

特 约 稿 件

Invited Paper

我国蔬菜害虫生物防治研究进展

雷仲仁*, 吴圣勇, 王海鸿

(中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193)

摘要 我国是蔬菜生产、消费和出口大国,蔬菜害虫是影响蔬菜产量和品质,制约蔬菜产业发展的重要因素。传统化学农药的长期大量使用,不仅造成生态环境污染、影响食品安全,还导致害虫抗药性逐渐增强,因此,生物防治成为害虫综合治理的重要措施。我国生物防治技术经过几十年的发展,在天敌昆虫资源的发掘、应用、技术研发和配套措施等方面取得了显著的进步。本文综述了我国蔬菜害虫生物防治的研究和应用进展,并分析了当前存在的问题和发展趋势,以期为今后的害虫研究和防治提供思路。

关键词 蔬菜害虫; 生物防治; 应用

中图分类号: S 476 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.0529-1542.2016.01.001

Progresses in biological control of vegetable insect pests in China

Lei Zhongren, Wu Shengyong, Wang Haihong

(State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract Vegetable production, consumption and export are tremendous in China. Insect pests have a serious impact on the quality and yield of vegetables, and it has become the key factor restricting the development of the vegetable industry. With the long-term use of chemical pesticides, the problems of environment and food safety were caused, and pests have developed serious insecticide resistance. Therefore, biological control measures play an important role in the integrated pest management. After decades of efforts, a great progress has been made in the resource discovery of natural enemy species, application, technology research and supporting technology. In this paper, researches and applications about biological control of vegetable pest insects in China are reviewed, and the current problems and development tendency in biological control are analyzed, which will provide the ideas for the further research and pest control.

Key words vegetable pest; biological control; application

我国蔬菜已成为仅次于粮食作物的第二大作物,种植面积和总产量均居世界第一,2014年统计为2 126万hm²,总产量7.58亿t,人均约556kg,蔬菜种植面积和产量分别占世界的42%和51%,是名副其实的蔬菜生产、消费和出口大国。经初步调查,我国蔬菜病虫害种类和发生危害程度在所有作物中也名列前茅,如郑建秋编著的《现代蔬菜病虫害鉴别与防治手册》记载蔬菜病虫害1 323种;吴钜文、陈红印等编著的《蔬菜害虫及其天敌昆虫名录》记载了世界范围(主要是中国及其周边国家)的蔬菜

害虫2 460种。病虫害为害对蔬菜造成的损失一般可达20%~30%,严重的可达50%以上。如:被称为超级害虫的烟粉虱,具有20多个生物型或隐种,可传播多种病毒病,特别是近年来由其传播的番茄黄化曲叶病毒病,在10多个省市暴发成灾,平均产量损失50%~60%。此外,蓟马、小菜蛾、叶甲、蚜虫、斑潜蝇、螟虫等也发生严重危害,再加之对蔬菜害虫防治用药的盲目性,造成产品质量安全问题、环境污染及害虫抗药性提高等问题时有发生。所以,蔬菜安全生产和害虫绿色防控,早已成为社会关注

收稿日期: 2015-11-08 修订日期: 2015-11-09

基金项目: 国家现代农业产业技术体系专项资金(CARS-25-B-07);公益性行业(农业)科研专项(201303019-02)

* 通信作者 E-mail: leizhr@sina.com

的焦点,也是国家和相关农业科研、推广应用部门研究的重点与难点。有关蔬菜害虫生物防治技术的研究,国家先后在科技支撑计划项目、基础性工作专项、“973”计划、国家公益性行业(农业)科研专项、国家外专局引进项目、国家自然科学基金等项目中都设有专门的课题或相关研究内容^[1],如“农林重大生物灾害控制技术”、“主要农作物有害生物及其天敌资源调查”、“生态康复型农田绿色控害技术研究”、“新种植模式下病虫害生物防治主打型新技术研究”、“优势天敌资源保护利用关键技术研究”、“捕食螨繁育与大田应用技术”、“十字花科小菜蛾综合防控技术与示范推广”、“园艺作物重要粉虱类害虫综合防控技术与示范”、“作物根蛆类害虫综合防治技术与示范”、“天敌昆虫控制害虫机制及可持续利用研究”、“烟粉虱优势寄生蜂的竞争性互作及可持续性控制机制”、“烟蚜茧蜂滞育调控的温光周期反应及母代效应研究”等。经过十多年的攻关,各项研究取得了很大的进展。本文就我国蔬菜主要害虫生物防治研究与应用方面的主要进展进行总结,并对目前存在的主要问题和发展趋势进行了探讨。

