

张鸿雁,刘 勇,任勇洋. 人参锈腐病及疫病生防放线菌筛选[J]. 江苏农业科学,2016,44(2):173-176.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.02.049

人参锈腐病及疫病生防放线菌筛选

张鸿雁,刘 勇,任勇洋

(黑龙江八一农垦大学生命科学技术学院,黑龙江 大庆 163319)

摘要:为获得对人参锈腐病、疫病具有拮抗活性的土壤放线菌,利用平板稀释培养法从黑龙江省人参基地和西北地区分离获得 578 株放线菌,用琼脂块法初筛,用生长速率法、悬滴法对抑菌效果较好的菌株进行抑菌活性复筛。结果获得 5 株对病原菌具有显著拮抗性的生防放线菌,其中 Act11、Act12 菌株的拮抗效果尤为显著,Act12 最大抑菌圈直径达 20.15 mm,其发酵液对病原菌菌丝的抑制率最大为 83.4%,对人参锈腐病孢子萌发抑制率最高为 99.8%。

关键词:人参;生防放线菌;筛选;诱腐病;疫病

中图分类号: S435.675 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)02-0173-04

人参根系病害包括根腐病、锈腐病、立枯病、疫病、菌核病等,其中锈腐病、疫病危害严重。人参根系病害虽可以采用农艺措施预防^[1-2],但目前主要通过化学农药防治^[3],该方法会造成人参药用部分农药大量残留,严重影响人体健康及疗效。因此,利用生物技术防治人参根系病害较之于其他作物更为重要,是保证人参药材安全性的必要措施。生物制剂具有施用安全、不污染环境、不产生抗性等优点,具有良好的应用前景。目前国内外关于人参根系病害的生物防治研究主要集中在生防细菌^[4]、生防真菌方面^[5],对生防放线菌研究的报道较少。放线菌作为抗生素的主要产生菌,在自然界中分布广泛,产生活性物质的能力强,活性物质种类多,是值得关注的生防菌资源。本研究筛选对人参锈腐病、疫病病原菌有拮抗作用的生防放线菌,旨在为人参根系病害生物防治提供有较强拮抗作用的放线菌菌株。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试菌株 供试病原菌共 5 株,分别为人参锈腐病菌 3.3591(*Cylindrocarpon destructans* 3.3591,以下简称 3.3591),人参锈腐病菌 R2(以下简称 R2),西洋参锈腐病菌 81782(*C. destructans* 81782,以下简称 81782),西洋参锈腐病菌 81783(*C. destructans* 81783,以下简称 81783),西洋参恶疫霉 81805(*Phytophthora cactorum* 81805,以下简称 81805)。其中 81782、81783 为相同病原菌的不同菌株,选用不同菌株的目的是研究不同生防放线菌对同一菌种不同菌株抑制作用的差别。供试放线菌共 578 株,其中 408 株分离自黑龙江省铁力市桃山镇人参土壤,170 株筛选自青海、西藏、新疆等地区土壤的拮抗放线菌,由西北农林科技大学微生物资源研究室提供。

1.1.2 培养基 用马铃薯蔗糖琼脂培养基(PDA)分离、纯化、活化、保存病原菌。用高氏 1 号琼脂培养基(GA)活化、拮

抗性琼脂块制备培养放线菌。用 GA 液体培养基制备放线菌发酵液。

1.2 方法

1.2.1 皿内拮抗性筛选 平皿初筛采用琼脂块法^[6]。将制备好的病原菌菌悬液均匀涂布于 PDA 平板上,用打孔器从培养 7 d 的待筛放线菌平皿中打取直径 5 mm 的放线菌琼脂块,正置于 PDA 平板上,28℃ 培养 5~7 d,测定抑菌圈直径及抑菌圈透明度。皿内复筛:将初筛得到的具有良好拮抗效果的放线菌菌株进行 2 次皿内拮抗复筛,方法同皿内初筛。计算不同抑菌程度的拮抗菌占供试放线菌的比例(*S*)和占拮抗放线菌的比例(*A*)。根据拮抗环宽度、透明度、放线菌产孢量,挑选出有应用价值的拮抗菌。

$$S = \frac{\text{不同抑菌程度拮抗菌株数}}{\text{供试放线菌株数}} \times 100\%;$$

$$A = \frac{\text{不同抑菌程度拮抗菌株数}}{\text{供试拮抗放线菌株数}} \times 100\%。$$

1.2.2 无菌发酵滤液抑菌率测定 无菌发酵滤液制备:将供试放线菌以一定比例接种到液体培养基中,28℃、150 r/min 摇床振荡培养 9 d。将发酵液 4 000 r/min 离心 5 min 后,用 0.45 μm 灭菌微孔滤膜过滤除菌,得无菌滤液。

