

中华通草蛉成虫抗寒能力季节性变化

郭海波,许永玉*,鞠 珍,李明贵

(山东农业大学植物保护学院,泰安 271018)

摘要:中华通草蛉 (*Chrysoperla sinica*) 成虫在自然条件下抗寒能力的季节性变化研究表明,雌、雄成虫的抗寒能力均呈现出季节性的变化趋势,即随着冬季低温的到来,其抗寒能力逐渐增强,冬季过后又随气温的回升,其抗寒力逐渐减弱。雌、雄成虫的体内含水量、过冷却点 (SCP) 和结冰点 (FP) 均随气温的降低而降低,升高而升高,但体内总脂肪的含量却随气温的降低而升高,升高而降低。越冬代在越冬的前期和中期,雌、雄成虫体内的含水量和 SCP 均显著低于生长季节的其它各代,越冬代后期的含水量和 SCP 与生长季节其它各代没有显著差异。经回归分析发现,雌、雄成虫体内含水量与 SCP 之间均存在极显著负相关关系 ($p < 0.01$);越冬代成虫(特别是越冬前期)的体内总脂肪含量显著高于其它时期,并且雌成虫体内的总脂肪含量与 SCP 之间呈显著正相关 ($p < 0.05$),雄成虫体内总脂肪含量与 SCP 之间没有显著相关性 ($p > 0.05$)。在一年的不同世代中,雌、雄成虫体内含水量只是在越冬前期有显著差异,SCP 和体内总脂肪含量却在越冬后期有显著差异。

关键词:中华通草蛉;体内含水量;脂肪;过冷却点;抗寒能力

文章编号:1000-0933(2006)10-3238-07 中图分类号:Q143,Q965,Q968.1 文献标识码:A

Seasonal changes of cold hardiness of the green lacewing, *Chrysoperla sinica* (Tjeder) (Neuroptera :Chrysopidae)

GUO Hai-Bo, XU Yong-Yu*, JU Zhen, LI Ming-Gui (College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(10): 3238 ~ 3244.

Abstract: The green lacewing, *Chrysoperla sinica* (Tjeder), a common species in China, is known as an important natural enemy attacking many kinds of agricultural and forestry pests. It is one of the important dominant natural enemies in Tai'an of Shandong Province. Under natural conditions, it has four generations and obvious metagenesis during the whole year, and overwinters in adults of the fourth generation in facultative diapause. In the present study, experiments were carried out to examine the capability of the adult cold hardiness among the different generations, especially the seasonal changes of the water and fat content in adult body and the supercooling point (SCP) were determined. Results showed that the cold hardiness of the female and male adults took on seasonal changes that the cold hardiness gradually strengthened with the winter temperature decreasing and weakened with the temperature increasing after winter. The water and fat content, the SCP and freezing point (FP) of the female and male adults changed greatly among the generations in the different seasons. The water content and SCP of the overwintering female and male adults during the pre- and mid-overwintering period were significantly lower than that of other generations in growing seasons, but the water content and SCP had no difference between the adults during the late overwintering period and other generations in growing seasons. The regression analysis showed that there was remarkably negative correlation between the water content and SCP of the adults ($p < 0.01$). The total fat content of the overwintering generation (especially at the pre-overwintering period) was

基金项目:山东省利用世界银行贷款科研资助项目;山东农业大学博士后资助项目和博士基金资助项目

收稿日期:2005-07-24; **修订日期:**2006-05-15

作者简介:郭海波(1980~),男,山东济宁人,硕士生,主要从事昆虫生理生态研究。

*通讯作者 Corresponding author. E-mail: xuyy@sdau.edu.cn

Foundation item: The project was supported by Load of Word Bank for Research Project in Shandong Province, Post-doctoral Research Fellowship and Doctor's Foundation in Shandong Agricultural University

Received date: 2005-07-24; **Accepted date:** 2006-05-15

Biography: GUO Hai-Bo, Master candidate, mainly engaged in insect eco-physiology.

significantly higher than that of other generations, and the correlation between the total fat content and SCP was significantly positive in female adults ($p < 0.05$), otherwise, there was no correlation in male adults ($p > 0.05$). Compared the female adults with the male adults in the different generations, the water content had significant difference only in the preoverwintering period, and the SCP and the total fat content had significant difference only in the late overwintering period.

