

脂类作为褐飞虱飞行能量来源的研究

陈 若 麓

(南京农学院植保系)

摘要 刚羽化的褐飞虱长翅雌虫腹部,仅有少量脂肪体悬浮于腹腔内,当卵巢发育至第 II 发育级时,腹部脂肪体最为丰满,脂肪体因提供卵子发育的营养而逐渐消耗减少。

在卵巢发育至 I 级和 II 级初期时,飞行力最高。此时翅的负荷较少,脂肪体发达,含水量低。持续飞行两小时的个体,其腹部脂肪体细胞内出现明显的空泡,这可能表明其中所含的脂类已被消耗。

根据褐飞虱迁飞途径,定期收集起飞迁出,空中运行和降落的虫源,并测定了脂肪的含量,表明在迁移过程中褐飞虱脂肪含量随迁移距离而明显下降。

关于远距离迁移性昆虫在迁飞期间能量物质的来源和代谢问题,国外已有研究和报道。1940 年 Fulton 和 Romney 对甜菜叶蝉 (*Eutettix tenellus*) 在迁移飞行期间总脂肪含量减少的情况首先作了报道。随后 Beall (1948) 对斑蝶 (*Danaus plexipus*) 迁移飞行中的能量消耗,亦作了类似的观察。近几年来,国外对沙漠蝗 (*Schistocerca gregaria*) (Hill 等, 1968; Walker 等, 1970), 飞蝗 (*Locusta migratoria*) (Jutsum 等, 1970; Goldsworthy 等, 1979), 斑蝶 (*Danaus plexipus*) (Brown 等, 1974), 马铃薯叶蚜 (*Leptinotarsa decemlineata*) (Mordue 等, 1978) 等迁飞性昆虫,在迁飞过程中能量的消耗,作了较为深入的研究。结果表明迁飞性昆虫在飞行开始后的数分钟或数十分钟内主要利用存在于肌肉中的糖原,游离氨基酸(如脯氨酸等)和血液中的海藻糖等,但在持续飞行过程中,脂类则是其最主要的能量物质。

Johnson (1969) 指出,迁飞的昆虫都具有发达的脂肪体和尚未发育成熟的卵巢。昆虫在卵巢发育成熟前,脂肪体是其能量物质的主要贮存场所,所以脂肪体发达。但当卵巢迅速发育时,脂肪体因供应卵巢发育所需的营养物质而逐渐消耗减小。因此,迁飞昆虫脂肪体的发达程度与卵巢的发育程度以及能量物质的积累、消耗和迁移飞行的行为之间,有着密切的相关性。

关于褐飞虱在远距离迁飞过程中,能量物质与迁移飞行的关系,目前尚未见有报道。作者等(1979)在完成了“褐飞虱卵巢发育及其与迁飞关系”的基础上,于 1979—1981 年又通过组织切片,室内悬吊飞行等试验,对褐飞虱迁飞过程中脂肪的积累和消耗情况作了系统的研究,并重点分析了褐飞虱迁飞行为与卵巢发育,翅负荷及脂肪含量等生理因素的同步关系。现将结果整理如下。

研究材料和方法

一、供试虫源 在水稻成熟期间逐日分批收集 5 龄若虫,分别饲养,并正确掌握成虫

本文于 1981 年 9 月收到。

本文承尤子平教授修改文稿,文内照片由王荫长同志摄制,悬吊飞行装置由吴家荣同志设计,特此致谢。

羽化日期,日龄和卵巢发育进度,提供组织切片和悬吊飞行应用。

至于褐飞虱起飞迁出、高空运行和降落迁入的虫源收集,则系根据褐飞虱迁飞路径分别设点收集。迁出起飞的虫源,一般在迁出地区的田间,于傍晚后褐飞虱自稻丛基部逐渐上升至叶片端部静伏待飞时,用捕虫网扫捕收集。高空运行途中的虫源,是由黄山高空网(海拔 1,840 米)截获收集提供。降落迁入的虫源,是由迁入地区诱虫灯捕获收集。

二、组织切片和染色 虫体用 1% 钼酸溶液固定 24 小时,再经流水冲洗,乙醇系列脱水后,用石蜡包埋。切片厚度为 5—8 微米。切片在染色前,先在等量的 3% 过氧化氢和蒸馏水混合液中漂白,然后用苏木精及曙红进行双重染色。

