

光照与飞蝗卵耐寒性的关系

景晓红, 康乐¹

(中国科学院动物研究所 农业虫鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100080)

摘要: 用热电偶法测定长光照 (L:D = 14:10) 和短光照 (L:D = 10:14) 条件下饲养的飞蝗所产卵的过冷却点; 并对长、短光照组分别设置 5 个温度 (0、-5、-10、-15 和 -20 °C) 处理, 每一温度又设置 5 个时间 (6 h, 1、3、5 和 10 d) 处理, 然后检查其 28 °C 的孵化数, 以此计算低温存活率和半致死温度。长、短光照组卵的过冷却点没有差异; 两种光照条件下的低温存活率随着卵处理温度的降低和时间的延长而下降, 在 -5 和 -10 °C 时短光照组的低温存活率显著高于长光照组; 卵的半致死温度随低温处理时间的延长而升高, 短光照组的半致死温度明显低于长光照组。接受短光照的飞蝗母本能产出耐寒性较高的卵, 暗示秋天所产的卵能更成功地越冬。

关键词: 飞蝗卵; 光照; 耐寒性; 过冷却点; 低温存活; 半致死温度

中图分类号: Q969.265.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0254-5853(2003)03-0196-04

Egg Cold Hardiness of the Migratory Locust *Locusta migratoria* L. Under Different Photoperiod Conditions

JING Xiao-hong, KANG Le¹

(State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: Eggs laid by migratory locusts reared under conditions of long photoperiod (LP) (L:D = 14:10) and short photoperiod (SP) (L:D = 10:14) were collected. Supercooling points of some eggs were measured using a thermocouple method. The remained eggs were treated with a series of low temperatures (0, -5, -10, -15 and -20 °C) in different periods of time (6 h, 1, 3, 5 and 10 d), and then incubated at 28 °C. The number of surviving eggs could be judged with that of incubated nymphs, and then the survival ratio of eggs in low temperature (SL) and low-lethal temperature causing death of 50% of the eggs (LT₅₀) were calculated. No difference was found in the supercooling points between LP and SP groups; SL decreased with the decline of treated temperature and the increase of treated time and SL in SP group was higher than that in LP group at -5 and -10 °C; LT₅₀ increased with increase of time in low temperature, and LT₅₀ of SP group was lower than that of LP group. The results suggest that the cold hardiness of locust eggs could be induced by a short photoperiod experienced by parents, that is, eggs produced in autumn would better overwinter.

Key words: Migratory locust egg; Photoperiod; Cold hardiness; Supercooling point; Survival of low temperature; Low-lethal temperature

蝗灾是一种对农业生产具有毁灭性打击的生物灾害。我国历代蝗灾的发生主要是由东亚飞蝗暴发所致。近年来,受异常气候和农业生态环境变化等因素的影响,飞蝗在我国暴发频繁,对农业生产构成严重威胁。飞蝗一般以卵在土壤中越冬,冬季的气

候特点,特别是低温在部分程度上决定着来年蝗虫的种群发生动态。因此,掌握低温因素对蝗卵发育各种作用的知识,在蝗虫的发生预测和预报,以及根治蝗害方面都是非常重要的(Chin et al, 1954)。

近年来,已明确了昆虫的耐寒性在决定昆虫分

收稿日期: 2003-01-13; 接受日期: 2003-04-10

基金项目: 中国科学院知识创新工程一期项目 (KSCX2-1-02-02, KSCX2-1-05-03)

1. 通讯作者 (Corresponding author), Tel: 010-62558304, E-mail: lkang@panda.ioz.ac.cn

布与扩散、成功越冬和在新的地区建立自己的生态位等生态适应中所起的作用 (Leather et al, 1993; Shintani & Ishikawa, 1999; McDonald et al, 2000)。在我国北方地区, 蝗卵会在土壤中渡过 7 个月左右的时间, 耐寒性的提高是它们成功越冬的首要条件。已有研究表明, 飞蝗越冬卵的耐寒性显著大于夏季种群和越冬后种群卵的耐寒性 (Jing & Kang, 2003)。Li (1999) 报道在北方地区飞蝗的越冬卵进入滞育态; 而昆虫的滞育显然能提高其耐寒性 (Goto et al, 2001; Saunders & Hayward, 1998; Pullin & Bale, 1989; Ring, 1972)。飞蝗卵越冬种群较强的耐寒性可能是滞育作用的直接结果。昆虫卵的滞育主要受脑—咽下神经节—滞育激素这一内分泌体系的控制 (Xu, 1999)。保幼激素、蜕皮激素和其他激素的出现或消失, 在不同的昆虫种内控制着滞育的发生 (Danks, 1996); 同时, 保幼激素或者蜕皮激素也可以帮助控制抗冻物质的产生。这种密切关系暗示了滞育和耐寒可能是受同一因素调控的 (Milonas & Savopoulou-Soultani, 1999), 而光周期又是促使这一因素发生作用的外在诱导条件; 因此, 飞蝗卵的耐寒性与滞育的关系实际上是耐寒性与光周期长短的关系。本文旨在通过实验研究, 明确光照与飞蝗卵耐寒性之间的关系, 这对于了解自然条件下光周期在飞蝗耐寒性进化中的作用有重要的意义。