Key words: *Chrysoperla sinica*; water content; fat; supercooling point (SCP); cold-hardiness

温带或寒带地区昆虫的抗寒机制,包括生态(或行为)与生理两个方面,前者往往通过迁飞或隐藏等行为来逃避低温的伤害,后者则通过调节体内代谢机制和积累抗寒物质等来抵御寒冷。Salt^[1]曾把昆虫的抗寒性分为两类,一类为耐冻性,即昆虫能在不太低的温度下,有效地诱导晶核物质产生,引起细胞外结冰,从而避免致死性的细胞内结冰;另一类为抗寒性,即昆虫通过低温诱导,产生抗寒性物质,从而降低虫体的过冷却点,避免虫体结冰,藉此抵御低温的威胁。研究生命过程中的过冷却现象,对于认识抗寒特性机理是十分重要的^[2],在对大量有关昆虫抗寒性的研究中,过冷却点(supercooling point, SCP)常常作为衡量昆虫抗寒能力的一个重要指标。

中华通草蛉 *Chrysoperla sinica* (Tjeder) 是多种农林害虫的重要捕食性天敌^[3-5]。该草蛉是山东麦田、棉田的优势种之一,在山东泰安地区一年发生 4 代^[6],且世代交替明显,以第 4 代成虫兼性滞育越冬^[3,7]。因此,其抗寒能力的强弱,特别在寒冷的冬季,对下一季节田间种群数量的变化起着决定性的作用。本文研究了中华通草蛉抗寒能力的季节性变化,以期对其抗寒性及抗寒机理有进一步的了解,为该草蛉的预测预报和保护利用该虫提供一定的技术参数。

1 材料与方法

1.1 试验虫源及饲养方法

中华通草蛉各世代成虫分别在其发生盛期,即 2004 年 5 月 19 日(第 1 代)、7 月 2 日(第 2 代)、8 月 12 日(第 3 代)和 9 月 15 日(第 4 代即越冬代)采自山东农业大学南校区作物田或园林苗圃,在室内养虫笼内饲养稳定 1d。对于越冬滞育型成虫(第 4 代),将 9 月下旬~10 月上旬采集的个体置于室外人工棚下的养虫笼内(笼内放置适量的新鲜大叶黄杨 *Euonymus japonicus*,同时饲喂啤酒酵母干粉饲料和 10% 蜂蜜水,试验时,从笼中随机选取个体作为供试虫源。

1.2 试验方法

1.2.1 中华通草蛉各世代成虫过冷却点的测定 采用热电偶方法进行过冷却点的测定,使用的仪器为由低温恒温槽(DCW-3506 型,宁波市海曙天恒仪器厂)和数据采集器(Temp32 型,中国农业科学院农业气象研究所)等组成的过冷却点测定系统。测定时将热敏电阻的测温探头固定在虫体胸、腹部交界处,然后置于低温槽内,槽内以 1 /min 的速率降温。虫体温度的变化经数据采集器采集后输入计算机,由相应的软件对数据进行自动记录测试虫体的温度变化,并绘出温度变化曲线图。虫体温度随着环境温度以 1 /min 的非线性速率降温,当体内自发的结冰发生时,由于潜热的释放使温度变化曲线图上有一个较大的回折,根据曲线上的回折点和峰点分别读出成虫的过冷却点值和结冰点(freezing point, FP)值(图 1)。每次试验取自然条件下不同时期的各世代雌、雄成虫各 20~30 头,进行过冷却点的测定。

1.2.2 中华通草蛉各世代成虫体内含水量的测定 将测定过冷却点后的雌、雄成虫按测定顺序分别标记,并迅速在电子天平(万分之一)上称其单头鲜重,然后置于 60 的恒温培养箱中烘(24h)至恒重,再将虫体进行单头称重(即干重),计算虫体的含水量。对应于每头成虫的过冷却点,分析虫体含水量与过冷却点的关系。

1.2.3 中华通草蛉各世代成虫体内总脂肪含量的测定 参照张韵梅^[8]的方法并改进,测定各世代雌、雄成虫的总脂肪含量。具体方法如下:

