

粘虫迁飞模拟试验*

胡伯海 林昌善

(北京大学生物系)

粘虫是我国禾谷类作物的主要迁飞性害虫之一。近十多年来,我国昆虫学者在迁飞问题上作了大量研究工作。迄今已基本摸清了我国东部粘虫的远距离迁飞、迁飞方向及路线(林昌善等,1963;林昌善、张宗炳,1963),分析了粘虫迁飞的生理生态机制(马世骏,1963)和迁飞与气流场的关系(林昌善,1963;赵圣菊等,1981),开展了一些粘虫飞行的观察和试验(李光博等,1964;黄冠辉等,1966)。近两年在粘虫种群动态系统模型(Lin Changshan, 1981),动态分析和系统分析等方面(许崇任,1981;张宏鸿,1981)又取得了一些新的进展。

Koerwitz (1964)曾通过野外观察和室内研究分析并讨论了粘虫迁飞的潜在能力。Browne (1966)从粘虫的蛾量变动、性比、生殖力、蛾在羽化期间的特征等四个方面提出了粘虫迁飞的新证据。日本的奥俊夫、千叶武胜、小林尚等人(1976)作过粘虫蛾从中国向日本迁飞可能性的探讨。

尽管如此,我国粘虫的全部迁飞规律尚未完全清楚,特别缺乏粘虫迁飞能力的试验研究。为了对粘虫迁飞的理解更加深入,并为粘虫动态系统分析模型提供更多资料,我们参阅了Hocking (1953)的飞翔研究方法,就粘虫蛾在一定的外界条件和生理状况下的迁飞能力,在气流中的迁飞等方面,进行室内模拟试验。

一、试验材料及方法

本试验所用的粘虫经鉴定属于东方粘虫 *Mythimna separata* (Walker)。原始试验材料采自北京郊区,经室内饲养一代(温度 $21^{\circ}\text{--}25^{\circ}\text{C}$, R. H. 40—60%,小麦叶片作幼虫饲料),取新羽化的成虫分为饥饿、清水对照、正常取食10%蜂蜜水等不同组别,每头放入罐头瓶中饲养。饲养室条件为两盏40瓦日光灯,每天照明12小时,温、湿度条件与饲养幼虫相同。迁飞模拟试验在相同温、湿度条件的暗室中进行,光照和黑暗各为12小时。

粘虫蛾迁飞模拟试验设备由测飞器、自动记录器、小型圆形风洞和电源四部分组成:

1) 测飞器 用直径0.6毫米,长303.8毫米的毛细玻璃管作成平衡杆。将0号昆虫针的末端弯成一个小圆圈,将平衡杆套入圈内,在杆的中央与针取得垂直,用蜡封固。测飞器全

* 本试验承北京大学力学系黄琳副教授热情协助,特此致谢。

重约0.25—0.60克。

取直径稍大于0号昆虫针的毛细玻璃管一段,一端用酒精灯封着,使其底部盲端圆滑;另一端也将管口边缘烧光滑,成为一个空心套管。使用时,套管开口端向上,垂直固定在蜡盘中央,将平衡杆上的昆虫针插入套管即可,供试时,将粘虫蛾腹面向下,其胸背板用特制粘胶(蜂蜡:松香:沥青:鼠胶=2.5:2.5:1:4)附着在杆的一端,杆的另一端附着适当重量的一小块锡使以维持平衡(图版I:1)。用此简单装置即可测定粘虫的飞翔活动。如果与自动记录器连接在一起,就可以测定粘虫的飞行时间、速度、距离、或间隙时间等。

2) 自动记录器 用聚光电珠作光源,光信号由硅光电二极管(2CU)接收并转换为电信号,经三极管(3GB)进行一级放大,由改装成记录笔的微型继电器(4JRX)将电信号记录于匀速转动的电动记纹鼓上(图版I:2;图1、2)。