1 天敌昆虫的研究与应用

1.1 捕食性天敌昆虫的研究与应用

对蔬菜害虫控制作用较好的捕食性天敌昆虫很多,但研究和应用较多的主要有异色瓢虫 [*Harmonia axyridis* (Pallas)]、七星瓢虫 [*Coccinella septempunctata* Linnaeus]、龟纹瓢虫 [*Propylaea japonica* (Thunberg)]、草蛉 (*Chrysopidae* spp.)、小花蝽 (*Orius* spp.) 等。如北京市植保站、北京市农林科学院植保环保研究所等单位都研发了异色瓢虫大量繁殖技术,优化了瓢虫规模化饲养的工艺流程,建立了规模繁育技术规程,实现了异色瓢虫工厂化生产及商品化应用。其中北京市植保站与相关企业生产的异色瓢虫产品在北京进行了应用示范,在温室释放异色瓢虫卵卡,对控制蚜虫、叶螨等起到了很好的防控作用,可减少农药用量 60% 以上^[2]。在甘蓝蚜 [*Brevicoryne brassicae* (Linnaeus)] 发生始期,释放异色瓢虫成虫(释放比例为 1:100)可有效降低甘蓝蚜数量。异色瓢虫释放区,甘蓝蚜种群发生量较平稳,其对甘蓝蚜的速效性较差,但持效性较好,处理后 14 d,防效达最高值 61.3%^[3]。孙兴全等^[4]利用异色瓢虫防治棚栽草莓蚜虫,按照释放比为 1:100,3 d 和 6 d 后虫口

减退率分别达到 69% 和 88%,证明异色瓢虫防控草莓上的棉蚜有良好效果。

关于日本通草蛉 [*Chrysoperla nipponensis* (Okamoto)]、大草蛉 [*Chrysopa pallens* (Rambury)]、丽草蛉 (*C. formosa* Brauer) 等的研究,主要是在实验室条件下的生物学特性、对蚜虫、粉虱、叶螨等害虫的捕食能力、人工繁殖技术等研究,目前国内还没有工厂化生产和大量应用。

国内对于东亚小花蝽 [*Orius sauteri* (Poppius)] 的研究主要集中在生物学、生态学特性,天然及人工饲料、大量繁殖等方面,对东亚小花蝽的研究利用多以室内捕食功能研究为主,涉及少量设施蔬菜害虫防治和果园人工调控的研究。如在大棚甜椒苗期按 0.5 头/m² 和 1 头/m² 释放东亚小花蝽,5~7 周后对叶螨和蓟马防治效果达到 97.20%~99.95%^[5]。

1.2 寄生性天敌昆虫的研究与应用

我国有关寄生性天敌昆虫的研究与应用相对较多,在蔬菜害虫生物防治中,主要有丽蚜小蜂 (*Encarsia formosa* Gahan)、潜蝇姬小蜂 [*Diglyphus isaea* (Walker)]、烟蚜茧蜂 (*Aphidius gifuensis* Ashmead)、菜蛾盘绒茧蜂 (*Cotesia plutellae* Kurdjumov) 等。目前我国已有多个生产丽蚜小蜂产品的单位或企业,已在很多地区应用丽蚜小蜂防治温室白粉虱和烟粉虱。有关丽蚜小蜂对温室白粉虱 (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood) 的控制作用研究和田间应用报道较多,而且控制效果较好。如李洪安等^[6]报道,在每株番茄上有 0.5 头温室白粉虱时,连续两次以 150 000 头/hm² 的密度释放丽蚜小蜂进行生物防治,可有效防治温室白粉虱的发生,防效可达 95.6%。王玉波等^[7]的研究表明:释放丽蚜小蜂、安装防虫网和适时清除底部老叶等 3 项措施联合控制技术,能够较好地防治越冬番茄温室内的粉虱,且控制效果可持续作物整个生长期。何笙等^[8]报道了应用丽蚜小蜂防治设施番茄烟粉虱 [*Bemisia tabaci* (Gennadius)] 的效果,在不同地点释放丽蚜小蜂,放蜂后第 4 周,两地对烟粉虱若虫的防治效果分别为 90.9% 和 94.6%,对成虫的控制效果分别为 61.2% 和 76%。

虽然烟蚜茧蜂可以很好地控制烟草和蔬菜上的烟蚜 [*Myzus persicae* (Sulzer)],但国内主要用其防治烟草蚜虫,近年来也有烟蚜茧蜂对十字花科蔬菜蚜虫具有很好的控制潜力的研究报道^[9]。

对控制美洲斑潜蝇 (*Liriomyza sativae* Blanchard)、南美斑潜蝇 [*L. huidobrensis* (Blanchard)]、三叶斑潜蝇 [*L. trifolii* (Burgess)] 等多种入侵斑潜蝇的潜蝇姬小蜂 (*Diglyphus* sp.) 和对小菜蛾有很好控制作用的菜蛾盘绒茧蜂 [*Cotesia plutellae* (Kurdjumov)] 的研究报道也不少, 但田间应用还很少。

1.3 害虫天敌植物支持系统的研究与应用

为天敌昆虫提供食物、提供越冬和繁殖场所、提供逃避农药和耕作干扰等恶劣条件的庇护及适宜生长的微观环境的植物体系构成了害虫天敌的植物支持系统^[10]。一般将这些植物称为储蓄植物或载体植物, 它是一个天敌饲养和释放系统, 是在作物中有意添加或建立的用于温室或大田害虫防治的系统^[11-12]。

如利用蓖麻载体植物系统防治烟粉虱^[13], 利用诱集寄主苘麻防治 B 型烟粉虱等储蓄植物系统已取得了很好的防治效果^[14]。应用小麦载体植物繁殖蚜茧蜂来防治蔬菜蚜虫也有很好的防治效果(刘同先等, 未发表资料); 小麦—麦蚜—异色瓢虫为载体植物系统, 应用于温室中防治黄瓜蚜虫, 防效在第 2 和第 3 周后分别为 54% 和 70%(吴圣勇等, 2013 年未发表资料)。

