

谢海伟,冯嘉琪,付晓晴,等. 药用植物内生真菌的研究进展[J]. 江苏农业科学,2020,48(14):1-6.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.14.001

药用植物内生真菌的研究进展

谢海伟,冯嘉琪,付晓晴,江坤生,陈佳茹

(惠州学院生命科学学院,广东惠州 516007)

摘要:植物内生真菌广泛存在于药用植物体内,具有丰富的生物多样性,对寄主植物有着积极的作用,内生真菌的次生代谢产物有着抗肿瘤、抗氧化、抗菌等活性,在医药、农业、食品等行业有着巨大的应用前景。本文综述了近年来药用植物内生真菌的研究进展,在药用植物内生真菌的分离筛选技术、检测方法、鉴定技术等方面进行阐述,在药用植物内生真菌的种属多样性、代谢产物生物多样性方面进行分析;对药用植物内生真菌在医药行业和农业中的应用等进行总结,并对现今药用植物内生真菌的相关研究存在的问题进行分析,并对内生真菌的未来应用提出展望。

关键词:药用植物;内生真菌;分离筛选;多样性;应用

中图分类号: Q949.95;S182 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)14-0001-05

药用植物内生真菌是天然药物的重要组成部分,其活性代谢产物丰富多样,包括各种结构类型独特、具有潜在应用前景的活性物质,已成为发现新高效、新颖、低毒的天然活性物质的重要资源。目前发现内生真菌的种类多达 100 万种^[1]。目前的主要研究集中于宿主植物与内生真菌共生机制和内生真菌天然代谢产物的功能关系等方面,植物内生真菌的次级代谢产物具有抗氧化性、抑制病原微生物、抗肿瘤、抗虫等功能,能被广泛应用于医药、农业、环境保护等方面。近年来,药用植物的内生菌已成为研究热点之一,如内生真菌天然代谢产物的生物活性、药用内生真菌促进新型药物的开发、药用植物内生真菌的次级代谢产物对宿主植物的生长和抗病害机制等方面的研究。而药用植物内生真菌在药用、医用等方面的作用更为显著,部分药用内生真菌可以分泌与寄主相同或相似的药用成分。在药用植物自然更新慢、有效药用成分提取率低、人为采取过度导致生物多样性降低的背景下,开发药用内生真菌是一个有效保护珍稀药用植物、大规模开发生产药用活性成分的途径。本文以药用植物内生真菌为对象,就其分离筛选、多样性、

在不同行业中应用及存在的问题进行分析和阐述。

1 药用植物内生真菌筛选

药用植物内生真菌分离流程包括药用植物样本采集,样本消毒处理,内生真菌的分离及培养,内生真菌的鉴定,内生真菌及代谢产物性能分析。

1.1 药用植物内生真菌筛选预处理

药用植物内生真菌分离筛选预处理是控制药用植物表面的杀菌强度,防止误杀部分内生真菌或者混入表生真菌,影响植物内生菌分离效果的操作。根据植物类别及植物组织类型,可以采用 75% 乙醇 + 次氯酸钠溶液的表面消毒和 75% 乙醇 + 氯化汞 2 种表面消毒方式。75% 乙醇与氯化汞的结合消毒较彻底,缺点是氯化汞的毒性大并且对环境有一定的危害作用。Adeyemi 等在研究内生真菌筛选时发现,在彻底表面灭菌的前提下,杀菌剂高浓度短时间处理,药用植物内生真菌的分离效果更显著^[2]。药用植物内生真菌的表面灭菌效果检测方法有 3 种,分别是漂洗液检验法、组织印迹法和超净工作台无菌状态检测对照法。

1.2 药用植物内生真菌分离筛选

药用植物内生真菌的分离筛选一般是采用组织分离法和研磨涂布法,其中组织分离法的操作工序较为简便,因此目前多采用组织分离法。分离药用植物内生真菌的常用培养基有马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)^[3]、玉米粉琼脂(CMA)、麦秆煎液琼脂(WSA)、麦芽浸出液琼脂、水琼脂(WA)、沙氏葡萄糖琼脂、沙氏麦芽糖琼脂、以及查氏琼脂(CAZ)培

