

温、湿度对粘虫蛾飞行能源物质利用的影响

蔡 彬, 江幸福*, 罗礼智, 曹雅忠, 刘悦秋**

(中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100094)

摘要:系统研究了不同温、湿度对粘虫蛾飞行能源物质消耗的影响。结果表明,温、湿度对成虫飞行能源物质消耗有显著影响。在适宜的温、湿度下飞行时,粘虫蛾主要飞行能源物质(甘油三酯和糖原)消耗最少,其飞行单位距离所需的甘油三酯也最少,即能源利用效率最高。随着温、湿度从适宜到不适宜,甘油三酯消耗有逐渐增多的趋势。但温、湿度对成虫飞行能源物质消耗会因蛾龄及性别的不同而异。在所测试的几种温、湿度下(高温 35℃ 除外),5 日龄成虫在飞行中消耗的甘油三酯最多,低龄和高龄时消耗均较少。高温下飞行时,雄蛾比雌蛾消耗的能源物质多,而在高湿或低湿条件下,雌蛾比雄蛾消耗的多。进一步对影响成虫飞行能源物质消耗的海藻糖酶活力及呼吸强度研究表明,温、湿度对海藻糖酶活性有明显影响。在适宜的温、湿度下,酶的活性高,反之,酶的活性降低,其中高温对酶活性的抑制作用比低温明显,但高湿和低湿对酶活性的抑制作用基本一致。成虫呼吸强度随温度的升降而升降。飞行初期成虫呼吸强度急剧增加,但 0.5h 后开始下降并维持在一个较稳定的水平。根据所获结果对温、湿度与粘虫蛾飞行能源物质消耗之间的内在联系进行了讨论。

关键词:粘虫; 温度; 湿度; 飞行能源物质

Influences of Temperature and Humidity on Utilization of Energy Substances During Flight in the Moths of Oriental Armyworm, *Mythimna separata* (Walker)

CAI-Bin, JIANG Xing-Fu*, LUO Li-Zhi, CAO Ya-Zhong, LIU Yue-Qiu** (Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100094, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(7): 1068~1074.

Abstract: The oriental armyworm *Mythimna separata* (Walker) is a long distance migratory insect, it has a stronger flight potential whose longest flight distance can reach 1400 km according to the results of Insect mark-Release-Recapture techniques. In laboratory it also exhibited stronger flight potential relative to other known migratory noctuids insects using tethered-flight, the largest flight distance and flight duration exceed 430 km and 40 hours respectively. Although the study on flight capacity affected by various environmental and ecological conditions such as flight temperature and humidity has form into relative conclusions, the reason and mechanism how they affected have not investigated. Because of the oriental armyworm has to consume a lot of flight energy substances during the flight, here we report the consumption and utilization efficiency of flight energy substances in the moths flown in different ambient temperature and humidity in laboratory conditions. The results indicated that flight temperature and humidity has significantly effects on the consumption and utilization of flight energy substances. The moth consumed less energy materials including triglyceride and glycogen when they flew in the suitable temperature of 18~23℃ and suitable humidity of about 70% RH and consumed more when the ambient temperature and humidity beyond these scopes. In addition, the energy utilization efficiency was also greatly affected by temperature and humidity. The unit distance flown by the moth, therefore cost less

基金项目:国家“973”项目部分研究内容(G2000016206)

收稿日期:2002-01-25;修订日期:2002-04-30

作者简介:蔡彬,男,江苏人,硕士,助理研究员。主要从事昆虫迁飞行为调控机制研究。

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: jxfs4@163.com; ** 现于北京农学院园林系工作。

energy materials at the temperature of 18~28 C and humidity of 75%~95% RH while cost more when temperature and humidity beyond these scopes. The consumption of energy substances in the moths during flight also differed with moth age and sex. The triglyceride consumed during flight in the moth of 5 days after eclosion was much more than that of others in the tested temperature and humidity except 35 C, while moths of 1, 3 and 7, 9 days after eclosion were also consumed less. Consumption of energy substances in the male has been greater than female during flight at high temperature, while less than female at extreme high and low humidity. Activity of trehalase related to glycogen metabolism and respiration rate of the moths flown under different temperatures and sustained flight were also studied. Trehalase activities were high when the moth flew in the suitable temperature and humidity environment, while were highly suppressed in the moth flown at high or low ambient temperature and humidity. And a further study indicated that respiration rate of the moth was increased as the ambient temperature and flight activity increased. Role of the temperature and humidity play on the flight energy substances consumption and utilization efficiency of the moth flown was also discussed.

