

DOI: 10.5846/stxb201503250571

钱雪,王冬梅,李爽,窦洁,季荣.始红蝽呼吸代谢的季节变化及对温度的适应性.生态学报,2016,36(20): - .
Qian X, Wang D M, Li S, Dou J, Ji R. Seasonal variation in respiratory metabolism and its adaptive value in *Pyrrhocoris apterus*. Acta Ecologica Sinica, 2016,36(20): - .

始红蝽呼吸代谢的季节变化及对温度的适应性

钱 雪,王冬梅,李 爽,窦 洁,季 荣*

中亚区域跨境有害生物联合控制国际研究中心,新疆特殊环境物种多样性保护与调控重点实验室,新疆师范大学生命科学学院,乌鲁木齐 830054

摘要:为阐明始红蝽呼吸代谢的季节变化规律,探讨其对温度适应的呼吸代谢策略,运用多通道昆虫呼吸仪逐月测定始红蝽自然种群的 O₂吸收率、CO₂释放率、代谢率和呼吸商。基于预实验获得始红蝽完成一次完整的呼吸代谢活动的时间为 90 s,故每 90 s 记录一次数据。结果表明,始红蝽的呼吸代谢存在明显的季节变化。冬季种群(12—2 月)呼吸代谢水平最弱,O₂吸收率、CO₂释放率和代谢率的平均值依次为 $(3.16 \pm 1.02) \times 10^{-5}$ mL/min、 $(2.09 \pm 0.78) \times 10^{-5}$ mL/min、 $(0.11 \pm 0.08) \times 10^{-3}$ mL/g · min;春季种群(3—5 月)呼吸代谢水平迅速增加,夏季种群(6—8 月)呼吸代谢水平最高,O₂吸收率、CO₂释放率和代谢率的平均值分别为 $(33.68 \pm 2.68) \times 10^{-5}$ mL/min、 $(36.00 \pm 3.07) \times 10^{-5}$ mL/min、 $(18.16 \pm 0.83) \times 10^{-3}$ mL/g · min;秋季种群的呼吸代谢水平开始减弱并持续到冬季。始红蝽 O₂吸收率、CO₂释放率和代谢率的值与栖息地的地表温度成正相关($r_1 = 0.914, r_2 = 0.909, r_3 = 0.836$);春、夏、秋 3 个季节始红蝽以糖类物质作为呼吸代谢消耗的底物,冬季则消耗脂类物质。研究得出,随季节温度变化,始红蝽不仅能够调节呼吸代谢水平的强弱以提高自身对温度的适应能力,还可通过调整呼吸代谢消耗的底物类型以最大程度降低消耗,这对维持始红蝽种群数量和扩大其地理分布具有重要的生态学意义。

关键词:呼吸代谢;氧气吸收率;二氧化碳释放率

Seasonal variation in respiratory metabolism and its adaptive value in *Pyrrhocoris apterus*

QIAN Xue, WANG Dongmei, LI Shuang, DOU Jie, JI Rong*

International Research Center of Cross-border Pest Management in Central Asia, Key Laboratory of Conservation and Management of Species Diversity in Xinjiang, College of Life Science, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China

Abstract: *Pyrrhocoris apterus* (Heteroptera: Pyrrhocoridae) is widely distributed throughout Europe and Asia and has a large range of temperature tolerance. In particular, *P. apterus* has strong resistance to cold owing to overwintering diapause on the soil surface near the roots of host plants. To quantify respiratory metabolism and investigate adaptation to seasonal temperature changes, O₂ uptake rate and CO₂ release rate were measured to give metabolic rates and respiratory quotients on a monthly basis for field populations of *P. apterus* using a multi-channel insect respiration apparatus (Sable Systems, USA). The aforementioned characteristics are strongly linked to environmental temperature and important to insect growth and development in various physiological activities. Based on an initial experiment, data recorded at 90s intervals have sufficient details, and a total of 45 individuals were collected from the field and examined at the laboratory every month (Oct 2013 to Sep 2014), the measurements were repeated three times for each individual. Results showed that the respiratory metabolism of *P. apterus* has a distinct seasonal variation. The lowest values occurred in winter (December – February); the average values of O₂ uptake rate, CO₂ release rate, and metabolic rate were $(3.16 \pm 1.02) \times 10^{-5}$ mL/min,

