

西藏飞蝗 (*Locusta migratoria tibetensis* Chen) 耐寒性理化指标

李 庆¹, 王思忠¹, 封传红², 张 敏¹, 蒋 凡², 杨 刚³, 罗林明²

(1. 四川农业大学农学院, 雅安 625014; 2. 四川省农业厅植物保护站, 成都 610041; 3. 甘孜州植保植检站, 康定 626000)

摘要: 西藏飞蝗是青藏高原上的一种重要害虫。近年来, 西藏飞蝗在西藏、青海玉树以及川西高原上危害十分严重。通过对该虫各发育阶段过冷却能力测定, 研究了各发育阶段虫体内生理生化物质与过冷却能力之间的关系, 揭示了该虫耐寒性规律。结果表明, 西藏飞蝗蝗卵的过冷却点和结冰点为最低, 分别为 -22.02°C 和 -16.36°C 。在 1~4 龄蝗蛹期, 过冷却点随体内水分、糖原和脂肪含量随着虫体的发育而升高, 其过冷却点分别为 -9.28°C 、 -8.51°C 、 -7.18°C 、 -6.46°C ; 到 5 龄蝗蛹时, 虫体脂肪和糖原含量达最高值, 过冷却点下降为 -8.07°C 。讨论了虫体脂肪、糖原和甘油含量变化与其耐寒力之间的关系。

关键词: 西藏飞蝗; 耐寒性

文章编号: 1000-0933(2008)03-1314-07 中图分类号: Q16, Q965 文献标识码: A

The physiological and biochemical indexes of the cold-hardiness of *Locusta migratoria tibetensis* Chen

LI Qing¹, WANG Si-Zhong¹, FENG Chuan-Hong², ZHANG Min¹, JIANG Fan², YANG Gang³, LUO Lin-Ming²

1 College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China

2 Plant Protection Station of Sichuan Agricultural Department, Chengdu 610041, China

3 Plant Protection and Quarantine Station of Ganzi State, Kangding 626000, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(3): 1314 ~ 1320.

Abstract: The *Locusta migratoria tibetensis* is an important pest in the Qing-Tibet Plateau. In recent years, it causes serious damage in Tibet, Yushu of Qinghai, plateau of western Sichuan. The super-cooling points of *Locusta migratoria tibetensis* were determined. The physiological and biochemical indexes related with the super-cooling capability were also determined. The results indicated the super-cooling point and the freezing point of the egg was the lowest, which was -22.02°C and -16.36°C respectively. The nymphs supercooling points increase with increase of heparin, fat and glycerin content from 1 to 4 instar stage, which was -9.28°C 、 -8.51°C 、 -7.18°C 、 -6.46°C , respectively. However, the super-cooling point descends to -8.07°C at 5th instar stage, when the contents of fat, heparin and glycerin were highest. The correlation between the contents of fat, heparin and glycerin during different development stage and the super-cooling capacity *in vivo* was also discussed in detail.

Key Words: *Locusta migratoria tibetensis* Chen, Cold-hardiness

基金项目: 四川省科技厅应用基础资助项目(05JY029-007); 国家农业部西藏飞蝗发生规律与监测预警资助项目

收稿日期: 2006-07-11; 修订日期: 2007-12-29

作者简介: 李庆(1964~), 男, 博士, 教授, 从事农业昆虫与害虫防治研究. E-mail: liqing633@yahoo.com.cn

Foundation item: The project was financially supported by Science and Technology Bureau of Sichuan Province(No. 05JY029-007), and by research project Occurrence and Monitoring and Forecast from Ministry of Agriculture of China

Received date: 2006-07-11; **Accepted date:** 2007-12-29

Biography: LI Qing, Ph. D., Professor, mainly engaged in agricultural entomology and control of pest. E-mail: liqing633@yahoo.com.cn

西藏飞蝗(*Locusta migratoria tibetensis* Chen)是飞蝗(*Locusta migratoria*)在我国 3 个亚种之一,属青藏高原特有种。近年来,西藏飞蝗在西藏、青海玉树和川西高原的农牧场上为害十分严重^[1,2]。

