

东莨菪内酯与双脱甲氧基姜黄素对朱砂叶螨毒力的温度效应

杨振国, 张永强*, 丁伟, 罗金香, 秦培元

(西南大学植物保护学院, 重庆 400716)

摘要: 为明确植物性杀螨活性物质东莨菪内酯与双脱甲氧基姜黄素对朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* 雌成螨毒力的温度效应, 采用玻片浸渍法测定了两者不同温度下的杀螨活性。结果表明: 在 8~26℃ 的温度范围内, 东莨菪内酯和双脱甲氧基姜黄素对朱砂叶螨雌成螨的毒力呈正温度系数; 在 26~34℃ 的温度范围内两者对朱砂叶螨雌成螨的毒力呈负温度系数。其中 26℃ 下东莨菪内酯和双脱甲氧基姜黄素表现出较好杀螨活性, 处理后 48 h 的致死中浓度 (LC₅₀) 分别为 0.1884 和 0.3376 mg/mL; 23℃ 下的毒力次之。致死中浓度 (y) 与温度 (x) 关系的拟合方程为: 东莨菪内酯: $y_1 = 0.006x_1^2 - 0.278x_1 + 3.403$; 双脱甲氧基姜黄素: $y_2 = 0.007x_2^2 - 0.354x_2 + 4.826$ 。对 y 求最小值得出, 东莨菪内酯和双脱甲氧基姜黄素对朱砂叶螨雌成螨的最高毒力温度分别为 23.2℃ 和 25.3℃, LC₅₀ 分别为 0.1828 和 0.3504 mg/mL。据此认为, 在一定的温度范围内, 随着温度的升高, 这两种植物性杀螨活性物质对朱砂叶螨的毒力与温度先呈正相关, 到达最佳毒力温度后再呈负相关。

关键词: 朱砂叶螨; 东莨菪内酯; 双脱甲氧基姜黄素; 毒力; 温度效应

中图分类号: S482.5 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2012)04-0420-06

Effect of temperature on toxicities of scopoletin and bisdemethoxycurcumin against *Tetranychus cinnabarinus* (Acari: Tetranychidae)

YANG Zhen-Guo, ZHANG Yong-Qiang*, DING Wei, LUO Jin-Xiang, QIN Pei-Yuan (College of Plant Protection, Southwest University, Chongqing 400716, China)

Abstract: The toxicities of botanical acaricides scopoletin and bisdemethoxycurcumin (BDMC) were investigated for their acaricidal activity against female adults of the carmine spider mite, *Tetranychus cinnabarinus*, by slide-dip bioassay at different temperatures in order to ascertain the temperature effect of scopoletin and BDMC. Both scopoletin and BDMC displayed a positive temperature coefficient at temperatures from 8 to 26℃ and a negative temperature coefficient at temperatures from 26 to 34℃. At 26℃, 48 h after treatment, scopoletin and BDMC showed the strongest acaricidal activity against *T. cinnabarinus* with the LC₅₀ values of 0.1884 and 0.3376 mg/mL, respectively. The mathematical models of the relationship between LC₅₀ (y) and temperature (x) were simulated: for scopoletin, $y_1 = 0.006x_1^2 - 0.278x_1 + 3.403$; for BDMC, $y_2 = 0.007x_2^2 - 0.354x_2 + 4.826$. Based on the differential coefficients of above models, the optimal acaricidal activities of scopoletin and BDMC were obtained at 23.2 and 25.3℃, respectively, with the LC₅₀ values of 0.1828 and 0.3504 mg/mL, respectively. It is so concluded that the toxicities of scopoletin and BDMC exhibit a positive temperature coefficient first and then exhibit a negative temperature coefficient with increasing temperature.

Key words: *Tetranychus cinnabarinus*; scopoletin; bisdemethoxycurcumin; toxicity; temperature effect

朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* 是广泛分布于世界温带地区及温室的重要杂食性害螨之一, 其个体小、发育快、繁殖力强和易产生抗药性, 且寄

主广泛, 严重危害 100 余种作物 (Biswas *et al.*, 2004)。为解决朱砂叶螨的危害及易产生抗药性的特点, 众多研究者从不同的领域开展了对朱砂叶螨

基金项目: 科技部农业科技成果转化基金(2010GB2F100388); 教育部博士点新教师基金(20100182120021)

作者简介: 杨振国, 男, 1986 年生, 云南砚山人, 硕士研究生, 研究方向为天然产物农药, E-mail: zhenguoyang@qq.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: zhangyq80@tom.com

