

不同温度效应杀虫剂诱导对绿盲蝽三种解毒酶活力的影响*

刘 佳^{1,2**} 高占林¹ 党志红¹ 潘文亮¹ 袁文龙³ 朱利红⁴ 李耀发^{1***}

(1. 河北省农林科学院植物保护研究所, 河北省农业有害生物综合治理工程技术研究中心, 农业部华北北部作物有害生物综合治理重点实验室, 保定 071000 ;2. 河北农业大学植物保护学院, 保定 071000 ;3. 河北省植保植检站, 石家庄 050011 ;4. 高碑店园林局, 高碑店 074000)

摘 要 【目的】为了明确解毒酶对绿盲蝽 *Apolygus lucorum* 防治药剂温度效应的影响机制。【方法】本文测定了绿盲蝽 3 龄若虫体内 3 种主要解毒酶活力随温度变化的“钟形”曲线, 以及在不同温度效应杀虫剂诱导后对绿盲蝽体内解毒酶“钟形”曲线的影响。【结果】在供试温度 10~40℃ 范围内, 绿盲蝽体内 3 种主要解毒酶, 在 25℃ 时活力均最高, 且显著高于其他温度处理。在不同温度下, 4 种不同温度效应杀虫剂诱导后对绿盲蝽体内解毒酶活力影响测定结果来看, 谷胱甘肽-S-转移酶受杀虫剂诱导影响, 可能参与了负温度效应杀虫剂溴虫腈的代谢, 其在 20~30℃ 的温度范围内, 可能参与了吡虫啉和辛硫磷的部分代谢, 而正温度效应杀虫剂氟铃脲在低温时毒力较低, 可能与其诱导该酶在低温时活力升高相关。在 15℃ 左右的低温时, 绿盲蝽体内羧酸酯酶和多功能氧化酶易受氟铃脲和溴虫腈诱导而活力增加, 而在 20~35℃, 这两种酶活力不易受杀虫剂诱导, 且辛硫磷、溴虫腈和吡虫啉可对绿盲蝽体内两种酶活力产生一定的抑制作用。【结论】绿盲蝽体内解毒酶活力可明显受到温度影响, 而在杀虫剂诱导条件下, 其可对绿盲蝽防治药剂的温度效应产生显著影响。

关键词 解毒酶, 绿盲蝽, 温度效应, 杀虫剂诱导, “钟形”曲线

The effect of temperature on the activity of three detoxification enzymes in *Apolygus lucorum*

LIU Jia^{1,2**} GAO Zhan-Lin¹ DANG Zhi-Hong¹ PAN Wen-Liang¹
YUAN Wen-Long³ ZHU Li-Hong⁴ LI Yao-Fa^{1***}

(1. Plant Protection Institute, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, IPM Center of Hebei Province, Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northern Region of North China, Ministry of Agriculture, Baoding 071000, China; 2. College of Plant Protection, Hebei Agriculture University, Baoding 071000, China; 3. Plant Protection and Quarantine Station of Hebei Province, Shijiazhuang 050011, China; 4. Forestry and Garden Bureau of Gaobeidian City, Gaobeidian 074000)

Abstract [Objectives] To clarify the role of temperature on detoxification enzymes and pesticide resistance in *Apolygus lucorum*. [Methods] Temperature-dependent "bell shaped" curves of the three main detoxification enzymes of *A. lucorum* were measured, and the effects on these curves on different insecticides were determined. [Results] The results show that the activity of the three main detoxification enzymes are highest at 25℃, and significantly higher within the range of 10-40℃ than at other temperatures. The impact of detoxification enzymes of *A. lucorum* on insecticides that have temperature-dependent effects, indicate that the GST may be involved in the chlorfenapyr detoxification mechanism, the effectiveness of which is reduced by temperature in this insect. Between 20-30℃ the GST may be involved in the partial detoxification of imidacloprid and phoxim, and the low toxicity of hexaflumuron at low temperatures may also be correlated with this enzyme. CarE and MFO activity increased at about 15℃, and could be induced by the insecticides chlorfenapyr and hexaflumuron. Between

* 资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金资助项目 (31201553); 公益性行业(农业)科研专项(201103012)

**第一作者 First author, E-mail: 15031210252@126.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: liyaofo@126.com

收稿日期 Received: 2015-03-19, 接受日期 Accepted: 2015-03-25

20-35℃, the activities of these two enzymes were not easily induced by the tested insecticides, but they could be inhibited by phoxim, chlorfenapyr and imidacloprid to some degree. **[Conclusion]** The results show that, after induction by pesticides, the activities of certain detoxification enzymes of *A. lucorum* are clearly affected by temperature, and that can have a significant influence on pesticide performance.

