第31卷 第3期
1992年

中山大学学报（自然科学版）
ACTA SCIENTIARUM NATURALIUM
UNIVERSITATIS SUNYATSENI

Vol.31 No.3
1992

致倦库蚊成虫寿命与环境因子的相关分析*

夏北成　　周昌清　陈海东

（环境科学研究所）　（昆虫学研究所）

摘　要　本文通过分析致倦库蚊成虫寿命的有关资料，得到一系列成虫寿命(死亡)与环境因子相互关系的数学模型，从模型认识其活动对生态环境的要求及影响其寿命的关键因子.

关键词　致倦库蚊，模型，相关分析

致倦库蚊（*Culex quinquefasciatus*）是一种重要的骚扰人们生活并传播多种危险疾病的卫生害虫[1]. 因此，有必要从各个方面更进一步地探讨其种群的生物学和生态学规律，掌握其为害动态，以便有效地控制. 致倦库蚊对人们生活的骚扰与为害是它的成虫期，在不同的时期，其寿命相差甚多[1,2]. 那么它的成虫期寿命的长短究竟与什么有关呢？为此，我们对大量的观察数据进行相关分析，以确定与成虫寿命相关的重要因子，进一步了解成虫活动的生态学要求和规律，为控制蚊虫的为害提供科学依据.

1　资料来源与分析方法

于1982年12月至1984年12月间分别在不同的月份从田间采回致倦库蚊蛹放在盛水容器中，将容器放入养虫笼内置于网室自然变温条件下待其羽化，羽化后每隔3天吊小白鼠供其雌成虫吸血，以5%蜜糖水饲喂雄成虫. 每天分别观察记录雌成虫和雄成虫的死亡情况. 共计进行了15批次的观察和试验.

对全部的原始观察资料进行分析整理. 考虑到数据量大及所得数据的实际情况，将每3天共取1个数据，计算3天的死亡率和累计死亡率，在分析时分别以这两者作为因变量，共得296组死亡率的数据. 相对应地选取一些环境因子作为自变量，例如温度、湿温、降雨和气压等. 其中温度分为平均温度（对应于获取自变量的时间——3天的平均温度之平均值）和有效积温（根据致倦库蚊的发育资料，以T-10.5求得有效积温1)），相对湿度和气压按相同方法求得3天之平均值，降雨分为3天的累积降雨和整个成虫期

本文1990年11月7日收到

* 国家自然科学基金资助项目

的累积降雨，再引入存活率曲线的积分值作为一个新的自变量，共选取 6 个自变量。

对温度和降雨同时还考虑它们的量级。设定30℃和35℃为温度的两个阈值，根据致倦库蚊的生物学特性[3][1]，在30℃以下，随着温度的升高发育加快，对其活动有利；在30～35℃之间，随着温度的升高发育速率降低，不利于发育；温度高于35℃时，发育受到严重影响，38～40℃时将完全停止发育[1]。然而，对成虫寿命的影响是哪个区段的温度最为重要呢？为了在相关模型中能引入这种区间温度的作用，将定性变量量化。根据数据化理论，这 3 个区段的温度特性可以引入 2 个变量唯一地表示出来，即：

（0，0）——表示温度低于或等于30℃，

（1，0）——表示温度高于30℃，低于35℃，

（0，1）——表示温度等于或高于35℃。

以上 3 个向量是线性无关的，也就是说它们之间任意 2 个向量的任何线性组合都不能表征另一个向量，也就是代表这 3 个区段的温度质的差别。同样，降雨也是这样分段引入，即：

（0，0）——表示降雨小于或等于10mm，

（1，0）——表示降雨大于10mm小于50mm，

（0，1）——表示降雨等于或大于50mm。

将全部自变量作二次扩展，便可得到二次非线性相关模型。n个变量作二次扩展后，可得到$n\times(n+3)/2$个新的自变量，它们的顺序依次为：

$$x_1,\ x_2,\ x_3,\ \cdots\cdots,\ x_{n-1},\ x_n$$

$$x_1^2,\ x_1x_2,\ x_1x_3\cdots\cdots,\ x_1x_{n-1},\ x_1x_n$$

$$x_2^2,\ x_2x_3,\ \cdots\cdots,\ x_2x_{n-1},\ x_2,\ x_n$$

$$\cdots\cdots$$

$$x_{n-1}^2,\ x_{n-1}x_n$$

$$x_n^2$$

由于对自变量作二次扩展，自变量较多，而又不是每个自变量都是重要，在构造一个相关模型时只需要选取其中某几个重要相关变量。本文筛选变量用逐步回归的方法。经过分析可得到一系列的相关模型，从模型出发，又可以研究致倦库蚊成虫的生存与环境条件的生态学关系。

