

• 研究论文 •

禾谷丝核菌对井冈霉素的抗性风险预测

夏晓明¹, 王开运^{*}, 王怀训², 刘英华³, 胡燕¹, 范昆¹

(1 山东农业大学 植物保护学院 农药科学系, 山东 泰安 271018 2 青岛出入境检验检疫局,
山东 青岛 200662 3 天津市疾病预防控制中心, 天津 300011)

摘要:采用菌丝生长速率法,测定了 4 个麦区的 5 个禾谷丝核菌 *Rhizoctonia cerealis* 菌株对井冈霉素的抗药性;在含井冈霉素的 PDA 平板培养基上对禾谷丝核菌进行继代培养,以诱导抗药性菌系;测定了抗性菌系对其他杀菌剂的交互抗性,并比较了抗性和敏感菌系对渗透压的敏感性及药剂处理后两种菌系培养液内还原糖和可溶性蛋白的含量差异。结果表明,田间禾谷丝核菌菌株对井冈霉素分别产生了 7.26、7.75、10.46、14.92 和 23.31 倍的抗性。室内继代培养 36 代,禾谷丝核菌对井冈霉素的抗性达 49.24 倍,形成了抗井冈霉素菌系。抗井冈霉素菌系对恶醚唑、福美双、三唑酮、丙环唑、戊唑醇和咯菌腈分别产生了 48.58、21.78、17.62、10.95、2.55 和 1.78 倍的交互抗性。抗性菌系在较低和较高渗透压下其生长抑制率均大于敏感菌系,用井冈霉素处理抗性和敏感菌系后,其体内的电解质都严重外渗,且抗性菌系在 10 h 内的外渗量明显大于敏感菌系。

关键词:禾谷丝核菌;井冈霉素;抗药性;交互抗性

中图分类号: S481.4 S482.2

文献标识码: A

文章编号: 1008-7303(2006)02-0115-06

Studies on the Resistance Risk Forecast to Validamycin against *Rhizoctonia cerealis*

XIA Xiao-ming¹, WANG Kai-yun^{*}, WANG Huai-xun², LIU Ying-hua³,
HU Yan¹, FAN Kun¹

(1 Department of Pesticide Sciences, College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018
China; 2 Qingdao Entry/Exit Inspection and Quarantine Bureau, Qingdao 266002, China;
3 Tianjin Centers for Disease Control and Prevention, Tianjin 300011, China)

Abstract Resistance of 5 strains of *Rhizoctonia cerealis* to validamycin collected from 4 wheat growing areas was measured by using mycelium growth rate method. A sensitive strain of the fungus was subcultured on the media containing validamycin to induce the resistance development of the strain of *R. cerealis*, the cross resistance of the resistant strain to other fungicides was studied. The sensitivity of R-strain and S-strain to osmolarity, also the difference of reducing sugar and soluble protein in culture liquid of R-strain and S-strain after treatment with validamycin were compared. The results showed that the resistance level of 5 strains (L2, L1, TA, TW, and J) to validamycin was 7.26-, 7.75-, 10.46-,

收稿日期: 2005-12-26 修回日期: 2006-04-15.

作者简介: 夏晓明 (1978-), 男, 在读博士研究生, 主要从事农药毒理及有害生物抗性研究; * 通讯作者: 王开运 (1954-), 男, 山东滕州人, 教授, 博士生导师, 主要从事农药毒理及有害生物抗性研究. 联系电话: 0538-8242345; E-mail: sdauxiaomngxia@eyou.com; kywang@sdau.edu.cn

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目 (2002BA516A12).