三、悬吊飞行 褐飞虱的持续飞行时间、距离、速度等测定项目,均在自制悬吊飞行磨上进行。飞行磨的自动记录装置,由光电管控制。

四、含水量和总脂肪含量的测定 用扭力天平(感量 0.1 毫克)分别称取 30 头雌虫的鲜重作为样本,然后在 60°C 恒温箱内烘至恒重,计算含水量。总脂肪含量的测定,系用索氏脂肪抽提器将烘干的样本以乙醚回流提取。

结 果

一、褐飞虱雌成虫脂肪体的发育与卵巢发育的关系 作者等(1979)根据褐飞虱卵巢发育的状况,曾将其划分为五个发育级。本试验中则对不同卵巢发育级的雌虫进行组织学的观察,以了解脂肪体的发育状况。

卵巢发育为 I—IV 级的雌虫腹部组织切片观察结果表明,在刚羽化处于 I 级初期卵巢的雌虫,其腹腔内脂肪体未充分发育,在切片中仅见有少量脂肪体悬浮于体腔内,当雌虫取食后,卵巢发育至第 II 发育级时,其脂肪体已充分发育,整个腹腔内几乎全为脂肪体所充满,其卵巢则被脂肪体紧紧包裹。当卵巢发育至 III 级开始出现成熟卵粒时,脂肪体因提供卵子发育所需的营养而逐渐消耗和减小。当卵巢发育至第 IV 级,体腔内几乎全被成熟卵粒所充塞,仅在底层残存有少量脂肪体(图版 1:1—4)。

二、褐飞虱飞翔能力与卵巢发育、翅负荷及水分和脂肪含量的关系 昆虫飞行时消耗的能量主要用于克服地球引力和提供向前飞行所作的功(Kammer 和 Heinerich, 1978)。因此,昆虫的飞翔能力必然与不同发育阶段的翅负荷,水分和脂肪的含量有密切关系。

褐飞虱雌虫在不同的卵巢发育阶段,其飞翔能力与翅负荷,水分和总脂肪含量的关系经测定结果见表 1。从表 1 看出,初羽化的雌虫因未经飞行前的取食阶段,其翅负荷虽最小,但因体内脂肪含量少,水分含量高,长翅雌虫不表现有任何飞翔能力。经取食后,体重开始增加,当卵巢发育至 I 级末,II 级初期时,体内水分含量最少,脂肪积聚量最高,而翅负荷增加尚不十分明显时,成虫的飞翔能力最强,其飞行持续时间长,飞行速度较高。卵巢发育至 II 级时,体内脂肪含量开始下降,水分又复上升,体重及翅的负荷随之增加,飞翔能力稍有下降。卵巢发育至 III、IV 级时,由于成熟卵粒形成,翅负荷迅速上升,脂肪含量继续下降,水分含量相应增加,飞行能力明显下降,至 IV 级时已全部丧失飞行能力。

上述结果表明,褐飞虱长翅型雌虫在卵巢发育至 I 级末和 II 级初期时,其体重较轻,翅负荷和水分含量相对较低,脂肪积聚量最充足,正是适于起飞迁移的发育阶段。这些结果与多年田间迁出期间雌虫卵巢系统解剖的结果是一致的。

表 1 褐飞虱雌虫飞翔能力与卵巢发育、翅负荷、水分和脂肪含量的关系

卵巢发育级别	体重 (毫克)	翅负荷* ($N \cdot m^{-2}$)	含水量 (%)	总脂肪 含量** (毫克/头)	飞 翔 能 力			
					测定头数	飞行持续时间 (分钟)	飞行距离(米)	飞行速度 (米/分钟)
I 级初	2.02	1.12	67.8	0.14	15	0	0	0
I 级末—II 级初	2.27	1.27	55.1	0.50	8	257±111	4664.5±2141	17.0±1.5
II 级	2.3—2.56	1.38—1.43	59	0.48	13	189±49	3454±1168	15.6±1.7
III 级	2.89	1.61	65.4	0.47	19	18±7.3	252.7±88	14.0±3.1
IV 级	3.91	2.18	65.2	0.43	15	0	0	0