2　结果与讨论

从整理的观察资料可知致倦库蚊成虫的寿命长短差异很大，如1982年12月 3 日羽化的一个成虫群体延续了 4 个多月，而1983年 7 月27日羽化的一个成虫群体则只有十多天就已全部死亡。直观地看来是在温度较低的季节其成虫寿命较长，但更深一层的关系并

1）夏北成等.生态科学,1992年第 1 期

不能以此而确定，必须经过更复杂的计算与推理。

本文各模型中的自变量符号及含义如下：SA--累积存活率（或称存活率曲线下面积），CT—有效积温（高于10.5℃的积温），AT—平均温度（每个取值点3天的平均温度），RH—平均相对湿度（取值方法同AT），RA—降雨量（每个取值点3天的累积降雨量），CR—积累降雨量（从每一组试验之起始观察日至取值点日的累积降雨量），PA—大气压（取值方法同AT）。

2.1 以累积死亡率为因变量的相关分系

2.1.1 多元线性回归模型 雌成虫种群 设入选窗口阈值（以F表示，下同）$F=3$，得回归模型（1）：

$$FY=0.1087+6.7836\times10^{-4}CT+4.3920\times10^{-4}CR \tag{1}$$

该模型的复相关系数（以R表示，下同）$R=0.7824$。

雄成虫种群 设$F=5$，得模型（2）：

$$MY=0.1989+7.4320\times10^{-4}CT+4.6719\times10^{-4}CR \tag{2}$$

$R=0.7751$。

总的成虫种群（雄虫＋雌虫，下同），设$F=8$，得模型（3）：

$$TY=0.5139+7.1005\times10^{-4}CT+4.5654\times10^{-4}CR \tag{3}$$

$R=0.8207$。

上述模型中以自变量CT之贡献大*，即相关程度最高，三个模型同是入选CT和CR两个变量，且各变量之系数亦相近，说明将雌成虫和雄成虫分别考虑与合并考虑差异不大、但是，若将入选自变量的条件放宽，即使F变小，使模型再增选一个自变量，这时就会出现不同情况。

雌成虫种群 设$F=1$，得模型（4）：

$$FY=-0.02391+6.9359\times10^{-4}CT+1.6735\times10^{-3}RH+4.1491\times10^{-4}CR \tag{4}$$

其$R=0.7841$。

雄成虫种群 设$F=3$，得模型（5）：

$$MY=0.1093+7.0219\times10^{-4}CT+4.7270\times10^{-3}AT+4.9153\times10^{-4}CR \tag{5}$$

其$R=0.7811$。

总的成虫种群 设$F=7$，得模型（6）：

$$TY=0.2191+6.9184\times10^{-4}CT+4.6729\times10^{-4}CR-4.8019\times10^{-3}PA \tag{6}$$

其$R=0.8080$。

模型（4）～（6）分别对应于模型（1）～（3），各自增选入1个自变量，但所增选的自变量各不相同，雌成虫种群增选入相对湿度，雄成虫种群则增选入平均温度，总的种群则是增选入大气压。由R值可知，增选入1个自变量以后，模型的相关程度并没有很大地提高，且入选的自变量又各不相同，从简化的角度来看，还是选用模型（1）～（3）作为描述致倦库蚊成虫死亡与环境因子间相互关系的线性相关模型。