基金项目:国家自然科学基金(U1120301);新疆教育厅重点实验室资助项目

收稿日期:2015-03-25; 网络出版日期:2015-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jirong@xjnu.edu.cn

$(2.09 \pm 0.78) \times 10^{-5}$ mL/min, and $(0.11 \pm 0.08) \times 10^{-3}$ mL/g · min, respectively. Respiratory metabolic rate increased rapidly in spring from March to May and peaked in summer from June to August; the values of O₂ uptake rate, CO₂ release rate, and metabolic rate were $(33.68 \pm 2.68) \times 10^{-5}$ mL/min, $(36.00 \pm 3.07) \times 10^{-5}$ mL/min, and $(18.16 \pm 0.83) \times 10^{-3}$ mL/g · min, respectively. The respiratory metabolism decreased from autumn to winter. Results showed a clear positive correlation between ground surface temperature and respiratory metabolism of *P. Apteris* ($r_1 = 0.914$, $r_2 = 0.909$, $r_3 = 0.836$ for O₂ uptake rate, CO₂ release rate, and metabolic rate, respectively). We found that the RQ value we measured were from 0.71 – 0.97 and *P. apterus* used carbohydrates as a substrate for respiratory metabolism in spring, summer, and autumn, whereas lipid was mostly consumed in winter. This study indicated that *P. apterus* can adjust its respiratory metabolism according to the trend of environmental temperatures and use different substrates to vary metabolic rate, which may reflect adaptations enabling *P. apterus* to maintain its persistent, widely distributed metapopulation. These results elucidate the dynamic changes of respiratory metabolism of *P. apterus* in response to seasonal temperature changes, and provide a foundation for further study on how the biochemical mechanism of a *P. apterus* field population has enabled this species to adapt to the environment.

Key Words: Firebug, Respiratory Metabolism, Oxygen Uptake Rate, Carbon Dioxide Release Rate, Temperature Adaptation, Evolution Strategy

温度是决定昆虫地理分布和种群发生动态的关键因子^[1],生活在温带和寒带地区的昆虫可以通过调节体内代谢水平以抵御寒冷^[2]。呼吸代谢是昆虫最重要的生理生态特征之一^[3],影响昆虫呼吸代谢的因素有温度^[4-6]、体重^[7]、活动与习性^[8]、发育阶段^[9]以及性别^[10]等。温度是影响昆虫呼吸代谢的主要因素^[11],在适宜的温度范围内,昆虫体内各个代谢环节处于最协调状态,当低于或超过适宜的温度范围而处于胁迫状态时,昆虫将通过调整呼吸代谢水平以提高有机体对温度胁迫的适应能力^[6,12]。测定昆虫呼吸代谢变动规律可以了解昆虫对环境的适应性以及昆虫对摄取和同化物质的利用情况,以此测量昆虫生长发育的各种生理活动^[13]。

始红蝽(*Pyrrhocoris apterus* L.)属半翅目、红蝽科(Heteroptera: Pyrrhocoridae),起源于温带地区,广泛分布于欧亚大陆。以始红蝽进入交配产卵期与否,将成虫所处的阶段划分为生殖期(reproductive activity,早春至初夏)、生殖滞育期(intensification of reproductive diapause,盛夏)、滞育维持期(maintenance of reproductive diapause,夏末至初秋)、滞育终止期(termination of reproductive diapause,晚秋至初冬)、低温静息期(low temperature of quiescence,隆冬至冬末)5个时期^[14]。始红蝽具有较强的耐寒性,冬季种群的过冷却点达到 -15°C ^[14],聚集行为有利于其安全越冬^[15]。始红蝽在新疆一年发生一代,以滞育成虫在锦葵等寄主植物根部周围的地表越冬。新疆四季分明,冬季寒冷,春秋季节气候变化异常,极端气候事件频发,始红蝽是如何调节自身呼吸代谢的水平和策略以适应季节温度变化的研究还未见报道。

