

doi:10.11937/bfyy.20163646

药用植物内生真菌的研究进展

赵 欢

(西华师范大学 生命科学院/西南野生动植物资源保护省部共建教育部重点实验室,四川 南充 637009)

摘 要:药用植物内生真菌资源丰富,通过与药用植物的“协同进化”,可产生与宿主植物相同或相似的次生代谢产物。药用植物内生真菌可产生丰富多样的次生代谢产物,具有抗肿瘤、抗氧化、抗菌、抗病毒、促进植物生长和促进药用植物的次生代谢产物合成等作用。该研究对近5年来药用植物内生真菌研究的主要内容及研究现状进行了综述,并对该研究领域存在的若干问题进行了探讨,以期对药用植物内生真菌的研究提供参考依据。

关键词:药用植物;内生真菌;分离鉴定;次生代谢产物;生物学活性

中图分类号:R 282.71 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)13-0170-06

植物内生真菌指那些在其生活史的一定阶段或全部阶段生活于健康植物内,被感染的宿主植物(至少暂时)不表现出外在病症的一类真菌^[1-2]。其主要位于植物体的根、茎、叶、花、果实和种子等器官、组织的细胞或细胞间隙,具有丰富的生物多样性^[3]。已有的研究表明,通过长期的协同进化,

某些药用植物内生真菌可合成与宿主植物相同或相似的活性物质^[4]。对药用植物内生真菌及其次生代谢产物进行开发利用,可缓解药用植物资源匮乏、栽培药材品质下降等问题,具有重大的经济价值。现总结了近5年来药用植物资源内生真菌的分离鉴定、类群多样性、次级代谢产物分离纯化及生物学活性等方面的研究,以期对研究药用植物内生真菌提供参考依据。

作者简介:赵欢(1982-),女,四川雅安人,博士,讲师,现主要从事药用植物内生菌资源的开发与利用等研究工作。
E-mail:zhaohuan_2010@163.com.

基金项目:西华师范大学博士启动基金资助项目(15E025);四川省教育厅重大培育资助项目(15CZ0015)。

收稿日期:2017-02-16

1 药用植物内生真菌的分离鉴定

1.1 表面消毒

药用植物内生真菌的分离方法有组织表面消

Advances in miRNA Research Related to Mycorrhizal Symbiosis

BAI Long¹, LI Lili², YANG Hongyi¹

(1. College of Life Sciences, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040; 2. Forestry Research Institute of Heilongjiang Province, Harbin, Heilongjiang 150081)

Abstract: Mycorrhizal symbiosis is a strange biological phenomenon in the process of long-term co-evolution between plants and fungi, it promotes the plants' growth and enhances the resistance of plants. MicroRNA(miRNA) plays an important role in mycorrhizal symbiosis. This study reviewed the latest advances in mycorrhizal symbiosis-related miRNA's research, to provide new idea for deep understand to function of miRNA related to mycorrhizal symbiosis.

Keywords: mycorrhiza; symbiosis; miRNA

毒法、真空提取法、压力提取法等,其中最常用的是组织表面消毒法。植物组织块表面消毒通常包括以下步骤:1)用自来水洗掉宿主植物组织上黏附的泥土颗粒、微生物或其它可溶性杂物;2)表面消毒去除宿主植物表面的微生物:常用的消毒剂有升汞、二氧化氯、高锰酸钾、次氯酸钠、乙醇和双氧水,而消毒剂的联合使用可提高消毒效果;3)无菌条件下用灭菌的 ddH₂O 冲洗数次;4)表面消毒的无菌检查,常见的方法有组织印迹法、漂洗液检验法和组织浸渍法^[5]。

何佳等^[6]的研究表明,高浓度杀菌剂短时间处理比低浓度杀菌剂长时间处理更适合植物内生真菌的分离;同时设置超净工作台无菌状态检测对照、漂洗液无菌检测对照和组织印迹无菌检测可确保植物内生真菌分离的准确性。李晓红等^[7]研究表明,二氧化氯表面消毒更适合进行内生菌多样性研究,但不同的表面消毒方法会获得不同的机会菌株。

