

温度对拟小食螨瓢虫捕食皮氏叶螨成螨功能反应的影响^{*}

符悦冠^{1,2} 耿召良¹ 张方平¹ 金启安¹ 吴伟坚^{2**}

(¹ 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 海南儋州 571737; ² 华南农业大学昆虫生态研究室, 广州 510642)

摘 要 在 5 个温度(16 ℃、20 ℃、24 ℃、28 ℃和 32 ℃)条件下,测定了拟小食螨瓢虫雌成虫对皮氏叶螨成螨的捕食功能反应。结果表明,在试验温度范围内,各温度下的功能反应均能用 Holling 圆盘方程(Ⅱ型)拟合,但各温度间功能反应的参数存在差异。以瞬时攻击率和捕食处理时间为评价指标,在 16 ℃~28 ℃,拟小食螨瓢虫雌成虫对皮氏叶螨成螨的捕食效能随温度的上升而提高,28 ℃时达到最高,此时的瞬时攻击率和捕食处理时间分别为 0.5899 和 0.0169 d。温度上升至 32 ℃时,捕食效能略为下降,此时的瞬时攻击率和捕食处理时间分别为 0.5740 和 0.0184 d,与 28 ℃时的瞬时攻击率和捕食处理时间差异不显著。表明较高温度有利于拟小食螨瓢虫发挥对皮氏叶螨成螨的控制作用。在试验的密度和温度范围内,以三次多项方程描述了在不同猎物密度和温度组合下拟小食螨瓢虫雌成虫对皮氏叶螨成螨的捕食作用,以软件 Surfer 8.0 生成了皮氏叶螨成螨密度和温度组合下的拟小食螨瓢虫雌成虫捕食量模拟值等值线图。同时,还对拟小食螨瓢虫在热带作物害虫生物防治中的应用潜力进行了讨论。

关键词 拟小食螨瓢虫;皮氏叶螨;功能反应;温度

中图分类号 Q968.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2007)09-1397-05

Effects of temperature on predatory functional responses of *Stethorus parapauperculus* to *Tetranychus piercei* adults. FU Yue-guan^{1,2}, GENG Zhao-liang¹, ZHANG Fang-ping¹, JIN Qian¹, WU Wei-jian² (¹Environment and Plant Protection Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Danzhou 571737, Hainan, China; ²Laboratory of Insect Ecology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China). Chinese Journal of Ecology, 2007 26(9):1397-1401.

Abstract: The study on the predatory functional responses of *Stethorus parapauperculus* to *Tetranychus piercei* adults at 16 ℃, 20 ℃, 24 ℃, 28 ℃ and 32 ℃ showed that within the range of test temperatures, the predatory functional responses of female *S. parapauperculus* adults could be simulated by Holling type II, but the coefficients varied with temperature. Taking the successful attack rate and handling time as evaluation indicators, the predation efficiency of female *S. parapauperculus* adults on *T. piercei* adults within the range of 16 ℃-28 ℃ increased with increasing temperature, and reached the maximum at 28 ℃. At 32 ℃, the predation efficiency decreased slightly. The successful attack rate and handling time at 32 ℃ were 0.5740 and 0.0184 day, respectively, which had no significant differences with those (0.5899 and 0.0169 day, respectively) at 28 ℃, indicating that higher temperature was favorable to the control effect of *S. parapauperculus* on *T. piercei*. A cubic polynomial equation was derived to describe the effects of temperature and prey density on the predation rate of female *S. parapauperculus* adults, and a contour plot of the estimated predation rate for any combinations of test temperature and prey density was produced by Surfer 8 software. The implication of these results for the biological control with *S. parapauperculus* against the pests on tropical crops was discussed.

Key words: *Stethorus parapauperculus*; *Tetranychus piercei*; functional response; temperature.

