

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2018.04.009

斯氏钝绥螨对西花蓟马的捕食功能反应

罗春萍¹, 户艳霞², 孙军伟², 樊清艳¹, 赵永鑫¹, 张凌英¹, 杜广祖^{1*}, 陈 斌^{1*}

¹云南农业大学植物保护学院, 云南 昆明 650201; ²云南省烟草公司大理州公司, 云南 大理 671000

摘要:【目的】明确斯氏钝绥螨在不同温度下对西花蓟马的捕食功能反应, 为西花蓟马的生物防治提供理论依据。【方法】室内采用水琼脂培养基法, 研究斯氏钝绥螨对西花蓟马的捕食功能反应。【结果】斯氏钝绥螨第一若螨对西花蓟马 1 龄若虫的日均捕食量随温度的升高而逐渐增加, 而第二若螨、雄成螨和雌成螨的日均捕食量随温度的上升呈先增加后减少的趋势。斯氏钝绥螨雌成螨对西花蓟马 1 龄若虫的功能反应符合 Holling-Ⅱ 模型, 在 30 ℃ 时捕食效能达到最大, 为 18.146。在一定密度的西花蓟马环境下, 斯氏钝绥螨雌成螨对西花蓟马 1 龄若虫的搜寻效应随着温度的上升而增加; 35 ℃ 时, 搜寻效应下降。在西花蓟马 1 龄若虫的密度为 30 头时, 斯氏钝绥螨雌成螨自身密度对西花蓟马 1 龄若虫的捕食具有明显的干扰作用。斯氏钝绥螨雌成螨捕食西花蓟马 1 龄若虫所产生的竞争属于分摊竞争。【结论】斯氏钝绥螨对西花蓟马有较好的捕食能力, 其捕食功能反应符合 Holling-Ⅱ 模型, 斯氏钝绥螨可用于西花蓟马的生物防治中。

关键词: 斯氏钝绥螨; 西花蓟马; 捕食功能反应; 生物防治

Study on the functional response of the predatory mite *Amblyseius swirskii* on Western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* as prey

LUO Chunping¹, HU Yanxia², SUN Junwei², FAN Qingyan¹, ZHAO Yongxin¹,
ZHANG Lingying¹, DU Guangzu^{1*}, CHEN Bin^{1*}

¹College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201, China;
²Dali Tobacco Company of Yunnan Province, Dali, Yunnan 671000, China

Abstract: 【Aim】 To provide a basis for biological control of the Western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*, the functional response of the predatory mite, *Amblyseius swirskii* on *F. occidentalis* as prey was studied under different temperatures. 【Method】 The predation of *A. swirskii* to *F. occidentalis* was studied by water agar in laboratory. 【Result】 The mean daily consumption of 1st instar of *F. occidentalis* protonymph increased with the increase in temperature, but decreased when the prey was deutonymph, adult male and female. The functional response of *A. swirskii* female adult mites on 1st instar of *F. occidentalis* could be described with Holling-Ⅱ equation, and the maximum feeding amount was 18.146 prey items/day at 30 ℃. At the same prey density, searching rate of *A. swirskii* female adult mites to 1st instar of *F. occidentalis* increased with the increase of temperature; but decreased at 35 ℃. The intraspecific competition by *A. swirskii* adult females was scrambling competition. 【Conclusion】 *A. swirskii* had a good predation potential against *F. occidentalis*, and the species is a promising biological control agents of the Western flower thrips.

Key words: *Amblyseius swirskii*; *Frankliniella occidentalis*; predatory functional response; biological control

西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (Pergande) 隶属于缨翅目 Thysanoptera 蓟马科 Thripidae 花蓟马属 *Frankliniella* (韩运发, 1997), 是一种多食性害虫, 寄主植物多达 60 多科 500 多种 (钟锋等, 2009)。该虫不但可通过直接取食对植物造成危害, 还可传播多种植物病毒 (陆亮等, 2009), 如番茄斑萎病毒 (*Tomato spotted wilt virus*, TSWV)、凤仙花坏死斑病毒 (*Impatiens necrotic spot virus*, INSV) 和番茄褪绿病毒 (*Tomato chlorotic spot virus*, TCSV) 等, 严重危害作物的产量与质量。目前, 对西花蓟马的

