



# 野生大豆内生真菌 YD09 鉴定及促生耐盐特性研究

高丽丽, 林星月, 朱 淼, 王 泽, 东雨竹, 马莲菊

(沈阳师范大学 生命科学院, 辽宁 沈阳 110034)

**摘要:** 为从野生大豆中筛选具有促生抗逆的内生菌, 利用组织分离法从野生大豆根中分离内生真菌, 根据菌株形态和 ITS 序列系统发育树对菌株进行鉴定, 研究菌株自身耐盐特性、胞内和胞外产物对大豆幼苗生长及耐盐性的影响。结果显示: 分离得到 1 株内生真菌, 基于菌株形态学和 rRNA 基因 ITS 序列系统发育分析, 鉴定为交链孢霉菌 (*Alternaria alternata*), 命名为 YD09。菌株 YD09 耐 NaCl 浓度可达 30%。菌株 YD09 作用于大豆幼苗, 具有良好的促生效果, 且可使幼苗耐 NaCl 浓度达到 200 mmol·L<sup>-1</sup>。菌株 YD09 胞内产物对大豆幼苗具有明显的促生效果, 胞外产物能提高大豆幼苗对盐胁迫的抗性。综上, 菌株 YD09 具有较好的促生、耐盐能力, 能够缓解盐胁迫对大豆幼苗的伤害, 可作为农业生产上应用的新菌种资源。

**关键词:** 野生大豆; 内生真菌; 鉴定; 耐盐

## Identification of Endophytic Fungi YD09 from Wild Soybean and Its Characteristics in Promoting Growth and Salt Tolerance

GAO Lili, LIN Xingyue, ZHU Miao, WANG Ze, DONG Yuzhu, MA Lianju

(College of Life Science, Shenyang Normal University, Shenyang 110034, China)

**Abstract:** In order to screen endophytes with growth promotion and stress resistance from wild soybeans, we used tissue separation method to isolate endophytic fungi from wild soybean roots. The strain was identified according to the morphology and ITS sequence phylogenetic tree. The salt tolerance characteristics of the strain itself was studied, as well as the effects of intracellular and extracellular products on the growth and salt tolerance of soybean seedlings. One endophytic fungus was isolated and identified as *Alternaria angustifolia*, which was named YD09. The strain YD09 can grow up under 30% NaCl concentration. Strain YD09 has a good promoting effect on soybean seedlings, and make the seedlings resistant to NaCl concentration up to 200 mmol·L<sup>-1</sup>. The intracellular product of strain YD09 has a significant resistance promoting effect on soybean seedlings, extracellular products can enhance salt tolerance of soybean seedlings. Strain YD09 has good growth promoting and salt tolerance abilities, which can alleviate the damage of salt stress to soybean seedlings, and it can be used as a new strain resource in agricultural production.

**Keywords:** wild soybean; endophytic fungi; identification; salt tolerance

植物内生菌 (endophytes) 指与宿主植物产生共生互利关系, 存在于宿主组织内不使宿主发生病变的微生物。植物内生菌包括真菌、细菌和放线菌等<sup>[1]</sup>。植物内生菌研究已有 100 多年历史, 其中植物内生真菌在自然界中至少有 100 多万种<sup>[2]</sup>。研究表明, 在长期进化过程中宿主植物与内生菌逐渐形成共生互利关系, 既可以促进植物生长又能增强宿主植物抗性<sup>[3]</sup>。Truyens 等<sup>[4]</sup>在镉污染稻田里的禾草细弱剪股颖种子内分离得到 2 株具有促生特性的菌株, 将其作用在镉胁迫下的细弱剪股颖幼苗, 可以促进幼苗生长, 增加生物量, 提高幼苗耐镉性。孙培等<sup>[5]</sup>从玉米根际筛选出一株耐高盐的细菌菌株 Y1, 结果表明该菌株可以促进玉米幼苗生长, 协助玉米幼苗抵抗盐胁迫。

野生大豆 (wild soybean) 是豆科草本植物, 在我

国资源丰富且分布广泛。野生大豆在长期进化过程中表现出强适应性、强抗逆性和较强繁殖能力等特点, 使其极具研究价值。目前, 徐萌等<sup>[6]</sup>在野生大豆中分离得到内生真菌 YD-25, 发现该真菌胞外产物对大豆幼苗生长有显著促进作用, 且具有良好抗重金属能力; 赵晓妍等<sup>[7]</sup>从野生大豆叶片中分离出内生细菌黑附球菌 YDX14, 研究发现 YDX14 对小麦幼苗具有良好的促生效果。然而关于野生大豆内生真菌的研究很少, 尤其是内生真菌在促生耐盐等相关方面的研究鲜有报道。

本研究从野生大豆根部中分离纯化得到 1 株内生真菌, 命名 YD09, 对其耐盐能力, 菌株自身及其胞内、外产物对大豆幼苗的促生、耐盐性的影响进行研究, 旨在为野生大豆内生真菌种质资源的基础研究、农业应用和潜在应用价值的挖掘奠定基础。