2 捕食螨的研究与应用

捕食螨是一类具有捕食作用的螨类, 包括植绥螨科 (Phytoseiidae)、厉螨科 (Laelapidae)、绒螨科 (Trombididae)、赤螨科 (Erythraeidae)、大赤螨科 (Anystidae)、长须螨科 (Stigmaeidae)、巨螯螨科 (Macrochelidae)、肉食螨科 (Cheyletidae) 等很多种类^[15]。捕食螨主要用于防治叶螨、蓟马、粉虱、蚜虫等小型害虫和害螨。近年来有关捕食螨的研究与应用越来越多, 目前国内已有 10 多个单位或企业生产捕食螨产品, 并有多个产品应用于蔬菜害虫的防治。张艳璇等^[16]在山东寿光温室茄子上释放黄瓜新小绥螨 (*Neoseiulus cucumeris* Oudemans), 释放 30 d 后对烟粉虱种群控制效果为 92.9%~93.6%, 40 d 后一直维持在 61.1%~67.9%。在黄瓜生长的整个期间释放 2~3 次斯氏小盲绥螨 (*Typhlodromips swirskii* Athias-Henriot), 每 20~25 d 释放 1 次, 苗期每株释放 20~25 头, 后期每株释放 25~50 头, 能达到预期防治效果。李丽娟等^[17]释放智利小植绥螨 (*Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot) 防治大棚菜豆上的二斑叶螨 (*Tetranychus urticae* Koch), 释放后 10 d 和 20 d 的防效分别为 86.36% 和 99.87%。因

此, 按照益害比为 1:15 释放捕食螨可以有效防治保护地害螨, 且防治方法简单, 效果明显。

3 昆虫病原微生物的研究与应用

3.1 虫生真菌的研究与应用

虫生真菌是能寄生于昆虫的一类真菌, 主要包括球孢白僵菌 [*Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin]、金龟子绿僵菌 [*Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff)]、玫烟色拟青霉 [*Paecilomyces fumosoroseus* (Wize)]、蜡蚧轮枝菌 [*Verticillium lecanii* (Zimmerman)]、座壳孢 (*Aschersonia* spp.)、虫霉 (*Entomophthorales* spp.)、莱氏野村菌 [*Nomurace rileyi* (Farlow) Samson] 等, 可寄生 800 多种昆虫、蜘蛛和螨类。

球孢白僵菌是一类研究与应用最多的杀虫真菌, 它可以对 15 个目, 149 个科的 700 多种昆虫以及 6 个科的 10 多种蝉螨有侵染致病作用^[18-19]。目前我国登记注册的球孢白僵菌产品共 13 个, 其中可湿性粉剂共 3 个, 可分散油悬浮剂 4 个, 母药 3 个, 水分散粒剂 2 个, 挂条 1 个, 主要由江西天人生态股份有限公司、山西科谷生物农药有限公司和中国农科院植保所廊坊农药中试厂等登记生产, 其中大部分可用于蓟马、粉虱、蚜虫等蔬菜害虫的防治。近年来中国农业科学院植物保护研究所应用白僵菌防治温室黄瓜、西兰花、茄子等蔬菜上的西花蓟马 [*Frankliniella occidentalis* (Pergande)] 和烟蓟马 (*Thrips tabaci* Lindeman), 其防效均在 70% 左右^[20-21]。罗成等^[22]报道球孢白僵菌 Bb2860 菌株对花椰菜叶上斜纹夜蛾相对防效为 77.64%。王国庆等^[23]报道使用 150 亿/g 球孢白僵菌, 按照 2 250 g/hm² 的剂量, 7 d 后, 对秋葵白粉虱的防效为 85.28%, 对黄瓜白粉虱的防效为 89.15%, 对圣女果上白粉虱的防治效果达到了 85% 以上。

其他虫生真菌如绿僵菌、蜡蚧轮枝菌、拟青霉、虫霉菌等也在蔬菜害虫防治上得到了广泛的研究与应用。Feng 等^[24]用拟青霉可湿性粉剂喷施两次后, 对温室白粉虱的相对防效达到 94%。龙明华等^[25]应用蜡蚧轮枝菌和球孢白僵菌对小菜蛾幼虫进行田间防治, 结果表明, 用药后 7 d 其防效均大于 80%。薛莉^[26]用绿僵菌防治甘蓝上菜青虫和小菜蛾, 对两者的杀灭率分别为 77.32% 和 77.75%。李国霞等^[27]用浓度为 1×10⁷ 孢子/mL 的蜡蚧轮枝菌菌株 VLUKL98 喷施温室茄子上的蚜虫, 第 23 天蚜虫感