本研究通过逐月测定自然种群始红蝽的 O₂吸收率、CO₂释放率、代谢率和呼吸商,分析其变化规律,阐明始红蝽对温度适应的呼吸代谢机制及温度适应策略,以揭示其对该物种广泛分布的生态学意义。

1 实验方法

1.1 试虫采集与呼吸代谢测定

逐月从室外(87°59'E, 43°83'N)采集始红蝽成虫,同时用土壤温度计($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$,河北武昌)测得采集地点的地表温度。将始红蝽带回室内挑选大小相近、健康的个体放入多通道昆虫呼吸仪(Sable System Int. Inc.)的呼吸室内,将呼吸室放入可调温水浴锅(DC-2015,新芝),调节使其温度与当月所测的地表温度保持一致。根据始红蝽个体大小调整进气流速为 20 mL/min,将试虫静置呼吸室至少 30 min,待 CO₂释放曲线平稳后开始测定。前期经过不同时间段 30, 60, 90 和 120 s 测试得出始红蝽完成一次完整的呼吸代谢活动,即出现 CO₂释放

量的低谷和高峰的时间为 90 s,故确定每 90 s 记录一次数据,每个呼吸室内试虫测试时间为 60 min,数据自动记录到 ExpeData 程序软件中。试验过程中采用 CaSO_4 干燥剂除去呼吸仪中的水份。每次测试试虫 45 只,重复 3 次。

测试完毕后,将试虫放入 65 °C 恒温干燥箱内 72 h,至恒重称量其干重,以备计算代谢率。

1.2 数据处理

用单因素方差分析逐月 and 不同季节间始红蜻 O_2 吸收率 (mL/min)、 CO_2 释放率 (mL/min)、代谢率 ($\text{mL}/\text{g} \cdot \text{min}$) 及呼吸商 RQ 的差异显著性 ($P < 0.05$);呼吸代谢与地表温度的关系用 Person 相关系数显著性分析。数据分析采用 SPSS17.0 软件。

2 结果与分析

2.1 始红蜻呼吸代谢水平的季节动态变化

O_2 吸收率、 CO_2 释放率分别指单位时间内个体的耗氧量、 CO_2 释放量;代谢率指单位体重的耗氧量。昆虫在适宜的温度范围内,呼吸代谢平稳, O_2 吸收率、代谢率的值增加甚少,或没有变化,昆虫的呼吸代谢处于最协调状态;当超过或低于适宜的温度范围,呼吸代谢的各项指标值增加或减少的幅度较大^[3,10,16]。由图 1 看出,始红蜻的 O_2 吸收率(y_1)、 CO_2 释放率(y_2)和代谢率(y_3)呈现出季节性的波动变化,与地表温度的关系模型依次为 $y_1 = -1.0872x^2 + 15.097x - 18.371$ 、 $y_2 = -1.2247x^2 + 16.937x - 22.348$ 、 $y_3 = -0.5846x^2 + 8.6211x - 14.326$ 。在春、夏季节,随外界温度升高,始红蜻 O_2 吸收率、 CO_2 释放率和代谢率的值随之升高,夏季达到全年最活跃状态,秋季各项指标值开始下降,至冬季下降至最低(表 1)。逐月间的极值分别出现在 2 月和 7 月,其中 2 月份的各项呼吸代谢指标值全年最小, O_2 吸收率、 CO_2 释放率和代谢率分别为 $1.62 \times 10^{-5} \text{mL}/\text{min}$ 、 $1.05 \times 10^{-5} \text{mL}/\text{min}$ 、 $0.01 \times 10^{-3} \text{mL}/\text{g} \cdot \text{min}$;7 月则达到全年最大,依次为 $36.78 \times 10^{-5} \text{mL}/\text{min}$ 、 $39.75 \times 10^{-5} \text{mL}/\text{min}$ 。经统计分析,季节、逐月之间的 O_2 吸收率、 CO_2 释放率和代谢率差异显著 ($P < 0.05$)。