收稿日期: 2023-10-12

基金项目: 辽宁省教育厅项目 (LJC201912, LZD202004, LJKZ0991)。

第一作者: 高丽丽 (1998—), 女, 硕士研究生, 主要从事资源与应用微生物学研究。E-mail: 2635513760@qq.com。

通讯作者: 马莲菊 (1969—), 女, 博士, 教授, 主要从事资源与应用微生物学研究。E-mail: malianju@163.com。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 样品采集 野生大豆采集于辽宁省沈阳市蒲河湿地(122°44′49″~122°44′44″ E,41°30′8″~41°30′13″ N),将采摘的完整植株标记整理,低温保存,在 24 h 内进行内生真菌分离。

1.1.2 培养基 马铃薯葡萄糖液体(PDB)培养基与固体马铃薯葡萄糖(PDA)培养基,参考周德庆等<sup>[8]</sup>的方法配制。

1.2 方法

1.2.1 野生大豆样品表面消毒 取野生大豆植株根,无菌水冲洗,晾干备用。在超净台内,将样品切成 23 cm 小段,75%酒精浸泡 40 s,2% NaClO 消毒 2 min,无菌水冲洗 56 次,用最后一次冲洗根部的水为对照<sup>[9]</sup>。

1.2.2 内生真菌分离及纯化 将消毒后组织块剪碎为 3 mm 的立方块。置于 PDA 培养基上,25 ℃培养,每天观察生长情况,植物组织周围出现不同特征的真菌菌丝,挑取菌丝分别接种于新 PDA 培养基中培养,经多次挑取得到纯化菌株。

1.2.3 菌株鉴定 形态学鉴定:将菌株接种在 PDA 固体培养基上,分为两组,每组 3 次重复。一组用于观察菌落形态,另一组待菌落直径约为 8 mm 左右,制取菌丝玻片,观察菌丝形态及孢子等特征,对菌株进行初步鉴定。

分子生物学鉴定:用真菌基因组 DNA 试剂盒提取菌株基因组 DNA。对提取的 DNA 序列进行 PCR 扩增,采用 50 μL 反应体系:所提取 DNA 2 μL、引物 ITS1 和 ITS4 各 1 μL、*Taq* Master Mix 25 μL、ddH<sub>2</sub>O 21 μL<sup>[10]</sup>。

用 1.0% 琼脂糖凝胶进行电泳检测。将扩增产物送至生工(上海)生物公司进行测序。将拼接序列与 NCBI 数据库中的序列比对,使用 MEGA 5.0 软件构建系统进化树,确定其亲缘关系。

1.2.4 菌株耐盐性测定 活化菌株制备孢子悬液,以 2% 接种量将孢子悬液(孢子浓度调整到 1 × 10<sup>7</sup> 个·mL<sup>-1</sup>,以下处理相同)接种于含有不同 NaCl 浓度(1%、2%、3%、5%、10%、15%、20% 和 30%)的液体培养基中,以不加 NaCl 的培养基为对照。28 ℃,120 r·min<sup>-1</sup> 培养 6 d,测量菌株生物量,每组 3 个重复。

1.2.5 菌株对大豆幼苗影响 将大豆种子表面用 75% 酒精进行灭菌消毒,无菌水浸种 9 h,然后置于

25 ℃ 恒温培养箱内催芽 72 h;待种子发芽后,用 1/4 霍格兰营养液培养 7 d,进行加菌处理,向培养液中添加 2 mL 菌株孢子悬液,以无孢子悬液作为对照,每组 3 次重复;培养 6 d,测定株高、根长、地上部及地下部干重。

1.2.6 菌株活性产物的分离 将培养 132 h 的菌株进行抽滤分离菌丝和发酵液,发酵液为胞外活性产物,使用超声波细胞破碎仪破碎菌丝细胞,功率 150 W,超声 4 s,停歇 6 s,总时间 3 min,进行破碎,溶于无菌水,制成胞内活性产物<sup>[11]</sup>。

1.2.7 菌株胞内及胞外产物对大豆幼苗生长的影响 分别添加 5 mL 菌株的胞内、外活性产物于 150 mL 水中共同培养大豆幼苗 6 d,取 12 株大豆幼苗测量株高;以纯净水作为对照。

1.2.8 菌株对大豆幼苗耐盐性的影响 对大豆幼苗进行不同浓度 NaCl(0,50,100,150 和 200 mmol·L<sup>-1</sup>)胁迫,同时将幼苗分为两组,一组添加 2% 菌株孢子菌悬液处理,记为 J+;另一组不加菌处理,记为 J-。培养 6 d,测量株高增长量。

1.2.9 菌株胞内及胞外产物对盐胁迫下大豆幼苗生长的影响 用菌株的胞内、外活性产物分别对 150 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl 胁迫下的大豆幼苗处理,以 150 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl 处理为对照,培养 6 d,测量大豆幼苗株高变化。