* $1 N \cdot m^{-2} = 0.0102$ 克/平方厘米。

** 各级脂肪抽提虫样分别为 392, 420, 400, 463, 460 头。

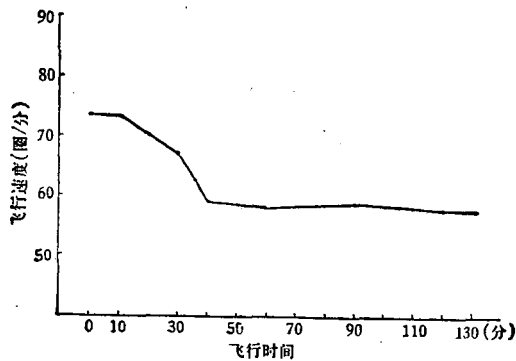


图 1 褐飞虱在悬吊飞行时速度与时间的关系

三、褐飞虱飞行速度变化和脂类的消耗

1. 飞行速度 褐飞虱在飞行磨上悬吊飞行期间,通过定时测定飞行速度的变化,其结果如图 1 所示。在开始飞行时,褐飞虱飞行速度较高,但一般在快速飞行 20 分钟后,其飞行速度开始下降,连续飞行 40 分钟后,即转入长时间的保持“巡航”恒速 (cruising speed),直至飞行停止。

2. 脂类的消耗 飞行速度的变化常受制于飞行期间从虫体所得燃料种类的变化。大多数迁飞昆虫在开始飞行的数分钟内,肌糖元,游离氨基酸或血液海藻糖是供应高速飞行的主要能量来源,在进入长时间恒速飞行时,则脂类是主要的能源物质。本试验中,通过飞行前、后褐飞虱雌虫腹部脂肪体的组织切片观察,表明在起飞前雌虫腹部脂肪体十分发达,脂肪细胞充满脂滴 (图版 I:5); 而在持续飞行 2—3 小时后,脂肪细胞内的脂滴已明显消耗并出现空泡 (图版 I:6)。证明在褐飞虱持续飞行期间,脂类被迅速动员提供持续飞行所需的能量。

四、褐飞虱迁移过程中总脂肪含量的测定 1979、1980 年根据褐飞虱在我国东部地区的迁飞路径,定期设点收集起飞迁出,飞行途中和迁入的不同时期的虫源,各地采集的虫源经立即烘干固定后带回,测定总脂肪含量,结果见表 2。

从表 2 结果看出,1979 年 7 月中、下旬,湖南郴州地区即将起飞迁出的褐飞虱雌虫,其体重及总脂肪含量较高;同期在远离迁出地区 700 公里的安徽黄山,由高空网截获高空

运行状态的褐飞虱雌虫由于远距离迁移能量被消耗, 体重及总脂肪含量均明显下降。在远离迁出地区 960 公里的江苏扬州, 由灯光收集的迁入虫源其体重及总脂肪含量最低。1980 年在类似的测定中, 亦获得相同结果。这表明褐飞虱长翅雌虫在迁移过程中, 其脂肪含量随着迁移距离的延长, 而呈现明显的消耗和下降。

表 2 在起飞、运行、降落中褐飞虱脂肪含量的测定结果

虫样收集点和场所	地理位置	日期 (年·月·日)	虫源性质	褐飞虱雌虫的体重和总脂肪含量		
				测定虫量 (头)	平均每头干重 (毫克)	总脂肪含量 (毫克/头)
湖南郴县(田间)	(N)23°56' (E)113°11'	1979.7.16—25	起飞迁出	500	1.03	0.62
安徽黄山(高空网)	(N)30°08' (E)118°13'	1979.7.22—25	运行途中	400	0.85	0.31
江苏扬州(灯下)	(N)32°28' (E)119°30'	1979.7.24	迁入	60	0.84	0.22
湖南郴县(田间)	(N)25°56' (E)113°11'	1980.7.15—25	起飞迁出	100	1.08	0.53
南京(灯下)	(N)32°00'	1980.7.15	迁入	100	0.84	0.21
	(E)118°48'	1980.7.24	迁入	100	0.93	0.25