染率高达 93.10%。李宏科和康霄文^[28]调查发现多种虫霉菌可寄生十字花科蔬菜上蚜虫,有的寄生率高达 80%。

3.2 昆虫病原细菌的研究与应用

对蔬菜害虫进行生物防治研究与应用的昆虫病原细菌最多最深入的是苏云金芽胞杆菌(*Bacillus thuringiensis*, 简称 Bt),它可以防治多种鳞翅目蔬菜害虫,如小菜蛾(*Plutella xylostella* L.)、菜青虫 [*Pieris rapae* (Linnaeus)]、甜菜夜蛾(*Spodoptera exigua* Hübner)等。随着对 Bt 资源的不断挖掘和研究的深入,也发现了一些对鞘翅目害虫和双翅目害虫防效较好的菌株,如对一些叶甲、蛴螬、马铃薯甲虫、根蛆等蔬菜害虫有较高杀虫活性的菌株。同时,随着分子生物学技术的发展,也开发研究了一些 Bt 工程菌,这对蔬菜害虫的防治,特别是对一些对 Bt 产生了抗性的害虫,如小菜蛾的防治具有重要意义^[29-30]。

3.3 昆虫病毒的研究与应用

昆虫病毒是一种新型的生物农药,在害虫种群中形成流行病而起到长期控制害虫的作用,并具有对人畜安全、对环境友好的特点^[31]。国外早在 20 世纪 60 年代就开始大量生产 50 多种昆虫病毒用于田间防治害虫^[32]。据不完全统计,目前全球已从 11 个目 43 个科的 1 100 多种昆虫中分离获得了 1 690 多株昆虫病毒,其中我国科研人员获得 240 多株^[33],已应用于蔬菜害虫防治的昆虫病毒有菜青虫颗粒体病毒、甘蓝夜蛾核型多角体病毒、甜菜夜蛾核型多角体病毒、斜纹夜蛾多角体病毒、小菜蛾颗粒体病毒和苜蓿银纹夜蛾核型多角体病毒^[31,34-35]。其中中国科学院动物研究所和河南省济源白云实业有限公司联合开发的几种“科云”系列蔬菜昆虫病毒生物杀虫剂,已获得国家核发的登记证和生产许可证,该制剂可以防治多种鳞翅目蔬菜害虫^[36]。李长友等^[37]用甘蓝夜蛾核型多角体病毒(MbNPV)防治大棚白菜上甘蓝夜蛾 [*Mamestra brassicae* (Linnaeus)],防效达到 70%以上。吕利华等^[38]通过室内生命表模拟,发现颗粒体病毒对十字花科蔬菜上的小菜蛾种群具有压制作用。

4 昆虫病原线虫的研究与应用

昆虫病原线虫作为一类新型的生物杀虫剂,具有杀虫范围广、对害虫毒性高、主动搜寻寄主、易于人工培养和使用安全等特点,成为生物防治领域研

究和利用的热点^[39]。我国从 20 世纪 80 年代引入昆虫病原线虫,并进行了大量室内和田间试验。任惠芳等^[40]早在 1998 年就报道中华卵索线虫(*Ovomermis sinensis* Chen et al.)感染期幼虫在室内分别处理菜青虫、斜纹夜蛾 [*Spodoptera litura* (Fabricius)]和甜菜夜蛾,益害比均为 80:1 的情况下,线虫对 3 种蔬菜害虫的寄生率分别为 50%、94%和 92%。安连菊等^[41]报道用夜蛾斯氏线虫 [*Steinernema feltiae* (Filipjev)]处理韭菜迟眼蕈蚊 (*Bradysia odoriphaga* Yang et Zhang)(益害比为 200:1)后,迟眼蕈蚊的死亡率为 70%。当土壤中异小杆属昆虫病原线虫与韭菜迟眼蕈蚊比例为 400:1 时,迟眼蕈蚊的死亡率为 88.2%^[42]。李春亮等^[43]报道被感染中华卵索线虫的斜纹夜蛾幼虫 7 d 后全部死亡。用斯氏线虫(*S. feltiae*)(A24 品系)及异小杆线虫(*Heterohabditis* sp.)(86H-1)防治黄曲条跳甲 [*Phyllotreta striolata* (Fabricius)]幼虫,3 d 后寄生率达 100%;田间施线虫 5 d 后寄生率达 94%^[44]。在十字花科蔬菜田中每公顷施用 7×10^9 条斯氏线虫后,黄曲条跳甲种群数量是对照组中的 $1/5$ ^[45]。小卷蛾线虫(*S. carpocapsae*)(A24)防治十字花科蔬菜重要害虫小猿叶甲(*Phaedon brassicae* Baly)试验表明,在益害比为 75:1 时,48 h 小猿叶甲幼虫死亡率达 90%^[46]。

5 昆虫信息素

昆虫信息素是同种昆虫个体之间在求偶、觅食、栖息、产卵和自卫等过程中起通讯联络作用的化学信息物质。在蔬菜害虫防治方面,主要应用于种群监测、诱杀、驱避和干扰交配等方面。路虹等^[47]在 1994 年报道蚜虫的报警信息素与一些农药混合可提高对蚜虫的防治效果,因为蚜虫报警信息素可使蚜虫活动量增加,增加其与农药接触的机会;另外,报警信息素使有翅蚜比率下降,从而减少了迁移蚜的数量。近年来,国内逐步开发出了防治斜纹夜蛾、甜菜夜蛾、小菜蛾等蔬菜主要害虫的诱芯,并通过田间设置一定数量的诱捕器来大量诱杀成虫。黄志农等^[48]报道应用性信息素诱芯后,白菜和甘蓝上斜纹夜蛾百莧卵量分别减少了 72.2%和 56.0%。中国农业科学院植物保护研究所自 2003 年通过对西花蓟马的气味趋性研究,开发出了一种带有引诱物质的新型粘虫板,并与企业合作开发出了中试产品而推广应用^[49]。贤振华等^[50]研究表明,在十字花科蔬