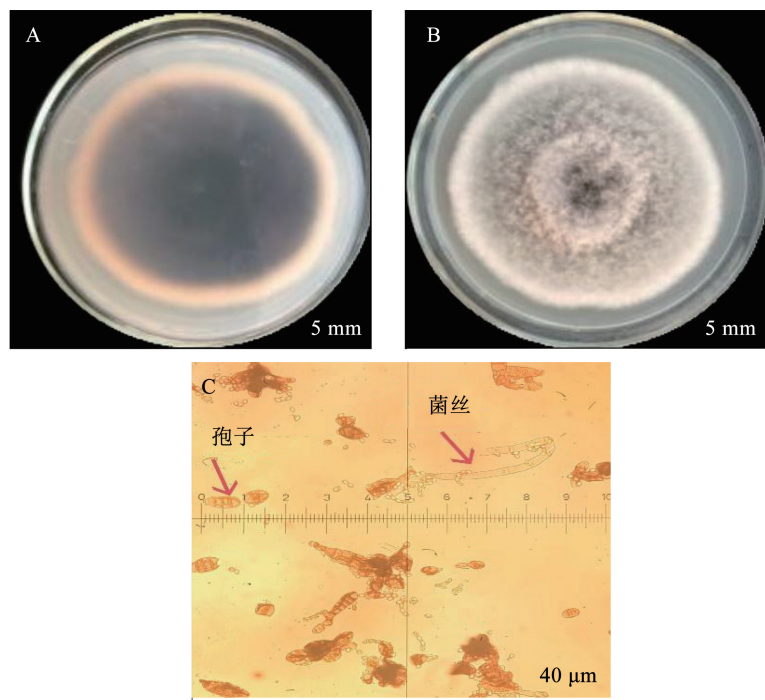
1.3 数据分析

使用 SPSS 20.0 软件进行统计分析,使用 Origin 2021 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 菌株鉴定和特性分析

2.1.1 形态学和生理生化鉴定 通过组织块分离法从野生大豆根部中分离纯化得到 1 株内生真菌,命名为 YD09。25 ℃ 条件下培养,发现在 PDA 培养基上 6 d 长满菌丝,菌落平展,褐色至黑色,中央稍隆起,短绒毛状,生长速度中等。菌落中心呈黑色,气生菌丝较为茂盛,呈白色;表面菌丝较为整齐,边缘规则;背面从中央到边缘呈现褐色到棕色到白色的颜色变化,不透明;显微镜下观察菌丝及分生孢子,菌丝呈淡褐色,发生分支并产孢子,分生孢子呈褐色,具有显著特征,孢子表面有横隔和纵隔结构,呈壁砖状,横隔较粗(图 1)。根据观察结果并查阅《真菌鉴定手册》<sup>[12]</sup>表明菌株 YD09 符合交链孢霉属(*Alternaria* sp.)特征,将菌株初步鉴定为交链孢霉属。



注:A;菌落背面;B:菌落正面;C:孢子和菌丝  
Note:A: Back of colony;B: Front of colony;C:spores and mycelia

图 1 菌株 YD09 的菌落形态、孢子和菌丝

Fig. 1 Colony morphology, spores and mycelia of strain YD09

2. 1. 2 分子生物学鉴定 将菌株 YD09 与 GenBank 中已发表的 ITS 基因序列进行同源性比对,结果显示菌株 YD09 同 *Alternaria altemata* (HG974561. 1)、*Alternaria gaisen* ( OK447908. 1 )、*Alternaria tenuissima* ( MK752719. 1 ) 和 *Alternaria angustiovoidea* ( MN240306. 1 ) 等具有较高的序列相

似性,相似性均大于 99%。系统发育树显示,菌株 YD09 与 *Alternaria alternata*(HG974561. 1)聚在同一簇内,相似性为 100%,说明菌株 YD09 同 *Alternaria alternata*(HG974561. 1)具有较近的同源关系,属于 *Alternaria alternata*(图 2)。

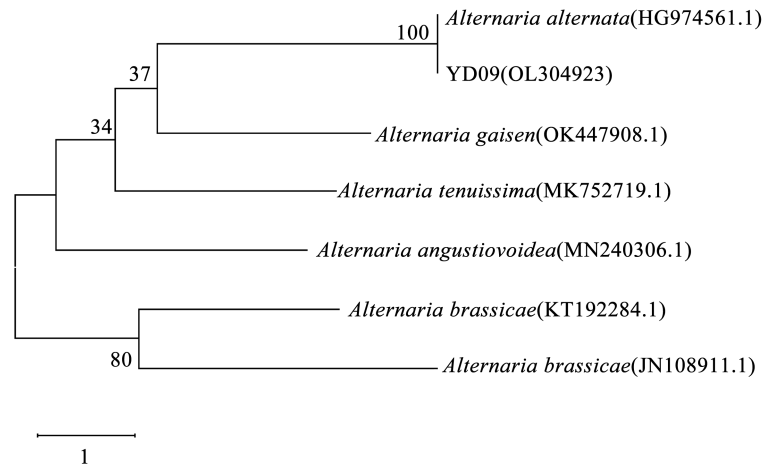


图 2 基于 ITS 基因序列构建的菌株 YD09 系统进化树

Fig. 2 Phylogenetic tree of strain YD09 based on ITS gene sequence

2. 2 盐胁迫对菌株 YD09 生长的影响

菌丝干重可以客观反映菌株在盐胁迫下相对耐盐性。如图 3 所示:菌株 YD09 在 NaCl 浓度为 1% 和 2% 时,干重显著高于对照,分别为 1. 32 ±

0. 005 g 和 1. 08 ± 0. 003 g,说明适宜浓度的 NaCl 可以促进菌株 YD09 生长,最适盐浓度为 1%;随盐浓度提高,菌株 YD09 的菌丝干重迅速下降,说明菌株 YD09 生长受到抑制。当盐浓度在 3% ~ 15% 时菌



