

范 飞,李乐溪,鞠秀云,等. 1 株大蒜内生真菌的分离鉴定及抗病原真菌活性[J]. 江苏农业科学,2019,47(9):156-160.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.09.034

# 1 株大蒜内生真菌的分离鉴定及抗病原真菌活性

范 飞,李乐溪,鞠秀云,苏奕人,蒋继宏,杨绪勤

(江苏师范大学生命科学学院/江苏省药食植物生物技术国家重点实验室培育点,江苏徐州 221116)

**摘要:**大蒜(*Allium sativum* L.)为百合科葱属多年生草本植物,富含生物活性成分及营养物质。采用组织分离法对新鲜健康的大蒜蒜瓣进行内生真菌的分离纯化,获得一株乳白色真菌 KLBMPGC013;通过形态特征和 ITS 序列分析鉴定该菌株为白地霉(*Geotrichum candidum*);将该菌株菌悬液接种在健康大蒜蒜瓣上进行培养,大蒜蒜瓣未出现明显病斑,说明该菌株对大蒜无致病性影响;以 4 种植物病原真菌为指示真菌检测该菌株的抑菌活性,结果显示,该菌株能抑制 2 种指示真菌的生长;采用蒽酮硫酸法检测该菌株产胞外多糖含量,结果显示,其胞外多糖浓度为 2.89 mg/mL。通过提取该菌株胞外粗多糖并检测其抑菌活性发现,该内生真菌粗多糖对大蒜白腐小核菌的抑制作用较好,对西瓜壳二孢稍有抑制作用。

**关键词:**大蒜;白地霉;抗病原真菌活性;分离纯化;ITS 序列分析

**中图分类号:**S182 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)09-0156-04

植物内生真菌是生活在健康植物组织内部并不表现出外在症状的微生物,它们从寄主植物上获得营养和保护,而寄主植物可以从增强的竞争能力和对草食动物、病原体和各种非生物胁迫的抗性中受益,具有丰富的生物多样性<sup>[1-2]</sup>。植物内生真菌已知的种类繁多,而且还有许多植物内生真菌有待开发和研究,是新型的药用资源,具有潜在的应用价值。近年来的研究表明,几乎所有植物体内都存在着内生真菌,它们主要生长在植物的根、茎、叶、果实和种子等器官的皮下组织中。植物内生真菌和宿主植物协同进化、互惠共生<sup>[3-4]</sup>,它们可以产生大量对现代医学、农业和工业有潜在应用价值的次生代谢产物,包括新型抗生素、抗药物、免疫制剂和抗癌化合物等<sup>[5-6]</sup>。汪涯等从蛇足石杉叶片中分离的内生真菌产生的黄曲霉具有抗老年痴呆和显著提高记忆力的功效<sup>[7]</sup>。一些药用植物内生真菌还可以产生抗肿瘤活性物质,研究人员从白苞蒿<sup>[8]</sup>、碱蓬<sup>[9]</sup>、海南粗榧<sup>[10]</sup>等药用植物中分离出了能产生抗肿瘤活性物质的内生真菌。

大蒜(*Allium sativum* L.)属于百合科葱属,有“天然抗生素”的美称,是重要的药食同源植物<sup>[11]</sup>。大蒜中含有丰富的大蒜素、大蒜多糖、蒜氨酸酶等对人体健康十分有益的成分,已有研究证明,大蒜具有降血脂、降血糖、增强免疫力、防癌抗癌、延缓衰老等重要的生理功能,且在食品、药品以及化妆品领域具有广阔的应用潜力<sup>[12-13]</sup>。目前,关于大蒜的研究热点主要集中在大蒜提取物和杀菌抑菌方面,而对大蒜内生真菌的研究还有待深入。本研究从新鲜大蒜蒜瓣中分离得到一株

内生真菌,研究该真菌抑制植物病原菌活性以及产胞外多糖的能力,提取该真菌胞外粗多糖并检测其抑菌活性。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

