

# 水稻稻瘟病生防菌筛选、鉴定及作用机制初探

刘冰<sup>1</sup>, 陈枫<sup>2</sup>, 刘金亮<sup>1</sup>, 张艳华<sup>1</sup>, 潘洪玉<sup>1</sup>, 张祥辉<sup>1\*</sup>

(1. 吉林大学植物科学学院, 长春 130062; 2. 安徽省化工研究院, 合肥 230041)

**摘要:**为研究生防菌对稻瘟菌的抑制作用, 采用平板对峙法从人参根际土壤中筛选出对稻瘟菌具有抑制作用的菌株3株。利用生理生化特征及16S rDNA序列分析将其中一株抑菌效果最好的菌株GS-1鉴定为贝莱斯芽孢杆菌(*Bacillus velezensis*)。抑菌谱测定结果表明, 生防菌GS-1对稻瘟菌(*Magnaporthe oryzae*)、禾谷镰孢菌(*Fusarium graminearum*)、立枯丝核菌(*Rhizoctonia solani*)、玉米大斑病菌(*Setosphaeria turcica*)、核盘菌(*Sclerotinia sclerotiorum*)和灰葡萄孢菌(*Botrytis cinerea*)均有一定抑制作用。其发酵液对稻瘟菌的抑制率达90%以上, 发酵液正丁醇粗提物对稻瘟菌的抑制率达到57%。通过电导率测定, 发现GS-1可显著提高稻瘟菌的细胞膜渗透性, 影响细胞内离子稳态。且经GS-1处理的稻瘟菌菌丝的脂质过氧化程度显著提高, 说明GS-1对稻瘟菌具有较好的抑制潜力, 为下一步开发防治稻瘟病的微生物菌剂奠定了基础。

**关键词:** 稻瘟菌; 贝莱斯芽孢杆菌; 抑制效果; 作用机制

中图分类号: S476.1

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2023)03-0052-06

## Screening, Identification and Mechanism of Biological Control Strain Against *Magnaporthe oryzae*

LIU Bing<sup>1</sup>, CHEN Feng<sup>2</sup>, LIU Jinliang<sup>1</sup>, ZHANG Yanhua<sup>1</sup>, PAN Hongyu<sup>1</sup>, ZHANG Xianghui<sup>1\*</sup>

(1. School of Plant Science, Jilin University, Changchun 130062; 2. Anhui Research Institute of Chemical Technology, Hefei 230041, China)

**Abstract:** To investigate the inhibitory effect of biocontrol agent against *Magnaporthe oryzae*, 3 biocontrol fungi which have obvious antifungal effect were screened out from rhizosphere of Ginseng with plate-screening method. The strain GS-1, which exhibited the best antifungal performance, was identified as *Bacillus velezensis* based on physiological and biochemical characteristics, as well as 16S rDNA sequence analysis. The antifungal spectrum showed that biocontrol bacterium GS-1 demonstrated a degree of inhibitory activity against *M. oryzae*, *Fusarium graminearum*, *Rhizoctonia solani*, *Setosphaeria turcica*, *Sclerotinia sclerotiorum* and *Botrytis cinerea*, respectively. The inhibitory rate of GS-1 fermentation broth and n-butyl alcohol extract to *M. oryzae* was 90% and 57%, respectively. The conductivity and MDA content of *M. oryzae* was significantly increased under GS-1 treatment, so GS-1 would be a potential biocontrol strain against rice blast, which laid a basis for the development of a microbial agent to control rice blast disease in future studies.

