

温、湿度综合效应对粘虫蛾飞行能力的影响

江幸福, 蔡 彬, 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:采用 D-饱和最优理论设计系统研究了不同温、湿度组合对粘虫蛾飞行能力的影响以及其与不同蛾龄、性别成虫飞行能力之间的关系。拟合的 5 日龄蛾吊飞 12 h 的飞行距离与温、湿度的回归方程式为: $\hat{Y}=60.20-16.53X_1+1.99X_2-26.98X_1^2-7.03X_2^2-0.64X_1X_2$ (\hat{Y} 代表飞行距离(km), X_1 代表温度编码值, X_2 代表相对湿度编码值)。粘虫蛾飞行的最适温、湿度分别为 18.1℃、69.7%RH, 适于成虫飞行的适宜温度范围为 18~26℃, 相对湿度范围为 55%~75%, 高于或低于这些范围, 成虫飞行能力便会受到不利的影响, 并且温度对粘虫蛾飞行的影响要比湿度大。这与单因素试验(温度或湿度)结果基本一致。成虫飞行能力受温、湿度影响程度会因蛾龄及性别而异, 高日龄成虫在高温、低湿的条件下飞行能力较低日龄成虫弱。雌蛾在高温条件下的飞行能力比雄蛾强, 而雄蛾在不适宜的湿度条件下飞行能力较雌蛾强。

关键词:粘虫; 温度; 湿度; D-饱和最优理论设计; 飞行能力

Influences of temperature and humidity synthesize on flight capacity in the moths of Oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker)

JIANG Xing-Fu, CAI Bin, LUO Li-Zhi, CAO Ya-Zhong, LIU Yue-Qiu (Institute of plant protection, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100094, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(4): 738~743.

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 well known migratory noctuids 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 formed into relative conclusions, the results obtained just depended on the unique factor either flight temperature or humidity, the integrated effects of flight temperature and humidity on flight capacity have not investigated. On the basis of D-saturation optimum theoretical design test and through computer simulation statistics we obtained the optimum scope of combination of flight temperature and humidity and carried out a

基金项目: 国家“973”资助项目(G2000016206)

收稿日期: 2002-04-30; 修订日期: 2002-12-28

作者简介: 江幸福(1970~), 男, 安徽怀宁人, 博士, 主要从事昆虫迁飞行为的生理、生态调控机制以及害虫综合防治研究。

* 刘悦秋, 现于北京农学院园林系任教。

Foundation item: Supported by “973” National Project

Received date: 2002-04-30; **Accepted date:** 2002-12-28

Biography: 江幸福, Ph. D., Mainly engaged in the mechanism of ecological and physical regulation in insect migratory behaviors and pest integrated management.

multifactorial regression equation. The moths exhibited great flight capacity when they flew under temperature of 18~22 C and relative humidity of 65%~85%, But their flight capacity was suppressed when the ambient temperature and humidity beyond these scopes. And the multifactorial regression equation derived from the data was: $\hat{Y} = 60.20 - 16.53X_1 + 1.99X_2 - 26.98X_1^2 - 7.03X_2^2 - 0.64X_1X_2$. Where \hat{Y} , X_1 , X_2 represent flight distance of the moth in kilometers, temperature (C) and relative humidity (%), respectively. Further studies on the effects of sole factor either temperature or humidity on the moth's flight capacity confirmed these results. Effects of temperature and humidity on the flight capacity of the moths were, however varied with the age and sex of the moths. In generally, young moths were less affected than old moths at high temperature and low humidity. Females were less affected by temperature but males were less affected by humidity.

Key words: *Mythimna separata* (Walker); temperature; humidity; D-saturation optimum theoretical design; flight capacity