* 农业部农业结构调整重大技术研究专项资助项目(04-08-01A)。

** 通讯作者 E-mail: weijwu@scau.edu.cn

收稿日期:2006-11-29 接受日期:2007-05-10

1 引言

皮氏叶螨(*Tetranychus piercei*)是海南等地香蕉(*Musa* spp.)、木瓜(*Carica papaya*)等热带作物的重要害螨,严重影响香蕉与木瓜的品质和产量(Fu et al., 2002)。拟小食螨瓢虫(*Stethorus para-pauperculus*)是许多叶螨的重要捕食性天敌(庞雄飞和毛金龙, 1975; Ren & Pang, 1996),广泛分布于海南、广东和云南等地(庞雄飞, 1966; 庞雄飞和毛金龙, 1979)。据笔者调查,拟小食螨瓢虫种群在海南等地的香蕉、木瓜等果园常年存在,其幼虫和成虫取食皮氏叶螨的卵、幼螨、若螨和成螨,在 24 °C ~ 32 °C 变温条件下,拟小食螨瓢虫 1、2、3 和 4 龄幼虫和雌成虫平均每天可取食皮氏叶螨的卵 23.48、48.20、94.59、134.78 和 116.60 粒,取食雌成螨 2.20、10.20、22.19、36.59 和 18.40 头,初步显示了这种食螨瓢虫对皮氏叶螨有很强的控制能力,是海南、广东等地香蕉、木瓜等果园的皮氏叶螨等叶螨的重要天敌之一。

尽管拟小食螨瓢虫是香蕉、木瓜等重要害螨皮氏叶螨的重要天敌,林延谋和陈佩珍(1984)报道了拟小食螨瓢虫对二斑叶螨有较强的捕食能力,程立生等(1989, 1990)开展了拟小食螨瓢虫成虫对朱砂叶螨和柑桔全爪螨的功能反应研究,但至今尚未有拟小食螨瓢虫对皮氏叶螨功能反应以及温度对食螨瓢虫功能反应影响方面的研究报道。为进一步了解拟小食螨瓢虫对皮氏叶螨成螨的控制效能,探明温度对其控制效能的影响,本文开展了不同温度条件下拟小食螨瓢虫对皮氏叶螨成螨的功能反应研究,采用传统的功能反应模型对拟小食螨瓢虫的作用效能进行分析,引入一个包含猎物密度和温度的多项式模型,所产生的等值线图可预测一定猎物密度和温度组合下拟小食螨瓢虫雌虫对皮氏叶螨成螨的功能反应,为有效利用拟小食螨瓢虫防治香蕉、木瓜等作物皮氏叶螨提供依据。

2 材料与方法

2.1 供试虫源

拟小食螨瓢虫和皮氏叶螨均采集于中国热带农业科学院果园内的香蕉和木瓜植株上,经过物种鉴定,在室内常温下饲养,建立稳定的拟小食螨瓢虫和皮氏叶螨的室内种群,以提供试验虫源。

2.2 试验方法

试验在 16 °C、20 °C、24 °C、28 °C、(32 ± 1) °C

的 5 个恒温人工气候箱内进行,相对湿度(RH)为 80%,光照 L:D = 13:11。在培养皿(直径 6.8 cm,高 1.5 cm)里垫以海绵,加水使之湿润,将干净新鲜的香蕉叶片切成略小于培养皿大小的形状并置于海绵上,叶片的正面贴紧海绵,叶片周围用湿润的脱脂棉围边以保湿叶片及防止瓢虫和猎物等逃逸。在培养皿中准备好的香蕉叶片上接入皮氏叶螨成螨 20、25、30、35、40 和 45 头,再接入 1 头羽化后 5~6 d 并已经交尾的拟小食螨瓢虫雌成虫(试验前已饥饿 24 h),培养皿以扎有小孔的保鲜膜覆盖以防其逃逸。试验 24 h 后详细镜检记录皮氏叶螨成螨的剩存数量。每个处理重复 5 次。

