

文章编号: 1674-7054(2012)03-0287-06

甘蔗螟虫生物防治策略展望

黄启星 张雨良 伍苏然 王俊刚 郭安平

(中国热带农业科学院 热带生物技术研究所/农业部热带作物生物学与遗传资源利用重点实验室, 海南 海口 571101)

摘要: 综述了甘蔗螟虫生物防治的主要策略及研究进展,并探讨了运用RNA干扰技术防治甘蔗螟虫的新策略,为通过转基因技术创制抗甘蔗螟虫新种质提供理论参考。

关键词: 甘蔗螟虫; 生物防治; RNAi; 蜕皮调节转录因子

中图分类号: S 667.9

文献标志码: A

甘蔗为禾本科(Graminaceae)甘蔗属(*Saccharum* L.)植物,是重要的热带、亚热带经济作物,许多国家和地区将其作为主要的糖料来源。甘蔗是异花授粉植物,同时也属于高光效的植物,因此,其种植品种的基因型高度杂合,在理想的条件下,甘蔗含糖量可达其干重的60%^[1]。作为糖料作物,甘蔗在世界经济发展中起着愈来愈重要的作用,占世界食糖总产量的60%^[2],在我国食糖来源中所占比例约90%^[3]。甘蔗螟虫是甘蔗害虫中较普遍,且极为严重的一类钻蛀性害虫,主要包括甘蔗二点螟(*Chilo infuscatellus*),甘蔗条螟(*Chilo sacchariphagus*),甘蔗大螟(*Sesamia inferens*),甘蔗黄螟(*Tetramoera schistaceana*),红尾白螟(*Tryporyza auriflua*)等。在甘蔗农业生产过程中,这几种螟虫通常混合发生,尤其前3种螟虫为害更严重^[4]。在甘蔗生长苗期,甘蔗螟虫幼虫钻入甘蔗根的生长点部位,造成枯心苗,这一时期以甘蔗二点螟为害最严重,在甘蔗生长中后期则以为害蔗茎为主,破坏茎内组织,降低糖分,影响品质,并很容易造成风折或枯梢,最后使甘蔗产量降低约20%^[5]。此外,虫害伤口处还易诱发赤腐病等真菌病害。目前使用化学防治药剂,尤其是颗粒剂杀虫双等来防治甘蔗螟虫,虽然对甘蔗苗期螟害起到了一定控制作用,但由于甘蔗生长周期长,螟虫发生种类多,为害时间长,化学药剂很难控制甘蔗整个生长周期的虫害,尤其是甘蔗生长中后期,甘蔗成簇生长,茂密成林,化学防治较难实施。同时,长期使用化学药剂,极易导致害虫产生抗药性,破坏生态平衡,污染环境,带来较大的负效应。因此,研究甘蔗螟虫对农药的抗药性及寻找有效的抗病基因和途径已成为当前害虫生物防治及转基因研究的热点^[6]。笔者对目前防治甘蔗螟虫的主要策略进行了综述,阐述利用RNA干扰(RNAi)技术防治甘蔗螟虫的新途径,旨在为防治甘蔗螟虫病害提供参考。

1 生物防治甘蔗螟虫的主要策略

害虫生物防治主要包括寄生性天敌灭杀、捕食性天敌灭杀、昆虫病原微生物灭杀、性诱剂诱捕、转基因抗虫植物等途径。20世纪中期开始,就有利用膜翅目的寄生蜂和双翅目的寄生蝇等寄生性天敌防治甘蔗螟虫的报道^[7]。目前,研究与应用比较广泛的寄生性天敌主要有:赤眼蜂(*Trichogramma* sp.)、螟黄足盘绒茧蜂(*Cotesia flaviipes*)、螟黑卵蜂(*Telenomus* sp.)、古巴蝇(*Lixophaga diatraeae*)、大螟拟丛毛寄蝇(*Sturmiopsis inferens*)等。美国的FLANDERS于1929年,首次用麦蛾卵来繁殖赤眼蜂成功防治甘蔗螟虫。

收稿日期: 2012-08-26

基金项目: 转基因新品种培育重大专项(008ZX08012-04); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(IT-BB110602); 海南省自然科学基金(312053)项目

