

我国落叶果树主要害虫及其防治技术60年研究进展

程 杰¹ 赵 鹏¹ 李建瑛¹ 李 贞¹ 张松斗¹ 李建成² 刘小侠^{1*}

(1. 中国农业大学植物保护学院昆虫学系, 北京 100193; 2. 河北省农林科学院植物保护研究所, 保定 071000)

摘要: 落叶果树是指秋末落叶的一类果树, 是我国重要的农林作物之一。近年来, 随着果树种植结构的调整和种植面积的扩大, 虫害对果树产业的影响越来越严重, 越来越多的科研工作者加入到果园害虫防治的队伍中, 并在果园害虫绿色防控方面获得了一批新技术, 取得了一些新成果。为持续推动果树虫害防治新理念的落实, 该文统计了20世纪60年代至今落叶果树虫害防治相关研究论文的发表情况, 综述了落叶果树主要害虫的演变, 总结了60年来落叶果树害虫防治理念及技术的转变。展望未来, 害虫智能化精准识别与种群动态监测、害虫生态调控、害虫遗传调控以及基于纳米材料的RNA杀虫剂等新技术正推动果园害虫监测防控体系的不断创新。

关键词: 落叶果树; 害虫演变; 综合治理; 绿色防控

Advances in pest control of deciduous fruit trees over the past 60 years in China

Cheng Jie¹ Zhao Peng¹ Li Jianying¹ Li Zhen¹ Zhang Songdou¹ Li Jiancheng² Liu Xiaoxia^{1*}

(1. Department of Entomology, College of Plant Protection, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Plant Protection Institute, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Baoding 071000, Hebei Province, China)

Abstract: Deciduous fruit tree refers to the fruit trees whose leaves fall in late autumn, and is one of the important crops in China. In recent years, with the adjustment of planting structure and the ever-increasing fruit tree growing area, the impact of pests on fruit production industry has become progressively worse. Now more and more researchers are involved in the research of orchard pests. A number of new technologies and achievements have emerged in the green prevention and control of orchard pests in China. To continuously promote and implement the new concepts of fruit tree pest control, this paper briefly introduced the published research papers related to deciduous fruit tree pest control. The succession characteristics of main pests of deciduous fruit trees were also introduced. In addition, the changes in the ideas and measures of fruit tree pest control in the past 60 years were summarized. Looking into the future, new technologies such as intelligent pest identification and forecasting, ecological regulation and management of pests, genetic regulation technique, and nano-delivery system-based RNA pesticides will promote continuous innovation of orchard pest monitoring and control systems.

Key words: deciduous fruit tree; pest succession; integrated pest management; green control

落叶果树是指秋末落叶、第2年春天又萌发的一类果树, 这类果树一年内有明显的休眠期和营养期, 能耐冬季低温, 分布较广, 一般可分为仁果类(如

苹果、梨、沙果、山楂等)、核果类(如桃、杏、李、梅、樱桃等)、浆果类(如葡萄、醋栗、树莓、猕猴桃、无花果等)、坚果类(如板栗、核桃、榛子、扁桃、银杏等)和杂

基金项目: 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系(CARS-28), 河北省重点研发计划(19226511D, 20326506D), 广东省重点领域研发计划(2020B0202020003)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: liuxiaoxia611@cau.edu.cn

收稿日期: 2021-12-27

果类(如柿、枣等)(洪晓月,2017)。在我国农业经济中,落叶果树种植业占有重要的地位,其产业发展取得了巨大成就,在保障人民健康、农民增收、生态安全和农业可持续发展等方面贡献突出(刘凤之等,2021)。随着落叶果树种植面积和产量的增加及产业布局调整,果树虫害防控的形势越来越严峻,20世纪60年代至今的60年中,我国落叶果树虫害的主要种类发生了明显变化,防治技术也逐渐向绿色防控技术的方向发展。

本文对目前所发表的落叶果树虫害防控相关的中文文献进行了梳理,共检索到了71 528篇文献,进一步精准检索共获得12 388篇非重复的文献,包

括落叶果树病虫害防治、果树害虫和综合防治技术等,充分反映了害虫防治的重要性。发表的落叶果树害虫防控相关文献一直处于上升的趋势,其中1962—1971年,共检索到30篇相关文献,2012—2021年,共检索到4 304篇,是1962—1971年检索到文献的143.5倍(图1),表明越来越多的科研单位和科研工作者投入到了落叶果树虫害防控研究中。为了进一步推动我国落叶果树害虫防控的研究工作及绿色防控技术的应用,本文对60年来我国落叶果树主要害虫的演变及害虫防治技术的演变进行了综述,并对更高效、更专一的果园害虫监测防控新技术进行了展望。

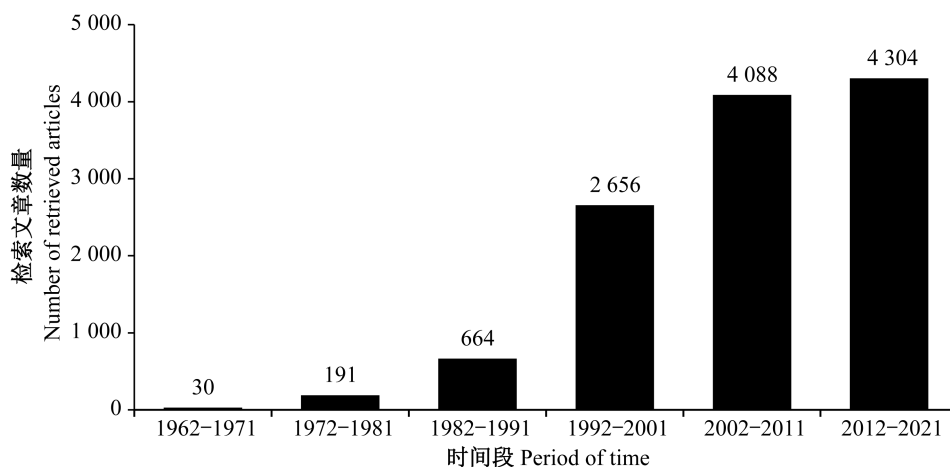


图1 1962—2021年落叶果树相关文章数量(数据来源中国知网)

Fig. 1 No. of articles on deciduous fruit trees from 1962 to 2021 (data source from CNKI)

1 落叶果树主要害虫的演变

落叶果树种类多,品种复杂,又是多年生植物,是害虫繁衍与暴发的有利场所(黄可训等,1990)。目前我国已记载的果树害虫种类有1 000多种,其中重要害虫有80多种(洪晓月,2017)。果树害虫根据为害特点主要分为蛀果类害虫、食叶类害虫、刺吸类害虫、卷叶蛾类害虫、枝干类害虫、吸果夜蛾类害虫及地下害虫等(张青文,2007)。害虫发生演替是长期不断变化的生态学过程,受诸多因素影响。

从20世纪60年代至今,随着农业生态环境的改变、作物布局和产业结构的调整、果树品种的更新和防治策略的改变,果园害虫的主要种类及成灾规律也发生了相应变化。整体来看,果园害虫的演替有3个特点:1)种植模式的改变加剧果园害虫种类演替;2)次要害虫在果园为害加重,如个体小、隐蔽性强、保护机制完善的刺吸式口器害虫在果园为害严重;3)入侵害虫或潜伏性害虫为害有加重趋势(孙益

