

# 意大利蝗卵越冬期呼吸代谢对季节变化的响应

闫蒙云 徐 叶 王香香 王 晗 季 荣\* 叶小芳\*

(新疆师范大学生命科学学院, 中亚区域跨境有害生物联合控制国际研究中心,  
新疆特殊环境物种保护与调控生物学实验室, 乌鲁木齐 830054)

**摘要:** 为明确意大利蝗 *Calliptamus italicus* (L.) 卵越冬过程中的呼吸代谢变化, 通过定期解剖野外意大利蝗卵观察其胚胎发育进度, 并应用多通道昆虫呼吸代谢测量系统逐月测定意大利蝗卵的  $O_2$  消耗率、 $CO_2$  释放率、代谢率和呼吸商, 分析其变化特征, 同时对其越冬环境温度进行实时测定。结果表明, 意大利蝗卵的呼吸代谢水平随着越冬时间的推进发生季节性波动。越冬前(8—10月), 意大利蝗卵的呼吸代谢水平较高, 其中在8月间最高, 此时胚胎发育较快, 且复眼背部边缘在10月出现红色; 越冬期间(11月—翌年2月), 呼吸代谢水平在11月间最低, 在12月—翌年2月之间则无显著差异, 复眼颜色逐渐加深, 胚胎发育基本停滞; 越冬结束后(翌年3—4月), 呼吸代谢水平逐渐升高, 在翌年4月间显著高于10月—翌年3月, 但显著低于8月, 此时发生胚胎转动且恢复发育。越冬过程中, 意大利蝗卵呼吸商均大于0.94。不同月份意大利蝗卵的  $O_2$  消耗率、 $CO_2$  释放率、代谢率与5 cm地温之间均呈显著正相关, 相关系数分别为0.857、0.831和0.902。在整个越冬过程中, 意大利蝗卵的呼吸代谢变化与其胚胎发育进度以及环境温度密切相关, 且蝗卵均以糖类为主要能源物质, 以最大程度减少物质能量消耗, 从而确保蝗卵的正常发育、越冬及来年的顺利孵化。

**关键词:** 意大利蝗卵;  $O_2$  消耗率;  $CO_2$  释放率; 代谢率; 呼吸商

## The response of respiratory metabolism in overwintering eggs of Italian locust *Calliptamus italicus* (Orthoptera: Acrididae) to seasonal changes

Yan Mengyun Xu Ye Wang Xiangxiang Wang Han Ji Rong\* Ye Xiaofang\*

(Xinjiang Key Laboratory of Special Species Conservation and Regulatory Biology, International Research Center for the Collaborative Containment of Cross-Border Pests in Central Asia, College of Life Sciences, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China)

**Abstract:** To clarify the changes of respiratory metabolism in overwintering eggs of Italian locust *Calliptamus italicus* (L.), locust eggs were dissected regularly to observe embryonic development progress, and  $O_2$  consumption rate,  $CO_2$  release rate, metabolic rate and respiratory quotient were measured using Sable multi-channel insect respiratory metabolism measurement systems and analyzed from August to April of the next year. The environmental temperature of locust eggs in the wild was measured. The results showed that respiratory metabolism level of locust eggs fluctuated seasonally with the advance of overwintering time. In pre-winter (August—October), respiratory metabolism level of locust eggs was higher, and the highest respiratory metabolism level was observed in August. At this stage, embryos developed fastly and the red pigment appeared in the back edge of the compound eyes in October. During the winter (November—February), respiratory metabolism level was the lowest in November, but no significance was observed during this period. The color of the compound eyes darkened and the

基金项目: 新疆维吾尔自治区国际科技合作计划项目(20166003), 新疆维吾尔自治区天山创新团队计划——新疆草原害虫适应性及调控研究创新团队, 新疆师范大学研究生科研创新基金项目(XSY201702011)

\* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: yxf001982@sina.com, jirong@xjnu.edu.cn

收稿日期: 2017-12-15

embryo development basically stagnated. In post-winter (March—April), respiratory metabolism level gradually increased. Respiratory metabolism level in April was significantly higher than that in October—March, but significantly lower than that in August. During this period, embryo transfer occurred and the embryos recovered development. During the whole overwintering progress, respiratory quotients of locust eggs were higher than 0.94. The correlation coefficients between  $O_2$  consumption rate,  $CO_2$  release rate, metabolic rate and 5-cm ground temperature in different months were 0.857, 0.831, 0.902, respectively; there was a positive correlation between the respiratory metabolism of locust eggs and 5-cm ground temperature. The respiratory metabolism level of *C. italicus* eggs were closely related to their embryonic development and the environmental temperature during the whole overwintering process. Carbohydrates were the main energy sources of locust eggs, which could minimize the energy consumption to ensure normal development, successful overwintering and incubation of locust eggs in the coming year.

