

植物病害生防制剂的研究进展

王进强, 吴 刚*, 许文耀

(福建农林大学植物保护学院, 福建 福州 350002)

摘要: 从微生物源杀菌剂(农用抗生素和活体微生物杀菌剂)、植物源杀菌剂、半合成杀菌剂、遗传工程杀菌剂等方面综述了植物病害生防制剂的研究和应用进展, 展望了植物病害生防制剂的发展前景。

关键词: 植物病害; 生防制剂; 微生物源杀菌剂; 植物源杀菌剂; 半合成杀菌剂; 遗传工程杀菌剂

中图分类号: S482.2

文献标识码: A

文章编号: 1006-7817(2004)04-0448-05

Advances in biological control agents of plant diseases

WANG Jin-qiang, WU Gang, XU Wen-yao

(College of Plant Protection, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China)

Abstract: Advances in biological control agents (BCAs) of plant diseases are reviewed in the aspects of microbial source fungicide (agroantibiotic and vivimicrobial fungicide), botanical source fungicide, semi-synthesized fungicide and genetic engineering fungicide. The prospects of BCAs development is discussed.

Key words: plant disease; biological control agents (BCAs); microbial source fungicide; botanical source fungicide; semi-synthesized fungicide; genetic-engineering fungicide

植物病害生防制剂(biological control agents, BCAs), 即生物杀菌剂, 是利用能够控制植物病原菌(细菌、真菌、病毒、线虫等)的天然产物、微生物活体及其代谢产物所生产的制剂, 包括微生物源杀菌剂(农用抗生素和活体微生物杀菌剂等)、植物源杀菌剂、以微生物代谢产物为先导合成新的杀菌剂、遗传工程杀菌剂等类型, 它是生物农药的重要组成部分。

植物病害生防制剂出现于 20 世纪 50 年代末, 经过 40 多年的努力, 人们已经掌握了大量微生物和天敌防治植物病害的机理及多种生物杀菌剂的加工技术。新的生物杀菌剂品种不断问世, 销售量和使用面积不断扩大, 呈现出良好的发展态势。虽然目前生物杀菌剂在整个世界植物保护市场中所占的分量不到 0.1%^[1], 但已受到各行业的重视。生物农药已成为当前世界农业研究的热点与重点。本文就目前植病生防制剂的研究进展作一综述。

1 微生物源杀菌剂

微生物源杀菌剂包括农用抗生素和活菌杀菌剂, 是对致病微生物产生特异性药理作用的微生物产物或微生物活菌, 也称为生化杀菌剂(biochemical fungicides)。微生物源杀菌剂是植物病害生防制剂研究的热点。这类杀菌剂所含的有效物质是细菌芽孢、真菌孢子及菌丝体、病毒、毒素或抗菌素。

1.1 农用抗生素

农用抗生素是微生物产生的次级代谢产物, 在低微浓度时即可抑制或杀灭作物的病原或调节作物生长发育。在微生物源杀菌剂中对杀菌农用抗生素的研究最多, 而具有生物活性但难以商品化的次级代谢物质, 则成为开发现代杀菌剂的源泉。

近几年国内外在农作物和果树上常用的抗生素类杀菌剂大约有 40 多种。国外以日本发展最快, 先后开发了春日霉素、灭瘟素、多氧霉素、有效霉素、灭孢素、杀螨霉素等; 印度用金色制霉素和杂曲霉素处理种子来防治水稻、大麦和黄麻病害, 前苏联用卡苏霉素、灰黄霉素、植菌霉素、木霉素等防治豆类和棉花苗期病害^[2]。经过几十年的研究探索, 我国对新农用抗生素的筛选方法有了较大程度的改进和提高, 已筛选出产抗生素的菌种, 并研制出不少抗生素新品种, 如多抗灵、多效霉素等, 还有防治蔬菜真菌性病害的武夷霉素、防治作物细菌性病害的中生菌素及防治烟草病毒病的宁南霉素等。目前我国已开发并应用的农用抗生