知和马谷芳,1981;赵龙龙等,2020)。

1.1 种植模式改变对害虫的影响

我国果品套袋技术应用历史悠久,在解放前就有零星使用,20世纪80年代开始引进、吸收和消化日本的套袋栽培技术并加以创新,从此果实套袋技术开始在我国盛行(张永茂等,2012)。实践证明,果实套袋具有改善果实外观品质、提高优质果率以及保障果品质量安全等优点,该技术逐步被我国果树种植者接受,并加速了该技术的推广和普及,套袋技术已被用于苹果、梨、桃、葡萄、杏和李等多种水果生产上(韩明玉等,2004)。果实套袋技术大面积推广后,一方面因为蛀果类害虫不容易直接蛀果为害,致使20世纪80年代中期以前蛀果类害虫猖獗为害的现象有所降低(谌有光,2011);另一方面因为套袋会显著改变袋内光照、温度、湿度及透气性等微环境,加重了袋内具有喜温、趋湿和喜阴等习性害虫的发生,如康氏粉蚧 *Pseudococcus comstocki* (Kuwana)、黄粉蚜 *Aphanostigma iaksuiense* (Kishida)、中国梨

喀梨木虱 *Cacopsylla chinensis* (Yang et Li) 及象甲类害虫等,这些害虫发生程度和发生量逐年增加,为害日趋严重,原属于次要害虫,现已成为我国北方地区果园中的常发性害虫(冯建国等,2005)。近几年劳动力减少,甚至在套袋关键时期找不到劳动力,套袋人工成本大幅度提高;此外,果园栽培和管理模式也发生了比较大的变化,如密植园新栽培模式、果园机械化管理等模式,这些模式均限制了套袋技术的继续使用,所以蛀果类害虫为害又呈现加重的趋势(岳强等,2020)。

1.2 次要害虫在果园为害加重

我国关于盲蝽为害作物的相关报道始于20世纪30年代,但关于其对果树为害的报道直到20世纪80年代才偶见。21世纪随着大面积推广种植Bt棉,棉田杀虫剂用量大幅下降,导致棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner) 种群生态位空缺,棉田盲蝽种群数量快速上升,种群暴发,由次要害虫演变成了主要害虫(Wu et al., 2008; Lu et al., 2010)。盲蝽寄主植物种类多,成虫飞行扩散能力强,使其逐渐向周边扩散(Lu & Wu, 2011)。随着各类果树种植面积的大幅度增加,其为盲蝽提供了丰富的寄主植物和适宜的越冬场所,为区域性种群发生提供了有利条件(陆宴辉等,2010)。盲蝽类害虫在我国北方各省果园发生趋于严重,在很多果园已成为优势种,占据主要生态位(郭晨茜等,2013;罗淑萍等,2018)。

除盲蝽外,香梨暗斑螟 *Euzophera pyriella* Yang 在新疆维吾尔自治区(简称新疆)的为害也逐渐加重。香梨暗斑螟作为一种果树蛀干蛀果害虫,20世纪90年代首先于我国新疆部分地区被发现,仅在个别梨园零星发生(宋美杰等,1994)。随着新疆香梨种植面积的扩大和相关产业的发展,香梨暗斑螟已分布于新疆各个地区,目前在阿克苏市为害最重,其已成为梨树的主要害虫之一(马涛等,2016)。除梨树外,该虫还可为害苹果、桃、杏、无花果和枣等果树,严重制约我国新疆果树产业的发展(崔笑雄等,2020)。

1.3 外来入侵害虫在落叶果园有加重为害趋势

实蝇类害虫种类繁多,寄主范围广,为害严重,已列入我国现行的植物检疫性有害生物名录中(李志红等,2013)。一直以来,该类害虫在我国华南、西南地区为害严重,而在我国北方地区少有为害(王涤非,2019)。近年来我国华中及华北地区平均温度总体呈升高趋势,使其适生区不断北移。如橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 目前已蔓延到湖北、安徽、河南、陕西、河北和北京等省市(朱雁飞等,

2020)。在我国北方苹果园、桃园和梨园均已监测到橘小实蝇(李建瑛等,2020;郭腾达等,2021;郭晓军等,2021)。苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* (Linnaeus) 是世界上最严重的蛀果类入侵害虫之一,也是我国重要的植物检疫性有害生物,严重为害苹果、梨、桃和杏等果树,蛀果率一般达50%,不仅严重影响果实品质,并造成大量落果(张润志等,2012)。根据农业农村部官方网站数据,苹果蠹蛾已在我国新疆、甘肃、宁夏、内蒙古、黑龙江、吉林、辽宁、天津以及北京等省(区、市)发生,对我国西北黄土高原及东部渤海湾苹果优势产区造成严重威胁(于昕等,2020)。美国白蛾 *Hyphantria cunea* (Drury) 是一种传播途径广、适应性强、食性杂、为害严重的世界性检疫害虫,在我国其寄主多达300余种,包括苹果、梨、桃、李和杏等多种果树(季荣等,2003)。目前其已经扩散至我国13个省(区、市)的近600个县(国家林业和草原局2020年第3号公告),在一些非疫区县也发现了美国白蛾,其定殖概率较大,整体扩散形势严峻。葡萄根瘤蚜 *Daktulosphaira vitifoliae* (Fitch) 是我国也是国际上重要的检疫性有害生物,为单食性害虫,仅为害葡萄属植物,给葡萄产业造成巨大的经济损失(马罡等,2021a)。2005年葡萄根瘤蚜在上海市发生为害,随后陆续在湖南、陕西等多省发生为害(董丹丹等,2010)。葡萄根瘤蚜为害隐蔽,并借助在葡萄苗木频繁调运过程中的高成活率实现快速、远距离的传播,因此我国北方葡萄产区对其传播扩散应提高警惕(闫文涛等,2011)。

2 落叶果树害虫防治技术的演变

果园害虫连年繁殖,发生种类多,成灾规律复杂,防治困难。早期主要以农业防治为主、化学防治为辅;随着化学农药种类和产量的增加,化学防治逐渐占主导地位。1975年我国确立了“预防为主,综合防治”的植保工作方针,自此我国落叶果树的综合防治研究也拉开了序幕(张乃鑫等,1979)。很多学者和果园管理者努力用综合防治指导思想防治果园害虫,实践也证明只有认真贯彻并执行害虫综合治理理念才能实现果园害虫的有效防控和可持续发展(张青文和刘小侠,2015)。原农业部在2006年召开了全国植保植检工作会议,提出了“公共植保,绿色植保”的新理念,自此我国开启了农作物病虫害绿色防控的新征程,落叶果树的绿色防控技术也不甘落后,近几年陆续出现了一批实用有效的果树绿色防控技术。

2.1 人工防治为主阶段

20世纪50年代,我国经济处于恢复时期,工业机械化相对落后,虽然果树种植面积较小,但农业生产的积极性很高,为了强调预防害虫的意义,当时提出“防重于治”的方针,防虫方法上强调以人工防治为主、化学农药为辅(赵善欢,1959)。1961年随着“土、肥、水、种、密、保、管、工”农业“八字方针”的提出,人们加深了对害虫发生规律与农业防治的认识,其内容主要包括深耕、改良土壤、合理施肥和灌溉、培育和推广良种、合理密植和加强田间管理等。目前落叶果树害虫的农业防治技术仍然在广泛使用,大致包括2个方面:一方面是加强果树栽培管理,例如中耕除草,培肥地力,科学浇水,合理修剪,合理疏花疏果,合理负载及增强树势等,提高果树本身抵御虫害的能力;另一方面是创造不利于虫害发生和繁殖的环境条件,例如休眠期彻底清除果树上的虫枝虫果,深翻改土,刮除翘皮,及时清理枯枝落叶与杂草等(冯建国等,2005)。

