

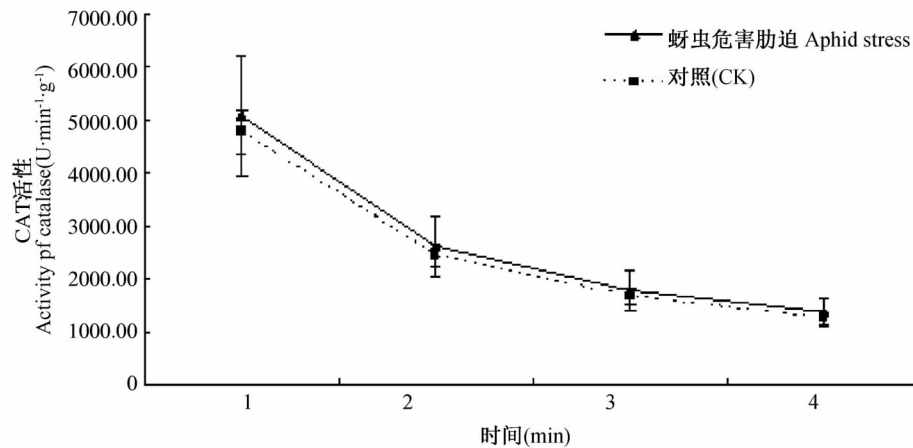


图3 大豆蚜危害对大豆叶片过氧化氢酶(CAT)活性的影响

Fig. 3 Effects of soybean aphids on activities of CAT in soybean leaves

重要指标,也是研究酶活性的一个重要项目。通常,昆虫通过刺吸危害而获得蛋白质等营养物质,故通常受害叶片中蛋白质含量降低。本研究发现,受到大豆蚜危害胁迫的大豆叶片与未受为害叶片中所含可溶性蛋白含量存在极显著差异,且前者较后者含量明显增高了 1.73 mg/g。作者认为,可能与大豆蚜刺吸分泌的唾液影响了植物叶片蛋白质的合成和分解有关,另外,也可能是大豆蚜的刺吸行为使受害叶片与非受害叶片之间的“源库关系”发生了调整 (Rechman and Smith, 1991),这说明植物对大豆蚜刺吸作出了生理应激反应。而这种生理应激反应究竟是大豆蚜造成的伤害反应,还是植物对大豆蚜刺吸产生的生理补偿反应,还有待于进一步研究。另外,在本研究发现蚜虫危害大豆叶片与对照大豆叶片的非可溶性蛋白含量无显著差异,说明蚜虫危害并未对大豆叶绿体、线粒体的构造蛋白及核蛋白、细胞壁蛋白等蛋白构成影响。

可溶性糖是植物在逆境条件下积累最多的渗透调节物质。通常,在逆境条件下,植物体内会积累一定的可溶性糖来对抗逆境。但是,本研究发现,蚜虫危害大豆叶片与对照大豆叶片的可溶性糖含量无显著差异,这可能是由于蚜虫侵害大豆叶片取食糖份,使植物增加的可溶性糖量与蚜虫取食量达到了平衡,这有待于进一步深入研究。

在逆境条件下,植物体同时存在膜保护系统,能够清除体内多余的自由基,这一保护酶系统实际上是一个抗氧化系统,它由许多酶和还原型物

质组成。其中,超氧化物歧化酶(SOD)、CAT 和 POD 则是主要的抗氧化酶 (Singh *et al.*, 1972; Bruce and West, 1989; 张美云等, 2001; 王瑞云等, 2001)。POD 是生物体内一类重要的含血红素的活性较高的抗氧化酶,广泛存在于植物体中,能够反映植物生长发育的特性、体内代谢状况以及对外界环境的适应性。POD 常利用 H_2O_2 来催化对植物自身有毒害的过氧化物(POD 底物)的氧化和分解,以维持自身的正常代谢,从而诱导了 POD 活性的增强。CAT 则是植物体所有组织普遍存在的一种抗氧化酶,是生物氧化过程中一系列抗氧化酶的终端,能够有效清除植物体内多余的 H_2O_2 ,保护膜结构。本研究结果表明,受到大豆蚜危害的大豆叶片较未受为害的大豆叶片中的大豆叶片 POD 和 CAT 活性升高,与通常植物受害虫危害胁迫后 POD 和 CAT 活性上升实验结果一致 (兰金娜和刘长仲, 2007; 黄伟等, 2007; 程璐等, 2009)。这可能是由于植物体内对逆境的一种代谢性调节作用,是大豆植物对大豆蚜危害胁迫做出的响应。

本研究初步探讨了大豆蚜危害胁迫后大豆叶片几个重要生理指标的影响,特别对防御性酶 POD 和 CAT 的活性变化作了初步探讨,这为将来深入研究大豆蚜危害的分子机理提供了理论基础。但是,在大豆蚜危害期间,防御性酶系的活性是一个动态变化的过程,因此,需要深入研究不同虫口密度在不同时间防御性酶活性的动态变化,这有助于深入理解植物应激防御的整体性和系统性。另外,大豆蚜刺吸是如何影响植物活性氧代

谢以及活性氧代谢与植物抗虫性的相互关系还需深入研究。

参考文献 (References)

