *Forsythia suspensa*[J]. Fitoterapia, 2012(83): 1500-1505.
- [10] Xia Y, Su F, Luo S L, et al. Studies on a rhein-producing endophytic fungus isolated from *Rheum palmatum* L. [J]. Fitoterapia, 2013(85): 161-168.
- [11] Cui Y N, Yi D W, Bai X F, et al. Ginkgolide B produced endophytic fungus (*Fusarium oxysporum*) isolated from *Ginkgo biloba*[J]. Fitoterapia, 2012(83): 913-920.
- [12] Yin H, Yu-Hong Sun. Vincamine-producing endophytic fungus isolated from *Vinca minor*[J]. Phytomedicine, 2011(18): 802-805.
- [13] Chithra S, Jasim B, Sachidanandan P, et al. Piperine production by endophytic fungus *Colletotrichum gloeosporioides* isolated from *Piper nigrum*[J]. Phytomedicine, 2013, 129: 375-362.
- [14] 徐慧超,孙婷媛,翟李欣,等.产甘草次酸内生真菌 RE7 的鉴定及抑菌活性研究[J].中国新药杂志,2016,25(1): 102-117.
- [15] 翟李欣,徐慧超,郑春英,等.东北膜荚黄芪内生菌的分离及其活性代谢物分析[J].中国食品学报,2019,19(3): 299-305.
- [16] Miao G, Zhu C, Feng J, et al. Effects of plant stress signal molecules on the production of Wilforgine in an endophytic actinomycete isolated from *Tripterygium wilfordii*, Hook. f [J]. Current Microbiology, 2015, 70(4): 571-579.
- [17] Golinska P, Wypij M, Agarkar G, et al. Endophytic actinobacteria of medicinal plants: diversity and bioactivity[J]. Antonie van Leeuw, 2015, 108(2): 267-289.
- [18] 刘国丽,王娜,龚娜,等.干旱胁迫下植物内生菌提取物对玉米萌芽期抗旱性的影响[J].山东农业科学,2015,47(10): 39-41.
- [19] 杜晓宁,徐惠娟,黄盼盼,等.宁夏枸杞内生菌的多样性及其抑菌活性研究[J].微生物学通报,2015,42(9): 1779-1787.
- [20] 李治滢,杨丽源,李绍兰,等.滇南黄草乌内生真菌抗菌活性的筛选[J].时珍国医国药,2009,20(5): 1027-1029.
- [21] Li J, Zhao G Z, Huang H Y, et al. Isolation and characterization of culturable endophytic actinobacteria associated with *Artemisia annua* L. [J]. Antonie Van Leeuwenhoek, 2012, 101(3): 515-527.
- [22] 卢占慧,周如军,袁月,等.人参内生拮抗细菌分离、鉴定及其对人参菌核病抑菌作用研究[J].中国植保导刊,2016,36(3): 5-10.
- [23] 李军,李白,高广春.药用植物内生菌抑菌作用研究进展[J].浙江农业科学,2017,58(11): 1989-1992,1996.
- [24] Mahesh K Z, Masroor Q, Panthania A S, et al. Bioactive metabolites from an endophytic *Cryptosporiopsis* sp. inhabiting *Clidemia hirta* [J]. Phytochemistry, 2013, 95: 291-297.
- [25] Siruwach R, Kinoshita H, Kitani S, et al. Bipolamides A