14. 92- and 23. 31-fold, respectively. After 36 subcultured on PDA containing validamycin in laboratory, the resistance level of *Rhizoctonia cerealis* reached 49. 24-fold to validamycin, the R-validamycin strain was gained. The resistance level of resistant strain of *R. cerealis* to difenoconazole, thiram, tridemfon, propiconazole, tebuconazole, fludioxonil was 48. 58-, 21. 78-, 17. 62-, 10. 95-, 2. 55- and 1. 78-fold respectively. Inhibition rate of R-strain was higher than S-strain in the PDA containing 1% and 4% dextrose. In addition, the results of electrolyte leakage showed that the electrolyte of R-strain and S-strain was seriously exosmosised after treatment with validamycin, and the R-strain could leak more electrolyte than the S-strain in 10 h.

Key words *Rhizoctonia cerealis*; validamycin; resistance; cross-resistance

小麦纹枯病又称小麦尖眼斑病 (Wheat sharp eyespot), 是一种世界性分布的土传真菌病害^[1, 2], 主要由禾谷丝核菌 *Rhizoctonia cerealis* 引起。目前, 该病害已成为影响我国冬小麦稳产高产的障碍^[3]。

井冈霉素是由吸水放线菌所产生的一种葡萄糖苷类化合物, 主要用于防治水稻纹枯病, 对小麦纹枯病也有较好的防治效果^[4]。但近年来, 由于小麦纹枯病在全国各地大发生, 导致井冈霉素的使用量加大, 使用次数增多, 增加了对病原菌的选择压力, 使得井冈霉素对小麦纹枯病的防治效果明显下降^[5, 6]。张穗等^[7]研究表明, 田间的立枯丝核菌 *Rhizoctonia solani* 已经对井冈霉素表现出了明显的抗药性。但是国内外尚未见有关禾谷丝核菌对井冈霉素抗性的相关报道。

本试验采用菌丝生长速率法, 测定了 4 个小麦产区的 5 个禾谷丝核菌菌株对井冈霉素的抗药性; 通过室内药剂筛选获得了抗井冈霉素的禾谷丝核菌菌系, 研究了抗性菌系对其他药剂的交互抗性; 并比较了抗性菌系和敏感菌系对渗透压的敏感性及药剂处理后两菌系培养液内还原糖和可溶性蛋白的含量。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试亲本敏感菌株 (S 菌株) 从山东泰山中天门发病的狗尾草上分离后接种到温室盆栽小麦上, 再从发病植株上分离纯化, 经分离鉴定确定为禾谷丝核菌 *Rhizoctonia cerealis*, 从未使用过化学药剂, 对井冈霉素敏感^[8]。

1.1.2 田间菌株 分别采自山东省泰安市郊区 (TA 菌株), 山东省滕州市望庄镇 (TW 菌株), 山

东省聊城市郊区东一村 (L1 菌株)、聊城市郊区东二村 (L2 菌株) 和江苏省镇江市郊区 (J 菌株) 麦田, 经分离鉴定确定为禾谷丝核菌。上述 4 地均为我国的小麦主产区, 田间水肥条件好, 产量高, 小麦纹枯病发生较重, 因防治小麦纹枯病的用药时间较长, 已发现多种常用杀菌剂对该病的防治效果明显降低。

1.1.3 供试药剂 97% 戊唑醇 (tebuconazole) 原药及 96. 5% 丙环唑 (propiconazole) 原药 (山东华阳科技股份有限公司); 95% 三唑酮 (tridemfon) 原药 (山东大成农药工业股份公司); 95% 恶霉唑 (difenoconazole) 原药及 95% 咯菌腈 (fludioxonil) 原药 (农业部农药检定所提供); 60% 井冈霉素 (validamycin SPX) 可溶性粉剂 (A 体, 山东威海农药厂); 96. 5% 福美双 (thiram) 原药 (青岛第二农药厂)。

