



一株高效拮抗向日葵菌核菌的细菌菌株 YC16 的筛选及其作用效果研究

刘彩月^{1,2}, 程明芳¹, 江红梅¹, 赵福宽^{2*}, 范丙全^{1*}

¹ 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081

² 北京农学院生物科学与工程学院, 农业部都市农业(北方)重点实验室, 北京 102206

摘要:【目的】筛选高效拮抗向日葵菌核菌的细菌菌株, 为开发防治菌核菌病害、提高向日葵产量的生物菌剂提供菌种资源。【方法】以羧甲基纤维素钠(CMC)、小麦秸秆纤维素为唯一碳源的无机盐培养基, 分离高效降解纤维素的细菌菌株; 采用纤维素降解菌与菌核菌的平板对峙方法, 进一步筛选拮抗菌核菌的菌株; 利用 16S rDNA 序列鉴定菌株、PDYA 平板对峙实验检验上述所选拮抗菌株的抑菌谱; 采用离体向日葵新鲜叶片、草炭土基质盆栽实验, 观察拮抗菌株抑制菌核菌生长的能力; 温室盆栽和田间试验条件下, 研究其防治向日葵菌核菌病害、促进生长和提高产量的效果。【结果】筛选了一株高效抑制菌核菌的细菌 YC16, 经过 16S rDNA 序列分析, 鉴定为解淀粉芽孢杆菌。YC16 菌株能够抑制 8 种病原真菌生长, 包括齐整小核菌、腐皮镰孢菌、尖孢镰刀菌、稻梨孢、辣椒疫霉、镰刀菌、尖镰孢黄瓜专化型和向日葵菌核菌; 抑制菌核菌感染叶片, 抑制率达到了 80.42%; 抑制盆栽基质中菌核菌的菌丝生长, 基质表面菌丝密度比对照减少了 50% 以上。盆栽接种 YC16 的向日葵生物量比对照提高 54.9%, 田间向日葵接种 YC16 菌剂对菌核菌引发的盘腐病防治效果达 39%–100%, 产量提高 24.4%–30.2%。【结论】YC16 生物菌剂施用于土壤, 能够有效防治向日葵的茎腐病和盘腐病, 展现了防治向日葵菌核病和提高产量的双重效果, 是一株具有良好应用前景的高效菌种资源。

关键词: 向日葵, 菌核菌, 解淀粉芽孢杆菌, 防治效果, 增产作用

向日葵菌核病包括茎腐病和盘腐病, 是当前威胁向日葵生产的主要病害。发病轻时减产 10%–30%, 严重时高达 60%, 甚至绝收^[1-2]。长期以来, 向日葵菌核病以化学防治为主, 鉴于化学

农药污染环境, 生物防治正在成为向日葵菌核病的主要防治措施^[3-6]。当前细菌防治菌核病的研究方兴未艾, 集中于芽孢杆菌。其中, 以枯草芽孢杆菌^[7-8]、地衣芽孢杆菌^[9-10]、蜡样芽孢杆菌^[11]、

基金项目: 农业部“948”重点项目(2011-G25, 2016-X21); 国家高技术研究发展计划(863 计划)(2013AA102801-7, 2013AA102802-4)

*通信作者。Tel/Fax: +86-10-82106212; E-mail: fanbingquan@caas.cn

收稿日期: 2019-03-31; 修回日期: 2019-06-06; 网络出版日期: 2019-11-12

短小芽孢杆菌^[12]、巨大芽孢杆菌^[13]、蜂房类芽孢杆菌^[14]和解淀粉芽孢杆菌^[15-16]为主。

目前, 受菌核菌病严重危害的主要作物是油菜、大豆和向日葵, 其他作物危害较小。芽孢杆菌类细菌多具有抑制菌核菌的菌核形成^[9]、菌丝生长^[17-18]、子囊孢子萌发^[17]以及破坏菌丝结构^[19]的能力, 在作物菌核菌病害防治中扮演重要角色。

枯草芽孢杆菌 Em7 对苗期油菜菌核病防治效果达 97.5%, 降低田间油菜发病率 50%–70%^[17-19]; 枯草芽孢杆菌菌株 NJ-18 降低油菜茎腐病 77.1%^[20]、大田油菜接种 NJ-18 处理菌核病防治率 57.4%^[21]; 枯草芽孢杆菌菌株 YS45 对田间油菜茎腐病防治效果为 50%^[22]、菌株 EDR2 防治油菜苗期菌核病效果达 80%以上^[23]。解淀粉芽孢杆菌 GM-1 对盆栽油菜菌核病防治效果达 68%^[24]。接种解淀粉芽孢杆菌 BS6, 大田油菜茎腐病发病率下降为 5.00%–29.55%^[25]。芽孢杆菌 A5F 菌株能够抑制大豆菌核菌引起的茎腐病^[26]。蜡样芽孢杆菌 alf-87A 菌株降低豌豆荚果基腐病 39%–55%^[27]; 蜡样芽孢杆菌 SB24 菌株减少了子囊孢子形成率 90%以上, 发病程度降低了 45%–90%^[28]。解淀粉芽孢杆菌 PGPBacCA1 对大豆菌核菌生长抑制率达 76.5%^[16]。利用芽孢杆菌防治向日葵菌核病的研究报道较少。枯草芽孢杆菌 ZH-2 菌剂防治向日葵菌核菌效率达 72.4%^[3]; 盆栽条件下, 枯草芽孢杆菌 S.16 菌液对向日葵菌核病的防效达 73.33%^[29]; 解淀粉芽孢杆菌 B14 菌株与其他 2 株芽孢菌组合的 3 个菌群, 能够将向日葵菌核菌发病率下降至 25%–46%^[5]。非芽孢细菌也有一些报道, 此处不予赘述。

纤维素降解菌能够依靠自身产生的纤维素酶参与纤维素的降解, 而且在防治作物菌核菌病害中发挥重要作用。报道显示, 粘帚霉对菌核菌具

有很强的抑制能力^[30], 枯草芽孢杆菌 Z19 抑制油菜菌核菌^[31], 哈兹木霉菌和康宁木霉菌抑制鹰嘴豆菌核菌^[32], 戴尔福特菌 NF83-1 抑制油菜菌核菌^[33], 甲基营养型芽孢杆菌 wswshg-10 抑制大豆菌核菌^[34], 体现了产纤维素酶微生物防治菌核菌病害的作用效果。但是, 纤维素降解菌防治向日葵菌核菌病害的研究未见报道。

目前, 关于解淀粉芽孢杆菌防治菌核菌病害的研究, 无论是油菜、大豆、黄瓜、芥末菜、莴苣、麝香石竹还是向日葵, 主要集中于菌株筛选、抑菌能力、防治效果, 乃至抑菌机理研究^[35]。显然, 同时拥有防治菌核菌病害和提高向日葵产量能力的解淀粉芽孢杆菌菌株, 鲜有报道。