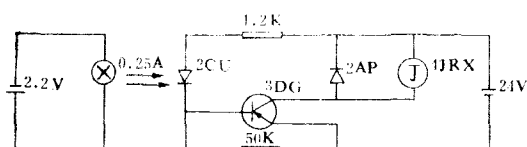


图1 信号转换放大线路

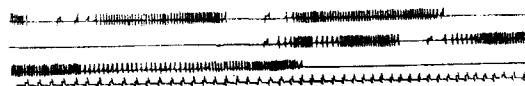


图2 粘虫蛾飞行模拟试验记录片段

3) 小型圆形风洞 为上下两壳嵌套结构(图版I:3、4、5),上壳为便于观察用有机玻璃板粘结制成,下壳用金属板剪裁焊接而成。风洞内安装测飞器。用吹风机作为可变速风源。风洞内的风速用流体压力计测量。此风洞用来测定气流对粘虫蛾飞行的影响。

4) 电源 采用JWY-30B型晶体管稳压直流电源(图版I:2)。

粘虫蛾体内脂肪体含量的多寡及其变化,通过计数脂肪体数量并用测微尺测量求得体积。

二、试验结果及分析

在飞行模拟试验中,共用114头粘虫蛾在集合测试装置上进行了飞行测试,同时又用162头蛾作了解剖观察。从大量的试验数据中可整理归纳出以下结果:

1. 粘虫飞翔能力的强弱主要体现在飞行速度和持续飞行时间上

从试验中的这两项结果可以看出,粘虫蛾的飞翔能力随着蛾日龄的增长而不断变化(图3)。蛾羽化以后到第4日龄,随着蛾日龄的增长,蛾的飞翔能力不断增强,尤其第3日龄到第4日龄,飞翔能力猛增,

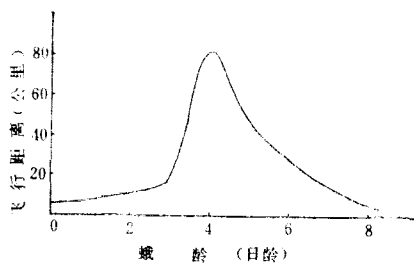


图3 粘虫蛾飞行能力的变化

平均飞行速度由每秒1.40米增到每秒1.68米。最快飞行速度由2.57米/秒增到3.65米/秒。平均最长持续飞行时间由1.05小时激增至11.23小时。处于飞翔能力最强的第4日龄蛾有的最快每秒可飞行3.65米,最长可持续飞行27.85小时,据此估算即使在无风条件下也可持续飞行205.35公里。而从第4日龄以后,粘虫蛾的飞翔能力则逐渐减弱。到第8日龄,蛾的平均飞行速度只有1.01米/秒,持续飞行时间已降到0.85小时。

表 1 粘虫蛾飞行模拟测试结果统计表

数 量 组 别	项 目 试验 虫 数	平均飞行速度 (米/秒)	平均最快飞行 速 度 (米/秒)	平均最长持续飞 行时间 (小时)	平均最长持续飞 行距离 (公里)	平均24小时累计 飞行时间 (小时)	平均24小时累计 飞行距离 (公里)
新羽化蛾	8	1.311	2.484	0.270	1.548	1.473	6.166
1 日龄饥饿蛾	8	0.693	2.007	0.167	0.817	0.942	2.248
1 日龄饮水蛾	6	1.330	3.307	0.289	1.476	2.319	11.012
1 日龄取食蛾	10	1.341	2.367	0.272	1.481	1.643	7.989
2 日龄饥饿蛾	6	1.281	2.901	0.176	1.178	1.732	7.730
2 日龄取食蛾	7	1.220	1.925	0.910	4.892	3.520	12.947
3 日龄饥饿蛾	6	0.776	1.615	0.182	0.739	1.140	3.087
3 日龄取食蛾	10	1.401	2.568	1.048	6.994	3.401	17.324
4 日龄饥饿蛾	7	0.893	1.832	0.155	0.796	0.669	2.217
4 日龄饮水蛾	8	0.930	2.212	0.221	1.165	0.927	3.027
4 日龄取食蛾	15	1.659	3.650	11.228	72.852	14.782	82.055
6 日龄饥饿蛾	6	0.684	1.630	0.043	0.148	0.114	0.280
6 日龄取食蛾	8	1.203	2.308	1.896	8.843	6.082	26.355
8 日龄取食蛾	9	1.007	1.739	0.845	3.178	1.848	4.448

