

三种柑橘品种上捕食螨和柑橘全爪螨种群发生动态调查*

宋子伟** 郑 苑 张宝鑫*** 李敦松***

(广东省农业科学院植物保护研究所, 广东省植物保护新技术重点实验室, 广州 510640)

摘 要 【目的】 为明确不同柑橘品种柑橘园中捕食螨及柑橘全爪螨 *Panonychus citri* (McGregor) 的种群动态变化规律, 阐明捕食螨的多样性及其对柑橘全爪螨的自然控制作用, 为利用优势捕食螨防控柑橘全爪螨生物防治技术提供理论依据。**【方法】** 2019 年在香橼柠檬园中进行调查, 2020 年, 分别在红美人 and 沙糖橘园中进行调查。从每年的 4 月份至 12 月份开展定期定点的田间调查和采样, 采取 5 点取样的方法, 在果园中采取振落法统计捕食螨和柑橘全爪螨数量; 采集捕食螨标本, 室内进行玻片鉴定捕食螨种类。

【结果】 3 种不同柑橘品种的果园中, 植绥螨的种类及其优势种类有显著的不同。香橼柠檬园中植绥螨有 3 个种, 其中纽氏肩绥螨 *Scapulaseius newsami* (Evans) 为优势种; 红美人果园中植绥螨有 5 个种, 其中尼氏真绥螨 *Euseius nicholsi* (Ehara et Lee) 为优势种; 沙糖橘园中植绥螨仅有 2 个种, 其中加州新小绥螨 *Neoseiulus californicus* (McGregor) 为优势种。3 种不同柑橘品种的果园中捕食螨总数随时间的变化均呈现显著的消长规律, 香橼柠檬园中捕食螨数量变化呈现双峰趋势, 高峰时间分别出现在 5 月 13 日和 10 月 24 日; 红美人和沙糖橘园中, 捕食螨的数量变化均呈现 3 个高峰, 最高峰时间均是在 5 月 9 日。香橼柠檬园中捕食螨的种群变化除优势捕食螨纽氏肩绥螨外, 冲绳肩绥螨 *Scapulaseius okinawanus* (Ehara) 和钝毛钝绥螨 *Amblyseius obtuserellus* Wainstein & Begljarov 的种群变化稳定。红美人果园中除优势种尼氏真绥螨外, 作为次优势捕食螨的钝毛钝绥螨种群稳定。沙糖橘果园中仅有的两种捕食螨种群变化呈现反比关系。

【结论】 柑橘园捕食螨的种群结构与柑橘品种可能具有一定的相关性, 柑橘花粉对于稳定田间捕食螨种群可能具有一定作用。不同化学防治措施下, 优势捕食螨种群的变化可能是由于不同种类捕食螨对化学农药的耐受性不同引起的。在自然条件下, 柑橘园中的捕食螨对柑橘全爪螨的控制作用明显。

关键词 植绥螨; 柑橘全爪螨; 香橼柠檬; 红美人; 沙糖橘

Population dynamics of predatory mites and citrus red mites on three different citrus varieties

SONG Zi-Wei** ZHENG Yuan ZHANG Bao-Xin*** LI Dun-Song***

(Guangdong Provincial Key Laboratory of High Technology for Plant Protection, Plant Protection Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract 【Objectives】 To investigate the population dynamics of predatory mites and citrus red mites in orchards with different citrus varieties, quantify the diversity of predatory mites, and assess the ability of the latter to control citrus red mites under natural conditions. **【Methods】** Field surveys were conducted in citron-lemon orchards in 2019, and in Ehime Kashi No. 28 and Shatangju orchards, in 2020. The abundance of predatory mites and citrus red mites were measured using five-point sampling and the shaking-off the plate method at fixed sites from April to December each year. Samples of predatory mites

*资助项目 Supported projects: 广东省农业科学院协同创新中心项目-XTXM202202 (XT202211); 农业基础性长期性科技工作 (ZX09S200100); 国家 (广东) 农业基础性长期性科技工作监测与研究项目 (2021KJ156)

**第一作者 First author, E-mail: ziweisong@139.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: zhangbx@gdppri.cn; dsli@gdppri.cn

收稿日期 Received: 2021-09-13; 接受日期 Accepted: 2022-08-02

were obtained using the plant-flapping plate method, after which species were identified under a microscope. **[Results]** There were significant differences in the species of dominant predatory mites found in the three orchard types. Three species of phytoseiid mites were found in citron-lemon orchards of which the dominant species was *Scapulaseius newsami*. Five species of phytoseiid mites were found in Ehime Kashi No. 28 orchards of which the dominant species was *Euseius nicholsi*. Two species of phytoseiid mite were found in Shatangju orchards of which *Neoseiulus californicus* was the dominant species. Predatory mite populations fluctuated significantly over the duration of the study. The population of predatory mites in citron-lemon orchards had two peaks, one on May 13th and another on October 24th, whereas three distinct peaks were apparent in Ehime Kashi No. 28 and Shatangju orchards, the biggest of which occurred on May 9th. In citron-lemon orchards, the population dynamics of the predatory mites *S. okinawanus* and *A. obtuserellus* were relatively stable, whereas numbers of *S. newsami* fluctuated. In Ehime Kashi No. 28 orchards, the population dynamics of *A. obtuserellus* was more stable than that of *E. nicholsi*. In Shatangju orchards, the population dynamics of *N. californicus* and *A. obtuserellus* had an inverse relationship. **[Conclusion]** There appear to be certain correlations between the population structure of predatory mites and citrus varieties. Citrus pollen may affect the sustainability of predatory mite populations. Because different predatory mite species may differ in their tolerance to pesticides, different pesticides may alter predatory mite community composition in different ways. Under natural conditions, predatory mites clearly controlled citrus red mites in orchards.

Key words Phytoseiidae mites; *Panonychus citri*; citron-lemon; Ehime Kashi No. 28; Shatangju

柑橘是世界第一大类水果,也是我国南方种植面积最广、经济地位最重要的果树(郭文武等, 2019)。到 2019 年,柑橘成为我国园林水果中种植面积和产量最高的果树(奎国秀和祁春节, 2021)。柑橘全爪螨 *Panonychus citri* (McGregor) 又称柑橘红蜘蛛,是为害柑橘的世界性害螨,为害柑橘叶片、嫩梢及果实表皮,发生严重时,影响柑橘树的树势及柑橘的产量和品质。

由于杀螨剂的不合理使用,加上柑橘全爪螨体型小、繁殖速度快,致使该螨极易产生抗药性,加上化学防治会大大削弱害虫的自然控制能力(朱文炳等, 1988),导致柑橘全爪螨上升为柑橘的主要害虫(陈慧萍等, 2021; Qayyoun *et al.*, 2021; 唐涛等, 2021)。目前,化学防治仍是害虫防治的主要手段,但为了将柑橘全爪螨的数量控制在 3-5 头/叶的经济损害水平之下,在虫害严重的高峰期,甚至达到每周喷洒农药,加速了柑橘全爪螨对药剂的抗性(陈慧萍等, 2021)。同时,杀虫剂对环境 and 人类健康产生很大的负面影响,因此,研究柑橘全爪螨非化学防治措施显的尤为重要(陈慧萍等, 2021)。协调化学和生物控制措施,制定柑橘全爪螨的综合防治体系,对害虫进行生态调控是柑橘全爪螨防控的重要手段,明确生态系统中害虫和天敌的种群动态变化是生态调控策略的理论基础(陆宴辉等, 2017;