1.2 分离培养基

分离药用植物内生真菌的培养基主要有马铃薯葡萄糖培养基(PDA 培养基)、Czapek 培养基、马丁氏培养基、沙堡氏培养基(SBS 培养基)、可溶性淀粉培养基、YEGA 培养基、CM 培养基、SNA 培养基等,以 PDA 培养基和 Czapek 培养基最为常见,加入 100 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 硫酸链霉素或(和)100 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 氨苄青霉素等抗生素可有效抑制细菌的生长。此外,为提高分离内生真菌种类和数量的多样性,常在不同培养基上培养同一植物组织。

1.3 内生真菌的鉴定

内生真菌的鉴定方法主要有 2 种:1)形态学方法。根据群体和个体形态特点进行归类与鉴定,肉眼观察菌落大小、颜色、表面特征、质地和生长速度等,光学显微镜或电子扫描电镜观察个体形态的菌丝、子实体、孢子和产孢结构等特征,然后根据真菌鉴定手册及已报道的参考文献进行归类;2)分子生物学方法。对于不产孢、生长条件特殊或形态相似的真菌,则主要采用 ITS 区序列、LSU 基因等分析等进行鉴定^[5]。此外,DNA 测序技术结合变性梯度凝胶电泳(PCR-DGGE)也开始逐步应用于内生真菌的鉴定中,王海等^[8]采用 PCR-DGGE 和 DNA 测序技术,研究了四川 5

个不同产区川芎内生真菌菌群组成。丁小丽等^[9]采用 DGGE 技术和高效液相色谱法研究了丹参叶片内生真菌群落结构与有效成分积累规律。

2 药用植物内生真菌的生物多样性

药用植物内生真菌的数量和种类上具有多样性。不同种类的药用植物中,分离的内生真菌数量不同,其大多隶属于子囊菌亚门。此外,就同一种药用植物而言,由于地域海拔、空气湿度、植株高度、气候条件等环境因素的不同,内生真菌的种群结构也存在显著差异^[10]。贾敏等^[11]比较了浙江天目山地区和建德地区及天目山地区雌雄株银杏的内生真菌种群结构,结果发现,建德地区银杏内生真菌在种类和数量上均少于天目山地区;天目山地区雌雄株银杏的菌种种类和数量均存在差异,雄株银杏内生真菌在菌种数量上具有一定的优势。王茜等^[12]研究表明,不同产地、不同部位的滇重楼内生真菌的差异性可能与其生境、组织结构及成分等因素有关。段海婧等^[13]研究了采自陕西和宁夏野生牛心朴子的内生真菌种类,结果发现,荒漠植物牛心朴子内生真菌具有多样性,不同地理环境的牛心朴子内生真菌的数量和种群组成上存在明显差异;宁夏牛心朴子的内生真菌主要分布于叶,陕西牛心朴子的内生真菌分布于茎和叶中。此外,药用植物的不同组织中内生真菌的种类组成、分布和数量不同,某些内生真菌具有一定的宿主和组织偏好性。高晓霞等^[14]研究了假鹰爪茎、叶中内生真菌的分布,研究表明,假鹰爪茎中的内生真菌主要分布在韧皮部薄壁细胞,叶中主要分布主脉上方厚角细胞以内的薄壁细胞、栅栏组织、海绵组织。周仁超等^[15]采用 T-RFLP 免培养技术检测了南药植物高良姜植株根、根茎、茎、叶等组织总共检的 T-RFs,结果发现,高良姜内生真菌群体有 28 个不同的真菌种(28 个不同的 T-RFs 片段);不同组织的 T-RFLP 图谱、T-RFs 数目和优势 T-RFs 组成不同,说明高良姜免培养内生真菌种群具有一定的组织专一性和组织喜好性。

3 药用植物内生真菌的次生代谢产物

3.1 发酵

药用植物内生真菌的发酵方式主要分为固态

发酵和液态发酵,其主要取决于菌种特性、发酵产量、产物特点、成本核算等因素。王维等^[16]、李婷等^[17]采用米饭培养基分别对黑果枸杞根部的内生真菌 *Irpex lacteus* 和 *Aspergillus tubingensis* 进行固体发酵培养,并分别从其发酵产物中分离得到 4 个和 6 个化合物。

