

# 不同桑树品种上朱砂叶螨实验种群内禀增长率的统计推断

吴福安<sup>1,2</sup>, 周金星<sup>3</sup>, 余茂德<sup>1\*</sup>, 王茜龄<sup>1</sup>, 徐立<sup>1</sup>, 鲁成<sup>1</sup>, 敬成俊<sup>1</sup>

(1. 西南大学蚕学与生物技术学院, 重庆 400716; 2. 中国农业科学院蚕业研究所, 江苏镇江 212018;

3. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091)

**摘要:** 为了正确地评价不同桑树品种上朱砂叶螨为害差异, 本文通过使用 Jackknife 方法(刀切法), 采用合适的生殖力生命表构建方法, 对朱砂叶螨实验种群在不同的 4 个桑树品种上生殖力表的内禀增长率进行了统计推断。结果表明, 温度为  $28 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相对湿度  $75\% \pm 10\%$ 、光周期 16L:8D 的条件下, 西农 6071(山桑 *Morus bombycis* Koidz., 2x) 和田白桑(白桑 *M. alba* Linne, 3x) 新一之濂(白桑 *M. alba* Linne, 2x) 和大石(广东桑 *M. atropurpurea* Roxb., 3x) 4 个桑树品种上朱砂叶螨  $r_m$  值大小依次为 0.41894(0.41043 ~ 0.42746), 0.37065(0.36604 ~ 0.37526), 0.36171(0.35778 ~ 0.36563) 和 0.35253(0.34757 ~ 0.35748)。通过对“伪值”样本同秩的成对  $t$  检验比较, 这 4 个桑树品种对朱砂叶螨内禀增长率的影响有显著差异。结果说明朱砂叶螨对 4 种桑树的易感性, 以西农 6071、和田白桑、新一之濂、大石顺序渐弱。

**关键词:** 朱砂叶螨; 桑树; 实验种群生命表; 生殖力; 内禀增长率; 统计推断; 刀切法

中图分类号: Q969 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2006)02-0287-08

## Statistical inference on the intrinsic rate of increase of the carmine spider mite, *Tetranychus cinnabarinus* on different mulberry cultivars (*Morus* L.) under laboratory conditions

WU Fu-An<sup>1,2</sup>, Zhou Jin-Xing<sup>3</sup>, YU Mao-De<sup>1\*</sup>, WANG Qian-Ling<sup>1</sup>, XU Li<sup>1</sup>, LU Cheng<sup>1</sup>, JING Cheng-Jun<sup>1</sup>

(1. College of Sericulture and Biotechnology, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2. The Sericultural Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhenjiang, Jiangsu 212018, China; 3. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

**Abstract:** For wisely detecting resistance difference of mulberry cultivars to the carmine spider mite, *Tetranychus cinnabarinus* Boisduval, statistical inference on the intrinsic rate of increase of the mite on different mulberry cultivars (*Morus* L.) was conducted using Jackknife technique based on the life table data of the mite bred under laboratory conditions at  $28 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $75\% \pm 10\%$  RH and a photoperiod of 16L:8D with different mulberry cultivars. The results showed that the  $r_m$  values of Xinong6071 (*M. bombycis* Koidz., 2x), Hetianbaisang (*M. alba* Linne, 3x), Xinyizhilai (*M. alba* Linne, 2x) and Dashi (*M. atropurpurea* Roxb., 3x) were 0.41894 (0.41043 - 0.42746), 0.37065 (0.36604 - 0.37526), 0.36171 (0.35778 - 0.36563) and 0.35253 (0.34757 - 0.35748), respectively. Pairwise comparison  $t$ -tests were performed based on the respective ranks in Jackknife samples between different treatment groups with their respective  $P$  values. The results indicated that there existed significant difference between the  $r_m$  values of the mite on different mulberry cultivars, and the susceptibility of the four cultivars of mulberry weakened sequentially in the order above.