本文旨在筛选既能高效防治向日葵菌核病、又能提高产量的芽孢杆菌菌株。通过对筛选到的拮抗菌株的抑菌能力、促生效果、提高产量的作用研究, 明确其应用潜力, 为研制高效防治向日葵菌核菌病害的生物菌剂提供菌种资源。

1 材料和方法

1.1 土壤来源

(1) 筛选菌株土壤样品采自吉林省长白山森林土、吉林省公主岭市农田土壤、黑龙江漠河县森林和麦田土壤, 密封于塑料袋, 带回实验室置于 4 °C 保存; (2) 盆栽供试土壤取自内蒙古自治区乌拉特前旗大余太镇。

1.2 培养基

(1) 纤维素降解菌分离培养基: 无机盐基础培养基, 分别加入羧甲基纤维素钠(CMC)、1%球磨 200 目小麦秸秆纤维素粉末, pH 7.0^[36]。(2) 细菌保藏采用牛肉膏蛋白胨培养基(g/L): 牛肉膏 3, 蛋白胨 5, NaCl 5, 水 1000 mL, pH 7.0。(3) PDA

培养基(g/L)用于筛选拮抗菌; (4) PDY 培养基: PDA 培养基中不加琼脂, 加入酵母粉 2 g/L。

1.3 供试菌种来源

地衣芽孢杆菌 ACCC11106、侧孢芽孢杆菌 ACCC11079、刺孢吸水链霉菌北京变种 ACCC40033 由中国农业科学院农业微生物菌种保藏管理中心提供。哈茨木霉 ATCC20847(T22)、球状茎点霉 ATCC MYA-2373 购于美国 ATCC 菌种保藏中心; 地衣芽孢杆菌 DSM8785、丙酮丁醇梭菌 DSM1732 购于德国 DSMZ 菌种保藏中心。菌株 Ymy3、JK22 为苍白杆菌, CC1D、Y1 为粪产碱菌, JQ-1、Y5、F2、C8 为芽孢杆菌属, QU5、QQ6 为黑曲霉, 均为本课题组筛选保存菌株。向日葵菌核菌 NQ-1 为课题组采自内蒙古自治区乌拉特前旗向日葵菌核。

1.4 拮抗菌的筛选

1.4.1 系列稀释-平板法: 称取 1.0 g 新鲜土壤样品置于含有 99 mL 无菌水的 200 mL 三角瓶中, 制备土壤悬液, 系列稀释到 10^{-4} 、 10^{-5} 和 10^{-6} , 土壤悬液分别涂布于含 CMC、纤维素粉分别为唯一碳源的两种无机盐固体平板上, 30 °C 培养 2-3 d, 待长出菌落后, 挑取产生透明圈的单菌落, 接种到含 CMC 的无机盐斜面上, 用于后续拮抗菌的能力研究。

1.4.2 平板对峙筛选: 以向日葵菌核菌 NQ-1 作为病原菌, 将菌核菌菌丝体接种于 PDA 平板中央, 分离的纤维素降解菌接种于距病原菌两侧各 2.5 cm 的位置, 28 °C 培养 5 d 观察并记录结果。挑取抑菌带宽 > 5.0 mm 的菌落, 进行平板对峙复筛, 每株菌重复 3 次, 抑菌效果稳定的拮抗菌株用于后续实验。

1.5 拮抗菌菌株分子鉴定

细菌 16S rDNA 扩增测序通用引物: 正向引物

16S rDNA: 5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAGAA CGAACGCT-3', 反向引物 16S rDNA: 5'-TACGG CTACCTTGTTACGACTTCACCCC-3'。前后引物各 1 μ L, 2 \times Taq PCR Master Mix (购自北京天根生化科技有限公司) 12.5 μ L, ddH₂O 8.5 μ L, 模板 DNA 2 μ L。反应条件: 94 °C 4 min; 94 °C 1 min, 53 °C 40 s, 72 °C 90 s, 30 个循环; 72 °C 10 min。扩增产物进行 1% 琼脂糖凝胶电泳检测, 序列测定由生工生物工程(上海)股份有限公司完成。利用 BLAST 软件与 GenBank 的序列进行同源性比较, 使用 MEGA 6.0 的 Neighbor-Joining 软件构建系统发育树。

1.6 菌株 YC16 抑制病原菌种类与能力

1.6.1 菌株 YC16 抑菌谱: 以菌核菌 NQ-1、齐整小核菌 ACCC 37946、腐皮镰孢菌 ACCC36241、尖孢镰刀菌 ACCC 31357、稻梨孢 ACCC 37631、辣椒疫霉 ACCC 36278、镰刀菌 ACCC 36242、尖孢镰刀菌专化型 ACCC 37438 作为靶标菌, 分别接种于 PDA 平板中央, 菌株 YC16 接种于距病原菌两侧 2.5 cm 处, 28 °C 培养 5 d, 每处理重复 3 次。

1.6.2 向日葵离体叶片实验: YC16 菌株于 LB 液体培养基中摇床培养 48 h, 用无菌水把菌液稀释为 1×10^9 CFU/mL。向日葵新鲜叶片表面灭菌, 移液枪吸取 1.0 mL YC16 菌液涂布于叶片中央, 菌核菌 NQ-1 接种方法见参考文献[37]。每个处理重复 8 次即处理 8 个叶片。

1.6.3 YC16 抑制菌核菌的毒性效果试验: (1) 试验设计: ① 对照(CK), 灭菌草炭, 添加 2.5 mL PDY 培养基; ② NQ-120: 病原菌 20 g/盆; ③ NQ-140: 病原菌 40 g/盆; ④ NQ-160: 病原菌 60 g/盆; ⑤ 拮抗菌剂 5 g/盆; ⑥ 病原菌 20 g/盆, YC16 菌剂 5 g/盆, 混合均匀; ⑦ 病原菌 40 g/盆, YC16 菌

剂 5 g/盆, 混合均匀; ⑧ 病原菌 60 g/盆, YC16 菌剂 5 g/盆, 混合均匀。2 月 26 日布置实验, 3 月 5 日播种向日葵, 每盆播种 3 粒向日葵种子 S998, 4 月 28 日收获。(2) 病原菌接种剂制备: 从 NQ-1 菌丝体长满 PDA 平板上切取 3 方块(1 cm²)的菌丝体转入盛有 50 g/瓶灭菌的麦麸-豆粕-稻壳粉组成的固体培养基的三角瓶中, 搅拌均匀, 共计 10 瓶, 置于室温(19 °C)培养 10 d。(3) YC16 菌剂制备: 将 YC16 单菌落接种于 PDY 液体培养基中, 摇床 28 °C、170 r/min 培养 3 d, 灭菌草炭吸附, 菌液与草炭用量比为 1:1 (V/W)。(4) 盆栽记录: 病原菌接入草炭基质后的繁殖情况、死苗数量。