- Bruce RJ, West CA, 1989. Elicitation of lignin biosynthesis and isoperoxidase activity by pectic fragments in suspension cultures castor bean. *Plant Physiol.*, 91(3):889—897.
- 陈利峰, 宋玉立, 徐雍皋, 聂理, 徐朗莱, 1997. 抗感赤霉病小麦品种 SOD 和 CAT 的活性比较. *植物病理学报*, 27(3):209—213.
- 程璐, 贺春贵, 胡桂馨, 王森山, 朱亚灵, 2009. 苜蓿斑蚜为害对 5 种苜蓿品种(系) PAL、POD、PPO 酶活性的影响. *植物保护*, 35(6):87—90.
- 郭海军, 董志强, 林永增, 李振山, 李俊兰, 黄国存, 崔四平, 潘学标, 1995. 黄萎病对棉花叶片 SOD、POD 酶活性和光合特性的影响. *中国农业科学*, 28(6):40—46.
- 黄瑞冬, 马鸿图, 吴琼, 王春慧, 关欣, 贾永旭, 1998. 高粱抗蚜虫性状与次生代谢物关系的研究. *沈阳农业大学学报*, 29(4):287—290.
- 黄伟, 贾志宽, 韩清芳, 2007. 蚜虫 (*Aphis medicaginis* Koch) 危害胁迫对不同苜蓿品种体内丙二醛含量及防御性酶活性的影响. *生态学报*, 27(6):2177—2183.
- 兰金娜, 刘长仲, 2007. 苜蓿斑蚜刺吸胁迫对苜蓿幼苗的生理影响. *植物保护*, 33(7):74—77.
- 李合生, 2000. *植物生理生化实验原理与技术*. 北京: 中国科学技术出版社. 165—167.
- 李润植, 毛雪, 李彩霞, 高丽峰, 1998. 棉花诱导抗蚜性与次生代谢相关酶活性的关系. *山西农业大学学报*, 18(2):165—168.
- 李玉泉, 宋占午, 王莱, 金祖荫, 袁惠君, 2001. 叶螨危害对豇豆叶片超氧化物歧化酶及过氧化氢酶活性的影响. *西北师范大学学报(自然科学版)*, 37(3):62—65.
- Liu YQ, Qiang L, Sun LH, Wang CM, Zhai HQ, Wan JM, 2005. Changes in some defensive enzyme activity induced by the piercing-sucking of brown planthopper in rice. *J. Plant Physiol. Mol. Biol.*, 31(6):643—650.
- 罗光华, 王爱国, 邵从本, 1989. 高浓度氧对水稻幼苗的伤害与活性氧的防御酶. *中国科学院华南植物研究所集刊, 第四集*. 北京: 科学出版社. 169—176.
- 苗进, 吴孔明, 李国勋. 2005. 大豆蚜的研究进展. *大豆科学*, 24(2):135—138.
- 苗则彦, 赵奎华, 刘长远, 梁春浩, 林凤, 2003. 葡萄抗感白腐病品种 PAL 酶、PPO 酶和 SOD 酶活性比较. *沈阳农业大学学报*, 34(3):177—180.
- 钦俊德, 1995. 昆虫与植物关系的研究进展和前景. *动物学报*, 41(1):122—19.
- Ragsdale DW, Voegtlin DJ, O'Neil RJ, 2004. Soybean aphid biology in North America. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 97(2):204—208.
- Rechman OJ, Smith SC, 1991. Responses to simulated leaf and root herbivory by a biennial *Tragopogon dubius*. *Ecology*, 72:116—124.
- Singh TN, Aspinall D, Paleg LG, 1972. Proline accumulation and varietal adaptability to drought in barley: A potential metabolic measure of drought resistance. *Nat. New Biol.*, 236(67):188—190.
- Stafford HA, 1974. In *Recent Advance in Phytochemistry*. New York: Academic Press. 1—55.
- 王春荣, 陈继光, 郭玉人, 宫香余, 徐兆飞, 林超, 1998. 黑龙江省大豆蚜虫发生规律与防治方法. *大豆通报*, (6):15.
- 王春荣, 邓秀成, 2005. 2004 年黑龙江省大豆蚜虫暴发因素分析. *大豆通报*, (3):19—20.
- 王春荣, 邓秀成, 殷立娟, 宋玉华, 张冬英, 沈海波, 2005. 2004 年黑龙江省大豆蚜虫暴发因素分析. *大豆通报*, (3):19—20.
- 王海波, 陶芸, 金沙, 1994. 蚕豆叶片几丁质酶活性的蚜虫诱导植物生理应激反应的趋同性. *应用生态学报*, 5(1):68—71.
- 王海波, 周纪纶, 1988. 蚕豆对蚕豆蚜刺吸胁迫的生理防御策略. *生态学报*, 8(3):195—200.
- 王瑞云, 王玉国, 杨晓霞, 2001. 大豆抗旱的生理生态基础. *山西农业大学学报*, 21(3):305—307.
- 王素云, 暴祥致, 孙雅杰, 陈瑞鹿, 翟保平, 1996. 大豆蚜虫对大豆生长和产量影响的试验. *大豆科学*, 15(3):245—247.
- Wojtaszek P, 1997. Oxidative burst: an early plant response to pathogen infection. *Biochem. J.*, 322(3):681—692.
- 于振民, 1999. 1998 年绥化地区大豆蚜大发生原因分析及防治对策. *植保技术与推广*, 19(6):17.
- 余叔文, 汤章城, 1998. *植物生理与分子生物学*, 第二版. 北京: 科学出版社. 381.
- 张广学, 钟铁森, 1983. *中国经济昆虫志*, 第 25 册, 同翅目: 蚜虫类 (一). 北京: 科学出版社. 214—216.
- 张金锋, 薛庆中, 2004. 稻飞虱为害胁迫对水稻植株内主要保护酶活性的影响. *中国农业科学*, 37(10):1487—1491.
- 张丽, 常金华, 罗耀武, 2005. 不同高粱基因型感蚜虫前后 POD、PPO、PAL 酶活性变化分析. *农业生物技术科学*, 21(7):40—42.
- 张美云, 钱吉, 郑师章, 2001. 渗透胁迫下野生大豆游离脯氨酸和可溶性糖的变化. *复旦学报*, 40(5):558—561.
- 张瑛, 严福顺, 1998. 虫害诱导的植物挥发性次生物质及其在植物防御中的作用. *昆虫学报*, 41(2):204—214.