**Key words:** *Magnaporthe oryzae*; *Bacillus velezensis*; Inhibitory effect; Mechanism

稻瘟病(rice blast)是水稻最主要的病害之一,严重影响水稻的产量和品质<sup>[1]</sup>。目前,稻瘟病防治主要以抗性品种和化学防治为主,但这两种防治措施均存在一定缺陷,化学防治虽然防治效

率高、见效快,但容易产生抗药性,且化学农药残留对人体和环境都会造成很大影响<sup>[2]</sup>。相比之下,生物防治安全可靠、防治范围广,是农业可持续发展的重要保障之一<sup>[3]</sup>。随着微生物源农药研究的逐步深入,越来越多的生防菌被分离出来并应用于生产,其中包括芽孢杆菌(*Bacillus* spp.)、假单胞菌(*Pseudomonas* spp.)、土壤杆菌(*Agrobacterium* spp.)、产碱菌属(*Alcaligenes* spp.)等<sup>[4-7]</sup>。尤其是芽孢杆菌能产生芽孢、适应性强、且能产生多种抗菌物质,在植物病害防治中广泛应用,其中包括枯草芽孢杆菌(*B. subtilis*)、解淀粉芽孢杆

收稿日期: 2020-06-29

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目(2018YFD0300206、2017YFD0300606)

作者简介: 刘冰(1993-),女,硕士,从事植物病害生物防治研究。

通讯作者: 张祥辉,男,博士,副教授, E-mail: zhangxianghui1982@126.com

菌(*B. amyloliquefaciens*)、短小芽孢杆菌(*B. pumilus*)、蜡状芽孢杆菌(*B. cereus*)、多黏芽孢杆菌(*B. polymyxa*)等<sup>[8-11]</sup>。本研究在人参根际土壤中分离得到一株贝莱斯芽孢杆菌(*B. velezensis*) GS-1,其对包括稻瘟菌在内的多种病原真菌具有明显的抑制作用,且GS-1能诱导稻瘟菌菌丝膜透性增加,细胞质外泄,诱导稻瘟菌菌丝凋亡。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 病原真菌

禾谷镰孢菌(*Fusarium graminearum*)、立枯丝核菌(*Rhizoctonia solani*)、玉米大斑病菌(*Setosphaeria turcica*)、水稻稻瘟菌(*Magnaporthe oryzae*)、核盘菌(*Sclerotinia sclerotiorum*)、灰葡萄孢菌(*Botrytis cinerea*),试验中所用到的所有病原真菌均保存在吉林大学植物科学学院有害生物综合治理研究室。

#### 1.1.2 土壤

采集于吉林省靖宇县人参种植基地,取人参耕作层0~20 cm松散湿润的土壤,放入塑封袋,4℃保存备用。

#### 1.1.3 培养基

马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA)、马铃薯葡萄糖培养基(PD)、Luria-Bertani培养基(LB)。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 生防菌的分离与纯化

称取潮湿松散的人参根际土壤0.5 g,快速加入49.5 mL无菌水中,用旋涡混合仪混合5 min使土样尽量分散开,制成1%(m/v)土壤悬液。用移液枪吸取1 mL的土壤悬液,加入9 mL无菌水中制成 $10^{-3}$ 土壤悬液,如此重复操作,最终得到 $10^{-3}$ ~ $10^{-8}$ 的土壤稀释液。取 $10^{-7}$ 和 $10^{-8}$ 的土壤稀释液各500  $\mu$ L,加入LB固体培养基上,将稀释液涂匀至吸收完全,取 $10^{-5}$ 和 $10^{-6}$ 的土壤稀释液各500  $\mu$ L,分别接到PDA培养基上,用涂布棒将稀释液涂匀至吸收完全。28℃倒置培养2~7 d。

从不同平板上挑取形态、颜色或质地具有代表性的单菌落分别在适宜其生长的培养基上划线纯培养,4℃保存备用。

#### 1.2.2 生防菌的筛选

采用平板对峙法进行生防菌株筛选。依据纯化得到供试菌株的分类将其分别接种在适宜其生长的培养基上(LB培养基或PDA培养基),37℃倒置培养1 d进行活化,后用灭菌后的牙签

挑取单菌落接种于PDA培养基上距边缘约1 cm处,进行定殖。将病原菌培养2~3 d,用直径5 mm打孔器打成菌饼,接种于供试生防菌株的对侧。设置空白对照,每个处理3次重复。25℃恒温培养,观察供试生防菌株对病原菌的抑制效果,待空白对照组菌丝长满平板时记录各个组的抑菌效果。抑菌率=[(对照组半径平均值-试验组半径平均值)/对照组半径平均值]×100%。

