

# 异色瓢虫成虫耐寒能力的季节性变化

赵 静<sup>1</sup>, 于令媛<sup>1</sup>, 李 敏<sup>3</sup>, 郑方强<sup>1</sup>, 张 帆<sup>2,\*</sup>, 许永玉<sup>1,\*</sup>

(1 山东农业大学植物保护学院, 山东泰安 271018; 2 北京市农林科学院植物保护环境保护研究所, 北京 100089;

3 潍坊市寒亭区植保站, 山东潍坊 261100)

**摘要:** 为研究异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 自然种群耐寒能力的季节性变化, 测定了其过冷却点、体内含水量及总脂肪含量和低温存活力。结果表明: 异色瓢虫成虫低温存活力呈现出明显的季节性变化, 越冬前成虫的耐寒性显著强于夏季成虫和越冬后成虫。冷驯化(5℃, 5 d)可以显著提高夏季成虫的低温存活力。雌雄成虫过冷却点和体内含水量随气温的降低而降低, 升高而升高。过冷却点 7 月份最高, 分别为-7.6℃和-8.0℃; 越冬中期(2008-01-15)最低, 分别为-18.1℃和-16.9℃。雌雄成虫体内含水量 9 月份最高, 分别为 66.87% 和 68.01%, 10 月份显著降低, 越冬后期(2008-2-19)最低, 分别为 52.94% 和 51.53%。越冬期间过冷却点和体内含水量显著低于其他时期。而雌雄成虫体内总脂肪含量在越冬开始就达到最高, 分别为 50.07% 和 47.93%, 随后又逐渐降低, 越冬期间显著高于其他时期。由此可知异色瓢虫自然种群的耐寒性呈现出明显的季节性变化, 文中还就异色瓢虫自然种群耐寒性影响因素及其越冬策略进行了讨论。

**关键词:** 异色瓢虫; 耐寒性; 冷驯化; 过冷却点(SCP); 含水量; 总脂肪含量

中图分类号: Q968.1 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2008)12-1271-08

## Seasonal variation in cold tolerance of the multicolored ladybeetle, *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae) adults

ZHAO Jing<sup>1</sup>, YU Ling-Yuan<sup>1</sup>, LI Min<sup>3</sup>, ZHENG Fang-Qiang<sup>1</sup>, ZHANG Fan<sup>2,\*</sup>, XU Yong-Yu<sup>1,\*</sup> (1. College of Plant Protection, Shandong Agriculture University, Tai'an, Shandong 271018, China; 2. Institute of Plant and Environmental Protection, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100089, China; 3. Plant Protection Station of Hanting District, Weifang, Shandong 261100, China)

**Abstract:** In this study, seasonal variation in cold tolerance of *Harmonia axyridis* adults were investigated by measuring their supercooling point (SCP), water content, total fat content and cold survival ability. The results indicated that cold tolerance of the adults varied obviously with seasons. The pre-winter adults had higher tolerance to low temperature than the summer and post-winter adults. Summer adults with cold acclimation (5℃, 5 d) before the occurrence of low temperatures showed higher cold tolerance. The SCPs and the water and fat content of the female and male adults varied remarkably in different seasons. The SCPs of female and male adults were highest in July (-7.6℃ and -8.0℃, respectively) while lowest in January (-18.1℃ and -16.9℃, respectively); the water contents of female and male adults were highest in September (66.87% and 68.01%, respectively) while lowest in February (52.94% and 51.53%, respectively). The SCP and water content of over-wintering adults were significantly lower than those in other seasons. But the total fat contents of pre-winter female and male adults (50.07% and 47.93%, respectively) were significantly higher than those in other seasons.

**Key words:** *Harmonia axyridis*; cold tolerance; cold acclimation; supercooling point (SCP); water content; total fat content

昆虫属于变温动物, 广泛分布于温带地区和极 地, 在各种各样的栖境中越冬(景晓红和康乐,

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(“973”计划)项目(2006CB102005); 山东省世界银行贷款项目(2007-3)

作者简介: 赵静, 女, 1984 年生, 山东肥城人, 博士研究生, 研究方向为昆虫生理生态研究, E-mail: 20020806@163.com

\*通讯作者 Authors for correspondence E-mail: xuyy@sdau.edu.cn; zf6131@263.net

收稿日期 Received: 2008-08-17; 接受日期 Accepted: 2008-10-28

2002)。温度对其生长发育、基本行为及进化途径都会产生很大影响(Lee and Denlinger, 1991), 尤其冬季低温(包括低温强度和持续时间)会造成昆虫大量死亡, 因此耐寒能力的高低已成为昆虫种群生存和延续的重要前提, 影响着来年其在田间的分布、数量和发生动态(McDonald *et al.*, 2000; Bale, 2002)。Lee(1989)把耐寒性(cold tolerance)定义为: 生物长期或短期暴露在低温下的存活能力, 这种能力因生物的特定发育阶段、环境的季节性变化、遗传因素及营养状况和低温暴露时间的长短而变化。而且昆虫耐寒性已成为一个热点领域被广泛研究(Sømme, 1999; Bale, 2002; Sinclair *et al.*, 2003)。由于栖境的多样性, 昆虫在长期的进化中形成了多种多样的耐寒对策(景晓红和康乐, 2002), 主要包括生态(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耐寒物质(低分子量的糖或醇, 如甘油、多元醇、海藻糖等)等来抵御寒冷(郭海波等, 2006)。在许多昆虫的耐寒性研究中, 过冷却点(supercooling point, SCP)和低温存活能力(survival capacity at low temperatures)常用来作为衡量其耐寒性强弱的重要指标(Nedved *et al.*, 1998; Chen and Kang, 2002; Renault *et al.*, 2002; Colinet *et al.*, 2006), 而且通过测定恒定低温下昆虫的存活能力及过冷却能力来研究昆虫耐寒性已取得了很大进展(Renault *et al.*, 2002)。明确昆虫的耐寒性对于其在一个国家或地区的分布, 能否建立稳定的种群, 成功预测预报以及治理害虫等方面都起着至关重要的作用(景晓红和康乐, 2004)。