收稿日期:2019-07-24

基金项目:广东省级大学生创新创业训练计划(编号:201810577053、201810577007);广东省高校特色创新项目(编号:2017KTSCX172);惠州学院教授/博士科研启动经费(编号:2018JB002)。

作者简介:谢海伟(1978—),男,吉林桦甸人,博士,教授,主要从事微生物、抗菌肽研究。E-mail: xiehaiwei324@163.com。

培养基,其中以 PDA 培养基最为常用。此外在培养基中加入 100 $\mu\text{g/mL}$ 氨苄青霉素或(和)100 $\mu\text{g/mL}$ 硫酸链霉素等抗生素可有效抑制细菌的生长。分离出的内生真菌一般采用 PDA 培养基纯化培养。章苗等采用拮抗试验和体外抗菌测试方法,利用马铃薯葡萄糖双抗培养基在 22 $^{\circ}\text{C}$ 低温条件培养下从无患子内成功筛选出 6 株内生真菌^[3]。药用植物内生真菌的筛选包括内生真菌产生长激素活性物质筛选、内生菌拮抗病原真菌筛选、抑菌活性筛选、抗肿瘤细胞活性筛选以及促生特性的筛选等。张亮等对分离得到的杜仲内生真菌进行活性筛选,发现有 18 个菌株对病原真菌具有显著的拮抗作用^[4]。魏练平等从山苍子叶中分离筛选出 2 株内生真菌,它们对人肝癌 HepG2 细胞有明显抑制作用^[5]。

1.3 药用植物内生真菌的鉴定

药用植物内生真菌的鉴定方法主要有形态学鉴定、理化鉴定和分子生物学鉴定,具体包括^[6]:(1)形态学鉴定。主要根据菌株个体和菌落群体的形态特征进行鉴定,观察内生真菌菌落的形状、大小、颜色等特征,结合在光学显微镜或电子扫描电镜下观察到的菌株个体的孢子、产孢结构等特征,依据真菌鉴定手册对其进行鉴定。(2)酶联免疫吸附剂测定(ELISA)法。ELISA 技术因准确度高、特异性强、适用范围广、检测样本多、速度快,并且条件要求比较低,方便操作,被广泛运用在药用内生真菌的检测分析上。(3)利用次生代谢物间接检测。产生次生代谢物是药用内生真菌最重要的特征,也是采用这种方法检测内生真菌的重要依据。通过气相色谱(GC)、质谱方法(MS)以及高效液相色谱法(HPLC)检测次生代谢物的含量可间接地检测内生真菌。这些药用内生真菌次生代谢产物的检测方法可间接证明内生真菌是否存在。(4)分子检测法。可以通过保守基因测序进行内生真菌种类鉴定;通过各种分子标记技术进行内生真菌基因型分析;通过高通量测序技术、基因组测序技术,对内生真菌的系统进化进行深入分析,可为寻找内生真菌与药用植物相互作用的基因奠定重要的基础。

2 药用植物内生真菌多样性的研究

2.1 内生真菌种属类型

近年来,科学家从各种药用植物当中分离出来的内生真菌共 171 属。植物内生真菌丰富多样,大多数植物体内含有内生真菌,且种类繁多。在多数

植物中,内生真菌分属于以下几个属,即拟隐孢霉属、拟茎点霉属、半壳霉属、叶点霉属等。目前研究的植物内生真菌绝大多数属于子囊菌类的核菌纲、腔菌纲和盘菌纲,无孢菌群的多类真菌和半知菌中的链格孢属、青霉属、镰刀菌属等。