1.2 毒力测定方法

采用 FAO 推荐的菌丝生长速率法^[9]。在超净工作台上将供试药剂稀释成一系列浓度后, 准确移取 1 mL 药液加入到 9 mL 50℃ 左右融化的 PDA 培养基中, 混合均匀, 迅速倒入预先灭菌的 ≈ 9 cm 的培养皿中, 冷却后即成含药的培养基平板。测定前 3 d 用经 75% 酒精灭菌的 ≈ 7 mm 的打孔器沿菌落边缘切取带菌丝的菌饼, 将其接入含药培养基平板上培养。每个培养皿接 1 个, 每处理重复 4 次。在 25℃ 恒温培养箱中培养 72 h 采用十字交叉法测量菌落直径, 取其平均值, 根据下面的公式计算平均抑制生长百分率。所得数据经 Finney 机率分析法用 DPS 统计软件求出毒力回归方程及 EC_{50} 值。

$$\text{生长抑制率}(\%) = \frac{\text{对照菌落直径} - \text{处理菌落直径}}{\text{对照菌落直径}} \times 100$$

1.3 抗性菌系的诱导

待供试敏感菌株(S)稳定培养后,测定其对井冈霉素的敏感基线。每代以药剂抑制菌丝生长50%以上的浓度,在含药的PDA培养基上对S菌系进行诱导选择培养,每选择3代用菌丝生长速率法测定1次 EC_{50} 值,检测诱导菌系对药剂的抗性变化,建立抗井冈霉素菌系(R)。

1.4 抗性菌系的交互抗药性测定

当抗性诱导至第36代,禾谷丝核菌对井冈霉素的抗性达49.24倍时,分别制成含系列浓度三唑酮、戊唑醇、咯菌腈、福美双、恶醚唑、丙环唑的PDA培养基平板,利用菌丝生长速率法测定各药剂对抗井冈霉素菌系的 EC_{50} 值。

1.5 抗性菌系对渗透压的敏感性测定

将抗性菌系和敏感菌系的菌碟分别接入含葡萄糖质量分数为1%、2%、4%、8%的PDA培养基上,25℃培养3d后测量菌落直径,以2%葡萄糖PDA平板上生长的菌落直径为对照,计算不同质量分数葡萄糖培养基上的菌丝生长抑制率。试验重复4次,每个重复1皿。

1.6 电解质渗漏情况测定

将抗井冈霉素菌系和敏感菌系的菌碟分别接

入29mL高温消毒后的PD培养液中,25℃恒温振荡培养4d后加入1mL30 μ g/mL的井冈霉素,25℃恒温振荡培养10h后滤去菌丝,以斐林试剂比色法^[10]和考马斯亮蓝G-250^[10]染色法分别测定滤液中还原糖和可溶性蛋白的含量。以不加井冈霉素者为对照,重复3次。

2 结果与分析

2.1 4个麦区的禾谷丝核菌对井冈霉素的抗性

测定结果(表1)表明,与S菌系相比,4个麦区田间菌株对井冈霉素均产生了不同程度的抗性。JZ菌株对井冈霉素的抗性程度最高,达23.31倍;TW菌株和TA菌株次之,分别为14.92和10.46倍;L1和L2的抗性程度较低,分别为7.75和7.26倍。井冈霉素在江苏等地使用较早,现每年使用次数已经从1~2次增加到3~4次,使用量也从以前的1.5kg/hm²增加到了4.5~6.0kg/hm²;而山东等地目前井冈霉素的用药量和用药次数仅为江苏等地的一半左右。表明各麦区禾谷丝核菌对井冈霉素的抗性差异与该地区使用井冈霉素的水平和历史有关。

Table 1 Resistance of *R. cerealis* to validamycin

Strains	Regression equation	r	EC_{50} (95% CL) /(μ g/mL)	Resistance level (R/S)
JZ	$Y = 5.0092 + 0.7685x$	0.9950	0.9730 (0.519~1.8232)	23.31
TW	$Y = 5.3067 + 1.4922x$	0.9624	0.6229 (0.071~0.9531)	14.92
TA	$Y = 5.5366 + 1.1345x$	0.9941	0.4365 (0.328~0.5959)	10.46
L1	$Y = 5.4047 + 0.8315x$	0.9809	0.3236 (0.228~0.4579)	7.75
L2	$Y = 5.2892 + 0.5576x$	0.9710	0.3029 (0.162~0.5654)	7.26
S	$Y = 8.2695 + 2.3702x$	0.9984	0.0417 (0.035~0.0494)	1.00

