

种群密度对亚洲小车蝗能源物质含量的影响 及飞行能耗与动态*

高书晶^{1**} 特木尔² 魏云山³ 刘爱萍¹ 王宁¹ 徐林波¹

(1. 中国农业科学院草原研究所 呼和浩特 010010; 2. 乌兰察布市四子王旗草原站 乌兰花 011800;

3. 赤峰市农牧科学研究院 赤峰 024031)

摘要 对亚洲小车蝗 *Oedaleus asiaticus* B. Bienko 能源物质含量和消耗情况及种群密度对能源物质含量的影响进行了研究。结果表明,能源物质含量随成虫日龄的增加而发生变化,初羽化时含量较低,在10或13日龄达到最大值,之后开始下降。不同种群密度下亚洲小车蝗同日龄体内能源物质含量存在较大差异,高密度种群甘油酯含量显著的大于低密度种群,亚洲小车蝗飞行过程中主要利用糖类和脂类,但脂类是其远距离飞行的能量保证。

关键词 亚洲小车蝗, 飞行, 能源物质, 种群密度

Effect of population density on energetic reserves and flight energy consumption and dynamics of *Oedaleus asiaticus*

GAO Shu-Jing^{1**} TE Mu-Er² WEI Yun-Shan³ LIU Ai-Ping¹ WANG Ning¹ XU Lin-Bo¹

(1. Grassland Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hohhot 010010, China;

2. Siziwang Grassland Station in Wulanchabu City, Wulanhua 011800, China;

3. Chifeng Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Chifeng 024031, China)

Abstract The amount of energy reserves and the effect of population density on these was investigated in *Oedaleus asiaticus* B. Bienko. The results show that the amount of energy reserves changed with days after emergence; energy reserves were less abundant during the eclosion of adults and were highest after 10 or 13 days after which they began to decline. Population density had a significant effect on the composition of energy reserves; the glyceride content of high-density populations was significantly higher than that of low-density populations. *O. asiaticus* mainly uses glycogen and glyceride during flight, the latter being essential to sustain long-range flight.

Key words *Oedaleus asiaticus*, flight, energy substance, population density

亚洲小车蝗 *Oedaleus asiaticus* B. Bienko 是我国北方草原的优势种蝗虫之一,它发生为害早、发生数量大,给农牧业生产造成了极大的损失(潘建梅, 2002)。亚洲小车蝗具有很强的飞翔能力,尤其是近几年,亚洲小车蝗出现起飞和聚集迁移现象,表现出与飞蝗相类似的聚集迁飞习性(蒋湘等, 2003),多在夜间飞行具有较强的趋光性(乔峰, 2005)。亚洲小车蝗具有较强的飞行能力是导致其在北方草原大面积暴发危害的重要原因之

一,但对它飞行危害规律尤其是与飞行相关的生理机制还缺乏研究。为此,我们从制约亚洲小车蝗飞行能力的能源物质入手,对其的能源物质积累及飞行时能源物消耗动态进行研究,为我国亚洲小车蝗的监测预警和防治工作提供科学依据。

种群密度是影响昆虫生物学和生活史的重要因素之一(Mattee, 1945; Long, 1953; Peters and Barbosa, 1977),种群密度对昆虫的生态型转变有重要影响,如:对东亚飞蝗 *Locusta migratoria* 的研

* 资助项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(中国农业科学院草原研究所)(1610332012208)和内蒙古自然科学基金(2012MS0530)。