**Key words:** *Calliptamus italicus* egg;  $O_2$  consumption rate;  $CO_2$  release rate; metabolic rate; respiratory quotient

呼吸代谢作为昆虫重要的生命活动形式,不但可以反映昆虫最基本的生理特征,而且是其生态能量学研究的重要内容和种群能量动态的基础(张永强等,2003)。昆虫呼吸代谢既受其体内生理活动制约,也受外界环境影响,如温度、湿度、光照强度、体重和饥饿程度等因素(戈峰,1991)。目前已有学者对龟纹瓢虫 *Propylaea japonica* (Thunberg)(高峰等,2007)、沟金针虫 *Pleonomus canaliculatus* (Faldermann)(陈爱瑞等,2011)、冈比亚按蚊 *Anopheles gambiae* Giles(Kaiser et al.,2014)、暗脉菜粉蝶 *Pieris napi* (Linnaeus)(Kivelä et al.,2016)等昆虫的呼吸代谢进行了研究,且主要集中在探讨温度、 $O_2$ 浓度、湿度、光照、体重等对其呼吸代谢水平的影响(Acar et al.,2001;Hetz & Bradley,2005;钱雪等,2016a)。

关于蝗虫成虫和蝗卵的呼吸代谢也有报道,如王冬梅等(2014)根据不同温度下意大利蝗 *Calliptamus italicus* (L.)成虫的呼吸代谢变化,明确了其生长发育的最适温度范围为20~30℃;朱昱翰(2014)比较发现西藏飞蝗 *Locusta migratoria tibetensis* Chen蝗蝻的代谢率高于成虫;许升全等(1996)研究发现不同地区及不同采集条件都会影响中华稻蝗 *Oxya chinensis* (Thunberg)卵的耗氧率;Kambule et al.(2011)在对褐拟飞蝗 *Locustana pardalina* (Walker)的研究中发现非滞育卵的代谢率远大于滞育卵,且实验室滞育卵的代谢率大于野外滞育卵;本课题组前期研究发现,作为新疆维吾尔自治区(简称新疆)优势蝗虫之一的西伯利亚蝗 *Gomphoceris sibiricus* L.卵的呼吸代谢水平在越冬过程中总体呈上升趋势,且与环境温度无显著相关性(何立志等,2017)。但针对新疆另一种优势蝗虫意大利蝗其越冬卵的呼吸代谢至今未见报道。

意大利蝗是一种高繁殖率、杂食性、分布广,具有长距离迁移能力的重要草原害虫,给当地的经济、社会和生态造成了重大损失。意大利蝗在新疆主要分布于玛纳斯、木垒及昌吉等8个县州(帕尔哈提,2005),1年发生1代,以卵在土壤中越冬(任金龙等,2015)。与成虫不同,蝗卵尚未形成完善的呼吸系统,呼吸效率较低,加之不能取食和活动,外界环境会直接影响其呼吸代谢,尤其是季节性温度、光照(钦俊德等,1956)和土壤含水量(朱猛蒙等,2016)等条件的变化。卵期是蝗虫发生的源头,决定其次年的发生数量及为害程度,而蝗卵的呼吸代谢对于蝗卵能否顺利越冬及存活具有重要意义。不同季节的蝗卵呼吸代谢强度是否具有差异,其呼吸代谢规律如何,蝗卵的呼吸代谢水平在越冬过程不同发育时期是否具有差异,这一系列问题目前仍不清楚,因此,本研究以意大利蝗卵为研究对象,采用多通道昆虫呼吸代谢测量系统,逐月测定意大利蝗越冬卵的 $O_2$ 消耗率、 $CO_2$ 释放率、代谢率和呼吸商,明确越冬过程中意大利蝗卵呼吸代谢的季节变化规律,探讨其越冬期间的呼吸代谢策略,以期了解意大利蝗卵呼吸代谢机制及其对灾变的影响研究和蝗灾预防提供理论基础和科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试意大利蝗卵:于2016年7—8月赴新疆玛纳斯县大阳山(43°55'N,86°91'E;海拔1292 m),采集健康活泼的意大利蝗雌、雄成虫,置于1 m×1 m×1 m网笼进行饲养,以当地优势植物冷蒿 *Artemisia frigid* Willd.、紫花苜蓿 *Medicago sativa* L.、新疆鼠尾草 *Salvia deserta* Schang. 饲喂蝗虫。笼子底部放置

