

放线菌 19G-317 菌株发酵产物抑菌活性初步研究

张武岗^a,冯俊涛^a,张锦恬^a,薛泉宏^b,张 兴^a,李 进^a

(西北农林科技大学 a 无公害农药研究服务中心,陕西省生物农药工程技术研究中心;b 资源环境学院,陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】明确放线菌 19G-317 菌株发酵产物对植物病原菌的抑制活性,为该菌株在农业病害防治中的开发应用及后续研究奠定基础。【方法】采用生长速率法、孢子萌发法、活体组织法和盆栽试验,测定放线菌 19G-317 菌株发酵产物的抑菌效果。【结果】生长速率法试验表明,放线菌 19G-317 菌株发酵产物对供试 22 种植物病原菌菌丝生长均有不同程度的抑制作用,发酵液对其中 11 种植物病原菌的抑制率大于 60%,菌丝提取物对其中 8 种植物病原菌的抑制率大于 90%;发酵液和菌丝提取物对油菜菌核病菌菌丝生长的 EC_{50} 分别为 84.30 和 18.80 mg/L。孢子萌发试验表明,发酵液和菌丝提取物对番茄灰霉病菌孢子的萌发均有较强的抑制作用,在 0.5 mg/mL 质量浓度下,其抑制率分别为 94.26% 和 96.20%;组织法试验表明,在 10 mg/mL 质量浓度下,发酵液和菌丝提取物对番茄灰霉病的药效分别为 72.17% 和 76.95%;盆栽试验表明,19G-317 菌株发酵液和菌丝提取物对辣椒疫霉病均有一定的保护和治疗作用。【结论】放线菌 19G-317 菌株抑菌谱较广,对植物病菌的防治有很大的研究开发潜力。

【关键词】 放线菌 19G-317 菌株;发酵产物;抑菌活性

【中图分类号】 S482.2⁺92;S481⁺.9 【文献标识码】 A 【文章编号】 1671-9387(2009)04-0158-05

Antifungal activity of actinomycete strain 19G-317

ZHANG Wu-gang^a, FENG Jun-tao^a, ZHANG Jin-tian^a,
XUE Quan-hong^b, ZHANG Xing^a, LI Jin^a

(a. Research and Development Center of Biorational Pesticides/Technology and Engineering Center of Biopesticide,
b. College of Resources Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 The research primarily studied the antifungal activity of the fermentation product of actinomycete strain 19G-317. 【Method】 The antifungal activity of the fermentation product of actinomycete strain 19G-317 was researched by mycelium growth rate, spore germination test, tissue culture method and potted plant method. 【Result】 The results of mycelium growth rate test showed that the fermentation product had different inhibition effects on 22 tested plant pathogenic fungi. The inhibition rate of the fermentation broth was over 60% to 11 tested plant pathogenic fungi, and that of the extract product of mycelium was over 90% to 8 tested plant pathogenic fungi. The EC_{50} values of the fermentation broth and the extract product of mycelium against *Sclerotinia sclerotiorum* were 84.30 mg/L and 18.80 mg/L respectively. The results of spore germination test showed that the inhibition rates of the fermentation broth and extract product of mycelium were 94.26% and 96.20% to *Botrytis cinerea* under the concentration of 0.5 mg/mL respectively. Tissue culture method tests showed that the inhibition rates of the fermentation broth and the extract product of mycelium were 72.17% and 76.95% to *Botrytis cinerea* under the concentration of 10 mg/mL respectively. The results of potted test indicated that the fermentation products had both protective and therapeutic efficacy on *P. capsici*. 【Conclusion】 These studies indicate that a potential

* [收稿日期] 2008-10-06

[基金项目] 陕西省“13115”科技创新工程项目(2007ZDGC-05)

[作者简介] 张武岗(1979—),男,陕西扶风人,博士,主要从事天然产物研究。E-mail: zwgchf98@yahoo.com.cn

[通信作者] 张 兴(1952—),男,陕西周至人,教授,博士生导师,主要从事植物化学保护和农药学研究。

E-mail: zhxing1952@126.com

exists for utilizing 19G-317 to control plant diseases.