Key words: *Mythimna separata* (Walker); temperature; humidity; energy substances

文章编号:1000-0933(2002)07-1068-07 中图分类号:S43 文献标识码:A

昆虫飞行利用的能源物质主要有 3 类,即碳水化合物、脂类和蛋白质类^[1]。不同昆虫飞行期间消耗的能源物质种类及其过程有所不同。一些双翅目昆虫如红头丽蝇主要利用糖类为其飞行提供能源^[2]。少数昆虫如马铃薯叶甲则以脯氨酸作为飞行时的主要能源物质^[3]。目前对夜蛾科昆虫飞行能源物质利用的研究结果表明,主要的飞行能源物质为脂类和糖类。如非洲粘虫 *Spodoptera exempta* 在飞行过程中,糖类和脂类都非常重要,糖类为成虫羽化及短时间的飞行提供能源,而脂类则在远距离飞行中起主要作用^[4]。粘虫 *Mythimna separata* (Walker) 在飞行中也需要动用此两类能源物质,已经明确,在飞行初始阶段动用糖类的比例较大,而持续飞行时主要依靠甘油酯类^[5~9]。但粘虫飞行能源物质在不同飞行温、湿度条件下的利用情况及其与蛾龄、性别之间的关系还未见报道,为进一步揭示温、湿度对粘虫蛾飞行的影响作用,从而为更好地阐明其远距离迁飞行为机制提供理论依据,本文对粘虫蛾在不同飞行温、湿度条件下主要飞行能源物质的消耗及其利用效率等方面作了较为系统的研究。

1 材料与方法

1.1 虫源及饲养方法

虫源来自田间采集的越冬代成虫经室内繁殖的粘虫蛾。幼虫采用 30~50cm 高的玉米苗群体饲养,密度约为 150 头/箱(73×34×34cm³),温度为 23±1 C,湿度为 70%~85% RH,光周期为 L12:D12。选择蛹重在 0.3~0.4 g 的成虫做试验材料,成虫羽化后配对饲养,并饲喂 5% 蜂蜜水。

1.2 飞行温、湿度控制及飞行能力测定

将昆虫飞行磨安置在全封闭人工气候间内,分别用电加热器和超音波加湿器控制温、湿度。设置详见各处理结果与分析。飞行能力测试采用飞行磨系统,吊飞方法同江幸福等^[10]。

1.3 飞行能源物质含量测定

1.3.1 甘油三酯 取单头去翅烘干虫体,加入 2 ml 2:1(V:V)的氯仿-甲醇在匀浆器中研磨,匀浆后过滤到刻度试管中,定容(甲醇+氯仿)至 8ml,加 2ml 5% NaCl 振荡后离心 12min,弃上清液,再用氯仿定容到 10ml。取 1ml 抽提液加入含 1g 硅胶和少许氯仿的三角瓶中振荡,过滤到刻度试管中,用氯仿定容到 5ml。振荡均匀后分别取 1ml 进行皂化与未皂化试验。在皂化管中加入 0.2% 氢氧化钾乙醇溶液 0.5ml,在未皂化管中加入无水乙醇 0.5 ml,然后置于 60~70 C 水浴中 15min。冷却后加入 0.1mol/L 硫酸 0.5ml,沸水浴 5min,冷却加入 0.05mol/L 过碘酸钠 0.1ml,氧化 10min 后加入 0.5mol/L 亚砷酸钠 0.1ml,到黄色转无色后加入 5ml 碘液,振荡,沸水浴 20min。冷却后以未皂化管为对照,读取 570nm 处的光密度值^[11]。