1 材料与方 法

1.1 卵的来源

2002 年 7 月从河北省黄骅采回飞蝗卵, 置室内 28 °C 孵化。将孵出的一龄蝗蝻各 50 只 (♀:♂ = 1:1) 分别放在 2 个 70 cm × 80 cm × 80 cm 的双层笼中饲养, 再放入大型人工气候箱中接受光照处理: 笼 1 为长光照 L:D = 14:10; 笼 2 为短光照 L:D = 10:14。待产卵时分别收集长、短两光照组的卵作为实验材料。

1.2 过冷却点的测定

参见 Jing & Kang (2003) 描述的热电偶法测定卵的过冷却点。用毛笔轻轻拨出卵囊中的卵粒, 任意挑选长光照组和短光照组各约 20 粒饱满健康的卵, 将带有自动记录笔的感温探头与卵连接好一并放入 -35 °C 的低温实验箱中, 以约 0.5 °C/min 的速率使卵降温, 当卵体液中冰晶形成时由于潜热的释放导致温度回升, 此时在记录仪上显示的即为过冷却点的值。

1.3 低温处理和孵化实验

卵粒放入指形管, 用封口膜封口, 按如下程序置于低温实验箱中处理: 对长、短两个光照组分别设置 5 个低温 (0、-5、-10、-15 和 -20 °C) 处理组; 每一温度又设置 5 个时间 (6 h, 1、3、5 和 10 d) 处理组; 这样, 每光照组共 25 个处理。每个处理重复 4 次, 每次重复 40 粒卵。处理过的卵放入装有湿沙子的塑料盒中在 28 °C 条件下孵育, 每天检查其孵出数并做记录。为消除由非低温因素造成的卵的死亡率对结果的影响, 取长、短两个光照组卵直接在 28 °C 下孵育, 将低温处理下的孵化率与该孵化率相比, 得出校正后的低温存活率。

1.4 半致死温度的计算

根据逻辑斯蒂曲线方程 $[S = 1/(1 + \exp(a + bT))]$, 其中 S 为存活率, T 为处理温度, 求出 a 和 b , $-a/b$ 的值即为半致死温度 (LT_{50}); 由此计算长、短两个光照组卵不同低温处理时间的半致死温度。

2 结 果

2.1 过冷却点

长光照组飞蝗卵的过冷却点为 (-23.9 ± 0.45) °C, 短光照组的为 (-23.6 ± 0.71) °C, 两者间无差异 (One-way ANOVA: $F_{1,38} = 0.21$; $P = 0.647$)。

2.2 低温存活率

长、短两个光照组卵的低温存活率都随着处理温度的降低和处理时间的延长而下降 (图 1)。在 -5 和 -10 °C 时短光照组的低温存活率显著高于长光照组, 0、-15 和 -20 °C 两组无差异 (表 1)。

2.3 半致死温度

随着低温处理时间的延长, 蝗卵半致死温度升高; 低温处理时间相同, 短光照组的半致死温度都低于长光照组 (表 2)。

表 1 飞蝗长、短光照组母本所产卵的耐寒性差异
Table 1 Differences of the cold hardiness between eggs produced by female migratory locusts treated with long- and short photoperiods

长/短光照组 Long/short photoperiod group	处理温度 Treated temperature (°C)				
	0	-5	-10	-15	-20
One-way ANOVA:	3.47 ^{NS}	13.99 ^{**}	4.18 [*]	2.74 ^{NS}	0.83 ^{NS}
$F_{1,38}$					