** 通讯作者, E-mail: shujinggao688@163.com

收稿日期: 2012-03-15, 接受日期: 2012-04-16

究表明飞蝗生态型转变与飞蝗的种群密度有显著的相关性,而且种群密度高低可影响它从群居型向散居型转化的速度(张龙和李洪海,2002);在非洲粘虫 *Spodoptera exempta* 研究中,幼虫密度可影响其变型,即高密度条件下产生的群居型、低密度产生的散居型以及居于两者之间的中间型(Faure, 1943)。李克斌和罗礼智(1998)研究表明密度不仅影响成虫能源物质的含量,而且也可能影响到成虫能源物质的代谢。亚洲小车蝗是否有群居型与散居型分化?种群密度对其飞行能源物质含量和利用情况有何影响?这些科学问题目前还研究甚少。刘辉(2007)对群居型和散居型东亚飞蝗的飞行能力及能源物质利用情况进行了研究。因此,了解种群密度对亚洲小车蝗生理行为特征的影响,明确其在种群动态中的作用对于了解亚洲小车蝗迁移规律、提高预测预报和综合防治水平具有十分重要的意义。

1 材料与方法

1.1 饲养方法

亚洲小车蝗实验种群于2010年采自内蒙古四子王旗和阿拉善左旗,主要采集1~2龄蝗蝻,高密度种群主要选择亚洲小车蝗大暴发、聚集危害地区,一般500头/ m^2 以上,低密度种群主要选择亚洲小车蝗为害在防治指标以下的零星发生区,一般3~5头/ m^2 ,经室内饲养到成虫后作为试验虫源。高密度种群放入80 cm × 80 cm × 80 cm的养虫笼中群体饲养,每笼50~60头;低密度种群放入10 cm × 10 cm × 20 cm的笼中进行单头饲养。以小麦苗或禾草饲喂,并辅以麦麸补充营养。蝗虫达到成虫期雌雄分别饲养,不进行交配。温度控制在26~28℃,光周期L:D=14:10,相对湿度为50%~60%。飞行测试的各日龄成虫选择取体型相当(以体长相等为主)、体重相近的个体作为试虫。

1.2 吊飞处理及虫体取样

取不同种群密度的亚洲小车蝗1日龄、4日龄、7日龄、10日龄、13日龄和20日龄的成虫进行能源物质测定。13日龄高密度种群的成虫进行吊飞测试后,选取飞行不同距离的试虫进行能源物质测定。飞行测试利用中国农业科学院植物保护研究所自行研制的昆虫飞行数据微机采集系统

(程登发等,1997)。

1.3 糖原的测定

将烘干的亚洲小车蝗去头、足、翅后放入10 mL离心管中,加入30%的KOH 1 mL,沸水浴30~40 min后取出,立即加入无水乙醇8~9 mL混匀,离心后(10 000 r/min, 10 min),弃上清液,往沉淀物中加入0.5 mol/L HCl 5 mL,沸水浴2.0 h后过滤,定容至50 mL,取1 mL,加入4 mL 蒽酮试剂,在620 nm波长下,用分光光度计测定糖含量。将样品所测得的OD值,换算成糖含量,将所得数值乘0.927,即为糖原值(单位mg/g)(冯慧,1989)。

1.4 甘油酯含量测定

将吊飞后的亚洲小车蝗虫体烘干(80℃, 12 h),称重后放入干燥器内储存备用。甘油酯含量测定方法参考Bligh和Dyer(1959)方法,提取虫体内总的脂类物质,将抽提的脂类物质再经过皂化、氧化和显色等步骤,将最终生成物在420 nm处比色,测定OD值。以三油酸甘油酯标准液作标准对照,按下式计算甘油三酯的含量:甘油三酯浓度(mmol/L) = 待测管OD值/标准对照管OD值。最终将测定结果转换成mg/头。

1.5 数据统计分析

所有数据分析均在DPS统计分析软件上进行(唐启义和冯明光,2002)。不同密度条件的亚洲小车蝗成虫干重的变化;种群密度对亚洲小车蝗能源物质变化的影响等采用Duncan's多重比较法和 t 检验法分析其差异显著性。