1.7 向日葵盆栽接种菌株 YC16 的促生效果

试验处理: (1) 对照(CK): 不接菌, 使用与其他处理等量草炭加等量液体培养基; (2) YC16 菌剂; (3) CC1D 菌剂; (4) DSM8785 菌剂; (5) Y5 菌剂; (6) ACCC11106 菌剂; (7) JK22 菌剂; (8) F2 菌剂; (9) C8 菌剂; (10) Y1 菌剂。菌剂使用量为 2 g/盆土壤, 每盆装土壤 500 g, 菌剂含菌量 2×10⁹ CFU/g。每个处理重复 6 次。试验在温室进行, 向日葵品种为 LD5009, 播种种子 2 粒/盆。生长 30 d 收获植株, 称量植株鲜重、记录发生茎腐病的株数。

1.8 田间条件下 YC16 菌剂的抗病与增产作用

3 年田间试验都在内蒙古乌拉特前旗南昌新村的不同地块进行, 氮磷钾复合肥(15:15:15)用量为 600 kg/hm², 菌剂使用量 900 kg/hm², 所有对照(CK)都使用等量草炭和等量液体培养基, 与其他菌剂保持一致。所有肥料作为底肥一次施入, 采用机械使用化肥和播种, 同时覆盖地膜。

2014 年田间试验土壤为轻度盐碱土, 试验处理包括 CK、YMA-2373、ATCC20847(T22)、Ymy3

和 YC16 菌剂。向日葵品种为 LD5009, 小区面积 9.9 m², 重复 3 次。

2015 年田间试验土壤为中度盐碱土, 试验处理包括 CK、JQ-1、ACCC11079、QU5、YC16 菌剂。向日葵品种为 393, 小区面积 20.4 m², 重复 3 次。

2016 年田间试验土壤为非盐碱土, 试验处理包括 CK、Y5、Y1、ACCC40033、QQ6、YC16, 向日葵品种为 JK601, 小区面积为 15 m², 重复 3 次。

生防菌剂制备。将菌株 YC16、ACCC40033、YMA-2373、T22、Ymy3、JQ-1、ACCC11079、QU5、Y5、Y1、QQ6 分别接种于 LB 液体培养基进行摇瓶培养, 培养 24 h。按 1%接种量接入 5 L 发酵罐中, 培养基为 PDY, 培养 48 h, 以灭菌草炭分别吸附上述菌液, 细菌菌剂含菌量 2×10⁹ CFU/g, 真菌菌剂含孢子量 2×10⁸ CFU/g。

2 结果和分析

2.1 拮抗菌株筛选与鉴定

从吉林省公主岭市农田土壤中分离并纯化获得一株高效拮抗向日葵菌核病的菌株 YC16。经过提取 YC16 菌株 DNA, 利用 16S rDNA 通用引物进行 PCR 扩增, 获得 1600 bp 的核苷酸序列, 提交到 GenBank (登录号为 MK713569)。将扩增并验证得到的序列在 GenBank 上进行同源性比较, 发现该序列与 *Bacillus amyloliquefaciens* 菌株的序列同源性>98%, 利用 MEGA 6.0 的 Neighbor-Joining 软件进行系统发育树的构建(图 1), 遗传距离显示菌株 YC16 与 *Bacillus amyloliquefaciens* 菌株的遗传距离最近。结合形态观察, 参照《细菌鉴定手册》相关属, 初步确定 YC16 菌株为解淀粉芽孢杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens*)。

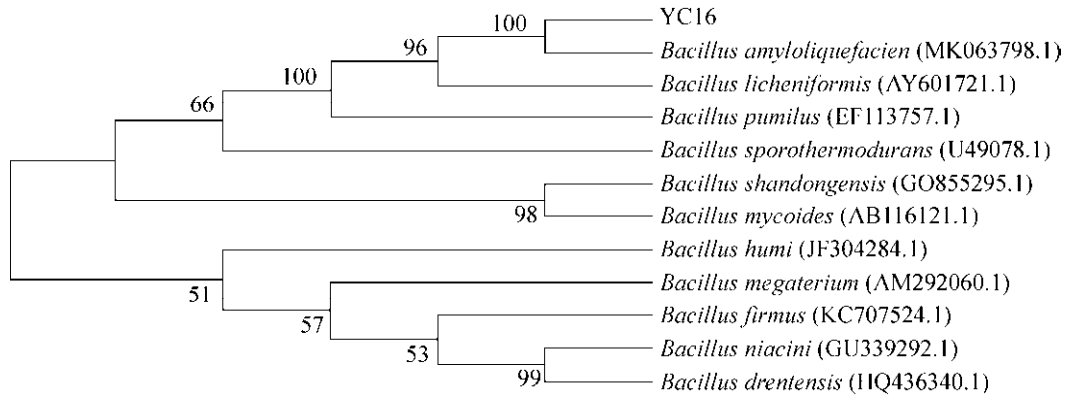


图 1. 基于菌株 YC16 的 16S rDNA 序列同源性构建的系统发育树

Figure 1. Phylogenetic tree of YC16 and reference *Bacillus* species. Evolutionary distances showed in Figure 1 were calculated by MEGA 6.0; Bootstrap=1000. Bar, 0.05 substitution per nucleotide. Numbers in parentheses represent the sequences accession number in GenBank. The number at each branch points is the percentage supported by bootstrap.

2.2 菌株 YC16 抑菌谱及其拮抗离体叶片感病能力

2.2.1 菌株 YC16 对不同病原菌的抑菌能力: 固体培养基平板上, 菌株 YC16 的发酵菌液对齐整小核菌、腐皮镰孢菌、尖孢镰刀菌、稻梨孢、辣椒疫霉、镰刀菌、尖镰孢黄瓜专化型和向日葵菌核菌都有明显的抑制能力, 表明菌株 YC16 具有广泛的抑菌谱(图 2)。

固体平板对峙法实验结果显示, 菌株 YC16 对 8 种常见病原菌均有明显的抑制活性, 抑菌率均在 50% 以上。其中, 对腐皮镰孢菌、齐整小核

菌、镰刀菌、向日葵菌核菌的抑菌效果较好, 抑菌率均在 60% (表 1)。

2.2.2 菌株 YC16 拮抗菌核菌感染叶片的效果:

向日葵离体叶片实验结果显示, YC16 菌液能够抑制菌核菌侵染叶片, 表明菌液 YC16 对菌核菌侵染离体叶片具有防治效果(图 3), 接种不足 24 h 时, CK 处理的叶片已出现菌斑, 24 h 时菌斑侵染面积为 12.23%, 48 h 已达到 38.17%。涂抹 YC16 菌液的叶片于 72 h 时才出现菌斑, 而此时 CK 叶片的侵染菌斑已达到 64.87%, 菌液 YC16 的抑菌率达

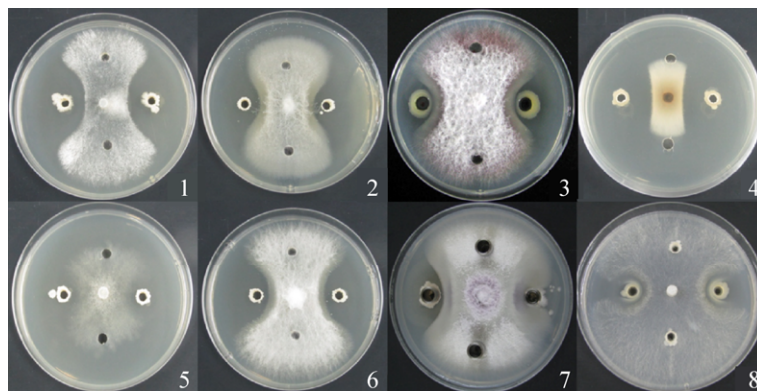


图 2. 菌株 YC16 接种 72 h 对不同病原真菌的抑菌能力

Figure 2. Antagonistic ability of isolate YC16 against pathogenic fungus after 72 h.

表 1. 菌株 YC16 对不同病原真菌的抑菌能力

Table 1. Antagonistic ability of isolate YC16 to pathogenic fungus

No.	Pathogenic fungus	Inhibitory rate/%
1	<i>Sclerotium rolfsii</i>	68.95±0.38a
2	<i>Fusarium solani</i>	69.55±1.68a
3	<i>Fusarium oxysporum</i>	54.18±1.79e
4	<i>Pyricularia oryzae</i>	62.16±1.31c
5	<i>Phytophthora capsici</i>	53.06±0.54e
6	<i>Fusarium sp.</i>	66.97±0.63b
7	<i>Fusarium oxysporum f. sp. cucumerinum</i> Owen	56.46±0.74d
8	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	62.14±0.86c

The different small letters in the same column indicate significant differences among treatments at $P<0.05$ level.

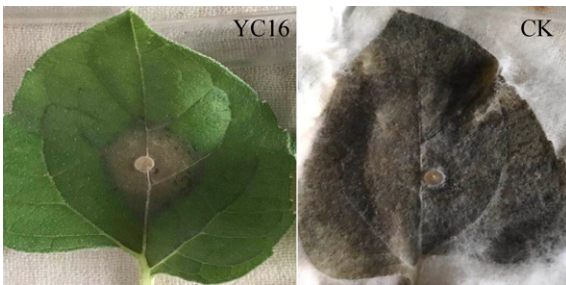


图 3. YC16 接种 96 h 对抑菌菌核菌感染叶片的效果
Figure 3. Antagonistic effect of YC16 on *S. sclerotiorum* in detached leaves after 96 h.

到 80.42%，具有良好的抑菌效果(表 2)。

2.2.3 YC16 菌剂对菌核菌不同接种量和苗期向日葵生长的影响

菌核菌 NQ-1 接入盆栽草炭土基质后，繁殖能力表现差异。48 h 时，加入 60 g 病原菌 NQ-1 的菌丝已然长满基质表层，同时接种菌核菌 NQ-1 菌剂 60 g/盆和 YC16 菌剂 5 g/盆的处理

表 2. 菌株 YC16 拮抗菌核菌感病离体叶片的能力

Table 2. The inhibition ability of isolate YC16 against *S. sclerotiorum* in detached leaves

Percent of disease area/%	Time point/h		
	24	48	72
CK	12.23 b	38.17 b	64.87 b
YC16	0 a	0 a	12.7 a

The different small letters in the same column indicate significant differences among treatments at $P<0.05$ level.

基质表层刚开始出现白色菌丝；72 h 时，加入菌核菌 NQ-1 菌剂 40 g/盆的菌丝已经长满草炭基质表层，同时接种菌核菌 NQ-1 菌剂 40 g/盆和 YC16 菌剂 5 g/盆的处理表层刚开始出现白色菌丝；96 h 时，加入菌核菌 NQ-1 菌剂 20 g/盆的菌丝长满基质表层，同时接种菌核菌 NQ-1 菌剂 20 g/盆与 YC16 菌剂 5 g/盆处理的草炭基质表层刚开始出现白色菌丝，并且基质表面菌丝密度比对照减少了 50% 以上。表明 YC16 菌剂能够抑制菌核菌 NQ-1 的生长。

向日葵种子播种于基质后，幼苗的生长情况不同但无死苗。生长至 15 d 可以看出，接种 YC16 菌剂处理的向日葵株高和叶片面积均大于只接种病原菌 NQ-1 的处理，表现出良好的生长趋势，并且同时接种 40 g/盆菌核菌 NQ-1 与 5 g/盆 YC16 菌剂的处理植株长势最好。表明 YC16 菌剂在抑制菌核菌的菌丝生长的同时，能够促进向日葵生长。

2.3 盆栽土壤接种 YC16 菌剂对向日葵幼苗的促生效果

土壤盆栽条件下，向日葵分别接种的 10 种生物菌剂，都能够提高向日葵的生物量(表 3)。Y1 菌剂处理的生物量最高，达到了 8.61 g/株，比对照提高 54.9%；YC16 菌剂处理的生物量次高，为 8.58 g/株，略低于 Y1 菌剂 0.03 g/株，比对照提高 54.3%；JK22、F2、C8 三种菌剂的生物量也比较高，分别为 8.04 g/株、8.13 g/株和 8.22 g/株，比对照分别增加 44.6%、46.2%和 47.8%；CC1D、DSM8785、Y5、ACCC11106 四种菌剂的生物量比较低，分别比对照增加 36.0%、38.8%、37.4%和 43.7%。向日葵生长 30 d 收获，没有一株发生菌核菌引起的茎腐病。

综上所述，10 种不同菌剂中，YC16 菌剂促

表 3. 土壤盆栽条件下不同细菌菌剂对向日葵生物量的影响

Table 3. Effect of 9 bacterial inoculant on sunflower biomass in soil pot experiment

Inoculant	Stem rot incidence/%	Biomass Wt/(g/plant)	Biomass increase/(g/plant)	Increase rate/%
CK	0	5.56c	—	—
CC1D	0	7.56b	2.00	36.0
DSM8785	0	7.72b	2.16	38.8
Y5	0	7.64b	2.08	37.4
ACCC11106	0	7.99ab	2.43	43.7
JK22	0	8.04ab	2.48	44.6
F2	0	8.13ab	2.57	46.2
C8	0	8.22ab	2.66	47.8
YC16	0	8.58a	3.02	54.3
Y1	0	8.61a	3.05	54.9

The different small letters in the same column indicate significant differences among treatments at $P < 0.05$ level.

