

- 823 ~ 839.
- 37 Zang L. S. , Liu T. X. Host-feeding of three parasitoid species on *Bemisia tabaci* biotype B and implications for whitefly biological control. *Entomol. Exp. Appl.* , 2008 , **127** (1) :55 ~ 63.
- 38 吕宝乾, 彭正强, 许春霭, 等. 椰心叶甲蛹寄生蜂——椰心叶甲啮小蜂的生物学特性. 昆虫学报, 2006 , **49** (4) : 643 ~ 649.
- 39 唐超, 彭正强, 李洪, 等. 不同营养源对椰甲截脉姬小蜂寿命、寄生能力及子代的影响. 中国生物防治, 2006 , **22** (4) :313 ~ 315.
- 40 唐超, 彭正强, 沈有孝, 等. 椰甲截脉姬小蜂对寄主龄期的选择性和适合性. 热带作物学报, 2006 , **27** (2) :78 ~ 80.
- 41 唐超, 彭正强, 陈开宁, 等. 温度对椰甲截脉姬小蜂功能反应的影响. 中国生物防治, 2007 , **23** (1) :11 ~ 13.
- 42 唐超, 彭正强, 金启安, 等. 变温对椰甲截脉姬小蜂生长发育的影响. 植物保护学报, 2007 , **34** (1) :1 ~ 4.
- 43 唐超, 鞠瑞亭, 彭正强, 等. 椰甲截脉姬小蜂在中国的适生性分布. 昆虫知识, 2008 , **45** (1) :107 ~ 111.
- 44 刘万学, 苑士涛, 万方浩, 等. 棉铃虫齿唇姬蜂室内交配行为及影响因素的研究. 中国生物防治, 2007 , **23** (1) : 14 ~ 18.
- 45 刘万学, 万方浩. 棉铃虫齿唇姬蜂寄主识别行为的研究. 中国生物防治, 2007 , **23** (3) :201 ~ 204.
- 46 Liu X. X. , Zhang Q. W. , Zhao J. Z. , *et al.* Effects of the Cry1Ac toxin of *Bacillus thuringiensis* on *Microplitis mediator*, a parasitoid of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*. *Entomol. Exp. Appl.* , 2005 , **114** (3) :205 ~ 213.
- 47 Zhang Z. , Ye G. Y. , Cai J. , *et al.* Comparative venom toxicity between *Pteromalus puparum* and *Nasonia vitripennis* (Hymenoptera: Pteromalidae) toward the hemocytes of their natural hosts, non-target insects and cultured insect cells. *Toxicon* , 2005 , **46** (3) :337 ~ 349.
- 48 Luo K. J. , Pang Y. *Spodoptera litura* multicapsid nucleopolyhedrovirus inhibits *Microplitis bicoloratus* polydnavirus-induced host granulocytes apoptosis. *J. Insect Physiol.* , 2006 , **52** (8) :795 ~ 806.
- 49 Wan Z. W. , Wang H. Y. , Chen X. X. Venom apparatus of the endoparasitoid wasp *Opius caricivorae* Fischer (Hymenoptera: Braconidae): Morphology and ultrastructure. *Microsc. Res. Techniq.* , 2006 , **69** (10) :820 ~ 825.
- 50 Chen Y. F. , Shi M. , Huang F. , *et al.* Characterization of two genes of *Cotesia vestalis* polydnavirus and their expression patterns in the host *Plutella xylostella*. *J. Gen. Virol.* , 2007 , **88** :3 317 ~ 3 322.
- 51 Li Y. , Lu J. F. , Feng C. J. , *et al.* Role of venom and ovarian proteins in immune suppression of *Ostrinia furnacalis* (Lepidoptera: Pyralidae) larvae parasitized by *Macrocentrus cingulum* (Hymenoptera: Braconidae) , a polyembryonic parasitoid. *Insect Science* , 2007 , **14** (2) :93 ~ 100.
- 52 Lu J. F. , Feng C. J. , Hu J. , *et al.* Extraembryonic membrane of the polyembryonic parasitoid *Macrocentrus cingulum* Brischke (Hymenoptera, Braconidae) is essential for evasion of encapsulation. *J. Appl. Entomol.* , 2007 , **131** (7) :472 ~ 447.
- 53 Qiu B. L. , Ren S. X. , Xu C. X. , *et al.* Developmental delay and mortality of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) parasitized by two aphelinids, *Encarsia bimaculata* and *Eretmocerus* sp. nr. *furuhashii* (Hymenoptera : Aphelinidae). *Pan-Pac. Entomol.* , 2007 , **83** (3) :235 ~ 243.
- 54 Tian S. P. , Zhang J. H. , Wang C. Z. Cloning and characterization of two *Campoletis chloridae* ichnovirus vankyrin genes expressed in parasitized host *Helicoverpa armigera*. *J. Insect Physiol.* , 2007 , **53** (7) :699 ~ 707.
- 55 Yu R. X. , Chen Y. F. , Chen X. X. , *et al.* Effects of venom/calyx fluid from the endoparasitic wasp *Cotesia plutellae* on the hemocytes of its host *Plutella xylostella* in vitro. *J. Insect Physiol.* , 2007 , **53** (1) :22 ~ 29.
- 56 Chen X. F. , Tian H. G. , Zou L. Z. , *et al.* Disruption of *Spodoptera exigua* larval development by silencing chitin synthase gene A with RNA interference. *Bull. Entomol. Res.* , 2008 , **98** :613 ~ 619.
- 57 Huang F. , Shi M. , Chen Y. F. , *et al.* Oogenesis of *Diadegma semiclausum* (Hymenoptera: Ichneumonidae) and its associated polydnavirus. *Microsc. Res. Techniq.* , 2008 , **71** (9) :676 ~ 683.
- 58 Shi M. , Chen Y. F. , Huang F. , *et al.* Characterization of a novel gene encoding ankyrin repeat domain from *Cotesia vestalis* polydnavirus (CvBV). *Virology* , 2008 , **375** (2) :374 ~ 382.
- 59 Shi M. , Chen Y. F. , Yao Y. , *et al.* Characterization of a protein tyrosine phosphatase gene CvBV202 from *Cotesia vestalis* polydnavirus (CvBV). *Virus Genes* , 2008 , **36** :595 ~ 601.
- 60 Shi M. , Chen Y. F. , Huang F. , *et al.* Characterization of a novel *Cotesia vestalis* polydnavirus (CvBV) gene containing ser-rich motif expressed in *Plutella xylostella* larvae. *Biochem. Mol. Biol. Rep.* , 2008 , **41** (8) :587 ~ 592.
- 61 Wu J. , Luo X. , Wang Z. , *et al.* Transgenic cotton expressing synthesized scorpion insect toxin AaHIT gene confers enhanced resistance to cotton bollworm (*Heliothis armigera*) larvae. *Biotechn. Lett.* , 2008 , **30** (3) :547 ~

