温度锻炼对西花蓟马温度耐受性及繁殖的影响*

李鸿波 史 亮 王建军 杜予州**

(扬州大学应用昆虫研究所 扬州 225009)

摘 要 西花蓟马 *Frankliniella occidentalis*(Pergande)是危害蔬菜和观赏植物的一种重要害虫,其种群数量随季节的变化而波动。温度被认为是影响种群动态的重要因子。为探究不利温度对对西花蓟马的影响,本研究将 3 日龄成虫置于 18 或 31℃下分别锻炼 1,2,3 d 后,检测了其温度耐受性和繁殖力。结果表明,在 18℃下的持续锻炼明显提高了西花蓟马的耐寒性与耐热性,这证实了高低温胁迫间存在交互抗性;虽然经 31℃的锻炼明显提高了其耐热性,但耐寒性未得到相应的增强。经 18℃锻炼后,西花蓟马的繁殖力显著下降,31℃锻炼对其繁殖力没有明显影响。本研究结果表明温度的交互抗性可能有利于昆虫在自然界的存活,但这种获得的耐受性是以繁殖力的降低为代价的。

关键词 西花蓟马,温度锻炼,耐受性,繁殖

Impact of temperature hardening on thermal tolerance and reproduction in *Frankliniella occidentalis*

LI Hong-Bo SHI Liang WANG Jian-Jun DU Yu-Zhou**

(Institute of Applied Entomology, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 25009, China)

Abstract The western flower thrip, *Frankliniella occidentalis* (Pergande), is an important insect pest of vegetables and ornamentals. Populations of this pest display marked seasonal fluctuations in which temperature is considered the most important factor. In order to explore the effect of temperature on *F. occidentalis*, three-day adults were exposed to 18 or 31℃ for 1, 2 and 3 d, after which their temperature tolerance and reproduction was investigated. The results suggest that continual exposure to 18℃ markedly improved cold and heat tolerance. Cross tolerance in response to cold and heat stress was observed. However, although exposure to 32℃ obviously increased adult heat tolerance, cold tolerance was not improved accordingly. Reproduction obviously declined after exposure to 18℃ but was unaffected by exposure to 31℃. Our results confirm that temperature tolerance is achieved at the cost of decreased reproduction.

Key words *Frankliniella occidentalis*, temperature hardening, reproduction

西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (Pergande)是蔬菜和观赏植物上的一种重要害虫,因其能传播番茄斑萎病病毒而引起巨大的经济损失而闻名。该虫自 2003 年在北京首次被报道以来(张友军等,2003),至今已在我国的 8 个省、自治区或直辖市被发现,并在部分地区造成严重危害(郑长英等,2007;吴青君等,2007;袁成明等,2008;严丹侃等,2010;刘佳等,2010;杨华等,2010)。在自然界,西花蓟马的种群数量随季节性气候的变化而波动,春末可见少量蓟马活动,随着气温回升,6 至 7 月为该虫的高峰期。随着温度的降低,种群数量开始下降,10 月以后数量锐减,继而转入温室中,以成虫或若虫越冬。西花蓟马不具滞育特性(Ishida *et al.*, 2003),因此该虫对温度的耐受性决定了其种群动态和地理分布。

每种昆虫都有其适宜的生长发育温度,不利的温度不仅影响昆虫的生长发育,还影响其繁殖能力。西花蓟马在极端温度下的耐受性已有研究

* 资助项目:公益性行业(农业)科研专项(200803025, 201103026)、江苏省科技攻关项目(BE2005348)、无锡市科技计划项目(CLE00803)

** 通讯作者,E-mail: yzdu@yzu.edu.cn

收稿日期:2011-02-28,接受日期:2011-05-03

报道(McDonald *et al.*,1997a,1997b;张丽芳等,2009;盖海涛,2010),而有关持续性温和温度锻炼对西花蓟马种群的影响至今未见报道。为此,作者就持续温和温度锻炼对西花蓟马耐受性和繁殖力的影响进行了研究。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

