

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.028

植物内生真菌生防作用研究进展

白娜娜¹, 姜海燕¹, 狄佳麟²

(1. 内蒙古农业大学 林学院, 内蒙古 呼和浩特 010018;
2. 内蒙古农牧业研究院蔬菜花卉研究所, 内蒙古 呼和浩特 010031)

摘要: 通过查阅文献资料分析总结近年来国内对植物内生真菌生防作用的最新研究进展。结果显示, 内生真菌广泛分布在健康植物各个组织、器官内, 在与植物经历协同进化后, 可形成与宿主植物相同或类似的活性产物, 其种类丰富多样, 具有抑制病原菌生长、杀死植食性昆虫以及促进宿主植物生长等生防作用。基于现阶段研究中存在的不足, 提出未来的研究趋势, 以期新型生防菌剂的开发和利用提供参考。

关键词: 内生真菌; 代谢产物; 生防作用; 宿主植物

中图分类号: S718.512.2; S718.81; S476 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)01-0163-04

引文格式: 白娜娜, 姜海燕, 狄佳麟. 植物内生真菌生防作用研究进展[J]. 林业调查规划, 2024, 49(1): 163-166.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.028

BAI Nana, JIANG Haiyan, DI Jialin. Advances on Biocontrol Effects of Endophytic Fungi in Plants[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 163-166. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.028

Advances on Biocontrol Effects of Endophytic Fungi in Plants

BAI Nana¹, JIANG Haiyan¹, DI Jialin²

(1. Forestry College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China; 2. Institute of Vegetables and Flowers, Inner Mongolia Academy of Agriculture and Animal Husbandry Sciences, Hohhot 010031, China)

Abstract: This paper summarized and analyzed the latest domestic research progress on the biocontrol effects of endophytic fungi in plants in recent years through literature review. The results showed that endophytic fungi were widely distributed in various tissues and organs of healthy plants, and could form the same or similar active products with host plants after undergoing coevolution with plants, which were diverse and had biocontrol effects such as inhibiting the growth of pathogens, killing herbivorous insects, and promoting the growth of host plants. Based on the analysis for the existing shortcomings in the current research, this paper proposed future research trends in order to provide reference for the development and utilization of new biocontrol agents.

Key words: endophytic fungi; metabolites; biocontrol effect; host plant

植物内生真菌(endophytic fungi)是指真菌生活史的某一部分或全部寄生于健康植物的组织、器官

内,但不导致宿主植物表现出显著病症^[1-2]。这类真菌在植物根、茎、叶、花、果、种子内广泛分布^[3-4]。

收稿日期:2022-07-25;修回日期:2022-10-09.

基金项目:阿鲁科尔沁旗生物多样性专项调查与保护规划服务项目(AQJYZX-2018TP047-FW).

第一作者:白娜娜(1998-),女,内蒙古赤峰人,硕士.研究方向为森林病理学. Email:1554108298@qq.com

责任作者:姜海燕(1975-),女,内蒙古巴彦淖尔人,博士,副教授.研究方向为从事森林病理学和菌物分类研究. Email:jhydlm@126.com

关于植物内生真菌的起源可以追溯到 19 世纪中期,从 1866 年 Anton 等首次观察到健康植物细胞间隙中生活着某些微生物^[5],到 1886 年“植物内生菌(endophytic)”一词的提出^[6],再到 1898 年黑麦草种子中分离出第一株内生真菌^[7],这标志着对植物内生真菌领域探索的开端。直到 1993 年, Sterile 等^[8-9]从短叶紫衫的韧皮部分离得到 *Taxomyces andreae*,通过研究其次级代谢物,发现该菌可以产生紫杉醇类抗癌物质。自此之后,国内学者将研究重点从植物转移到相关的植物内生真菌,从而揭开了对植物内生真菌及其代谢产物的研究序幕。植物内生真菌在与宿主植物长期共存的过程中,形成一种特殊的关系,从而产生与宿主植物相同或类似的代谢产物,具有抑制病原菌生长、杀死植食性昆虫以及促进宿主植物生长等生防作用。植物内生真菌及其代谢产物的研究可以缓解植物开发利用的压力,为植物自然更新恢复提供保障,且其具有成为新型生防菌剂的潜力,将有效解决过度使用农药导致的植物病虫害耐药问题。因此,对植物内生真菌及其代谢产物的抑菌、杀虫、促生 3 个方面进行归纳总结,并分析现阶段研究的不足和未来的发展方向,以期新型生防菌剂的开发和利用提供参考。

1 植物内生真菌的抑菌作用

植物内生真菌可以通过与病原菌竞争生存空间、破坏细胞膜完整性、降解细胞壁等方式影响病原菌菌丝的生长,从而达到抑菌效果。抑菌机制的研究有助于探索植物内生真菌及其代谢产物抑菌的关键靶标位点,为开发微生物资源提供重要参考。