株生物量显著下降,菌株生长受到明显抑制,但菌株 YD09 仍能生长;当 NaCl 浓度在 15% ~ 30% 时菌株 YD09 生物量并没有明显下降,说明菌株 YD09 在高盐条件(30%)下可生长,但生长缓慢。

2.3 菌株 YD09 对大豆幼苗生长的影响

菌株 YD09 处理下大豆幼苗长势、生物量及主要性状均明显高于对照组(图 4A)。菌株 YD09 对大豆幼苗表现出明显促生效果,株高比对照组增加了 86.7%,差异显著( $P < 0.05$ );根长比对照增加了 26.6%,差异显著( $P < 0.05$ )(图 4B)。菌株 YD09 促进大豆幼苗的干物质积累,与对照组相比,处理组地上部干重提高了 15.3%,地下部干重提高了 32.5%,差异显著( $P < 0.05$ )(图 4C)。

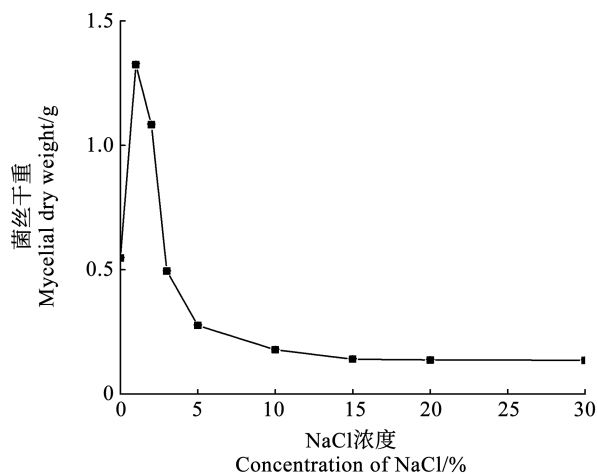
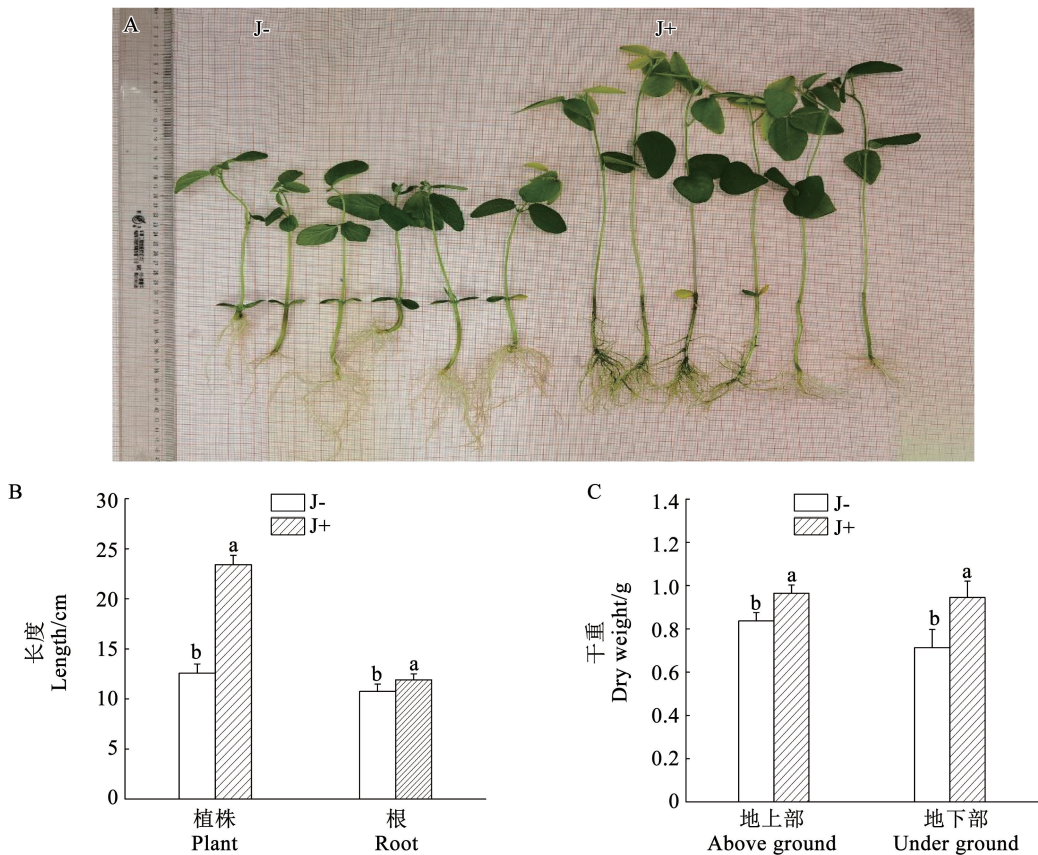


