

毒死蜱亚致死剂量对二斑叶螨实验种群动态的影响*

涂洪涛** 张金勇 陈汉杰***

(中国农业科学院郑州果树研究所, 郑州 450009)

摘要 【目的】为探讨毒死蜱 (Chlorpyrifos) 对二斑叶螨 *Tetranychus urticae* Koch 种群动态的影响, 室内研究了毒死蜱亚致死剂量对二斑叶螨实验种群成螨和若螨的生长发育、存活和繁殖情况的影响。

【方法】用浸虫法进行测定, 生命表方法分析亚致死效应。【结果】结果表明毒死蜱亚致死剂量 LC_{25} 处理成螨后, 雌成螨寿命、总产卵量、子代孵化率、性比与对照组无显著差异, 其净增值率、内禀增长率、周限增长率以及种群加倍时间显著低于对照组。毒死蜱亚致死剂量 LC_{25} 处理若螨后, 总产卵量、净增值率、世代平均周期显著低于对照组, 内禀增长率、周限增长率以及种群加倍时间与对照组无显著差异。扩散试验证明毒死蜱对二斑叶螨有较强的刺激扩散作用。【结论】以上结果说明毒死蜱亚致死剂量对不同发育阶段的二斑叶螨发育和繁殖的影响不同, 毒死蜱对二斑叶螨的刺激扩散作用可能是引起二斑叶螨再猖獗的原因之一。

关键词 毒死蜱, 二斑叶螨, 亚致死效应, 扩散行为

Sublethal effect of chlorpyrifos on the population dynamics of an experimental *Tetranychus urticae* Koch population

TU Hong-Tao** ZHANG Jin-Yong CHEN Han-Jie***

(Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450009, China)

Abstract [Objectives] To investigate the effects of chlorpyrifos on *Tetranychus urticae* Koch population dynamics, specifically the sublethal effects of chlorpyrifos on the development, survival rate and reproduction of *T. urticae*. [Methods] Toxicity was tested using the pest-dipping method and the sublethal effects of chlorpyrifos determined by means of life tables. [Results] Female fecundity, adult female longevity, F_1 hatchability, and the sex ratio of *T. urticae* treated with a sublethal concentration (LC_{25}) of chlorpyrifos were not significantly different to those of the control, however, the net reproductive rate, intrinsic rate of natural increase, finite rate of increase, and population doubling time, were all significantly lower than those of the control. Female fecundity, net reproductive rate, and mean generation time of *T. urticae* nymphs treated with a sublethal concentration (LC_{25}) of chlorpyrifos were significantly higher than those of the control, but the intrinsic rate of natural increase, finite rate of increase, and population doubling time, were not significantly different to those of the control. A dispersal test proved that chlorpyrifos strongly stimulated the dispersal of *T. urticae*. [Conclusion] The results indicate that the sublethal effects of chlorpyrifos on *T. urticae* differed according to developmental stage, and that the dispersal stimulus of chlorpyrifos may be a factor influencing the resurgence of this mite.

Key words chlorpyrifos, *Tetranychus urticae* Koch, sublethal effect, dispersal behavior

* 资助项目 Supported projects: 公益性行业 (农业) 科研专项 (201103020); 现代苹果产业技术体系 (CARS-28)

**第一作者 First author, E-mail: htutu2000@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: chenhanjie@caas.cn

收稿日期 Received: 2016-01-04, 接受日期 Accepted: 2016-01-09

二斑叶螨 *Tetranychus urticae* Koch 又称白蜘蛛, 叶螨科叶螨属, 是一种重要的世界性害螨, 是果树、蔬菜等经济作物的重要害螨之一 (刘庆娟等, 2011)。二斑叶螨 1 年发生多代, 以幼螨、若螨和成螨刺吸为害叶片, 造成叶片失绿和枯焦脱落, 严重影响光合作用, 抑制作物生长和果实发育, 最终影响作物产量和品质 (周玉书等, 1996; 孙瑞红等, 2010)。二斑叶螨相对其他叶螨具有更强的繁殖能力, 更快的种群增长速度、危害速度和转移速度, 更强的主动转移能力, 对常用杀螨剂耐药性更强, 总能成为复合种群中的优势种群 (周玉书等, 2005, 2006; 闫文涛等, 2010)。杀虫剂在田间施用后, 随着时间的推移和害虫个体接触药量的差异, 对部分个体会存在亚致死效应, 使用亚致死剂量评价防治效果能在种群水平上评价农药对害虫的全面影响 (Stark and Wennergren, 1995; Stark and Banks, 2003)。