将自然条件下的各世代雌、雄成虫分别在 60 的恒温培养箱中烘干后称重,将其粉碎研细,装入滤纸筒内。然后将滤纸筒置于索氏提取器内,准确称量蒸馏瓶的重量,在 60 的恒温水浴中用无水乙醚回流提取

10h,回收乙醚,将蒸馏瓶加热除去残余的乙醚并干燥,再称量蒸馏瓶和提取物的总重量。结果计算:

$$\text{总脂肪含量}(\%) = (m_2 - m_1) / M \times 100$$

式中, m_1 为提取前蒸馏瓶的重量(g); m_2 为提取后蒸馏瓶的重量(g); M 为提取前样品的重量(g)。

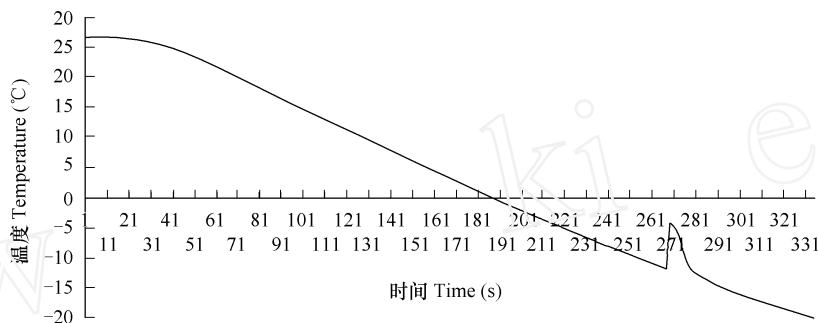


图1 中华通草蛉成虫过冷却点测定记录图

Fig. 1 The noted figure of supercooling point measurement of *Ch. sinica* adult

*图中回折点为过冷却点,峰点为结冰点 The turning point and peak point of the curve are supercooling point (SCP) and freezing point (FP), respectively

1.3 数据分析

所有数据均采用 SPSS 10.0 for windows 软件分析,组间均值差异用 One-Way ANOVA 分析。

2 结果与分析

2.1 中华通草蛉各世代成虫体内含水量的变化动态

中华通草蛉各世代雌、雄成虫体内的含水量(图2)均随着气温的季节性变化而呈现出季节性的变化,即随着气温的升高而增加,降低而减少。雌、雄成虫体内的含水量仅在越冬前期(2004年10月9日)存在显著差异($F = 5.845, p = 0.026$)。

中华通草蛉雌成虫体内的含水量从第3代成虫开始降低,并在第4代成虫的越冬中期达到最低(48.05%),而后又开始增加,在第2代成虫期达到最高(65.79%)。从图2可以看出,越冬期间(越冬前期和越冬中期)体内的含水量显著低于生长季节期体内的含水量,并且第4代雌成虫在越冬以后体内含水量明显升高,极显著高于越冬期体内含水量,与生长季节期体内含水量没有显著差异。

中华通草蛉雄成虫体内含水量也从第3代成虫开始降低,且与第1、2代成虫体内含水量有极显著差异,但其在第4代成虫的越冬前期达到最低(48.86%),而后又开始增加,在第2代成虫期达到最高(65.54%)。从图2中也可以看出,越冬期间(越冬前期和越冬中期)体内含水量显著低于生长季节期体内含水量,并且第4代雄成虫在越冬以后体内含水量明显升高,显著地高于越冬期体内含水量,与前3代成虫的含水量没有显著差异。

2.2 中华通草蛉各世代成虫的过冷却点和结冰点

中华通草蛉各世代雌、雄成虫的 SCP 和 FP(图3、图4)也随着气温的季节性变化而呈现出季节性的变化,即随着气温的升高而升高,降低而降低,但二者的 SCP 仅在第4代成虫的越冬后期出现极显著差异($F = 9.148, p = 0.006$),而二者的 FP 间没有显著差异。

