

强 薇, 郭 帅, 张爱华, 等. 人参根际土壤中拮抗人参病害微生物的筛选[J]. 华南农业大学学报, 2014, 35(5): 76-81.

人参根际土壤中拮抗人参病害微生物的筛选

强 薇, 郭 帅, 张爱华, 雷锋杰, 匙 坤, 王 壮, 王二欢, 张连学
(吉林农业大学 中药材学院, 吉林 长春 130118)

摘要:【目的】筛选对人参主要病原菌拮抗率更高、抑菌谱更广的新菌株生防菌种资源。【方法】稀释平板法分离拮抗菌;平板对峙法筛选拮抗菌。【结果和结论】筛选出对人参单一病原菌有高拮抗活性的放线菌 7 株,对人参疫病、菌核病、灰霉病、黑斑病、锈腐病、立枯病、根腐病拮抗率分别为 80.84%、82.46%、66.08%、71.33%、64.63%、85.53%、65.11%,其中对 7 大人参病害均有高拮抗活性的菌株有 5 株,包括 1 株木霉菌、4 株放线菌。研究结果表明,可利用人参根际土壤中的有益菌研究其生防潜力,用于人参主要病害的防治。

关键词:菌株筛选;拮抗菌;人参;病原菌;根际微生物
中图分类号:S482.292 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-411X(2014)05-0076-06

Screening antagonistic microorganisms against ginseng diseases from *Panax ginseng* rhizosphere soil

QIANG Wei, GUO Shuai, ZHANG Aihua, LEI Fengjie, CHI Kun,
WANG Zhuang, WANG Erhuan, ZHANG Lianxue
(College of Chinese Traditional Medicine, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract:【Objective】To expand biocontrol strain resources and screen new strains with a higher antagonistic rate and a wider inhibiting range to control ginseng diseases. 【Method】The antagonistic strains were isolated by dilution plate method and were screened by flat-stand method. 【Result and conclusion】Seven actinomycetes strains with higher antagonistic activities to single ginseng pathogen, such as *Phytophthora cactorum*, *Sclerotinia schinseng*, *Botrytis cinerea*, *Alternaria panax*, *Cylindrocarpon destructans*, *Rhizoctonia solani* and *Fusarium solani*, had been screened, whose inhibition rates were 80.84%, 82.46%, 66.08%, 71.33%, 64.63%, 85.53% and 65.11%, respectively. Five strains, including a strain of *Trichoderma* and four strains of *Actinomyces*, had higher antagonistic activities to seven kinds of ginseng pathogens. The results indicate that the beneficial strains in the rhizosphere has a biocontrol potential ability of ginseng pathogens and can be used to prevent and cure major diseases of ginseng.

Key words:screen strains; antagonist strain; ginseng; pathogen; rhizosphere microbial

收稿日期:2013-11-28 优先出版时间:2014-07-17
优先出版网址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20140717.0907.014.html>
作者简介:强 薇(1986—),女,硕士研究生,E-mail: 1263785469@qq.com;通信作者:张连学(1955—),男,教授,博士,E-mail: zlx863@163.com
基金项目:国家自然科学基金(31070316,31100239,31200224);国家“十一五”科技支撑计划子课题(2006BA109804-02);国家公益性行业科研专项(201303111);吉林省科技发展计划项目(20110926,20130206030YY)

人参 *Panax ginseng* C. A. Mey 为五加科名贵中药材,需要种植 5~6 年才能收获。人参病害主要以根部病害为主,也伴有一些地上茎叶的病害,根部病害发病率 20% 左右,重者高达 70% 以上,严重影响了人参的产量和品质,削弱了我国人参产品在国际市场上的竞争力^[1]。目前我国人参病害主要依靠化学杀菌剂防治,杀菌剂在土壤中的有效期为 1 个月左右,容易造成化学农药污染。利用微生物拮抗菌株防治人参病害可以 1 次施用,多年有效,对人参和周边环境不会造成化学残留,是人参病害防治的发展方向^[2-5]。

我国在人参病害拮抗菌筛选方面做了较多工作,得到了一些对人参病害有拮抗作用的有益菌株^[6],并且取得了较好的防治效果^[7-8],但是,这些拮抗菌大多数只作用于 1 种人参病害、或是同时作用于 2~3 种人参病害,不能满足实际防治需要,防治效果也不很理想。本试验从我国人参主产区的人参根际土壤中进行了大量拮抗菌的筛选,以期分离出拮抗效果更好、抑菌谱更广、同时对 7 大人参主要病害有抑制作用的优良菌株,从而扩大生防菌种资源,为开发防治人参病害杀菌剂提供基础。