异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas) 属鞘翅目瓢虫科, 对蚜虫、叶螨、介壳虫等重要害虫具有很强的捕食能力, 是一种重要的生防天敌(王小艺和沈佐锐, 2002; Koch, 2003)。该虫是山东泰安地区捕食性瓢虫的优势种群, 一年发生 4 代, 且世代交替明显, 10 月下旬以成虫滞育越冬。越冬成虫能否安全越冬是影响春季田间种群数量大小的一个重要因素。目前, 有关异色瓢虫成虫耐寒能力的系统研究还未见报道。

本文主要研究了异色瓢虫自然种群成虫在不同季节的过冷却点、低温存活率、体内水分和总脂肪含量的变化动态, 以期有效保护异色瓢虫越冬及其成虫人工低温贮存提供理论依据, 对充分发挥其天敌在害虫生物防治中的作用具有重要的实践意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试虫源

不同生长季节期间(2007-07-24, 2007-09-17, 2008-05-03)的异色瓢虫成虫采自山东农业大学南校区作物田或园林苗圃( $36^{\circ}15'N$ ,  $116^{\circ}59'E$ ), 越冬成虫于不同日期(2007-10-31, 2007-12-24, 2008-01-15, 2008-02-19, 2008-03-10)采自泰安市天外村山上( $36^{\circ}12'N$ ,  $117^{\circ}06'E$ )的石屋向阳屋檐下。试虫采回后在人工气候室养虫笼内饲养稳定 1 d 后用于实验。

### 1.2 实验方法

1.2.1 不同季节异色瓢虫成虫过冷却点和结冰点的测定: 采用热电偶方法进行过冷却点的测定, 仪器主要由低温恒温槽(DCW-3506 型, 宁波市海曙天恒仪器厂)和数据采集器(Temp 32 型, 中国农业科学院农业气象研究所)组成。测定时将热敏电阻的测温探头固定在虫体两鞘翅下, 然后置于低温槽内, 槽内以  $1^{\circ}C/min$  的速率降温。虫体的温度变化经数据采集器采集后输入计算机, 自动记录测试数据, 并绘出温度变化曲线图。虫体温度随着环境温度以  $1^{\circ}C/min$  的非线性速率降温, 读出成虫的过冷却点值和结冰点(freezing point, FP)值。在不同月份(2007-07-24, 2007-09-17, 2007-10-31, 2007-12-24, 2008-01-15, 2008-02-19, 2008-03-10, 2008-05-03)选取健康的雌雄成虫各 32~48 头进行测定, 获得 SCP 和 FP。

1.2.2 不同季节异色瓢虫成虫低温存活率测定: 将 2007-07-24 采集的夏季成虫, 2007-10-31 采集的越冬前成虫, 2008-03-10 采集的越冬后成虫分别进行低温和时间双因子的处理。具体方法如下: 首先测定成虫的 SCP(方法同 1.2.1), 初步确定致死低温。设置 4 个温度梯度: 0, -5, -10, -15  $^{\circ}C$ ; 5 个时间梯度: 8 h, 1 d, 3 d, 5 d, 10 d。挑选田间采回的健康成虫( $\text{♀}:\text{♂}=1:1$ ; 体重无差异)置于试管内, 并用纱布封口, 直接暴露于设置不同温度的低温箱(BCD-219SKDC 型, 青岛海尔股份有限公司)内, 处理给定时间后取出。将试虫放在光照培养箱(温度  $25 \pm 15^{\circ}C$ , 光照周期 L:D=16:8)内恢复 24 h, 以能站立或行走协调的作为成虫存活的标准检查试虫存活数。每个处理重复 3 次, 每次重复 30 头成虫。以  $25^{\circ}C$  下的自然死亡率为对照, 计算校正存活率, 即校正存活率=处理组存活率/对照组存活率。

夏季成虫低温驯化: 低温暴露前将试虫在  $5^{\circ}C$  下进行不同时间(1, 5, 10 d)的低温驯化后, 再将其

进行-5℃×5 d 处理, 检查试虫存活数(方法同上)。直接暴露在-5℃×5 d 作为对照。每个处理重复 3 次, 每重复含 30 头成虫。

1.2.3 不同季节异色瓢虫成虫体内含水量测定: 将测定完过冷却点的雌雄成虫在电子天平上称量单头鲜重, 然后置于 60℃恒温培养箱中烘至恒重, 称量单头虫体干重后计算含水量。

1.2.4 不同季节异色瓢虫成虫体内总脂肪含量测定: 参照郭海波等(2006)的方法并改进, 将各月份的雌雄成虫分别在 60℃恒温培养箱中烘干后称重, 然后粉碎研细, 装入滤纸筒, 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 10 h, 然后旋转蒸馏回收乙醚, 再将蒸馏瓶加热以除去残余乙醚, 干燥后称量蒸馏瓶和提取物总重量, 按照下式计算总脂肪含量:

总脂肪含量(%)=(m<sub>2</sub>-m<sub>1</sub>)/M×100

式中, m<sub>1</sub> 为提取前蒸馏瓶的重量(g); m<sub>2</sub> 为提取后蒸馏瓶的重量(g); M 为提取前样品的重量(g)。

1.3 数据分析

采用 SPSS 13.0 软件分析进行组间均值数据的 One-Way ANOVA 方差分析。

2 结果与分析

2.1 异色瓢虫成虫过冷却点和结冰点季节性变化 异色瓢虫雌雄成虫的 SCP 和 FP(图 1, 图 2)呈现出明显的季节性变化, 即随着气温的降低而降低, 升高而升高。越冬期间(2007-10-31, 2007-12-24, 2008-01-15, 2008-02-19, 2008-03-10)雌雄成虫的 SCP 和 FP 显著低于其他时期(2007-07-24, 2007-09-17,

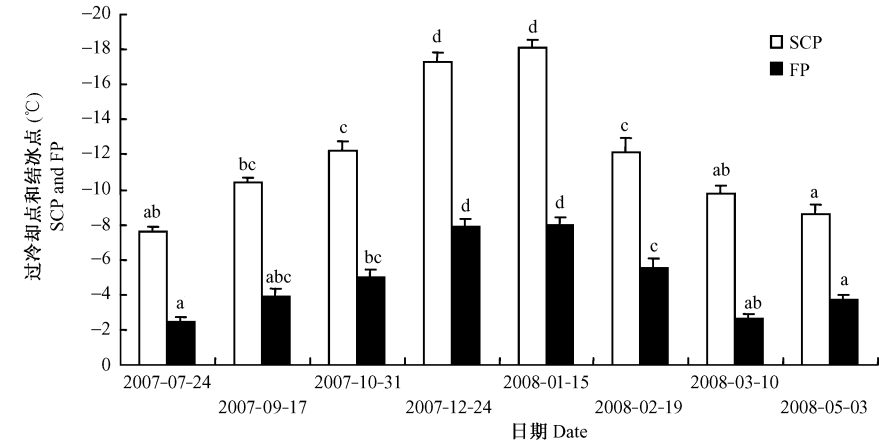


图 1 异色瓢虫雌虫过冷却点(SCP)和结冰点(FP)的季节性变化

Fig. 1 Seasonal variation of SCP and FP of *Harmonia axyridis* female adults  
数据为平均值±标准误, 各月份 SCP 和 FP 间差异分别用 One-ANOVA/Tukey's HSD 分析, 柱上带有相同字母的分别表示在 0.05 水平上差异不显著。图 2 同。  
Differences of mean SCP and FP (±SE) among different months were respectively analyzed by One-ANOVA/Tukey's HSD, and those with the same letters above column are not significantly different at the 0.05 level. The same for Fig. 2.

