

稻纵卷叶螟防治策略的探讨(二)

——几种重要的生态因子与种群数量的关系 及海陵第二代种群动态模拟

庞雄飞 梁广文

(植保系)

提 要

本文在广东省阳江县海陵岛稻纵卷叶螟第二代生命表组份分析的基础上,研究了影响种群数量的重要因子及关键因子与稻纵卷叶螟发生数量的关系,并建立了这些关系的亚模型,补充于1976—1980年平均生命表模型之中,得出了第二代种群数量动态模型。该模型应用于自第二代卵期预测当代四龄幼虫(暴食期)的数量,以及自第二代卵期开始逐步预测第三代卵量。经过1981年的调查数据检验,说明该模型具有一定的可靠性;说明了通过昆虫生命表的研究建立数量预测模型的可能性。本文进一步以1976—1981年平均生命表数据为基础,建立第二代种群数量动态模型。该模型适应于输入简单的电子计算机内进行上述的预测以及进一步补充校正。

作为农业生态系统的一个组成部分,害虫的种群动态受到系统中多方面因素的影响。在大量的田间调查和实验室研究基础上,把与害虫种群数量有关的生态学、生理学及化学作用过程数学化,并有机地结合为种群数量动态模型,有助于了解害虫种群动态的各个侧面,分析和把握主要因子,预测种群趋势,以便制订合理的综防策略。因而,害虫种群动态数学模型的研究和应用已日益为人们所重视。

在本世纪的前六十年中,已经有些学者从事这方面的工作。由于繁复的计算及众多的因子,他们的研究成果要应用于真实的生态系统尚有困难^{[6][7]}。六十年代以后,随着电子计算机技术的发展,尤其是自Morris和Watt (1961、1963)提出以生命表研究为基础的数学模型以来,昆虫种群动态模型的研究取得了迅速的进展。对云杉卷叶蛾的种群动态研究(Morris, 1963)是其中一个良好的范例。在这个例子中,他们应用积累多年的同次世代生命表资料,分析了影响种群动态的关键因子,对关键因子及其相应组分的数量关系进行研究,建立该组份的数学模型(亚模型),从而完成对云杉卷叶蛾种群动态的数学模拟。类似的研究还有对冬尺蛾的研究(Varley et, 1971),对黑尾叶蝉的研究(Kiritani, 1976),对云杉卷叶蛾生境转移的研究(Jones, 1976)等。这类数学模型可应用于利用电子计算机对有害生物进行科学管理(IPM)的数量监测系统中(Seem, 1979)。

为了进一步探讨稻纵卷叶螟的种群动态,我们在广东省阳江县海陵岛稻纵卷叶螟第二代生命表组份分析(庞雄飞等1981)基础上,进一步研究了若干重要因子与这种害虫的数量关系,并进行了建立其种群动态数学模型的初步尝试。

几种重要的生态因子与稻纵卷叶螟发生数量的关系

(一) 水稻品种抗虫性对幼虫存活率的影响

1. 材料和方法: 品种抗虫性测定按照国际水稻联合试验标准(国际稻作研究所, 1980)设计试验,并以生命表方法记录各虫期的存活率。供试的水稻品种包括广西农科院植保所提供的高州白、蛤蛾占、埃崩离,国际稻作研究所提供的 W_{1283} 、TKM₈ 和 Ptb₃₃, 华南农学院育成的在大田调查中表现对稻纵卷叶螟具有抗性的梅菲早2号,以及近年在广东早造较大面积栽培的民科占和桂朝2号。

试验在阳江县海陵岛室外进行。用直径为35厘米的瓦盆单株播植水稻,每盆5株,用纱笼罩护,以同等措施进行肥水管理。播后51天,按每科2头的密度,在心叶下一片叶的叶耳上接上初孵幼虫,设水层防蚁。20天以后,当幼虫全部化蛹时,检查每科被害叶数和健叶数,计算卷叶率,按表1评定各品种的抗虫性。每品种设三个重复进行测定。

表1 水稻对稻纵卷叶螟抗性测定标准(IRRP 1980)

卷叶率(%)	受害级别	抗性级别
0	0	无害
1—10	1	抗
11—20	3	中抗
21—35	5	中感
36—50	7	感
51—100	9	高感

• 感虫品种的卷叶率须达40%以上,测定结果方为有效。

另外,以同样方法盆栽各品种水稻。播后51天,按每科10头的密度接上初孵幼虫,逐个龄期调查存活率直至成虫羽化。在试验过程中用纱笼分别罩护,并设水层防蚁。三次重复。

2. 试验结果

(1) 供试九个品种卷叶率不同。经方差分析表明,由于品种之间的抗虫性不同所造成的卷叶率差异是显著的。按评定标准(表1)划分,TKM₈、梅菲早2号和 W_{1283} 属中抗级,民科占和桂朝2号属感虫级,其余四个品种属中感级(见表2)。

(2) 稻纵卷叶螟幼虫的存活率因品种的抗虫性不同而有差异,方差分析的结果表明,这种差异是显著的。幼虫存活率随着寄主品种抗性的增强而降低,在中抗级的几个品种上存活率仅为32.67~46.67%,在中感的几个品种上则为48~56.67%,在感虫的品种上达到79.33—82.67%(见表3)。

表 2

水稻品种对稻纵卷叶螟抗性测定

阳江 海陵 1981.5

品 种 名 称	平均卷叶率±标准差(%)	受 害 级 别	抗 性 级 别
梅非早 2 号	14.74±2.16 a	3	中抗
TKM6	14.19±4.48 a	3	中抗
W ₁₁₆₃	16.20±4.55 a	3	中抗
高 州 白	20.19±1.44 ab	5	中感
蛤 蛾 占	23.16±5.90 b	5	中感
Ptb33	25.48±3.21 b	5	中感
埃 崩 离	26.71±1.52 b	5	中感
桂朝 2 号	38.21±3.70 c	7	感
民 科 占	44.08±0.80 c	7	感