讨 论

本研究结果表明, 脂类是褐飞虱迁移飞行的主要能源物质。这与一般迁飞性昆虫消耗的能源具有类似特点。

脂类与其它能量物质(糖元、氨基酸)相比, 具有较高的热效应。因此, 迁飞性昆虫以脂类作为远距离迁飞的能源, 是其综合生存对策的一个重要方面。本试验结果, 表明了迁移飞行的褐飞虱个体, 都具有发达的脂肪体, 较小的翅负荷和未发育成熟的卵巢, 这对其迁移飞行是有利的。

Kennedy (1961) 在分析昆虫迁移行为中指出, 对迁移刺激的反应, 通常伴随着和取决于内部“植物性”反射(如取食, 交配或产卵)的抑制。Rankin (1978) 在研究马利筋长蝻象 (*Oncopeltus fasciatus*) 血淋巴保幼激素 (TH) 滴度与成虫迁移行为关系中, 表明在中等 JH 滴度, 即在适于启动飞行活性但尚不能满足卵子形成的浓度下, 其飞行活性较高。如果上述因素同样是构成褐飞虱迁移行为的主要生理因素的话, 那末褐飞虱迁移飞翔的行为与其有关生理因素间的关系, 可概括如图 2。今后在褐飞虱迁移飞翔的生理因素研究中, 应逐一加以明确。

在褐飞虱不同卵巢发育阶段的总脂肪测定中, 当卵巢发育至 III、IV 级时的总脂肪含量虽有所下降, 但仍有较高的水平。这似乎与腹部脂肪体的组织切片结果不相一致。实际上这主要由于脂肪体中的脂类已被转入卵子, 而其总脂肪含量中包含着卵脂所致。

根据 Goldsworthy 等 (1972, 1976, 1979) 研究飞蝗 (*Locusta migratoria*) 飞行能源物质时曾指出, 昆虫由高速飞行转入巡航恒速飞行时, 脂类的动员主要取决于心侧体脂类

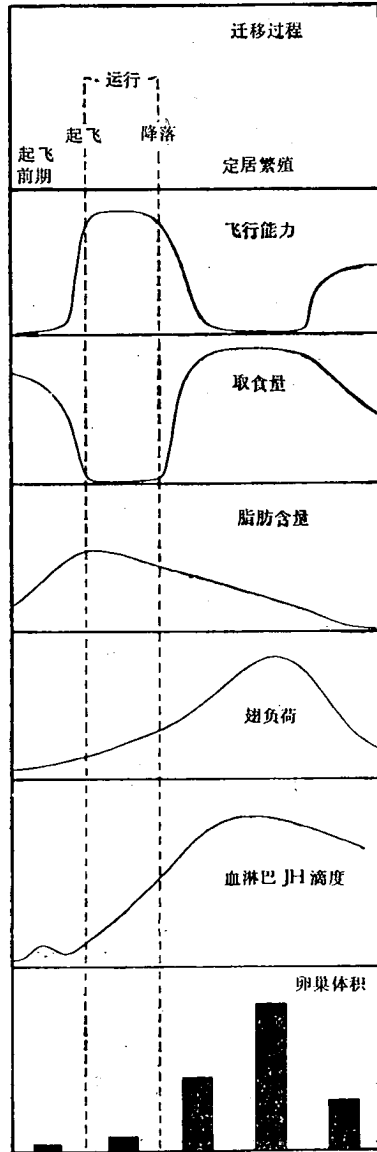


图2 褐飞虱迁移过程与生理、行为同步关系的模式图

释放激素 (adipokinetic hormone) 的释放。褐飞虱飞行速度的变化形式和持续飞行期间脂类的消耗情况与飞蝗的相类似,但其起始飞行时利用能源物质的性质以及脂类释放激素与脂类利用间的关系,有待深入研究揭示。

褐飞虱在我国东半部地区迁飞路径的问题,近年来通过各稻区间褐飞虱虫源的跟踪观察(程遐年、陈若簏等,1979),雌虫卵巢解剖(陈若簏、程遐年等,1979),迁移气象条件的分析(江广恒等,1981),标记回收(南京农学院等,1981),飞机航捕(邓望喜,1981)和迁飞动向等方面的研究已基本明确。1979年和1980年7月,根据褐飞虱的迁移路径和联合测报网关于褐飞虱迁出虫情,气象条件和降落地区的分析,分别在湖南郴县,安徽黄