1.1.1 植物样品 本试验所用大蒜采自江苏省徐州市邳州市宿羊山镇大蒜种植基地。本试验所用大蒜个头大、品质好、肉质脆、无虫孔及病害症状,有地域特色,具有说服力。

1.1.2 培养基 分离纯化培养基——马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)培养基配方:马铃薯 200 g,葡萄糖 20 g,去离子水 1 L,琼脂 20 g,pH 值自然。

对照培养基——LB 固体培养基配方:胰蛋白胨 10 g,NaCl 10 g,酵母浸出粉 5 g,去离子水 1 L,琼脂 20 g,pH 值为 7.0~7.2。

富集培养基——马铃薯葡萄糖(PD)液体培养基配方:马铃薯 200 g,葡萄糖 20 g,去离子水 1 L,pH 值自然。

1.1.3 目标菌株 试验所用植物病原真菌有白腐小核菌(*Sclerotium cepivorum* Berk.)、茄链格孢(*Alternaria solani*)、苹果轮纹病菌(*Phylospora piricola*)、西瓜壳二孢(*Ascochyta citrullina* Smith),均由江苏师范大学江苏省药食植物生物技术国家重点实验室提供。

1.1.4 Sevag 试剂的配制 三氯甲烷与正丁醇体积比为 4:1。

1.1.5 试验仪器 GC-250 型恒温光照培养箱(上海悦丰仪器仪表有限公司);HZP-250 型全温振荡培养箱(上海福玛实验设备有限公司);UV-8000A 型双光束紫外可见分光光度计;DC-52 生物显微镜。

### 1.2 试验方法

1.2.1 大蒜内生真菌的分离纯化 采用组织切块法对大蒜进行内生真菌分离<sup>[14]</sup>。将新鲜大蒜去皮后,用去离子水冲洗 10 min,在无菌环境下将大蒜用次氯酸钠溶液浸泡 5 min,75%乙醇漂洗 20 s,无菌生理盐水冲洗 2 次,无菌水冲洗 1

收稿日期:2018-07-23

基金项目:国家自然科学基金(编号:31672148);江苏省徐州市科技创新项目(编号:KC16SS093);江苏省自然科学基金(编号:BK20150232)。

作者简介:范 飞(1993—),男,江苏徐州人,硕士,主要从事植物学研究。E-mail:13952224415@163.com。

通信作者:杨绪勤,博士,硕士生导师,主要从事植物学研究。E-mail:yuqin800715@163.com。

次。取最后 1 次冲洗的无菌水 100  $\mu\text{L}$  涂布在 LB 固体培养基上, 37  $^{\circ}\text{C}$  下培养 1 d, 如无菌生长, 表明表面消毒成功, 可进行后续试验。将经过表面消毒处理的大蒜样品在无菌环境下切成约 0.5  $\text{cm}^3$  的小组织块, 均匀嵌插进 PDA 培养基中, 28  $^{\circ}\text{C}$  下培养 7~10 d 后, 从分离平板上挑取真菌菌落接种在新的分离纯化培养基上, 28  $^{\circ}\text{C}$  下培养 3~5 d。反复进行纯化培养, 直至获得单一菌株, 进行常规保种、备用。

**1.2.2 菌种鉴定** 将分离得到的 1 株可产生胞外多糖的菌株在 PDA 培养基上进行培养, 观察菌落特征。挑取该菌株纯培养产孢的内生真菌制片, 在显微镜下观察其形态特征。提取该菌株总 DNA, 采用 ITS 全序列通用引物进行 PCR 扩增, 产物测序后将 ITS 全序列在 NCBI 网站中进行 Blast 比对分析; 用 MEGA 5 软件构建系统发育树。

**1.2.3 菌株潜在致病性测定** 将培养 5 d 的菌株用无菌水制成菌悬液, 在 550 nm 处测定吸光度。将新鲜健康的大蒜蒜瓣以分离内生菌的方式进行表面消毒。在无菌环境下用消毒刀片在大蒜蒜瓣上横向划 3 道刀口, 分别涂上该菌株菌悬液, 以无菌水作对照<sup>[15]</sup>。在无菌培养皿中平铺脱脂棉, 喷无菌水保湿, 将处理过的蒜瓣铺在培养皿上培养, 共作 5 个平行样。28  $^{\circ}\text{C}$  下培养 7 d, 每天观察蒜瓣变化, 是否出现病变。

