

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

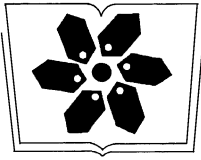
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第5期 Vol.32 No.5 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 5 期 2012 年 3 月 (半月刊)

目 次

淀山湖富营养化过程的统计学特征	程 曦, 李小平, 陈小华 (1355)
拟水狼蛛对食物中镉的吸收和排泄及生物学响应	张征田, 张光铎, 张虎成, 等 (1363)
接种后共培养时间对丛枝菌根喜树幼苗喜树碱含量的影响	于 洋, 于 涛, 王 洋, 等 (1370)
沙尘暴发生日数与空气湿度和植物物候的关系——以民勤荒漠区为例	常兆丰, 王耀琳, 韩福贵, 等 (1378)
西藏牦牛 mtDNA D-loop 区的遗传多样性及其遗传分化	张成福, 徐利娟, 姬秋梅, 等 (1387)
红松阔叶混交林林隙土壤水分分布格局的地统计学分析	李 猛, 段文标, 陈立新, 等 (1396)
黄土丘陵区子午岭不同植物群落下土壤氮素及相关酶活性的特征	邢肖毅, 黄懿梅, 黄海波, 等 (1403)
毛竹高速生长期土壤碳氮动态及其微生物特性	王雪芹, 张奇春, 姚槐应 (1412)
长期 N 添加对典型草原几个物种叶片性状的影响	黄菊莹, 余海龙, 袁志友, 等 (1419)
接种 AMF 对菌根植物和非菌根植物竞争的影响	张宇亭, 王文华, 申 鸿, 等 (1428)
福州大叶榕隐头果内的小蜂群落结构与多样性	吴文珊, 陈友铃, 蔡美满, 等 (1436)
不同生境朝鲜淫羊藿生长与光合特征	张永刚, 韩 梅, 韩忠明, 等 (1442)
基于日均温度的华山松径向生长敏感温度研究	封晓辉, 程瑞梅, 肖文发, 等 (1450)
长江三峡库区蝶类群落的等级多样性指数	马 琦, 李爱民, 邓合黎 (1458)
甜瓜幼苗叶片光合变化特性	韩瑞锋, 李建明, 胡晓辉, 等 (1471)
双季稻田种植不同冬季作物对甲烷和氧化亚氮排放的影响	唐海明, 肖小平, 帅细强, 等 (1481)
古尔班通古特沙漠西部地下水位和水质变化对植被的影响	曾晓玲, 刘 彤, 张卫宾, 等 (1490)
流溪河水库颗粒有机物及浮游动物碳、氮稳定同位素特征	宁加佳, 刘 辉, 古滨河, 等 (1502)
采用本土蔬菜种子替代水藓评价污泥有机腐熟度	刘颂颂, 许田芬, 吴启堂, 等 (1510)
人为营养物质输入对汉丰湖不同营养级生物的影响——稳定 C、N 同位素分析	李 斌, 王志坚, 金 丽, 等 (1519)
流沙湾海草床海域浮游植物的时空分布及其影响因素	张才学, 陈慧妍, 孙省利, 等 (1527)
福寿螺的过冷却研究	赵本良, 章家恩, 罗明珠, 等 (1538)
水稻生育期对褐飞虱和白背飞虱卵巢发育及起飞行为的影响	陈 宇, 傅 强, 赖凤香, 等 (1546)
绿盲蝽越冬卵的耐寒能力	卓德干, 李照会, 门兴元, 等 (1553)
陆桥岛屿环境下社鼠种群数量的估算方法	张 旭, 鲍毅新, 刘 军, 等 (1562)
北京市居民食物消费碳足迹	吴 燕, 王效科, 逯 非 (1570)
社会经济系统磷物质流分析——以安徽省含山县为例	傅银银, 袁增伟, 武慧君, 等 (1578)
内陆河流域试验拍卖水权定价影响因素——以黑河流域甘州区为例	邓晓红, 徐中民 (1587)
专论与综述	
台风对森林的影响	刘 斌, 潘 澜, 薛 立 (1596)
海洋酸化对珊瑚礁生态系统的影响研究进展	张成龙, 黄 晖, 黄良民, 等 (1606)
三种外来入侵斑潜蝇种间竞争研究进展	相君成, 雷仲仁, 王海鸿, 等 (1616)
沉积物生源要素对水体生态环境变化的指示意义	于 宇, 宋金明, 李学刚, 等 (1623)
异化 Fe(III) 还原微生物研究进展	黎慧娟, 彭静静 (1633)
问题讨论	
锡林郭勒盟生态脆弱性	徐广才, 康慕谊, Marc Metzger, 等 (1643)
研究简报	
哥斯达黎加外海夏季表层浮游动物种类组成及分布	刘必林, 陈新军, 贾 涛, 等 (1654)



封面图说: 气候变暖下的北极冰盖——自从 1978 年人类对北极冰盖进行遥感监测以来, 北极冰正以平均每年 8.5% 的速度持续缩小, 每年 1500 亿吨的速度在融化。这使科学家相信, 冰盖缩小的根本原因是全球变暖。北极的冰盖消失, 让更大面积的深色海水暴露出来, 使海水吸收更多太阳热辐射反过来又加剧冰盖融化。由于北极冰的加速融化, 北冰洋的通航已经成为 21 世纪初全球最重要的自然地理事件和生态事件。从这张航片可以看到北极冰缘正在消融、开裂崩塌的现状。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201101130065

卓德干, 李照会, 门兴元, 于毅, 张安盛, 李丽莉, 张思聪. 绿盲蝽越冬的卵耐寒能力. 生态学报, 2012, 32(5): 1553-1561.

Zhuo D G, Li Z H, Men X Y, Yu Y, Zhang A S, Li L L, Zhang S C. Cold tolerance of the overwintering egg of *Apolygus lucorum* Meyer-Dür (Hemiptera: Miridae). Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(5): 1553-1561.

绿盲蝽越冬卵的耐寒能力

卓德干^{1,2}, 李照会², 门兴元^{1,*}, 于毅¹, 张安盛¹, 李丽莉¹, 张思聪¹

(1. 山东省农业科学院植物保护研究所, 济南 250100; 2. 山东农业大学植物保护学院, 泰安 271018)

摘要:近年来,随着转基因棉花的大面积推广,绿盲蝽成为了我国棉花和果树生产的重要害虫。为了阐明绿盲蝽越冬生态适应性,研究了绿盲蝽卵在越冬过程中的耐寒力变化,测定了卵内生化物质的含量,结果表明:绿盲蝽越冬卵低温存活力呈现出明显的月份变化,在-10℃、-20℃处理下,绿盲蝽的越冬卵的半致死时间从大到小的顺序依次为:1月>2月>12月>3月>4月,在-30℃处理下从大到小的顺序依次为:1月>12月>3月>2月>4月。在极端低温(-20℃)下1、2、3、4和5d后,4月份保护卵死亡率明显低于相同处理下的4月份裸露卵的死亡率,枣枝中的越冬卵死亡率分别为4.32%、5.36%、5.42%、6.79%和7.63%,剥离出来的越冬卵死亡率分别为46.06%、51.84%、54.59%、63.07%和74.41%。人工滞育卵的耐寒性强于正常发育卵的耐寒性,弱于自然越冬过程中滞育卵的耐寒性。冷驯化可以显著提高绿盲蝽越冬卵的低温存活力,在0℃冷驯化20min后,越冬卵的低温(-20℃,100h)死亡率显著降低,冷驯化40min后,低温死亡率趋于平稳,均在37%左右。越冬卵体内物质呈明显的季节性变化,越冬卵越冬期的含水量显著高于越冬后,其中1月份最高(43.98%),4月份达到最低(38.79%)。越冬卵体内总脂肪含量在整个越冬过程中逐渐降低,从12月份的38.24%,降低到4月份的27.08%。蛋白质和糖的含量均是先降低后升高,其中蛋白质从12月份的78.77μg/mg,降低到1月份的59.80μg/mg,然后又逐渐升高至4月份的73.62μg/mg,体内总糖含量由12月份的39.60μg/mg降低至1月份的21.17μg/mg,然后又逐渐升高至4月份的35.10μg/mg。绿盲蝽越冬卵的耐寒力随着月份的变化而变化,在整个越冬期间表现出较强的抗寒性,能够抵御冬季低温,而其越冬场所的保护作用增加了其对于冬季严寒的适应性。

