

中国七星瓢虫群聚和迁飞的数学分析*

阎浚杰 蔡晓明 尚玉昌

(河北林学院)

(北京大学生物系)

于秀林 卢崇飞

(北京大学数学系)

摘 要

自1976年首次在秦皇岛海岸发现七星瓢虫的群聚现象以来,又经过连续8年的广泛研究,进一步讨论了七星瓢虫在黄、渤海域的群聚范围、群聚数量、群聚规律以及迁飞等问题。本文的重点是试图从数学上论证七星瓢虫的迁飞,并进一步预测预报七星瓢虫的群聚日期,以便为群聚七星瓢虫的利用奠定基础。

根据可能有关的因子设64个自变量,2个因变量,通过反复计算,大量筛选可能与虫情有关的气象因子,结果入选的气象因子说明,群聚瓢虫是迁飞过程中迫降入海,并由风浪推上海岸的。经过用双层筛选逐步回归和逐步判别两种数学方法去筛选自变量,结果基本上是一致的。因此从定量角度对七星瓢虫的群聚和迁飞给出了论证。并说明七星瓢虫的群聚与近期气象条件密切相关,可以利用短期或中期气象预报代入判别式进行群聚的预测预报。

中国七星瓢虫 (*Coccinella Septempunctata*) 具有明显的群聚现象,其群聚数量之大,群聚范围之广是惊人的,对此我们曾作过报道(蔡晓明等,1980;阎浚杰等,1983)。

通过1976—1983年追踪海域群聚瓢源的研究,发现黄、渤海海域群聚瓢虫与千里之外的内陆同种瓢虫种群动态密切相关,而海内群聚瓢虫与近海陆地同种瓢虫种群的发育时期则截然不同(蔡晓明等,1980;尚玉昌等,1980);经过地面和高空气象资料分析,讨论了海域群聚瓢虫迁入的动态条件(阎浚杰等,1980)。本文的重点是试图进一步从数学上分析七星瓢虫的迁飞。通过反复计算,大量筛选可能与虫情有关的气象因子,结果说明,群聚瓢虫是在迁飞过程中迫降入海,并由风浪推上海岸的。

七星瓢虫是蚜虫的重要天敌,蚜虫是农林业的大害虫。通过预测预报七星瓢虫群聚的时间、地点和数量,可供生产部门及时收集以便用于防治农田、果园及林地的多种蚜虫;关于七星瓢虫的迁飞,至今国际尚无报道,因此研究七星瓢虫的群聚与迁飞问题,具有一定的实践意义;若能证实为远距离迁飞,则又具有理论意义。

一、材料与方 法

1. 海域群聚现象的调查

在黄、渤海约3,700公里长的海岸线上共抽查16处,其中15处发现有七星瓢虫群聚现象,在11处进行了群聚过程的现场记录。

*曾于1984年11月6—12日中日统计学术讨论会(China-Japan Symposium on statistics)上作过部分介绍。

在沿岸普查的基础上, 于秦皇岛海滨设中心观测点, 进行连年定点观测。

2. 中心观测站及样方布置

试验样方设在变动的潮间带高潮线上, 每日上下午各取样调查一次, 调查后把5个样方 (L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 、 L_5) 的观测值相加求出算术均值, 记为 y_1 (上午), y_2 (下午), 分别为该次七星瓢虫上岸的数量, 即:

$$y_1 = \frac{1}{5} (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5) \text{ 虫量/米}^2$$

$$y_2 = \frac{1}{5} (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5) \text{ 虫量/米}^2$$

设 y_1 、 y_2 为 2 个因变量。

经过同气象学、海洋学、数学及生态学等方面专业人员讨论认为: 其中可能有 64 个因子与七星瓢虫群聚和迁飞有关, 故根据可能有关的因子设自变量 64 个, 即:

x_1 和 x_3 为当日和前日平均气温;

x_2 和 x_4 为当日和前日日较差;

x_5 — x_8 为当日 02、08、14、20 时相对湿度;

x_9 为当日平均相对湿度;

x_{10} — x_{13} 为前日 02、08、14、20 时相对湿度;

x_{14} 为前日平均相对湿度;

x_{15} 和 x_{16} 为当日云量总平均和低平均;

x_{17} 和 x_{18} 为前日云量总平均和低平均;