昆虫是变温动物,极端的高温或低温均会影响其正常生活,尤其在不良的低温环境中昆虫耐寒力的高低决定着它们的生殖、扩散、分布及在下一季节的发生动态^[3]。昆虫对季节性温度差异的反应表现为体内相关耐寒性生化物质种类及含量变化^[4~6]。李冰祥等报道飞蝗种群过冷却点随发育阶段而升高,蝗卵主要靠合成甘油、山梨醇和海藻糖作为抗冻保护剂^[7]。景晓红等报道飞蝗越冬卵过冷却点具季节性变化特性,气温越低的月份,低过冷却点个体所占比例越大^[8]。景晓红等的研究还表明接受短光照处理的飞蝗产生耐寒力较强的卵^[9]。鉴于西藏飞蝗的严重危害和特殊的地理分布,而目前尚未见对该虫耐寒性方面的相关报道,作者通过对该虫各发育阶段体内某些生理生化物质及过冷却点的测定,以期掌握该虫的越冬、地理分布等提供考,也为进一步研究其发生规律和防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

耐寒性生理生化指标测定所用虫样均采自四川甘孜州石渠县(海拔 3300m)的群居型西藏飞蝗,除水分、过冷却点及结冰点测定为鲜样外,其余测定样品均去翅烘干研磨成粉状。

1.2 方法

1.2.1 过冷却点和结冰点测定

参照秦玉川等方法^[10],选取健康饱满卵粒与热敏电阻充分接触,然后置于保温杯内的离心管中,外与数字式万用表连接,记录阻值变化过程,测得其过冷却点,以同样的方法测定群居型各龄蝗蛹及成虫的过冷却点与结冰点,各测定数量在 20 头以上。

1.2.2 水分测定

参照秦玉川恒重法^[11],分别选取新鲜蝗蛹及成虫,去翅(芽)并剪碎,称取各龄蝗蛹及成虫样品各 1g,在 70℃ 干燥箱中设烘,冷却后分别称取各样品重量 m , $(1-m)$ g 即得各待测样品体内水分含量,重复 3 次。

1.2.3 脂肪测定

参照冯慧方法^[12],分别将各龄蝗蛹及成虫研成粉末,各称取 0.5~1g,放入干燥的脱脂滤纸内,包好,称得脱脂滤纸和虫粉的总重量 m_1 ,置微型索氏提取器中,用沸程 30~60℃ 的石油醚 50℃ 水浴抽提 12h,控制每分钟循环 3~5 次,回流完毕后,滤纸包(内含虫粉)70℃ 烘干,称得滤纸包(含虫粉)的总重量 m_2 ,设 3 次重复,经计算即得虫体内脂肪含量,计算公式为:脂肪百分含量(%) = $(m_2 - m_1)/m \times 100$,式中 m 为称得虫粉重量。

1.2.4 糖原含量测定

采用蒽酮法测定糖原含量^[13],将各龄蝗蛹及成虫去翅放于 60℃ 的恒温烘箱中烘 24h,取出研成粉末备用,测定时每个样品称 0.1g,加 1ml 30% KOH,设 3 次重复,沸水浴 30min 左右,直到组织水解液清澈透明无颗粒为止。冷却后移入离心管,加入 3ml 95% 乙醇。将离心管放在冰箱内过夜,次日离心(10min, 3500r/min),弃上清液,再将沉淀溶于 1ml 蒸馏水中,并加入 4ml 乙醇(95%),在冰箱内放置 3~4h,离心弃上清液,沉淀用蒸馏水溶解过滤并定容于 25ml 容量瓶中即得样品待测液。

取各待测样品液 1ml 放于冰水混合物中冷却,再加入 5ml 蒽酮试剂,摇匀冷却后置沸水浴中 10min,取出后迅速放于冰水浴中在暗处静置 20~30min 在波长 620nm 进行比色,测得的吸光度值根据标准曲线查出样品液中葡萄糖含量,将测得的葡萄糖含量乘以 0.927 即得各龄蝗蛹及成虫体内糖原含量。