作者简介: 黄启星(1981-),男,广东南雄人,中国热带农业科学院热带生物技术研究所助理研究员,博士。

通信作者: 郭安平,博士生导师,研究方向: 农业生物技术、生物安全。E-mail: gap211@126.com

20 世纪 50 年代,利用天敌防治甘蔗螟虫技术日趋成熟。中国、印度、菲律宾、巴基斯坦等国家利用赤眼蜂防治甘蔗螟虫的试验均取得一定的成功,其防治效果与化学防治相当^[8-13]。从国内外研究概况来看,利用赤眼蜂无疑是甘蔗螟虫生物防治中“里程碑”里迈出的一大步。然而,赤眼蜂防治甘蔗螟虫受环境等影响较大,对放蜂时间及天气状况要求很严格,加之赤眼蜂的饲养、释放技术和市场化生产尚有待完善,因此,制约了该项技术的推广。

利用古巴蝇防治甘蔗螟虫是全世界范围内研究较多的又一生物防治策略。古巴蝇是甘蔗螟虫的优势天敌,通过螟虫分泌的外激素来识别寄主,主要寄生于甘蔗螟虫幼虫。在古巴,甘蔗种植大户每年都释放古巴蝇到甘蔗田地,可以显著降低螟虫的危害率^[14]。印度也曾引进古巴蝇进行甘蔗螟虫生物防治,但没有取得预期的效果^[11]。尽管古巴蝇在甘蔗螟虫生物防治中起到了很大作用,然而,由于规模化饲养成本较大、气候等环境条件严重影响种群的建立以及繁衍、防治效果不稳定等因素,一定程度上制约古巴蝇防治甘蔗螟虫的发展及推广^[15]。

甘蔗螟虫的捕食性天敌主要包括蜘蛛、蚂蚁和鸟类等,但由于化学杀虫剂长期大量使用,使捕食性天敌种类和数量一直处于较低水平。国内外关于捕食性天敌研究不多。近年来,澳大利亚学者在实验室条件下发现 3 种捕食性蜘蛛对甘蔗二点螟防治非常有效^[16]。

利用昆虫病原微生物防治甘蔗螟虫是近年来发展起来的一项生物防治技术。目前,研究较多的是颗粒体病毒。1992 年印度卡纳塔克邦一项数据结果表明:颗粒体病毒能够有效防治甘蔗螟虫卵及幼虫^[17]。另外,一些应用比较多的昆虫病原微生物是白僵菌(*Beauveria bassiana*)和绿僵菌(*Metarhizium anisopliae*)等。ASHOK 等研究几种病原真菌对甘蔗螟虫的致病性,结果显示:白僵菌和绿僵菌对甘蔗二点螟、大螟幼虫均具有很高的致病性^[18]。关于利用性诱剂防治甘蔗螟虫,国外于 20 世纪 60 年代就有研究,我国广州甘蔗糖业研究所 1970 年开始性诱剂的研制,经过 10 年的努力,成功合成甘蔗二点螟、条螟、大螟、黄螟等几种性引诱剂,并在甘蔗螟虫的预测预报及防治上得到了广泛的应用,特别是应用性诱剂迷向法防治甘蔗条螟技术已在很多蔗区得到推广^[19-20]。

虽然甘蔗螟虫的生物防治技术研究取得了一些进展,但因为各种原因一直很难得到大面积推广。随着生物技术的快速发展,通过转基因的方法改造植物,提高植物自身的抗虫害能力已成为农作物育种的主流^[21]。20 世纪 90 年代,科学家们利用转基因手段使农作物表达 Bt 蛋白,提高农作物对农业害虫的生物防治在全球被广泛使用^[22]。然而,最近的研究发现,已有少数昆虫对 Bt 蛋白产生了抗性^[23]。有些昆虫的中肠上皮细胞中丢失了一类能与 Bt 蛋白结合的受体而使昆虫产生了抗性^[24]。因此,采用新的策略研究和开发新的转基因抗虫作物等途径,越来越多地应用到对农业害虫的生物防治上来^[25-26]。RNAi 技术已发展成为控制虫害、提高作物品质的新方法。与传统转基因手段相比,这一技术更具有选择性和安全性^[27]。