x_{19} 和 x_{20} 为当日 08、20 时降水量;

x_{21} 和 x_{22} 为前日 08、20 时降水量;

x_{23} 和 x_{24} 为前两日 08、20 时降水量;

x_{25} 和 x_{26} 为当日和前日表层水温;

x_{27} — x_{30} 为当日 08、11、14、17 时海况;

x_{31} — x_{34} 为前日 08、11、14、17 时海况;

x_{35} 和 x_{36} 为当日和前日最高潮减最低潮;

x_{37} 和 x_{38} 为当日地面和 850 毫巴天气图 (天气图上有时出现气旋和锋面系统天气条件组合, 若出现则赋值 1, 出现此种组合从生物学角度看, 迁飞瓢虫难以忍受, 将引起迫降, 不出现则赋值 0);

x_{39} 和 x_{40} 为前日地面和 850 毫巴天气图;

x_{41} 、 x_{42} 前两日地面和 850 毫巴天气图;

x_{43} 、 x_{44} 为当日 08 时风向角度的 $\cos$ 和 $\sin$ 值 (取正东向角度为 0, 各风向按逆时针方向计算与正东向的夹角, 再取 $\cos$ 和 $\sin$ 值, 这样将每个方向二维赋值);

x_{45} 为当日 08 时风速;

x_{46} 、 x_{47} 为当日 11 时风向角度的 $\cos$ 和 $\sin$ 值;

x_{48} 为当日 11 时风速;

x_{49} 、 x_{50} 为当日14时风向角度的cos和sin值;
 x_{51} 为当日14时风速;
 x_{52} 、 x_{53} 为当日17时风向角度的cos和sin值;
 x_{54} 为当日17时风速;
 x_{55} 、 x_{56} 为当日08时风浪向角度的cos和sin值;
 x_{57} 、 x_{58} 为当日11时风浪向角度的cos和sin值;
 x_{59} 、 x_{60} 为当日14时风浪向角度的cos和sin值;
 x_{61} 、 x_{62} 为当日17时风浪向角度的cos和sin值;
 x_{63} 日期数;
 x_{64} 为前日14时风速。

每日两组数据,共有实测数据148组,采用以下两种数学方法进行处理。

3. 数学方法

1) 双重筛选逐步回归法 将64个自变量全部进入,考察是否迁飞、迫降(非预测式)。

筛选自变量与筛选因变量的临界值分别取 $F_x = 1$ $F_y = 3$ 算得回归方程等:

y_1 (上午 虫数/米²) = $91.016521 - 0.382976653x_4$ (前日最大温差) - $0.828648818x_6$ (当日08时相对湿度) - $0.40836273x_{10}$ (前日02时相对湿度) + $0.255760597x_{18}$ (当日08时降水量) + $12.9804933x_{38}$ (当日850毫巴天气图) + $5.0927983x_{45}$ (当日08时风速) + $4.38256903x_{51}$ (当日14时风速) + $28.2353632x_{55}$ (当日08时风浪向cos值)。

y_2 (下午 虫数/米²) = $-144.7592 - 1.56946834x_5$ (当日02时相对湿度) + $0.626504618x_{10}$ (前日02时相对湿度) + $0.646641723x_{12}$ (前日14时相对湿度) + $0.756989700x_{18}$ (当日08时降水量) - $0.306082277x_{22}$ (前日20时降水量) + $0.721993127x_{28}$ (前日平均表层水温) + $14.9373899x_{45}$ (当日08时风速) - $15.3219684x_{47}$ (当日11时风向sin值) + $34.7565500x_{55}$ (当日08时风浪向cos值)。

筛选的结果与文献(蔡晓明等, 1980)的论述相一致。如 y_1 仅入选8个自变量,其中 x_{38} (当日850毫巴天气图)系数较大且取正号,这说明七星瓢虫由虫源地起飞之后,由南来的暖湿气流携带至秦皇岛附近的上空,遇冷高湿阴雨而迫降入海。 x_{18} (当日08时降水量)的效果亦是迫降。 x_{55} (当日08时风浪向的cos值)系数较大且取正号,而东向风浪正好将海中漂浮的瓢虫冲上岸边。其余入选的自变量为温差、相对湿度、风速等,可以解释与虫数有关,系数的正负号起构造回归式时的调节作用。特别是其中 x_{51} (当日14时风速)在时间上比 y_1 后移,因此,此式不可用于预测,但作为变量之间的关系式是允许的。回归式不完全是因果关系。例如两个强相关的变量可以由同一原因引起。而两者之间无因果关系。气象是多因子演变的有机整体,在构造逐步回归式时, x_{51} 与其他自变量组合可以顶替在时间上前移的某些气象因子。而这些因子可能是造成瓢虫迫降的原因。