注: “平均卷叶率”栏内各项, 后面跟有相同字母者, 经方差分析在 0.05 的水平上差异不显著。

表 3

在不同抗性的品种上幼虫的存活率

阳江 海陵 1981.5

虫 期		逐 期 存 活 率 (%)								
		中 抗 级			中 感 级			感 虫 级		
		最 高	最 低	平 均	最 高	最 低	平 均	最 高	最 低	平 均
幼 虫	一 龄	70.66	56.00	62.22	75.33	72.00	73.50	91.33	89.33	90.33
	二、三龄	56.00	41.33	47.78	66.00	54.00	61.17	88.00	84.00	86.00
	四、五龄	46.67	33.33	38.22 _a	56.67	48.00	53.00 _b	82.67	79.33	81.00 _c

• 供试九个品种只有三个抗性级别。

3. 平均存活率差异参数 U 的引进和应用: 为了便于把水稻品种的抗虫性对稻纵卷叶螟幼虫存活率的影响结合到种群数量动态分析中去, 我们引进参数 U 。

参数 U 称为不同抗虫性的品种间幼虫平均存活率差异参数, 由下式定义:

$$U_i = S_{u2} / S_{u1} \quad (1)$$

式中 S_{u1} : 在品种 1 上, i 虫期幼虫平均逐期存活率; S_{u2} : 在品种 2 上, i 虫期幼虫平均逐期存活率; U_i : 品种 1 和品种 2 之间, 在 i 虫期幼虫平均存活率差异参数。

显然, 该参数是在两个抗虫性不同的品种上, 同一虫期幼虫平均逐期存活率的比较值。若品种 1 为抗性较弱的品种, 而品种 2 为抗性较强的品种, 则 U_i 值越小, 害虫在这两个品种上的存活率差异越大。在实际应用时, 对某一品种的幼虫逐期存活率, 我们可以用其所属抗性级别的幼虫平均逐期存活率来估计 (见表 3)。因而, 对于同一抗性级别的品种之间 U 值为 1。

参数 U 可用来估计品种变换对稻纵卷叶螟种群动态的影响及评价抗虫品种的作用。例如, 若其他影响种群数量的因子不变, 只用品种 2 来代替品种 1, 则根据 Morris

—Watt方程就有:

$$\frac{N_{(2)}}{N_{(1)}} = \frac{S_1 S_2 S_3 \dots S_n S_{u2} P_{\frac{1}{2}} P_F F}{S_1 S_2 S_3 \dots S_n S_{u1} P_{\frac{1}{2}} P_F F} = \frac{S_2}{S_{u1}} = U$$

式中 $N_{(2)}$: 在种植品种 2 时, 稻纵卷叶螟次代卵量; $N_{(1)}$: 在种植品种 1 时, 稻纵卷叶螟次代卵量; $S_1, S_2, S_3 \dots S_n$: 没有改变的诸因子在当代相应的存活率; S_{u2}, S_{u1} : 分别为在品种 2 上和品种 1 上, 幼虫经自然死亡后的存活率; $P_{\frac{1}{2}}$: 雌虫比率; P_F : 达到标准卵量百分率; F : 标准产卵量; U : 品种 1 与品种 2 之间的平均存活率差异参数。

因此, 参数 U 的含义可以这样表达: 在水稻栽培品种变换后, 稻纵卷叶螟在 i 虫期的种群数量 $N_{(2)}$ 将为原来同期种群数量 $N_{(1)}$ 的 U 倍。

根据式 (1) 和表 3, 若用中感品种代替敏感品种, 则 $U_3 = 0.7113, U_5 = 0.6543$ 。若用中抗品种代替敏感品种则 $U_3 = 0.5556, U_5 = 0.4718$ 。

表 3 中的平均值, 我们只是建立在 9 个供试品种的基础上的, 还有待今后扩大试验, 逐步修正。

(二) 环境温度、湿度对稻纵卷叶螟发生数量的影响

1. 在适宜的湿度下, 温度与成虫产卵量的关系:

(1) 材料和方法: 本试验在华南农学院内进行, 在第二、三代稻纵卷叶螟发生期间, 用养虫笼分批在室外饲养稻纵卷叶螟, 饲料品种为桂朝 2 号。待成虫即将羽化时, 把蛹采回, 称重, 放在大指头瓶内, 羽化后配对放入盆栽的桂朝 2 号稻株上, 饲以 1% 的蜜糖液, 笼罩, 放入恒温室内, 虫笼周围用无色透明尼龙膜围住, 笼内湿度保持在 90% 以上。用日光灯照明, 早上六时开灯, 晚上十八时关灯, 使光照时数尽可能与室外保持一致。待成虫死亡后, 检查稻株上的着卵量。从 10°C 至 34°C 分别进行了 11 个温度处理, 每个温度八笼, 每笼一对成虫。试验分批进行, 为了减少每批成虫之间的差异, 每批蛹采回后都稍经挑选, 每 10 头蛹重都保持在 $0.24 \sim 0.25$ 克之间, 差异并不显著。