2 结果与分析

2.1 亚洲小车蝗干重与日龄的关系及种群密度对虫体干重的影响

不同日龄亚洲小车蝗的成虫干重有一定程度的差异,并且存在随着日龄的增加其虫体干重逐渐升高,达到最大值又有所降低(表1)。高密度区亚洲小车蝗成虫干重大于低密度区,个别日龄差异显著,总体差异不显著。成虫1、4、7日龄的干重上升较快,亚洲小车蝗成虫都是在10日龄或13日龄达到最大干物质积累,20日龄后干重降低。低龄和高龄间干重差异显著($P < 0.05$)。对亚洲小车蝗飞行能力的测试中发现,在初羽化时成虫飞行能力较弱,一般不飞行,4 d后飞行能力快速上升,一般13日龄的飞行能力最强,20日龄后开始下降。与本试

表 1 不同日龄亚洲小车蝗干重变化 (g)

Table 1 Changes of dry body weight of *Oedaleus asiaticus* at different days after emergence (g)

性别 Sex	密度 Density	日龄 Days after emergence (d)					
		1	4	7	10	13	20
雄 Male	高密度 High density	45.51 ± 1.71 c	48.33 ± 3.62 c	68.01 ± 2.40 b	69.15 ± 3.15 b	75.64 ± 5.21 ab	81.42 ± 4.63 a
	低密度 Low density	43.88 ± 1.82 c	47.21 ± 1.91 c	67.52 ± 2.09 b	68.47 ± 2.13 b	83.56 ± 5.78 b	69.01 ± 3.42 a
雌 Female	高密度 High density	115.29 ± 5.33 b	130.60 ± 7.91 b	186.40 ± 7.82 a	212.70 ± 12.71 a	207.70 ± 20.43 a	202.70 ± 16.29 a
	低密度 Low density	103.00 ± 1.46 d	126.11 ± 8.79 d	184.10 ± 17.72 c	207.80 ± 6.93 ab	220.56 ± 14.05 a	180.89 ± 11.09 bc

注:所有数值为 mean ± SE。同一性别数据后标有不同的字母表示其差异显著 ($P < 0.05$)。

Data are mean ± SE, and followed by different letters in the same rows indicate significantly different at 0.05 level.

验测定的亚洲小车蝗体重的变化与其飞行能力的变化是一致的。

2.2 种群密度对亚洲小车蝗的糖原含量变化的影响

糖类是昆虫近距离飞行或起飞时经常动用的能源物质,测定结果表明,亚洲小车蝗不同日龄体内糖原的积累量存在着一定的差异,而且种群密度对亚洲小车蝗糖原含量变化也有一定影响(图 1,图 2)。随着日龄的增加,成虫糖原的含量呈峰型变化,13 日龄的含量明显高于 1、4、7、20 日龄

($P < 0.05$)。高密度种群的糖原含量略高于低密度种群,经 t 测验分析,不同种群密度的亚洲小车蝗成虫各日龄体内糖原含量差异不显著。不同种群密度下,亚洲小车蝗雌雄成虫糖原含量变化动态不同,高密度种群成虫糖原含量存在波动,在 7 日龄达到一个高峰后其含量有所降低,13 日龄时糖原含量达到最大值;低密度种群成虫体内糖原含量变化相对平缓,随日龄增加逐步上升,13 日龄时达到最大值,之后开始下降。一般雌虫糖原含量略大于雄虫,但有个别时期雌虫糖原含量偏高。

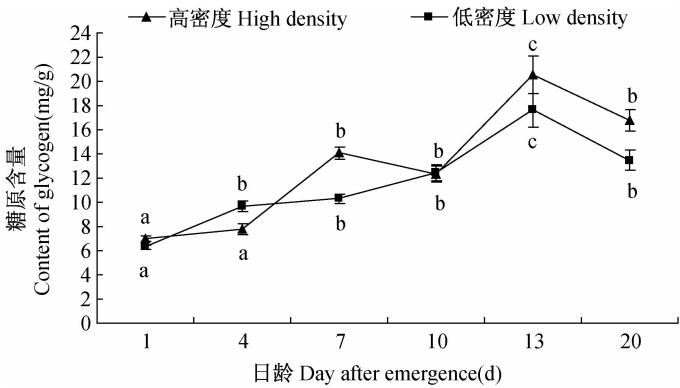


图 1 不同种群密度下亚洲小车蝗雌虫糖原含量变化

Fig.1 Changes of glycogen of *Oedaleus asiaticus* female at different population density

注:图中小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$),下同。

Different lowercase letters indicate significantly different at 0.05 level. The same blow.