Key words detoxification enzymes, *Apolygus lucorum*, temperature effects, pesticide induction, "bell shaped" curves

温度是影响杀虫剂活性的重要因素之一,其通过影响杀虫剂自身的理化性质以及昆虫的新陈代谢等来影响杀虫剂的毒力和防效,产生不同的温度效应。同类杀虫剂对不同种昆虫,甚至同类杀虫剂不同药剂品种对同种昆虫的温度效应也可能存在较大差异(马云华等, 2010)。有机磷类杀虫剂和氨基甲酸酯类杀虫剂对昆虫多表现为正温度效应(Norment and Chambers, 1970; Cbalfant, 1973),拟除虫菊酯类杀虫剂对部分昆虫表现为负温度效应(Harris and Kinoshita, 1977; Syrett and Penman, 1980; Sparks *et al.*, 1983),但是对某些昆虫却表现出正温度效应(应松鹤, 1986)。新型杀虫剂中的新烟碱类、阿维菌素类、吡啶类等杀虫剂对供试昆虫均表现为正温度效应(顾晓军等, 2009; 王圆圆等, 2012; 李贤贤等, 2014)。而杀虫剂温度效应机制方面研究表明,在不同温度下昆虫对杀虫剂的吸收、体内分布以及解毒代谢等,均可能引起杀虫剂毒力和防效的差异(苏寿和叶炳辉, 1996; Liu *et al.*, 2006; Li *et al.*, 2006)。

昆虫体内解毒酶是在农药长期作用下,产生的一类能够代谢大量的内源或外源底物的异质酶系(吴青君等, 2001; 卢芙蓉等, 2006)。谷胱甘肽-S-转移酶(GST)、羧酸酯酶(CarE)以及细胞色素 P-450 介导的多功能氧化酶(MFO)是昆虫体内重要的解毒酶系,在机体代谢有毒化合物、保护细胞免受急性毒性化学物质攻击中起到了重要作用(马云华等, 2011)。温度与昆虫体内解毒酶系活力关系的试验表明,在 10~30℃ 范围内小菜蛾 *Plutella xylostella* 3 龄幼虫体内 CarE 活力随着温度的升高而升高,呈现正温度效应(张建军, 2007),而在 24~36℃ 范围内小菜蛾 4 龄幼虫体内 CarE 活力随着温度升高而降

低,呈负温度效应(张晓燕, 2011)。温度对不同性别 B 型烟粉虱解毒酶活力影响不同,其中雌性个体 GSTs 与温度呈正相关性,雄性个体 GSTs 和 CarE 均与温度呈负相关性(陈常理, 2011)。也有研究表明,环境温度造成了田间小菜蛾体内解毒酶(CarE、GST、MFO)活力随季节变化,一定程度上造成了小菜蛾抗药性水平随着季节性的变化而波动(刘群, 2009)。杀虫剂诱导昆虫体内解毒酶活力试验表明,用氟虫腈亚致死剂量处理二化螟 *Chilo suppressalis* 和大螟 *Sesamia inferens* 幼虫后发现对其体内主要解毒酶系(MFO、CarE 和 GST)的影响是不同的,可能是氟虫腈在两种螟虫体内的代谢途径不同引起的(黄诚华等, 2006)。而用不同杀虫剂处理水稻负泥虫幼虫,发现其体内解毒酶的变化相对较大且差异较为明显,表明解毒酶的变化在害虫抵抗杀虫剂处理过程中起到指示作用(于磊等, 2011)。

绿盲蝽 *Apolygus lucorum* (Meyer-Dür) 属半翅目 Hemipter, 盲蝽科 Miridae。20 世纪 90 年代末,由于转基因抗虫棉的大规模种植,使得棉铃虫 *Helicoverpa armigera* Hübner 的种群数量急剧下降,造成生态位空缺。加之杀虫剂的使用量大幅下降,棉田盲蝽危害逐步加剧,成为主要害虫(Wu *et al.*, 2002, 2005; Lu *et al.*, 2010)。马云华等(2011)测定了 8 种杀虫剂对绿盲蝽室内毒力的温度效应,并初步测定了绿盲蝽体内解毒酶随温度而产生的活力变化,推测其可能是杀虫剂产生不同温度效应的成因(Ma *et al.*, 2012)。基于此,本文通过研究绿盲蝽体内主要解毒酶系随温度变化的“钟形”曲线,以及不同温度效应杀虫剂诱导后在不同温度下对绿盲蝽体内解毒酶“钟形”曲线的影响,为进一步探索杀虫剂毒