Key words: actinomycetes strain 19G-317; fermentation product; antifungal activity

农用抗生素是微生物产生的次级代谢产物,可用于杀虫(如 Avermectin)、防病(如井冈霉素)、除草(如双丙氨磷)及调节植物生长发育(如赤霉素)等,且因其具有无污染、无残留、可再生、难以使有害生物产生抗药性、易于产业化、成本低等特点,而日益受到人们的重视,并成为生物农药开发的重点^[1-3]。近20年来,国外发现的抗生素有 Alnumycin、Phthoxazolin A、Phthoxazolin B-D、Polyene antibiotics (AB023)、Vinylamycin 和 Geldanamycin 等^[4-5]。我国近年开发的抗生素有杀枯肽、磷氮霉素、波拉霉素、白肽霉素、金核霉素、瑞拉菌素等,这些农用抗生素有可能完全替代或部分替代目前防治植物病害所使用的化学药品,但就其数量、质量和品种而言,还远远不能满足农业生产的需要^[6-7]。

本研究组从三江源自然保护区典型生态环境下分离筛选出1株放线菌(编号为19G-317),经鉴定为黄色类群链霉菌(*Streptomyces* sp.),初步研究结果表明,该菌株对多种植物病原菌具有较强的拮抗作用。为了进一步评价该菌株在农业病害防治中的开发应用价值,并为该菌株的后续研究与开发奠定基础,本研究对该菌株经摇床发酵所得到的发酵产物进行了抑菌活性测定,现将研究结果报道如下。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试放线菌菌株 放线菌 19G-317 菌株由西北农林科技大学无公害农药研究服务中心分离鉴定。

1.1.2 供试植物病原菌菌种及作物 供试植物病原菌共有22种,分别为小麦根腐病菌(*Bipolaris sorokiniana*)、杨树溃疡病菌(*Dothiorella gregaria*)、番茄灰霉病菌(*Botrytis cinerea*)、水稻稻瘟病菌(*Pyricularia oryzae*)、小麦全蚀病菌(*Gaeumannomyces graminis*)、苹果轮纹病菌(*Phylospora piricola*)、玉米小斑病菌(*Bipolaria maydis*)、南瓜枯萎病菌(*Fusarium solani*)、烟草赤星病菌(*Alternaria alternata*)、白菜黑斑病菌(*Alternaria oleracea*)、番茄早疫病菌(*Alternaria solani*)、苹果炭疽病菌(*Glomerella cingulate*)、棉花立枯病菌(*Rhizoctonia solani*)、棉花枯萎病菌(*Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum*)、黄瓜炭疽病菌(*Colletotrichum*

lagenarium)、棉花黄萎病菌(*Verticillium dahliae*)、小麦赤霉病菌(*Fusarium graminearum*)、小麦纹枯病菌(*Rhizoctonia cerealis*)、西瓜枯萎病菌(*Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*)、油菜菌核病菌(*Sclerotinia sclerotiorum*)、水稻纹枯病菌(*Pellicularia sasakii*)、辣椒疫霉病菌(*Phytophthora capsici*),均由西北农林科技大学无公害农药研究服务中心提供;供试作物有黄瓜(品种为农城三号)和辣椒(品种为世纪红)2种,均由西北农林科技大学园艺学院提供。

1.1.3 供试药剂 50%速克灵(Procymidone)可湿性粉剂,日本住友化学株式会社;50%甲霜灵(Metalaxyl)可湿性粉剂,潍坊瑞泽丰农化有限公司。

1.2 发酵液及菌丝提取物的制备

1.2.1 发酵液的制备 将放线菌 19G-317 菌株在高氏一号琼脂培养基上28℃活化4d后,接种于装有100 mL高氏一号液体培养基的250 mL锥形瓶中,180 r/min 28℃振荡培养4d,再按10%的接种量接种于装有100 mL小米液体培养基的250 mL锥形瓶中,180 r/min 28℃振荡培养7d。然后,将发酵产物经10 000 r/min离心20 min后得菌丝和发酵液两部分,发酵液浓缩至浸膏备用。

1.2.2 菌丝提取物的制备 将1.2.1制备的菌丝用7倍体积的水于560 W和4 s/5 s(工作时间/间隔时间)条件下,在超声波破碎仪中冰浴破碎30 min,再以10 000 r/min离心20 min,收集上清液,超声破碎3次,合并3次上清液,即可得菌丝提取液。然后将菌丝提取液浓缩至浸膏,即得菌丝提取物。

1.3 活性测定

1.3.1 离体活性的测定 离体活性的测定分别采用菌丝生长速率法和凹面载玻片法^[8]进行,每处理重复3次,计算放线菌 19G-317 菌株发酵产物对供试病菌菌丝生长的抑制率及毒力。