多项研究证实亚致死剂量对害虫有刺激增殖的作用, 这是导致某些害虫再猖獗的主要原因之一 (陈道茂和陈为民, 1990; Nandihalli *et al.*, 1992; 徐学农等, 1998)。另外害虫对杀虫剂处理的叶面有回避、拒食和向无毒或低毒区扩散的行为, 也能够导致种群数量大增 (Iftner and hall, 1983; 刘孝纯等, 1998)。毒死蜱 (Chlorpyrifos) 是果园中常用防治鳞翅目害虫和苹果绵蚜的杀虫剂之一, 能兼治叶螨, 二斑叶螨在多种作物上连年爆发, 与毒死蜱大量使用的关系尚不清楚。本文采用生命表法研究了毒死蜱亚致死剂量处理二斑叶螨对其种群动态的影响, 旨在为毒死蜱在防治害虫中的科学合理使用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试二斑叶螨采自中国农业科学院郑州果树研究所试验苹果园, 采集后在室内使用花生叶连续饲养超过 10 年。97%毒死蜱原药由陕西上格之路生物科学有限公司提供。其他试剂均为国产分析纯。

1.2 试验方法

1.2.1 二斑叶螨室内毒力的测定 试验按照行业标准杀虫活性试验浸虫法 (张金勇, 2011) 测定, 选取生理状态一致的雌成螨, 接入生长情况良好的新花生苗上, 每复叶接雌成螨 30 头, 待虫稳定后剪下, 将叶片浸入药液 5 s, 用滤纸吸去多余药液, 倒插入锥形瓶中, 用纱布封口, 花生茎端伸出纱布, 为防止叶片脱水, 叶柄包湿棉球, 另设丙酮的 0.1% Triton-X100 水溶液作对照, 放入 $(28 \pm 1)^\circ\text{C}$, 光周期为 14L: 8D 的人工气候箱 (三洋牌 351H 型) 中, 24 h 后检查结果, 每试验设 4 次重复。

1.2.2 生命表的构建与分析 生命表参照岳臻等 (2013) 方法建立, 根据生测结果采用 LC_{25} 剂量的毒死蜱和蒸馏水 (对照) 各处理初羽化雌成螨或 I 期若螨 5 s, 单头饲养, 观察记录雌螨每天的产卵量直至死亡为止, 收集每天产的卵, 确定卵的孵化率和性比, 每处理重复 30 头。繁殖特征生命表参数计算方法: 生殖率 $R_0 = \sum L_x M_x$; 平均世代周期 $T = \sum L_x M_x x / R_0$; 内禀增长率 $r_m = (\ln R_0) / T$; 周限增长率 $\lambda = e^{r_m}$; 种群加倍时间 $t = \ln 2 / r_m$; 其中 x 为按天划分的单位时间间距; L_x 表示任一个体在 x 期间的存活率; M_x 表示在 x 期间平均每雌产雌数。

1.2.3 毒死蜱对二斑叶螨扩散率的影响 温室育花生苗, 待长出 3~4 个复叶时供试, 试验方法参照刘孝纯等 (1998) 的方法进行, 设置 5 盆 1 组, 中间和 4 角邻近排放, 但枝叶互不相接, 采用毒死蜱对二斑叶螨亚致死浓度 (200 mg/L) 进行处理, 中间 1 株接螨后浸药, 另外 4 株中, 一对对角线上的两株不接螨不浸药, 其余两株只浸药不接螨。