力温度效应的酶学机制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试昆虫 绿盲蝽，河北省农林科学院植物保护研究所杀虫剂组养虫室【温度 (25±1) °C，相对湿度 60%~80%】，在不接触任何药剂的情况下用新鲜豇豆角（品种为“特选早豇豆王 128”）作为天然饲料连续饲养多代，挑取健康、活泼的初孵若虫备用。

1.1.2 供试药剂 吡虫啉 95%原药（河北威远生物化工股份有限公司）；辛硫磷 90%原药（山东华阳科技股份有限公司）；溴虫腈 97%原药（河北德瑞化工有限公司）；氟铃脲 97.8%原药（河北宇泽化工科技有限公司），以上供试药剂原药均用丙酮溶解后，配成一定浓度的母液备用。按照设定浓度（各药剂在不同温度下对绿盲蝽的 LC₅₀ 值×0.1，具体浓度详见表 1），将母液用 0.1% 的吐温 80 水溶液进行稀释，配成不同浓度的药液，以 0.1% 的吐温 80 水溶液为对照。将新鲜的豇豆角盘成直径 5 cm 的圆圈，在药液中浸渍 30 s，自然晾干后放入铺有吸水纸的养虫盒中待用。

1.2 方法

1.2.1 试虫处理方法 （1）将绿盲蝽初孵若虫，置于不同温度的培养箱（10、15、20、25、30、35 和 40°C）中饲养，仍以豇豆角为饲料，待其长至 3 龄，挑入 1.5 mL 的离心管中，每管 15 头试虫，液氮速冻，- 70°C 冰箱保存备用，供绿盲蝽体内 3 种解毒酶“钟形”曲线测定。（2）按表 1 中供试药剂浓度配制药液，将新鲜豇豆角在供

试药液中浸渍 30 s，以处理后的豇豆角为饲料，在系列控温（15、20、25、30 和 35°C）温控室（250 mm×150 mm×180 mm）中，饲养绿盲蝽初孵若虫，并以 0.1%吐温 80 水处理为对照，待其长至 3 龄，挑入 1.5 mL 的离心管中，每管 15 头试虫，液氮速冻，- 70°C 冰箱保存备用，供不同温度效应杀虫剂诱导对绿盲蝽 3 种解毒酶活力测定。

1.2.2 酶源制备方法 向装有试虫的离心管中加入 66 mmol/L pH7.0（用于 GST）、40 mmol/L pH7.0（用于 CarE）、200 mmol/L pH7.8（用于 MFO）预冷的磷酸缓冲液，冰浴匀浆。并在 4°C 下，10 000 r/min 离心机上离心 15 min，取上清液，混匀，冰浴待用。

1.2.3 酶活力测定方法 参照慕立义（1994）方法测定谷胱甘肽-S-转移酶（GST）活力；参照 Habig（1981）和 Van Asperen（1962）方法测定羧酸酯酶（CarE）活力；参照韩晓莉（2007）方法测定多功能氧化酶（MFO）脱甲基活力。

1.2.4 酶源蛋白质含量的测定方法 酶源的制备同 1.2.2。参考 Bradford（1976）考马斯亮兰蓝 G-250 染色法测定。

1.3 数据分析

用 Duncan’s 多重比较进行酶活性和含量差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 绿盲蝽体内 3 种解毒酶活力随温度变化的“钟形”曲线

在供试温度 10~40°C 下，绿盲蝽体内 3 种主

表 1 不同供试温度下各诱导处理供试药剂的浓度
Table 1 Concentration of the inducing insecticides under different temperatures

药剂 Insecticide	不同供试温度下各供试药剂诱导处理的浓度（mg/L）				
	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C
溴虫腈 Chlorfenapyr	53.50	136.02	78.23	68.91	79.62
吡虫啉 Imidacloprid	332.40	150.80	102.59	23.85	14.81
辛硫磷 Phoxim	19.82	15.62	23.79	19.65	17.35
氟铃脲 Hexaflumuron	54.80	20.31	3.98	3.30	2.07

要解毒酶的活力均表现出了较显著的差异 (图 1)。3 种解毒酶均在 25℃ 时活力最高, 且与其他温度下活力差异显著。谷胱甘肽-S-转移酶 (GST) 活力在 10~25℃ 范围内随着温度的增加呈现波动性上升, 在 25~40℃ 范围内酶活力随着温度升高而降低。羧酸酯酶 (CarE) 活力在 10~20℃ 范围内没有显著性变化, 25℃ 时活力快速上升, 30~40℃ 范围内其活力又迅速下降。多功能氧化酶 (MFO) 在不同温度下活力变化规律与谷胱甘肽-S-转移酶相近。