2.3 分析方法

将拟小食螨瓢虫对猎物密度的功能反应试验结果就猎物密度和捕食猎物数量做散点图,根据散点图选用适合的 Holling 模型拟合分析(Holling, 1959)。Holling 圆盘方程(Ⅱ型)的模型为:

$$N_a = \frac{aTN}{1 + abN} \quad (1)$$

式中: N 为猎物初始密度; N_a 为被捕食的猎物数; T 为捕食者发现和处理猎物的总时间(本试验 $T = 1$ d); a 为捕食者对猎物的瞬时攻击率; b 为捕食处理时间。参数 a 、 b 采用 LRI 法(吴伟坚和梁广文, 1989)估计初值后在 STATISTICA 6.0 (Statistica 6.0; Statsoft, Tulsa, OK, USA)的拟牛顿(Quasi-Newton)迭代法估计。

为了更好地了解猎物密度和温度对拟小食螨瓢虫雌成虫功能反应的综合效应,本文引入一个多项式模型(Skirvin & Fenlon 2003)进行分析:

$$N_a = p_1 + p_2N + p_3t + p_4t^2 + p_5t^3 \quad (2)$$

式中: N 为猎物密度; t 为温度;参数 p_1 、 p_2 、 p_3 、 p_4 、 p_5 以 STATISTICA 6.0 的拟牛顿迭代法估计。Surfer 8 统计学软件可根据试验数据或模拟值,通过 Kriging 插值法,绘制成反映捕食量与猎物密度、温度之间关系的图形(吕昭智等 2003)。拟小食螨瓢虫雌成虫捕食量的模拟值和实测值等值线图由 Surfer 8 软件生成。

3 结果与分析

3.1 不同温度下拟小食螨瓢虫雌成虫对皮氏叶螨成螨的功能反应

由表 1 可知,拟小食螨瓢虫雌成虫对皮氏叶螨成螨具有较大的捕食能力,24 h 的最大捕食量可达

18 头 ,其捕食量与猎物密度及温度条件有关。

在相同温度条件下 ,拟小食螨瓢虫雌成虫对皮氏叶螨成螨的捕食量随猎物密度的增加而相应增加 ,但当猎物数量达到一定程度时瓢虫捕食量增加的幅度减小 ,呈负加速曲线型变化 ;在相同猎物密度条件时 ,在 16 ℃ ~28 ℃ 范围内 ,随温度的升高拟小食螨瓢虫雌成虫对皮氏叶螨成螨的捕食量随之增加 ,28 ℃ 时达到最大 ,当温度从 28 ℃ 上升为 32 ℃ 时 ,捕食量略有下降。

表 1 不同温度和猎物密度下拟小食螨瓢虫雌成虫捕食皮氏叶螨头数(mean ± SE)

Tab.1 Numbers of *T. piercei* consumed by *S. parapauperculus* at different temperatures and prey densities

温度(℃)	猎物密度(头 ·皿 ⁻¹)	被捕食猎物数(头)
16	20	4. 65 ± 0. 60
	25	4. 90 ± 0. 96
	30	5. 50 ± 1. 22
	35	6. 20 ± 0. 90
	40	8. 85 ± 1. 36
	45	9. 60 ± 1. 98
20	20	6. 45 ± 1. 50
	25	7. 45 ± 1. 18
	30	7. 50 ± 1. 58
	35	9. 20 ± 1. 44
	40	10. 64 ± 2. 09
	45	11. 40 ± 1. 71
24	20	7. 90 ± 1. 67
	25	8. 40 ± 1. 38
	30	9. 65 ± 1. 34
	35	11. 50 ± 1. 77
	40	12. 24 ± 1. 92
	45	13. 40 ± 2. 82
28	20	9. 65 ± 1. 05
	25	12. 20 ± 1. 92
	30	13. 80 ± 2. 38
	35	15. 20 ± 2. 58
	40	17. 00 ± 2. 73
	45	17. 85 ± 3. 71
32	20	9. 20 ± 2. 28
	25	11. 80 ± 2. 59
	30	13. 60 ± 3. 05
	35	14. 90 ± 3. 94
	40	15. 20 ± 3. 56
	45	17. 40 ± 3. 54