1.3 数据统计分析

死亡率和校正死亡率根据 Abbott 氏公式计算, 使用 DPS12.5 统计软件计算出毒力回归方程式、 LC_{25} (mg/L)、 LC_{50} (mg/L) 值等。采用 SPSS20.0 软件对二斑叶螨不同处理的发育情况和繁殖力等数据进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 亚致死浓度的测定

根据毒死蜱对二斑叶螨成螨毒力测定结果可以得出毒力曲线为 $y = -0.3183 + 2.0183x$, 相关系数为 0.9975, 计算得到致死中浓度 LC_{50} 剂量为 431.5671 mg/L, LC_{25} 剂量为 199.9229 mg/L, 为方便试验, 试验所采取亚致死浓度为 200 mg/L。

2.2 毒死蜱亚致死浓度处理后产卵量、寿命、卵孵化率和性比变化

毒死蜱亚致死剂量处理后, 二斑叶螨雌成螨的产卵量、寿命、卵孵化率和性比结果见表 1。由表 1 可以看出毒死蜱亚致死剂量处理二斑叶螨若螨和雌成螨后其寿命、卵孵化率和性比均无

显著变化。而二斑叶螨若螨经毒死蜱亚致死剂量处理后每雌总产卵量为 (164.1934 ± 4.3243) 粒, 显著高于对照组每雌总产卵量。处理后雌成螨的年龄特征繁殖力见图 1、图 2, 从图 1、图 2 可以看出经毒死蜱亚致死剂量处理若螨和雌成螨后, 其产卵高峰期相比对照组均有所推迟, 处理若螨后其产卵峰值有所提高, 后期产卵量显著高于对照组, 而处理成螨后其产卵峰值相比对照组显著降低。

2.3 毒死蜱亚致死浓度处理后二斑叶螨种群的动态变化

采用生命表技术统计二斑叶螨若螨和雌成螨经过毒死蜱亚致死剂量处理后的种群生命参数见表 2。由表 2 可以看出二斑叶螨若螨经毒死

表 1 毒死蜱亚致死剂量对二斑叶螨的产卵量、寿命、卵孵化率和性比的影响
Table 1 Impacts of chlorpyrifos on total fecundity per female adult, longevity F_1 , hatchability, sex ratio of *Tetranychus urticae*

螨态 Stage	处理 Treatment	雌成螨寿命 (d) Longevity of female adult (d)	每雌总产卵量 Total fecundity per female adult	子代孵化率 F_1 hatchability (%)	性比 Sex ratio
若螨 Nymph	对照 CK	15.4621±1.9054a	136.8032±17.5583a	98.7210±0.6099a	1.2503±0.0908a
	毒死蜱 LC_{25} Chlorpyrifos LC_{25}	18.2667±1.2423a	164.1934±4.3243b	98.1355±0.7825a	1.2220±0.0700a
成螨 Adult	对照 CK	17.7000±0.1732a	125.3566±11.5394a	98.6595±0.3626a	1.2867±0.0401a
	毒死蜱 LC_{25} Chlorpyrifos LC_{25}	18.0185±1.1484a	112.2689±5.5189a	99.1386±0.2586a	1.2030±0.0805a

数据后标有相同字母表示处理间差异不显著 ($P>0.05$)。下表同。

Data followed by the same letters indicate no significant difference at 0.05 level. The same below.