菌丝生长速率法:在无菌条件下,将19G-317菌株发酵产物用溶化的PDA培养基配制成含1 mg/L质量浓度的带药平板。将供试病菌菌饼($\Phi=4$ mm)接入含毒培养基,放入25℃生化培养箱中黑暗培养,3~5 d后调查抑菌效果。每处理重复3次。

凹面载玻片法:将19G-317菌株发酵产物与供

试病原菌孢子悬浮液配制成 5.00, 0.50 和 0.05 mg/L 质量浓度的悬液, 放于带有浅层水的培养皿中, 于 25 ℃ 条件下保湿培养。每处理重复 3 次, 每重复计算 200 个分生孢子的萌发情况。

1.3.2 活体组织法试验 采用黄瓜子叶法^[9-10]测试放线菌 19G-317 菌株发酵产物对番茄灰霉病的药效, 每处理重复 3 次。

摘取充分展开的黄瓜子叶, 置于 19G-317 菌株发酵产物供试药液中浸渍 3 min, 取出后在子叶叶柄部包裹蘸水脱脂棉保持子叶活力。再挑取供试病菌菌饼(Φ=4 mm)倒扣于子叶主叶脉中部, 每片子叶接 1 块菌饼(3 片子叶为 1 个重复)。将处理好的子叶置于直径 9 mm 的培养皿中, 在 25 ℃ 下保湿培养 72 h, 以直尺量取病斑大小, 并计算药剂对病斑扩展的抑制率。

1.3.3 盆栽试验 采用盆栽试验^[11-13]测定放线菌 19G-317 菌株发酵产物对辣椒疫霉病的防治效果。

待盆栽辣椒长出 4~6 叶时开始试验。将 19G-317 菌株发酵产物浸膏配制成 10 和 1 mg/mL 2 个处理, 每处理重复 3 次, 以 1 000 倍 50% 甲霜灵可湿性粉剂为药剂对照, 清水为空白对照。保护作用的测定: 采用灌根方式先将 19G-317 菌株发酵产物溶液浇灌在根际周围, 24 h 后浇灌辣椒疫霉菌菌悬液; 治疗作用的测定: 先浇灌辣椒疫霉菌菌悬液, 24 h 后浇灌 19G-317 菌株发酵产物溶液。15 d 后进行病情调查^[12], 按下式计算病情指数和防治效果:

病情指数 =
$$\frac{\sum(\text{各级病毒数} \times \text{对应发病级数})}{\text{调查总株数} \times \text{最高调查发病级数}} \times 100;$$

表 1 19G-317 菌株发酵产物对植物病原菌菌丝生长的抑制作用

Table 1 Inhibition of the fermentation product of strain 19G-317 to pathogens					
供试病原菌 Experiment pathogen	抑制率/% Inhibition rate		供试病原菌 Experiment pathogen	抑制率/% Inhibition rate	
	发酵液 Fermentation	菌丝提取物 Mycelium extract		发酵液 Fermentation	菌丝提取物 Mycelium extract
小麦全蚀病菌 <i>G. graminis</i>	66.02±0.98	96.44±0.61	小麦根腐病菌 <i>B. sorokiniana</i>	75.18±1.47	87.71±2.74
黄瓜炭疽病菌 <i>C. lagenrium</i>	50.00±1.60	95.70±0.35	苹果炭疽病菌 <i>C. cinyulate</i>	54.05±1.18	85.82±2.68
水稻纹枯病菌 <i>P. sasakii</i>	23.54±1.76	95.00±1.00	番茄灰霉病菌 <i>B. cinerea</i>	71.25±1.26	85.63±2.75
南瓜枯萎病菌 <i>F. solani</i>	62.36±1.37	93.75±0.76	玉米小斑病菌 <i>B. maydis</i>	65.71±1.92	85.58±2.11
棉花立枯病菌 <i>R. solani</i>	53.04±1.77	92.81±1.02	小麦赤霉病菌 <i>F. graminearum</i>	48.36±1.01	85.00±2.31
水稻稻瘟病菌 <i>P. oryzae</i>	69.04±0.60	91.88±3.08	烟草赤星病菌 <i>A. alternata</i>	61.89±1.92	84.06±2.69
棉花枯萎病菌 <i>F. vasinfectum</i>	50.63±1.09	91.88±1.95	苹果轮纹病菌 <i>P. piricola</i>	66.02±1.02	83.44±1.66
小麦纹枯病菌 <i>R. cerealis</i>	41.54±1.54	91.25±1.26	油菜菌核病菌 <i>S. sclerotiorum</i>	31.25±1.26	81.86±0.67
棉花黄萎病菌 <i>V. dahliae</i>	49.08±1.45	89.69±0.82	白菜黑斑病菌 <i>A. brassiae</i>	60.99±1.95	78.13±0.73
番茄早疫病菌 <i>A. solani</i>	60.33±1.57	89.38±1.01	辣椒疫霉病菌 <i>P. capsici</i>	—	58.75±1.04
杨树溃疡病菌 <i>D. gregaria</i>	72.94±1.12	87.82±3.26	西瓜枯萎病菌 <i>F. niveum</i>	38.14±1.65	28.14±2.32