2 利用 RNAi 技术调控蜕皮调节转录因子是防治甘蔗螟虫的新途径

RNAi 是一种新发现的基因调控途径。人们从植物的基因表达共抑制和真菌的抑菌作用现象发现了 RNAi 这一古老的生物体基因调控途径^[28-29]。早在 1998 年, FIRE 等人发现双链 RNA(dsRNA)可导致靶基因的表达抑制^[30]。2001 年, RNAi 已被发展成为一种成熟的技术被广泛应用于靶基因的功能研究^[31]。近年来,通过构建植物介导的 RNAi 表达载体来调控螟虫或其他害虫的基因表达,是一种有效的用于控制甘蔗虫害的策略。在昆虫中,通过 dsRNA 诱导的 RNAi 可以用来研究昆虫基因的功能^[32]。RNAi 基因调控策略是防治作物害虫切实可行的新手段,具有广泛的应用前景^[33-35]。2010 年, YANG 等^[36]通过 RNA 干扰降低中肠氨肽酶 N 同工酶(midgut aminopeptidase N isozymes)基因 *DsAPN1*, *DsAPN2* 和 *DsAPN3* 的表达,有效地降低了小蔗秆草螟对 Bt 的敏感性,从而提高了小蔗秆草螟抗 Bt 能力。2011 年, YANG 等^[37]利用 RNAi 下调小蔗秆草螟(*Diatraea saccharalis*)的钙粘蛋白基因(cadherin)基因 *DsCAD1* 后,也发现小蔗秆草螟对 Bt 的敏感性降低,提高了小蔗秆草螟对 *Cry1Ab* 的抗性。CRAVEIRO 等^[38]利用体外同源重组技术(DNA shuffling)合成的 4 种 *Cry1Ia* 毒素可有效防治甘蔗大螟(*Telchin licus*),有望用于转 Bt 基因甘蔗的创

制。CHRISTY 等^[39]使用基因枪方法成功将人工合成牛胰蛋白酶抑制剂(bovine pancreatic trypsin inhibitor) 抑肽酶(aprotinin) 基因转入 CoC 92061 和 Co 86032 两个甘蔗品种内表达。用转基因饲喂甘蔗白螟幼虫以后, 幼虫体重明显下降, 发育迟缓。Arvinth 等^[40]发现转牛胰蛋白酶抑制剂(aprotinin) 基因和 *cry1Ab* 基因的甘蔗品种 Co 86032 和 CoJ 64 有效降低了甘蔗二点螟导致的枯心病害。FALCO 等^[41]发现通过转基因方法在甘蔗中表达大豆丝氨酸蛋白抑制剂, 如 Bowman-Birk(BBPI) 蛋白酶和 Kunitz 蛋白酶, 可有效用于对甘蔗土栖螨虫 *Diatraea saccharalis* 的防治。鉴于对转基因抗虫甘蔗环境安全性的关注, SIMOES 等^[42]以断缝前齿菌甲螨(*Schelorbates praeincisus*) 为非靶标对象, 测试了转 BBPI 和 Kunitz 蛋白酶基因甘蔗的安全性。结果表明, 转基因甘蔗在有效控制甘蔗土栖螨虫(*D. saccharalis*) 的情况下, 对断缝前齿菌甲螨无影响, 具有环境安全性。这也说明, 基于 RNAi 策略创制抗虫转基因甘蔗是一种安全的虫害控制技术。

近年来, 植物介导 RNAi 表达 dsRNA 的方法已在多种昆虫中诱导靶标基因的沉默。然而, 还有很多科学问题需要探讨和研究, 如通过植物介导 RNAi 沉默害虫非中肠基因能否诱导害虫死亡表型的出现; 植物介导 RNAi 表达 dsRNA 量与害虫死亡表型或生长发育阻碍是否呈正相关; 植物介导 RNAi 沉默靶标基因的周期与害虫生测表型之间的相关性; 选择哪一靶标基因在害虫生物防治中周期短、生测效果好、更加高效等, 这一系列问题都需要在试验探索和研究中得到回答^[43-44]。

蜕皮调节转录因子(molt-regulating transcription factor) 是一类既能启动蜕皮早期基因簇表达, 又能抑制蜕皮晚期基因簇表达的调节因子, 在昆虫蜕皮过程中发挥重要的基因表达调控作用^[45]。现有的研究发现, 从多种昆虫中获得 HR3 家族的生长发育关键基因, 如棉铃虫 *HaHR3*^[6]、烟草天蛾 *MHR3*^[46]、果蝇 *DHR3*^[47] 等。其中, 对果蝇的 *DHR3* 基因功能研究较深入, 该基因在果蝇蜕皮和变态生长发育中起关键作用。JOSEFA 等^[48]从德国小蠊中克隆到蜕皮调节转录因子 *BgHR3*, 并通过 RNAi 技术抑制 *BgHR3* 基因表达发现, 幼虫不能脱掉旧表皮, 发生皮层溶离, 表明 *BgHR3* 基因直接参与德国小蠊幼虫蜕皮。昆虫若不能正常蜕皮, 则无法变成成虫, 从而形成取食量降低、没有生命力甚至死亡表型的个体。蜕皮调节转录因子是蜕皮过程中关键因子, 同时也受到机体相关基因的严格调控, 当表达水平降低或异常提高时都会影响昆虫的正常蜕皮。因此, 打破蜕皮基因的平衡, 干扰昆虫蜕皮, 破坏其正常的生长发育过程, 可达到杀灭害虫和控制害虫种群的目的^[49]。