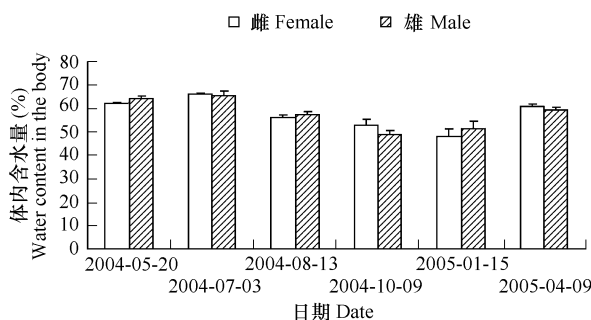


图2 中华通草蛉各世代成虫体内含水量的变化动态(均值 $\pm$ SE)

Fig. 2 The dynamic changes of the water content in the body of *Ch. sinica* adult in different generations (average $\pm$ SE)

中华通草蛉雌成虫的 SCP(图 3)随着季节性气温的降低逐渐降低,越冬以后,又随着气温的升高而升高,且在第 2 代成虫的 SCP 达到最高(- 8.46),第 4 代成虫(越冬代)越冬中期的达到最低(- 13.29)。从图中可以看出,第 4 代(越冬代)成虫的 SCP 显著低于第 1、2、3 代,生长季节期即第 1、2、3 代之间的 SCP 没有显著差异,其中第 4 代(越冬代)中处于越冬中期雌成虫 SCP 极显著低于越冬前期和越冬后期的。中华通草蛉雌成虫的 FP 变化趋势同 SCP,不同的是第 4 代成虫在越冬前期和中期的 FP 显著低于其余各时期成虫,且第 4 代成虫越冬后期的和前 3 代间没有显著差异。

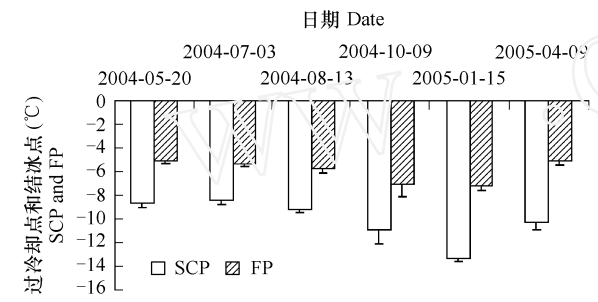


图 3 中华通草蛉各世代雌成虫过冷却能力的变化动态(均值 ±标准误差)

Fig. 3 The dynamic changes of the supercooling ability of *Ch. sinica* female adult in different generations(average ±SE)

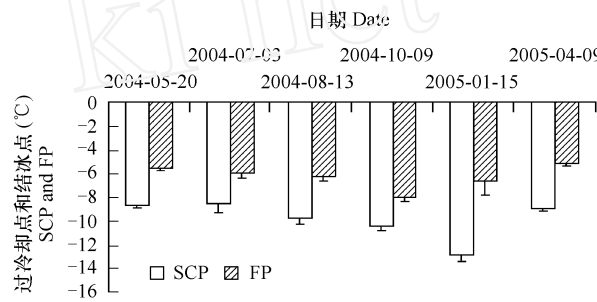


图 4 中华通草蛉各世代雄成虫过冷却能力的变化动态(均值 ±标准误差)

Fig. 4 The dynamic changes of the supercooling ability of *Ch. sinica* male adult in different generations(average ±SE)

中华通草蛉雄成虫的 SCP(图 4)也随着季节性气温的降低逐渐降低,越冬以后,又随着气温的升高而升高,且在第 2 代成虫的 SCP 达到最高(- 8.6),第 4 代成虫(越冬代)越冬中期的达到最低(- 12.84)。第 4 代成虫越冬中期的 SCP 极显著低于其他各时期成虫的,且第 4 代越冬后期和前 3 代成虫间的 SCP 没有显著差异。中华通草蛉雄成虫的 FP 的变化趋势同 SCP,不同的是第 4 代越冬前期的 FP 最低(- 8)与其他各时期间有显著差异,其他各时期成虫之间的 FP 没有显著差异。

2.3 中华通草蛉成虫体内含水量与其过冷却点(SCP)的关系

将中华通草蛉各世代雌、雄虫体内含水量与过冷却点进行相关关系分析结果见图 5 和图 6。从雌、雄成虫体内含水量和其 SCP 的散点分布情况可以看出,雌、雄成虫体内含水量和 SCP 呈现出较好的正相关,体内含水量高的成虫,其 SCP 较高。