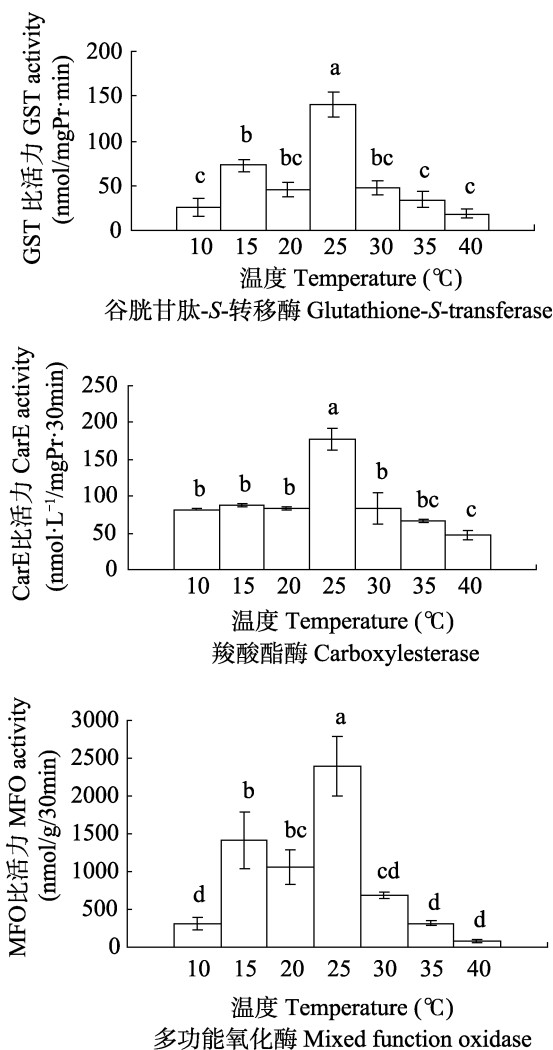


图 1 绿盲蝽体内 3 种解毒酶系活力随温度变化的“钟形”曲线

Fig. 1 "Bell shaped" curves of the activities of 3 kinds of detoxification enzymes of *Apolygus lucorum* with the temperature variation

2.2 不同温度效应杀虫剂诱导对绿盲蝽体内解毒酶活力“钟形”曲线的影响

2.2.1 谷胱甘肽-S-转移酶 (GST) 不同温度效应杀虫剂诱导在不同温度下对绿盲蝽体内谷胱甘肽-S-转移酶 (GST) 活力的影响详见图 2。负温度效应杀虫剂溴虫腈诱导后, 在 15~30℃ 时 GST 活力显著高于对照, 35℃ 时活力与对照没有显著性差异, 其中在 20℃ 时, 该酶活力明显上升, 显著高于 15℃ 时该酶活力, 25℃ 和 30℃ 时, 其活力与 15℃ 时相近, 而该酶在该温度范围内活力的变化, 也和该药剂在 15~30℃ 毒力变化密切相关; 而几乎不受温度影响的杀虫剂辛硫磷诱导后仅在 25℃ 时酶活性显著高于对照, 其总体来看, 与对照酶活力趋势没有显著性差异, 也符合其在不同温度下对该虫毒力的变化; 正温度效应杀虫剂氟铃脲诱导后, 仅在 15℃ 时酶活力显著高于对照, 其他温度时与对照均没有显著性差异, 吡虫啉诱导后在 20~30℃ 范围内酶活力均显著高于对照, 15℃ 和 35℃ 时与对照没有显著差异。结果表明, GST 可能参与了负温度效应杀虫剂溴虫腈的代谢, 其在 20~30℃ 的温度范围内, 可能参与了吡虫啉和辛硫磷的部分代谢, 而正温度效应杀虫剂氟铃脲低温时毒力较差也可能与该酶低温时被诱导活力增高相关。

2.2.2 羧酸酯酶 (CarE) 不同温度效应杀虫剂诱导在不同温度下对绿盲蝽体内羧酸酯酶

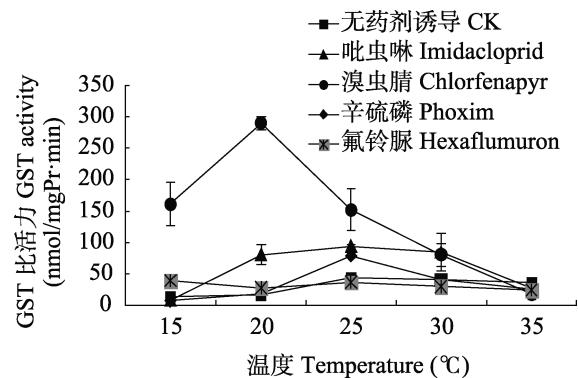


图 2 杀虫剂诱导对绿盲蝽体内谷胱甘肽-S-转移酶活力的影响

Fig. 2 The influences of insecticide induction on GST activity of *Apolygus lucorum*