(2) 试验结果: 试验结果如图 1, 图 1 表明

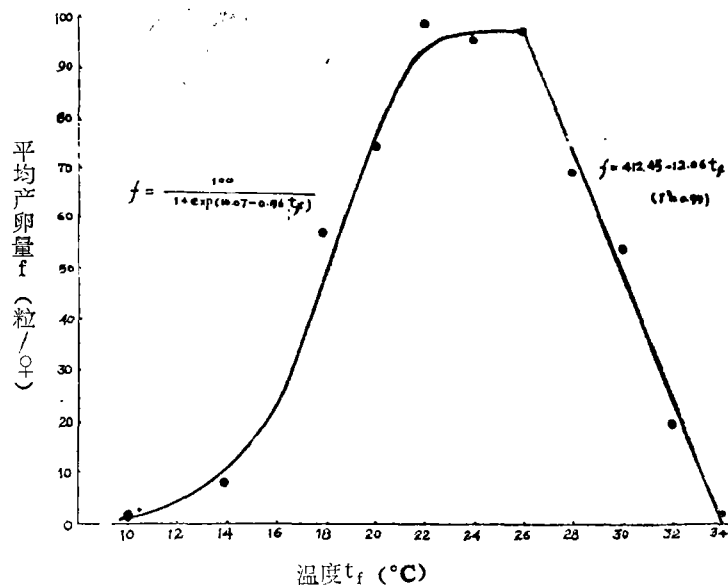


图 1 在适宜湿度下 ($RH \geq 90\%$) 温度与产卵量的关系

在适宜的湿度条件下,成虫的产卵量与温度的关系较为密切,适宜的温度范围是20~28°C,其中在22~26°C之间产卵量最高,平均达95.5—98.3粒/♀;在20°C以下,产卵量随温度下降而减少;在28°C以上,随着温度的上升,产卵量急剧下降,在10°C和34°C左右,产卵量已趋近于零。

(3) 模拟:如图1所示,我们把在适宜湿度下温度与成虫产卵量的关系分两段进行模拟:

$$\text{当 } t_f > 26^\circ\text{C} \text{ 时, } f = 412.45 - 12.06t_f \quad (r^2 = 0.99) \quad (2)$$

$$\text{当 } t_f \leq 26^\circ\text{C} \text{ 时, } f = \frac{100}{1 + \exp(10.07 - 0.56t_f)} \quad (r^2 = 0.94) \quad (3)$$

式中 f : 平均产卵量(粒/♀);

t_f : 在适宜湿度下的温度(°C)。

以上两方程的决定系数 r^2 值都较高,说明在适宜湿度下产卵量随温度变化而变化的效能均在90%以上,其中式(3)的 r^2 值是根据方程线性化后的 r 值求出的。

经 x^2 适合性检验,方程计算值与观察值较为吻合。

又因为标准产卵量 $F = 200$ 粒/♀(庞雄飞等1981),所以以上两式可变化为

$$\begin{cases} P_F = 2.06 - 0.06t_f & (t_f > 26^\circ\text{C}) \\ P_F = \frac{0.50}{1 + \exp(10.07 - 0.56t_f)} & (t_f \leq 26^\circ\text{C}) \end{cases} \quad (4)$$

式中 P_F : 达标准卵量百分率;

t_f : 成虫产卵期日平均温度(°C)。

2. 温度对卵孵化率的影响:我们在本研究中,没有进行这方面的试验工作,主要是依据河南省农林科学院的研究结果(张左生等1976)进行分析和模拟。

(1) 资料:

表4 温湿度与卵粒孵化率的关系 (张左生等 1976)

日平均温度(°C)	30.8	29.8	27.5	26.3	25.4	24.2	23.1	19.7	19.6
日平均湿度(%)	71	75	82	79	79	91	79	86	89
观察卵粒数(粒)	158	104	327	93	240	266	113	52	140
孵化率(%)	74.6	84.6	96.4	77.4	93.7	97.3	92.0	69.2	41.4

(2) 分析及模拟:表4表明,在其观察的湿度范围内,湿度对卵孵化率的影响不大明显,而温度的影响却比较明显。又据张孝羲等(1980)研究,认为相对湿度在75%以上,湿度对卵孵化率无大影响。所以,我们只探讨温度与孵化率之间的数量关系。

根据表4,以日平均温度为横座标,卵粒孵化率为纵座标作图如下(图2)。

图2表明,温度与孵化率的关系大致呈抛物线状,我们用如下方程进行模拟:

$$S_3 = -0.0089t_E^2 + 0.4627t_E - 5.1065 \quad (5)$$

式中 S_3 : 卵孵化率。

t_E : 卵期内日平均温度(°C)。

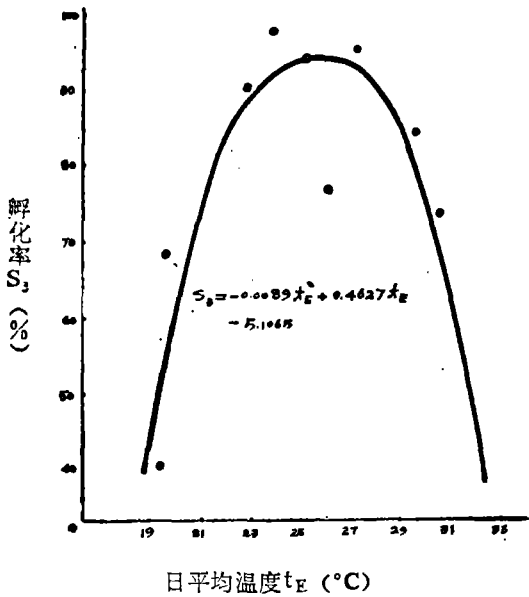


图2 在适宜湿度下温度与卵孵化率的关系
〔据张左生等 (1976) 绘制〕

在我们试验期间，当地气候条件、水稻品种及农艺措施变动不大，且三年来我们都在同一田垌进行调查，故把三年资料综合整理。

2. 调查结果：调查资料表明，在所有捕食性天敌当中，稻田蜘蛛是优势的类群，它的数量常占捕食性天敌总数的80%以上。在捕食稻纵卷叶螟幼虫的活动中起主要作用（见表5、表6）。

在海陵岛第二世代稻纵卷叶螟发生期间，稻田蜘蛛的密度增长趋势大致呈 logistic 曲线（见图3）。

经 χ^2 适合性试验，方程（5）的理论计算值与实测值之间无显著差异 ($\chi^2 = 10.45 < \chi^2_{0.05} = 15.51$)，这说明方程（5）有一定可性。因为资料是河南省的，与广东省的情况可能不尽相符，此亚模式尚待进一步研究修正。