菜地中用黏性黄板可诱捕到菜蚜、黄曲条跳甲、美洲斑潜蝇、叶蝉等害虫,其对黄曲条跳甲成虫具有良好的诱杀效果。戴建青等^[51]发现带有信息素的黄板对菜心田中的黄曲条跳甲、蚜虫和斑潜蝇等小型害虫均有一定的诱集作用。也有报道利用性信息素干扰害虫雌雄间的通讯联系,使其个体失去寻找异性的定向能力,干扰交配,最终影响害虫的生殖,抑制其种群增长^[52]。

6 其他

抗生素、植物源农药和昆虫生长调节剂也被划为生物防治范围。杀虫抗生素是微生物新陈代谢过程中产生的活性物质,具有杀虫功效。国内实现产业化的杀虫或杀螨抗生素包括阿维菌素、华光霉素、浏阳霉素等。植物源生物农药是指那些自然界存在的,经过人工合成或从自然植物中分离或派生的化合物,如鱼藤酮、印楝素、除虫菊素、苦参碱、烟碱等,其在我国农业生产中已得到了广泛的应用^[53]。昆虫生长调节剂,是一种以昆虫特有的生长发育系统为攻击目标的新型特异性杀虫剂,包括几丁质合成抑制剂、保幼激素类似物、蜕皮激素类似物^[54]。如杨彬等的研究表明 20% 蜕皮激素类似物—虫酰肼悬浮剂对甜菜夜蛾有较好的防治效果,持效期为 7 d 以上,防治效果达 84% 以上^[55]。

7 多种生防措施联合应用控制蔬菜害虫

7.1 多种措施控制单一害虫

为了提高害虫生物防治效果,多种生防措施联合成为害虫综合治理的一项重要措施。如将丽蚜小蜂和东亚小花蝽混合释放,一周后对烟粉虱的防治效果达到 89.3%,高于单独释放东亚小花蝽的效果^[56]。王静等^[57]报道白僵菌和捕食螨的联合应用对西花蓟马的控制效果较好,第 9 天的相对防效达到 82.35%。吴圣勇^[58]研究认为,采取间隔联合应用白僵菌和捕食螨的方法,可以显著提高对西花蓟马的防治效果。徐学农^[59]通过开展联合释放 2 种捕食螨控制蓟马的研究,提出了蓟马立体防控技术,即在植株上释放巴氏新小绥螨 [*Neoseiulus barkeri* (Hughes)] 控制蓟马的初孵若虫,在土表释放剑毛帕厉螨 (*Stratiolaelaps scimitus* Womersley) 控制蓟马入土化蛹的老熟若虫及蛹,同时配合挂放黄、蓝板诱杀蓟马的成虫,此套技术组成能获得控制蓟马危

害的效果。胡安岭等^[60]研究球孢白僵菌与昆虫生长调节剂甲氧虫酰肼及氟铃脲对甜菜夜蛾幼虫的联合毒力,结果表明两种昆虫生长调节剂和白僵菌混用增效作用明显。

7.2 多种措施控制多种害虫

利用黄瓜新小绥螨携带致烟色拟青霉兼具防治蚜虫和叶螨的效果^[61]。释放黄瓜钝绥螨(即:黄瓜新小绥螨)和拟长毛钝绥螨 (*Amblyseius pseudolongispinosus* Xin *et al.*) 后,对温室茄子上的西花蓟马和温室白粉虱种群具有一定的压制作用^[62]。

8 问题与展望

我国蔬菜害虫生物防治研究和应用虽然已取得了很大的进展,但是目前还存在很多问题。第一,有关蔬菜害虫生物防治方面的研究不少,但可用于生产实践的产品很少。不论是害虫天敌,还是昆虫病原微生物,可规模化生产或已形成的产品远远不能满足生产实际的需要;第二,生物防治效果的评价。由于害虫天敌或病原微生物等都是活的生物,在进行害虫防治时,会受到环境温湿度、寄主植物、寄主害虫、使用方法等因素的影响,同时还会由于生物产品活力、状态、批次等因素的影响,造成防治效果的不稳定或不好评价等,而且我国也亟须建立不同生防作用物控害效果的评价标准和体系;第三,生防产品质量检测与标准。尽管我国已经登记了一些昆虫病原微生物、昆虫病毒、天敌昆虫和捕食螨等产品,他们都有各自的质量检测方法和企业标准,但是,随着这类产品越来越多,国家应该制定统一的标准和规范,至少应该制定相应的行业标准,对相应的产品进行检测和质量控制,以便该行业能够健康稳定的发展。

总之,随着人们生活水平的不断提高,对蔬菜质量安全 and 环境质量的要求会越来越高,所以,蔬菜害虫的生物防治研究与应用会越来越受到重视,与蔬菜害虫生物防治相关的产业将有很大的发展空间。