Note: S for sensitive strain. JZ was collected from Zhenjiang of Jiangsu province; TW was collected from Tengzhou of Shandong province; TA was collected from Tai'an of Shandong province; L1 and L2 were collected from Liaocheng of Shandong province

2.2 抗井冈霉素禾谷丝核菌菌系的选育

禾谷丝核菌对井冈霉素的抗性发展规律(表2)表明,F0~F9代之间为抗性缓慢增长阶段, EC_{50} 值由0.0417增加到0.2124 μ g/mL,抗性为5.09倍;F9~F21代为抗性突增阶段, EC_{50} 值由0.2124增加到1.1347 μ g/mL,抗性由5.09倍突增到27.18倍;F21~F30代为抗性发展平缓阶段, EC_{50} 值由1.1347增加到1.4166 μ g/mL,抗性由27.18倍增长到33.94倍,连续诱导10代抗性仅提高6.76倍;从F30代开始,抗性又出现突增现象,至36代时, EC_{50} 值为2.0535 μ g/mL,抗性达

49.24倍,形成了高水平的抗井冈霉素菌系。

2.3 抗井冈霉素菌系的交互抗药性

交互抗药性测定结果(表3)表明,抗井冈霉素菌系对恶醚唑、福美双、三唑酮和丙环唑的抗性分别达48.58、21.78、17.62和10.95倍,交互抗性程度较高;对戊唑醇和咯菌腈的抗性分别为2.55和1.78倍,交互抗性不明显。恶醚唑、三唑酮、丙环唑和戊唑醇均为三唑类杀菌剂,该抗性菌系与前3种药剂有显著的交互抗性,而对后者的交互抗性却不明显,其原因尚待进一步研究。

Table 2 Resistance development of *R. cerealis* to validamycin in laboratory

Generation	Regression equation	r	EC ₅₀ (95% CL)	Resistance level (R/S)
			/(μg/mL)	
F0	Y = 8.2695 + 2.3702x	0.9959	0.0417 (0.0353~0.0494)	1.00
F3	Y = 7.7483 + 2.5450x	0.9882	0.0815 (0.0385~0.0970)	1.95
F6	Y = 5.5939 + 0.7670x	0.9846	0.1682 (0.1030~0.2746)	4.03
F9	Y = 5.7051 + 1.0479x	0.9771	0.2124 (0.1520~0.2969)	5.09
F12	Y = 5.3279 + 1.1675x	0.9962	0.5038 (0.4004~0.6853)	12.07
F15	Y = 5.1388 + 1.1137x	0.9600	0.7506 (0.5780~0.9749)	17.98
F18	Y = 5.0250 + 1.7169x	0.9752	0.9170 (0.7988~1.1706)	21.98
F21	Y = 4.5731 + 1.7845x	0.9964	1.1347 (1.1083~1.3001)	27.18
F24	Y = 4.8614 + 1.4504x	0.9831	1.2460 (1.0135~1.5319)	29.85
F27	Y = 4.9551 + 1.9097x	0.9998	1.3556 (0.7712~1.9451)	32.48
F30	Y = 4.8763 + 1.1567x	0.9980	1.4166 (0.9976~1.9635)	33.94
F33	Y = 4.6365 + 0.9318x	0.9983	1.6553 (1.4930~2.1622)	39.66
F36	Y = 4.6761 + 1.0366x	0.9993	2.0535 (1.5534~2.7147)	49.24

Table 3 Cross resistance of validamycin resistant strain of *R. cerealis* to other fungicides