刘学周等^[18]对采用 PD 液体培养基对吉林产西洋参内生真菌 *Penicillium citreonigrum* 进行液体发酵培养,其发酵初提液对锈腐病菌 *Cylindrocarpon destructan* 和黑斑病菌 *Alternaria panax* 的抑菌效果显著。此外,研究学者还对发酵培养条件进行了优化。徐洲等^[19]采用单因子试验设计方法研究了岩桂内生真菌 *Alternaria* LJX27 内生真菌对黄樟素产量的影响,并通过二次通用旋转组合设计和响应面法优化黄樟素发酵工艺参数。乔广军等^[20]采用不同的培养基、培养温度、初始 pH、摇床转速、培养时间对曼地亚红豆杉内生真菌进行组合优化培养,确定了最佳发酵培养条件。

3.2 次生代谢产物的多样性

药用内生真菌的次生代谢产物具有合成途径、结构特性和活性多样性,主要包括萜类、生物碱类、类固醇、氧杂蒽酮、皂苷类、香豆素类、苯丙素类、多糖类、甾体类、黄酮类和蛋白质类化合物,此外,还包括一些挥发性物质、脂类、有机酸和酶等。

目前,可采用双缩脲反应、茚三酮反应检测发酵产物中氨基酸、肽类及蛋白质类化合物;采用 α -萘酚试验、菲林试验、碘试验及香草醛-酸检测多糖类化合物;采用碘化铋钾反应、硅钨酸反应、碘化汞钾反应检测发酵液中生物碱类化合物;采用泡沫反应、三氯乙酸反应、醋酐-浓硫酸检测发酵液中皂苷类化合物;采用盐酸-镁粉反应、三氯化铝反应检测发酵液中黄酮类化合物;异羟肟酸铁反应、荧光反应检测发酵液中的香豆素类化合物;采用 Salkowski 反应、Rosen-Heimer 反应检测发酵液中甾体三萜类化合物。

由于药用植物内生真菌的次生代谢产物多种多样,如何筛选新的活性物质,已成为微生物天然药物研究的热点之一。基因筛选(sequence-guided genetic screening)是指将特定基因作为筛选标记,在基因水平上评估微生物产生某种代谢

物的可能性及其产生生物活性物质的潜力^[21]。药用植物内生菌的次生代谢产物筛选的主要靶标基因为:聚酮合酶(polyketide synthase, PKS)基因、非核糖体多肽合成酶(non-ribosomal peptide synthase, NRPS)、卤化酶基因、糖肽类抗生素合成关键酶 P450 单加氧酶基因(*oxyB*)、安莎类抗生素 3,5-AHBA 合成酶基因(*rifK*)等,其中以 PKS 和 NRPS 基因为主要的筛选标记^[22-24]。目前,对药物植物内生真菌的 NRPS 和 PKS 基因研究相对较少,仅在川楝内生真菌中报道^[25]。

4 活性研究

药用植物内生真菌可产生丰富多样的生物活性物质,具有抗肿瘤、抗氧化、抗菌、促进植物生长和促进药用植物的次生代谢产物合成等作用。

4.1 抗癌方面

杨明俊等^[26]采用 MTT 法对水仙根茎中 18 株内生真菌菌株发酵液的进行抑菌和抗肿瘤活性检测,结果表明,18 株内生真菌菌株发酵液的醋酸乙酯提取物均对人肝癌细胞 HepG2 细胞有抑制作用。汪友明等^[27]从黄山地区红豆杉中分离筛选出 1 株产紫杉醇的内生真菌 *Aspergillus* HQ-24,其代谢物对中国仓鼠卵巢 CHO 细胞的抑制率为 71.28%。王家明等^[28]从昆明山海棠的根和茎中分离了 37 株内生真菌,MTT 法鉴定表明,其中 3 株内生真菌的发酵产物对不同肿瘤细胞具有选择性细胞毒作用。孙新城等^[29]采用 MTT 法研究了蒲公英内生真菌 PG23 发酵液多糖对肺癌 A549 细胞的抑制作用,结果表明,PG23 菌株发酵液多糖的抑癌效果远高于蒲公英多糖,对肺癌 A549 细胞抑制率不与多糖浓度相关,IC₅₀ 值为 1.073 mg · mL⁻¹。