参考文献

- [1] 杨怀文. 我国农业害虫天敌昆虫利用三十年回顾(上篇)[J]. 中国生物防治学报, 2015, 31(5): 603-612.
- [2] 刘刚. 北京市以瓢虫治蚜虫取得显著成果[J]. 农药市场信息, 2015(4): 51.
- [3] 孙梅梅, 柴伟纲, 湛江华, 等. 人工释放异色瓢虫对甘蓝蚜的控制效果[J]. 浙江农业科学, 2015, 56(9): 1452-1453.
- [4] 孙兴全, 陈志兵. 异色瓢虫的人工饲料及防治棚栽草莓蚜虫的

- 初步研究[J]. 上海农学院学报, 1996, 14(2): 133-137.
- [5] 蒋月丽, 武予清, 高新国, 等. 释放东亚小花蝽对大棚辣椒上几种害虫的防治效果[J]. 中国生物防治学报, 2011, 27(3): 414-417.
- [6] 李洪安, 王萱, 李响, 等. 丽蚜小蜂和黄板诱杀防治温室白粉虱研究初报[J]. 中国农学通报, 2007, 23(7): 475-477.
- [7] 王玉波, 方美娟, 何晓庆, 等. 丽蚜小蜂及配套措施联合控制技术对温室粉虱的防治效果[J]. 河北农业科学, 2015, 19(2): 36-40.
- [8] 何笙, 吴晓云, 郑金竹, 等. 丽蚜小蜂防治设施番茄烟粉虱效果研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(14): 6244-6245.
- [9] 柏天琦, 张立猛, 谷星慧, 等. 十字花科作物繁殖烟蚜和扩繁烟蚜茧蜂[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2015, 30(4): 541-546.
- [10] 陈学新, 任顺祥, 张帆, 等. 天敌昆虫控害机制与可持续利用[J]. 应用昆虫学报, 2013, 50(1): 9-18.
- [11] Huang N, Enkegaard A, Osborne L S, et al. The banker plant method in biological control [J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 2011, 30(3): 259-278.
- [12] 李先伟, 潘明真, 刘同先. Banker plant 携带天敌防治害虫的理论基础与应用[J]. 应用昆虫学报, 2013, 50(4): 890-896.
- [13] Huang Hong, Zhao Hui, Zhang Yongmei, et al. Influence of selected host plants on biology of castor whitefly, *Trialeurodes ricini* (Hemiptera: Aleyrodidae) [J]. Journal of Asia-Pacific Entomology, 2014, 17(4): 745-751.
- [14] 林克剑, 吴孔明, 张永军, 等. 利用诱集寄主苘麻防治 B 型烟粉虱的研究[J]. 中国农业科学, 2006, 39(7): 1379-1386.
- [15] 徐学农, 吕佳乐, 王恩东. 捕食螨繁育与应用[J]. 中国生物防治学报, 2015, 31(5): 647-656.
- [16] 张艳璇, 张公前, 陈霞, 等. 斯氏小盲绥螨在大棚上防治烟粉虱的研究与应用[J]. 应用昆虫学报, 2012, 49(3): 721-728.
- [17] 李丽娟, 鲁新, 刘宏伟, 等. 捕食螨防治大棚蔬菜叶螨效果的初步研究[J]. 吉林蔬菜, 2008(1): 72-73.
- [18] 翟锦彬, 黄秀梨, 许萍. 杀虫真菌——球孢白僵菌的昆虫致病机理研究近况[J]. 微生物学通报, 1995, 22(1): 45-48.
- [19] 蒲哲龙, 李增智. 昆虫真菌学[M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1996.
- [20] 李银平. 防治蓟马的白僵菌剂型及应用技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [21] Wu Shengyong, Gao Yulin, Xu Xuenong, et al. Laboratory and greenhouse evaluation of a new entomopathogenic strain of *Beauveria bassiana* for control of the onion thrips *Thrips tabaci* [J]. Biocontrol Science and Technology, 2013, 23(7): 794-802.
- [22] 罗成, 应盛华, 冯明光. 球孢白僵菌对斜纹夜蛾高毒菌株筛选与制剂的研发[J]. 中国生物防治学报, 2011, 27(2): 188-196.
- [23] 王国庆, 周尔槐, 罗稳根, 等. 白僵菌防治温室大棚白粉虱药效试验[J]. 生物灾害科学, 2015, 38(3): 217-220.
- [24] Feng M G, Chen B, Ying S H. Trials of *Beauveria bassiana*, *Paecilomyces fumosoroseus* and imidacloprid for management of *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) on greenhouse grown lettuce [J]. Biocontrol Science and Technology, 2004, 14(6): 531-544.
- [25] 龙明华, 唐小付, 凌启昌, 等. 蜡蚧轮枝菌和球孢白僵菌对小
- 菜蛾药效试验[J]. 长江蔬菜, 2005(10): 48-49.
- [26] 薛莉. 绿僵菌对田间蔬菜害虫的生物防治实验[J]. 山西科技, 2014, 29(3): 29-30.
- [27] 李国霞, 郭友中, 茅洪新, 等. 应用蜡蚧轮枝菌对大棚蔬菜蚜虫防治效果的研究[J]. 中国病毒学, 2000, 15(S1): 262.
- [28] 李宏科, 康霄文. 长沙地区蔬菜蚜虫上虫霉菌研究初报[J]. 生物防治通报, 1989, 5(2): 82-83.
- [29] 彭琦, 周子珊, 张杰. 苏云金芽胞杆菌杀虫晶体蛋白研究进展[J]. 中国生物防治学报, 2015, 31(5): 712-722.
- [30] 邱德文. 生物农药的发展现状与趋势分析[J]. 中国生物防治学报, 2015, 31(5): 679-684.
- [31] 徐伟松, 钟国华. 昆虫病毒在害虫防治上的应用及其对寄生蜂的影响[J]. 昆虫天敌, 2001, 23(2): 70-79.
- [32] 洪华珠, 杨红. 病毒杀虫剂的发展[J]. 中国生物防治, 1995, 11(2): 84-88.
- [33] 杨向黎. 新型农药——病毒性杀虫剂[J]. 农业知识, 2013(19): 43.
- [34] 蒋时察. 我国杀虫微生物的研究进展: 第四届全国杀虫微生物学术讨论会简介[J]. 病毒学杂志, 1991, 6(1): 87-88.
- [35] 胡勇虎. 中国昆虫病毒杀虫剂产业的 SWOT 分析及发展对策研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2014.
- [36] 秦启联, 程清泉, 郑建峰, 等. 科云牌棉铃虫核型多角体病毒生物农药的规模化生产和应用[J]. 生物技术通报, 2008(S1): 467-470.
- [37] 李长友, 魏淳芳. 甘蓝夜蛾核型多角体病毒杀虫剂的制备及田间防治试验[J]. 植物保护, 2000, 26(2): 6-8.
- [38] 吕利华, 冯夏, 陈焕瑜, 等. 颗粒体病毒对不同蔬菜上小菜蛾实验种群的控制作用[J]. 昆虫知识, 2006, 43(1): 74-78.
- [39] 褚栋, 丛斌, 刘洪霞, 等. 国内昆虫病原线虫的应用研究进展[J]. 莱阳农学院学报, 2002, 19(2): 132-135.
- [40] 任惠芳, 陈果, 赵景玮, 等. 中华卵囊线虫 *Ooemeris sinensis* 对蔬菜害虫的人工感染和菜田释放试验[J]. 武夷科学, 1998, 14: 198-202.
- [41] 安连菊, 贾令鹏, 阮维斌, 等. 昆虫病原线虫对韭蛆和土壤线虫群落的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(5): 898-903.
- [42] 孙瑞红, 李爱华, 韩日畴, 等. 昆虫病原线虫 *Heterorhabditis indica* LN2 品系防治韭菜迟眼蕈蚊的影响因素研究[J]. 昆虫天敌, 2004, 26(4): 150-155.
- [43] 李春亮, 邓华, 王国秀, 等. 斜纹夜蛾幼虫被中华卵囊线虫寄生后的食量分析[J]. 中国生物防治, 2003, 19(4): 205-206.
- [44] 李小峰, 王国汉. 昆虫病原线虫对黄曲条跳甲幼虫防治的初步研究[J]. 植物保护学报, 1990, 17(3): 229-231.
- [45] 张茂新, 梁广文. 斯氏线虫对黄曲条跳甲的种群系统控制研究[J]. 植物保护学报, 2000, 27(4): 333-337.
- [46] 潘克鑫, 陆小军, 刘南欣, 等. 小卷蛾线虫对小猿叶甲幼虫的敏感性试验初报[J]. 昆虫天敌, 1999, 21(2): 93-95.
- [47] 路虹, 宫亚军, 王军, 等. 蚜虫报警信息素对桃蚜产生有翅蚜的影响[J]. 北京农业科学, 1994, 12(5): 1-4.
- [48] 黄志农, 刘勇, 陈绍祥, 等. 昆虫性信息素在蔬菜害虫防治中的应用[J]. 湖南农业科学, 2008(4): 109-112.