关键词:绿盲蝽;耐寒性;快速冷驯化;含水量;蛋白质;脂肪;糖

Cold tolerance of the overwintering egg of *Apolygus lucorum* Meyer-Dür (Hemiptera: Miridae)

ZHUO Degan^{1,2}, LI Zhaohui², MEN Xingyuan^{1,*}, YU Yi¹, ZHANG Ansheng¹, LI Lili¹, ZHANG Sicong¹

1 Institute of Plant Protection, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China

2 College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China

Abstract: *Apolygus lucorum* has become one of the most pestiferous pests of cotton and fruits with widely applications of transgenic Bt cotton in China. Cold tolerance of its overwintering eggs was studied, and the content of biochemical substances was also determined, to evaluate its overwintering adaptability. The results showed that there were significant differences on cold survival ability of the overwintering eggs among months. Lt50 of the overwintering eggs was in order of January > February > December > March > April at the temperature of -10℃ or -20℃, and in order of January > December > March > February > April at the temperature of -30℃. The mortality of protected eggs in the April (4.32%, 5.36%, 5.42%, 6.79% and 7.63%) was significantly lower than non-protected eggs in the April (46.06%, 51.84%, 54.59%, 63.07% and 74.41%) when they were treated at the temperature of -20℃ for 1, 2, 3, 4 and 5 days. The cold

基金项目:国家自然科学基金重点项目(31030012);公益性行业科研专项经费项目(201103012)

收稿日期:2011-01-13; 修订日期:2011-07-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: menxy2000@hotmail.com

tolerance to lower temperature of artificial diapause eggs was higher than the normal eggs, while lower than the diapause overwintering eggs. The cold acclimation increased the cold tolerance of overwintering eggs of *A. lucorum*. The mortality of overwintering eggs at the temperature of $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 100 hours decreased significantly after the overwintering eggs was treated at $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 20 minutes, and the mortality was always about 37% at the temperature of $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 100 hours after was treated at $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ for more than 40 minutes. The content of biochemical substances of overwintering eggs changed seasonally. The water content of overwintering eggs in winter was significantly higher than those after winter, and was highest in January (43.98%) and lowest in April (38.79%). The fat content of overwintering eggs decreased from 38.24% in December to 27.08% in April over the winter. The protein content and glycogen content all reduced at first, then increased. The protein content decreased from $78.77\text{ }\mu\text{g}/\text{mg}$ in December to $59.80\text{ }\mu\text{g}/\text{mg}$ in January, then increased gradually to $73.62\text{ }\mu\text{g}/\text{mg}$ in April. The glycogen content decreased from $39.60\text{ }\mu\text{g}/\text{mg}$ in December to $21.17\text{ }\mu\text{g}/\text{mg}$ in January, then increased gradually to $35.10\text{ }\mu\text{g}/\text{mg}$ in April. In conclusion, cold tolerance of overwintering eggs of *A. lucorum* changed seasonally. The overwintering eggs showed high tolerance to the low temperature in winter, and the protection of overwintering place improved its overwintering adaptability.

Key Words: *Apolygus lucorum*; cold tolerance; rapid cold acclimation; water content; protein content; fat content; glycogen content

昆虫广泛地分布于地球上的各个角落,生活在温带地区和极地的昆虫,在各种各样的栖境中越冬。冬季的低温是它们存活直接障碍,其抗寒能力的高低已成为其种群存在与发展的重要前提,决定着它们的生殖、扩散、分布及在下一季节的发生动态^[1-2]。由于栖息环境的多样性,昆虫在长期的进化中形成了多种多样的抗寒策略^[1],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^[3]。在许多昆虫的耐寒性研究中,过冷却点(supercooling point, SCP)和低温存活能力常用来作为衡量其耐寒性强弱的重要指标,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^[4]。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^[2]。

绿盲蝽(*Apolygus lucorum* Meyer-Dür)属半翅目、盲蝽科、后丽盲蝽属,广泛的分布于我国的黄河流域和长江流域,寄主范围广,寄主植物有 38 科 147 种。绿盲蝽一直是我国农业上的次要害虫,危害较轻。1997 年,我国开始商业化种植转基因抗虫棉,抗虫棉有效的控制了棉铃虫(*Helicoverpa armigera* Hübner)的危害,同时也导致了棉田的害虫生态位发生了一系列的变化,绿盲蝽种群数量剧增,成为了影响我国北方棉花生产的主要害虫。此外,棉田绿盲蝽的严重发生还波及到了枣、桃、葡萄、苹果、樱桃、茶等多种果树和经济作物,成为影响多种农业生产的重大问题^[5-9]。该虫在山东地区一年发生 5 代,9 月中下旬以卵滞育越冬。越冬卵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,有关绿盲蝽越冬卵耐寒能力的系统研究还未见报道。

本文主要研究了绿盲蝽越冬卵在不同季节的低温死亡率,体内水分、蛋白质、糖和总脂含量的变化动态以及低温驯化和冬枣枝保护作用对越冬卵死亡率的影响,以期为该虫种群发生动态的预测和防治策略的制订提供理论依据和技术指导。

1 材料与方法

1.1 实验材料

供试虫源:绿盲蝽越冬卵采自山东省滨州市沾化县冬枣园。

1.2 试验方法

1.2.1 绿盲蝽越冬卵低温生存能力测定

将 2009 年 12 月、翌年 1、2、3、4 月采集的绿盲蝽越冬卵分别进行低温处理,测定越冬卵的低温生存能力。

测试前将卵从带卵的枣枝中剥出,选择饱满有光泽、大小较一致的卵分别置于指形管内,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,然后按表1所示时间梯度分批取出,置于温度25℃、RH60%条件下7d后检查死亡率(干瘪程度超过50%的卵为死亡卵)。每个处理设置3个重复,每个重复为卵40—50粒。以同一时期未经低温处理的卵在温度25℃、RH60%条件下的自然死亡率为对照,计算校正死亡率,即校正死亡率(%)=(处理组死亡率-对照组死亡率)/(1-对照组死亡率)×100。