文章编号:1000-0933(2003)04-0738-06 中图分类号:S435 文献标识码:A

粘虫 *Mythimna separata*(Walker)是我国粮食作物的重大害虫,具有远距离迁飞习性。根据野外标记回收试验结果,其最长的直线距离达 1400 km^[1]。在室内可连续飞行 40 余小时,飞行距离可达 430 余公里。但粘虫迁飞(飞行)能力并不是一成不变的,不仅会受到成虫本身的生理状态如交配、产卵、发育程度等因素的影响^[2],而且与其所处的环境条件如温度^[3]、湿度^[4]、光周期^[5]等密切相关。已有研究结果表明,环境温度、湿度对粘虫蛾飞行能力均有显著的影响,粘虫蛾不仅起飞需要一定的温度阈值,而且在迁飞过程中还具有飞行的适宜温、湿度范围和最适温、湿度^[3,4]。这些结果无疑对揭示粘虫迁飞行为机制以及行为规律起到了重要的作用,但值得一提的是,已有的温、湿度对粘虫蛾飞行的影响均是在单因素试验下获得的,即是在适宜的温(湿)度条件下,进行不同的湿(温)度试验,而不同温、湿度组合对粘虫蛾飞行的综合作用以及温、湿度对不同蛾龄、性别的粘虫蛾飞行能力的影响还未见报道,本文将采用温度、湿度组合的 D-饱和最优设计方法^[6,7],全面、系统研究温、湿度综合效应对粘虫蛾飞行的影响及其与蛾龄、性别之间的关系,现总结如下。

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 温度、湿度组合的 D-饱和最优理论设计

编码采用线性尺度,无重复。试验因素及编码如表 1,温度与编码值的线性关系为 $y=12x+22$,湿度与编码值的线性关系为 $y=30x+65$ 。

1.3 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。飞行能力测试采用昆虫飞行磨系统,吊飞方法同江幸福等^[8]。

2 结果分析

2.1 温、湿度对粘虫蛾飞行能力的影响

2.1.1 温、湿度组合 粘虫蛾产卵前期有 7d 左右,

其起飞迁出万寿菊数据化后的第 2 天~第 3 天晚上进行^[9],为了明确温、湿度对运转过程中的粘虫蛾飞行能力的影响作用,选用室内配对饲养的 5 日龄雌蛾为试验对象。按照 D-饱和最优设计,将 5 日龄雌蛾在表

| Table 1 Experiment factors and value of level coding | | |
|--|-------------|----------|
| 编码值 | 温度(C) | 湿度(%) |
| Value of coding | Temperature | Humidity |
| 1 | 34 | 95 |
| 0.395 | 26.7 | 76.9 |
| -0.1315 | 20.4 | 61.1 |
| -1 | 10 | 35 |

2 中所设 6 种温、湿度组合条件吊飞 12 h 结果列于试验结构矩阵中,再根据“206”设计 C 表^[6,7],得到温、湿度对粘虫蛾飞翔活动影响的回归方程式为: $\hat{Y} = 60.20 - 16.53X_1 + 1.99X_2 - 26.98X_1^2 - 7.03X_2^2 - 0.64X_1X_2$ 。(Y 代表 5 日龄雌蛾 12 h 的飞行距离(km), X_1 代表温度编码值, X_2 代表相对湿度编码值)。

用 X^2 测验测定其显著性得 $X^2 = 0.0072$,查 X^2 分布表得 $X_{0.05}^2 = 11.07$,因 $X^2 < X_{0.05}^2$,故差异不显著,即理论值与实际值相吻合,表明回归式能反映实际情况。

表 2 试验结构矩阵及试验结果

| Table 2 Frame matrix for flight distances of the 5-days adults of Oriental armyworm | | | | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|----------|-------|----------------|
| 序号 No. | X_1 | X_2 | X_1^2 | X_2^2 | X_1X_2 | Y(km) | \hat{Y} (km) |
| 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 39.94 | 40.09 |
| 2 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 8.43 | 8.31 |
| 3 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | 45.45 | 45.35 |
| 4 | -0.1315 | -0.1315 | 0.0173 | 0.0173 | 0.0173 | 61.59 | 61.51 |
| 5 | 1 | 0.3945 | 1 | 0.1556 | 0.3945 | 16.38 | 16.13 |
| 6 | 0.3945 | 1 | 0.1556 | 1 | 0.3945 | 44.41 | 44.19 |

进一步对回归方程中 X_1 、 X_2 取偏导数,并令其等于零,经运算整理、解方程组得 $X_1 = -0.3248$, $X_2 = 0.1563$ 。将此水平值分别换算为温、湿度值为 18.1 和 69.7,这表明粘虫蛾在 18.1℃、69.7%条件下飞行距离达到最大值。从回归方程中还可看出,由于 X_1 的系数绝对值大于 X_2 系数绝对值,这说明温度对粘虫蛾飞行的影响要比湿度大。