**1.2.4 抑菌活性检测** 以白腐小核菌、茄链格孢、苹果轮纹病菌、西瓜壳二孢 4 种植物致病真菌为指示真菌, 用 0.5 cm 打孔器制成菌饼。利用平板对峙法, 挑取一块菌饼放置在 PDA 培养基一侧, 在距离菌饼 3 cm 处接种“1.2.2”节中的内生真菌, 于 28  $^{\circ}\text{C}$  培养 5~7 d, 观察内生真菌是否抑制指示真菌生长。

**1.2.5 胞外多糖含量测定——蒽酮硫酸法** 胞外多糖的制备: 挑取一块菌体于 300 mL PD 液体培养基中, 28  $^{\circ}\text{C}$  摇床培养 2 d 制成种子液。分别吸取 1% 种子液于 500 mL PD 液体培养基中, 28  $^{\circ}\text{C}$  摇床培养 7 d, 共发酵 10 L。将发酵液于离心机中 4 000 r/min 离心 5 min, 得到的上清液即是含胞外多糖的溶液。

**葡萄糖标准曲线制作:** 准确称取葡萄糖 0.01 g 溶于 100 mL 去离子水中, 制备葡萄糖标准品溶液; 准确称取 0.1 g 蒽酮溶于 50 mL 浓硫酸中, 制备蒽酮硫酸溶液。从葡萄糖标准品溶液中分别吸取 50、100、200、300、400、600、800  $\mu\text{L}$ , 置具塞刻度试管中, 分别加去离子水定容至 1 mL。以葡萄糖溶液: 蒽酮硫酸溶液(体积比)为 1:3 的比例在每瓶葡萄糖溶液中加入 3 mL 蒽酮硫酸溶液。摇匀后 100  $^{\circ}\text{C}$  水浴加热 15 min, 取出后迅速冷却至室温。以去离子水为空白对照, 在最大吸收波长(620 nm)处测定相应的吸光度, 每个浓度测 3 次。以吸光度为纵坐标、葡萄糖质量浓度为横坐标绘制葡萄糖标准曲线。

**待测菌株胞外多糖溶液的配制:** 吸取 50  $\mu\text{L}$  内生真菌胞外多糖溶液溶于 950  $\mu\text{L}$  去离子水中, 稀释 20 倍, 然后加入 3 mL 蒽酮硫酸溶液混匀, 共测 3 个平行样。

**胞外多糖含量的测定:** 将待测溶液于 100  $^{\circ}\text{C}$  条件下水浴中加热 15 min, 取出后迅速冷却至室温。以去离子水为空白对照, 在最大吸收波长(620 nm)处测定相应的吸光度, 并通过绘制的葡萄糖标准曲线计算该内生真菌胞外多糖含量。

**1.2.6 内生真菌胞外多糖的粗提取** 收集胞外多糖溶液, 将

10 L 体积溶液浓缩至 1 L。加入 4 倍体积的 95% 乙醇混合后静置一夜, 之后离心, 保留沉淀。用 5 体积的去离子水将沉淀复溶、离心, 取上清。加入占该上清溶液体积 1/4 的 Sevag 试剂高速搅拌 20 min 后倒入分液漏斗中, 待分层后留上清, 并将该步骤重复 3 次。加入 4 倍体积的 95% 乙醇, 用布氏漏斗过滤, 保留沉淀。用 95% 乙醇在布氏漏斗上洗涤沉淀 2 次, 自然挥发乙醇, 即得到粗多糖。

**1.2.7 内生真菌粗多糖的抑菌活性检测** 取 10 mg 粗多糖溶于 1 mL 去离子水中, 用 0.22  $\mu\text{m}$  滤头过滤成无菌溶液。在 PDA 平板内 1 侧放置 1 枚无菌牛津杯, 加入 100  $\mu\text{L}$  粗多糖溶液, 在距离牛津杯 3 cm 处接种 1 块植物病原菌菌饼, 28  $^{\circ}\text{C}$  下培养 7 d, 观察内生真菌粗多糖是否抑制指示真菌生长。