1.2.2 低温驯化对绿盲蝽越冬卵耐寒性的影响

将4月份采集的绿盲蝽越冬卵(已经完全解除滞育)在0℃低温条件下分别处理0、10、20、30、40、50、60 min后,将各处理的卵置于-20℃(山东省的最低温度一般在-20℃以上,-20℃在山东省是一个极限低温,选择此温度是为了说明绿盲蝽越冬卵在极寒自然条件下的存活率)条件下100 h,取出置于温度25℃、RH60%条件下7d后检查死亡率。每处理设置5个重复,每个重复卵40—50粒。以温度25℃、RH60%条件下卵的自然死亡率为对照,计算校正死亡率,即校正死亡率=(处理组死亡率-对照组死亡率)/(1-对照组死亡率)×100。

1.2.3 枣枝对绿盲蝽越冬卵的保护作用

用4月份采集的越冬卵进行测试,此时越冬卵已经完全解除滞育。试验设两个处理:一组是从枣枝中剥出的卵,另一组是受枣枝保护的卵。将卵和枣枝分别放在-30℃和-20℃的温度下处理,然后按表1所示时间梯度分批取出,置于温度25℃、RH60%条件下7d后检查死亡率。每个处理设置3个重复,每个重复卵40—50粒或枣枝10个。

1.2.4 正常发育卵和人工滞育卵的耐寒性比较

正常发育卵为绿盲蝽室内实验种群在温度25℃、RH60%、全光照条件下产下的非滞育卵,滞育卵为绿盲蝽室内实验种群在25℃、RH60%、光周期LD8:16条件下诱导产生的滞育卵。将正常发育卵和滞育卵分别放在-30℃和-20℃的温度下处理,然后按表1所示时间梯度分批取出,置于温度25℃、RH60%条件下7d后检查死亡率。每个处理设置3个重复,每个重复为卵40—50粒。

1.2.5 绿盲蝽越冬卵在不同月份的体内物质含量测定

绿盲蝽越冬卵体内的物质含量从2009年12月至翌年4月每月测定1次。

(1)自由水测定^[10] 取绿盲蝽卵400粒,用电子天平称其鲜重 M_1 ,然后放到65℃的烘干箱中烘烤24 h,再次称其重量 M_2 ,自由水含量为 $(M_1-M_2)/M_1 \times 100\%$

(2)脂肪测定^[11] 取绿盲蝽越冬卵400粒(DW),加入2 mL氯仿和甲醇的混合液(氯仿:甲醇=2:1),研磨匀浆,离心10 min(2600×g),移去上层清液。残渣再加入2 mL氯仿和甲醇的混合液,重复离心1次。剩余残渣,在60℃的培养箱中烘烤72 h至恒重(LDW)。脂肪重=DW-LDW。计算总脂肪含量:脂肪含量= $[DW-LDW/M] \times 100\%$,M为400粒越冬卵的重量(g)。

(3)蛋白质和糖原测定^[12] 每次取绿盲蝽越冬卵400粒测定其体内蛋白质和糖原含量,每个处理重复测定4次。绿盲蝽越冬卵体内蛋白质和糖原提取:将卵置于一个标有Tube A的10 mL的离心管中,在100℃下加热1 h;冷却后,加入100 μL饱和 Na_2SO_4 和200 μL甲醇,用玻璃棒将其捣碎;先用100 μL水冲洗玻璃棒,再用3 mL甲醇:氯仿(体积分数1/1)冲洗;在形成分层后加入300 μL甲醇,并将内容物混合均匀;在2500 r/min下离心5 min,将上清液移走;将Tube A(含有糖类和蛋白质)置于冰上以便为进一步抽提做准备。糖原和蛋白质的进一步分离。将1 mL含有饱和 Na_2SO_4 的66%的乙醇加入Tube A,混合均匀;在2500 r/min下离心5 min,然后用0.5 mL含有饱和 Na_2SO_4 的66%的乙醇对Tube A中的内容物再抽提;将Tube A在55℃下温

表1 绿盲蝽越冬卵在不同低温下的处理时间

Table 1 The time of *Apolygus lucorum* overwintering eggs under different low temperatures

处理温度 Treatment temperature		
-30℃	-20℃	-10℃
12h	1d	1d
24h	2d	5d
36h	3d	10d
48h	4d	15d
60h	5d	20d

浴 5 min 以便移除乙醇,并加入 0.5 mL 30% KOH,在 100 °C 下加热混合物 20 min;冷却后,加入 1 mL 95% 的乙醇,混匀后在 3000 r/min 下离心 15 min。将上清液移入 Tube B (含有待测的蛋白质);用 0.5 mL 水和 1 mL 95% 的乙醇对 Tube A 中的沉淀再抽提,将上清液移走,向 Tube A 中加入 2 mL 蒸馏水并混合均匀以使其中的糖原颗粒溶解;加热至 90 °C (含有待测的糖原);加热后将样品在冰浴中冷冻避光保存 2 min,所有样品都避光保存。

采用 Bradford 法,Bradford 工作液可与蛋白液起反应,反应后溶液呈深蓝色,于 595 nm 处有最大吸收值,测定其吸光值,根据标准曲线计算蛋白质的含量。

采用蒽酮比色法,蒽酮可与游离糖或多糖起反应,反应后溶液呈蓝绿色,于 620 nm 处有最大吸收值,测定其吸光值,根据标准曲线计算糖的含量。

1.3 数据处理软件

用 Excel2000、SPSS17.0 等统计软件进行数据处理,其中用 SPSS 中的 One-Way ANOVA 进行单因素方差分析,GLM 进行多因素的方差分析,Duncan's 新复极差法进行多重比较,配对样本 *T* 检验进行不同成对数据的差异比较。在对百分比数据进行方差分析和多重比较时,当处理中的数据全部高于 70% 或者全部低于 30%,先将百分比数据进行反正弦转化,然后再进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 绿盲蝽越冬卵低温生存能力测定

T 检验结果显示,不同月份的绿盲蝽越冬卵(裸露卵)在 -10 °C 条件下处理不同时间后的死亡率大小依次是 4 月 > 3 月 > 2 月 > 12 月 > 1 月;在 -20 °C 条件下处理不同时间后的死亡率大小依次是 4 月 > 3 月 > 12 月 > 2 月 > 1 月;在 -30 °C 条件下处理不同时间后的死亡率大小依次是 4 月 > 3 月 > 12 月 > 2 月 > 1 月。

用半致死时间(即在特定温度下导致 50% 的个体死亡的时间, $Li50$) 来评价低温对试虫的伤害作用^[13]。在 -10 °C、-20 °C 处理下,绿盲蝽的越冬卵的半致死时间从大到小的顺序依次为:1 月 > 2 月 > 12 月 > 3 月 > 4 月(表 2),其中在 -10 °C 处理下,3 月份和 4 月份的半致死时间较其他 3 个月份有非常显著的降低,1 月份的半致死时间是 4 月份的 3.68 倍;在 -30 °C 处理下,绿盲蝽的越冬卵的半致死时间从大到小的顺序依次为:1 月 > 12 月 > 3 月 > 2 月 > 4 月,其中 4 月份的半致死时间显著低于其他几个月份,1 月份的半致死时间是 4 月份的 7.55 倍。

表 2 不同月份绿盲蝽越冬卵低温处理时间与死亡率的回归模型

Table 2 Regression models of time (x) of *Apolygus. lucorum* overwintering eggs exposed to low temperature and mortality (Y) in different month