收稿日期: 2004 - 02 - 12 修回日期: 2004 - 03 - 31

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目(B0140016)。

作者简介: 王进强(1978 -), 男, 研究方向: 杀菌剂作用机制。

* 通讯作者。

素还有井冈霉素、农抗120、庆丰霉素、公主岭霉素、多抗A号、春雷霉素、新植霉素等。

近年来,人们发现对植物病原菌具有拮抗作用的放线菌和细菌均可以产生抗生素。源于放线菌的抗生素主要有灭瘟素、春雷霉素、米多霉素、多马霉素。而源于细菌的有:生防细菌产生的多种代谢产物,如荧光假单胞菌(*Pseudomonas fluorescens*)可产生螯铁素(siderophores)、低分子质量抗菌物质、植物激素及多肽等^[3]。库斯塔克斯(Kurstakins)即是一类自Bt中分离出的具杀菌活性的新型脂肽,具有用于研制新型杀菌剂的潜力^[4]。用枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)代谢物在贮藏前处理金花梨,能有效控制其灰霉病的发生。农杆菌素84是由K₈₄菌株产生的低分子质量细菌素,它对含胭脂碱/农杆菌素碱A Ti质粒的根癌土壤杆菌有强抑制作用。从1973年起,K₈₄菌株制剂已有商品化生产,在澳大利亚和美国等地出售。从水稻的菊欧氏菌(*Erwinia chrysanthemi*)中分离提取的细菌素Echcin对许多病原真菌都具有很强的抑制作用,且对小麦纹枯病的田间防效优于井冈霉素^[5]。

1.2 活体微生物杀菌剂

活体微生物杀菌剂主要有细菌杀菌剂、真菌杀菌剂、病毒杀菌剂等类型。它通常具有选择性强、不会产生抗性等优点,但也存在储存困难、不易管理等不足。

1.2.1 细菌杀菌剂 目前拮抗性细菌在土传病害生物防治上应用最多,主要有放射土壤杆菌(*Agrobacterium radiobacter*)、芽孢杆菌(*Bacillus* spp.)、假单胞菌(*Pseudomonas* spp.)、欧氏杆菌(*Erwinia*)等。在国外用放射土壤杆菌K₈₄菌系防治果树的根癌病已实现了商品化。近年来我国报道分离出对葡萄根癌病有显著防效的放射土壤杆菌HLB-2、E26和M115,经大田试验防效为85%~100%,引起国内外的重视^[6]。美国Agraquest公司用枯草芽孢杆菌(*B. subtilis*)QST713菌株和QST2808菌株分别开发出活菌杀菌剂SerenadeTM和Sonata AS,已在美国登记使用,用于防治多种作物的白粉病、霜霉病、疫病、灰霉病等病害^[7-11];还有用枯草芽孢杆菌开发的对植物病原菌*Fusarium*和*Rhizoctonia*有较好防效的Kodiak也已在美国商业化^[12];我国台湾的Wang et al^[13]从土壤中分离出对病原菌*Fusarium oxysporum*有抗性的菌株*B. subtilis* W113和*B. subtilis* W118,并从其几丁质中提取出高度耐热的杀菌剂,在100℃高温中30 min仍有活性。用荧光假单胞菌(*P. fluorescens*)防治小麦全蚀病、棉花幼苗猝倒病、马铃薯软腐病的试验也取得了一定效果。瑞典Bio Gri公司由*P. chlororaphis*开发的新型生物杀菌剂已得到欧盟植物科学委员会(SCP)的认可^[14]。

目前用于防治果蔬采后病害的微生物抗菌剂主要有AspireTM、Biosave111和Biosave110(*P. syringae*菌株)^[15-17]。

对寄生根结线虫的细菌研究不多,其中以对能够侵染根结线虫的巴氏杆菌(*Pasteuria penetrans*)的研究最为广泛。该菌对许多寄生线虫防效显著。由于巴氏杆菌为专性寄生菌,因此大量生产巴氏杆菌制剂存在很大困难。近年已开始研究用根际细菌如假单胞菌和芽孢杆菌防治根结线虫,而防治线虫的*B. thuringiensis*菌株已登记^[29]。

