

# 马铃薯块茎蛾生物防治研究进展与展望

杜霞<sup>1,2</sup>, 刘霞<sup>2</sup>, 周文武<sup>3</sup>, 杨艳丽<sup>2</sup>, 胡先奇<sup>2</sup>, 高玉林<sup>1,4\*</sup>

(1. 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; 2. 云南农业大学植物保护学院, 昆明 650201; 3. 浙江大学昆虫科学研究所/浙江省作物病虫害生物学重点实验室, 杭州 310058; 4. 中国农业科学院国家薯类作物研究中心, 北京 100081)

**摘要:** 马铃薯块茎蛾是马铃薯上重要的世界性害虫, 会对马铃薯造成毁灭性的危害, 该害虫目前已成为影响马铃薯产业发展的重要因素。化学农药的过度使用造成了马铃薯块茎蛾的抗药性增强, 使用单一的化学防治并不能对该虫进行长久有效的控制。因此, 近年来生物防治逐渐引起了研究人员的重视。本文从马铃薯块茎蛾的天敌种类、昆虫病原物、昆虫性信息素和植物提取物等方面概述了近些年马铃薯块茎蛾生物防治研究工作的进展。

**关键词:** 马铃薯块茎蛾; 生物防治; 研究进展

中国分类号: S476 文献标识码: A 文章编号: 1005-9261(2021)01-0060-10

## The Research Progress and Prospect of Biological Control of Potato Tuber Moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller)

DU Xia<sup>1,2</sup>, LIU Xia<sup>2</sup>, ZHOU Wenwu<sup>3</sup>, YANG Yanli<sup>2</sup>, HU Xianqi<sup>2</sup>, GAO Yulin<sup>1,4\*</sup>

(1. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests/Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 3. Institute of Insect Sciences, Zhejiang University/Key Laboratory of Biology of Crop Pathogens and Insects of Zhejiang Province, Hangzhou 310058, China; 4. National Center of Excellence for Tuber and Root Crop Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Potato tuber moth, *Phthorimaea operculella*, is a crucial and destructive pest to potato worldwide. It is one of the key factors limiting the development of potato industry. Overuse of chemical pesticide often induces increased insecticide resistance in the insect, and chemicals cannot provide sustainable and effective control of this pest. Therefore, many researchers have paid more and more attention to biological control in the recent years. This paper reviewed the recent research progresses in the control of potato tuber moth by natural enemies, insect pathogens, insect sex pheromone and plant extracts.

**Key words:** potato tuber moth; biological control; research progress

中国是世界上重要的马铃薯生产国, 年均产量 7247.55 万吨, 位列全球第一<sup>[1]</sup>。2015 年中国启动了马铃薯主粮化战略, 马铃薯成为继水稻、小麦、玉米之后的第四大主粮。近年来, 我国马铃薯产业得到快速发展的同时, 马铃薯的生产也面临着众多挑战, 其中, 马铃薯块茎蛾已经成为影响马铃薯产业健康发展的主要因素之一<sup>[2]</sup>。

马铃薯块茎蛾 *Phthorimaea operculella* (Zeller), 隶属于鳞翅目 Lepidoptera 麦蛾科 Gelechiidae, 其又称马铃薯麦蛾、烟草潜叶蛾。它是世界上一种寡食性害虫, 仅取食为害马铃薯、烟草、番茄、茄子和辣椒等茄科 Solanaceous 作物, 其中, 马铃薯和烟草是受马铃薯块茎蛾为害最严重的寄主植物<sup>[3-6]</sup>。马铃薯块茎蛾

收稿日期: 2020-09-14

基金项目: 国家重点研发计划 (2018YFD0200802)

作者简介: 杜霞, 博士研究生, E-mail: duxiadaisy@163.com; \*通信作者, 博士, 研究员, 博士生导师, E-mail: gaoyulin@caas.cn。

DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2021.01.019

不仅为害马铃薯的地上部分，而且会对其块茎造成严重损害。在田间，马铃薯块茎蛾幼虫会钻蛀马铃薯叶片，多数情况下沿着叶脉蛀入后取食叶肉，仅留上、下表皮，呈半透明状态，被为害的叶片卷曲、干枯、易断裂。此外，马铃薯块茎蛾会将卵产于裸露在土壤外马铃薯块茎的芽眼或者伤口上，带卵的块茎在贮藏时期会带来更严重的危害。卵孵化后，幼虫通过芽眼或伤口钻蛀进入薯块，将粪便排泄至蛀入的隧道中，最终导致块茎干瘪或者腐烂，导致其失去食用和种用价值，造成不可挽回的经济损失<sup>[7]</sup>。曾有报道，马铃薯块茎蛾为害马铃薯叶片时，可导致马铃薯减产 20%~30%，而在非低温条件下贮藏的马铃薯块茎，马铃薯块茎蛾为害率可达 100%<sup>[8,9]</sup>。马铃薯块茎蛾原产于中美洲和南美洲的北部地区<sup>[10]</sup>。随着人类活动及其自身的迁移能力，不断地扩散至亚洲、欧洲、北美洲、非洲、大洋洲及南美洲等地区，成为世界上重要的检疫性害虫之一<sup>[11]</sup>。目前，马铃薯块茎蛾已经广泛分布于我国四川、云南、贵州、广东、广西、湖南、湖北、江西、安徽、甘肃、陕西、山西、山东、河南、浙江及台湾等省（区）<sup>[12]</sup>。

目前，防控马铃薯块茎蛾主要的方式是使用化学农药，化学农药在有效控制马铃薯块茎蛾带来的产量损失、确保粮食安全方面发挥着不可或缺的作用<sup>[13]</sup>。目前我国登记用于防治马铃薯块茎蛾的农药有两种，分别是高效氯氰菊酯和虱螨脲。化学农药的过度使用，会造成马铃薯块茎蛾产生一定的抗药性<sup>[14]</sup>。而化学农药在杀死马铃薯块茎蛾的同时，也杀死了其天敌等有益生物，并对人类和环境都会带来影响。以生物防治的手段防控马铃薯块茎蛾，对人类、天敌、其他有益生物及环境都是相对安全的。因此，近年来，通过利用昆虫性信息素、驱避植物及其提取物、昆虫病原物、天敌昆虫等方法防治马铃薯块茎蛾逐步引起了人们的重视。本文对国内外马铃薯块茎蛾的生物防治手段研究进展进行了简要综述，以期对日后马铃薯块茎蛾的生物防治应用及深入研究提供参考。