图 3 NaCl 胁迫下菌株 YD09 生物量变化  
Fig.3 Biomass changes of strain YD09 under NaCl stress



注:A. 菌株 YD09 对大豆幼苗表型的影响;B. 菌株 YD09 对大豆幼苗株高和根长的影响;C. 菌株 YD09 对大豆幼苗地上部和地下部干重的影响;不同小写字母差异显著 ( $P < 0.05$ )。  
Note: A. Effect of strain YD09 on the phenotype of soybean seedlings; B. Effect of strain YD09 on plant height and root length of soybean seedlings; C. Effect of strain YD09 on dry weight of soybean seedlings in the aboveground and underground parts; Different lowercase indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

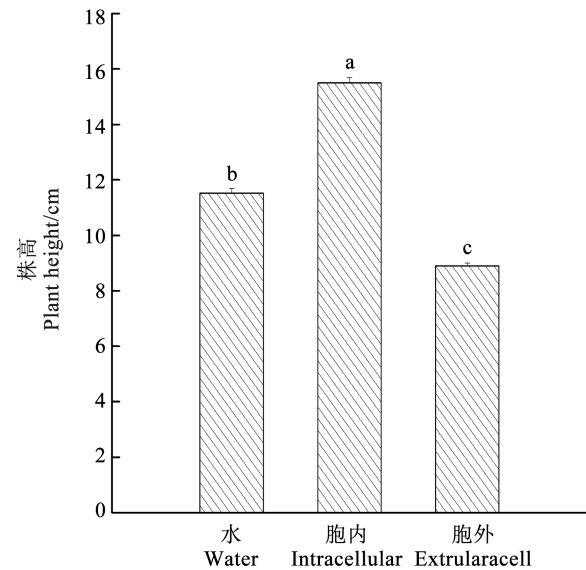
图 4 菌株 YD09 对大豆幼苗生长的影响

Fig.4 Effects of strain YD09 on the growth of soybean seedlings

2.4 菌株 YD09 胞内及胞外产物对大豆幼苗生长的影响

菌株 YD09 胞内、外活性产物对大豆幼苗生长的影响如图 5 所示;添加胞内产物处理组相比对照

组大豆幼苗株高增加了 22.5%,说明菌株 YD09 胞内活性产物对大豆幼苗具有促生长作用;胞外产物处理组比对照组大豆幼苗株高降低了 29.4%,说明胞外活性产物对大豆幼苗没有促生长作用。

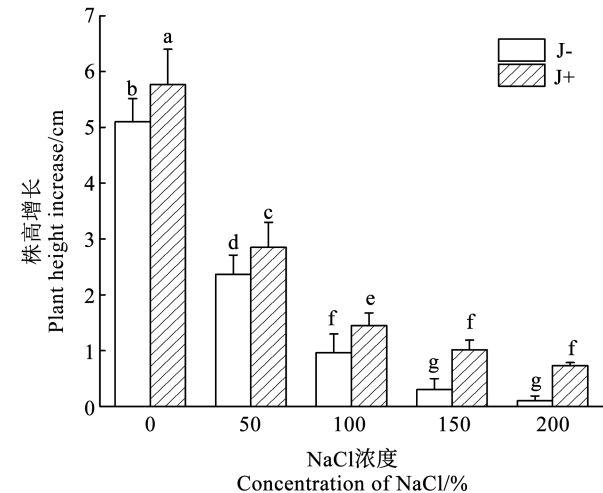


注:不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。  
Note: Different lowercase indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

图5 菌株 YD09 胞内、胞外产物对大豆幼苗株高的影响  
Fig. 5 Effects of intracellular and extracellular products of strain YD09 on plant height of soybean seedlings

2.5 菌株 YD09 对盐胁迫下大豆幼苗的影响

无盐胁迫下,添加菌株 YD09 后大豆幼苗株高净增长量比对照处理的大豆幼苗显著增加。在盐胁迫下,未加菌大豆幼苗净增长量随盐浓度的增高逐渐下降;同浓度盐胁迫下,添加菌株 YD09 处理的大豆幼苗株高净增长量比未经菌株处理的大豆幼苗均有显著增加 ( $P < 0.05$ ) (图 6)。说明菌株 YD09 可以增强大豆幼苗的耐盐性。

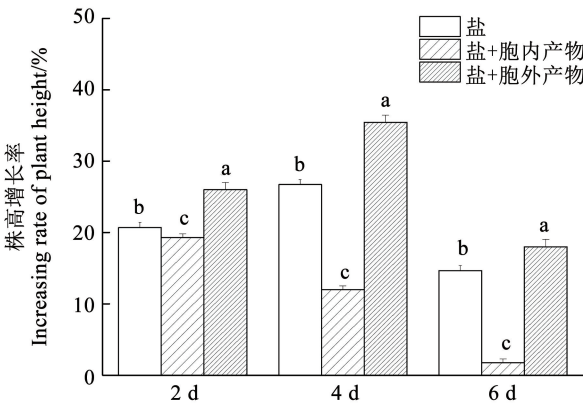


注:不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。  
Note: Different lowercase indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