收稿日期 (Received): 2018-09-13 接受日期 (Accepted): 2018-10-11
基金项目: 云南省烟草公司科技计划项目 (2017YN24); 国家重点研发计划项目 (2018YFD0200703)
作者简介: 罗春萍, 女, 硕士研究生。研究方向: 烟草害虫生物防治。E-mail: 871746011@qq.com
* 通信作者 (Author for correspondence), 杜广祖, E-mail: duguangzu1986@163.com; 陈斌, E-mail: chbins@163.com

防治主要依赖化学防治。已报道的西花蓟马产生抗性的杀虫剂包括有机氯、有机磷、氨基甲酸酯、拟除虫菊酯类、多杀菌素和阿维菌素类(郭颖伟等, 2014; 吕要斌等, 2011; 王兴民等, 2015), 且其具有较强的隐蔽性, 使得化学防治效果不佳(乔凤霞等, 2006)。化学农药具有高毒性、高残留和污染环境等特点, 会对人类的健康造成不利影响。因此, 许多国家和地区对西花蓟马的其他防治方法进行了大量的研究, 生物防治是研究的热点之一。

斯氏钝绥螨 *Amblyseius swirskii* (Athias-Henriot) 属植绥螨科 Phytoseiidae 钝绥螨属 *Amblyseius*, 是一种多食性捕食螨(郭颖伟等, 2014), 被广泛用于温室蔬菜、花卉上的蓟马与粉虱等害虫的防治(陈霞等, 2011), 已成为欧洲多数国家、北美、北非、中国、日本、阿根廷等国家害虫生物防治的一种重要天敌(Doramaci *et al.*, 2014)。截至2014年, 已有50个国家实现了斯氏钝绥螨的商品化生产(黄建华等, 2016)。2011年中国农业科学院植物保护研究所从荷兰正式引进斯氏钝绥螨(徐学农等, 2013)。由于引进时间相对较晚, 在国内有关利用其防治蓟马的报道还较少, 其捕食作用的研究主要集中于害螨(王利平等, 2011; Fathipour *et al.*, 2017)。

本实验采用 Holling-Ⅱ型功能反应模型研究不同温度下斯氏钝绥螨对西花蓟马捕食功能的反应, 旨在明确斯氏钝绥螨对西花蓟马的控制效果, 以期为西花蓟马的生物防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

寄主植物: 四季豆 *Phaseolus vulgaris* (L.) (河南省新乡市华盛种业有限公司)。

虫源: 斯氏钝绥螨(福建艳璇生物防治技术有限公司)在实验室以西花蓟马饲养多代备用; 西花蓟马采自云南省昆明市呈贡区玫瑰月季种植基地, 在实验室用四季豆饲养2~3代后备用。

实验器材: 人工气候培养箱(RXZ-260B-30), 高温灭菌锅(LDZM-40KCS-Ⅱ, 上海申安医疗器械厂), 电子天平(TA2CC3A, 上海菁海仪器有限公司), 培养皿($d=90, 145$ mm), 锥形瓶(100 mL), 滤纸, 药勺, 保鲜膜, 0号小毛笔等。

1.2 实验方法

1.2.1 饲养台的制作 制作水琼脂培养基(琼脂

$10\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$), 高温灭菌锅灭菌后, 待冷却到一定温度, 倒入培养皿(90 mm)备用。在培养基未完全凝固时, 将四季豆叶片平整地铺展在培养基上, 以保证叶片与培养基完全贴合, 实验过程中蓟马与捕食螨不会钻入叶片下, 影响计数。将铺好叶片的培养皿(90 mm)放入另一个培养皿(145 mm)中, 在培养皿(145 mm)中加入适量的水, 防止捕食螨和蓟马逃逸, 以此组成斯氏钝绥螨水隔离的饲养台。