与 y_2 (下午 虫数/米²)有关的自变量仅10个,保留3种相对湿度、3种降水量,表层水温以及风速、风向与风浪向。可以解释与迫降及冲上海岸有关。

2) 判别预测式

设:当日无虫为第一类

当日有虫为第二类

为了短时间预测, 将64个自变量中属当日08时以后者皆可删去, 仅保留20个如下:

x_3 前日平均气温;
 x_4 前日日较差;
 x_6 当日08时相对湿度;
 x_{11} 前日08时相对湿度;
 x_{12} 前日14时相对湿度;
 x_{19} 当日08时降水量;
 x_{21} 前日08时降水量;
 x_{22} 前日20时降水量;
 x_{26} 前日平均表层水温;
 x_{33} 前日14时海况;
 x_{39} 前日地面天气图;
 x_{40} 前日850毫巴天气图;
 x_{41} 前两日地面天气图;
 x_{42} 前两日850毫巴天气图;
 x_{43} 当日08时风向cos值;
 x_{44} 当日08时风向sin值;
 x_{45} 当日08时风速;
 x_{55} 当日08时风浪向cos值;
 x_{56} 当日08时风浪向sin值;
 x_{64} 前两日14时风速。

从总计148组数据中取出133组数据 (其中属于第一类有72组, 属于第二类有61组) 作为训练样本参与建立判别函数, 保留15组数据作为验证分类的优劣, 不参与建立判别函数。筛选变量对统计量的临界值 $F_2 = F_1 = 1$

计算出第一类的判别函数为:

$$f_1(x) = -43.381638 + 0.351164266x_4(\text{前日温差}) + 0.728819464x_{12}(\text{前日14时相对湿度}) + 3.30387702x_{33}(\text{前日14时海况}) - 4.17381132x_{39}(\text{前日地面天气图}) + 3.42271322x_{40}(\text{前日850毫巴天气图}) - 5.19627035x_{41}(\text{前两日地面天气图}) + 2.01557905x_{43}(\text{当日08时风向cos值}) + 1.25348217x_{44}(\text{当日08时风向sin值}) - 1.17331196x_{55}(\text{当日08时风浪向cos值})。$$

第二类判别函数为:

$$f_2(x) = -41.2990872 + 0.338428944x_4(\text{前日温差}) + 0.69455770x_{12}(\text{前日14时相对湿度}) + 3.5208689x_{33}(\text{前日14时海况}) - 2.33012737x_{39}(\text{前日地面天气图}) + 2.15979992x_{40}(\text{前日850毫巴天气图}) - 3.40868518x_{41}(\text{前两日地面天气图}) + 2.62767018x_{43}(\text{当日08时风向cos值}) + 0.83138612x_{44}(\text{当日08时风向sin值}) - 0.08869188x_{55}(\text{当日08时风浪向cos值})。$$

将每组观测样本回代上述两个判别函数,

若 $f_1 > f_2$ 则该样本判归第一类即无虫。

若 $f_1 < f_2$ 则该样本判归第二类即有虫。

未参与构造判别式的样本代入判别函数的计算结果如表 1（相当于预测）。

表 1 利用不同方法取样数值的比较（用于预测）

Table 1 comparison on the values of the samples using different methods (for forecast)

序 号	采 样 日 期	原分类号	计算后分类号	后验概率
1	1982年 6月19日	2	2	0.510691
2	6月20日	1	1	0.537418
3	6月21日	1	2	0.777482
4	6月22日	1	1	0.834244
5	6月23日	1	1	0.781579
6	1983年 5月27日	1	2	0.506709
7	5月28日	1	2	0.838502
8	5月29日	2	2	0.654496
9	5月30日	2	2	0.929106
10	5月31日	2	2	0.947107
11	6月 1日	1	1	0.919371
12	6月 2日	1	1	0.607200
13	6月 3日	1	2	0.659543
14	6月 4日	1	1	0.725713
15	6月 5日	1	1	0.646266