图6 菌株 YD09 对盐胁迫下大豆幼苗生长的影响  
Fig. 6 Effects of strain YD09 on soybean seedling growth under salt stress

2.6 菌株 YD09 胞内、外产物对盐胁迫下大豆幼苗生长的影响

如图 7 所示,添加胞外活性产物有助于提高大豆幼苗的耐盐性。在 2,4 和 6 d 胞外活性产物处理的大豆幼苗株高增长量分别比对照增加了 25.6%、24.36% 和 22.22%, 发挥明显的抗盐胁迫效果;胞内活性产物处理的大豆幼苗增长量则比对照分别降低了 6.76%、55.05% 和 87.85%, 未见发挥抗盐胁迫的效果。



注:不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。  
Note: Different lowercase indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

图7 菌株 YD09 胞内、外产物对盐胁迫下大豆幼苗株高增长的影响

Fig. 7 Effects of intracellular and extracellular products of strain YD09 on the plant height increasing of soybean seedlings under salt stress

3 讨论

野生大豆由于生境复杂,逐渐演化出对逆境的分子和生理生化适应性,即在不良环境下有较强的耐受性和抗逆性。这些优良性状除受自身遗传特性调控外,微生物在其中也发挥重要作用<sup>[13]</sup>。因此,野生大豆与其特有内生菌间关系已成为当前重要的研究方向。

研究表明植物内生菌能通过多种作用机制直接或间接地促进植物生长,如利用自身特性集中、转化、吸收营养物质,分泌生长素、细胞分裂素、赤霉素等激素物质到植物体内直接发挥促生作用,诱导植物获得抗性等作用,改变植物生境,间接促进植物生长<sup>[14]</sup>。于飞等<sup>[15]</sup>分离出 1 株内生真菌 JP4-1,鉴定为小丛壳属 (*Glomerella* sp.), 该菌胞外小分子产物能够促进水稻生物量的增加,具有较好的促生效果。徐萌等<sup>[6]</sup>筛选出 1 株内生真菌黑附球菌 (*Epicoccum nigrum*) YD-25, 该菌胞内、外产物对大豆

幼苗具有良好的促生效果。赵颖等<sup>[16]</sup>从碱蓬中筛选出 1 株内生真菌 JP3, 鉴定为围小丛壳菌 (*Glomerella cingulata*), 菌株发酵液能够显著提高水稻幼苗的叶绿素含量和生长量, 具有明显的促生效果。在植物中, 不同的内生菌能够建立各自平衡, 形成相对稳定的真菌菌群, 青霉属、木霉属、链格孢属、镰孢属等为分离率高、数量大的优势类群<sup>[17]</sup>。研究表明小丛壳属属于碱蓬内生真菌中的主要菌群<sup>[18]</sup>。侯娇娇等<sup>[19]</sup>利用黑附球菌等 8 株优势内生真菌分别对盐胁迫下国槐幼苗进行灌根, 结果表明国槐幼苗的抗盐能力显著提高。本研究分离的菌株 YD09 属于交链孢霉属, 研究发现大豆幼苗接种 YD09 后, 其株高、根长、地上部干重与地下部干重分别比未接种的大豆幼苗增加了 86.7%、26.6%、15.3% 和 32.5%, 其胞内产物处理的大豆幼苗株高比对照组增加了 22.5%, 可以促进大豆幼苗生长。

植物内生菌自身具有抗逆及抑菌等能力。Manasa 等<sup>[20]</sup>在一年生匍匐藤本植物中分离筛选得到 1 株耐盐菌株尖孢镰刀菌 (*Fusarium oxysporum* Schl), 该菌株可以提高盐敏感水稻的耐盐性。Badawy 等<sup>[21]</sup>从大麦中分离出 7 株内生真菌, 其中 1 株赭曲霉 (*Aspergillus ochraceus*) 具有较强耐盐性, 可达 200 g·L<sup>-1</sup>, 且能缓解盐胁迫对大麦植株生长的不良影响。陈丽洁等<sup>[22]</sup>从土壤样品中分离出 1 株耐盐类球红细菌 (*Rhodobacter sphaeroides*), 能够促进盐胁迫下番茄和水稻的生长。与上述结果相比, 本研究所得菌株 YD09 自身也具有耐盐能力, 而且菌株 YD09 胞外产物对盐胁迫下 48、96 和 144 h 处理的大豆幼苗增长量分别比对照增加了 25.6%、24.36% 和 22.22%, 说明菌株 YD09 可以缓解盐胁迫对大豆幼苗的伤害。

交链孢霉菌 (*Alternaria*) 又叫链格孢菌, 作为自然生态系统中的重要成员, 在自然界中广泛分布, 具有巨大的应用价值和空间, 其在促进作物生长、提高植物抗逆能力等方面显现出可利用的价值。王淑惠等<sup>[23]</sup>研究不同培养期链格孢菌对紫花苜蓿生长的影响, 发现链格孢菌可以促进紫花苜蓿生长。刘燕霞等<sup>[24]</sup>在禾本科荒漠植物沙鞭根系分离筛选出 2 株链格孢菌, 能够促进小麦生长, 提高小麦产量。目前, 链格孢菌属菌株不仅可用于促进植物生长, 还可用于对病原菌生物防治, 如从果树中分离得到的 3 株链格孢菌能够对番茄灰霉病和辣椒疫病进行有效的生物防治<sup>[25]</sup>。

