

文章编号 :1003-8701(2012)01-0049-05

真菌杀虫剂的研究现状与展望

解 娇^{1,2}, 刘 霞¹, 张正坤², 徐文静², 李启云^{2*}

(1. 吉林农业大学, 长春 130118; 2. 吉林省农业科学院, 长春 130033)

摘 要: 笔者对近年来世界范围内真菌杀虫剂的应用、剂型研制、基因工程育种以及生态学研究等方面的发展进行了综述, 分析了未来真菌杀虫剂潜在的发展方向, 对充分利用生防真菌进行害虫治理具有积极的理论意义。

关键词: 真菌杀虫剂; 剂型; 基因工程; 田间生态

中图分类号: S482.3

文献标识码: A

Current Status and Prospect of Researches on Mycoinsecticides

XIE Jiao^{1,2}, LIU Xia¹, ZHANG Zheng-kun², XU Wen-jing², LI Qi-yun²

(1. Jilin Agricultural University, Changchun 130118; 2. Academy of Agricultural Sciences of Jilin Province, Changchun 130033, China)

Abstract: The worldwide application of mycoinsecticide and studies on its formulations, the gene engineered breeding and the development of ecology were reviewed in the paper. The potential development directions of mycoinsecticide in future were also analyzed. It is of significance for theoretical research and fully application of the mycoinsecticide on pest bio-control.

Keywords: Mycoinsecticides; Formulations; Gene engineering; Field ecology

在农业及林业害虫防治过程中, 由于化学农药的长期使用, 导致害虫产生抗药性, 防治成本不断提高, 也严重影响了环境安全与生物多样性。随着绿色可持续农业的快速发展, 化学农药防治的安全性已成为限制农业害虫防治的关键因素, 而真菌杀虫剂防治以诸多优点逐渐成为害虫防治中的主要手段。真菌杀虫剂具有寄主范围广、对环境安全、防治害虫不产生抗药性等优点, 使其在研究和应用中受到广泛关注^[1], 从农药的发展方向来看, 真菌杀虫剂具有广阔的发展前景。本文通过对害虫生防真菌多功能剂型研制、分子致病机理、生态安全等方面的研究现状进行综述, 并对未来发展趋势进行了分析^[2]。

1 真菌杀虫剂在国内外的应用情况

真菌杀虫剂是指寄生范围广、害虫不易产生抗性、对环境友好的昆虫病原真菌制剂。1960年以来, 发展极其迅速, 其中真菌杀虫剂和真菌杀螨剂已迅速发展至世界范围^[3]。早在20世纪70年代初期, 法国就用布氏白僵菌芽生孢子制剂成功的对森林西方五月鳃金龟(*Melolontha melolontha*)进行了防治^[4]。目前, 主要研究种类有: 白僵菌(*Beauveria bassiana*)、绿僵菌(*Metarrhizium anisopliae*)、拟青霉(*Paecilomyces varioti*)、座壳孢菌(*Aschersonia spp.*)和轮枝菌(*Lecanicillium lecanii*)。迄今为止, 世界范围内所发现的由致病真菌引起各类昆虫疾病约占总量的60%, 其中白僵菌引起的占21%^[5]。最近哥伦比亚通过白僵菌产品防治咖啡果小蠹(*Hypothenemus hampei*)防效超过92.5%^[6]。在非洲、澳大利亚和巴西利用绿僵菌生物杀虫剂处理蝗虫(*Oxya chinensis*), 14~20 d内防治效果在70%~90%^[7]。Minshad Ali Ansari于2011年首次提出将昆虫病原真菌作为库蠓(*Culicoides Biting Midge*)成虫生物防治剂。通过在蠓常常休息的地方, 例如粪肥、落叶层、家畜表面应用干的分生孢子, 随后分生

收稿日期: 2011-04-14

基金项目: 吉林省科技厅重点项目(20080249)