1.2.2 斯氏钝绥螨对西花蓟马1龄若虫的捕食功能反应 在每个饲养台内各挑入1头经过饥饿24 h处理的斯氏钝绥螨(共设4个处理, 分别为第一若螨、第二若螨、雌成螨和雄成螨; 每个处理重复5次), 同时挑入15头西花蓟马1龄若虫。分别置于RH 85%, 温度15、20、25、30、35℃, L/D=16 h/8 h的人工培养箱内饲养。24 h后观察捕食情况。

1.2.3 斯氏钝绥螨雌成螨对西花蓟马1龄若虫的捕食功能反应 在饲养台内挑入西花蓟马1龄若虫(设6个梯度, 分别为3、6、9、15、20、30头, 每个处理重复3次), 并同时挑入1头经过饥饿24 h处理的斯氏钝绥螨雌成螨, 然后分别置于RH 85%、温度15、20、25、30、35℃、光照L/D=16 h/8 h的人工培养箱内饲养。每24 h观察捕食螨对蓟马的捕食情况, 连续观察4 d。在观察后, 将饲养台中西花蓟马1龄若虫补充至最初数量。有捕食螨逃逸的重做。

1.2.4 斯氏钝绥螨雌成螨对西花蓟马1龄若虫的干扰反应 在每个饲养台内挑入30头西花蓟马1龄若虫, 同时分别挑入经饥饿24 h处理的斯氏钝绥螨雌成螨(设5个梯度, 分别为1、2、3、4、5头, 每个处理重复5次)。将培养皿置于RH 85%、温度30℃、L/D=16 h/8 h的人工培养箱内饲养。24 h后观察斯氏钝绥螨的捕食量。有捕食螨逃逸的重做。

1.3 数据处理

Holling-Ⅱ型功能反应模型(吴坤君等, 2004): $N_a = aTN/(1 + aT_h N)$ 。其中, N_a 为被捕食的猎物数; a 为瞬时攻击率; N 为猎物初始密度; T 为捕食者可利用的总时间(本文为1 d); T_h 为捕食1头猎物所花的时间, 即平均处理时间。

搜寻效应(马骁等, 1996): $S = a/(1 + aT_h N)$ 。其中, S 为搜寻效应; a 为瞬时攻击率; N 为猎物初始密度; T_h 为捕食1头猎物所花的时间。

Hasseell-Varley 干扰模型(Hassell & Varley, 1969): $E = QP^{-m}$, $E = N_a/(NP)$ 。 N_a 为被捕食的猎

物总数; N 为猎物初始数量; P 为捕食者初始密度; Q 为搜寻常数; E 为捕食作用率; m 为干扰参数。

分摊竞争强度(邹运鼎等,1996): $I=(E_1-E_p)/E_1$ 。 I 为分摊竞争强度; E_1 为 1 头捕食螨的捕食作用率; E_p 为 n 头捕食螨的捕食作用率。

所有数据均采用 SPSS 24.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同温度下斯氏钝绥螨对西花蓟马 1 龄若虫的捕食功能反应

在 15~35 ℃ 内,斯氏钝绥螨第一若螨对西花蓟

马 1 龄若虫的日均捕食量随温度的升高而逐渐增加,在 35 ℃ 时达到最大,为(6.4±0.5)头·d⁻¹。第二若螨、雄成螨和雌成螨的日均捕食量,则随温度的升高先增加后减少,在 30 ℃ 时,其日均捕食量均为最大。雌成螨对西花蓟马 1 龄若虫的日均捕食量在不同实验温度下均为最大,在 30 ℃ 时,达到最大,为(8.6±0.9)头·d⁻¹。当 15 ℃ 时,雄成螨的日均捕食量大于第二若螨;25 ℃ 以后,第二若螨的日均捕食量大于雄成螨(表 1)。