合成来调节植物应对虫害的免疫反应^[12]。褐飞虱取食水稻后,体内激素信号会相应改变,从而引起一些基因表达模式的相应变化。因此,对于某些基因来说,褐飞虱取食和激素处理都可能会引起其表达量的改变。

本文所得到的启动子 BPHIP 是一个新的褐飞虱诱导表达的启动子,水稻的叶片和叶鞘又是许多病虫害发生部位,该启动子经过优化改造后,非常有望应用于抗虫或抗病水稻的研究中。后续将此启动子进行缺失分析,进而鉴定其核心功能元件的大致范围,还需通过凝胶阻滞试验等鉴定方法,找出该启动子中与褐飞虱诱导相关的顺式作用元件,分析其在转录调控中的分子作用机理,使其能够在农业生产上得以有效利用。

参考文献

- [1] Kasuga M, Liu Q, Miura S, et al. Improving plant drought, salt, and freezing tolerance by gene transfer of a single stress-inducible transcription factor [J]. *Nature Biotechnology*, 1999, 17(3): 287 - 291.
- [2] Moreno A B, Peñas G, Rufat M, et al. Pathogen-induced production of the antifungal AFP protein from *Aspergillus giganteus* confers resistance to the blast fungus *Magnaporthe grisea* in transgenic rice [J]. *Molecular Plant-microbe Interactions*, 2005, 18(9): 960 - 972.
- [3] Li Changyan, Wei Jing, Lin Yongjun, et al. Gene silencing using the

recessive rice bacterial blight resistance gene *xa13* as a new paradigm in plant breeding [J]. *Plant Cell Reports*, 2012, 31(5): 851 - 862.