2.2 化学防治的繁荣昌盛阶段

20世纪50年代末至60年代初,我国提出了“有虫必治,土洋结合,全面消灭,重点肃清”的植保方针。伴随着我国经济的逐渐恢复和农药工业的发展,化学药剂在果园中的使用量开始增加,主要以六六六、马拉硫磷和双对氯苯基三氯乙烷(Dichlorodiphenyltrichloroethane, DDT)等有机磷、有机氯等高毒农药为主(赵善欢,1959)。化学农药凭借其杀虫效力高、收效快、成本低等优点而受到广大果农的青睐(赵善欢,1962)。不可否认的是早期高毒广谱性杀虫剂的使用使我国果树产量快速增长,为我国近代果园害虫化学防治奠定了基础,但单纯依赖农药和滥用农药导致害虫产生抗性、农药残留和害虫再猖獗的“3R”问题,同时严重污染环境和杀伤有益昆虫(马世骏,1961;张宗炳,1963)。现阶段,化学防治依然是果树害虫防治的重要手段之一,但已过渡到使用高效、低毒、低残留和具有选择性的农药,且生物农药得到了广泛使用(邱德文,2015)。此外,精准施药技术与高效施药装备正在逐步替代果园传统的单一连续喷雾作业,这将显著减少农药用量,提高农药利用率及防治效果(何雄奎,2019)。在现阶段,化学防治更像是一种应急措施,需要与其他防治措施有机协调,尤其与生物防治相结合可减少施用农药数量和次数,科学用药(叶恭银,2006)。

2.3 有害生物综合治理阶段

在1975年全国植物保护工作会议上,我国确立

了“预防为主,综合治理”的植物保护工作方针,确定了有害生物综合治理的指导思想,就是从农业生态总体出发,根据有害生物和环境之间的相互关系,充分发挥自然控制因素的作用,因地制宜协调应用必要的措施,将有害生物控制在经济受害允许水平以下,以获得最佳的经济、生态和社会效益(洪晓月,2017)。与大田作物相比,果园生态环境较稳定,十分有利于以生态学为基础的害虫综合防控技术应用(肖云丽等,2020)。

自从“预防为主,综合治理”的植物保护工作方针确立之后,植保工作者对落叶果树害虫的综合治理也开始了广泛研究。果园防治技术得以丰富,如合理施肥,合理间作、生草、覆草管理制度和疏花疏果等,充分发挥气候、生境、种植制度、品种及栽培技术等。利用昆虫习性或趋性进行防治,如利用鳞翅目和鞘翅目昆虫对光的趋向性,悬挂频振式杀虫灯可有效诱杀鳞翅目和鞘翅目等害虫成虫(黄玉南等,2008);使用糖醋液可诱杀食心虫类和金龟子类等害虫(杨明禄等,2011);悬挂黄色粘虫板可有效诱集木虱、蚜虫类及蜡类等害虫(张国浩等,2020;赵龙龙等,2021)。此外,悬挂防虫网等设施还可起到防虫、防鸟的目的(李学斌,2012)。对于一些有条件的果园,冬季可以在树干基部绑瓦楞纸或束草,进而有效诱集果园的越冬害虫(孙圣杰等,2021a)。

针对果园不同类型的害虫,我国建立了较完整的综合治理体系(张青文,2007)。如针对蛀果类害虫如梨小食心虫 *Grapholita molesta* (Busck) 和桃小食心虫 *Carposina sasakii* Matsumura 等,通过清理虫枝虫果、刮除翘皮、果实套袋等手段,或者与诱虫灯和诱杀的方法结合可有效控制其数量(田宝良等,2012)。针对刺吸类果树害虫如茶翅蜡 *Halyomorpha halys* (Stål), 可选用日本平腹小蜂 *Anastatus japonicus* Ashmead 和茶翅蜡沟卵蜂 *Trissolcus japonicus* (Ashmead) 等寄生性天敌,或者与七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* Linnaeus、草蛉等捕食性天敌昆虫共同防控;利用拒食剂、趋避剂缓释并结合果园周边合理栽植的诱集植物吸引茶翅蜡,构建“推-拉”策略亦可对其进行有效防控(徐庆宣等,2020)。对于果园害螨,培育繁殖害螨天敌昆虫高桥食螨蓟马 *Scolothrips takahashii* Priesner, 筛选高杀螨活性的植物源农药如小茴香粗提物、牛蒡粗提取物等药剂防治和天敌防治相结合的方法可有效控制害螨为害(洪晓月等,2013)。对于果树蛀干害虫如桃红颈天牛 *Aromia bungii* (Faldermann), 可使用糖醋液诱

杀,或者与释放管氏肿腿蜂 *Sclerodermus guani* Xiao et Wu、花绒寄甲 *Dastarcus helophoroides* (Fairmaire)等寄生性天敌结合,并与人工捕杀、树干涂白等技术配合可对其进行较好的防控(韩明利等,2019)。针对为害果树根系的地下害虫,可利用黑光灯对其成虫进行诱杀,或在果园悬挂性信息素诱捕器,并与轮作倒茬、深耕晒垡、清理果园等农业措施和土壤施用白僵菌等生物措施结合进行防治(张美翠等,2014)。针对检疫性害虫如葡萄花翅小卷蛾 *Lobesia botrana* (Denis et Schiffermüller),在加强检疫检验的同时,对已发生害虫的果园加强日常栽培管理,释放人工合成性信息素对其进行交配干扰,可有效减少受害花序及果实数量(马罡等,2021b)。

2.4 绿色防控技术的发展

21世纪以来,我国经济迅速发展,科学技术不断进步,对植物保护工作认识 and 理解的不断加深,“预防为主,综合防治”的植保方针已远远满足不了社会发展性的需要,并且随着农业的商品化和消费者环保意识的增强,农药对农产品的残留污染受到广泛关注。2006年原农业部召开了全国植保植检工作会议,提出了“公共植保,绿色植保”的新理念。此后规范了防治规程和防治方式,鼓励专业化、绿色化防控。2020年3月国务院颁布了《农作物病虫害防治条例》,该条例明确提出坚持绿色防控的原则,充分贯彻绿色发展的新理念,鼓励支持绿色防控技术的创新与推广。该条例的颁布具有划时代意义,病虫害绿色防控将迎来大发展。

为贯彻新的植保理念,果园中逐渐采用迷向丝、性诱芯等以生物防治为主的新型防治技术,并在示范园取得了很好的防治效果,许多防控产品也已商品化(张青文和刘小侠,2015)。果园内悬挂迷向丝后,雄成虫不能准确定位雌成虫,导致雌成虫不能及时交配而影响繁殖下一代,从而达到防治害虫的目的,目前市场上的迷向丝产品主要针对梨小食心虫和苹果蠹蛾等蛀果类害虫。在果实膨大期和成熟期利用迷向丝防治梨小食心虫均可显著降低蛀果率(李晓龙等,2019)。性诱剂则是利用性信息素吸引寻求交配的雄成虫,将其诱杀在诱捕器中,减少后代种群数量,从而达到防治的目的。刘文旭等(2014)和巫鹏翔等(2016)研究表明糖醋液与性诱剂结合使用对梨小食心虫的防控有良好的增效作用。在果园害虫种群测报方面,性诱剂不仅可以灵敏、高效地监测橘小实蝇、桃小食心虫和梨小食心虫等害虫的发生、迁入或羽化时间(田宝良等,2012),还可以监测