本实验中所用西花蓟马是在室内用新鲜四季豆豆荚进行 30 代以上饲养建立的实验种群。供试西花蓟马在 RXZ 型智能人工气候箱(宁波江南仪器厂)中饲养,其温度为(26 ± 1)℃,湿度为 70% ~80%,光照 L: D = 16: 8。实验前,将新鲜的豆角放入含有成虫的养虫盒(15 cm × 15 cm × 20 cm)内让其产卵,24 h 后移去成虫,将带有虫卵的豆角置于另一养虫盒内,让其孵化、发育直到成虫,然后取羽化 3 d 的成虫用于实验。在饲养过程中,适时添加新鲜的豆角以保证西花蓟马获取充足的饲料。

1.2　试验方法

1.2.1　重复性温和温度锻炼对西花蓟马耐热性的影响　已有研究表明,持续低于 20 或高于 30℃,对西花蓟马的生长不利,因此本研究选择 18 和 31℃作为处理温度。具体方法是:将羽化后第 4 天的西花蓟马成虫于 18℃和 31℃下分别锻炼 1、2、3 d,收集经过锻炼的西花蓟马成虫于玻璃管内,用 200 目纱布封口,然后置于 -13.5℃下处理 2 h 或 40℃下处理 1 h,然后将其转入 26℃下让其恢复,其中经过 -13.5℃处理的 24 h 后检查其存活情况,而经过 40℃处理的 2 h 后检查其存活情况。为了消除因年龄对西花蓟马耐受性造成的误差,以 26℃下饲养羽化后第 4、5 和 6 天的成虫分别作为锻炼 1、2 和 3 d 的对照,高低温的处理同上;每个处理 30 头成虫,重复 4 次。

1.2.2　重复性温和温度锻炼对西花蓟马繁殖力的影响　将 10 对刚羽化的西花蓟马成虫放在含有新鲜无虫豆叶的培养皿中,然后置于 26℃下饲养让其产卵 3 d,第 4 天将西花蓟马转移至 18℃和 31℃下让其继续产卵,每个温度下处理的时间分别为 1,2,3 d,处理结束后,再将相应处理过的西花蓟马转入 26℃下分别让其产卵 5、4 和 3 d,统计羽化后 9 d 的总产卵量。在此过程虫,产卵叶片每天更换 1 次,更换出来的叶片置于含有湿润滤纸的培养皿中让卵孵化,统计其若虫数量。由于蓟马的卵产于植物组织里,因此通常以孵出的若虫数量代表其有效产卵量。以上每个处理重复 4 次,并以 26℃下饲养的西花蓟马的有效产卵量为对照。

1.2.3　处理后的 F1 代的发育与存活　为了检测持续温和温度锻炼对西花蓟马 F1 代是否具有影响,收集 18℃和 31℃下锻炼 3 d 的成虫(即羽化后第6 天的成虫)所产的若虫各 20 头,观察其生长发育和存活情况直到全部羽化为成虫为止。以 26℃下饲养的相应时间西花蓟马的 F1 代为对照,每个处理重复 4 次。

1.3　数据分析

采用 ANOVA(S)法进行数据差异显著性分析,然后利用 Tukey 法对各处理间进行多重比较。所有数据在进行分析前进行反正弦转换,统计过程在软件 DPS 中完成,显著性水平取 0.05。