注: 发酵产物质量浓度为 1 mg/mL; “—”表示无明显抑制作用; 表中数据为 3 次重复的平均值; 下表同。
Note: The concentration of fermentation production is 1 mg/mL; “—” means no inhibition; The data are the average of three replicates; The same with below.

相对防效/% =
$$\frac{\text{对照病情指数} - \text{处理病情指数}}{\text{对照病情指数}} \times 100.$$

1.4 数据处理

利用 DPS 6.0 统计软件对试验结果进行统计与分析。

2 结果与分析

2.1 19G-317 菌株发酵产物对供试病原菌菌丝生长的抑制作用

2.1.1 发酵液 由表 1 可见, 19G-317 菌株发酵液对多种供试病原菌菌丝生长均有一定的抑制作用。在 1 mg/mL 质量浓度下, 19G-317 菌株发酵液对小麦根腐病菌、杨树溃疡病菌、番茄灰霉病菌、水稻稻瘟病菌、小麦全蚀病菌等 11 种供试病原菌具有较强的抑制作用, 其抑制率均大于 60%; 对苹果炭疽病菌、棉花立枯病菌、棉花枯萎病菌、黄瓜炭疽病菌的抑制率均大于 50%; 对辣椒疫霉病菌无明显抑制作用。

2.1.2 菌丝提取物 由表 1 可见, 19G-317 菌株菌丝提取物对供试病原菌菌丝生长均有较好的抑制作用。在 1 mg/mL 质量浓度下, 其对小麦全蚀病菌、黄瓜炭疽病菌、水稻纹枯病菌、南瓜枯萎病菌等 8 种供试病原菌有较强的抑制作用, 抑制率均大于 90%; 对棉花黄萎病菌、番茄早疫病菌、杨树溃疡病菌等 11 种供试病原菌的抑制率均大于 80%; 对辣椒疫霉病菌的抑制率为 58.75%。

2.2 19G-317 菌株发酵产物对供试病菌菌丝生长的抑制毒力

毒力测定结果(表 2)表明,19G-317 菌株发酵产物对油菜菌核病菌的抑制作用最强,其次是番茄灰霉病菌和水稻纹枯病菌,发酵液对上述 3 种病菌的 EC₅₀ 值依次为 84.30,164.80 和 242.20 mg/L,菌丝提取物对其的 EC₅₀ 值依次为 18.80,88.00 和 173.70 mg/L。

表 2 19G-317 菌株发酵产物对植物病菌菌丝生长的抑制毒力测定

Table 2 Toxicity of the fermentation products of 19G-317 against the growth of plant pathogenic fungi

供试样品 Experiment sample	供试病原菌 Experiment pathogen	毒力回归方程 Regression equation	<i>r</i>	EC ₅₀ /(mg·L ⁻¹)	95%置信限/ (mg·L ⁻¹) 95%CL
发酵液 Fermentation	水稻纹枯病菌 <i>P. sasakii</i>	$y=1.399\ 9X+5.862\ 1$	0.999 4	242.20	228.10~257.20
	番茄灰霉病菌 <i>B. cinerea</i>	$y=1.566\ 9X+6.226\ 8$	0.988 6	164.80	133.60~203.40
	油菜菌核病菌 <i>S. sclerotiorum</i>	$y=1.130\ 1X+6.214\ 0$	0.991 4	84.30	73.10~97.20
菌丝提取物 Mycelial extraction	水稻纹枯病菌 <i>P. sasakii</i>	$y=2.583\ 5X+6.908\ 1$	0.999 8	173.70	177.60~187.70
	番茄灰霉病菌 <i>B. cinerea</i>	$y=1.843\ 5X+6.946\ 0$	0.974 1	88.00	51.20~151.10
	油菜菌核病菌 <i>S. sclerotiorum</i>	$y=0.896\ 3X+6.548\ 0$	0.996 0	18.80	11.70~30.00