（三）稻田蜘蛛与稻纵卷叶螟的数量关系

1. 调查方法：在1979—1981年第二世代稻纵卷叶螟发生期间，我们在海陵岛进行稻纵卷叶螟种群动态系统调查的同时，调查各定点田块内各虫期捕食性天敌的密度。调查期距与系统调查一致，方法是五点取样，每点20科水稻，每田共查100科，每次调查2块田，记录各种捕食性天敌的种类和数量，并记录同期稻纵卷叶螟幼虫因“捕食及其他”因子死亡后的存活率。

表5 捕食性天敌密度与稻纵卷叶螟1龄幼虫存活率的关系调查

该龄期开始时捕食性天敌密度 (头/百科)				稻纵卷叶螟 1 龄幼虫
蜘蛛	隐翅虫	步甲	瓢虫	存活率
14	0	2	0	0.6000
14	4	0	0	0.5400
18	1	0	0	0.4400
20	2	1	0	0.4400
22	0	1	0	0.4200
24	6	2	0	0.3200
33	1	0	2	0.1920
46	4	4	0	0.1550

• 该项存活率包括被捕食及自然死亡后的存活率。

(阳江、海陵1979—1981)

表 6 捕食性天敌密度与稻纵卷叶螟 1—5 龄幼虫存活率的关系调查

该龄期开始时捕食性天敌的密度 (头/百科)				稻纵卷叶螟该龄期幼虫 存活率*
蜘蛛	隐翅虫	步甲	瓢虫	
30	3	0	0	0.6600
34	4	1	0	0.6200
35	7	2	0	0.4900
41	5	3	2	0.5600
42	2	0	1	0.4800
57	3	1	1	0.4600
59	4	5	2	0.2910
60	3	7	4	0.4510
67	7	7	5	0.3410
67	6	3	5	0.3460
75	2	1	5	0.3200
81	1	3	2	0.1200

* 该项存活率包括被捕食及自然死亡后的存活率。

(阳江 海陵 1979—1981)

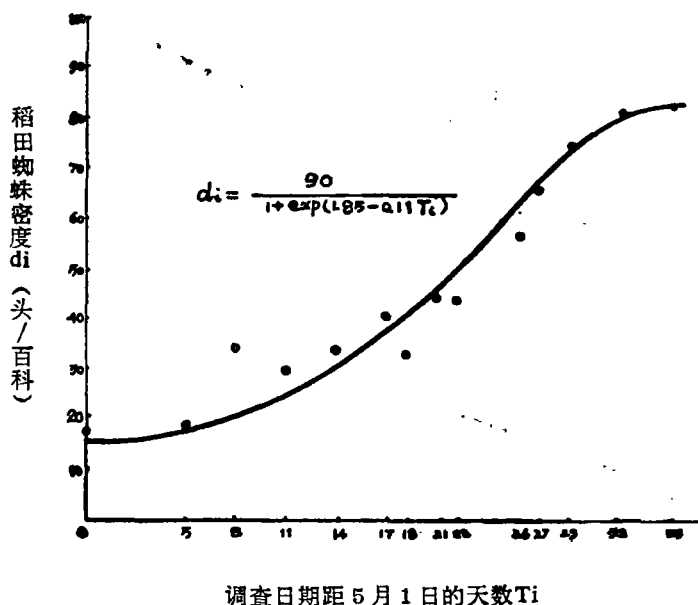


图 3 第二代稻纵卷叶螟发生期间稻田蜘蛛的数量消长 (海陵岛)

稻田蜘蛛的密度与稻纵卷叶螟各龄幼虫的存活率关系密切，幼虫存活率随蜘蛛密度的增加而降低（见图 4、图 5）。

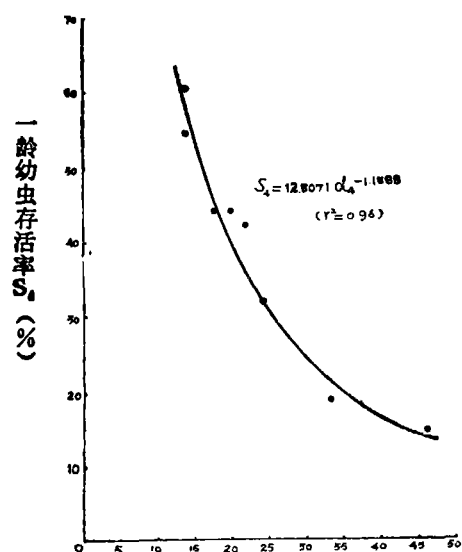
蜘蛛密度 d_4 (头/百科)

图4 稻纵卷叶螟1龄幼虫存活率与蜘蛛密度的关系(海陵岛)

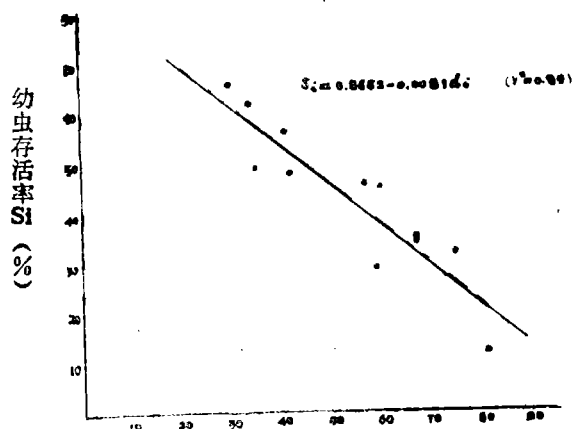
蜘蛛密度 d_i (头/百科)

图5 稻纵卷叶螟2—5龄幼虫存活率与稻田蜘蛛密度的关系

3. 模拟:

(1) 1龄幼虫存活率与蜘蛛密度的关系(图4)。

$$S_4 = 12.8071 d_4^{-1.1588} \quad (r^2 = 0.96) \quad (6)$$

式中 S_4 : 稻纵卷叶螟1龄幼虫存活率; d_4 : 在该龄期开始时稻田蜘蛛密度(头/百科)。

(2) 2至5龄幼虫存活率与蜘蛛密度的关系(图5)。

$$S_i = 0.8652 - 0.0081 d_i \quad (r^2 = 0.83) \quad (7)$$

式中 S_i : 稻纵卷叶螟 i 龄幼虫的存活率; d_i : 该龄期开始时稻田蜘蛛密度(头/百科)。

(3) 海陵岛第二代稻纵卷叶螟发生期间稻田蜘蛛的数量消长(图3)。

$$d_i = \frac{90}{1 + \exp(1.85 - 0.11T_i)} \quad (r^2 = 0.87) \quad (8)$$

式中 d_i : 稻田蜘蛛密度(头/百科); T_i : 调查日期距5月1日的天数, 在5月1日 $T = 0$, 之前为负, 之后为正。

(4) 综合方程(6), (7), (8), 稻纵卷叶螟1龄幼虫期“捕食及其他”项存活率可模拟为:

$$S_4 = 12.8071 \left[\frac{90}{1 + \exp(1.85 - 0.11T_4)} \right]^{-1.1588} \quad (r^2 = 0.84) \quad (9)$$

2—5龄幼虫期“捕食及其他”项存活率可模拟为:

$$S_i = 0.8652 - \frac{0.7290}{1 + \exp(1.85 - 0.11T_i)} \quad (r^2 = 0.72) \quad (10)$$

以上各模拟方程全部经过 χ^2 适合性检验, 表明理论计算值与实际调查值之间无显著差异。各 r^2 值是把各方程线性化后算出的。 r^2 值表示, 方程(6)可说明1龄幼虫期内“捕食及其他”项存活率年间变动的96%; 方程(7)说明2—5龄幼虫期内“捕食及其他”项存活率年间变动的83%; 方程(8)说明在第二代稻纵卷叶螟发生期间, 海陵岛稻田蜘蛛数量变动的87%。把上述三个方程综合所得到的方程(9)和(10), 说明幼虫存活率变动的能力有所下降, 但便于进行种群数量预测。

(四) 卷叶螟绒茧蜂密度与稻纵卷叶螟二龄幼虫被寄生率的关系

1. 材料和方法: 卷叶螟绒茧蜂 *Apanteles cypris* Nixon 是稻纵卷叶螟低龄幼虫期最重要的寄生蜂。但它的田间密度尚较难准确调查, 所以, 我们采用在养虫笼内人工接虫接蜂的方法, 观察在一定的虫口密度下, 寄生蜂密度与害虫被寄生率的关系。

用盆栽水稻饲养多批不同期孵化的稻纵卷叶螟幼虫至1龄末。从田间采集卷叶螟绒茧蜂的茧, 羽化后配对。在1米×1米×1米的养虫笼内放置盆栽水稻30科(合每亩2万科), 品种是桂朝2号, 在每科水稻上接入即将进入或刚刚进入2龄的卷叶螟幼虫一

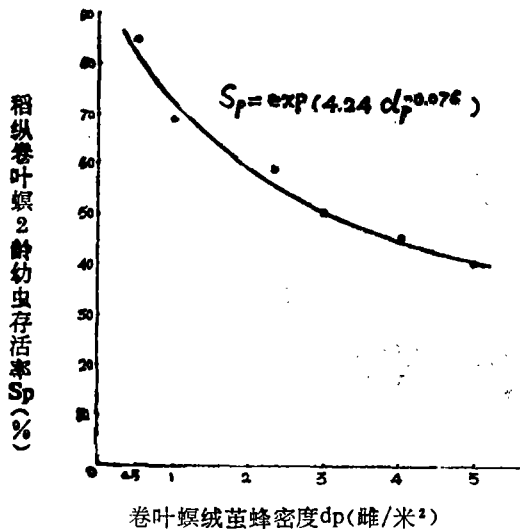


图6 卷叶螟绒茧蜂密度与稻纵卷叶螟2龄幼虫存活率的关系(1980)

头。用1%的蜜糖液浸湿棉球若干个, 挂于笼内稻株上供蜂取食。然后接入不同对数的寄生蜂。罩盖8天后, 已被寄生的部分幼虫, 蜂已从其体内爬出并结白色小茧。这时记录残存的幼虫数量及茧的数量, 计算存活率。所得的茧供下批试验用。每个处理设三个重复。

2. 试验结果: 稻纵卷叶螟幼虫的存活率随蜂密度的增加而下降, 但两者之间不成线性关系, 其关系曲线呈指数曲线形式(见图6)。

3. 模拟: Nicolson 和 Beilely 曾提出一个寄生蜂密度与寄主存活率的模型 (Smith 1975):

$$S_p = (0.01) \exp(-a d_p) \quad (11)$$

式中 S_p : 寄主存活率; d_p : 寄生蜂密度; a : 寄生蜂的有效搜索面积。

又 Hassell (1970) 认为有效搜索面积遵循如下规律变化:

$$\ln a = \ln a_0 - m \ln d_p \quad (12)$$

式中 a : 有效搜索面积; d_p : 寄生蜂密度; a_0 、 m : 待定参数。

据方程(11)和(12)得

$$S_p = (0.01) \exp(-a_0 d_p^{1-m}) \quad (13)$$

据实验结果(见图6)计算得

$$a_0 = -4.24, \quad 1-m = -0.076$$

代入方程(13)得 $S_p = (0.01) \exp(4.24 d_p^{-0.076}) \quad (r^2 = 0.99) \quad (14)$

式中 S_p : 幼虫存活率; d_p : 卷叶螟绒茧蜂密度 (雌蜂/米²)。

据 χ^2 适合性检验表明, 方程 (14) 的计算值与实际观察值吻合。经线性化后计算出 $r^2 = 0.99$ 。我们把方程 (14) 作为卷叶螟绒茧蜂与 2 龄幼虫存活率关系的亚模式。