2.3 种群密度对亚洲小车蝗甘油酯含量的影响

甘油酯是蝗虫的主要储备能源物质之一。测定结果表明,在正常补充营养条件下,不同日龄成

虫甘油酯的积累量存在一定差异,种群密度对亚洲小车蝗成虫甘油酯含量也有较大影响(图 3,图 4)。亚洲小车蝗成虫甘油酯含量随日龄增加而呈

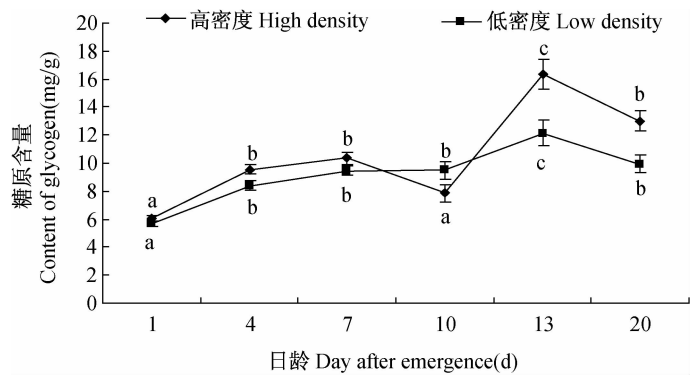


图 2 不同种群密度下亚洲小车蝗雄虫糖原含量变化

Fig. 2 Changes of glycogen of *Oedaleus asiaticus* male at different population density

上升趋势,初羽化的成虫含量较低,之后迅速上升达到最大值,随后有所下降。高密度种群的甘油酯含量高于低密度种群,经 *t* 测验分析,不同种群密度的亚洲小车蝗成虫各日龄体内甘油酯含量差异显著 ($P < 0.05$)。不同种群密度下,亚洲小车蝗雌雄成虫甘油酯含量变化动态也有不同,高密度

种群,甘油酯含量变化不规律,起伏明显,一般在 7 日龄或 13 日龄达到最大值;而低密度种群甘油酯含量随日龄增加而逐步上升,雌雄成虫均在 13 日龄时甘油酯含量达到最大值。13 日龄后甘油酯含量开始下降。雌雄成虫甘油酯含量差异不显著。

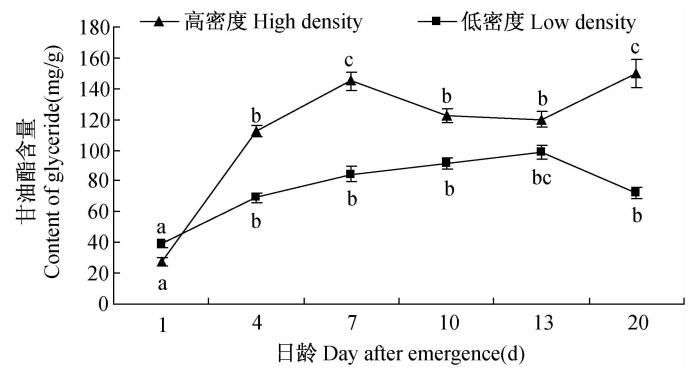


图 3 不同种群密度下亚洲小车蝗雌虫甘油酯含量变化

Fig. 3 Changes of glyceride of *Oedaleus asiaticus* female at different population density