1.2.2 真菌杀菌剂 目前防治植物病害的真菌种类较少,主要是木霉属(*Trichoderma*)的一些种,如:哈茨木霉(*T. harzianum*)、绿色木霉(*T. viride*)、康氏木霉(*T. koningii*)、木素木霉(*T. lignorum*)、钩木霉(*T. hamatum*)、长枝木霉(*T. longibrachiatum*)、多孢木霉(*T. polysporum*)及绿粘帚霉(*T. virens*)。哈茨木霉对立枯病、菌核病、腐霉病、灰霉病等多种病害有较好的防效^[18,19],其发酵液可对采后茄子进行生物保鲜。Caron et al^[20]发现哈茨木霉MAUL-20菌株的抗菌活性高于商用RootshieldTM,有潜力开发出新的杀菌剂。绿色木霉用来防治蜜环菌、轮枝菌、紫韧草菌、葡萄拟茎点霉和灰葡萄孢等病菌引起的各种病害;木素木霉的干燥孢子处理烟草的株穴可防治白绢病。此外,其他真菌如链孢粘帚霉(*Gliocladium catenulatum*)可用于防治土壤里的腐霉菌和丝核菌;*Ampelomyces quisqualis*主要防治葫芦的白粉病;*Sporothrix flocculosa*防治玫瑰和黄瓜的白粉病;绿粘帚孢霉(*G. virens*)防治幼苗立枯病。水霉菌也已用于园艺作物的真菌、细菌性病害防治^[21]。

目前已商业化的真菌防治剂主要是哈茨木霉菌株及少量的绿色木霉菌株,如美国的Topshield(*T. harzianum* T-22菌株)^[22]、RootshieldTM^[23]、以色列的Trichodex(*T. harzianum* T-39菌株)^[1]。绿粘帚霉、镰刀菌、浅白隐球酵母、寡雄腐霉等也已在许多国家进行商业化生产。Sporodex^R(*Phyllactinia flocculosa*)^[24,25]已注册。其它真菌如美国开发了AQ-10(*A. quisqualis*),日本开发了*Ampelomyces*^[3],英国开发了*Brevibacillus brevis*。同时有报道指出,*Candida saitoana*能诱导苹果、柑橘产生系统抗性从而防止灰霉菌引起的采后病害^[26,27]。

真菌对线虫病害生防作用的研究也较多。食线虫真菌中捕食真菌和内寄生真菌受到高度重视。应用于根结线虫生防的捕食真菌主要有:节丛孢属(*Arthroborys*)、单顶孢霉属(*Monacrosporium*)和小指孢霉属

(*Dactylella*)。其中不规则节丛孢(*A. irregularis*)已制成商品制剂 R₃₅₀, *M. ellipsosporium* 已用于南方根结线虫的生物防治, *D. oviparasitica* 对桃园里的根结线虫具有控制作用。用于根结线虫生防的内寄生真菌有: 轮枝霉属(*Verticillium*)和 *Meria coniospora*, 其中 *V. insectorum* 对南方根结线虫有较好的控制作用。 *V. chlamydosporium* 是北方根结线虫的卵及成熟雌虫的有效寄生菌, 同时又能侵染南方根结线虫的雌虫^[28]。

根结线虫卵寄生真菌的研究历史不长, 已报道的种类约有 50 种。目前研究最多的是淡紫拟青霉(*Paecilomyces lilacinus*)。菲律宾以淡紫拟青霉制成商品“Biocon”, 用于防治马铃薯的根结线虫病, 取得了很好效果^[2]。 *Verticillium* spp. 也能有效地寄生根结线虫卵, 厚垣轮枝菌(*V. chlamydosporium*)能寄生南方根结线虫、花生根结线虫、大豆胞囊线虫的卵和雌虫, 是一种重要的线虫生防菌^[29]。它还是引起燕麦胞囊线虫衰退的主要寄生真菌之一, 被认为是很有希望用于线虫生防的真菌。英国洛桑试验站已从该菌中筛选出 Vc₁₀ 等防治根结线虫效果较好的菌株。