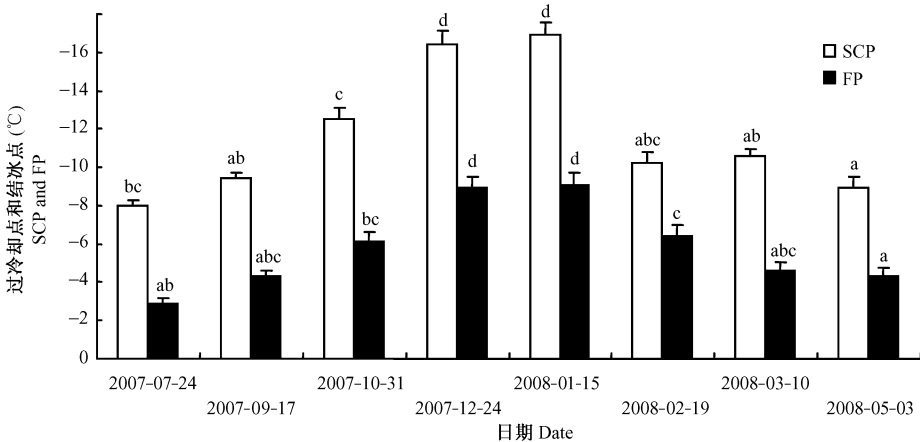


图 2 异色瓢虫雄虫过冷却点(SCP)和结冰点(FP)的季节性变化

Fig. 2 Seasonal variation of SCP and FP of *Hamonia axyridis* male adults

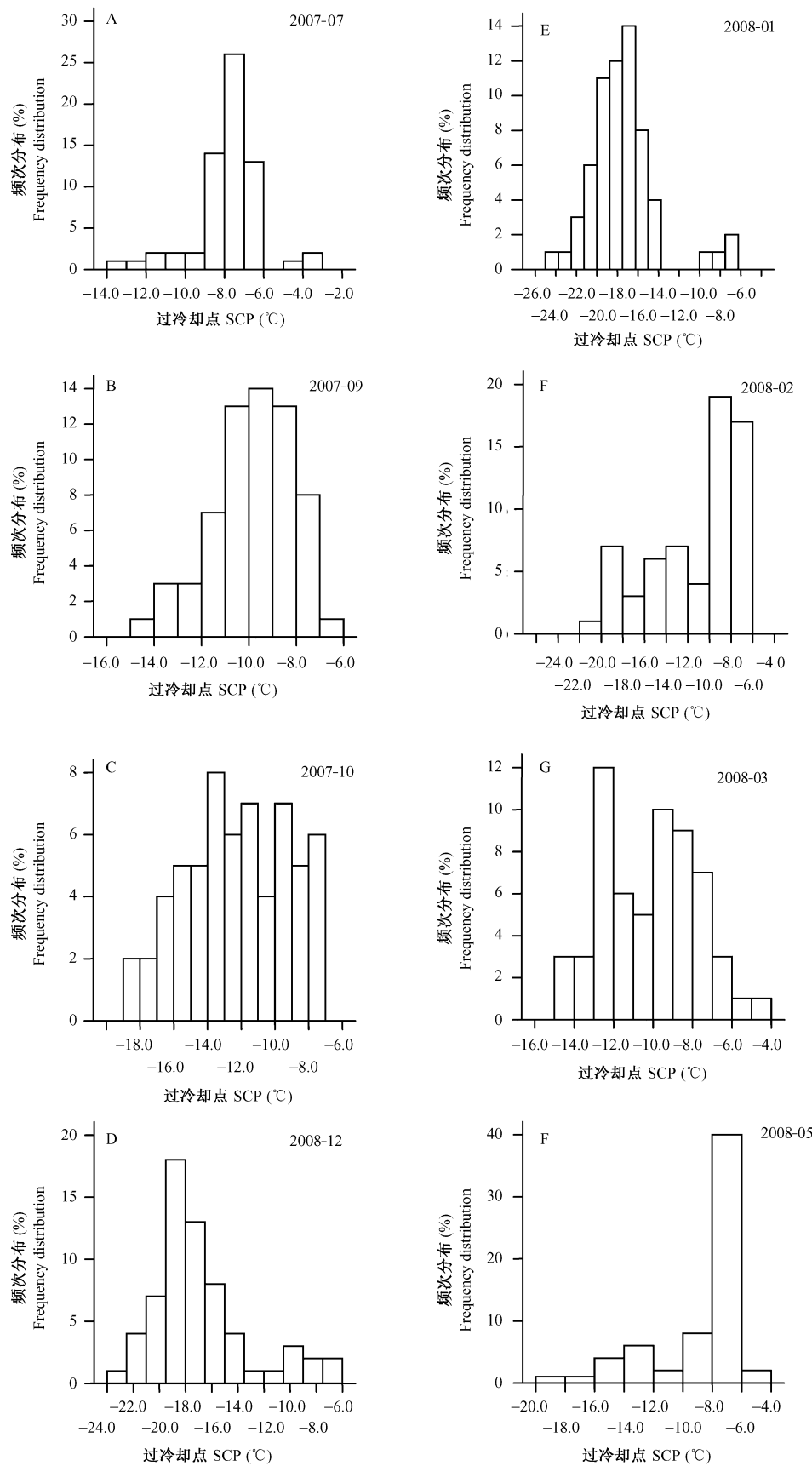


图3 各月份异色瓢虫成虫过冷却点(SCP)的频次分布

Fig. 3 Frequency distribution of SCP of *Hamania axyridis* adults in various months

2008-05-03)的 ( $F=6.991$ ,  $df=1$ ,  $P<0.05$ ;  $F=14.047$ ,  $df=1$ ,  $P<0.05$ ), 其中越冬中期(2007-12-24, 2008-01-15)的 SCP 和 FP 极显著低于其他时期 ( $F=70.504$ ,  $df=1$ ,  $P<0.01$ ;  $F=36.713$ ,  $df=1$ ,  $P<0.01$ )。

异色瓢虫雌虫的 SCP 和 FP(图 1)在夏季(2007-07-24)时最高, 分别为  $-7.6^{\circ}\text{C}$  和  $-2.4^{\circ}\text{C}$ ; 越冬中期(2008-01-15)时达到最低, 分别为  $-18.1^{\circ}\text{C}$  和  $-8.0^{\circ}\text{C}$ 。从图中可以看出, 越冬代 SCP 和 FP 显著低于生长季节期的, 其中越冬中期 SCP 和 FP 显著低于越冬前期和越冬后期的。而生长季节期间 SCP 和 FP 没有显著差异。异色瓢虫雄虫的 SCP 和 FP(图 2)变化趋势同雌虫, 与不同的是雄虫 SCP 3 月份( $-10.6^{\circ}\text{C}$ )比 2 月份( $-10.2^{\circ}\text{C}$ )低。

由图 3 可以看出: 异色瓢虫雌雄成虫的 SCP 同样呈现出明显的季节性变异, 气温高的季节其 SCP 最低值和最高值都较高, 气温低的季节其 SCP 最高值和最低值都较低。其中, 较低 SCP 和较高 SCP 的分布比例也随着气温的季节性变化而呈现出明显的季节性的变化。气温低的月份(2007-10-31, 2007-12-24, 2008-01-15, 2008-02-19, 2008-03-10), 较低 SCP 的比例增加, 而且其最小值也更低; 气温高的月份(2007-07-24, 2007-09-17, 2008-05-03), 较高 SCP

的比例增加, SCP 最高值也升高。但是对于所有月份的成虫来说, 其 SCP 都同时既有低端峰分布, 也有高端峰分布。越冬开始(10 月)成虫 SCP 比例整体降低, 随着冬季温度的不断降低, 至 12、1 月份成虫 SCP 的比例主要集中在  $-18^{\circ}\text{C}$  左右, 而且最低值也达最低。越冬后(3 月)随着温度回升, 成虫 SCP 的比例整体升高, 至 5 月份, 成虫的 SCP 主要集中在  $-8^{\circ}\text{C}$  左右。