采用生长速率法^[7]测定相对抑菌率。将滤液与冷却至 40℃ 左右的 PDA 培养基按体积比 1:4 混匀倒平板,以同比例加入无菌水的 PDA 培养基为对照。用 5 mm 打孔器分别打取 5 株病原菌菌饼,置于 PDA 平板中央,每个处理 3 次重复,25℃ 培养 7 d,定时测量菌落直径,计算相对抑菌率(*X*)。

$$\text{抑菌率}(X) = \frac{(\text{对照菌落直径} - 5) - (\text{处理菌落直径} - 5)}{\text{对照菌落直径} - 5}。$$

1.2.3 无菌发酵滤液对病原菌孢子萌发的影响 病原菌孢子悬液制备:将活化好的病原菌接种到 PDA 培养基上,28℃ 培养 6~9 d,加入无菌水冲洗孢子至 50 mL 三角瓶中,用血球计数板测数,制得浓孢子悬液。按发酵液、无菌水体积比分别为 1:2、1:3、1:4、1:5 配制不同浓度的发酵滤液;加入病原菌孢子,使孢子浓度约为 10 亿个/mL,每个处理 3 次重复。25℃ 培养,用悬滴法^[8]测定孢子萌发率。计算孢子萌发率(*R*)、抑制率(*I*)。

收稿日期:2015-03-20

基金项目:黑龙江八一农垦大学博士启动基金(编号:XDB2015-17)。

作者简介:张鸿雁(1970—),女,黑龙江宝清人,博士,教授,研究方向为微生物资源与利用。E-mail:zhy2219@163.com。

萌发率(R) = $\frac{\text{萌发孢子数}}{\text{总孢子数}} \times 100\%$;

抑制率(I) = $\frac{(\text{对照萌发率} - \text{处理萌发率})}{\text{对照萌发率}} \times 100\%$ 。

1.2.4 生防放线菌对病原菌菌丝的作用 采用对峙培养法^[9]测定菌丝相互作用。用特制金属“U”形铲在 PDA 平板两侧挖约 0.5 cm 宽的小槽,在小槽一侧先接种放线菌,28℃ 培养 4 d 后在小槽另一侧接种病原菌,然后在小槽上放置无菌盖玻片,28℃ 继续培养 4 d,取出盖玻片,于 40 倍显微镜下观察菌丝间的相互作用。

2 结果与分析

2.1 放线菌对病原菌的皿内拮抗作用

从 578 株生防放线菌中筛选到 134 株具有广谱拮抗性的放线菌,其中来自西北地区土壤的菌株 58 株,占供试放线菌

的 10.0%,占广谱拮抗菌的 43.3%;来自人参基地的菌株 76 株,占供试放线菌的 13.1%,占全部拮抗菌的 56.7%。

试验表明,在 134 株拮抗菌中,对 5 株病原菌 81782、81783、3.3591、R2、81805 的皿内抑菌圈≥20 mm,且抑制圈透明的放线菌分别有 11、14、6、9、21 株,分别占全部拮抗菌总数的 8.2%、10.4%、4.5%、6.7%、15.7%。由表 1 可见,对 5 株病原菌拮抗性强的菌株(抑菌圈≥15 mm)分别为 38、40、40、33、67 株,占全部广谱拮抗菌的 28.4%、29.9%、29.9%、24.6%、50.0%。从表 1 还可见,筛选出的拮抗菌对 81805 的拮抗性最强,对 R2 的拮抗作用最弱。

从表 1 可见,在筛选到的 134 株具有广谱拮抗性的放线菌中,对西洋参锈腐病菌同一菌种不同菌株 81782、81783 而言,拮抗性强和无抗性放线菌在拮抗放线菌总数中所占比例相当,分别为 28.4%、29.9%和 3.0%、5.2%。说明同一拮抗菌对同一病原菌的不同菌株拮抗性略有差异。