陈慧萍等, 2021)。

利用捕食螨控制柑橘红蜘蛛是重要的生物防治措施之一(赵文娟等, 2021)。正确释放捕食螨可以有效的控制柑橘红蜘蛛的发生和危害(张艳璇等, 2003; 舒畅等, 2007),但仍需要化学防治作为配套措施,以控制柑橘其它病虫害(方小端等, 2013)。由于人为干扰活动多,许多农业生态系统对自然天敌来说是不利的。生境管理是生物防治措施的重要组成部分,通过生境管理,增加农业生态中天敌的种类及数量,从而提高生物防治的效果(Landis *et al.*, 2000)。已有研究表明,通过生态调控技术,增加了柑橘园中的自然捕食螨种群数量,并且可以有效的控制柑橘红蜘蛛为害(Liang and Huang, 1994; Nyrop *et al.*, 1998; Aguilar-Fenollosa *et al.*, 2011; Zhao *et al.*, 2014)。寄主植物从化学生态(董文霞等, 2010)、植物形态结构和植物营养方面都对捕食螨有显著的影响,寄主植物与捕食螨之间关系的研究,将为捕食螨更好的发挥生物防治作用提供理论依据和方向(张贝等, 2013)。宋子伟等(2019)的研究已经明确了香橼柠檬园中的植绥螨种类及其种群变化规律,但在相同或者相近的栽培模式下,不同柑橘品种上植绥螨种群的构成及其变化规律尚未见有报道。

虽然柑橘园优势捕食螨类群已有研究(陈守

坚等, 1982; 夏育陆, 1989; 郅军锐等, 1994; 田明义等, 1995), 但捕食螨种类与柑橘品种之间的关系研究尚未见有报道。为了明确不同柑橘种类柑橘园中捕食螨的类群结构和多样性, 明确不同柑橘品种上捕食螨及柑橘全爪螨的种群动态变化规律, 阐明自然捕食螨种群对柑橘全爪螨的防控能力, 本文针对香橼柠檬、红美人和沙糖橘 3 种柑橘上的捕食螨的类群结构与多样性、捕食螨与柑橘全爪螨的种群动态进行了调查研究, 为指导在不同品种柑橘上保护和迁移利用捕食螨防控柑橘全爪螨提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 调查地点

香橼柠檬园地处广州市白云区钟落潭镇沙田村(东经 113°29'37"E; 北纬 23°19'17"N), 海拔 80 m, 果园面积为 5 000 m², 香橼柠檬树龄 5-6 年, 调查时间为 2019 年 4 月至 12 月, 在此期间, 果园未施用任何化学农药, 采用人工和盖地布的方式除草。

红美人和沙糖橘园位于惠州市博罗县园洲镇(东经 114°3'33"E; 北纬 23°6'34"N), 海拔 10 m, 红美人果园面积 1 000 m², 红美人树龄 3-4 年, 作为苗场, 未投入生产, 生态环境接近自然生境; 沙糖橘果园面积 6 000 m², 树龄 6-7 年, 已经投产, 果园采用对捕食螨保护利用的策略, 调查时间为 2020 年 4 月至 12 月, 在此期间, 未施用杀螨剂, 使用常规杀菌剂和杀虫剂对其它病虫害进行防控。

1.2 调查方法

每个月固定调查 2 次, 每次均采用 5 点取样方法, 定点选取 5 棵树势较好的果树, 绕树冠外围选取 5 个方位(调查点), 每个方位选取上、中和下 3 个部位, 采用振落法(方小端等, 2016), 每个部位拍打 2-3 下, 每个方位的采样收集在同一个盘子中, 记录每个方位的捕食螨数量和害螨数量, 用于统计分析捕食螨和害螨的发生动态。将承接盘中观察到的捕食螨利用 0 号毛笔挑入

装有 75%酒精的 5 mL 塑料离心管中, 用于捕食螨种类的鉴定及种群数量分布分析。所有标本带回实验室进行镜检、玻片制作、种类鉴定和数量记录。

1.3 数据统计与分析

1.3.1 结果统计方法 捕食螨和柑橘全爪螨的数量以田间振落法记录的数据进行统计分析, 每个方位上的螨类数量作为一个原始数据。数据采用 SPSS (IBM, SPSS Statistics 20.0) 进行分析。如果 K-S 检验数据是正态分布, 则使用单因素方差分析 (ANOVA)。用 Levene 检验数据的方差齐性, 方差齐, 使用 Tukey 分析, 若方差不齐, 则使用 Tamhane 测试。若 K-S 检验数据不属于正态分布, 则使用非参数 K-W 检验, 平均值的比较采用 Mann-Whitney U 检验。所有检验的显著性水平平均设为 $P=0.05$ 。

1.3.2 捕食螨种类鉴定 植绥螨科种类的鉴定参照《中国动物志: 无脊椎动物(第 47 卷)》(吴伟南等, 2009; Xu *et al.*, 2013), 植绥螨种类学名参照 Demite 等(2019)建立的在线植绥螨数据库中的种类名称, 植绥螨中文名称参照《植绥螨系统学及其对有害生物的治理》(吴伟南和方小端, 2021)。

1.3.3 捕食螨种群数量特征分析 捕食螨的种群数量特征采用 Berger-Parker 的优势度指数 (D) 分析。 $D = N_{\max}/N$, 式中: $N_{\max}$ 为优势种的最大种群数量; N 为全部物种的总个体数(张孝羲, 2002)。

2 结果与分析

2.1 3 种柑橘品种上捕食螨类群分布数量

室内种类鉴定结果表明, 香橼柠檬上植绥螨的种类主要有 3 种, 分别是纽氏肩绥螨 *Scapulaseius newsami* (Evans)、钝毛钝绥螨 *Amblyseius obtuserellus* Wainstein & Begljarov 和冲绳肩绥螨 *Scapulaseius okinawanus* (Ehara) (表 1)。其中, 纽氏肩绥螨为优势种, 其优势度指数为 0.84; 钝毛钝绥螨数量次之, 冲绳亦盲走螨最少, 但 2 种

表 1 3 种柑橘品种上植绥螨类群分布数量
Table 1 The phytoseiid mites collected on 3 different citrus varieties

植绥螨种类 Species of phytoseiid mites	个体数量 (N) Individual number			优势度指数 (D) Dominance index		
	香橼柠檬 Citron-lemon	红美人 Ehime Kashi No. 28	沙糖橘 Shatangju	香橼柠檬 Citron-lemon	红美人 Ehime Kashi No. 28	沙糖橘 Shatangju
植绥螨科 Phytoseiidae	572	622	524			
钝毛钝绥螨 <i>Amblyseius obtuserellus</i> Wainstein & Begljarov	55	113	41	0.10	0.18	0.08
尼氏真绥螨 <i>Euseius nicholsi</i> (Ehara et Lee)	—	453	—	—	0.73	—
加州新小绥螨 <i>Neoseiulus californicus</i> (McGregor)	—	17	483	—	0.03	0.92
长刺新小绥螨 <i>Neoseiulus longispinosus</i> (Evans)	—	23	—	—	0.04	—
纽氏肩绥螨 <i>Scapulaseius newsami</i> (Evans)	483	—	—	0.84	—	—
冲绳肩绥螨 <i>Scapulaseius okinawanus</i> (Ehara)	34	16	—	0.06	0.03	—

—表示此项无数据。— means no data in this item.