**Key words:** *Tetranychus cinnabarinus*; *Morus*; laboratory population life table; fertility; intrinsic rate of increase; statistical inference; Jackknife technique

基金项目: 国家“十五”重点科技攻关专题内容(2001BA502B01); 财政部“长江流域低山丘陵综合治理专项”内容(2004-04)

作者简介: 吴福安, 男, 1961年9月生, 在读博士生, 副研究员, 主要从事桑树病虫害防治研究, E-mail: fuword@163.com

\* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: yumd@163.com; Tel.: 023-682510191

收稿日期 Received: 2005-06-21; 接受日期 Accepted: 2005-10-19

朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* 为害包括桑树 *Morus L.* (叶元柏和唐以巡, 1979; 黄尔田和张夫其, 1989) 在内的 120 种以上经济作物 (Jeppson *et al.*, 1975; 忻介六, 1988)。因此, 研究它的生物学特性有着重要的经济学意义。过分依赖化学药剂防治朱砂叶螨容易导致该螨抗药性产生 (何林等, 2002), 寻求植物本身的抗虫特性 (雷慧德等, 2004) 来控制叶螨类害螨日益被人们所关注。

生殖力生命表原理由 Lotka (1907) 首先提出, 构建描述和分析由 Deevey (1947), Birth (1948) 和 Southwood (1978) 等创立并加以发展, 现已成为昆虫种群生态学的重要研究手段之一 (徐汝梅, 1987; 丁岩钦, 1994; Krebs, 2001)。昆虫生殖力表内禀增长率 ( $r_m$ ) 参数, 是综合了昆虫生长发育、生殖产卵和生存变化的一个单统计量, 反映种群在特定环境下数量增长潜能的一个重要指标, 可以用作鉴定植物抗虫指数之一 (Frei *et al.*, 2003; Myers *et al.*, 2005)。计算  $r_m$  值, 有近似与精确两种方法 (Southwood, 1978; 徐汝梅, 1987; 丁岩钦, 1994)。最近国外采用精确算法比较普遍 (Irvin *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2004; Myers *et al.*, 2005), 而国内采用精确算法 (刘树生等, 2000; 陶士强等, 2005a, 2005b; Qiu and Ren, 2005) 较少。这两种计算方法求出的  $r_m$  值, 往往相差较大 (Southwood, 1978; 徐汝梅, 1987; 丁岩钦, 1994; Maia *et al.*, 2000)。目前, 建立在  $r_m$  精确值基础上的生命表综合参数统计描述与统计推断, 已成为国际上相关领域研究的新动向之一 (Irvin *et al.*, 2004; Myers *et al.*, 2005)。为此, 我们以朱砂叶螨为靶标生物和以桑树为寄主植物, 对朱砂叶螨实验种群生殖力表内禀增长率进行统计推断, 从统计学上来评价桑树种质资源与品种的抗虫特性, 为今后桑树抗虫育种及桑树害虫综合防治提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

1.1.1 寄主植物: 用没有喷过农药的桑树新品种嘉陵 20 号 (3x) 第 3~5 叶位的桑叶饲养待试朱砂叶螨。在西南大学蚕学与生物技术学院桑树品种资源圃里, 选取肥力一致、各项田间管理措施相近, 且在圃里位置相邻的 3 个种系中的 4 个桑树品种——西农 607K (属于山桑 *M. bombycis* Koidz., 2x) 和田白桑 (属于白桑 *M. alba* Linne, 3x) 新一之濑 (属于白

桑 *M. alba* Linne, 2x) 和大石 (属于广东桑 *M. atropurpurea* Roxb., 3x) 各 3 株, 每次采摘第 3 叶位的桑叶为供试饲料。4 个品种依次记为分组变量  $g$  ( $g = 1, 2, 3, 4$ )。

1.1.2 供试虫源: 从西南大学植保学院引进在室内已饲养 6 年的未接触过农药的朱砂叶螨实验种 (何林, 2002) 1 000 余头, 用嘉陵 20 号桑树饲养 2 个月以后, 作为供试虫源。

1.1.3 饲养方法: 从桑树品种资源圃采回的桑叶, 用自来水冲洗 1 min 后, 再用双蒸水洗 3 到 5 次, 晾干去叶子表面上的多余的水份。用打孔器打成直径为 30 mm 的圆叶片, 然后叶背朝上, 贴于直径为 11 cm 的培养皿里的平整脱酯棉上 (培养皿中加适量水, 使脱酯棉湿润并含有适量水)。实验所用到的脱酯棉、培养皿等器皿及保湿用的水, 都经过高压 121℃, 20 min 灭菌。每培养皿放 4 个有一定间距的圆叶片, 并在对应方位培养皿的侧壁上, 用记号笔编号。饲养在温度为 ( $28 \pm 1$ )℃, 相对湿度 75%  $\pm$  10%, 光周期 16L:8D 的光照培养箱中。每 4 天更换一次叶片。