1.3.2 糖原 取单头去翅烘干虫体,加入 1ml 30% KOH,煮沸 30min,加 8ml 无水乙醇混匀后离心 10min (4000s/min),弃上清液,取沉淀物加 0.6mol/L 盐酸 5ml,沸水浴 2h 后过滤定容到 10ml,取样 1ml,加蒽酮试剂 5ml,沸水浴 10min,冷却后于 620nm 处比色,标样为葡萄糖^[6]。

1.4 海藻糖酶活力

将液氮中保存的成虫去翅后放入匀浆器内,加入生理盐水 5ml 匀浆,匀浆液在 4000s/min 离心 15min,取上清液(即酶液)备用,取 2% 海藻糖溶液 24ml 于三角瓶中,在 37℃ 下预热 5min,加入酶液 6ml,摇匀计时,37℃ 温育 30min 后,置沸水中煮 2~3min 终止反应,将反应液用滤纸过滤。取 10ml 过滤后的反应液,加入费林试剂 16ml 和 30% 碘化钾溶液 4ml,煮沸 3min 后再冷却至室温,立即加入 4mol/L 硫酸溶液 15ml,碘析出后用 0.15mol/L 硫代硫酸钠溶液滴定至浅黄色,加入淀粉指示剂数滴,再继续滴定,至蓝色刚消失,即为终点。同时在 8ml 海藻糖溶液加 2ml 酶液(已加热去除蛋白质)代替糖溶液进行空白滴定。标样为标准糖溶液^[12]。海藻糖酶活力以每毫升酶液每分钟水解生成的葡萄糖量表示。

1.5 呼吸强度测定

粘虫的呼吸强度利用北京分析仪器厂生产的 GXH-305 型 CO₂ 分析仪测定,具体方法见文献^[12]。

2 结果分析

2.1 温、湿度对成虫飞行能源物质消耗及利用的影响

2.1.1 温度 对 3 日龄雌蛾在不同温度下吊飞 12h 后体内飞行能源物质含量测定表明,飞后成虫体内甘油三酯含量差异显著($P<0.05$, 图 1)。随温度由低至高呈抛物线形,13℃ 时,成虫飞行后体内甘油三酯含量较低,平均为 6.04mg/头,此后随温度的升高而增高,23℃ 时达到最高,28℃ 时又有所下降,到 33℃ 时达到最低值。这表明高温促进了甘油三酯在飞行过程中的消耗。温度对成虫体内糖原含量的影响也很明显($P<0.05$, 图 1)。13℃ 时,粘虫体内糖原含量较低,18℃ 和 23℃ 时含量较接近并达到最高值,此后随温度升高而逐渐降低,到 33℃ 时为最低值。由此可见,温度对粘虫蛾体内甘油三酯和糖原消耗的影响作用基本一致,即在 18~23℃ 时含量最高,温度过低或过高时含量均较低,表明粘虫蛾在 18~23℃ 条件下飞行时所需的能源物质较少,而高于或低于这个范围飞行所需的能源物质增加,其中高温所消耗的能源物质比低温多。

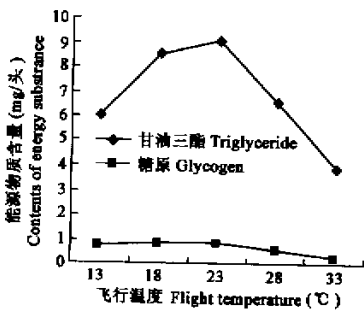


图 1 温度对粘虫蛾飞行能源物质消耗的影响

Fig. 1 Influences of flight tmperature on the consumption of the energy substances in *M. separata*

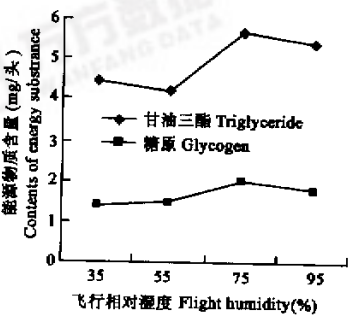


图 2 湿度对粘虫蛾飞行能源物质消耗的影响

Fig. 2 Influences of flight humidity on the consumption of the energy substances in *M. separata*