捕食螨数量相差不多。红美人果园中植绥螨的种类主要有 5 种, 分别是尼氏真绥螨 *Euseius nicholsi* (Ehara et Lee)、钝毛钝绥螨、长刺新小绥螨 *Neoseiulus longispinosus* (Evans)、加州新小绥螨 *Neoseiulus californicus* (McGregor) 和冲绳肩绥螨。其中, 尼氏真绥螨为优势种, 其优势度指数为 0.73; 其次为钝毛钝绥螨, 优势度指数为 0.18; 长刺新小绥螨、加州新小绥螨和冲绳肩绥螨数量相当, 优势度指数小于 0.05。沙糖橘果园中植绥螨的种类只有 2 种, 分别是加州新小绥螨和钝毛钝绥螨。其中, 加州新小绥螨为最优势种, 优势度指数达到 0.92; 钝毛钝绥螨优势度指数只有 0.08。

2.2 3 种柑橘园中捕食螨和柑橘全爪螨发生动态

2.2.1 香橼柠檬园中捕食螨和柑橘全爪螨种群发生动态

2019 年通过 16 次的田间调查, 结果表明 (图 1), 捕食螨 ($\chi^2=208.210$, $df=15$, $P<0.001$) 随季节的变化, 田间种群数量变化呈现显著的双峰趋势, 高峰时间分别出现在 5 月 13 日和 10 月 24 日, 平均每个调查点上捕食螨的数量分别为 (7.3 ± 0.7) 头和 (7.1 ± 0.8) 头。从 5 月 13 日至 10 月 24 日间, 捕食螨的数量呈现先

显著下降后逐渐增加的趋势。6 月 11 日, 捕食螨数量为全年最低水平, 平均每个调查点上捕食螨的数量为 (0.2 ± 0.1) 头。7 月 11 至 10 月 24 日, 捕食螨数量呈现逐渐增加趋势, 10 月 24 日达到高峰, 之后开始显著下降, 12 月 26 日, 平均每个调查点捕食螨数量为 (1.0 ± 0.2) 头。

柑橘全爪螨 ($\chi^2=110.451$, $df=15$, $P<0.001$) 在 10 月 24 日之前平均每个调查点的数量变化不显著。11 月 12 日开始, 柑橘全爪螨的数量显著增加, 12 月 11 日达到高峰, 平均每个调查点的柑橘全爪螨数量为 (2.4 ± 0.6) 头。

2.2.2 红美人柑橘上捕食螨和柑橘全爪螨种群发生动态

通过 17 次的田间调查, 结果表明 (图 2), 捕食螨 ($\chi^2=273.941$, $df=16$, $P<0.001$) 随季节的变化, 田间种群数量变化呈现 3 个高峰, 出现时间分别是 5 月 9 日、7 月 26 日和 11 月 26 日, 平均每个调查点上的捕食螨数量分别为 (23.4 ± 2.4) 、 (12.6 ± 2.4) 和 (8.3 ± 0.9) 头。捕食螨数量在田间出现有 3 个低谷, 分别在 6 月 24 日至 7 月 11 日间、10 月 11 日和 12 月 14 日, 平均每个调查点上的捕食螨数量分别为仅为 (0.2 ± 0.1) 、 (1.2 ± 0.3) 和 (2.2 ± 0.3) 头。

红美人上的柑橘全爪螨 ($\chi^2=57.769$, $df=6$,

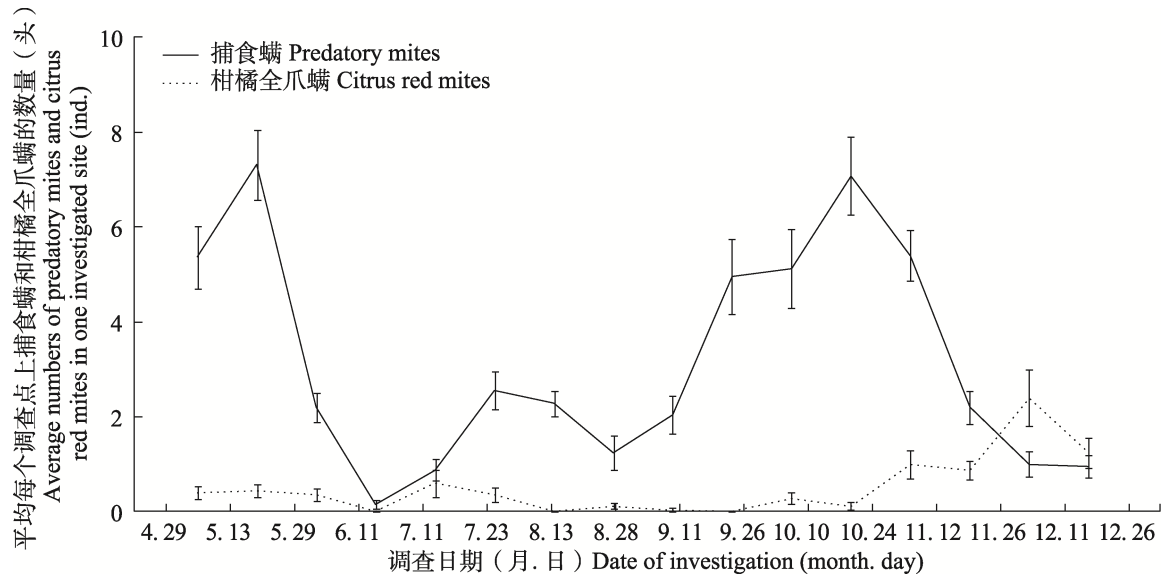


图 1 2019 年香橡柠檬上捕食螨和柑橘全爪螨发生动态

Fig. 1 The population dynamics of predatory mites and citrus red mites on citron-lemon in 2019