1.2.5 甘油含量测定

参照郭郭和忻介六的方法^[14],取离心管一组(5ml),各注入 0.9ml 10% CuSO_4 溶液和 2.9ml 5% NaOH 溶液振荡均匀,配成 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 悬浊液。取烘干备用的各龄蝗蛹及成虫的虫粉各 1g,采用索氏提取器将其脂肪提出,取此脂类提取液 0.1ml 注入 10ml 试管内,加浓 H_2SO_4 2ml,在沸水浴中消化。

分别将上述定容好的各样品液取 0.4ml 加入配好的 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 悬浊液,充分摇匀,离心(5000r/min)分离,

取上清液用紫外分光光度计于 630nm 处比色,测得其吸光度值,查标准曲线即得甘油含量,经计算可知各龄蛹及成虫体内甘油含量。

2 结果与分析

2.1 各发育阶段过冷却点与结冰点

表 1 表明,过冷却点由低到高对应的各发育阶段为卵、1 龄蛹、2 龄蛹、5 龄蛹、成虫(♂)、成虫(♀)、3 龄、4 龄,其过冷却点平均值分别为 -22.02 、 -9.28 、 -8.51 、 -8.07 、 -7.96 、 -7.86 、 -7.18 、 -6.46°C ,结冰点由低到高的各发育阶段为卵、1 龄、2 龄、成虫(♀)、5 龄、成虫(♂)、3 龄、4 龄,其结冰点平均值分别为 -16.36 、 -7.13 、 -6.64 、 -6.11 、 -6.02 、 -5.89 、 -5.67 、 -5.05°C 。统计分析表明卵的过冷却点显著低于其它各发育阶段。各蝗蛹之间,以 1 龄最低,为 -9.28°C ,4 龄最高,为 -6.46°C ,1 龄过冷却点显著低于 3 龄的过冷却点 -7.18°C 和 4 龄的 -6.46°C ,2 龄过冷却点 -8.51°C 显著低于 4 龄的 -6.46°C ,其余各龄差异不显著,成虫雌雄之间过冷却点差异不显著,与各龄蛹过冷却点的差异不显著。

表 1 还表明,卵的结冰点 -16.36°C ,显著低于其它各发育阶段,1 龄蛹的结冰点显著低于 4 龄。雌雄成虫结冰点无显著差异,分别为 -6.11°C 、 -5.89°C ,与各龄之间也无显著差异。

2.2 水分含量

2.2.1 各龄蛹体内水分含量

西藏飞蝗各龄蛹体内水分含量由高到低的虫龄分别为 5 龄、4 龄、3 龄、2 龄、1 龄蛹,其体内水分含量分别为 77.38% 、 76.66% 、 75.23% 、 72.10% 、 71.78% 。5 龄蛹体内水分含量显著高于 1 龄、2 龄、3 龄蛹,而 1 龄与 2 龄之间、3 龄与 4 龄之间、4 龄与 5 龄之间的水分含量无明显差异(表 2)。

2.2.2 各龄蛹体内水分含量与过冷却能力

西藏飞蝗蝗蛹体内水分含量随着虫龄的增加而升高(图 1),1 龄到 4 龄蛹的过冷却点随着虫龄的增加而升高,发育至 5 龄时,过冷却点下降,为 -8.07°C ,较 3 龄、4 龄过冷却点 -7.18 、 -6.46°C 为低。

2.3 脂肪含量

2.3.1 各发育阶段体内脂肪含量

群居型西藏飞蝗体内脂肪含量由高到低对应的虫期分别为 5 龄蛹、4 龄蛹、成虫(♂)、成虫(♀)、3 龄蛹、2 龄蛹、1 龄蛹,其脂肪含量分别为 14.51% 、 11.44% 、 8.37% 、 7.61% 、 5.74% 、 4.90% 、 4.09% (表 3)。