育苗盆,覆盖一定湿度的松软土壤,以供雌成虫产卵。为确保胚胎处于相同发育阶段,每天定时筛土收集卵囊,并记录蝗卵数量。将初产卵囊,放入装满土壤的10 cm×10 cm×10 cm收集盒中,埋于野外土壤下,用于后续呼吸代谢测定。

试剂及仪器:CaSO<sub>4</sub>干燥剂,上海桑戈生物科技有限公司;Bouin's固定液,北京天恩泽生物科技有限公司;其它试剂均为国产分析纯。Sable多通道昆虫呼吸代谢测量系统,美国Sable公司;TP-2200电子温度记录器,北京安伏电子技术有限公司;EX 20尼康实体显微镜,宁波舜宇仪器有限公司。

## 1.2 方法

### 1.2.1 意大利蝗卵越冬过程的呼吸代谢测定

于2016年8月—2017年4月每月20日选取健康有光泽的意大利蝗卵,称重后放入多通道昆虫呼吸代谢测量系统的呼吸室内,同步测定蝗卵的CO<sub>2</sub>释放量和O<sub>2</sub>消耗量。由于单个意大利蝗卵的CO<sub>2</sub>释放量无法达到分析仪的测量精度要求,所以每个呼吸室中放置50粒蝗卵为1组,静置30 min后进行O<sub>2</sub>消耗量和CO<sub>2</sub>释放率的测定。仪器运行过程中,采用CaSO<sub>4</sub>干燥剂除去从空气中进入到仪器的水分。控制进气流速为125 mL/min,每90 s记录1个数据,测定时间为30 min。所得数据由计算机软件ExpeData采集并加以分析。测试完毕后将其放入60°C干燥箱内72 h烘干至恒重,称量其干重,计算代谢率。呼吸代谢指标的计算参照陈爱瑞等(2011)方法。呼吸率以单位时间内个体的CO<sub>2</sub>释放量或O<sub>2</sub>消耗量表示;代谢率则表示为单位体重虫体单位时间内呼吸的O<sub>2</sub>消耗量;呼吸商=CO<sub>2</sub>释放率/O<sub>2</sub>消耗量。

### 1.2.2 意大利蝗卵越冬环境温度测定

于2016年8月—2017年4月,将电子温度记录器埋于野外蝗卵周围土壤中,实时测定蝗卵越冬过程中地下5 cm的土层温度,于次年取出记录仪并读取相关数据,掌握不同月份的温度变化情况,采用Pearson相关性分析方法分析地温与意大利蝗卵呼吸代谢水平之间的相关性。

### 1.2.3 意大利蝗卵的胚胎发育观察

为了解意大利蝗越冬卵的胚胎发育进度,在检测意大利蝗卵呼吸代谢水平的同时,于2016年8月—2017年4月期间每月10日和25日各取野外意大利蝗卵10粒,用Bouin's固定液固定24 h后,以70% C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH清洗3次,将固定洗涤好的卵浸在脱壳液(10% NaClO)中浸泡3~4 min,取出卵粒以70% C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH洗涤3次后置于显微镜下,用解剖针去除卵壳和多余细胞质,获得胚胎的全形标本,滴加少许清

水,显微镜下观察胚胎形态并拍照。

## 1.3 数据分析

试验数据采用SPSS 19.0软件进行统计分析,不同月份意大利蝗的呼吸率、代谢率和呼吸商的差异显著性检验采用单因素方差分析,不同月份意大利蝗卵的呼吸代谢强弱变化与5 cm地温采用Pearson相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 意大利蝗卵在越冬过程中的呼吸代谢

#### 2.1.1 意大利越冬卵O<sub>2</sub>消耗率的变化

越冬过程中意大利蝗卵的O<sub>2</sub>消耗率呈现出一定的季节性变化( $y=0.704x+6.139, R^2=0.734$ ),总体呈下降趋势(表1)。越冬前(8—10月),蝗卵的O<sub>2</sub>消耗率较高,其中在8月的O<sub>2</sub>消耗率为28.48 mL/min,显著高于其它月份( $P<0.05$ ),随后持续下降。越冬期间(11月—翌年2月),蝗卵在11月的O<sub>2</sub>消耗率为3.76 mL/min,显著低于其它各月( $P<0.05$ );12月—翌年2月间的O<sub>2</sub>消耗率无显著差异。越冬结束后(翌年3—4月),蝗卵的O<sub>2</sub>消耗率逐渐升高,与12月—翌年2月的O<sub>2</sub>消耗率差异不显著,但显著高于11月的O<sub>2</sub>消耗率且显著低于8—9月的O<sub>2</sub>消耗率( $P<0.05$ )。