月份 Month	温度/°C Temperature	回归方程 Regression equation	相关系数 <i>R</i>	半致死时间(95% 置信区间) $Li50$ (95% CL)
2009-12	-10	$Y=0.93x-1.20$	0.855	19.54(14.59—29.71)/d
	-20	$Y=0.99x-0.37$	0.953	2.35(1.79—2.95)/d
	-30	$Y=1.90x-2.18$	0.764	14.07(10.81—16.85)/h
2010-01	-10	$Y=0.62x-0.89$	0.896	27.39(17.20—62.84)/d
	-20	$Y=2.22x-1.01$	0.942	2.89(2.57—3.16)/d
	-30	$Y=1.71x-2.01$	0.953	15.18(11.49—18.27)/h
2010-02	-10	$Y=0.57x-0.75$	0.869	20.26(13.15—42.74)/d
	-20	$Y=0.85x-0.34$	0.927	2.51(1.84—3.30)/d
	-30	$Y=1.51x-1.69$	0.801	13.17(9.49—16.29)/h
2010-03	-10	$Y=0.65x-0.62$	0.999	8.94(6.25—13.64)/d
	-20	$Y=0.98x-0.32$	0.845	2.11(1.52—2.67)/d
	-30	$Y=1.86x-2.10$	0.747	13.55(10.19—16.38)/h
2010-04	-10	$Y=0.65x-0.56$	0.998	7.44(5.10—10.99)/d
	-20	$Y=0.96x-0.19$	0.575	1.56(0.95—2.04)/d
	-30	$Y=1.28x-0.39$	0.700	2.01(0.23—4.59)/h

2.2 低温驯化对绿盲蝽越冬卵耐寒性的影响

在 0 °C 下对绿盲蝽越冬卵进行不同时间的低温驯化,不同处理间存在极显著性差异 ($F = 20.182, df = 6, P < 0.001$)。除了低温处理 10 min 与对照没有显著性差异外,其他低温处理的绿盲蝽越冬卵的死亡率均显著低于对照(图 1)。随着低温驯化的时间增加,绿盲蝽越冬卵的死亡率降低,驯化 40 min 后绿盲蝽越冬卵的死亡率降低到 37.58%,与驯化 50 min (37.09%) 和 60 min (37.77%) 没有显著性差异 ($F = 0.023, df = 2, P = 0.977$)。

2.3 枣枝对绿盲蝽越冬卵的保护作用研究

2.3.1 四月份的绿盲蝽保护卵和裸露卵在不同温度下的死亡率比较

绿盲蝽保护卵和裸露卵在 -20 °C 下的不同处理间存在显著性差异 ($F = 129.072, df = 9, P < 0.001$), 5 个时间处理下保护卵的死亡率均显著低于裸露卵,裸露卵死亡率均高于 45%,保护卵的死亡率均低于 10% (图 2)。随着低温处理时间的增加,裸露卵的死亡率逐渐增加,而保护卵的死亡率没有显著性差异。绿盲蝽保护卵和裸露卵在 -30 °C 下的不同处理间存在显著性差异 ($F = 10.965, df = 9, P < 0.001$), 其中低温处理 12 h 后,保护卵的死亡率显著低于裸露卵,24 h 以后的各个时间段保护卵与裸露卵的死亡率间均没有显著性差异,死亡率均在 80% 以上(图 3)。

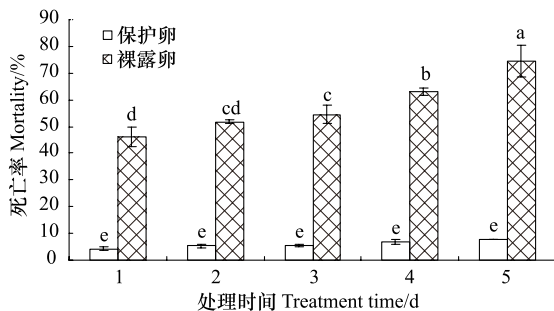


图 2 绿盲蝽保护卵和裸露卵在 -20 °C 低温下处理不同时间后的死亡率(平均值±标准误)

Fig. 2 Mortality of protected eggs and non-protected eggs of *Apolygus lucorum* after different treatment time of low temperature (-20 °C) (average±SE)

2.3.2 绿盲蝽保护卵、人工诱导滞育卵和不同月份的裸露卵在不同温度下的死亡率比较

配对 T 检验显示,4 月份的保护卵和不同月份的裸露卵在 -20 °C 条件下处理不同时间后的死亡率大小依次是 4 月 > 3 月 > 12 月 > 2 月 > 1 月 > 保护卵(图 4), 其中,保护卵在各个处理时间下的死亡率均在 10% 以下,显著低于任何月份裸露卵的死亡率;在 -30 °C 下处理不同时间后的死亡率大小依次是 4 月 > 保护卵 > 3 月 > 12 月 > 2 月 > 1 月(图 5), 其中,保护卵的死亡率都在 75% 以上,低于 4 月份裸露卵的死亡率,高于其它月份裸露卵的死亡率。

配对 T 检验表明:不同月份的裸露卵、正常发育卵和人工滞育卵在 -20 °C 条件下处理不同时间后的死亡率大小依次是正常发育卵 > 4 月 > 人工滞育卵 > 3 月 > 12 月 > 2 月 > 1 月(图 4), 其中,正常发育卵在各个温度下的死亡率均在 90% 以上,而人工滞育卵的死亡率显著低于正常发育卵的死亡率;在 -30 °C 下处理不同时间后的死亡率大小依次是正常发育卵 > 4 月 > 人工滞育卵 > 3 月 > 12 月 > 2 月 > 1 月(图 5)。

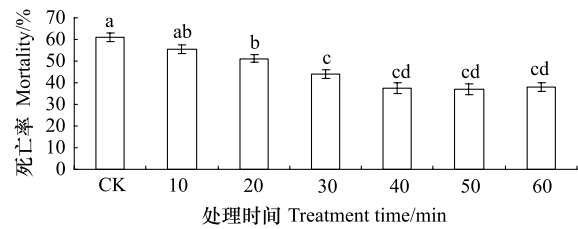


图 1 不同时间的低温(0 °C)驯化后绿盲蝽越冬卵的死亡率(平均值±标准误)

Fig. 1 Mortality of *Apolygus lucorum* overwintering eggs after different time of cold acclimation (0 °C) (average±SE)

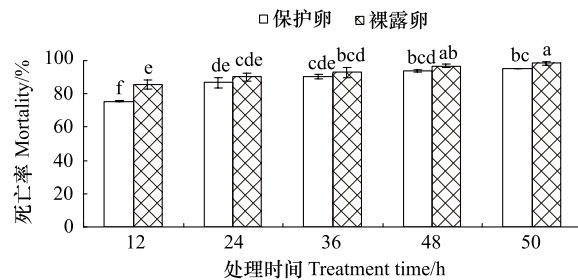


图 3 绿盲蝽保护卵和裸露卵在 -30 °C 低温下处理不同时间后的死亡率(平均值±标准误)

Fig. 3 Mortality of protected eggs and non-protected eggs of *Apolygus lucorum* after different treatment time of low temperature (-30 °C) (average±SE)