2.3 19G-317 菌株发酵产物对供试病原菌孢子萌发的抑制作用

由表 3 可见,19G-317 菌株发酵产物对供试病原菌孢子萌发均有一定的抑制作用,对番茄灰霉病菌孢子萌发的抑制作用较强,在 5 mg/mL 质量浓度下,19G-317 菌株发酵产物对该病菌孢子萌发的抑制率均在 90% 以上,其中发酵液的抑制率为 97.30%,菌丝提取物的抑制率为 98.99%;其对玉米小斑病菌孢子萌发的抑制作用较弱,发酵液和菌丝提取物对该菌孢子萌发的抑制率分别为 65.46%和62.00%。

表 3 19G-317 菌株发酵产物对植物病原菌孢子萌发的抑制作用

Table 3 Inhibition of the fermentation products of 19G-317 against the germination of the spores

供试病原菌 Pathogenic fungi	供试样品 Experiment sample	萌发率/% Germination rate				抑制率/% Inhibition rate		
		5.00 mg/mL	0.50 mg/mL	0.05 mg/mL	CK	5.00 mg/mL	0.50 mg/mL	0.05 mg/mL
番茄灰霉病菌 <i>B. cinerea</i>	发酵液 Fermentation	2.67	5.67	55.67	98.75	97.30	94.26	43.63
	菌丝提取物 Mycelium extract	1.00	3.75	7.33		98.99	96.20	92.57
玉米小斑病菌 <i>B. maydis</i>	发酵液 Fermentation	33.33	53.33	66.67	96.50	65.46	44.73	30.92
	菌丝提取物 Mycelium extract	36.67	53.33	73.33		62.00	44.73	24.00
水稻稻瘟病菌 <i>P. oryzae</i>	发酵液 Fermentation	16.67	71.00	84.67	94.33	82.33	24.73	10.25
	菌丝提取物 Mycelium extract	14.67	20.33	24.67		84.45	78.45	73.85

2.4 19G-317 菌株发酵产物对番茄灰霉病的药效

采用黄瓜子叶法测定 19G-317 菌株发酵液和菌丝提取物在 10 和 1 mg/mL 质量浓度下,对番茄灰霉病的药效,结果见表 4。

表 4 19G-317 菌株发酵产物对番茄灰霉病的药效

Table 4 Efficacy of the fermentation products against the *B. cinerea*

供试样品 Experiment sample	质量浓度/ (mg·mL) Concentration	病斑直径/mm Diameter incidence	药效/% Control efficacy	供试样品 Experiment sample	质量浓度/ (mg·mL) Concentration	病斑直径/mm Diameter incidence	药效/% Control efficacy
发酵液 Fermentation	10.00	6.50±0.32	72.17 b	50%速克灵 50%Procymidone CK	0.10	9.20±0.34	60.48 d
	1.00	7.30±0.20	68.81 c				
菌体提取物 Mycelial extraction	10.00	5.40±0.25	76.95 a				
	1.00	6.20±0.20	73.50 b			23.40±0.37	

注:表中数据为 3 次重复的平均值;“药效”试验数据后标不同小写字母者表示在 5%水平上有显著差异;下表同。
Note: The data are the average of three replicates;The “Control efficacy” column followed by different letters indicate significantly difference at the level of 5% by Duncan’s multiple range tests;The same as followed.

由表 4 可见,在 10 mg/mL 质量浓度下,19G-317 菌株发酵液和菌丝提取物对番茄灰霉病的药效分别为 72.17%,76.95%;在 1 mg/mL 质量浓度下,19G-317 菌株发酵液和菌体提取物对番茄灰霉病的药效分别为 68.81%,73.50%,均显著高于 50%速克灵可湿性粉剂(0.10 mg/mL)。

表 5 19G-317 菌株发酵产物对辣椒疫霉病的治疗和保护作用

Table 5 Effects of the fermentation products of 19G-317 against *P. capsici*

供试样品 Experiment sample	质量浓度/(mg·mL ⁻¹) Concentration	保护作用 Protective effect		治疗作用 Therapeutic effect	
		病情指数 Disease index	防治效果/% Control efficacy	病情指数 Disease index	防治效果/% Control efficacy
发酵液 Fermentation	10.00	43.75±2.08	31.75 c	48.96±1.04	36.06 bc
	1.00	51.04±1.04	20.32 d	58.34±2.09	23.84 c
菌丝提取物 Mycelial extraction	10.00	34.38±1.05	46.35 b	41.67±4.17	45.67 ab
	1.00	39.59±2.09	38.25 c	55.20±3.13	27.78 c
50%甲霜灵 Metalaxyl	0.50	28.13±1.05	56.03 a	34.37±1.04	55.12 a
CK		64.06±1.56		76.56±1.56	