^{NS} $P > 0.05$, ^{*} $P < 0.05$, ^{**} $P < 0.01$ 。

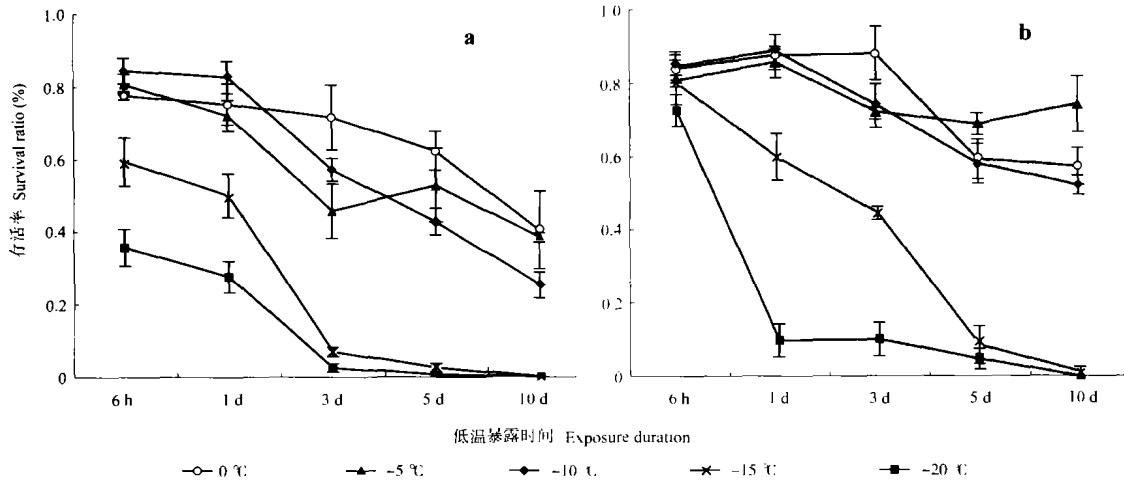


图 1 飞蝗长、短光照组母本所产卵的低温存活率

Fig.1 Survival ratio of eggs, which were treated with low temperature, produced by female migratory locusts treated with long- or short photoperiod

a. 长光照 (Long photoperiod); b. 短光照 (Short photoperiod).

表 2 飞蝗长、短光照组母本所产卵不同低温处理时间的半致死温度

Table 2 Low-lethal temperature 50 of eggs, which were treated with different cold periods, produced by female migratory locusts treated with long- or short photoperiod

组别 Group	处理时间 Treated time (d)	半致死温度 Low-lethal temperature 50 (°C)
长光照 Long photoperiod	6 h	-17.4
	1	-15.1
	3	-6.1
	5	-4.8
	10	-1.1
短光照 Short photoperiod	6 h	-22.5
	1	-15.7
	3	-13.0
	5	-7.5
	10	-7.1

3 讨论

体液结冰对大多数昆虫来说都是致命的,因此,在研究昆虫的耐寒性时,过冷却点是首要考查的因素。飞蝗母本经长、短光照处理后所产卵的过冷却点没有差异,都在 -23°C 左右;这与飞蝗卵越冬种群的过冷却点显著低于夏季种群的越冬后种群报道不同 (Jing & Kang, pers. comm.), 暗示飞

蝗卵的过冷却点可能随季节气温变化而变化。

实验表明,长、短两个光照组卵的低温存活率都随着处理温度的降低而下降,而且长光照的下降更快。不过 0°C 、 -15°C 和 -20°C 的处理两组无差异,可能的原因是: 0°C 对两个光照的卵都不是致命的,卵在该温度下的存活率都很高,因而没有差异。而 -15°C 和 -20°C 对两个光照的卵均是致命的,卵的存活率都非常低,而显示不出差异;当然也可能是光周期对蝗卵耐寒性的作用有一定的限度,或许在更低温度下的低温驯化对提高蝗卵的耐寒性会起到更有效的作用。

实验还表明,随着低温处理时间的延长,导致卵半数死亡的温度也越高,如在长光照组中,随着低温处理从6h延至10d,半致死温度从 -17.4°C 升到 -1.1°C ;短光照组则从 -22.5°C 升到 -7.1°C 。

本低温存活实验和半致死温度的结果表明,飞蝗母本经短光照处理后所产卵的耐寒性显著大于长光照,表现出母体效应。虽然实验中无法用肉眼分辨卵是否进入滞育,但可以肯定,短光照下滞育的比例很高 (Tanaka, 1994),即短光照对卵产生的较直接影响是使其进入滞育,或者说光周期对飞蝗卵耐寒性的作用是通过滞育表现出来的。在自然界中,短光照和低温常常相互伴随。在长期的进化过程中,光周期有规律的变化显然对昆虫为越冬做准备提供了某种暗示作用,能够帮助昆虫更好地适应周围的环境,从而成功建立自己的种群。当然,我

们并不否认低温驯化对提高蝗卵的耐寒性也起着非常重要的作用。

Furusawa et al (1982) 认为, 以卵越冬的昆虫经过一个短日照发育几天后能够在昆虫体内合成多元醇, 而这些多元醇已被证明在多数昆虫中起着抗冻的作用。Pullin (1996) 从进化的观点提出, 滞育关联化合物的合成应是昆虫入侵更冷地区的有利条件。尽管诸多证据都表明短光照诱导的昆虫滞育和耐寒性有密切的联系, 但光周期影响飞蝗卵耐寒性