- 554.
- 62 Zhu J. Y., Ye G. Y., Hu C. Morphology and ultrastructure of the venom apparatus in the endoparasitic wasp *Pteromalus puparum* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Micron*, 2008, **39** (7): 926 ~ 933.
- 63 Zhu J. Y., Ye G. Y., Hu C. Molecular cloning and characterization of acid phosphatase in venom of the endoparasitoid wasp *Pteromalus puparum* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Toxicon*, 2008, **51** (8): 1 391 ~ 1 399.
- 64 宋南, 罗梅浩. 棉铃虫齿唇姬蜂的寄生对棉铃虫体内主要代谢物质的影响. 昆虫天敌, 2007, **29**(2): 54 ~ 59
- 65 Wang X. Y., Yang Z. Q., Wu H., et al. Effects of host size on the sex ratio, clutch size, and size of adult *Spathius agrili*, an ectoparasitoid of emerald ash borer. *Biol. Control*, 2008, **44** (1): 7 ~ 12.
- 66 Yang Z. Q., Wei J. R., Wang X. Y. Mass rearing and augmentative releases of the native parasitoid *Chouioia cunea* for biological control of the introduced fall webworm *Hyphantria cunea* in China. *Biocontrol*, 2006, **51** (4): 401 ~ 418.
- 67 耿金虎, 沈佐锐, 李正西, 等. 利用柞蚕卵繁殖的松毛虫赤眼蜂的适宜冷贮虫期和温度. 昆虫学报, 2005, **48** (6): 903 ~ 909.
- 68 张帆, 唐斌, 陶淑霞, 等. 中国植绥螨规模化饲养及保护利用研究进展. 昆虫知识, 2005, **42**(2): 139 ~ 143.
- 69 张帆, 陶淑霞, 王素琴, 等. 不同繁蜂寄主及密度对赤眼蜂子代寄生力的影响比较. 中国生物防治, 2005, **21**(3): 196 ~ 197.
- 70 林美珍, 陈红印, 王树英, 等. 大草蛉幼虫人工饲料的研究. 中国生物防治, 2007, **23**(4): 316 ~ 321.
- 71 鲁新, 李丽娟, 刘宏伟, 等. 智利小植绥螨的人工繁殖方法. 吉林蔬菜, 2007, (6): 52 ~ 53.
- 72 莫美华, 庞虹, 庞雄飞. 小菜蛾半合成人工饲料配方的优化. 中山大学学报(自然科学版), 2007, **46**(6): 63 ~ 68.
- 73 李丽娟, 鲁新, 张国红, 等. 螟黄赤眼蜂工厂化产品的低温贮存研究. 吉林农业科学, 2008, **33**(3): 27 ~ 29, 36.
- 74 李元喜, 戴华国, 符文俊. 米蛾对三种赤眼蜂的适合性及被寄生后卵内游离氨基酸含量的变化. 昆虫学报, 2008, **51**(6): 628 ~ 634.
- 75 许春露, 银婵, 彭正强, 等. 低温贮存对椰心叶甲啮小蜂品质的影响. 昆虫知识, 2008, **45**(1): 112 ~ 116.
- 76 张帆, 杨洪, 关玲, 等. 饲养方式对异色瓢虫幼虫生存的影响. 环境昆虫学报, 2008, **30**(1): 64 ~ 66.
- 77 杨怀文. 我国农业病虫害生物防治应用研究进展. 科技导报, 2007, **25**(07): 56 ~ 60.
- 78 Li J. C., Yan F. M., Coudron T. A., et al. 2006. Field release of the parasitoid *Microplitis mediator* (Hymenoptera: Braconidae) for control of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in cotton fields in Northwestern China's Xinjiang Province. *Environ. Entomol.*, **35**(3): 694 ~ 699.
- 79 王兴民, 任顺祥, 徐彩霞. 引进天敌越南斧瓢虫的形态特征和生物学特性. 昆虫知识, 2006, **43**(6): 810 ~ 813.
- 80 Feng M. G., Hua L. Factors affecting the sporulation capacity during long-term storage of the aphid-pathogenic fungus *Pandora neoaphidis* grown on broomcorn millet. *FEMS Microbiol. Lett.*, 2005, **245** (2): 205 ~ 211.
- 81 Chen C., Feng M. G. Probability model for the postflight fecundity of viviparous alatae infected preflight by the obligate aphid pathogen *Pandora neoaphidis*. *Biol. Control*, 2006, **39** (1): 26 ~ 31.
- 82 Ying S. H., Feng M. G. Means to mediating accumulation of hydrophobin-like proteins in the wall of *Beauveria bassiana* conidia for improved tolerance to thermal stress. *J. Gen. Appl. Microbiol.*, 2007, **53** (5): 309 ~ 314.
- 83 Zhang G. Z., Feng M. G., Chen C., et al. Opportunism of *Conidiobolus obscurus* stems from depression of infection in situ to progeny colonies of host alatae as disseminators of the aphid-pathogenic fungus. *Environ. Microbiol.*, 2007, **9**(4): 859 ~ 868.
- 84 Huang Z. H., Feng M. G. Resting spore formation of aphid-pathogenic fungus *Pandora nouryi* depends on the concentration of infective inoculum. *Environ. Microbiol.*, 2008, **10** (7): 1 912 ~ 1 916.
- 85 Zhang Y. J., Feng M. G., Fan Y. H., et al. A cuticle-degrading protease (CDEP-1) of *Beauveria bassiana* enhances virulence. *Biocontrol Sci. Technol.*, 2008, **18** (6): 551 ~ 563.
- 86 俞佳, 冯明光. 基于分生孢子热胁迫反应的球孢白僵菌耐热菌株筛选. 菌物学报, 2006, **25**(2): 278 ~ 283.
- 87 Peng G. X., Wang Z. K., Yin Y. P., et al. Field trials of *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* (Ascomycota: Hypocreales) against oriental migratory locusts, *Locusta migratoria manilensis* (Meyen) in Northern China. *Crop Prot.*, 2008, **27** (9): 1 244 ~ 1 250.
- 88 赵云, 王中康, 彭国雄, 等. 绿僵菌孢子活性的 MTT 比色法快速检测技术研究. 菌物学报, 2006, **25**(4): 651 ~ 655.
- 89 陈春, 冯明光. 用立式多层产孢箱同步生产多株生防真菌孢子粉. 中国农业科技导报, 2007, **9**(3): 108 ~ 111.
- 90 Shi W. B., Feng M. G. Field efficacy of application of *Beauveria bassiana* formulation and low rate pyridaben for sustainable control of citrus red mite *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae) in orchards. *Biol. Control*, 2006, **39** (2):