## 2 结果与分析

### 2.1 大蒜内生真菌的分离

采用组织切块法对大蒜蒜瓣进行内生真菌分离, 在进行反复纯化后共获得纯培养内生真菌 9 株, 发现其中 1 株真菌 KLBMPGC013 可产生胞外多糖, 因此将该菌株作为进一步研究的大蒜内生真菌菌株。

### 2.2 菌株鉴定

**2.2.1 形态特征** 由图 1 可知, 菌株 KLBMPGC013 在 PDA 培养基上生长状况良好, 菌株为乳白色, 绒毛状, 孢子发达。通过光学显微镜观察该菌株孢子形状为椭圆形(图 2)。

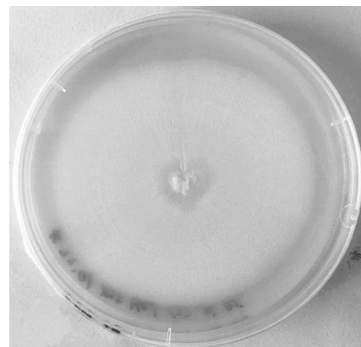


图1 菌株 KLBMPGC013 菌落特征

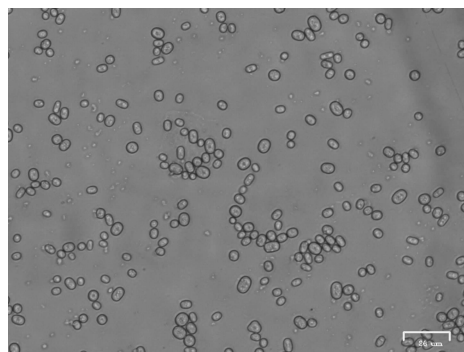


图2 光学显微镜下菌株孢子形状

**2.2.2 菌株的分子鉴定** 将内生真菌 KLBMPGC013 的 ITS 序列测定结果提交至 GenBank 数据库中, 登录号为 KY103456.1。将菌株 KLBMPGC013 的 DNA 序列与 GenBank 中相关序列进行 Blast 序列相似性比对, 采用 MEGA 5 软件构

建系统发育树, 对其进行分析。由图 3 可知, 菌株 KLBMPGC013 与白地霉(*Geotrichum candidum*)的进化距离最近, 因此鉴定该菌株为白地霉。

2.3 内生真菌潜在致病性分析

在培养过程中, 每天对经过 KLBMPGC013 菌株菌悬液涂抹的蒜瓣刀口进行观察, 7 d 后观察发现, 5 组样品与对照一样, 并未出现异常病斑(图 4)。将蒜瓣刀口处做切片处理,

在光学显微镜下观察, 结果(图 5)发现, 对照蒜瓣切片与接菌蒜瓣切片相比无明显差异, 这均说明该菌株对大蒜无致病性。

2.4 内生真菌抑菌活性检测

通过平板对峙法观察菌株 KLBMPGC013 对 4 种指示真菌生长的抑制效果, 发现该菌株可抑制白腐小核菌的生长, 并出现抑菌圈; 对西瓜壳二孢的抑制作用较小, 而对苹果轮纹病