收稿日期 Received: 2011-12-28; 接受日期 Accepted: 2012-03-29

的防治研究。有研究表明,植物源杀螨活性物质东莨菪内酯和双脱甲氧基姜黄素具有良好的杀螨活性。黄花蒿 *Artemisia annua* 7 月份叶的丙酮提取物对朱砂叶螨和柑桔全爪螨 *Panonychus citri* 均有较强触杀活性的主要活性成分为东莨菪内酯(Zhang *et al.*, 2008; 张永强, 2008; 张永强等, 2009); 梁为等(2011a) 从瑞香狼毒 *Stellera chamaejasme* 中分离出东莨菪内酯, 其对朱砂叶螨具有触杀和内吸活性。源于姜黄 *Curcuma longa* 中的双脱甲氧基姜黄素对朱砂叶螨各螨态具有较强的触杀、驱避及产卵抑制活性(张永强等, 2004, 2007; 雍小菊等, 2011)。因此, 东莨菪内酯与双脱甲氧基姜黄素具有开发为植物性杀螨剂的潜力。

杀虫剂的毒力受到药剂本身、受体生理代谢、环境条件等多方面因素的影响。De Silva 等(2009) 研究不同温度和土壤类型对毒死蜱、卡巴呋喃和多菌灵对安德爱胜蚜 *Eisenia andrei* 的毒性表明温度是影响毒性的重要因子。温度对不同类型杀虫剂及同类型杀虫剂对不同靶标生物存在不同的温度效应, 马拉硫磷对四纹豆象 *Callosobruchus maculatus*、绿豆象 *C. chinensis* 和罗得西亚豆象 *C. rhodesianus* 的毒性呈正温度系数(Gbaye *et al.*, 2011); 部分拟除虫菊酯类杀虫剂对某些昆虫具有负温度系数, 但在 17 ~ 37℃ 范围内, 溴氰菊酯和苯联菊酯对水稻二化螟 *Chilo suppressalis* 4 龄幼虫的生物活性表现为正温度系数, 其温度系数分别为 5.59 和 1.68(Li *et al.*, 2006, 2009)。徐建陶等(2008) 发现苦参碱对瓜蚜 *Aphis gossypii* 的毒力与温度呈正相关, 印楝素对瓜蚜的毒力与温度呈负相关。阿维菌素系列化合物在一定温度范围内对小菜蛾 *Plutella xylostella*、朱砂叶螨和二斑叶螨 *T. urticae* 的毒力与温度呈正相关(李慧冬和罗万春, 2004; 罗雁婕等, 2004)。在实验过程中, 我们发现东莨菪内酯和双脱甲氧基姜黄素对朱砂叶螨的触杀活性也会受到温度的影响。据此, 本实验研究了不同温度对东莨菪内酯与双脱甲氧基姜黄素杀螨活性的影响, 明确两者杀螨活性的温度效应, 为两者制剂的研发和有效使用提供了理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试螨类

朱砂叶螨初始种群采自重庆市北碚区田间的豇豆苗上, 在智能人工气候箱内温度 $26 \pm 1^\circ\text{C}$, RH

60% ~ 80%, 光周期 14L: 10D 条件下, 用蛭石盆栽豇豆苗饲养 12 年, 未接触任何农药所获得的敏感品系。用零号毛笔挑取大小一致、颜色鲜艳的活泼雌成螨, 将其背部粘于贴有双面胶的玻璃片上, 在处理温度下放置 4 h, 用双目解剖镜检查, 剔除死亡和不活泼的个体, 获得供试活螨。

1.2 供试药剂

74.5% 东莨菪内酯 (scopoletin), 为实验室从 2011 年 7 月份采集的黄花蒿叶中分离纯化所得; 90% 双脱甲氧基姜黄素 (bisdemethoxycurcumin), 购自河北食品添加剂有限公司。

1.3 毒力测定方法

毒力测定参照 FAO 推荐的测定螨类抗药性的标准方法——玻片浸渍法(Busvine, 1980)。记录活螨数。

取适量东莨菪内酯与双脱甲氧基姜黄素原药, 加入 5% 的丙酮, 使原药充分地溶解, 再用 0.1% 吐温 80 水溶液将东莨菪内酯丙酮液稀释成 1.0, 0.5, 0.25, 0.125 和 0.0625 mg/mL, 将双脱甲氧基姜黄素丙酮液稀释成 2.0, 1.0, 0.5, 0.25 和 0.1255 mg/mL, 以 0.1% 吐温 80 水溶液中加入 5% 的丙酮为对照。施药方法为将玻片粘有害螨的一端浸入供试液中 5 s 后取出, 用吸水纸吸去螨体周围的多余的药液, 施药后的害螨分别置于温度设置为 8℃, 11℃, 14℃, 18℃, 19℃, 20℃, 23℃, 26℃, 28℃, 29℃, 32℃ 和 34℃, RH 60% ~ 80%, 光周期 14L: 10D 的智能人工气候箱中, 在双目解剖镜下每 24 h 检查一次害螨死亡情况, 共观察 2 d。用零号毛笔轻触螨体, 以其螯肢不动者为死亡。每个浓度和对照处理 120 头成螨, 实验重复 3 次。