- 210 ~ 217.
- 91 Tian L. , Feng M. G. Evaluation of the time-concentration-mortality responses of *Plutella xylostella* larvae to the interaction of *Beauveria bassiana* with a nereistoxin analogue insecticide. *Pest Manag. Sci.* , 2006 , **62** (1) :69 ~ 76.
- 92 Shi W. B. , Jiang Y. , Feng M. G. Compatibility of ten acaricides with *Beauveria bassiana* and enhancement of fungal infection to *Tetranychus cinnabarinus* (Acari:Tetranychidae) eggs by sublethal application rates of pyridaben. *Appl. Entomol. Zool.* , 2005 , **40** (4) :659 ~ 666.
- 93 Ye S. D. , Dun Y. H. , Feng M. G. Time and concentration dependent interactions of *Beauveria bassiana* with sublethal rates of imidacloprid against the aphid pests *Macrosiphoniella sanborni* and *Myzus persicae*. *Ann. Appl. Biol.* , 2005 , **146** (4) :459 ~ 468.
- 94 Li Z. L. , Wang Z. K. , Peng G. X. , et al. Regulation of extracellular acid phosphatase biosynthesis by culture conditions in entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* strain CQMa102. *Ann. Microbiol.* , 2007 , **57** (4) :565 ~ 570.
- 95 吴青,曾玲,孙京臣,等.田间施放绿僵菌防治椰心叶甲的效果.山东农业大学学报:自然科学版,2006,**37**(4):568 ~ 572.
- 96 Fan Y. , Fang W. , Guo S. , et al. Increased insect virulence in *Beauveria bassiana* strains overexpressing an engineered chitinase. *Appl. Environ. Microb.* , 2007 , **73** (1) :295 ~ 302.
- 97 Huang D. F. , Zhang J. , Song F. P. , et al. Microbial control and biotechnology research on *Bacillus thuringiensis* in China. *J. Invertebr. Pathol.* , 2007 , **95** (3) :175 ~ 180.
- 98 Xue J. L. , Cai Q. X. , Zheng D. S. , et al. The synergistic activity between CryIaA and CryIc from *Bacillus thuringiensis* against *Spodoptera exigua* and *Helicoverpa armigera*. *Lett. Appl. Microbiol.* , 2005 , **40** (6) :460 ~ 465.
- 99 Fang J. , Xu X. L. , Wang P. , et al. Characterization of chimeric *Bacillus thuringiensis* Vip3 toxins. *Appl. Environ. Microb.* , 2007 , **73** (3) :956 ~ 961.
- 100 赵同海,徐静,徐红梅,等.松叶面抗虫共生工程菌的构建.林业科学,2005,**41**(4):118 ~ 122.
- 101 Liu S. S. , Li Y. H. , Lou Y. G. Non-host plant extracts reduce oviposition of *Plutella xylostella* (Lepidoptera:Plutellidae) and enhance parasitism by its parasitoid *Cotesia plutellae* (Hymenoptera:Braconidae). *Bull. Entomol. Res.* , 2006 , **96** (4) :373 ~ 378.
- 102 Hu X. M. , Fan W. , Han B. , et al. Complete genome sequence of the mosquitocidal bacterium *Bacillus sphaericus* C3-41 and comparison with those of closely related bacillus species. *J. Bacteriol.* , 2008 , **190** (8) :2 892 ~ 2 902.
- 103 Zhou M. , Sun X. , Sun X. , et al. Horizontal and vertical transmission of wild-type and recombinant *Helicoverpa armigera* single-nucleocapsid nucleopolyhedrovirus. *J. Invertebr. Pathol.* , 2005 , **89** (2) :165 ~ 175.
- 104 Jiang J. , Ji X. , Zeng A. , et al. Modeling of *Spodoptera litura* nuclear polyhedral virus epidemic at different temperatures. *J. Appl. Ecol.* , 2006 , **17** (2) :275 ~ 279.
- 105 Ma X. C. , Xu H. J. , Tang M. J. , et al. Morphological, phylogenetic and biological characteristics of *Ectopis obliqua* single-nucleocapsid nucleopolyhedrovirus. *J. Microbiol.* , 2006 , **44** (1) :77 ~ 82.
- 106 Guo H. F. , Fang J. C. , Liu B. S. , et al. Enhancement of the biological activity of nucleopolyhedrovirus through disruption of the peritrophic matrix of insect larvae by chlorfluazuron. *Pest Manag. Sci.* , 2007 , **63** (1) :68 ~ 74.
- 107 Guo H. F. , Fang J. C. , Wang J. P. , et al. Interaction of *Xestia c-nigrum* granulovirus with peritrophic matrix and *Spodoptera litura* nucleopolyhedrovirus in *Spodoptera litura*. *J. Econ. Entomol.* , 2007 , **100** (1) :20 ~ 25.
- 108 Wu M. L. , Ye G. Y. , Zhu J. Y. , et al. Isolation and characterization of an immunosuppressive protein from venom of the pupa-specific endoparasitoid *Pteromalus puparum*. *J. Invertebr. Pathol.* , 2008 , **99** (2) :186 ~ 191.
- 109 徐健,刘琴,殷向东,等.新型生物农药病毒增强Bt的研制与应用效果.江苏农业科学,2006,(3):72 ~ 75.
- 110 张小霞,梁振普,彭辉银,等.刚果红对棉铃虫中肠围食膜的影响及其病毒增效作用.昆虫学报,2006,**49**(1):45 ~ 49.
- 111 丘雪红,韩日畴.昆虫病原线虫资源概况和分类技术.昆虫学报,2007,**50**(3):286 ~ 296.
- 112 廖冬晴,梁广文,岑伊静.斯氏线虫对有机茶园角胸叶甲的田间控制效应.植物保护学报,2007,**34**(4):447 ~ 448.
- 113 林进添,曾玲,梁广文,等.病原线虫对桔小实蝇种群的控制作用.昆虫学报,2005,**48**(5):736 ~ 741.
- 114 庞在堂,杨怀文,杨秀芬,等.一株高毒性致病杆菌CB6的鉴定.微生物学报,2004,**44**(2):131 ~ 135.
- 115 阚炜,张钟宁,杨新玲,等.棉铃虫性信息素与其单氟取代物分子叠合及生物活性研究.科学通报,2005,**50**(2):2 203 ~ 2 207.
- 116 张涛,郝双红,田暄,等.苹果蠹蛾性信息素E,E-8,10-十二碳二烯-1-醇的立体选择性合成.西北林学院学报,2005,**20**(1):150 ~ 152.
- 117 成小芳,王金明,张金桐.沙棘木蠹蛾性信息素的合成与林间诱蛾活性试验.林业科学,2007,**43**(5):74 ~ 77.
- 118 郝兴宇,张金桐,王瑞,等.核桃举肢蛾性信息素腺体提取物的成分分析.山西农业大学学报(自然科学版),



21 世纪我国害虫生物防治研究的进展、问题与展望*

陈学新**

(浙江大学昆虫科学研究所、农业部病虫分子生物学重点开放实验室 杭州 310029)

Recent progress, existing problems and prospects in biological control of insect pests in China. CHEN Xue-Xin** (*Ministry of Agriculture Key Laboratory of Molecular Biology of Crop Pathogens and Insects, Institute of Insect Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China*)

Abstract Biological control of insect pests is an important branch of entomology. With the development of life sciences and biotechnology, and integration of different disciplines and different techniques, China has achieved a great progress in this area. We review the scientific researches and application of insects as natural enemies, entomopathogens, insect pheromones and biopesticides as well as the application of new biotechnologies, such as RNA interference, in pest management in China, and point out the existing problems and the areas that China should give the priority in the future in biological control of insect pests.