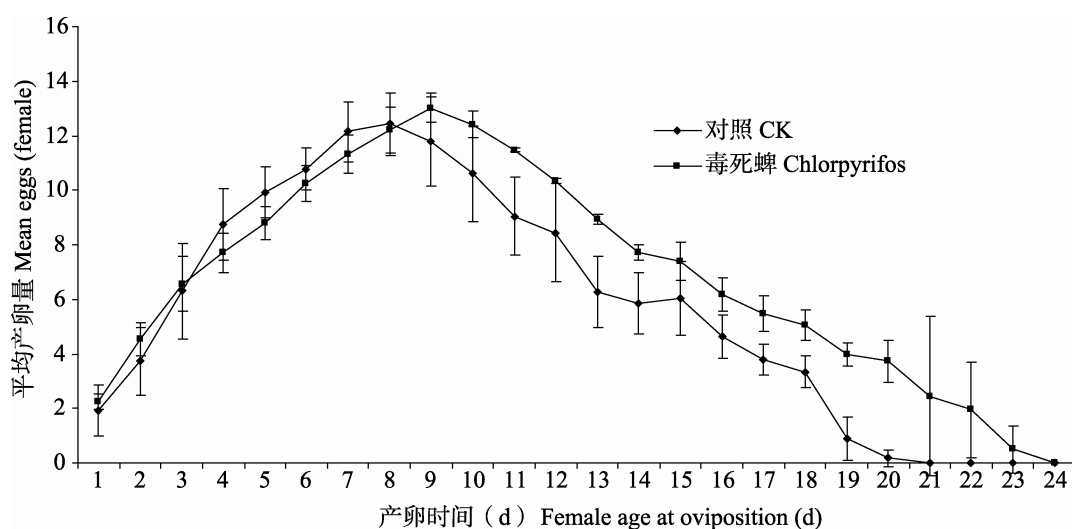


图 1 毒死蜱亚致死剂量处理二斑叶螨若螨对雌成螨每日产卵量的影响

Fig. 1 Impacts of nymph treated by sublethal dose of chlorpyrifos on mean eggs by female adult

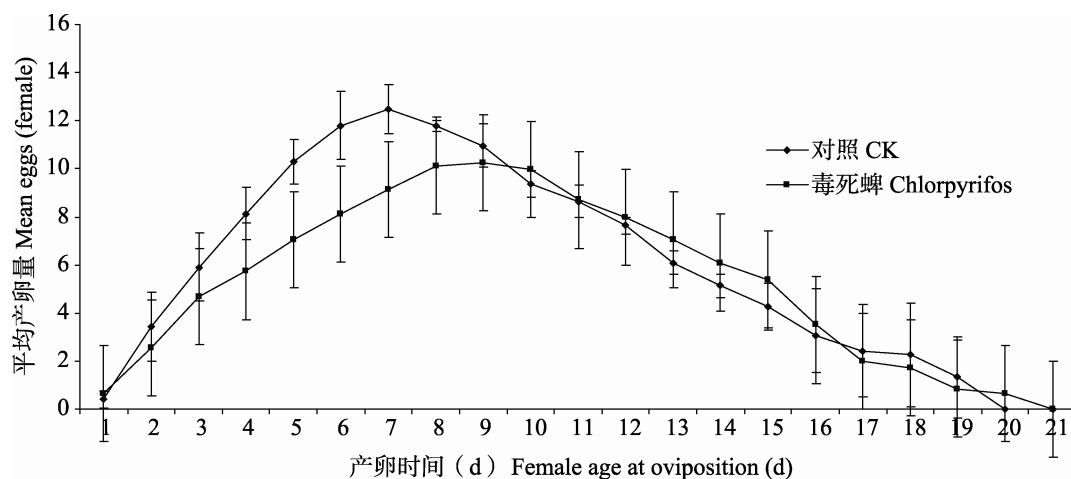


图 2 毒死蜱亚致死剂量对二斑叶螨雌成螨每日产卵量的影响

Fig. 2 Impacts of female adult treated by sublethal dose of chlorpyrifos on mean eggs

表 2 毒死蜱亚致死剂量处理二斑叶螨的种群生命参数

Table 2 Life table parameters of *Tetranychus urticae* treated by sublethal dose of chlorpyrifos

螨态 Stage	处理 Treatment	净增值率 R_0 Net reproductive rate	平均世代历期 T Mean generation time	内禀增长率 r_m Intrinsic rate of increase	周限增长率 λ Finite rate of increase	种群加倍时间 t Population doubling time
若螨 Nymph	对照 CK	63.6663±3.8450a	15.2251±0.4864a	0.2729±0.0088a	1.3138±0.0115a	2.5417±0.0808a
	毒死蜱 LC ₂₅ Chlorpyrifos LC ₂₅	74.0603±3.6200b	16.5443±0.3145b	0.2603±0.0077a	1.2973±0.0100a	2.6650±0.0806a
成螨 Adult	对照 CK	64.3380±3.0601a	15.4233±0.3521a	0.2700±0.0068a	1.3100±0.0089a	2.6650±0.0807a
	毒死蜱 LC ₂₅ Chlorpyrifos LC ₂₅	57.2641±2.0589b	16.0467±0.3987a	0.2524±0.0082b	1.2871±0.0106b	2.6650±0.0808b