1.4 数据统计与分析

实验数据均由 SPSS 软件(SPSS17.0) 统计完成; 相对毒力的计算是以具有最大 LC_{50} 值的温度下药剂的相对毒力为 1, 其他各温度下药剂的相对毒力为最大 LC_{50} 值除以该温度下药剂的 LC_{50} 值。

2 结果与分析

2.1 不同温度下东莨菪内酯的杀螨活性

不同温度下, 74.5% 东莨菪内酯对朱砂叶螨雌成螨处理后 48 h 的毒力测定结果见表 1。东莨菪内酯对朱砂叶螨雌成螨的毒力在 8 ~ 26℃ 的温度范围内呈正温度系数; 在 26 ~ 34℃ 的温度范围内呈负温度系数。温度为 23℃ 和 26℃ 条件下杀螨活性较好,

处理后 48 h 的致死中浓度(LC_{50}) 分别为 0.1930 和 0.1884 mg/mL, 相对毒力分别为 8.23 和 8.43; 在 8℃ 和 11℃ 条件下处理后 48 h 的 LC_{50} 分别为 1.5882 和 1.0456 mg/mL, 其相对毒力与 23℃ 和 26℃ 时的相对毒力相差近 8 倍。28℃ 下的毒力是递减的转折

点, 处理后 48 h 的 LC_{50} 为 0.2694 mg/mL。因此, 在不同的温度下, 东莨菪内酯对朱砂叶螨的毒力存在一定的差异, 18 ~ 28℃ 温度范围内, 东莨菪内酯对朱砂叶螨雌成螨的毒力较佳, 23 ~ 26℃ 为最佳毒力温度, 表现出明显温度效应。

表 1 不同温度下东莨菪内酯对朱砂叶螨雌成螨的毒力测定 (处理后 48 h)
Table 1 The toxicity of scopoletin against female adults of *Tetranychus cinnabarinus* at different temperatures (48 h after treatment)

温度(℃) Temperature	毒力回归方程 Toxicity regression equation	相关系数 r	LC_{50} 及 95% 置信区间(mg/mL) LC_{50} and 95% CI	相对毒力 Relative toxicity
8	$y = 4.7196 + 1.3954x$	0.9880	1.5882(1.1441 - 2.2048)	1.00
11	$y = 4.9835 + 0.8511x$	0.9787	1.0456(0.6011 - 1.8190)	1.52
14	$y = 5.1177 + 1.6525x$	0.9743	0.8487(0.5862 - 1.2288)	1.87
18	$y = 5.4347 + 1.0986x$	0.9647	0.4021(0.1635 - 0.9889)	3.95
19	$y = 5.6990 + 1.5802x$	0.9893	0.3611(0.2968 - 0.4398)	4.40
20	$y = 5.7103 + 1.1499x$	0.9944	0.2412(0.1911 - 0.3044)	6.58
23	$y = 6.2613 + 1.7655x$	0.9828	0.1930(0.1436 - 0.2595)	8.23
26	$y = 5.9524 + 1.3139x$	0.9864	0.1884(1.7806 - 0.1956)	8.43
28	$y = 5.6550 + 1.1499x$	0.9528	0.2694(0.2131 - 0.3405)	5.90
29	$y = 5.2825 + 1.5381x$	0.9762	0.6551(0.4999 - 0.8586)	2.42
32	$y = 5.1001 + 1.8644x$	0.9909	0.8837(0.7616 - 1.0253)	1.80
34	$y = 5.1459 + 1.4562x$	0.9814	0.7939(0.6650 - 0.9479)	2.00