Key words biological control, insects as natural enemies, entomopathogen, insect pheromone, biopesticide, development priority

摘 要 害虫生物防治是昆虫学的重要分支学科,进入 21 世纪以来,随着生命科学和生物技术的发展以及新原理、新方法的不断渗透、交叉与融合,使该分支学科在我国得到了快速发展。本文就近年来我国在天敌昆虫及其利用、昆虫病原微生物及其利用、昆虫信息素及其应用、生物农药及其推广应用、新兴生物技术 in 害虫生物防治中的应用等方面所取得的主要进展作了简要的回顾与总结;并在分析我国本领域学科发展水平与国际差距的基础上,指出了我国生物防治领域存在的主要问题及几个亟待加强的优先发展领域。

关键词 生物防治,天敌昆虫,昆虫病原微生物,昆虫信息素,生物农药,生物技术,优先发展领域

害虫生物防治是有害生物治理中最成功、最节约和环境安全的方法,是指利用生物或生物代谢产物来控制病虫草害的技术,它是害虫持续控制不可缺少的组成部分^[1,2]。早在公元前 304 年我国就利用捕食性昆虫——黄猢蚁 *Oecophylla smaragdina* 来防治柑桔园中的害虫,是世界上最早人工开展生物防治的事例。自 1888 年在美国加州的柑桔园中大规模释放澳洲瓢虫 *Rodolia cardinalis* 成功控制吹绵蚧后,害虫生物防治已成为家喻户晓的害虫控制手段。

近年来,国际上对害虫生物防治的研究与

应用方面取得了许多重要的突破和创新。在研究上,从生物学、生态学、生理学、生物化学与分子生物学等水平研究各类天敌的特性及其对害虫的控制功能,以揭示天敌和害虫之间相互作用的内在规律^[3~7];在应用上,利用前面的研究成果来提高各类天敌的控害能力,为实现农业害虫的可持续控制和农业的可持续发展提供支

* 资助项目:国家杰出青年科学基金(30625006)、973 计划课题(2006CB102005)、国家科技支撑计划(2006BAD08A17)、农业公益性行业科研专项(200803005)。

**通讯作者, E-mail: xxchen@zju.edu.cn

收稿日期:2010-07-17,修回日期:2010-07-20

撑^[8~11]。

我国在这个领域发展也非常迅速。尤其是进入 21 世纪以来,随着生命科学和生物技术的发展以及新原理、新方法的不断渗透、交叉与融合,害虫生物防治内涵也变得更加丰富,近年来有学者把转抗虫基因植物也列入生物防治范畴,目前生物防治技术包括以虫治虫、以微生物治虫、以微生物的代谢产物治虫和转抗虫基因的植物杀虫等。

1 我国害虫生物防治的发展现状

我国非常重视害虫的生物防治研究,在“十五”的基础上,国家对重要作物害虫控制技术的基础和应用研究加强了立项强度,使我国近年来害虫生物防治得到了快速发展。

1.1 天敌昆虫及其利用

我国天敌昆虫资源十分丰富,近年来除了对我国寄生性和捕食性天敌昆虫资源进行不间断的发掘和利用外,重点对外来入侵害虫,如烟粉虱 *Bemisia tabaci*、椰心叶甲 *Brontispa longissima*、美国白蛾 *Hyphantria cunea* 和一些重要害虫,如梨茎蜂 *Janus piri*、黑刺粉虱 *Aleurocanthus spiniferus*、假眼小绿叶蝉 *Empoasca vitis* 等进行了本土天敌资源的系统调查和分析^[12~16]。对我国一些重要的天敌昆虫开展了基本生物学和生态学特征的研究,如寄生性天敌幼期发育过程和形态结构变化、补充营养对雌蜂的影响、雌蜂卵子发育过程和超微结构等,涉及黄腹潜蝇茧蜂 *Opius caricivora*、菜蛾盘绒茧蜂 *Cotesia vestalis*、腰带长体茧蜂 *Microcentrus cingulum*、棉铃虫唇齿姬蜂 *Campoletis chloridae*、蝶蛹金小蜂 *Pteromalus puparum*、斑痣悬茧蜂 *Meteorus pulchricornis*、半闭弯尾姬蜂 *Diadegma semiclausum* 等^[17~24]以及寄生蜂发育历期及繁殖特性、种间竞争、滞育等,涉及柄腹茧蜂 *Spathius agrili*、斑痣悬茧蜂、椰甲截脉姬小蜂 *Asecodes hispinarum*、索诺齿唇姬蜂 *Campoletis sonorensis*、中红测沟茧蜂 *Microplitis mediator*、松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* 等^[25~31],并研究了一些重要寄生蜂的化学生态学和行为

学,涉及浅黄恩蚜小蜂 *Encarsia sophia*、丽蚜小蜂 *E. formosa*、黑盾桨角蚜小蜂 *Eretmocerus melanoscutus*、双斑恩蚜小蜂 *E. bimaculata*、稻虱缨小蜂 *Anagrus nilaparvatae*、潜蝇茧蜂 *Opius dissitus*、索诺齿唇姬蜂、椰甲截脉姬小蜂等^[32~45]。此外,寄生蜂如何调控寄主的生理变化和抑制寄主的免疫系统是近年来国际上的研究热点,我国这方面也有不少研究报道,涉及双斑恩蚜小蜂、桨角蚜小蜂、棉铃虫齿唇姬蜂、菜蛾盘绒茧蜂、半闭弯尾姬蜂、腰带长体茧蜂、蝶蛹金小蜂和丽蝇蛹集金小蜂 *Nasonia vitripennis* 等^[46~64]。