(CarE) 活力的影响详见图 3。负温度效应杀虫剂溴虫腈和正温度效应杀虫剂氟铃脲诱导后, 15℃时酶活力均显著高于对照, 其他温度下, 两种酶活力均低于对照处理; 几乎不受温度影响的杀虫剂辛硫磷和正温度效应杀虫剂吡虫啉诱导后在 15~35℃范围内酶活力均显著低于对照。结果表明, 在 15℃左右的低温时, 绿盲蝽体内羧酸酯酶易受杀虫剂氟铃脲和溴虫腈诱导而活力增加, 而在 20~35℃, 该酶活力不易受杀虫剂诱导, 且辛硫磷、溴虫腈和吡虫啉可对绿盲蝽体内 CarE 活力产生一定的抑制作用。

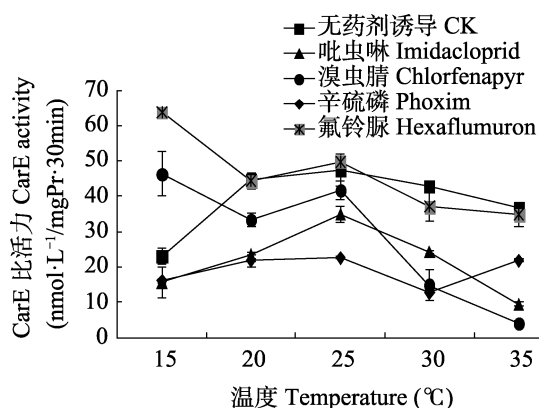


图 3 杀虫剂诱导对绿盲蝽体内羧酸酯酶活力的影响
Fig. 3 The influences of insecticide induction on CarE activity of *Apolygus lucorum*

2.2.3 多功能氧化酶脱甲基 (MFO) 不同温度效应杀虫剂诱导在不同温度下对绿盲蝽体内多功能氧化酶 (MFO) 脱甲基活性的影响 (图 4) 可以看出, 负温度效应杀虫剂溴虫腈诱导后 15℃时酶活力显著高于对照处理, 20~25℃酶活力显著低于对照, 30~35℃时没有差异; 辛硫磷诱导后在 20~30℃温度范围内酶活力均显著低于对照, 15℃和 35℃时没有差异; 正温度效应杀虫剂氟铃脲诱导后 15℃时酶活力显著高于对照, 20~35℃范围内酶活力均显著低于对照; 正温度效应杀虫剂吡虫啉诱导后 15℃时没有差异, 20~35℃范围内酶活力均显著低于对照。该测定结果与羧酸酯酶测定结果相近, 在 15℃左右的低温时, 绿盲蝽体内 MFO 易受杀虫剂氟铃脲和溴虫腈诱导而活性增加, 而在 20~35℃, 该酶活力不易受杀虫剂诱导, 且供试杀虫剂可对绿盲蝽

体内 MFO 产生一定的抑制作用。

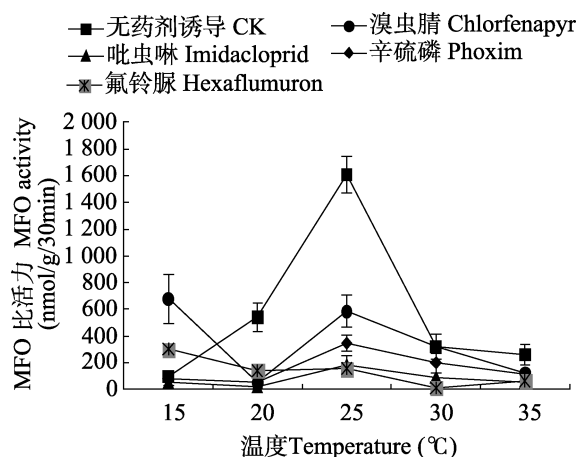


图 4 杀虫剂诱导对绿盲蝽体内多功能氧化酶活力的影响

Fig. 4 The influences of insecticide induction on MFO activity of *Apolygus lucorum*