山(海拔 1800 公尺高空网)和江苏扬州、南京等地设点收集不同性质的虫源,经脂肪含量测定的结果,表明褐飞虱在迁飞过程中随着迁移距离的延长,其总脂含量有明显的减少,进一步验证了上述各项迁飞规律研究和异地虫情迁移预报的结果。因此,在分析虫源性质时,总脂含量的测定和分析,可作为区分虫源性质的一个生理指标。

参 考 文 献

- 程遐年,陈若饒等 1979 褐飞虱迁飞规律的研究。昆虫学报 22(1): 1—21。
- 陈若饒,程遐年等 1979 褐飞虱卵巢发育及其与迁飞的关系。昆虫学报 22(3): 280—87。
- 南京农学院植保系等 1981 褐飞虱、白背飞虱的标记回收试验。生态学报 1(1): 49—53。
- 江广恒等 1981 褐飞虱远距离向北迁飞的气象条件。昆虫学报, 24(3)251—61。
- 陈若饒等 1980 褐飞虱起飞行为与自身生物学节律,环境因素同步关系的初步研究。南京农学院学报 2: 42—9。
- 邓望喜 1981 褐飞虱、白背飞虱空中迁飞规律的研究。植物保护学报 8(2): 73—82。
- Bailey, E. 1975 Biochemistry of insect flight. Part 2. Fuel supply. In "Insect biochemistry and function" (Eds D. J. Candy and B. A. Kilby), pp. 89—176. Halsted Press, Wiley, New York.
- Brouwers, E. V. M. & C. A. D. De Kort, 1979 Amino acid metabolism during flight in the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*. *J. Insect Physiol.* 25: 411—4.
- Fulton, B. A. & V. E. Romney. 1940 The chloroform-soluble components of beet lefhoppers as an indication of the distance they move in the spring. *J. Agric. Res.*, 161: 737—43.
- Goldsworthy, G. J., A. R. Jutsum, & N. L. Robinson. 1979 Substrate utilization and flight speed during tethered flight in the locust. *J. Insect Physiol* 25: 183—5.
- Johnson, C. G. 1969 Migration and dispersal of insects by flight. Merhuen, London.
- Jutsum, A. R. & G. J. Goldsworthy, 1976 Fuel for flight in locusta. *J. Insect Physiol.* 22: 243—9,
- Kammer, A. E. & B. Heinrich, 1978 Insect flight metabolism. In "Advances in insect physiology", 13: 133—228. Academic Press, New York and London.
- Kennedy, J. S. 1961 A Turning point in the study of insect migration. *Nature, Lond.* 189: 785—91.
- Mordue, W. & C. A. D. De Koet, 1978 Energy substrates for flight in the Colorado beetle *Leptinotarsa decemlineata*. *J. Insect Physiol.* 24: 221—4.
- Rankin, M. A. & L. M. Riddiford. 1978 Significance of haemolymph JH titer changes in the timing of migration and reproduction in adult *Oncopeltus fasciatus*. *J. Insect Physiol.* 24: 31—8.
- Robison, N. L. & G. J. Goldsworthy, 1976 Adipokinetic hormone and flight metabolism in the locust. *J. Insect Physiol.* 22: 1559—64.
- Sacktor, B. 1975 Biochemistry of insect flight. Part 1. Utilization of fuels by muscle. In "Insect biochemistry and function" (Eds D. J. Candy and B. A. Kilby), pp. 1—88. Wiley, New York.

