



薰衣草内生真菌分离、筛选与菌株 *Alternaria alternata* XYC-7 次级代谢产物鉴定及抗氧化活性分析

白双琴^{1,2}, 宋涛^{1,2}, 叶彤^{1,2}, 任艳利^{1,2}

(1. 伊犁师范大学 生物科学与技术学院, 新疆伊宁 835000; 2. 新疆薰衣草资源保护与利用重点实验室, 新疆伊宁 835000)

摘要 本研究旨在从薰衣草中筛选兼具抑菌与抗氧化活性的内生真菌资源,并鉴定其活性代谢产物。采用组织块法分离薰衣草根、茎、叶的内生真菌,通过形态学特征与 ITS rDNA 序列分析对菌株进行鉴定;利用琼脂块法和滤纸片法测定菌株对革兰氏阳性菌(金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌)及革兰氏阴性菌(大肠杆菌)的抑菌活性,并通过 DPPH 自由基清除试验评估抗氧化能力。结果表明:从薰衣草中分离的 13 株内生真菌中,发现其中有 10 株内生真菌对供试菌显示出抑菌活性,其中菌株 XYC-7 的菌株抑菌效果最强,对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和枯草芽孢杆菌的抑菌圈直径分别达 2.6 cm、2.5 cm 和 2.7 cm,表现出广谱抑菌性。该菌株发酵液的乙酸乙酯萃取物在浓度 1 mg/mL 时,对 DPPH 自由基清除率为 89.14%,显示出显著的抗氧化潜力。进一步通过高效液相色谱(HPLC)分析,发现其活性成分保留时间与花色苷标准品一致,含量为 0.826 mg/L,表明黄酮类物质(花色苷)是关键活性成分。结合形态学与分子生物学鉴定,最终确认 XYC-7 为互生链格孢菌(*Alternaria alternata*)。

关键词 薰衣草;内生真菌;抑菌;抗氧化

薰衣草(*Lavandula angustifolia* Mill.)为唇形科植物,在中国主要分布于新疆,其中伊犁地区的狭叶薰衣草以其得天独厚的自然条件、悠久的种植历史、优良的精油产量为人们所熟知,伊犁地区也因此被誉为“中国的薰衣草之乡”^[1]。

植物内生真菌是指在其生命周期的某个阶段或某个过程中,寄生于健康植物各组织和器官中,且不会引发宿主植物组织明显病理变化或症状的真菌^[2]。植物内生真菌能够产生三萜类、黄酮、多酚、生物碱等多种活性成分,在抗肿瘤、抗菌、抗氧化、抗病毒和免疫调节等相关领域都发挥着重要作用^[3]。由内生菌 *Alternaria alternata* 可分离出已知黄酮类化合物^[4]。Ameen 等^[5]利用互生链格孢菌合成了金纳米颗粒,合成的 AuNPs 对 DPPH 自由基清除具有较高活性,IC₅₀ 值为 224.97 μg/mL,对 A549 细胞株进行细胞毒性检测,确定其具有抗癌作用,IC₅₀ 值为 121.79 μg/mL。紫茎泽兰叶片花色苷提取液在浓度为

0.05 mg/mL 时,DPPH 自由基清除力达到最大,花色苷平均含量 143.27 mg/100g^[6]。近年来,内生真菌产黄酮特性逐渐受到人们的关注,目前已有关于苦木^[7]、鱼腥草^[8]等植物中产黄酮类物质的内生真菌的报道。从薰衣草中提取分离花色苷,仍然是临床上获得花色苷的主要途径,但由于薰衣草生长条件气候限制,其天然资源分布非常有限,如果一味地只是通过薰衣草植株提取花色苷,不但市场的大量需求不能被满足,而且还造成资源浪费和环境破坏,甚至极大程度影响了生态平衡。内生真菌是一类重要的微生物资源,具有重要的商业研究价值。薰衣草的研究主要集中在引种栽培^[9]、种质资源^[10]、化学成分分析^[11]及功能性分析方面^[12],而关于薰衣草内生菌的次级代谢产物分析研究尚未报道。本研究从薰衣草根、茎、叶中分离出产花色苷的内生真菌,并对其进行了分类鉴定,为花色苷的开发和利用提供一条新途径,为获得花色苷的新药源途径提供了有益借

收稿日期:2025-04-10 修回日期:2025-05-20

基金项目:伊犁师范大学提升学科综合实力专项项目(22XKZY15)。

第一作者:白双琴,女,硕士研究生,研究方向为天然产物化学。E-mail:bsq2889331369@163.com

通信作者:任艳利,女,副教授,研究方向为生物化学与分子生物学、肿瘤遗传学。E-mail:864672445@qq.com

鉴,以及对薰衣草内生真菌的深度开发利用具有一定参考意义。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