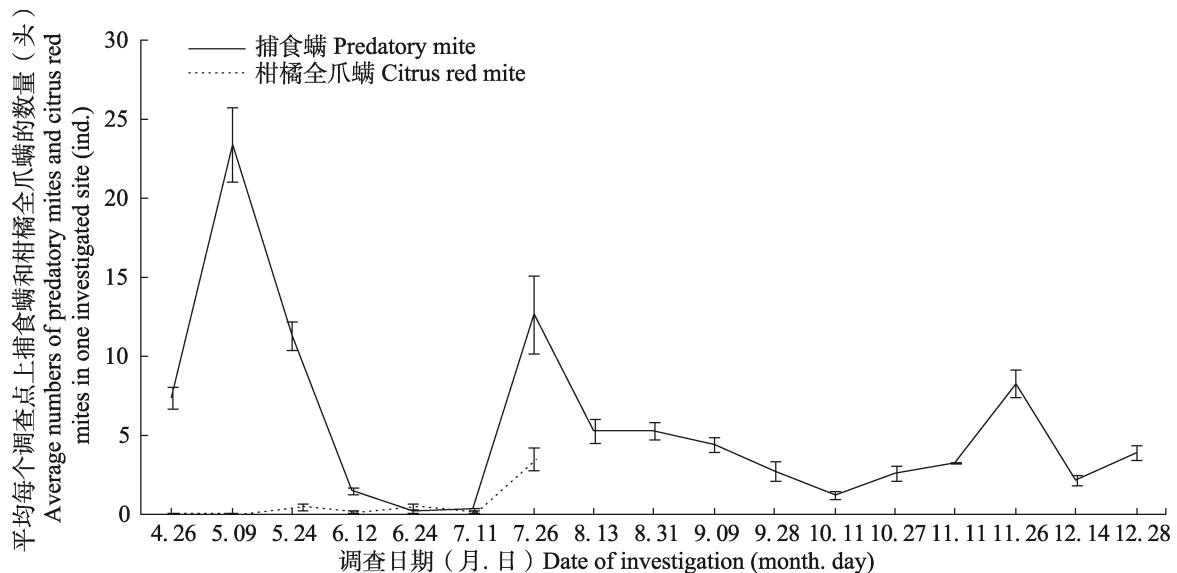


图 2 2020 年红美人柑橘上捕食螨和柑橘全爪螨发生动态

Fig. 2 The population dynamics of predatory mites and citrus red mites on Ehime Kashi No. 28 in 2020

$P < 0.001$) 数量在 7 月 11 日之前都维持在较低水平, 平均每个调查点上柑橘全爪螨数量不足 1 头。7 月 26 日, 柑橘全爪螨数量显著增加, 每个调查点上柑橘全爪螨数量为 (3.5 ± 0.7) 头。之后的调查中, 受杂草龙葵上叶螨的影响, 柑橘全爪螨的数据未做单独统计, 在本文中不纳入统计范围。

2.2.3 沙糖橘上捕食螨和柑橘全爪螨种群发生动态 通过 17 次的田间调查, 结果表明 (图 3), 捕食螨 ($\chi^2 = 252.421$, $df = 16$, $P < 0.001$) 随时间的变化, 田间种群数量有 3 个高峰, 出现时间

分别是 5 月 24 日、7 月 26 日和 9 月 28 日, 平均每个调查点上的捕食螨数量分别为 (9.4 ± 1.6) 、 (4.7 ± 0.6) 和 (6.3 ± 0.6) 头。10 月中旬, 由于田间柑橘白粉虱发生严重, 此后田间化学杀虫剂用药频次增加, 导致 10 月 27 日至 12 月 28 日期间, 捕食螨的数量显著减少, 平均每个调查点的捕食螨数量为 0。

柑橘全爪螨 ($\chi^2 = 242.486$, $df = 16$, $P < 0.001$) 的数量在 10 月 11 日之前有两个小高峰, 出现时间分别是 5 月 24 日和 7 月 26 日, 平均每

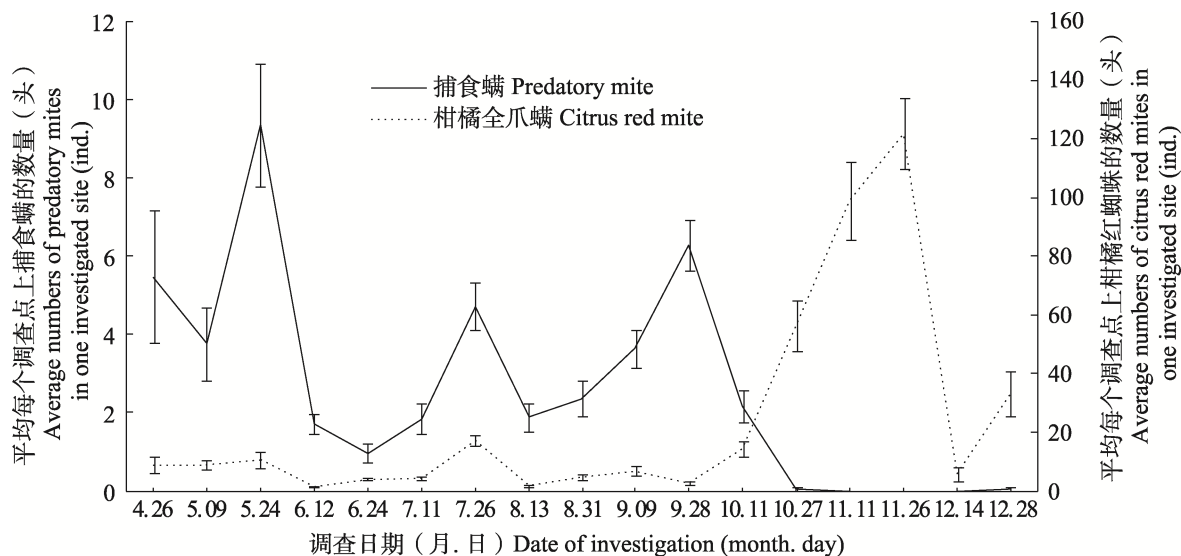


图3 2020年沙糖橘上捕食螨和柑橘全爪螨发生动态

Fig. 3 The population dynamics of predatory mites and citrus red mites on Shatangju in 2020

个调查点上的柑橘全爪螨数量分别为 (10.6 ± 2.9) 头和 (17.1 ± 1.8) 头。从10月11日开始, 柑橘全爪螨的数量开始急剧增加, 到11月26日, 平均每个调查点上柑橘全爪螨的数量达到 (121.8 ± 12.1) 头。

2.3 3种柑橘园中不同种类捕食螨的种群发生动态

2019年, 香橼柠檬园中纽氏肩绥螨有3个高峰日, 出现时间分别在4月29日(54头)至

5月13日(82头)、7月23日(31头)和10月10-24日(51头); 冲绳肩绥螨和钝毛钝绥螨的种群数量随时间变化不明显, 种群数量都在10头/次以下(图4)。

2020年, 红美人园中捕食螨优势种尼氏真绥螨的高峰期在4月26日至5月24日这段时间, 最高峰在5月9日, 最大量尼氏真绥螨的数量为151头。6月12日以后, 尼氏真绥螨急剧减少, 7月11日至10月11日, 调查的尼氏真绥螨数量为0或接近0。钝毛钝绥螨数量相对较为稳定,