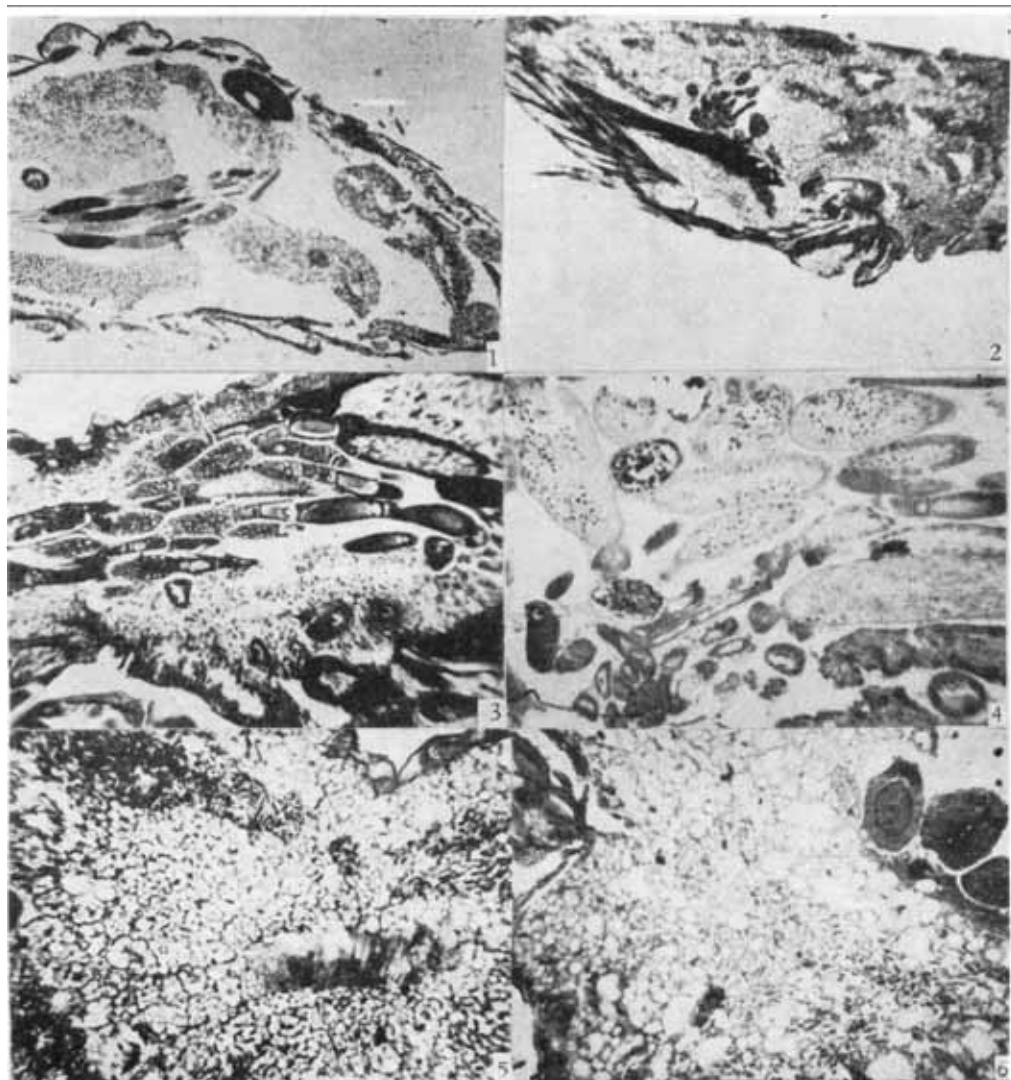
STUDIES ON LIPIDS AS FUEL OF FLIGHT IN THE BROWN PLANTHOPPER (*NILAPARVATA LUGENS* STÅL)

CHEN RUO-CHI

(Department of Plant Protection, Nanjing Agricultural College)

The relationships between flight capacity and ovarian developmental stage, wing-load, lipid and water contents of the macropterous females is highest at the ovarian developmental stages I to early II when there are low wing-load, hypertrophic fat body and low water content. The flight is characterized by changing speed. The flight speed is high in the first 20 minutes and then changes to a cruising speed. After continuous flight for a certain time the insect would use up some of its lipid store and thereby vacuoles would occur in the cells of fat body. This indicates that lipids may be the major energy migratory flight of this insect.

Brown planthoppers were collected at various points along their migratory routes and their total lipid contents were determined. They showed consistent decrease as the distance from the breeding source increased.



1. I 级卵巢及脂肪体
2. II 级卵巢及脂肪体
3. III 级卵巢及脂肪体
4. IV 级卵巢及脂肪体
5. 悬吊飞行前充满脂滴的脂肪体
6. 持续飞行后脂肪体内出现空泡