进向日葵生长的效果显著, 并且显著高于对照菌株 DSM8785 和 ACCC11106, 与 Y1 菌剂的生物量之间差异甚微。

2.4 田间向日葵接种 YC16 菌剂的抗病增产效果

2014 年向日葵收获时, 生物菌剂试验区内所有植株全部为黄绿色, 没有一株病死。结果显示, YC16 菌剂产量最高, 为 3838.6 kg/hm², 比对照增产 28.8%; 苍白杆菌 Ymy3 菌剂次之, 产量为 3333.5 kg/hm², 增产 11.9%; T22 菌剂的产量为 3303.2 kg/hm², 增产 10.8%; YMA-2373 菌剂的产量为 3131.5 kg/hm², 仅增产 5.1% (表 4)。2014 年内蒙古乌拉特前旗降水充沛, 向日葵茎腐病、盘腐病、秆锈病严重, 大面积绝收。试验区周围大田的向日葵除了地边少数存活之外, 全部死亡于锈病和菌核菌病害。说明 YC16 菌剂在菌核菌病

害严重的年份, 能够显著防治菌核菌病害, 同时提高向日葵产量。

2015 年试验结果显示, YC16 菌剂接种向日葵的产量最高, 达到了 3946.3 kg/hm², 比对照增产 792.5 kg/hm², 增产率达 24.4%; 黑曲霉 QU5 菌剂的产量达 3774.7 kg/hm², 增产 620.9 kg/hm², 增产率为 19.1%; ACCC11079 菌剂的产量达 3578.6 kg/hm², 增产 13.1%; 芽孢杆菌 JQ-1 菌剂的产量为 3456.1 kg/hm², 仅增产 9.3% (表 5)。上述结果说明, 不发生严重菌核菌病害的年份, YC16 菌株表现了显著提高产量的作用。

2016 年试验结果显示, 生物菌剂作为底肥使用, 可以防治茎腐病发生, 盘腐病减轻, 没有发生秆锈病, 向日葵产量显著提高(表 6)。不接种菌剂的 CK 处理, 盘腐病发病率为 54%; 接种 YC16

表 4. YC16 生物菌剂防治向日葵菌核菌病和提高产量的作用

Table 4. Effect of isolate YC16 on *S. sclerotiorum* disease incidence and sunflower yields

Inoculant	<i>S. sclerotiorum</i> rot incidence/%	<i>Puccinia helianthi</i> Schw. rust incidence/%	Yield/(kg/hm ²)	Yield increase/(kg/hm ²)	Increase rate/%
CK	0	0	2979.9c	—	—
YMA-2373	0	0	3131.5c	151.6	5.1
T22	0	0	3303.2b	323.3	10.8
Ymy3	0	0	3333.5b	353.6	11.9
YC16	0	0	3838.6a	858.7	28.8

The different small letters in the same column indicate significant differences among treatments at $P < 0.05$ level.

表 5. YC16 生物菌剂防治向日葵菌核菌病和提高产量的作用

Table 5. Effect of isolate YC16 on *S. sclerotiorum* disease incidence and sunflower yields

Inoculant	<i>S. sclerotiorum</i> rot incidence/%	<i>Puccinia helianthi</i> Schw. rust incidence/%	Yield/(kg/hm ²)	Yield increase/(kg/hm ²)	Increase rate/%
CK	0	0	3153.8c	—	—
JQ-1	0	0	3456.1b	302.3	9.3
ACCC11079	0	0	3578.6b	424.8	13.1
QU5	0	0	3774.7a	620.9	19.1
YC16	0	0	3946.3a	792.5	24.4

The different small letters in the same column indicate significant differences among treatments at $P < 0.05$ level.

表 6. YC16 生物菌剂防治向日葵菌核菌病和提高产量的作用

Table 6. Effect of isolate YC16 on *S. sclerotiorum* disease incidence and sunflower yields

Inoculant	<i>S. sclerotiorum</i> rot incidence/%	<i>Puccinia helianthi</i> Schw. rust incidence/%	Yield/(kg/hm ²)	Yield increase/(kg/hm ²)	Increase rate/%
CK	54a	0	3366.3c	—	—
Y5	22cd	0	3901.7b	535.4	15.9
Y1	15d	0	3943.7b	577.4	17.2
40033	27c	0	4052.0ab	685.7	20.4
QQ6	34b	0	4167.1a	800.8	23.8
YC16	15d	0	4382.5a	1016.2	30.2

The different small letters in the same column indicate significant differences among treatments at $P < 0.05$ level.

菌剂和 Y1 菌剂处理的盘腐病发病率仅为 15%，比对照降低了 39%；QQ6 和 40033 菌剂处理的盘腐病发病率分别为 34% 和 27%，比对照分别降低发病率 20% 和 27%；Y5 菌剂处理的盘腐病发病率为 22%，比对照降低 32%。

不接种菌剂的 CK 处理，向日葵产量最低，仅为 3366.3 kg/hm²；接种 YC16 处理的产量为 4382.5 kg/hm²，比对照增产 30.2%；QQ6 菌剂产量为 4167.1 kg/hm²，增产 23.8%；40033 菌剂的产量为 4052.0 kg/hm²，增产 20.4%；Y5 和 Y1 菌剂的产量分别为 3901.7 kg/hm² 和 3943.7 kg/hm²，比对照分别增产 15.9% 和 17.2%。以上结果说明，YC16 生物菌剂既能够降低盘腐病发生程度，又能够提高向日葵产量。

3 讨论

解淀粉芽孢杆菌是一种广受青睐的芽孢类

细菌。以往研究显示，所筛选的解淀粉芽孢杆菌中，拮抗油菜菌核菌 3 株^[9,25,38]、拮抗黄瓜菌核菌 2 株^[39-40]、防治大豆菌核菌茎腐病 1 株^[41]、拮抗芥末菜菌核菌 1 株^[15]、拮抗莴苣菌核菌腐烂病 1 株^[42]、防治麝香石竹菌核菌茎腐病 1 株^[43]、防治向日葵菌核菌 1 株^[5]。菌株 YC16 是目前世界范围内的第一株既能抑制向日葵菌核菌病害、又能提高产量的解淀粉芽孢杆菌。

目前，国际上解淀粉芽孢杆菌抑制向日葵菌核菌病害的研究只有 1 篇报道。田间条件下，解淀粉芽孢杆菌 B14 能够抑制 9 种土著菌核菌的生长，抑病指数为 60%–100%，向日葵发病率降低 25%–46%^[5]。