孙璐等从毛序棘豆的根、茎和叶中分离得到的内生真菌共有 29 株,经鉴定分属于 4 纲、5 目、6 科、10 属,优势菌属是镰刀菌属和链格孢属,分布最广泛的为木霉菌属^[7]。艾洪莲等从马铃薯植株中分离得到 44 株具有生物活性的内生真菌,分属于 21 个属,分别是毛壳菌属、篮状菌属、曲霉属、链格孢属、螺旋聚孢霉属、裂褶菌属、枝孢属、单端孢属、茎点霉属、离蠕孢属、壳二孢属、炭角菌属、白僵菌属、镰孢菌属、附球菌属等,其中毛壳菌属、篮状菌属和附球菌属为优势菌属^[8]。李盼盼等从传统药用植物烟草中共分离得到 539 株内生真菌,经过 rDNA-ITS 系统发育分析鉴定为 31 属、73 种,其中曲霉属和镰孢属为烟草的优势菌群^[9]。唐青等从艾纳香的根、茎和叶中分离得到内生真菌共 152 株,经鉴定分属于 11 个属,分别是镰刀菌属、木霉菌属、脉孢菌属、间座壳属、多节孢属、曲霉属、青霉属、弯孢菌属、茎点霉属、烟管霉属和蜡质菌属,其中镰刀菌属、曲霉属、木霉菌属和弯孢菌属为艾纳香内生真菌的优势菌属^[10]。Manganyi 采用形态学和分子生物学技术研究天竺葵内生真菌的生物多样性,共分离鉴定出真菌 133 株,其中青霉属真菌占优势^[11]。

2.2 内生真菌组织分布多样性

药用植物内生真菌的多样性决定了其次生代谢产物的多样性。内生真菌在药用植物中存在组织分布差异性。裴泉鑫等从黑果枸杞植株的果、根、茎、叶中分离得到内生真菌 43 株^[12]。曹丹丹等从茎直黄芪中分离得到内生真菌 336 株,研究表明,茎直黄芪不同组织部位内生真菌多样性指数不同,其中花中的多样性指数最高,叶次之,茎最低^[13]。刘军等从檀香中分离到 325 株檀香内生菌,其中根部内生真菌的物种多样性明显较茎和叶丰富^[14]。岳海梅等从西藏砂生槐中分离出 77 株内生真菌,其中荚果中内生真菌的分离率最高,且多样性指数也最高,而其他部位则差异不明显^[15]。

2.3 内生真菌代谢产物多样性

目前,从植物内生真菌次级代谢产物中分离得到的化合物主要有聚酮类、生物碱类、萜类和甾类等,这些化合物表现出良好的抗肿瘤、抗菌、抗氧

化、抗病毒、杀虫等生物活性。内生真菌次生代谢产物具有不同的生物活性、多元的结构特性及多样的合成途径等特征。按照化学结构划分,药用植物内生真菌的主要代谢产物包括有机酸、挥发性物质、脂类和酶类、类固醇、多糖类和蛋白质类等初级代谢产物;还包括生物碱类、萜类、甾体类、黄酮类等次级代谢产物。Elaine 等综述了近年来药用植物内生真菌微生物分类、化合物分类和细胞毒性的研究进展,发现次生代谢产物主要包括生物碱、萜类、甾类、聚酮类、醌类、异香豆素、酯类等化合物^[16]。Peng 等综述分析了从海藻内生真菌中分离得到的 182 个天然产物,发现这些代谢产物具有独特化学多样性以及相关的生物活性^[17]。Schulz 等研究了植物内生菌及其生物活性代谢产物与宿主的关系,从药用的草本植物中分离得到 6 500 个内生真菌,对其进行生物活性筛选,根据不同生物合成途径其次级代谢产物可分为异戊二烯、聚酮、氨基酸衍生物^[18]。