1.2.3 病毒杀菌剂 根据病毒间交叉保护现象, 利用病毒的弱毒株系制成的抗病毒生物农药已进入实用化阶段。日本利用番茄花叶病毒弱毒株系制剂防治塑料大棚内番茄病毒已有 10 多年历史, 效果明显。1978 年以来我国在 20 多个省、市推广应用烟草花叶病毒弱毒疫苗 N₁₄ 防治烟草花叶病毒引起的番茄病毒病, 并用生物工程技术组建黄瓜花叶病毒生防制剂卫星 S₅₁ 和 S₅₂ 获得成功, 已用于防治辣椒病毒病^[30]。巴西、澳大利亚、印度、日本、美国利用柑桔衰退病毒弱株系防治柑桔衰退病, 取得明显的防治效果和经济效益^[2]。

中国科学院微生物所研制的弱毒疫苗 N₂₄、S₂₂ 用来防治烟草花叶病毒和黄瓜花叶病毒。北京市农科院植保所生产的抗毒剂 1 号、齐齐哈尔生产的病毒 A、济南生产的菌毒清、北京农大生产的 83 增抗剂, 均属防治番茄病毒病的生物药剂。

虽然已发现的具有杀菌活性的微生物代谢产物及微生物活菌还有很多, 但由于其对人畜、鱼类或天敌的毒性高、稳定性差、对环境影响大等因素而未能制剂化生产, 但有望通过现代生物技术使之商品化。如春雷霉素对某些作物的药害影响了它的市场价值, 曾一度用量明显下降, 而日本通过对春雷霉素菌株中引起药害的基因片断进行改造, 开发了效果更佳但无药害的新菌种, 使春雷霉素重新焕发了青春^[31]。

2 植物源杀菌剂

植物源杀菌剂是指从植物中直接提取的某种具有杀菌活性的物质。

可作为杀菌剂的植物源物质虽不多, 但研究得仍很深入广泛。从毛茛植物中分离出的毛茛素, 从南欧丹参中分离出的硬尾醇(sclareal), 存在于苜蓿根部的苜蓿酸, 海红豆中的紫檀素等均表现出很强的抗真菌活性。由银杏树中提取分离的活性物质制成的绿帝乳油对多种蔬菜、苹果、小麦、棉花均有显著的杀菌、抑菌作用, 是一种广谱农用杀菌剂。由原白头翁提取液加工成的制剂 910512-5 对小麦赤霉病有较好的防治效果和明显的增产作用^[32]。

在许多植物体内存在着大量具有抗菌活性的成分或经诱导后可具有抗病特性的化合物。如从白千层、樟脑罗勒和枸橼叶片中提取的精油, 可用于防止黄曲霉和杂色曲霉对几种贮藏产品造成的生物降解。采用麦芽糊精、羟甲基纤维素、丙二醇和山梨聚糖酯的乳状混合液处理芒果, 不仅可防止实蝇幼虫的扩散, 还可降低炭疽病的发病率。用向日葵油、竹柏油、霍霍巴蜡处理芒果, 可推迟果实成熟、降低果实失重率, 还可显著减少炭疽病的发生; 木薯淀粉和云苓碎粉可明显减轻炭疽病的严重程度; 研究还发现, 天然植物挥发性物质, 对已侵入寄主皮孔或潜伏侵染的病原菌具有较好的抑菌效果。

人们将通过植物资源进一步剖析、研究, 寻找作为设计与创制化学杀菌剂的先导化合物。植物将无疑成为新杀菌剂开发的宝贵资源和钥匙。

3 其它生物源杀菌剂

几丁质(chitin)、壳聚糖(chitosan)也可作为生物源杀菌剂。几丁质可提高某些生防菌的防效。如几丁质可提高生防制剂哈茨木霉防治腐霉菌和丝核菌的效果。在土壤中施用几丁质能减轻线虫病害^[33]。