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*

马云华^{1,2} 高占林² 李耀发² 党志红² 潘文亮^{2**}

(1. 河北农业大学 保定 071000; 2. 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防治工程技术研究中心 保定 071000)

摘要 为了明确杀虫剂毒力受温度的影响及其程度,本文测定了4大类8种药剂在10~25℃下对麦长管蚜的毒力;并测定了麦长管蚜 *Sitobion avenae* (Fabricius)在不同温度下2个解毒酶和1个靶标酶的活性差异。结果表明,高效氯氰菊酯对麦长管蚜表现不规则负温度系数,啉虫脒表现不规则正温度系数,高效氟氯氰菊酯对麦长管蚜的毒力不受温度影响,其他药剂(辛硫磷、毒死蜱、灭多威、丁硫克百威、吡虫啉)均表现为明显的正温度系数效应,以有机磷类杀虫剂表现最为明显,毒死蜱温度系数高达57.70。酶活性实验表明:麦长管蚜在高温下GST活性增强,羧酸酯酶和乙酰胆碱酯酶活性降低。它们的变化规律表明:GST活性与负温度系数密切相关,正温度系数与羧酸酯酶活性和靶标酶乙酰胆碱酯酶活性有关。

关键词 麦长管蚜, 温度系数, 解毒酶, 靶标酶

Effect of temperature on the toxicity of several insecticides to the English grain aphid, *Sitobion avenae*

MA Yun-Hua^{1,2} GAO Zhan-Lin² LI Yao-Fa² DANG Zhi-Hong² PAN Wen-Liang^{2**}

(1. College of Plant Protection, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China;
2. Institute of Plant Protection, Hebei Academy of Agriculture and Sciences, IPM Centre of
Hebei Province, Baoding 07100, China)

Abstract The toxicity of eight conventional insecticides to *Sitobion avenae* (Fabricius) was measured at 10, 15, 20 and 25℃ respectively and the activity of three detoxifying enzymes and one target enzyme examined. The results show that β -cypermethrin is a negative temperature coefficient insecticide whereas acetamiprid is a positive temperature coefficient insecticide, however, the effect of temperature on the toxicity of these insecticides was irregular. The toxicity of λ -cyhalothrin was not significantly influenced by temperature and all other insecticides were positive temperature coefficient insecticides. High temperatures increase GST activity in *S. avenae* which enhances carboxylesterase and acetylcholinesterase lessene. The results show that the activity of GST is closely related to negative temperature insecticides, whereas the effectiveness of positive temperature insecticides is strongly linked to carboxylesterase and acetylcholinesterase activity.

Key words *Sitobion avenae*, temperature coefficient, detoxifying enzymes, target enzyme

影响农药药效的因素很多,除农药本身的性质和生物因素之外,非生物因素在化学防治中起着非常重要的作用,包括温度、湿度、PH、光照等,其中温度是重要的因子之一。温度对化学杀虫剂活性的影响是较复杂的,它影响昆虫的活动和新

陈代谢(Horn, 1998),农药的物理化学性质如稳定性、挥发、沉降和降解等(Johnson, 1990)。由于温度而造成不同种类的杀虫剂毒力变化复杂。温度系数经常被用来表示温度与杀虫剂毒力的关系(Gordon, 2005)。温度系数即某种农药在不同温

* 资助项目:公益性行业(农业)科研专项(201103022)。

**通讯作者, E-mail: pwenliang@163.com

收稿日期:2011-09-15,接受日期:2011-10-25

度下对某种试虫致死中量的比值,表示的是温度每变化 1℃ 杀虫剂对某种试虫毒力的变化程度(IUPS Thermal Commission, 2001)。

不同类型的杀虫剂温度效应不尽相同。一般认为大多数有机磷和氨基甲酸酯杀虫剂的毒力与温度呈正相关(Norment and Chambers, 1970),滴滴涕和拟除虫菊酯对某些昆虫具有负温度系数(Vinson and Kearns, 1952; Sparlts *et al.*, 1983)。但近来研究表明,同一类杀虫剂对不同的昆虫,甚至同类杀虫剂的不同药剂品种对同一种昆虫的温度效应也有较大差异。有一些杀虫剂如林丹,对某些昆虫呈正温度系数,对另一些昆虫则呈负温度系数(DeVries and Georgiou, 1979)。有机磷和氨基甲酸酯类杀虫剂对某些昆虫表现轻微正温度或负温度系数的现象(McLeod 1991; Musser and Shelton, 2005)。菊酯类杀虫剂有时也表现正温度系数效应(Valles *et al.*, 1998)。因此单纯认为某种杀虫剂是正温度系数药剂或负温度系数药剂是片面的。

杀虫剂通过到达虫体表皮,经过渗透、运输、分配,部分被体内解毒酶转化分解掉,部分到达作用位点起到杀虫的作用。GST、羧酸酯酶是昆虫体内重要的解毒酶系,在机体有毒化合物的代谢、保护细胞免受急性毒性化学物质攻击中起到重要作用。乙酰胆碱酯酶是多种杀虫剂的作用靶标。解毒酶与靶标酶的变化可能改变其对杀虫剂的敏感型。不同温度下杀虫剂的毒力不同应该与这些解毒酶和靶标酶密切相关。

麦长管蚜 *Sitobion avenae* (Fabricius) 是我国重要的小麦害虫,主要刺吸小麦叶部和穗部汁液造成危害,受害穗千粒重下降,还可传带小麦黄矮病等多种植物病毒。由于其繁殖能力极强(Ozder, 2002),在适宜的环境条件下就可造成害虫猖獗,严重影响小麦产量及品质(师桂英等, 2009)。麦长管蚜发生期间,我国气温变化较大。加之在麦长管蚜的化学防治中,温度对杀虫剂活性的影响常常不被人们所重视,从而造成药效下降或产生抗性的现象(韩晓莉, 2007)。明确不同杀虫剂对麦长管蚜的温度效应在麦长管蚜化学防治和药剂的正确选择中起着重要作用。