#### 1.2.3 抑菌谱的测定

依据上述对峙培养方法对筛选到的目标生防菌株进行抑菌谱的测定,选取水稻稻瘟菌、禾谷镰孢菌、立枯丝核菌、玉米大斑病菌、核盘菌和灰葡萄孢菌进行对峙培养,测定目标生防菌株对这些病原菌的抑制效果。

#### 1.2.4 生防菌GS-1发酵液对稻瘟菌的抑制作用

将分离筛选得到的生防菌株GS-1接种到50 mL液体LB培养基中,30℃150 r/min摇培24 h,以1:1、1:10、1:25、1:50、1:100、1:200和1:400的比例加入PDA培养基中,摇匀后倒入90 mm无菌培养皿内制成平板,以不加发酵液的PDA培养基为空白对照。用5 mm打孔器打取已经培养7 d的稻瘟菌接种于平板中央,于25℃培养箱中培养,分别于3、5、7、9 d测量各处理的菌落直径,计算相对抑制率,每个处理重复3次。发酵液经4℃、10 000 r/min离心10 min,取上清液用孔径为0.22  $\mu$ m的针式过滤器过滤掉菌体得无菌发酵液,4℃保存备用。

#### 1.2.5 生防菌发酵液正丁醇萃取物对稻瘟菌的抑制作用

将分离筛选得到的生防菌株GS-1接种到1 L液体LB培养基中,30℃150 r/min摇培48 h,正丁醇萃取3次,每次正丁醇与发酵液的体积比为1:2,合并萃取液,旋转蒸发去除溶剂,用甲醇进行溶解备用。将培养3 d的稻瘟菌接种到PDA培养基平板中央,在两侧放置灭菌后的滤纸片,在滤纸片上滴加50  $\mu$ L发酵液萃取物,置于25℃培养箱中培养,7 d后测量抑制率。

#### 1.2.6 生防菌GS-1对稻瘟菌菌丝细胞膜渗透性的影响

生防菌GS-1对稻瘟菌菌丝细胞膜渗透性的影响通过测定稻瘟菌培养液的电导率来实现。将稻瘟菌接种至PDA培养基平板上,于25℃培养5 d,从菌落边缘各打取5 mm菌饼5个接种至200 mL PD培养基中,于25℃以160 r/min摇培3 d。将活化的生防菌GS-1于37℃以200 r/min摇培12 h,将发酵液按1:100比例加到摇培3 d的稻瘟菌

中,分别在共培养0、4、8、12、24、48 h取6 mL菌液,以4 000 r/min离心10 min,测定电导率,每个处理3次重复,根据电导率的变化来评价GS-1对稻瘟菌菌丝渗透性的影响。

### 1.2.7 生防菌GS-1对稻瘟菌菌丝脂质过氧化程度的影响

生防菌GS-1对稻瘟菌菌丝脂质过氧化程度的影响通过测定稻瘟菌菌丝的丙二醛(Malondialdehyde,MDA)含量来完成,MDA的含量采用硫代巴比妥酸法测定。将稻瘟菌接种至PD培养基中,于25 °C以160 r/min摇培3 d。将GS-1接种至PD培养基中,于37 °C以200 r/min摇培12 h,向稻瘟菌培养液中加入生防菌发酵液(1:200),分别于共培养0、4、8、12、24、48 h时取出菌液,多次抽滤处理后收集菌丝,菌丝用无菌水冲洗3次后置于-80 °C保存备用。取0.5 g菌丝向其中加入0.05 mol/L的Tris-HCl溶液3 mL,于冰浴中用研磨杵磨成匀浆,匀浆以12 000 r/min冷冻离心20 min。取2 mL上清液,向其中加入0.5%硫代巴比妥酸2 mL,将混合液置于沸水中加热30 min,取出后立即置于冰浴中冷却,彻底冷却后以4 000 r/min离心10 min,分别于450、525、600 nm波长下测定吸光度(OD值)。MDA浓度(mmol/L)=6.45×(A<sub>532</sub>-A<sub>600</sub>)-0.56A<sub>450</sub>。