3 药用植物内生真菌的应用

3.1 抗肿瘤方面应用

近来研究表明,从某些有抗肿瘤功能的药用植物内生真菌中提取出的活性物质与宿主植物的次级代谢产物具有高度相似性^[19],这打破了只能从天然药用植物中提取或采用化学合成等途径生产药物的传统,开辟了一条新的抗肿瘤药物生产路线。程玉鹏等研究表明,产柴胡皂苷内生真菌抗肿瘤机制涉及诱导肿瘤细胞凋亡、逆转肿瘤耐药性和增强免疫调节功能等方面^[20]。Li 等从红豆杉中分离得到内生真菌紫杉霉(*Taxomyces anreanae*),紫杉霉产生的紫杉醇或其他紫杉烷类化合物对乳腺癌等多种恶性肿瘤具有突出功效^[21]。Tao 等从筛选自红树林的内生真菌镰刀菌中分离到环肽白僵菌素(beauvericin),它对肿瘤细胞 KB 的生长有明显的抑制作用,主要通过线粒体途径诱导细胞凋亡,对人体的多种肿瘤细胞具有较强的抑制作用^[22]。魏练平等从山苍子叶中分离筛选出的内生真菌,对人肝癌 HepG2 细胞抑制率达 63.76%,具有明显的抗肿瘤作用^[5]。Made 等研究番荔枝叶内生真菌乙酸乙酯提取物的抗癌活性,当提取物浓度为 100 $\mu\text{g/mL}$ 时,表现出对癌细胞生长的高抑制活性^[23]。

3.2 抗氧化活性应用

药用植物及其内生真菌是发现天然产物的重要资源,多种内生真菌的代谢产物可成为新型天然

抗氧化剂的潜在来源。目前已从多种药用植物内生菌及其次生代谢产物中得到诸多具有抗氧化活性的物质,包括生物碱类、酚酸类、黄酮类、菇类、香豆素类化合物等。Huang 等对 29 种中草药的 292 株内生真菌进行了总抗氧化能力与总酚含量关系的研究,结果表明,内生真菌培养物的抗氧化能力与其总酚含量显著相关,酚类物质是内生真菌的主要抗氧化成分^[24]。郑朝辉等发现,黄芩内生真菌的发酵产物具有抗氧化活性,从中分离得到的 2 种酚类化合物具有较强抗氧化能力^[25]。宋新月等从竹叶兰中分离内生真菌,筛选得到 2 株具有较强抗氧化活性的菌株 *Colletotrichum karstii* 和 *Phanerochaete* sp.^[26]。

3.3 抗菌活性应用

大多数内生真菌的次级代谢产物中含有能够抑制细菌、真菌等的生物活性物质,其中发现最多的是内生真菌产生的新型抗菌肽类活性物质。Li 等从雷公藤中分离得到 1 株能产生一种新型环肽类抗生素的内生真菌,所产生的这种环肽类抗生素含有很多稀有氨基酸,对人体中的病原真菌具有抑制作用^[27]。魏永威从藿香植物的茎组织中分离出具有抑菌活性的内生真菌^[28]。刘雷等研究川麦冬内生真菌的抑菌活性,结果表明,抑制白色念珠菌的菌株较多^[29]。Atiphas - aworn 等从罗勒叶中分离到 14 种内生真菌,所有内生真菌粗提物对 9 种人体细菌病原体金黄色葡萄球菌、表皮葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、蜡样芽孢杆菌、大肠杆菌、肺炎克雷伯杆菌、铜绿假单胞菌、霍乱弧菌和副溶血弧菌均有抑菌活性^[30]。刘晓瑜等从 22 种药用植物组织中分离出 197 株内生菌,经筛选获得 18 株对耐甲氧西林金黄色葡萄球菌(MRSA)有拮抗作用的菌株^[31]。

4 药用植物内生真菌应用研究中存在的问题及解决方案

4.1 内生真菌研究存在的技术问题

(1)药用植物内生真菌的分离筛选方法存在着明显的技术问题。目前,普遍采用组织块分离法分离药用植物内生真菌,在分离过程中,不彻底的表面消毒会造成内生真菌中混有杂菌,影响研究结果的准确性;这种分离方法只能分离得到部分内生真菌,难以分离得到生长缓慢且容易被优势菌种覆盖的内生真菌。(2)药用植物内生真菌的培养存在技术问题。有些内生真菌在人工合成的培养基上无法正常生长、无法获得纯培养物,不利于保存与研