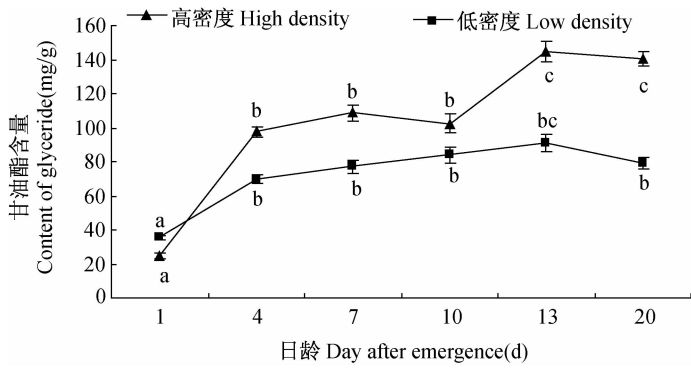


图 4 不同种群密度下亚洲小车蝗雄虫甘油酯含量变化

Fig. 4 Changes of glyceride of *Oedaleus asiaticus* male at different population density

2.4 亚洲小车蝗飞行过程对不同能源物质的消耗动态

亚洲小车蝗飞行过程要消耗大量的能源物质,飞行不同距离的亚洲小车蝗糖原的消耗情况见图 5,从图 5 中可以看出,亚洲小车蝗在飞行的

初始阶段要消耗大量糖原,在初始飞行的 2 km 以内,大约有一半的糖原被消耗,在飞行 6 km 以后糖原的含量变化不大,基本保持在一个较为恒定的水平。

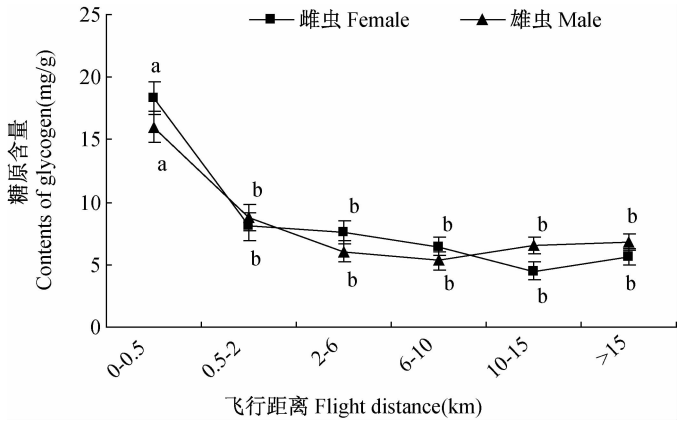


图 5 13 日龄亚洲小车蝗飞行不同距离糖原的消耗动态
Fig. 5 Dynamics of glycogen in different flight distance at 13 days old *Oedaleus asiaticus*

飞行不同距离的亚洲小车蝗甘油酯的消耗情况见图 6,结果表明,不同飞行距离甘油酯的消耗存在差异。在飞行初始阶段甘油酯的含量开始下降,在飞行 6 km 范围内,亚洲小车蝗的甘油酯消

耗量最大,飞行 6 km 以上时随飞行距离的增加甘油酯含量的下降趋势减缓,但甘油酯仍在被消耗状态。亚洲小车蝗雌虫在飞行初期对甘油酯的消耗略大于雄虫。

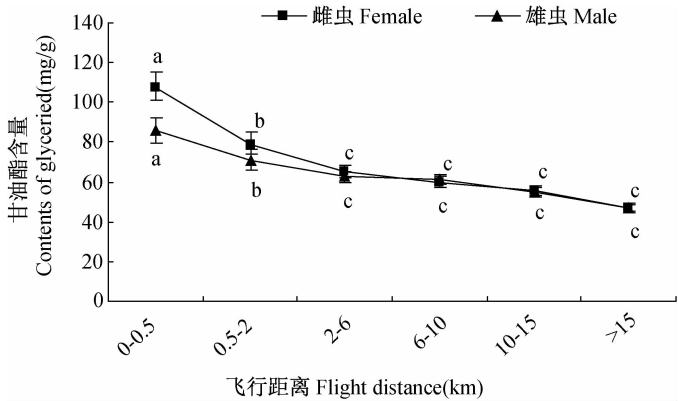


图 6 13 日龄亚洲小车蝗飞行不同距离甘油酯的消耗动态
Fig. 6 Dynamics of glyceride in different flight distance at 13 days old *Oedaleus asiaticus*