鉴于杀虫剂毒力与温度关系的复杂性,本文测定了 4 大类 8 种杀虫剂对麦长管蚜的温度系数,并在此基础上从生化角度测定了系列生物酶

活性,对杀虫剂温度系数机理进行初步探索。

1 材料与方法

1.1 试验虫源

麦长管蚜,河北省农林科学研究院植物保护研究所养虫室(温度 20℃ ± 1℃,相对湿度 60% ~ 80%),不接触药剂的情况下用室内种植麦苗连续饲养多代。试虫均选择身体健壮、大小一致的无翅成蚜供试。

1.2 供试药剂

90% 辛硫磷原药, 95% 毒死蜱原药, 98% 灭多威原药, 92.5% 丁硫克百威原药由山东华阳科技股份有限公司提供; 95.0% 高效氯氟菊酯原药, 95.0% 高效氯氟氰菊酯原药, 95.0% 吡虫啉原药, 97.0% 啉虫脒原药由河北威远生物化工股份有限公司提供。

乙酸-1-萘酯(国药集团化学试剂有限公司); α -萘酚(天津市华东试剂厂); 毒扁豆碱(Fluka); 固蓝 B 盐, 谷胱甘肽, 牛血清蛋白(BSA)由 Solarbio 公司提供; 考马斯亮蓝 G-250, 碘化硫代乙酰胆碱, 二硫双对硝基苯甲酸(DTNB)由 Sigma 公司提供; 1-氯-2,4-二硝基苯(CDNB)(上海源叶生物科技有限公司); 其它试剂为国产分析纯。

1.3 供试作物

用于饲养麦长管蚜的麦苗,为室内种植的麦苗,品种为冀麦 38 号,待麦苗长到 3 ~ 5 cm 高时将麦长管蚜接入苗上,麦苗高度超过 15 cm 后更换新苗。

1.4 生物测定方法

实验在河北省农林科学院植物保护研究所提供的系列控温生测室(250 mm × 150 mm × 180 mm)中进行,其温度控制范围是 ± 0.5℃。将控温生测室温度分别设置为 10、15、20、25℃。处理前 1 d 将接有麦长管蚜的麦苗放置于以上控温生测室中饲养,使其适应环境温度,毒力测定处理以及处理后的饲养观察仍在相应的控温生测室中进行。

采用浸渍法测定各供试药剂对麦长管蚜的室内毒力。挑取长势一致的试虫连同麦叶浸渍于不同质量浓度的药剂稀释液中浸渍 5 s 后取出,待自然晾干后放置于有保湿滤纸的养虫盒中。每浓度处理蚜虫 90 头左右,重复 3 次,以 0.1% 的吐温 80 水溶液为对照。24 h 后检查死亡情况,用 0 号毛

笔轻触虫体,完全不动者视为死亡。

1.5 酶活性测定

1.5.1 酶源制备 将接有麦长管蚜的麦苗分别在 10、15、20、25℃ 下饲养 1 d。挑取各温度下饲养的无翅成蚜 60 头,液氮速冻,加入 1.5 mL 66 mmol/L pH7.0 磷酸缓冲液(含 Triton)冰上充分匀浆,高速冷冻离心机上 4℃,10 000 r/min,离心 15 min。取上清置另一离心管备用。

1.5.2 谷胱甘肽 S-转移酶活性测定 参照慕立义(1994)方法,依次在 10 mL 试管中加入 0.3 mL 50 mmol/L 谷胱甘肽,0.1 mL 0.03 mol/L CDNB(底物),2.4 mL 66 mmol/L pH7.0 磷酸缓冲液,0.2 mL 酶粗提液(空白对照用磷酸缓冲液代替)。立即混匀,在 27℃,340 nm 下比色测 5 min 内 OD 变化值,酶源经蛋白质含量测定,计算出谷胱甘肽 S-芳基转移酶的比活力($\text{mOD} \cdot \text{mg}^{-1} \text{Pr} \cdot \text{min}^{-1}$)。

1.5.3 羧酸酯酶活性测定 参照 Habig(1981)和 Van Asperen(1962)方法,反应体系中包括 5 mL 3×10^{-4} mol/L α -醋酸萘酯(底物),酶粗提液 0.2 mL(空白对照用磷酸缓冲液代替),0.04 mol/L pH7.0 的磷酸缓冲液补齐 6 mL。混匀,30℃ 水浴振荡 30 min 后,加显色剂各 1 mL(5% 十二烷基硫酸钠溶液:1% 坚固蓝 B 盐溶液为 5:2)混匀显色,室温静置 30 min,600 nm 下测 OD 值。根据标准曲线计算出每毫升酶液生成的 α -萘酚数和酶液中的蛋白含量,计算出羧酸酯酶的比活力(α -萘酚 $\text{nmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{mg Pr}^{-1} \cdot 30\text{min}^{-1}$)。

1.5.4 乙酰胆碱酯酶活性测定 参照慕立义(1994)方法,ATChI-DTNB 方法。6 支试管共 2.7 mL 反应体系:含有 0.1 mL 0.075 mol·L⁻¹ AchI- 1×10^{-2} mol·L⁻¹ DTNB(体积比 1:2),酶粗提液分别 0~0.5 mL,0.1 mol/L pH7.4 的磷酸缓冲液补齐 2.7 mL。在 27℃ 下水浴振荡 15 min 后,各加入 1 mL 1×10^{-3} mol/L 毒扁豆碱终止反应,412 nm 比色测 OD 值。以酶量(mL 为横坐标,在 412 nm 下得的 OD 值为纵坐标),作出乙酰胆碱酯酶活力曲线。再根据酶源蛋白质含量测定得出乙酰胆碱酯酶的比活力($\text{OD}/\text{毫克蛋白} \cdot 15 \text{ min}$)。

1.5.5 酶源蛋白质含量测定 参考 Bradford

(1976)考马斯亮蓝 G-250 染色法测定。

1.6 数据分析

各杀虫剂生物测定结果采用 DPS 软件分析值,95% 置信区间和斜率。温度系数为各温度下测得的 LC₅₀ 值与最低 LC₅₀ 的比值。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 供试药剂对麦长管蚜毒力的温度效应