* 变量对模型的贡献值大小以变量入选的先后而论

在前述分析的基础上增加定性指标变量（即由6个自变量增加至10个自变量），得下列回归模型（模型中因变量的前一个字母F表示雌成虫，M表示雄成虫，T表示总的成虫种群）。

$$FY=0.07615+6.4845\times10^{-4}CT+3.8729\times10^{-4}CR-7.1667\times10^{-2}HR$$

$$(F=3,\ R=0.7857) \tag{7}$$

$$MY=0.1327+6.8226\times10^{-4}CT+3.6147\times10^{-4}CR+0.1458HR$$

$$(F=8,\ R=0.7915) \tag{8}$$

$$TY=0.1046+6.6464\times10^{-4}CT+3.7776\times10^{-4}CR+0.10869HR$$

$$(F=8,\ R=0.8096) \tag{9}$$

模型（7）～（9）中自变量HR，即所增加的定性自变量中的一个，表示在3天之内累积降雨量大于50mm，当降雨量大于50mm时，，$HR=1$，否则$HR=0$，自变量HR入选，说明降大雨或暴雨会增加致倦库蚊虫的死亡。

模型（7）～（9）与模型（4）～（6）比较，虽然都是入选三个自变量，但是模型（7）～（9）中入选的第三个自变量是同一个表示降雨程度的变量，表明降雨对雌成虫和雄成虫都具有相似的作用，从自变量HR的系数来看，降大雨或暴雨对雄成虫死亡的影响更大一些。

从模型（1）～（9）所入选的变量来看，对于致倦库蚊成虫种群的死亡，积温和降雨是最重要的影响因子。

根据数量化理论对定性指标数量化的规律，当表征一组定性指标的几个自变量都没有被入选时，则表示以零向量表征的那个指标（变量）对模型贡献较大。例如上述模型中表征温度区段的两个定性变量都未能入选，其零向量（（0，0））表示温度低于30℃，则在模型中隐含了该零向量。

2.1.2 *多元非线性回归模型*　对自变量进行二次扩展，将扩展以后的新自变量进行逐步筛选，分别得到如下非线性回归模型。

① 对应于线性模型（1）～（3），对6个自变量进行二次扩展，得27个新自变量，经逐步筛选得到下列模型：

$$FY=0.05428+2.1950\times10^{-5}CT\cdot AT+1.0079\times10^{-5}CT\cdot RH-2.0715\times10^{-6}CT\cdot CR+1.3237\times10^{-6}CR^2$$

$$(F=8,\ R=0.8289) \tag{10}$$

$$MY=-6.0098\times10^{-2}-1.1403\times10^{-5}SA\cdot CT+1.0578\times10^{-4}SA\cdot RH-9.9967\times10^{-7}CT^2+2.1383\times10^{-6}CT\cdot PA$$

$$(F=12,\ R=0.8686) \tag{11}$$

$$TY=-2.0547\times10^{-2}+4.7195\times10^{-6}SA\cdot PA-1.0288\times10^{-6}CT^2+5.6864\times10^{-6}CT\cdot RH+1.3817\times10^{-6}CT\cdot PA$$

$$(F=15,\ R=0.8567) \tag{12}$$

在入选自变量的过程中，模型（10）和（12）中以$CT\cdot RH$对模型的贡献最大，模型（11）中以$CT\cdot PA$对模型贡献最大。

上述三个模型描述了自变量与因变量之间的更深一层的相关关系，三个模型中虽然

入选的自变量不尽相同，但对每个模型贡献最大的自变量仍然是比较一致的，都是有效积温的交叉项，进一步说明有效积温在任何层次上都是最为相关的变量。

② 对应于线性模型(7)～(9)，对10个自变量进行二次扩展，得65个新自变量，经逐步筛选得下列模型：

$$FY = 5.4408\times10^{-2} + 2.1936\times10^{-5}CT\cdot AT + 1.0080\times10^{-5}CT\cdot RH - 2.0709\times10^{-6}CT\cdot CR + 1.322\times10^{-6}CR^2$$
$$(F=15,\ R=0.8291) \quad (13)$$

$$MY = 1.0761\times10^{-2} + 2.0383\times10^{-3}CT - 1.0056\times10^{-6}CT^2 - 8.0723\times10^{-7}CT\cdot CR + 6.4773\times10^{-7}CR\cdot PA$$
$$(F=13,\ R=0.8589) \quad (14)$$

$$TY = 6.0034\times10^{-2} + 1.4716\times10^{-5}CT\cdot RH - 1.5411\times10^{-6}CT\cdot CR + 8.7496\times10^{-4}CR\cdot H$$
$$(F=30,\ R=0.8344) \quad (15)$$