薰衣草(*Lavandula angustifolia* Mill.)采自新疆伊犁哈萨克自治州霍城县,经伊犁师范大学焦子伟教授鉴定,确定为狭叶薰衣草。试验所需供试菌大肠杆菌(*Escherichia coli*)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)、枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)均购买于广东环凯生物科技有限公司。DNA Marker DL2000、引物 ITS1F/ITS2 以及真菌基因组 DNA 快速抽提试剂盒、甲醇(色谱纯)购于上海生工生物工程股份有限公司;PCR 扩增试剂购于天根生化科技有限公司;DPPH 自由基清除试剂购于长城生物化学工程有限公司。高效液相色谱仪,珀金埃尔默仪器有限公司;真空旋转蒸发器,瑞士 BUCHI 公司;5910R-冷冻离心机,Eppendorf 公司;酶标仪,赛默飞世尔热电 FC 型号。

1.2 薰衣草内生真菌的分离及保存

将薰衣草根、茎、叶清洗消毒,剥离表皮,然后切成 0.5 cm 的长段,无菌水重复冲洗 3 次,75%酒精消毒 2 min 后无菌水冲洗 3 次,5%次氯酸钠浸泡 3 min 后无菌水冲洗 3 次,最后,用无菌滤纸将水分吸干。将薰衣草组织块接种在含有 1%链霉素和青霉素的 PDA 培养基中,每个平板接种 3 个。同时,将最后一次清洗薰衣草的无菌水涂布在新的 PDA 培养基上,作为空白对照。接种完成后,将平板放入恒温培养箱中,在 28 °C 下培养 5~7 d,待菌丝长出后,使用接种环将其接种于新的 PDA 培养基中,经过 5~8 次纯化后,用 30%甘油进行冻存,并保存于-80 °C 冰箱中^[13]。

1.3 方 法

1.3.1 抑菌活性筛选 琼脂块法:将供试菌分别接种在 LB 液体培养皿中,37 °C 培养 12~16 h。取 100 μ L 细菌悬液涂布于 LB 固体培养基中,在 LB 固体培养基上用 5 mm 打孔器打均匀分布的 3 个孔,用直径为 5 mm 的打孔器取内生真菌,接种于培养基中,倒置,37 °C 培养 24 h,然后以交叉法测量菌落直径^[14],计算抑菌率,抑菌率=(对照组菌落数-试验组菌落数)/对照组菌落数 \times 100%,对照组菌落数为不含抑菌物质的琼脂块与菌液共培养后,统计的菌落数。试验组菌落

数为含抑菌物质的琼脂块与菌液共培养后,统计抑菌圈外的菌落数。

滤纸片法:在每个涂布细菌菌液的培养皿中均匀放置 3 个滤纸片。同时,无菌水作为阴性对照组,青霉素、链霉素作为阳性对照组,甲醇作为空白对照组。倒置,37 °C 培养 24 h,采用交叉法测量抑菌圈直径,计算其平均值^[15],抑菌圈计算公式: $d=(d1+d2)/2$,(d 代表抑菌圈直径)。

1.3.2 发酵液抗氧化能力检测 将保存的 XYC-7 内生真菌菌株接种于 PDA 斜面培养基,在 28 °C 恒温培养 1 周完成活化。随后挑取菌丝接种至含有 PDA 液体培养基的锥形瓶中,置于 28 °C、135 r/min 摇床培养 72 h。发酵结束后,采用 4 层纱布粗滤去除大颗粒杂质,再通过真空抽滤装置收集菌丝体。将菌丝置于 60 °C 烘箱干燥至恒量,研磨成粉末状,备用。

将样品和维生素 C 标准品溶液分别稀释至浓度为 0.2、0.4、0.6、0.8 和 1.0 mg/mL,按照试剂盒说明书加入反应液和样品,设置相应的空白管和对照管,每个反应 3 个重复,充分混匀后避光静置 30 min,测定 517 nm 处的吸光度值,筛选出具有显著抗氧化活性的菌株^[16-17]。

1.3.3 高效液相色谱(HPLC)色谱条件 C18 色谱柱(4.6 mm \times 250 mm,5 μ m),柱温 30 °C;检测波长:256 nm,流动相比例(甲醇:水=70:30),流速 1 mL/min,进样量 20 μ L,对照品花色苷标准品购于阿拉丁试剂(上海)有限公司^[18]。