表 1 不同龄期或性别的斯氏钝绥螨对西花蓟马 1 龄若虫的日均捕食量

Table 1 Mean number (±SE) of 1st instar nymphs of <i>F. occidentalis</i> consumed daily by different stages or sex of <i>A. swirskii</i>						
不同螨态	不同温度下的日均捕食量/头 No. of prey items consumed at different temperatures					显著性指标 Significance index
Predator life stage	15 ℃	20 ℃	25 ℃	30 ℃	35 ℃	
第一若螨 Protonymph	3.4±0.6Cb	4.4±0.6BCb	4.6±0.6ABCb	6.2±0.7ABb	6.4±0.5Aab	$F=4.551, P=0.009$
第二若螨 Protonymph	4.6±0.2Cab	5.4±0.5BCab	5.8±0.4BCab	7.4±0.7Aab	6.8±0.5ABab	$F=5.345, P=0.004$
雄成螨 Male adult mites	5.0±0.7Bab	5.4±0.5Bab	5.6±0.2ABab	6.8±0.4Aab	5.6±0.7ABb	$F=1.592, P=0.215$
雌成螨 Female adult mites	6.2±0.7Aa	6.8±0.8Aa	7.6±1.2Aa	8.6±0.9Aa	8.2±0.8Aa	$F=1.174, P=0.352$
显著性指标 Significance index	$F=3.653, P=0.035$	$F=2.561, P=0.091$	$F=2.943, P=0.065$	$F=2.333, P=0.113$	$F=2.958, P=0.064$	

同列数据后的不同小写字母或同行数据后不同大写字母表示在 0.05 水平差异显著。
Different lowercase letters in the same column or different uppercase letters in the same row indicated significant difference at 0.05 level.

2.2 不同温度下斯氏钝绥螨雌成螨对西花蓟马 1 龄若虫的捕食功能反应

不同温度下斯氏钝绥螨雌成螨对不同密度的西花蓟马 1 龄若虫的日均捕食量不同。当温度一定时,斯氏钝绥螨雌成螨的日均捕食量随着猎物密度的增加而增加。15~30 ℃ 内,斯氏钝绥螨雌成螨日均捕食量随着温度的升高而增大。15 ℃、西花蓟马 1 龄若虫密度为 3 头时,斯氏钝绥螨雌成螨日均捕食量最低,为(1.6±0.3)头·d⁻¹;30 ℃、西花蓟马 1 龄若虫密度为 30 头时,斯氏钝绥螨雌成螨的日均捕食量达到最大,为(10.7±0.7)头·d⁻¹。35 ℃ 时,斯氏钝绥螨雌成螨对不同密度西花蓟马 1 龄若虫的日均捕食量有所下降(表 2)。

在 15~35 ℃ 内,斯氏钝绥螨雌成螨对西花蓟马 1 龄若虫的功能反应符合 Holling-Ⅱ 模型(表 3)。25 ℃ 时,其瞬时攻击率(a)最大,为 1.044;30 ℃ 时,斯氏钝绥螨雌成螨平均处理时间(T_h)最

短,为 0.048 s。从捕食效能(a/T_h)来看,在 15~35 ℃ 之间,斯氏钝绥螨的捕食效能随温度的升高呈现先升高后降低的趋势,在 30 ℃ 时达到最大,为 18.146。

2.3 斯氏钝绥螨雌成螨对西花蓟马 1 龄若虫的搜寻效应

根据表 2 与搜寻效应公式 $S=a/(1+aT_hN)$ 计算得到斯氏钝绥螨雌成螨在不同温度下的搜寻效应值(图 1)。在 15~35 ℃ 内,斯氏钝绥螨雌成螨的搜寻效应随着西花蓟马 1 龄若虫密度的增加而降低。当西花蓟马 1 龄若虫的密度一定时,在 15~30 ℃ 内,其搜寻效应总体随温度的上升而增加;35 ℃ 时,不同西花蓟马 1 龄若虫密度水平下的搜寻效应介于 20 ℃ 与 25 ℃ 之间的搜寻效应。斯氏钝绥螨雌成螨在不同温度下的搜寻效应存在差异,在 15 ℃ 时,其各个密度下的搜寻效应均最低。

表 2 不同温度下斯氏钝绥螨雌成螨对西花蓟马 1 龄若虫的日均捕食量
Table 2 Mean number ($\pm$ SE) of the 1st instar nymphs of thrips, *F. occidentalis* consumed daily by *A. swirskii* adult female at different temperatures