2.2 不同温度下双脱甲氧基姜黄素的杀螨活性

90% 双脱甲氧基姜黄素在不同温度下对朱砂叶螨雌成螨处理后 48 h 的毒力测定结果见表 2。双脱甲氧基姜黄素对朱砂叶螨雌成螨的毒力的温度效应与东莨菪内酯的相似, 其毒力在 8 ~ 26℃ 的温度范围内呈正温度系数; 在 26 ~ 34℃ 的温度范围内呈负温度系数。26℃ 的条件下, 双脱甲氧基姜黄素对朱砂叶螨雌成螨的毒力最大, 处理后 48 h 的 LC_{50} 为 0.3376 mg/mL, 相对毒力为 6.93; 8℃ 和 11℃ 下的毒力与最高毒力相差近 7 倍, 处理后 48 h 的 LC_{50} 分别为 2.3388 和 2.0228 mg/mL。32℃ 下的毒力与 26℃ 条件下的毒力存在 3 倍之差, 处理后 48 h 的 LC_{50} 为 1.3834 mg/mL。

此外, 由表 1 和表 2 可知, 在 20 ~ 26℃ 的温度下, 东莨菪内酯和双脱甲氧基姜黄素表现出良好的杀螨活性, 两者对朱砂叶螨雌成螨的毒力具有相同的温度效应。

2.3 两种药剂对朱砂叶螨的毒力与温度的关系

为进一步明确温度对东莨菪内酯和双脱甲氧基姜黄素杀螨活性的影响, 本研究利用 SPSS 软件拟

合了东莨菪内酯和双脱甲氧基姜黄素对朱砂叶螨雌成螨处理后 48 h 的致死中浓度(y) 与温度(x) 的关系, 拟合结果为, 东莨菪内酯: $y_1 = 0.006x_1^2 - 0.278x_1 + 3.403$ ($F = 63.53$, $r = 0.9660$); 双脱甲氧基姜黄素: $y_2 = 0.007x_2^2 - 0.354x_2 + 4.826$ ($F = 18.64$, $r = 0.8980$), 其拟合曲线分别如图 1 的 A 和 B 图所示。

对上述方程求 y 的最小值, 结果为, 东莨菪内酯: 当 $x_1 = 23.2$ ℃ 时, $y_{1\min} = 0.1828$ mg/mL; 双脱甲氧基姜黄素: 当 $x_2 = 25.3$ ℃ 时, $y_{2\min} = 0.3504$ mg/mL。即从理论上讲, 东莨菪内酯和双脱甲氧基姜黄素对朱砂叶螨雌成螨的最高毒力温度分别为 23.2℃ 和 25.3℃, 此条件下杀螨活性最好, 处理后 48 h 的 LC_{50} 分别为 0.1828 和 0.3504 mg/mL, 拟合方程所得结果与毒力测定结果基本吻合, 表明 20 ~ 26℃ 的温度下, 东莨菪内酯和双脱甲氧基姜黄素对朱砂叶螨雌成螨具有较好的触杀活性。

3 讨论

杀虫剂产生温度效应的因素可能是温度影响了

表 2 不同温度下双脱甲氧基姜黄素对朱砂叶螨雌成螨的毒力测定 (处理后 48 h)

Table 2 The toxicity of bisdemethoxycurcumin against female adults of *Tetranychus cinnabarinus* at different temperature (48 h after treatment)

温度 (°C)	毒力回归方程	相关系数	LC ₅₀ 及 95% 置信区间 (mg/mL)	相对毒力
Temperature	Toxicity regressive equation	<i>r</i>	LC ₅₀ and 95% CI	Relative toxicity
8	$y = 4.1297 + 2.8447x$	0.9546	2.0228 (1.5773 - 2.5941)	1.16
11	$y = 4.5730 + 1.1573x$	0.9684	2.3388 (1.4886 - 3.6745)	1.00
14	$y = 4.7338 + 1.3930x$	0.9915	1.5528 (1.1289 - 2.1358)	1.51
18	$y = 5.2093 + 1.3518x$	0.9802	0.7001 (0.5612 - 0.8734)	3.34
19	$y = 5.3799 + 1.7284x$	0.9793	0.6029 (0.5093 - 0.7136)	3.88
20	$y = 5.2969 + 1.0451x$	0.9698	0.5198 (0.4018 - 0.6726)	4.50
23	$y = 5.4212 + 1.3097x$	0.9891	0.4769 (0.3686 - 0.6170)	4.90
26	$y = 5.5775 + 1.2246x$	0.9955	0.3376 (0.2658 - 0.4289)	6.93
28	$y = 5.2420 + 1.0451x$	0.9537	0.5868 (0.4518 - 0.7622)	3.98
29	$y = 5.0878 + 1.8438x$	0.9909	0.8962 (0.7718 - 1.0407)	2.61
32	$y = 4.8086 + 1.3578x$	0.9810	1.3834 (1.0183 - 1.8769)	1.69
34	$y = 5.0153 + 1.2749x$	0.9838	0.9727 (0.7452 - 1.2697)	2.40