#### 2.1.2 意大利蝗越冬卵CO<sub>2</sub>释放率的变化

越冬过程中,意大利蝗卵CO<sub>2</sub>释放率也呈现出一定的季节性变化( $y=0.742x+6.327, R^2=0.691$ ),与O<sub>2</sub>消耗率一致,总体呈下降趋势(表1)。越冬前(8—10月),蝗卵的CO<sub>2</sub>释放率较高,其中在8月的CO<sub>2</sub>释放率为30.97 mL/min,显著高于其它月份( $P<0.05$ ),随后持续下降。越冬期间(11月—翌年2月),蝗卵在11月的CO<sub>2</sub>释放率为3.64 mL/min,显著低于其它各月( $P<0.05$ );12月—翌年2月之间的CO<sub>2</sub>释放率无显著差异。越冬结束后(翌年3—4月),蝗卵CO<sub>2</sub>释放率逐渐升高,显著高于在11月间的CO<sub>2</sub>释放率( $P<0.05$ ),但显著低于在8—9月间的CO<sub>2</sub>释放率( $P<0.05$ ),且与在12月—翌年2月的CO<sub>2</sub>释放率之间差异不显著。

#### 2.1.3 意大利蝗越冬卵代谢率的变化

意大利蝗越冬卵代谢率总体呈下降趋势,有一定的季节性波动( $y=2.144x+29.37, R^2=0.662$ ),除8—10月以及翌年4月外,其它月份(11月—翌年3月)之间代谢率差异不显著(表1)。越冬前(8—10月),蝗卵的代谢率较高,在8月为108.61 mL·g<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>,显著高于其它月份( $P<0.05$ );随后代谢率持续下降。越冬期间(11月—翌年2月),蝗卵在11月的代谢率最低,为16.13 mL·g<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>,在12月—翌年2月间无显著差异。越冬结束后(翌年3—4月),蝗卵的代

谢率逐渐升高,在翌年4月的增幅较大,显著高于10月—翌年3月的代谢率,但显著低于8月的代谢率( $P<0.05$ )。

### 2.1.4 意大利蝗越冬卵呼吸商的变化

8月—翌年4月,呼吸商的值均大于0.94(表1),说明越冬意大利蝗卵的呼吸代谢底物均为糖类物质,在越冬过程中以糖类作为主要能源物质。

### 2.2 意大利蝗越冬卵越冬温度与呼吸代谢的相关性

8月的温度最高,为20.9℃,而翌年1月的温度最低,为-4.70℃。Pearson相关性分析结果表明,不同月份意大利蝗卵的呼吸代谢强度与5 cm地温呈正相关, $O_2$ 消耗率、 $CO_2$ 释放率、代谢率与5 cm地温均呈显著相关性( $P<0.05$ ),相关系数分别为0.857、

0.831和0.902。

### 2.3 意大利蝗卵胚胎发育观察

观察结果显示,在8月,意大利蝗卵的后足已分为胫节和腿节(图1-A)。在9月,胚胎继续生长(图1-B)。复眼背部边缘在10月开始出现红色,且胚胎发育较为缓慢(图1-C)。11月—翌年1月,复眼颜色逐渐加深,胚胎发育基本停滞,胚胎形态无明显变化(图1-D~F)。在2月,开始出现胚胎转动现象(图1-G)。在3月,胚胎转动现象明显,胚胎头部从卵的一端转向另一端,呈折叠状态(图1-H),之后胚转完成(图1-I),胚胎发育趋于成熟。在4月,胚胎发育进一步成熟,胚胎表面出现色素,附肢开始硬化,即将孵化(图1-J)。

表1 新疆地区意大利蝗越冬卵呼吸代谢的动态变化

Table 1 Changes of respiratory metabolism in overwintering eggs of *Calliptamus italicus* (L.) in Xinjiang

年-月 Year-Month	$O_2$ 消耗率 $O_2$ consumption rate (mL/min)	$CO_2$ 释放率 $CO_2$ release rate (mL/min)	代谢率 Metabolic rate (mL·g <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	呼吸商 Respiratory quotient	5 cm地温 5-cm ground temperature (°C)
2016-08	28.48±1.42 a	30.97±1.20 a	108.61±6.26 a	1.08±0.17 b	20.92±0.36 a
2016-09	15.44±1.41 b	15.73±1.44 b	61.04±5.40 c	1.02±0.03 b	19.84±0.91 a
2016-10	12.85±1.06 bc	13.12±1.18 bc	53.30±3.97 c	1.02±0.60 b	8.74±2.38 c
2016-11	3.76±4.62 e	3.64±4.70 e	16.13±1.84 d	0.97±0.87 c	1.93±2.62 d
2016-12	7.91±1.48 cd	8.52±1.69 cd	33.86±5.92 cd	1.08±0.53 b	-1.26±1.11 d
2017-01	5.94±0.34 d	6.06±0.29 d	26.13±0.66 d	1.02±0.12 b	-4.70±0.92 d
2017-02	4.55±0.78 d	5.08±1.16 d	18.54±3.42 d	1.17±0.45 a	-2.96±0.51 d
2017-03	4.45±1.05 d	4.60±1.10 d	20.73±4.91 d	1.03±0.03 b	0.05±0.58 d
2017-04	9.18±1.79 cd	8.59±2.10 cd	74.02±14.54 b	0.94±0.21 c	10.43±3.02 b