究^[32],在表面消毒时部分敏感株容易被杀死等,导致仍然在存在大量的未被发现的新物种,仍然还有数量巨大的内生真菌资源有待研究。(3)目前,对内生真菌菌株的培养条件以及菌株自身遗传背景进行的深入研究较少,应该加强对产活性物质菌株稳定性、菌株培养条件以及菌株诱变改造等方面的深入研究。(4)分离出来的内生真菌,当脱离宿主植物后,在体外进行传代培养过程中会出现某些重要的生物学特性退化和消失,甚至死亡现象。解决办法是减少传代次数,尽量模拟内生真菌在宿主植物内的生长环境和营养条件。(5)内生真菌鉴定方法存在技术问题。目前,主要依靠真菌形态学对内生真菌进行归类和鉴定,同时采用分子生物学方法辅助鉴定。真菌的形态学主要是以孢子形态进行鉴定的,但有的真菌在人工培养条件下不形成孢子,所以诱导内生真菌产生孢子是有必要的。尽管可利用多种方法进行诱导,但仍有很多内生真菌无法产生孢子,因此有部分分离得到的内生真菌无法进行分类鉴定。

4.2 内生真菌在应用中出现的问题

当前,已有的研究结果显示,内生真菌的次生代谢产物具有抗肿瘤、抗菌、抗氧化等活性,具有巨大的药用价值^[33],可应用于医药行业,但内生真菌尤其代谢产物在产业化应用方面仍存在很多问题需要解决。(1)目前,许多研究只是通用分离筛选得到具有活性的内生真菌,并未对其发酵产物进行分离纯化,且未对其化学结构进行进一步的探讨。(2)内生菌与宿主植物在共同进化中产生的次级代谢产物具有高度相似性,但是内生菌生产的次级代谢产物极不稳定,活性成分的含量较低,且在频繁传代过程中易发生突变,导致代谢产物出现变化或可能会消失,难以进行大规模工业化生产。发酵时间不同,产生的次级代谢产物不尽一致。(3)植物内生真菌发酵可以产生与宿主植物相似的次生代谢活性产物,但仍然有许多次级代谢产物尚待明确,目前尚未深入研究内生菌次生代谢产物中起到抑制作用的大量活性物质。有些次级代谢产物发酵水平很低,1 L 内生菌发酵液中仅能获得微量的活性成分,其发酵优选工艺还有待进一步研究^[32]。(4)内生真菌与宿主植物共生生态机制以及共同具有相似次级代谢产物的分子机制有待进一步研究。(5)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,且对某些活性菌株的

研究仅停留在实验室层面,尚未进行商业化生产。(6)内生真菌本身可促进药用植物的生长发育、抗病虫害的能力以及活性成分的合成与分泌,在栽培药用植物防治病虫害等方面有着显著的促进效果^[33]。目前,对于内生真菌与寄主植物的相互作用机制尚不明确,药用植物内生真菌产生与寄主相同或相似成分的机制还不清楚^[34],这限制了药用内生真菌在实际中的应用。

4.3 可行的解决方案

随着现代技术的进一步发展,内生真菌的研究和应用等方面存在的问题已有初步的解决方案。在传统方法的基础上,结合现代技术手段如高通量测序技术、现代色谱技术、生物化学技术等进行研究,有利于突破当前的研究现状。在传统研究方法的基础上,利用现代技术手段,将成为解决内生真菌在科研和应用上存在问题的有利手段。(1)设计新型培养基,适于筛选出来的内生真菌繁殖生长、积累代谢产物,并对体外培养条件、发酵条件进行工艺优化。(2)内生真菌的培养方式由体外纯培养转为多元混合培养,对筛选分离出来的内生真菌进行复配,进行混合发酵。(3)采用高通量测序技术鉴定真菌,获得未培养菌株。在内生真菌鉴定的方面,随着现代分子生物学技术的逐渐应用,采用转录间隔区(ITS)序列、大亚基(LSU)基因等分析对形态相似的内生真菌进行鉴定^[35],同时,DNA 测序结合变形凝胶电泳技术也开始应用于内生真菌的鉴定中。丁小丽等采用变性梯度凝胶电泳(DGGE)分析对丹参叶片内生真菌群落结构进行研究^[36]。(4)通过代谢组学、蛋白质组学,获得有价值的次级代谢产物。从种类繁多的内生真菌次生代谢产物中筛选出生物活性物质也是一个加快次生代谢产物研究的突破点。基因筛选^[37]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。任丹等通过对川楝内生真菌进行基因筛选发现,次生代谢产物具有活性的可疑菌属为曲霉属和青霉属^[38]。(5)运用诱变技术或基因工程技术对分类筛选的内生真菌进行体外菌种改良,获得遗传稳定、代谢活性物质含量高的改良菌株。如在内生真菌次生代谢产物开发利用方面,为提高活性物质的含量,达到工业化生产水平,应将传统的育种技术与现代育种相结合,利用基因工程等现代生物技术改良具有活性的菌株,优化生产工业。