1 生防潜在的天敌昆虫

1.1 寄生性昆虫

目前据不完全统计，在世界范围内关于马铃薯块茎蛾寄生蜂一共报道了膜翅目 Hymenoptera 5 科 54 种，其中茧蜂科 Braconidae 24 种、姬蜂科 Ichneumonidae 16 种、跳小蜂科 Encyrtidae 3 种、姬小蜂科 Eulophidae 5 种及赤眼蜂科 Trichogrammatidae 6 种（表 1）。

许多寄生蜂大多是来自南美洲，这可能是由于马铃薯块茎蛾的起源就是南美洲<sup>[10]</sup>。通过利用寄生蜂对马铃薯块茎蛾进行生物防治始于 1918 年，美国从法国引进茧蜂 *Bracon gelichiae*。茧蜂 *Bracon gelichiae* 已经在澳大利亚成功地应用于控制马铃薯块茎蛾<sup>[10]</sup>。有研究发现，马铃薯块茎蛾在阿根廷北部和巴西南部被

表 1 马铃薯块茎蛾寄生蜂一览表  
Table 1 List of parasitic wasps of *P. operculella*

科 Family	种 Species	寄生虫态 Host stage	寄生率 Parasitic rate	地区 Region	文献来源 References
茧蜂科 Braconidae	窄径茧蜂 <i>Agathis gibbosa</i>	幼虫	<53.2%	美国	[15,16]
	窄径茧蜂 <i>Agathis unicolor</i>	幼虫	—	南美洲	[15,17]
	绒茧蜂 <i>Apanteles litae</i>	幼虫	<11.1%	埃及	[10,18]
	绒茧蜂 <i>Apanteles subandinus</i>	幼虫	<100%	南美洲	[15,17,19]
	绒茧蜂 <i>Apanteles scutellaris</i>	幼虫	<14.6%	美国	[15,16]
	茧蜂 <i>Bracon gelechia</i> ( <i>Habrobracon gelechia</i> )	幼虫	<22.5%	美国	[15,16]
	麦蛾柔茧蜂 <i>Bracon hebetor</i> ( <i>Habrobracon hebetor</i> )	幼虫	—	—	[15,20]
	茧蜂 <i>Bracon hebetor</i>	—	—	印度	[10]
	茧蜂 <i>Bracon properhebetor</i> ( <i>Habrobracon properhebetor</i> )	—	—	意大利	[21]
	茧蜂 <i>Bracon instabilis</i>	幼虫	<23.8%	埃及	[12,18]
	黑胸茧蜂 <i>Bracon nigricans</i> ( <i>Habrobracon nigricans</i> )	—	—	意大利	[21]
	甲腹茧蜂 <i>Chelonus blackburni</i>	卵和幼虫	—	印度	[10]
	甲腹茧蜂 <i>Chelonus contractus</i>	卵	—	法国	[22]

续表 1

科	种	寄生虫态	寄生率	地区	文献来源
Family	Species	Host stage	Parasitic rate	Region	References
姬蜂科 Ichneumonidae	曲斑甲腹茧蜂 <i>Chelonus curvimaculatus</i> ( <i>Microchelonus curvimaculatus</i> )	卵	<18%	南非/南美	[10,19,23,24]
	甲腹茧蜂 <i>Chelonus kellieae</i>	卵和幼虫	—	美国	[15,25]
	甲腹茧蜂 <i>Chelonus phthorimaea</i> (e) [ <i>Microchelonus phthorimaea</i> (e)]	卵和幼虫	<17.5%	美国	[15,16,24]
	长体茧蜂 <i>Macrocentrus ancylivora</i>	—	—	美国	[24]
	小腹茧蜂 <i>Microgaster phthorimaeae</i>	幼虫	<1.1%	美国	[15,16]
	怒茧蜂 <i>Orgilus californicus</i>	幼虫	—	—	[15]
	怒茧蜂 <i>Orgilus jennieae</i>	幼虫	—	美国	[15]
	怒茧蜂 <i>Orgilus parvus</i>	幼虫	<6%	南非	[15,23]
	怒茧蜂 <i>Orgilus lepidus</i>	幼虫	<96.4%	南美洲	[15,19]
	副索茧蜂 <i>Parahormius pallidipes</i>	幼虫	—	—	[15]
	盘绒茧蜂 <i>Venanus minutalis</i>	幼虫	—	南美洲	[17]
	离缝姬蜂 <i>Campoplex haywardi</i>	幼虫	—	—	[26]
	离缝姬蜂 <i>Campoplex phthorimaea</i> (e)	幼虫	<2.0%	美国	[15,16,24]
	弯尾姬蜂 <i>Diadegma compressum</i>	幼虫	<5.7%	美国	[15,16]
	弯尾姬蜂 <i>Diadegma fenestrale</i>	幼虫	<30%	韩国	[27]
	弯尾姬蜂 <i>Diadegma mollipla</i> (= <i>Diadegma molliplum</i> )	幼虫	<80%	也门	[15,18,28]
	弯尾姬蜂 <i>Diadegma pulchripes</i>	幼虫	—	以色列	[29]
	弯尾姬蜂 <i>Diadegma stellenboschense</i>	幼虫	—	南非	[30]
	弯尾姬蜂 <i>Diadegma turcator</i>	—	<65.1%	撒丁岛	[24,31]
	钝唇姬蜂 <i>Eriborus trochanteratus</i>	幼虫	—	—	[24]
	姬蜂 <i>Nepiera fuscifemora</i>	幼虫	—	—	[15]
	姬蜂 <i>Nythobia</i> sp.	幼虫	—	—	[15]
	具刺齿腿姬蜂 <i>Pristomerus spinator</i>	幼虫	<0.3%	美国	[15,16]
	抱缘姬蜂 <i>Temelucha decorata</i>	幼虫	—	以色列	[29]
	抱缘姬蜂 <i>Temelucha minuta</i>	幼虫	1.3%	南美洲	[10,19]
	抱缘姬蜂 <i>Temelucha picta</i>	幼虫	<10%	南非	[10,23]
	抱缘姬蜂 <i>Temelucha</i> sp.	幼虫	<0.5%	美国	[15-17]
跳小蜂科 Encyrtidae	多胚跳小蜂 <i>Copidosoma desantisi</i>	幼虫	<72.7%	南美洲	[19,24]
姬小蜂科 Eulophidae	多胚跳小蜂 <i>Copidosoma koehleri</i>	卵和幼虫	<5%	以色列	[15,17,32]
	多胚跳小蜂 <i>Copidosoma uruguayensis</i>	幼虫	<88%	南非/南美	[10,23]
	扁股小蜂 <i>Elasmus funereus</i>	幼虫	0.5%	南美洲	[10,19]
	格姬小蜂 <i>Pnigalio pectinicornis</i>	幼虫	—	意大利	[33]
	羽角姬小蜂 <i>Sympiesis stigmatipennis</i>	幼虫	—	南加州	[15]
	获蛙茎夜蛾羽角姬小蜂 <i>Sympiesis viridula</i>	幼虫	—	意大利	[33]
	姬小蜂 <i>Zagrammosoma flavolineatum</i>	幼虫	—	南加州	[15]
	赤眼蜂科				
Trichogrammatidae	赤眼蜂 <i>Trichogramma atopovirilia</i>	卵	—	巴西	[34]
	赤眼蜂 <i>Trichogramma brasiliensis</i>	卵	<54.7%	印度	[35]
	卷蛾赤眼蜂 <i>Trichogramma cacoeciae</i>	卵	—	叙利亚	[36]
	广赤眼蜂 <i>Trichogramma evanescens</i>	卵	—	叙利亚	[36]
	短管赤眼蜂 <i>Trichogramma pretiosum</i>	卵	—	巴西	[37]
	基突赤眼蜂 <i>Trichogramma principium</i>	卵	—	叙利亚	[36]