4.2 抗氧化方面

XIAO 等^[30]在白扁柏内生真菌 *Botryosphaeria dothidea* 中分离到 djalonensone,具 DPPH 自由基清除活性且 IC₅₀ 为 (18.7 ± 0.18) μmol · L⁻¹。钱一鑫等^[31]采用 DPPH 自由基清除法和超氧阴离子清除法测定了青蒿内生真菌 *Alternaria* PQH12 菌丝体不同极性溶剂提取物的抗氧化活性,结果表明,甲醇提取物的抗氧化活性均明显优于其它溶剂的提取物。王玉兵

等^[32]从甜叶菊叶片中分离了 42 株内生真菌,并检测了其发酵上清液的清除 DPPH 自由基、总抗氧化性能和抑制化学发光的能力。

4.3 抑制植物病原菌方面

内生真菌是植物病害生防菌株的重要来源,其主要抑菌机制有产生次生代谢产物、营养竞争作用、重寄生作用及抗生作用。王艳红等^[33]研究发现,温郁金内生真菌 *Chaetomium globosum* L18 具有较广的抑菌谱,且竞争作用和重寄生作用是其主要的拮抗机制之一。丁婷等^[34]从 38 株杜仲内生真菌中筛选出了抗玉米纹枯病菌的菌株 DZGS08,其可能造成玉米纹枯病菌菌丝扭曲、畸形。梁子宁等^[35]采用组织分离法从药用植物鸦胆子的根、茎、叶和果实中分离了 83 株内生真菌,其中 14 株内生真菌对至少 1 种指示植物病原菌有拮抗活性。刘学周等^[36]从吉林产在西洋参中共分离了暗黄青霉 *Penicillium citreonigrum* F10,其发酵液对锈腐病菌 *Cylindrocarpon destructan*、黑斑病菌 *Alternaria panax* 具有抑菌活性。杨本寿等^[37]研究了飞龙斩血内生菌的种群分布并检测了其抑菌活性,结果显示,11 株内生真菌对多种指示菌有明显的抑制作用。张青苗等^[38]用组织分离法分离获得了 24 株连翘内生真菌,其中,11 株发酵液组和 19 株菌丝体组的抑菌圈直接大于 10 mm,且活性菌株多为果实内生真菌。

4.4 抑制细菌方面

张慧茹等^[39]研究了绞股蓝内生真菌 *Chaetomium* JY25 抗大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抗菌机制,结果表明,内生真菌 JY25 发酵液可使 2 种致病菌的菌体形态发生严重畸形和破损;随着抑菌作用时间的延长,电导率和 β -半乳糖酶含量均增加,且细菌菌体蛋白质合成异常。周雅琴等^[40]采用组织块分离法分离获得了广西野生南方红豆杉内生真菌 34 株,以金黄色葡萄球菌、大肠杆菌或白色念珠菌为指示细菌,抗菌活性筛选发现有 8 株内生真菌对至少 1 种指示细菌具有抗菌活性。吴桐等^[41]分离了乌拉尔甘草 46 株内生真菌,其中 34 株内生真菌对指示细菌表现出不同程度的抑菌活性。

4.5 促进植物生长发育方面

药用植物内生真菌可从产生吲哚乙酸、赤霉素、脱落酸以及细胞激动素等植物生长调节剂和增强宿主植物对矿物营养元素的吸收 2 个方面促进宿主植物的生长。周志强等^[42]研究了 3 种丛枝菌根真菌对不同种源黄檗幼苗的生长影响,结果表明,供试的丝枝菌根真菌可促进黄檗幼苗的生长和生物碱积累,其对黄檗幼苗生物碱含量的影响受到黄檗种源的影响。赵昕梅等^[43]分离鉴定了铁皮石斛内生真菌柱霉属 *Scytalidium* TP-SH4 菌株,其发酵液可作菌肥,促进人工栽培铁皮石斛的生长。张波等^[44]研究表明,回接 4 种茅苍术内生真菌 AL3、AL4、AL11、AL12 均提高了茅苍术种子发芽势、发芽率和茅苍术挥发油 4 种主要活性成分的含量。程坤等^[45]分离了 9 株滇重楼内生真菌,其中 8 株可显著或极显著地促进滇重楼种子的胚发育,且分离的木霉属 PPYEF-9 菌株能导致滇重楼种子发育的最高胚率和最长胚长。