2.2 不同季节异色瓢虫成虫低温存活能力

用半致死时间(即在特定温度下导致 50% 的个体死亡的时间,  $LT_{50}$ )来评价低温对试虫的伤害作用(Nedved *et al.*, 1998)。由表 1 可以看出 3 个季节的成虫对低温反应的不同趋势, 越冬前成虫的低温存活能力最强, 夏季成虫对低温的反应是渐变的, 而越冬后成虫则对低温较敏感, 在较窄的温度范围内就大量死亡。对于每个季节的成虫, 随着暴露温度的降低, 其半致死时间也缩短, 而且低温对成虫的伤害均存在时间和温度的交互作用, 即随着时间的延长和温度的降低, 其存活率降低。方差分析结果表明 3 个季节成虫存活率之间存在显著的差异 ( $F=27.231$ ,  $df=27$ ,  $P<0.01$ ), 越冬前成虫的半致死时间显著高于夏季成虫和越冬后成虫。

表 1 不同季节异色瓢虫成虫的半致死时间

| Table 1 Median lethal time ( $LT_{50}$ ) of <i>Harmonia axyridis</i> adults in three different seasons when exposed to low temperature |                                         |        |        |        |                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------|--------|--------|-----------------------|
| 不同季节成虫<br>Adults of different season                                                                                                   | 温度( $^{\circ}\text{C}$ )<br>Temperature | a      | b      | $R^2$  | 半致死时间(d)<br>$LT_{50}$ |
| 夏季成虫(2007-07-24)<br>Summer adults                                                                                                      | 0                                       | 1.2399 | 0.0243 | 0.7893 | $>10$                 |
|                                                                                                                                        | -5                                      | 4.0661 | 0.6831 | 0.9809 | 4.95                  |
|                                                                                                                                        | -10                                     | 2.0478 | 3.7357 | 0.5992 | 0.55                  |
|                                                                                                                                        | -15                                     | —      | —      | —      | —                     |
| 越冬成虫(2007-10-31)<br>Pre-winter adults                                                                                                  | 0                                       | 3.1319 | 0.01   | 0.7559 | $>10$                 |
|                                                                                                                                        | -5                                      | 1.5681 | 0.1874 | 0.8476 | 8.37                  |
|                                                                                                                                        | -10                                     | 0.9559 | 0.8929 | 0.6625 | 1.07                  |
|                                                                                                                                        | -15                                     | —      | —      | —      | —                     |
| 越冬后成虫(2008-03-10)<br>Post-winter adults                                                                                                | 0                                       | 4.4742 | 0.0309 | 0.6306 | $>10$                 |
|                                                                                                                                        | -5                                      | 1.8596 | 0.4016 | 0.9768 | 3.63                  |
|                                                                                                                                        | -10                                     | —      | —      | —      | —                     |
|                                                                                                                                        | -15                                     | —      | —      | —      | —                     |

对成虫的低温存活率与处理温度进行逻辑斯蒂拟合, 方程为:  $S(t)=\exp(a-bT)/(1+\exp(a-bT))$ , 其中  $S$  为存活率;  $T$  为暴露温度;  $a$ ,  $b$  为参数;  $a/b$  为半致死时间(即在特定温度下导致 50% 的个体死亡的时间,  $LT_{50}$ );  $R^2$  为相关系数。The experimental data fitted to logistic regression. Equation  $S(t)=\exp(a-bT)/(1+\exp(a-bT))$ ,  $S$ =survival rate;  $T$ =exposure temperature;  $a$ ,  $b$ =parameters;  $LT_{50}=a/b$ =time to 50% survival in days;  $R^2$ =squared correlation coefficient.

在  $5^{\circ}\text{C}$  下对异色瓢虫夏季成虫进行不同时间的低温驯化(图 4)结果表明: 在  $5^{\circ}\text{C}$  下进行 1, 5, 10 d 的低温驯化均能提高夏季成虫的存活率, 且驯化 5, 10 d 后夏季成虫的存活率分别提高到 76% 和 71%, 驯化效果显著 ( $F=11.638$ ,  $df=1$ ,  $P<0.05$ ), 与越冬成虫的存活率(80%)相接近。但是在  $5^{\circ}\text{C}$  下驯化

10 d 的存活率(71%)与驯化 5 d (76%)后没有差异。

2.3 异色瓢虫成虫体内含水量的变化动态

异色瓢虫雌雄成虫体内含水量(图 5)也呈现出明显的季节性变化趋势, 即随着气温的降低而降低, 升高而升高。雌雄成虫体内含水量在 9 月份达到最高, 分别为 66.87% 和 68.01%, 10 月份显著降低, 越

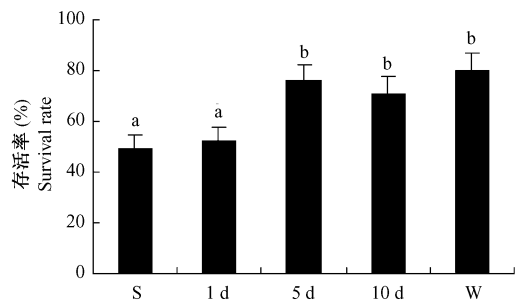


图 4 低温(5℃)驯化对异色瓢虫夏季成虫低温存活率的影响

Fig. 4 Effects of cold acclimation (5 °C) on the survival rate of *Harmonia axyridis* adults in summer

图中S指未经驯化的夏季成虫, W指未经驯化的越冬成虫。

不同字母表示差异显著性( $P < 0.05$ )。

S and W represent non-acclimated adults from the summer and overwintering adults. Different letters above the columns indicate significant differences ( $P < 0.05$ ) detected by One-ANOVA Tukey's HSD.