本研究在不同温度下测定了 4 大类 8 种杀虫剂对麦长管蚜的室内毒力,明确了温度对不同杀虫剂毒力的影响(表 1)。

有机磷类杀虫剂对麦长管蚜表现明显的正温度系数药剂(图 1:a)。辛硫磷在 10℃ 和 25℃ 之间的温度系数为 28.17;毒死蜱比辛硫磷受温度的影响更大,在 10℃ 和 25℃ 之间的温度系数为 58.70。二者毒力在 25℃ 时相差不大。

氨基甲酸酯类杀虫剂对麦长管蚜表现出规则的正温度系数药剂(图 1:b)。灭多威和丁硫克百威在 10℃ 和 25℃ 之间的温度系数分别为 7.77 和 5.04。相同温度下,丁硫克百威对麦长管蚜的毒力比灭多威高。

拟除虫菊酯类杀虫剂对麦长管蚜的温度效应表现出不规则性(图 1:c)。高效氯氟菊酯整体上表现负温度系数,但在 25℃ 时的毒力比 20℃ 轻微上升,20℃ 时温度系数为 3.86,25℃ 时温度系数为 2.82。高效氯氟菊酯对麦长管蚜的毒力受温度的影响较小,在 15℃ 温差范围内,最大温度系数为 1.95。相同温度下高效氯氟菊酯比高效氯氟菊酯效果好。

新烟碱类杀虫剂对麦长管蚜的毒力受温度的影响程度和氨基甲酸酯类药剂相仿,都为正温度系数药剂(图 1:d)。吡虫啉在 10℃ 的 LC₅₀ 为 7.64 mg/L,且毒力随温度的上升逐渐升高。啉虫脒对麦长管蚜整体表现正温度系数药剂,且受温度的影响较吡虫啉小,在 15℃ 温差范围之内最大温度系数为 4.36;在 10℃ 毒力比 15℃ 高,表现出不规则性。相同温度下,啉虫脒对麦长管蚜的效果比吡虫啉好。

表 1 几类杀虫剂对麦长管蚜毒力的温度效应

Table 1 Influence of temperature on the toxicity of several insecticides to *Sitobion avenae*

药剂 Insecticide	温度(℃) Temperature	LC ₅₀ (95% 置信区间) LC ₅₀ (95% FL) (mg a. i. L ⁻¹)	斜率 ± 标准误 Slope ± SE	温度系数* TC
辛硫磷 Phoxim	10	95.20 (68.90—168.08)	1.58 ± 0.27	28.17
	15	55.84 (44.70—76.44)	1.76 ± 0.27	16.52
	20	3.53 (1.40—6.52)	0.51 ± 0.15	1.04
	25	3.38 (2.62—4.18)	1.69 ± 0.20	1.00
毒死蜱 Chlorpyrifos	10	130.97 (50.40—2609.11)	0.66 ± 0.18	57.70
	15	53.38 (23.25—536.22)	0.82 ± 0.21	23.52
	20	11.29 (9.78—13.56)	2.82 ± 0.29	4.97
	25	2.27 (1.76—2.82)	1.48 ± 0.15	1.00
灭多威 Methomyl	10	1588.33 (962.71—4368.01)	0.86 ± 0.18	7.77
	15	468.25 (367.72—665.96)	1.49 ± 0.23	2.29
	20	244.89 (195.30—306.32)	1.32 ± 0.16	1.20
	25	204.50 (160.27—250.70)	1.84 ± 0.21	1.00
丁硫克百威 Carbosulfan	10	549.80 (465.49—686.80)	2.54 ± 0.32	5.04
	15	321.38 (269.67—396.30)	1.79 ± 0.17	2.95
	20	182.25 (152.11—225.36)	1.75 ± 0.18	1.67
	25	109.12 (94.73—126.42)	2.61 ± 0.24	1.00
高效氯氰菊酯 β-Cypermethrin	10	2.94 (2.30—3.85)	1.18 ± 0.16	1.00
	15	7.63 (5.07—15.98)	1.11 ± 0.20	2.60
	20	11.34 (8.38—17.69)	1.08 ± 0.16	3.86
	25	8.30 (5.20—11.94)	0.88 ± 0.16	2.82
高效氯氟氰菊酯 λ-Cyhalothrin	10	0.85 (0.65—1.21)	1.19 ± 0.17	1.12
	15	1.48 (0.98—3.02)	0.86 ± 0.15	1.95
	20	1.28 (0.82—2.78)	1.00 ± 0.18	1.68
	25	0.76 (0.37—1.10)	1.00 ± 0.24	1.00
吡虫啉 Imidacloprid	10	254.47 (162.77—575.45)	0.88 ± 0.16	7.64
	15	204.88 (104.74—1341.92)	0.95 ± 0.25	6.15
	20	52.24 (27.12—127.98)	0.57 ± 0.17	1.57
	25	33.32 (12.70—60.41)	0.51 ± 0.15	1.00
啶虫脒 Acetamiprid	10	26.37 (17.52—34.97)	1.48 ± 0.18	1.68
	15	67.03 (50.00—98.48)	1.49 ± 0.23	4.36
	20	25.48 (14.65—36.47)	0.87 ± 0.16	1.62
	25	15.73 (7.81—23.55)	0.76 ± 0.14	1.00

注:温度系数* = LC₅₀ (高)/LC₅₀ (最低)。

Temperature coefficients were calculated as the ratio of higher to lower LC₅₀.