将相对湿度分别为 35%、55%、75%、95%、温度分别为 10℃、18℃、26℃、34℃共 16 种温、湿度的组合代入回归式,所获模拟结果(图 1)表明,当温度相同时,不同湿度条件下粘虫蛾飞行距离在适宜湿度(55%~75%RH)下较长,低于或高于这个范围均不利于成虫飞行。同样,当湿度相同时,不同温度下粘虫蛾飞行距离在 18~26℃条件下较长,温度过低或过高均不利于成虫飞行。

不同温、湿度组合中,低温低湿(10℃,35%RH)、高温高湿(34℃,95%RH)、低温高湿(10℃,95%RH)、高温低湿(34℃,35%RH)条件下粘虫蛾飞行距离相对都较小,其中高温高湿、高温低湿尤其明显,说明虽然温度和湿度对成虫飞行的影响是相互依赖的,但在一定的条件下,温度对成虫飞行的影响比湿度要大。

2.1.2 温度 为进一步验证拟合温、湿度回归方程的

准确度,对 3 日龄雌蛾在相对湿度 70%~85%,不同飞行温度下吊飞 12 h 结果表明,在试验温度范围内,粘虫蛾均能进行正常的飞行活动(表 3),但不同温度下成虫飞行能力有极显著的差异($P < 0.01$)。低温 10℃下成虫平均仅分别能飞行 0.07 h 和 0.10 km,最大飞行速度为 0.48 m/s,14℃条件下飞行距离上升到 3.64 km,但与 10℃下的差异不显著($P > 0.01$),18℃时成虫飞行能力明显上升,18~22℃是最适宜的飞行温度,飞行距离达到 27.64 km 和 41.95 km,平均飞行时间高达 8 h 以上。高于 26℃时,成虫飞行能力明显降低($P < 0.01$),至 34℃时成虫仅分别能飞行 3.49 h 和 2.54 km,飞行速度和时间也显示同样的趋势。表明温度对粘虫蛾飞行能力有明显的影

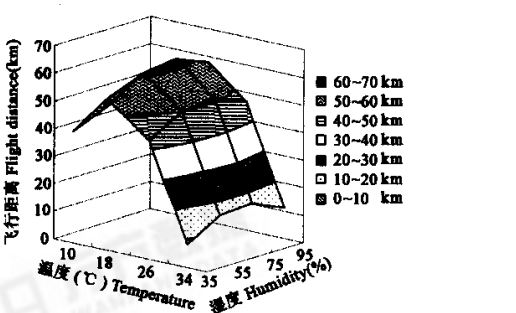


图 1 粘虫蛾飞行距离与温、湿度的关系
Fig. 1 Relationship between the flight distance of Oriental armyworm and the flight temperature and relative humidity

2.1.3 湿度 对 3 日龄雌蛾在 22℃、相对湿度为 35%、55%、75%、95%条件下吊飞 12 h 结果表明(表 4),

在 35%~55%RH 条件下,粘虫蛾的飞行能力较低且差异不显著,湿度上升到 75%RH 时,飞行能力显著增强,明显高于其它湿度的,但当湿度提高到 95%RH 后,成虫的飞行能力又极显著下降($P<0.01$),这些结果表明,湿度过高或过低均不利于成虫的飞行,这与曹雅忠等^[4]的研究结果基本一致且与回归方程拟合结果也基本符合。

表 3 温度对粘虫蛾飞行能力的影响(3 日龄雌蛾,相对湿度 70%~85%)

| Table 3 Influences of ambient temperature on flight capacity of 3-days adults of Oriental armyworm | | | | | | | |
|--|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-------|-----------|-------|
| 温度(℃) | 测试虫数 | 平均飞行距离(km) | 平均飞行时间(h) | 平均最大飞行速度(m/s) | | | |
| Temperature | Num. of adults tested | Flight distance | Flight duration | Maximums flight speed | | | |
| 10 | 12 | 0.10±0.04 | d D | 0.07±0.23 | e E | 0.48±0.11 | d C |
| 14 | 12 | 3.64±1.34 | d D | 3.68±0.51 | d D | 1.24±0.49 | bc BC |
| 18 | 12 | 27.64±3.54 | b B | 8.29±0.06 | a A | 1.71±0.37 | ab AB |
| 22 | 12 | 41.95±2.62 | a A | 8.33±0.19 | a A | 2.18±0.12 | a A |
| 26 | 12 | 13.36±4.89 | c C | 7.17±0.12 | ab AB | 1.36±0.20 | bc B |
| 30 | 12 | 11.96±3.38 | c C | 6.03±0.75 | bc BC | 1.14±0.92 | bc BC |
| 34 | 12 | 2.54±0.66 | d D | 3.49±0.64 | d D | 1.12±0.31 | cd BC |