1.3.4 rDNA-ITS 序列分析 利用真菌基因组 DNA 快速抽提试剂盒,提取真菌基因组总 DNA,选取引物 1:ITS1F(5'-TCCGTAGGTGAACCT-GCGG-3')和引物 2:ITS2(5'-TCCTCCGCT-TATTGATATGC-3')进行 PCR 扩增。扩增后的片段通过 10 g/L 琼脂糖凝胶电泳进行检测,随后用 SanPrep 柱式 DNA 胶回收试剂盒(上海生工生物工程股份有限公司)对扩增片段进行回收测序。最后,在 NCBI 数据库中,通过 Blast 程序进行在线比对分析,确定所研究菌种的种属分类,使用 MEGA 7.0 软件构建系统发育树^[19]。

2 结果与分析

2.1 薰衣草内生真菌抑菌活性筛选

从薰衣草中分离到 13 株内生真菌,利用琼脂块法进行初步筛选,发现其中有 10 株内生真菌对

供试菌显示出抑菌活性(表 1)。利用十字交叉法测量,结果显示菌株 XYC-7 的抑菌效果最强,对大肠杆菌抑菌圈平均直径为 2.7 cm、对金黄色葡萄球菌抑菌圈平均直径为 2.6 cm、对枯草芽孢杆菌抑菌圈平均直径为 2.8 cm(图 1),抑菌率分别是 75.57%、68.49%、83.33%(表 2)。

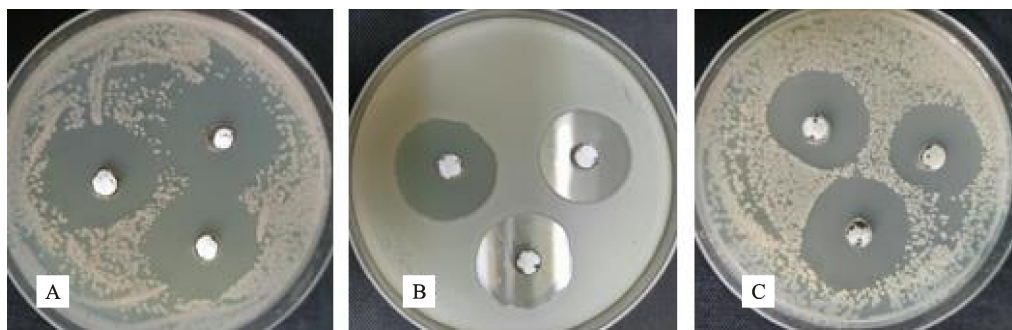
表 1 10 株薰衣草内生真菌琼脂块法抑菌直径($\bar{x} \pm s_x$)

Table 1 Inhibition diameters of ten strains of *Lavandula angustifolia* Mill. endophytic fungi by agar block method

薰衣草内生真菌 Endophytic fungi of <i>Lavandula angustifolia</i> Mill.	大肠杆菌 <i>Escherichia coli</i>	金黄色葡萄球菌 <i>Staphylococcus aureus</i>	枯草芽孢杆菌 <i>Bacillus subtilis</i>
XYC-1	0.9±0.21	1.5±0.13	1.4±0.21
XYC-2	—	1.6±0.12	2.4±0.2
XYC-3	1.8±0.17	—	2.3±0.17
XYC-5	2.6±0.03	1.2±0.08	—
XYC-7	2.7±0.003	2.6±0.016	2.8±0.06
XYC-8	—	2.0±0.11	1.3±0.31
XYC-9	1.1±0.06	—	2.5±0.11
XYC-10	—	1.1±0.05	—
XYC-11	1.2±0.14	—	2.0±0.3
XYC-13	1.7±0.17	2.4±0.02	—

注:“—”代表无抑菌效果。下同。

Note: “—” represents no bacteriostatic effect. The same below.



A. 大肠杆菌; B. 金黄色葡萄球菌; C. 枯草芽孢杆菌

A. *Escherichia coli*; B. *Staphylococcus aureus*; C. *Bacillus subtilis*

图 1 薰衣草内生真菌 XYC-7 琼脂块法抑菌作用

Fig. 1 Bacteriostatic effect of *Lavandula angustifolia* Mill. endophytic fungus XYC-7 by agar block method

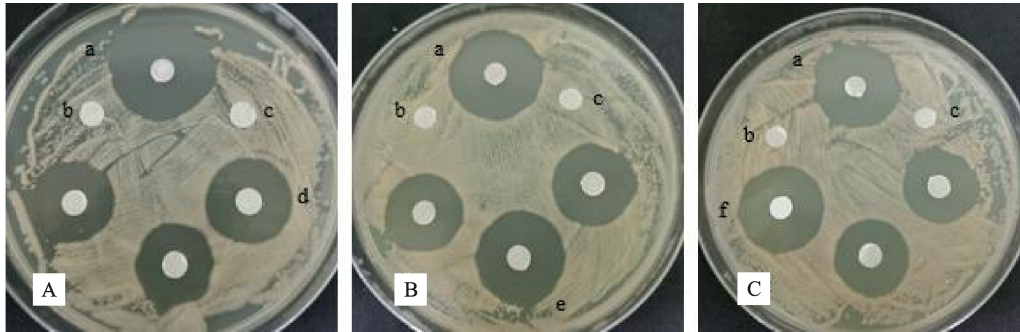
表 2 10 株薰衣草内生真菌琼脂块法抑菌率

Table 2 Inhibition rate of ten strains of *Lavandula angustifolia* Mill. endophytic fungi by agar block method %