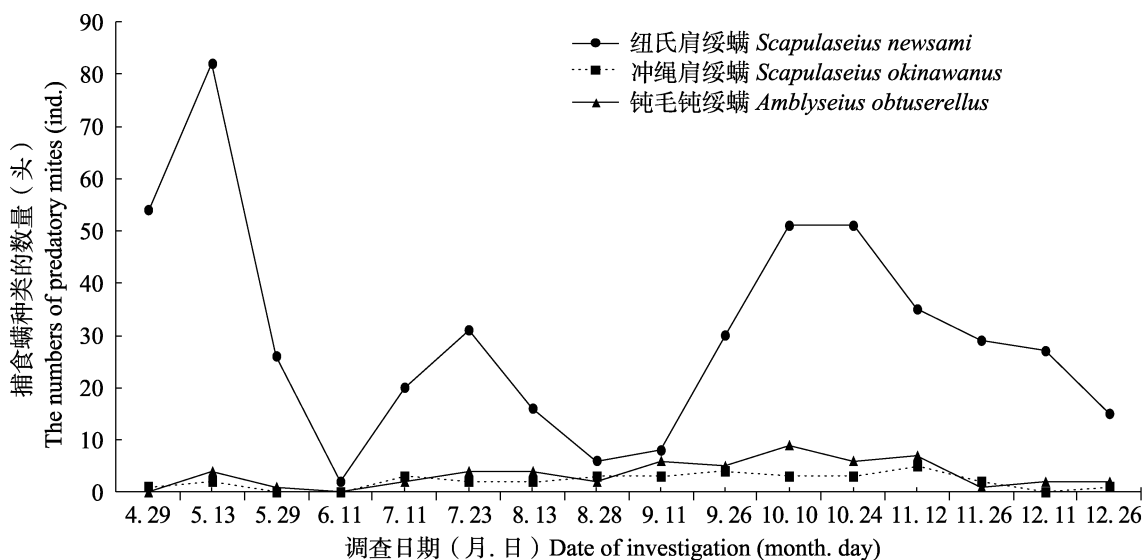


图4 2019年香橼柠檬上不同种类捕食螨的发生动态

Fig. 4 The population dynamics of different predatory mites on citron-lemon in 2019

8 月 31 日时数量最多, 与长刺新小绥螨均为 20 头。在调查的时间范围内, 没有冲绳肩绥螨、加州新小绥螨和长刺新小绥螨三种捕食螨同时存在的现象 (图 5)。

2020 年, 沙糖橘园中加州新小绥螨有 3 个

高峰日, 分别是在 4 月 26 日、5 月 24 日和 7 月 26 日, 种群数量分别为 97、114 和 51 头; 9 月 28 日, 加州新小绥螨数量显著下降, 仅有 12 头, 但此时的钝毛钝绥螨数量为全年最高, 为 24 头 (图 6)。

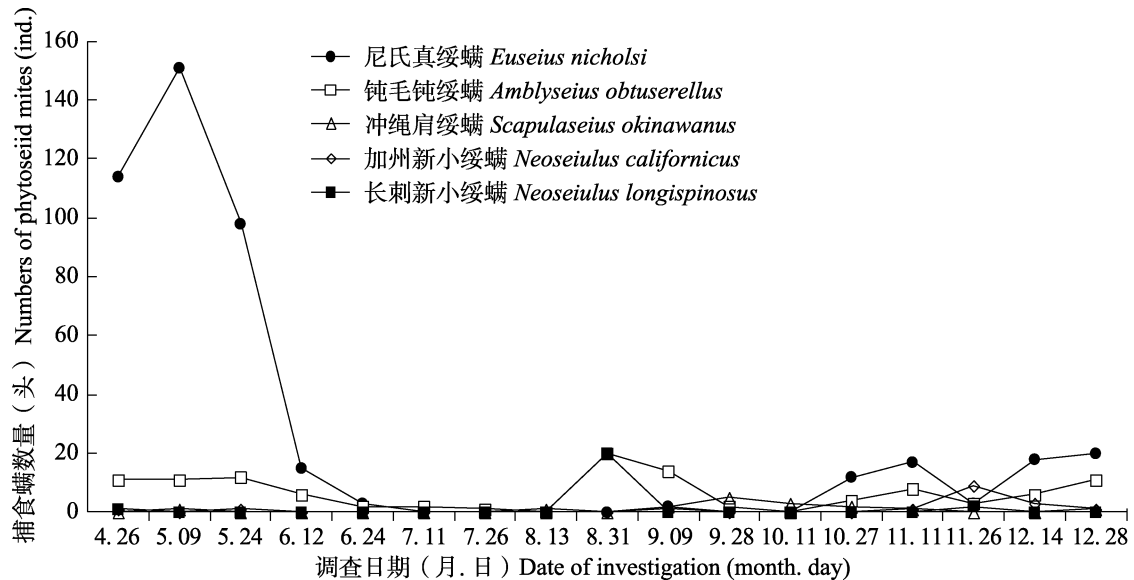


图 5 2020 年红美人柑橘上不同种类捕食螨的发生动态

Fig. 5 The population dynamics of different predatory mites with time on Ehime Kashi No. 28 in 2020

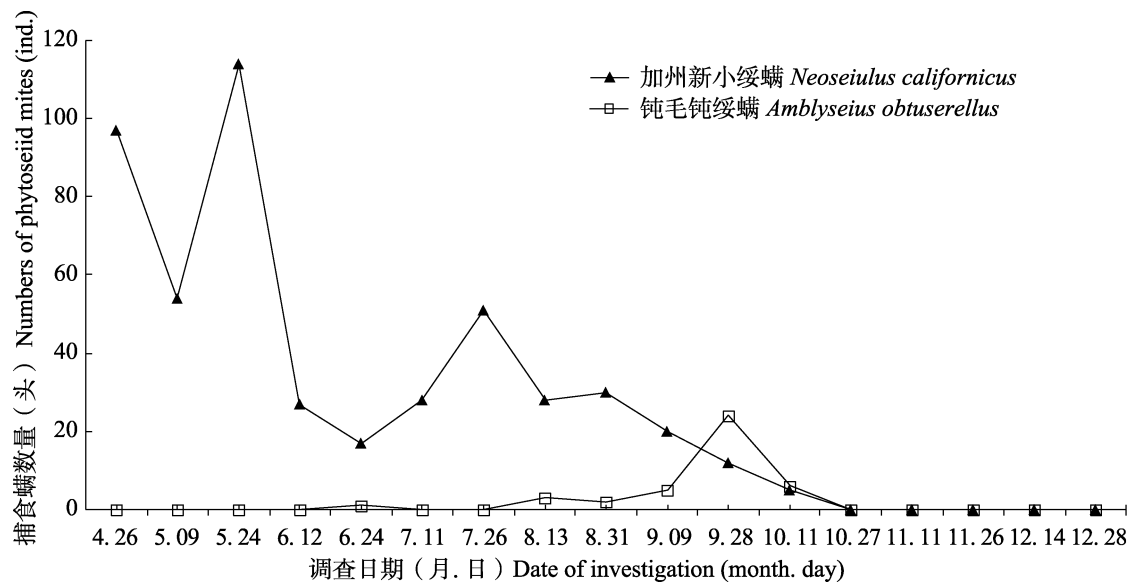


图 6 2020 年沙糖橘上不同种类捕食螨的发生动态

Fig. 6 The population dynamics of different predatory mites with Shatangju in 2020