作者简介: 解 娇(1984-)女, 硕士研究生, 主要从事白僵菌剂型研究。

通讯作者: 李启云, 男, 博士, 研究员, E-mail: qyli@cjaas.com

孢子在雌雄间传播导致在蠓中由真菌引起死亡率增加,因而降低了其传播的流行病的发生率^[8]。研究及应用昆虫真菌相对比较深入而广泛的国家有美国、前苏联、法国、中国、加拿大和日本等^[9-10]。其中尤以白僵菌为最被广泛应用的农林害虫生防真菌,对森林害虫的防治尤为突出,是国内外生物防治研究的重点。我国尽管相对研究的比较晚,但是应用范围非常广,自20世纪70年代以来我国应用白僵菌防治农林害虫的规模一直居世界前列^[11-12]。我国20世纪50年代开始白僵菌的研究和应用,多年来,国内应用白僵菌对近40种农林害虫进行了有效防治,主要包括松毛虫(*Dendrolimus kikuchii* Matsumura)、玉米螟(*Pyrausta nubilalis*)、蛴螬(*Scarabaeoidea*)、茶小绿叶蝉(*Empoasca pirusuga* Matsumura)、桃小食心虫(*Carposina nipponensis*)等。应用球孢白僵菌防治松毛虫、玉米螟是世界上杀虫真菌应用面积最大、最为成功的事例之一,目前仍保持50万hm²/年,应用面积最高年份达134万hm²。我国多年来对白僵菌应用情况见表1^[4]。

表1 我国白僵菌应用情况

| 白僵菌防治对象 | 防治效果 |
|---|-------------|
| 玉米螟 (<i>Ostrinia furnacalis</i>) | 70%~95% |
| 松毛虫(<i>Dendrolimus Punctatus</i>) | 70%~90% |
| 蛴螬(<i>Holotrichia diomphalia</i> H.morosa) | 60%~80% |
| 茶小绿叶蝉(<i>Empoasca formosana</i>) | 70%~85% |
| 茶小黑象甲(<i>Curculio</i> sp.) | 50%~70% |
| 茶梢蛾(<i>Parametriates</i> these) | 75% |
| 茶小卷叶蛾(<i>Adoxophyes privatana</i>) | 80%~85% |
| 蝗虫(<i>Oxya chinesis</i>) | 70%~85% |
| 韭蛆(<i>Bradysia odoriphaga</i>) | 60%~70% |
| 水稻飞虱(<i>Nilaparvata lugens</i>) | 70%~80% |
| 桃小食心虫(<i>Carposina nipponensis</i>) | 80%~90% |
| 二十八星瓢虫(<i>Epilachan vigintioctma</i>) | 90%以上 |
| 黄地老虎(<i>Euxoa segetum</i>) | 73.9% |
| 地老虎(<i>Agrotis</i> sp.) | 67%~81% |
| 水稻叶蝉(<i>Nephotettix bipunctatus</i>) | 50%~80% |
| 木麻黄毒蛾(<i>Lymantria xyliina</i>) | 70%~90% |
| 樟荣叶甲(<i>Alysa cinnamomi</i>) | 70%~90% |
| 甘薯象甲(<i>Cylas formicarius</i>) | 90% |
| 大豆食心虫(<i>Leguminivora glycinivorella</i>) | 50%~70% |
| 白菜地蛆(<i>Delia floralis</i>) | 80%~88% |
| 家蝇(<i>Musca domestica</i>) | 60%~100% |
| 三化螟(<i>Tryporyza incertulas</i>) | 78%~80% |
| 荔枝蜡象(<i>Tessaratomia papillosa</i>) | 80% |
| 糜子地老虎(<i>Agrotis</i> sp.) | 66%~90% |
| 黑翅白蚁(<i>Odontoermes fomasanus</i>) | 80%~100% |
| 甜菜象甲(<i>Bothynoderes penctiventris</i>) | 75% |
| 榛象虫(<i>Curoculio nucum</i>) | 90% |
| 格式栲栗实象甲(<i>Curculio davidi</i>) | 24%~70% |
| 楠木蛀梢象甲(<i>Alcidodes</i> sp.) | 60%~80% |
| 柳杉茸毒蛾(<i>Dasychira argentata</i>) | 60%~85% |
| 榆黄叶甲(<i>Pyrhalta aenescens</i>) | 70%~80% |
| 榆天蛾(<i>Ceratonia amynor</i>) | 66%~100% |
| 榆干隐缘象甲(<i>Cryptorrhynchus lapathi</i>) | 72%~89% |
| 柳编蝠蛾(<i>Phassus excrescens</i>) | 73%~83% |
| 三叶草夜蛾(<i>Scotogramma Trifo Lii</i> Rottenberg) | 68.2%~96.3% |
| 白杨透翅蛾(<i>Paranthrene tabaniformis</i>) | 80%~90% |