寄生的现象普遍,因此,其造成的危害较小<sup>[31]</sup>。绒茧蜂 *Apanteles subandinus*、多胚跳小蜂 *Copidosoma koehleri*、怒茧蜂 *Orgilus lepidus* 和茧蜂 *B. gelechiaie* 这 4 种寄生蜂已经在许多国家成功建立种群,并且通过它们成功地对马铃薯块茎蛾进行了控制<sup>[31]</sup>。然而,在以色列马铃薯田中释放多胚跳小蜂 *C. koehleri* 没有减少害虫的种群,在块茎蛾幼虫上的寄生率仅有 4%~5%,这可能是由于引进的寄生蜂无法定位到寄主<sup>[32]</sup>。寄生蜂种群的建立和其寄生的效率受到多种生物和非生物条件的限制<sup>[38]</sup>。意大利学者研究发现,马铃薯块茎蛾在空旷的农田中被多胚跳小蜂 *C. koehleri* 寄生的比率最大为 3%,然而在仓储建筑中寄生率降低到了 1%<sup>[33]</sup>。

同时,合理选择和使用杀虫剂对寄生蜂的种群建立和寄生率也起着至关重要的作用。在澳大利亚维多路亚州的马铃薯田中,绒茧蜂 *A. subandinus* 和怒茧蜂 *O. lepidus* 是马铃薯块茎蛾最丰富的寄生蜂,试验发现寄生蜂对施用的甲胺磷很敏感,该杀虫剂会显著的降低寄生率。但是,Whiteside<sup>[39]</sup>发现施用 4 次杀虫剂并没有降低寄生率,但是当施用杀虫剂超过 8 次后就会减少 22%~37%的寄生率。

此外,增加蜜源植物也会对寄生蜂的种群建立有着积极的作用。在澳大利亚的田间发现,靠近蜜源植物蒔萝 *Anethum graveolens*、琉璃苣 *Borago officinalis*、芫荽 *Coriandrum sativum* 的马铃薯田中马铃薯块茎蛾幼虫被寄生的概率最高<sup>[40]</sup>。这可能是由于蜜源植物可以提供花蜜和花粉等营养物质,提高了寄生蜂的繁殖力和成虫的寿命。

1.2 捕食性天敌

据文献报道,目前马铃薯块茎蛾的捕食性天敌共有 6 目 8 科 13 种(表 2)。

表 2 马铃薯块茎蛾捕食性天敌一览表  
Table 2 List of predator of *P. operculella*

目 Order	科 Family	种 Species	取食虫态 Prey stage	文献来源 References
鞘翅目 Coleoptera	瓢虫科 Coccinellidae	七星瓢虫 <i>Coccinella septempunctata</i>	幼虫	[29]
	拟花萤科 Melyridae	红蓝甲虫 <i>Dicranolaius bellulus</i>	卵和 1 龄幼虫	[41]
脉翅目 Neuroptera	草蛉科 Chrysopidae	普通草蛉 <i>Chrysoperla carnea</i>	卵和幼虫	[42,43]
半翅目 Hemiptera	花蝽科 Anthocoridae	浅白翅小花蝽 <i>Orius albidipennis</i>	幼虫	[43]
		无毛小花蝽 <i>O. laevigatus</i>	幼虫	[43]
膜翅目 Hymenoptera	蚁科 Formicidae	箭蚁 <i>Cataglyphis niger</i>	1~3 龄幼虫	[29]
		乌黑收获蚁 <i>Messor ebeninus</i>	1~3 龄幼虫	[29]
		酸臭蚁 <i>Tapinoma simrothi phoenicium</i>	1~3 龄幼虫	[29]
		弓背蚁 <i>Camponotus thoracicus fellah</i>	1~3 龄幼虫	[29]
革翅目 Dermaptera	球螋科 Labiduridae	螋螋 <i>Labidura riparia</i>	-	[44]
蜱螨目 Acarina	植绥螨科 Phytoseiidae	斯氏小盲绥螨 <i>Typhlodromips swirskii</i>	卵	[45]
		加州新小绥螨 <i>Neoseiulus californicus</i>	卵	[45]
	长须螨科 Stigmaeidae	具瘤神蕊螨 <i>Agistemus exsertus</i>	卵	[46]

Abd El-Gawad 等<sup>[42]</sup>研究了普通草蛉幼虫对马铃薯块茎蛾的捕食功能反应,发现理论上普通草蛉的 3 龄幼虫每天最多可取食 1111.11 粒卵,其次是 2 龄幼虫 675.68 粒卵,取食能力最弱的为 1 龄幼虫 61.35 粒卵。Coll 等<sup>[29]</sup>发现,浅白翅小花蝽 *Orius albidipennis* 成虫仅可用较低龄的幼虫进行饲喂,这可能是与捕食者的身形大小有关;七星瓢虫和浅白翅小花蝽的成虫均不取食马铃薯块茎蛾的卵;4 种蚁科的蚂蚁可以取食 1~3 龄幼虫,但 4 龄幼虫有时会织网保护自己以避免被蚂蚁取食。在室内试验条件下,评估了斯氏小盲绥螨 *Typhlodromips swirskii* 以斜纹夜蛾 *Spodoptera littoralis* 和马铃薯块茎蛾的卵为食物时的生长发育情况,发现以马铃薯块茎蛾的卵为食的斯氏小盲绥螨发育较快并且繁殖率较高,其每天取食马铃薯块茎蛾卵的数量比加州新小绥螨 *Neoseiulus californicus* 多,并且这两者均可以马铃薯块茎蛾的卵为食直至健康地发育到成年<sup>[45]</sup>。