2　结果与分析

2.1　重复性温和温度锻炼对西花蓟马温度耐受性的影响

西花蓟马低温锻炼后的测定结果如图 1:A,B 所示,在 18℃下锻炼一定时间后,西花蓟马的耐寒性($F = 5.7310$, $df = 2$, $P = 0.0119$)和耐热性($F = 18.3720$, $df = 2$, $P = 0.0001$)均得到明显提高。多重比较结果显示经锻炼后西花蓟马的耐寒性比各自锻炼时间相对应的对照组的耐寒性明显要高,如经 18℃锻炼 3 d 后,西花蓟马的存活率为 57%,与对照(29%)相比提高了 28%。而西花蓟马的耐热性与对照相比差异不显著。此外,从图 1:B 可以看出,年龄对西花蓟马的耐热性也有影响,年龄相对大反而有利于提高西花蓟马耐热性。在 31℃下无论是锻炼 1 d 或是 3 d,西花蓟马的耐寒性并没有显著提高($F = 6.6900$, $df = 2$, $P = 0.1300$),与各自对照相比存活也无差异($P > 0.05$)。然而,高温锻炼时间对西花蓟马的耐热性具有显著影响($F = 3.5490$, $df = 2$, $P = 0.0486$),与对照相比(13%),在 31℃锻炼 1 d,西花蓟马成活率上升到 41%,提高了 28%。随着锻炼温度的延长,西花蓟马的存活率逐渐降低,锻炼 2 或 3 d 后的存活率与对照无明显差异(图 1:C,D)。

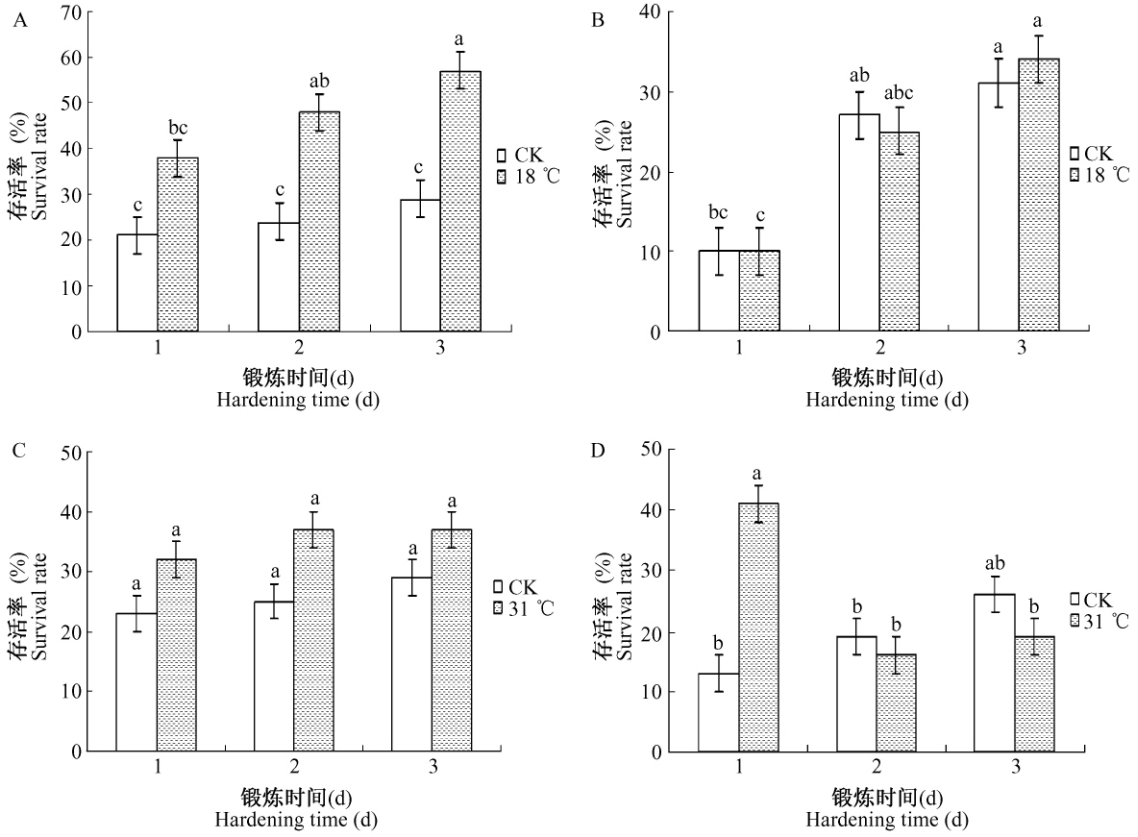


图 1 温度锻炼对西花蓟马成虫温度耐受性的影响

Fig. 1 Effect of temperature hardening on thermal tolerance of western flower thrips