3 结论与讨论

昆虫的飞行运动是胸部飞翔肌在神经支配下收缩的结果,飞翔过程中伴随着较高的代谢速度和能源消耗。昆虫飞行时主要利用的能源物质

有:碳水化合物、脂类化合物和氨基酸(Rankin and Burchsted,1992)。碳水化合物作为能源物质的优点是产生能量快速、容易,是多数昆虫短期飞翔或起飞燃料;脂类化合物含有较高的能量,经济性强,适合昆虫长距离的飞行;氨基酸作为主要的能

源物质只见于很少的昆虫 (Beenackers *et al.*, 1985)。不同昆虫飞行所利用的能源物质不同。东亚飞蝗能利用脂肪和糖类为其飞行提供能源;小柏天蛾 *Philosamia cynthia* 的飞行主要利用脂肪;而红头丽蝇 *Cliphora vicina* 及大多数双翅类昆虫主要利用糖类为飞行提供能源 (Beenackers, 1969)。

本研究结果表明,亚洲小车蝗不同日龄体内糖原和甘油酯的含量都存在着一定的差异,初羽化时含量较低,在 10 或 13 日龄达到最大值,之后开始下降。种群密度对亚洲小车蝗体内能源物质的含量有较大影响,而且对糖原和甘油酯含量的影响不同。不同种群密度下,单位重量虫体的糖原含量差异不显著,高密度种群糖原含量略高于低密度种群。不同种群密度下,单位重量虫体的甘油酯含量存在显著的差异 ($P < 0.05$),高密度种群的甘油酯含量显著的高于低密度种群。这与很多学者的研究结果相同,Gunn 和 Gatehouse(1987)对非洲粘虫的研究结果表明,群体饲养的成虫甘油酯含量比单头饲养的高 2.5 ~ 6.1 倍。黄冠辉(1964)和郭郭等(1991)对东亚飞蝗的研究表明,东亚飞蝗飞翔时的代谢强度平均为 316 J/(mg·h),其中由脂肪供给的能量占 87%,糖原供给的能量占 12% 左右。体内充足的脂肪含量可以保证远距离飞行对能源的需要。种群密度也影响糖原和甘油酯含量的变化动态,高密度种群,糖原和甘油酯的含量随日龄的增加呈波动上升趋势,而低密度种群则上升平稳。

从亚洲小车蝗飞行中消耗能源物质的情况可以看出,亚洲小车蝗的飞行能源物质利用与其它远距离迁飞昆虫基本相似,既能利用脂类,又能利用糖类作为飞行能源;其飞行的起始能源包括糖类和脂肪,但脂类是其远距离飞行的能量保证。利用脂肪作为飞行的主要能量来源可能是迁飞昆虫飞翔代谢的特点(黄冠辉,1964)。在非洲曾有过塞内加尔小车蝗 *Oedaleus senegalensis* Krauss 远距离聚集迁飞的例子,一晚上可以迁飞 350 km (Cheke,1990;Riley and Reynolds,1990),亚洲小车蝗与塞内加尔小车蝗同属于斑翅蝗科、小车蝗属,因此其习性有可能相近。种群密度对亚洲小车蝗能源物质含量有很大影响,亚洲小车蝗在密度较高时会贮存能力,有迁飞的可能。而且,在对亚洲小车蝗飞行能力的测定结果也发现,高密度种群