根据表 1 的数据 ,可得出模型 (1)的参数估计值(表 2)。参数估计的相关系数 *r* 均达显著水平 (*P* < 0. 05) ,拟合优度检验 χ^2 值均小于 $\chi^2_{0.05}$,说明圆盘

方程能较好地描述拟小食螨瓢虫雌成虫在各温度下对皮氏叶螨成螨的捕食作用。根据表 2 参数 ,可看出拟小食螨瓢虫雌成虫对皮氏叶螨成螨具有良好的捕食效能 ,其对皮氏叶螨成螨的瞬时攻击率最高达 0. 5899 ,处理时间最短为 0. 0169 d ;温度对拟小食螨瓢虫雌成虫对皮氏叶螨成螨的捕食效能有重要影响 ,在 16 ℃ ~28 ℃ 内 ,其瞬时攻击率随温度的升高而加大 ,处理时间随温度的提高而缩短 ,28 ℃ 时的瞬时攻击率最大 ,处理时间最短 ,温度从 28 ℃ 上升到 32 ℃ 时 ,其瞬时攻击率略有下降 ,处理时间略有延长。结果表明 ,28 ℃ 时拟小食螨瓢虫雌成虫对皮氏叶螨成螨的捕食效能最高 ,温度上升到 32 ℃ 时略有下降 ,但差异不显著 ,温度下降到 24 ℃ 以下时 ,捕食效能显著下降。

表 2 不同温度下拟小食螨瓢虫雌成虫对皮氏叶螨成螨的功能反应参数

Tab.2 Parameters of functional responses of *S. parapauperculus* female adults to *T. piercei* adults at different temperatures (mean ± SE)

温度(℃)	瞬时攻击率	处理时间(d)
16	0. 2422 ± 0. 0503a	0. 0262 ± 0. 0003a
20	0. 4116 ± 0. 0742b	0. 0371 ± 0. 0141a
24	0. 5046 ± 0. 0782c	0. 0330 ± 0. 0128a
28	0. 5899 ± 0. 0902c	0. 0169 ± 0. 0017b
32	0. 5740 ± 0. 0693c	0. 0184 ± 0. 0008b

同列相同字母差异不显著(DMRT , *P* > 0. 05)。

3. 2 猎物密度和温度对拟小食螨瓢虫雌成虫功能反应的综合影响

各温度下的功能反应 II 型模型未能综合反应猎物密度和温度对捕食者功能反应的影响 ,Skirvin 和 Fenlon(2003)曾以多项立方模型 (2)模拟了不同温度和猎物密度下智利小钝绥螨 (*Phytoseiulus persimilis*)对二斑叶螨 (*Tetranychus urticae*)的卵功能反应。本文利用表 1 的数据模拟方程 (2)的结果为 :

$$N_a = 45. 889 + 0. 266N - 7. 281t + 0. 351t^2 - 0. 005t^3 \quad (R = 0. 9774 , P < 0. 01) \quad (3)$$

方程 (3)的拟合优度检验 $\chi^2 = 2. 1398 < \chi^2_{0.05} (df = 24) = 36. 42$ 说明模型 (3)能拟合皮氏叶螨成螨密度和温度对拟小食螨瓢虫雌成虫功能反应的综合影响。以表 1 的实测值和模型 (3)的理论值利用统计软件 Surfer 8. 0 产生的捕食量 (*N_a*)等值线图分别见图 1 和图 2。模拟值和实测值的等值线图反映出相同的趋势。图 2 显示 ,在猎物密度为 50 ~ 60 头 ,温度为 37 ℃ ~33 ℃ 时 ,被捕食的猎物数 (*N_a*)达到最大值。