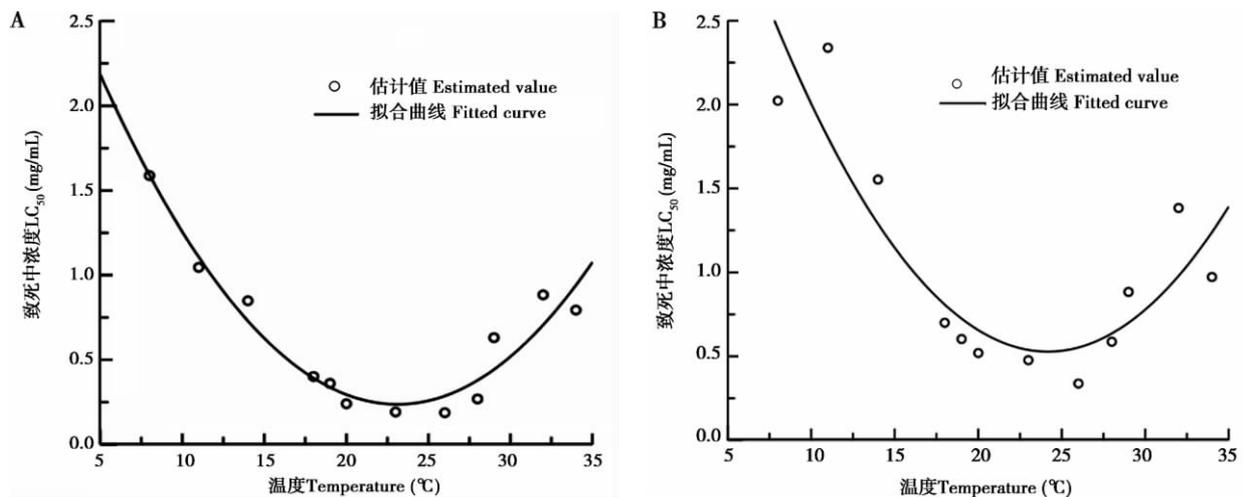


图 1 温度与东莨菪内酯 (A) 和双脱甲氧基姜黄素 (B) 对朱砂叶螨雌成螨毒力的关系

Fig. 1 Relationship between temperature and toxicities of scopoletin (A) and bisdemethoxycurcumin (B) against female adults of *Tetranychus cinnabarinus*

杀虫剂药剂的稳定性、生物体的生理代谢及药剂在生物体内的穿透与代谢转化等。东莨菪内酯对朱砂叶螨体内的超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase, SOD)、谷胱甘肽-S-转移酶 (glutathione-S-transferases, GSTs)、 Ca^{2+} - Mg^{2+} -ATP 酶、单胺氧化酶 (monoamine oxidase, MAO)、乙酰胆碱酯酶 (acetylcholinesterase, AChE) 等酶活性具有显著的抑制作用 (梁为等, 2011b); 双脱甲氧基姜黄素对朱砂叶螨的作用机理可能为抑制螨体的过氧化氢酶 (catalase, CAT)、SOD、GSTs 及 AChE 的活性 (张永

强, 2005)。在不同温度下, 朱砂叶螨对药剂的敏感性不同, 何林等 (2005, 2008) 研究发现在 20 ~ 31°C 条件下, 阿维菌素抗性品系、甲氰菊酯抗性品系和敏感品系的适合度相似, 但阿维菌素抗性品系对高温 (34°C) 的适应能力强于敏感品系。冯宏祖等 (2008) 将阿维菌素抗性品系和敏感品系朱砂叶螨置于低温 (0 ~ 15°C) 或高温 (34 ~ 40°C) 下处理 1 h 后, 螨体内的自由基 (O_2^-) 和保护酶 (SOD, CAT 和 POD) 的活力显著升高, 抗性增强。据东莨菪内酯和双脱甲氧基姜黄素的杀螨机理, 在 8 ~ 18°C 和

29 ~ 34℃ 时,朱砂叶螨体内的自由基和保护酶的活力可能升高而增强抗药性,使两者的杀螨活性降低。因此,东茛菪内酯和双脱甲氧基姜黄素对朱砂叶螨的温度效应可能与其杀螨机理及朱砂叶螨在不同温度下的生理代谢有关。