蜱亚致死剂量处理发育至成螨后，其净增值率 R_0 (74.0603 ± 3.6200) 和平均世代历期 T (16.5443 ± 0.3145) 均显著高于对照组，而内禀增长率 r_m 、周限增长率 λ 以及种群加倍时间 t 无显著差异，说明处理组虽然产卵量有显著增加，但其产卵高峰期有所推迟，最终并未影响到内禀增长率 r_m 等生命参数。二斑叶螨雌成螨经毒死蜱亚致死剂量处理后其净增值率 R_0 ($57.2641 \pm$

2.0589)、内禀增长率 r_m (0.2524 ± 0.0082)、周限增长率 λ (1.2871 ± 0.0106) 以及种群加倍时间 t (2.6650 ± 0.0808) 相比对照组均显著降低，平均世代历期 T (16.0467 ± 0.3987) 与对照组无显著差异。

2.4 毒死蜱对二斑叶螨扩散率的影响

由表 3 可以看出，使用毒死蜱亚致死剂量处

表 3 毒死蜱对二斑叶螨扩散率的影响

Table 3 The effect of chlorpyrifos on the dispersal rate of *Tetranychus urticae*

处理 Treatment	扩散率 (%) Dispersal rate (%)	浸药株迁入率 (%) Migration rate of treated with chlorpyrifos (%)	未浸药株迁入率 (%) Migration rate of untreated with chlorpyrifos (%)
对照 CK	11.41±8.19a	1.84±1.76a	8.54±1.33a
毒死蜱 Chlorpyrifos	64.22±2.21b	9.17±1.11b	55.05±1.21b

理后, 除死亡外有 64.22% 的二斑叶螨雌成螨扩散到其他植株上, 显著高于对照组的 11.41%。处理组浸药株迁入率和未浸药株迁入率均显著高于对照组, 同时对照组和处理组中未浸药株迁入率均显著高于浸药株迁入率, 说明药株对二斑叶螨有很强的忌避作用, 毒死蜱的田间使用能够改变和扩大二斑叶螨在田间的空间分布。

3 讨论

生物在吸收有毒物质后, 个体生长发育的一部分能量要用于解毒, 会导致生物体的寿命、产卵能力等的变化。研究发现药剂的亚致死剂量对害虫的整个发育阶段的影响是不一样的, 可能对某一发育阶段造成一定的刺激作用, 而对另一个发育阶段起到抑制作用, 处理生命体年龄分布不同, 杀虫剂亚致死剂量对种群的增长影响也不同 (Stark and Banken, 1999 ;Fujiwara *et al.*, 2002)。本研究表明毒死蜱亚致死剂量 LC_{25} 处理二斑叶螨若螨后, 对其产卵高峰期、产卵峰值等均有一定的影响, 处理若螨后对其雌成螨的产卵量有显著的刺激作用, 净增值率和平均世代历期相比对照组显著增加, 但对其内禀增长率、周限增长率以及种群加倍时间并无影响, 而处理雌成螨后其净增值率、内禀增长率、周限增长率以及种群加倍时间等生命参数均显著降低, 也说明毒死蜱处理不同发育阶段二斑叶螨对其种群动态变化有不同影响。研究发现联苯菊酯亚致死剂量处理卵后, 导致二斑叶螨种群净增殖率, 内禀增长率和周限增长率均降低, 而且雌成螨产卵量下降, 寿命缩短, 处理雌成螨后产卵量显著的下降, 均表现为对二斑叶螨具有抑制作用 (Wang *et al.*, 2014) ;张寿芳等 (2010) 用甲氰菊酯亚致死剂量处理二斑叶螨卵后发现其对二斑叶螨种群也具有抑制作用, 但是处理二斑叶螨成螨后却对其种群具有刺激增殖作用。陶士强等 (2006) 研究发现毒死蜱亚致死剂量处理朱砂叶螨卵后对其发育成雌成螨的生殖力有显著的抑制作用, 内禀增长率等生命参数均相比对照组显著降低。本试验仅研究了毒死蜱亚致死剂量对二斑叶螨若螨