1.1 与病原菌竞争生存空间

孙凯^[10]利用 GFP 标记法,将枫香拟茎点霉侵染水稻根部全过程可视化,实验结果显示:接种 12 h 枫香拟茎点霉侵入水稻根表;7 d 在根表形成菌丝网络;14 d 开始进入表皮层。闫思远^[11]利用 GFP 标记的枸杞内生真菌 NQ8GII4 转化子,将其发酵液灌溉处理枸杞植株,研究结果明确了 NQ8GII4 菌株在枸杞根茎叶中定植情况及对枸杞促生抗病的影响。

1.2 破坏细胞膜完整性

王永刚等^[12-13]从白毛蛇中分离出一株内生真菌,并将其鉴定为链格孢,经研究该菌发酵提取物(B06e)对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的细胞膜完整性有较大影响,试验结果表明,经过 B06e 处理后,病原菌细胞膜表面变得粗糙异常,细胞膜出现大

量塌陷,致使细胞外界物质的大批量流入与细胞质等内源物质的大批量外泄,导致菌体细胞的渗透压和代谢调控系统发生紊乱,最终菌体丧失生命活力,达到抑菌效果。

1.3 降解细胞壁

陆洁森等^[14]通过扫描电镜观察西红柿球茎腐烂病菌丝形态,发现拮抗菌株 CS05 菌丝能产生 β -1,3-葡聚糖酶与几丁质酶,使病原菌胞外 AKP 含量增加,菌丝稀疏、皱缩。王亚楠等^[15]发现柳珊瑚链格孢属共附生真菌 WZL003 发酵液的乙酸乙酯提取物中存在抑菌活性较强物质,试验结果发现该萜醌类化合物能损伤鳗弧菌的细胞壁。

2 植物内生真菌的杀虫作用

植物内生真菌可以通过产生生物碱等含毒素物质,减少昆虫对植物的取食,甚至引起昆虫拒食,此外,植物内生真菌还可以通过与昆虫进行能源竞争和影响昆虫产卵等生殖,从而起到抗虫、杀虫的作用^[16]。

2.1 产生毒素

茉莉酮酸甲酯是能促进植物抵抗昆虫取食的植物激素^[17],利用外源使用茉莉酮酸甲酯模拟植食性昆虫的危害。何雅丽等^[18]发现内生真菌侵染的醉马草与未侵染的醉马草相比,植物代谢物明显降低,进而降低醉马草的适口性,削弱了植食性昆虫取食,提高了植物自身防御能力,试验结果表明,茉莉酮酸甲酯对内生真菌侵染的醉马草抗虫性有增益效果。秦俊华等^[19]以羽茅为试验材料,利用茉莉酮酸甲酯模拟食草昆虫的取食,对比感染内生真菌和不染内生真菌的羽茅形态指标和生理指标的区别,试验结果发现, MJ 可以抑制羽茅地上部分生长,提高其防御物质总酚和木质素含量,同时降低蚜虫种群数量。

2.2 影响昆虫生殖

孙艺昕等^[20]研究玉米内生真菌菌株 YB8、GX5、YB15、YC1 对玉米蚜幼虫历期、产雌历期、产雌量、死亡时间等指标影响,试验结果显示,玉米内生真菌对蚜虫生长繁殖存在不利影响,玉米蚜虫表现出趋避现象。常燕等^[21]选取夹竹桃根、茎、叶分离内生真菌为试验材料,测定其抗虫活性,结果表明,内生真菌有不同程度的杀虫活性,其中包括对幼虫的触杀活性。

3 植物内生真菌对宿主植物的促生作用

植物内生真菌能通过促进营养元素的吸收、植

物激素的干预和增加光合作用等方式,促进宿主植物的生长。任锡跃等^[22]研究发现,滇重楼内生真菌能产生不同程度的吲哚乙酸,促进宿主植物生物量的积累,其中木霉菌(8-6)可以明显提高滇重楼幼苗的光合能力;人参生柱隔孢(8-13)促进了糖苷类物质含量的积累,研究为植物内生真菌提高寄主植物生长提供理论参考。