由以上结果可以推测, 粘虫蛾要进行远距离迁飞应在其具有最强飞翔能力时起飞。所以我们认为, 粘虫蛾羽化后3—5日龄进行远距离迁飞的可能性较大。这样, 粘虫蛾既有3天取食积累能量的时间, 又不至于因雌蛾卵巢发育成熟, 营养消耗过多, 身体负担过重而影响其迁飞。

2. 粘虫蛾羽化后是否取食极大地影响其飞翔能力

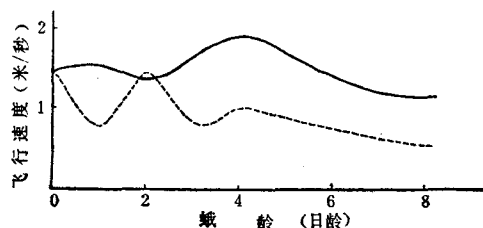


图 4 粘虫蛾的平均飞行速度

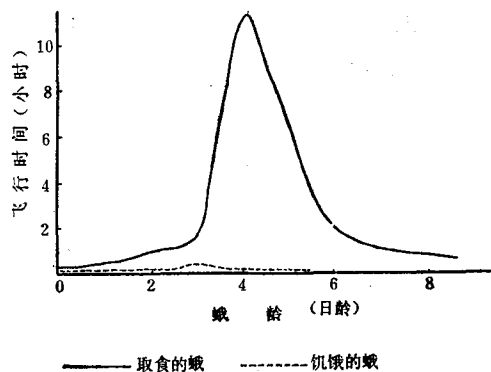


图 5 粘虫蛾的持续飞行时间

飞翔活动是具翅昆虫的一项剧烈的运动, 一定要消耗体内的能量物质, 昆虫的生命活动有多种能量来源, 从我们的试验结果可以看出, 粘虫蛾飞翔活动所需的部分能量 (不是指粘虫迁飞的动能) 来源于成虫的补充营养。粘虫蛾羽化后是否取食极大地影响其飞翔能力 (图 4、5), 这种影响在羽化后的各日龄中不尽相同。在第 1 日龄蛾中, 取食与不取食这两组蛾在持续飞行时间上相差 0.1 小时, 而在平均飞行速度和累计飞行时间上则相差较大, 平均速度分别是 1.34 和 0.69 米/秒, 相差近一倍, 累计飞行时间分别为 1.64 和 0.94 小时, 相差 0.7 小

时。到第4日龄,取食与否对飞翔能力的影响则极为明显,未取食的蛾飞行速度仅为0.89米/秒,正常取食的蛾是1.66米/秒,相差近一倍,尤其在持续飞行时间上相差更大,未取食的蛾一次只能持续飞行0.155小时,而取食的蛾可持续飞行11.23小时,相差14倍之多。从这些比较我们可以看出,粘虫蛾羽化后取食与否不仅影响雌蛾的卵巢发育(Dingle, 1974),而且对其飞翔能力也有极大的影响。我们认为,粘虫蛾的远距离迁飞要经过一段时间的取食,积累了一定的能量物质之后才能进行,而不会羽化后立即起飞。

3. 粘虫蛾羽化后每日的取食量随日龄的增长而变化

从粘虫蛾取食量的每天称重结果来看,蛾的取食量是随其日龄变化的(表2,图6),自羽化至第8日龄,第3天取食量最大,为0.235克/日,其次是第2日龄,日取食0.129克,其他各日龄的取食量在0.010—0.104克幅度内变化。