1 材料与方法

1.1 材料

培养基:放线菌的分离培养采用高氏一号培养基;木霉菌的分离培养采用孟加拉红培养基;拮抗菌筛选采用 PDA 培养基。

人参病原菌:疫病菌 *Phytophthora cactorum*、菌核菌 *Sclerotinia schinseng*、灰霉菌 *Botrytis cinerea* Pers、黑斑菌 *Alternaria panax*、锈腐菌 *Cylindrocarpon destructans*、立枯菌 *Rhizoctonia solani*、根腐菌 *Fusarium solani*,由吉林农业大学人参研究工程中心实验室提供。

土样:集安(3、4、5 年生)、靖宇(4、5 年生)、抚松(4、5、6 年生)、长白(5、6、7 年生)等人参主产地的不同年生人参根际土壤,2 次采样时间分别为 2012 年 5 月和 9 月,共采集土样 58 份,4℃ 冰箱保存备用。

木霉菌:sTHB 和 sTV04,由吉林农业大学人参研究工程中心实验室提供。

1.2 方法

1.2.1 拮抗菌的分离 采用稀释平板法对土壤中的微生物进行分离,取 0.5 mL 相应稀释浓度的菌悬液用涂布棒分别涂到对应的培养基上,置于恒温培养箱内

培养,待菌落形成后,挑取不同形态的单菌落,纯化后保存。其中,木霉菌稀释度为 10^{-3} 、 10^{-4} 、 10^{-5} ,25℃ 培养 24~48 h;放线菌的稀释度为 10^{-3} 、 10^{-4} 、 10^{-5} ,28℃ 培养 48~72 h;每个稀释度重复 3 次。

1.2.2 拮抗放线菌的筛选 将人参病原菌用打孔器制成直径为 5 mm 的菌块接种于中心,挑取放线菌在距离中心等距离的两侧划线。以只接病原菌的 PDA 平板作为对照,每处理重复 3 次。28℃ 培养箱中培养 72~84 h 后,初步筛选出对人参病原菌有拮抗作用的菌株,将这些拮抗菌株纯化,保存,待测。

1.2.3 拮抗木霉菌的筛选 将人参病原菌和拮抗菌株分别用打孔器制成直径为 5 mm 的菌块,并将人参病原菌和拮抗菌分别接种于距中心等距离的 PDA 平板的两侧。以只接病原菌的 PDA 平板作为对照,每处理重复 3 次。25℃ 培养箱中培养 72~84 h 后,初步筛选出对人参病原菌有拮抗作用的菌株,将这些拮抗菌株纯化、保存、待测。

1.2.4 拮抗放线菌的抑菌活性测定 将有抑菌作用的拮抗菌株做进一步筛选。在 PDA 培养皿中心接种培养 48 h 的人参病原菌菌饼(直径 5 mm),用接种针蘸取培养 48 h 的拮抗菌,以病原菌菌饼为中心,在 PDA 培养基上划等边三角形,这 3 条细线的竖行作为 3 次重复数据,以只接种病原菌的 PDA 平板为对照,28℃ 培养 72~96 h 左右,待对照接近长满培养皿时,用游标卡尺测量各个培养皿中人参病原菌的菌落生长半径,按下面公式计算拮抗率:

拮抗率 = (对照病原菌净生长半径 - 拮抗菌作用后的病原菌净生长半径) / 对照病原菌净生长半径 × 100%。

1.2.5 拮抗木霉菌抑菌活性测定 采用两点对峙法(方法同 1.2.2),25℃ 培养箱中培养 72~84 h 后,待对照接近长满平板时,用游标卡尺测量各个培养皿中人参病原菌的菌落生长半径,计算拮抗率。

1.3 数据分析

Excel 2003 录入数据,DPS 7.05 软件进行方差分析,LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 拮抗菌的分离和对 7 种人参病原菌的拮抗作用

从土壤中分离得到 226 株放线菌、35 株木霉菌,其中筛选出有拮抗作用的放线菌 25 株、木霉菌 8 株。而其余的 201 株放线菌和 27 株木霉菌没有拮抗作用(表 1)。