目前,针对马铃薯田的捕食性天敌还未有广泛的研究,主要为室内试验研究。

## 2 生防昆虫病原物

根据文献报道,马铃薯块茎蛾的昆虫病原微生物主要有细菌、真菌、病毒、线虫等。目前,仅有苏云金芽孢杆菌 *Bacillus thuringiensis* (Bt) 这一细菌被用于防控马铃薯块茎蛾。室内试验发现,马铃薯块茎蛾对许多 Bt 亚种敏感,其中包括 *kurstaki*、*thuringiensis*、*tolworthi*、*galleriae*、*kenyae*、*morrisoni* 和 *aizawai*, 在以上亚种中, *kurstaki* (Btk) 是对马铃薯块茎蛾毒力最强的亚种,并且在控制鳞翅目幼虫方面有着大量的商业应用<sup>[47,48]</sup>。Arthurs 等<sup>[49]</sup>发现 Btk 处理 ( $1.12 \text{ kg/hm}^2$ ) 马铃薯会对马铃薯块茎蛾种群有抑制作用,其减少了 36%~76% 的幼虫。在印度、秘鲁、突尼斯和埃及等地使用 Bt, 均对马铃薯块茎蛾有控制作用<sup>[31]</sup>。然而, Das 等<sup>[50]</sup>发现施用 Bt 并不能对马铃薯块茎有保护作用。

金龟子绿僵菌 *Metarhizium anisopliae*、莱氏野村菌 *Nomuraea rileyi*、细脚拟青霉 *Paecilomyces tenuipes* 和球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* 等 4 种虫生真菌均可用于防治马铃薯块茎蛾<sup>[51]</sup>。有研究发现,在室内试验条件下比较金龟子绿僵菌、莱氏野村菌和细脚拟青霉对马铃薯块茎蛾幼虫的致病力发现,莱氏野村菌是最有效的真菌,并且它可以显著降低卵的孵化率<sup>[51]</sup>。Sabbour<sup>[52]</sup>发现球孢白僵菌可以在马铃薯储藏期对马铃薯块茎蛾有良好的控制作用。

马铃薯块茎蛾颗粒体病毒 (*P. operculella* granulovirus, PoGV) 随着马铃薯块茎蛾从南美洲扩散到世界各地,它是一类攻击幼虫的病毒。PoGV 对马铃薯块茎蛾的防控效果在不同研究中有差异,这可能是由于使用环境的温度、马铃薯块茎蛾幼虫的龄期以及病毒浓度等条件的不同所导致,以上 3 个条件均会影响该病毒在马铃薯块茎蛾群体中的发展进程<sup>[53]</sup>。Lacey 等<sup>[54]</sup>通过对冷藏条件下的马铃薯块茎进行 PoGV 处理发现, PoGV 在低温贮藏期的马铃薯块茎具有保护作用。虽然 PoGV 在马铃薯田间和储藏期中的应用已经在全世界范围内的各个地区得到了广泛的研究,但值得注意的是马铃薯块茎蛾产生了对 PoGV 的抗性,马铃薯块茎蛾幼虫暴露于 PoGV 中超过 6 代后,半数致死量 (median lethal dose,  $\text{LD}_{50}$ ) 增加了 140 倍<sup>[55,56]</sup>。

小卷蛾斯氏线虫 *Steinernema carpocapsae*、夜蛾斯氏线虫 *S. feltiae*、毛蚊线虫 *S. bibionis*、异小杆线虫 *Heterorhabditis bacteriophora* 和 *Heterorhabditis heliothidis* 等这 5 种线虫均有文献报道作为防治马铃薯块茎蛾的昆虫病原线虫候选者<sup>[31,57]</sup>。在室内条件下,在温度  $25^\circ\text{C}$ , 线虫浓度为 1000 IJs 时 (IJs, 侵染期幼虫), 小卷蛾斯氏线虫和异小杆线虫对马铃薯块茎蛾幼虫的致死率分别为 96% 和 80%, 小卷蛾斯氏线虫 blacksea 品系有较高的生防潜力<sup>[57]</sup>。同样的, Hassani 等<sup>[58]</sup>发现,在 0、75、150、250、375 和 500 IJs/mL 等浓度下,小卷蛾斯氏线虫和异小杆线虫对幼虫期和预蛹期的马铃薯块茎蛾致死率是最高的,其中对昆虫病原线虫最敏感的阶段是预蛹期。

## 3 昆虫性信息素

昆虫性信息素享有第 3 代农药之称,性信息素是由昆虫个体分泌,引起同种的异性群体产生生殖反应的微量化学物质。一般来说,可以利用性信息素进行种群检测、大量诱捕害虫或者迷向干扰害虫交配。1969 年,研究人员开始研究马铃薯块茎蛾的性信息素,他们发现其是由雌蛾腹部的末端所释放。之后,众多学者将其进行了鉴定分离,发现其主要有两种成分,一种是 (E4, Z7)-十三碳二烯基乙酸酯 (PTM1), 另一种为 (E4, Z7, Z10)-十三碳三烯基乙酸酯 (PTM2), 这两种化合物单独使用时吸引雄蛾的效果不如将两者结合<sup>[59-61]</sup>。Larraín 等<sup>[61,62]</sup>发现 PTM1 和 PTM2 在 1:1.5 的比率下,剂量分别为 0.2 mg 和 0.5 mg 时对马铃薯块茎蛾雄虫的诱捕效率是最高的,并且在该剂量下每公顷土地设置 20 个诱捕器是最有效和经济的诱捕密度。信息素诱捕器中所诱集到的马铃薯块茎蛾的数量与土壤的类型有关,在以色列地区,砂质土壤中诱捕器的诱蛾数量是黄土地中诱蛾数量的两倍<sup>[29]</sup>。同时,诱捕器中所捕获的成虫数量与叶片上的幼虫种群数量以及马铃薯植株被侵染情况之间存在正相关关系<sup>[63]</sup>。在新西兰, Herman 等<sup>[64]</sup>比较了不同诱捕器和诱捕高度对诱捕量的影响,结果发现,三角形诱捕器结合粘虫板所捕获的数量是最多的,诱捕高度对捕获数量并无显著影响。Kroschel 等<sup>[65]</sup>发现了在田间和贮藏条件下,使用性信息素和杀虫剂氟氯菊酯构成“吸引-杀死”策略的组合,这对防治马铃薯块茎蛾是非常有效和经济的方法。中国学者发现马铃薯块茎蛾的两种性信息素成分均对雄虫有诱集作用,并且可以仅以 PTM2 作为监测虫情的信息素成分<sup>[12]</sup>。