图中数值为平均值 ± 标准误，不同字母表示在 0.05 水平上差异显著。A，C 分别表示经低温（18℃）和高温（31℃）锻炼后的耐寒性；B，D 分别经低温（18℃）和高温（31℃）锻炼后的耐热性；下图同。

Data are means ± *SE*, and followed by different letters indicate significantly different at 0.05 level. A, C stand for cold tolerance of western flower thrips hardened at low temperatue (18℃) and high temperature (31℃), respectively. B, D stand for heat tolerance of western flower thrips hardened at at low temperatue (18℃) and high temperature (31℃), respectively. The same below.

2.2 重复性温和温度锻炼对西花蓟马繁殖力的影响

为了了解温度锻炼对西花蓟马繁殖力是否存在影响，只需检测锻炼最长时间，即处理 3 d 后的产卵量即可。经温度锻炼后，西花蓟马 9 d 内的产卵量如图 2 所示，低温锻炼对西花蓟马的产卵有明显的影响（$F = 8.1100$，$df = 3$，$P = 0.0032$），随着锻炼时间的延长，产量逐渐降低，锻炼 3 d 后西花蓟马的产卵量为 32.7 粒/雌，与对照相比下降了 7.2 粒/雌。而经高温锻炼后的西花蓟马的产卵量与对照相比并无明显差异（$F = 0.3210$，$df = 3$，$P = 0.8099$）。

2.3 重复性温和温度锻炼对西花蓟马 F1 代发育和总存活率的影响

无论是进行高温还是低温锻炼，F1 代西花蓟马从卵发育至成虫的时间明显延长（低温：$F = 7.2660$，$df = 3$，$P = 0.0049$；高温：$F = 8.2540$，$df = 3$，$P = 0.0030$）。如在 18℃下 3 d 的锻炼后，西花蓟马的发育历期（11.5 d）与对照（10.8 d）相比延长了 0.7 d，而经 31℃锻炼 3 d 后，发育历期则延长了 0.7 d。多重比较表明，无论是经高温还是低温锻炼的西花蓟马，各处理 F1 代之间的发育历期差异不显著。然而，经高温或低温锻炼的西花蓟马，F1 代的总存活率与对照相比差异不明显（低温：$F = 0.3030$，$df = 3$，$P = 0.8227$；高温：$F = 1.5090$，$df = 3$，$P = 0.2624$），其存活率值维持在 80% 以上。

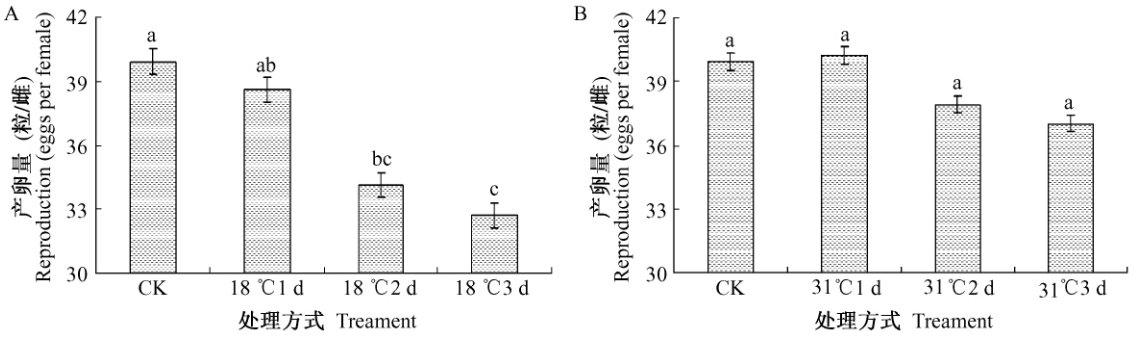


图 2　低温(18℃,A)和高温(31℃,B)锻炼对西花蓟马 9 d 内的产卵量的影响

Fig. 2　Effect of low(18℃,A) and high(31℃,B) temperature hardening on reproduction of western flower thrips within 9 days