表 1 拮抗菌对人参疫病、菌核、灰霉、黑斑病、锈腐、立枯、根腐病原菌的拮抗率

Tab. 1 The antagonistic rate of antagonistic strains on pathogens of *Phytophthora cactorum*, *Sclerotinia schinseng*, *Botrytis cinerea*, *Alternaria panax*, *Cylindrocarpon destructans*, *Rhizoctonia solani* and *Fusarium solani*

病原菌	编号	拮抗菌 ¹⁾	拮抗率/%	病原菌	编号	拮抗菌 ¹⁾	拮抗率/%	病原菌	编号	拮抗菌 ¹⁾	拮抗率/%
疫病病原菌	1	A-A-26-1	80.84	黑斑病病原菌	7	A-50	56.04	立枯病病原菌	17	m21	38.99
	2	mB153	78.68		8	A-34	48.64		18	A-34	38.43
	3	B-11-54	77.64		9	A-47	11.29		19	A-A-15	36.24
	4	A-39	71.02		1	mB153	71.76		20	m201	36.16
	5	A-61	67.66		2	B-4	71.33		21	A-50	35.54
	6	A-25	67.51		3	B-3-7	65.82		22	m202	33.84
	7	A-A-15	66.24		4	A-47	65.32		23	A-55	32.82
	8	A-25-7	65.99		5	A-61	64.56		24	B-7-14	29.96
	9	A-50	64.66		6	A-A-26-1	62.89		25	B-11-45	28.79
	10	A-30	64.40		7	A-38	62.36		26	A-25-6	27.83
	11	m191	64.34		8	A-A-26-18	61.98		27	B-3-7	27.47
	12	B-11-50	63.81		9	A-25	59.97		28	B-4	19.41
	13	B-7-14	61.39		10	A-30	59.71		1	A-47	85.53
	14	A-55	61.33		11	B-11-50	56.86		2	A-38	81.08
	15	A-38	61.03		12	A-A-15	56.39		3	mB153	76.90
	16	A-19	60.25		13	A-25	56.38		4	A-25	62.64
	17	A-34	59.07		14	A-34	56.16		5	A-34	59.17
	18	B-3-23	58.75		15	B-1	55.88		6	A-39	58.62
	19	B-3-01	56.58		16	B-11-45	53.77		1	B-11-45	65.11
	20	A-25	56.20		17	A-39	51.17		2	B-11-50	63.51
	21	A-25-6	53.96		18	A-26	50.28		3	A-A-26-1	62.41
	22	A-47	49.40		19	B-7-14	47.70		4	A-A-26-18	62.18
	23	m203	48.38		20	A-25-6	43.60		5	B-11-54	61.96
	24	m202	48.05		21	B-3-23	43.03		6	B-3-01	60.07
	25	B-4	46.56		22	A-25-7	42.84		7	A-38	59.57
	26	m192	42.62		23	B-3-01	39.50		8	A-25	57.95
菌核病病原菌	1	A-34	82.46	锈腐病病原菌	1	mB153	80.56	9	B-4	57.88	
	2	A-39	77.57		2	A-30	64.63	10	A-34	56.35	
	3	A-38	73.66		3	A-A-26-1	60.32	11	B-3-7	55.65	
	4	B-7-14	73.44		4	B-3-23	59.00	12	A-25-7	55.41	
	5	A-A-15	70.83		5	m203	57.22	13	B-1	54.19	
	6	A-47	70.09		6	A-25	53.97	14	A-19	52.36	
	7	A-30	66.75		7	B-11-54	53.51	15	A-25-6	51.13	
	8	B-11-54	60.79		8	B-1	50.89	16	mA-11	49.81	
	9	A-50	47.37		9	A-47	48.20	17	mB153	49.04	
	10	mB153	41.39		10	mA-11	46.18	18	A-61	47.16	
灰霉病病原菌	1	mB153	71.76		11	A-A-26-18	44.53	19	A-A-15	45.20	
	2	A-38	66.08		12	B-11-50	42.71	20	B-7-14	39.78	
	3	A-61	65.35		13	A-39	42.30	21	B-3-23	36.95	
	4	A-30	64.93		14	A-38	41.33	22	A-47	15.16	
	5	A-25	64.88		15	B-3-01	40.56	23	A-39	15.13	
	6	A-39	56.84		16	A-25-7	40.09				

1) 首字母 A、B 为放线菌; 首字母 m 为木霉菌.