温度 Temperature/℃	不同西花蓟马密度下的日均捕食量/头 No. of prey items consumed under various densities of <i>F. occidentalis</i>						著性指标 Significance index
	3	6	9	15	20	30	
15	1.6±0.3Ca	2.7±0.3Cc	4.2±0.5Bb	5.8±0.7Ab	6.7±0.6Ab	6.9±0.5Ab	$F=19.292$, $P=0.000$
20	2.2±0.3Ca	3.3±0.4Cbc	5.0±0.5Bab	6.0±0.5Bb	6.1±0.5Bb	8.5±0.7Ab	$F=18.954$, $P=0.000$
25	2.4±0.2Da	4.6±0.3Ca	4.9±0.4Cab	6.4±0.5Bb	7.8±0.5Aab	8.5±0.4Ab	$F=33.030$, $P=0.000$
30	2.2±0.2Ea	4.0±0.3Dab	6.2±0.4Ca	8.7±0.4Ba	9.1±0.8Ba	10.7±0.7Aa	$F=41.931$, $P=0.000$
35	2.2±0.3Ca	3.8±0.21Bab	4.7±0.6Bb	6.7±0.5Ab	6.8±0.4Ab	7.7±0.8Ab	$F=18.208$, $P=0.000$
显著性指标 Significance index	$F=1.382, P=0.252$ $F=5.262, P=0.001$ $F=2.474, P=0.054$ $F=4.812, P=0.002$ $F=4.293, P=0.004$ $F=5.326, P=0.001$						

同列数据后的不同小写字母或同行数据后不同大写字母表示在 0.05 水平差异显著。
Different lowercase letters in the same column or different uppercase letters in the same row indicated significant difference at 0.05 level.

表 3 不同温度下斯氏钝绥螨雌成螨对西花蓟马 1 龄若虫捕食功能反应参数
Table 3 Functional responses parameters of *A. swirskii* adult female mites on the 1st instar nymphs of thrips, *F. occidentalis* at different temperatures

温度 Temperature/℃	瞬时攻击率(a) Instantaneous attack rate	平均处理时间(T_h) Handling time/s	捕食效能(a/T_h) Predation efficacy	Holling- II 模型 Holling- II model	R^2
15	0.598	0.072	8.306	$N_a = 0.598N/(1+0.043N)$	0.809
20	0.823	0.084	9.798	$N_a = 0.823N/(1+0.069N)$	0.834
25	1.044	0.084	12.429	$N_a = 1.044N/(1+0.088N)$	0.891
30	0.871	0.048	18.146	$N_a = 0.871N/(1+0.042N)$	0.818
35	0.921	0.088	10.466	$N_a = 0.921N/(1+0.081N)$	0.937

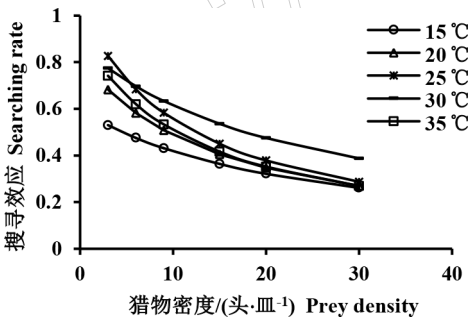


图 1 不同温度下斯氏钝绥螨雌成螨的搜寻效应与西花蓟马 1 龄若虫密度之间的关系

Fig.1 The searching rate by adult female *A. swirskii* under various densities of the prey, 1st instar nymphs of *F. occidentalis* at different temperatures

2.4 斯氏钝绥螨雌成螨对西花蓟马 1 龄若虫的干扰反应

由表 4 可知,当西花蓟马 1 龄若虫的密度维持 30 头不变时,斯氏钝绥螨雌成螨对西花蓟马 1 龄若虫的总捕食量随着斯氏钝绥螨雌成螨密度的增加而增加,平均捕食量和捕食作用率(E)则随着斯氏钝绥螨雌成螨密度的增加呈下降趋势。拟合 Hassell-Varley 的干扰模型得: $E=0.361P^{-0.430}$,干扰系数

m 为 0.430,搜寻常数 Q 为 0.361;捕食作用率(E)和捕食者密度(P)之间的相关系数 $R^2=0.916$ 。

斯氏钝绥螨捕食西花蓟马 1 龄若虫所产生的竞争属于分摊竞争,根据表 4 和分摊竞争强度公式 $I=(E_1-E_p)/E_1$ 可计算出分摊竞争强度值。斯氏钝绥螨的分摊竞争强度(I)与自身密度的对数之间呈线性关系,其分摊竞争强度随着捕食螨密度的增加而增加, I 与 $\log P$ 之间的关系为: $I=0.704\log P+0.044$,相关系数 $R^2=0.903$ 。