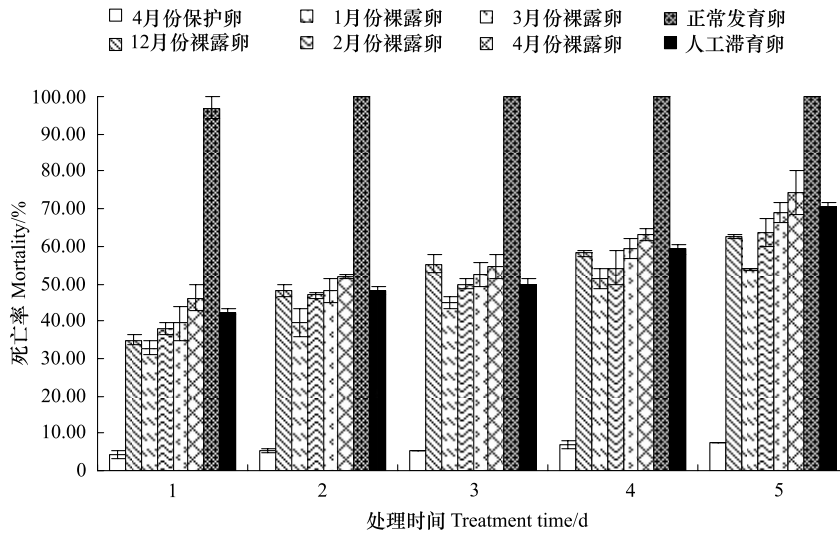


图4 4月份的保护卵、不同月份的裸露卵、正常发育卵和人工滞育卵在-20℃条件下处理不同时间后的死亡率(平均值±标准误)

Fig. 4 Mortality of protected eggs in the April and non-protected eggs in the different months and normal eggs and aificial diapause eggs after different treatment time of low temperature(-20℃) (average±SE)

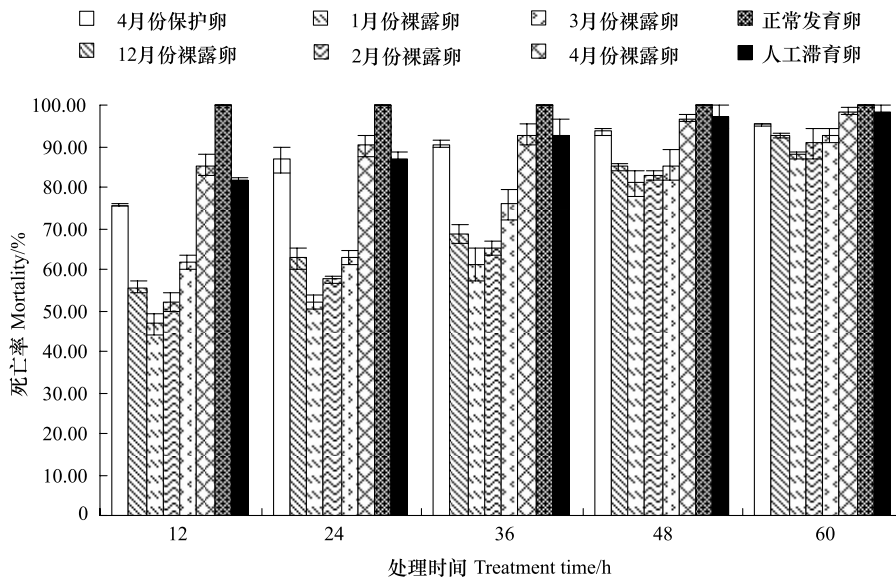


图5 4月份的保护卵、不同月份的裸露卵、正常发育卵和人工滞育卵在-30℃条件下处理不同时间后的死亡率(平均值±标准误)

Fig. 5 Mortality of protected eggs in the April and non-protected eggs in the different months and normal eggs and aificial diapause eggs after different treatment time of low temperature(-30℃) (average±SE)

2.4 自由水含量的测定

绿盲蝽越冬卵体内含水量在1月份最高,达到43.98%,4月份达到最低,为38.79%。不同月份间绿盲蝽越冬卵的自由水含量存在显著性差异($F=3.332, df=4, P=0.03$)(图6)。越冬期(12月、1月、2月)的自由水含量显著高于越冬后4月份,3月份与4月份没有显著性差异。

2.5 不同月份绿盲蝽越冬卵体内总脂肪含量变化动态

不同月份间绿盲蝽越冬卵的脂肪含量存在极显著性差异($F=12.127, df=4, P<0.001$)。绿盲蝽越冬卵体内总脂肪含量在整个越冬过程中逐渐降低的(图7),2009年12月份的含量最高,为38.24%,在2010年4月份达到最低,为27.08%。越冬后绿盲蝽卵的总脂肪含量明显低于越冬期。

2.6 不同月份绿盲蝽越冬卵体内糖原含量变化动态

不同月份间绿盲蝽越冬卵的糖原含量存在极显著性差异 ($F=14.081, df=4, P<0.001$)。绿盲蝽越冬卵体内糖原含量呈现出明显的季节性变化,即与越冬前后气温的降低和升高变化趋势相似(图8)。体内总糖含量在越冬初期(2009-12)最高,为 $39.60 \mu\text{g}/\text{mg}$,后逐渐降低,至1月份达到最低,为 $21.17 \mu\text{g}/\text{mg}$;越冬后期越冬卵体内总糖含量开始逐渐升高,至4月份达到 $35.10 \mu\text{g}/\text{mg}$ 。

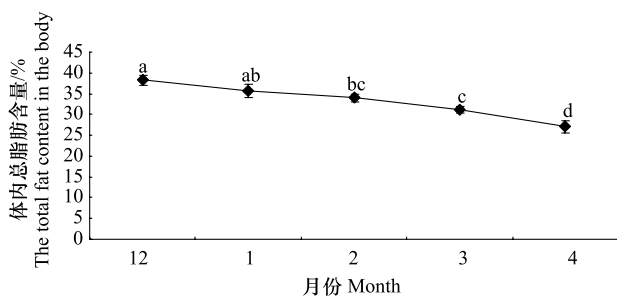


图7 绿盲蝽越冬卵不同月份体内总脂肪含量的变化动态(平均值±标准误)

Fig.7 The dynamic changes of the total fat content in the body of *Apolygus lucorum* overwintering eggs in the different months (average±SE)

2.7 不同月份绿盲蝽越冬卵体内总蛋白质含量变化动态

不同月份间绿盲蝽越冬卵的总蛋白含量存在极显著性差异 ($F=8.981, df=4, P=0.001$)。绿盲蝽越冬卵体内总蛋白含量也呈现出明显的季节性变化,即与越冬前后气温的降低和升高变化趋势相似。越冬卵体内总蛋白含量在越冬前期(2009-12)时为 $78.77 \mu\text{g}/\text{mg}$,后逐渐降低,在越冬中期(2010-01)达到最低($59.80 \mu\text{g}/\text{mg}$),然后又逐渐升高,至4月份时达到 $73.62 \mu\text{g}/\text{mg}$ (图9)。越冬中期(2010-01,2010-02)越冬卵体内总蛋白含量显著低于其他时期。

3 讨论

3.1 绿盲蝽越冬卵的存活能力

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^[13],低温暴露实验是最常用的昆虫耐寒性测定与评价方法之一,因为对于一种昆虫来说,其耐寒性的强弱最终还是取决于低温存活率的实验结果^[1]。本文研究的3种低温状态下的绿盲蝽越冬卵的致死中时间都是1月份最长,12月和2月份的次之,3月和4月的最短,这说明1月份的绿盲蝽越冬卵耐抗能力最强,其次是12月和2月,3月和4月最差,其耐寒性的变化与自然界的温度变化是一致的。生活在寒带和温带地区的昆虫,在自然条件