<http://xuebao.scau.edu.cn>

对人参疫病菌病原菌有拮抗作用的放线菌有 21 株、木霉菌 5 株;拮抗率均达到 40% 以上.放线菌 A-A-26-1 对其拮抗率最高(80.84%);木霉菌 mB153 对其拮抗率最高(78.68%).对人参菌核病病原菌有拮抗作用的放线菌有 9 株、木霉菌 1 株;拮抗率达到 40% 以上.放线菌 A-34 对其拮抗率最高(82.46%);木霉菌 mB153 对其拮抗率最高(41.39%).对人参灰霉病菌病原菌有拮抗作用的放线菌有 8 株、木霉菌 1 株;拮抗率达到 10% 以上.放线菌 A-38 对其拮抗率最高(66.08%);木霉菌 mB153 对其拮抗率最高(71.76%).对人参黑斑病病原菌有拮抗作用的放线菌有 23 株、木霉菌 1 株;拮抗率达到 30% 以上.放线菌 B-4 对其拮抗率最高(71.33%);木霉菌 mB153 对其拮抗率最高(71.76%).对人参锈腐病病原菌有拮抗作用的放线菌有 22 株、木霉菌 6 株;拮抗率达到 10% 以上,放线菌 A-30 对其拮抗率最高

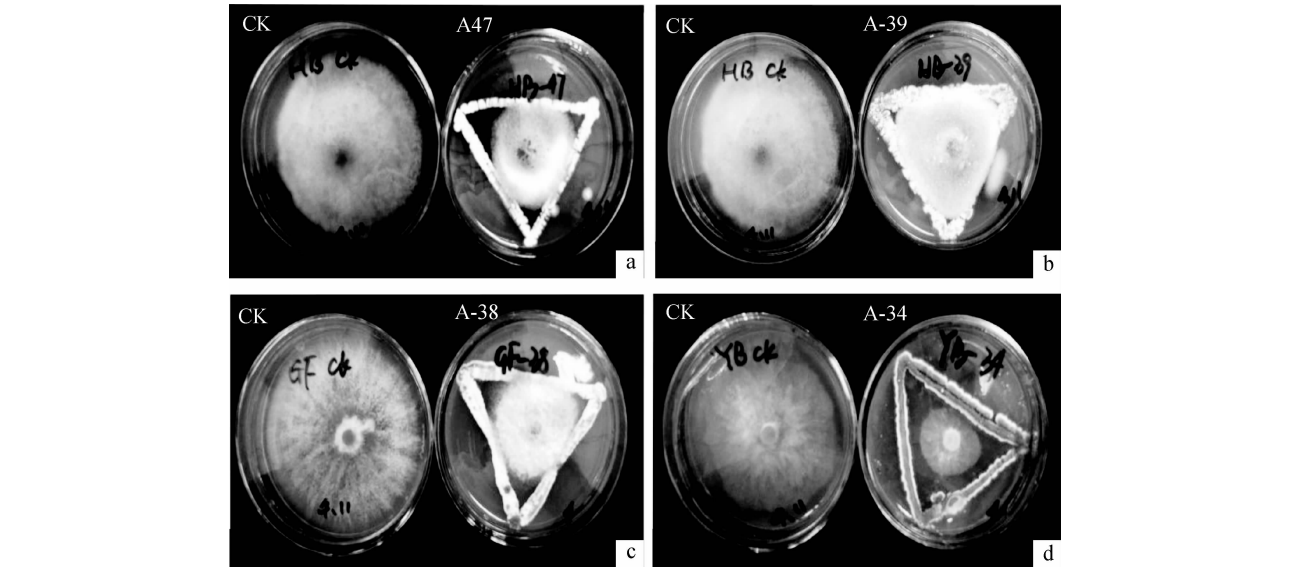
(64.63%);木霉菌 mB153 对其拮抗率最高(80.56%).对人参立枯病病原菌有拮抗作用的放线菌有 5 株、木霉菌 1 株;拮抗率达到 50% 以上,A-47 对其拮抗率最高(85.53.%);木霉菌 mB153 对其拮抗率最高(76.90%).对人参根腐病病原菌有拮抗作用的放线菌有 28 株、木霉菌 2 株;拮抗率达到 10% 以上,B-11-45 对其拮抗率最高(65.11%);木霉菌 mA-11 对其拮抗率最高(49.81%).