5 结论与展望

药用植物内生真菌具有丰富的生物多样性,对植物的生长发育有着积极的作用,能够产生与寄主植物相同或相似的具有生物活性的产物,在抗肿瘤、抗菌、抗氧化等方面有着明显的效果,是医药行业开发新药的新型途径。药用植物内生真菌的研究虽然处于起步阶段,但其实用价值和社会价值已经受到越来越多的重视,从药用植物内生真菌次生代谢产物中筛选有效的活性物质或新型化合物以研究新的药物,将在很大程度上丰富人类医药宝库,解决自然资源不足等问题,实现可持续发展。随着技术的进步和植物次生代谢研究的深入,对药用植物内生真菌的开发和研究必将成为重点,药用植物内生真菌具有极大的开发利用潜力和价值。

目前,对于内生真菌的研究与应用也存在着一些问题,如大多数药用植物尚未开展内生真菌方面的研究,这将是未来开发内生真菌资源的重要宝库;对部分活性菌株仅停留在实验室研究层面,尚未进行商业化生产^[30];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尚不清楚;药用植物内生真菌与其他内生真菌、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。关于这些方面的深入研究将是未来药用内生真菌研究、开发的方向。另外,如何高效准确地分离与筛选出内生真菌还有待进一步研究,且内生真菌与寄主之间的作用机制尚不清晰,具有生物活性的次生代谢产物结构不明晰。利用先进的现代生物技术手段,系统并全面地研究与开发药用植物内生真菌有待进一步开展。

解决上述问题,不仅有利于对珍稀、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。充分研究药用植物内生真菌及其次生代谢产物,可为后续发现新型菌株或新型化合物、筛选生物活性物质提供一种新途径,在医药、农业等方面将会发挥巨大的作用。

参考文献:

- [1] Gokhale M, Gupta D, Gupta U, et al. Patents on endophytic fungi [J]. Recent Patents on Biotechnology, 2017, 11(2): 120–140.
- [2] Adeyemi A, Erute M, Abiodun T, et al. Isolation and screening of endophytic fungi from three plants used in traditional medicine in Nigeria for antimicrobial activity[J]. International Journal of Green