I 期和雌成螨的作用效果, 想要全面了解毒死蜱对二斑叶螨种群的影响还应继续深入研究该药亚致死剂量处理后对二斑叶螨卵、幼螨、若螨 II 期及后代的影响以及螨类用于解毒与生存、发育与繁殖之间的能量分配机制等。

药剂的亚致死效应不仅对害虫的生长发育造成一定的影响, 同时还影响害虫的行为活动, 毒死蜱亚致死剂量对二斑叶螨雌成螨的扩散影响试验结果可以看出该药剂对二斑叶螨有较强的刺激扩散作用, 容易造成扩散后的间接增殖。另外毒死蜱属广谱性杀虫剂, 对天敌的杀伤力较强, 施用后容易降低自然控害能力而引起害虫的再猖獗。选用化学药剂时, 不能仅注意药剂的防治效果而忽视其他功能, 应对其应用效果进行全方位的功能研究。

参考文献 (References)

- Chen DM, Chen WM, 1990. The impact of two kinds of pyrethroid on the reproduction of citrus red mite. *Journal of Plant Protection*, 17(3): 279–282. [陈道茂, 陈卫民, 1990. 两种拟除虫菊酯对桔全爪螨繁殖的影响. 植物保护学报, 17(3): 279–282.]
- Fujiwara Y, Takahashi T, Yoshioka T, Nakasuji F, 2002. Changes in egg size of the diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) treated with fenvalerate at sublethal doses and viability of the eggs. *Applied Entomology and Zoology*, 37(1): 103–109.
- Iftner DC, Hall FR, 1983. Effects of fenvalerate and permethrin on *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) dispersal behavior. *Environmental Entomology*, 12(6): 1782–1786.
- Liu XC, Li QS, Liu QX, 1998. Effects of insecticides on the diffusion behavior and reproduction of *Tetranychus cinnabarinus*. *Journal of Plant Protection*, 25(2): 156–160. [刘孝纯, 李巧丝, 刘芹轩, 1998. 杀虫剂对朱砂叶螨扩散行为及繁殖力的影响. 植物保护学报, 25(2): 156–160.]
- Liu QJ, Yu Y, Liu YJ, Ma H, Zhang AS, Zhang SC, Li LL, Men XY, 2011. Advances in the research on the occurrence and control of two spotted spider mites. *Shandong Agricultural Sciences*, 9: 99–101. [刘庆娟, 于毅, 刘永杰, 马惠, 张安盛, 张思聪, 李丽莉, 门兴元, 2011. 二斑叶螨的发生与防治研究进展. 山东农业科学, 43(9): 99–101.]
- Nandihalli BS, Patil BV, Hugar P, 1992. Influence of synthetic pyrethroid usage on aphid resurgence in cotton. *Karnataka*