表2 粘虫蛾取食量、脂肪体含量测量结果

蛾日龄	项目 数 量 组 别	累计取食量 (克)	一日取食量 (克)	脂肪体含量 (微升)	一日脂肪体 消耗量 (微升)	卵巢发育级别*	一日累计 飞行距离
0	新羽化解剖组			26.783			
1	对照解剖组	0.104	0.104	22.439	4.343	1	
	饥饿测飞组			15.628	11.155	1	2.248
	饮水测飞组			15.013	11.770	1	11.012
	取食测飞组	0.104	0.104	16.332	10.451	1	7.989
2	对照解剖组	0.233	0.129	19.634	2.805	1	
	饥饿测飞组			12.498	3.130	1	7.730
	取食测飞组	0.233	0.129	14.875	7.564	1	12.947
3	对照解剖组	0.468	0.235	15.806	3.828	1—2	
	饥饿测飞组			10.348	2.150	1	3.087
	取食测飞组	0.468	0.235	12.853	6.781	1	17.324
4	对照解剖组	0.572	0.104	10.464	5.342	2—3	
	饥饿测飞组			3.315	7.033	2	2.217
	饮水测飞组			2.974		2	3.027
	取食测飞组	0.572	0.104	8.176	7.630	2	82.055
6	饥饿测飞组			0.478	1.337	3	0.280
	取食测飞组	0.718	0.040	1.508	3.400	3—4	26.355
8	取食测飞组	0.754	0.010	1.222	0.100	4	4.448

* 按北京大学昆虫学专业(1977)《昆虫生态学基础及害虫预测预报》的分级标准。

从上述结果可以看到,蛾在3日龄前的累计取食量就占8日龄总取食量的62%。我们认为,粘虫蛾进行远距离迁飞,要在3日龄前补充营养,积累能量物质。

4. 粘虫蛾羽化后每天的脂肪体消耗量随蛾日龄增长而变化

蛾体内脂肪体含量变化的图表明(图7),随着蛾日龄的增长,脂肪体含量逐渐减少。由于

在粘虫的成虫期, 其生命活动的方式和强度随蛾龄各不相同, 因而每天消耗的脂肪量也不均等, 是随蛾日龄的增长而不断变化的 (图 8), 其变化曲线具有两个峰, 第一个峰是羽化后的第 1 日龄, 脂肪体日消耗量是 10.45 微升。我们认为, 这一峰值的出现是蛾自蛹中羽化, 体内原有储备量, 以供展翅, 启动各个运动器官、觅食、短距离飞翔之用, 而在短时间内并不一定能找到蜜源得以补充营养, 这些活动就全靠储备的脂肪体来提供能量, 从而导致这一峰值的出现。第二个峰是 3—5 日龄, 位于第 4 日龄的峰值是日消耗脂肪体 7.63 微升。我们认为, 此峰是由于粘虫蛾进行远距离迁飞, 须振翅保持在一定水平上, 加剧了脂肪的消耗而产生的。

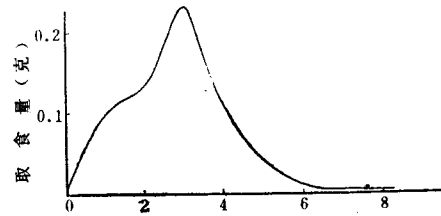


图 6 粘虫蛾各日龄食量的变化

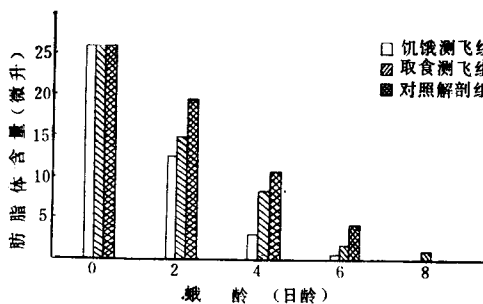


图 7 粘虫蛾体内脂肪体含量的变化

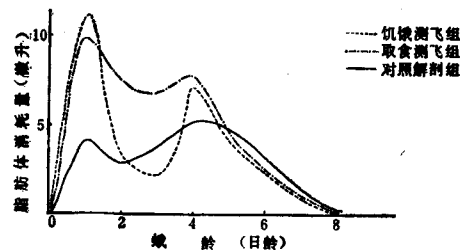


图 8 粘虫蛾脂肪体消耗量的变化

从蛾的脂肪体含量变化和各试验组间每天脂肪体消耗量的比较可以看到, 进行飞翔模拟测试的蛾与只作对照解剖不测飞的蛾相比, 无论是蛾体内脂肪体含量还是脂肪体消耗量都相差很大。测飞组蛾的脂肪体消耗量远高于对照解剖组, 体内含量均低于对照组。可想而知, 粘虫蛾飞行所需的能量一部分来自成虫取食所摄取的能量物质, 一部分则来自蛾体内的脂肪。