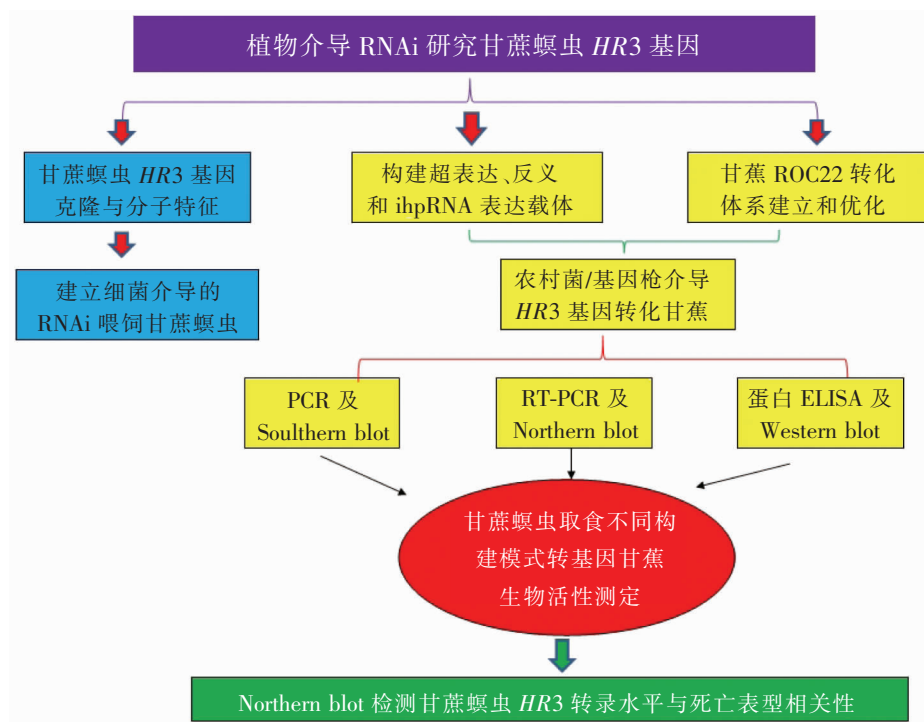


图1 基于 RNAi 技术研究甘蔗螟虫蜕皮调节因子 HR3 基因功能

甘蔗螟虫生长发育的关键基因——*HR3* 基因有可能成为杀虫靶标,可以尝试利用植物介导 RNAi 技术抑制其正常表达。目前,还没有以昆虫生长发育关键基因为靶标的杀虫剂构建方面的报道。因此,可以选取甘蔗农业生产中重要害虫螟虫为研究对象,选择甘蔗螟虫生长发育中的关键基因 *HR3* 作为靶标基因,通过构建植物介导的 RNAi 表达载体,用农杆菌/基因枪介导法将 *HR3* 双链 RNA 导入甘蔗基因组中,通过分子生物学技术 Southern blot, Northern blot 和 Western blot 检测靶标基因在甘蔗中的整合、转录及表达情况,进行转 *dsHR3* 甘蔗生测试验。选取不同龄期甘蔗螟虫幼虫取食转 *dsHR3* 甘蔗,观察和记录其每天的表型变化(包括体重变化、发育变化及死亡率),通过 Northern blot 检测靶标基因与对照之间 *HR3* 的转录变化水平,验证 *HR3* 基因表达与死亡表型间的相关性(图 1)。笔者前期研究发现通过喂饲昆虫生长发育关键基因 *CiHR3* 的 dsRNA 可以有效抑制昆虫自身靶基因 mRNA 的转录表达。不仅对昆虫正常生长发育造成了一定影响,而且在靶标基因 mRNA 表达水平显著降低。据此推断,通过细菌介导的 RNAi 方法表达 dsRNA,可以进入昆虫体内有效抑制靶标基因 *CiHR3* 的转录表达,进一步使甘蔗二点螟正常蜕皮过程受到严重影响,幼虫不能脱掉表皮,发生皮层溶离。这证明 RNAi 方法打破了蜕皮基因的平衡,干扰昆虫蜕皮,破坏其正常生长发育过程,引发蜕皮障碍等死亡表型^[50]。