2.2 温度对麦长管蚜解毒酶和靶标酶活性的影响

2.2.1 温度对麦长管蚜 GST 活性的影响 由图 2 可知,温度对麦长管蚜 GST 的活性有一定影响。随着温度的升高,麦长管蚜 GST 活性略有增加。其中,10℃ 和 15℃ GST 比活力没有显著差异,在 20℃ 和 25℃ 也没有明显差异;但 GST 活性在 20℃

比 15℃ 有显著提高。GST 活性增强,其对有毒化合物的代谢增强,造成杀虫剂毒力下降。说明负温度系数药剂与 GST 活性有关。

2.2.2 温度对麦长管蚜羧酸酯酶活性的影响 由图 3 可以看出,在所测温度范围内,羧酸酯酶的活性随温度的升高呈现下降的趋势,且差异显著。羧酸酯酶的活性在 15℃ 和 25℃ 差异不显著。羧

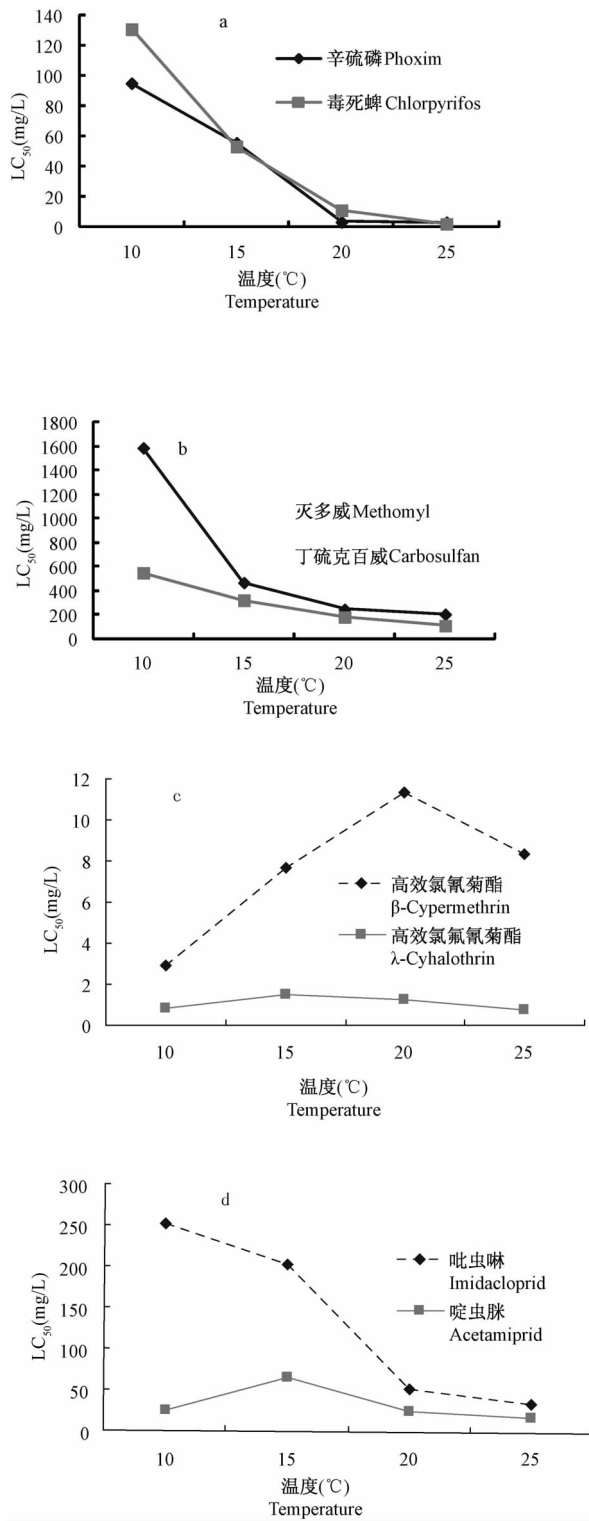


图1 4种类型杀虫剂对麦长管蚜的温度效应

Fig.1 Influence of temperature on the toxicity of four types insecticides to *Sitobion avenae*

a:有机磷类 Organophosphorus; b:氨基甲酸酯类 Carbamate;
c:拟除虫菊酯类 Pyrethroid; d:新烟碱类 Neonicotine.

酸酯酶活性降低,其代谢有毒物质的能力减弱,使昆虫对杀虫剂的敏感性增强。说明正温度系数药剂与羧酸酯酶关系密切。

2.2.3 温度对麦长管蚜乙酰胆碱酯酶活性的影响 由图4可知,从10℃到20℃,乙酰胆碱酯酶随温度的升高活性逐渐降低,三者之间差异显著。在25℃乙酰胆碱酯酶活性有所升高。有机磷和氨基甲酸酯类杀虫剂都是乙酰胆碱酯酶抑制剂,新烟碱类杀虫剂也与乙酰胆碱酯酶密切相关;乙酰胆碱酯酶随温度的升高活性降低是解释正温度系数的原因之一。

3 讨论

温度影响杀虫剂的杀虫活性。目前有关温度系数的报道都是“同一温度处理后不同温度饲养观察”对杀虫剂活性影响(Harris and Kinoshita, 1977; 应鹤松, 1986; 李慧冬和罗万春, 2004)。温度对杀虫剂毒力的影响不仅取决于处理后温度下药剂对昆虫的作用,实验前昆虫的活动状态、代谢速度和实验中药剂的沉降、展着等都与温度有着密切的关系。Munson (1953)、Baldus 和 Mutchmor (1988)研究发现预处理温度会影响杀虫剂活性。昆虫的角质层中饱和脂肪会受到预处理温度影响而产生变化,从而促进或延缓药剂的溶解度和对靶标部位的迁移,进而影响杀虫活性。温度会影响昆虫体内的酶活性,一些解毒酶和靶标酶活性在处理前就已经受到温度的影响,而不仅是在处理后才起作用。此外,对于一些杀虫活性迅速的药剂来说,在处理后的移至不同温度条件之前,药剂已经发挥作用,甚至试虫已经死亡。所以用“同一温度处理后不同温度饲养观察”这种方法来进行杀虫剂温度系数的测定并不准确。本研究采用实验处理前、中、后严格控制温度一致的测定方法,能够更加真实地体现药剂的温度系数。