由于此模式是用在养虫笼内试验所得数据建立的, 与大田实际情况不尽相同, 另外这种寄生蜂的大田密度调查方法尚待探讨, 所以此模式只供今后进一步的研究参考。

以上各研究和分析使我们进一步明确食料、气候条件及天敌因素对稻纵卷叶螟的影响。这些亚模式的建立使我们有可能在平均生命表的基础上进行种群动态模拟的尝试。

海陵第二代稻纵卷叶螟种群动态模拟

我们以 1976—1980 年五年的平均生命表资料为基础, 结合上述对若干重要生态因子作用的研究结果, 初步建立了海陵岛第二世代稻纵卷叶螟的种群动态模型。并且, 依据 1981 年的田间调查资料进行了检验和校正。

(一) 模型的建立 我们模型的基本结构是 Morris—Watt 种群动态数学模型, 即

$$I = S_1 S_2 S_3 \cdots S_i \cdots S_n P_{\frac{P}{F}} P_F F \quad (15)$$

式中 I : 害虫种群趋势指数; S_i : 各期存活率 (%); $P_{\frac{P}{F}}$: 雌虫比率 (%);

P_F : 达到标准产卵量百分率 (%); F : 标准产卵量 (粒/♀)。

对于模型中各因子的数量关系, 我们作如下处理: 已经建立亚模式的用亚模式代入, 其余因子用平均生命表中的五年平均值代入 (见表 7)。

据式 (15) 和表 7, 我们把模型的形式稍作改变, 得如下两个种群数量预测模型:

1. 第二世代稻纵卷叶螟进入暴食期 (4 龄幼虫) 的种群数量预测模型:

$$\begin{cases} L_4 = (0.4613)(0.8763)S_5 S_4 (0.9596)S_6 S_7 S_8 (0.7049)(0.9947)N_2 U_3, \\ S_5 = -0.0089t_E^2 + 0.4627t_E - 5.1065 \\ S_4 = 12.8071 \left[\frac{90}{1 + \exp(1.85 - 0.11T_4)} \right]^{-1.1588} \\ S_6 = 0.8652 - \frac{0.7290}{1 + \exp(1.85 - 0.11T_6)} \\ S_7 = (0.01)\exp(4.24d_p^{-0.076}) \\ S_8 = 0.8652 - \frac{0.7290}{1 + \exp(1.85 - 0.11T_8)} \end{cases} \quad (16)$$

式中 L_4 : 第二世代 4 龄幼虫数量 (头/亩); N_2 : 第二世代卵量 (粒/亩);
 t_E : 卵期日平均温度 (°C); T_i : 该虫期开始日期距五月一日的天数, 在五月一日 $T_i = 0$, 之前为负, 之后为正; d_p : 在 2 龄幼虫期卷叶螟绒茧蜂的密度 (头雌蜂/米²); U_3 : 在 3 龄幼虫末的平均存活率差异参数。

2. 第三世代稻纵卷叶螟田间卵量预测模型:

$$\begin{cases}
 N_3 = (0.4613)(0.8763)S_3S_4(0.9596)S_6S_7S_8(0.7049)(0.9947)S_{11}(0.7388) \\
 \quad S_{13}(0.7245)(0.9860)(0.6847)(0.7074)(0.9382)(0.5000)FP_FN_2U_5 \\
 S_3 = -0.0089t_E^2 + 0.4627t_E - 5.1065 \\
 S_4 = 12.8071 \left[\frac{90}{1 + \exp(1.85 - 0.11T_4)} \right]^{-1.1588} \\
 S_i = 0.8652 - \frac{0.7290}{1 + \exp(1.85 - 0.11T_i)} \quad (i = 6, 8, 11, 13) \\
 S_7 = (0.01)\exp(4.24d_p^{-0.0076}) \\
 P_F = 2.06 - 0.06t_f \quad (t_f > 26^\circ\text{C}) \\
 \text{或} \quad P_F = \frac{0.50}{1 + \exp(10.07 - 0.56t_f)} \quad (t_f \leq 26^\circ\text{C})
 \end{cases} \quad (17)$$

式中 N_2 : 第二世代卵量(粒/亩); N_3 : 第三世代卵量(粒/亩); t_E : 第二世代卵期日平均温度($^\circ\text{C}$); t_f : 第二世代成虫产卵期日平均温度($^\circ\text{C}$); T_i ($i = 4, 6, 8, 11, 13$): 该虫期开始日距五月一日的天数, 在五月一日 $T = 0$, 之前为负, 之后为正; d_p : 在2龄幼虫期卷叶螟绒茧蜂的密度(头雌蜂/米²); U_5 : 在五龄幼虫末的平均存活率差异参数; F : 标准产卵量, 在本文 $F = 200$ (粒/♀)。

(二) 模型的检验和校正 为了考察以上两个模型的有效性, 我们用1981年的实际调查资料对之进行初步的检验。1981年模型各参数值如下:

种植品种没有变化, 仍是桂朝2号, 故 $U_3 = 1$, $U_5 = 1$ 。第二世代田间卵量 $N_2 = 32000$ 粒/亩。第二世代卵期平均温度 $t_E = 23.00^\circ\text{C}$ 。5月6日为卵盛孵期, 故各龄幼虫开始日距5月1日的天数为: 1龄5天, 2龄8天, 3龄11天, 4龄14天, 5龄17天。所以 $T_4 = 5$, $T_6 = 8$, $T_8 = 11$, $T_{11} = 14$, $T_{13} = 17$ 。