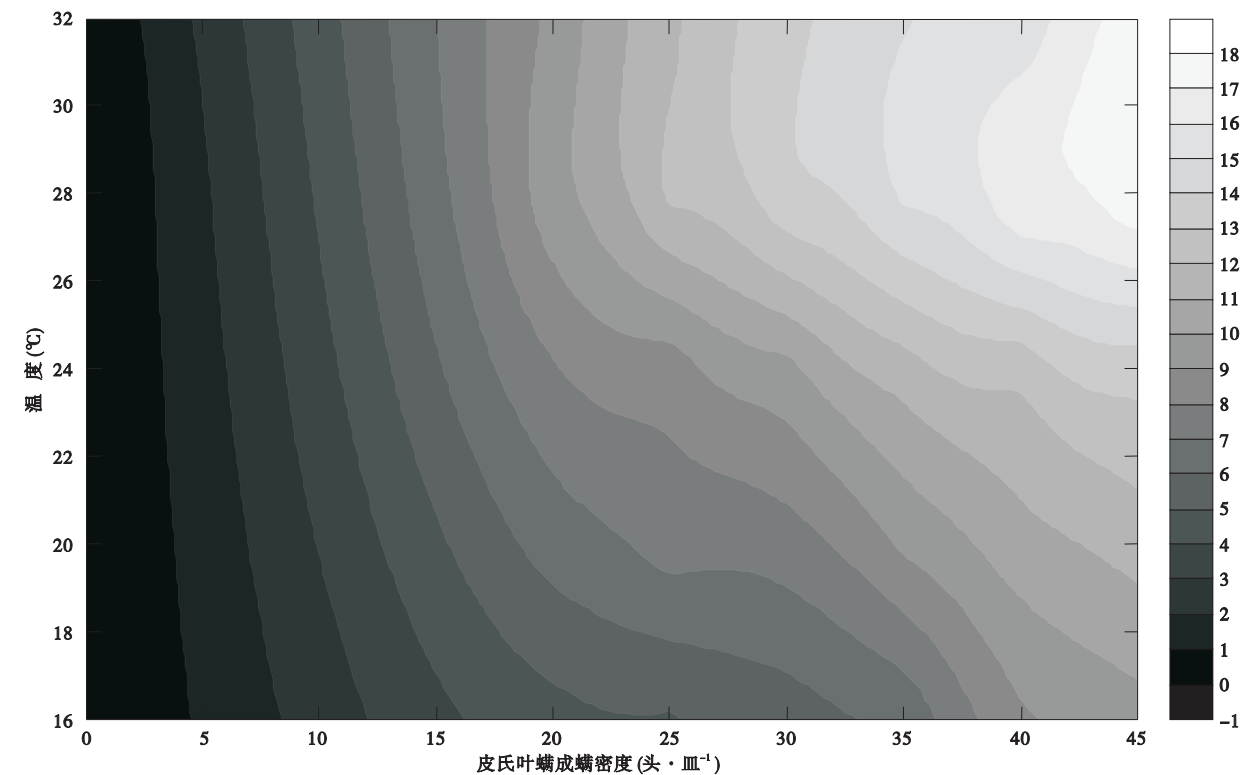


图 1 皮氏叶螨成螨密度和温度组合的拟小食螨瓢虫雌成虫捕食量实测值等值线图
Fig.1 Contour plot showing the effect of prey density and temperature on the number of *T. piercei* adults consumed by *S. parapauperculus* female adults
标尺为被捕食的猎物数,下同。