## 4 驱避植物及其提取物

蛾类昆虫与寄主植物的协同进化中,它能够通过植物产生的化学信号来区分寄主或非寄主植物,在非寄主植物中通常是含有抑制昆虫为害的化学物质,这些化学物质可以成为开发防治害虫技术的重要来源<sup>[66]</sup>。Das<sup>[67]</sup>在回顾 1915 年到 1993 间的文献时发现,有 35 种植株可以在贮藏或实验室条件下对马铃薯块茎蛾具有有效的防控效果。王春娅等<sup>[66]</sup>发现核桃叶粗提物会对马铃薯块茎蛾的产卵以及幼虫的钻蛀表现出强烈的抑制效果,并且这种现象会随着粗提物的浓度的上升而增强,但是药效仅可持续 36 h。Salem<sup>[68]</sup>发现印楝种子提取物可以较好地控制马铃薯块茎蛾,100 ppm 的印楝油处理过的蛹中成虫全部发生了畸形。Ma 等<sup>[69]</sup>发现印楝素在 1.5~12 mg/L 浓度范围内对马铃薯块茎蛾有显著的驱避效果;桉叶油醇在 2~12 mg/L 虽然是引诱其产卵,但是印楝素(12 mg/L)和桉叶油醇(3.0 mg/L)配合使用,对产卵有显著的驱避-引诱效应,反应率高达 56.3%;庚醛在 0.1875~3 mg/L 下是引诱产卵的作用,但是当浓度在 12~24 mg/L 则相反。随后,刘燕等<sup>[70]</sup>发现庚醛(12 mg/L)和桉叶油醇(3.0 mg/L)组合为最佳驱避-引诱组合。张余杰等<sup>[71]</sup>在室内条件下测定了坡柳皂苷对马铃薯块茎蛾产卵选择性的影响,发现当坡柳皂苷浓度为 10 g/L 和 0.08 g/L 时驱避效果最好。马艳粉等<sup>[72]</sup>探讨了不同质量的滇杨枝把挥发物对在室内以及模拟仓库内的马铃薯块茎蛾产卵行为的影响,发现在室内 10~80 g 的滇杨枝把的挥发物对产卵行为有显著的抑制作用,在模拟仓库中 500~2000 g 的滇杨枝把的挥发物对产卵行为有显著抑制作用,并且抑制效果随着质量的增加而增强。同时,发现滇杨中起到驱避马铃薯块茎蛾产卵的活性物质为丁香酚、苯甲酸、苯甲醇、苯乙醇、2-羟基苯甲醛和  $\beta$ -紫罗兰酮这 6 种成分<sup>[73]</sup>。Sharaby 等<sup>[76]</sup>发现,唇形科 Lamiaceae 的薄荷 *Menthastachys* 切碎的干燥叶片和花均可降低贮藏期的块茎损失率,自然浓度下的精油可以减少马铃薯块茎蛾 80% 的产卵量<sup>[74]</sup>。Moawad 等<sup>[75]</sup>发现,0.02% 和 0.05% 的小豆蔻油对马铃薯块茎蛾卵的孵化率有影响,孵化率分别降低了 67.47% 和 86.74%。柑橘皮精油也可以显著降低卵的孵化率,同时还会抑制雌虫产卵能力。

马铃薯块茎蛾在马铃薯贮藏期的危害严重,因此,控制该阶段的危害率具有重要的意义。Rafiee 等<sup>[77]</sup>研究了罗勒 *Ocimum basilicum*、欧薄荷 *Mentha longifolia*、薰衣草 *Lavandula angustifolia*、绿薄荷 *M. spicata*、夏季香薄荷 *Satureja hortensis* 和牛至 *Origanum vulgare* 等植物所提取到的精油对马铃薯块茎蛾卵的影响,发现薰衣草精油的活性最高(熏蒸情况下,  $LC_{50}=0.4 \mu\text{L/L}$ ) 并且以上植物均可减轻马铃薯块茎蛾对贮藏期马铃薯的危害。马缨丹 *Lantana camara* L.、蓝桉 *Eucalyptus globulus*、香藜 *Chenopodium botrys*、日本薄荷 *Mentha arvensis*、多毛番茄 *Lycopersicon hirsutum* 等植物也均对马铃薯块茎蛾具有较为有效的控制作用;使用绿叶甘 *Lindera neesiana* 和菖蒲 *Acorus calamus* 的干燥粉末控制马铃薯块茎蛾时发现,以上两者可作为化学农药的替代品<sup>[78]</sup>。除此之外,还有大蒜 *Allium sativum* L.、大麻 *Cannabis sativa* L.、银合欢 *Leucaena leucocephala* 和来檬 *Citrus aurantifolia* 等可在马铃薯块茎的贮藏期对马铃薯起到保护作用。

## 5 展望

生物防治技术的研究和应用已成为害虫综合治理重要策略和发展的趋势。在马铃薯块茎蛾的生物防治中,通过寄生性天敌的释放来成功地控制马铃薯块茎蛾种群,相关案例国内外并不多见。寄生性天敌成功建立种群的过程中会受到包括杀虫剂的各类因素影响,根据成功释放寄生性天敌控制马铃薯块茎蛾的案例,来进一步分析明确其成功建立种群的条件,这将会对寄生性天敌在商业化推广和应用中起到重要作用。捕食性天敌研究与寄生性天敌不同,前者还未开展田间释放效果进行评价,也未见田间成功释放案例的报道,仍需要对捕食性天敌的田间释放效果方面继续深入地探索和研究。至今,除天敌昆虫外,昆虫病原微生物苏云金芽胞杆菌已经成功商业化应用于控制马铃薯块茎蛾,但是在不同地区其药效也不同,还需要对其稳定性优化进行研究。昆虫病原线虫的研究也是仅有在实验室的报道,但是对于田间防效的研究并未见报道,接下来应重点开展田间应用和效果评价。性信息素可以专一高效地对马铃薯块茎蛾进行诱杀,可以通过与植物提取物中对马铃薯块茎蛾有引诱作用的成分进行组合复配,提高对马铃薯块茎蛾的诱杀作用。同时,应该继续寻找天然驱避马铃薯块茎蛾的成分,在马铃薯块茎贮藏期对马铃薯进行安全高效的保护,避免马铃薯块茎蛾造成更大的危害。