薰衣草内生真菌 Endophytic fungi of <i>Lavandula angustifolia</i> Mill.	大肠杆菌 <i>Escherichia coli</i>	金黄色葡萄球菌 <i>Staphylococcus aureus</i>	枯草芽孢杆菌 <i>Bacillus subtilis</i>
XYC-1	15.08	25.48	15.71
XYC-2	—	27.30	33.33
XYC-3	26.55	—	30.93
XYC-5	63.83	20.83	—
XYC-7	75.57	68.49	83.33
XYC-8	—	36.70	20.13
XYC-9	15.46	—	42.25
XYC-10	—	19.51	—
XYC-11	17.05	—	21.43
XYC-13	24.39	51.28	—

为进一步验证初筛所得的内生真菌 XYC-7 的抑菌效果,采用滤纸片抑菌法进行试验验证。结果表明菌株 XYC-7 发酵液对 3 种不同的供试菌展现出较强的抑菌活性。通过十字交叉法测

量,其对大肠杆菌抑菌圈平均直径为 2.6 cm,对金黄色葡萄球菌抑菌圈平均直径为 2.5 cm,对枯草芽孢杆菌抑菌圈平均直径为 2.7 cm(图 2)。抑菌率分别是 74.07%、67.79%、72.29%。



A. 大肠杆菌;B. 金黄色葡萄球菌;C. 枯草芽孢杆菌;a. 双抗(阳性);b. 无菌水(阴性);c. 甲醇(空白);d. 大肠杆菌;e. 金黄色葡萄球菌;f. 枯草芽孢杆菌

A. *Escherichia coli*; B. *Staphylococcus aureus*; C. *Bacillus subtilis*; a. Double antibiotic (positive); b. Sterile water (negative); c. Methanol (blank); d. *Escherichia coli*; e. *Staphylococcus aureus*; f. *Bacillus subtilis*

图 2 薰衣草内生真菌 XYC-7 发酵液乙酸乙酯萃取液抑制作用

Fig. 2 Inhibition of XYC-7 in ethyl acetate extract of *Lavandula angustifolia* Mill. fermentation broth

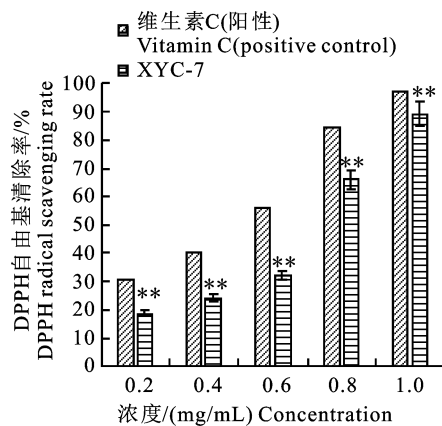
2.2 薰衣草内生真菌 XYC-7 发酵液对 DPPH 自由基清除试验结果

DPPH 自由基清除试验是一种快速有效评估抗氧化活性的方法,由表 1 数据可知,XYC-7 具有显著的抑菌效果,因此选取乙酸乙酯萃取 XYC-7 菌株发酵液的有机相进行 DPPH 自由基清除试验。结果显示:薰衣草 XY-7 发酵液与维生素 C 标准品的 DPPH 自由基清除能力与其浓度均呈现正相关。薰衣草内生真菌发酵液的 DPPH 自由基清除能力与其浓度之间呈正相关。当发酵液与标准品浓度为 0.2 mg/mL 时,XY-7 发酵液的 DPPH 清除率为 18.56%,维生素 C 清除率为 30.69%,此时 DPPH 自由基清除能力最弱;当浓度为 1 mg/mL 时,XY-7 发酵液的清除率显著提升至 89.14%,维生素 C 清除率为 97.43%,呈现出明显的增强趋势(图 3)。综合分析,薰衣草内生真菌的 DPPH 自由基清除能力与发酵液浓度密切相关。为进一步研究和利用薰衣草内生真菌的抗氧化潜力提供了科学依据。