2.1.2 湿度 对 5 日龄雌蛾在不同湿度下吊飞 12 h 后体内飞行能源物质含量测定表明,湿度对成虫飞行能源物质消耗的影响也很明显($P<0.05$, 图 2)。35% RH 和 55% RH 时甘油三酯和糖原含量均较低,75% RH 时甘油三酯和糖原含量均达到最高值,当湿度进一步升高到 95% RH 时,成虫飞行后体内甘油三酯和糖原含量又有所下降。这表明,在较适宜的湿度条件下(75% RH),成虫飞行所需的能源物质较少,而在低

湿或高湿条件下所需的能源物质均较多。

进一步分析 3 日龄雌蛾在不同温、湿度条件下飞行 12 h 后对甘油三酯利用效率的结果表明,不仅适于飞行的温、湿度其甘油三酯消耗较少(图 1,图 2),而且单位飞行距离其甘油三酯的消耗也明显减少($P<0.05$,表 1),这说明在适宜的温、湿度下,粘虫蛾飞行的能源利用效率较高。

2.2 温、湿度对不同蛾龄成虫甘油三酯消耗的影响

2.2.1 温度 飞行温度对不同蛾龄成虫体内甘油三酯消耗有显著的影响($P<0.05$,图 3),在 11℃、18℃、28℃ 三种温度条件下,甘油三酯消耗与蛾龄的关系基本一致,即初羽化(1 日龄)成虫飞行对甘油三酯消耗较少,随着蛾龄的增长,其飞行对甘油三酯消耗逐渐增加,5 日龄时达到最高值,此后随蛾龄的增长其甘油三酯消耗逐渐下降。但 35℃ 时,两者的关系有所变化,1 日龄成虫飞行对甘油三酯消耗较少,3 日龄时突然增大到所有温度、所有日龄的最大值,5 日龄又骤然下降到几乎不动用甘油三酯,尽管 7 日龄时有少许回升,但 5~9 日龄对甘油三酯的动用率是极其微小的。这可能是由于环境条件(高温)极端不适宜,以致粘虫飞翔活动减少,从而相应的能源也消耗得少。至于 3 日龄成虫飞行时对甘油三酯消耗极端增大,也许说明了此日龄比较耐高温,这一推测是否成立,有待于进一步研究。

2.2.2 湿度 飞行湿度对不同蛾龄成虫体内甘油三酯消耗也有明显的影响($P<0.05$,图 3)。65%RH 时,1~9 日龄成虫体内甘油三酯的消耗较低,小于 35%RH 和 95%RH 时的消耗。而在高湿的条件(95%RH)下,成虫飞行所消耗的甘油三酯比在低湿条件(35%RH)下又要少一些。同一湿度下飞行时,均以 5 日龄成虫飞行时消耗的甘油三酯最多,而 1、3、以及 7、9 日龄成虫消耗均较少。

由此可见,粘虫蛾在不同的环境温、湿度下飞行时,5 日龄蛾对甘油三酯的消耗最多(高温 35℃ 除外),其次是 7 日龄,而 1~3 日龄蛾动用的甘油三酯最少。这表明,不同日龄粘虫蛾飞行所需的能源物质的量不同,在既定的飞行时间内,成虫起飞的日龄越早,所消耗的能源物质越少。因此,粘虫迁飞行为发生越早,对能源物质利用效率越高,从而有充足的能源提供成虫生殖,有利于种群繁衍。

2.3 温、湿度对不同性别成虫甘油三酯消耗的影响

2.3.1 温度 飞行温度对雌、雄成虫甘油三酯消耗也有一定的影响(图 4),在湿度为 75%RH、温度为 15~25℃ 的条件下,雌、雄成虫飞行所消耗的甘油三酯量基本相似,但当飞行温度上升到 30℃ 时,雄蛾所消耗的甘油三酯则明显多于雌蛾,且随着温度的升高,雄蛾所消耗的量显著比雌蛾多($P<0.05$)。