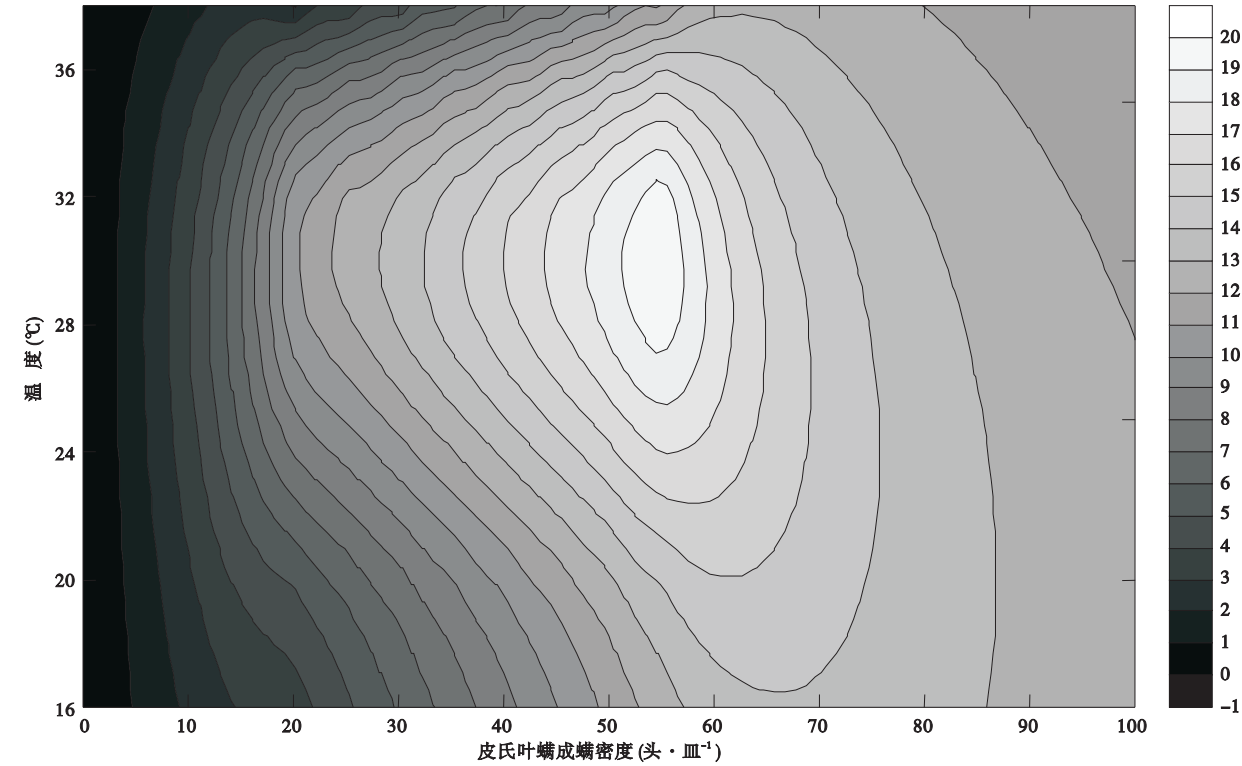


图 2 皮氏叶螨成螨密度和温度组合的拟小食螨瓢虫雌成虫捕食量模拟值等值线图
Fig.2 Contour plot showing the effect of prey density and temperature on the number of *T. piercei* adults consumed by *S. parapauperculus* predicted by the cubic equation

4 讨 论

功能反应模型参数结果表明,拟小食螨瓢虫雌成虫对皮氏叶螨成螨具有较强的捕食的能力。拟小食螨瓢虫雌成虫对皮氏叶螨成螨的功能反应与该瓢虫成虫对朱砂叶螨(*Tetranychus cinnabarinus*)和柑桔全爪螨(*Panonychus citri*)的卵、幼螨、若螨、成螨的功能反应类型(程立生等,1989,1990)及深点食螨瓢虫成虫对柑桔全爪螨成螨(刘永生等,2000)等的功能反应一致,均属于Holling II模型。针对不同的取食对象,虽拟小食螨瓢虫雌成虫对皮氏叶螨成螨的最高瞬时攻击率较其在变温条件下对柑桔全爪螨和朱砂叶螨成螨瞬时攻击率1.0930和1.4473 d低,但其最短处理时间较程立生等(1989,1990)报道的处理时间0.0215和0.0928 d短;与其它重要食螨瓢虫深点食螨瓢虫相比较,虽其雌成虫对皮氏叶螨成螨的最高瞬时攻击率较深点食螨瓢虫成虫在变温条件下对柑桔全爪螨成螨的瞬间攻击率0.7170 d(刘永生,2000)低,但其最短处理时间均较食螨瓢虫成虫对柑桔全爪螨成螨的处理时间0.0254 d短。表明拟小食螨瓢虫雌成虫是皮氏叶螨的重要天敌。