2.3 抑菌活性产物的检测

高效液相色谱(HPLC)检测结果显示,花色苷标准品在保留时间 5.024 min 处出现特征峰。在相同色谱条件下,薰衣草内生真菌 XYC-7 发酵液的乙酸乙酯萃取物于 5.013 min($\leq \pm 0.1$ min)处检测到显著吸收峰(图 4)。证明该菌株

发酵液中存在与花色苷保留时间一致的化合物。通过建立花色苷标准曲线(回归方程 $y = 7\,039.9x + 2\,389.3$, $R^2 = 0.9993$,其中 x 代表待测样品中目标化合物的质量浓度, y 是在特定保留时间下产生的色谱峰面积),计算得出 XYC-7 发酵液中花色苷含量为 0.826 mg/L。结合“2.1”、“2.2”结果,表明 XYC-7 是薰衣草中已确认产花色苷活性成分的内生真菌。



“* * *”表示与维生素 C 相比差异极显著($P < 0.01$)
“* * *” indicates extremely significant difference compared with vitamin C ($P < 0.01$)

图 3 薰衣草内生真菌 XYC-7 发酵液对 DPPH 自由基清除率

Fig. 3 DPPH radical scavenging rate by *Lavandula angustifolia* Mill. endophytic fungus XYC-7 fermentation

2.4 产黄酮内生真菌鉴定

2.4.1 形态学鉴定 在 PDA 培养基中,菌落在 28 °C 条件下培养 7 d,外观呈绒毛状,生长速度较

快,在培养初期,菌丝呈现出白色。分生孢子为单生,颜色从棕色到橄榄色不等,形状不一:短棒状、球状、椭球状。具有横向和纵向分隔(图 5)。

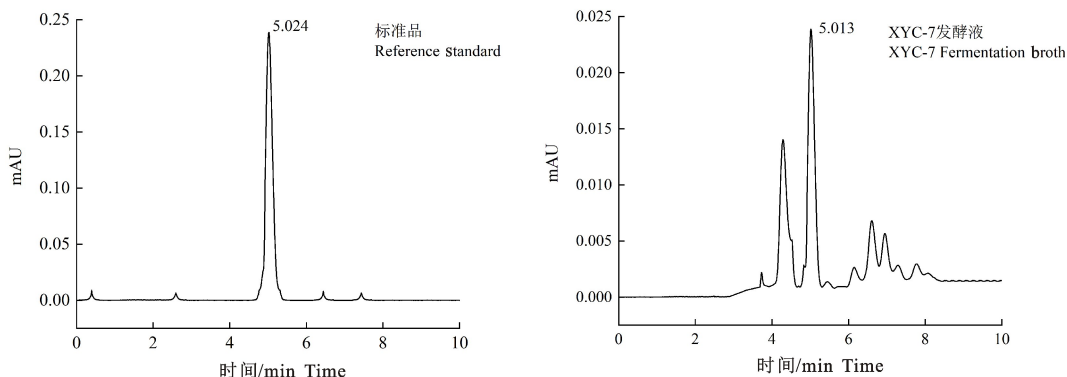


图 4 花色苷标准品和 XYC-7 发酵液的 HPLC 分析

Fig. 4 HPLC analysis of anthocyanin standard and XYC-7 fermentation broth

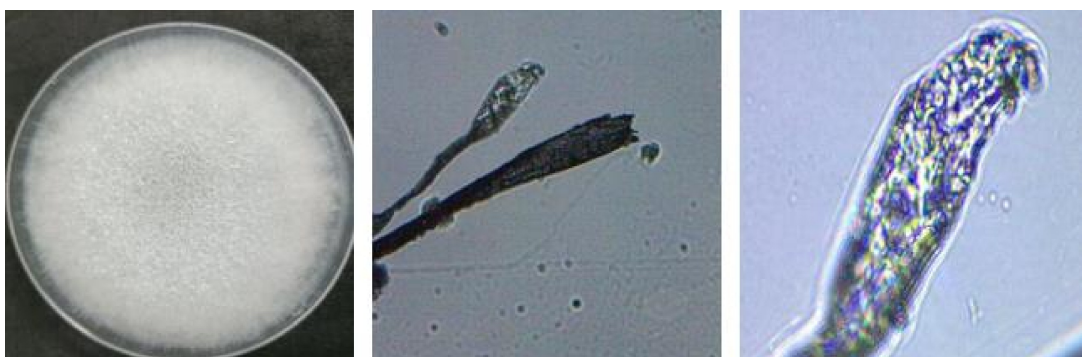


图 5 XYC-7 内生真菌的形态特征

Fig. 5 Morphological characteristics of XYC-7 endophytic fungi

2.4.2 分子生物学鉴定 使用 ITS1F 和 ITS2 引物对薰衣草内生真菌 XYC-7 的 DNA 进行扩增,测序结果显示,扩增产物片段为 255 bp (图 6),基因登录号为 MH754647。利用 Blast 程序和 Clustalx 软件,与 NCBI 数据库中的已知真菌序列进行同源性比较,选择与其同源性大于 99% 的菌种,利用 MEGA 11.0 软件进行分析并使用 Neighbor-Joining 法构建系统发育树(图 7)。菌株 XYC-7 与 *Alternaria alternata* 位于同一分支,属于同一属。结合形态学分析,可以确定薰衣草内生真菌 XYC-7 为互生链格孢菌 (*Alternaria alternata*)。