### 1.2 生殖力表构建

每个桑树品种随机选择 20 只圆叶片, 每圆叶片随机接产卵盛期的雌成虫 5 头, 让其自然产卵, 8 h 后移去雌成螨, 孵育卵至成螨作为正式实验用螨。待相应品种的圆叶片上雌成螨至产卵旺盛期, 每品种 ( $g$ ) 再随机准备 40 只圆叶片, 随机放入 10 只直径为 11 cm 的培养皿里的平整脱酯棉上 (每皿放 4 只圆叶片, 圆叶片间相分离, 其上的螨彼此隔离), 顺序编号  $N_{gi}$  ( $g = 1, 2, 3, 4; i = 1, 2, \dots, 40$ )。每圆叶片随机挑接产卵盛期的雌成虫 5 头, 2~3 h 后移去雌成螨, 得卵 3~6 粒, 每天观察孵育卵的发育变化, 至若螨, 从每圆叶片 ( $N_{gi}$ ) 上随机保留 1 雌 1 雄 2 只螨, 多余的螨挑除。每天观察记录每组的每雌螨每天产卵量 ( $N_{gix}$ ) 存活数 (number of females surviving up to time  $x$ ,  $NFS_{gx}$ ), 直至死亡。每组每天产的卵, 收集在一起集中饲养到能分辨雌雄后, 调查统计其数量。

### 1.3 数据 处 理

特定年龄存活率 ( $l_{gx}$ ): 又称  $x$  年龄时存活率或存活的概率 (丁岩钦, 1994) 累积生存率 (Maia *et al.*, 2000) 等。每组的  $l_{gx}$  用活到 (关键) 年龄 ( $x$ ) 的雌虫数 ( $NFS_{gx}$ ) 与该同生群开始时的总雌螨数 ( $N_{g0}$ ) 的比值来估计 (Krebs, 2001)。如下列 (1) 式。

$$l_{gx} = \frac{NFS_{gx}}{N_{ga}} \quad (1)$$

雌卵比 (ratio of female eggs,  $RFE_g$ ):按组来估计。每组雌卵比,为每组同生群(cohort)整个世代的总卵量(total number of eggs,  $TNE_g$ )中雌螨(number of adult females,  $NAF_g$ )所占的比例。按下列(2)式计算。

$$RFE_g = \frac{NAF_g}{TNE_g} \quad (2)$$

特定年龄生殖力( $m_{gx}$ )表示  $x$ (关键)年龄期间平均每雌的产雌数(丁岩钦, 1994),或者代表每个(关键)年龄间隔每雌生下活的雌性个体数(Southwood, 1978)。用  $x$ (关键)年龄时平均每雌产下的卵数( $N_{gx}$ )与雌卵比( $RFE_g$ )的乘积来估计。按(3)式计算。

$$m_{gx} = N_{gx} \times RFE_g \quad (3)$$

#### 1.4 内禀自然增长率计算

计算过程分两步(Meyer *et al.*, 1986; Maia *et al.*, 2000)。首先是基于对世代平均周期( $T_c \approx \sum l_x m_x x / \sum l_x m_x$ )和净生殖力( $R_0 \approx \sum l_x m_x$ )的近似计算来计算内禀增长率的近似值  $r_c$  ( $r_c \approx \ln R_0 / T_c$ ) (Birch, 1948; Southwood, 1978; 丁岩钦, 1994)。然后以 0.00001 为步长,以  $r_c$  为起始值,对方程  $\sum l_x m_x \exp(-r_m x) - 1 = 0$  进行迭代求解,精度设为  $|\sum l_x m_x \exp(-r_m x) - 1| \leq 0.0001$ ,解出方程的根,即为内禀增长率的精确值( $r_m$ )。

#### 1.5 内禀自然增长率的统计推断

参照 Maia 等(2000)和 Meyer 等(1986)提出的用 Jackknife 方法估计  $r_m$  变异技术,对生殖力表的内禀增长率参数进行统计推断。Jackknife 方法(Quenouille, 1956; Tukey, 1958; Miller, 1974)是一种利用再抽样手段来估计复杂函数变量变异的非参数统计方法(Quinn and Keough, 2002; 葛广平, 2003)。其原理为,对总体中随机抽取的  $n$  个观测值样本,进行排序,并计算其均值;然后,移去排序后的总样本中第 1 个观测值,来构建第一个观测值的“伪值”(Pseudo-values),该“伪值”等于:总样本的均值与  $n$  乘积减去移掉第一个观测值后样本的均值与  $(n-1)$  乘积,如公式(4)。同理,移去排序后的总样本中第 2 个观测值、第 3 个观测值……直至第  $n$  个观测值,来构建排序后总样本相应观测值的“伪值”。以上构建的  $n$  个“伪值”,构成了一个 Jackknife 样本。