表中数据为平均数±标准误。同列数据后不同字母表示经单因素方差分析检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at  $P<0.05$  level by one-way analysis of variance.

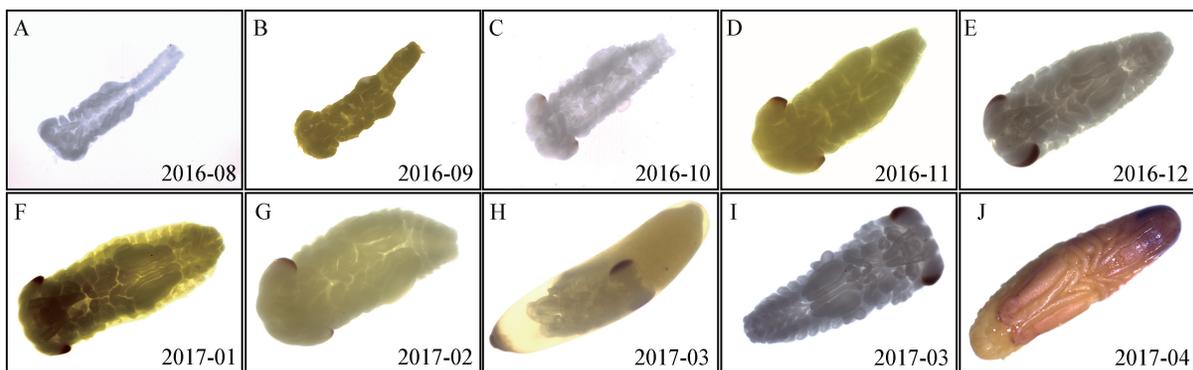


图1 新疆地区意大利蝗越冬卵在2016年8月—2017年4月的逐月胚胎发育进度

Fig. 1 Embryonic development of *Calliptamus italicus* (L.) eggs in Xinjiang during different months from August 2016 to April 2017

## 3 讨论

呼吸商的大小可判断呼吸底物的利用情况(吴坤君和龚佩瑜,1984)。一般来说,昆虫可以依靠增加自身体重来增加碳水化合物的贮存,从而度过漫

长的寒冷冬季,但体重增加必然导致耗氧量的增加,即能量消耗的增加,但这一理论对昆虫胚胎和蛹并不适用(吴坤君等,1989; Maino & Kearney, 2014)。何立志等(2017)对西伯利亚蝗卵呼吸代谢的研究发现,其代谢底物主要为脂质和少量糖类,且随着越冬

时间的推进,糖类提供能量所占比例逐渐减少。本研究结果表明,意大利蝗卵越冬期间的呼吸商平均值均超过0.94,说明其越冬期间的呼吸代谢底物均为糖类物质。蝗卵在越冬期间仅以糖类物质作为呼吸代谢底物,而没有使用脂质和蛋白质,可能是因为脂质含量较丰富的卵黄作为胚胎发育的主要营养物质,只有在越冬期间将脂肪、蛋白质等物质的消耗降到最低,才能为蝗卵在越冬后的快速发育及孵化提供足够的营养。王冬梅等(2014)研究发现,不同温度下意大利蝗成虫呼吸商均值超过0.9,主要消耗的代谢底物也为糖类,这与本试验中关于意大利蝗越冬卵的研究结果一致。意大利蝗的成虫期会经历一个高温阶段,卵期则会经历一个低温阶段,而在此期间糖类均为成虫和蝗卵的呼吸代谢底物,说明在面对温度胁迫时,成虫与蝗卵都选择利用直接能源物质糖类以度过不利环境,保证种群的生存和繁衍。