到一些偶发性害虫,通过监测掌握关键时期进行精准防控。昆虫信息素应用技术也较成熟,既可用于果园害虫监测技术,也用于害虫诱杀防治技术,并且与缓释技术配合使用可达到更好的效果(韦卫等,2006)。

保护天敌和天敌昆虫释放技术也是果树绿色防控的重要组成部分。果树害虫天敌分寄生性天敌和捕食性天敌2种。寄生性天敌指膜翅目寄生蜂类天敌和双翅目寄生蝇类天敌,不同害虫的寄生性天敌种类存在差异。例如食心虫类害虫的寄生性天敌以卵寄生蜂(赤眼蜂类等)和幼虫寄生蜂(姬蜂、茧蜂类等)为主(冉红凡等,2016);木虱类害虫的寄生性天敌以跳小蜂类为主(章宗江,1992)。果树害虫捕食性天敌为非寄生性的肉食性天敌,其食性广,其中以瓢虫类、草蛉类、食蚜蝇类、捕食螨类和蜘蛛类天敌记录最多。虽然果园中天敌昆虫种类和数量很多,但它们经常受到气候、生物等不良环境条件及人为因素的影响,因此不能充分发挥其对害虫的控制作用。应改善或者创造有利于自然天敌昆虫发生的果园环境,促进其繁殖发展。

在稳定的果园生态系统中,引进的天敌容易建立群落,能有效控制某些害虫的发生,因而在果园中比较容易开展生物防治措施(洪晓月,2017)。通过大量繁殖、饲养及释放天敌昆虫,可补充果园自然天敌昆虫数量,使害虫在大量发生为害之前得到有效控制(张礼生和陈红印,2014)。近年来,国内外关于赤眼蜂用于防控果园食心虫的研究均有报道,涉及室内寄生率观察、蜂种寄生效能评价、田间释放技术、防控效果监测以及环境因子对赤眼蜂寄生效率的影响等方面,且在果园释放赤眼蜂用于防控果园食心虫的技术不断被优化,防控效果不断提升(Zang et al., 2021)。Zhang et al.(2021)通过室内优势蜂种筛选和赤眼蜂在梨园内的扩散和寄生情况监测发现,在果园各代梨小食心虫成虫产卵初期释放松毛虫赤眼蜂 *Trichogramma dendrolimi* Matsumura可显著降低食心虫发生数量。Li et al.(2016)研究发现在桃园梨小食心虫发生高峰期释放松毛虫赤眼蜂可显著降低桃园折梢率和蛀果率。孙圣杰等(2021b)研究结果显示梨园中悬挂迷向散发器与释放松毛虫赤眼蜂配合使用可增强对梨小食心虫的防控效果。此外,捕食螨作为一种捕食性天敌常用于防治果园害螨,如胡瓜钝绥螨 *Amblyseius cucumeris* Oudemans早已商品化生产,其对果园多种害螨均有较好的防效,对库尔勒香梨梨园中的土耳其斯坦叶

螨 *Tetranychus turkestanii* Ugarav et Nikolski 的防控效果显著(张艳璇等, 2006)。此外, 巴氏新小绥螨 *Neoseiulus barkeri* Hughes 属多食性捕食螨, 可有效防控苹果全爪螨 *Panonychus ulmi* Koch(张丹等, 2021)。

3 展望

随着我国生态社会建设的推进, 人们对果园害虫绿色防控重要性的认识提升到了一个新的高度, 这不仅直接影响果业绿色发展能力和果品质量安全水平, 同时关系到农村生态环境安全, 因此对果园害虫绿色防控的研究与实践提出了更高的要求。近10多年来, 科技人员对绿色防控及综合治理理念的推广宣传不断加强, 随着我国科技水平的提高, 通过吸收新兴学科的新技术, 更高效、更专一的果园害虫监测防控新技术将会受到广泛关注。

3.1 害虫生态调控

在2012—2016年的5年间, 我国提出了基于生态系统服务和多尺度空间管理的害虫生态调控新策略(ecological regulation and management of pests, ERMP), 生态调控是综合治理的继承和发展(陆宴辉等, 2017)。同时害虫生态调控也是害虫管理的一种技术, 包括生态景观设计、作物合理布局、功能植物合理配置、“推-拉”技术、生态“自杀”技术、健康作物环境管理技术等措施(戈峰, 2020)。为适应农业可持续发展和害虫可持续控制的要求, 害虫生态调控将会是当前乃至未来落叶果树种植业可持续发展的重要方向。

3.2 害虫智能化精准识别与种群动态监测

对果园害虫的精准识别是害虫监测的基础。随着成像水平、人工智能深度学习技术以及计算机技术的发展与应用, 果园害虫的识别准确度不断提高(萧玉涛等, 2019)。果园昆虫种群动态监测可以反映害虫种群的存在状态, 是实施准确防控的前提。近年来, 基于互联网+、大数据、云平台、“3S”技术及生态环境模型等多种现代化技术构建的测报信息化网络成为重要的发展方向, 未来将逐步实现果园害虫种群动态监测数据化和可视化(赵紫华等, 2021)。

3.3 害虫遗传调控

害虫遗传调控技术具有物种特异、环境友好及高效长久等优点, 符合未来害虫防治技术的需求与发展趋势(武强等, 2015)。随着基因工程技术的发展, 害虫遗传调控技术已从简单的基因扰乱发展为更为精准的基因编辑技术, 特别是2013年开始兴起

的CRISPR/Cas9技术, 使得非模式生物在内的诸多生物的基因组编辑成为可能(李芝倩等, 2017; 徐雪娇等, 2019)。通过CRISPR/Cas9等基因编辑技术, 可建立适用于果园重大害虫的基因编辑平台, 筛选可用于遗传防控的靶基因, 构建可稳定遗传的害虫不育品系, 并研发种群可持续遗传防治技术。目前, 果园害虫遗传调控的基础和应用研究快速发展, 遗传调控策略将在未来果园害虫防治中具有更广阔的前景。

3.4 基于纳米材料的RNA杀虫剂的应用

近些年纳米材料在农业害虫防治领域表现出了巨大的应用潜力, 推动了传统害虫防治在交叉学科领域的不断发展和深化(闫硕和沈杰, 2019)。纳米材料与化学农药协同使用可以大幅度改善化学农药的理化特性, 提升农药效率, 降低农药用量。以昆虫自身的生命活动调节系统为靶标控制害虫的发展和繁衍, 是一种高效且安全的防治策略(王治文等, 2019)。随着组学和生物信息学的不断发展, 大量与昆虫生命活动相关的基因被发现, RNA干扰技术不仅被广泛用于昆虫基因的功能鉴定, 还为害虫的遗传学控制提供了可能(闫硕和沈杰, 2019)。随着RNA纳米递送载体和双链RNA的高效合成技术日渐成熟, RNA杀虫剂已进入生产实践环节。如利用成本低廉的星状阳离子聚合物纳米载体(star polycation, SPc)搭载梨小食心虫神经肽 *NPF1a* 基因的双链RNA, 研发出了可预防梨小食心虫幼虫蛀果取食的纳米-RNA制剂, 为今后果园直接喷施RNA制剂来防治梨小食心虫的应用研究奠定了基础(Wei et al., 2021)。RNA杀虫剂的使用秉持了绿色可持续发展的理念, 落实了化学农药减量增效工作, 是可用于果园害虫防治的安全、绿色、高效的新技术。

随着果园虫害防治新理念的持续推动与落实, 加之与高新技术的不断交叉融合, 果园的绿色生态虫害防控体系将越来越完善, 防治水平也将越来越高, 这对于促进落叶果树种植业持续、高效、绿色发展具有重要意义和深远影响。

致谢: 中国农业科学院植物保护研究所马春森研究员、河北农业大学植物保护学院魏国树教授以及中国农业科学院果树研究所仇贵生研究员对该文提出宝贵意见, 特此致谢!