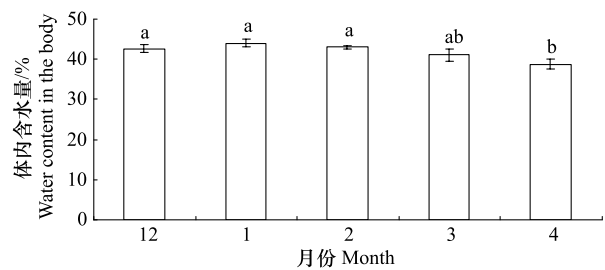


图6 绿盲蝽越冬卵不同月份体内含水量变化动态(平均值±标准误)

Fig.6 The dynamic changes of the water content in the body of *Apolygus lucorum* overwintering eggs in the different months (average±SE)

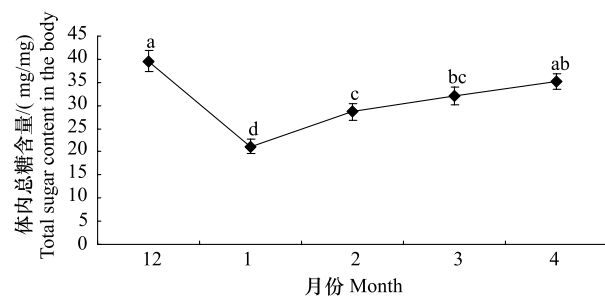


图8 绿盲蝽越冬卵不同月份体内糖原含量的变化动态(平均值±标准误)

Fig.8 The dynamic changes of the glycogen content in the body of *Apolygus lucorum* overwintering eggs in the different months (average±SE)

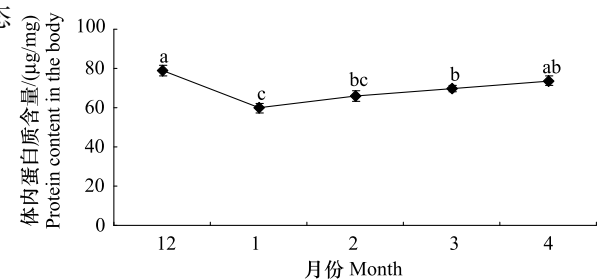


图9 绿盲蝽越冬卵不同月份体内总蛋白质含量的变化动态(平均值±标准误)

Fig.9 The dynamic changes of the total protein content in the body of *Apolygus lucorum* overwintering eggs in the different months (average±SE)

下,每年要经历漫长而寒冷的冬季,在长期的进化中,形成了一套适应性的特征,很多昆虫的耐寒性的季节趋势与当地的气温变化趋势紧密相关,绿盲蝽越冬卵的耐寒性变化再一次证明了这一规律。在山东地区,1、2月份是一年中寒冷的时期,最低温度一般在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,此时绿盲蝽越冬卵在 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的致死时间均在20 d、2.5 d、10 h以上,因此冬季低温对绿盲蝽的死亡率影响不大。昆虫经过冬季严寒后,在春季开始发育,此时对于低温的耐受能力往往较冬季有较大的降低,因此,早春的低温往往对于越冬后的昆虫种群影响更大。研究结果显示,4月份的绿盲蝽越冬卵在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下处理5 d仍有25.59%的个体存活下来,这说明其在4月份仍然有很强的耐寒性,这对于维持其春季田间种群数量起着重要的作用。持续的田间监测结果显示,绿盲蝽越冬卵的自然死亡率很低,表明了其具有很好的抗寒能力。

3.2 滞育、低温驯化与抗寒性

滞育是昆虫克服不良环境条件,如低温、干旱、食物短缺,的一种适应机制^[14-15],冬季滞育的昆虫往往比正常发育的昆虫有更高的抗寒性。本研究结果显示,经过人工诱导产生的滞育卵在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 各个处理的死亡率均显著低于正常发育的卵,说明滞育卵的抗寒性较正常发育卵有显著增加。而人工滞育卵的抗寒性低于处于越冬滞育期的越冬卵(12月、1月、2月),说明冬季低温锻炼较大的提升了绿盲蝽越冬卵的抗寒性。

低温驯化过程是指,昆虫在接受低温胁迫前,在较低温度下进行一定时间的锻炼,可以显著提高昆虫的耐寒性。对很多昆虫来说,低温驯化过程可以使它们免于遭受过冷却点以上的低温的伤害^[16]。绿盲蝽卵在经 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温驯化后,抗寒性迅速提升,40 min后,低温下的死亡率由61.06%降低到37.58%。

3.3 枣枝对卵的保护与抗寒性

基于4月份温度变化较大,绿盲蝽越冬卵已经完全解除滞育,易受低温影响,所以比较了4月份的绿盲蝽裸露卵和保护卵的抗寒性。绿盲蝽裸露卵和保护卵在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 处理不同时间后,保护卵在各个处理时间下的死亡率均在10%以下,而裸露卵的在各个时间的死亡率均在45%以上,保护卵的死亡率要远低于裸露卵的死亡率,这说明在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时枣枝对绿盲蝽越冬卵有着很好的保护作用。绿盲蝽裸露卵和保护卵在 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 处理不同时间后,保护卵的死亡率稍低于裸露卵的死亡率,两者的死亡率都在75%以上,这说明在 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时枣枝已经不能起到很好的保护作用,其耐寒性主要依赖于越冬卵自身的调节作用。山东的极端最低气温一般在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,绿盲蝽保护卵在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下处理5 d后的死亡率低于10%,而耐寒能力最强的1月份的裸露卵在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下处理1 d后的死亡率就高于30%,这说明绿盲蝽选择在松软的枯枝上产卵对于其安全越冬,保护种群具有重要的生态学意义。

3.4 越冬策略

昆虫耐寒性是昆虫对栖境适应过程中体内生理、生化协调的结果^[1]。与其它昆虫和螨类一样^[3,17-18],绿盲蝽越冬卵的耐寒能力也呈现出季节性的变化趋势,即随着寒冷低温的到来,绿盲蝽越冬卵已经在生理、行为等方面做好了准备,如调剂体内含水量,体内总脂肪含量的积累、蛋白质和糖原的变化、迁飞、滞育的发生等,以增强其耐寒能力。耐寒性昆虫在寒冷适应过程中,体内含水量大大下降。许多昆虫越冬时体内含水量几乎下降到致死临界点。水份的排除无疑增加了体内溶质的浓度,降低了体液的冰点和过冷却点。此外,由于含水量的降低,体内连续的较大的整体水相可能被一些组织或某些高浓度的物质所分隔,而有利于昆虫体液的过冷却^[19]。在本研究中,绿盲蝽越冬卵自由水含量在越冬过程中表现出明显的月份变化,随着温度的降低而升高,升高而降低,这一趋势与一般的昆虫的体内自由水含量变化相反,其原因还有待于下一步的研究。绿盲蝽越冬卵总脂肪含量在越冬开始就达到最高,在整个越冬的过程中逐渐降低,与赵静等^[20]证实的异色瓢虫,张月亮等^[21]证实的桃小食心虫越冬过程中脂肪含量的变化趋势相同。在冬季来临时糖原含量在整个越冬期是先降低后升高,与韩瑞东等^[22]证实的赤松毛虫越冬幼虫的糖原含量的结论一致。蛋白质的变化同于强承魁等^[23]证实的水稻二化螟越冬幼虫蛋白质含量的变化趋势。对于绿盲蝽越冬卵其他内含成分指标在抗寒过程中的作用及其生理变化,以及抗寒性机制与遗传基因的关系等问题,则有待进一步研究。