模型(13)和(15)是以$CT\cdot RH$的贡献值最大，而模型14则是CT的贡献值最大。由此可以更进一步地看出有效积温的相关程度最高。

比较模型(1)～(9)与模型(10)～(15)，非线性模型的复相关系数较线性模型之相关系数有较明显的提高。说明非线性相关模型能够更好地描述致倦库蚊成虫种群的死亡过程。

2.2 以死亡率为因变量的相关分析

该部分所指之死亡率即在两个取值点之间的死亡率，根据资料的实际情况，即为3天的总死亡率。以死亡率为因变量对前述各自变量进行逐步筛选，可得如下模型。

2.2.1 *多元线性回归模型* 对6个自变量进行逐步筛选，分别得回归模型(16)～(18)。

$$FZ = -0.02694 - 5.0979\times10^{-5}CT + 4.9284\times10^{-3}AT - 2.3346\times10^{-4}RA$$
$$(F=1,\ R=0.2848) \quad (16)$$

$$MZ = -0.07742 - 8.7176\times10^{-5}CT + 4.6738\times10^{-3}AT + 6.4804\times10^{-5}PA$$
$$(F=0.1,\ R=0.3119) \quad (17)$$

$$TZ = -0.07309 - 6.4951\times10^{-5}CT + 4.7758\times10^{-3}AT + 4.7332\times10^{-5}PA$$
$$(F=0.3,\ R=0.3324) \quad (18)$$

模型(16)～(18)中以自变量AT对模型的贡献最大，其次为CT。

增加4个描述温度与降雨的定性自变量，经逐步筛选得模型(19)～(21)。

$$FZ = -0.03530 - 4.8343\times10^{-5}CT + 5.1578\times10^{-3}AT - 0.06228MT$$
$$(F=1.6,\ R=0.2882) \quad (19)$$

$$MZ = 0.01167 - 8.5848\times10^{-5}CT + 4.5474\times10^{-3}AT + 6.7969\times10^{-3}MR$$
$$(F=0.1,\ R=0.3138) \quad (20)$$

$$TZ = -0.02522 - 6.4811\times10^{-6}CT + 4.8078\times10^{-3}AT - 3.1982\times10^{-2}MT$$
$$(F=0.8,\ R=0.3359) \quad (21)$$

以上3个模型与模型（16）～（18）相似，以自变量AT对模型之贡献最大，其次为CT。

分析模型（16）～（21），自变量CT的系数全部为负值，而CT的值与致倦库蚊成虫存活的时间成正相关，也就是说，致倦库蚊成虫种群从羽化开始，其死亡率是逐步减小的，或者说初期死亡的速度更快一些。致倦库蚊成虫死亡率的变化与平均温度最为相关，且死亡率是随着平均温度的升高而增加的。

2.2.2 *多元非线性回归模型*　对不包括定性指标变量的6个自变量进行二次扩展，得27个自变量，经逐步筛选得下列模型：

$$FZ=0.02731-7.7017\times10^{-4}RH-4.5518\times10^{-8}CT^2+6.2014\times10^{-5}CT\cdot RH-1.5198\times10^{-5}CT\cdot RH$$

$$(F=1.2,\ R=0.3042) \tag{22}$$

$$MZ=0.03261-4.0180\times10^{-6}CT\cdot AT-2.1464\times10^{-6}CT\cdot RH+1.7022\times10^{-7}CT\cdot PA+7.0831\times10^{-5}AT\cdot RH$$

$$(F=1,\ R=0.3231) \tag{23}$$

$$TZ=0.05698-1.2971\times10^{-3}RH-3.8702\times10^{-6}CT\cdot AT+2.8515\times10^{-7}CT\cdot RH+7.2883\times10^{-5}AT\cdot RH$$

$$(F=1.9,\ R=0.3532) \tag{24}$$

在上述模型(（22）～（24）)中以自变量$AT\cdot$RH最为相关，或者说对相关之贡献最大，其次为$CT\cdot RH$。对这些模型进行模拟计算表明，自变量AT和CT对死亡速率的影响与模型〔（16）～（21）〕中相应自变量的影响作用相似。相对湿度对致倦库蚊雌成虫和雄成虫的影响作用虽然有些差别，但差异较小，总的趋势是高湿度有利于成虫存活，即使死亡率降低。