Fungicides	EC ₅₀ (95% CL) /(μg/mL)		Resistance level (R/S)
	S-strain	R- validamycin	
Validamycin	0.0417 (0.0353~0.0494)	1.6553 (1.4930~2.1622)	49.24
Difenoconazole	0.0541 (0.0376~0.0650)	2.6283 (1.6157~4.2755)	48.58
Thiaram	0.0503 (0.0198~0.1272)	1.0965 (0.9069~1.3982)	21.78
Tridemfon	0.0365 (0.0274~0.0474)	0.6430 (0.4875~1.1323)	17.62
Propiconazole	0.0512 (0.0344~0.0764)	0.5607 (0.4378~0.7181)	10.95
Tebuconazole	0.0120 (0.0026~0.0151)	0.0306 (0.0017~0.0047)	2.55
Fidixoxoni	0.0500 (0.0399~0.0740)	0.0891 (0.0565~0.1404)	1.78

2.4 抗性菌系对渗透压的敏感性

在 PDA 培养基中葡萄糖质量分数为 1% 的低渗透压下, 葡萄糖对敏感菌系和抗性菌系的菌丝生长均有促进作用, 但抗性菌系比敏感菌系更敏

感; 在 4% 中等渗透压环境中, 敏感菌系的生长抑制率达 34.2%, 较抗性菌系 (7.9%) 敏感; 在 8% 的高渗透压下, 抗性菌系的生长抑制率明显高于敏感菌系, 其敏感性显著高于敏感菌系 (表 4)。

Table 4 Inhibition rate (%) of sensitive and resistant strain in PDA medium with different concentrations of dextrose

Strains	Concentrations of dextrose			
	1%	2%	3%	4%
R (Validamycin)	~75.0 b	0	7.9 b	81.6 a
S (Sensitive)	~56.2 a	0	34.2 a	66.0 b

Note Data in the table were tested by Duncan's test Data in the same row followed by different letters show significant difference at 0.05 level The same as below.

2.5 药剂对敏感和抗性菌系电解质渗漏的影响

可溶性蛋白和还原糖在生物体内具有多种生理功能, 可以作为细胞质渗透的调节物质, 稳定生物大分子结构, 降低细胞酸度以及作为能量库调节细胞氧化还原势等^[11]。张学君等^[12]研究发现,

当用麦丰宁 B3 处理禾谷丝核菌后, 菌丝溶液中的电解质渗漏与溶液中的可溶性蛋白和还原糖呈明显正相关性。本研究结果 (表 5) 表明, 用井冈霉素处理 R 菌系和 S 菌系 10 h 后, 两菌系体内还原糖和可溶性蛋白的渗出量差异较大, R 菌系渗出物

的质量明显高于 S 菌系。当用井冈霉素处理 R 菌系和 S 菌系后,其体内的电解质都严重外渗,但前者在 10 h 内的外渗量明显大于后者。

Table 5 Exudation of two strains treated with validamycin

Strains	Exudation / (μg/mL)	
	Reducing sugar	Soluble protein
R (Validamycin)	0.107 0 a	0.012 6 a
S (Sensitive)	0.092 0 b	0.010 4 b

3 讨论

1973 年上海农药研究所研究人员从江西井冈山等地土壤中定向筛选到了一株吸水链霉菌井冈变种 (*Streptomyces hygroscopicus* var. *jinggangensis*), 井冈霉素即是从该菌的发酵液中分离得到的与有效霉素同属一类的抗生素^[13]。井冈霉素对纹枯病菌无致死作用,它通过使病菌菌丝体形成不正常分枝而影响病菌的致病力,因此,一般认为田间很难形成其抗药性菌株^[14]。但本研究发现,采自江苏省镇江市、山东省滕州市和泰安市的 5 个禾谷丝核菌菌株对井冈霉素均产生了 10 倍以上的抗性,其中 J 菌株对井冈霉素的抗性高达 23.31 倍,证明在田间条件下禾谷丝核菌对井冈霉素也容易产生抗性。室内抗性诱导结果也进一步证明,该病菌对井冈霉素的抗性发展比较迅速,选育至 36 代,抗性高达 49.24 倍,抗性风险大。因此在防治中应合理轮换使用药剂,以延缓抗药性的进一步发展。