3.1 营养元素的吸收

氮、磷、钾是植物正常生长所需大量元素,但植物能直接利用的效率低,甚至很难直接吸收。杨刚等^[23]采用溶磷圈法和钼锑抗比色法筛选糜子内生真菌溶磷活力,通过盆栽试验选出目标菌株 GM3,其具有良好的溶磷促生作用。朱静等^[24]从千年桐根茎叶分离筛选内生真菌,得到具有较强溶磷活性的菌株青霉属和嗜热真菌属。詹寿发等^[25]以芒萁为试验材料,从中分离并筛选出具溶磷、解钾、分泌吲哚乙酸(IAA)功能的内生真菌,得到菌株 MQ013、MQ039,与此同时测试对玉米幼苗生长的影响,结果表明,这两株内生真菌均具有明显的促进作用。据宋欢等^[26]研究,内生真菌 NS33、NS6 拥有分泌铁载体、吲哚乙酸和溶磷等能力,对雷公藤种子萌发等形态指标有显著促进作用。刘军等^[27]从檀香内生真菌中筛选具有促生效果的内生真菌,其中内生真菌 *Monilia* sp. TXRF45 既具溶磷活性,又能产生 IAA 和铁载体,该菌能稳定生存在檀香体内,并持续发挥其促生作用。

3.2 植物激素的干预

张集慧等^[28]从兰科药用植物中筛选出能产生不同程度的赤霉素、吲哚乙酸、脱落酸、玉米素、玉米素核苷 5 种植物激素的内生真菌。陈科霖等^[29]从金线莲的根、茎、叶中分离内生真菌,并分析优良菌株产吲哚乙酸(IAA)的特性。内生真菌聚多曲霉 *jdqmzz-1* 来自华重楼,杨涛等^[30]利用 LC-MS 鉴定出该菌主要具有玉米赤霉烯酮、甜菜碱和对硝基苯酚等促生活性物质,能够有效地促进华重楼的生长。

3.3 增加光合作用

鲍根生^[31]研究发现禾草源内生真菌寄生马先蒿后,马先蒿叶片的气孔导度等显著降低,胞间二氧化碳浓度明显增加。贾彤等^[32]对比是否感染内生真菌的羽茅形态和生理的区别,结果发现,感染两种内生真菌的羽茅二氧化碳浓度显著高于未染菌羽茅。狄佳麟等^[33]通过盆栽试验发现,菌株 SDYS63(三线镰刀菌 *Fusarium tricinctum*)对沙地云杉种子萌发率、株高、地径等形态指标均有提高;总

叶绿素、可溶性蛋白、丙二醛浓度等生理指标皆有显著提高。谢佳伟等^[34]研究结果发现,内生真菌云烟 87 发酵液浇灌的烟苗,在鲜质量、根鲜质量、地上部鲜质量等形态指标方面均有不同程度的增加。

4 存在问题与展望

植物内生真菌是一类具有研发潜能的微生物资源。目前国内对植物内生真菌的分离技术已经十分娴熟,大量研究显示,内生真菌具有促进宿主生长、防治病虫害以及抗非生物胁迫等作用,且室内效果明显。因此,应对植物内生真菌进行更加深入全面的研究。截至目前,对内生真菌的研究还存在不足,未来很长一段时间将处于发展阶段,可从 4 个方面加大研究力度:内生真菌的接种形态存在持久性考验;内生真菌代谢产物尚不能大量分离纯化;缺少对内生真菌遗传组学的研究;室内内生真菌作用良好,但林地或农田研究存在空白。

植物内生真菌分布在大多数高等植物体内,利用与宿主协同进化所形成的特殊关系,不仅有利于进一步开发利用内生真菌的生防作用,而且对提高植物抗性,促进植物自然更新恢复有一定帮助。未来的工作将会继续重视内生真菌代谢产物的分离提取、代谢遗传性、室外试验,致力于开发新型生物菌剂,同时培育高品质、高抗性、高遗传的转基因良种,此外,通过创新开辟植物内生真菌新领域。综上所述,以了解内生真菌与宿主植物的共生机制为基础,利用现有的科技手段利用内生真菌开发生物药剂,以期更好地为人类服务。

参考文献:

- [1] WILSON D. Endophyte: The evolution of a term, and clarification of its use and definition [J]. *Oikos*, 1995, 73(2): 274-276.
- [2] 狄佳麟. 4 株内生拮抗菌对沙地云杉的抗病促生作用 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2021.
- [3] STROBEL G, DAISY B, CASTILLO U, et al. Natural products from endophytic microorganisms [J]. *Journal of Natural Products*, 2004, 67: 257-268.
- [4] PETRINI O. Fungal endophytes of tree leaves [M]. New York: Springer-Verlag, 1991: 179-197.
- [5] 郑江松, 李继扬. 植物内生菌在药物研究中的应用 [J]. *复旦学报(医学版)*, 2013, 40(5): 610-618.
- [6] 张倩. 马齿苋内生菌抗青枯病的研究 [D]. 广州: 华南农业大学, 2019.
- [7] 张文豪. 侧柏内生菌抑菌活性研究 [D]. 杨凌: 西北农