近几年对一些新发现或引进的寄生性或捕食性天敌做了大量的人工繁殖方面的应用基础研究,研发了人工繁殖技术或提出了新的繁殖方法或手段、低温保存技术、工厂化生产工艺等,申请了一批国家发明实用专利,涉及拟澳洲赤眼蜂 *Trichogramma confusum*、玉米螟赤眼蜂 *T. ostrinae*、松毛虫赤眼蜂、螟黄赤眼蜂 *Trichogramma chilonis*、椰心叶甲啮小蜂 *Tetrastichus brontispae*、周氏啮小蜂 *Chouioia cunea*、大草蛉、异色瓢虫 *Harmonia axyridis*、智利小植绥螨、捕食性甲虫等^[65~76]。在推广和应用天敌昆虫上我国取得了长足的进展,目前已有几种天敌应用得十分成功。比如,胡瓜钝绥螨 *Amblyseius cucumeris* 控制柑桔园害螨^[77],中红侧沟茧蜂大规模释放控制棉铃虫^[78],椰甲截脉姬小蜂在海南省防治椰心叶甲已取得成效,越南斧瓢虫 *Axinoscyrnus apioides* Kuznetsov & Ren 也在防治烟粉虱中发挥了作用^[79]。同时,开展了天敌昆虫与其他措施结合或集成的研究和推广,如中国科学院动物研究所等单位在新疆通过引导棉农在部分棉田周围种植苜蓿,有效地保护利用天敌,控制了棉蚜。北京市农科院植保所采用天敌昆虫单独或组合释放并与其它生物和生态措施等结合从而集成害虫控制技术体系,对果树、蔬菜、茉莉花、园林、玉米等作物主要害虫的田间控制效果较好,提出了果园生态防控制技术。河北省农林科学院在我国首次研制出了一整套多种寄生性和捕食性天敌

昆虫的繁殖技术、工厂化生产技术和工艺,在北方蔬菜和夏玉米害虫的控制得到了应用。

1.2 昆虫病原微生物及其利用

在自然界,由真菌致死的昆虫约占全部病原微生物致病死亡的 60%。目前已在生产上得到应用的主要有白僵菌、绿僵菌、拟青霉、莱氏野村菌、汤普森被毛孢、蜡蚧轮枝菌等,而应用最广的是白僵菌、绿僵菌、蜡蚧轮枝菌和虫瘟霉,仅由绿僵菌制成的生物制剂就可防治 200 多种害虫。近年来,我国学者在昆虫病原真菌致病机制的方面取得了不少进展^[80~86]。在白僵菌和绿僵菌应用方面也有一些成功的实例,如:利用绿僵菌防治东亚飞蝗^[87],杀蝗绿僵菌 COMa102 已获临时农药登记许可,其企业具有年 2×10^6 kg 油剂的生产能力^[77];研制成功了以廉价植物组织直接培养获得绿僵菌、球孢白僵菌高纯度孢子的生产方法^[88,89];白僵菌孢子悬浮液和吡螨灵混合防治柑桔红螨^[90];白僵菌孢子悬浮液和沙蚕毒素类似生物农药混合防治小菜蛾^[91];白僵菌孢子悬浮液和 10 种杀螨剂混配后防治害螨^[92];白僵菌孢子悬浮液和亚致死剂量的吡虫啉混合防治蚜虫^[93];通过对一些非优良的昆虫病原真菌品系进行遗传改造以提高昆虫病原真菌防治效能和扩大寄主范围^[94]等。此外,我国学者也开始尝试利用本地绿僵菌菌系防治日益突出的外来入侵害虫,如椰心叶甲^[95]。

昆虫病原细菌中应用范围最广和研究最深入的是苏云金杆菌(Bt)。在苏云金杆菌的基础研究方面,近年来我国最新研究结果包括对 Bt 杆菌进行不同类型的人工修饰从而扩大其寄主范围^[96,97],不同 Bt 晶体毒蛋白(Cry1Aa 和 Cry1C)相互之间的增效作用^[98],新型杀虫毒蛋白 Vip 的分子特点和杀虫活力^[99]等;通过生物技术手段将 Bt 抗虫基因导入松叶表面共生菌中达到直接在松叶表面防治马尾松毛虫^[100],尝试将 Bt 毒蛋白与昆虫病毒混合以提高对棉铃虫的防治效果^[101];发现直接喂食 Bt 毒蛋白对寄生蜂没有显著影响^[46]。就苏云金杆菌制剂来讲,我国现有 80 个厂家开发生产,年产量

达 3×10^7 kg 以上,实际使用面积达近 600 万公顷。除了苏云金杆菌,其它杀虫杆菌也是我国学者的研究内容之一,目前我国第一个杀蚊微生物——球形芽孢杆菌 *Bacillus sphaericus* C3-41 菌株基因组已由中国科学院武汉病毒研究所测序完成,由其开发研制的我国第一个登记注册的微生物杀蚊剂在我国进行了连续 20 年成功应用^[102]。

昆虫病毒中能用于农作物防治害虫的病毒主要是杆状病毒科的核型多角体病毒(NPV)和颗粒体病毒(GV)以及呼肠孤病毒科的质型多角体病毒(CPV)。自 1993 年我国第一个昆虫病毒杀虫剂——棉铃虫核型多角体病毒(HaNPV)注册登记以来,到目前为止已对 10 多种昆虫病毒进行了研究,其中甜菜夜蛾核型多角体病毒(SpltNPV)、小菜蛾颗粒体病毒(PxGV)等已经制成病毒制剂,成功地用于田间防治;对茶毛虫、油桐尺蠖、美国白蛾等核型多角体病毒(EpNPV, BusuNPV, HycuNPV)、菜粉蝶颗粒体病毒(PrGV)、茶小卷叶蛾颗粒体病毒(AoGV)以及松毛虫质型多角体病毒(DsCPV)也进行了大面积试用。对于昆虫病毒的研究目前主要集中于寻找提高病毒感染力的增效因子和对昆虫病毒进行遗传改造以提高昆虫病毒的杀虫谱和杀虫速度等方面,包括修饰病毒本身基因以提高病毒的感染力、在病毒基因组中插入外源细菌、真菌或动物等基因以增强病毒毒力以及与异源病毒重组来扩大病毒杀虫谱等。目前,国际上正式登记注册的有 7 种病毒 10 个产品(EPA website, 2007),而在我国登记的则有 28 个病毒杀虫剂产品(13 种病毒,包括 1 种重组病毒)(中国农药信息网, 2007),这也仅在我国每年 1.25×10^9 kg 杀虫剂市场中占据很小的比例。2007 年由中国科学院动物研究所研制的、世界上最高含量的昆虫病毒杀虫剂注册登记,5 种制剂在河南省济源白云实业有限公司投入工厂化生产,其中的 3 种制剂是我国首次将先进的水分散粒剂加工应用于昆虫病毒生物农药领域,是世界上首批昆虫病毒生物农药水分散粒剂型。由于昆虫病毒有其自身的局限