### 1.2.8 生防菌株GS-1的鉴定

#### 1.2.8.1 生化鉴定

生化鉴定借助细菌自动鉴定系统来完成,将生防菌株送至吉林省进出口检验检疫局,采用梅里埃VITEK® 2全自动微生物生化鉴定系统,根据BCL、GN鉴定卡比对结果,对菌株进行初步分类鉴定。

#### 1.2.8.2 分子生物学鉴定

分子生物学鉴定采用16S rDNA基因扩增法,PCR扩增产物进行琼脂糖凝胶电泳检测和胶回收后送至库美生物科技有限公司进行测序,对测序结果进行BLAST与NCBI数据比对,同时构建系统发育树,确定亲缘关系及菌种分类。

基因组DNA提取:将目标生防菌株摇培约12 h使其处于对数生长期,利用细菌DNA提取试剂盒进行目标菌株DNA的提取,具体步骤参照TI-ANamp Bacteria DNA Kit基因组DNA提取试剂盒说明书操作。

引物:利用原核微生物16S rDNA保守序列,合成通用引物,引物序列为:27F: 5'-AGAGTTTG ATCCTGGCTCA-3'、1492R: 5'-GGTTACCTTGTTA CGACT-3'。

PCR反应体系:模版DNA 200 ng;5×Phusion buffer 10 μL;Phusion polymerase 1 μL;27F(20P) 2.5 μL;1492R(20P) 2.5 μL;10 mM dNTPs 1 μL,加入无菌水补足至50 μL。

PCR程序:①98 °C预变性30 s;②98 °C变性10 s;③55 °C退火30 s;④72 °C延伸45 s;⑤循环以上3步35次;⑥72 °C延伸7 min;⑦4 °C保存。

检测和回收:以DL 2000 Marker为标准,对扩增产物进行琼脂糖凝胶电泳检测,检测反应产物的特性和大小,检测确定扩增成功后,利用琼脂糖凝胶回收试剂盒(天根)对产物进行回收与纯化,后送至库美生物科技有限公司进行测序。

## 2 结果与分析

### 2.1 稻瘟菌生防菌的筛选

通过对微生物种类丰富的人参根际土壤的分离,共纯化得到32株菌株,其中细菌23株、霉菌6株、放线菌3株,分别将这些纯化得到的菌株与病原菌进行对峙培养,经过多次筛选,最终得到3株对稻瘟菌具有抑菌效果的细菌,其中1株抑制效果最显著,根据其来源将其命名为GS-1,其对稻瘟菌的抑制率达60%,抑制效果见图1。

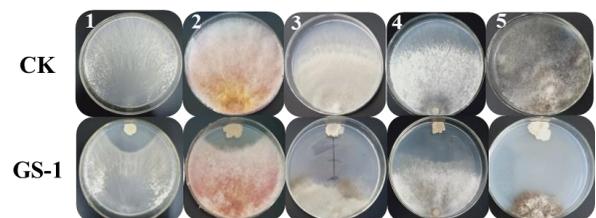


注:A为对照,其余3个为处理

图1 生防菌GS-1对稻瘟菌的抑制效果

### 2.2 生防菌GS-1的抑菌谱测定

将生防菌株GS-1与玉米大斑病菌(*S. turcica*)、立枯丝核菌(*R. solani*)、禾谷镰孢菌(*F. graminearum*)、核盘菌(*S. sclerotiorum*)及灰葡萄孢菌(*B. cinerea*)进行对峙培养,来初步测定GS-1的抑