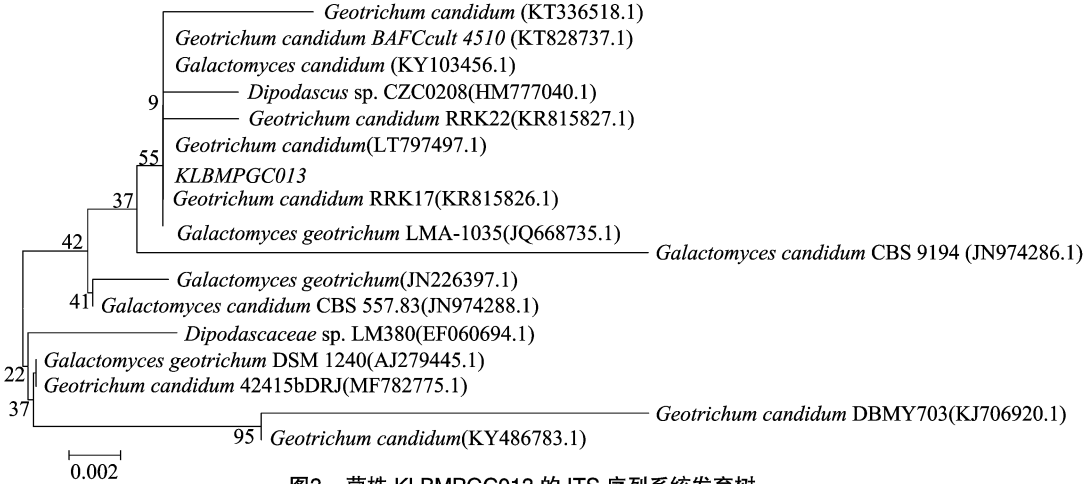


图3 菌株 KLBMPGC013 的 ITS 序列系统发育树

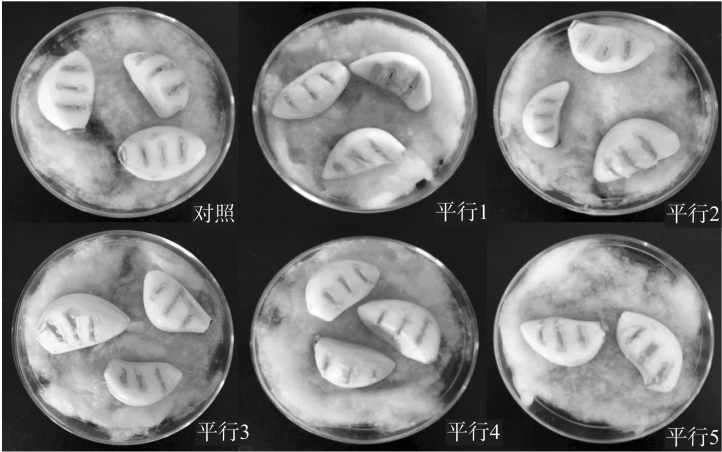


图4 7 d 后蒜瓣生长状况

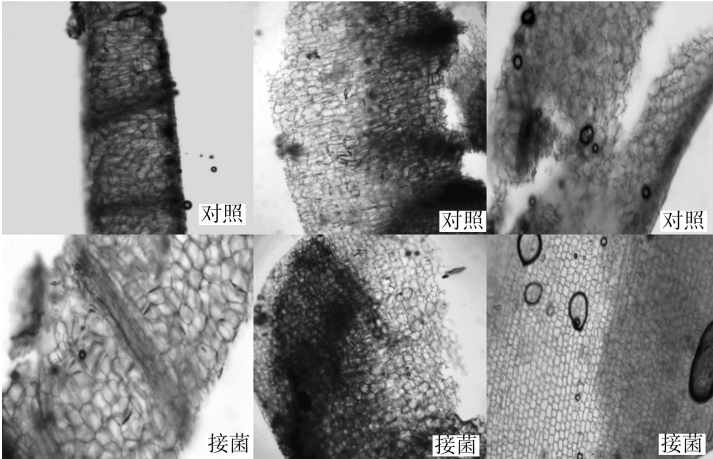


图5 光学显微镜下对照切片与接菌切片的比较

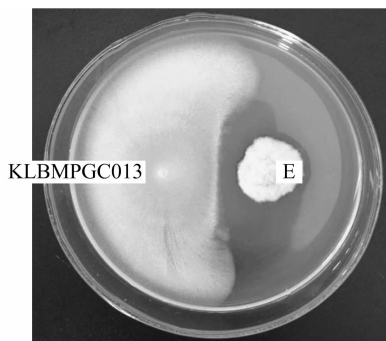


图6 菌株 KLBMPGC013 对大蒜白腐小核菌 (E) 的抑制效果

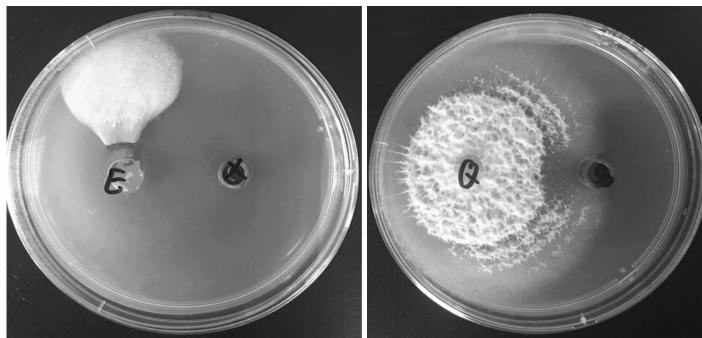


图7 菌株 KLBMPGC013 胞外粗多糖对大蒜白腐小核菌 (E) 和西瓜壳二孢 (Q) 的抑制效果

### 3 结论与讨论

本研究通过对新鲜大蒜的内生真菌进行分离纯化,获得 9 株内生真菌,通过筛选获得 1 株产胞外多糖的真菌菌株 KLBMPGC013。结合菌株 KLBMPGC013 的表型特征,经 ITS 序列分析,将该菌株鉴定为白地霉。本研究发现,该菌株对大蒜无致病性影响且对 2 种植物病原真菌有抑制效果。由于该真菌产胞外多糖含量较高,因此提取该菌株胞外粗多糖并检测其抑菌活性,结果表明,该菌株具有抑菌活性是因为其胞外粗多糖具有抑菌效果。由于植物内生真菌具有稳定的生存空间、不易受外界影响,能直接作用于病原菌,在生物防治领域占有重要地位。因此对于 KLBMPGC013 菌株抑制植物病原真菌的效果,在后续研究中可以通过盆栽试验来进行更加准确地检测。此外,对于该菌株胞外多糖的其他生物活性也可以进行检测和深入研究。