由上表可见，实际上真有虫的4组全部判对。而实际上无虫的11组，判对7组，判错4组。前者无错而后者判错率高。为此不平衡，表面看来是判别式不准，但从另一个侧面看，反而是迁飞和迫降的一个有力的证明。这是因为我们只考虑了秦皇岛的可能引起迫降的气象条件，而由于人力物力条件的限制，以往未能大规模监测南方多个虫源地的虫情，缺乏虫源地瓢虫起飞的记录。因此，当天空有虫时，若秦皇岛的气象具备迫降的条件，则可以判对。当天空无虫时，虽然秦皇岛的气象具备迫降的条件，当然也要判错。由此可见，判别式中入选的气象因子确实是与迫降紧密相关的因子。特别是判别式中入选了 $x_{3.0}$ （当日地面天气图）以及 $x_{5.5}$ （当日08时风浪向cos值）。这些自变量确实是与迁飞、迫降和瓢虫上岸的最相关因子。

二、小 结

1. 经过用两种数学方法筛选自变量，其结果基本上是一致的，影响七星瓢虫群聚和迁飞的主要气象条件是：地面天气图、850毫巴天气图、风向、风速、风浪向、降水等，与实际观测的结果（阎浚杰等，1980）也是符合的，因此本文用数学方法进一步论证了七星瓢虫的群聚和迁飞。

2. 上述计算结果，说明七星瓢虫的群聚现象与近期的气象条件密切相关。因此可以利用短期或中期气象预报值代入判别式进行七星瓢虫群聚的测报。为进一步提高预测预报准确度，应加强南方多个虫源地的虫情监测，将此类监测数据代入数学式。

参 考 文 献

- 河北林业专科学校等 1977 秦皇岛海岸集积瓢虫带的调查. 昆虫知识 14 (2): 53—55.
- 尚玉昌等 1980 蚜虫天敌——七星瓢虫的研究Ⅱ. 七星瓢虫卵巢发育的分级标准及研究卵巢发育的生态学意义. 昆虫天敌 2 (2): 5—8.
- 等1981 蚜虫天敌——七星瓢虫的研究Ⅳ. 雾灵山七星瓢虫考察初报. 昆虫天敌 3 (4): 18—19.
- 阎浚杰等 1980 蚜虫天敌——七星瓢虫的研究Ⅲ. 秦皇岛海滨七星瓢虫群聚的气象条件. 昆虫天敌 2 (2): 9—19.
- 1983 在不同海域七星瓢虫群聚的观察. 昆虫天敌 5 (2): 100—103.
- 蔡晓明等 1980 中国七星瓢虫迁飞初探. 中国农业科学 (1): 74—79.
- 1980 蚜虫天敌——七星瓢虫的研究Ⅰ. 从秦皇岛瓢虫的群聚看七星瓢虫的迁飞. 昆虫天敌2 (1): 1—4.
- Banks, C.J. 1955 An ecological study of Coccinellidae associated with aphid fabae Scop. on Vicia faba. *Bull. Ent. Res.* 46: 561—587.
- Blau, W.S. and R.E. Stinner 1983 Temporal flight patterns in the Mexican bean beetle and their relation to weather. *Environ. Entomol.* 12: 1047—1054.
- Dyadechko, N.P. 1954 Coccinellids of the Ukrainian SSR. Kiev.
- Hagen, K.S. 1962 Biology and ecology of predaceous coccinellidae. *Ann. Rev. Entomol.* 7: 289—326.
- Hodek, I. 1962 Essential and alternative food in insects. 11 *Int. Congr. Entomol. Vienna 1960* (2): 696—697.
- Hodek, I. (ed) 1966 Ecology of aphidophagous insects. *proc. Symp. Liblice near prague, 1965*, 360pp., Academia, Praha. Dr. W. Junk, Haag.
- Hodek, I. 1973 Biology of Coccinellidae. Academia publishing House of Czechoslovak Academy of Science. Prague.
- Smithers, C.N. and G.A. Holloway 1982 Aggregation of adults in two Australian species of Coccinellidae. *Australian Entomological Magazine* 9 (1): 4—6. Australian Museum, Sydney 2000, Australia.