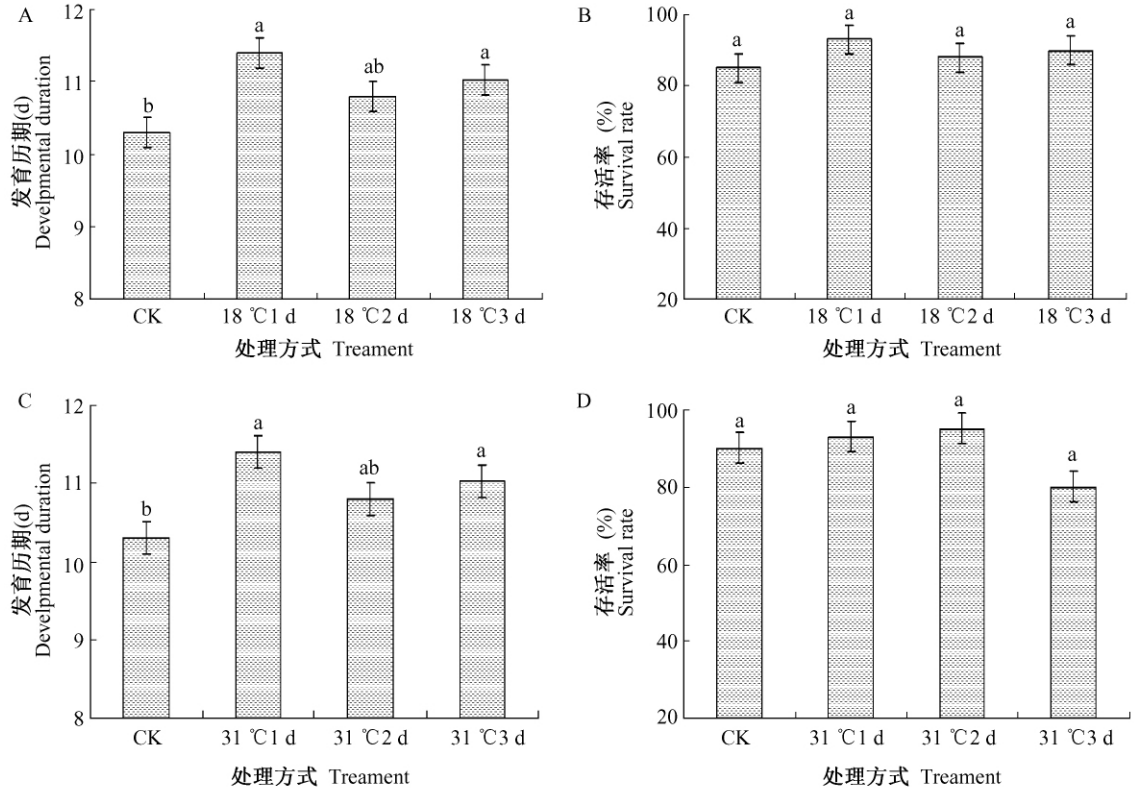


图 3　西花蓟马经低温(18℃)和高温(31℃)锻炼后,F1 代的发育历期和总存活率

Fig. 3　Developmental duration and survival rate of western flower thrips in F1 generation after hardened at low (18℃, A) and high (31℃, B) temperature

A,B 分别表示经低温锻炼后 F1 代的发育历期和总存活率;C,D 分别表示经高温锻炼后 F1 代的发育历期和总存活率。

A, B stand for results hardened at low temperature(18℃), respectively; C, D stand for results hardened at high temperature(31℃), respectively.