孢杆菌)和革兰氏阴性菌(大肠杆菌)表现出广谱抑菌作用(抑菌圈直径 2.5~2.7 cm),其发酵液在未优化浓度下对 DPPH 自由基的清除率高达

3 结论与讨论

本研究从薰衣草内生真菌 *Alternaria alternata* XYC-7 中分离鉴定出具有抗氧化活性的次级代谢产物。结果表明,该菌株的乙酸乙酯萃取物不仅对革兰氏阳性菌(金黄色葡萄球菌、枯草芽

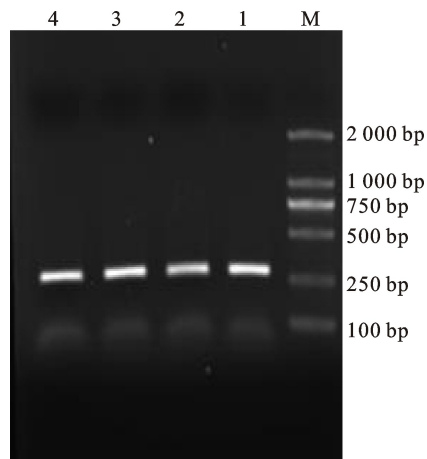


图 6 内生真菌 XYC-7 5.8 S rDNA-ITS 序列扩增片段的凝胶电泳分析

Fig. 6 Gel electrophoresis analysis of amplified fragments of the endophytic fungus XYC-7 5.8 S rDNA-ITS sequence

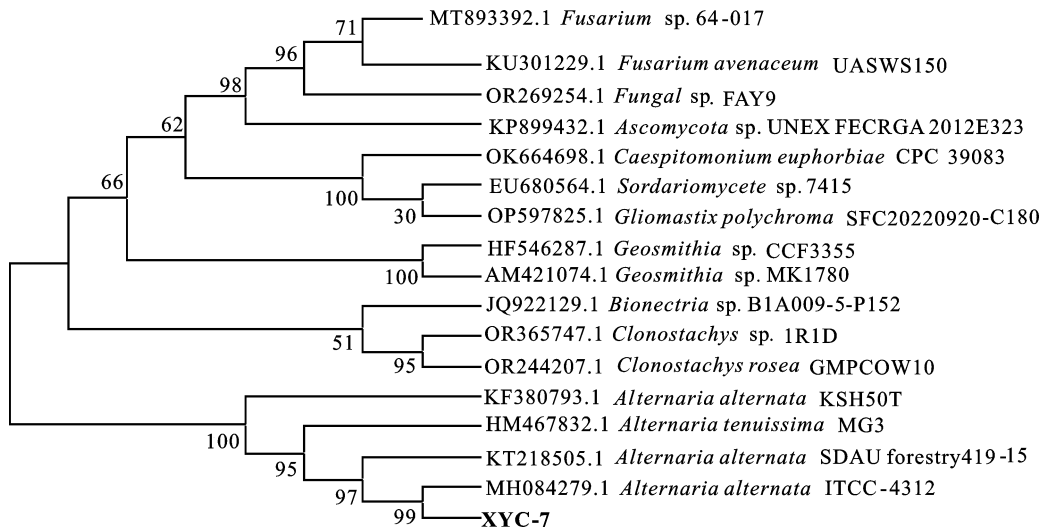


图7 依据 5.8 S rDNA-ITS 序列构建的 XYC-7 菌株的系统进化发育树

Fig. 7 Phylogenetic developmental tree of strain XYC-7 based on 5.8 S rDNA-ITS sequences

89.14%，显示出显著的抗氧化潜力。通过高效液相色谱(HPLC)分析，发现其活性物质的保留时间与花色苷标准品一致，含量为 0.826 mg/L，结合形态学与分子生物学鉴定，最终确认为互生链格孢菌(*Alternaria alternata*)。这一发现不仅拓展了链格孢属真菌的次级代谢产物多样性，也为微生物源花色苷的开发提供了新资源。