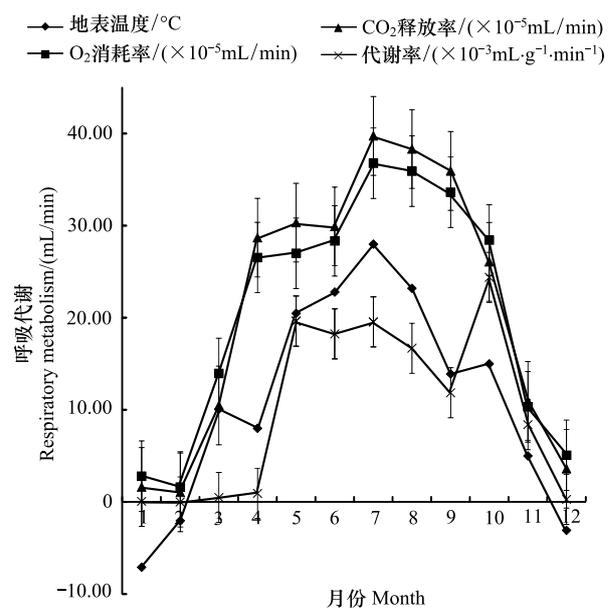


图 1 始红蜻呼吸代谢的季节动态变化

Fig. 1 Seasonal profile of the respiratory metabolism of *Pyrrhocoris apterus* in different months

表 1 始红蜻不同季节呼吸代谢及地表温度的动态变化

Table 1 Changes of respiratory metabolism and soil surface temperature of *Pyrrhocoris apterus* in different season

季节 Season	O_2 吸收率平均值 Average value of O_2 absorption rate	CO_2 释放率平均值 Average value of CO_2 release rate	代谢率平均值 Average value of metabolic rate	呼吸商平均值 Average value of respiratory quotient	地表平均温度 Average value of soil surface temperature
春季 Spring	22.50±4.27 a	23.17±6.36 a	7.02±6.31ab	0.92±0.12a	12.85±3.86 a
夏季 Summer	33.68±2.68 a	36.00±3.07a	18.16±0.83a	0.93±0.01 a	24.67±1.67 c
秋季 Autumn	24.13±7.06a	24.33±7.26 a	14.88±4.86a	0.97±0.05a	11.30±3.17a
冬季 Winter	3.16±1.02b	2.09±0.78b	0.11±0.08b	0.71±0.03b	4.07±1.54b

表中数据为平均值±标准误;不同字母代表差异显著,每一纵列相同字母表示差异不显著 ($P < 0.05$, Duncan's 比较, $df = 3$, 以 3 个月的平均值作为一个季节的观察值)

不同月份始红蜻呼吸代谢强弱变化与地表温度存在正相关关系。 O_2 吸收率、 CO_2 释放率、代谢率与地表温度之间的相关系数分别为0.914、0.909、0.836。7月份始红蜻 O_2 吸收率、 CO_2 释放率达到全年最大值,7月份地表平均温度亦为全年最高,达到28.00℃;1月份的平均地表温度最低,为-7.08℃,但始红蜻呼吸代谢的最低水平出现在2月份,表明越冬期间地表温度对呼吸代谢的影响存在时滞效应。

2.2 始红蜻呼吸代谢消耗底物的季节变化

CO_2 释放率与 O_2 吸收率的比值为呼吸商(Respiratory quotient, RQ),根据呼吸商的大小可判断呼吸底物,糖类的呼吸商约为1.0,蛋白质的呼吸商约为0.8,脂质的呼吸商通常为0.7^[17-18]。由表1看出,不同季节始红蜻呼吸商的变化范围在0.71—0.97之间,春、夏和秋季的呼吸商平均值均大于0.9,可以判断这3个季节始红蜻的呼吸代谢底物均为糖类物质,冬季始红蜻的呼吸商为0.7,表明在此阶段脂类是始红蜻呼吸代谢消耗的底物。逐月间呼吸商的极值出现在5月和12月,其中呼吸商最大值出现在5月,为1.12,最小值出现在12月,为0.67。检验分析得出季节、逐月间的呼吸商差异显著($P < 0.05$)。