3 讨论

柑橘全爪螨的自然种群动态与柑橘品种、环

境和天敌等因素有关 (周建中和罗志义, 1992; 雷慧德等, 2004; 甘宗义等, 2011)。甜橙类相较宽皮桔类, 前者对柑橘全爪螨的易感程度更

高(雷慧德等, 2004), 本研究中沙糖橘和红美人相较柠檬更易感螨。高温和阴雨不利于柑橘全爪螨的种群发展(甘宗义等, 2011), 本研究中, 柑橘全爪螨的最高峰期出现在 11 月至 12 月间, 此时广东的气候凉爽干燥, 适宜柑橘全爪螨的发生。自然状态下, 柑橘园中优势捕食螨如纽氏肩绥螨和尼氏真绥螨对柑橘全爪螨的控制作用明显(陈守坚等, 1982; 夏育陆, 1989; 鄧军锐等, 1994; 田明义等, 1995)。本研究结果表明, 在香橼柠檬园中, 自然条件下的捕食螨可以有效的控制柑橘全爪螨控制在经济损害水平之下, 该结果与宋子伟等(2019) 2018 年在同一个地方的香橼柠檬园中调查的结果也吻合。在沙糖橘园中, 未施用化学杀螨剂之前, 田间捕食螨对柑橘全爪螨也具有显著控制作用。加州新小绥螨作为柑橘园中的优势种, 对柑橘上另外一种害螨——东方针叶螨 *Eutetranychus orientalis* (Klein) 也有显著的自然控制作用(Akchour *et al.*, 2021)。橘园环境如植被对柑橘全爪螨的发生也有显著影响(Liang and Huang, 1994), 本研究中的 3 个橘园都进行了自然留草, 对于橘园物种多样性提高和捕食螨种群稳定都有积极作用, 3 个橘园柑橘全爪螨的发生受到较强的压制, 处于较低发生水平。

本研究结果表明, 柑橘品种与其对应果园中捕食螨类群的分布可能具有一定的相关性。红美人果园中, 植绥螨种类有 5 个种; 香橼柠檬园中植绥螨有 3 个种; 沙糖橘园中植绥螨只有 2 个种, 且 3 个果园中的优势捕食螨种类有显著的不同。香橼柠檬为枸橼类柑橘, 红美人和沙糖橘属于宽皮橘类柑橘。不同柑橘品种的挥发物在组成和数量上存在共性和显著的差异性(李可, 2020), 不同柑橘品种叶片和花中的主要挥发性物质也有较大差异, 宽皮橘中总挥发性物质的种类和含量要显著高于枸橼中总挥发物质的种类和含量(Zhang *et al.*, 2020)。寄主挥发物在捕食螨寻找猎物过程中起着关键的作用(de Boer and Dicke, 2004; 董文霞等, 2010; 胡军华等, 2016), 受柑橘全爪螨为害后的柑橘叶片对加州新小绥螨具有非常强的吸引作用, 机械损伤的柑橘叶片

对加州新小绥螨也有一定的吸引作用(吴佳蔚, 2018)。本研究中, 3 种不同柑橘品种上的优势捕食螨种类有显著差异, 但也有重合种类, 如钝毛钝绥螨。不同柑橘品种的挥发物和优势捕食螨之间的关系有待进一步进行研究。

不同柑橘品种生理特点可能是影响捕食螨种类及其种群变化差异的另外一个因素。柠檬作为四季开花的柑橘品种, 柠檬园中捕食螨的种群变化除优势捕食螨纽氏肩绥螨外, 冲绳肩绥螨和钝毛钝绥螨的种群变化稳定。红美人和沙糖橘均集中在 3 月至 4 月中开花, 这两个果园中捕食螨的最高峰均在花期之后, 并且此时为捕食螨的全年最高峰。本研究中香橼柠檬、红美人和沙糖橘园中的优势捕食螨种类分别为纽氏肩绥螨、尼氏真绥螨和加州新小绥螨, 这些捕食螨均属于叶螨的选择性捕食螨, 主要猎物是叶螨, 但也可以在花粉等其它替代饲料下进行繁育(吴伟南和方小端, 2021), 但柑橘花粉对于这些捕食螨的种群增长的作用有待进一步进行研究。

相同环境下, 猎物的密度对不同种类捕食螨的种群变化也有一定影响。同样的生态环境下, 尼氏真绥螨控制猎物的高密度种群的能力较强, 纽氏肩绥螨在猎物密度不高时易发挥作用, 两种螨相比, 纽氏肩绥螨的种群数量更稳定(夏育陆, 1989)。本研究中, 红美人园中的尼氏真绥螨全年只有一个高峰期, 相比之下, 香橼柠檬园中的纽氏肩绥螨种群变化更为稳定。

加州新小绥螨最初来源于美国加利福尼亚州, 采自柠檬上(Xu *et al.*, 2013)。目前, 加州新小绥螨作为最有商业利用价值的 4 种捕食螨之一, 其寄主多并且分部范围广(Song *et al.*, 2019), 加州新小绥螨对柑橘全爪螨的防控能力也越来越受到关注(Katayama *et al.*, 2006; Ohnishi *et al.*, 2006; Xiao and Fadamiro, 2010; 覃贵勇等, 2013; 吴佳蔚, 2018)。本研究中, 加州新小绥螨分别在红美人和沙糖橘果园中发现, 但只有在采用了化学防治措施(未施用杀螨剂, 只选择性的使用了拟除虫菊酯类和新烟碱型杀虫剂)的沙糖橘果园中成为了优势种, 已有研究表明, 拟除虫菊酯类、IGR 类、部分新烟碱类

杀虫剂和大部分杀菌剂对加州新小绥螨的校正死亡率低于 30%，属于安全药剂（Katayama *et al.*, 2012）。有关加州新小绥螨与化学农药之间的关系有待进一步进行研究，实际生产中需要筛选对田间优势捕食螨安全的杀虫剂配合使用。

4 结论

柑橘园捕食螨的种群结构与柑橘品种可能具有一定的相关性，柑橘花粉对于稳定田间捕食螨种群可能具有一定作用。不同化学防治措施下，优势捕食螨种群的变化可能是由于不同种类捕食螨对化学农药的耐受性不同引起的。在自然条件下，柑橘园中的捕食螨对柑橘全爪螨的控制作用明显。

参考文献 (References)