2.3.2 西藏飞蝗各发育阶段体内脂肪含量与过冷却能力

1~4 龄蛹体内脂肪含量与过冷却点均随着龄数的增加而升高,而脂肪含量在 5 龄时含量达到最高值,羽化为成虫后脂肪含量有所下降,过冷却点在 5 龄时突然下降,成虫期的过冷却点较 5 龄略有升高(图 2)。

表 1 西藏飞蝗过冷却点和结冰点

Table 1 The super-cooling point and freezing point of *Locusta migratoria tibetensis*

发育阶段 Developmental stage	过冷却点($^{\circ}\text{C}$) Super-cooling point	结冰点($^{\circ}\text{C}$) Freezing point
卵 Egg	-22.02ab	-16.36a
1 龄 1 st instar	-9.28c	-7.13b
2 龄 2 nd instar	-8.51cd	-6.64b
5 龄 5 th instar	-8.07cde	-6.02bc
雄成虫 male adult	-7.96cde	-5.89bc
雌成虫 female adult	-7.86cde	-6.11bc
3 龄 3 rd instar	-7.18de	-5.67bc
4 龄 4 th instar	-6.46e	-5.05c

1) 不同字母表示不同发育阶段存在显著差异($P < 0.05$)
Different letters represent significant differences ($P < 0.05$) between developmental stages

表 2 西藏飞蝗(群居型)各龄蛹水分含量

Table 2 The water content *in vivo* of each instar nymph (gregaria)

虫龄 Instar stage	水分含量(%) Water content	差异显著性 Significance level ($P < 0.05$)
1 龄 1 st instar	71.78	a
2 龄 2 nd instar	72.10	a
3 龄 3 rd instar	75.23	b
4 龄 4 th instar	76.66	bc
5 龄 5 th instar	77.38	c

表 3 西藏飞蝗(群居型)各发育阶段体内生理生化物质的含量

Table 3 The contents of biochemical substance in gregaria *Locusta migratoria tibetensis* in different developmental stage

发育阶段 Developmental stage	脂肪含量 Content of fat (%)	糖原含量 Content of heparin (mg/g)	甘油含量 Content of glycerin (mg/g)
5 龄 5th instar	14.51a	18.85a	11.98a
4 龄 4th instar	11.44b	14.71b	11.02b
雄成虫 male adult	8.37c	5.74cd	11.75b
雌成虫 female adult	7.61c	6.33cd	11.24b
3 龄 3rd instar	5.74d	8.83c	11.13b
2 龄 2nd instar	4.90de	5.18cd	11.41b
1 龄 1st instar	4.09e	4.47d	11.51b

1) 不同字母表示虫龄间存在显著差异 $P < 0.05$ Different letters represent significant differences between instars ($P < 0.05$)

2.4 糖原含量

群居型蝗蚱及其成虫体内糖含量统计分析结果见表 3, 群居型西藏飞蝗糖含量由低到高对应的各发育阶段分别为 1 龄、2 龄、成虫(♂)、成虫(♀)、3 龄、4 龄、5 龄, 其糖含量平均值分别为 4.47、5.18、5.74、6.33、8.83、14.71、18.85mg/g, 5 龄蝗糖含量最高, 达 18.85mg/g, 显著高于群居型蝗蚱其它各龄期及成虫期, 4 龄蝗糖含量 14.71mg/g 显著高于 1 龄、2 龄、3 龄、成虫(♂)、成虫(♀)的糖含量, 3 龄蝗糖含量 8.83mg/g 显著高于 1 龄蝗, 而 1 龄蝗体内糖含量最低, 其平均值为 4.47mg/g。

2.4.2 各发育阶段体内糖含量与过冷却能力

群居型西藏飞蝗各发育阶段体内糖含量与过冷却

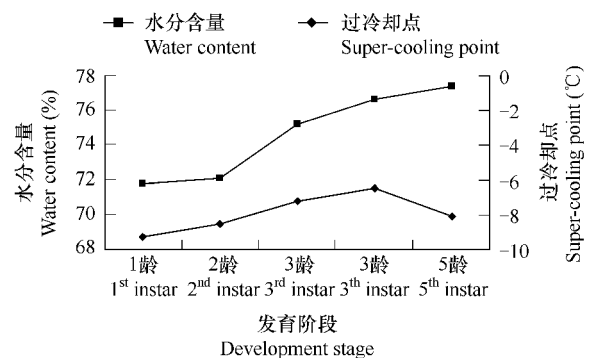


图 1 西藏飞蝗(群居型)蝗蚱体内水分含量与过冷却点之间的关系

Fig. 1 The relationship between water content and super-cooling points in vivo of gregaria nymph *Locusta migratoria tibetensis*