3 年田间试验表明，YC16 菌株能够提高向日葵产量 24.4%–30.2%，菌核菌病害防治效果达 39%–100%，年际间产量变化受降水量影响较大（表 4–6），截至目前，仅有一株解淀粉芽孢杆菌

B14 菌株进行了田间接种研究, 能够降低向日葵菌核菌发病率, 却没有显示提高产量的效果^[5]。除此之外, 解淀粉芽孢杆菌在田间其他作物上表现抑菌促生作用, 解淀粉芽孢杆菌菌剂对黄瓜菌核菌抑制率为 69.6%^[39], 菌株 B3 对油菜菌核病防治效果达 55.8%, 同时促进油菜生长^[38]。

解淀粉芽孢杆菌 YC16 是一株拥有防治向日葵菌核病和提高产量的优良细菌菌株。今后, 拟对其拮抗、促生和增产的机理, 以及土壤定殖、菌剂类型、使用方式、保活材料和发酵工艺进行研究。为更好地发挥 YC16 菌株防治向日葵茎腐病、盘腐病和提高产量的效果提供科学依据。

参 考 文 献

- [1] Dan JB, Kong DY, Liu SP, Gao FX, Yang S, Zhang J. Forecast for the occurrence of sunflower *Sclerotinia sclerotiorum* in Hetao irrigation district. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2012, 33(1): 142–147. (in Chinese)
淡建兵, 孔德胤, 刘双平, 高飞翔, 杨松, 张静. 河套灌区向日葵菌核病发生程度预测预报. *中国农业气象*, 2012, 33(1): 142–147.
- [2] Zhao WQ. The mechanism of disease occurrence and integrated control technologies against sunflower *Sclerotinia sclerotiorum*. *Agriculture & Technology*, 2017, 37(16): 58–59. (in Chinese)
赵伟权. 向日葵菌核病致病机理和综合防治技术. *农业与技术*, 2017, 37(16): 58–59.
- [3] Zhang SM, Jiang TR, Wang YX, Zhao XY, Zhang XC, Li J. Initial report on prevention and control effect of sunflower *Sclerotinia sclerotiorum* by *Bacillus subtilis*. *Modernizing Agriculture*, 2008, (11): 1–2. (in Chinese)
张淑梅, 姜天瑞, 王玉霞, 赵晓宇, 张先成, 李晶. 枯草芽孢杆菌防治向日葵菌核病效果初报. *现代化农业*, 2008, (11): 1–2.
- [4] Zhang YM, Li XJ, Wang Y, Zhao J, Zhou HY. Bacterial strain S-16 suppressing sclerotial formation of *Sclerotinia sclerotiorum*. *Chinese Journal of Biological Control*, 2014, 30(1): 121–127. (in Chinese)
张一名, 李小娟, 王颖, 赵君, 周洪友. 抑制向日葵核盘菌菌核形成的生防菌 S-16 的鉴定及其生防作用研究. *中国生物防治学报*, 2014, 30(1): 121–127.
- [5] Sabaté DC, Brandan CP, Petroselli G, Erra-Balsells R, Audisio MC. Biocontrol of *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary on common bean by native lipopeptide-producer *Bacillus* strains. *Microbiological Research*, 2018, 211: 21–30.
- [6] Smolińska U, Kowalska B. Biological control of the soil-borne fungal pathogen *Sclerotinia sclerotiorum*—a review. *Journal of Plant Pathology*, 2018, 100(1): 1–12.
- [7] Kamal MM, Lindbeck KD, Savocchia S, Ash GJ. Biological control of sclerotinia stem rot of canola using antagonistic bacteria. *Plant Pathology*, 2015, 64(6): 1375–1384.
- [8] Dai YL, Pan YM, Fan M, Gan L, Gao ZM. Condition optimization for antibiotic substances produced by *Bacillus subtilis* strain RSS-1. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2018, 34(3): 51–57. (in Chinese)
代玉立, 潘月敏, 樊森, 甘林, 高智谋. 枯草芽孢杆菌 RSS-1 菌株产生抗菌物质条件的优化. *中国农学通报*, 2018, 34(3): 51–57.
- [9] Chen SY, Yang BY, Gao MY, Dai SY. Inhibition of sclerotia formation of *Sclerotinia sclerotiorum* by *Bacillus amyloliquefaciens*. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 2005, 11(3): 373–376. (in Chinese)
陈士云, 杨宝玉, 高梅影, 戴顺英. 一株抑制油菜核盘菌菌核形成的解淀粉芽孢杆菌. *应用与环境生物学报*, 2005, 11(3): 373–376.
- [10] Nigris S, Baldan E, Tondello A, Zanella F, Vitulo N, Favaro G, Guidolin V, Bordin N, Telatin A, Barizza E, Marcato S, Zottini M, Squartini A, Valle G, Baldan B. Biocontrol traits of *Bacillus licheniformis* GL174, a culturable endophyte of *Vitis vinifera* cv. Glera. *BMC Microbiology*, 2018, 18(1): 133.
- [11] Kamal MM, Savocchia S, Lindbeck KD, Ash GJ. Biology and biocontrol of *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary in oilseed Brassicas. *Australasian Plant Pathology*, 2016, 45(1): 1–14.
- [12] Kaushal M, Kumar A, Kaushal R. *Bacillus pumilus* strain YSPMK11 as plant growth promoter and biocontrol agent against *Sclerotinia sclerotiorum*. *3 Biotech*, 2017, 7(2): 90.
- [13] Hu XJ, Roberts DP, Xie LH, Maul JE, Yu CB, Li YS, Zhang SJ, Liao X. *Bacillus megaterium* A6 suppresses *Sclerotinia sclerotiorum* on oilseed rape in the field and promotes oilseed rape growth. *Crop Protection*, 2013, 52: 151–158.
- [14] Fatouros G, Gkizi D, Fragkogeorgi GA, Paplomatas EJ, Tjamos SE. Biological control of *Pythium*, *Rhizoctonia* and *Sclerotinia* in lettuce: association of the plant protective