3 讨论与结论

本实验探究了不同温度下不同龄期或性别的斯氏钝绥螨对西花蓟马的捕食作用。结果表明,在不同温度下,斯氏钝绥螨雌成螨对西花蓟马的日均捕食量最大,均大于其他螨态,这与不同螨态或性别的斯氏钝绥螨取食朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval)的结果一致(王利平等,2011)。

此外,本实验还探究了斯氏钝绥螨雌成螨对西花蓟马的功能反应。当温度一定,斯氏钝绥螨雌成螨的日均捕食量随猎物密度的增加而增加,且呈负

加速型,符合 Holling-Ⅱ 模型;其搜寻效应则随着猎物密度的增加而降低。温度对斯氏钝绥螨雌成螨的捕食量存在影响,15℃时,各个猎物密度下的日均捕食量均为最低,在 20~30℃内,斯氏钝绥螨的

日均捕食量随温度的增加呈上升趋势,35℃时,日均捕食量下降。说明温度过高和过低均不利于斯氏钝绥螨对西花蓟马的捕食,这可能与温度过高或过低时斯氏钝绥螨的活动能力减弱有关。

表 4 斯氏钝绥螨自身密度的干扰反应
Table 4 Autointerference model of *A. swirskii* at different densities

捕食者密度(<i>P</i>)/头 Predator density	总捕食量/头 Total predation	平均捕食量/头 Average predation	捕食作用率(<i>E</i>) Predation rate	Hassell-Varley 模型 Hassell-Varley model	<i>R</i> ²
1	11.200±0.970	11.200±0.970	0.373	$E=0.361P^{-0.430}$	0.916
2	14.200±0.458	7.100±0.917	0.237		
3	23.000±0.258	7.667±0.775	0.256		
4	24.400±0.384	6.100±1.536	0.203		
5	26.400±0.150	5.280±0.748	0.176		

研究表明,斯氏钝绥螨对蓟马的防治效果好于胡瓜钝绥螨 *Amblyseius cucumeris* (Oudemans) (Kakkar,2010),本实验在 30℃时斯氏钝绥螨对西花蓟马的日均捕食量达到最大(10.7±0.7)头·d⁻¹,郅军锐和任顺祥(2006)研究发现,25℃时,胡瓜钝绥螨在凤仙花和天竺葵叶片上对西花蓟马的日捕食量最高分别为 10、6 头。在 15~35℃内,斯氏钝绥螨对西花蓟马 1 龄若虫的捕食效能在 30℃时最大,为 18.146。张金平等(2008)认为巴氏钝绥螨可作为控制西花蓟马的有效天敌,尚素琴等(2016)研究发现,巴氏新小绥螨 *Neoseiulus barkeri* 对西花蓟马初孵若虫的捕食效能在 28℃时达到最大 14.4718。因此,斯氏钝绥螨对西花蓟马 1 龄若虫的捕食效能远高于巴氏新小绥螨。西花蓟马的最适发育温度为 15~30℃(程峻峰等,2005),在此温度范围内,斯氏钝绥螨对西花蓟马有较好的捕食作用,表明其可作为西花蓟马生物防治的天敌。

斯氏钝绥螨存在较强的种内干扰反应。其对西花蓟马的总捕食量随自身密度的增加而增加,平均捕食量和捕食作用率(*E*)随自身密度的增加而下降,个体间存在分摊竞争。在田间运用斯氏钝绥螨防治西花蓟马时,还应考虑其合理的释放密度。

本实验是在实验室条件下完成的,在自然环境中,还存在许多因素影响斯氏钝绥螨对西花蓟马的捕食能力,在利用斯氏钝绥螨防治西花蓟马时,应综合考虑这些因素,以达到最佳的防控效果。

参考文献

陈霞,张艳璇,季洁,林坚贞,2011. 温度对以截形叶螨为猎物的斯氏钝绥螨生长发育的影响. 蛛形学报, 20(1): 52–56.