4.6 促进药用植物的次生代谢产物的合成方面

药用植物内生真菌不仅可产生与宿主相同或相似的活性物质,还能促进宿主体内次生代谢产物的形成和累积,增加其活性成分的产量。张瑞芬等^[46]从盾叶薯蓣根状茎的内生真菌中分离鉴定了尖孢镰刀菌 *Dzf17*,其次生代谢产物可提高盾叶薯蓣无茵苗和培养细胞薯蓣皂苷元的含量和产率。龙月红等^[47]用 RT-PCR 检测了回接内生青霉 P116-1a 对刺五加 SS、SE 和 β -AS 基因表达的影响,并用分光光度法测定刺五加总皂苷含量变化,结果表明,内生青霉 P116-1a 显著提高了刺五加的皂苷含量,且 SS、SE 和 β -AS 基因表达量变化与刺五加的皂苷含量变化呈显著的正相关关系。陶金华等^[48]通过植物细胞悬浮培养法研究了内生真菌诱导子处理下苍术细胞中一氧化氮、水杨酸及苍术素量的变化,结果表明,内生真菌诱导子通过诱导苍术细胞中 NOS、PAL 和 ACC 的活性,促进苍术细胞的苍术素的合成。

5 展望

目前,在药用植物内生真菌及其代谢产物的研究虽取得了较丰硕的成果,仍然存在诸多问题:

1)大多数药用植物特别是一些珍贵的药用植物尚未开展内生真菌方面的研究;2)对某些活性菌株的研究仅停留在实验室,尚未进行商业化生产;3)药用植物内生真菌产生与宿主植物相似或相同的次生代谢产物的遗传机制不清楚;4)药用植物内生真菌与其它内生真菌、内生细菌、内生放线菌互作的多样性及分子机制鲜有报道等。因此,如能够解决上述问题,不仅有利于珍稀、濒危药用植物资源的保护,对减少野生药用植物多样性的破坏具有重要意义,而且可为利用药用植物内生真菌生产次生代谢产物提供参考依据。