3 结论与讨论

温度对杀虫剂活性的影响机制是多方面的。目前, 虽有研究指出昆虫体内的解毒酶与温度或者是与杀虫剂之间的关系, 但多都是单因素的影响, 但就不同温度下杀虫剂诱导后昆虫体内的解毒酶系的影响这一方面还少有研究。张晓燕 (2011) 的研究结果表明, 高温对菜田昆虫 CarE、GST 活性以及细胞色素 P450 含量均有不同程度的影响。马云华 (2012) 曾研究了温度对麦长管蚜 *Sitobion avenae* 和绿盲蝽体内主要解毒酶的影响, 发现负温度系数药剂与 GST 活性有很大关系, 正温度系数药剂与 CarE 和 AchE 活性关系密切。噻虫胺亚致死剂量处理桃蚜后对 CarE 有显著诱导激活作用, 且处理浓度与激活强度呈正相关, 对 GST 有一定的抑制作用且处理浓度与抑制率呈正相关性 (任学祥等, 2011)。溴虫腈处理小菜蛾 3 龄幼虫后对 GST 没有明显的诱导作用, 24 h 后 MFO 酶活性达到最大值, 随着时间的延长溴虫腈对小菜蛾 3 龄幼虫的酯酶具有明显的激活作用 (王婷婷和张春妮, 2014)。可见, 昆虫体内的解毒酶系 (GST、CarE、MFO 等) 有可能参与各杀虫剂的代谢, 但因昆虫种类不同而产生不同的解毒酶代谢作用。

本试验结果表明, 温度对绿盲蝽体内的解毒酶系有不同程度的影响, 而不同温度下绿盲蝽体内的解毒酶系受到不同杀虫剂诱导后的变化也不尽相同。在 10~40℃ 范围内测定绿盲蝽体内 3 种主要解毒酶的活力变化的结果表明, 10~25℃ 时 3 种解毒酶的活力均随着温度的升高而升高, 在 25~40℃ 时均随着温度的升高而下降。随后用不同温度效应杀虫剂在 15~35℃ 范围内诱导绿盲蝽体内解毒酶发现, GST 可能参与负温度效应杀虫剂溴虫腈的代谢, 这与马云华 (2012) 研究结果大致相符。在 20~35℃ 范围内, 辛硫磷和正温度效应杀虫剂吡虫啉和氟铃脲和负温度效应杀虫剂溴虫腈对 MFO 均有一定的抑制作用。而辛硫磷和吡虫啉在 15~35℃ 对 CarE 有一定的抑制作用, 氟铃脲虽然也属于正温度效应杀虫剂但是与 CarE 的活性却没有太大的相关性, 可能是由于药剂本身的化学结构、作用靶标、作用机制以及农药在昆虫体内代谢途径的不同, 此方面的研究还有待进一步扩展和深化。

参考文献 (References)