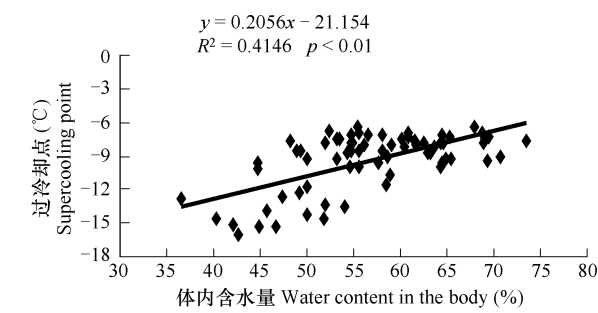


图 5 中华通草蛉雌成虫体内含水量与其过冷却点的关系

Fig. 5 The relation between the water content and the supercooling point of *Ch. sinica* female adult

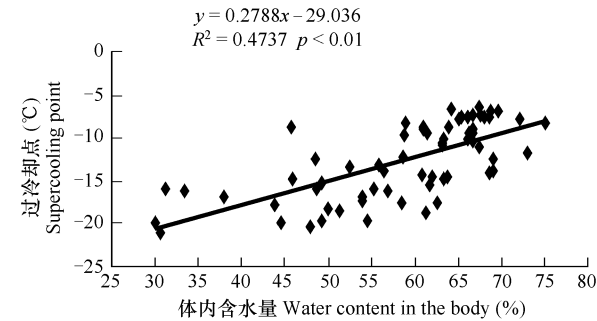


图 6 中华通草蛉雄成虫体内含水量与其过冷却点的关系

Fig. 6 The relation between the water content and the supercooling point of *Ch. sinica* male adult

2.4 中华通草蛉各世代成虫体内总脂肪含量的变化动态

中华通草蛉各世代雌、雄成虫体内总脂肪含量的动态变化(图 7)说明,雌、雄成虫在越冬期间显著高于生长季节期的,且二者均在第 4 代成虫越冬前期达到最高,随后又逐渐降低。越冬后期雄成虫体内总脂肪的含量仍逐渐降低,但雌成虫的有所回升,并显著高于雄成虫。整个越冬期间,雌成虫体内总脂肪的含量均高于雄成虫。在生长季节期,雌、雄成虫体内总脂肪含量基本一直没有显著差异,只是第 3 代成虫雄虫略高于雌虫。

2.5 中华通草蛉成虫体内总脂肪含量和过冷却点的关系

将 2004 年 5 月~2005 年 4 月每个月的中华通草蛉雌、雄成虫体内总脂肪含量和其 SCP 二者平均值进行回归分析(图 8,图 9),结果表明雌、雄成虫体内总脂肪的含量和其 SCP 均呈负相关,体内脂肪含量越高,其 SCP 越低。将二者进行相关检验,发现雌成虫体内总脂肪含量与其 SCP 之间显著相关($p < 0.05$),而雄成虫体内总脂肪含量与其 SCP 之间没有显著相关性($p > 0.05$)。

3 结论与讨论

昆虫依赖于多种多样的生态和生理适应在低温下存活,其中过冷却可能是普遍利用的方式之一。影响过冷却点的因素很多,如昆虫的体重、所处的生理状态,抗冻保护剂及冰核剂的有无及多寡等。与其它昆虫和螨类一样^[9,10],中华通草蛉成虫的抗寒能力也呈现出季节性的变化趋势,即随着寒冷冬季的到来,其抗寒能力逐渐增强,冬季过后抗寒力又逐渐减弱,其中季节性变化的温度及光照应该是首要的诱因。其主要原因有 3 方面:其一,季节性气温的变化是一个逐渐降低和升高的过程,而且低温驯化有利于增强昆虫的抗寒能力^[11],中华通草蛉的成虫在自然条件下存在一个随着季节性气温的变化而逐渐自然驯化的过程,这无疑增加了其自身的抗寒能力,即过冷却点和结冰点都逐渐降低。其二,中华通草蛉属于短日照滞育型成虫^[12],能够经过冬季短光照的诱导发生滞育现象,而在很多昆虫,比如甘蓝夜蛾 *Mamestra brassicae*、亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis*、飞蝗 *Locusta migratoria* 中,滞育现象的存在和抗寒性之间有着密不可分的关系^[13~15],故中华通草蛉通过自身的兼性滞育来增强其过冷却能力也是有可能的。其三,中华通草蛉在成虫滞育以前,能够成功地调整生殖营养消耗与越冬能量储存之间的平衡,以保证来年种群的生存机会,这在对自然种群的越冬调查中得以证实^[17],这正说明中华通草蛉能够感受低温的到来,并在体内发生了一系列的生理生化变化,以增强其抗寒能力。