壳聚糖在医学、食品、化工、环保等方面用途十分广泛, 在农业方面它可作为土壤改良剂防治土传病害, 用作种衣剂防治种传病害; 用于果蔬保鲜控制收获后病害; 还可作为植物生长调节剂、植物病害诱抗剂, 促进植物生长、诱导提高植物的广谱抗病性。法国已同意 Goemar 实验室将它的生物杀菌剂 laminarine (昆虫多糖, 商业名 lodus 40) 应用在小麦上^[34]。

海洋微藻对植物病原真菌有不同程度的抑制作用。田黎等^[35]认为, 海洋微藻具有促进植物生长和抑

制植物病原菌的作用,可作为开发生物源农药的新资源。

4 以微生物代谢产物为先导物合成新的杀菌剂

以微生物代谢产物为先导物合成的化学杀菌剂,也称为半合成杀菌剂。吡咯菌素(pyrrdnitrin)和嗜球果伞素(strobilurin)是此类合成杀菌剂的代表。前者源自 *Pseudomonas pyrrcinia*,紫外稳定性差,经化学修饰后得到极大改善。天然嗜球果伞素源自 *Strobilurus tenacellus*,由于稳定性问题难以制成标准杀菌剂,经过合理的直接化学合成,一系列重要的杀菌剂应运而生^[3]。

5 遗传工程杀菌剂

防病遗传工程菌较传统的杀菌剂优势明显,如杀菌谱更宽、毒力提高、抗紫外线、田间药效长、虫病兼治、生物防治效率高等。这种产品较传统的生物杀菌剂将具有更高的生防效率和更强的市场竞争力。

世界上第1个商品化的遗传工程杀菌剂商品名称 NOGALLTM,它是通过 K₈₄菌株的遗传改造,构建出比 K₈₄菌株更为安全可靠的工程菌 K₁₀₂₆,该菌通过田间试验和安全性评估,定名为 Nop11,已在澳大利亚、美国、日本等国登记销售。国内通过遗传操作技术,筛选出对小麦全蚀病菌离体拮抗作用提高2-3倍并有明显刺激作用的菌株 D₉₃,连续5a防效保持稳定,增产2成,定名为“荧光93”。此外,美国还通过遗传操作将丁香假单胞菌中的冰核基因部分切除,构建了完全不产生冰核的工程菌,作为生物防霜剂,以防止植物产生霜冻。美国还通过遗传操作,构建出生物诱抗剂,将这些基因工程菌制剂喷洒到作物表面,可以诱导作物对多种病害的抗性,从而达到防治病害的目的^[2]。

国外将 *Serratia marcescens* 几丁质酶基因导入荧光假单胞菌,其工程菌株可抑制立枯丝核菌生长,并使萝卜根腐病危害明显减轻。又有报道,将此基因导入有益真菌哈茨木霉,可显著提高哈茨木霉对土壤病原真菌的防治效果。另外,将几丁质酶基因克隆到作物中,制成转基因植物,使植物本身具有酶的活性。1991年,Brogie将蚕豆的几丁质酶基因与强启动子 CaMV35S连接,在烟草和芜菁中得到高效表达,获得的抗性植株显著抑制病原真菌——立枯丝核菌的生长^[33]。

邓晓东等^[36]将萝卜抗真菌蛋白基因 R_S-AFP₁₍₂₎插入大肠杆菌表达载体 pTrxFus 中并诱导表达,重组的 R_S-AFP₂ 抑菌效果较好。由于 R_S-AFP₁₍₂₎ 有较强的热稳定性和耐酸碱能力,故有极好的开发生物杀菌剂的潜力。