表 4 湿度对粘虫蛾飞行能力的影响(3 日龄雌蛾,22℃)

| Table 4 Influences of ambient humidity on flight capacity of 3-days adults of Oriental armyworm | | | | | |
|---|-----------------------|-----------------|-----------------------|-----------|-----|
| 相对湿度(%) | 测试虫数 | 平均飞行距离(km) | 平均最大飞行速度(m/s) | | |
| Humidity | Num. of adults tested | Flight distance | Maximums flight speed | | |
| 35 | 12 | 12.48±1.01 | c C | 1.89±0.10 | b B |
| 55 | 12 | 13.28±1.49 | c C | 1.95±0.49 | b B |
| 75 | 12 | 41.02±3.42 | a A | 2.17±0.11 | a A |
| 95 | 12 | 23.50±8.03 | b B | 1.94±0.68 | b B |

2.2 温、湿度对不同日龄成虫飞行能力的影响

以上试验结果表明温、湿度对粘虫蛾特定日龄成虫飞行能力有显著的影响,但对不同日龄成虫飞行能力的影响作用是否一致?通过对适宜温、湿度条件下(18℃,60%RH)不同日龄雌蛾吊飞 12 h 结果表明,1 日龄雌蛾飞行距离最小,3 日龄时飞行距离有少量增加,但都不超过 10 km,5~7 日龄达到飞行距离的最大值,其值在 50~80 km 之间,到 9 日龄之后,成虫的飞行距离又明显下降(图 2)。这一趋势并不是固定不变的,当飞行的温、湿度条件发生变化时,它也发生相应的变化,如在 30℃、35%RH 时,成虫飞行能力最强的日龄为 3~5 日龄,而在 30℃、95%RH 时,成虫飞行最强的日龄则为 5~7 日龄(图 1)。同样,飞行环境湿度相同,温度不同时,成虫的飞行能力也不一样,在 35%RH、15℃条件下,成虫飞行距离随日龄的变化趋势与适宜温、湿度条件下基本一致,即在 5~7 日龄时飞行能力最强,但当温度上升到 30℃时,3~5 日龄成虫的飞行能力最强,且 1 日龄的飞行能力也较适宜温、湿度条件下的增强。根据这些结果可以认为,粘虫飞行的环境温、湿度不仅会影响到成虫的飞行能力,而且也会使成虫飞行能力最强时的蛾龄产生变化。因此,不同日龄的成虫飞行能力对温、湿度的反应是不一样的。

2.3 温、湿度对不同性别成虫飞行能力的影响

既然温、湿度对不同日龄成虫的飞行能力有不同的影响,那么对不同性别成虫的飞行能力的影响是否有差异?对 30℃、35%RH、不同温度条件下雌、雄成虫的飞行能力进行了测试,所获结果(图 3)表明,在 15℃条件下,雌、雄蛾的飞行能力差异不明显,但随着温度的增高,雌蛾的飞行能力逐渐比雄蛾强。以飞

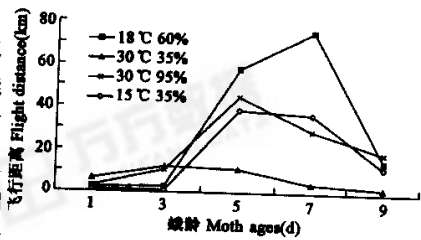


图 2 温、湿度对不同日龄粘虫蛾飞行能力的影响
Fig.2 Influences of ambient temperature and humidity on flight distances of Oriental armyworm

行距离为指标,15℃时,雌、雄蛾飞行距离之比约为1.00,20℃、25℃时比率分别为1.08、1.06,到了30℃,比率增至1.31,35℃时,比率达到最大值2.74。以飞行时间为指标,也表现为相同的趋势,其中在30℃、35℃条件下,无论是雌蛾还是雄蛾都出现没有飞完12h便死亡的蛾子。这说明雌蛾的飞行能力比雄蛾强,这种差异随温度的升高而逐渐明显,从而也表明雌蛾较雄蛾更耐高温。