2.3.2 湿度 飞行湿度对雌、雄成虫甘油三酯消耗的影响也很明显。在 65%RH 的条件下,无论雌雄蛾,飞行后体内甘油三酯含量均高于另外两种湿度的,

表 1 飞行温、湿度对粘虫蛾甘油三酯利用效率的影响
Table 1 Influences of flight temperature and humidity on triglyceride utilization efficiency of adult oriental armyworm

温度(℃) Temperature	湿度(%) Humidity	测试虫数 Number of adults tested	甘油三酯利用效率 (mg/km·头) Triglyceride utilization efficiency
13	70~85	7	0.814±0.036 a
18		7	0.035±0.006 b
23		7	0.004±0.004 b
28		7	0.122±0.020 b
33		7	0.875±0.339 a
22	35	7	0.038±0.005 a
	55	7	0.029±0.005 b
	75	7	0.009±0.008 c
	95	7	0.014±0.007 c

注:表中所列数据为平均数±标准差,其后不同字母为 Duncan 多重比较差异显著($P<0.05$)。下同。
Data are presented as Mean±SD. The column followed by different letters are significantly different by Duncan's multiple range test ($P<0.05$).

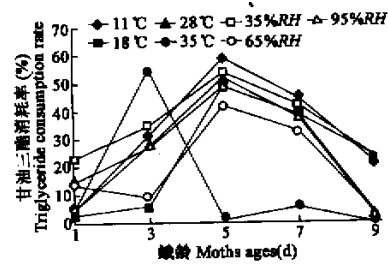


图 3 温、湿度对不同蛾龄粘虫蛾体内甘油三酯消耗的影响
Fig. 3 Influences of flight temperature and humidity on the triglyceride consumption of adult armyworm, *M. separata*

再次表明粘虫蛾在较适宜的环境下飞行时,对甘油三酯消耗较少。其中雌蛾飞行后体内甘油三酯的含量大于雄蛾,表明雌蛾在该条件下飞行所消耗的甘油三酯小于雄蛾,但当湿度降低到 35% RH 或升高到 95% RH 时,雌蛾飞行所消耗的甘油三酯比雄蛾的多,表明雌蛾对飞行环境湿度的要求比雄蛾严格。

2.4 影响成虫飞行能源物质消耗的有关因素探讨

2.4.1 海藻糖酶活力 粘虫蛾在开始飞翔的 15min 内海藻糖酶活力急剧上升,显著高于未飞行粘虫蛾的 ($P<0.05$),尽管在此后的 15min 内活力有明显下降趋势,但仍显著高于未飞行粘虫蛾的 ($P<0.05$),这种下降趋势直到飞行 1h 后固定在 0.27mg/(ml·min) 左右,之后随着飞行时间的延长,成虫体内海藻糖酶活力变化不明显 ($P>0.05$,图 5)。

温、湿度对海藻糖酶活力有显著的影响 ($P<0.05$,图 6)。对 3 日龄雄蛾在不同的温度下(湿度为 75% RH)飞行 12 h 后体内海藻糖酶活力测定表明,在较适宜温度(21℃)条件下海藻糖酶活力最高,比没有经过飞行的粘虫体内海藻糖酶活力增加 132%,而高温(35℃)和低温(10℃)时的增加量分别只有 48%和 69%,表明高温和低温对粘虫蛾体内海藻糖酶活力均有不同程度的抑制作用,其中高温对酶活性的抑制作用比低温明显。湿度对海藻糖酶活力的影响尽管不如温度明显,但高湿(95% RH)和低湿(35% RH)时海藻糖酶的活力仍然比适宜湿度(75% RH)时的活力低。适宜湿度时的海藻糖酶活力比不飞行时的海藻糖酶活力增大 132%,而高湿和低湿时仅分别增加 83%和 82%。说明湿度对海藻糖酶活性的影响也很明显,但高湿和低湿之间海藻糖酶活力差异不显著 ($P>0.05$)。