3 展 望

综上所述,生物防治是治理甘蔗螟虫的一种安全、高效和可持续的策略。鉴于天敌捕杀、诱杀等一般性生物防治手段存在成本过高、防治效果不稳定等缺点,限制了技术的推广和应用,亟待引入新方法,探索更有效的生物防治措施。利用植物介导 RNAi 技术沉默甘蔗螟虫生长发育关键基因(如蜕皮转录因子)来防治害虫,将可为甘蔗害虫生物防治提供一条新的途径和策略,对通过转基因技术创制抗虫甘蔗新种质提供理论参考,为我国甘蔗产业的可持续发展提供支持。

参考文献:

- [1] MOORE P H. Temporal and spatial regulation of sucrose accumulation in the sugarcane stem[J]. Australian Journal of plant Physiology, 1995(22): 661 – 679.
- [2] GRIVET L, ARRUDA P. Sugarcane genomics: depicting the complex genome of all important tropical crop[J]. Current Opinion Plant Biology, 2001(5): 122 – 127.
- [3] 陈山,王弘,卢家炯. 甘蔗制糖业副产物的综合利用[J]. 食品与发酵工业, 2005(31): 104 – 108.
- [4] 李继虎,管楚雄,安玉兴,等. 甘蔗螟虫生物防治的研究进展与应用概况[J]. 甘蔗糖业, 2011(4): 81 – 86.
- [5] AITKEN K S, HERMANN S, KARN O K, et al. Genetic control of yield related stalk traits in sugarcane[J]. Theor Appl Genet, 2008, 117(7): 1191 – 1203.
- [6] 尹富仕,曾洪梅,张雨良,等. 棉铃虫 *HaHR3* 基因的克隆及其植物 RNA 干扰载体的构建[J]. 棉花学报, 2010, 22(2): 157 – 162.
- [7] 任大方. 国外蔗螟天敌昆虫的研究与利用动态[J]. 甘蔗糖业, 1978(4): 26 – 35.
- [8] 郭良珍,冯荣杨,梁恩义. 螟黄赤眼蜂对甘蔗螟虫的控制效果[J]. 西南农业大学学报, 2001, 23(5): 398 – 399.
- [9] 王承纶,张荆. 赤眼蜂的研究、繁殖与应用[M]. 太原: 山西科学技术出版社, 1998: 65 – 123.
- [10] SHENHMAR M, BRAR K S, SINGH J. Advances in biocontrol of sugarcane borers in Punjab[J]. Advances in Indian Entomology, 2005(3): 155 – 164.
- [11] 符晓云,黄惠恩. 印度甘蔗害虫的生物防治[J]. 甘蔗, 2002, 9(1): 24 – 32.
- [12] ALBA M C. Utilization of *Trichogramma* for biological control of sugarcane borers in the Philippines[J]. Colloques de l'INRA, 1991(56): 161 – 163.
- [13] ASHRAF M, FATIMA B. Success of *Trichogramma chilonis*(Ishii) for area-wide control of sugarcane borers in Pakistan[J]. British Crop Protection Council, 1996(1): 385 – 388.
- [14] 邓展云,方锋学,刘海斌,等. 古巴蝇和赤眼蜂防治甘蔗螟虫大田示范[J]. 中国糖料, 2010(3): 9 – 11.
- [15] 邓展云,何为中,谭裕模,等. 古巴蝇生物学及生态学的初步研究[J]. 中国糖料, 2008(4): 4 – 6.
- [16] PATIL A S, MAGAR S B, SHINDE V D. Feeding potential of predatory spiders on sugarcane pests[J]. Australian Society of