遗传工程及生物技术应用与线虫的生物防治也有广阔的前景,如已把昆虫病原菌 *Bacillus thuringiensis* 中的一个毒素基因转入根际细菌——荧光假单胞菌31中;又如通过紫外线等诱导出高效能的杀线虫剂菌株等^[29]。

6 展望

据估计,在未来的20a,谷物产量每年应增产1.5%方能满足不断增长的人口需要。为增加作物产量,在相当长的一段时间内,化学农药的使用将继续起决定作用。然而,以化学农药残留为主的食物安全问题已越来越受到人们的重视。从目前的技术水平和发展趋势来看,创制出“零”负作用的化学农药是不现实的。而在目前的生产实践中已有低毒、与环境兼容性好、低残留的植物生防制剂,只是其品种较少,应用范围较窄而已。

根据目前植物生防制剂存在的问题,未来植物生防制剂的研究应从拓宽抗病微生物菌株来源(如海洋微生物)、应用现代生物技术提高现有微生物杀菌剂菌种的性能,提高产量(如基因操作技术),改善微生物农药成本偏高、稳定性差的不足等方面加以考虑。

随着生防制剂的开发及生物技术的进步,生防效果大大提高,用生防制剂替代部分化学农药防治植物病害的目标将会很快实现。

参考文献:

- [1] PHILIP J. 生物农药的现状与发展趋势[J]. 农药科学与管理, 2002, 23(3): 29-34.
- [2] 涂玉琴. 生物农药的研究和应用进展[J]. 江西植保, 1998, 21(4): 32-35.
- [3] 赵继红, 李建中. 农用微生物杀菌剂研究进展[J]. 农药, 2003, 42(5): 6-8.
- [4] 杨润亚, 吴文君. 库斯塔克斯(Kurstakins)——一类自 *Bt* 中分离出的具杀菌活性的新型脂肽[J]. 世界农药, 2001, 23(4): 37-38.
- [5] 吴健胜, 梁晶丹, 王金生. 细菌素 Echin 防治作物真菌病害、细菌病害的研究[J]. 植物病理学报, 1999, 29(2): 104-109.
- [6] 马德钦, 王慧敏. 果树根癌病及其生物防治[J]. 中国果树, 1995, (2): 42-44.
- [7] 顾真荣, 马承铸, 韩长安. 枯草芽孢杆菌 G₅ 防治植病盆栽试验[J]. 上海农业学报, 2002, 18(1): 77-80.
- [8] PESTICIDE OUTLOOK GROUP. An effective biofungicide with novel modes of action[J]. *Pesticide Outlook*, 2002, 13