注:1为立枯丝核菌,2为禾谷镰孢菌,3为灰葡萄孢菌,4为核盘菌,5为玉米大斑病菌

图2 生防菌GS-1对立枯丝核菌、禾谷镰孢菌、灰葡萄孢菌、核盘菌以及玉米大斑病菌的抑制效果

菌谱,测定发现GS-1对以上几种病原菌均有较好的抑制效果,抑制效果见图2,抑菌率见表1。

### 2.3 生防菌GS-1发酵液对稻瘟菌的抑制效果

将生防菌发酵液与PDA培养基按不同比例混

合后制成平板,接种稻瘟菌后发现生防菌发酵液对稻瘟菌的生长具有很强的抑制作用,即使在最低比例生防菌发酵液的培养基上稻瘟菌也几乎不能生长,具体结果见表2。

表1 生防菌GS-1对病原菌的抑制率

%

病原菌	立枯丝核菌	禾谷镰孢菌	灰葡萄孢菌	核盘菌	玉米大斑病菌
抑制率	35.74±0.83	33.33±0.38	40.33±0.40	38.03±1.22	69.50±0.36

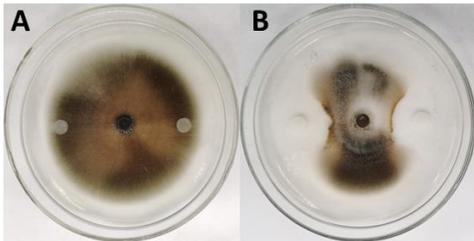
表2 生防菌发酵液对稻瘟菌的抑制效果

cm

稀释比例	3 d		5 d		7 d		9 d	
	CK	GS-1	CK	GS-1	CK	GS-1	CK	GS-1
1:1	2.0	0.5	3.3	0.5	5.1	0.5	6.6	0.5
1:10	1.9	0.5	3.4	0.5	5.0	0.5	6.6	0.5
1:25	1.9	0.6	3.4	0.6	5.1	0.6	6.7	0.6
1:50	2.0	0.6	3.3	0.6	5.2	0.6	6.7	0.6
1:100	2.1	0.6	3.2	0.6	5.2	0.6	6.6	0.7
1:200	2.1	0.6	3.3	0.7	5.1	0.7	6.7	0.7
1:400	2.0	0.6	3.4	0.7	5.1	0.7	6.7	0.7

### 2.4 生防菌GS-1正丁醇粗提物对稻瘟菌的抑制效果

利用对峙培养法,测定生防菌GS-1正丁醇粗提物对稻瘟菌的抑制效果。从图3可以看出,GS-1正丁醇粗提物对稻瘟菌具有明显的抑制效果,抑制率达到57.1%。



注:A为对照,B为处理

图3 生防菌正丁醇粗提物对稻瘟菌的抑制效果

### 2.5 生防菌GS-1对稻瘟菌细胞膜渗透性的影响

从图4可以看出,GS-1加入后12 h内,稻瘟菌的电导率接近于对照组,12 h后电导率快速上升,48 h达到最大,此时电导率为对照组的1.87倍,且有继续上升的趋势,说明GS-1可明显增大稻瘟菌的细胞膜渗透性,对细胞内离子稳态具有较大影响。

### 2.6 生防菌GS-1对稻瘟菌脂质过氧化程度的影响

在生防菌GS-1处理下,分别于不同时间测定稻瘟菌(*M. oryzae*)的MDA含量。由图5可知,对照组稻瘟菌的MDA含量变化呈先降低后平稳的趋势;GS-1处理组中MDA含量变化相近,均是经历了小幅度的变化,24 h后趋于平稳,且明显高于