4 结论

经形态学和 rRNA 基因 ITS 序列分析, 将野生大豆内生真菌菌株 YD09 鉴定为交链孢霉菌 (*Alternaria alternata*), 该菌株具有促生、耐盐等特性。接种菌株 YD09 可以促进大豆幼苗生长, 缓解盐胁迫对大豆幼苗的伤害, 其胞内活性产物可以促进大豆幼苗生长, 胞外产物可以提高大豆幼苗对盐胁迫的抗性。因此, 菌株 YD09 具有开发为植物促生抗逆菌剂的潜在应用价值。

参考文献

[1] AFTAB U M, AKTER S, FERDOUS M, et al. A plant endophyte *Staphylococcus hominis* strain MBL-AB63 produces a novel lantibiotic, homiocorcin and a position one variant[J]. Scientific Reports, 2021, 11: 11211.

[2] 谭小明, 周雅琴, 陈娟, 等. 药用植物内生真菌多样性研究进展[J]. 中国药学杂志, 2015, 50(18): 1563-1580. (TAN X M, ZHOU Y Q, CHEN J, et al. Advances in research on diversity of endophytic fungi from medicinal plants[J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2015, 50(18): 1563-1580.)

[3] 常恺莉, 张琳, 周红英, 等. 药用植物内生菌资源在农业中的应用与研究进展[J]. 山东农业科学, 2021, 53(7): 135-141. (CHANG K L, ZHANG L, ZHOU H Y, et al. Application and research progress of endophyte resources of medicinal plants in agriculture[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2021, 53(7): 135-141.)

[4] TRUYENS S, JAMBON I, CROES S, et al. The effect of long-term Cd and Ni exposure on seed endophytes of *Agrostis capillaris* and their potential application in phytoremediation of metal-contaminated soils[J]. International Journal of Phytoremediation, 2014, 16(7-12): 643-659.

[5] 孙培, 王罡, 张亚楠, 等. 一种耐盐促生菌筛选、鉴定及对玉米幼苗生长的影响[J]. 生物技术通报, 2019, 35(8): 27-33. (SUN P, WANG G, ZHANG Y N, et al. Screening and identification of a salt-tolerant growth-promoting bacterium and its effect on the growth of maize seedlings [J]. Biotechnology Bulletin, 2019, 35(8): 27-33.)

[6] 徐萌, 王宇楠, 李艳璟, 等. 一株野生大豆内生真菌 YD-25 的筛选鉴定及其抗重金属活性研究[J]. 大豆科学, 2019, 38(2): 258-266. (XU M, WANG Y N, LI Y J, et al. Screening and identification of a wild soybean endophytic fungus YD-25 and its anti-heavy metal activity [J]. Soybean Science, 2019, 38(2): 258-266.)

[7] 赵晓妍, 曹越, 董芮萌, 等. 一株野生大豆内生细菌 YDX14 菌株的分离、鉴定及促生效应研究[J]. 大豆科学, 2021, 40(2): 224-231. (ZHAO X Y, CAO Y, DONG R M, et al. Isolation, identification, and growth promoting effect of an endophytic bacteria YDX14 in wild soybean [J]. Soybean Science, 2021, 40(2): 224-231.)