3　讨论

自然界是一个由多因子构成的复杂系统,昆虫自然种群常常会面临其中多种胁迫因子的影响,如高温、低温、脱水和化学试剂等。为适应这些胁迫,昆虫在长期的进化过程形成了许多行为

和生理上的防御策略。在毒理学中,昆虫在受到一种杀虫剂处理后能提高其对另一种药剂的抵抗能力,这种现象称为交互抗性。然而这种现象是否适用于高低温胁迫之间还不十分清楚。本研究结果发现持续的温和低温锻炼明显提高了西花蓟马的耐寒性和耐热,然而持续的高温锻炼不能增强其耐寒性,但显著提高了西花蓟马的耐热性,这表明在西花蓟马中存在高低温之间的交互抗性。Huang 等(2007)的研究结果表明,南美斑潜蝇 *Liriomyza huidobrensis* 经温和的高温锻炼后,其耐热性明显提高,但耐寒性并没有得到明显提高,这一结论与作者的研究结果一致;经低温锻炼后的南美斑潜蝇无论是其耐热性还是耐寒性都无明显增强,这与作者的结论却恰恰相反。Bubliy 和 Loeschcke(2005)发现低温锻炼不能提高果蝇 *Drosophila melanogaster* 的耐热性,但高温锻炼却能明显增加其耐寒性,而 Sejerkilde 等(2003)对同一物种的的研究结果则认为高温锻炼对其耐寒性具有负效应。导致以上不同结论的可能性有以下两方面:一是昆虫高低温间的交互抗性是因物种而异的,不同物种物的交互抗性机制不一致;二是交互抗性的产生需要适宜的诱导温度,Sejerkilde 等(2003)和 Bubliy 和 Loeschcke(2005)对同一物种研究结果的差异可能是由锻炼温度的不同而造成的。

低温锻炼能提高西花蓟马的耐寒性和耐热性,但对其繁殖力具有负面效应,即耐受性的增强是以繁殖力的降低为代价的。本研究发现西花蓟马成虫在 18℃下处理 2 或 3 d 后,产卵量明显降低,这一结果与 Huang 等(2007)对南美斑潜蝇的研究的结论相似。Jason 和 Richard (2000)对金针瘿蚊 *Eurosta solidaginis* 进行了研究,发现经温和低温处理后,其幼虫的体重减轻,羽化后的成虫的产卵量明显降低。Katie 和 Brent(2010)的研究发现果蝇经持续的低温处理后,不仅产卵量显著降低,而且性比发生明显改变,导致种群内禀增产率降低;进一步的研究发现经过持续低温处理的果蝇体内所含的糖原明显减少。从以上结果我们可以推断,昆虫在应对温度胁迫时可能会导致体内能量的重新分配,即昆虫将大部分的能量用于维持生存,使得用于繁殖的能量不足而导致产卵量下降,也可能是由于较长时间的低温胁迫导使昆虫生殖系统损伤而导致繁殖力下降。本研究还发现高温锻炼对西花蓟马的产卵量并没有明显的影响,这可能与本实验所设置的诱导温度和时间有关。

此外,对西花蓟马 F1 代的发育历期和存活率的研究发现,无论是低温锻炼还是高温锻炼,西花蓟马的存活率与对照相比并无差异,而其发育历期较对照的长。对于前者发育历期的延长,可以解释为低温锻炼对西花蓟马的不利影响通过亲代传递给了 F1 代,而导致后者发育历期延长的原因还不清楚,需要进一步的研究。

已有的研究表明,昆虫耐受性的增强与分子伴侣热激蛋白(HSP)的表达密切相关,特别是 hsp70(Huang *et al.*,2007;Bahrndorff *et al.*,2009)。HSP 在西花蓟马乃至整个缨翅目中的研究至今仍是空白,因此有必要对其进行研究。总之,作者的研究表明,持续的温和低温锻炼能提高西花蓟马耐寒性和耐热性,同时也降低了其繁殖能力,证实了昆虫温度耐受性的获得与繁殖力之间存在一种平衡机制。

参考文献(References)

Bahrndorff S, Mariën J, Loeschcke V, Ellers J, 2009. Dynamics of heat-induced thermal stress resistance and Hsp70 expression in the springtail, *Orchesella cincta*. *Funct. Ecol.*, 23: 233—239.