对适宜温度(18℃)、不同环境湿度下雌、雄成虫飞行能力的测定结果表明,环境湿度对雌、雄蛾的飞行能力也有较大影响,但雄蛾所受的影响不如雌蛾明显(图3)。在65%RH条件下,雌蛾的飞行距离大于雄蛾,而35%RH、95%RH时,雄蛾的飞行距离则大于雌蛾。从雌、雄成虫飞行距离的比率看,65%RH时最大,为1.03,其次是95%RH,最低是35%RH,为0.41,由此可以看出,雌蛾飞行对环境湿度的要求比雄蛾严格。

3 讨论

粘虫蛾最佳飞翔能力的发挥取决于所处的环境条件,无论是环境温度还是空气相对湿度对粘虫蛾飞行的影响都非常明显,这些结果与张志涛、曹雅忠等的研究结果相同^[2,3]。通过不同温、湿度组合对粘虫蛾飞翔的影响研究结果再次证实了上述结果,而且表明温度、湿度对成虫飞翔的影响是相互依赖的,也就是说,在一定的温度条件下,湿度对成虫的飞行起着决定作用,而在一定的湿度条件下,温度起着主要的作用,因此只有在较适宜的温、湿度组合条件下,粘虫蛾的飞行能力才能得到最好的表现,但从温、湿度对粘虫蛾飞行能力的影响程度来看,温度对粘虫蛾飞行的影响要比湿度大些。

尽管温、湿度对粘虫蛾飞行有显著的影响,但其影响作用也会因蛾龄和性别不同而异。相比较而言,温、湿度对高日龄成虫飞行能力的影响要大一些,而对低日龄成虫的影响要小一些。而就性别而言,温度特别是高温对雄蛾飞行的影响要大一些,而湿度对雌蛾飞行的影响要大一些。产生这些差异的原因可能与不同生理状态(蛾龄、性别)的粘虫蛾在不同温、湿度条件下飞行时对飞行能源物质的动用能力有差异相关,已有研究表明,粘虫蛾飞行能源物质消耗会因蛾龄及性别不同而异。高温下飞行时,雄蛾比雌蛾消耗的能源物质多^[10],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。而在高湿或低湿条件下,雌蛾比雄蛾消耗的多^[10],这也与飞行能力的测定结果相一致,也表明雌蛾对飞行环境湿度的要求比雄蛾严格。

本文回归方程只是在特定的状态(如蛾龄、性别)所获得的,由于温、湿度组合对不同蛾龄及性别的粘虫蛾飞行能力有较大的影响,特别是蛾龄过低或过高,因此不可能用此模型来描述所有状态下成虫的飞行能力。另外,粘虫蛾飞行的适宜温、湿度范围来推测其迁飞的“空中走廊”高度,按照平均每升高100m,温度降低约0.65℃推测^[11],粘虫蛾迁飞的高度与地面温度相关,反映在不同季节、不同地点的迁飞高度不同,如以东北地区6~8三个月地面平均地面温度约20℃推测^[12],则其迁飞的高度应在300m左右,这与林昌善等(1963)对粘虫蛾迁飞与气流场的关系的分析认为东北地区粘虫蛾迁飞高度约在900~950mb(即400~900m)层气流场似乎不太一致,当然昆虫迁飞的“空中走廊”会受到冷锋锋、气旋以及降雨等天气因素的显著影响,并且由于本试验数据均是在室内吊飞情况下获得,其与自然界中粘虫蛾迁飞行为相符程度还有待于进一步验证。

References:

[1] Li G B, Wang H X, Hu W X. Route of the seasonal migration of the Oriental armyworm moth in the eastern part of china and its influence on a three-year result of releasing and recapturing of marked moths. *Acta Phytophylacica Sinica*, 1964, 3(2):101~110.