参考文献 (References)

Chen YG. 2011. The species change of mite in deciduous fruit trees and the control technique modification in China. Chinese Jour-

- nal of Applied Entomology, 48(2): 431–434 (in Chinese) [湛有光. 2011. 我国落叶果树叶螨种群演变和防控技术的变化. 应用昆虫学报, 48(2): 431–434]
- Cui XX, Ma ZH, Xiong RC, Li ZX, Yao YS. 2020. A study on the flight ability of *Euzophera pyriella* Yang. Journal of Environmental Entomology, 42(5): 1223–1229 (in Chinese) [崔笑雄, 麻正辉, 熊仁次, 李志雄, 姚永生. 2020. 香梨优斑螟飞行能力的研究. 环境昆虫学报, 42(5): 1223–1229]
- Dong DD, Liu CH, Fan XC, Sun HS, Zhang GH, Wang ZY. 2010. Qualitative analysis of pest risk of *Daktulosphaira vitifoliae*. Sino-Overseas Grapevine & Wine, (9): 75–78 (in Chinese) [董丹丹, 刘崇怀, 樊秀彩, 孙海生, 张国海, 王忠跃. 2010. 葡萄根瘤蚜有害生物风险定性分析. 中外葡萄与葡萄酒, (9): 75–78]
- Feng JG, Yu Y, Zhang AS, Tao X, Zhang SC. 2005. Sustainable pest management technology in apple orchard. China Fruits, (1): 10–12 (in Chinese) [冯建国, 于毅, 张安盛, 陶训, 张思聪. 2005. 生态苹果园害虫可持续治理技术. 中国果树, (1): 10–12]
- Ge F. 2020. The ecological regulation and management of pests. Chinese Journal of Applied Entomology, 57(1): 10–19 (in Chinese) [戈峰. 2020. 论害虫生态调控策略与技术. 应用昆虫学报, 57(1): 10–19]
- Guo CX, Wang X, Yang YH, Liu XX, Zhang QW. 2013. Population dynamics of *Apolygus lucorum* (Hemiptera: Miridae) and its natural enemies in a pear orchard in Beijing. Acta Entomologica Sinica, 56(12): 1516–1522 (in Chinese) [郭晨茜, 王璇, 杨宇晖, 刘小侠, 张青文. 2013. 北京梨园绿盲蝽及其天敌的种群动态. 昆虫学报, 56(12): 1516–1522]
- Guo TD, Jiang LL, Sun RH, Gong QT, Ye BH. 2021. Risk evaluation of three apple cultivars affected by *Bactrocera dorsalis*. Journal of Fruit Science, 38(2): 231–241 (in Chinese) [郭腾达, 姜莉莉, 孙瑞红, 宫庆涛, 叶保华. 2021. 橘小实蝇危害3种苹果的风险评估. 果树学报, 38(2): 231–241]
- Guo XJ, Xu QX, Wang S, Zhang F. 2021. Population structure and occurrence of *Bactrocera dorsalis* in peach orchards. Journal of Fruit Science, 38(6): 967–974 (in Chinese) [郭晓军, 徐庆宣, 王甦, 张帆. 2021. 桃园橘小实蝇种群结构与发生危害调查. 果树学报, 38(6): 967–974]
- Han ML, Ma AH, Lu ZY, Liu WX, Li JC, Ran HF. 2019. Research progress of occurrence, damage and control technology of *Aromia bungii* Faldermann. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 23(1): 47–50 (in Chinese) [韩明利, 马爱红, 路子云, 刘文旭, 李建成, 冉红凡. 2019. 桃红颈天牛发生为害及防治技术研究进展. 河北农业科学, 23(1): 47–50]
- Han MY, Li BZ, Fan CH, Zhang LS. 2004. Study on key technology of apple bagging in Loess Plateau.//Proceedings of the Sixth Youth Symposium of Chinese Society of Horticulture. Xi'an: Shaanxi Science & Technology Press, pp. 35–39 (in Chinese) [韩明玉, 李丙智, 范崇辉, 张林森. 2004. 黄土高原地区苹果套袋关键技术研究.//中国园艺学会第六届青年学术讨论会论文集. 西安: 陕西科学技术出版社, pp. 35–39]
- He XK. 2019. Research and development of crop protection machinery and chemical application technology in China. Chinese Journal of Pesticide Science, 21(S1): 921–930 (in Chinese) [何雄奎. 2019. 中国植保机械与施药技术研究进展. 农药学报, 21(S1): 921–930]
- Hong XY. 2017. Agricultural entomology. 3rd edition. Beijing: Chinese Agriculture Press (in Chinese) [洪晓月. 2017. 农业昆虫学. 第3版. 北京: 中国农业出版社]
- Hong XY, Xue XF, Wang JJ, Dou W, Zhang YX, Chen HJ, Zhang JY, Qiu GS, Hu JH, Wang SL, et al. 2013. Integrated control techniques for spider mites on important crops. Chinese Journal of Applied Entomology, 50(2): 321–328 (in Chinese) [洪晓月, 薛晓峰, 王进军, 豆威, 张艳璇, 陈汉杰, 张金勇, 仇贵生, 胡军华, 王少丽, 等. 2013. 作物重要叶螨综合防控技术与示范推广. 应用昆虫学报, 50(2): 321–328]
- Huang KX, Liu XQ, Huang BK. 1990. Fruit entomology. Beijing: China Agriculture Press (in Chinese) [黄可训, 刘秀琼, 黄邦侃. 1990. 果树昆虫学. 北京: 中国农业出版社]
- Huang YN, Zhang SL, Wu HQ, Wu J, Wu QP, Wu XH. 2008. Analysis on the effect of frequency vibrancy-killing lamp to kill pear orchard pests. China Fruits, (3): 42–44 (in Chinese) [黄玉南, 张绍铃, 吴华清, 吴俊, 吴泉培, 吴新华. 2008. 频振式杀虫灯诱杀梨园害虫效果分析. 中国果树, (3): 42–44]
- Ji R, Xie BY, Li XH, Gao ZX, Li DM. 2003. Research progress on the invasive species, *Hyphantria cunea*. Chinese Bulletin of Entomology, 40(1): 13–18 (in Chinese) [季荣, 谢宝瑜, 李欣海, 高增祥, 李典漠. 2003. 外来入侵种: 美国白蛾的研究进展. 昆虫知识, 40(1): 13–18]
- Li J, Zhao LL, Li Y, Zhao ZG, Ma RY. 2016. Inoculative releases of *Trichogramma dendrolimi* for suppressing the oriental fruit moth (*Grapholita molesta*) in peach orchard in China. Fruits, 71(2): 123–128
- Li JY, Liu J, Chi BJ, Kong FL, Liu YJ. 2020. Population dynamics in different fruit orchards and toxicity of six insecticides to *Bactrocera dorsalis* in laboratory. Shandong Agricultural Sciences, 52(8): 120–123 (in Chinese) [李建瑛, 刘锦, 迟宝杰, 孔凡来, 刘永杰. 2020. 不同树种果园桔小实蝇种群动态及六种杀虫剂对其室内毒力测定. 山东农业科学, 52(8): 120–123]
- Li XB. 2012. Fruit tree insect control net covering cultivation technology. South China Fruits, 41(6): 93, 96 (in Chinese) [李学斌. 2012. 果树防虫网覆盖栽培技术. 中国南方果树, 41(6): 93, 96]
- Li XL, Jia YH, Dou YP, Liu XL, Wang CL, Li F. 2019. Control effects of a sex pheromone wire on the oriental fruit moth in mix orchards. Plant Protection, 45(1): 212–215 (in Chinese) [李晓龙, 贾永华, 窦云萍, 刘晓丽, 王春良, 李锋. 2019. 性信息素诱向丝对不同果树梨小食心虫的防控效果. 植物保护, 45(1): 212–215]
- Li ZH, Nopparat B, Hu JT, Zhang Q, Fang Y. 2013. Review on invasion origin and invasion mechanism of Tephritidae. Plant Quarantine, 27(3): 1–12 (in Chinese) [李志红, Nopparat B, 胡俊韬, 张俏, 方淼. 2013. 实蝇科害虫入侵来源与入侵机制研究进展. 植物检疫, 27(3): 1–12]
- Li ZQ, Chen K, Yang FY, Huang YP. 2017. Application of genetic regulation technique for invasive pest management. Bulletin of Chi-