- [8] 周德庆, 张纪忠, 程皆能. 微生物实验手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983. (ZHOU D Q, ZHANG J Z, CHENG J N. Handbook of microbial experiments [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1983.)
- [9] 耿直, 王利平, 冯玉琦, 等. 高聚硒植物茎叶碎米芥内生菌分离鉴定及硒耐受性评价[J]. 农业生物技术学报, 2021, 29(9): 1795-1807. (GENG Z, WANG L P, FENG Y Q, et al. Isolation, identification and selenium tolerance assay of endophytic microbes from selenium hyperaccumulator *Cardamine violifolia* [J]. Journal of Agricultural Biotechnology, 2021, 29(9): 1795-1807.)
- [10] 李娥, 黄勇, 孟园园, 等. 盐胁迫条件下‘巴麻火麻’内生真菌的分离鉴定与多样性分析[J]. 生物技术通报, 2021, 37(10): 26-33. (LI E, HUANG Y, MENG Y Y, et al. Isolation and identification of the endophytic fungi of ‘Bama hemp’ under salt stress and its diversity analysis [J]. Biotechnology Bulletin, 2021, 37(10): 26-33.)
- [11] 周振宇. 野大豆内生真菌筛选、鉴定及生物学活性研究[D]. 沈阳: 沈阳师范大学, 2018. (ZHOU Z Y. Screening, identification and biological activities of soybean endophytic fungi [D]. Shenyang: Shenyang Normal University, 2018.)
- [12] 魏景超. 真菌鉴定手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1979. (WEI J C. Fungal identification handbook [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1979.)
- [13] COLEMAN-DERR D, TRINGE S G. Building the crops of tomorrow: Advantages of symbiont-based approaches to improving abiotic stress tolerance [J]. Frontiers in Microbiology, 2014, 5: 283.
- [14] 姚阳阳. 当归根际变形菌门促生菌的分离、筛选及促生抗逆效应研究[D]. 兰州: 甘肃中医药大学, 2022. (YAO Y Y. Isolation and screening of proteobacteria growth-promoting bacteria from rhizosphere of *Angelica sinensis* and effects of growth-promoting and stress-resistant [D]. Lanzhou: Gansu University of Chinese Medicine, 2022.)
- [15] 于飞, 谷玥, 张奇, 等. 一株碱蓬内生真菌的鉴定及促生活性产物的初步研究[J]. 生物技术通报, 2016, 32(5): 151-157. (YU F, GU Y, ZHANG Q, et al. The identification of a fungal endophyte of *Suaeda salsa* and preliminarily research on active products of promoting growth [J]. Biotechnology Bulletin, 2016, 32(5): 151-157.)
- [16] 赵颖, 于飞, 郭明敏, 等. 碱蓬内生真菌 JP3 的分离、鉴定及促生作用研究[J]. 沈阳: 沈阳师范大学学报(自然科学版), 2015, 33(1): 116-120. (ZHAO Y, YU F, GUO M M, et al. Isolation, identification and growth-promoting effect of *Suaeda salsa* endophyte fungus JP3 [J]. Shenyang: Journal of Shenyang Normal University (Natural Science Edition), 2015, 33(1): 116-120.)
- [17] 李长田, 李玉, 方浙明, 等. 东北红豆杉内生真菌的多样性[J]. 吉林农业大学学报, 2004, 26(6): 612-614, 623. (LI C T, LI Y, FANG Z M, et al. Diversity of endophytic fungi from *Taxus cuspidata* [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2004, 26(6): 612-614, 623.)
- [18] 钮旭光, 宋立超, 韩梅, 等. 盐生植物翅碱蓬的内生真菌多样性分析[J]. 微生物学通报, 2012, 39(10): 1388-1395. (NIU X G, SONG L C, HAN M, et al. Diversity of endophytic fungi of *Suaeda heteroptera* kitag [J]. Microbiology China, 2012, 39(10): 1388-1395.)
- [19] 侯姣姣, 孙涛, 余仲东, 等. 盐胁迫下内生真菌对国槐幼苗生长及生理的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2017, 34(2): 294-300. (HOU J J, SUN T, YU Z D, et al. Effect of endophytic fungi on growth and physiology of saline stressed *Sophora japonica* seedlings [J]. Journal of Zhejiang A & F University, 2017, 34(2): 294-300.)
- [20] MANASA K, VASANTHAKUMARI M M, NATARAJA K N, et al. Endophytic fungi of salt adapted *Ipomea pes-caprae* L. R. Br: Their possible role in inducing salinity tolerance in paddy (*Oryza sativa* L.) [J]. Current Science, 2020, 118(9): 1448-1453.
- [21] BADAWY A A, ALOTAIBI M O, ABDELAZIZ A M, et al. Enhancement of seawater stress tolerance in barley by the endophytic fungus *Aspergillus ochraceus* [J]. Metabolites, 2021, 11(7): 428.
- [22] 陈丽洁, 苏品, 张卓, 等. 一株耐盐类球红细菌的分离鉴定及其对不同作物的促生作用[J]. 南方农业学报, 2019, 50(5): 964-973. (CHEN L J, SU P, ZHANG Z, et al. Isolation and identification of one salt-tolerant strain of *Rhodobacter sphaeroides* and its growth promoting effect on different crops [J]. Journal of Southern Agriculture, 2019, 50(5): 964-973.)
- [23] 王淑惠, 毕银丽, 李梦琪. 不同培养期深色有隔内生真菌链格孢菌对紫花苜蓿生长的影响[J]. 菌物学报, 2021, 40(10): 2863-2873. (WANG S H, BI Y L, LI M Q. Effects of dark septate endophyte *Alternaria* sp. with different culture periods on growth of *Medicago sativa* [J]. Mycosystema, 2021, 40(10): 2863-2873.)
- [24] 刘燕霞, 龙俊萌, 王静茹, 等. 五种漠境深色有隔内生真菌对小麦促生抗旱效应研究[J]. 中国科学: 生命科学, 2021, 51(9): 1339-1349. (LIU Y X, LONG J M, WANG J R, et al. Effects of five dark septate endophytes isolated from deserts on growing wheat under drought stress [J]. Scientia Sinica (Vitae), 2021, 51(9): 1339-1349.)
- [25] 刘慧芹, 韩巨才, 赵廷昌, 等. 果树内生拮抗细菌的筛选鉴定及其生防作用研究[J]. 园艺学报, 2014, 41(2): 335-342. (LIU H Q, HAN J C, ZHAO T C, et al. Screening, identification and bio-control of antagonistic endophytic bacteria from fruit trees [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2014, 41(2): 335-342.)