表 1 供试病原菌的拮抗性放线菌统计

菌种	菌株	项目	抑菌强度强			抑菌强度中			抑菌强度弱			无抗性		
			数量 (株)	S (%)	A (%)	数量 (株)	S (%)	A (%)	数量 (株)	S (%)	A (%)	数量 (株)	S (%)	A (%)
(Cylindrocarpou destructans)	81782	总数	38	6.6	28.4	63	10.9	47.0	29	5.0	21.6	4	0.7	3.0
		NW	11	1.9	8.2	36	6.2	26.9	10	1.7	7.5	1	0.2	0.7
		G	27	4.7	20.1	27	4.7	20.1	19	3.3	14.2	3	0.5	2.2
	81783	总数	40	6.9	29.9	50	8.7	37.3	37	6.4	27.6	7	1.2	5.2
		NW	14	2.4	10.4	28	4.8	20.9	14	2.4	10.4	2	0.3	1.5
		G	26	4.5	19.4	22	3.8	16.4	23	4.0	17.2	5	0.9	3.7
	3.3591	总数	40	6.9	29.9	50	8.7	37.3	39	6.7	29.1	5	0.9	3.7
		NW	17	2.9	12.7	22	3.8	16.4	17	2.9	12.7	2	0.3	1.5
		G	23	4.0	17.2	28	4.8	20.9	22	3.8	16.4	3	0.5	2.2
	R2	总数	33	5.7	24.6	61	10.6	45.5	36	6.2	26.9	4	0.7	3.0
		NW	14	2.4	10.4	27	4.7	20.1	16	2.8	11.9	1	0.2	0.7
		G	19	3.3	14.2	34	5.9	25.4	20	3.5	14.9	3	0.5	2.2
(Phytophthora cactorum)	81805	总数	67	11.6	50.0	47	8.1	35.1	20	3.5	14.9	0	0.0	0.0
		NW	32	5.5	23.9	21	3.6	15.7	5	0.9	3.7	0	0.0	0.0
		G	35	6.1	26.1	26	4.5	19.4	15	2.6	11.2	0	0.0	0.0

注:抑菌强度强:D≥15 mm;抑菌强度中:15 mm>D≥10 mm;抑菌强度弱:5<D<10 mm;无抗性:D=5 mm;G 是指来源于黑龙江省人参产区土壤的拮抗菌,NW 是指来源于西北地区土壤的拮抗菌。

表 1 中,从来源于黑龙江省人参产区的 76 株广谱拮抗菌对 5 株病原菌的拮抗性看,对 81805 拮抗性强的菌株最多(26.1%),其次是 81782(20.1%)、81783(19.4%),对分离自黑龙江省人参产区的毁灭柱孢菌 R2 抗性强的拮抗菌最少(14.2%),但对该菌具有中等拮抗性的放线菌最多(25.4%)。

经初筛,有 9 株拮抗菌拮抗作用较强,分别为来源于黑龙江省人参产区土壤的 6 株拮抗菌 114、184-3、224、15-2、23-2、110-2 和来源于西北地区土壤的 3 株拮抗菌 Act11、Act12、Act1。9 株拮抗菌对 5 株病原菌的抑制作用均很强,且拮抗环完全透明、产孢量较高。

2.2 9 株放线菌无菌发酵滤液对供试病原菌的抑制作用

从表 2 可见,9 株生防菌无菌发酵滤液对 5 株病原菌均有抑制作用,即均能产生抗菌物质,抑制病原菌生长,其中来源于黑龙江省人参产区土壤的 114、184-3、224 和来源于西北地区土壤的 Act11、Act12 抑菌效果表现突出。

从表 2 可见,7 d 时 9 株拮抗放线菌对 81782、81783 的抑制效果相当,抑菌率分别为 14.9%~57.0%和 16.6%~54.2%,其中 114、184-3、224、Act11、Act12 菌的抑菌效果较好。7 d 时 9 株拮抗放线菌对人参锈腐病菌 3.3591 的抑制率为 16.6%~64.2%,其中 Act11、114、Act12 菌的抑菌效果较好,Act12 放线菌在 6 d 时的抑菌率达 69.4%。7 d 时 9 株拮抗放线菌对毁灭柱孢菌 R2 的抑制率为 7.8%~66.9%,Act12、Act11、114、184-3、224 菌的抑制效果较好;在 5 d 时,184-3 菌的抑菌率为 80.9%。7 d 时 9 株拮抗菌对 81805 的抑制效果优于其他 4 株病原菌,抑菌率为 31.4%~73.4%,Act12 菌在 6 d 时的抑菌率为 83.4%。