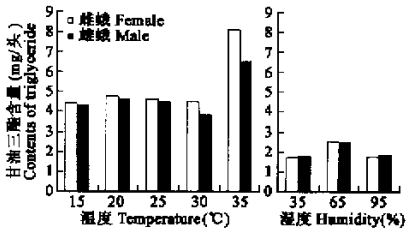


图 4 飞行温、湿度对不同性别粘虫蛾体内甘油三酯含量的影响

Fig. 4 Influences of flight temperature and humidity on the contents of triglyceride of adult armyworm, *M. separata*

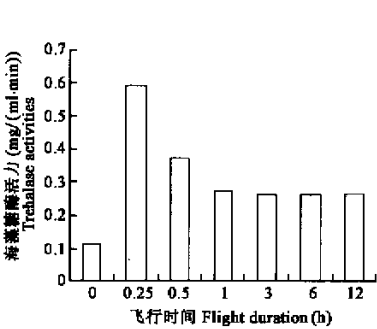


图 5 粘虫蛾在飞行过程中海藻糖酶活力的变化

Fig. 5 Variance of trehalase activities during flight in the moths of oriental armyworm

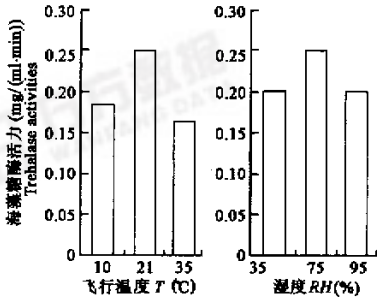


图 6 温、湿度对海藻糖酶活力的影响

Fig. 6 Influences of flight temperature and humidity on trehalase activities in the moth of oriental armyworm

2.4.2 呼吸强度 选取个体均匀的 9 日龄雌蛾,放入具有不同环境温度的 CO₂ 分析仪内,10min 后记录其 CO₂ 浓度的变化值,所得结果表明(表 2),随着温度的升高,成虫呼吸强度增大,低温(4℃)时粘虫蛾呼吸强度仅为为 19.3×10⁻⁶/min,适温(25℃)时增加了 14.8%,高温(34℃)又比适温增加了 85%。从低温到适温的过程中,每增加 1℃,呼吸强度增加了 7%,而从适温到高温的过程中,每增加 1℃,呼吸强度则增加了 9%。这些结果充分说明对成虫呼吸强度有显著的影响 ($P<0.05$)。

进一步对粘虫蛾飞行与呼吸强度的关系研究表明,静止时,成虫呼吸强度较低,开始飞行后,呼吸强度

便明显上升,到 30min 时达到最大值($109.6\times10^{-6}/\text{min}$)后便逐渐下降,45min 后,呼吸强度维持在一个较稳定的水平。

3 讨论

迁飞昆虫在长距离的飞行活动中伴随着体内能源物质消耗,但不同昆虫之间能源物质利用有不足之处,如对褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 和稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 的研究表明,脂类均是此两种昆虫主要的飞行能源物质,但糖原也是褐飞虱迁飞的主要能源物质却与稻纵卷叶螟迁飞的关系不显著^[13~15]。粘虫是一种远距离迁飞害虫,具有较强的飞行能力。根据野外标记回收试验结果表明,其最长的直线距离达 1400 km^[16],但根据室内吊飞研究结果表明,温、湿度对其飞行能力有显著的影响^[17]。鉴于粘虫飞行时动用的能源物质主要为糖原和甘油三酯,因此本文从飞行能源物质利用角度提示环境温、湿度影响成虫飞行能力的内在原因。结果表明,粘虫飞行时所消耗的能源物质与环境温、湿度有着极为密切的关系,在适宜的温湿度条件下,成虫飞行单位距离所消耗的能源物质较少,即能源物质利用效率较高。相反,在不适宜的温、湿条件下,成虫飞行所消耗的能源物质增多,能源物质利用效率较低。这说明,环境温、湿度对粘虫飞行的影响作用是明显的,其不仅会影响到成虫飞行能力,而且也会影响到成虫飞行能源物质的消耗。