程峻峰, 万方浩, 郭建英, 张国安, 2005. 外来有害入侵生物——西花蓟马. 中国生物防治学报, 21(2): 74–79.

郭颖伟, 王恩东, 徐学农, 王伯明, 2014. 斯氏钝绥螨在北京地区冬季室外存活情况及定殖性评估. 中国生物防治学报, 30(6): 718–723.

韩运发, 1997. 中国经济昆虫志: 第五十五册, 缨翅目. 北京: 科学出版社.

黄建华, 陈洪凡, 王丽思, 柳岸峰, 沈华喜, 2016. 应用捕食螨防治蓟马研究进展. 中国生物防治学报, 32(1): 119–24.

陆亮, 杜予州, 李鸿波, 王建军, 2009. 西花蓟马传播病毒病的研究进展. 植物保护, 35(2): 7–11.

吕要斌, 张治军, 吴青君, 杜予州, 张宏瑞, 于毅, 王恩东, 王鸣华, 王满, 童晓立, 吕利华, 谭新球, 付卫东, 2011. 外来入侵害虫西花蓟马防控技术与示范. 应用昆虫学报, 48(3): 488–496.

马骁, 韦党扬, 赵琦, 1996. 六斑月瓢虫对桔蚜捕食作用的研究. 耕作与栽培 (3): 55–57.

乔凤霞, 肖春, 刘忠善, 丁元明, 胡纯华, 2006. 防控有害入侵生物——西花蓟马. 山东农业科学 (4): 46–48.

尚素琴, 刘平, 张新虎, 2016. 不同温度下巴氏新小绥螨对西花蓟马初孵若虫的捕食功能. 植物保护, 42(3): 141–144.

王利平, 王永模, 杜进平, 张国安, 2011. 斯氏钝绥螨对朱砂叶螨若螨的捕食作用. 中国生物防治学报, 27(2): 171–175.

王兴民, 邵振芳, SHAUKAT A, 王泽清, 2015. 绿僵菌素与化学农药混配对西花蓟马的联合毒力. 广东农业科学, 42(16): 60–63.

吴坤君, 盛承发, 龚佩瑜, 2004. 捕食性昆虫的功能反应方程及其参数的估算. 应用昆虫学报, 41(3): 267–269.

徐学农, 吕佳乐, 王恩东, 2013. 捕食螨在中国的研究与应用. 中国植保导刊, 33(10): 26–34.

张金平, 范青海, 张帆, 2008. 应用实验种群生命表评价巴氏新小绥螨对西花蓟马的控制能力. 环境昆虫学报, 30(3): 229–232.

(下转第 316 页)