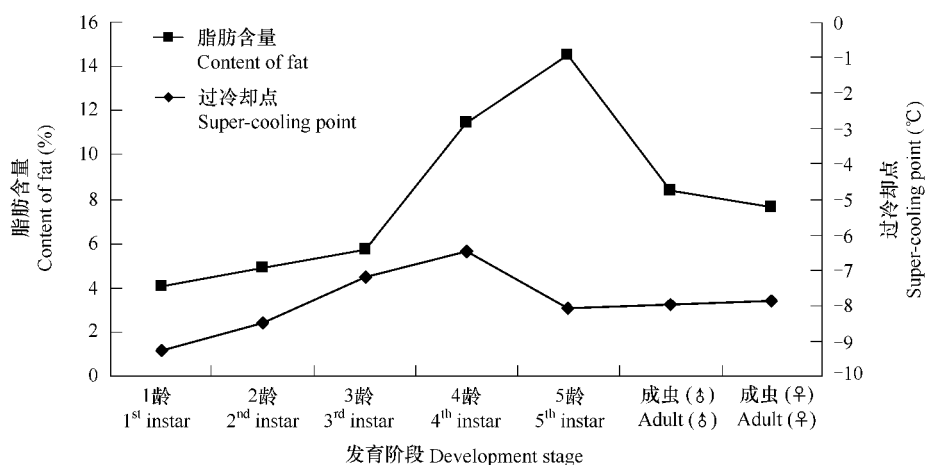


图 2 西藏飞蝗(群居型)不同发育阶段脂肪含量与过冷却点之间的关系

Fig. 2 The relationship between fat content and super-cooling point in vivo of gregaria *Locusta migratoria tibetensis* in different developmental stage

点之间的关系如表 1、表 3 和图 3 所示, 在 1~4 龄蝗蚱期, 虫体糖含量从随虫龄及含糖量的升高, 其过冷却点上升, 但到 5 龄蝗蚱含糖量升至最高时, 过冷却点反而迅速下降, 成虫期含糖量的下降, 过冷却点又稳定在一定水平。

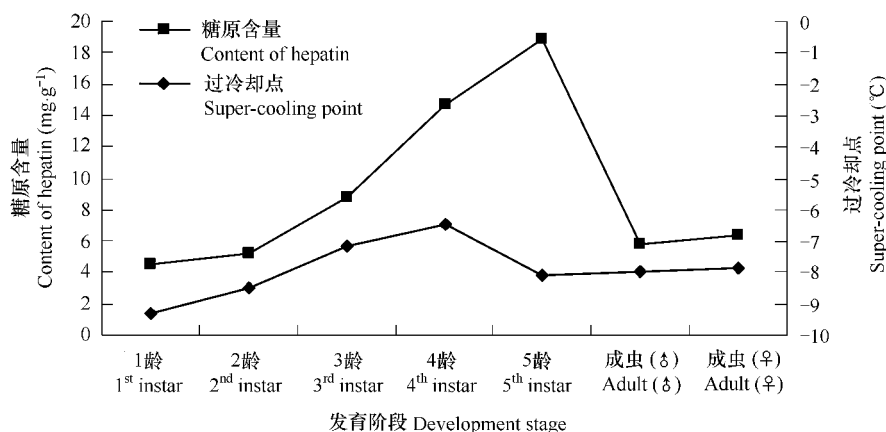


图3 西藏飞蝗各发育阶段糖含量与过冷却点之间的关系

Fig. 3 The relationship between hepatic content and super-cooling point *in vivo* of gregarious *Locusta migratoria tibetensis* in different developmental stage