2 真菌杀虫剂剂型研究

自1960年以来真菌杀虫剂和真菌杀螨剂已在世界范围内广泛研究与应用。其中白僵菌、绿僵菌、玫烟色棒束孢(*Isaria fumosorosea*)和布氏白僵菌(*Beauveria brongniartii*)生防制剂产品中大约75%是最近注册的。被广泛认可的常见的不同活性成分、技术工艺或者剂型,包括浓缩剂工艺(真菌定植基板)(26.3%),可湿性粉剂(20.5%)和油分散剂(15.2%),在所有产品中大约43%的产品是南美公司所开发^[3]。我国关于真菌杀虫剂剂型的开发注册产品很少,尤其是球孢白僵菌,一直以来,白僵菌新剂型开发就是难点^[13-14],主要因为:(1)白僵菌是活体微生物发挥药效,研制剂型的过程中很容易导致菌种失活,致使研制出的新剂型药效低,没有推广价值;(2)开发出的白僵菌新剂型一直以粉剂为主,施用劳动效率低,急需开发出药效高、利于施用的新剂型;(3)即使开发出有效的剂型,剂型保存和田间使用方法难度大也限制了推广使用。在2001年发表的对蝗虫和草蛉的防治中提及非洲、澳大利亚和巴西绿僵菌油剂的发展打开环境安全防治一个新的契机^[7]。迄今为止,世界范围内先后有14个国家登记注册了真菌杀虫剂产品140余种。在这些注册的产品中,至少包括11种昆虫病原真菌制剂,防治的主要害虫大约30种,并且很多真菌杀虫剂只针对一种害虫的防治^[1]。

在剂型研制中,乳油是传统农药剂型的代表,一些发达国家乳油约占整个农药剂型的20%~30%。而在我国,乳油所占比例更高,约为50%以上。目前农药加工制剂的基本发展方向是以水替代现有制剂中使用的有机溶剂,以降低毒性,减轻药害和环境污染,使之变成非危险品^[15];因此,水乳剂、悬浮剂农药类型是农药剂型的发展趋势。现在注册的真菌杀虫剂剂型主要集中在原粉或粉剂、可湿性粉剂、乳剂、油剂、微胶囊剂、混合剂、干菌丝、无纺布菌条几种剂型上。其中无纺布菌条是日本发明的一种新型真菌杀虫剂剂型^[1]。由于人们对杀虫剂的要求不断提高,单一作用的杀虫剂已逐渐满足不了人们的需求,所以开发多功能杀虫剂是重要的发展趋势。从国内外真菌杀虫剂开发情况来看,真菌杀虫剂具有很大的潜力,但是现如今我国所开发出的真菌杀虫剂剂型种类相对少,仍需要不断克服困难,进行真菌杀虫剂新剂型的开发与研究^[1]。