- activity of the bacterium *Paenibacillus alvei* K165 with the induction of systemic resistance. *Plant Pathology*, 2018, 67(2): 418–425.
- [15] Rahman ME, Hossain DM, Suzuki K, Shiiya A, Suzuki K, Dey TK, Nonaka M, Harada N. Suppressive effects of *Bacillus* spp. on mycelia, apothecia and sclerotia formation of *Sclerotinia sclerotiorum* and potential as biological control of white mold on mustard. *Australasian Plant Pathology*, 2016, 45(1): 103–117.
- [16] Torres MJ, Brandan CP, Sabaté DC, Petroselli G, Erra-Balsells R, Audisio MC. Biological activity of the lipopeptide-producing *Bacillus amyloliquefaciens* PGPBacCA1 on common bean *Phaseolus vulgaris* L. pathogens. *Biological Control*, 2017, 105: 93–99.
- [17] Gao XN, Han QM, Chen YF, Qin HQ, Huang LL, Kang ZS. Biological control of oilseed rape *Sclerotinia* stem rot by *Bacillus subtilis* strain Em7. *Biocontrol Science and Technology*, 2013, 24(1): 39–52.
- [18] Min J, Huang LN, Lu JY, Xiang N, Xiao YN. Antagonistic study of *Bacillus amyloliquefaciens* Ba301 against *Sclerotinia sclerotiorum*. *Guangxi Plant Protection*, 2017, 30(3): 21–22. (in Chinese)
 闵杰, 黄丽娜, 卢金应, 向妮, 肖炎农. 解淀粉芽孢杆菌 Ba301 对核盘菌的拮抗研究. 广西植保, 2017, 30(3): 21–22.
- [19] Gao XN, Chen JY, Huang LL, Qiao HP, Han QM, Kang ZS. Screening of antagonistic endophytic bacteria and their roles in control of *Sclerotinia sclerotiorum* in canola. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2010, 12(2): 161–167. (in Chinese)
 高小宁, 陈金艳, 黄丽丽, 乔宏萍, 韩青梅, 康振生. 油菜菌核病内生拮抗细菌的筛选及防病作用研究. 农药学报, 2010, 12(2): 161–167.
- [20] Yang DJ, Wang B, Wang JX, Chen Y, Zhou MG. Activity and efficacy of *Bacillus subtilis* strain NJ-18 against rice sheath blight and *Sclerotinia* stem rot of rape. *Biological Control*, 2009, 51(1): 61–65.
- [21] Hou YP, Zhang SP, Wang JX, Chen CJ, Zhou MG. Biological control of rapeseed sclerotinia stem rot caused by *Sclerotinia sclerotiorum* with *Bacillus subtilis* NJ-18 and its colonization dynamics on the plant. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2013, 43(4): 411–417. (in Chinese)
 侯毅平, 章四平, 王建新, 陈长军, 周明国. 枯草芽孢杆菌 NJ-18 对油菜菌核病的防治效果及其定殖动态. 植物病理学报, 2013, 43(4): 411–417.
- [22] Zhang Y, Bai C, Ran GH, Zhang ZY, Chen YH, Wu G. Characterization of endophytic bacterial strain YS45 from the citrus xylem and its biocontrol activity against *Sclerotinia* stem rot of rapeseed. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2009, 39(6): 638–645. (in Chinese)
 张翼, 白晨, 冉国华, 张志元, 陈耀辉, 吴刚. 柑橘内生细菌 YS45 的鉴定、抗菌物质分析及其对油菜菌核病的防治作用. 植物病理学报, 2009, 39(6): 638–645.
- [23] Gao XN, Chen YF, Han QM, Qin HQ, Kang ZS, Huang LL. Identification and biocontrol efficacy of endophytic bacterium EDR2 against *Sclerotinia sclerotiorum*. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2013, 41(2): 175–181, 188. (in Chinese)
 高小宁, 陈亚菲, 韩青梅, 秦虎强, 康振生, 黄丽丽. 内生细菌 EDR2 的鉴定及其对油菜菌核病的防治. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(2): 175–181, 188.
- [24] Ge PH, Ma GZ, Fu HR, Bao ZH, Wang SF, Liu ZP. Identification and inhibitory effects of the marine bacterial strain GM-1 antagonistic to *Sclerotinia sclerotiorum*. *Plant Protection*, 2013, 39(2): 50–56. (in Chinese)
 葛平华, 马桂珍, 付泓润, 暴增海, 王淑芳, 刘兆普. 油菜菌核病菌拮抗海洋细菌 GM-1 菌株的种类鉴定及抑菌作用研究. 植物保护, 2013, 39(2): 50–56.
- [25] Fernando WGD, Nakkeeran S, Zhang Y, Savchuk S. Biological control of *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary by *Pseudomonas* and *Bacillus* species on canola petals. *Crop Protection*, 2007, 26(2): 100–107.
- [26] Kumar A, Saini S, Wray V, Nimtz M, Prakash A, Johri BN. Characterization of an antifungal compound produced by *Bacillus* sp. strain A5F that inhibits *Sclerotinia sclerotiorum*. *Journal of Basic Microbiology*, 2012, 52(6): 670–678.
- [27] Huang HC, Kokko EG, Yanke LJ, Phillippe RC. Bacterial suppression of basal pod rot and end rot of dry peas caused by *Sclerotinia sclerotiorum*. *Canadian Journal of Microbiology*, 1993, 39(2): 227–233.
- [28] Zhang JX, Xue AG. Biocontrol of sclerotinia stem rot (*Sclerotinia sclerotiorum*) of soybean using novel *Bacillus subtilis* strain SB24 under control conditions. *Plant Pathology*, 2010, 59(2): 382–391.
- [29] Zhang YM, Zhen X, Shi LJ, Zhou HY. Colonization of *Bacillus subtilis* S-16 and its control effect on *Sclerotinia sclerotiorum*. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2012, 16(1): 36–38, 75. (in Chinese)
 张一名, 甄熙, 石林君, 周洪友. 生防菌 S-16 的定殖动态以及对向日葵菌核病的生防效果研究. 河北农业科学, 2012, 16(1): 36–38, 75.