交互抗药性研究发现,抗井冈霉素菌系对三唑类杀菌剂戊唑醇的抗性仅为 2.55 倍,交互抗性不明显。前期试验已证明,抗戊唑醇菌系对井冈霉素存在较高程度的交互抗性,当抗戊唑醇菌系的抗性达 33.4 倍时,对井冈霉素的抗性可达 16.9 倍^[8]。由此说明禾谷丝核菌在井冈霉素和戊唑醇之间表现的交互抗性是单向的。药剂间的单向交互抗性现象在杀虫剂研究中也已有发现^[15],其结果可为在禾谷丝核菌抗井冈霉素的小麦产区推广使用戊唑醇提供重要参考。本研究结果还表明,抗井冈霉素菌系对同属三唑类的戊唑醇、丙环唑、三唑酮和恶醚唑之间所表现的交互抗性也存在十分显著的差异,其对戊唑醇的交互抗性不明显,但对丙环唑、三唑酮和恶醚唑的交互抗性程度较高(10.95、17.62 和 48.58 倍)。该抗性菌系还

对有机硫类的福美双表现出高水平的交互抗性(21.78 倍),对吡咯类杀菌剂咯菌腈则无交互抗性现象。说明研究分析药剂间的交互抗性现象时不应仅局限在药剂的类别之间,还应扩大到品种之间。

在高渗透压环境的胁迫下,微生物大多可以合成或从环境中吸收一些低分子量物质来调节自身的渗透压以平衡外界渗透压的增高^[16]。而 Ellis 等^[17]认为,菌体在高渗透压环境中需要不断合成甘油来维持细胞膨压而消耗大量能量,故生长受到抑制甚至不能生长,渗透压突变和抗药性突变可能是同源的。本研究结果表明,抗井冈霉素菌系在较低和较高渗透压下的生长抑制率均大于敏感菌系,这与张永杰^[18]和石志琦^[19]的研究结果相符。

前文^[20]报道,当用戊唑醇处理禾谷丝核菌抗性和敏感菌系后,抗性菌系能在较短的时间里渗出更多的电解质。本研究也发现,当用井冈霉素处理抗性和敏感菌系后,抗性菌系在短时间内能够渗出更多的可溶性蛋白和还原糖,由此推测禾谷丝核菌对井冈霉素的抗药性与杀菌剂的迅速排出机制有关。因还原糖大量存在于病原菌的细胞壁中,还原糖的大量渗出,也说明抗性菌系细胞壁的渗透性发生了一定的变化。有关禾谷丝核菌对井冈霉素的详细抗性机制还有待于进一步研究。

参考文献:

[1] Wachowska U. Susceptibility of cereals and other crops to *Rhizoctonia cerealis* [J]. *Phytopathologia Polonica*, 2000, 20: 59-66.

[2] WU Xun-chi(吴洵耻). 我国小麦纹枯病发生及防治研究现状 [J]. *Shandong Agric Sci*(山东农业科学), 1992 (2): 29-47.

[3] WANG Yu-zheng(王玉正), YUAN Yong-lan(原永兰), ZHAO Bai-ling(赵百灵), et al 山东省小麦纹枯病为害损失及防治指标的研究 [J]. *Acta Phytophylacica Sinica* (植物保护学报), 1997, 24(1): 44-47.

[4] WU Han-zhang(吴汉章), ZHANG Chao-ran(张超然), PAN Yi-bu(潘以楼). 小麦纹枯病的发生与药剂防治的技术关键 [J]. *Jiangsu Agric Sci*(江苏农业科学), 1983, (11): 34-37.

[5] ZHANG Sui(张穗), ZHOU Mei-guang(周梅光), SONG Wan-chang(宋万昌), et al 河南省固始等地纹枯病菌对井冈霉素的敏感性 [J]. *Acta Phytophylacica Sinica* (植物保护学报), 1999, 26(2): 189-190.