2.5 甘油含量

2.5.1 西藏飞蝗各发育阶段甘油含量

群居型各龄蛹成虫以及散居型5龄蛹体内甘油含量的测定结果如表3,结果表明甘油含量由低到高分别对应发育阶段为4龄、3龄、成虫(♀)、2龄、1龄、成虫(♂)、5龄蛹,其体内甘油含量平均值分别为11.02、11.13、11.24、11.41、11.51、11.75、11.98 mg/g,经差异显著性分析,群居型5龄雄性蛹甘油含量显著高于其余各群居型蛹、成虫,除群居型5龄雄性蛹外,群居型各龄蛹之间以及与群居型成虫之间,与群居型各龄蛹及成虫之间,差异性不显著。

2.5.2 西藏飞蝗各发育阶段甘油含量与过冷却能力

如图4所示,群居型西藏飞蝗1~4龄蛹各发育阶段甘油含量逐渐降低,而过冷却点逐渐升高,过冷却能力逐渐减弱;发育至5龄时甘油含量骤升,过冷却点骤降,过冷却能力也增强,进入成虫期后,雄性成虫的甘油含量较雌性成虫为高,而过冷却点则表现为雄性成虫较雌性成虫为低,过冷却能力略强于雌性成虫。

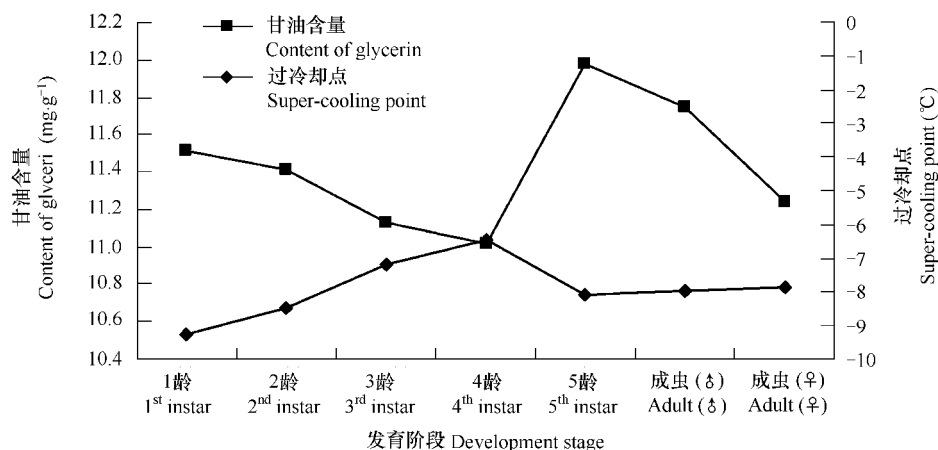


图4 西藏飞蝗各发育阶段甘油含量与过冷却能力之间的关系

Fig. 4 The relationship between glycerol content and super-cooling capability *in vivo* of gregarious *Locusta migratoria tibetensis* in different developmental stage

3 讨论

3.1 西藏飞蝗卵的过冷却点为 -22.02°C ,以四川甘孜州乡城县当地冬季平均温度为 -6.7°C ,最低温度为

-13.6℃,表明该虫卵能在当地自然条件下能以卵越冬,而其余各发育阶段均不能耐受冬季低温而越冬。

3.2 西藏飞蝗(群居型)雌性成虫过冷却点和结冰点分别为-7.86℃、-6.11℃,雄性成虫过冷却点和结冰点分别为-7.96℃、-5.89℃;东亚飞蝗(群居型)雌性成虫过冷却点和结冰点分别为-6.99℃、-5.80℃,雄性成虫分别为-7.05℃、-5.74℃^[14],此表明群居型西藏飞蝗雌雄之间耐寒性有差异,且与东亚飞蝗成虫的耐寒性不一致。西藏飞蝗(群居型)雌性和雄性成虫体内脂肪含量分别为7.61%、8.37%,另外,据黄亮文和马世骏研究东亚飞蝗(群居型)雌性和雄性成虫体内脂肪含量分别为22.41%、23.80%^[15],可见西藏飞蝗和东亚飞蝗脂肪含量相差较大,这是否与西藏飞蝗目前为止尚未发现有成群迁飞现象以及地理分布范围较东亚飞蝗小的一个重要原因尚需深入研究。