性,所以还需要通过各种途径以提高昆虫病毒在生物防治的中的使用潜能^[48,103~110]。

我国分别在南方、北方地区都开展了昆虫病原线虫的资源调查。目前小卷蛾线虫 *Steinernema carpocapsae*、芜菁夜蛾线虫 *S. feltiae* 和异小杆线虫 *Heterorhabditis bacteriophora* 在国内已有可提供大量田间生物防治使用的品系,同时这些线虫品系有相当高的防效,如小卷蛾线虫防治危害杨树的小木蠹蛾 *Holcocerus insularis* 的效率达 80% 以上,芜菁夜蛾线虫防治果园越冬代出土桃小食心虫 *Carposina niponensis* 幼虫,卵果率可控制在 1% 以下^[111]。昆虫病原线虫目前在我国有机作物的生产中已经发挥了一定的作用,如有机茶园中斯氏线虫可以控制重要害虫角胸叶甲的为害^[112],在桔园中防治橘小实蝇的为害^[113]。昆虫病原线虫共生细菌有望成为继苏云金杆菌后又一个能提供杀虫蛋白基因的微生物资源^[114]。

1.3 昆虫信息素及其应用

我国已经人工合成了超过 50 种以上重要昆虫性信息素,并制成了相应的性诱剂应用于虫情监测、大量诱捕、释放干扰交配(迷向)、配合治虫、区域害虫检疫和种类鉴定等。近年来我国在昆虫性信息素方面又取得了令人瞩目的成绩,在基础和应用基础方面涉及棉铃虫、烟青虫、核桃举肢蛾 *Atrijuglans hetaohei*、菊花瘿蚊 *Rhopalomyia longicauda*、豆野螟 *Maruca vitrata*、梨小食心虫 *Grapholitha molesta*、桃蛀螟 *Dichrocrocis punctiferalis*、靖远松叶蜂 *Diprion jingyuanensis*、沙棘木蠹蛾 *Holcocerus hippophaecolus*、苹果蠹蛾 *Laspeyresia pomonella*、亚洲玉米螟 *Ostrinia orientalis* 等^[115~126];在性诱剂应用方面,许多害虫的控制已常规性应用性引诱剂,目前我国生产的昆虫性诱剂产品近 30 个,对 30 余种鳞翅目、双翅目昆虫,如斜纹夜蛾 *Spodoptera litura*、甜菜夜蛾 *S. exigua*、小菜蛾、柑桔小实蝇等有良好的防治效果,并在广西、云南、北京、上海、浙江、福建、四川、山西、山东、陕西等 10 多个省蔬菜、水果、水稻上大面积推广应用。在提高性引诱剂的效果方面,还探讨了

诱芯品种性能、剂型(微胶囊)等的影响,以及和其他措施的结合,比如与频振式杀虫灯结合使用等。我国首个昆虫信息素原药——诱虫烯已经过 3 年的各种药效试验和农药主管部门的审核,目前正式登记资料享受国家行政保护 6 年,这是中国昆虫信息素产业化的成功标志。

1.4 生物农药及其推广应用

根据农业部农药检定所的农药注册登记统计,在全国登记的 1 300 多种农药品种中,生物农药(含农用抗生素)品种有 350 余种,我国已有约 400 家生物农药生产企业,年产量 $1.2 \times 10^8 \sim 1.3 \times 10^8$ kg 制剂,约占农药总产量的 12%,每年新研制成功和登记注册的生物农药品种还在以 4% 的速度递增。同时,拥有自主知识产权的微生物农药种类增多,目前全国基本上改变了主要靠引进国外生产菌株的局面,自主知识产权的微生物农药产品已占主导地位。我国现有杀虫类农药 29 种,年产制剂 8 万多吨,其中天然除虫菊是国内生产技术最完备的植物杀虫剂品种,种植面积已经达到 $6\,000\text{ hm}^2$,产量达到 5 000 吨,约占国际市场的 1/4。我国生物农药 2004 年的总产量已经比“九五”末提高 4.5%,产值达 3 亿美元,占我国农药年产值 10%;2007 年全国病虫害生物防治面积约 6 亿亩次,占总防治面积的 12%,其中各种生物防治措施使用比例为:病原微生物 13.3%、天敌释放 3.3%、植物农药(天然除虫菊素、苦参碱、蛇床子素、印楝素、苦皮藤素、烟碱、大蒜素等)2.5%、抗生素(阿维菌素、井冈霉素、宁南霉素、春雷霉素、多抗霉素、多杀霉素、中生菌素、链霉素、农抗 120 等)80.4%、其它 0.5%。其中我国科学家利用高新技术人工合成昆虫性信息素,结合诱捕器配套,防治甜菜夜蛾、斜纹夜蛾、小菜蛾和桃小食心虫等,使用区域可以减少化学农药 10%~30%。

1.5 RNAi 等新兴生物技术在害虫生物防治中的应用

RNAi(RNA interference)技术是目前用于鉴定昆虫的功能基因有效手段,同时在害虫生物防治中也有广阔的应用前景。通过在植物中

表达棉铃虫中肠基因 CYP6AE14 的 dsRNA 增强了棉铃虫对棉酚的耐受力。在甜菜夜蛾 4 龄幼虫体内注射源自几丁质合成酶 A 基因 (SeCHSA) 的 siRNA 或 dsRNA 成功得到 RNAi 现象^[127]; 饲喂大肠杆菌表达的 SeCHSA 的 dsRNA 后, 部分幼虫不能正常蜕皮, 有的幼虫出现“双头”现象, 处理组的幼虫和蛹的存活率均显著比对照组低, 该饲喂法 RNAi 在非中肠表达的基因中的首次成功报道并申请了国家发明专利。

此外, 转抗虫基因植物的商业化栽培种植是近年来害虫控制中非化学防治的有效措施。吴孔明等花费了近十年的时间, 以大量的数据和试验结果证明, 在中国广泛种植的转 Bt 基因棉花除了可以自己“杀虫”之外, 还能保护周边的农作物免受棉铃虫危害, 颇有“造福一方”的连带效应, 这一成果作为封面文章发表在国际顶级刊物 *Science* 上^[128]。

2 我国害虫生物防治研究和应用所面临的问题

我国经过多代科技人员的努力, 生物防治技术整体水平基本达到国际先进, 某些领域国际领先。然而, 与发达国家相比, 全面应用生物防治技术控制害虫方面仍有相当的差距, 有待突破, 究其技术原因, 主要是对已获单项成果的生防技术的集成和大规模应用的配套技术缺乏研究; 其次是对昆虫天敌的利用只注重大量繁殖和释放技术的研究, 而对天敌作为一个生防制剂所需要的包装、贮存、安全运输等商品化技术研究较少, 因此, 室内所繁殖的大量天敌无法适时、安全地到达田间进行实际应用。再则, 我国缺乏上规模的天敌企业, 生物农药的原创性拳头产品也很少, 工艺和剂型的技术相对落后, 产业规模小, 植物源农药和生物制剂的农药市场占有率远远低于发达国家 20% ~ 60% 的水平。2007 年全国病虫害防治面积 50 亿亩次 (不含草鼠害防治), 其中生物防治面积约 6 亿亩次, 占 12%。最后, 针对全国病虫害混合发生的复杂的农田环境或温室环境, 尚缺乏像北