- [4] 姚秋林,林拥军. 一个水稻根时空差异表达启动子的克隆及功能分析[J]. *农业生物技术学报*, 2011, 19(2): 214 - 220.
- [5] Sato Y, Antonio B, Namiki N, et al. RiceXPro: a platform for monitoring gene expression in japonica rice grown under natural field conditions [J]. *Nucleic Acids Research*, 2011, 39: 1141 - 1148.
- [6] Sato Y, Takehisa H, Kamatsuki K, et al. RiceXPro version 3.0: expanding the informatics resource for rice transcriptome [J]. *Nucleic Acids Research*, 2013, 41: 1206 - 1213.
- [7] 林拥军. 根瘤农杆菌介导的水稻基因转化研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2002.
- [8] Yoshida S, Forno D A, Cock J H, et al. Laboratory manual for physiological studies of rice [M]. 3rd edn. Los Banos: International Rice Research Institute, The Philippines, 1976: 61 - 66.
- [9] Peiffer M, Tooker J F, Luthe D S, et al. Plants on early alert: glandular trichomes as sensors for insect herbivores [J]. *New Phytologist*, 2009, 184(3): 644 - 656.
- [10] Erb M, Meldau S, Howe G A, et al. Role of phytohormones in insect-specific plant reactions [J]. *Trends in Plant Science*, 2012, 17(5): 250 - 259.
- [11] Diezel C, von Dahl C C, Gaquerel E, et al. Different lepidopteran elicitors account for cross-talk in herbivory-induced phytohormone signaling [J]. *Plant Physiology*, 2009, 150(3): 1576 - 1586.
- [12] Lu Jing, Ju Hongping, Zhou Guoxin, et al. An EAR-motif-containing ERF transcription factor affects herbivore-induced signaling, defense and resistance in rice [J]. *The Plant Journal*, 2011, 68(4): 583 - 596.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 6 页)

- [49] 梁兴慧, 雷仲仁. 信息化合物对西花蓟马的行为调控及其应用 [J]. *中国蔬菜*, 2010(22): 11 - 15.
- [50] 贤振华, 齐秀玲, 龙明华. 黄板对菜地黄曲条跳甲的诱杀试验 [J]. *中国植保导刊*, 2009, 29(1): 22 - 23.
- [51] 戴建青, 韩诗畴, 李军, 等. 黄板加信息素对黄曲条跳甲成虫的田间诱集作用 [J]. *南方农业学报*, 2013, 44(3): 422 - 425.
- [52] 杜永均. 化学信息素在蔬菜害虫综合防治中的应用 [J]. *中国蔬菜*, 2007(1): 35 - 39.
- [53] 刘海学, 张礼生, 吴惠惠. 我国保护地蔬菜害虫生物防治研究进展 [J]. *内蒙古农业科技*, 2014(5): 95 - 97.
- [54] 郭青春, 郑福山, 董红霞. 昆虫生长调节剂在害虫生物防治中的应用 [J]. *园艺与种苗*, 2011(3): 41.
- [55] 杨彬, 姚安平, 周小毛. 20% 虫酰肼悬浮剂防治甜菜夜蛾田间药效试验 [J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(15): 8270 - 8271.
- [56] 李姝, 劳永兵, 王甦, 等. 东亚小花蝽和丽蚜小蜂对烟粉虱的协同控制效果研究 [J]. *环境昆虫学报*, 2014, 36(6): 978 - 982.
- [57] 王静, 雷仲仁, 高玉林. 虫生真菌和捕食螨对西花蓟马的联合

控制作用初步研究 [C] // 吴孔明. 公共植保与绿色防控. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2010: 879.

- [58] 吴圣勇. 白僵菌、巴氏新小绥螨和西花蓟马间的互作关系研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2014.
- [59] 徐学农. 联合释放黄瓜钝绥螨或小花蝽和尖狭下盾螨防治西方花蓟马 [C] // 杨怀文. 迈入二十一世纪的中国生物防治. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2005: 37 - 40.
- [60] 胡安岭, 田兆丰, 高希武, 等. 球孢白僵菌与两种昆虫生长调节剂对甜菜夜蛾的联合作用 [J]. *中国生物防治学报*, 2015, 31(4): 575 - 580.
- [61] 孙莉, 张艳璇, 赵玲玲, 等. 利用胡瓜新小绥螨携带玫烟色拟青霉菌兼防茄子蚜虫和叶螨 [J]. *中国农学通报*, 2015, 31(20): 91 - 96.
- [62] 王恩东, 徐学农, 吴圣勇. 释放 2 种捕食螨对温室大棚茄子上西花蓟马和温室白粉虱的防治效果试验 [C] // 成卓敏. 粮食安全与植保科技创新. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2009: 580 - 586.

(责任编辑: 田 喆)