- Pharmacy, 2015, 9(1): 58–62.
- [3] 章 苗, 章华伟, 王 鸿. 无患子内生真菌抗菌筛选与鉴定[J]. 中国微生态学杂志, 2017, 29(6): 647–651.
- [4] 张 亮, 桑曼曼, 郭小伟, 等. 杜仲内生真菌的多样性分析及其抗植物病原真菌的活性[J]. 生物资源, 2017, 39(1): 48–52.
- [5] 魏练平, 魏洪璇, 吴 丹, 等. 山苍子叶内生真菌的纯化与鉴定[J]. 中国微生态学杂志, 2013, 25(10): 1131–1133.
- [6] 陈振江, 魏学凯, 曹 莹, 等. 禾草内生真菌检测方法研究进展[J]. 草业科学, 2017, 34(7): 1419–1433.
- [7] 孙 璐, 任祯慧, 宋润杰, 等. 毛序棘豆内生真菌分离鉴定及系统进化分析[J]. 畜牧兽医学报, 2018, 49(9): 2025–2035.
- [8] 艾洪莲, 杨曼思, 何 隼, 等. 马铃薯内生真菌的多样性及抑菌活性研究[J]. 中南民族大学学报(自然科学版), 2017, 36(4): 51–55.
- [9] 李盼盼, 袁晓龙, 李金海, 等. 湖北烟草内生真菌生物多样性和种群结构分析[J]. 微生物学报, 2018, 58(10): 1853–1863.
- [10] 唐 青, 周思旋, 雷帮星, 等. 贵州西南部艾纳香内生真菌多样性研究[J]. 菌物学报, 2017, 36(11): 1498–1503.
- [11] Manganyi M C, Regnier T, Tchatchouang C D K, et al. Antibacterial activity of endophytic fungi isolated from *Sceletium tortuosum* L. (Kougoed) [J]. Ann Microbiol, 2019, 69(6): 659–663.
- [12] 裴泉鑫, 李玉芳, 蔡德育, 等. 黑果枸杞具抗氧化活性内生真菌的筛选[J]. 西北民族大学学报(自然科学版), 2017, 38(3): 62–66.
- [13] 曹丹丹, 路 浩, 李小蒙, 等. 茎直黄芪内生真菌分离鉴定及其多样性分析[J]. 草地学报, 2015, 23(6): 1252–1258.
- [14] 刘 军, 刘艳明, 徐在超, 等. 檀香内生真菌多样性及其抗菌与促生特性的研究[J]. 中国中药杂志, 2018, 43(17): 3477–3483.
- [15] 岳海梅, 庄 华. 西藏砂生槐内生真菌的分离鉴定及其多样性分析[J]. 中国植保导刊, 2018, 38(3): 12–18.
- [16] Elaine C J, Mohamed I M, Khoo C H, et al. Analysis of chemical constituents, antimicrobial and anticancer activities of dichloromethane extracts of *Sordariomycetes* sp. endophytic fungi isolated from *Strobilanthes crispus* [J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2017, 33(1): 1–19.
- [17] Peng Z, Xin L, Bin – Gui W. Secondary metabolites from the marine algal – derived endophytic fungi: chemical diversity and biological activity [J]. Planta Medica, 2016, 82(9/10): 832–842.
- [18] Schulz B, Boyle C, Draeger S, et al. Endophytic fungi: a source of novel biologically active secondary metabolites [J]. Mycological Research, 2002, 106(9): 996–1004.
- [19] Li R Q, Li J F, Zhou Z Y, et al. Antibacterial and antitumor activity of secondary metabolites of endophytic fungi Ty5 from *Dendrobium officinale* [J]. Journal of Biobased Materials and Bioenergy, 2018, 12(2): 184–193.
- [20] 程玉鹏, 任朋英, 李弘根, 等. 产柴胡皂苷内生真菌抗肿瘤作用机制研究进展[J]. 辽宁中医药大学学报, 2018, 20(12): 59–62.
- [21] Li Y C, Tao W Y, Long C. Paclitaxel production using co – culture of *Taxus* suspension cells and paclitaxel – producing endophytic fungi in a co – bioreactor [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2009, 83(2): 233–239.
- [22] Tao Y W, Lin Y C, She Z G, et al. Anticancer activity and mechanism investigation of beauvericin isolated from secondary metabolites of the mangrove endophytic fungi [J]. Anti – cancer Agents in Medicinal Chemistry, 2015, 15(2): 258–266.

陈洪凡,黄蓉,胡建坤,等.菊花病虫害防治化学农药减施替代技术综述[J].江苏农业科学,2020,48(14):6-11.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.14.002

菊花病虫害防治化学农药减施替代技术综述

陈洪凡,黄蓉,胡建坤,黄瑞荣

(江西省农业科学院植物保护研究所,江西南昌 330200)

摘要:菊花是我国重要的经济作物,菊花病虫害严重制约着菊花的产量和质量,传统化学防控手段存在农药残留和环境污染等弊端,化学农药防治减量替代技术的研究与应用已成为发展可持续农业的必然趋势,对菊花高产、优质和安全具有重要意义。本文在介绍菊花主要病虫害发生特点基础上,从农业防控技术、物理防控技术和生物防控技术 3 个方面对近年来我国菊花病虫害化学农药防治减量替代技术的研究与应用进展进行了综述,以期对菊花的安全生产提供一定理论指导。