- 替代控制结合除草剂应用防治薇甘菊的方法: 2012105330865. 2013-03-13.
- 徐高峰, 申时才, 张付斗, 2014. 异质环境下入侵植物薇甘菊的适应性及繁殖特性. 生态环境学报, 23(8): 1258-1264.
- 徐高峰, 张付斗, 申时才, 李天林, 2012. 一种防治薇甘菊的含有氟草烟的除草组合物及其制备方法: 201110445685.7. 2012-05-09.
- 张付斗, 李天林, 徐高峰, 吴迪, 2010. 一种防治薇甘菊的复配除草组合物及其制备方法: 200910094786.7. 2010-01-13.
- 张付斗, 岳英, 季梅, 申时才. 2015. 薇甘菊在云南省的入侵危害及其防控. 昆明: 云南科技出版社.
- 张付斗, 李天林, 徐高峰, 吴迪, 张玉华, 2011. 薇甘菊不同生长方式下的繁殖特征比较. 植物学报, 46(1): 59-66.
- 张付斗, 徐高峰, 李天林, 2011. 氟草烟与莠灭净混用防治薇甘菊的方法: 201010275608.7. 2011-01-19.
- 张付斗, 申时才, 徐高峰, 岳英, 刘树芳, 杨君, 张玉华, 2018. 一套提高红薯替代控制薇甘菊效果的肥料及其应用: 201410751784.1. 2018-01-23.
- HU L, LI M G, 2014. Climbing capacity of the invasive vine *Mikania micrantha* Kunth on vertical artificial poles. *Biological Invasions*, 16: 295-302.
- LI X X, SHEN Y D, HUANG Q Q, FAN Z W, HUANG D D, 2013. Regeneration capacity of small clonal fragment of the invasive *Mikania micrantha* H.B.K.: effect of burial depth and stolon internode length. *PLoS ONE*, 8(12): 1-8.
- MACANAWAI A R, DAY M D, ADKINS S W, 2015. Effects of age, length and pattern of burial on survival of *Mikania micrantha* stem sections. *Pacific Science*, 69: 95-102.
- MICHAL D D, DAVID R C, CBRITINE G, WILMOT K A D, SENARATNE, SHEN S C, LESLIE A W, ZHANG F D, 2016. Biology and impacts of Pacific islands invasive species *Mikania micrantha* Kunth. *Pacific Science*, 70(3): 257-285.
- MINI A, ABRAHAM C T, 2005. Biology of mile-a minute weed (*Mikania micrantha* H.B.K), an alien invasive weeds in Kerala. *Indian Journal of Weeds Science*, 37(2): 153-154.
- RAJESH K R, MADAN S, RAJAN S, 2012. Controlling *Mikania micrantha* H.B.K: how effective manual cutting is? *Journal of Ecology and Field Biology*, 35(3): 235-242.
- SHEN C C, XU G F, DAVID R C, JIN G M, LIU S F, YANG Y X, CHEN A D, ZHANG F D, HISASHI K D, 2016. Suppression of reproductive characteristics of the invasive plant *Mikania micrantha* by sweet potato competition. *BMC Ecology*, 16: 2-9.
- YU H, YU F H, MIAO S L, DONG M, 2008. Holoparasitic *Cuscuta campestris* suppresses invasive *Mikania micrantha* and contributes to native community recovery. *Biological Conservation*, 141: 2653-2661.
- ZHANG L L, WEN D Z, FU S L, 2009. Responses of photosynthetic parameters of *Mikania micrantha* and *Chromolaena odorata* to contrasting irradiance and soil moisture. *Biologia Plantum*, 53(3): 517-522.
- (责任编辑:郭莹)
- (上接第 278 页)
- 邹军锐, 任顺祥, 2006. 胡瓜钝绥螨对西花蓟马的功能反应和数值反应. 华南农业大学学报, 27(3): 35-38.
- 钟锋, 吕利华, 高燕, 何余容, 李小明, 张金强, 李世茂, 2009. 西花蓟马的危害及生物防治研究进展. 广东农业科学 (8): 120-123.
- 邹运鼎, 耿继光, 陈高潮, 孟庆雷, 王公明, 1996. 异色瓢虫若虫对麦二叉蚜的捕食作用. 应用生态学报, 7(2): 197-200.
- DORAMACI M, KAKKAR G, KUMAR V, CHEN J, ARTHURS A S, 2014. Swirski mite (suggested common name) *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Arachnida: Mesostigmata: Phytoseiidae). *Entomology & Nematology*, 565: 1-5.
- FATHIPOUR V, BONAKDAR A, MOHSENI H, 2017. Advances on sensitive electron-injection based cameras for low-flux, short-wave-infrared applications. *Frontiers in Materials*, 3: 1-16.
- HASSELL M P, VARLEY G C, 1969. New inductive population model for insect parasites and its bearing on biological control. *Nature*, 223: 1133-1137.
- KAKKAR G, 2010. *Frankliniella schultzei* (Trybom), an invasive flower thrips attacking vegetable crops in southeastern florida identification: distribution and biological control. Gainesville: University of Florida.
- (责任编辑:郑姗姗 郭莹)