很多药用植物具有丰富的生物多样性,是人类开发利用的重要资源。植物内生菌与药用植物的协同进化关系决定了某些内生菌具有产生与宿主植物相同或相似的生物活性物质的能力<sup>[16]</sup>。植物内生菌产生的活性物质,在农业生产、生物制药和食品发酵等方面都表现出良好的应用前景,受到广泛关注。白地霉菌具有许多可利用的价值,其菌体蛋白营养价值很高,可食用、可作饲料,也可提取核酸,还可以合成脂肪。Boutrou 等研究表明,白地霉多样的代谢途径在奶酪的成熟过程中起重要作用,并通过酶活性促进奶酪风味的发展<sup>[17]</sup>。刘天明等利用白地霉发酵产品对小鼠进行急性毒性试验、骨髓细胞微核试验、小树精子畸形试验和 30 d 喂养试验,结果表明,白地霉菌株发酵产品具有较好的饮用安全性<sup>[18]</sup>。Assas 等利用阿达玛矩阵研究发现,在优化的培养条件下,白地霉菌

菌和茄链格孢无抑制作用(图 6 为菌株 KLBMPGC013 对大蒜白腐小核菌的抑制作用)。

#### 2.5 内生真菌胞外多糖含量测定结果

根据葡萄糖标准曲线  $y = 11.783 0x + 0.030 8$ ,  $r^2 = 0.990 6$ ,计算得到该菌株产多糖含量较高,为 2.89 mg/mL。

#### 2.6 内生真菌胞外粗多糖抑菌活性检测结果

通过平板对峙法观察菌株 KLBMPGC013 胞外粗多糖对 4 种指示真菌生长的抑制效果,结果显示,该菌株胞外粗多糖对大蒜白腐小核菌的抑制作用较好,对西瓜壳二孢稍有抑制效果,而对苹果轮纹病菌和茄链格孢无抑制作用(图 7 为菌株 KLBMPGC013 胞外粗多糖对大蒜白腐小核菌和西瓜壳二孢的抑制作用)。