模型（16）～（24）与模型（1）～（15）相比较，前者的复相关系数明显地小于后者，虽然根据自由度推算，前者的复相关系数也已达到或接近显著相关的水平。这里其相关性较低是因为我们在观察个体死亡时只是记录了某个个体在死亡过程中彻底死亡这个突变事件，而没有把死亡作为一个连续的过程看待，使得观察资料象锯齿状的无规则变化，从而使所得模型之相关性降低。但是，我们认为这种模型虽不宜用于预报，但通过这些模型的分析，可以较好地了解与死亡过程相关的重要环境因子。例如模型（16）～（24）所展示的，平均温度与相对湿度是引起死亡速率变化的重要因素。所以这些模型对于帮助我们认识致倦库蚊成虫种群与环境之间的某些生态学关系是一种较好的辅助分析手段。

2.3 关于各模型的显著性问题

根据复相关系数的定义和统计量F可推导出复相关系数R与F具有如下关系：

$$F=R^2/(1-R^2)\cdot[(n-k-1)/k] \tag{25}$$

其中n为观察数据组数，本文$n=296$，k为某模型中入选自变量的数。以模型(4)为例计算得：

$$F=0.7831^2/(1-0.7841^2)[(296-3-1)/3]>100$$

以模型(13)为例计算得：

$$F=0.8291^2/(1-0.8291^2)[(296-4-1)/4>100$$

根据双自由度（$n-1$）和（$k-1$）查F分布表，当（$n-1$）>200，（$k-1$）=2时，在0.01的概率水平上其F值为99.49，（$k-1$）=3时，在0.01的概率水平上F值为26.18，所以上述两个模型均达到了极显著相关的水平。

由式（25）便可推导出当R满足式（26）时，所得回归模型就达到显著相关（$F_{0.05}$）或极显著相关($F_{0.01}$)。

$$F_\alpha<R^2/(1-R^2)[(n-k-1)/k] \quad (26)$$

或

$$1/R^2<(n-k-1)/(F_\alpha \cdot k)+1 \quad (27)$$

本文$n=296$，当$k=3$（即入选三个自变量）时，若$R\geqslant0.7110$，则可使回归模型达到极显著相关，$R\geqslant0.3240$，则可使回归模型达到显著相关；当$K=4$时，若$R\geqslant0.5144$，则可使回归模型达到极显著相关，若$R\geqslant0.2979$，则可使回归模型达到显著相关，当$k=5$时，若$R\geqslant0.4348$，则可使回归模型达到极显著相关，若$R\geqslant0.2647$，则可使回归模型达到显著相关。据此可知，模型（1）～（15）全部达到极显著相关水平，模型（18）和（21）～（24）均达到显著相关水平。

参考文献

1 周昌清等．中山大学学报（自然科学版），1990，29(1)：55～62

2 李树桃等．广东寄生虫学会年报，1981(3)：161～164

3 周昌清等．生态科学，1985(1)：54～61

The Relative Analysis on the Relationship between the Adult Life-span of *Culex quinquefasciatus* and Environmental Factors

Xia Beicheng　Zhou Changqing　Chen Haidong*

Abstract This payer gives a series of relative models on the relationship between the life-span of *Culex quinquefasciatus* and environmental factors. The data was taken from 1981 to 1982. Through analysis of these models we know the cumulative temperature and precipitation are the most important factors for the cumulative death rate of *C. quinquefascitus*, and the torrential rain can increase the death rate. But for the temporal death rate, the average temperature and the relative humidity are the most important factors. If the temporal death rate is considered the relativity between death rate and environmental factors is not good, some recorrelation coefficients of the models are significant in the level of 0.05 probability and others are beyond significant If the cumulative death rate is considered, all recorrelation coefficients are significant in the level of 0.01 probability.

Keywords Culex quinquefasciatus, model, relative analysis

*Institute of Environmentol Science