3 真菌杀虫剂基因工程研究

杀虫真菌的来源主要是通过田间选育高致病性菌株,但由于该筛选方法周期长,成本高,而选育的菌株随着使用时间的增长会出现退化现象。随着现代分子生物学方法和微生物基因工程技术日趋成熟,国内外对真菌杀虫剂的研究逐渐的与基因工程相结合,通过分子生物学手段筛选增强毒力和光谱性相关基因,利用基因工程技术进行杀虫真菌的菌种改良。大量的毒力相关基因发掘为杀虫真菌基因工程育种提供了材料。Peter W. Inglis 等人将粗糙脉孢菌(*Neurospora crassa*)中-微管蛋白突变基因通过质粒 pBT6 转到昆虫病原真菌玫烟色拟青霉(*Paecilomyces fumosoroseus*)和青霉菌(*Penicillium*)中,使这两种真菌能够抵抗杀虫剂苯菌灵^[16]。Rajasekhar Pinnamaneni 等人对白僵菌几丁酶基因 *Bbchit1* 进行克隆及其表达研究,对白僵菌致病机理探究具有重要意义^[17]。谢雪琴和冯明光等人对一种新的白僵菌 Cu/Zn 超氧化物歧化酶及其两个无分子伴侣参与的对抗氧化活性至关重要的定点突变的突变体进行研究,在大肠埃希菌(*Escherichia coli*)中成功表达出具有高活性的 Cu/Zn 超氧化物歧化酶^[18]。王正亮等人对白僵菌中一种新型甘露醇-1-磷酸盐脱氢酶(*BbMPD*)基因进行克隆和催化特征研究,揭示了白僵菌中甘露醇的合成与 *BbMPD* 基因有关^[19]。

昆虫病原真菌基因工程育种使不同生态系统中不同致病真菌能够克服寄主的抗性,从而提高了真菌菌株的使用效率^[20]。吕丁丁等人将昆虫蝎子毒素 AAIT 和昆虫表皮降解蛋白酶 PR1A 基因导入白僵菌受体菌株,研究结果表明当两种基因一起表达时,AAIT 可能被蛋白酶 PR1A 降解,从而提高了白僵菌的杀虫效果^[21]。方卫国等人通过遗传转化对蛋白激酶 A 进行研究,发现蛋白激酶 A 与昆虫病原真菌绿僵菌的毒力有关^[22]。王成树等人发现了一种能够使绿僵菌打破昆虫免疫系统的胶体保护层的基因 *Mc11*,该基因编码一个含三个结构域的蛋白,该蛋白 N-末端是一个由 14 个亲水性半胱氨酸残基组成,中间区是含有与胶质区域有相关特性的(GXY)所组成,C 末端是一个甘油磷酸肌醇细胞壁的结合位点。因为 *Mc11* 能掩盖例如 β -葡聚糖细胞壁的抗原结构组织和它带有亲水性负电荷特点,所以不能引起血细胞注意,因而使它具有作为一个抗黏着剂保护层的功能,从而提高了绿僵菌的毒力^[23]。

4 生态学研究

在陆生和水生生境中,真菌和昆虫是紧密相连的,除了致病与寄主的关系,更多的是真菌孢子的传播及互作^[24]。虽然关于使用昆虫病原真菌防治害虫的机理及互作研究已有 100 年以上,但它们在田间的有效使用及增强其持效作用还远未研究透彻。这些真菌在环境中的生态作用没有被充分了解,限制着我们对病虫害进行有效的治理。Fernando E. VEGA 等人回顾了最近发现的许多昆虫病原真菌所扮演的角色,提出新的研究策略,即交替使用这些致病真菌进行防治^[25]。Raymond J 和 St. Leger 在田间利用绿色荧光蛋白基因作为标记,发现靶标昆虫和病原体大部分相互作用的位置是寄主植物根际,意味着植物根际在将来可以被考虑作为筛选真菌菌株的载体,同时也提高了利用根际微生物进行害虫防治的可能,增加了利用昆虫病原真菌对农作物进行保护的重要的新方法^[26]。Denny J. Bruck 在 2010 年的研究中也指出土壤根际分泌液的释放影响了土壤微生物,可能提供有利昆虫病原真菌生长的条件,得出昆虫病原真菌在根际中侵染和传播将有助于对取食根部的害虫进行微生物防控策略^[27]。