关键词:菊花;病虫害;化学农药;减施替代技术

中图分类号:S436.8⁺1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)14-0006-06

菊花(*Chrysanthemum morifolium* Ramat),起源于中国,为菊科多年生宿根植物,是我国的十大名花及世界四大切花之一,有着悠久的栽培历史和重要文化意义,且具有很高的经济价值^[1-3]。如传统

的四大药菊包括杭菊(杭白菊和杭黄菊)、贡菊、亳菊和滁菊,药用菊具有清热明目、抗菌消炎、降血压、抗肿瘤等作用,对头痛眼花、风热感冒、高血压等疾病具有明显疗效^[4]。茶用菊如亳菊、贡菊、杭菊等,泡茶味甘而香,生津润喉^[5]。但菊花生产中病虫害具有多发性、多样性,其防治主要依赖化学农药,导致菊花中农药残留高^[6];其次,菊花生产过程中相关标准缺失,导致种植无序及滥用化肥、农药、生长调节剂的现象时常发生,严重影响了中药疗效及饮品安全^[7],不利于菊花产业可持续发展。本文从菊花病虫害可持续控制目标出发,对菊花主

收稿日期:2019-08-23

基金项目:国家重点研发计划(编号:2018YFD0201100)。

作者简介:陈洪凡(1978—),男,山东临沂人,博士,副研究员,主要从事害虫生物防治及昆虫生态学研究。E-mail: hongfan211@sohu.com。

通信作者:黄瑞荣,研究员,主要从事植物病害防治研究。E-mail: huangruirong073@163.com。

[23] Made A I, Heddy J, Nurliani B, et al. Anticancer activity test of ethyl acetate extract of endophytic fungi isolated from soursop leaf (*Annona muricata* L.) [J]. Asian Pacific Journal of Tropical Medicine. 2017, 10(6): 566-571.

[24] Huang W Y, Cai Y Z, Jie X, et al. A potential antioxidant resource: endophytic fungi from medicinal plants [J]. Economic Botany, 2007, 61(1): 14-30.

[25] 郑朝辉,刘艳云,范黎.黄芩内生真菌 N. SBA10 代谢产物抗氧化活性及结构鉴定[J].菌物学报,2012,31(6):917-923.

[26] 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.

[27] Li J Y, Strobel G, Harper J, et al. Cryptocin, a potent tetramic acid antimycotic from the endophytic fungus *Cryptosporiopsis* cf. *quercina* [J]. Organic Letters, 2000, 2(6): 767-770.

[28] 魏永威.藜香内生真菌的分离纯化及次级代谢产物生物活性研究[D].兰州:兰州理工大学,2018.

[29] 刘雷,潘峰,杨远兵,等.川麦冬内生真菌分离和鉴定及抑菌活性初步研究[J].中草药,2016,47(8):1382-1391.

[30] Atiphasaworn P, Monggoot S, Gentekaki E, et al. Antibacterial and

antioxidant constituents of extracts of endophytic fungi isolated from *Ocimum basilicum* var. *thyrsiflora* leaves [J]. Current Microbiology, 2017, 74(10): 1185-1193.

[31] 刘晓瑜,马玉超.抗耐药细菌药用植物内生菌的筛选与鉴定[J].生物技术通报,2015,31(3):154-160.

[32] 杨志军,邓毅,曼琼,等.内生菌在天然药物研究中的研究进展[J].中国临床药理学杂志,2018,34(5):593-596.

[33] 郑红梅,叶耀辉,王婷,等.药用植物内生真菌及其代谢产物活性的研究概况[J].江西中医药,2016,47(4):71-73.

[34] 丁常宏,都晓伟,徐莹.药用植物内生真菌的功能研究进展[J].中医药学报,2013,41(3):168-171.

[35] 张黎光,魏希颖,马彩霞.药用植物内生真菌——生物活性物质的新来源[J].药物生物技术,2011,18(5):453-456.

[36] 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.

[37] 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.

[38] 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.