如果此 Jackknife 样本呈正态或者近似正态分布,样本容量适当,那么其点估计和置信区间估计便可以利用  $t$  分布来进行(Crowley, 1992)。估计出的结果,是对总体参数的偏倚很小的近似估计(Tukey, 1958; Miller, 1974; Crowley, 1992)。

本文利用 Jackknife 方法对  $r_m$  的统计推断,包括  $r_m$  点估计、 $r_m$  置信区间估计和 2 个处理组间成对  $t$  检测的 3 个方面的内容。其步骤为:首先,按 1.4 方法按组计算各组  $r_m$  的精确值,并记作  $r_{mg0}$ ;然后,每组处理按累积生存率降序排秩、相同的累积生存率则按产卵量降序排秩进行重新编号( $i = 1, 2, \dots, n$ ),每次移去重新编号中的第  $i$  位置上的螨所对应的调查数据,对余下的  $(n-1)$  个螨的调查数据再按 1.4 方法按组计算各组内禀增长率的精确值  $r_{mg-i}$ ,按公式(4)计算对应的“伪值”来构建各组的 Jackknife 样本(Meyer *et al.*, 1986; Maia *et al.*, 2000; 葛广平, 2003)。

$$PSVr_{mgi} = n \times r_{mg0} - (n-1) \times r_{mg-i} \quad (4)$$

对每个组处理的内禀增长率参数的 Jackknife 样本采用常规的  $t$  分布进行点估计(如公式 5)和置信区间估计(如式 7,  $s_g$  是每组( $g$ )内禀增长率的 Jackknife 样本平均数的标准误,  $t_{0.05(n-1)}$  是自由度为  $n-1$ 、置信系数为 95% 的  $t$  分布上临界值);对每 2 个组处理间的同序号“伪值”( $i = 1, 2, \dots, n$ )使用成对数据一尾  $t$  检验,显著水平为 2.5% (Maia *et al.*, 2000)。

$$r_{mg} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n PSVr_{mgi} \quad (5)$$

$$S_g = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (PSVr_{mgi} - r_{mg})^2} \quad (6)$$

$$r_{mg} \pm t_{0.05(n-1)} \times S_g \quad (7)$$

#### 1.6 统计分析

按 Maia 等(2000)编制的 SAS 程序数据格式要求,整理原始数据,建立数据文件。修改该程序的数据步,增添对各  $r_m$  的 Jackknife 样本的进行正态描述和作图程序步,在 SAS 9.0 进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同桑树品种上朱砂叶螨实验种群生殖力表内禀增长率的差异

4 个桑树品种上的朱砂叶螨实验室种群生殖率表内禀增长率的统计推断结果如表 1。在各桑树品

种间都存在差异。这种差异的可能来源于 3 个方面,一是朱砂叶螨实验种群的基因型差异(何林等, 2002),种群对桑树的适应性(包括环境因素)和桑树品种间的差异(叶元柏和唐以巡, 1979)。从种群基因型角度来考察,由于该种群在西南大学植保学院室内续代饲养有 6 年以上,在引入本实验室以后,又进行 7 代分区淘汰续代饲养,这实际上相当于一个纯系过程,所以由朱砂叶螨实验种群的基因型差异

带来的生命表综合参数的差异很小。在进行分组构建生命表前,又进行了相应品种的 1 代饲养。在实验室环境下,其他条件都相同或者相近的情况下,由种群对桑树的适应性所造成的生命表参数的差异也很小。因此,引起朱砂叶螨实验种群在桑树上生命表内禀增长率的差异,主要是由于桑树品种间的差异引起的。这与生产上桑树品种间对朱砂叶螨抗性有差别现象(叶元柏和唐以巡, 1979)相一致。

表 1 4 个桑树品种的上的朱砂叶螨生殖力表综合参数值估计

Table 1 Estimation of  $r_m$  and  $R_0$  values for data from  $l_x m_x$  of the carmine spider mite populations on 4 mulberry cultivars