5. 气流极大地影响粘虫蛾的飞行

表 3 粘虫蛾在气流中的模拟飞翔测试结果

飞行速度		风速比值*		无风	比值	2米/秒	比值	4米/秒	比值	6米/秒	比值	8米/秒	比值	10米/秒
顺风	2 龄蛾	1.25	2.5	3.20	3.9	4.90	5.4	6.74	6.6	8.32	7.9	9.85		
	3 龄蛾	1.74	2.0	3.40	3.1	5.35	4.2	7.29	4.9	8.53	6.1	10.60		
	4 龄蛾	2.55	1.9	4.75	2.7	6.92	3.3	8.42	3.8	9.70	4.4	11.31		
逆风	2 龄蛾	1.25	0.7	0.90	0.0	0.02	-1.3	-1.60						
	3 龄蛾	1.74	0.6	1.06	0.0	0.00	-0.4	-1.60						
	4 龄蛾	2.55	0.7	1.83	0.0	0.06	-0.3	-0.85						

* 各栏中的比值, 为无风时粘虫蛾的飞行速度与后一栏风速条件下的蛾飞行速度的比值。

在小型风洞中模拟粘虫蛾在气流里飞行的结果 (表 3) 表明, 气流对蛾的起飞和飞行速度影响很大。当蛾逆风飞行时, 低速气流阻遏其飞行, 尽管这时蛾的振翅频率增加, 但是其

速度仍会降低, 2 米/秒的风就可使蛾减速1/3, 风速达 4 米/秒时, 蛾的飞行速度接近 0。当风速在 4 米/秒以上时蛾被吹得倒退 (飞行速度为负值)。当蛾顺风飞行时, 后面吹来的风大大有利于蛾飞行, 其飞行速度随风速加大而成倍增加, 6 米/秒的风可使蛾的飞行速度增加 2—4 倍以上, 风速与蛾飞行速度呈近于线性正相关 (图 9)。微风可刺激静止的蛾起飞, 而且这种刺激作用顺风强于逆风。

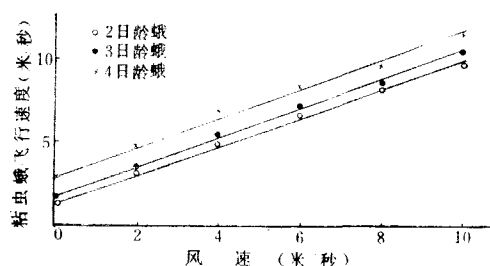


图 9 粘虫蛾飞行速度与风速的关系

从上面的结果不难看出, 粘虫蛾欲进行远距离迁飞, 单靠其内在飞行力而不借助气流是不可能实现的。4 日龄蛾飞行能力很强, 无风时, 一夜也只能飞行150多公里, 要是 10 米/秒的风, 蛾就可飞出670多公里。因此我们说粘虫蛾的远距离迁飞是主动加被动的。在 1、2 级风速条件下, 进行短距离迁飞可能主动性较强, 风力加大, 其主动性可能减弱甚至全部丧失。风速在10米/秒以上, 粘虫蛾基本上是被动地靠气流携带进行远距离迁飞的, 也就是说, 蛾的迁飞动能主要是大气环流的动能。

三、讨 论

我们设计的飞行模拟试验仪器比较经济, 简便易行, 而且结果基本上能反映昆虫的自然习性和飞行能力。从试验结果来看, 粘虫蛾各日龄飞行能力的变化得到了充分体现, 再从粘虫蛾一天当中的飞翔活动规律来看 (图10), 试验结果反映了自然界粘虫蛾的昼伏夜飞习性, 并且, 夜间显示的 3 个活动高峰与野外观察和室内观察的情况很符合。可见, 使用该仪器不仅经济简便, 而且又能同时测得昆虫的飞行能力并反映其习性, 可谓兼收并举, 省力可靠。即使考虑测飞器的极小摩擦力对飞行模拟的影响, 也可以作校正试验: 将蛾粘于杆端, 其飞行速度为 V_1 , 然后将蛾粘于杆中间, 其速度为 V_2 , 则蛾的实际飞行速度 $V=2V_1-V_2$ 。经试验证明, 其摩擦力很小, 可略而不计。