对橄榄油废水中化学需氧量(COD)的去除率达到 70%,而且废液中部分多酚化合物也被氧化降解<sup>[19]</sup>。白地霉可用于白酒生产,使原酒口感纯正、甘甜、柔软,品质得到显著改善<sup>[20]</sup>。白地霉作为一种极具潜力的菌种在多个领域都有开发利用价值,正确地运用它、挖掘它,可为我们的社会带来巨大的经济效益。

#### 参考文献:

- [1]刘 诚.产气霉菌株 ZJQY709 固体发酵工艺及其发酵产物制剂的探索[D].杭州:浙江大学,2013.
- [2]张 宁,弥春霞.药用植物内生真菌研究进展[J].安徽农业科学,2015,43(21):81-82.
- [3]Zhou F,Zhang H C,Liu R,et al. Isolation and biological evaluation of secondary metabolites of the endophytic fungus *Aspergillus* sp. from *Astragalus membranaceus* [J]. Chemistry of Natural Compounds, 2013,49(3):568-570.
- [4]田 沛,南志标.内生真菌与寄主互惠共生的分子机制[J].草业学报,2017,26(4):196-210.
- [5]Strobel G,Daisy B. Bioprospecting for microbial endophytes and their natural products [J]. Microbiology & Molecular Biology Reviews, 2003,67(4):491-502.
- [6]Mitchell A M,Strobel G A,Hess W M,et al. *Muscodora crispans*, a novel endophyte from *Ananas ananassoides* in the Bolivian Amazon [J]. Fungal Diversity,2008,31:37-43.
- [7]汪 涯,颜日明,曾庆桂,等.一株产石杉碱甲的蛇足石杉内生真菌的分离和鉴定[J].菌物学报,2011,30(2):255-262.
- [8]钱一鑫,康冀川,雷帮星,等.贵州白苞蒿抗肿瘤、抗氧化内生真菌的筛选与鉴定[J].中国中药杂志,2014,39(3):438-441.
- [9]陈华彬.黄河三角洲耐盐植物碱蓬内生真菌抗肿瘤次生代谢产

刘华娇,谷青,赵冬梅,等.单孢继代培养对茄链格孢生长和产孢的影响[J].江苏农业科学,2019,47(9):160-162.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.09.035

# 单孢继代培养对茄链格孢生长和产孢的影响

刘华娇,谷青,赵冬梅,张岱,潘阳,杨志辉,朱杰华

(河北农业大学马铃薯病害研究中心,河北保定 071000)

**摘要:**继代培养对茄链格孢(*Alternaria solani*)的形态、菌落颜色、生长和产孢等生物学性状均会产生影响。经过连续单孢分离和培养,获得茄链格孢的2次继代培养菌株。随着继代培养代数的增加,角变现象呈上升趋势, $F_1$ 、 $F_2$ 代菌株出现角变现象的概率分别为23.33%、52.50%。通过交叉法和系列稀释法分别测定继代培养菌株的生长情况和产孢量。结果表明,无性 $F_1$ 、 $F_2$ 代与亲代相比,其生长量和产孢量均呈下降趋势,且 $F_2$ 代下降百分率更高。与亲代菌株相比, $F_1$ 代的生长量下降1.25%~7.61%, $F_2$ 代生长量下降10.07%~22.29%; $F_1$ 代菌株单位面积产孢量降低12.80%~84.60%, $F_2$ 代菌株单位面积产孢量下降80.11%~96.50%,且产孢量与菌落颜色深浅密切相关,菌落颜色较深的菌株分生孢子单位面积的产孢量要高于菌落颜色浅的菌株。表明茄链格孢无性后代活力不断降低。

**关键词:**马铃薯早疫病;继代培养;生长量;产孢量;角变

**中图分类号:** S435.32 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)09-0160-03

由茄链格孢(*Alternaria solani*)引起的马铃薯早疫病是影响我国马铃薯生产的重要真菌病害之一。严重时,该病对马铃薯主产区造成的损失可达70%~80%<sup>[1]</sup>。马铃薯早疫病是一种气传多循环流行性病害,病菌对环境的适应能力强。自茄链格孢被报道以来,前人的研究多集中在其生物性状、侵染方式、药效防治等方面,关于实验室条件下单孢继代培养对茄链格孢生长情况及适应能力的影响国内外未见报道。