- 林科技大学,2015.
- [8] 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.
- [9] DURÁN E L, PLOPER L D, RAMALLO J C, et al. The foliar fungal endophytes of *Citrus limon* in Argentina[J]. Canadian Journal of Botany, 2005, 83(4): 350-355.
- [10] 孙凯. 氮素调控内生真菌枫香拟茎点霉与植物共生互作的机制研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2021.
- [11] 闫思远. 枸杞内生真菌 *Fusarium nematophilum* NQ8GH4 遗传化体系的建立及在宿主植中的定殖[D]. 银川: 宁夏大学, 2020.
- [12] 王永刚, 杨光瑞, 陈凯, 等. 内生真菌链格孢菌醋酸乙酯提取物对金黄色葡萄球菌抑菌机制的研究[J]. 中草药, 2018, 49(3): 619-625.
- [13] 王永刚, 杨光瑞, 马雪青, 等. 内生真菌链格孢菌醋酸乙酯提取物对大肠杆菌抑菌机制的研究[J]. 中草药, 2018, 49(2): 374-381.
- [14] 陆洁森, 张家豪, 明乾良, 等. 西红柿球茎腐烂病拮抗真菌的筛选、鉴定及抑菌机制[J]. 中草药, 2022, 53(10): 3165-3170.
- [15] 王亚楠, 郑彩娟, 邵长伦, 等. 柳珊瑚共附生真菌 *Alternaria* sp. (WZL003) 抑菌化合物的分离及其作用机制初步研究[J]. 中国海洋药物, 2015, 34(2): 10-16.
- [16] 王婷, 叶耀辉, 郑红梅, 等. 植物内生真菌抗虫活性研究进展[J]. 江西中医药, 2016, 47(5): 67-70.
- [17] 孟昭军. 外源茉莉酸类化合物对两种落叶松的诱导抗虫性研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2008.
- [18] 何雅丽, 陈振江, 魏学凯, 等. 喷施茉莉酮酸甲酯及感染内生真菌促进醉马草抗虫性的生理作用研究[J]. 草业学报, 2020, 29(3): 121-129.
- [19] 秦俊华, 卢玉, 李夏, 等. 喷施茉莉酮酸甲酯及感染内生真菌对羽茅生长的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(4): 1145-1152.
- [20] 孙艺昕, 门兴元, 李超, 等. 高抗虫玉米内生真菌对玉米蚜生长、繁殖及取食选择的影响[J]. 中国生物防治学报, 2020, 36(2): 184-188.
- [21] 常燕, 曹军, 王兆慧, 等. 夹竹桃内生菌杀虫活性研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(1): 202-203.
- [22] 任锡跃, 李艳冰, 陈严平, 等. 4 株滇重楼内生真菌诱导甾体皂苷合成机制[J]. 分子植物育种, 2021(8): 1-15.
- [23] 杨刚, 余仲东, 赵世伟, 等. 糜子溶磷内生真菌的筛选及其鉴定[J]. 水土保持通报, 2020, 40(4): 124-132.
- [24] 朱静, 洪陈洁, 吴承祯, 等. 千年桐内生真菌的分离鉴定及溶磷能力测定[J]. 广东农业科学, 2019, 46(6): 46-51.
- [25] 詹寿发, 卢丹妮, 毛花英, 等. 2 株溶磷、解钾与产 IAA 的内生真菌菌株的筛选、鉴定及促生作用研究[J]. 中国土壤与肥料, 2017(3): 142-151.
- [26] 宋欢, 刘洁, 宋萍, 等. 内生真菌和内生细菌接种对雷公藤生长和次生代谢产物积累的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2020, 28(4): 347-355.
- [27] 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.
- [28] 张集慧, 王春兰, 郭顺星, 等. 兰科药用植物的 5 种内生真菌产生的植物激素[J]. 中国医学科学院学报, 1999(6): 49-54.
- [29] 陈科霖, 王明元, 尤长胜, 等. 金线莲分泌 IAA 内生菌的筛选与鉴定及其发酵条件优化[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2022, 43(3): 348-354.
- [30] 杨涛, 赵疆, 魏亚琴, 等. 华重楼内生真菌聚多曲霉的促生与拮抗作用[J]. 微生物学通报, 2021, 48(8): 2665-2680.
- [31] 鲍根生. 禾草内生真菌共生体对根寄生植物光合特性影响的研究[J]. 青海畜牧兽医杂志, 2020, 50(3): 1-7.
- [32] 贾彤, 任安芝, 王帅, 等. 内生真菌对羽茅生长及光合特性的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(17): 4811-4817.
- [33] 狄佳麟, 姜海燕, 丛林, 等. 4 株内生拮抗菌对沙地云杉的促生作用[J]. 东北林业大学学报, 2022, 50(6): 39-45.
- [34] 谢佳伟, 彭小祠, 陈小巧, 等. 云烟 87 内生真菌多样性及其促生作用评估[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2021, 36(6): 1000-1008.

责任编辑: 杨焱熔