- Sugar Cane Technologists ,2001(2) : 408 – 409.
- [17] PATIL S B , JAYARAO K , KHOT R S. Bioefficacy of granulosis virus in the management of early shoot borer *Chilo infuscatellus* Snell of sugarcane [J]. Bharatiya Sugar , 1996 , 22(5) : 7 – 10.
- [18] ASHOK VARMA , TANDAN B K. Pathogenicity of three entomogenous fungi against insect pests of sugarcane [J]. Journal of Biological Control , 1996(10) : 87 – 91.
- [19] 管楚雄. 我国蔗螟性诱剂研究及其应用前景 [J]. 甘蔗糖业 2001(6) : 8 – 12.
- [20] 吴小明. 利用性引诱剂迷向法防治甘蔗条螟 [J]. 甘蔗糖业 2002(4) : 24 – 25.
- [21] ESTRUCH J J , CAROZZI N B , DESAI N , et al. Transgenic palnts: an emerging approach to pest control [J]. Nat Biotechnol , 1997 , 15(2) : 137 – 141.
- [22] PERLAK F J , DEATON R W , ARMSTRONG T A , et al. Insect resistant cotton plants [J]. Biotechnology , 1990 , 8(10) : 939 – 943.
- [23] GAHAN L J , GOULD F , HECKEL D G. Identification of a gene associated with Bt resistance in *Heliothis virescens* [J]. Science , 2001 , 293(5531) : 857 – 860.
- [24] RAJAGOPAL R , SIVAKUMAR S , AGRAWAL N , et al. Silencing of midgut aminopeptidase N of *Spodoptera litura* by double-stranded RNA establishes its role as *Bacillus thuringiensis* toxin receptor [J]. J Biol Chem , 2002 , 277(49) : 46849 – 46851.
- [25] MAO Y B , CAI W J , WANG J W , et al. Silencing a cotton bollworm P450 monooxygenase gene by plant-mediated RNAi impairs larval tolerance of gossypol [J]. Nat Biotechnol , 2007 , 25(11) : 1307 – 1313.
- [26] 张雨良 , 曾洪梅 , 杨秀芬 , 等. 玉米螟 P450 基因 cDNA 的克隆及植物次生物质对其诱导表达 [J]. 中国生物化学与分子生物学报 2009 , 25(2) : 126 – 131.
- [27] 毛颖波 , 薛学义 , 陈晓亚. 植物小 RNA 与 RNA 干扰: 生物学功能与应用前景 [J]. 中国科学 C 辑: 生命科学 2009 , 39(1) : 31 – 43.
- [28] NAPOLI C , LEMIEUX C , JORGENSEN R. Introduction of a chimeric chalcone synthase gene into *Petunia* results in reversible co-suppression of homologous genes in trans [J]. Plant Cell , 1990 , 2(4) : 279 – 289.
- [29] ROMANO N , MACINO G. Transient inactivation of gene expression in *Neurospora crassa* by transformation with homologous sequences [J]. Mol Microbiol , 1992 , 6(22) : 3343 – 3353.
- [30] FIRE A , XU S , MONTGOMETRY M K , et al. Potent and specific genetic interference by double-stranded RNA in *Caenorhabditis elegans* [J]. Nature , 1998 , 391(6669) : 806 – 811.
- [31] ARAVIN A A , NAUMOVA N M , TULIN A V , et al. Double-stranded RNA-mediated silencing of genomic tandem repeats and transposable elements in the *D. melanogaster* germline [J]. Curr Biol , 2001 , 11(13) : 1017 – 1027.
- [32] ZHU F , XU J , PALLI R , et al. Ingested RNA interference for managing the populations of the Colorado potato beetle , *Leptinotarsa decemlineata* [J] , Pest Manag Sci , 2011 , 67(2) : 175 – 182.
- [33] PRICE D R , GATEHOUSE J A. RNAi-mediated crop protection against insects [J]. Trends Biotechnol , 2008 , 26(7) : 393 – 400.
- [34] BAUM J A , BOGAERT T , CLINTON W , et al. Control of coleopteran insect pests through RNA interference [J]. Nat Biotechnol , 2007 , 25(11) : 1322 – 1326.
- [35] SWEVERS L , SMAGGHE G. Use of RNAi for control of insect crop pests [J]. Biomedical and Life Sciences 2012(14) : 177 – 197.
- [36] YANG Y , ZHU Y C , OTTEA J , et al. Molecular characterization and RNA interference of three midgut aminopeptidase N isozymes from *Bacillus thuringiensis*-susceptible and resistant strains of sugarcane borer , *Diatraea saccharalis* [J]. Insect Biochem Mol Biol , 2010 , 40(8) : 592 – 603.
- [37] YANG Y , ZHU Y C , OTTEA J , et al. Down regulation of a gene for cadherin , but not alkaline phosphatase , associated with cry1ab resistance in the sugarcane borer *Diatraea saccharalis* [J]. PLoS One , 2011 , 6(10) : 25783.
- [38] CRAVEIRO K I , GOMES JUNIOR J E , SILVA M C , et al. Variant CryIIa toxins generated by DNA shuffling are active against sugarcane giant borer [J]. J Biotechnol , 2010 , 145(3) : 215 – 221.
- [39] CHRISTY L A , ARVINTH S , SARAVANAKUMAR M , et al. Engineering sugarcane cultivars with bovine pancreatic trypsin inhibitor (aprotinin) gene for protection against top borer (*Scirpophaga excerptalis* Walker) [J]. Plant Cell Rep , 2009 , 28(2) : 175 – 184.