2.3 无菌发酵滤液对病原菌孢子萌发率的影响

从表 3 可见,9 株拮抗菌对 5 株病原菌孢子萌发均有抑制作用,表现为随着发酵液浓度降低,抑制率降低,甚至有些浓度下有促进孢子萌发的作用。拮抗菌 114、184-3、224、Act11、Act12、Act1 菌对病原菌 81782、81783 孢子萌发的抑制

表 2 放线菌无菌发酵滤液对病原真菌的相对抑菌率

病原菌	时间 (d)	相对抑菌率(%)								
		114	184-3	224	15-2	23-2	110-2	Act11	Act12	Act1
81782	2	25.9	20.9	26.4	3.8	23.2	11.2	30.9	35.1	12.4
	3	30.3	39.4	36.1	5.4	26.7	23.2	33.4	35.5	23.7
	4	42.6	42.8	43.1	19.2	20.5	24.5	41.2	51.5	32.4
	5	49.6	59.6	50.8	29.5	32.1	25.7	59.6	59.7	30.1
	6	56.9	61.2	36.5	27.4	24.3	20.5	53.1	57.9	20.5
	7	50.4	57.0	33.1	25.7	26.5	14.9	50.4	52.3	27.1
	8	50.4	57.0	33.1	25.7	26.5	14.9	50.4	52.3	27.1
81783	2	30.3	39.7	37.2	10.5	19.5	10.5	39.2	38.2	19.4
	3	42.5	36.8	39.1	11.3	26.3	23.7	40.1	39.9	21.9
	4	45.7	40.5	44.6	21.8	26.9	25.6	43.2	41.3	23.5
	5	49.2	44.9	49.3	23.6	33.4	30.7	47.2	50.7	25.8
	6	59.2	50.1	37.3	30.4	25.7	20.3	57.9	58.5	21.7
	7	53.9	38.4	32.5	26.6	24.5	16.6	51.3	54.2	20.2
	8	53.9	38.4	32.5	26.6	24.5	16.6	51.3	54.2	20.2
3.3591	2	37.2	41.5	27.7	1.1	24.5	12.8	35.7	32.6	22.3
	3	44.7	45.5	39.8	2.9	17.1	21.2	39.9	55.5	22.9
	4	50.7	50.4	46.2	14.1	15.4	14.2	47.1	61.5	13.4
	5	56.0	55.8	44.1	19.5	31.5	23.1	59.6	67.5	27.8
	6	67.3	57.3	35.5	20.2	17.3	28.4	68.4	69.4	30.8
	7	57.8	37.4	34.2	16.6	25.4	23.8	64.2	54.5	28.3
	8	57.8	37.4	34.2	16.6	25.4	23.8	64.2	54.5	28.3
R2	2	17.0	33.0	10.6	2.1	7.4	3.2	37.2	33.6	34.0
	3	33.4	70.5	58.7	43.7	19.3	9.1	45.2	38.5	25.6
	4	47.4	75.3	67.3	43.2	6.1	29.1	42.9	49.5	39.9
	5	56.3	80.9	70.2	47.3	23.7	6.5	59.6	58.1	44.1
	6	67.2	70.7	67.6	33.2	24.4	2.9	63.7	67.8	32.1
	7	60.9	60.7	58.8	29.7	23.5	7.8	62.1	66.9	33.8
	8	60.9	60.7	58.8	29.7	23.5	7.8	62.1	66.9	33.8
81805	2	23.5	21.5	14.5	14.6	23.1	13.5	23.7	21.2	20.3
	3	39.3	31.3	39.7	22.9	36.9	30.3	38.7	33.4	30.9
	4	59.5	48.4	55.2	33.8	45.2	34.5	49.2	58.5	40.5
	5	69.2	69.7	68.7	36.5	33.5	39.3	65.9	77.3	51.3
	6	77.7	76.3	63.5	30.3	32.1	34.7	77.1	83.4	48.7
	7	71.4	65.3	63.8	31.9	31.4	32.4	73.4	70.5	46.9
	8	71.4	65.3	63.8	31.9	31.4	32.4	73.4	70.5	46.9

率达到 65% 以上,其中 Act11、Act12 菌对 81782 孢子和 224、Act11 菌对 81783 孢子萌发的抑制作用较强。在发酵液、无菌水体积比为 1 : 2 时,Act11、Act12 菌对 81782 孢子萌发的抑制率分别为 80.9%、89.3%,224、Act11 菌对 81783 孢子萌发的抑制率分别为 90.9%、90.7%。110-2、15-2 菌的抑制能力最差,在发酵液、无菌水体积比为 1 : 5 时,这 2 株菌还有促进 81782 孢子萌发的作用。