东茛菪内酯与双脱甲氧基姜黄素的化学结构中均含有类似“丁烯酮”或“苯丁烯酮”的结构,两者具有抗氧化、抗菌、抗炎、抗肿瘤等多方面相同的药理作用(Jayaprakasha *et al.*, 2006; Manuele *et al.*, 2006; Nacef *et al.*, 2010; Yang *et al.*, 2010),特别是两者均可抑制小鼠大脑海马体内的 AChE 的活性,能显著地提高学习和记忆的作用,具有治疗老年痴呆症的潜力(Ahmed and Gilani, 2009; Hornicka *et al.*, 2011)。因此,“丁烯酮”或“苯丁烯酮”结构可能是两者具有相同的药理活性和相似的杀螨作用机理及温度效应的重要原因。在相同温度下,双脱甲氧基姜黄素的 LC₅₀ 值均是东茛菪内酯的 LC₅₀ 值的 2 倍,可能源于东茛菪内酯只有一个类似“苯丁烯酮”的结构,而双脱甲氧基姜黄素具有两个类似“苯丁烯酮”的结构,其对害螨作用靶标起阻碍作用,使其毒力低于东茛菪内酯的毒力,最佳毒力温度也略高于东茛菪内酯的最佳毒力温度。

东茛菪内酯与双脱甲氧基姜黄素具有较高的熔点,分别约为 204℃ (Vasconcelos *et al.*, 1998) 和 222℃ (Péret-Almeida *et al.*, 2005), 但是否因其热稳定性影响杀螨活性,还有待进一步的研究。朱砂叶螨生殖和种群增长的最适温度是 22℃ 左右(王兴科等, 2008), 害螨生长发育和危害的高峰期的温度条件也是东茛菪内酯与双脱甲氧基姜黄素发挥较好的毒力的温度条件。因此,将东茛菪内酯与双脱甲氧基姜黄素开发为杀螨剂具有较大的潜力。本实验对东茛菪内酯与双脱甲氧基姜黄素杀螨活性的温度效应的研究,仅从不同温度下处理后 48 h 的触杀活性进行分析和推断,具体原因有待于从东茛菪内酯与双脱甲氧基姜黄素的热稳定性及不同温度下朱砂叶螨对两者的生理代谢方面进行更深层次的研究。

综上所述,东茛菪内酯与双脱甲氧基姜黄素对朱砂叶螨的毒力具有明显的温度效应,20 ~ 26℃ 的温度下,两者对朱砂叶螨雌成螨的毒力最大; SPSS 拟合的结果表明,东茛菪内酯和双脱甲氧基姜黄素分别在 23.2℃ 和 25.3℃ 条件下,对朱砂叶螨雌成螨的毒力最大。因此,东茛菪内酯和双脱甲氧基姜黄素开发为杀螨剂后,在使用时,应根据适宜的温

度条件来确定何时施药,才能达到理想防治效果。

参考文献 (References)