恒温实验数据表明麦长管蚜在温度超过30℃时无法完成生育,虫体死亡率达到100%(汪世泽和郝树广, 1993)。因此本实验在10~25℃进行麦长管蚜温度系数的测定。结果表明辛硫磷、毒死蜱、灭多威、丁硫克百威、吡虫啉和啉虫脒对麦长管蚜为正温度系数药剂,高效氯氰菊酯为负温度系数药剂,这与大部分研究结果一致(Norment and Chambers, 1970; Harris and Turnobull, 1978)。高效氯氰菊酯对麦长管蚜的毒力受温度的影响很

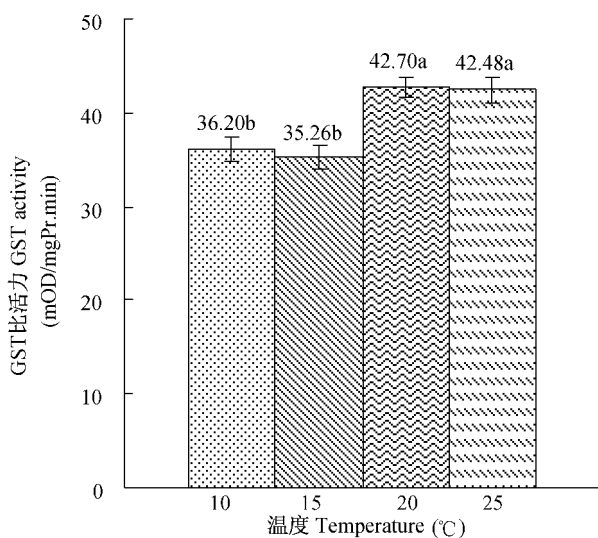


图2 不同温度下麦长管蚜 GST 比活力测定

Fig. 2 GST activity of *Sitobion avenae* in different temperature

图中不同字母表示差异显著 (Duncan's, $P < 0.05$); 下图同。

Histograms with different letters indicate significantly different at 0.05 level by Duncan's multiple range test. The same below.

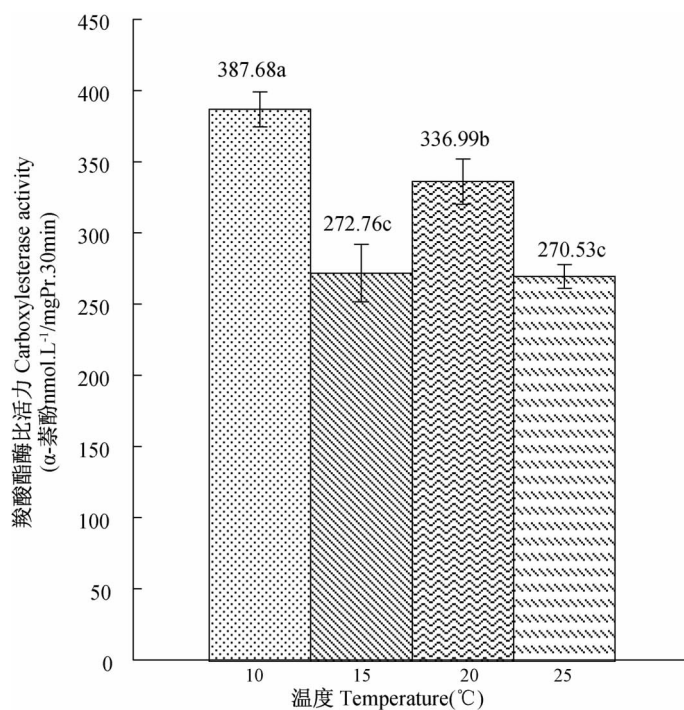


图3 不同温度下麦长管蚜羧酸酯酶比活力测定

Fig. 3 Carboxylesterase activity of *Sitobion avenae* in different temperature

小;且麦长管蚜对高效氯氰菊酯和高效氟氯氰菊酯表现比较敏感,低温下应用效果更好。以上 8

种药剂中毒死蜱和辛硫磷的毒力受温度的影响最大,但在高温时效果较好,在田间应用时应避开低

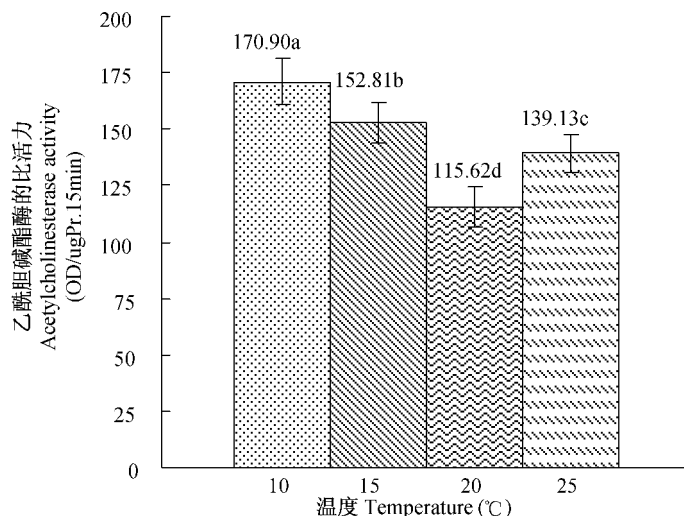


图4 不同温度下麦长管蚜乙酰胆碱酯酶活性测定

Fig. 4 Acetylcholinesterase activity of *Sitobion avenae* in different temperature