冬后期(2008-02-19)达到最低, 分别为 52.94% 和 51.53%, 而后又开始增加。越冬期间雌雄成虫体内含水量极显著低于其生长季节期( $F = 49.474$ ,  $df = 1$ ,  $P < 0.01$ ), 而生长季节期间雌雄成虫体内含水量没有显著差异( $F = 1.435$ ,  $df = 1$ ,  $P < 0.05$ )。

2.4 异色瓢虫成虫体内总脂肪含量的变化动态

由图6可以看出: 异色瓢虫雌雄成虫体内总脂肪含量与SCP及含水量变化趋势相反, 即随气温的降低而升高, 升高而降低。雌雄成虫体内总脂肪含量在越冬开始(2007-10-31)就达到最高, 分别为 50.07% 和 47.93%, 随后又逐渐降低。越冬后(2008-05-03)雄成虫体内总脂肪含量仍逐渐降低, 但雌成虫的有所回升。越冬期间雌雄虫体内总脂肪含量显著高于其生长季节期( $F = 7.171$ ,  $df = 1$ ,  $P < 0.05$ ), 而且雌成虫体内总脂肪含量高于雄成虫。但是雌雄成虫体内总脂肪含量没有差异。

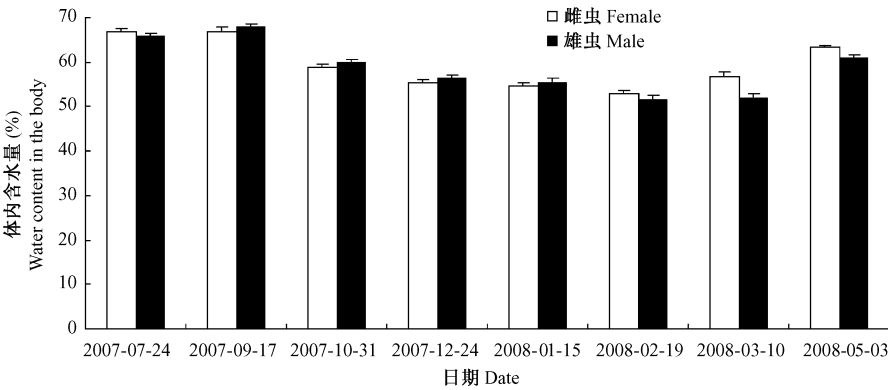


图 5 异色瓢虫成虫不同季节体内含水量变化动态

Fig. 5 Dynamic changes of the water content in the body of *Harmonia axyridis* adults in different months

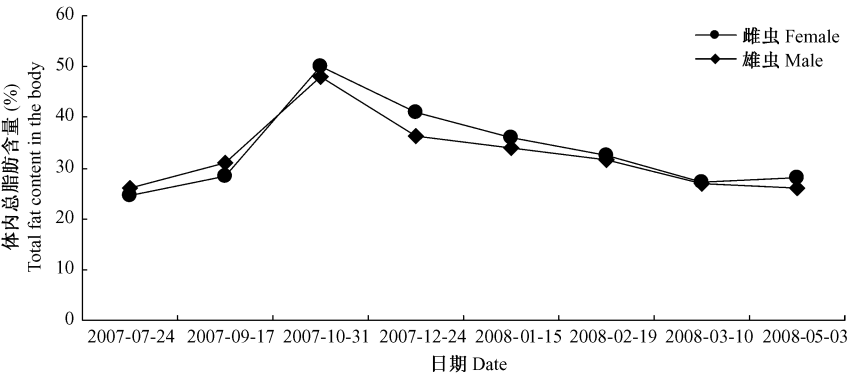


图 6 异色瓢虫成虫不同季节体内总脂肪含量(均值)的变化动态

Fig. 6 Dynamic changes of the total fat content (average) of *Harmonia axyridis* adults in different months

4 讨论

4.1 低温存活能力

异色瓢虫成虫低温存活力测定表明无论对于哪

一季节的成虫, 低温伤害均存在时间和温度的交互作用, 即随着时间的延长和温度的降低, 其存活率也降低。在低温环境下, 机体内的许多生物过程减缓甚至停止(Sinclair *et al.*, 2003), 这种环境包括低温的强度, 低温出现的速率及低温的持续时间

(Somme, 1996), 低温在结冰点上下波动的程度(Bale *et al.*, 2001)。评价无脊椎动物耐寒性, 一些低温生物学家非常重视低温持续时间和低温强度关系的重要性(Nedved *et al.*, 1998)。在鞘翅目昆虫(瓢虫、甲虫)中可以用测定 SCP 和存活率的方法来判断是否由结冰和非结冰导致的死亡(Nedved *et al.*, 1998)。SCP 以上的低温就能导致异色瓢虫成虫大量死亡, 这说明低温伤害可能是由非结冰引起的(如新陈代谢紊乱, 膜脂相变等)。实验表明越冬前成虫的低温存活能力最强, 夏季成虫对低温的反应是渐变的, 越冬后成虫对低温则比较敏感, 因此, 春季温度变化较大时, 越冬后成虫种群数量更容易受影响。成虫低温存活能力的季节性变化有很重要的生态学意义, 这是对所处季节环境适应的结果, 对于维持春季田间种群数量起着重要的作用。