- Ahmed T, Gilani AH, 2009. Inhibitory effect of curcuminoids on acetylcholinesterase activity and attenuation of scopolamine-induced amnesia may explain medicinal use of turmeric in Alzheimer's disease. *Pharm. Biochem. Behav.*, 91(4): 554–559.
- Biswas GC, Islam W, Haque MM, Saha RK, Hoque KMF, Islam MS, Haque ME, 2004. Some biological aspects of carmine spider mite, *Tetranychus cinnabarinus* Bois. (Acari: Tetranychidae) infesting egg-plant from Rajshahi. *J. Biol. Sci.*, 4(5): 588–591.
- Busvine JR, 1980. Recommended methods for measurement of resistance to pesticides. *Plant Production and Protection Paper*, 21: 49–54.
- De Silvap MCS, Pathiratne A, van Gestel CAM, 2009. Influence of temperature and soil type on the toxicity of three pesticides to *Eisenia andrei*. *Chemosphere*, 76(10): 1410–1415.
- Feng HZ, Liu YH, He L, Lu RE, Yang DX, 2008. Effects of abamectin and temperature stresses on free radicals and protective enzyme activities in *Tetranychus cinnabarinus*. *Acta Phytophylacica Sinica*, 35(6): 530–536. [冯宏祖, 刘映红, 何林, 陆蕊娥, 杨大兴, 2008. 阿维菌素和温度胁迫对朱砂叶螨自由基及保护酶活性的影响. *植物保护学报*, 35(6): 530–536]
- Gbaya OA, Millard JC, Holloway GJ, 2011. Legume type and temperature effects on the toxicity of insecticide to the genus *Callosobruchus* (Coleoptera: Bruchidae). *J. Stored Prod. Res.*, 47(1): 8–12.
- He L, Xue CH, Zhao ZM, Wang JJ, 2008. Relative fitness of *Tetranychus cinnabarinus* resistant strains at different temperatures. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 19(11): 2449–2454. [何林, 薛传华, 赵志模, 王进军, 2008. 朱砂叶螨抗性品系不同温度下的相对适合度. *应用生态学报*, 19(11): 2449–2454]
- He L, Zhao ZM, Cao XF, Deng XP, Wang JJ, 2005. Effect of temperature on development and fecundity of resistant *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduvai). *Acta Entomologica Sinica*, 48(2): 203–207. [何林, 赵志模, 曹小芳, 邓新平, 王进军, 2005. 温度对抗性朱砂叶螨发育和繁殖的影响. *昆虫学报*, 48(2): 203–207]
- Hornicka A, Lieb A, Vo NP, Rollinger JM, Stuppner H, Prast H, 2011. The coumarin scopoletin potentiates acetylcholine release from synaptosomes, amplifies hippocampal long-term potentiation and ameliorates anticholinergic- and age-impaired memory. *Neuroscience*, 197: 280–292.
- Jayaprakasha GK, Jagannathan Rao L, Sakariah KK, 2006. Antioxidant activities of curcumin, demethoxycurcumin and bisdemethoxycurcumin. *Food Chem.*, 98(4): 720–724.
- Li HD, Luo WC, 2004. The toxicity of avermectin series to diamondback moth *Plutella xylostella* (L.) under different temperature scales and ultraviolet light. *Acta Phytophylacica Sinica*, 31(2): 190–197. [李慧冬, 罗万春, 2004. 温度与光照对阿维菌素系列化合物毒力发挥的效应. *植物保护学报*, 31(2): 190–197]
- Li HP, Feng T, Liang P, Shi XY, Gao XW, Jiang H, 2006. Effect of temperature on toxicity of pyrethroids and endosulfan, activity of