- nese Academy of Sciences, 32(8): 836–844 (in Chinese) [李芝倩, 陈凯, 杨芳颖, 黄勇平. 2017. 适用于入侵害虫治理的遗传调控技术. 中国科学院院刊, 32(8): 836–844]
- Liu FZ, Wang HB, Hu CZ. 2021. Current situation of main fruit tree industry in China and its development countermeasure during the “14th Five-Year Plan” period. *China Fruits*, (1): 1–5 (in Chinese) [刘凤之, 王海波, 胡成志. 2021. 我国主要果树产业现状及“十四五”发展对策. 中国果树, (1): 1–5]
- Liu WX, Ran HF, Lu ZY, Liu XX, Li JC, Zhang QW, Sheng CF. 2014. The combination of sex pheromone lures and sugar-vinegar-spirit liquid for controlling *Grapholita molesta* (Busck) in peach orchards. *China Plant Protection*, 34(10): 43–47 (in Chinese) [刘文旭, 冉红凡, 路子云, 刘小侠, 李建成, 张青文, 盛承发. 2014. 性诱剂与糖醋液组合对桃园梨小食心虫的诱捕效果研究. 中国植保导刊, 34(10): 43–47]
- Lu YH, Wu KM. 2011. Mirid bugs in China: pest status and management strategies. *Outlooks on Pest Management*, 22(6): 248–252
- Lu YH, Wu KM, Jiang YY, Xia B. 2010. Occurrence trend and control strategy of cotton mirids in China. *Plant Protection*, 36(2): 150–153 (in Chinese) [陆宴辉, 吴孔明, 姜玉英, 夏冰. 2010. 棉花盲蝽的发生趋势与防控对策. 植物保护, 36(2): 150–153]
- Lu YH, Wu KM, Jiang YY, Xia B, Li P, Feng HQ, Wyckhuys KAG, Guo YY. 2010. Mirid bug outbreaks in multiple crops correlated with wide-scale adoption of Bt cotton in China. *Science*, 328(5982): 1151–1154
- Lu YH, Zhao ZH, Cai XM, Cui L, Zhang HN, Xiao HJ, Li ZY, Zhang LS, Zeng J. 2017. Progresses on integrated pest management (IPM) of agricultural insect pests in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(3): 349–363 (in Chinese) [陆宴辉, 赵紫华, 蔡晓明, 崔丽, 张浩男, 肖海军, 李振宇, 张礼生, 曾娟. 2017. 我国农业害虫综合防治研究进展. 应用昆虫学报, 54(3): 349–363]
- Luo SP, Lu YH, Cui GZ, Zhang T, Zhao T, Xie XJ, Wu KM. 2018. Establishment and demonstration of green control technique system on *Apolygus lucorum* in jujube orchards. *Plant Protection*, 44(1): 194–198 (in Chinese) [罗淑萍, 陆宴辉, 崔良中, 张涛, 赵腾, 解晓军, 吴孔明. 2018. 冬枣园绿盲蝽绿色防控技术体系构建与示范. 植物保护, 44(1): 194–198]
- Ma G, Li JL, Lin QC, Ma CS. 2021b. Biological characteristics and control measures of *Lobesia botrana*. *Sino-Overseas Grapevine & Wine*, (3): 63–65 (in Chinese) [马罡, 李佳乐, 林清彩, 马春森. 2021b. 葡萄花翅小卷蛾的生物学特征及防治措施. 中外葡萄与葡萄酒, (3): 63–65]
- Ma G, Lin QC, Li JL, Ma CS. 2021a. Biological characteristics and management of *Daktulosphaira vitifoliae*. *China Fruits*, (9): 78–81 (in Chinese) [马罡, 林清彩, 李佳乐, 马春森. 2021a. 葡萄根瘤蚜的生物学特征及管理. 中国果树, (9): 78–81]
- Ma SJ. 1961. Comprehensive pest control strategy of simultaneous improvement and treatment. *Scientia Agricultura Sinica*, (10): 46–48 (in Chinese) [马世骏. 1961. 改治并举的综合治虫策略. 中国农业科学, (10): 46–48]
- Ma T, Liu ZT, Sun ZH, Chen XY, Wen XJ, Liu CW. 2016. Synthesis of sex pheromone and field population dynamics in *Euzophera pyriella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Environmental Entomology*, 38(1): 138–142 (in Chinese) [马涛, 刘志韬, 孙朝辉, 陈晓阳, 温秀军, 刘翠微. 2016. 香梨优斑螟性信息素化学合成及雌蛾数量动态监测. 环境昆虫学报, 38(1): 138–142]
- Qiu DW. 2015. Analysis of the development situation and trends of biological pesticides in China. *Chinese Journal of Biological Control*, 31(5): 679–684 (in Chinese) [邱德文. 2015. 生物农药的发展现状与趋势分析. 中国生物防治学报, 31(5): 679–684]
- Ran HF, Lu ZY, Liu WX, Ma AH, Liu XX, Sun HP, Li JC, Zhang QW. 2016. Advances in research on the biological control of the oriental fruit moth. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(5): 931–941 (in Chinese) [冉红凡, 路子云, 刘文旭, 马爱红, 刘小侠, 孙海鹏, 李建成, 张青文. 2016. 梨小食心虫生物防治研究进展. 应用昆虫学报, 53(5): 931–941]
- Song MJ, Zhou NL, Zai YD, Zhang X, Xing HT, Li SF, Xiao F. 1994. A preliminary study on *Euzophera pyriella*. *Plant Protection*, 20(3): 13–15 (in Chinese) [宋美杰, 周娜丽, 再衣东, 张新, 邢虎田, 栗素芬, 肖飞. 1994. 香梨优斑螟的初步研究. 植物保护, 20(3): 13–15]
- Sun SJ, Ren AH, Wang XX, Yang XL, Li HW, Li Z, Liu XX. 2021b. Control of pear fruit borers using sex pheromone diffuser and releasing *Trichogramma dendrolimi*. *Chinese Journal of Biological Control*, 37(1): 102–109 (in Chinese) [孙圣杰, 任爱华, 王晓祥, 杨雪琳, 李浩文, 李贞, 刘小侠. 2021b. 利用迷向散发器和释放松毛虫赤眼蜂对梨树蛀果害虫的防控效果. 中国生物防治学报, 37(1): 102–109]
- Sun SJ, Yang XL, Li HW, Cheng J, Wang XL, Li Z, Liu XX. 2021a. Effect of corrugated paper traps on winter pests and natural enemies in pear orchard. *Plant Protection*, 47(4): 264–268 (in Chinese) [孙圣杰, 杨雪琳, 李浩文, 程杰, 王雪丽, 李贞, 刘小侠. 2021a. 瓦楞纸诱虫带对梨园越冬害虫与天敌的诱集效果. 植物保护, 47(4): 264–268]
- Sun YZ, Ma GF. 1981. On the population succession of pests in the apple orchard and their integrated management. *Journal of Northwest Agricultural College*, 9(4): 21–32 (in Chinese) [孙益知, 马谷芳. 1981. 苹果害虫种群演替及其综合治理. 西北农学院学报, 9(4): 21–32]
- Tian BL, Ma CS, Kong DC, Zhao CP, Wei GS. 2012. The fruit moth population monitoring and control technique in different orchards. *Journal of Plant Protection*, 39(1): 7–12 (in Chinese) [田宝良, 马春森, 孔德仓, 赵存鹏, 魏国树. 2012. 不同果园中主要食心虫种群监测与防控技术. 植物保护学报, 39(1): 7–12]
- Wang DF. 2019. Causes of damage area northward migration of *Bactrocera dorsalis* and its prevention and control measures. *China Fruits*, (3): 102–104 (in Chinese) [王涤非. 2019. 橘小实蝇危害区域北移的原因及防控对策. 中国果树, (3): 102–104]
- Wang ZW, Gao X, Ma DJ, Zhong S, Liu XL, Xi Z. 2019. Nucleic acid pesticides: the new plant protection products with great potential. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 21(S1): 681–691 (in Chinese) [王治文, 高翔, 马德君, 钟珊, 刘西莉, 席真. 2019. 核酸农药: 极具潜力的新型植物保护产品. 农药学报, 21(S1):