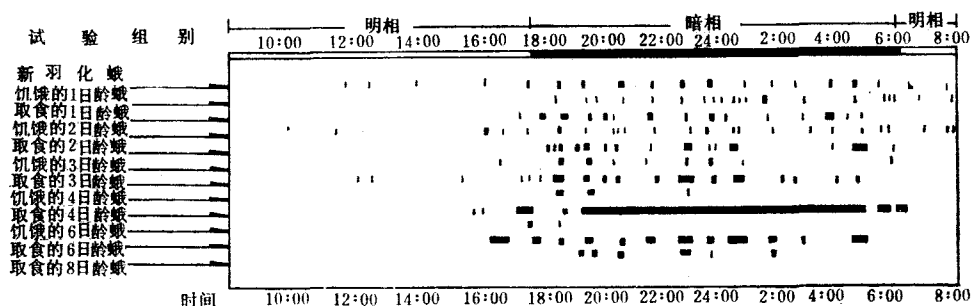


图10 粘虫蛾在进行试验的24小时的飞翔与静止相间的形式 (黑粗线表示飞翔)

综上所述, 我们认为, 用此方法进行昆虫的飞行试验有一定的实际意义和理论价值。本仪器如果加以改进, 使其更加轻巧, 精致完善, 则可以更广泛地用于多种迁飞性昆虫的迁飞行为、迁飞的生理生态机制、能量代谢等多方面研究, 也可作为昆虫生态学教学示范模型。

迁飞是昆虫向某一方向长距离的飞行行为, 这种行为的表现有其内在的生理生态机制。我们的工作涉及了粘虫迁飞的一些能量学和生理学等方面。根据试验结果, 我们认为蛾体内的脂肪体和成虫的补充食物是其飞行耗能的两个主要来源。1—3日龄时要补充营养, 从3日龄始起飞的可能性较大。因为昆虫迁飞的激素调节作用涉及蜕皮激素、脂动激素和保幼激素, 昆虫成虫羽化后, 在体壁硬化和取食阶段保持很低的激素分泌速率, 若2日龄前起飞, 不仅无充足的碳水化合物供应能量使其快速飞行达到一定的迁飞高度, 而且脂动激素还未释放, 脂肪体不能转化为飞行耗能, 则难以维持长时间飞行。至于飞行时间记录中我们看到的1、2日龄蛾饥饿的比取食的飞行次数多, 飞行时间短, 则可能因为饥饿会刺激保幼激素下降, 从而引起飞行次数增加, 而能量缺乏, 又使其持续飞行时间缩短。