[6] WANG Hua-xun(王怀训), WANG Kai-yun(王开运), CAI Chun-ju(蔡春菊), et al. 立克秀防治小麦纹枯病的药效评价

- [J]. Pesticides(农药), 2000, 39(12): 31-32
- [7] ZHANG Sui(张穗), XU Wen-xia(许文霞), XUE Ying-gen(薛银根), et al 郑州郊区水稻纹枯病菌对井冈霉素敏感性的初步研究 [J]. Chin J Biological Control(中国生物防治), 1995, 11(4): 171-173
- [8] LIU Ying-hua(刘英华), WANG Kai-yun(王开运), JIANG Xing-yin(姜兴印), et al 禾谷丝核菌对戊唑醇的抗性及其抗药性菌系生物学特性 [J]. Acta Phytophytica Sinica(植物保护学报), 2003, 30(4): 423-428
- [9] Gorgobus S G, Dekker J. Detection and measurement of fungicide resistance: general principles [J]. FAO Pl Prot Bull, 1982, 30(2): 39-71.
- [10] LI He-sheng(李合生). Principles and Techniques of Plant Physiological Biochemical Experiment(植物生理生化实验原理和技术) [M]. Beijing(北京): Higher Education Press(高等教育出版社), 2000. 184, 201
- [11] DUAN Xue-jun(段学军), MIN Hang(闵航). 镉对稻田土壤典型微生物种的胁迫生理毒性 [J]. Ecology and Environment(生态环境), 2005, 14(6): 865-869
- [12] ZHANG Xue-jun(张学君), LING Hong-tong(凌宏通), LI Hong-lian(李洪连), et al 生物农药麦丰宁 B₃对小麦纹枯病菌的抑制作用 [J]. Acta Phytopathologica Sinica(植物病理学报), 1994, 24(4): 361-366
- [13] Suani T, Ogawa S, Chida N. The revised structure of validamycin A [J]. Antibiotics, 1980, (33): 98-99.
- [14] SHEN Ying-chu(沈寅初). 井冈霉素研究开发 25年 [J]. Plant Protection(植物保护), 1996, 22(4): 44-45
- [15] Wang K Y, Liu T X, Jiang X Y, et al. Cross-resistance of *Aphis gossypii* to selected insecticides on cotton and cucumber [J]. Phytoparasitica, 2001, 29(5): 393-399.
- [16] ZHANG Xiao-qing(张小青), CAO Jun-wei(曹军卫), ZHAI Chao(翟超), et al 枯草芽孢杆菌渗透压调节基因 *proB* 的克隆和表达 [J]. Acta Microbiologica Sinica(微生物学报), 2002, 42(2): 163-168.
- [17] Ellis S W, Grindle M. Effect of osmotic stress on yield and polyol content of dicarboximide-sensitive and resistant strains of *Neurospora crassa* [J]. Mycol Res, 1981, 95: 457-464
- [18] ZHANG Yong-jie(张永杰), GAO Jun-ming(高俊明), HAN Juncui(韩巨才), et al 抗速克灵灰霉病菌菌株电导率变化及对渗透压的敏感性 [J]. J Shanxi Agric(Natural Science Edition)(山西农业大学学报, 自然科学版), 2004, 24(1): 34-36
- [19] SHI Zhi-qi(石志琦), ZHOU Ming-guo(周明国), YE Zhong-yin(叶钟音). 核盘菌对菌核净的抗药性机制初探 [J]. Chin J Pestic Sci(农药学报), 2000, 2(2): 47-51
- [20] XIA Xiaoming(夏晓明), WANG Kaiyun(王开运), FAN Kun(范昆), et al 抗戊唑醇禾谷丝核菌的渗透压敏感性及其相对渗透率变化研究 [J]. Chin J Pestic Sci(农药学报), 2005, 7(2): 126-130

(Ed. TANG J)