较高的温度有利于拟小食螨瓢虫发挥对皮氏叶螨成螨的控制作用。以瞬间攻击率和处理时间为评价指标,在供试温度范围内,拟小食螨瓢虫雌成虫对皮氏叶螨成螨的捕食作用基本上是随着温度的升高而增大的,在28℃时达到最高,32℃时略有下降,但差异不显著,说明28℃~32℃的高温下拟小食螨瓢虫雌成虫对皮氏叶螨成螨的控制能力最强。因此可认为拟小食螨瓢虫在热带地区具有良好的利用潜力。

Kriging法原本是一种估计观测样点间内插值的地学统计学方法。它基于区域化变量理论,当获得了某个变量的半变异函数的模拟模型后,可利用样点观测值对研究区域上未取样点的区域化变量值进行最小误差估计(Lecoustre *et al.*, 1989)。本文利用Kriging插值所产生的等值线图同样可预测在试验密度和温度范围内未经试验的不同猎物密度和温度的组合拟小食螨瓢虫雌成虫对皮氏叶螨成螨的捕食量。

本试验均是在室内人工气候箱内恒温条件下进行的,并未考虑自然条件下影响拟小食螨瓢虫捕食

的其他因素,如猎物种类和猎物年龄结构、其它气候条件等。本实验结果与田间自然种群的情况存在一定差异,本文仅就拟小食螨瓢虫雌成虫对皮氏叶螨成螨的作用效能进行研究,为利用拟小食螨瓢虫控制热带作物害螨提供重要信息。

参考文献

- 程立生,刘君成,宋国敏. 1989. 拟小食螨瓢虫成虫对朱砂叶螨捕食作用的研究. 热带作物学报, **10**(2): 99-105.
- 程立生,韩玉贵,雷建林. 1990. 拟小食螨瓢虫成虫对柑桔全爪螨的捕食作用. 热带作物学报, **11**(2): 113-118.
- 林延谋,陈佩珍. 1984. 拟小食螨瓢虫生物学特性初步观察. 昆虫天敌, **6**(3): 126-128.
- 刘永生,匡银近,张清良. 2000. 深点食螨瓢虫生物学特性及捕食功能反应初探. 湖北林业科技(3): 24-27.
- 吕昭智,包安明,陈曦,等. 2003. 地统计学软件在害虫管理中的应用. 生态学杂志, **22**(6): 132-136.
- 庞雄飞. 1966. 广东拱颞瓢虫属新种记述. 动物分类学报, **3**(1): 76-81.
- 庞雄飞,毛金龙. 1975. 螨类的重要天敌:食螨瓢虫属(鞘翅目:瓢虫科). 昆虫学报, **18**(4): 418-424.
- 庞雄飞,毛金龙. 1979. 中国经济昆虫志:瓢虫科(二). 北京:科学出版社.
- 吴伟坚,梁广文. 1989. Holling圆盘方程拟合方法概述. 昆虫天敌, **11**(2): 96-100.
- Fu YG, Zhang FP, Peng ZX, *et al* 2002. The effects of temperature on the development and reproduction of *Tetranychus piercei* McGregor (Acari: Tetranychidae) in banana. *Systematic & Applied Acarology*, **7**: 69-76.
- Holling CS. 1959. Some characteristics of simple type of predation and parasitism. *Canadian Entomologist*, **91**: 385-389.
- Lecoustre L, Fargette D, Fauquet C, *et al.* 1989. Analysis and mapping of the spatial spread of African cassava mosaic virus using geostatistics and kriging technique. *Phytopathology*, **79**: 913-920.
- Ren SX, Pang XF. 1996. The genus *Stethorus* Weise (Coleoptera, Coccinellidae) of China. *Elytra Tokyo*, **24**: 317-329.
- Skirvin DJ, Fenlon JF. 2003. The effect of temperature on the functional response of *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae). *Experimental and Applied Acarology*, **31**: 37-49.

作者简介 符悦冠,男,1963年生,研究员。主要从事热带农业昆虫和螨类生物学、生态学研究,发表论文40余篇。
E-mail: flygcata@163.com
责任编辑 刘丽娟