#### 4.2 越冬策略

Leather(1993) 不仅指出昆虫种群动态受冬季低温时间、空间变化的影响, 同时也强调昆虫在行为、生态和生理上对环境的适应。昆虫依赖于多种多样的生态和生理状态适应低温下存活, 其中过冷却可能是普遍利用的方式之一(郭海波等, 2006)。在温带和寒带地区, 冬季温度通常低于冰点, 越冬虫态一般都有较低的 SCP, 例如飞蝗 *Locusta migratoria* 卵的 SCP 约为  $-26^{\circ}\text{C}$ , 斑潜蝇蛹的 SCP 约为  $-19^{\circ}\text{C}$ (景晓红和康乐, 2002); 中华通草蛉 *Chrysopa erlasinica* 成虫的 SCP 约为  $-13^{\circ}\text{C}$ (郭海波等, 2006), 异色瓢虫越冬雌雄虫的 SCP 分别为  $-18.1^{\circ}\text{C}$  和  $-16.9^{\circ}\text{C}$ , 这样可以通过体液过冷却的方式来避免结冰造成的伤害。大多数昆虫在冬季来临之前会大量失水(Nedved *et al.*, 1998; Holmstrup *et al.*, 1999), 体内抗冻保护物质(如甘油、多元醇、海藻糖等)浓度增加, 使过冷却点降低。体内含水量的季节性变化与 SCP 有一定关系已经在某些种类的昆虫(甲虫、蛾类和跳虫)中证实(Worland, 1996)。郭海波等(2006)研究表明中华通草蛉雌雄成虫体内含水量与 SCP 之间均存在极显著负相关关系; 雌成虫体内的总脂肪含量与 SCP 之间呈显著正相关, 雄成虫体内总脂肪含量与 SCP 之间没有显著相关性。水分含量的降低可能是体内总脂肪含量增加的结果。试验表明异色瓢虫雌雄虫体内总脂肪含量在越冬开始就达到最高。整个越冬期间显著高于其他时期, 但是雌雄虫体内总脂肪含量没有差异。

各月份异色瓢虫成虫过冷却点的频次分布(图3)表明随着气温的季节性变化其 SCP 呈现出明显的

季节性的变化。对于任一季节的成虫来说, 其 SCP 都同时既有低端峰的分布, 也有高端峰的分布。异色瓢虫雌虫的 SCP(图1)7月份为  $-7.6^{\circ}\text{C}$ , 而1月份为  $-18.1^{\circ}\text{C}$ ; 雄虫的 SCP(图2)7月份为  $-8.0^{\circ}\text{C}$ , 而1月份为  $-16.9^{\circ}\text{C}$ 。一种螨类的 SCP 在1月份为  $-35.3^{\circ}\text{C}$ , 而7月份的值则为  $-9.4^{\circ}\text{C}$ , 与当地气温(1月份  $-35^{\circ}\text{C}$ , 7月份  $55^{\circ}\text{C}$ )呈现显著相关(景晓红和康乐, 2002)。一种昆虫的 SCP 为什么会产生这么大的差异, Sjørnsen 等(2000)的解释是: 环境变化时一些个体能紧跟微环境的变化, 而另外一些个体则需要较长时间的驯化。低温驯化在昆虫耐寒性中起着重要作用(Leather, 1993)。自然界中, 昆虫越冬前都是经历一个温度渐变的过程(即气候驯化, Acclimatization), 使它们得以为渡过低温环境作一些生理上的准备。试验表明异色瓢虫越冬前成虫的耐寒性高于夏季成虫, 在某种程度上就是冬季成虫受到气候驯化的原因。不同种类昆虫中这种反应的诱导温度范围一般在  $0\sim 5^{\circ}\text{C}$ , 本研究夏季成虫暴露在  $5^{\circ}\text{C}$  下获得了适度的低温驯化使存活率显著提高。

此外, 异色瓢虫成虫能够经过冬季短光照的诱导发生滞育现象, 而且在很多昆虫, 比如甘蓝夜蛾 *Mamestra brassicae*, 亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis*, 飞蝗和中华通草蛉中, 滞育与耐寒性之间有着密不可分的关系(Xue *et al.*, 1999; Goto *et al.*, 2001; 郭海波等, 2006), 异色瓢虫通过滞育来增强其耐寒性也是有可能的。

综上所述, 与其他昆虫和螨类一样(Sjørnsen *et al.*, 2000; Jing and Kang, 2004; 郭海波等, 2006; Ma *et al.*, 2006), 异色瓢虫成虫的耐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, 异色瓢虫越冬成虫已经在生理、行为等方面作好了准备, 如滞育的发生, 体内含水量的下降, 体内总脂肪含量的积累, SCP 的降低, 寻找隐蔽场所等, 增强其耐寒能力。但在冬季过后, 随着气温的升高, 雌雄成虫的耐寒能力又逐渐减弱。特别是在寒流时常发生的春季, 造成成虫大量死亡, 严重影响了异色瓢虫春季田间种群的数量。因此, 明确异色瓢虫成虫的耐寒机理, 特别是在寒冷的冬季, 为保护、利用和提高春季田间种群数量提供一定的技术参数。

本研究异色瓢虫成虫存活能力测定是在室内恒定低温下进行的。自然界中, 昆虫所经历的是一个循环的波动温度, 因此, 检验昆虫在变温下的耐寒性有着重要的意义(Bale, 2002)。模拟自然界温周期变化下的存活能力尚未进行研究。此外, 对于异色

瓢虫成虫耐寒性机制以及与遗传的关系等问题有待进一步研究。

参 考 文 献 (References)

Bale JS. 2002. Insects and low temperatures: From molecular biology to distributions and abundance. *Philos. Trans. R. Soc. Lond.*, 357: 849—862.