因此,选择适宜的环境温、湿度对于粘虫的迁飞飞行是相当重要的。温、湿度对成虫飞行能源物质消耗会因蛾龄及性别的不同而异。高温下飞行时,雄蛾比雌蛾消耗的能源物质多,这与高温条件下雄蛾飞行能力明显低于雌蛾的结果相一致(未发表资料)。而在高湿或低湿条件下,雌蛾比雄蛾消耗的多,这也与飞行能力的测定结果相一致,从而也表明雌蛾对飞行环境湿度的要求比雄蛾严格^①。

为探索不同温、湿度条件下粘虫飞行能源物质消耗产生差异的原因,对成虫体内影响到海藻糖代谢的海藻糖酶活性进行了测定。海藻糖酶是昆虫体内一种重要的代谢酶,昆虫以海藻糖在血淋巴中贮存和运输碳水化合物,海藻糖不能透过生物膜,各种组织和细胞要吸收利用血淋巴中的海藻糖,必须首先由海藻糖酶将其分解成葡萄糖^[12]。粘虫飞行过程中海藻糖酶的活力变化结果表明,粘虫飞行初始阶段海藻糖酶活力较高,这与粘虫在飞行初始阶段动用糖原的结果相一致。但是,不同温、湿度条件下海藻糖酶的活性与海藻糖的消耗结果不一致。尽管在适宜的温、湿度条件下,海藻糖消耗较少,但酶的活性较高,而在不适宜的温、湿条件下,海藻糖消耗较多,但酶的活性较低。因此,不适宜的温、湿条件既增加了海藻糖的消耗,又抑制了海藻糖酶的活性。

为进一步探索温、湿度对粘虫飞行能源物质消耗的影响作用,对不同飞行时间和温度条件下的成虫呼吸强度进行了测定。呼吸强度是昆虫在特定情况下的生理代谢强度,从能量代谢的角度来说,能源物质逐步脱 H^+ ,便碳原子逐步氧化,最后以基质脱羧的形式释放出 CO_2 ,即一个原子的 C 经彻底氧化后产生一分子 CO_2 ^[18]。从所得的结果来看,粘虫呼吸强度在飞行过程中明显增加(尽管在持续飞行过程中比起飞初始阶段要低一些)表明飞行确实增加了能源物质的消耗。成虫呼吸强度随温度的升高而升高,表明温度也影

表 2 温度与粘虫蛾呼吸强度的关系

Table 2 Relationship between temperature and respiration rate of adult armyworm *M. separata*

温度(℃) Temperature	供试虫数(头) Number of adults tested	呼吸强度($\times10^{-6}/\text{min}$) Respiration rate
34	6	$88.6\pm5.92\text{ a}$
25	6	$47.9\pm6.98\text{ b}$
4	6	$19.3\pm3.69\text{ c}$

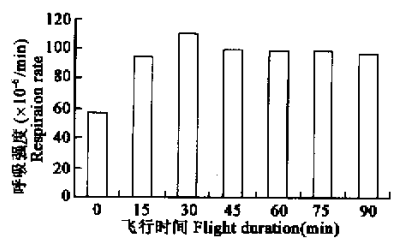


图 7 粘虫蛾飞行时间与呼吸强度之间的关系

Fig. 7 Relationship between flight duration and respiration rate of adult armyworm *M. separata*