- 681–691]
- Wei HS, Tan SQ, Yan S, Li Z, Shen J, Liu XX. 2021. Nanocarrier-mediated transdermal dsRNA-NPF₁ delivery system contributes to pest control via inhibiting feeding behavior in *Grapholita molesta*. *Journal of Pest Science*, 1–13
- Wei W, Zhao LL, Sun JH. 2006. Recent advances on lepidopterous (moths) sex pheromones. *Acta Entomologica Sinica*, 49(5): 850–858 (in Chinese) [韦卫, 赵莉, 孙江华. 2006. 蛾类性信息素研究进展. *昆虫学报*, 49(5): 850–858]
- Wu KM, Lu YH, Feng HQ, Jiang YY, Zhao JZ. 2008. Suppression of cotton bollworm in multiple crops in China in areas with Bt toxin-containing cotton. *Science*, 321(5896): 1676–1678
- Wu PX, Wu FM, Guo C, Wang X, Guo CX, Li Z, Zhang QW, Liu XX. 2016. The optimal combination of sugar-vinegar-spirit liquid and sex pheromone lures for controlling *Grapholita molesta* (Busck) in pear orchards. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(5): 1005–1011 (in Chinese) [巫鹏翔, 吴凤明, 郭冲, 王璇, 郭晨茜, 李贞, 张青文, 刘小侠. 2016. 糖醋酒液与性诱剂结合对梨园梨小食心虫的最佳诱捕效果研究. *应用昆虫学报*, 53(5): 1005–1011]
- Wu Q, Lü ZC, Zhang GF, Yan Y, Liu GQ, Li JW, Wang YS, Cai YY, Wan FH. 2015. Genetic engineering approaches for the improvement of sterile insect technique (SIT) on fruit flies. *Journal of Biosafety*, 24(2): 161–170 (in Chinese) [武强, 吕志创, 张桂芬, 严盈, 刘桂清, 李建伟, 王玉生, 蔡玉音, 万方浩. 2015. 遗传控制技术在实蝇类害虫中的研究进展. *生物安全学报*, 24(2): 161–170]
- Xiao YL, Guo W, Tang WY, Cai ZP, Yu K, Liu TX. 2020. Comparison of the main pest insects and their natural enemies in apple orchards with different pest control methods. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(1): 113–123 (in Chinese) [肖云丽, 郭炜, 唐文颖, 蔡志平, 于凯, 刘同先. 2020. 不同生态措施苹果园主要害虫及天敌发生特征. *应用昆虫学报*, 57(1): 113–123]
- Xiao YT, Wu C, Wu KM. 2019. Agricultural pest control in China over the past 70 years: achievements and future prospects. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(6): 1115–1124 (in Chinese) [萧玉涛, 吴超, 吴孔明. 2019. 中国农业害虫防治科技70年的成就与展望. *应用昆虫学报*, 56(6): 1115–1124]
- Xu QX, Wang S, Guo XJ, Jiang RD, Wang S, Zhang F. 2020. Progress for occurrence and management of *Halyomorpha halys* in peach orchards. *Journal of Environmental Entomology*, 42(4): 877–883 (in Chinese) [徐庆宣, 王甦, 郭晓军, 姜瑞德, 王松, 张帆. 2020. 桃园茶翅蛾的发生危害与防治研究进展. *环境昆虫学报*, 42(4): 877–883]
- Xu XJ, He WY, Yang J, Chen W, You MS. 2019. Research and applications of genetics-based methods for pest control. *Scientia Sinica (Vita)*, 49(8): 938–950 (in Chinese) [徐雪娇, 何玮毅, 杨婕, 陈玮, 尤民生. 2019. 害虫遗传防控技术的研究与应用. *中国科学: 生命科学*, 49(8): 938–950]
- Yan S, Shen J. 2019. Prospects for the application of nanotechnology in green pest control. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(4): 617–624 (in Chinese) [闫硕, 沈杰. 2019. 纳米技术在害虫绿色防控领域的应用与展望. *应用昆虫学报*, 56(4): 617–624]
- Yan WT, Qiu GS, Zhang HJ, Wang HB, Zhang P, Liu CL, Zheng YC. 2011. Beware of the spread of *Daktulosphaira vitifoliae* in northern grape producing areas. *China Plant Protection*, 31(6): 48–50 (in Chinese) [闫文涛, 仇贵生, 张怀江, 王海波, 张平, 刘迟林, 郑运成. 2011. 警惕葡萄根瘤蚜在北方葡萄产区为害蔓延. *中国植保导刊*, 31(6): 48–50]
- Yang ML, Xiong RC, Tuhenimu A, Zhang P, Lü ZZ. 2011. Trapping effects of the mixture of sugar and acetic acid on moths and lacewings. *Plant Protection*, 37(2): 170–173 (in Chinese) [杨明禄, 熊仁次, 吐合妮木·艾尔肯, 张萍, 吕昭智. 2011. 糖醋液对香梨优斑螟和草蛉的诱杀作用. *植物保护*, 37(2): 170–173]
- Ye GY. 2006. *Plant protection*. Hangzhou: Zhejiang University Press (in Chinese) [叶恭银. 2006. 植物保护学. 杭州: 浙江大学出版社]
- Yu X, Wang YH, Li HW, Shi WP, Yu YX. 2020. Research progress on occurrence status, monitoring technology and control methods of the codling moth. *Plant Quarantine*, 34(1): 1–6 (in Chinese) [于昕, 王玉晗, 李红卫, 石旺鹏, 于艳雪. 2020. 苹果蠹蛾的发生现状、监测技术及防治方法研究进展. *植物检疫*, 34(1): 1–6]
- Yue Q, Yan WT, Zhou ZS, Zhang HJ, Sun LN, Qiu GS. 2020. Occurrence characteristics and control strategies of apple diseases and insect pests. *China Fruits*, (6): 107–111 (in Chinese) [岳强, 闫文涛, 周宗山, 张怀江, 孙丽娜, 仇贵生. 2020. 苹果病虫害发生特征与防治策略. *中国果树*, (6): 107–111]
- Zang LS, Wang S, Zhang F, Desneux N. 2021. Biological control with *Trichogramma* in China: history, present status, and perspectives. *Annual Review of Entomology*, 66: 463–484
- Zhang D, Lin WZ, Liu WW, Meng W, Qiu GS, Qu Z. 2021. Biocontrol effect of *Neoseiulus barkeri* on *Panonychus ulmi* in apple trees. *China Fruits*, (7): 62–64 (in Chinese) [张丹, 林文忠, 刘巍巍, 孟威, 仇贵生, 曲智. 2021. 巴氏新小绥螨对苹果树苹果全爪螨的生物防治效果. *中国果树*, (7): 62–64]
- Zhang GH, Jiang S, Lu MM, Zhang JY, Li QJ, Li XP, Zou YJ. 2020. Efficiency of trap-catching and killing *Spiraea* aphids by yellow sticky cards. *Journal of Fruit Science*, 37(12): 1914–1921 (in Chinese) [张国浩, 江珊, 卢蒙蒙, 张金勇, 李前进, 李威鹏, 邹养军. 2020. 黄色粘虫板对苹果绣线菊蚜的诱杀效果. *果树学报*, 37(12): 1914–1921]
- Zhang J, Tang RX, Fang HB, Liu XX, Michaud JP, Zhou ZY, Zhang QW, Li Z. 2021. Laboratory and field studies supporting augmentation biological control of oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae), using *Trichogramma dendrolimi* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Pest Management Science*, 77(6): 2795–2803
- Zhang LS, Chen HY. 2014. Advances in research and application of biological control agents in China. *Chinese Journal of Biological Control*, 30(5): 581–586 (in Chinese) [张礼生, 陈红印. 2014. 生物防治作用物研发与应用的进展. *中国生物防治学报*, 30(5): 581–586]
- Zhang MC, Yin J, Li KB, Cao YZ, Wu JX. 2014. Research progress on the occurrences of white grub and its control. *China Plant Protection*