Bale JS, Worland MR, Blok W. 2001. Effect of summer frost exposures on the cold tolerance strategy of a sub-antarctic beetle. *J. Insect Physiol.*, 47: 1161—1167.

Chen B, Kang L. 2002. Cold hardiness and supercooling capacity in the pea leafminer *Lirionomyza huidobrensis*. *Cryoletters*, 23: 173—182.

Colinet H, Renault D, Hance T, Vernon P. 2006. The impact of fluctuating thermal regimes on the survival of a cold-exposed parasitic wasp, *Aphidius colemani*. *Physiological Entomology*, 31: 234—240.

Goto M, Sekine Y, Oota H. 2001. Relationships between cold hardiness and diapause and between glycerol and free amino acid contents in overwintering larvae of the oriental corn borer, *Ostrinia furnacalis*. *J. Insect Physiol.*, 47: 157—165.

Guo HB, Xu YY, Ju Z, Li MG. 2006. Seasonal changes of cold hardiness of the green lacewing *Chrysoperla sinica* (Tjeder) (Neuroptera: Chrysopidae). *Acta Ecologica Sinica*, 26(10): 3238—3244 [郭海波, 许永玉, 鞠珍, 李明贵, 2006. 中华通草蛉成虫抗寒能力季节性变化. *生态学报*, 26(10): 3238—3244].

Holmstrup M, Costanzo J, Lee RE. 1999. Cryoprotective and osmotic responses to cold acclimation and freezing in freeze-tolerant and freeze-intolerant earthworms. *Journal of Comparative Physiology B*, 169: 207—214.

Jing XH, Kang L. 2002. Research progress in insect cold hardiness. *Acta Ecologica Sinica*, 22(12): 2202—2207 [景晓红, 康乐, 2002. 昆虫耐寒性研究. *生态学报*, 22(12): 2202—2207].

Jing XH, Kang L. 2004. Overview and evaluation of research methodology for insect cold hardiness. *Entomological Knowledge*, 41(1): 7—10 [景晓红, 康乐, 2004. 昆虫耐寒性的测定与评价方法. *昆虫知识*, 41(1): 7—10].

Jing XH, Kang L. 2004. Seasonal variation in the cold tolerance of eggs of the migratory locust, *Locusta migratoria* L. (Orthoptera: Acrididae). *Environ. Entomol.*, 33: 113—118.

Koch RL. 2003. The multicolored Asian lady beetle, *Harmonia axyridis*: A review of its biology, uses in biological control, and non-target impacts. *Journal of Insect Science*, 3: 1—16.

Leather SR, Walters KFA, Bale JS. 1993. The Ecology of Insect Overwintering. Cambridge University Press, Cambridge.

Lee RE. 1989. Insect cold hardiness: To freeze or not to freeze. *Bioscience*, 39: 308—313.

Lee RE, Denlinger DL. 1991. Insects at Low Temperature. Chapman and Hall, New York. 513 pp.

Ma RY, Hao SG, Tian J, Sun JH, Kang L. 2006. Seasonal variation in cold-hardiness of the Japanese pine sawyer *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). *Environ. Entomol.*, 35(4): 881—886.

McDonald JR, Head J, Bale JS, Walters KFA. 2000. Cold tolerance, overwintering and establishment potential of *Thrips palmi*. *Physiol. Entomol.*, 25: 159—166.

Nedved O, Lavy D, Verhoef HA. 1998. Modelling the time-temperature relationship in cold injury and effect of high temperature interruptions on survival in a chill-sensitive collembolan. *Functional Ecology*, 12: 816—824.

Renault D, Salin C, Vannier G, Vernon P. 2002. Survival at low temperatures in insects: What is the ecological significance of the supercooling point? *Cryoletters*, 23: 217—228.

Sinclair BJ, Vernon P, Klok CJ, Chown SL. 2003. Insects at low temperatures: An ecological perspective. *Trends Ecol. Evol.*, 18: 257—262.

Sjursen H, Somme L. 2000. Seasonal changes in tolerance to cold and desiccation in *Phauloppia* sp. (Acari, Oribatida) from Finse, Norway. *J. Insect Physiol.*, 46: 1387—1396.

Somme L. 1996. The effect of prolonged exposures at low temperatures in insects. *Cryoletters*, 17: 341—346.

Somme L. 1999. The physiology of cold hardiness in terrestrial arthropods. *European Journal of Entomology*, 96: 1—10.

Wang XY, Shen ZR. 2002. Progress of applied research on multicolored Asian ladybird beetle. *Entomological Knowledge*, 39(4): 255—261. [王小艺, 沈佐锐, 2002. 异色瓢虫的应用研究概况. *昆虫知识*, 39(4): 255—261].

Worland MR. 1996. The relationship between water content and cold tolerance in the Arctic collembolan *Onychiurus arcticus* (Collembola: Onychiuridae). *European Journal of Entomology*, 93: 341—348.

Xue FS, Zhu XF, Gui AL. 1999. On the catalase activity of the diapausing pupae of cabbage moth, *Mamestra brassica*. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 21(4): 509—511.

(责任编辑: 袁德成)