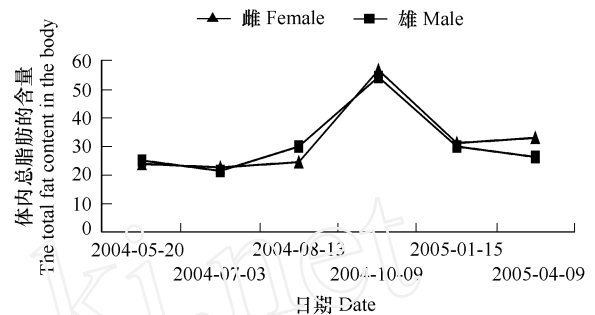


图 7 中华通草蛉各世代成虫总脂肪含量的变化动态(平均值)

Fig. 7 The The dynamic changes of the total fat content of *Ch. sinica* adult in different generations(average)

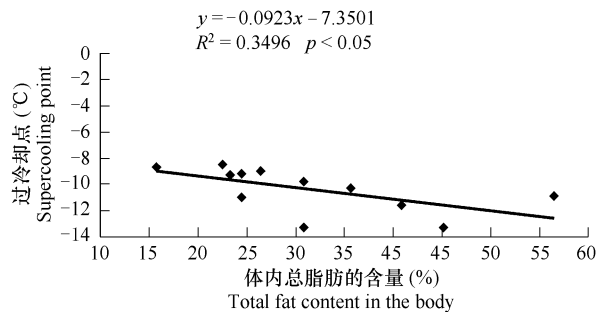


图 8 中华通草蛉雌成虫体内总脂肪的含量和过冷却点的关系

Fig. 8 The relation between the total fat content in the body and the supercooling point of *Ch. sinica* female adult

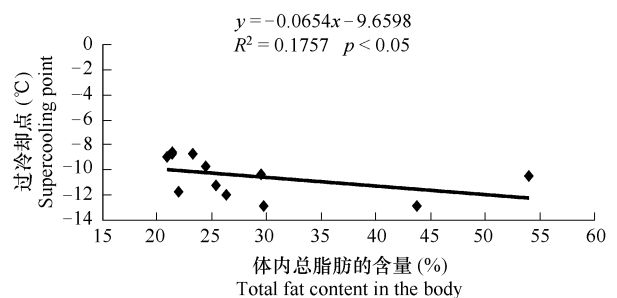


图 9 中华通草蛉雄成虫体内总脂肪的含量和过冷却点的关系

Fig. 9 The relation between the total fat content in the body and the supercooling point of *Ch. sinica* male adult

试验结果表明,当寒冷的冬季即将到来时,中华通草蛉第4代成虫(越冬代)已经在生理、行为等方面做好了准备,如滞育的发生^[12],体内含水量的下降,体内总脂肪含量的集聚,过冷却点的降低,寻找隐蔽场所^[3]等。但在越冬后期,随着气温的逐渐升高,雌、雄成虫的抗寒能力都逐渐减弱,然而此时雌虫的抗寒能力极显著高于雄虫($p < 0.01$),特别是在寒流时常发生的春季,造成成虫特别是雄虫大量死亡,严重影响了中华通草蛉春季田间种群的数量。这与人^[17,18]的许多研究结果是一致的。造成此现象的主要原因是中华通草蛉在越冬以后随着春季光照时数的增加其自身滞育开始解除,雌雄开始交配,雌虫进行大量取食并产卵,体内脂肪含量增加,其抗寒力较强,但雄成虫由于其自身的使命就是和雌虫交配^[3],故其体内生理生化的变化不及雌虫,其抗寒力也较弱,并且此时田间不利的温湿度条件也将降低中华通草蛉成虫越冬后的存活率^[19]。因此,查明中华通草蛉成虫的抗寒机理,特别是在寒冷的冬季,为保护、利用、降低春季死亡率提供一定的技术参数则显得尤为重要。