的飞行能力显著的高于低密度种群(高书晶等,2012)。说明亚洲小车蝗可能具有群居型与散居型分化。

以上结果都表明,亚洲小车蝗可能具有迁飞习性,但是在何种密度及环境条件下才发生迁飞行为还有待于今后进一步研究。

参考文献 (References)

- Beenackers AMT, 1969. Carbohydrate and fat as a fuel for insect flight; a comparative study. *Insect Physiol.*, 15:353 – 361.
- Beenackers AMT, Van der Horst DJ, Van Marrewijk WJA, 1985. Biochemical processes directed to flight muscle metabolism//Kerkut GA, Gilbert LI (eds.). *Comprehensive Insect Physiology. Biochemistry and Pharmacology*, Vol. 10 Pergamon Press, Oxford. 451 – 486.
- Bligh EG, Dyer WM, 1959. A rapid method of lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.*, 35:911 – 917.
- Cheke RA, 1990. A migrant pest in the Sahel: the Senegalese grasshopper *Oedaleus senegalensis*. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.*, 328(1251):539 – 553.
- Faure JC, 1943. Phase variation in the armyworm, *Laphygma eximpta* (Walk.). *Science Bulletin. Department of Agriculture and Forestry, Union of South Africa*. 17.
- Gunn A, Gatehouse AG, 1987. The influence of larvae phase on metabolic reserves, fecundity and lifespan of the African armyworm moth, *Spodoptera eximpta* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae). *Bull. Ent. Res.*, 77:651 – 660.
- Long DB, 1953. Effects of population density on larvae of Lepidoptera. *Trans. R. Ent. Soc. Lond.*, 104(15):543 – 585.
- Mattee JJ, 1945. Biochemical differences between the solitary and gregarious phases of locusts and noctuids. *Bull. Ent. Res.*, 36:343 – 371.
- Peters TM, Barbosa P, 1977. Influence of population density on size, fecundity and developmental rate of insects in culture. *Annu. Rev. Entomol.*, 22:431 – 450.
- Rankin MA, Burchsted JCA, 1992. The cost of migration in insects. *Annu. Rev. Entomol.*, 37:533 – 559.
- Riley JR, Reynolds DR, 1990. Nocturnal grasshopper migration in West Africa; transport and concentration by wind, and the implications for air to air control. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.*, 328(1251):655 – 672.

程登发,田品,孙京瑞,倪汉祥,李光博,1997. 适用于蚜虫等微小昆虫的飞行磨系统. 昆虫学报,40(增刊):172-179.

冯慧,1989. 昆虫生物化学分析方法. 北京:农业出版社. 1-126.

高书晶,魏云山,特木尔,刘爱萍,徐林波,王宁,2012. 亚洲小车蝗飞行能力及其与种群密度的关系. 草业科学,29(12):1915-1919.

郭郭,陈永林,卢宝廉,1991. 中国飞蝗生物学. 济南:山东科学技术出版社. 375-582.

黄冠辉,1964. 东亚飞蝗飞翔过程中脂肪和水分的消耗及温湿度所起的影响. 动物学报,16(3):372-379.

蒋湘,买买提明,张龙,2003. 夜间迁飞的亚洲小车蝗. 草地学报,11(1):75-77.

李克斌,罗礼智,1998. 粘虫幼虫密度对成虫能源物质含量的影响. 昆虫学报,41(3):250-257.

刘辉,2007. 两型东亚飞蝗飞行能力及相关生理机制的研究. 硕士学位论文. 北京:中国农业科学院研究生院.

潘建梅,2002. 内蒙古草原蝗虫发生原因及防治对策. 中国草地,24(6):66-69.

乔峰,2005. 蝗灾北移的主力军——亚洲小车蝗. 人与生物圈,(3):23-25.

唐启义,冯明光,2002. 实用统计分析及其计算机处理平台. 北京:科学出版社. 1-407.

张龙,李洪海,2002. 虫口密度和龄期对东亚飞蝗群居型向散居型转变的影响. 植保技术与推广,22(4):3-5.