欧和北美一些国家供生产者使用的多种天敌和多种生物农药品种的整套生防技术, 也缺乏针对不同区域或各类农业生态系统中基于作物 - 害虫 - 天敌之间的协调发展而制定的综合生物防治技术体系和示范。针对主要入侵害虫, 我们还缺乏生物防治的技术和经验。在生物防治技术的知识产权保护方面, 存在专利意识淡薄, 到目前为止还是我国生物防治领域的一个盲点, 对不同天敌种类、不同天敌综合应用技术等缺乏专利申请和保护。除了上述技术创新能力不足、天敌种类和产品制剂多样性不足、配套技术研究不足外, 在我国还存在使用者认识上不足、推广力度不足、政府公共财政支持不足等问题。同时, 从市场角度, 我们还没有做好与国外天敌企业进入中国市场后的竞争的准备, 缺乏对策和应对措施。因此, 虽然我国各地生物防治技术水平不断提高, 但是目前我国生物防治技术的覆盖率仅占整体的 5% 左右。

我国生物防治研究就“基础研究和应用基础研究”来讲, 科学研究相对薄弱、后劲不足。从各种渠道立项的角度来看, 生物防治在昆虫学及其相关领域中所占权重较低, 相关研究有待进一步加强。2005—2007 年间昆虫学和害虫治理相关的硕士和博士学位论文中有关生物防治的论文仅占 30% 弱, 年度间相比无论博士还是硕士学位论文数有下降的趋势, 反映出从事该领域研究的青年人在减少, 需予以重视。从国际竞争力来看, 通过对两种国际生物防治权威专业杂志的统计, 发现 2005—2008 年间在 *BioControl* 上美国发表 55 篇论文, 而中国 (包括台湾地区) 发表了 9 篇论文; 在 *Biological Control* 上, 美国发表 254 篇论文, 而中国 (包括台湾地区) 发表了 40 篇论文, 文章的数量与美国相比存在很大的差距。就研究内容而言, 在天敌与害虫的互作机制、农田食物网作物 - 害虫 - 天敌间的信息网与通讯机制、天敌控害作用的评价方法、天敌引种的基础理论研究及风险评估、新的害虫天敌、病原微生物的基础和应用研究以及用新的生物技术开发改良型 (特别是抗寒、抗热、抗旱、抗药、抗多种虫害) 天敌和

病原菌品系、以及主要害虫种类的不育技术等有待进一步加强研究。

3 展望与对策

大力开展害虫的生物防治不仅是作物病虫害防灾减灾的需要、农产品质量安全的需要和农业可持续发展的需要,而且是人民健康、社会稳定和环境安全的需要^[129]。同时,也是贯彻我国绿色植保理念的需要,2006 年农业部提出绿色植保理念,2008 年提出推进绿色防控行动,计划到 2010 年生物防治比例达到 20%,2015 年力争达到 30%,因此,生物防治技术推广应用前景广阔!

目前我国生物防治所面临着很多问题,解决这些问题首先需要从国家层面上组织大型攻关项目从而有目标地引导生物防治研究和实践,再从政府或企业中争取更大的经费投入来支撑生物防治的基础研究项目,加大宣传普及力度,形成产、学、研、推协作,政府和学会推动,协调各个部门发挥各自优势进行最大范围的合作,优先开展一些重大基础问题的研究:如寄生性天敌-寄主害虫互作的分子机制、寄生性天敌寻找寄主的化学联系与记忆、捕食性天敌的捕食行为机制、天敌控害作用的评价方法、农田食物网作物-害虫-天敌间的化学信息网与通讯机制、作物生物多样性与天敌控害功能、农田景观格局内害虫、天敌的库与源动态、天敌昆虫人工繁育的营养学与生理学基础、天敌引进后的适应性及其与本地种的竞争和天敌昆虫生物防治与化学防治的协调等,同时加强生物防治新产品研发,重点应加强微生物和天敌新产品、新剂型研发;加快配套技术,即生物、物理、化学等措施的全程协调控制技术的研究和集成。

考虑到我国幅员辽阔、生物资源丰富、自然界中生物之间相生相克现象普遍存在,以及生物防治技术性强、推广难度大的现实,对我国各类天敌进行“专利”保护,呼吁政府加大扶持力度,制定相关优惠政策(如农民使用生物防治政府补贴政策、生产企业优惠政策)以扶持和鼓励企业加大对生物防治技术的研发力度,调

动农民采用生防技术的积极性,以使最终实现在农业主管部门、技术推广站或企业的组织、帮助和监督下在各个农户间实施和推广害虫生物防治技术。可以预计的是,随着人们对食品安全、生态安全的日益重视,我国生物防治的工作必将会获得更快的发展。

参 考 文 献

- 1 Batra S. W. T. Biological control in agroecosystems. *Science*, 1982, **215**(4 529):134 ~ 139.
- 2 Clemens M. J. Biological control. *Nature*, 1984, **309**(5 967):394 ~ 394.
- 3 Hochberg M. E. The potential role of pathogens in biological control. *Nature*, 1989, **337**(6 204):262 ~ 265.
- 4 Morris R. J., Lewis O. T., Godfray H. C. J. Experimental evidence for apparent competition in a tropical forest food web. *Nature*, 2004, **428**(6 980):310 ~ 313.
- 5 Rasmann S., Kollner T. G., Degenhardt J., et al. Recruitment of entomopathogenic nematodes by insect-damaged maize roots. *Nature*, 2005, **434**(7 034):732 ~ 737.
- 6 Roland J., Taylor P. D. Insect parasitoid species respond to forest structure at different spatial scales. *Nature*, 1997, **386**(6 626):710 ~ 713.
- 7 Tylianakis J. M., Tscharntke T., Lewis O. T. Habitat modification alters the structure of tropical host-parasitoid food webs. *Nature*, 2007, **445**(7 124):202 ~ 205.
- 8 Crowder D. W., Northfield T. D., Strand M. R., et al. Organic agriculture promotes evenness and natural pest control. *Nature*, 2010, **466**(7 302):109 ~ 123.
- 9 Pimentel D. Biological control of invading species. *Science*, 2000, **289**(5 481):869 ~ 869.
- 10 Scholte E. J., Ng'habi K., Kihonda J., et al. An entomopathogenic fungus for control of adult African malaria mosquitoes. *Science*, 2005, **308**(5 728):1 641 ~ 1 642.
- 11 Thies C., Tscharntke T. Landscape structure and biological control in agroecosystems. *Science*, 1999, **285**(5 429):893 ~ 895.
- 12 Yang Z. Q., Wang X. Y., Wei J. R., et al. Survey of the native insect natural enemies of *Hyphantria cunea* (Drury) (Lepidoptera: Arctiidae) in China. *Bull. Entomol. Res.*, 2008, **98**(3):293 ~ 302.
- 13 杨忠岐, 杨珍, 姚艳霞. 一种寄生梨茎蜂的重要天敌-梨茎蜂啮小蜂(膜翅目, 姬小蜂科)新种记述. 动物分类学报, 2005, **30**(3):613 ~ 617.
- 14 郭蕾, 邱宝利, 任顺祥, 等. 黑刺粉虱天敌种质资源分类概述. 广东农业科学, 2006, (2):9 ~ 10.