对照组,48 h时GS-1处理组MDA含量为对照组的1.72倍。说明在GS-1处理下稻瘟菌菌丝的脂质过氧化程度明显升高,具有较好的抑制稻瘟菌的潜力。

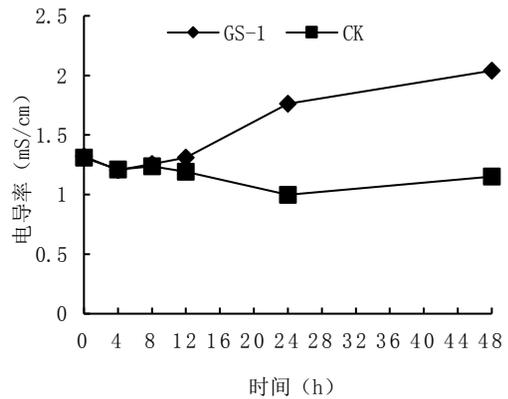


图4 GS-1对稻瘟菌细胞膜渗透性的影响

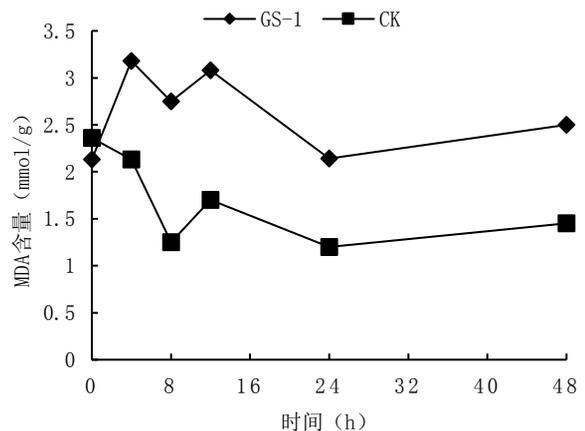


图5 GS-1对稻瘟菌脂质过氧化程度的影响

## 2.7 生防菌 GS-1 的鉴定

### 2.7.1 生化鉴定

利用全自动微生物生化鉴定系统和 BCL 试验卡对 GS-1 进行生化鉴定,GS-1 与贝莱斯芽孢杆菌 (*B. velezensis*) 的相似度最高。

### 2.7.2 分子生物学鉴定

将提取的生防菌 GS-1 的 DNA 利用 16S rDNA 通用引物扩增,扩增产物回收后送至库美生物科

技有限公司进行测序。将测得的序列在 NCBI 上进行 Blast 比对,并根据测序结果构建系统发育树,见图 6。结果显示,GS-1 菌株与 *Bacillus velezensis* FZB42NR 序列最相近,同源性达 95% 以上,综合生化鉴定结果,将菌株 GS-1 定为贝莱斯芽孢杆菌 (*B. velezensis*),命名为贝莱斯芽孢杆菌 GS-1 (*B. velezensis* GS-1)。