参数 Parameters	组 1 Group 1	组 2 Group 2	组 3 Group 3	组 4 Group 4
内禀增长率*	0.41894	0.37065	0.36171	0.35253
Intrinsic rate of increase ( $r_m$ )*	(0.41043 - 0.42746)	(0.36604 - 0.37526)	(0.35778 - 0.36563)	(0.34757 - 0.35748)
净增殖率*	43.4321	36.7321	47.1305	45.2558
Net reproductive rate ( $R_0$ )*	(40.3407 - 46.5236)	(33.2014 - 40.2629)	(41.2042 - 53.0569)	(41.3158 - 49.1957)
未成熟生存率				
Preimaginal survivorship ( $IS_g$ )	0.9729	0.9768	0.9953	0.9962
雌性比 Ratio of females ( $SR_g$ )	0.8479	0.8672	0.7958	0.7819

\* 为 Jackknife 样本的平均值,括号里依次为 95% 的上、下限值 Being the means of Jackknife-estimates, and values in the bracket are lower bound and upper bound of 95% CL.

不同桑树品种处理组 Treatment groups on different mulberry cultivars: 组 1 Group 1: 西农 6071 Xinong6071; 组 2 Group 2: 和田白桑 Hetianbaisang; 组 3 Group 3: 新一之瀨 Xinyizhilai; 组 4 Group: 大石 Dashi. 下同 The same below.

2.2 内禀增长率的统计推断基础

4 个桑树品种上的朱砂叶螨内禀增长率各种计算值如表 2。近似值依次为 0.34912, 0.30871, 0.30156 和 0.29386, 而根据 Lotka 方程采用迭代法的精确值依次为 0.41894, 0.37045, 0.36187 和 0.35263, 近似值比精确值都要小 16.67%。根据 Jackknife 方法得到的估计值依次为 0.41894, 0.37065, 0.36171 和 0.35253, 估计值比精确值依次小 0.0000%, 0.0540%, -0.0442% 和 -0.0284%, 可见估计值与精确值相差很小。近似值总是比精确值

小,小的程度受净增殖率( $R_0$ )大小和同胞群中产卵年龄分布影响。朱砂叶螨实验种群在 4 个桑树品种上的净增殖率为 30 至 50 之间,如表 1。但是产卵量变异(图 1)和产卵年龄分布(图 2)变异较大,所以导致近似值比精确值都要明显的小。内禀增长率精确值的计算,是来于  $1 = \sum l_x m_x \exp(-r_m x)$  方程,更能体现种群指数增长模型的假设,以精确计算值为基础进行  $r_m$  的统计推断更为合理、可靠。

表 2 4 个桑树品种上的朱砂叶螨生殖力表内禀增长率各种估计值的比较

Table 2 Comparison between  $r_m$  values of *Tetranychus cinnabarinus* populations on 4 mulberry cultivars based on different estimate methods

组号 Group no.	近似值 Approximate method ( $r_a$ )	精确值 Iterating method ( $r_i$ )	推断值 Jackknife method ( $r_j$ )	与精确值比较 Proportion to $r_i$ (%)	
				$r_a$	$r_j$
1	0.34912	0.41894	0.41894	-16.6659	0.0000
2	0.30871	0.37045	0.37065	-16.6662	0.0540
3	0.30156	0.36187	0.36171	-16.6662	-0.0442
4	0.29386	0.35263	0.35253	-16.6662	-0.0284

2.3 内禀增长率的 Jackknife 估计与置信区间

4 个桑树品种上朱砂叶螨实验室种群内禀增长率 Jackknife 样本的正态检验结果如表 3。用 Kolmogorov-Smirnov 法检验,4 个样本都与正态分布

差异不显著。但是,用 Shapiro-Wilk 法检验,组 1 样本与正态分布差异显著。说明组 1 样本的正态分布比其他 3 个样本要差,这从偏倚数值上也可以看出,组 1 的偏倚最大。尽管如此,从偏度与峰度上,这 4

个样本都可以看作是近似正态分布。所以,对它们可以采用  $t$  检验进行点估计与置信区间推断。推断的结果依次为  $0.41894(0.41043 \sim 0.42746)$ 、 $0.37065(0.36604 \sim 0.37526)$ 、 $0.36171(0.35778 \sim 0.36563)$ 和  $0.35253(0.34757 \sim 0.35748)$ ,如表 1。上下限与点估