Bubliy OA, Loeschcke V, 2005. Correlated responses to selection for stress resistance and longevity in a laboratory population of *Drosophila melanogaster*. *J. Evolution Biol.*, 18: 789—803.

盖海涛,郅军锐,李肇星,蒋永金, 2010. 西花蓟马和花蓟马在温度逆境下的存活率比较. 生态学杂志, 29(8): 1533—1537.

Huang LH, Chen B, Kang L, 2007. Impact of mild temperature hardening on thermotolerance, fecundity, and Hsp gene expression in *Liriomyza huidobrensis*. *J. Insect Physiol.*, 53:1199—1205.

Ishida H, Murai T, Sonoda S, Yoshida H, Izumi Y, Tsumuki H, 2003. Effects of temperature and photoperiod on development and oviposition of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae). *Appl. Entomol. Zool.*, 38 (1): 65—68.

Jason TI, Richard ELJ, 2000. Mild winter temperatures reduce survival and potential fecundity of the goldenrod gall fly, *Eurosta solidaginis* (Diptera: Tephritidae). *J. Insect*

Physiol., 46: 655—661.

Katie EM, Brent JS, 2010. Repeated stress exposure results in a survival-reproduction trade-off in *Drosophila melanogaster*. *Proc. R. Soc. B*, 277: 963—969.

刘佳, 张林, 卢焰梅, 张宏瑞, 2010. 湖南外来入侵害虫西花蓟马初步调查. 安徽农业科学, 38(25): 13800—13804.

McDonald JR, Bale JS, Walters KFA, 1997a. Low temperature mortality and overwintering of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Bull. Entomol. Res.*, 87: 497—505.

McDonald JR, Bale JS, Walters KFA, 1997b. Rapid cold hardening in western flower thrips *Frankliniella dyccidentalis*. *J. Insect Physiol.*, 43(8): 759—766.

Sejerkilde M, Søensen JG, Loeschcke V, 2003. Effects of cold-and heat hardening on thermal resistance in *Drosophile melanogaster*. *J. Insect Physiol.*, 49: 719—726.

吴青君, 徐宝云, 张治军, 张友军, 朱国仁, 2007. 京、浙、滇地区植物蓟马种类分布及其调查. 中国植保导刊, 27(1): 32—34.

严丹侃, 汤云霞, 贺子义, 孙雷, 王鸣华, 薛晓峰, 范加勤, 2010. 南京地区西花蓟马发生调查及其分子检测. 南京农业大学学报, 33(4): 59—63.

杨华, 崔元玗, 张升, 孙晓军, 2010. 来入侵害虫－西花蓟马在新疆的发生为害. 新疆农业科学, 47(11): 52—53.

袁成明, 郅军锐, 李景柱, 张勇, 2008. 贵州省蔬菜蓟马种类调查研究. 中国植保导刊, 28(7): 8—10.

张丽芳, 丁元明, 谌爱东, 瞿素萍, 王继华, 2009. 高温对西花蓟马的致死作用初探. 北方园艺, (2): 115—116.

张友军, 吴青君, 徐宝云, 朱国仁, 2003. 危险性外来入侵生物——西花蓟马在北京发生危害. 植物保护, 29(4): 58—59.

郑长英, 刘云虹, 张乃芹, 赵希丽, 2007. 山东省发现外来入侵有害生物——西花蓟马. 青岛农业大学学报: 自然科学版, 24(3): 172—174.