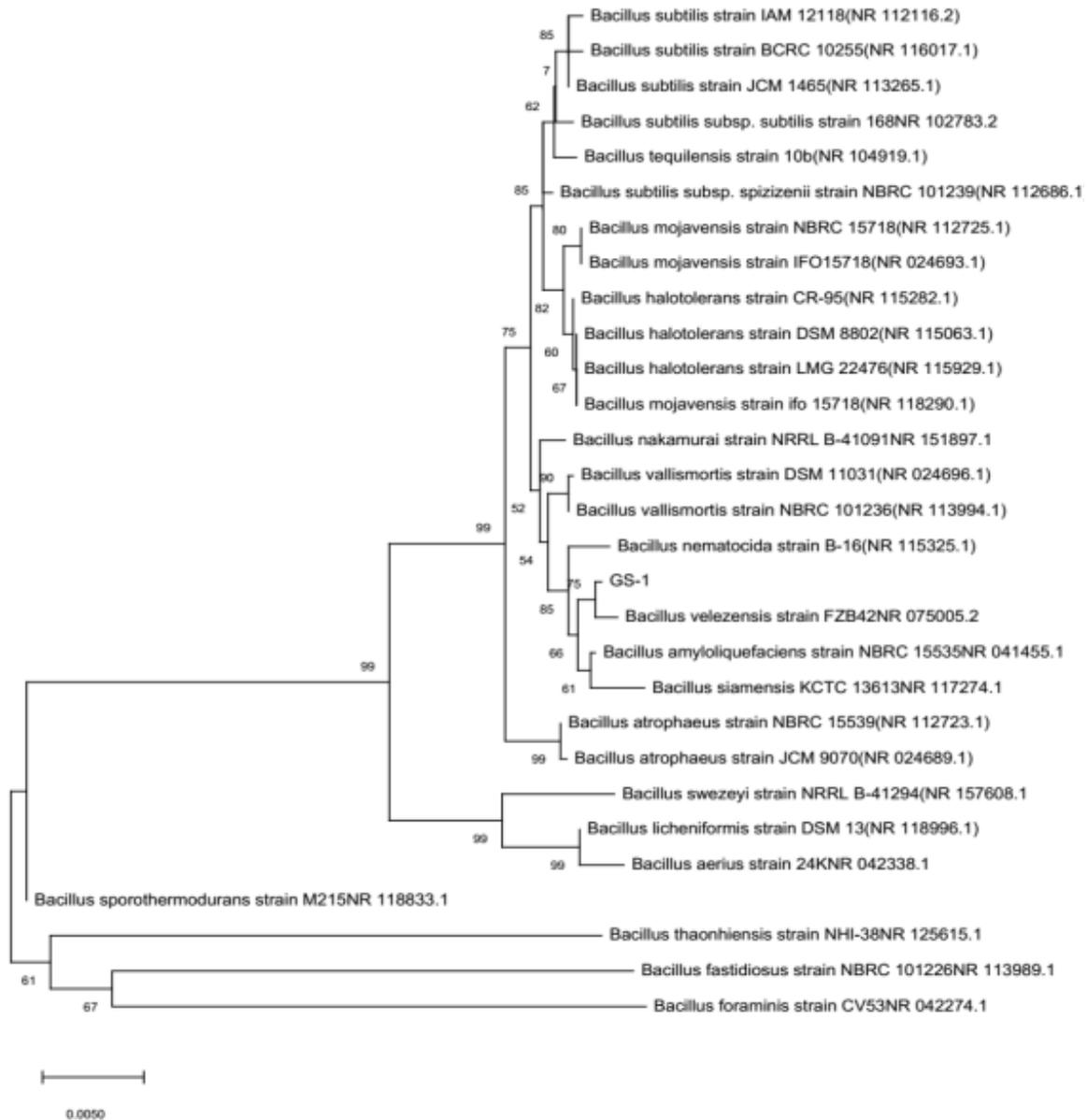


图6 GS-1 的系统发育树

## 3 结论与讨论

本研究从人参根际土壤中分离得到一株对稻瘟菌有明显抑制作用的生防菌株 GS-1,经鉴定为贝莱斯芽孢杆菌 (*B. velezensis*),其对多种植物病

原真菌具有抑制作用,其发酵液粗提物对稻瘟菌的抑制率达到 57%。另外,通过电导率测定与脂质过氧化程度分析发现,GS-1 对稻瘟菌菌丝的细胞膜透性影响较大,促进稻瘟菌菌丝细胞质的外泄,从而抑制稻瘟菌的生长。*B. velezensis* 类菌株

具有多种生防机制,其中包括拮抗作用、分泌次生代谢物质提高在植物根际的竞争能力,以及通过分泌多种物质来促进植物产生系统抗性<sup>[12-14]</sup>。冯江鹏等<sup>[15]</sup>分离得到一株贝莱斯芽孢杆菌JK3,对草莓胶孢炭疽菌(*Colletotrichum gloeosporioides*)具有较强拮抗作用,JK3发酵上清液对草莓炭疽病有很好的预防作用。利用贝莱斯芽孢杆菌NSZ-YBGJ001防治设施草莓白粉病,对草莓叶部白粉病防效达86.64%,对果实白粉病防效达71.08%<sup>[16]</sup>。从贝莱斯芽孢杆菌DH82发酵上清液中纯化得到两种蛋白,这两种蛋白对多种水产指示病原细菌和植物病原真菌都有很好的抑制活性<sup>[17]</sup>。研究表明,与施用*B. velezensis*野生型菌株相比,施用不能产生脂肽类物质的突变体菌株,植物寄主在面对立枯丝核菌侵染时表现抗性明显降低<sup>[14]</sup>。这都表明贝莱斯芽孢杆菌具有很好的抑菌活性和开发价值,但是在贝莱斯芽孢杆菌能促进稻瘟菌菌丝细胞质的外泄,从而抑制稻瘟菌的生长方面报道较少。本研究后续将继续对GS-1的活性产物进行分离与鉴定,明确关键活性物质并进行制剂化。结合他人研究成果,综合利用贝莱斯芽孢杆菌抑制稻瘟菌生长以及提升水稻抗病性等优势,提高其在水稻抗稻瘟病中的利用价值,促进水稻的增产增收。