- Akchour A, Zahidi A, Auger P, Kreiter S, Mousadik AE, 2021. Seasonal trend of *Eutetranychus orientalis* in Moroccan citrus orchards and its potential control by *Neoseiulus californicus* and *Stethorus punctillum*. *Systematic & Applied Acarology*, 26(8): 1458–1480.
- Aguilar-Fenollosa E, Ibáñez-Gual MV, Pascual-Ruiz S, Hurtado M, Jacas JA, 2011. Effect of ground-cover management on spider mites and their Phytoseiid natural enemies in clementine mandarin orchards (II): Top-down regulation mechanisms. *Biological Control*, 59: 171–179.
- Chen HP, Cong L, Li FM, Cao LD, Huang QL, 2021. Research progress on prevention and control of *Panonychus citri* (McGregor). *Pesticide Science and Administration*, 42(5): 24–34. [陈慧萍, 丛林, 李凤敏, 曹立冬, 黄啟良, 2021. 柑橘全爪螨防控研究进展. *农药科学与管理*, 42(5): 24–34.]
- Chen SJ, Zhou FW, Zhuang SG, Liao LY, 1982. Bionomics and utilization of *Amblyseius deleoni* Muma et Demark (Acarina, Phytoseiidae). *Acta Entomologica Sinica*, 25(1): 49–55. [陈守坚, 周芬薇, 庄胜概, 廖丽雅, 1982. 德氏钝绥螨的生物学和利用. *昆虫学报*, 25(1): 49–55.]
- de Boer JG, Dicke M, 2004. Experience with methyl salicylate affects behavioural responses of a predatory mite to blends of herbivore-induced plant volatiles. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 110: 181–189.
- Demite PR, de Moraes GJ, McMurtry JA, Denmark HA, Castilho RC, 2019. Phytoseiidae Database. Available from: www.lea.esalq.usp.br/phytoseiidae.
- Dong WX, Wang GC, Sun XL, Chen ZM, 2010. Research progress on the chemical ecology of predatory mites. *Acta Ecologica Sinica*, 30(15): 4206–4212. [董文霞, 王国昌, 孙晓玲, 陈宗懋, 2010. 捕食螨化学生态研究进展. *生态学报*, 30(15): 4206–4212.]
- Fang XD, Ouyang GC, Lu HL, Guo MF, Meng X, Liu H, 2013. The effects of different control measures on *Panonychus citri* and arthropod enemies in citrus orchards. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(2): 413–420. [方小端, 欧阳革成, 卢慧林, 郭明昉, 孟翔, 刘慧, 2013. 不同防治措施对柑橘全爪螨及橘园天敌类群的影响. *应用昆虫学报*, 50(2): 413–420.]
- Fang XD, Ouyang GC, Lu HL, Guo MF, Wu WN, 2014. Studies on structure and diversity of phytoseiid groups in citrus orchards with different control treatments. *Journal of Environmental Entomology*, 36(2): 133–138. [方小端, 欧阳革成, 卢慧林, 郭明昉, 吴伟南, 2014. 不同防治措施柑橘园植绥螨的类群结构与多样性研究. *环境昆虫学报*, 36(2): 133–138.]
- Fang XD, Ouyang GC, Lu HL, Song ZW, Wu WN, 2016. A new method for surveying mini arthropods such as *Panonychus citri*, predatory mites etc. *China Plant Protection*, 36(7): 47–50. [方小端, 欧阳革成, 卢慧林, 宋子伟, 吴伟南, 2016. 一种调查柑橘全爪螨、捕食螨等微小节肢动物的新方法. *中国植保导刊*, 36(7): 47–50.]
- Gan ZY, Zhu HY, Tan RR, Liu XQ, Wang ST, 2011. Study on the population dynamics and environmental factors of citrus red mite (*Panonychus citri*). *Hubei Agricultural Sciences*, 50(24): 5122–5125. [甘宗义, 朱红艳, 谭蓉蓉, 刘先琴, 王盛桃, 2011. 橘全爪螨种群动态与环境因素的研究. *湖北农业科学*, 50(24): 5122–5125.]
- Guo WW, Ye JL, Deng XX, 2019. Fruit scientific research in New China in the past 70 years: *Citrus*. *Journal of Fruit Science*, 36(10): 1264–1272. [郭文武, 叶俊丽, 邓秀新, 2019. 新中国果树科学研究 70 年——柑橘. *果树学报*, 36(10): 1264–1272.]
- Hu JH, Wang XL, Zhang YH, Yao TS, Liu HQ, Li HJ, Ran C, 2016. Behavioral response of *Neoseiulus barkeri* to carrizo citrange leaves damaged by *Panonychus citri* and sucking insects. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(1): 30–39. [胡军华, 王雪莲, 张耀海, 姚廷山, 刘浩强, 李鸿筠, 冉春, 2016. 巴氏新小绥螨对柑桔全爪螨处理的枳橙叶片挥发物的行为反应. *应用昆虫学报*, 53(1): 30–39.]
- Katayama H, Masui S, Tsuchiya M, Tatara A, Doi M, Kaneko S, Saito T, 2006. Density suppression of the citrus red mite *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae) due to the occurrence of *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) on Satsuma mandarin. *Applied Entomology and Zoology*, 41(4):

- 679–684.
- Katayama H, Tatar A, Doi M, Kaneko S, Saito T, 2012. Pesticide susceptibility of a population of *Neoseiulus californicus* (McGregor) at citrus grove in Shizuoka prefecture. *Annual Report of the Kansai Plant Protection*, 54: 187–189.
- Kui GX, Qi CJ, 2021. Changes, opportunities and challenges of citrus production and trade in China. *China Fruits*, 2021(6): 93–97. [奎国秀, 祁春节, 2021. 我国柑橘产业生产贸易的变化及机遇与挑战. 中国果树, 2021(6): 93–97.]
- Landis DA, Wratten SD, Gurr GM, 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology*, 45: 175–201.
- Lei HD, Hu JH, Li HJ, Ran C, Zhang QB, Lin BM, Tian WH, Qian KM, 2004. Performances of the citrus red mite, *Panonychus citri* (McGregor) (Acarina: Tetranychidae) on various citrus varieties. *Acta Entomologica Sinica*, 47(5): 607–611. [雷慧德, 胡军华, 李鸿筠, 冉春, 张权炳, 林邦茂, 田文华, 钱克明, 2004. 不同柑桔品种上桔全爪螨的生长和种群动态差异. 昆虫学报, 47(5): 607–611.]
- Li K, 2020. Identification of host plant volatiles and pheromones and their electroantennogram responses of *Bactrocera minax*. Master dissertation. Yangling: Northwest Agriculture & Forestry University. [李可, 2020. 柑橘大实蝇寄主植物挥发物和信息素的鉴定及其对触角电位反应研究. 硕士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学.]
- Liang WG, Huang MD, 1994. Influence of citrus orchard ground cover plants on arthropod communities in China: A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 50: 29–37.
- Lu YH, Zhao ZH, Cai XM, Cui L, Zhang HN, Xiao HJ, Li ZY, Zhang LS, Zeng J, 2017. Progress on integrated pest management (IPM) of agricultural insect pests in China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(3): 349–363. [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.]
- Nyrop J, English-Loeb G, Roda A, 1998. Conservation biological control of spider mites in perennial cropping systems//Barbosa P(ed.). *Conservation Biological Control*. San Diego: Academic Press. 307–333.
- Ohnishi R, Kanazaki S, Aono M, Sakimoto T, Ohmasa Y, 2006. Studies on the usage of a natural enemy in the control of citrus red mite, *Panonychus citri* (McGregor), 2: Effect of control in the satsuma mandarin [*Citrus unshiu*] orchard on *Neoseiulus californicus* (McGregor). *Bulletin of Ehime Fruit Tree Experiment Station*, 20: 19–32.
- Qayyoom MA, Song ZW, Zhang BX, Li DS, 2021. Dispersal mechanism assessment for *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae) secondary outbreaks. *Annals of the Entomological Society of America*, 114(4): 501–510.
- Qin GY, Li Q, Yang QF, Wang HJ, Jiang CX, 2013. Potential of predacious mite *Neoseiulus californicus* in controlling citrus red mite *Panonychus citri*. *Acta Phytophylacica Sinica*, 40(2): 149–154. [覃贵勇, 李庆, 杨群芳, 王海建, 蒋春先, 2013. 加州新小绥螨对柑橘全爪螨的控制潜力. 植物保护学报, 40(2): 149–154.]
- Shu C, Zhong L, Li AH, Ouyang CH, Huang WM, Yao YG, Tang YZ, Zhong XF, Zhong LX, Cai DZ, Chen FY, Zhong AP, 2007. Preliminary study on releasing *Amblyseius barkeri* for controlling *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae). *China Plant Protection*, 27(9): 23–24. [舒畅, 钟玲, 李爱华, 欧阳才辉, 黄卫民, 姚易根, 唐玉珍, 钟喜发, 钟露霞, 蔡德珍, 陈凤英, 钟爱平, 2007. 释放巴氏钝绥螨控制柑橘全爪螨试验示范效果初报. 中国植保导刊, 27(9): 23–24.]
- Song ZW, Fang XD, Zhang BX, Li DS, 2019. Pilot study of the population dynamics of predatory mites and pest leaf mites in citron-lemon orchards. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(4): 766–771. [宋子伟, 方小端, 张宝鑫, 李敦松, 2019. 香柠檬捕食螨和叶螨发生动态初报. 应用昆虫学报, 56(4): 766–771.]
- Tang T, Zhao MP, Huang SK, Wang P, Fu W, 2021. Evaluation of control efficacy of cyetpyrafen mixed with spiroticlofen against citrus red mite, *Panonychus citri* McGregor under field conditions. *Plant Protection*, 47(4): 282–287, 297. [唐涛, 赵明平, 黄生空, 王培, 符伟, 2021. 乙唑螨腈与螺螨酯混用对柑橘全爪螨的田间防治效果评价. 植物保护, 47(4): 282–287, 297.]
- Tian MY, Peng SK, Du YR, Zou ZG, 1995. Conservation of natural enemies to control citrus red mite. *Chinese Journal of Biological Control*, 11(2): 49–51. [田明义, 彭世宽, 杜远荣, 邹芝国, 1995. 助迁、保护捕食性天敌控制桔全爪螨. 中国生物防治, 11(2): 49–51.]
- Wu JW, 2018. Preliminary study on the tritrophic interactions among *Citrus*, *Neoseiulus californicus* and *Panonychus citri*. Master dissertation. Wenjiang: Sichuan Agricultural University. [吴佳蔚, 2018. 柑橘-柑橘全爪螨-加州新小绥螨相互作用关系初步研究. 硕士学位论文. 温江: 四川农业大学.]
- Wu WN, Ou JF, Huang JL, 2009. *Fauna Sinica, Invertebrata Vol. 47 Arachnida, Acari, Phytoseiidae*. Beijing: Science Press. 511. [吴伟南, 欧剑锋, 黄静玲, 2009. 中国动物志, 无脊椎动物, 蛛形纲, 蜱螨亚纲, 植绥螨科. 北京: 科学出版社. 511.]
- Wu WN, Fang XD, 2021. *Phytoseiidae Systematics and Management*