3.3 甘油是越冬昆虫中最普遍的抗冻保护剂^[5,16],5龄蛹体内甘油含量显著高于其它各发育阶段,这有可能就是造成1至4龄蛹过冷却点逐渐升高,5龄蛹时过冷却点骤然降低,从而导致过冷却能力突然增强的重要原因。

3.4 许多昆虫体内存在一种耐寒性系统,如赤松毛虫越冬幼虫体内抗寒性生化物质系统为小分子碳水化合物类(山梨醇、海藻糖、葡萄糖)-糖蛋白-氨基酸类(丙氨酸、苏氨酸、谷氨酸等)等^[4];松阿扁叶蜂(*Acantholyda posticalis* Matsumura)越冬幼虫体内的抗寒性生化物质系统为小分子碳水化合物-丙氨酸-甘油-糖蛋白^[5]。本试验测得1~4龄蛹随龄数增加,虫体脂肪、糖原和甘油均不同程度升高,与之对应的过冷却点也相应升高,表明脂肪、糖原大分子物质和小分子物质甘油在1~4龄蝗蛹期参与过冷却点的调节。到5龄时,其体内糖原、脂肪和甘油含量达最高值,均显著高于1~4龄的含量,但3种物质含量的增加率较4龄时存在较大差异,其中脂肪、糖原增加率分别达26.84%和28.14%,而甘油增加率仅8.7%,此时过冷却点急剧下降,表明在这个时期西藏飞蝗调节自身耐寒力的主要生理或生化因子发生了改变,可能是由糖、脂肪和甘油等对耐寒力的调节变为以脂肪和糖为主进行调节。西藏飞蝗是否存在类似其它昆虫^[4,5]的耐寒系统来调节其耐受当地环境的低温及昼夜温差的变化值得深入研究。

3.5 糖原和脂肪是昆虫的重要能源化合物,本试验发现在西藏飞蝗的蝗蛹期,随虫龄的升高,糖原和脂肪含量升高,但到成虫期其含量又急剧下降。西藏飞蝗作为飞蝗的亚种之一,目前其迁飞、迁移规律缺乏研究,从成虫阶段糖原、脂肪能源化合物含量下降和低的卵过冷却点分析,可以认为西藏飞蝗成虫期不存在长距离的地理迁移,出现后随即在当地产卵越冬。

References:

- [1] Chen Y L. The main achievement of research and control about migratory locust in China. Chinese Bulletin of Entomology, 2000, 37(1): 55—59.
- [2] Wang Z J, Qin Q L, Hao S G, Chen Y L, Li H C, Li D M. Present Status of locust outbreak and its sustainable Control strategies in China. Entomological Knowledge, 2002, 39(3): 172—175.
- [3] McDonald J R, Head J, Bale J S, *et al.* Cold tolerance, overwintering and establishment potential of *Thrips palmi*. Physiol. Entomol., 2000, 25: 159—166.
- [4] 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.
- [5] Liang Z G, Xu Y Y, Sun X G, Zhang T X, Zhang W G, Xu Y X. The cold hardiness of overwintering larvae of *Acantholyda posticalis matsumura* (Hymenoptera: Pamphiliidae) in Taian. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(12): 3259—3263.
- [6] Zhang J, Wu K M, Lin K J, Li H G, Guo Y. Diapause Characteristics and Cold-hardiness of Temperate and Subtropical Populations in *Chilo suppressalis*. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(12): 2451—2456.
- [7] Li B X, Chen Y L, Cai H L. The cold-hardiness of different geographical populations of the migratory locust, *Locusta migratoria* L. (Orthoptera, Acrididae). Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(12): 2023—2030.
- [8] Jiang X H, Kang L. Seasonal changes in the supercooling point overwintering eggs of *Locusta migratoria*. Entomological Knowledge, 2003, 40(4): 326—328.
- [9] Jiang X H, Kang L. Egg cold hardness of the migratory locust *Locusta migratoria* L. Under different photoperiod conditions. Zoological Research, 2003, 24(3): 196—199.