#### 参考文献:

- [1] 杨美华,康冀川,雷帮星,等.四种稻瘟病生防菌的筛选及其活性评价[J].食品工业科技,2019(12):102-107.
- [2] 高杜娟,唐善军,陈友德,等.水稻主要病害生物防治的研究进展[J].中国农学通报,2019,35(26):140-147.
- [3] 韩长志.植物病害生防菌的研究现状及发展趋势[J].中国森林病虫,2015,34(1):33-37.
- [4] 袁善奎,王以燕,师丽红,等.我国生物源农药标准制定现状及展望[J].中国生物防治学报,2018,34(1):679-684.
- [5] 孔阳,马养民,王佳运,等.一株烟曲霉抗植物病原菌活性次生代谢产物的研究[J].东北农业科学,2019,44(2):34-38.
- [6] 邓建良,刘红彦,王鹏涛,等.生防芽孢杆菌脂肽抗生素研究进展[J].植物保护,2010,36(3):20-25.
- [7] 韩雨桐,刘焯,张淋淋,等.稻瘟病菌拮抗细菌的筛选及其防效作用研究[J].东北农业科学,2016,41(3):67-72.
- [8] 袁海峰,周舒扬,甄涛,等.新型芽孢杆菌在农业领域应用研究进展[J].国土与自然资源研究,2020(2):92-94.
- [9] 韩旭东,张玉苍,李瑞松,等.芽孢杆菌ZYCHH-01发酵条件优化及其抑菌物质的研究[J].中国酿造,2020(39):38-43.
- [10] 李苗苗,王晓强,王东坤,等.生防菌复配对烟草黑胫病的防治效果研究[J].中国烟草科学,2020,41(2):32-38.
- [11] 杨得强,周春发,黄龙伟,等.内生芽孢杆菌对植物生长发育及病害防治的研究进展[J].安徽农业科学,2020,48(4):11-14.
- [12] Erlacher A, Cardinale M, Grosch R, et al. The impact of the pathogen *Rhizoctonia solani* and its beneficial counterpart *Bacillus amyloliquefaciens* on the indigenous lettuce microbiome [J]. Front Microbiol, 2014, 5:175.
- [13] Kloeppe J W, Ryu C M, Zhang S. Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus* spp.[J]. Phytopathology, 2004, 94: 1259-1266.
- [14] Chowdhury S P, Uhl J, Grosch R, et al. Cyclic lipopeptides of *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 subsp. plantarum colonizing the lettuce rhizosphere enhance plant defense responses towards the bottom rot pathogen *Rhizoctonia solani* [J]. Molecular plant-microbe interaction, 2015, 28: 984-995.
- [15] 冯江鹏,邱莉萍,梁秀,等.草莓胶孢炭疽菌拮抗细菌贝莱斯芽孢杆菌JK3的鉴定及其抗菌活性[J].浙江农业学报,2020,32(5):832-839.
- [16] 张小利,潘洪吉,陶永梅,等.贝莱斯芽孢杆菌NSZ-YBGJ001对草莓白粉病的防治效果研究[J].农药科学与管理,2020,41(4):53-56.
- [17] 王青华,唐旭,孙晓晖,等.深海贝莱斯芽孢杆菌DH82的抑菌活性物质初步分离纯化及其抑菌谱检测[J].应用海洋学学报,2020,39(1):20-26.

(责任编辑:王昱)