本论文测定的中华通草蛉成虫的抗寒性,是在自然条件下的抗寒能力,对于极端低温条件和不同变温幅度条件下的抵抗性,尚未进行研究。此外,对于中华通草蛉抗寒性机制以及与遗传基因的关系等问题,如成虫在抗寒的过程中是否体内也构成一个抗寒物质系统,如欧桦小蠹 *Scolytus ratzeburgi* 幼虫体内的甘油-山梨醇-葡萄糖-海藻糖系统^[20]和桑尺蠖 *Phthonandria atrilineata* 幼虫体内的小分子糖类-氨基酸-糖蛋白系统^[21],有待进一步研究。

References:

- [1] Salt R W. Principles of insect cold hardiness. Ann. Rev. Ent. ,1961 ,6 :55 ~ 74.
- [2] Zhang Q S, Li Y M, Zhang Y, et al. Supercooling characteristics of the homothermal tissue and the analysis of its relative factors. Chinese Journal of Medical Physics, 1997, 14(3) :140 ~ 142.
- [3] Zhao J Z. Protection and utilization of the green lacewing. Wuhan: Wuhan University Press, 1989. 35 ~ 50, 151 ~ 214.
- [4] Zhou W R, Wang R, Qiu S B. Field studies on the survival of *Chrysoperla sinica* (Neu. : Chrysopidae) mass reared and inoculatively released in wheat fields in northern China. Chinese Journal of Biological Control, 1991, 7(3) :97 ~ 100.
- [5] Xu H F, Mu S M, Xu Y Y, et al. On the community structure of major insect pests and natural enemies in summer corn field inlaid in cotton area. Acta Phytopylacica Sinica, 2000, 27(3) :199 ~ 204.
- [6] Mu J Y, Wang N C, Fan Y G. Studies on the life histories and bionomics of four species of green lacewings. Acta Phytopylacica Sinica, 1980, 7(1) :1 ~ 8.
- [7] Xu Y Y, Mu J Y, Hu C. Research and utilization of *Chrysoperla sinica*. Entomological Knowledge, 1999, 36(5) :313 ~ 315.
- [8] Zhang Y M. Study on changes of main biochemical composition, fat, glycogen and so on in diapause pupa of *Heliothis armigera* Hübener. Journal of Shandong Agricultural University, 1994, 25(2) :147 ~ 150.
- [9] Sjørnsen H, Sømme L. Seasonal changes in tolerance to cold and desiccation in *Phauloppia* sp. (Acari, Oribatida) from Finse, Norway. J. Insect Physiol. , 2000, 46 :1387 ~ 1396.
- [10] Liu K, Peng Z Q, Li W D, et al. The super-cooling point measure of *Brontispa Ingissima*. Plant Quarantine, 2005, 19(1) :24 ~ 26.
- [11] Leather S R, Walters K F, Bale J S. The Ecology of Insect Overwintering. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.
- [12] Xu Y Y, Mu J Y, Hu C. Photoperiodic control of adult diapause in *Chrysoperla sinica* (Tjeder) (Neuroptera: Chrysopidae) . Critical photoperiod and sensitive stages of adult diapause induction. Entomologia Sinica, 2004, 11(3) :191 ~ 198.
- [13] Xue F S, Zhu X F, Gui A L. On the Catalase Activity of the Diapausing Pupae of Cabbage Moth, *Mamestra brassicae*. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 1999, 21(4) :509 ~ 511.
- [14] Goto M, Sekine Y, Oota H. Relationships between cold hardiness and diapause, and between glycerol and free acid contents in overwintering larvae of the oriental corn borer, *Ostrinia furnacalis*. J. Insect Physiol. , 2001, 47 :157 ~ 165.
- [15] Jing X H, Kang L. Seasonal changes in the supercooling point of overwintering eggs of *Locusta migratoria*. Entomological Knowledge, 2003, 40(4) :326 ~ 328.
- [16] Xu Y Y, Hu C, Mu J Y, et al. Relationship between adult diapause development and overwintering coloration changes in *Chrysoperla sinica* (Neu. : Chrysopidae). Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(8) :1275 ~ 1280.
- [17] Renault D, Salin C, Vannier G, et al. Survival at low temperatures in insects: what is the ecological significance of the supercooling point? CryLetters. 2002, 23(4) :217 ~ 228.
- [18] Zhi L S, Xu Y Y, Xu H F, et al. Preliminary study on the overwintering ability of *Chrysoperla sinica* (Tjeder). Natural Enemies of Insects, 2004, 26(2) :76