的内在机制尚不清楚, 仍有待更多、更深入的研究才能揭示。

在总结与昆虫耐寒性有关的生态因素时, 一般都强调气候的因素、栖息地和微生境的选择 (Danks, 1991, 1996; Renault et al, 2002), 却都忽视了光照条件这一相关的因素。通过本实验, 我们认为短光照在自然界中是诱导昆虫耐寒性增强的重要因素。这对飞蝗卵的成功越冬、次年种群的发生动态都起着重要的作用。

参考文献:

- Chin CT, Chai CH, Sha CY. 1954. Studies on the locust egg: I. Morphological changes of the embryo during egg incubation, with special reference to the developmental stages of the eggs collected from the field (Acrididae: Orthoptera) [J]. *Acta Entomol. Sin.*, **4**: 383-398. [钦俊德, 翟启慧, 沙磋云. 1954. 蝗卵的研究——I. 东亚飞蝗卵孵育期中胚胎形态变化的观察及野外蝗卵胚胎发育期的调查. 昆虫学报, **4**: 383-398.]
- Danks HV. 1991. Winter habitats and ecological adaptations for winter survival [A]. In: Lee RE, Denlinger DL. *Insect at Low Temperature* [M]. New York: Chapman and Hall. 231-259.
- Danks HV. 1996. The wider integration of studies on insect cold hardiness [J]. *Eur. J. Entomol.*, **93**: 383-403.
- Furusawa TK, Shimizu K, Yano T. 1982. Temperature dependent sorbitol utilization in diapause eggs of the silk worm, *Bombyx mori* [J]. *J. Comp. Physiol.*, **147**: 21-26.
- Goto M, Sekine Y, Oota H, Hujikura M, Suzuki K. 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]. *J. Insect Physiol.*, **47**: 157-165.
- Jing XH, Kang L. 2003. Geographical variation in egg cold hardiness: A study on the adaptation strategies of the migratory locust *Locusta migratoria* L [J]. *Ecol. Entomol.*, **28**: 151-158.
- Leather SR, Walters KFA, Bale JS. 1993. *The Ecology of Insect Overwintering* [M]. Cambridge: Cambridge University Press.
- Li RJ. 1999. Studies on Characters of Diapause in *Locusta migratoria manilensis* (Meyen) (Orthoptera: Acrididae) [D]. Ph. D. thesis, China Agricultural University. [李瑞军. 1999. 东亚飞蝗滞育特性的研究. 中国农业大学博士学位论文.]
- McDonald JR, Head J, Bale JS, Walters KFA. 2000. Cold tolerance, overwintering and establishment potential of *Thrips palmi* [J]. *Physiol. Entomol.*, **25**: 159-166.
- Milonas PG, Savopoulou-Soultani M. 1999. Cold hardiness in diapause and non-diapause larvae of the summer fruit tortrix, *Adoxophyes orana* (Lepidoptera: Tortricidae) [J]. *Eur. J. Entomol.*, **96**: 183-187.
- Pullin AS. 1996. Physiological relationship between insect diapause and cold tolerance: Coevolution or coincidence [J]. *Eur. J. Entomol.*, **93**: 121-129.
- Pullin AS, Bale JS. 1989. Influence of diapause and temperature on cryoprotectant synthesis and cold hardiness in pupae of *Pieris brassicae* [J]. *Comp. Biochem. Physiol.*, (A), **94**: 499-503.
- Renault D, Salin C, Vannier G, Vernon P. 2002. Survival at low temperatures in insects: What is the ecological significance of the supercooling point [J]. *CryoLetters*, **23**: 217-228.
- Ring RA. 1972. Relationship between diapause and supercooling in the blowfly, *Lucilia sericata* (Mg) (Diptera: Calliphoridae) [J]. *Can. J. Zool.*, **50**: 1601-1605.
- Saunders DS, Hayward SAL. 1998. Geographical and diapause-related cold tolerance in the blow fly, *Calliphora vicina* [J]. *J. Insect Physiol.*, **44**: 541-551.
- Shintani Y, Ishikawa Y. 1999. Geographic variation in cold hardiness of eggs and neonate larvae of the yellow-spotted longicorn beetle *Psacotha hilaris* [J]. *Physiol. Entomol.*, **24**: 158-164.
- Tanaka H. 1994. Embryonic diapause and life in the migratory locust, *Locusta migratoria* L. (Orthoptera: Acrididae), in Japan [J]. *Appl. Entomol. Zool.*, **29**: 179-191.
- Xu WH. 1999. Progress in insect diapause study [J]. *Acta Entomol. Sin.*, **42**: 100-107. [徐卫华. 1999. 昆虫滞育的研究进展. 昆虫学报, **42**: 100-107.]