- and B, triene amides isolated from the endophytic fungus *Bipolaris* sp MU34 [J]. *Antibiot*, 2014, 67(2): 167-170.
- [26] 李乐溪, 李丹, 张亮, 等. 大蒜内生菌的分离及拮抗菌株的筛选与鉴定[J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(5): 97-101.
- [27] 施蕊, 王娟, 叶敏, 等. 滇重楼内生菌分离及其发酵液抑菌活性[J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(6): 86-88.
- [28] 柴晓蕾, 宋希强, 朱婕. 华石斛内生真菌组织分布特点及其抑菌活性[J]. *热带作物学报*, 2018, 39(1): 137-144.
- [29] 王瑞飞, 康春晓, 许圆圆, 等. 怀地黄内生细菌的分离鉴定及抗菌活性[J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(13): 82-86.
- [30] Li X J, Zhang Q, Zhang A L, et al. Metabolites from *Aspergillus fumigatus*, an endophytic fungus associated with *Melia azedarach*, and their antifungal, antifeedant, and toxic activities [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, 60(13): 3424-3431.
- [31] Wang Y H, Xu L, Ren W M, et al. Bioactive metabolites from *Chaetomium globosum* L18, an endophytic fungus in the medicinal plant *Curcuma wenyujin* [J]. *Phytomedicine*, 2012, 15(19): 364-368.
- [32] Arora P, Wani Z, Nalli Y, et al. Antimicrobial potential of thiodiketopiperazine derivatives produced by *Phoma* sp. an endophyte of *Glycyrrhiza glabra* Linn. [J]. *Microbial Ecology*, 2016, 72(1): 1-11.
- [33] Cao L, Zhang Y, Liu Y, et al. Anti-phytopathogenic activity of sporothriolide, a metabolite from endophyte *Nodulisporium* sp. A21 in *Ginkgo biloba* [J]. *Pesticide Biochemistry & Physiology*, 2016, 129: 7-13.
- [34] 靳锦, 赵庆, 张晓梅, 等. 植物内生菌活性代谢产物最新研究进展[J]. *微生物学杂志*, 2016, 38(3): 103-113.
- [35] Gallo M B, Chagas F O, Almeida M O, et al. Endophytic fungi found in association with *Smilax sonchifolioides* (Asteraceae) as resourceful producers of cytotoxic bioactive natural products[J]. *Basic Microbiology*, 2009, 49(2): 142-151.
- [36] El-Hawary S, Mohammed R, Abouzid S, et al. Solamargine production by a fungal endophyte of *Solanum nigrum* [J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2016, 120(4): 900-910.
- [37] 陈传文, 孙前光, 朱军, 等. 三种药用植物内生菌的分离及其抗肿瘤活性菌株的筛选[J]. *微生物学通报*, 2010, 37(10): 1462-1466.
- [38] Yan J, Qi N, Wang S, et al. Characterization of Secondary Metabolites of an Endophytic Fungus from *Curcuma wenyujin* [J]. *Current Microbiology*, 2014, 69(5): 740-744.
- [39] 陈子涵, 薛玲伟, 袁博, 等. 茅苍术内生真菌的分离及抗肿瘤细胞活性筛选[J]. *生物资源*, 2017, 39(1): 58-61.
- [40] 王伟, 姜荣. 络石内生真菌 *Myrothecium roridum* (IFB-E009) 次生代谢产物的研究[J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(30): 14663-14667.
- [41] Conti R, Chagas F, Cavalcanti B, et al. Endophytic actinobacteria from the Brazilian medicinal plant *Lychnophora ericoides* Mart. and the biological potential of their secondary metabolites [J]. *Chemistry & Biodiversity*, 2016, 13(6): 727-736.
- [42] 陈金阳, 陆儒涵, 王玲, 等. 药用植物内生菌抗氧化活性研究进展[J]. *中草药*, 2016, 47(20): 3720-3727.
- [43] Harper J K, Ford E J, Strovel GA. Pestacin: a 1'-dihydro isobenzofuran from *Pestalotiopsis microspora* possessing antioxidant and antimycotic activities [J]. *Tetrahedron*, 2003, 59: 2471-2476.
- [44] 宋新月, 汤冰雪, 邱君志, 等. 竹叶兰内生真菌的分离鉴定及其抗氧化活性研究[J]. *现代食品科技*, 2018, 34(2): 82-88.
- [45] 阎雪芬, 黄丹虹, 代宇博, 等. 海洋真菌抗氧化活性物质的初步研究[J]. *厦门大学学报*, 2007, 46(3): 418-421.
- [46] 杜晓宁, 代金霞. 宁夏枸杞内生菌抗氧化活性菌株的筛选与鉴定[J]. *中国中药杂志*, 2015, 40(20): 3941-3944.
- [47] 熊党生. 葛根内生菌的分离及其发酵产物抗氧化活性的初步研究[J]. *化工时刊*, 2012, 26(1): 27-29.
- [48] 谢辉, 李莉, 吴鸣谦, 等. 1 株杜仲内生真菌的抗氧化活性分析和菌种鉴定[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(1): 230-232.
- [49] Zhao J T, Ma D H, Luo M, et al. *In vitro* antioxidant activities and antioxidant enzyme activities in HepG2 cells and main active compounds of endophytic fungus from *Pigeon pea* [J]. *Food Research International*, 2014, 56: 243-251.
- [50] Zheng L P, Zou T, Ma Y J, et al. Antioxidant and DNA damage protecting activity of exopolysaccharides from the endophytic bacterium *Bacillus cereus* SZ-1 [J]. *Molecules*, 2016, doi: 10.3390/molecules21020174.
- [51] 徐海燕, 辛国芹, 陈梅楠, 等. 一株产纤维素酶枸杞内生菌的分离鉴定[J]. *江西农业学报*, 2013, 25(4): 38-42.
- [52] Chen L, Luo S L, Li X J, et al. Interaction of Cd-hyperaccumulator *Solanum nigrum* L. and functional endophyte *Pseudomonas* sp. Lk9 on soil heavy metals uptake [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2014, 68: 300-308.
- [53] Salituro G M, Pelaez F, Zhang B. Discovery of a small molecule insulin receptor activator [J]. *Recent Progress in Hormone Research*, 2001, 56: 107-126.
- [54] 李振东, 陈秀蓉, 李鹏, 等. 珠芽蓼内生菌 Z5 产 IAA 和抑菌能力测定及其鉴定[J]. *草业学报*, 2010, 19(2): 61-68.
- [55] 杨鑫, 杜全能, 齐文武, 等. 花生内生菌的分离及促生长作用初步研究[J]. *花生学报*, 2018, 47(3): 19-25.
- [56] Song X Q, Zhang X, Han Q J, et al. Xanthone derivatives from *Aspergillus sydowii*, an endophytic fungus from the liverwort *Scapania ciliata* S. Lac and their immunosuppressive activities [J]. *Phytochemistry Letters*, 2013(6): 318-321.
- [57] Ali L, Khan A L, Hussain J, et al. Sorokinol: a new enzymes inhibitory metabolite from fungal endophyte *Bipolaris sorokiniana* LK12 [J]. *BMC Microbiology*, 2016, 103(16): 1-9.

## Research Progress on Active Metabolites of Endophytes

KONG De-wei, NIU Rou-chao, MAO Yan-zhi, LIU Ling-ling

(Keshan Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Keshan 161606, China)

**Abstract:** Endophytic bacteria refer to a group of microorganisms that exist in various organs, tissues and intercellular spaces of plants for part or all of their life cycle, while host plants generally do not show external infection symptoms, including endophytic fungi, endophytic bacteria and endophytic actinomycetes. It is reported that the metabolites of endophytic bacteria have antibacterial, anti-tumor, anti-virus and anti-oxidation activities. In this paper, the progress of endophytic bacteria in the study of active metabolites was briefly summarized in recent years, which provided a reference for researchers to further study endophytic bacteria.

**Keywords:** endophytes; active metabolites; bioactivities