计分别依次相差  $2.03\%$ 、 $1.24\%$ 、 $1.09\%$ 和  $1.41\%$ ,说明这 4 个桑树品种的点估计与置信区间估计,在轻度偏正态的情况下,可以采用  $t$  检验方法来估计,这个结论支持 Efron (1982) 理论上的结论。

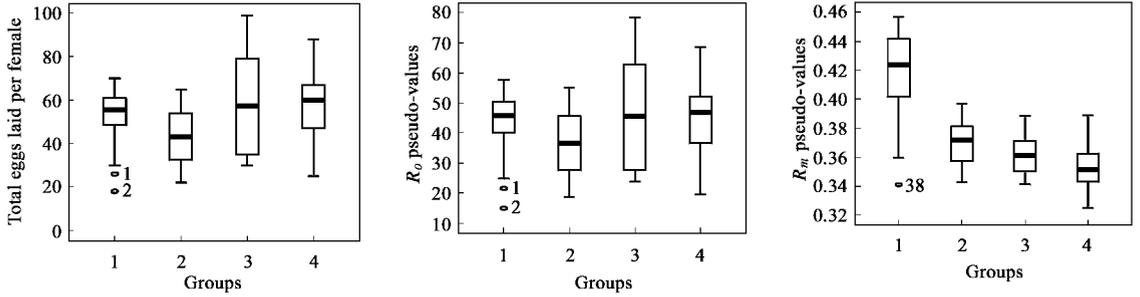


图 1 每组处理桑树品种上朱砂叶螨总产卵量及净增殖率、内禀增长率的伪值箱图

Fig. 1 Box and whisker plots for total eggs,  $R_0$  pseudo-values and  $R_m$  pseudo-values for each group. 矩形框的上中下 3 条线分别为样本的第 75、50、25 百分位数,框内的数值为中位值。中间的触须线联接极值,超过箱体上下线差值的 1.5 倍值为奇异值。The bottom and top edges of the box are located at the 25th, 50th and 75th percentiles. The center horizontal line is drawn at the median. The vertical lines (whisker) extend from the box as far as the data extend, to the 1.5 interquartile ranges at most.

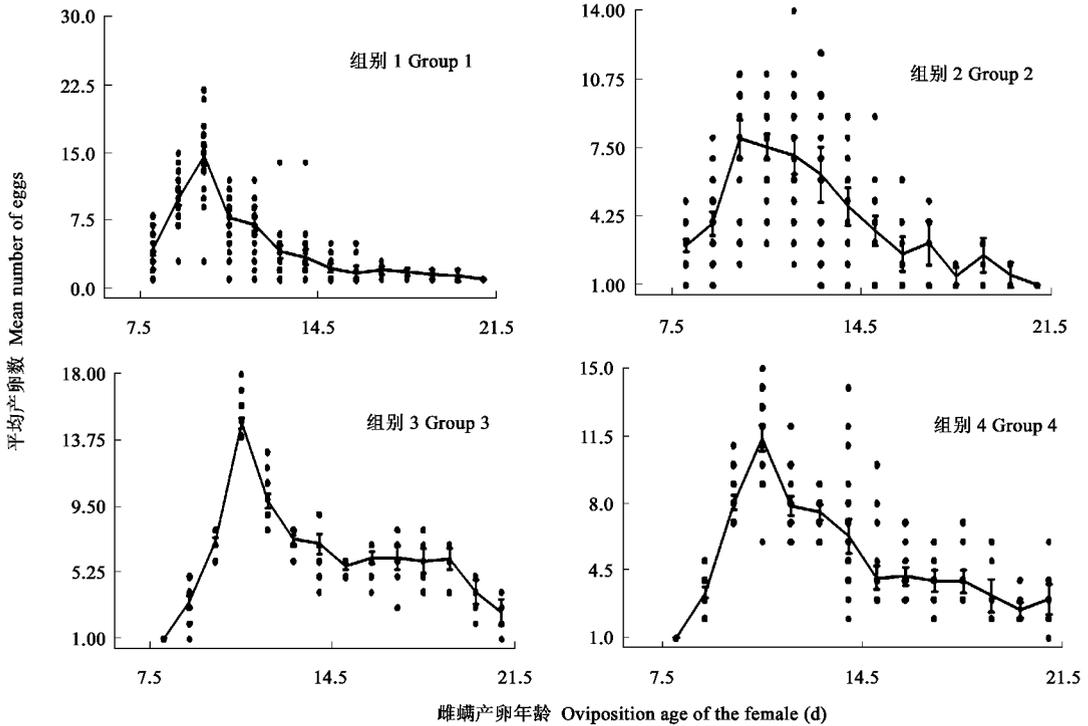


图 2 不同桑树品种上朱砂叶螨雌螨产卵年龄分布

Fig. 2 Oviposition age distribution of female *Tetranychus cinnabarinus* on different mulberries