2.2 拮抗菌株对 7 种人参病原菌的拮抗活性测定
4 株高活性拮抗放线菌 A-38、A-34、A-39、A-47 (表 2、图 1)和 1 株高活性拮抗木霉菌株 mB153(图 2)均同时对 7 种人参病原菌有较高的拮抗作用.其中,对人参疫病菌病原菌拮抗率最高的拮抗菌株是放线菌 A-39(71.0%);对人参菌核病病原菌拮抗率最高的拮抗菌株是放线菌 A-34(82.4%);对人参灰霉病菌病原菌拮抗率最高的拮抗菌株是放线菌 A-38(66.0%);

表 2 拮抗放线菌对 7 种人参病原菌的抑制作用¹⁾
Tab.2 The inhibition of antagonistic activity of *Actinomyces* on 7 ginseng pathogens %

病原菌	A-38	A-34	A-39	A-47	A-25	A-30	A-61	A-50	A-19
疫病菌病原菌	61.0±10.5ab	59.1±7.8ab	71.0±2.9a	49.4±8.5b	12.4±3.9c	13.6±0.9c	12.2±1.5c	13.3±1.6c	15.2±0.7c
菌核病病原菌	73.6±3.9bc	82.4±1.9a	77.6±2.3b	70.1±0c	0	9.0±0.9d	0	12.2±1.2d	0
灰霉病菌病原菌	66.0±3.1a	48.6±7.1b	56.8±1.3ab	11.3±10.0c	16.4±4.9c	16.4±0.9c	9.7±1.8cd	17.2±2.0c	0
黑斑病病原菌	62.4±3.1a	56.1±5.5ab	51.2±4.5b	65.3±5.6a	19.9±3.1cd	20.0±2.2c	14.5±2.4d	0	0
锈腐病病原菌	41.3±6.2a	38.4±2.6a	42.3±2.1a	48.2±8.5a	16.8±2.5b	12.9±0.4c	0	13.5±1.7bc	0
立枯病病原菌	81.1±3.1a	59.2±7.7b	58.6±3.7b	85.5±1.6a	16.0±2.5c	0	0	0	
根腐病病原菌	59.6±2.8a	56.3±4.2a	15.1±1.8c	15.2±5.4b	17.8±2.5b	0	20.5±2.2b	0	20.2±2.9b

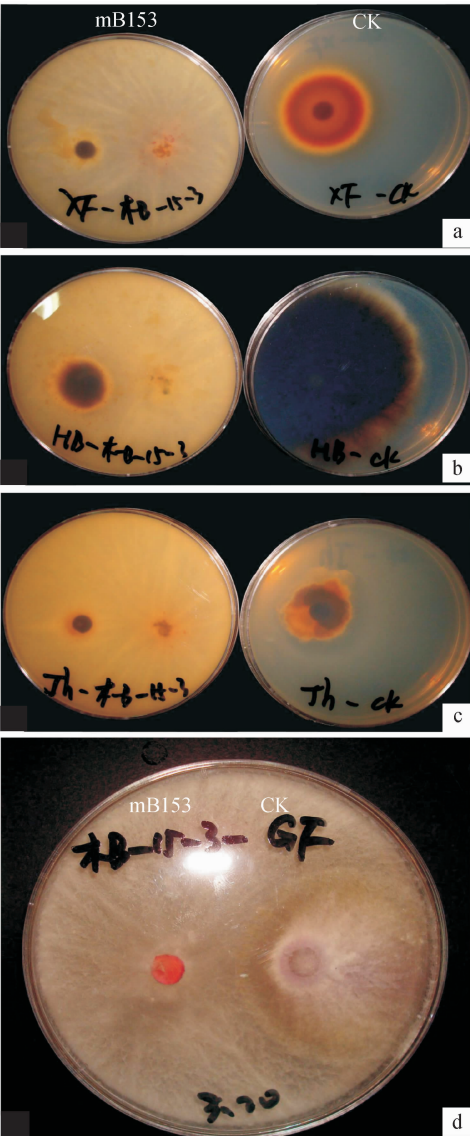
1) 同行数据后凡具有一个相同小写字母者表示差异不显著($P>0.05$,LSD 法).



a、b 分别表示放线菌 A-47 和 A-39 对人参黑斑病病原菌的拮抗效果;c:放线菌 A-38 对人参根腐病病原菌的拮抗效果;d:放线菌 A-34 对人参疫病菌病原菌的拮抗效果.