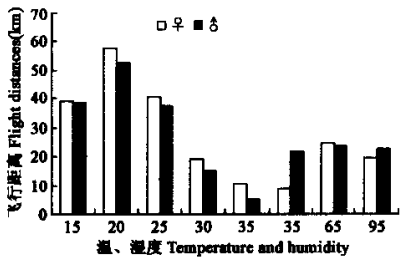


图3 温、湿度对不同性别粘虫蛾飞行能力的影响
Fig.3 Influences of ambient temperature and humidity on flight distances of Oriental armyworm

[2] Luo L Z,Li G B,Hu Y. Relationship between flight capacity and oviposition of oriental armyworm *Mythimna separata* (Walker). *Acta Entomologica Sinica*,1995, **38**(3): 284~289.

[3] Zhang Z T,Li G B. A study on the biological characteristics of the flight of the Oriental armyworm *Mythimna separata* (Walker). *Acta Phytophylacica Sinica*,1985, **12**(2): 93~100.

[4] Cao Y Z,Huang K,Li G B. Influences of ambient flight humidity on flight movement of the Oriental armyworm *Mythimna separata* (Walker). *Acta Phytophylacica Sinica*,1995, **22**(2): 134~138.

[5] Cao Y Z,Li G B,Hu Y. Effect of photoperiod on reproduction and flight of oriental armyworm *Mythimna separata* (Walker). *Acta Ecologica Sinica*,1997, **17**(4): 402~406.

[6] Xu Z Y ed. Optimum Regression Design for agriculture test. Haerbin:Helongjiang Science and Technology Press, 1988.

[7] Ding X Q ed. Regression Design for agriculture application. Jilin:Jilin Science and Technology Press,1986.

[8] Jiang X F,Luo L Z,Hu Y. Influences of rearing temperature on the flight and reproductive capacity of adult Oriental armyworm *Mythimna separata* (Walker). *Acta Ecologica Sinica*,2000, **20**(2): 288~292.

[9] Luo L Z,Jiang X F,Li K B, *et al.* Influences of flight on reproduction and longevity of the Oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker). *Acta Entomologica Sinica*,1999, **42**(2): 150~158.

[10] Cai B,Jiang X F,Luo L Z,*et al.* Influences of temperature and humidity on utilization of energy substances during flight in the moths of Oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker). *Acta Ecologica Sinica*,2002, **22**(7): 1068~1074.

[11] Wang B T, Jiang G H, Gong F J,eds. Agriculture meteorology. Shanghai:Shang Hai Science and Technology Press,1988.

[12] Beijing meteorological observatory data center ed. Climate data on the ground in china (northeast). Beijing: Meteorology Press,1983.

[13] Lin C S. Studies on the regularity of the outbreak of the oriental armyworm. *Acta Phytophylacica Sinica*,1963, **2** (2): 111~122.

参考文献:

[1] 李光博,王恒祥,胡文绣. 粘虫季节性迁飞为害假说及标记回收试验. 植物保护学报,1964, **3**(2): 101~110.

[2] 罗礼智,李光博,胡毅. 粘虫飞行与产卵的关系. 昆虫学报,1995, **38**(3): 284~289.

[3] 张志涛,李光博. 粘虫飞翔生物学特性初步研究. 植物保护学报,1985, **12**(2): 93~100.

[4] 曹雅忠,黄葵,李光博. 空气相对湿度对粘虫飞翔活动的影响. 植物保护学报,1995, **22**(2): 134~138.

[5] 曹雅忠,李光博,胡毅. 光周期对粘虫生殖与飞翔影响的初步研究. 生态学报,1997, **17**(4): 402~406.

[6] 徐中儒编. 农业试验的最优回归设计. 黑龙江科技出版社,1988.

[7] 丁稀泉编. 回归设计在农业上的应用. 吉林科技出版社,1986.

[8] 江幸福,罗礼智,胡毅. 饲养温度对粘虫蛾飞行与生殖能力的影响. 生态学报,2000, **20**(2): 288~29.

[9] 罗礼智,江幸福,李克斌,等. 粘虫飞行对生殖及寿命的影响. 昆虫学报,1999, **42**(2): 150~158.

[10] 蔡彬,江幸福,罗礼智,等. 温、湿度对粘虫蛾飞行能源物质及其利用的影响. 生态学报,2002, **22**(7): 1068~1074.

[11] 王炳庭,江广恒,贡复俊编. 农业气象学. 上海:上海科技出版社,1988.

[12] 北京气象中心资料室编. 中国地面气候资料 (东北区). 上海:气象出版社,1983.

[13] 林昌善. 粘虫发生规律研究. 植物保护学报,1963, **2**(2): 111~122.