- Bradford MM, 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *J. Anal. Biochem.*, 72(1/2): 248–254.
- Cbalfant RB, 1973. Cabbage looper: effect of temperature on the toxicity of insecticides in the laboratory. *J. Econ. Entomol.*, 66(2): 339–341.
- Chen CL, 2011. Effect of temperature on biological characteristics of *Bemisia tabaci* biotype B in *Euphorbia pulcherrima*. Master dissertation. Hangzhou: Zhejiang Forestry University. [陈常理, 2011. 温度对一品红上 B 型烟粉虱生物学特性的影响. 硕士学位论文. 杭州: 浙江农林大学.]
- Gu XJ, Gao F, Tian SF, 2009. Interaction between short-term heat pretreatment and fipronil on diamondback moth [*Plutella xylostella* (Linnaeus)]. *Chin. J. Eco-Agric.*, 17(4): 709–714. [顾晓军, 高飞, 田素芬, 2009. 短期高温预处理与氟虫腈对小菜蛾 3 龄幼虫的联合作用. 中国生态农业学报, 17(4): 709–714.]
- Guo Y, 2004. The insecticide resistance of chlorpyrifos on *Plutella xylostella* L. due to rearing temperature. Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University. [郭莹, 2004. 小菜蛾对毒死蜱的抗性与饲养温度关系的研究. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学.]
- Habig WH, 1981. Method in Enzymology. New York: Academic Press. 398–404.
- Han XL, 2007. Studies on resistance of grain aphid (*Sitobion avenae*) to neonicotinoid insecticides. Master dissertation. Baoding: Agricultural University of Hebei. [韩晓莉, 2007. 麦长管蚜对新烟碱类杀虫剂抗性研究. 硕士学位论文. 保定: 河北农业大学.]
- Harris CR, Kinoshita GB, 1977. Influence of post-treatment temperature on the toxicity of pyrethroid insecticides. *J. Econ. Entomol.*, 70(2): 215–218.
- Huang CH, Yao HW, Ye GY, Cheng JA, 2006. Effects of sublethal dose of fipronil on detoxifying enzymes in the larvae of *Chilo suppressalis* and *Sesamia inferens*. *Chin. J. Rice Sci.*, 20(4): 447–450. [黄诚华, 姚洪渭, 叶恭银, 程家安, 2006. 氟虫腈亚致死剂量处理对二化螟和大螟幼虫体内解毒酶系活力的影响. 中国水稻科学, 20(4): 447–450.]
- 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 Na^+/K^+ -ATPase and $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ -ATPase in *Chilo suppressalis* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae). *Pestic. Biochem. Physiol.*, 86(3): 151–156.
- Li XX, Ma XD, Xue M, Li ZX, 2014. Toxicity of insecticides to *Bradysia odoriphaga* at different temperatures and their control effect in the fields. *Northern Hortic.*, 38(09): 125–128. [李贤贤, 马晓丹, 薛明, 李朝霞, 2014. 不同药剂对韭菜迟眼蕈蚊致毒的温度效应及田间药效. 北方园艺, 38(09): 125–128.]
- Liu NN, Zhu F, Xu Q, Pridgeon JW, Gao XW, 2006. Behavioral change, physiological modification, and metabolic detoxification: mechanisms of insecticide resistance. *Acta Entomol. Sin.*, 49(4): 671–679.
- Liu Q, 2009. Effect of high temperature on acetylcholinesterase and detoxification enzymes in insecticide-susceptible and resistant strains of *Plutella xylostella*. Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University. [刘群, 2009. 高温对抗性和敏感小菜蛾 AChE 及解毒酶系活性的影响. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学.]
- Lu FP, Zhao DX, Li ZWT, Wang AP, 2006. The effects of avermectin on carboxylesterase and acetylcholinesterase of *Ceratomyxa lanigera*. *East Chin. Entomol. J.*, 15(3): 226–229. [卢芙蓉, 赵冬香, 李周文婷, 王爱萍, 2006. 阿维菌素对甘蔗绵蚜解毒酶系活性的影响. 华东昆虫学报, 15(3): 226–229.]
- Lu YH, Wu KM, Jiang YY, Xia B, Li P, Feng HQ, Wyckhuys KAG, Guo YY, 2010. Mirid bug outbreaks in multiple crops correlated with wide-scale adoption of Bt cotton in China. *Science*, 328(5982): 1151–1154.
- Ma YH, Gao ZL, Li YF, Dang ZH, Pan WL, 2010. Review on the effects of temperature on toxicity of insecticides. *J. Hebei Agric.*