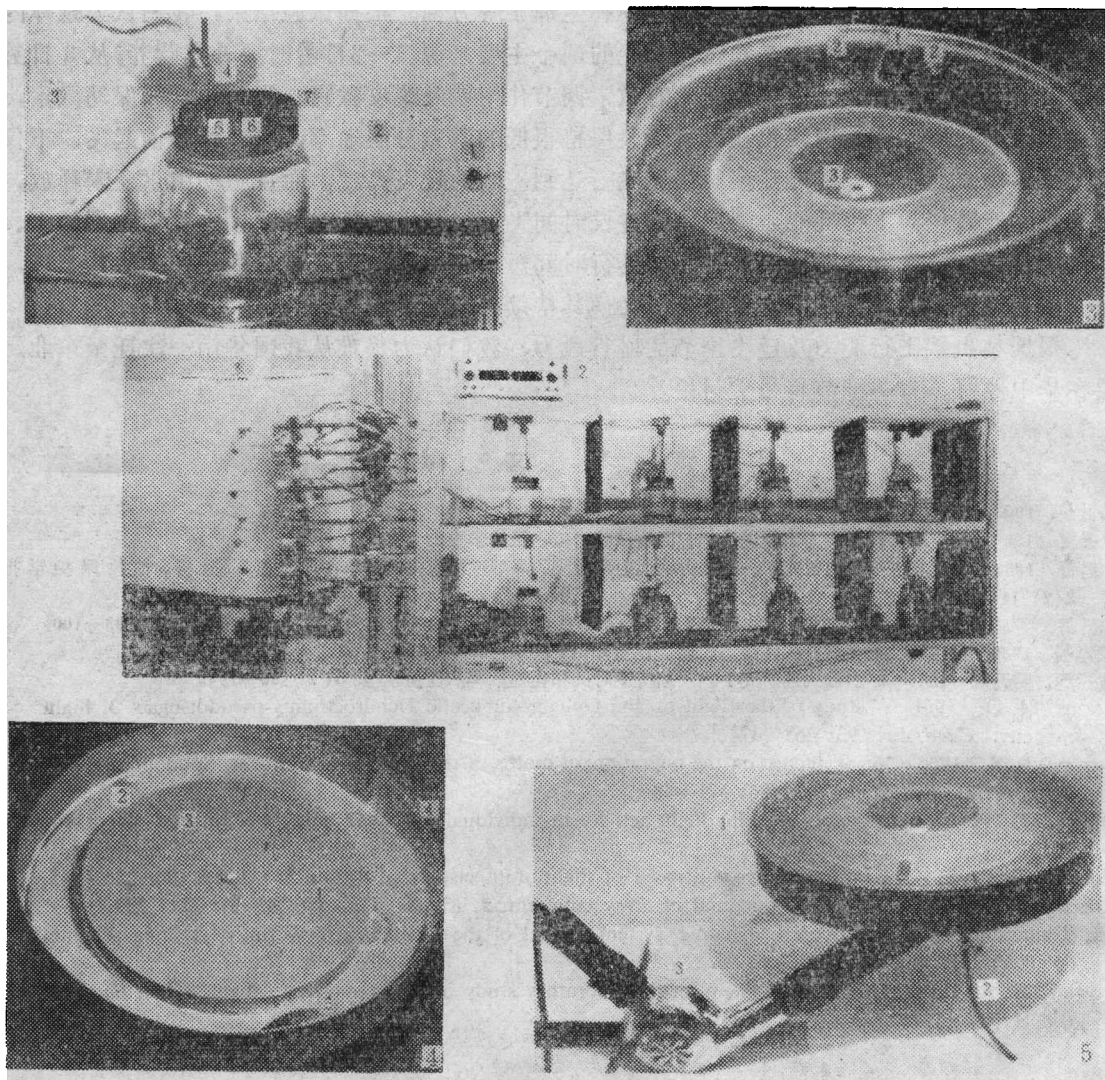
根据粘虫蛾飞行能力及迁飞季节的盛行风力, 我们认为很难从我国华南一次迁至东北, 要在华中停留。有关细节将另文讨论。

参 考 文 献

- 马世骏 1963 粘虫蛾迁飞的生理生态背景。科学通报 9:63—65。
李光博 1964 粘虫季节性迁飞为害假说及标记回收试验。植物保护学报3(2):101—109。
林昌善 1963 粘虫发生规律的研究Ⅳ。与粘虫蛾远距离迁飞的降落过程有关的气象物理因素的分析。植物保护学报2(2):111—122。
林昌善、张宗炳 1964 粘虫发生规律的研究Ⅴ。粘虫季节性远距离迁飞的一个模式。植物保护学报3(2):93—100。
张孝羲 1980 昆虫迁飞的类型及生理生态机制。昆虫知识17(5):236—239。
黄冠辉、侯无危 1966 粘虫蛾飞翔研究Ⅰ。飞翔持续时间和振翅频率。昆虫学报15(2):96—104。
Atkins, M. D. 1961 A study of the flight of the Douglas-fir beetle *Dendroctonus pseudotsugae*. 3. flight capacity. *Cand. Ent.* 93: 467—474.
Browne, E. S. 1966 New evidence on the migration of moths of the African armyworm, *Spodoptera exempta* (Wlk). *Bull. Ent. Res.* 56: 571—684.
Dingle, H. 1967 Some factors affecting flight activity in individual milkweed bugs. *J. Exp. Biol.* 44: 335—343.
Hocking, B. 1953 The intrinsic range and speed of flight of insects, *Tran. R. Ent. Soc. Lond.* 104: 225—345.
Koerwitz, F. L. 1964 Migratory potential of army cutworm. *J. Kansas. Ent. Soc.* 37 (3): 234—239.
Lin Changshan. 1981 Proposed dynamic system model of the Oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker). (In press).
Rowley, W. A. 1968 A flight mill system for the laboratory study of insect mosquito flight. *Ann. Ent. Soc. Am.* 1507—1514.