第二世代成虫产卵期日平均温度 $t_f = 26.5^\circ\text{C}$ 。2龄幼虫期内卷叶螟绒茧蜂田间密度未能准确调查, 故 S_7 仍取1976—1980年的平均值, 即 $S_7 = 0.7419$ 。

1. 预测第二世代进入四龄幼虫期的种群数量: 把上述参数代入模型〔式(16)〕得: $\hat{L}_4 = 925.67$ (头/亩)。此时, 水稻正处在分蘖盛期, 若以1000头4龄幼虫/亩可造成1%的为害率计, 如允许1%的为害率则不必进行药剂防治。

当代实际田间调查得 $L_4 = 823$ 头/亩, 当代全岛没有施药防治, 未见造成明显为害。模型计算结果与实际调查基本相符。

2. 预测第三代卵量

(1) 在第二代卵期预测: 把1981年各参数值代入模型〔式(17)〕计算得: $\hat{N}_3 = 2854.4$ (粒/亩)。

(2) 在第二代3龄幼虫末期预测: 在3龄幼虫末期, 用1981年3龄及3龄前各期存活率的实际调查值(见表7)代替模型〔式(3)〕中所使用的五年平均值进行校正。即用 $S_1 = 0.3157$, $S_2 = 1.0000$, $S_3 = 0.8163$, $S_4 = 0.8675$, $S_5 = 0.9091$, $S_{10} = 1.0000$,

表 7

各因子的数量关系及亚模式

虫 期	死亡原因	各 期 存 活 率			
		符 号	1976—1980 平均值	亚 模 式	1981年值
卵	捕 食	S_1	0.4613	$S_3 = -0.0089t_E^2 + 0.4627t_E - 5.1065$	0.3157
	寄 生	S_2	0.8763		1.0000
	不 孵	S_3	0.9687		0.7983
幼 虫	1 龄 捕食及其他	S_4	0.3905	$S_4 = 12.8071 \left[\frac{90}{1 + \exp(1.85 - 0.11T_4)} \right]^{-1.1566}$	0.4900
		S_5	0.9596		0.8163
	2 龄 捕食及其他	S_6	0.5440	$S_6 = 0.8652 - \frac{0.7290}{1 + \exp(1.85 - 0.11T_6)}$	0.4900
		S_7	0.7419		0.8675
	3 龄 捕食及其他	S_8	0.6099	$S_8 = 0.8652 - \frac{0.7290}{1 + \exp(1.85 - 0.11T_8)}$	0.6600
		S_9	0.7049		0.9091
		S_{10}	0.9947		1.0000
	4 龄 捕食及其他	S_{11}	0.6023	$S_{11} = 0.8652 - \frac{0.7290}{1 + \exp(1.85 - 0.11T_{11})}$	0.5800
		S_{12}	0.7338		0.8548
	5 龄 捕食及其他	S_{13}	0.5242	$S_{13} = 0.8652 - \frac{0.7290}{1 + \exp(1.85 - 0.11T_{13})}$	0.5600
		S_{14}	0.7245		0.8393
		S_{15}	0.9860		1.0000
蛹	捕食及其他	S_6	0.6847		0.6000
	寄 生	S_7	0.7074		0.8500
	病 亡	S_{16}	0.9382		0.9000
成 虫	雌虫比率	P_{Ω}	0.5000	$P_F = 2.06 - 0.06t_f \quad (t_f > 26^\circ\text{C})$ $P_F = \frac{0.50}{1 + \exp(10.07 - 0.56t_f)} \quad (t_f \leq 26^\circ\text{C})$	0.5000
	达标准卵量百分率	P_F			

注：表中 t_E 、 t_f 分别为卵期及成虫产卵期平均温度。 T_i 为该虫期开始日距五月一日的天数。

按模型算得 $\hat{N}_3 = 2873.73$ (粒/亩)。

(3) 在化蛹前预测：用同样方法在化蛹前对模型进行校正，计算第三代卵量为 $\hat{N}_3 = 3933.09$ (粒/亩)。据6月4日实际调查第三代田间卵量平均为 $N_3 = 4160$ 粒/亩。模型计算结果与实际调查基本相符。对第三代稻纵卷叶螟全岛不必进行防治。

检验结果表明，在1976—1980年平均生命表基础上建立起来的模型〔式(16)和式(17)〕具有一定的预测能力。在预测第三代的卵量时，计算值与实际调查值之间的差距随着对模型的逐步校正而缩小。这说明了这些模型仍需不断地进行校正。我们根据

1976—1981年的平均生命表(庞雄飞等1981)把以上两个模型校正为第二世代4龄幼虫种群数量预测模型:

$$\begin{cases} L_4 = (0.4371)(0.8970)S_3S_4(0.9357)S_6S_7S_8(0.7389)(0.9956)N_2U_3 \\ S_3 = -0.0089t_E^2 + 0.4627t_E - 5.1065 \\ S_4 = 12.8071 \left[\frac{90}{1 + \exp(1.85 - 0.11T_4)} \right]^{-1.1588} \\ S_i = 0.8652 - \frac{0.7290}{1 + \exp(1.85 - 0.11T_i)} \quad (i = 6, 8) \\ S_7 = (0.01)\exp(4.24d_p^{-0.078}) \end{cases} \quad (18)$$

式中 L_4 : 第二代四龄幼虫种群数量(头/亩); N_2 : 第二代卵量(粒/亩); t_E : 卵期日平均温度($^{\circ}\text{C}$); T_i : 该虫期开始日距5月1日的天数, 在5月1日 $T = 0$, 之前为负, 之后为正; d_p : 在2龄幼虫期卷叶螟绒茧蜂的密度(头雌蜂/米²); U_3 : 在3龄幼虫末的平均存活率差异参数。