~80.

- [19] Xu Y Y, Mu J Y, Hu C, *et al.* Effects of temperature and relative humidity on survival of the overwintering green lacewing, *Chrysoperla sinica* (Tjeder) (Neuroptera: Chrysopidae). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(11): 2569 ~ 2572.
- [20] Han Z J, Wang Y C, You Z P. The cold hardiness mechanism of terrestrial insects. *Entomological Knowledge*, 1989, 26(1): 34 ~ 42.
- [21] Sun X G, Guo H L, Li S T, *et al.* Study on cold hardiness of overwintering larvae of *Phthorandria atrilineata* Butler. *Acta Sericologica Sinica*, 2000, 26(3): 129 ~ 133.

参考文献:

- [2] 张秋实, 李玉明, 张游, 等. 温血动物组织的过冷特性及其相关因素分析. *中国医学物理学杂志*, 1997, 14(3): 140 ~ 142.
- [3] 赵敬钊. 草蛉的保护和利用. 武汉: 武汉大学出版社, 1989. 35 ~ 50, 191 ~ 214.
- [4] 周伟儒, 王韧, 邱式邦. 麦田接种释放中华通草蛉成活率的研究. *生物防治通报*, 1991, 7(3): 97 ~ 100.
- [5] 徐洪富, 牟少敏, 许永玉, 等. 棉区夏玉米田害虫及天敌群落结构. *植物保护学报*, 2000, 27(3): 199 ~ 204.
- [6] 牟吉元, 王念慈, 范永贵. 四种草蛉生活史和习性的研究. *植物保护学报*, 1980, 7(1): 1 ~ 8.
- [7] 许永玉, 牟吉元, 胡萃. 中华通草蛉的研究与应用. *昆虫知识*, 1999, 36(5): 313 ~ 315.
- [8] 张韵梅. 棉铃虫蛹在滞育中脂肪、糖原等生化成分的含量变化的研究. *山东农业大学学报*, 1994, 25(2): 147 ~ 150.
- [10] 刘奎, 彭正强, 李文德, 等. 椰心叶甲过冷却点的测定. *植物检疫*, 2005, 19(1): 24 ~ 26.
- [13] 薛芳森, 朱杏芬, 桂爱礼. 甘蓝夜蛾滞育蛹体内过氧化氢酶活力的研究. *江西农业大学学报*, 1999, 21(4): 509 ~ 511.
- [15] 景晓红, 康乐. 飞蝗越冬卵过冷却点的季节性变化及生态学意义. *昆虫知识*, 2003, 40(4): 326 ~ 328.
- [16] 许永玉, 胡萃, 牟吉元, 等. 中华通草蛉成虫越冬体色变化与滞育的关系. *生态学报*, 2002, 22(8): 1275 ~ 1280.
- [18] 鄧伦山, 许永玉, 徐洪富, 等. 中华通草蛉滞育成虫越冬能力的初步研究. *昆虫天敌*, 2004, 26(2): 76 ~ 80.
- [19] 许永玉, 牟吉元, 胡萃, 等. 温湿度对中华通草蛉越冬成虫存活的影响. *生态学报*, 2004, 24(11): 2569 ~ 2572.
- [20] 韩召军, 王荫长, 尤子平. 陆生昆虫的抗寒机制. *昆虫知识*, 1989, 26(1): 34 ~ 42.
- [21] 孙绪良, 郭慧玲, 李恕廷, 等. 桑尺蠖越冬幼虫的耐寒性研究. *蚕业科学*, 2000, 26(2): 129 ~ 133.