已有研究表明，链格孢属真菌的代谢产物中黄酮类物质是抗氧化活性的重要来源^[20]。Garri-do-Arandia 等^[21]研究发现 *Alternaria* 孢子蛋白 Alta 1 携带的类黄酮醇配体具有类似花色苷的活性氧清除能力，而卢丹丹^[22]和罗琴等^[23]分别报道了链格孢菌株 BS27 与 QJ15 在清除自由基方面的卓越表现(清除率最高达 95.17%)。本研究结果与上述发现高度契合，揭示了 XYC-7 菌株的花色苷合成能力，为解析链格孢属真菌的次级代谢多样性提供了关键证据。相较于传统薰衣草花色苷提取工艺受限于植株资源短缺与采收生态压力，XYC-7 菌株的微生物发酵途径展现出显著优势：一方面，其代谢产物兼具抑菌与抗氧化双重功能，符合天然复合功能制剂的开发趋势；另一方面，通过合成生物学手段优化菌株代谢通路，可突破植物源花色苷的生产瓶颈，为可持续利用药用植物资源提供范例。

值得注意的是，当前薰衣草研究多聚焦于精油成分与药理机制^[24-25]，其内生真菌资源的开发仍处于起步阶段。本研究借鉴苦木^[7]、鱼腥草^[8]等植物内生真菌的研究经验，通过活性导向筛选获得功能性菌株 XYC-7，不仅拓展了薰衣草资源

的利用维度，更揭示了植物-微生物协同代谢在天然产物合成中的潜在价值。未来需进一步解析 XYC-7 菌株花色苷合成的分子机制，优化发酵工艺以提高产物得率，同时评估其活性成分的构效关系与安全性，为开发新型天然抗菌/抗氧化剂奠定理论基础。

参考文献 Reference:

- [1] 毛小文,顾志荣,杨浩,等.基于网络药理学和分子对接探究薰衣草治疗睡眠障碍的作用机制[J].中国野生植物资源,2024,43(1):11-20.
- [2] 熊天真,谢诗语,薛亚娟,等.薰衣草产酚酸内生真菌的分离及产物初步鉴定[J].食品与生物技术学报,2018,37(3):250-255.
- [3] LAI D,LI J,ZHAO S,et al. Chromone and isocoumarin derivatives from the endophytic fungus *Xylomelasma* sp. Samif07, and their antibacterial and antioxidant activities [J]. *Natural Product Research*, 2021, 35(22):4616-4620.
- [4] VASUNDHARA M,BARANWAL M,KUMAR A. *Fusarium tricinctum*, an endophytic fungus exhibits cell growth inhibition and antioxidant activity [J]. *Indian Journal of Microbiology*, 2016, 56:433-438.
- [5] AMEEN F,AL-MAARY K S,ALMANSOB A,et al. Antioxidant, antibacterial and anticancer efficacy of *Alternaria chlamydospora*-mediated gold nanoparticles [J]. *Applied Nanoscience*, 2023, 13(3):2233-2240.
- [6] 罗承梅,朱文婷,屠霜茹,等.响应面法优化紫茎泽兰中花色苷的提取工艺及其抗氧化活性研究[J].山东化工,2023,52(24):62-65.
- [7] 徐芷晴,李洁,林莹,等.苦木内生真菌的分离鉴定及生物活性研究[J].北方园艺,2024(12):102-108.
- [8] 孟祥才,方玉鹏,孟娜,等.鱼腥草中产槲皮素内生真菌的分离鉴定[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2024,52(7):136-142.
- [9] 高宇,王丹,彭云,等.薰衣草引种栽培与利用研究进展[J].安徽农学通报,2017,23(19):20-21,30.
- [10] 苏秀娟,阿迪莱·阿布都热依木,龚林涛,等.新疆薰衣草种质资源遗传多样性 SRAP 分析[J].分子植物育种,2020,18(15):5150-5156.
- [11] 周笑如,周显成,刘学,等. MeJA 对薰衣草细胞中抗氧化物质合成影响的代谢组学分析[J].植物科学学报,2025,43(2):230-241.
- [12] 王成峰,刘磊,余长蓉,等.宜昌高海拔地区‘法国蓝’薰衣草农艺性状及相关性分析[J].湖北林业科技,2025,