温度是昆虫呼吸代谢的重要影响因子(戈峰,1991;王冬梅等,2014)。在适温范围内,昆虫的呼吸代谢较为稳定;当低于或超过这个范围,各项生理指标出现大幅变动,昆虫可通过调节自身呼吸代谢水平来提高对不同温度的适应能力(庞雄飞,1963;Williams et al.,2012;钱雪等,2016b)。本研究中的Pearson相关性分析结果显示,5 cm地温与意大利蝗卵的O<sub>2</sub>消耗率、CO<sub>2</sub>释放率、代谢率之间显著相关,蝗卵的O<sub>2</sub>消耗率、CO<sub>2</sub>释放率和代谢率随着温度降低而逐渐减弱,说明蝗卵可通过调节自身呼吸代谢的强弱来提高应对环境温度变化的适应能力。与本研究结果不同的是,西伯利亚蝗越冬卵呼吸代谢水平与环境温度并无直接关系(何立志等,2017),其可能原因是西伯利亚蝗主要生活在亚高山草原和林间草地,意大利蝗生活在荒漠、半荒漠草原,生境不同使蝗卵对温度的感知力和耐受力存在极大差异,这将影响蝗卵的发育及呼吸代谢水平。此外,在野外采集样品时发现,2017年新疆各地均有意大利蝗暴发现象,在全球气候变暖的大背景下,新疆地区温度和降水的增加都会引起蝗灾的发生,加之意大利蝗对气候变化的响应和高适应力,意大利蝗未来仍将是为害新疆草原及农作物的重要害虫。

昆虫的呼吸代谢与其自身发育状态有关,尤其与滞育密切相关。棉铃虫*Helicoverpa armigera* Hübner 蛹的呼吸代谢速率在滞育期间处于极低水平,且非滞育蛹的呼吸代谢水平明显高于滞育蛹(吴坤君等,1989;王方海和龚和,1997)。在自然状态中鞭角华扁叶蜂*Chinolyda flagellicornis* (F. Smith) 预蛹进入滞育后呼吸代谢水平急速下降,并长期处于

极低水平,滞育解除后开始急剧上升,且雄性预蛹的代谢速率高于雌性预蛹(王满困等,2001)。不同日龄夏滞育的烟青虫*Helicoverpa assulta* (Guenée) 滞育蛹的呼吸代谢速率均低于非滞育蛹,从而适应并度过高温环境(张亚南等,2014)。本研究通过对野外的意大利蝗卵进行解剖跟踪调查发现,9月下旬—11月初,蝗卵逐渐进入滞育,在翌年1月仅有部分蝗卵解除滞育,翌年3月下旬几乎完全解除滞育,恢复发育,这与任金龙等(2015)的研究结果一致。且8—9月蝗卵自产下后一直处于滞育前的胚胎发育活跃状态,胚胎快速发育必须以消耗能量为代价,因此呼吸代谢水平较高;9月的温度低于8月,因而蝗卵在9月的呼吸代谢相对较弱;9月下旬—翌年1月初,蝗卵处于滞育阶段,胚胎发育基本停滞,此时呼吸代谢较为微弱且呈平稳状态;翌年1月下旬—3月下旬蝗卵逐渐解除滞育,胚胎陆续恢复发育,呼吸代谢水平稍有上升,尤其在翌年4月,温度快速回升,蝗卵发育较快,其呼吸代谢水平显著高于滞育时期。表明非滞育蝗卵的呼吸代谢水平高于滞育蝗卵,这与一些昆虫的呼吸代谢研究结果一致(吴坤君等,1989;王满困等,2001;张亚南等,2014),说明蝗卵通过进入滞育而降低自身的代谢水平,从而减少能量消耗以度过低温环境,确保次年顺利孵化。

意大利蝗卵随越冬期间温度的变化,通过调节自身呼吸代谢水平的强弱以提高其对温度的适应能力,这是意大利蝗在长期进化过程中形成的对温度适应的策略,从某种程度上构成了意大利蝗的进化动力,对维持其种群数量和扩大地理分布都有着非常重要的生态学意义,但越冬过程中意大利蝗卵呼吸代谢和滞育机制仍需要进一步深入研究。

## 参 考 文 献 (References)

- Acar EB, Smith BN, Hansen LD, Booth GM. 2001. Use of calorimetry to determine effects of temperature on metabolic efficiency of an insect. *Environmental Entomology*, 30(5): 811–816
- Chen AR, Li KB, Yin J, Cao YZ. 2011. Effects of environmental factors on the respiratory metabolism in larvae of *Pleonomus canaliculatus* (Coleoptera: Elateridae). *Acta Entomologica Sinica*, 54(4): 397–403 (in Chinese) [陈爱瑞, 李克斌, 尹姣, 曹雅忠. 2011. 环境因子对沟金针虫呼吸代谢的影响. *昆虫学报*, 54(4): 397–403]
- Chin CT, Quo F, Chai CH, Cheng CY, Sha CY, Chan TM. 1956. Studies on the locust egg. II. Developmental changes of the locust egg during incubation and their possible physiological significances. *Acta Entomologica Sinica*, 6(1): 37–60 (in Chinese) [钦俊德, 郭鄂, 翟启慧, 郑竺英, 沙槎云, 陈德明. 1956. 蝗卵的研究II. 蝗卵在孵育时的变化及其意义. *昆虫学报*, 6(1): 37–60]
- Gao F, Su JW, Ge F, Wu G, Liu XH. 2007. Effect of temperature on the respiration and metabolism of ladybeetles, *Propylaea japonica*.