目前,马铃薯块茎蛾的生物防治技术的研究多数在国外开展,国内报道的相对较少。此外,许多生物防治技术虽然对马铃薯块茎蛾有一定的控制作用,但是这些技术大多来源于室内的可控评价。室内研究的环境条件是人为可控的,而在实际推广应用时,农田中的可变因素很多,会造成天敌昆虫的种类和种群数量的变化、生物制剂的药效不稳定和无法保证时效等问题的出现。因此,要解决以上问题,需要综合利用多种防治手段,才有可能达到理想的田间防治效果。由于生物防治是一种持久但防治效果相对缓慢的手段,农民普遍认可度有待进一步提高。现阶段生物防治的示范规模仍然较小、宣传力度偏小,公众的可持续发展意识较差,这些均导致了生物防治手段的推广难度的增大。但是,化学农药的过度使用所造成的环境污染,给人类健康的影响以及害虫抗性增强等已得到越来越多的关注<sup>[79]</sup>。2015年,农业部提出《到2020年农药使用量零增长行动方案》,明确指出到2020年要在农药使用总量上实现“零增长”。随后,2019年2月,农业农村部等七部门联合印发《国家质量兴农战略规划(2018—2022年)》,明确提出实施绿色防控替代化学防治行动,建设300个绿色防控示范县,主要农作物病虫绿色防控覆盖率达50%以上。2020年4月国务院颁布的《农作物病虫害防治条例》,明确了国家将鼓励生物防治,并将通过政府购买服务等形式,扶持病虫害专业化服务组织开展统防统治<sup>[80]</sup>。随着国家自然科学基金对生物防治学科的资助项目日渐增多,我国生物防治学科研究也得到了快速发展<sup>[81]</sup>。作为绿色植保的核心,生物防治技术的研究、推广和应用,对保障农产品安全,促进农业可持续发展具有重要意义。未来利用生物防治对马铃薯块茎蛾进行控制的防治手段也将得到长足发展。

### 参 考 文 献

- [1] 王素华,李树举,杨丹,等.中国马铃薯产业的发展现状及方向[C].2019年中国马铃薯大会,2019,44-50.
- [2] 张萌,罗其友,高明杰,等.马铃薯市场研究进展及展望[J].中国马铃薯,2017,31(2):113-118.
- [3] Saour G, Al-Daoude A, Ismail H. Evaluation of potato tuber moth mortality following postharvest cold storage of potatoes[J]. Crop Protection, 2012, 38(1): 44-48.
- [4] 刘佳妮,胡昉,尹利方,等.马铃薯块茎蛾取食对马铃薯防御基因表达的诱导作用[J].江苏农业科学,2017,45(21):112-114.
- [5] Aryal S, Jung C. A potential threat to tomato, a congener crop to potato from invaded potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller)[J]. Journal of Asia Pacific Entomology, 2019, 22(1): 77-82.
- [6] 郭志祥,何成兴,许胡兰,等.马铃薯块茎蛾对几种茄科植物的嗜食性研究[J].西南农业学报,2014,27(6):2381-2384.
- [7] 谢春霞.马铃薯块茎蛾综合防治技术[J].中国马铃薯,2014,28(4):235-237.
- [8] Ma Y, Xiao C. Push-pull effects of three plant secondary metabolites on oviposition of the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella*[J]. Journal of Insect Science, 2013, 13(128): 1-7.
- [9] Tekalign Z, Bayeh M, Mulugeta N, et al. Potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller) management using entomopathogenic fungi on seed potato tuber in west showa, ethiopia[J]. Journal of Plant Sciences, 2015, 3(4): 207-211.
- [10] Rondon S I, Gao Y. The Journey of the Potato Tuberworm Around the World[M]. IntechOpen, England and Wales, 2018.
- [11] Gao Y. Potato tuberworm: impact and methods for control-mini review[J]. CAB Reviews, 2018, 13(22): 1-3.
- [12] 闫俊杰,张梦迪,高玉林.马铃薯块茎蛾生物学、生态学与综合治理[J].昆虫学报,2019,62(12):1469-1482.
- [13] 徐进,朱杰华,杨艳丽,等.中国马铃薯病虫害发生情况与农药使用现状[J].中国农业科学,2019,52(16):2800-2808.
- [14] 张懿熙,刘泽文.杀虫剂的选择性与害虫抗药性[J].中国科学基金,2020,34(4):511-518.
- [15] Fladers R V, Oatman E R. Competitive interactions among endophagous parasitoids of potato tuberworm larvae in southern California[J]. Hilgardia, 1987, 55(1): 1-34.
- [16] Oatman E R, Platner G R. Parasitization of the potato tuberworm in Southern California[J]. Environmental Entomology, 1974, 3(2): 262-264.
- [17] Lloyd D C. Some South American parasites of the potato tuber moth *Phthorimaea operculella* (Zeller) and remarks on those in other continents[J]. Technical Bulletin of the Commonwealth Institute of Biological Control, 1972, 15: 35-49.
- [18] Abbas M S T, Abdel-Samad S S M. Larval parasitoids of the potato tuber moth *Phthorimaea operculella* in potato and tomato fields[J]. Arab Universities Journal of Agricultural Sciences, 2006, 14(1): 439-445.
- [19] Frazmann B A. Parasitism of *Phthorimaea operculella* (Lep.: Gelechiidae) larvae in Queensland[J]. Entomophaga, 1980, 25(4): 369-372.