- [10] Qin Y C, Yang J C. A new simple method to test insect super-cooling point. *Entomological Knowledge*, 2000, 37(4): 236—238.
- [11] Qin Y C. Experiment guide for the principle of entomology ecology of insects, Exp. 40. Determination of insect super-cooling point. Beijing: Agricultural University Press, 1991. 124.
- [12] Fen H. The method of biological and chemical analysis on insect. Beijing: Agricultural University Press, 1989.
- [13] Che X B, Xia N B, Song C Y, Tu Q H. Study on the main Energy Substance Consumed by *Dendrolimus tabulaeformis* Tsai et Liu Adult During Migration. *Journal of Beijing Forestry University*, 1996, 18(4): 29—34.
- [14] Guo F, Xin J L. Experimental technology of entomology. Beijing: Science Press, 1988. 165—195.
- [15] Huang L W, Ma S J. The primary study on the biological characteristics of two biological types of *Locusta migratoria manilensis* (Meyen)
- [16] Chen Y J, Sun X G, Zhang W G, Guo Y Y, Mou Z G, Guo G Z. Relation Between Variation of Protein, Amino Acid, Low-molecular Carbohydrate in Over-wintering *Diaphania Pyralis* Walker Larvae and Cold-hardiness. *CanYeKeXue*, 2005, 31(2): 111—116.

参考文献:

- [1] 陈永林. 中国的飞蝗研究及其治理的主要成就. *昆虫知识*, 2000, 37(1): 55~59.
- [2] 王正军, 秦启联, 郝树广, 陈永林, 李鸿昌, 李典谟. 我国蝗虫暴发成灾的现状及其持续控制对策. *昆虫知识*, 2002, 39(3): 172~175.
- [4] 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.
- [5] 梁中贵, 许永玉, 孙绪良, 张同心, 张卫光, 徐延熙. 泰安地区松阿扁叶蜂越冬幼虫抗寒性. *生态学报*, 2005, 25(12): 3259~3263.
- [6] 张琚, 吴孔明, 林克剑, 李火苟, 郭予元. 二化螟温带和亚热带地理种群的滞育特征与抗寒性差异. *中国农业科学*, 2005, 38(12): 2451~2456.
- [7] 李冰祥, 陈永林, 蔡惠罗. 飞蝗不同地理种群耐寒性研究. *生态学报*, 2001, 21(12): 2023~2030.
- [8] 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.
- [9] 景晓红, 康乐. 光照与飞蝗耐寒性的关系. *动物学研究*, 2003, 24(3): 196~199.
- [10] 秦玉川, 杨建才. 一种便携式测定昆虫过冷却点的方法. *昆虫知识*, 2000, 37(4): 236~238.
- [11] 秦玉川. 昆虫学通论实验指导. 北京: 农业大学出版社, 1991. 124.
- [12] 冯慧. 昆虫生物化学分析法. 北京: 农业出版社, 1989.
- [13] 车锡冰, 夏乃斌, 宋长义, 屠泉洪. 油松毛虫成虫迁飞能源物质的研究. *北京林业大学学报*, 1996, 18(4): 29~34.
- [14] 郭郭, 忻介六. 昆虫实验技术. 北京: 科学出版社, 1988. 165~195.
- [15] 黄亮文, 马世骏. 东亚飞蝗(*Locusta migratoria manilensis* Meyen)二型生物学特性的初步研究. *昆虫学报*, 1964, 13(3): 329~338.
- [16] 陈永杰, 孙绪良, 张卫光, 郭彦彦, 牟志刚, 郭光志. 桑螟越冬幼虫体内蛋白质、氨基酸、碳水化合物的变化与抗寒性的关系. *蚕业科学*, 2005, 31(2): 111~116.