- 54(1):9-13.
- [13] 刘欣瑜,黄恩霞,张书航,等. 露蕊乌头内生真菌的分离与鉴定[J]. 动物医学进展,2021(1):75-82.
- [14] 苗润泽,王松禹,高 上,等. 壳寡糖与五种抗生素对常见致病菌的体外协同抑菌效果研究[J]. 黑龙江畜牧兽医,2023(24):101-105,112.
- [15] 赵心阳,曹艳阳,潘雨晴,等. 杭锦旗野生甘草内生真菌的分离抑菌活性分析[J/OL]. 分子植物育种,1-24[2025-12-29]. <https://link.cnki.net/urlid/46.1068.S.20240308/1656.02>.
- [16] 张晶晶,张 宁,侯 微,等. 一株人参内生真菌的鉴定及对人参根腐病的防效[J]. 东北农业科学,2024(1):80-84.
- [17] 让凤菊,任艳利,张 维,等. 伊犁野核桃内抑菌抗氧化内生真菌的分离、筛选和鉴定[J]. 生物技术通报,2019(9):218-223.
- [18] 朱俊豪,贾红倩,张彩梅,等. HPLC法同时测定黄蜀葵花冠中芦丁、金丝桃苷和槲皮素的含量[J]. 生物化工,2021(2):1-4.
- [19] 刘德穗,谢晴宜,张军锋,等. 油茶内生真菌分离及次级代谢物生物活性分析[J/OL]. 分子植物育种,1-16[2025-12-29]. <https://link.cnki.net/urlid/1068.S.20240226.1706.010>.
- [20] 孟祥才,于鹏程,何录文,等. 从社会发展角度探讨中药资源的历史、现在与未来[J]. 中草药,2022,53(16):5235-5244.
- [21] GARRIDO-ARANDIA M,SILVA-NAVAS J,RAMÍREZ-CASTILLEJO C,*et al.* Characterisation of a flavonoid ligand of the fungal protein Alt a 1[J]. *Scientific Reports*,2016,6(1):33468.
- [22] 卢丹丹. 北桑寄生内生真菌的分离鉴定及 *Alternaria alternata* 次级代谢产物研究[D]. 太原:山西医科大学,2020.
- [23] 罗 琴,李水琴,国钰环,等. 秦艽内生真菌 *Alternaria alternata* QJ15 的生长特性及抗氧化活性研究[J]. 华西药学杂志,2018(2):157-160.
- [24] 刘 菲,王 倩,韩婷婷,等. 薰衣草精油对皮肤屏障紫外损伤的保护机制研究[J]. 生物学杂志,2024,41(1):46-53.
- [25] 程惠芳,刘志刚,雷学恒,等. 薰衣草精油通过抑制凋亡、上调海马 BDNF/proBDNF 表达改善大鼠卒中后抑郁[J]. 河北医科大学学报,2023,44(11):1248-1254.

Isolation and Screening of Endophytic Fungi from Lavender and Identification of Secondary Metabolites with Antioxidant Activity from Strain *Alternaria alternata* XYC-7

BAI Shuangqin^{1,2}, SONG Tao^{1,2}, YE Tong^{1,2} and REN Yanli^{1,2}

(1. College of Biological Sciences and Technology, Yili Normal University, Yining Xinjiang 835000, China;

2. Xinjiang Key Laboratory of Lavender Resources Protection and Utilization, Yining Xinjiang 835000, China)

Abstract Endophytic fungi from *Lavandula angustifolia* Mill. were isolated and screened for antibacterial and antioxidant activities, followed by identification of active metabolites. Fungi were isolated from the roots, stems, and leaves using tissue culture and identified based on morphological characteristics and ITS rDNA sequencing. Antibacterial activity against *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* (Gram-positive), and *Escherichia coli* (Gram-negative) was evaluated using agar block and filter paper disc methods. Antioxidant capacity was determined via DPPH radical scavenging. Among 13 isolated strains, 10 exhibited antibacterial activity. Strain XYC-7 demonstrated potent, broad-spectrum activity, with inhibition zones of 2.6 (*E. coli*), 2.5 (*S. aureus*), and 2.7 (*B. subtilis*) cm. Its ethyl acetate extract showed significant antioxidant activity (89.14% DPPH scavenging at 1 mg/mL). HPLC analysis identified a compound co-eluting with an anthocyanin standard (retention time match), quantified at 0.826 mg/L, suggesting anthocyanins (flavonoids) as key bioactives. Integrated morphological and molecular characterization identified strain XYC-7 as *Alternaria alternata*. These findings suggest that *A. alternate* XYC-7 is a promising source of dual-activity metabolites.

Key words Lavender; Endophytic fungi; Antibacterial; Antioxidant

Received 2025-04-10

Returned 2025-05-20

Foundation item Special Project for Enhancing Overall Discipline Strength of Yili Normal University (No. 22XKZY15).

First author BAI Shuangqin, female, master student. Research area: natural product chemistry. E-mail: bsq2889331369@163.com

Corresponding author REN Yanli, female, associate professor. Research area: biochemistry and molecular biology, tumor genetics. E-mail: 864672445@qq.com

(责任编辑:史亚歌 Responsible editor:SHI Yage)