参考文献

- [1] 孙剑秋,郭良栋,臧威,等.药用植物内生真菌多样性及生态分布[J].中国科学(C辑:生命科学),2008,38(5):475-484.
- [2] TEJESVI M V, NALINI M S, MAHESH B, et al. New hopes from endophytic fungal secondary metabolites[J]. Bol Soc Quím Méx, 2007, 1(1): 19-26.
- [3] 姚领爱,胡之璧,王莉莉,等.植物内生菌与宿主关系研究进展[J].生态环境学报,2010,19(7):1750-1754.
- [4] 舒莹,郭顺星,张东明,等.植物内生真菌活性成分的研究[J].中草药,2005,36(5):772-776.
- [5] 严菊芬,王素萍,齐宁波,等.药用植物内生真菌研究进展[J].天然产物研究与开发,2012(24):176-181.
- [6] 何佳,刘笑洁,赵启美,等.植物内生真菌分离方法的研究[J].食品科学,2009,30(15):180-183.
- [7] 李晓红,傅本重,麻春花,等.不同表面消毒方法对核桃叶内生菌分离效果的比较[J].中国农学通报,2012,28(28):163-168.
- [8] 王海,严铸云,何冬梅,等.多产区川芎内生真菌菌群组成的PCE-DGGE分析[J].中国中药杂志,2013,38(12):1893-1897.
- [9] 丁小丽,孙建军,梁健,等.丹参叶片内生真菌群落结构及其与有效成分相关性分析[J].中国中药杂志,2015,40(14):2800-2806.
- [10] 肖淑贤,高明俊.植物内生菌的研究概况及应用进展[J].农业技术与装备,2010(1):74-77.
- [11] 贾敏,蒋益萍,张伟,等.浙江天目山和建德地区产银杏中内生真菌多样性的比较研究[J].现代药物与临床,2014,29(3):262-268.
- [12] 王茜,申仕康,张爱丽,等.滇重楼内生真菌分离与多样性研究[J].中国中药杂志,2013,38(22):3838-3844.
- [13] 段海婧,韩婷,吴秀丽,等.荒漠植物牛心朴子内生真菌的分离与鉴定[J].中国中药杂志,2013,38(3):325-330.
- [14] 高晓霞,王磊,周伟平,等.假鹰爪茎、叶组织内生真菌的分布和rDNA ITS序列系统发育分析[J].中国药理学杂志,2013,48(24):2102-2106.
- [15] 周仁超,黄娟,李泽恩,等.南药植物高良姜内生真菌群体多样性及其组织分布[J].中国中药杂志,2014,39(16):3023-3029.
- [16] 王维,马养民,张弘弛,等.黑果枸杞内生真菌 E21 菌株次生代谢产物的研究[J].中国新药杂志,2013,22(4):460-464.
- [17] 李婷,马养民,马聪聪,等.黑果枸杞内生真菌 R43 的次生代谢产物的研究[J].中国新药杂志,2014,23(19):2298-2303.
- [18] 刘学周,李绍宾,赵智灵,等.西洋参内生菌株的分离及拮抗活性菌株的筛选和鉴定[J].中草药,2014,45(22):3332-3336.
- [19] 徐洲,尹礼国,张超,等.产黄樟素内生真菌交链孢霉 LJX27 的发酵条件优化[J].食品科学,2014,35(17):165-169.
- [20] 乔广军,张海峰,汪忠山,等.高产紫杉醇菌株发酵条件优化[J].生物技术,2014,24(4):94-99.
- [21] 郑有坤,刘凯,熊子君,等.药用植物内生放线菌多样性及天然活性物质研究进展[J].中草药,2014,45(14):2089-2099.
- [22] QIN S, LI J, CHEN H H, et al. Isolation, diversity, and antimicrobial activity of rare actinobacteria from medicinal plants of tropical rain forests in Xishuangbanna, China[J]. Appl Environ Microbiol, 2009, 75(19): 6176-6186.
- [23] ZHAO K, PENTTINEN P, GUAN T W, et al. The diversity and antimicrobial activity of endophytic actinomycetes isolated from medicinal plants in Panxi plateau, China[J]. Curr Microbiol, 2011, 62(1): 182-190.
- [24] WU Y Y, LU C H, QIAN X M, et al. Diversities within genotypes, bioactivity and biosynthetic genes of endophytic actinomycetes isolated from three pharmaceutical plants[J]. Curr Microbiol, 2009, 59(4): 475-482.
- [25] 任丹,张波,张小平,等.川楝内生真菌的遗传及 PKS、NRPS 基因的多样性[J].中草药,2014,45(10):1461-1467.
- [26] 杨明俊,李娟,薛鸿燕,等.水仙内生真菌的分离及抑菌和抗肿瘤活性研究[J].中草药,2014,45(6):819-824.
- [27] 汪友明,马忠友,胡丰林,等.黄山地区红豆杉中产紫杉醇内生真菌的分离和筛选[J].天然产物研究与开发,2014,26(10):1624-1627.
- [28] 王家明,张喜庆,田晓敏,等.雷公藤属内生真菌研究(II)昆明山海棠内生真菌的分离鉴定及抗肿瘤活性菌株筛选[J].西北林学院学报,2012,27(3):109-112.
- [29] 孙新城,李丹,罗宇,等.蒲公英内生真菌 PG23 抗癌活性的初步研究[J].动物医学进展,2012,33(9):78-81.
- [30] XIAO J, ZHANG Q, GAO Y Q, et al. Secondary metabolites from the endophytic *Botryosphaeria dothidea* of *Melia azedarach* and their antifungal, antibacterial, antioxidant, and cytotoxic activities[J]. J Agric Food Chem, 2014, 62(16): 3584-3590.
- [31] 钱一鑫,康冀川,雷帮星,等.青蒿内生真菌 *Alternaria* sp. (PQH12) 提取物体外细胞毒活性及抗氧化活性的研究[J].天然产物研究与开发,2014,26(10):1458-1462, 1509.
- [32] 王玉兵,郝再彬,李海云,等.从甜叶菊叶片中分离纯化抗氧化内生真菌[J].安徽农业科学,2012,40(3):1272-1274, 1354.
- [33] 王艳红,吴晓民,朱艳萍,等.温郁金内生真菌 *Chaetomium globosum* L18 对植物病原菌的抑菌谱及拮抗机理[J].生态学报,2012,32(7):2040-2046.
- [34] 丁婷,孙微微,王帅,等.杜仲内生真菌中抗玉米纹枯病活性菌株的筛选[J].植物保护,2014,40(6):29-35.