3 讨论

3.1 始红蜻呼吸代谢季节变化的原因分析

温度是决定昆虫活动状态和地理分布的重要因素之一,也是影响呼吸代谢水平的重要因素,昆虫在适宜的温度范围内,呼吸代谢平稳, O_2 吸收率、代谢率的值增加甚少,或没有变化,昆虫的呼吸代谢处于最协调状态;当超过或低于适宜的温度范围,呼吸代谢的各项指标值增加或减少的幅度较大^[3,10,16],昆虫可通过调节呼吸代谢水平以提高自身对温度胁迫的适应能力^[7,13]。本研究亦得出相似的结论,始红蜻呼吸代谢的季节强弱变化依次为:夏季>秋季>春季>冬季,并且与栖息地的地表温度有明显的正相关关系,即随外界温度变化始红蜻可通过调节呼吸代谢的强弱以提高自身对不同季节温度的适应能力。

其次,昆虫呼吸代谢强弱还与其所处的发育阶段有关系^[9]。这一结论在始红蜻也得到验证。早春伊始,积雪融化,随着光照延长和温度升高,始红蜻滞育解除后进入生殖期,活动频繁,四处爬行寻找食物,呼吸代谢增强,为交配(4月)、产卵(5月)做好营养补给准备。因此,这一时期始红蜻呼吸代谢各指标值迅速增加,尤其5月份代谢率增幅明显;自6月份进入始红蜻生殖滞育期,生殖活动停止,营养生长投入多,呼吸代谢继续增强,并在7月份 O_2 吸收率、 CO_2 释放率达到全年最大值;进入秋季后的始红蜻处于滞育维持期,虽生殖生长维持停滞状态,但始红蜻活动仍然很频繁,取食量大,主要为安全越冬做好充分的能量储备。因此,此阶段的始红蜻呼吸代谢较旺盛,尤其10月份的代谢率达到全年最大值;随后进入越冬期(12—2月),亦称为低温静息期^[14],这一阶段始红蜻的呼吸代谢水平降至最弱,以最大程度降低消耗,确保安全越冬,这与其它越冬昆虫相似^[19]。

3.2 基于呼吸代谢消耗底物的变化探讨始红蜻对温度适应的生态学意义

昆虫呼吸代谢的能源物质主要包括糖类、脂肪和蛋白质,根据能源物质氧化时 CO_2 与 O_2 的比值,即呼吸商,能够判断昆虫在当时环境下的呼吸底物^[20]。根据呼吸商的大小可判断呼吸底物,糖类的呼吸商约为1.0,蛋白质的呼吸商约为0.8,脂质的呼吸商通常为0.7^[17-18]。吴坤君和龚佩瑜^[19]对棉铃虫呼吸代谢底物的研究发现在不同生长发育阶段其呼吸代谢底物不同,卵期主要利用糖类为呼吸代谢底物,幼虫和预蛹期的呼吸代谢底物则为脂肪;王满困等人^[21]对鞭角华扁叶蜂的研究发现其预蛹期以脂类为呼吸代谢底物,而幼虫期则改为糖类。

本研究发现不同季节始红蜻种群的呼吸商不同,推测呼吸代谢所消耗能源物质的种类不同。在温度相对温和,条件适宜的春、夏、秋季,始红蜻呼吸代谢的底物为糖类物质,而在越冬期间(12、1—2月)和早春(3月),则以脂类作为呼吸代谢的底物。昆虫可以靠增加体重来增加碳水化合物贮存,度过漫长的寒冷冬季,但体重增加必然导致耗氧量增加,即能量消耗的增加;脂类则不同,它的能值比碳水化合物高一倍以上^[10,22]。因此,始红蜻在越冬前均以糖类物质作为呼吸代谢消耗的底物,以最大程度减少越冬期间因体重而产生的消

耗。进入越冬期后,始红蜻以脂类作为呼吸代谢底物则可以在不增加或稍增加体重的前提下,更加经济、有效地利用能量。因此,随季节温度变化,始红蜻除可通过调节呼吸代谢水平的强弱以提高自身对温度的适应能力外,还能够通过调整呼吸代谢消耗的底物类型以最低成本提高对温度的适应能力等都是始红蜻在长期进化过程中形成的对温度适应的策略,某种程度上构成了始红蜻的进化动力,对维持其种群数量和扩大地理分布有着重要的生态学意义,但不同季节始红蜻呼吸代谢底物消耗量的变化及耐寒性变化仍需要进一步研究。