研究表明,继代培养可引起虫草、白僵菌等微生物的变异

和生物学特性的改变。刘荻等发现,北虫草的组织分离株在继代培养中会发生明显的角变<sup>[2]</sup>。刘海英等发现,继代培养会造成玉米大斑病菌的菌丝生长速度变慢,产孢量降低<sup>[3]</sup>。张慧等研究发现,白僵菌产孢量随继代培养代数呈指数下降趋势<sup>[4]</sup>。许志斌对绿僵菌进行研究发现,随着继代培养代数的增多,菌株的产孢量逐渐降低<sup>[5]</sup>。孙召朋通过继代培养降低了白僵菌对玉米螟的毒力<sup>[6]</sup>。唐晓庆等研究发现,继代培养能逐渐增强球孢白僵菌的抗旱能力<sup>[7]</sup>。

Meng等分析发现,茄链格孢病菌的遗传变异很高,推测其可能存在隐藏的有性生殖<sup>[8]</sup>。除有性生殖外,还有一种可能是茄链格孢存在准性生殖现象,使病菌的遗传变异增高。单孢分离技术在病原真菌遗传特性、致病力分化等研究中有重要作用。单孢分离可以获得纯菌种,有利于更好地研究菌株的遗传变异。本试验通过对茄链格孢的单孢分离及其后代的继代培养,比较亲代与后代之间生长和产孢的差异,分析继代培养对茄链格孢的影响,旨在为说明茄链格孢较高的遗传变异及是否存在准性生殖现象提供理论依据。

收稿日期:2018-02-12

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项基金资助项目(编号:CARS-09-P18)。

作者简介:刘华娇(1991—),女,河北石家庄人,硕士研究生,主要从事植物病理学研究,E-mail:285627513@qq.com;共同第一作者:谷青(1991—),女,河北石家庄人,硕士研究生,主要从事植物病理学研究,E-mail:guqing0708@163.com。

通信作者:朱杰华,博士,教授,主要从事植物病理学研究,E-mail:zhujiehua356@126.com;杨志辉,博士,教授,主要从事马铃薯病害方面的研究,E-mail:bdyangzhahui@163.com。

物的研究[D]. 济南:山东师范大学,2015.

[10] 阳辉蓉. 海南粗榧内生真菌次级代谢产物及其抗菌抗肿瘤活性研究[D]. 海口:海南大学,2015.

[11] 邢利沙. 大蒜脂溶性成分及其生物活性的研究[D]. 天津:天津大学,2015.

[12] 陶庆霞,张鹏,吴翠莹,等. 大蒜素抗肿瘤作用及其机制的研究进展[J]. 中华神经创伤外科电子杂志,2016,2(6):365-368.

[13] 朱天信,刘玉翠,杨阳,等. 大蒜素对脑梗死的防治作用[J]. 吉林医药学院学报,2015,36(1):63-64.

[14] 李乐溪,嵇静静,周亮吟,等. 大蒜产香内生真菌的分离及其挥发性成分分析[J]. 氨基酸和生物资源,2017,39(1):70-73.

[15] 崔北米,潘巧娜,张陪陪,等. 大蒜内生细菌的分离及拮抗菌筛

选与鉴定[J]. 西北植物学报,2008,28(11):2343-2348.

[16] 赵欢. 药用植物内生真菌的研究进展[J]. 北方园艺,2017(13):170-175.

[17] Boudrou R, Guéguen M. Interests in *Geotrichum candidum*, for cheese technology[J]. International Journal of Food Microbiology, 2005,102(1):1-20.

[18] 刘天明,孙丙升,于莎莎,等. 天然白地霉菌株发酵产品的毒理安全性评价[J]. 中国酿造,2009,28(5):87-90.

[19] Assas N, Marouani L, Hamdi M. Scale down and optimization of olive mill wastewaters decolorization by *Geotrichum candidum*[J]. Bioprocess Engineering,2000,22(6):503-507.

[20] 胡建华. 白地霉在清香型基酒生产中的应用[J]. 酿酒,2014,41(1):54-56.