- [35] 梁子宁,朱华,赖开平,等.药用植物鸦胆子内生真菌分离及其抑菌活性初步研究[J].中药材,2014,37(4):564-568.
- [36] 刘学周,李绍宾,赵智灵,等.西洋参内生菌株的分离及拮抗活性菌株的筛选和鉴定[J].中草药,2014,45(22):3332-3336.
- [37] 杨本寿,苗翠苹,张建华,等.飞龙斩血内生菌种群分布及抑菌活性检测[J].微生物学报,2014,54(3):276-284.
- [38] 张青苗,魏希颖,刘清梅.具抑菌活性连翘内生真菌的分离与鉴定[J].微生物学通报,2013,40(9):1649-1656.
- [39] 张慧茹,孟素香,曹健,等.绞股蓝内生真菌抗大肠杆菌抗菌机制的研究[J].微生物学通报,2015,42(1):157-162.
- [40] 周雅琴,谭小明,陈娟,等.南方红豆杉内生真菌的分离及抗菌活性筛选研究[J].中国药学杂志,2015,50(1):19-22.
- [41] 吴桐,白长胜,谭佳音,等.乌拉尔甘草内生真菌的分离及其抑菌活性研究[J].中国食品学报,2014,14(2):154-160.
- [42] 周志强,胡燕妮,彭英丽,等.3种丛枝菌根真菌对不同种源黄檗幼苗的影响[J].植物研究,2015,35(1):92-100.
- [43] 赵昕梅,远凌威,张苏锋,等.铁皮石斛内生真菌的分离鉴定及其促宿主生长作用[J].河南农业科学,2012,41(6):101-105.
- [44] 张波,王宏伟,肖逸,等.浸种及接种内生真菌对茅苍术种子发芽与幼苗生长的影响[J].江苏农业科学,2012,40(9):227-230.
- [45] 程坤,杨艳琼,赵昶灵,等.滇重楼内生真菌的分离及其对滇重楼种子胚发育的效应[J].Agricultural Science and Technology,2012,13(7):1497-1501,1570.
- [46] 张瑞芬,李培琴,赵江林,等.盾叶薯蓣内生真菌及其对宿主培养物生长和皂苷元生产的影响[J].天然产物研究与开发,2010,22(1):11-15.
- [47] 龙月红,杨果,李非非,等.基于关键酶靶点基因研究内生青霉 P116-1a 提高刺五加皂苷含量的机制[J].基因组学与应用生物学,2015,34(1):155-159.
- [48] 陶金华,汪冬庚,濮雪莲,等.一氧化氮和水杨酸依次介导内生真菌诱导子促进苍术细胞中苍术素生物合成的信号转导[J].中草药,2014,45(5):701-708.

Advances in Endophytic Fungi From Medicinal Plant

ZHAO Huan

(College of Life Science, China Western Normal University/Key Laboratory of Southwest China Wildlife Resource Conservation, Nanchong, Sichuan 637009)

Abstract: The medical plants have abundant endophytic resources. Co-evolving with medicinal plants, some endophytic fungi could produce same or similar secondary metabolites as that of host plants. Endophytic fungi can produce a vast array of secondary metabolites, including anticancer substance, antioxidants, antimicrobial compounds, antivirals materials, promoting plant growth and synthesis of the secondary metabolites in medicinal plants. This study was to provide an evidence for further study, latest research advances were summarized in the main content and present situation of endophytic fungi, and pointed out some problems in the area.

Keywords: medicinal plant; endophytic fungi; isolation and identification; secondary metabolites; biological activities