随着分子生物学技术不断的发展及其在各领域中的广泛应用,利用分子生物学技术来解决生态学中的问题,又打开一个截然不同的学科交叉研究的新领域—分子生态学。在昆虫病原真菌生态学的了解上仍然有很多未解决的问题,包括种群的特点和基因型的关系以及生境与寄主病原体的关系,利用分子生态学手段就能提供实质性数据来支持生态研究,并深刻地理解这个系统^[28]。例如目前利用多种 DNA 分子标记方法来进行对虫生真菌遗传多样性的研究,通过分子标记可以对昆虫病原真菌的发育、种内分型、个体亲缘关系、种群的遗传转化、种群结构、基因型关系、引种以及基因工程菌株释放后的种群动态进行监测和风险评估等多方面的研究^[29],应用分子生态学的方法将促进和加速昆虫病原真菌生态学新领域的研究^[28]。

昆虫微生物病原体作为昆虫生防制剂具有广泛的应用前景,但是微生物制剂对非靶标昆虫的作用很少被考虑^[30],其对生态的安全性也是生态学领域研究中的重点内容。昆虫病原真菌作为生防制剂在环境传播中具有潜在的毒力和致病性,在以往 30~40 年间许多生物学杂志已发表关于

其环境、毒力和其他安全方面的研究成果^[31]。根据欧盟立法要求,关于他们注册产品的残留需要进行风险评估,据现有真菌以及一些应用生防制剂的残留数据进行统计(数据局限于商业种类),发现绿僵菌、白僵菌自然分布相对比较低,许多因子比如水质、土壤、生物、气候和培养因素都是影响其残留量的因素^[32]。在应用生防制剂时应注意以下几方面的安全评价:(1)鉴定;(2)生物特性(生活史、自然分布和地理分布、寄主范围、传播方式、代谢物/毒力的产品、环境因子影响);(3)分析残余量;(4)环境中的行为(空气、水、土壤中的传播和宿存);(5)对非靶标生物的影响(非靶标微生物群、植物、土壤生物、水生生物、捕食者、寄生生物(寄生蜂)、蜜蜂、蚯蚓和非靶标节肢动物);(6)对脊椎动物的影响(鱼类、两栖动物、爬行动物和鸟类);(7)对哺乳动物和人类健康的影响(过敏症、致病性/毒性)。通过这些安全评价认清生防真菌对人类和环境的影响,来降低风险^[33]。

5 展 望

从世界生物防治的趋势可以看出,昆虫病原真菌制剂的开发与应用具有巨大的潜力,是未来害虫防治的一个重要手段。对于未来生防真菌的发展方向,首先是对其环保剂型研究基础上开发多功能杀虫剂,研制的新剂型不但具有多功能的作用效果,并且能够防治不同种类害虫;在研究生防真菌剂型的过程中,一定要注意了解孢子的特点,保护真菌孢子的活力。将昆虫病原真菌基因组研究与基因工程相结合,可以了解真菌的侵染基因特点和功能。利用一些病原基因和功能基因来改变真菌菌株原有特性,增加菌株的功能,提高昆虫病原真菌菌株的毒力以及真菌菌株的使用效率。也可以将所需抗性基因转入到真菌孢子中,使孢子提高活性,得到的优势菌株来进行剂型研制,研制出的新剂型也同样具有多种功效。在生态学角度昆虫病原真菌与基因工程结合,可以对菌株进行分子标记,了解真菌菌株在环境中的生活史以及作用特点。在高效使用昆虫病原真菌的同时,也要关注对其安全评价的研究。包括对非靶标昆虫的影响以及真菌在使用时对施用的不同部位种群密度的调查,了解残余量。认清真菌的生态作用以及自身特点,利于充分使用昆虫病原真菌,推动生防真菌的发展。

参考文献:

- [1] 王 滨,李增智,姚 剑.真菌杀虫剂产业的发展现状·趋势与对策[J].安徽农业科学,2010,38(12):6269-6270.
- [2] 王 滨,樊美珍,李增智.真菌杀虫剂剂型的研究与应用[J].安徽农业科学,2003,30(2):206-209.
- [3] Marcos R. de Faria, Stephen P. Wraight. Mycoinsecticides and Mycoacaricides: A comprehensive list with worldwide coverage and international classification of formulation types [J]. Biological Control, 2007(43):237-256.
- [4] 刘智辉.球孢白僵菌对亚洲玉米螟毒力检测的研究 [D].武汉:华中农业大学,2005.
- [5] 徐庆丰.我国白僵菌研究的进展 [A].全国生物防治学术讨论会论文集[C].北京:1991:26-28.
- [6] Francisco J,Posada-Fló rez. Production of Beauveria bassiana fungal spores on rice to control the coffee berry borer, Hypothenemus hampei, in Colombia[J]. Journal of Insect Science,2008(8):1536-2442.
- [7] C. J. Lomer, R. P. Bateman ,D. L. Johnson, et al .biological control of locusts and grasshoppers[J]. Annu. Rev. Entomol, 2001(46):667-702.
- [8] Minshad Ali Ansari, Edward C. Pope, Simon Carpenter, et al . Entomopathogenic Fungus as a Biological Control for an Important Vector of Livestock Disease: The Culicoides Biting Midge[J]. PLoS ONE, 2011, 6(1): 1-8.
- [9] 李运帷,吕昌仁,陶恒才.白僵菌的生产和应用[M].北京:中国林业出版社,1981.
- [10] 陈昌洁.松毛虫综合管理[M].北京:中国林业出版社,1990.
- [11] 刘 健,陈洪章,李佐虎.白僵菌杀虫剂生产工艺研究状况与展望[J].中国生物防治,2003,19(2):86-90.
- [12] 付志坚,陈建新,付丽君.白僵菌对昆虫的致病机理研究综述[J].武夷科学,2000,16(1):105-109.
- [13] ST LEGER R J,SCREEN S. Prospects for Strain Im2p rovement of Fungal Pathogens of Insects and Weeds [M]. ST LEGER RJIFungal as Biocontrol Agents. London: CAB I Publish House, 2001, 219-237.
- [14] BLAKE R ,BEXTUN E ,HARLAN G et al . Field Applications ofBait - formulated Beauveria Bassiana Alg2 inate pellets for Biological Control of the Red Imported Fire Ant [J]. Biol Control,2002,31(4):746-752.
- [15] 姜 磊,周惠中.农药水乳剂[J].农药,2002,43(9):43-45.
- [16] Peter W. Inglis, Myrian S. Tigano , M. Clé ria Valadares- Ingl. Transformation of the entomopathogenic fungi, Paecilomyces fumosoroseus and Paecilomyces lilacinus (deuteromycotina:hyphomycetes) to benomyl resistance [J]. Genetics and Molecular Biology,1999,22(1):119-123.
- [17] Rajasekhar Pinnamaneni, P. Kalidas K.R.S. Sambasiva Rao. Cloning and Expression of Bbchit1 gene of Beauveria bassiana [J]. The Open Entomology Journal, 2010(4):30-35.
- [18] Xue- Qin Xie, Sheng- Hua Ying, Ming- Guang Feng. Characterization of a new Cu/Zn- superoxide dismutase from Beauveria bassiana and two site- directed mutations crucial to its antioxidation activity without chaperon [J].Enzyme and Microbial Technology, 2010(46):217-222.
- [19] Zheng- Liang Wang, Sheng- Hua Ying, Ming- Guang Feng. Gene cloning and catalysis features of a new manni-