- of Pests. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press. 411. [吴伟南, 方小端, 2021. 植绥螨系统学及其对有害生物的治理. 广州: 广东科技出版社. 411.]
- Xia YL, 1989. Comparative studies on ecology of two species of predacious phytoseiid mites and their prey-citrus red mite. *Acta Ecologica Sinica*, 9(2): 174–181. [夏育陆, 1989. 纽氏钝绥螨、尼氏钝绥螨及其猎物—桔全爪螨生态学特性的比较研究. 生态学报, 9(2): 174–181.]
- Xiao YF, Fadamiro HY, 2010. Functional responses and prey-stage preferences of three species of predacious mites (Acari: Phytoseiidae) on citrus red mite, *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae). *Biological Control*, 53: 345–352.
- Xu XN, Wang BM, Wang ED, Zhang ZQ, 2013. Comments on the identity of *Neoseiulus californicus* sensu lato (Acari: Phytoseiidae) with a redescription of this species from southern China. *Systematic & Applied Acarology*, 18(4): 329–344.
- Zhang B, Zheng WW, Zhang HY, 2013. Influences of field plants on predatory mites I: Influences of prey host plants. *Journal of Environmental Entomology*, 35(4): 507–513. [张贝, 郑薇薇, 张宏宇, 2013. 田间植物对捕食螨的影响 I: 猎物寄主植物的影响. 环境昆虫学报, 35(4): 507–513.]
- Zhang HP, Chen MJ, Wen H, Wang ZH, Chen JJ, Fang L, Zhang HY, Xie ZZ, Jiang D, Cheng YJ, Xu J, 2020. Transcriptomic and metabolomic analyses provide insight into the volatile compounds of citrus leaves and flowers. *BMC Plant Biology*, 20: 7.
- Zhang XX, 2002. Insect Ecology and Forecast. Beijing: China Agriculture Press. 151–155. [张孝羲, 2002. 昆虫生态及预测预报. 北京: 中国农业出版社. 151–155.]
- Zhang YX, Lin JZ, Ji J, Chen CP, Lin Z, 2003. Studies on *Amblyseius cucumeris* Oudemans for controlling the pest mites on citrus trees. *Plant Protection*, 29(5): 31–33. [张艳璇, 林坚贞, 季洁, 陈传培, 林璋, 2003. 胡瓜钝绥螨控制柑橘害螨研究. 植物保护, 29(5): 31–33.]
- Zhao WJ, Xia S, Zheng WW, Zhang HY, 2021. Effects of predatory mite-pest mite ratio and pollen presence on population dynamics of *Amblyseius eharai* and *Panonychus citri*. *Plant Protection*, 47(1): 148–152. [赵文娟, 夏爽, 郑薇薇, 张宏宇, 2021. 益害比及花粉存在对江原钝绥螨和柑橘全爪螨种群动态的影响. 植物保护, 47(1): 148–152.]
- Zhao WJ, Zheng WW, Zhang B, Yu GL, Hu SQ, Xu XN, Zhang HY, 2014. Effect of different ground cover management on their phytoseiid (Acari: Phytoseiidae) enemies in citrus orchards. *Biocontrol Science and Technology*, 24(6): 705–709.
- Zhi JR, Guo ZZ, Xiong JW, 1994. The study on the predation of *Amblyseius nicholsi* on *Eotetranychus kankitus*. *Entomological Knowledge*, 31(1): 19–22. [邹军锐, 郭振中, 熊继文, 1994. 尼氏钝绥螨对柑桔始叶螨捕食作用研究. 昆虫知识, 31(1): 19–22.]
- Zhou JZ, Luo ZY, 1992. The simulation models for the population dynamics of citrus red mite. *Acta Ecologica Sinica*, 12(4): 348–355. [周建中, 罗志义, 1992. 柑桔全爪螨自然种群动态的模拟模型. 生态学报, 12(4): 348–355.]
- Zhu WB, Guo YQ, Zhao ZM, 1988. Studies on the food-web pattern of citrus insect communities in Sichuan province I The sub-communities of scale insects and mites. *Journal of Southwest Agricultural University*, 10(2): 137–143. [朱文炳, 郭依泉, 赵志模, 1988. 四川桔园昆虫群落营养结构研究 I 蚧类和螨类亚群落. 西南农业大学学报, 10(2): 137–143.]