- tion, 34(10): 20–28 (in Chinese) [张美翠, 尹姣, 李克斌, 曹雅忠, 仵均祥. 2014. 地下害虫蛴螬的发生与防治研究进展. 中国植保导刊, 34(10): 20–28]
- Zhang NX, Jiang YZ, Zhan YG. 1979. Integrated pest control of apple. Beijing: Science Press (in Chinese) [张乃鑫, 姜元振, 湛有光. 1979. 苹果害虫综合防治. 北京: 科学出版社]
- Zhang QW. 2007. Integrated pest management. Beijing: China Agricultural University Press (in Chinese) [张青文. 2007. 有害生物综合治理学. 北京: 中国农业大学出版社]
- Zhang QW, Liu XX. 2015. Integrated pest control technology in pear orchard. Beijing: China Agricultural University Press, 2015. (in Chinese) [张青文, 刘小侠. 2015. 梨园害虫综合防控技术. 北京: 中国农业大学出版社]
- Zhang RZ, Wang FX, Zhang YL, Chen HJ, Luo JC, Wang QY, Liu WX, Ainiwaner MS, Pu CJ, Yan YG, et al. 2012. Progress on monitoring and control of the codling moth, *Cydia pomonella* (L.). Chinese Journal of Applied Entomology, 49(1): 37–42 (in Chinese) [张润志, 王福祥, 张雅林, 陈汉杰, 罗进仓, 王勤英, 刘万学, 艾尼瓦尔·木沙, 蒲崇建, 严勇敢, 等. 2012. 入侵生物苹果蠹蛾监测与防控技术研究. 应用昆虫学报, 49(1): 37–42]
- Zhang YM, Han MY, Li BZ, Feng HD. 2012. Our Fuji apple bagless cultivation suggestions. China Fruits, (5): 72–74 (in Chinese) [张永茂, 韩明玉, 李丙智, 冯焕德. 2012. 我国富士苹果无袋栽培建议. 中国果树, (5): 72–74]
- Zhang YX, Wang FT, Ji J, Chen F, Yi ZB, Weng XM, Chen X. 2006. Evaluation of *Amblyseius cucumeris* Oudemans for control of pest mites of Koerle pear and strategy for its practical application. Scientia Agricultura Sinica, 39(3): 518–524 (in Chinese) [张艳璇, 王福堂, 季洁, 陈芳, 易正炳, 翁晓梅, 陈霞. 2006. 胡瓜钝绥螨对香梨害螨控制作用的评价及其应用策略. 中国农业科学, 39(3): 518–524]
- Zhang ZB. 1963. Development and prospect of insecticides. Bulletin of Biology, (2): 6–9 (in Chinese) [张宗炳. 1963. 杀虫剂的发展现状及其展望. 生物学通报, (2): 6–9]
- Zhang ZJ. 1992. Biological control of fruit tree pests - two new natural enemies were used to control *Psylla chinensis*. Deciduous Fruits, 24(1): 45–47 (in Chinese) [章宗江. 1992. 果树害虫的生物防治: 利用两种新天敌控制梨木虱的为害. 落叶果树, 24(1): 45–47]
- Zhao LL, Liu M, Wei J, Ma RY. 2021. Study on the trapping efficiency of different color insect sticky board on *Psylla chinensis*. China Fruits, (3): 39–42 (in Chinese) [赵龙龙, 刘璠, 卫洁, 马瑞燕. 2021. 不同颜色粘虫板对中国梨木虱的诱捕效果. 中国果树, (3): 39–42]
- Zhao LL, Wang Q, Yang HB. 2020. Analysis of composition and succession characteristics of apple pests based on bibliometrics in China. Journal of Fruit Science, 37(8): 1218–1226 (in Chinese) [赵龙龙, 王骞, 杨海波. 2020. 基于文献计量的中国苹果害虫组成及演替特点分析. 果树学报, 37(8): 1218–1226]
- Zhao SH. 1959. Achievements of agricultural pest control in China in the past decade. Entomological Knowledge, (8): 241–243 (in Chinese) [赵善欢. 1959. 十年来中国农业害虫防治的成就. 昆虫知识, (8): 241–243]
- Zhao SH. 1962. Present situation and future development direction of chemical control of agricultural pests. Journal of Plant Protection, (4): 351–364 (in Chinese) [赵善欢. 1962. 农业害虫化学防治研究的现状及今后发展方向. 植物保护学报, (4): 351–364]
- Zhao ZH, Ma JH, Gao F, Zhang R. 2021. Systematic strategy of ecologically based pest management of insect pest population at landscape scales. Chinese Journal of Biological Control, 37(5): 855–862 (in Chinese) [赵紫华, 马建华, 高峰, 张蓉. 2021. 害虫种群区域性生态调控的系统策略. 中国生物防治学报, 37(5): 855–862]
- Zhu YF, Shang MQ, Teng ZW, Tan XM, Guo Y, Jin MJ, Wan FH, Zhou HX. 2020. Analysis of invasion, distribution and spreading trend of *Bactrocera dorsalis*. Shandong Agricultural Sciences, 52(12): 141–149 (in Chinese) [朱雁飞, 商明清, 滕子文, 谭秀梅, 郭怡, 金梦娇, 万方浩, 周洪旭. 2020. 桔小实蝇的入侵分布及传播扩散趋势分析. 山东农业科学, 52(12): 141–149]

(责任编辑: 张俊芳)