温天气。氨基甲酸酯类杀虫剂和新烟碱类杀虫剂的毒力受温度影响幅度相当,吡虫啉和啉虫脒对麦长管蚜药效更好,且啉虫脒比吡虫啉受温度影响小。

温度对于杀虫药剂生物活性影响的机制是多方面的,如温度升高造成昆虫代谢紊乱,解毒酶代谢功能降低,昆虫体壁蜡层的蜡质分子结构发生了变化造成药剂更快的渗透入昆虫体内,是目前能解释正温度系数药剂的机理,但缺乏生理生化实验的证实(王永江等,2005)。拟除虫菊酯的杀虫活性与温度系数的变化可能与昆虫神经系统的活动和代谢方式有关(Gammon *et al.*, 1981; Narahashi *et al.*, 1995),但拟除虫菊酯毒性与温度关系的机制仍然是一个谜。本文测定了麦长管蚜在10~25℃下2个解毒酶和1个靶标酶的活性差异。发现麦长管蚜在高温下GST活性增强,羧酸酯酶和乙酰胆碱酯酶活性降低。它们的变化规律表明:GST活性与负温度系数密切相关,正温度系数与羧酸酯酶活性和靶标酶乙酰胆碱酯酶活性有关。

我国南北气候温差较大,同一地点每天的气温也有不同。明确温度对杀虫剂的影响,在害虫防治中有利于人们根据环境条件选择更合适的杀虫剂,控制了杀虫剂的使用频率,使杀虫剂的药效得到有效发挥,在害虫综合治理和抗药性中有重要意义。杀虫剂温度系数的机制本文进行了初步的探索,但仍然有待继续研究。

参考文献 (References)

- Baldus TJ, Mutchmor JA, 1988. The effects of acclimation and post-treatment temperature on the toxicity of allethrin to the American cockroach, *Periplaneta americana*. *Comp. Biochem. Physiol.*, 89(2):403—407.
- Bradford MM, 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *J. Analyt. Biochem.*, 72(1/2):248—254.
- DeVries DH, Georgiou GP, 1979. Influence of temperature on the toxicity of insecticides to susceptible and resistant house flies. *J. Econ. Entomol.*, 72(1):48—50.
- Gammon DW, Brown MA, Casida JE, 1981. Two classes of pyrethroid action in the cockroach. *J. Pestic. Biochem. Physiol.*, 15(2):181—191.
- Gordon CJ, 2005. *Temperature and Toxicology: An Integrative, Comparative and Environmental Approach*. CRC press, Boca Raton, FL, USA. 1—338.
- Habig WH, 1981. *Method in Enzymology*. New York: Academic Press. 398—404.
- 韩晓莉, 2007. 麦长管蚜对新烟碱类杀虫剂抗药性研究. 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.
- Harris CR, Turnbull SA, 1978. Laboratory studies on the contact toxicity and activity in soil of four pyrethroid insecticides. *Can. Entomol.*, 110(3):285—288.

- Horn DJ, 1998. Temperature synergism in integrated pest management // Hallman GJ, Denlinger DL (eds.). *Temperature Sensitivity in Insects and Application in Integrated Pest Management*. Colorado, USA: Westview Press. 1—311.
- IUPS Thermal Commission, 2001. Glossary of terms for thermal physiology. III ed. Revised by The Commission for Thermal Physiology of the International Union of Physiological Sciences (IUPS). *Jpn. J. Physiol.*, 28: 1245—1284.
- Johnson DL, 1990. Influence of temperature on toxicity of two pyrethroids to grasshoppers (Orthoptera: Acrididae). *J. Econ. Entomol.*, 83(2): 366—373.
- 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.
- McLeod P, 1991. Influence of temperature on translaminar and systemic toxicities of aphicides for green peach aphid (Homoptera: Aphididae) suppression on spinach. *J. Econ. Entomol.*, 84: 1558—1561.
- 慕立义, 1994. 植物化学保护研究法. 北京: 中国农业出版社. 148—161.
- Munson SC, 1953. Some effects of storage at different temperatures on the resistance of the American roach to DDT. *J. Econ. Entomol.*, 46: 754—760.
- Musser FR, Shelton AM, 2005. The influence of post-exposure temperature on the toxicity of insecticides to *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae). *Pest Manag. Sci.*, 61: 508—510.
- Narahashi T, Carter DB, Frey J, Ginsburg K, Hamilton BJ, Nagata K, Roy ML, Song JH, Tatebayashi H, 1995. Sodium channels and GABAA receptor-channel complex as targets of environmental toxicants. *J. Toxicol. Lett.*, 82: 239—245.
- Norment BR, Chambers HW, 1970. Temperature relationships in organophosphorus poisoning in boll weevils. *J. Econ. Entomol.*, 63(2): 502—504.
- Ozder N, 2002. Development and fecundity of *Sitobion avenae* on some wheat cultivars under laboratory conditions. *Phytoparasitica*, 30(4): 434—436.
- 师桂英, 尚勋武, 王化俊, 马小乐, 胡秉芬, 李昌盛, 2009. 麦长管蚜 (*Sitobion avenae* (F.)) 危害对春小麦面粉品质性状及面团流变学特性的影响. *作物学报*, 35(12): 2273—2279.
- Sparlts TC, Pavloff AM, Rose RL, Clower DF, 1983. Temperature-toxicity relationships of pyrethroids on *Heliothis virescens* (F.) (Lepidoptera: Noctuidae) and *Anthonomus grandis grandis* Boheman (Coleoptera: Curculionidae). *J. Econ. Entomol.*, 76(2): 243—246.
- Valles SM, Arryo HS, Brenner RJ, Koehler PG, 1998. Temperature effects on-cyhalothrin toxicity in insecticide-susceptible and resistant *German cockroaches* (Dictyoptera: Blattellidae). *Fla. Entomol.*, 81: 193—201.
- Van Asperen K, 1962. A study of housefly esterase by means of a sensitive colorimetric method. *J. Insect Physiol.*, 8: 401—416.
- Vinson EB, Kearns CW, 1952. Temperature and the action of DDT on the American roach. *J. Econ. Entomol.*, 45: 484—496.
- 汪世泽, 郝树广, 1993. 温度对麦长管蚜的影响. *生态学杂志*, 12(3): 53—56.
- 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.
- 应鹤松, 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.