A MATHEMATICAL DEMONSTRATION OF THE MIGRATION OF LADYBEETLE, *COCCINELLA SEPTEMPUNCTATA* L. IN CHINA

Yan Junjie

(Hopei Forest College, China)

Cai Xiaoming Shang Yuchang

(Department of Biology, Peking University)

Yu Xiulin Lu Chongfei

(Department of Mathematics, Peking University)

The ladybeetle *Coccinella septempunctata* L. is a major natural enemy of aphides, the aphid is a serious pest of agriculture and forestry. Sudden increase in the number of the beetles and then their aggregation occurred in the vast land at seaside of the Gulf of the Bohai sea and the Yellow sea of China. Detailed analysis showed that these beetles which appeared at seaside most probably did not occur in the local area, in which they migrated in large quantity from elsewhere. The observation of last eight years indicated that the appearance of the migrating beetles coincided in most cases with the simultaneous appearance of the south or southwest wind.

This paper confirms the above results mathematically and by prognosticates for temporality. This not only is practically useful but also plays an important role in developing theory of ecology.

1. Observation and sample

A observation station was situated in Qinhuangdao for eight years, and there were five sampling plots at seaside. We took sample two times every day, one in the morning and the other in the afternoon. Where Y_1 = average of five samples per m^2 in the morning. Y_2 = average of five samples per m^2 in the afternoon. The observation lasted 148 days, from the end of May to the middle of June, every year during 1976—1983.

2. Probable relationship of local meteorological factors to the appearances of the beetles

Where $x_1, x_2, \dots, x_{64}$ are 64 independent variables. There were 148 groups observed. These were calculated by two mathematical methods as below.

3. Double selection stepwise regression method

Above 64 independent variables are employed to examine whether the beetles migrate and are forced to fall. The critical values of selective independent and dependent variables are $F_x=1$ and $F_y=3$ respectively. Therefore two regression equations are obtained.

$$Y_1 = 91.01 - 0.38X_4 - 0.83X_8 - 0.41X_{10} + 0.26X_{19} + 12.98X_{38} \\ + 5.09X_{45} + 4.38X_{51} + 28.24X_{55}$$

$$Y_2 = -144.76 - 1.57X_5 + 0.63X_{10} + 0.65X_{12} + 0.76X_{19} - 0.31X_{22} \\ + 0.12X_{24} + 0.72X_{26} + 14.74X_{45} - 15.32X_{47} + 34.76X_{55}$$

The results of above formulas show that beetles migrate and are forced to fall into sea, if X_{38} has a bigger coefficient and is positive in equation, the beetles are carried to high sky of Qinhuangdao by warm atmospheric circulation from south and they are forced to fall into sea when they meet cold and wet air current, X_{19} brings about the same result. If coefficient of X_{55} is larger and positive and if the value of COS of east sea wave is positive too, the floating beetles are washed to the sampling station of the shore.

4. Stepwise discriminant method (forecast equation of insect status)

First kind: there are no beetles in the day observed. Second kind: there are some beetles in the day observed. 20 meteorological factors are chosen. Among 148 groups of data, 133 groups of data are considered as training samples, 15 groups (4 groups of them correspond with existence of beetles, another 11 groups with no beetles) aren't used in construction of discriminant. If $F_1 = F_2 = 1$ is selected as critical value, the discriminant is as below:

$$f_1 = -43.38 + 0.35X_4 + 0.72X_{12} + 3.30X_{33} - 4.17X_{39} + 3.42X_{40} - \\ 5.19X_{41} + 2.02X_{43} + 1.25X_{44} - 1.17X_{55}$$

$$f_2 = -41.30 + 0.34X_4 + 0.69X_{12} + 3.52X_{33} - 2.33X_{39} + 2.16X_{40} - \\ 3.41X_{41} + 2.63X_{43} + 0.83X_{44} - 0.09X_{55}$$

If f_1 and f_2 belong to the first kind (i.e. there are no insects); If f_1 and f_2 belong to the second kind (i.e. there are some insects). After 15 groups of data conserved are substituted into discriminant equation, the discriminant results for 4 groups with beetles are correct; for another 11 groups without beetles, discrimination of 7 groups is correct and 4 groups incorrect.