- [20] Bell C H. Pest Control of Stored Food Products: Insects and Mites (second 15)[M]. Woodhead Publishing Limited, 2014, 494-538.
- [21] Ortu S, Floris I. Preliminary study on the control of *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae) on potato crops in Sardinia[J]. Difesa delle Piante, 1989, 12(1-2): 81-88.
- [22] Labeyrie V. Technique d'élevage de *Chelonus contractus* Nees. parasite de *Phthorimea ocellatella* Boyd[J]. Entomophaga, 1959, 4(1): 43-46.
- [23] Watmough R H, Broodryk S W, Annecke D P. The establishment of two imported parasitoids of potato tuber moth (*Phthorimaea operculella*) in South Africa[J]. Entomophaga, 1973, 18(3): 237-249.
- [24] Kroschel J, Schaub B. Biology and ecology of potato tuber moths as major pests of potato[M]//Alyokhin A, Vincent C, Giordanengo P, eds. Insect Pests of Potato. San Diego: Academic Press, 2013, 165-192.
- [25] Powers N R. Biology and temperature responses of *Chelonus kelliiae* and *Chelonus phthorimaeae* (Hymenoptera: Braconidae) and their host, the potato tuberworm, *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae)[J]. Hilgardia, 1984, 52(9): 1-32.
- [26] Leong J K L, Oatman E R. Biology of *Campoplex haywardi* (Hymenoptera: Ichneumonidae), a primary parasite of the potato tuberworm[J]. Annals of the Entomological Society of America, 1968, 61(1): 26-36.
- [27] Jin-Kyung C, Kim J, Kwon M, et al. Description of the *Diadegma fenestrata* (Hymenoptera: Ichneumonidae: Campopleginae) attacking the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Lep.: Gelechiidae) new to Korea[J]. Animal Systematics, Evolution and Diversity, 2013, 29(1): 70-73.
- [28] Kroschel J, Koch W. Studies on the population dynamics of the potato tuber moth *Phthorimaea operculella* Zell. (Lep., Gelechiidae) in the republic of Yemen[J]. Journal of Applied Entomology, 1994, 118(1-5): 327-341.
- [29] Coll M, Gavish S, Dori I. Population biology of the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae), in two potato cropping systems in Israel[J]. Bulletin of entomological research, 2000, 90: 309-315.
- [30] Broodryk S W. The biology of *Diadegma stellenboschense* (Cameron) (Hymenoptera: Ichneumonidae), a parasitoid of potato tuber moth[J]. Journal of the Entomological Society of Southern Africa, 1971, 34(2): 413-423.
- [31] Aryal S. IPM tactics of potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae), literature study[J]. Korean Journal of Soil Zoology, 2015, 19(1-2): 42-51.
- [32] Keasar T, Steinberg S. Evaluation of the parasitoid *Copidosoma koehleri* for biological control of the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella*, in Israeli potato fields[J]. Biocontrol Science & Technology, 2008, 18(4): 325-336.
- [33] Pucci C, Spanedda F, Minutoli E. Field study of parasitism caused by endemic parasitoids and by the exotic parasitoid *Copidosoma koehleri* on *Phthorimaea operculella* in Central Italy[J]. Bulletin of Insectology 2003, 56(2): 221-224.
- [34] Domingues G R. Control of *Phthorimaea operculella* (Zeller, 1873) (Lepidoptera: Gelechiidae) by *Trichogramma atopovirilia* Oatman & Platner, 1983 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in potato, under field and storage conditions[D]. Universidade de São Paulo, 2006.
- [35] Harwalkar M R, Rananavare H D, Rahaikar G W. Development of *Trichogramma brasiliensis* (Hym: Trichogrammatidae) on eggs of radiation sterilized females of potato tuberworm, *Phthorimaea operculella* (Lep.: Gelechiidae)[J]. Biocontrol, 1987, 32(2): 159-162.
- [36] Saour G. Parasitization of potato tuber moth eggs (Lep., Gelechiidae) from irradiated adults by *Trichogramma* (Hym., Trichogrammatidae) and control of moth population with combined releases of sterile insect and egg parasitoid[J]. Journal of Applied Entomology, 2004, 128(9-10): 681-686.
- [37] Pratissoli D, Parraj R. Fertility life table of *Trichogramma pretiosum* (Hym., Trichogrammatidae) in eggs of *Tuta absoluta* and *Phthorimaea operculella* (Lep., Gelechiidae) at different temperatures[J]. Journal of Applied Entomology, 2000, 124: 339-342.
- [38] Briese D. Geographic variability in demographic performance of the potato moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae), in Australia[J]. Bulletin of Entomological Research, 1986, 76: 719-726.
- [39] Whiteside E F. Biological control of the potato tuber moth (*Phthorimaea operculella*) in South Africa by two introduced parasites (*Copidosoma koehleri* and *Apanteles subandinus*)[J]. Journal of the Entomological Society of Southern Africa, 1980, 43(2): 239-255.
- [40] Baggen L R, Gurr G M. The influence of food on *Copidosoma koehleri* (Hymenoptera: Encyrtidae), and the use of flowering plants as a habitat management tool to enhance biological control of potato moth, *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae)[J]. Biological Control, 1998, 11(1): 9-17.
- [41] Horne P A, Edward C L, Kourmouzis T. *Dicranolaius bellulus* (Guérin-Méneville) (Coleoptera: Melyridae: Malachiinae), a possible biological control agent of lepidopterous pests in inland Australia[J]. Australian Journal of Entomology, 2000, 39: 47-48.
- [42] El-Gawad H A S A, Sayed A M M, Ahmed S A. Functional response of *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae) larvae to *Phthorimaea*