- [30] Ma GZ, Gao HL, Zhang YH, Li SD, Xie BY. Studies on the cell wall degrading enzymes during the mycoparasitism of *Gliocladium* spp. isolates with the sclerotia of *Sclerotinia sclerotiorum*. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2007, 29(6): 628–632. (in Chinese)
马桂珍, 高会兰, 张拥华, 李世东, 谢丙炎. 粘帚霉对核盘菌菌核的寄生作用及其细胞壁降解酶活性分析. *吉林农业大学学报*, 2007, 29(6): 628–632.
- [31] Yang CD, Li ZD, Chen XR, Xu CL, Xue L. Identification, pathogen inhibiting and nitrogen fixation of endophytic bacterium Z19 of *Polygonum viviparum*. *Microbiology China*, 2014, 41(2): 267–273. (in Chinese)
杨成德, 李振东, 陈秀蓉, 徐长林, 薛莉. 高寒草地珠芽蓼内生拮抗固氮菌 Z19 的鉴定及其固氮功能. *微生物学通报*, 2014, 41(2): 267–273.
- [32] Saxena A, Raghuwanshi R, Singh HB. *Trichoderma* species mediated differential tolerance against biotic stress of phytopathogens in *Cicer arietinum* L.. *Journal of Basic Microbiology*, 2015, 55(2): 195–206.
- [33] Liang XJ, Guo DH, Liu YZ, Tang YQ, Qiao JQ, Du Y. Identification and evaluation of *Delftia tsuruhatensis* strain NF83-1. *Journal of Plant Protection*, 2016, 43(2): 248–254. (in Chinese)
梁雪杰, 郭殿豪, 刘卹洲, 唐永清, 乔俊卿, 杜艳. 一株戴尔福特菌 NF83-1 的鉴定及评价. *植物保护学报*, 2016, 43(2): 248–254.
- [34] Wang YX, Jiang W, Liu YS, Meng LQ, Li J, Cao X, Hu JH, Chen JY, Zhang SM. Study on isolation and characterization of a psychrotrophic antagonistic bacterium from cold area. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2016, 47(8): 31–38. (in Chinese)
王玉霞, 姜威, 刘宇帅, 孟利强, 李晶, 曹旭, 胡基华, 陈静宇, 张淑梅. 寒地耐冷生防菌株筛选鉴定及特性研究. *东北农业大学学报*, 2016, 47(8): 31–38.
- [35] Fira D, Dimkić I, Berić T, Lozo J, Stanković S. Biological control of plant pathogens by *Bacillus* species. *Journal of Biotechnology*, 2018, 285: 44–55.
- [36] Yin ZW, Fan BQ, Ren P. Isolation and identification of a cellulose degrading fungus Y5 and its capability of degrading wheat straw. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2011, 32(1): 247–252. (in Chinese)
殷中伟, 范丙全, 任萍. 纤维素降解真菌 Y5 的筛选及其对小麦秸秆降解效果. *环境科学*, 2011, 32(1): 247–252.
- [37] Hu BC, Rimmer SR. Preliminary study of artificial inoculation for resistance (tolerance) to *Sclerotinia sclerotiorum* in rapeseed using detached leaves. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 1989, (3): 56–58. (in Chinese)
胡宝成, Rimmer SR. 油菜菌核病离体叶片接种法研究初报. *安徽农业科学*, 1989, (3): 56–58.
- [38] Wu HJ, Wang S, Zhan J, Ma LL, Gao XW. Biocontrol effect of lipopeptide compounds produced by *Bacillus* spp. against rape *Sclerotinia* disease. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2012, 43(7): 84–88. (in Chinese)
伍辉军, 王帅, 湛江, 马玲莉, 高学文. 芽胞杆菌产生的脂肽类化合物在防治油菜菌核病中的作用. *东北农业大学学报*, 2012, 43(7): 84–88.
- [39] Rostami S, Maleki M, Shahriari D. The use of bacillus amyloliquefaciens to control of sclerotinia stem rot (*Sclerotinia sclerotiorum*) of cucumber. *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 2013, 2(22): 965–970.
- [40] Kim BY, Lee SY, Ahn JH, Song J, Kim WG, Weon HY. Complete genome sequence of *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* CC178, a phyllosphere bacterium antagonistic to plant pathogenic fungi. *Genome Announcements*, 2015, 3(1): e01368–14.
- [41] Alvarez F, Castro M, Príncipe A, Borioli G, Fischer S, Mori G, Jofré E. The plant-associated *Bacillus amyloliquefaciens* strains MEP₂18 and ARP₂3 capable of producing the cyclic lipopeptides iturin or surfactin and fengycin are effective in biocontrol of sclerotinia stem rot disease. *Journal of Applied Microbiology*, 2012, 112(1): 159–174.
- [42] Lee SY, Weon HY, Kim WG, Kim JJ, Han JH. Selection of *Bacillus amyloliquefaciens* M27 for biocontrol on lettuce sclerotinia rot. *The Korean Journal of Mycology*, 2015, 43(3): 180–184.
- [43] Selvaraj V, Sevugapper N. Synergistic action of anti-microbial peptide (AMP) genes in *Bacillus amyloliquefaciens* for the anagement of stem rot of carnation. *Journal of Mycology and Plant Pathology*, 2015, 45(4): 330–335.

Isolation of a high effective antagonistic bacterial strain YC16 against *Sclerotinia sclerotiorum* diseases in sunflower

Caiyue Liu^{1,2}, Mingfang Cheng¹, Hongmei Jiang¹, Fukuan Zhao^{2*}, Bingquan Fan^{1*}

¹ Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

² Key Laboratory of Urban Agriculture (North China) of Ministry of Agriculture, College of Biological Science and Engineering, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China

Abstract: [Objective] To isolate antagonistic bacteria against *Sclerotinia sclerotiorum* diseases in sunflower. [Methods] Cellulose-degrading bacteria were isolated by CMC and wheat straw cellulose as sole carbon and energy source in mineral culture medium, then the ability of cellulose-degrading bacteria to suppress *Sclerotinia sclerotiorum* mycelium development was recorded under various conditions. The antagonistic spectrum of the isolate YC16 against pathogenic fungi was tested on PDYA petri-dishes, the suppressive ability of YC16 against *Sclerotinia sclerotiorum* was also observed using fresh detached leaves of sunflower and peat pot experiment. The effect of YC16 inoculation on plant growth promotion and *Sclerotinia* rot diseases prevention of sunflower was studied in pot and field experiment. [Results] YC16 was isolated and identified as *Bacillus amyloliquefaciens*. YC16 could suppress eight pathogenic fungi, including *Sclerotium rolfsii*, *Fusarium solani*, *Fusarium oxysporum*, *Pyricularia oryzae*, *Phytophthora capsici*, *Fusarium* sp., *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* Owen and *Sclerotinia sclerotiorum*. YC16 could inhibit *S. sclerotiorum* from infecting sunflower leaves by 80.42% and reduce the density of *S. sclerotiorum* mycelia by more than 50% on the surface of the Peat media compared with the control under pot condition. YC16 inoculation increased obviously the fresh biomass weight of sunflower by 54.9%. Under conventional chemical fertilizer application, YC16 inoculation increased sunflower yield by 24.4% to 30.2%, *S. sclerotiorum* diseases of sunflower was reduced by 39% to 100% through 3 year's field studies. [Conclusion] The isolate YC16 showed the potential for controlling sunflower *Sclerotinia* rot diseases and increasing sunflower yields as an efficient microbial resource for development of biocontrol agent.

Keywords: sunflower, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Bacillus amyloliquefaciens*, biocontrol effect, yield increase

(本文责编: 李磊)

Supported by the 948 Agricultural Project (2011-G25, 2016-X21) and by the National High Technology Research and Development of China (2013AA102801-7, 2013AA102802-4)

*Corresponding author. Tel/Fax: + 86-10-82106212; E-mail: fanbingquan@caas.cn

Received: 31 March 2019; Revised: 6 June 2019; Published online: 12 November 2019