表 3 4 个桑树品种上朱砂叶螨实验室种群内禀增长率 Jackknife 样本的正态检验

Table 3 Four normality test of Jackknife samples of  $r_m$  of *Tetranychus cinnabarinus* populations on 4 mulberry cultivars

组别 Group	K-S 检验 Statistic	Kolmogorov-Smirnov Sig.	S-W 检验 Statistic	Shapiro-Wilk Sig.	偏度 Mean	Skewness SE	峰度 Mean	Kurtosis SE
1	0.098	0.200	0.941	0.038	-0.876	0.374	0.648	0.733
2	0.125	0.117	0.961	0.183	0.057	0.374	-0.982	0.733
3	0.127	0.105	0.955	0.110	0.316	0.374	-0.938	0.733
4	0.115	0.200	0.975	0.516	0.275	0.374	-0.333	0.733

## 2.4 不同桑树品种上朱砂叶螨内禀增长率比较

朱砂叶螨在 4 个桑树品种上内禀增长率成对  $t$  差异检验结果如表 4。两尾检验的结果显示,这 4 个品种上的朱砂叶螨内禀增长率有显著差异,通过

上限一尾检验,说明 4 个内禀增长率,组 1、组 2、组 3、组 4 差异渐小排序是显著的。说明对朱砂叶螨的易感性是以西农 6071、和田白桑、新一之濑、大石顺序渐弱。

表 4 朱砂叶螨在 4 个桑树品种上生殖率表内禀增长率成对  $t$  差异检验

Table 4 T-test for pairwise group comparison on  $r_m$  of *Tetranychus cinnabarinus* population on 4 mulberry cultivars

比较组 A Group A	比较组 B Group B	两尾概率值 $p$ -values for two-tailed	上限一尾概率值 $p$ -values for upper-tailed	下限一尾概率值 $p$ -values for lower-tailed
1	2	< 0.00001	< 0.00001	1.00000
1	3	< 0.00001	< 0.00001	1.00000
1	4	< 0.00001	< 0.00001	1.00000
2	3	0.00379	0.00190	0.99810
2	4	< 0.00001	< 0.00001	1.00000
3	4	0.00438	0.00219	0.99781

## 3 讨论

### 3.1 昆虫生殖力表数据统计

合适的特定年龄存活率( $l_x$ )和特定年龄生殖力( $m_x$ )统计计算方法是正确估计生殖力表各参数的前提。昆虫产下的卵不能立即辨别雌雄,实验室对同生群的分析一般是从成虫开始,应该把从卵期到成虫阶段的生存率整合到生殖力生命表特定年龄存活率( $l'_x$ )之中(汪信庚和刘树生,1998;Maia *et al.*, 2000)。这个生存率,可以用同生群  $F_1$  代的辨别雌雄时刻,成活的雌雄数( $NA$ )与同生群产卵总数( $TNE$ )之比来估计(如公式 8),Maia 等(2000)定义为未成熟生存率(immature stages survivorship,  $IS$ )。由于是用子代的数据来估计上代的数据,所以也称作“镜像生存率”(preimaginal survivorship)(Maia *et al.*, 2000)。因此,整个世代的特定年龄存活率( $l_x$ )应该是  $l_x = IS \times l'_x$ (汪信庚和刘树生,1998;Maia *et al.*, 2000)。

$$IS = \frac{NA}{TNE} \quad (8)$$

特定年龄生殖力( $m_x$ ),为  $x$ (关键)年龄期间平均每雌的产雌数,即每个(关键)年龄间隔每雌生下活的雌性个体数(Southwood, 1978;丁岩钦,1994)。这个数据,可直接通过饲养每个雌虫在每个关键年龄产下卵而获得,但工作量是非常之大,所以要用估计值。可以用  $x$ (关键)年龄同生群总卵数(number of eggs laid by female in each age  $x$ ,  $NEF_x$ )与雌性比(ratio of females,  $SR$ )(Maia *et al.*, 2000)的乘积,再用  $x$ (关键)年龄时同生群成活雌虫数来平均( $NFS_x$ )