- Hubei Agricultural Sciences, 46(4): 562–564 (in Chinese) [高峰, 苏建伟, 戈峰, 吴刚, 刘向辉. 2007. 温度对龟纹瓢虫呼吸代谢的影响. 湖北农业科学, 46(4): 562–564]
- Ge F. 1991. The influencing factors of insect's respiratory metabolism. Entomological Knowledge, 28(5): 319–321 (in Chinese) [戈峰. 1991. 影响昆虫呼吸代谢的因素. 昆虫知识, 28(5): 319–321]
- He LZ, Liu YP, Yan MY, Liu Q, Li ZW, Ji R, Ye XF. 2017. The respiratory metabolism of overwintering *Gomphocerus sibiricus* (Orthoptera: Acrididae) eggs. Chinese Journal of Applied Entomology, 54(1): 92–99 (in Chinese) [何立志, 刘余平, 闫蒙云, 刘琼, 李占武, 季荣, 叶小芳. 2017. 西伯利亚蝗越冬卵的呼吸代谢规律研究. 应用昆虫学报, 54(1): 92–99]
- Hetz SK, Bradley TJ. 2005. Insects breathe discontinuously to avoid oxygen toxicity. Nature, 433(7025): 516–519
- Kaiser ML, Duncan FD, Brooke BD. 2014. Embryonic development and rates of metabolic activity in early and late hatching eggs of the major malaria vector *Anopheles gambiae*. PLoS ONE, 9(12): e114381
- Kambule IN, Hanrahan SA, Duncan FD. 2011. Metabolic rate in diapause and nondiapause brown locust eggs correlated with embryonic development. Physiological Entomology, 36(4): 299–308
- Kivelä SM, Lehmann P, Gotthard K. 2016. Do respiratory limitations affect metabolism of insect larvae before moulting? An empirical test at the individual level. Journal of Experimental Biology, 219(19): 3061–3071
- Maino JL, Kearney MK. 2014. Ontogenetic and interspecific metabolic scaling in insects. The American Naturalist, 184(6): 695–701
- Paerhati. 2005. An overview of the hazards and prevention of grassland locusts in Xinjiang. Xinjiang Animal Industry, (2): 58–59 (in Chinese) [帕尔哈提. 2005. 新疆草原蝗虫发生危害及防治概况. 新疆畜牧业, (2): 58–59]
- Pang XF. 1963. Effect of temperature on oxygen uptake of several insects. Entomological Knowledge, (2): 56–60 (in Chinese) [庞雄飞. 1963. 温度对几种昆虫吸氧量的影响. 昆虫知识, (2): 56–60]
- Qian X, Dou J, Wang DM, Li S, Roman J, Ji R. 2016a. Stigma structure and response of respiratory metabolism of *Gomphocerus sibiricus* to high temperature stress. Chinese Journal of Applied Entomology, 53(4): 837–842 (in Chinese) [钱雪, 窦洁, 王冬梅, 李爽, Roman Jashenko, 季荣. 2016a. 西伯利亚蝗气门结构及呼吸代谢对高温胁迫的响应. 应用昆虫学报, 53(4): 837–842]
- Qian X, Wang DM, Li S, Dou J, Ji R. 2016b. Seasonal variation in respiratory metabolism and its adaptive value in *Pyrrhocoris apterus*. Acta Ecologica Sinica, 36(20): 6602–6606 (in Chinese) [钱雪, 王冬梅, 李爽, 窦洁, 季荣. 2016b. 始红蝽呼吸代谢的季节变化及对温度的适应性. 生态学报, 36(20): 6602–6606]
- Ren JL, Zhao L, Ge J. 2015. Embryonic development of diapausing eggs in *Calliptamus italicus* (L.) (Orthoptera: Catantopidae). Acta Entomologica Sinica, 58(11): 1201–1212 (in Chinese) [任金龙, 赵莉, 葛婧. 2015. 意大利蝗的胚胎发育及卵滞育发生的胚胎发育阶段. 昆虫学报, 58(11): 1201–1212]
- Wang DM, Li J, Li S, Hu HX, Ji R. 2014. Effects of temperature on the respiratory metabolism of *Calliptamus italicus* (Orthoptera: Acrididae). Acta Entomologica Sinica, 57(3): 373–378 (in Chinese) [王冬梅, 李娟, 李爽, 扈红霞, 季荣. 2014. 温度对意大利蝗呼吸代谢的影响. 昆虫学报, 57(3): 373–378]