① 未发表资料

响到飞行能源物质的消耗。

参考文献

- [1] Klaus H and Hoffmann. *Environment physiology and biochemistry of insects*. Springer Berlin Heidelberg New York. 1985, 112~118.
- [2] Beenackers A M T H. Carbohydrate and fat as a fuel for insect flight; a comparative study. *J. Insect Physiol.*, 1969, **15**: 353~361.
- [3] Brouwers E V M and De Kort C A D. Amino acid metabolism during flight in the Colorado Potato Beetle, *Leptinotarsa decemlineata*. *J. Insect Physiol.*, 1979, **25**: 411~414.
- [4] Gum A and Gatehouse A G. The development of enzymes involved in flight muscle metabolism in *Spodoptara exempta* and *Mythimna separata*. *Comp. Biochem.*, 1988, **91**(2): 315~324.
- [5] Zou Y D (邹运鼎), Wang S H (王士槐), Wang H F (王弘法). A study on migratory energy substance of the oriental armyworm *Mythimna separata* (Walker). *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese) (生态学报), 1984, **4**(4): 372~375.
- [6] Wang Z SH (王宗舜), OuYang Y CH (欧阳迎春). Carbohydrates mobilization and utilization during initial flight period in the moths *Mythimna separata* (Walker). *Acta Entomologica Sinica* (in Chinese) (昆虫学报), 1995, **38**(2): 146~152.
- [7] Wang Z SH, OuYang Y CH. Relationship between flight movement and fatty acid utilization in the moths *Mythimna separata* (Walker). *Entomologica Sinica*, 1995, **2**: 370~378.
- [8] Sun J Y (孙金如). A preliminary report on results determined by analysis of the contents of sugar, lipid and protein between different generations and in different areas of armyworm (*Mythimna separata* Walker). *Chinese Agriculture Science* (in Chinese) (中国农业科学), 1986, **6**: 65~70.
- [9] Cao y zh (曹雅忠), Luo L ZH (罗礼智), Li G B (李光博), et al. The relationship between utilization of energy materials and sustained flight in the moths of Oriental armyworm *Mythimna separata* (Walker). *Acta Entomologica Sinica* (in Chinese) (昆虫学报), 1995, **38**(3): 290~295.
- [10] Jiang X F (江幸福), Luo L ZH (罗礼智), Hu Y (胡毅). Influences of rearing temperature on the flight and reproductive capacity of adult Oriental armyworm *Mythimna separata* (Walker). *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese) (生态学报), 2000, **20**(2): 288~292.
- [11] Feng H (冯慧). *Insect Biochemical Analytical Method* (in Chinese). Beijing: China Agricultural Sciencetech Press, 1984.
- [12] Nanjing agriculture university (南京农业大学) ed. *Insect physiological and biochemical experiment* (in Chinese). Beijing: 1991.
- [13] Zou Y D (邹运鼎), Wang S H (王士槐), Wang H F (王弘法). Preliminary report on substance content in the body energy resources of *Nilaparvata lugens* in relation to its migration. *Entomological Knowledge* (in Chinese) (昆虫知识), 1983, **20**(4): 152~154.
- [14] Cheng R CH (陈若麓). Studies on lipids as fuel of flight in the brown planthopper (*Nilaparvata lugens*). *Acta Entomologica Sinica* (in Chinese) (昆虫学报), 1983, **26**(1): 42~46.
- [15] Zou Y D (邹运鼎), Wang S H (王士槐), Wang H F (王弘法). Preliminary observations on the relationship between content of main energy substances and vitality of lipase in the thorax of vice leaf roller with its migration. *Entomological Knowledge* (in Chinese) (昆虫知识), 1983, **20**(5): 200~202.
- [16] Li G B (李光博), Wang H X (王恒祥), Hu W X (胡文绣). Route of the seasonal migration of the Oriental armyworm moth in the eastern part of china as indicated by a three-year result of releasing and recapturing of marked moths. *Acta Phytophylacica Sinica* (in Chinese) (植物保护学报), 1964, **3**(2): 101~110.
- [17] Zhang ZH T (张志涛), Li G B (李光博). A study on the biological characteristics of the flight of the Oriental armyworm *Mythimna separata* (Walker). *Acta Phytophylacica Sinica* (in Chinese) (植物保护学报), 1985, **12**(2): 93~100.
- [18] Wang Y CH (王荫长) ed. *Insect physiology and biochemistry* (in Chinese). Beijing: China Agricultural Sciencetech Press, 1999.