参考文献 (References):

- [1] Wang X H, Kang L. Differences in egg thermotolerance between tropical and temperate populations of the migratory locust *Locusta migratoria* (Orthoptera: Acridiidea). *Journal of Insect Physiology*, 2005, 51(11):1277-1285.
- [2] 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.
- [3] 戈峰. 影响昆虫呼吸代谢的因素. *昆虫知识*, 1991, 28(5):319-321.
- [4] Vogt J T, Appel A G. Metabolic costs of spontaneous movement in the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology*, 2000, 35(1):89-98.
- [5] Lighton J R, Joos B. Discontinuous gas exchange in a tracheate arthropod, the pseudoscorpion *Garypus californicus*: Occurrence, characteristics and temperature dependence. *Journal of Insect Science*, 2002, 23(2):1-4.
- [6] 王冬梅, 李娟, 李爽, 扈鸿霞, 季荣. 温度对意大利蝗呼吸代谢的影响. *昆虫学报*, 2014, 57(3):373-378.
- [7] 戈峰, 陈常铭. 褐飞虱和八斑球腹蛛的呼吸代谢及其能量消耗. *昆虫学报*, 1990, 33(1):35-42.
- [8] Cairns S C. Growth energetics in relation to temperature of the larvae of *Rhopaea verreauxi* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Oecologia*, 1982, 54(1):32-40.
- [9] Greenlee K J, Harrison J F. Development of respiratory function in the American locust *Schistocerca americana* II. Within-instar effects. *The Journal of Experimental Biology*, 2004, 207(3):509-517.
- [10] 吴坤君, 龚佩瑜, 李秀珍. 棉铃虫成虫期的呼吸代谢及其能量消耗. *生态学报*, 1985, 5(2):147-156.
- [11] 陈爱瑞, 李克斌, 尹娇, 曹雅忠. 环境因子对沟金针虫呼吸代谢的影响. *昆虫学报*, 2011, 54(4):397-403.
- [12] 庞雄飞. 温度对几种昆虫吸氧量的影响. *昆虫知识*, 1963, (2):56-60.
- [13] 祖元刚. 能量生态学引论. 长春:吉林科学技术出版社, 1990:222-226.
- [14] Vladimir K, Petr S. Overwintering strategy in *Pyrrhocoris apterus* (Heteroptera): the relations between life-cycle chill tolerance and physiological adjustments. *Journal of Insect Physiology*, 2000, 46(9):1321-1329.
- [15] 苏延乐, 吕昭智, 宋菁, 苗伟. 始红蜻越冬聚集行为对其能量代谢的影响. *昆虫学报*, 2007, 50(12):1300-1303.
- [16] 邱星辉, 李鸿昌, 杨宗贵. 狭翅雏蝗的呼吸代谢及其种群的呼吸能量消耗. *昆虫学报*, 1994, 37(4):417-425.
- [17] Southwood T R E. *Ecological Methods with Particular Reference to the Study of Insect Populations*. 2th ed. New York: Halsted Press, 1978:87-116.
- [18] 邵晓阳, 吴惠仙, 薛俊增等. 温度对南京丰年虫呼吸代谢的影响. *海洋湖沼通报*, 2009, 26(2):97-102.
- [19] 李毅平, 龚和. 昆虫低温生物学: I 昆虫耐冻的生理生化适应机制. *昆虫知识*, 1998, 35(6):364-369.
- [20] 吴坤君, 龚佩瑜. 棉铃虫的呼吸代谢. *昆虫学报*, 1984, 27(2):128-135.
- [21] 王满国, 庞辉, 李周直. 鞭角华扁叶蜂幼虫期的呼吸代谢. *昆虫学报*, 2001, 44(3):311-315.
- [22] 吴坤君, 龚佩瑜, 李秀珍. 棉铃虫越冬蛹呼吸代谢的某些特点. *昆虫学报*, 1989, 32(2):136-143.