此外,绿盲蝽越冬卵属于兼性滞育,光照和温度条件对其发育影响较大,经过冬季短光照的诱导发生滞育

现象。在很多昆虫中,比如飞蝗 *Locusta migratoria*、甘蓝夜蛾 *Mamestra brassicae*、亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 和中华通草蛉 *Chrysopa erlasinica*, 滞育与耐寒性之间有着密不可分的关系^[24]。绿盲蝽越冬卵在 2 月份以前是滞育的,相对于 3 月和 4 月耐寒能力较高,绿盲蝽越冬卵通过滞育来增强其耐寒性也是有可能的。

References:

- [1] Jing X H, Kang L. Research progress in insect cold hardiness. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(12): 2202-2207.
- [2] Jing X H, Kang L. Overview and evaluation of research methodology for insect cold hardiness. *Entomological Knowledge*, 2004, 41(1): 7-10.
- [3] Guo H B, Xu Y Y, Ju Z, Li M G. Seasonal changes of cold hardiness of the green lacewing, *Chrysoperla sinica* (Tjeder) (Neuroptera: Chrysopidae). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(10): 3238-3244.
- [4] Renault D, Salin C, Vannier G, Vernon P. Survival at low temperatures in insects; what is the ecological significance of the supercooling point? *Cryoletters*, 2002, 23(4): 217-228.
- [5] Wu K, Li W, Feng H, Guo Y. Seasonal abundance of the mirids, *Lygus lucorum* and *Adelphocoris* spp. (Hemiptera: Miridae) on Bt cotton in northern China. *Crop Protection*, 2002, 21(10): 997-1002.
- [6] Ma X M, Zhang Q W, Cai Q N, Xu H L, Li J J, Zhai L X, Yang Y F. Outbreak of green plant bug in cotton fields of Southern Hebei in 2003. *Plant Protection*, 2004, 30(3): 90-90.
- [7] Men X Y, Ge F, Edwards C A, Yardim E N. The influence of pesticide applications on *Helicoverpa armigera* Hübner and sucking pests in transgenic Bt cotton and non-transgenic cotton in China. *Crop Protection*, 2005, 24(4): 319-324.
- [8] Men X Y, Yu Y, Zhang A S, Li L L, Zhang J T, Ge F. Life table of the laboratory population of *Lygus lucorum* Meyer-Dür (Hemiptera: Miridae) at different temperatures. *Acta Entomologica Sinica*, 2008, 51(11): 1216-1219.
- [9] Lu Y H, Wu K M, Jiang Y Y, Xia B, Li P, Feng H Q, Wyckhuys K A G, Guo Y Y. Mirid bug outbreaks in multiple crops correlated with wide-scale adoption of Bt cotton in China. *Science*, 2010, 328(5982): 1151-1154.
- [10] Guo F, Xi J L. *Insect Experiment Technology*. Beijing: Science Press, 1988: 165-195.
- [11] Chen C K. *Insect Physiological and Biochemical*. Beijing: Agriculture Press of China, 1993: 61-66.
- [12] Song N, Luo M H, Liu P, Duan J W. Effects of honey feeding on carbohydrate, lipid and protein metabolism in *Campoplex chloridae*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2008, 45(2): 204-210.
- [13] Nedvöd O, Lavy D, Verhoef H A. Modelling the time-temperature relationship in cold injury and effect of high-temperature interruptions on survival in a chill-sensitive collembolan. *Functional Ecology*, 1998, 12(5): 816-824.
- [14] Tauber M J, Tauber C A, Masaki S. *Seasonal Adaptations of Insects*. New York, Oxford: Oxford University Press, 1986.
- [15] Danks H V. *Insect Dormancy: An Ecological Perspective*. Ottawa: Biological Survey of Canada, 1987.
- [16] Lee R E Jr, Chen C P, Denlinger D L. A rapid cold hardening process in insects. *Science*, 1987, 238(4832): 1415-1417.
- [17] Sjørusen H, Sømme L. Seasonal changes in tolerance to cold and desiccation in *Phauloppia* sp. (Acari, Oribatida) from Finse, Norway. *Journal of Insect Physiology*, 2000, 46(10): 1387-1396.
- [18] Jing X H, Kang L. Seasonal changes in the cold tolerance of eggs of the migratory locust, *Locusta migratoria* L. (Orthoptera: Acrididae). *Environmental Entomology*, 2004, 33(2): 113-118.
- [19] Han Z J, Wang Y C, You Z P. The cold hardiness mechanism of terrestrial insects. *Entomological Knowledge*, 1989, 26(1): 39-42.
- [20] Zhao J, Yu L Y, Li M, Zheng F Q, Zhang F, Xu Y Y. Seasonal variation in cold tolerance of the multicolored ladybeetle, *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae) adults. *Acta Entomologica Sinica*, 2008, 51(12): 1271-1278.
- [21] Zhang Y L, Mu W, Chen Z L, Han Z R, Ma C, Zhan R H. Susceptibility and related physiological and biochemical mechanisms of *Carposina niponensis* Walsingham larvae on six insecticides before and after overwintering. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(8): 1913-1916.
- [22] Han R D, Sun X G, Xu Y Y, Zhang W G. The biochemical mechanism of cold-hardiness in overwintering larva of *Dendrolimus spectabilis* Butler (Lepidoptera: Lasiocampidae). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1352-1356.
- [23] Qiang C K, Du Y Z, Yu L Y, Cui Y D, Lu M X, Zheng F S. Dynamic changes of cold-resistant substances of overwintering *Chilo suppressalis* (Walker) larvae. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(3): 599-605.
- [24] Goto M, Sekine Y, Oota H, Hujikura M, Suzuki K. Relationships between cold hardiness and diapause, and between glycerol and free amino acid contents in overwintering larvae of the oriental corn borer, *Ostrinia furnacalis*. *Journal of Insect Physiology*, 2001, 47(2): 157-165.

参考文献:

- [1] 景晓红, 康乐. 昆虫耐寒性研究. *生态学报*, 2002, 22(12): 2202-2207.
- [2] 景晓红, 康乐. 昆虫耐寒性的测定与评价方法. *昆虫知识*, 2004, 41(1): 7-10.
- [3] 郭海波, 许永玉, 鞠珍, 李明贵. 中华通草蛉成虫抗寒能力季节性变化. *生态学报*, 2006, 26(10): 3238-3244.
- [6] 马晓牧, 张青文, 蔡青年, 徐环李, 李继军, 翟雷霞, 杨玉枫. 2003 年冀南棉区绿盲蝽爆发危害. *植物保护学报*, 2004, 30(3): 90-90.
- [8] 门兴元, 于毅, 张安盛, 李丽莉, 张君亭, 戈峰. 不同温度下绿盲蝽实验种群生命表研究. *昆虫学报*, 2008, 51(11): 1216-1219.
- [10] 郭鄂, 忻介六. *昆虫学实验技术*. 北京: 科学出版社, 1988: 165-195.
- [11] 陈长琨. *昆虫生理生化实验*. 北京: 中国农业出版社, 1993: 61-66.
- [12] 宋南, 罗梅浩, 刘鹏, 段继伟. 取食蜂蜜对棉铃虫齿唇姬蜂体内主要代谢物质的影响. *昆虫知识*, 2008, 45(2): 204-210.
- [19] 韩召军, 王荫长, 尤子平. 陆生昆虫的抗寒性机制. *昆虫知识*, 1989, 26(1): 39-42.
- [20] 赵静, 于令媛, 李敏, 郑方强, 张帆, 许永玉. 异色瓢虫成虫耐寒能力的季节性变化. *昆虫学报*, 2008, 51(12): 1271-1278.
- [21] 张月亮, 陈召亮, 韩志任, 马超, 翟茹环. 桃小食心虫幼虫越冬前后对几种杀虫剂敏感性的差异. *应用生态学报*, 2007, 18(8): 1913-1916.
- [22] 韩瑞东, 孙绪良, 许永玉, 张卫光. 赤松毛虫越冬幼虫生化物质变化与抗寒性的关系. *生态学报*, 2005, 25(6): 1352-1356.
- [23] 强承魁, 杜予州, 于玲雅, 崔亚东, 陆明星, 郑福山. 水稻二化螟越冬幼虫耐寒性物质的动态变化. *应用生态学报*, 2008, 19(3): 599-605.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 5 March, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