从表 3 可见,114、184-3、224、Act11、Act12 菌对人参锈腐病菌 3.3591、毁灭柱孢菌 R2 孢子萌发的抑制率达到 65% 以上。这 5 株拮抗菌发酵液对 3.3591、R2 的拮抗能力超过 81782、81783。其中 Act11、Act12 菌的抑制作用最强,在发酵液、无菌水体积比为 1 : 2 时,Act12 放线菌对 3.3591、R2 孢子萌发的抑制率分别达 98.0%、99.8%。对于病原菌 81805,孢子萌发的抑制率强的菌株同其他 4 株病原菌,在发酵液、无菌水体积比为 1 : 2 时,Act11 菌的抑制率为 97.1%,Act12、184-3、114 抑制率分别为 87.7%、87.4%、87.4%。

3 结论与讨论

针对人参根部病害的生物防治研究集中于细菌、真菌,有关放线菌的研究较少,且现有放线菌研究主要在韩国及吉林省人参产区进行,尚未见黑龙江省人参产区锈腐病及疫病生

防放线菌的研究。Shim 等从韩国人参土壤中分离出 3 株链霉菌(*S. variabilis*、*S. virgincae*、*S. grisedus*),发现其对人参锈腐病菌有拮抗作用^[10]。周淑香等从吉林省人参根际土壤中筛选到 2 株对人参锈腐菌均有较强抑制作用的放线菌,施用该放线菌后人参锈腐病病情指数显著降低,防治效果达 40% 以上,人参产量比对照有所增加,对参根成活率、株高和茎粗影响不显著^[11]。马廷会 from 吉林省人参地筛选到对锈腐病有拮抗性的放线菌菌株 MS32,抑菌率为 76.45%,并对其进行了发酵条件研究和菌株鉴定,认为其可能是 *S. naraensi*^[12]。

本研究筛选出 5 株生防放线菌,对人参根系病害病原菌表现出良好的拮抗性,其中 Act12、Act12 放线菌的拮抗效果尤为明显,其他 3 株生防放线菌对病原菌也表现出一定拮抗性。

参考文献:

[1] 白容霖,张惠丽,曲力涛. 参地施用有机粪肥对人参锈腐病和参根质量的作用[J]. 特产研究,2000,22(2):34-36.
[2] Reeleder R D. The ginseng root pathogens *Cylindrocarpou destructans* and *Phytophthora* are not pathogenic to the medical herbs *Hydrastis canadensis* and *Actaea racemosa* [J]. Canadian Journal of Plant Pathology,2003,25(2):218-224.