- tol-1-phosphate dehydrogenase (BbMPD) from *Beauveria bassiana*[J]. *Carbohydrate Research*, 2010(345) :50- 54 .
- [20] Raymond J. St. Leger, Chengshu Wang. Genetic engineering of fungal biocontrol agents to achieve greater efficacy against insect pests [J]. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2010 (85) : 901- 907 .
- [21] Dingding Lu, Monica Pava- Ripoll, Zengzhi Li et al . Insecticidal evaluation of *Beauveria bassiana* engineered to express a scorpion neurotoxin and a cuticle degrading protease [J]. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2008(81) :515- 522 .
- [22] Weiguo Fang, Monica Pava-ripoll, Sibao Wang et al . Protein kinase A regulates production of virulence determinants by the entomopathogenic fungus, *Metarhizium anisopliae*[J]. *Fungal Genetics and Biology*, 2009(46) :277- 285 .
- [23] Chengshu Wang, Raymond J. St. Leger. A collagenous protective coat enables *Metarhizium anisopliae* to evade insect immune responses[J]. *PNAS*, 2006, 103(17): 6647- 6652 .
- [24] Meredith Blackwell. Fungal evolution and taxonomy[J]. *BioControl*, 2010(55) :7- 16 .
- [25] Fernando E. VEGA, Mark S. GOETTEL, Meredith BLACKWELL et al. Fungal entomopathogens: new insights on their ecology[J]. *fungal ecology*, 2009(2) :149- 159 .
- [26] Raymond J. St. Leger. Studies on adaptations of *Metarhizium anisopliae* to life in the soil [J]. *Journal of Invertebrate Pathology*, 2008(98) :271- 276 .
- [27] Denny J. Bruck. Fungal entomopathogens in the rhizosphere [J]. *BioControl*, 2010(55) :103- 112.
- [28] Ju` rg Enkerli, Franco Widmer. Molecular ecology of fungal entomopathogens: molecular genetic tools and their applications in population and fate studies[J]. *BioControl*,2010(55) : 17- 37 .
- [29] 王四宝 . 白僵菌与引诱剂联合控制松褐天牛及白僵菌分子生态学研究[D]. 北京 :中国科学院 ,2006 .
- [30] HELENE. ROY, ROSEMARYS. HAILS, HELEN HESKETH et al . Beyond biological control: non- pest insects and their pathogens in a changing world [J] . *Insect Conservation and Diversity*, 2009(2) :65- 72 .
- [31] Gisbert Zimmermann. Review on safety of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Beauveria brongniartii*[J]. *Biocontrol Science and Technology*, 2007, 17 (5/6): 553- 596 .
- [32] J. W. A. Scheepmaker, T. M. Butt. Natural and released inoculum levels of entomopathogenic fungal biocontrol agents in soil in relation to risk assessment and in accordance with EU regulations[J]. *Biocontrol Science and Technology*, 2010, 20(5):503- 552 .
- [33] Gisbert Zimmermann. Review on safety of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* [J]. *Biocontrol Science and Technology*,2007,17(9):879- 920 .

欢迎订阅 2012 年《农业科技通讯》

农业部主管 中国农业科学院主办 全国农业核心期刊。刊号 :ISSN1000- 6400 CN11- 2395/S 邮发代号 2- 602 ,月刊 ,每月 17 日出版 ,单价 :10.00 元 ,全年 :120.00 元 ,全国各地邮局及本刊编辑部均可订阅。展示优良品种、荟萃科技成果、聚合实用技术 ,本刊及时报道种植业最新研究成果 ,尤其是种子方面的新品种、新技术。侧重大田 ,兼顾园艺 ,是种植业者首选刊物。主要栏目 :人物风采、专题论述、工作研究、试验研究、粮食作物、经济作物、蔬菜、果树、西甜瓜、林木花卉、良种荟萃及市场信息等。内容丰富、翔实、信息量大、技术实用。

地址 :100081 北京中关村南大街 12 号《农业科技通讯》电话 :010- 82109664 82109665 82106276 传真 :010- 82109664
E- mail::tongxuna@yahoo.com.cn