- mitochondrial $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPase}$ and $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{ATPase}$ in *Chilo suppressalis* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae). *Pestic. Biochem. Physiol.*, 86(3): 151–156.
- Li HP, Feng T, Shi XY, Liang P, Zhang Q, Gao XW, 2009. Effects of pyrethroids and endosulfan on fluidity of mitochondria membrane in *Chilo suppressalis* (Walker). *Pestic. Biochem. Physiol.*, 95(2): 72–76.
- Liang W, Bai XN, Cheng J, Shi GL, Wang YN, Wang ZQ, 2011a. Isolation and identification of the principal acaricidal components from *Stellera chamaejasme*. *Acta Horticulturae Sinica*, 38(5): 947–954. [梁为, 白雪娜, 成军, 师光禄, 王有年, 王战全, 2011a. 瑞香狼毒杀螨活性物质的分离与鉴定. 园艺学报, 38(5): 947–954]
- Liang W, Bai XN, Ma LQ, Shi GL, Wang YN, 2011b. Preliminary study on scopoletin toxicity to *Tetranychus cinnabarinus* and its acaricidal mechanism. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2011, 38(8): 68–71. [梁为, 白雪娜, 马兰青, 师光禄, 王有年, 2011b. 东莨菪素对朱砂叶螨的毒力及杀螨机理初探. 广东林业科学, 38(8): 68–71]
- Luo YJ, Wu WW, He CX, Yin KS, 2004. Effects of temperature on acaricidal activity of avermectin. *Plant Protection*, 30(2): 67–69. [罗雁婕, 吴文伟, 何成兴, 尹可锁, 2004. 温度对阿维菌素(Avermectin)杀螨活性的影响. 植物保护, 30(2): 67–69]
- Manuele MG, Ferraro G, Arcos MLB, López P, Cremaschi G, Anesini C, 2006. Comparative immunomodulatory effect of scopoletin on tumoral and normal lymphocytes. *Life Sci.*, 79(21): 2043–2048.
- Nacef S, Jannet HB, Abreu P, Mighri Z, 2010. Phenolic constituents of *Convolvulus dorycnium* L. flowers. *Phytochem. Lett.*, 3(2): 66–69.
- Péret-Almeida L, Cherubino APF, Alves RJ, Dufossé L, Glória MBA, 2005. Separation and determination of the physico-chemical characteristics of curcumin, demethoxycurcumin and bisdemethoxycurcumin. *Food Res. Int.*, 38(8–9): 1039–1044.
- Vasconcelos MJM, Silva AMS, Cavaleiro JAS, 1998. Chromones and flavanones from *Artemisia campestris* subsp. *maritima*. *Phytochemistry*, 49(5): 1421–1424.
- Wang XK, Wu FA, Tao SQ, Wang W, Cheng JL, 2008. Effects of temperature on population of carmine spider mite (*Tetranychus cinnabarinus*) fed with white mulberry (*Morus alba*). *Acta Ecologica Sinica*, 28(6): 2645–2653. [王兴科, 吴福安, 陶士强, 汪伟, 程嘉翎, 2008. 桑树(*Morus alba*)朱砂叶螨(*Tetranychus cinnabarinus*)实验种群的温度效应. 生态学报, 28(6): 2645–2653]
- Xu JT, Gao CF, Sun DW, Shen JL, Zhou WJ, Xie JW, Peng Z, 2008. Test for bioactivity of several botanical pesticides on aphids. *Acta Agriculturae Shanghai*, 24(1): 91–94. [徐建陶, 高聪芬, 孙定炜, 沈晋良, 周威君, 谢建伟, 彭震, 2008. 几种植物源农药对蚜虫的生物活性测定. 上海农业学报, 24(1): 91–94]
- Yang JY, Zhang LJ, Zhao SQ, Yuan D, Lian GN, Wang XX, Zhang HT, Wang LH, Wu CF, 2010. Demethoxycurcumin, bisdemethoxycurcumin, two natural derivatives of curcumin, attenuates LPS-induced pro-inflammatory responses through down-regulation of intracellular ROS-related MAPK/NF κ B signaling pathways in N9 microglia induced by lipopolysaccharide. *Neurosci. Res.*, 68(1): 451–452.
- Yong XJ, Ding W, Zhang YQ, Li MX, 2011. Bioactivity and action modes of bisdemethoxycurcumin against *Tetranychus cinnabarinus* Bois. (Acari: Tetranychidae). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 22(6): 1592–1598. [雍小菊, 丁伟, 张永强, 李明霞, 2011. 双去甲氧基姜黄素对朱砂叶螨的生物活性及作用方式. 应用生态学报, 22(6): 1592–1598]
- Zhang YQ, 2005. Studies on Insecticidal and Miticidal Activities of Chinese Traditional Medicine Turmeric *Curcuma longa* and Its Action Mechanism. MSc Thesis, Southwest Agricultural University, Chongqing. [张永强, 2005. 中药植物姜黄 *Curcuma longa* 杀虫杀螨活性及作用机理研究. 重庆: 西南农业大学硕士学位论文]
- Zhang YQ, 2008. Studies on Acaricidal Action Mechanism and Bio-guided Isolation of Bioactive Substance from *Artemisia annua* L. PhD Dissertation, Southwest University, Chongqing. [张永强, 2008. 黄花蒿杀螨物质活性追踪及杀螨作用机理研究. 重庆: 西南大学博士学位论文]
- Zhang YQ, Ding W, Tian L, Zhao ZM, 2009. Acaricidal bioactivity of *Artemisia annua* extracts against *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae). *Scientia Agricultura Sinica*, 42(6): 2217–2222. [张永强, 丁伟, 田丽, 赵志模, 2009. 黄花蒿提取物对柑橘全爪螨的生物活性. 中国农业科学, 42(6): 2217–2222]
- Zhang YQ, Ding W, Zhao ZM, 2007. Biological activities of curcuminoids against *Tetranychus cinnabarinus* Boisduval (Acari: Tetranychidae). *Acta Entomologica Sinica*, 50(12): 1304–1308. [张永强, 丁伟, 赵志模, 2007. 姜黄素类化合物对朱砂叶螨的生物活性. 昆虫学报, 50(12): 1304–1308]
- Zhang YQ, Ding W, Zhao ZM, 2008. Studies on acaricidal bioactivities of *Artemisia annua* L. extracts against *Tetranychus cinnabarinus* Bois. (Acari: Tetranychidae). *Scientia Agricultura Sinica*, 7(5): 577–584
- Zhang YQ, Ding W, Zhao ZM, Wang JJ, Liao HJ, 2004. Research on acaricidal bioactivities of turmeric, *Curcuma longa*. *Acta Phytophylacica Sinica*, 31(4): 390–394. [张永强, 丁伟, 赵志模, 王进军, 廖涵杰, 2004. 姜黄对朱砂叶螨的生物活性. 植物保护学报, 31(4): 390–394]

(责任编辑: 赵利辉)