由表 5 可知,除 10 mg/mL 质量浓度的菌丝提取物对辣椒疫霉病的治疗效果与药剂对照(50%甲霜灵可湿性粉剂)相当外,其余处理均显著均低于药剂对照(50%甲霜灵可湿性粉剂)。

3 小结与讨论

放线菌 19G-317 菌株发酵产物对植物病原菌的抑菌谱广、抑菌活性强,具有很好的研究开发前景。本研究结果表明,该菌株菌丝提取物在 1 mg/mL 质量浓度下,对小麦全蚀病菌、水稻纹枯病菌、棉花枯萎病菌等 8 种植物病原菌菌丝生长的抑制率达到 90%以上;发酵液和菌丝提取物在 0.5 mg/mL 质量浓度下,对番茄灰霉病菌孢子萌发的抑制率大于 90%;在盆栽试验中,发酵液和菌丝提取物在 10 mg/mL 质量浓度下,对辣椒疫霉病也有比较明显的防治效果。

目前,从微生物中发现了大约 8 000 种生物活性物质,其中有近 70%是由放线菌产生的,这些微生物活性物质绝大部分来自普通环境微生物,对极端环境的微生物资源知之甚少,然而,极端环境条件下的放线菌具有特殊的生物学特性,可产生特殊的代谢产物,是一类未知的待开发资源^[14-16]。

本研究的放线菌 19G-317 菌株来源地为三江源自然保护区,该保护区位于我国西部的青海省南部,地处青藏高原腹地,为长江、黄河和澜沧江的源头汇水区,具有独特而典型的高寒生态系统特征,为中亚高原高寒环境和世界高寒草原的典型代表。因此,该菌株有可能产生新的抗菌活性物质,进而可创制为生物农药新产品或品种,可为植物病害防治提供

2.5 19G-317 菌株发酵产物对辣椒疫霉病的盆栽防治效果

由表 5 可以看出,放线菌 19G-317 菌株发酵产物对辣椒疫霉病有一定的防治效果,且以菌丝提取物的防治效果略高于发酵液。

有效的替代农药种类,具有一定的开发潜力。

[参考文献]

[1] 张 兴,马志卿,李广泽,等.生物农药评述 [J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2002,30(2):142-148.
Zhang X, Ma Z Q, Li G Z, et al. A review of biopesticide [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2002, 30(2): 142-148. (in Chinese)

[2] 张 全,张遵霞,王开梅,等.WS-03574 菌株活性成分的分离纯化、抗菌活性及稳定性研究 [J].湖北农业科学,2007,46(4):568-570.
Zhang Q, Zhang Z X, Wang K M, et al. Studies on separation, purification, bioassay and stability of the active metabolites of WS-03574 [J]. Hubei Agricultural Science, 2007, 46(4): 568-570. (in Chinese)

[3] 余凤玉,李振华,曾会才.抗真菌农用抗生素的研究进展 [J].热带农业科学,2005(1):60-65.
Yu F Y, Li Z H, Zeng H C. Progress of the research in antifungal agricultural antibiotics [J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2005(1): 60-65. (in Chinese)

[4] Shimizu M, Nakagawa Y, Sato Y, et al. Studies on endophytic actinomycetes (I) *Streptomyces* sp. isolated from rhododendron and its antifungal activity [J]. Journal of General Plant Pathology, 2000, 66(4): 360-366.

[5] Nishimura T, Meguro A, Hasegawa S, et al. An endophytic actinomycete, *Streptomyces* sp. AOK-30, isolated from mountain laurel and its antifungal activity [J]. Journal of General Plant Pathology, 2002, 68(4): 390-397.

[6] 纪明山,谷祖敏,张 杨.生物农药研究与应用现状及发展前景 [J].沈阳农业大学学报,2006,37(4):545-550.
Ji M S, Gu Z M, Zhang Y. Status and developing prospects of biopesticide research and application [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2006, 37(4): 545-550. (in Chinese)