图 1 高活性菌株对人参病原菌的拮抗作用
Fig.1 Antagonistic effects of high activity strains on pathogens of ginseng

对人参黑斑病病原菌拮抗率最高的拮抗菌株是放线菌 A-47(65.3%);对人参锈腐病病原菌拮抗率最高的拮抗菌株是放线菌 A-47(48.2%);对人参立枯病病原菌拮抗率最高的拮抗菌株是放线菌 A-47(85.5%);对人参根腐病病原菌拮抗率最高的拮抗菌株是放线菌 A-38(59.6%);A-25、A-30、A-61、A-50、A-19 拮抗放线菌同时对 2 种及 2 种以上的人参病原菌有不同程度的抑制作用。



a、b、c、d 分别表示木霉 mB153 对人参锈腐病、人参黑斑病、人参菌核病、人参根腐病病原菌的拮抗效果。

图 2 高活性拮抗木霉 mB153 对人参病原菌的拮抗效果
Fig. 2 The antagonistic effect of a high antagonistic activity *Trichoderma* mB153 on ginseng pathogens

3 讨论与结论

人参病害从发生部位可以分为地上、表土中和地下部位。黑斑病、疫病、灰霉病属于地上部位病害，立枯病属于表土中的病害，锈腐病、根腐病、菌核病

<http://xuebao.scau.edu.cn>

都属于根部病害^[9]。邢云章等^[10]研究发现绿色木霉菌对人参根腐病病原菌有抑制作用,本试验筛选出 1 株绿色木霉菌 mB153 对人参根腐病病原菌也有抑制作用。王慧等^[11]从 79 株木霉菌株中筛选出 3 株对人参锈腐病病原菌拮抗效果较好的菌株 WCT-01、WWZ22-11 和 Z-67,3 株木霉菌抑制率分别达到 77.24%、76.08% 和 74.06%。ECT-01-2 对人参锈腐病病原菌的抑制率高达 83.68%^[12]。而本试验筛选的高活性木霉菌株(mB153)对人参锈腐病病原菌的抑制率达到 80.56%。崔立萍等^[13]研究筛选的 5 株拮抗菌对人参黑斑病病原菌的抑菌率达到 70%~80%,而本试验筛选得到的 4 株高活性拮抗放线菌(A-38、A-34、A-39、A-47)、1 株木霉(mB153)对人参黑斑病、人参锈腐病的抑制率均达到 50% 和 38% 以上,而且这 5 株高活性拮抗放线菌均对 7 大人参主要病害有较高的拮抗作用,与前人的研究相比较,这 5 株高活性拮抗菌的抑菌谱更宽,能同时降低多种人参病害的发生率,更能满足人参多种病害同时发生的实际防治需要,具有巨大的应用开发潜力。研究^[14-16]发现一些有益绿色木霉、细菌的拮抗菌株同时对人参锈腐病、立枯病、疫病、黑斑病、灰霉病、根腐病、菌核病等常见人参病害有较高拮抗作用,但本试验筛选的拮抗菌的抑菌谱更宽。本试验筛选出的拮抗放线菌数量更多,而木霉菌拮抗率更高。

从微生物农药的成分上来看,单一的微生物杀菌剂的拮抗效果往往不好,表现在定植效果不好和使得病原菌产生抗性等方面;而采用复配、多种拮抗菌剂混合、添加有机添加剂^[17]等方式更符合人参病害防治的实际需要。本试验中筛选的拮抗木霉菌株 mB153 对 7 大人参病害均有不同程度抑制作用,其中对人参锈腐病病原菌的拮抗率最高为:80.56%,对菌核病病原菌的拮抗率最低为:41.39%,对其他 5 种人参病原菌的拮抗率达 41.39%~80.56%。供试木霉菌株 sTHB 对 7 大人参病害均有不同程度拮抗作用,对人参黑斑病病原菌的拮抗率最高为:83.58%,对人参菌核病病原菌的拮抗率最低为:53.83%,对其他 5 种人参病原菌的拮抗率均在 53.83%~83.58%。供试木霉菌株 sTV04 对人参锈腐病病原菌拮抗率最高为:84.67%,对人参菌核病病原菌的拮抗率最低为 48.35%,但对人参疫病病原菌无抑制作用,而对其他 4 种人参病原菌的拮抗率均在 48.35%~84.67%。本试验筛选出的拮抗菌株 mB153 对人参病原菌的拮抗率虽然低于实验室供试菌株,但是仍然具有一定的应用防效价值。研究发现实验室保存的木霉菌 sTHB、sTV04 和本试验筛选的