第三代田间卵量预测模型:

$$\begin{cases} N_3 = (0.4371)(0.8970)S_3S_4(0.9357)S_6S_7S_8(0.7389)(0.9956)S_{11} \\ \quad (0.7572)S_{13}(0.7436)(0.9883)(0.6706)(0.7311)(0.9318) \\ \quad (0.5000)P_F N_2 U_5 \\ S_3 = -0.0089t_E^2 + 0.4627t_E - 5.1065 \\ S_4 = 12.8071 \left[\frac{90}{1 + \exp(1.85 - 0.11T_4)} \right]^{-1.1588} \\ S_i = 0.8652 - \frac{0.7290}{1 + \exp(1.85 - 0.11T_i)} \\ S_7 = (0.01)\exp(4.24d_p^{-0.078}) \\ P_F = 2.06 - 0.06t_f \quad (t_f > 26^{\circ}\text{C}) \\ \text{或 } P_F = \frac{0.50}{1 + \exp(10.07 - 0.56t_f)} \quad (t_f \leq 26^{\circ}\text{C}) \end{cases} \quad (19)$$

式中 N_3 : 第三代卵量(粒/亩); N_2 : 第二代卵量(粒/亩); U_5 : 5龄幼虫末的平均存活率差异参数; t_E : 第二代卵期日平均温度($^{\circ}\text{C}$); t_f : 第二代成虫产卵期日平均温度($^{\circ}\text{C}$); T_i ($i = 4, 6, 8, 11, 13$): 该虫期开始日距5月1日的天数, 在5月1日 $T = 0$, 之前为负, 之后为正; d_p : 在2龄幼虫期卷叶螟绒茧蜂的密度(头雌蜂/米²)。

讨 论

综合上述研究, 我们认为以平均生命表为基础来建立害虫种群动态数学模型是较为简便易行的。由于在田间影响害虫种群数量的生态因子往往极其复杂, 要逐一加以研究来建立模型是困难的, 且有主次不分之弊。在生命表分析的基础上, 集中研究建立较为

重要的因子的亚模型,对其余次要因子则用平均生命表中的数值来估计,这样来建立模型有突出重点、主次兼顾的好处。从我们的初步尝试看来,用这样方法建立的模型有相当的可靠性,可供同类的研究参考。

由于我们的研究主要是在海陵岛进行的,所以建立的模型有其局限性。另外,对几个重要因子的研究中尚未考虑它们之间的相互影响,这些都有待在今后进一步研究校正。

参 考 文 献

- [1] 庞雄飞、侯任环、梁广文、李哲怀,1981,稻纵卷叶螟防治策略探讨(一)稻纵卷叶螟生命表及其主要死亡因子分析,《华南农学院学报》2(4)71—84。
- [2] 张左生、王功满,1976,《稻纵卷叶螟的防治》,上海人民出版社。
- [3] Hassell, M. P. 1970 Parasite behaviour as a factor contributing to the stability of insect host parasite interaction. In "Proc. Adv. Study Insect Dynamics Population" (eds. P. J. den Bder and G. R. Gradwell) .pp: 366-79.
- [4] International Rice Testing Program (IRTP) 1980 Standard Evaluation System for Rice.
- [5] Jones, D. 1976 The budworm site model. In "Pest Management" (eds G. A. Norton and C. S. Holling). Pergamon Press.
- [6] Kiritani, K. 1976 A systems approach to pest management of the green rice leafhopper. In "Pest Management" (eds. G. A. Norton and C. S. Holling). Pergamon press.
- [7] Levins, R. and M. Wilson, 1980 Ecological theory and pest management. Ann. Rev. Entomol. 25:287-308.
- [8] Morris, R. F. 1963 Predictive population equation based on key factors. Mem. Ent. Can., (32):16-21.
- [9] Morris, R. F. 1963 The dynamics of epidemic spruce budworm population worm populations. Can. Ent. Mem. 31:332.
- [10] Seem, R. 1979 Computers in IPM. New York's food and life sciences. 12(2):9-11.
- [11] Smith, R. F. 1976 Integrated pest Management. Plenum Press, New York.
- [12] Smith, J. M. 1975 Model in Ecology. Cambridge University Press, London, New York.
- [13] Watt, K. E. F. 1961 Mathematical models for use in insect pest control. Can. Entomologist, Suppl. 19:62pp.
- [14] Watt, K. E. F. 1963 Mathematical population models for five agricultural crop pests. Can. Ent. Soc., Mem. (32):83-91.

STUDIES ON THE POPULATION DYNAMICS AND CONTROL OF RICE LEAF ROLLER IN HAILING ISLAND, GUANGDONG PROVINCE

II. The relationships between several important ecological factors and the population size, and the simulation of the population dynamics of the pest in the 2nd generation

Pang Xiong-fei Liang Guang-wen
(Department of Pest protection)

ABSTRACT

In the present paper the relationships between some important ecological factors and the population size of rice leaf roller were studied. Several sub-models have been constructed, such as the sub-model for evaluating the rice variety resistance to rice leaf roller, the sub-model of relationship between the temperature and the fecundity, the sub-model of relationship between the temperature and the hatching rate of eggs, the sub-model of the relationship between the mixed population of various species of spiders and the population of the pest, and the sub-model of relationship between the density of *Apanteles cypris* Nixon and the survival rate of the 2nd-instar larva of the pest.

Based on the 5 year's average life table of 1976-1980 and the sub-models of the relationships between the ecological factors and the population dynamics of rice leaf roller, two monitoring models were developed; a) the model for monitoring the population size of the 4th-instar larva of the pest in the 2nd generation in Hailing island; b) the model for monitoring the egg density of the 3rd generation.

The models were examined with the observed data of 1981, and the results showed that the models worked well under the actual conditions in Hailing island. These two monitoring models have been calibrated with the average life table of 1976-1981. The models are suited to input into the simple computer, such as TI Programmable 59 calculator, to monitor the population size of the pest.