- operculella* Zeller (Lepidoptera: Gelechiidae) eggs[J]. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 2010, 4(8): 2182-2187.
- [43] Zakif N. Rearing of two predators, *Orius albidepennis* (Reut.) and *Orius laevigatus* (Fieber) (Hem., Anthocaridae) on some insect larvae[J]. Journal of Applied Entomology, 1989, 107(1-5): 107-109.
- [44] Abbas M S T, Abu-Zeid N A, Megahed M M. On the natural enemies of the potato tuber moth *Phthorimaea operculella* in Egypt[J]. Egyptian Journal of Agricultural Research, 1993, 71(3): 943-950.
- [45] El-Sawi S A, Momen F M. Biology of some phytoseiid predators (Acari: Phytoseiidae) on eggs of *Phthorimaea operculella* and *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Gelechiidae and Noctuidae)[J]. Acarologia, 2005, 45(1): 23-30.
- [46] Momen F M, El-Sawi S A. *Agistemus exsertus* (Acari: Stigmaeidae) predation on insects: life history and feeding habits on three different insect eggs (Lepidoptera: Noctuidae and Gelechiidae)[J]. Acarologia, 2006, 46(3-4): 203-209.
- [47] Lacey L A, Kaya H K. Field Manual of Techniques in Invertebrate Pathology[M]. The Netherlands: Springer, Dordrecht, 2007.
- [48] Hernández C S, Andrew R, Bel Y, *et al.* Isolation and toxicity of *Bacillus thuringiensis* from potato-growing areas in Bolivia[J]. Journal of Invertebrate Pathology, 2005, 88(1): 8-16.
- [49] Arthurs S P, Lacey L A, Pruneda J N, *et al.* Semi-field evaluation of a granulovirus and *Bacillus thuringiensis* ssp. *kurstaki* for season-long control of the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella*[J]. Entomologia Experimentalis et Applicata 2008, 129: 276-285.
- [50] Das G P, Magallona E D, Raman K V, *et al.* Effects of different components of IPM in the management of the potato tuber moth, in storage[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 1992, 41(3): 321-325.
- [51] Khorrami F, Mehrkhou F, Mahmoudian M, *et al.* Pathogenicity of three different entomopathogenic fungi, *Metarhizium anisopliae* IRAN 2252, *Nomuraea rileyi* IRAN 1020C and *Paecilomyces tenuipes* IRAN 1026C against the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* Zeller (Lepidoptera: Gelechiidae)[J]. Potato Research, 2018, 61: 297-308.
- [52] Sabbour M M. Effect of some fertilizers mixed with bioinsecticides on the potato tuber moth *Phthorimaea operculella* infesting potato in the field and store[J]. Pakistan Journal of Biological sciences, 2006, 9(10): 1929-1934.
- [53] Reed E M. Factors affecting the status of a virus as a control agent for the potato moth ( *Phthorimaea operculella* (Zell.) (Lep., Gelechiidae)[J]. Bulletin of Entomological Research, 1971, 61(2): 207-222.
- [54] Lacey L A, Headrick H L, Horton D R, *et al.* Effect of a granulovirus on mortality and dispersal of potato tuber worm (Lepidoptera: Gelechiidae) in refrigerated storage warehouse conditions[J]. Biocontrol Science and Technology, 2010, 20(4): 437-447.
- [55] Wraight S P, Lacey L A, Kabaluk J T, *et al.* Potential for microbial biological control of coleopteran and hemipteran pests of potato[J]. Fruit, Vegetable and Cereal, Science and Biotechnology, 2009, 3(1): 25-38.
- [56] Briese D T, Mende, H A. Selection for increased resistance to a granulosus virus in the potato moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae)[J]. Bulletin of Entomological Research, 1983, 73: 1-9.
- [57] Kepenekci L, Tülek A, Alkan M, *et al.* Biological control potential of native entomopathogenic nematodes against the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae) in Turkey[J]. Pakistan Journal of Zoology, 2013, 45(5): 1415-1422.
- [58] Hassani-Kakhki M, Karimi J, Hosseini M. Efficacy of entomopathogenic nematodes against potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae) under laboratory conditions[J]. Biocontrol Science and Technology, 2013, 23(2): 146-159.
- [59] Roelofs W L, Kochansky J P, Carde R T, *et al.* Sex pheromone of the potato tuberworm moth, *Phthorimaea operculella*[J]. Life Sciences, 1975, 17(5): 699-705.
- [60] Personns C J, Voerman S, Verwiel P E J, *et al.* Sex pheromone of the potato tuberworm moth, *Phthorimaea operculella*: Isolation, identification and field evaluation[J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1976, 20(3): 289-300.
- [61] Larrain P S, Guillon M, Kalazich J, *et al.* Effect of pheromone trap density on mass trapping of male potato tuber moth *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae), and level of damage on potato tubers[J]. Chilean Journal of Agricultural Research, 2009, 69(2): 281-285.
- [62] Larrain P S, Michel G, Julio K B, *et al.* Efficacy of different rates of sexual pheromone of *phthorimaea operculella* (zeller) (lepidoptera: Gellechiidae) in males of potato tuber moth captures[J]. Agricultura Técnica, 2007, 67(4): 431-436.
- [63] Lal L. Relationships between pheromone catches of adult moths, foliar larval populations and plant infestations by potato tuberworm in the field[J]. Pans Pest Articles & News Summaries, 1989, 35(2): 157-159.
- [64] Herman T J B, Clearwater J R, Triggs C M. Impact of pheromone trap design, placement and pheromone blend on catch of potato tuber moth[J]. New

- Zealand Plant Protection, 2005, 58: 219-223.
- [65] Kroschel J, Zegarra O. Attract-and-kill as a new strategy for the management of the potato tuber moths *Phthorimaea operculella* (Zeller) and *Symmetrischema tangolias* (Gyen) in potato: evaluation of its efficacy under potato field and storage conditions[J]. Pest Management Science, 2013, 69(17): 1205-1215.
- [66] 王春娅, 胡纯华, 刘燕, 等. 核桃叶粗提物对马铃薯块茎蛾产卵选择以及幼虫钻蛀性的影响[J]. 江西农业学报, 2018, 30(4): 14-19.
- [67] Das G P. Plants used in controlling the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller)[J]. Crop Protection, 1995, 14(8): 631-636.
- [68] Salem S A. Evaluation of neem seed oil as tuber protectant against Zell. (Lepidoptera, Gelechiidae)[J]. Annals of Agricultural Science Moshtohor, 1991, 29(1): 589-595.
- [69] Ma Y F, Xiao C. Push-pull effects of three plant secondary metabolites on oviposition of the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella*[J]. Journal of Insect Science, 2013, 13(128): 1-7.
- [70] 刘燕, 谢冬生, 熊焰, 等. 庚醛与桉叶油醇组合对马铃薯块茎蛾产卵选择的影响[J]. 植物保护, 2016, 42(3): 99-103.
- [71] 张余杰, 秦小萍, 刘燕, 等. 坡柳皂苷对马铃薯块茎蛾产卵选择性的影响研究[J]. 化学与生物工程, 2013, 30(12): 35-38.
- [72] 马艳粉, 张晓梅, 肖春. 萎蒿滇杨枝把挥发物对马铃薯块茎蛾产卵选择性的影响[J]. 江西农业学报, 2014, 26(10): 61-63.
- [73] 马艳粉, 张晓梅, 胥勇, 等. 滇杨挥发物成分对马铃薯块茎蛾产卵选择的影响[J]. 植物保护, 2016, 42(2): 99-103.
- [74] Guerra P C, Molina I Y, Yábar E, *et al.* Oviposition deterrence of shoots and essential oils of *Minthostachys* spp. (Lamiaceae) against the potato tuber moth[J]. Journal of Applied Entomology, 2007, 131(2): 134-138.
- [75] Moawad S, Ebadah I. Impact of some natural plant oils on some biological aspects of the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella*, (Zeller) (Lepidoptera : Gelechiidae)[J]. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 2007, 3(2): 119-123.
- [76] Sharaby A. Effect of orange, *Citrus sinensis* (L.) peel oil on reproduction in *Phthorimaea operculella* (Zell.)[J]. International Journal of Tropical Insect Science, 1988, 9(2): 201-203.
- [77] Rafiee-Dastjerdi H, Khorrami F, Hassanpour M. The toxicity of some medicinal plant extracts to the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae)[J]. Archives Of Phytopathology And Plant Protection, 2013, 47(15): 1827-1831.
- [78] Tanaskovi S, Djurovi V, Popovi B, *et al.* Plants as bio-insecticides in the service of the suppression of potato tuber moth in storage[C]. XXI Savetovanje O Biotehnologiji, 2016, 453-458.
- [79] Sidauruk L, Sipayung P. Cropping management on potato field, a strategy to suppress pest by increasing insect diversity and natural enemies[J]. Iop Conference, 2018, 205: doi:10.1088/1755-1315/205/1/012026.
- [80] 周晋峰, 王岩青, 唐玲. 积极推广生物防治 助力农业可持续发展[J]. 可持续发展经济导刊, 2020(6): 26-27.
- [81] 查静, 邹亚飞, 谭新球, 等. 2010—2016 年度国家自然科学基金生物防治学科资助情况分析[J]. 中国生物防治学报, 2017, 33(2): 151-158.

(责任编辑: 张莹)