胡伯海等：粘虫迁飞模拟试验

图版 I



1. 测飞器：1.粘虫蛾； 2.测飞器平衡杆； 3.锡块； 4.光源； 5.硅光电二极管； 6.套管； 7.蜡盘。
2. 飞行模拟测试装置：1.自动记录器； 2.电源； 3.测飞器组合。
3. 风洞上壳：1.出风口； 2.测速孔； 3.光源。
4. 风洞下壳：1.进风口； 2.粘虫蛾； 3.平衡杆； 4.凡士林封口处。
5. 小型圆形风测飞组合：1.风洞整体； 2.风洞支架； 3.吹风机。

EXPERIMENTS ON THE FLIGHT ACTIVITY OF THE ORIENTAL ARMYWORM MOTHS, *MYTHIMNA* *SEPARATA* (WALKER)

HU BOHAI LIN CHANGSHAN

(Department of Biology, Beijing University)

This paper gives a brief account of the results of our experiments on the effects of the age, physiological condition (e. g. hunger), and wind speed on the flight activity of the Oriental armyworm moths. Our experiments show that the flying ability of armyworm moths varies with their maturity after the emergence of the pupa. The flight capacity of moths is at the highest peak during 3—5 days of age. The duration of their continuous flying varies from 0.27 to 11.23 hours per day during 1—8 days of age. The average flying speed is between 1.3 and 1.7 meters per second, while the fastest flying speed may reach to 3.6 meters per second. The range of average continuous flying distance is between 1.48 and 72.85 kilometers and some exceptional ones may fly as long as 27.85 hours without any break. Under the windless weather, these moths may fly as far as 205.35 kilometers.

The air current has a great influence on the flight of armyworm moths. Their flying speed is reduced when they fly windward. The wind speed of 4 meters per second might push flying moths backward. While moths fly downwind, the speed of their flight may be doubled and redoubled.

In addition to the effects of the age and wind condition, this paper deals with the effect of hunger on the moths' flying capacity, and the changes of the fat content of armyworm moths during their migratory period.

(上接376页)

本书由 Hugh Syngé 编辑, 计500余页, 共收集文章42篇, 上面仅介绍主要部分。1981年由英国约威利父子有限公司出版。

稀有植物的保护是一项新兴的研究课题, 它最初出于植物分类学家的关心, 随着人们对自然资源开发利用的加速, 已扩大到生态学、植物种群学、植物社会学、环境学、自然保护学等各领域, 因为了解稀有种的性质需要分析复杂的生物学和环境因子。本书表明了只知道某种植物处在危机中是不够的, 在制定保护方案之前, 必须知道: 一个种由于什么原因处于危机; 其种群正在起什么变化; 它的生态需要是什么; 演替中属于什么阶段; 在生活史中属于哪一阶段被阻碍等等。

对于“稀有”的概念, 人们的理解不一, 在实际保护中, 必须要有统一规范。国际上广泛应用的是 IVCN 红皮书制定的标准, 许多国家也编制了本国的红皮书。当前, 国内对环境保护和自然资源合理开发利用的呼声很高, 保护稀有种是其中必然涉及到的中心问题之一, 所以本书无疑地将对我国生态学、种群生物学、植被科学和自然保护等科学工作者在理论和实践上会有很大的启发和借鉴。

鲍显诚 (中国科学院植物研究所)