- [40] ARVINTH S , ARUN S , SELVAKESAVAN R K , et al. Genetic transformation and pyramiding of aprotinin-expressing sugarcane with cry1Ab for shoot borer (*Chilo infuscatellus*) resistance [J]. Plant Cell Rep , 2010 , 29(4) : 383 – 395.
- [41] FALCO M C , SILVA-FILHO M C. Expression of soybean proteinase inhibitors in transgenic sugarcane plants: effects on natural defense against *Diatraea saccharalis* [J]. Plant Physiology and Biochemistry , 2003 , 41(8) : 761 – 766.
- [42] SIMOES R A , SILVA-FILHO M C , MOURA D S , et al. Effects of soybean proteinase inhibitors on development of the soil mite *Scheloribates praeincisus*(Acari: Oribatida) [J]. Exp Appl Acarol , 2008 , 44(3) : 239 – 248.
- [43] 袁辉, 张雨良, 杨峰山, 等. 玉米螟细胞色素 P450 家族 CYP6AE25 的克隆及序列分析 [J]. 中国农学通报 , 2010 , 26(12) : 5 – 12.
- [44] 李飞, 吴益东, 韩召军. 害虫的基因沉默控制 [J]. 昆虫知识 , 2010 , 47(5) : 819 – 823.
- [45] 高书坤, 李敏, 郑小力, 等. 昆虫蜕皮基因的研究进展及应用前景 [J]. 贵州农业科学 , 2010 , 38(5) : 99 – 102.
- [46] PALLI S R , HIRUMA K , RIDDIFORD L M. An ecdysteroid-inducible Manduca gene similar to the *Drosophila* DHR3 gene , a member of the steroid hormone receptor superfamily [J]. Dev Biol , 1992 , 150(2) : 306 – 318.
- [47] KOELLE M R , SEGRAVES W A , HOGNESS D S. DHR3: a new *Drosophila* steroid receptor homolog [J]. PNAS , 1992 , 89(13) : 6167 – 6171.
- [48] CRUZ J , MARTÍ N D , BELLÉ S X. Redundant ecdysis regulatory functions of three nuclear receptor HR3 isoforms in the direct-developing insect *Blattella germanica* [J]. Mech Dev , 2007 , 124(3) : 180 – 189.
- [49] 赵小凡. 昆虫蜕皮的分子机理及应用 [J]. 昆虫知识 , 2007 , 44(3) : 323 – 326.
- [50] ZHANG Y L , ZHANG S Z , KULYE M , et al. Silencing of molt-regulating transcription factor gene , *CiHR3* , affects growth and development of sugarcane stem borer. *Chilo infuscatellus* [J]. Journal of Insect Science , 2012(12) : 91.

An Outlook on the Biological Control Strategies of Sugarcane Borer

HUANG Qi-xing , ZHANG Yu-liang , WU Su-ran , WANG Jun-gang , GUO An-ping

(1. Institute of Tropical Biosciences and Biotechnology , Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences; Key Laboratory of Biology and Genetic Resources of Tropical Crops , Ministry of Agriculture , Haikou 571101 , China)

Abstract: This paper reviews briefly the advances on biological control strategies of sugarcane borers in recent years and put forward a new strategy of controlling sugarcane borers by using RNA interference technique to regulate molt-regulating transcription factor genes in sugarcane borers. This review provides a reference for the development of borer-resistant sugarcane germplasm by transgenic technology.

Key words: sugarcane borers; biological control; RNAi; molt-regulating transcription factor