拮抗木霉菌株 mB153 对人参菌核病病原菌均表现出最低的拮抗率,可以考虑将 3 种木霉菌制成混合剂型的微生物杀菌剂,以期能更好的防治人参菌核病. 本试验的拮抗菌均分离自人参根际土壤,这一点,对于后续菌株的定植会占有一定优势,这与 Timmusk 等^[18]研究结果是类似的,因此具有很好的研究和开发前景. 关于拮抗菌株的鉴定、生防制剂、抗菌活性物质的分离纯化和结构鉴定以及生防菌株的混合使用技术还需要进一步研究.

参考文献:

[1] 李玉. 农业植物病理学[M]. 长春:吉林科学技术出版社,1992.

[2] JAYASINGHE L, BALASOORIYA B A I S, PADMINI W C, et al. Geranyl chalcone derivatives with antifungal and radical scavenging properties from the leaves of *Artocarpus nobilis*[J]. *Phytochemistry*,2004,65(9):1287-1290.

[3] AHUA K M, IOSET J R, RANSIJN A, et al. Antileishmanial and antifungal acridone derivatives from the roots of *Thamnosma rhodesica*[J]. *Phytochemistry*,2004,65(7):963-968.

[4] KARINA J M S, GUILLERMO E D P, LUIS R L, et al. Chromenes of polyketide oridin from *Peperomia villipetiola* [J]. *Phytochemistry*,2005,66(5):573-579.

[5] AVIS T J, GRAVEL V, ANTOUN H, TWEDDELL R J. Multifaceted beneficial effects of rhizosphere microorganisms on plant health and productivity[J]. *Soil Biol Biochem*,2008,40(7):1733-1740.

[6] 吴连举,关一鸣,逢世峰,等. 利用拮抗微生物防治人参、西洋参土传病害研究进展[J]. *安徽农业科学*,2010,38(28):15630-15631.

[7] 周淑香,张连学,鲁新,等. 2 株放线菌对人参锈腐病的

生物防治效果[J]. *安徽农业科学*,2012,40(2):803-806.

[8] 周淑香,李小宇,张连学,等. 6 株木霉菌对人参锈腐病的防治效果[J]. *中国生物防治*,2010,26(S1):69-72.

[9] 刘铁成. 中国西洋参[M]. 北京:人民卫生出版社,1995:23-25.

[10] 邢云章,马凤茹,绿色木霉防治人参根腐病的研究[J]. *特产研究*,1983(4):16.

[11] 王慧,傅俊范,潘争艳,等. 人参锈腐病菌拮抗菌的筛选及其耐药性测定[J]. *江苏农业科学*,2008(3):111-113.

[12] 王慧,傅俊范,周如军,等. 木霉菌 ECT-01-2 对人参锈腐病菌的拮抗作用[J]. *河南农业科学*,2008(2):66-69.

[13] 崔立萍,丁元元,刘天鹤,等. 人参黑斑病菌拮抗菌的筛选及抑菌活性测定[J]. *吉林农业科技学院学报*,2011,20(3):4-7.

[14] 赵阿娜,丁万隆,朱殿龙,等. 拮抗人参根部病原菌木霉的筛选及其生物学特性初步研究[J]. *中国中药杂志*,2006,31(20):1671-1674.

[15] 李鹏祥. 中药提取物及微生物发酵提取物对人参病害抑菌效果的研究[D]. 长春:吉林农业大学,2012.

[16] 周如军,傅俊范,史会岩,等. 人参锈腐病拮抗生防菌的筛选与鉴定[J]. *沈阳农业大学学报*,2010,41(4):422-426.

[17] 姜竹. 人参土传真菌病害的生物防治[D]. 哈尔滨:黑龙江大学,2010.

[18] TIMMUSK S, GRANTCHAROVA N, WAGNER G H. *Paenibacillus polymyxa* invades plant roots and forms biofilms[J]. *App Environ Microbiol*,2005,71(11):7292-7300.

【责任编辑 霍 欢】