- 15 吴青, 梁广文, 曾玲, 等. 深圳地区椰心叶甲寄主和天敌种类调查. 昆虫知识, 2006, **43**(4):530~534.
- 16 毛迎新, 邹武, 马新华, 等. 假眼小绿叶蝉卵的寄生蜂种类及种群动态. 昆虫知识, 2008, **45**(3):472~474.
- 17 Dong S. Z., Ye G. Y., Zhu J. Y., *et al.* Vitellin of *Pteromalus puparum* (Hymenoptera: Pteromalidae), a pupal endoparasitoid of *Pieris rapae* (Lepidoptera: Pieridae): Biochemical characterization, temporal patterns of production and degradation. *J. Insect Physiol.*, 2007, **53**(5):468~477.
- 18 Xu P., Wan Z. W., Chen X. X., *et al.* Immature morphology and development of *Opius caricivora* Fischer (Hymenoptera: Braconidae), an endoparasitoid of the leafminer *Liriomyza sativae* Blanchard (Diptera: Agromyzidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 2007, **100**(3):425~432.
- 19 Ye G. Y., Dong S. Z., Song Q. S., *et al.* Molecular cloning and developmental expression of the vitellogenin gene in the endoparasitoid, *Pteromalus puparum*. *Insect Mol. Biol.*, 2008, **17**(3):227~233.
- 20 Huang F., Cao T. T., Shi M., *et al.* Parasitism-induced effects on host growth and metabolic efficiency in *Plutella xylostella* larvae parasitized by *Cotesia vestalis* or *Diadegma semiclausum*. *Insect Science*, 2008, **15**(3):237~243.
- 21 Wu H. P., Meng L., Li B. P. Effects of feeding frequency and sugar concentrations on lifetime reproductive success of *Meteorus pulchricornis* (Hymenoptera: Braconidae). *Biol. Control*, 2008, **45**(3):353~359.
- 22 Yu R. X., Huang F., Shi M., *et al.* Immature development of *Cotesia vestalis* (Haliday) (Hymenoptera: Braconidae), an endoparasitoid of the diamondback moth, *Plutella xylostella*. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 2008, **101**(1):189~196.
- 23 胡建, 刘峰, 张文庆. 多胚发育寄生蜂腰带长体茧蜂在寄主亚洲玉米螟幼虫体内的发育. 昆虫学报, 2008, **51**(2):126~131.
- 24 宋南, 罗梅浩, 刘鹏, 等. 取食蜂蜜对棉铃虫齿唇姬蜂体内主要代谢物质的影响. 昆虫知识, 2008, **45**(2):204~210.
- 25 Liu Y. H., Li B. P. Developmental interactions between *Spodoptera exigua* (Noctuidae: Lepidoptera) and its uniparental endoparasitoid, *Meteorus pulchricornis* (Braconidae: Hymenoptera). *Biol. Control*, 2006, **38**(2):264~269.
- 26 Ma C. S., Chen Y. W. Effects of constant temperature, exposure period, and age on diapause induction in *Trichogramma dendrolimi*. *Biol. Control*, 2006, **36**(3):267~273.
- 27 Li W. X., Li J. C., Coudron T. A., *et al.* Role of photoperiod and temperature in diapause induction of endoparasitoid wasp *Microplitis mediator* (Hymenoptera: Braconidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 2008, **101**(3):613~618.
- 28 Liu Y. H., Li B. P. Effects of *Helicoverpa armigera* (Noctuidae, Lepidoptera) host stages on some developmental parameters of the uniparental endoparasitoid *Meteorus pulchricornis* (Braconidae, Hymenoptera). *Bull. Entomol. Res.*, 2008, **98**(2):109~114.
- 29 Lu B. Q., Tang C., Peng Z. Q., *et al.* Biological assessment in quarantine of *Asecodes hispinarum* Boucek (Hymenoptera: Eulophidae) as an imported biological control agent of *Brontispa longissima* (Gestro) (Coleoptera: Hispididae) in Hainan, China. *Biol. Control*, 2008, **45**(1):29~35.
- 30 Tian S. P., Zhang J. H., Yan Y. H., *et al.* Interspecific competition between the ichneumonid *Campoletis chloridae* and the braconid *Microplitis mediator* in their host *Helicoverpa armigera*. *Entomol. Exp. Appl.*, 2008, **127**(1):10~19.
- 31 Wang L., Huang J., Luo H. Response by a Whitefly predator, *Delphastus catalinae* to toxins from *Verticillium lecanii* and mass rearing techniques for the ladybeetle. *J. Insect Sci.*, 2008, **8**(4):51.
- 32 Liu X. X., Zhang Q. W., Xu B. L., *et al.* Effects of Cry1-Ac toxin of *Bacillus thuringiensis* and nuclear polyhedrosis virus of *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae) on larval mortality and pupation. *Pest Manag. Sci.*, 2006, **62**(8):729~737.
- 33 Wei J. N., Kang L. Electrophysiological and behavioral responses of a parasitic wasp to plant volatiles induced by two leaf miner species. *Chemical Senses*, 2006, **31**(5):467~477.
- 34 Yan Z. G., Wang C. Z. Identification of *Mythmna separate*-induced maize volatile synomones that attract the parasitoid *Campoletis chloridae*. *J. Appl. Entomol.*, 2006, **130**(4):213~219.
- 35 Mandour N. S., Ren S. X., Qiu B. L. Effect of *Bemisia tabaci* honeydew and its carbohydrates on search time and parasitization of *Encarsia bimaculata*. *J. Appl. Entomol.*, 2007, **131**(9/10):645~651.
- 36 Qiu B. L., De Barro P. J., He Y. R., *et al.* Suitability of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) instars for the parasitization by *Encarsia bimaculata* and *Eretmocerus* sp. nr. *furushii* (Hymenoptera: Aphelinidae) on glabrous and hirsute host plants. *Biocontrol Sci. Technol.*, 2007, **17**(8):