- Statistical characteristics of eutrophication process in Dianshan Lake CHENG Xi, LI Xiaoping, CHEN Xiaohua (1355)
- Cadmium assimilation and elimination and biological response in *Pirata subpiraticus* (Araneae: Lycosidae) fed on Cadmium diets
..... ZHANG Zhengtian, ZHANG Guangduo, ZHANG Hucheng, et al (1363)
- Effect of co-cultivation time on camptothecin content in *Camptotheca acuminata* seedlings after inoculation with arbuscular
mycorrhizal fungi YU Yang, YU Tao, WANG Yang, et al (1370)
- Relationship between frequency of sandstorms and air humidity as well as plant phenology: a case study from the Minqin desert
area CHANG Zhaofeng, WANG Yaolin, HAN Fugui, et al (1378)
- Genetic diversity and evolution relationship on mtDNA D-loop in Tibetan yaks
..... ZHANG Chengfu, XU Lijuan, JI Qiumei, et al (1387)
- Geostatistical analysis on spatiotemporal distribution pattern of soil water content of forest gap in *Pinus koraiensis* dominated
broadleaved mixed forest LI Meng, DUAN Wenbiao, CHEN Lixin, et al (1396)
- Soil nitrogen and enzymes involved in nitrogen metabolism under different vegetation in Ziwuling mountain in the Loess Plateau,
China XING Xiaoyi, HUANG Yimei, HUANG Haibo, et al (1403)
- Soil carbon, nitrogen and microbiological characteristics during bamboo high-speed growth
..... WANG Xueqin, ZHANG Qichun, YAO Huaiying (1412)
- Effects of long-term increased soil N on leaf traits of several species in typical Inner Mongolian grassland
..... HUANG Juying, YU Hailong, YUAN Zhiyou, et al (1419)
- Influence of arbuscular mycorrhizal associations on the interspecific competition between mycorrhizal and non-mycorrhizal plants
..... ZHANG Yuting, WANG Wenhua, SHEN Hong, et al (1428)
- Structure and biodiversity of fig wasp community inside syconia of *Ficus virens* Ait. var. *sublanceolata* (Miq.) Corner in Fuzhou ...
..... WU Wenshan, CHEN Youling, CAI Meiman, et al (1436)
- Growth and photosynthetic characteristics of *Epimedium koreanum* Nakai in different habitats
..... ZHANG Yonggang, HAN Mei, HAN Zhongming, et al (1442)
- The critical temperature to Huashan Pine (*Pinus armandi*) radial growth based on the daily mean temperature
..... FENG Xiaohui, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (1450)
- The analysis of grade diversity indices of butterfly community in the Three Gorges Reservoir Area of Yangtze River
..... MA Qi, LI Aimin, DENG Heli (1458)
- Research on dynamic characteristics of photosynthesis in muskmelon seedling leaves
..... HAN Ruifeng, LI Jianming, HU Xiaohui, et al (1471)
- Effects of different winter covering crops cultivation on methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) emission fluxes from double-
cropping paddy field TANG Haiming, XIAO Xiaoping, SHUAI Xiqiang, et al (1481)
- Variations in groundwater levels and quality and their effects on vegetation in the western Grubantonggut Desert
..... ZENG Xiaoling, LIU Tong, ZHANG Weibin, et al (1490)
- Carbon and nitrogen stable isotope characteristics of particulate organic matter and zooplankton in Liuxihe Reservoir
..... NING Jiajia, LIU Hui, GU Binhe, et al (1502)
- Selection of vegetable seeds native in China instead of the cress seed for evaluating the maturity of biosolids
..... LIU Songsong, XU Tianfen, WU Qitang, et al (1510)
- Effects of anthropogenic nutrient input on organisms from different trophic levels in Hanfeng Lake: evidence from stable carbon
and nitrogen isotope analysis LI Bin, WANG Zhijian, JIN Li, et al (1519)
- Temporal and spatial distribution of phytoplankton in Liusha Bay ZHANG Caixue, CHEN Huiyan, SUN Xingli, et al (1527)
- Study on the supercooling of golden apple snail (*Pomacea canaliculata*)
..... ZHAO Benliang, ZHANG Jia'en, LUO Mingzhu, et al (1538)
- The effects of rice growth stages on the ovarian development and take-off of *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera*
..... CHEN Yu, FU Qiang, LAI Fengxiang, et al (1546)
- Cold tolerance of the overwintering egg of *Apolygus lucorum* Meyer-Dür (Hemiptera: Miridae)
..... ZHUO Degan, LI Zhaohui, MEN Xingyuan, et al (1553)
- A suggestion on the estimation method of population sizes of *Niviventer confucianus* in Land-bridge island
..... ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (1562)
- The carbon footprint of food consumption in Beijing WU Yan, WANG Xiaoke, LU Fei (1570)
- Anthropogenic phosphorus flow analysis of Hanshan County in Anhui Province
..... FU Yinyin, YUAN Zengwei, WU Huijun, et al (1578)
- A laboratory study of auctions for water rights transactions in inland river basin: a case study of irrigation areas of Heihe river
basin DENG Xiaohong, XU Zhongmin (1587)
- Review and Monograph**
- A review of the effect of typhoon on forests LIU Bin, PAN Lan, XUE Li (1596)
- Research progress on the effects of ocean acidification on coral reef ecosystems
..... ZHANG Chenglong, HUANG Hui, HUANG Liangmin, et al (1606)
- Interspecific competition among three invasive *Liriomyza* species
..... XIANG Juncheng, LEI Zhongren, WANG Haihong, et al (1616)
- Indicative significance of biogenic elements to eco-environmental changes in waters
..... YU Yu, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (1623)
- Recent advances in studies on dissimilatory Fe(III)-reducing microorganisms
..... LI Huijuan, PENG Jingjing (1633)
- Discussion**
- Ecological vulnerability research for Xilingol League, Northern China XU Guangcai, KANG Muye, Marc Metzger, et al (1643)
- Scientific Note**
- Spatial distribution and species composition of zooplanktons in the eastern tropical Pacific Ocean off Costa Rica
..... LIU Bilin, CHEN Xinjun, JIA Tao, et al (1654)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 5 期 (2012 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 5 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071 电话:(010)64034563 E-mail: journal@espg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@espg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元