- Wang FH, Gong H. 1997. Measurement on respiratory rate of diapause- and non-diapause-destined *Helicoverpa armigera*. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 36(S2): 58–61 (in Chinese) [王方海, 龚和. 1997. 滞育和非滞育棉铃虫耗氧率的测定. 中山大学学报(自然科学版), 36(S2): 58–61]
- Wang MQ, Pang H, Li ZZ. 2001. Characteristics of the respiratory metabolism of *Chinolyda flagellicornis* prepupa. Forest Research, 14(6): 616–620 (in Chinese) [王满困, 庞辉, 李周直. 2001. 鞭角华扁叶蜂蛹呼吸代谢的特点. 林业科学研究, 14(6): 616–620]
- Williams CM, Hellmann J, Sinclair BJ. 2012. Lepidopteran species differ in susceptibility to winter warming. Climate Research, 53(2): 119–130
- Wu KJ, Gong PY. 1984. Respiratory metabolism of the cotton bollworm, *Heliothis armigera* (Hübner). Acta Entomologica Sinica, 27(2): 128–135 (in Chinese) [吴坤君, 龚佩瑜. 1984. 棉铃虫的呼吸代谢. 昆虫学报, 27(2): 128–135]
- Wu KJ, Gong PY, Li XZ. 1989. Characteristics of the respiratory metabolism of overwintering pupae of the cotton bollworm, *Heliothis armigera* (Hübner). Acta Entomologica Sinica, 32(2): 136–143 (in Chinese) [吴坤君, 龚佩瑜, 李秀珍. 1989. 棉铃虫越冬蛹呼吸代谢的某些特点. 昆虫学报, 32(2): 136–143]
- Xu SQ, Wang HC, Liu ZB, Zheng ZM. 1996. Oxygen consumption rate of *Oxya chinensis* during embryo development. Journal of Shaanxi Normal University (Natural Science Edition), 24(4): 68–70 (in Chinese) [许升全, 王海川, 刘志斌, 郑哲民. 1996. 中华稻蝗(*Oxya chinensis* Thunberg)胚胎发育过程中耗氧率变化的研究. 陕西师范大学学报(自然科学版), 24(4): 68–70]
- Zhang YN, Fan JT, Yang L, Liu ZD. 2014. The summer diapauses rate, pupal weight, and metabolic rate of *Helicoverpa assulta* at 35°C. Chinese Journal of Applied Entomology, 51(5): 1274–1279 (in Chinese) [张亚南, 樊建庭, 杨林, 刘柱东. 2014. 35°C下烟青虫夏滞育率、蛹重及代谢速率的变化. 应用昆虫学报, 51(5): 1274–1279]
- Zhang YQ, Ding W, Zhao ZM, Wang JJ, Tao HY. 2003. Comparison of respiratory metabolism of controlled atmosphere-resistant and pesticide resistant strains of *Liposcelis bostrychophila* Badonnel (Psocoptera: Liposcelididae). Journal of Southwest Agricultural University (Natural Science), 25(5): 413–416 (in Chinese) [张永强, 丁伟, 赵志模, 王进军, 陶卉英. 2003. 嗜卷书虱抗气性和抗药性品系呼吸代谢的比较. 西南农业大学学报(自然科学版), 25(5): 413–416]
- Zhu MM, Zhang R, Zhang ZH, Zhao ZH. 2016. The responses of grasshoppers and their natural enemies to soil humidity and slope in Mahuang Mountain, Ningxia. Journal of Plant Protection, 43(3): 369–376 (in Chinese) [朱猛蒙, 张蓉, 张泽华, 赵紫华. 2016. 宁夏麻黄山草原蝗虫及天敌对土壤含水量及坡度的响应特征. 植物保护学报, 43(3): 369–376]
- Zhu YH. 2014. Effects of low temperature and light stress on the cold-tolerant substances in *Locusta migratoria tibetensis* Chen and study on the respiratory model of *L. migratoria tibetensis* Chen. Master Thesis. Ya'an: Sichuan Agricultural University (in Chinese) [朱昱翰. 2014. 低温和光照胁迫对西藏飞蝗抗寒物质的影响及西藏飞蝗呼吸模式研究. 硕士学位论文. 雅安: 四川农业大学]