- Journal of Agricultural Sciences*, 5(3): 234–237.
- Stark JD, Banken JAO, 1999. Importance of population structure at the time of toxicant exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 42(3): 282–287.
- Stark JD, Banks JE, 2003. Population-level effects of pesticides and other toxicants on arthropods. *Annual Review of Entomology*, 48: 505–519.
- Stark JD, Wennergren U, 1995. Can population effects of pesticides be predicted from demographic toxicological studies. *Journal of Economic Entomology*, 88(5): 1089–1096.
- Sun RH, Zhang Y, Li AH, Li XJ, Wang GF, 2010. Comparison among efficacy of emamectin benzoate and abamectin to two apple pest mites. *Agrochemicals*, 49(4): 295–297. [孙瑞红, 张勇, 李爱华, 李晓军, 王贵芳, 2010. 甲维盐与阿维菌素对 2 种苹果害螨的作用效果比较. 农药, 49(4): 295–297.]
- Tao SQ, Wu FA, 2006. Sublethal effect of chlorpyrifos on the dynamics of experimental *Tetranychus cinnabarinus* population. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 17(7): 1351–1353. [陶士强, 吴福安, 2006. 毒死蜱亚致死剂量对朱砂叶螨实验种群动态的影响. 应用生态学报, 17(7): 1351–1353.]
- Wang SL, Tang XF, Wang L, Zhang YJ, Wu QJ, Xie W, 2014. Effects of sublethal concentrations of bifenthrin on the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Systematic and Applied Acarology*, 19(4): 481–490.
- Xu XN, Wang G, Gao SP, 1998. Effects of sublethal concentrations of Fenpyroximate treating peach leaf on *Tetranychus viennensis* female mite reproduction. *Journal of Anhui Agricultural University*, 25(4): 352–355. [徐学农, 王刚, 高仕朋, 1998. 杀螨王的亚致死浓度处理桃叶对山楂叶螨雌成螨生殖的影响. 安徽农业大学学报, 25(4): 352–355.]
- Yan WT, Qiu GS, Zhou YS, Zhang HJ, Zhang P, Liu CL, Zheng YC, 2010. Interspecific domino effects of three major pernicious mites in apple orchard. *Journal of Fruit Science*, 27(5): 815–818. [闫文涛, 仇贵生, 周玉书, 张怀江, 张平, 刘池林, 郑运城, 2010. 苹果园 3 种害螨的种间效应研究. 果树学报, 27(5): 815–818.]
- Yue Z, Zhi JR, Tian T, 2013. Effects of the eggs and webs produced by *Tetranychus urticae* on the development and reproduction of *Frankliniella occidentalis*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(4): 967–973. [岳臻, 甄军锐, 田甜, 2013. 二斑叶螨的卵和丝网对西花蓟马生长发育和繁殖的影响. 应用昆虫学报, 50(4): 967–973.]
- Zhang SF, Shen XQ, Cai YR, Fu LY, Shen HM, 2010. Sublethal effects of fenpropathrin and spiroticlofen on *Tetranychus urticae*. *Plant Protection*, 38(5): 68–72. [张寿芳, 沈修婧, 蔡瑜如, 付麟云, 沈慧敏, 2010. 甲氰菊酯和螺螨酯对二斑叶螨实验种群的亚致死效应. 植物保护, 38(5): 68–72.]
- Zhang JY, Tu HT, Guo XH, Chen HJ, 2011. Toxicities of several acaricides to different development stages of *Tetranychus urticae* koch and their safety evaluations. *Agrochemicals*, 50(1): 65–67. [张金勇, 涂洪涛, 郭小辉, 陈汉杰, 2011. 多种杀螨剂对二斑叶螨不同发育阶段的毒力比较及安全性评价. 农药, 50(1): 65–67.]
- Zhou YS, Pu CS, Liu CL, 1996. Vigilance against the damage by the spread of two spotted mites in the northern fruit area. *Plant Protection*, 22(5): 51–52. [周玉书, 朴春树, 刘池林, 1996. 警惕二斑叶螨在北方果区为害蔓延. 植物保护, 22(5): 51–52.]
- Zhou YS, Pu CS, Qiu GS, Zhang P, Meng W, Fang H, 2006. Life table for 3 mite species under different temperature. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 37(2): 173–176. [周玉书, 朴春树, 仇贵生, 张平, 孟威, 方红, 2006. 不同温度下 3 种害螨试验种群生命表研究. 沈阳农业大学学报, 37(2): 173–176.]
- Zhou YS, Pu CS, Qiu GS, 2005. Sensitivity identification of seven kind of acaricide to 3 spider mites in Apple orchards. *China Fruits*, (3): 29–31. [周玉书, 朴春树, 仇贵生, 2005. 苹果园 3 种害螨对 7 种杀螨剂敏感性鉴定. 中国果树, (3): 29–31.]