- (5) :193 - 194.
- [9] RICHARD J. Formulating new options[J]. **American Fruit Grower**, 2000,120(5) :11 - 14.
- [10] BRIAN S. Row recon III Disease management : Fire blight 's destructive path[J]. **American Fruit Grower**, 2001,121(3) : 11 - 16.
- [11] AGROW WORLD CROP PROTECTION NEWS GROUP. Agraquest 's Sonata nears US market[J]. **AGROW World Crop Protection News**,2003,(427) :22.
- [12] JETIYANON K, FOWLER W D, KLOEPPER J W. Broad-spectrum protection against several pathogens by PGPR mixtures under field conditions in Thailand[J]. **Plant Disease**, 2003,87(11) :1390 - 1394.
- [13] WANG S L, SHIH I L, WANG C H, et al. Production of antifungal compounds from chitin by *Bacillus subtilis*[J]. **Enzyme and Microbial Technology**, 2002, 31(3) : 321 - 328.
- [14] AGROW WORLD CROP PROTECTION NEWS GROUP. EU SCP backs Bio Agri biofungicide[J]. **Agrow World Crop Protection News**,2002,(393) :8.
- [15] ZHOU T, CHU C L, LIU W T, et al. Postharvest control of blue mold and gray mold on apples using isolates of *Pseudomonas syringae*[J]. **Canadian Journal of Plant Pathology**, 2001,23(3) :246 - 252.
- [16] JANISIEWICZ W J, JEFFERS S N. Efficacy of commercial formulation of two biofungicides for control of blue mold and gray mold of apples in cold storage[J]. **Crop Protection**,1997,16(7) :629 - 633.
- [17] SHACHNAI A, CHALUTZ E, DROBY S, et al. Commercial use of aspireTM for the control of post harvest decay of Citrus fruit in the packing houses[J]. **Proceedings of the International Society of Citriculture**, 1996,(2) : 1174 - 1177.
- [18] ELAD Y, KAPAT A. The role of *Trichoderma harzianum* protease in the biocontrol of *Botrytis cinerea*[J]. **European Journal of Plant Pathology**, 1999,105 :177 - 189.
- [19] QUARLES W. Microbial fungicides and fertilizers for turfgrass[J]. **IPM Practitioner**, 2000, 22(8) : 8 - 12.
- [20] CARON J, LAVERDIERE L, THIBODEAU P O, et al. Use of an indigenous strain of *Trichoderma harzianum* against five plant pathogens on greenhouse cucumber and tomato in Quebec Spanish[J]. **Phytoprotection**, 2002,83(2) :73 - 87.
- [21] 张兴. 试论无公害农药[J]. **中国农学通报**,1996,12(5) :6 - 9.
- [22] LISA H. Fungicide bombers[J]. **American Vegetable Grower**, 2001,49(1) :24 - 25.
- [23] CHASE A R. Myrothecium diseases of greenhouse ornamentals[J]. **Ornamental Outlook**, 2000,9(1) :76 - 78,82.
- [24] LEVENTE K. A review of fungal antagonists of powdery mildews and their potential as biocontrol agents[J]. **Pest Management Science**, 2003,59(4) :475 - 483.
- [25] PASINI C D, AQUILA F, BROFIGA G, et al. Recent experiences of control of rose powdery mildew[J]. **Culture Protection**, 2003,32(2) : 101 - 103.
- [26] ELGHAOUTH A, WILSON C L, WISNIEWSKI M. Control of postharvest decay of apple fruit with *Candida saitoana* and induction of defense responses[J]. **Phytopathology**, 2003,(93) :344 - 348.
- [27] ROSALIE B. Fresh fruit gets a protective new coat[J]. **Agricultural Research**, 2002,50(7) :12 - 13.
- [28] 汪来发,杨宝君,李传道. 根结线虫生物防治研究进展[J]. **南京林业大学学报**,2002,26(1) :64 - 68.
- [29] 高仁恒,刘杏忠,裴维蕃. 根结线虫的生物防治简介[J]. **贵州农学院学报**,1996,15(2) :51 - 55.
- [30] 王志学,丁玉英,覃秉益. 用黄瓜花叶病毒卫星 RNA 生防制剂大面积防治麦茬辣椒病毒病[J]. **中国病毒学**,1994,9(1) :54 - 59.
- [31] 沈寅初,张一宾. 生物农药[M]. 北京 :化学工业出版社,2000.36 - 37.
- [32] 沈建国,翟梅枝,林奇英,等. 我国植物源农药研究进展[J]. **福建农林大学学报(自然科学版)**,2002,31(1) :26 - 31.
- [33] 赵蕾,汪天虹. 几丁质、壳聚糖在植物保护中的研究与应用进展[J]. **植物保护**,1999,25(1) :43 - 44.
- [34] AGROW WORLD CROP PROTECTION NEWS GROUP. Goemar 's lodus makes EU debut[J]. **AGROW World Crop Protection News**, 2002,(412) :21.
- [35] 田黎,林学政,李先友. 海洋微藻对蔬菜生长及病原真菌的活性初探[J]. **中国海洋药物**,1999,(4) :40 - 43.
- [36] 邓晓东,费小雯,胡新文. 萝卜抗真菌蛋白基因 Rs-AFPs 在大肠杆菌中的表达及其转化番茄的研究[J]. **园艺学报**,2001,28(4) :361 - 363.

(责任编辑:陈幼玉)