表 3 无菌发酵滤液对病原菌孢子萌发率、抑制率的影响

菌株 编号	发酵液、 无菌水的 体积比	毁灭柱孢菌(<i>Cylindrocarpon destructans</i>)								西洋参恶疫霉 (<i>Phytophthora cactorum</i>)	
		81782		81783		3.3591		R2		81805	
		<i>R</i> (%)	<i>I</i> (%)	<i>R</i> (%)	<i>I</i> (%)	<i>R</i> (%)	<i>I</i> (%)	<i>R</i> (%)	<i>I</i> (%)	<i>R</i> (%)	<i>I</i> (%)
CK		95.3		96.1		95.2		96.7		94.7	
114	1:2	19.9	79.1	31.0	67.7	1.5	98.4	13.6	85.9	11.9	87.4
	1:3	41.3	56.7	43.7	54.5	5.1	94.7	24.7	74.5	41.5	56.2
	1:4	70.1	26.4	66.1	31.2	10.3	89.3	29.8	69.2	71.7	24.3
	1:5	94.2	1.2	89.7	6.7	15.9	83.6	42.9	55.6	80.4	15.1
184-3	1:2	31.1	67.4	22.5	76.6	20.6	78.7	14.3	85.2	11.9	87.4
	1:3	44.7	53.1	40.6	57.8	51.5	46.7	16.3	83.1	33.6	64.5
	1:4	59.2	37.9	42.1	56.2	67.5	30.2	26.6	72.5	63.9	32.5
	1:5	75.0	21.3	92.9	3.3	89.6	7.3	33.0	65.9	74.6	21.2
224	1:2	20.4	78.6	8.7	90.9	22.8	76.4	10.8	88.8	18.8	80.1
	1:3	31.5	66.9	33.0	65.7	37.1	61.6	13.9	85.6	20.6	78.2
	1:4	52.3	45.1	62.0	35.5	39.3	59.4	22.0	77.3	30.9	67.4
	1:5	75.0	21.3	74.8	22.2	43.1	55.4	33.7	65.1	55.7	41.2
15-2	1:2	73.3	23.1	66.2	31.1	89.7	7.2	90.8	6.1	43.4	54.2
	1:3	84.6	11.2	75.1	21.9	94.9	1.9	92.3	4.6	61.4	35.2
	1:4	94.2	1.2	93.4	2.8	94.5	2.3	92.2	4.7	82.9	12.5
	1:5	97.1	-1.9	95.0	1.1	92.5	4.3	92.8	4.0	84.2	11.1
23-2	1:2	52.0	45.4	63.0	34.4	80.1	17.2	72.2	25.3	41.3	56.4
	1:3	74.2	22.1	67.4	29.9	86.7	10.3	81.2	16.0	58.6	38.1
	1:4	76.8	19.4	83.8	12.8	88.9	8.1	80.6	16.7	80.8	14.7
	1:5	94.2	1.2	90.7	5.6	86.6	10.4	81.3	15.9	84.2	11.1
110-2	1:2	63.7	33.2	65.0	32.4	68.6	27.9	70.3	27.3	34.6	63.5
	1:3	73.3	23.1	83.4	13.2	78.5	18.8	72.6	24.9	46.2	51.2
	1:4	84.6	11.2	85.4	11.1	88.8	8.2	91.7	5.2	62.4	34.1
	1:5	97.1	-1.9	97.4	-1.4	97.6	-0.9	97.9	-1.2	83.1	12.3
Act 11	1:2	18.2	80.9	8.9	90.7	2.8	97.1	3.4	96.5	2.7	97.1
	1:3	22.1	76.8	15.0	84.4	11.3	88.3	7.5	92.2	16.8	82.3
	1:4	51.0	46.5	73.9	23.1	12.6	87.0	9.5	90.2	31.7	66.5
	1:5	73.3	23.1	94.9	1.2	14.4	85.1	15.1	84.4	64.0	32.4
Act 12	1:2	10.2	89.3	12.1	87.4	1.9	98.0	0.2	99.8	11.6	87.7
	1:3	32.0	66.4	23.4	75.6	12.3	87.3	1.3	98.7	29.9	68.4
	1:4	62.7	34.2	29.0	69.8	15.3	84.2	2.1	97.8	46.3	51.1
	1:5	84.0	11.9	73.8	23.2	19.1	80.2	5.4	94.4	84.0	11.3
Act 1	1:2	19.0	80.1	28.3	70.6	79.8	17.5	82.5	14.7	51.0	46.1
	1:3	19.8	79.2	46.8	51.3	89.3	7.7	87.0	10.0	63.9	32.5
	1:4	42.7	55.2	65.2	32.2	89.7	7.2	91.7	5.2	74.6	21.2
	1:5	83.8	12.1	93.9	2.3	89.9	7.0	92.8	4.0	82.4	13.0

[3]夏淑春,鄢洪海,李如生,等. 人参根部病害发生类型及防治建议[J]. 特产研究,2000,22(2):60-62.

[4]Jang Y, Kim S G, Kim Y H. Biocontrol efficacies of *Bacillus species* against *Cylindrocarpon destructans* causing ginseng root rot[J]. The Plant Pathology Journal, 2011, 27(4):333-341.

[5]王 慧,傅俊俊,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.

[6]牛晓磊,薛泉宏,涂 璇,等. 6 株生防放线菌对辣椒疫霉的皿内拮抗研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2005, 33(1):55-58.

[7]刘大群,杨文香,祁碧菽,等. 拮抗链霉菌 Men-myco-93-63 及其发酵液对棉花黄萎病菌生长的影响[J]. 河北农业大学学报, 1999, 22(4):79-82.

[8]方中达. 植病研究法[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社, 1998.

[9]梁军锋. 辣椒疫病生防菌的防病促生效应、作用机制及应用研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2006.

[10]Shim J O, Lee M W. Identification of *Streptomyces species* antagonistic to *Fusarium solani* or *Cylindrocarpon destructans* causing ginseng root rots[J]. Korean Journal of Mycology, 1991, 19(1):66-73.

[11]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):803-804, 806.

[12]马廷会. 人参锈腐病拮抗放线菌的筛选及鉴定[D]. 长春:吉林农业大学, 2008.