- Sci., 14(8): 12–18. [马云华, 高占林, 李耀发, 党志红, 潘文亮, 2010. 杀虫剂毒力与温度关系的研究进展. 河北农业科学, 14(8): 12–18.]
- Ma YH, Gao ZL, Li YF, Dang ZH, Pan WL, 2011. Effect of temperature on the toxicity of several insecticides to wheat aphid, *Sitobion avenae*. *Chin. J. Appl. Entomol.*, 48(6): 1661–1668. [马云华, 高占林, 李耀发, 党志红, 潘文亮, 2011. 四种类型杀虫剂对麦长管蚜的温度效应及其与主要解毒酶的关系. 应用昆虫学报, 48(6): 1661–1668.]
- Ma YH, Gao ZL, Dang ZH, Li YF, Pan WL, 2012. Effect of temperature on the toxicity of several insecticides to *Apolygus lucorum* (Heteroptera: Miridae). *J. Pestic. Sci.*, 37(2): 135–139.
- Ma YH, 2012. Effect of temperature on the toxicity of several insecticides to *Sitobion avenae* (Fabricius) and *Apolygus lucorum* (Meyer-D ü r) and on the enzyme activity. Master dissertation. Baoding: Agricultural University of Hebei. [马云华, 2012. 几类杀虫剂对麦长管蚜和绿盲蝽的温度系数及温度对主要代谢酶的影响. 硕士学位论文. 保定: 河北农业大学.]
- Mu LY, 1994. Research Methods of Plant Chemical Protection. Beijing: China Agricultural Press. 148–161. [慕立义, 1994. 植物化学保护研究法. 北京: 中国农业出版社. 148–161.]
- Norment BR, Chambers HW, 1970. Temperature relationships in organophosphorus poisoning in boll weevils. *J. Econ. Entomol.*, 63(2): 502–504.
- Ren XX, Wang G, Zuo YM, Wang KY, Wang J, 2011. The toxicity and effects of sublethal doses on detoxifying enzymes of clothianidin to *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). *Acta Entomol. Sin.*, 54(3): 299–305. [任学祥, 王刚, 左一鸣, 王开运, 王杰, 2011. 噻虫胺对桃蚜的毒力及其亚致死剂量对桃蚜解毒酶系活力的影响. 昆虫学报, 54(3): 299–305.]
- Sparks TC, Pavioff AM, Rose RL, Clower DF, 1983. Temperature-toxicity relationship of pyrethroids on *Heliothis virescens* (F.) (Lepidoptera: Noctuidae) and *Anthonomus grandis grandis* Boheman (Coleoptera: Curculionidae). *J. Econ. Entomol.*, 76: 243–246.
- Su S, Ye BH, 1996. Modern Medical Entomology. Beijing: Higher Education Press. 185–188. [苏寿, 叶炳辉, 1996. 现代医学昆虫学. 北京: 高等教育出版社. 185–188.]
- Syrett P, Penman DR, 1980. Studies of insecticide toxicity to *Lucerne aphids* and thier predators. *J. Agr. Res.*, 23(4): 575–580.
- van Asperen K, 1962. A study of housefly esterase by means of a sensitive colorimetric method. *J. Insect Physiol.*, 8: 401–416.
- Wang TT, Zhang CN, 2014. Effects of chlorfenapyr on detoxifying enzyme activities of diamondback moth, *Plutella xylostella*. *Acta Agric. Boreali-occidentalis Sin.*, 23(8): 196–200. [王婷婷, 张春妮, 2014. 溴虫腈对小菜蛾幼虫解毒酶的影响. 西北农业学报, 23(8): 196–200.]
- Wang YJ, Ou XM, Qiao GH, Lin XM, Liu GH, Yu K, 2005. Influence of the temperature on toxicity of avermectin. *Modern Agrochem.*, 4(2): 37–38. [王永江, 欧晓明, 乔广行, 林雪梅, 刘光辉, 喻快, 2005. 温度对齐墩螨素毒力的影响. 现代农药, 4(2): 37–38.]
- Wang YY, Liu TH, Li J, Dong JZ, Zhou T, Zhang DD, 2012. Selective toxicity tests and field trials of 5 kinds of insecticide to *Brevicoryne brassicae* and ladybeetles. *Agrochemicals.*, 51(11): 829–831. [王圆圆, 刘廷辉, 李静, 董建臻, 周婷, 张丹丹, 2012. 5 种杀虫剂对甘蓝蚜和瓢虫的选择性毒力及田间防效. 农药, 51(11): 829–831.]
- Wu KM, Li W, Feng H, Guo Y, 2002. Seasonal abundance of the mirids, *Lygus lucorum* and *Adelphocoris* spp. (Hemiptera: Miridae) on Bt cotton in northern China. *Crop Protection*, 21(10): 997–1002.
- Wu KM, Lin KJ, Miao J, Zhang YJ, 2005. Field abundances of insect predators and insect pests on D-endotoxin producing transgenic cotton in Northern China. Second International Symposium on Biological Control of Arthropods. Davos Switzerland: 362–368.
- Wu QJ, Zhang WJ, Zhang YJ, Xu BY, Zhu GR, 2001. The role of detoxification in abamectin-resistant *Plutella xylostella* (L.). *J. Pestic. Sci.*, 3(3): 23–28. [吴青君, 张文吉, 张友军, 徐宝云, 朱国仁, 2001. 解毒酶系在小菜蛾对阿维菌素抗性中的作用. 农药学报, 3(3): 23–28.]
- Ying SH, 1986. Temperature-toxicity relationships of seven pyrethroids on five insect species. *Acta Entomol. Sin.*, 29(1): 29–34. [应松鹤, 1986. 拟除虫菊酯的杀虫活性和温度的关系. 昆虫学报, 29(1): 29–34.]
- Yu L, Wang LY, Zhang HY, 2011. Effects of pesticides treatment on the activity of detoxification enzymes in the larvae of *O. oryzae*. *J. Anhui Agri. Sci.*, 39(19): 11523–11525. [于磊, 王丽艳, 张海燕, 2011. 杀虫剂处理对水稻负泥虫体内解毒酶的影响. 安徽农业科学, 39(19): 11523–11525.]
- Zhang JJ, 2007. Effects of cultural temperature, humidity and evaporation on the activities of AChE and CarE of *Plutella xylostella* larvae. Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University. [张建军, 2007. 温度、湿度及蒸发量对小菜蛾 AChE 和 CarE 活力影响的研究. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学.]
- Zhang XY, 2011. Effect of high temperature on acetylcholinesterase and detoxification enzymes in several insects in vegetable fields. Master dissertation. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University. [张晓燕, 2011. 高温对几种菜园昆虫乙酰胆碱酯酶及解毒酶系活性影响的研究. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学.]