加以估计,如公式(9)。 $SR$ 是上述用来调查未成熟生存率时的雌体数( $NAF$ )与其成活的雌雄数( $NA$ )之比(表 1),如公式(10)。或者与性比(雌雄比)(徐汝梅,1987;丁岩钦,1994;Krebs, 2001;Mackenzie *et al.*, 2001)的乘积来估计。如果性比是 1(即雌雄比为 1:1),计算方便,但多数情况下,性比不是 1。

$$m'_x = \frac{NEF_x \times SR}{NFS_x} \quad (9)$$

$$SR = \frac{NAF}{NA} \quad (10)$$

本研究通过雌卵比,把未成熟生存率( $IS$ )整合到  $m_x$  之中。净增殖力( $R_x$ )在计算上,  $R_x = l_x m_x$  总是成立(Southwood, 1978;徐汝梅,1987;丁岩钦,1994;Maia *et al.*, 2000;Krebs, 2001;Mackenzie *et al.*, 2001)。即:

$$R_x = l_x \times m'_x = IS \times l'_x \times m'_x \quad (11)$$

把公式(8)(9)(10)代入到公式(11),经恒等变换得公式(12):

$$R_x = l'_x \times \frac{NEF_x}{NFS_x} \times \frac{NA}{TNE} \times \frac{NAF}{NA} \quad (12)$$

如果只考虑一个同生群,把公式(2)代到公式(12):

$$R_0 = l'_x m_x \quad (13)$$

可见,雌卵比是一个昆虫产卵与同样情况下成活雌虫之间的转换系数,不仅计算方便,而且符合 Southwood(1978)定义。

### 3.2 内禀增长率的统计推断

Jackknife 法是利用一次抽样的样本观察值来构造总体未知参数的无偏、或偏倚很小的估计量的一种模拟抽样统计推断方法(Miller, 1974),在精确度要求较高的生物研究领域里有着广泛的应用价值。

本研究每个品种( $g$ )的 40 个同生体,以及用来饲养的朱砂叶螨处理组内(桑树品种内)的桑叶小圆片,都是随机选择的,这就相当于是从野外桑树中一个总体中作随机抽样。因而研究结果,是对这个总体的相应统计量的近似估计,所以,本研究的方法,可以作为更进一步探明桑树抗性及桑树朱砂叶螨综合防治的一个基础。但是,不能外延到栽培与环境条件相差很大的总体。如果要朱砂叶螨对其他桑树品种,甚至其他植物的总体进行统计推断,则本研究的结果,可以作为分层抽样、二重抽样、整群抽样及多阶抽样(王静龙,2003)、Meta 分析(郑凤英等,2005)等统计分析的一个亚样本。

本研究采用按生命力(生存力与产卵力)来排序,进行同序号伪值的两 Jackknife 之间的成对  $t$  检测,在一定程度上消除了生命力差异,从而提高了试验的效率。

### 3.3 Jackknife 方法的局限性

Jackknife 方法的统计推断,对样本容量小、特别是每雌产卵分布偏倚严重的情况下是不适合的。每雌产卵分布偏倚过大,导致  $R_0$  的伪值分布非正态,从而影响了  $r_m$  的 Jackknife 样本正态性(图 1)。本研究对 Jackknife 样本近似正态分布情况下,采用了合适的样本量( $N = 40$ ),点推断的结果表明,内禀增长率 Jackknife 样本的平均值与精确值非常接近(表 2),是对精确值的很好的估计,各置信区间大小适中(表 1)。

如果选择的供试昆虫数量少,或者是  $r_m$  的 Jackknife 样本正态性差,则要考虑采用 Bootstrap 方法来进行估计推断(Meyer *et al.*, 1986; Maia *et al.*, 2000),但是一般 Bootstrap 方法不能产生有序样本,不能进行成对比较的统计检验。

本研究所选的 4 个桑树品种中,虽然它们是分属于桑树 4 大种系中的 3 个种系,但是在本校桑园圃中栽植距离很近,在水肥、土壤及其他栽培条件都相近的情况下,对朱砂叶螨的抗性差异,可以考虑是来自于品种差异所造成的。其中,组  $\alpha$  和田白桑)与组  $\chi$  新一之濑)虽然同属于白桑种,但是,前者是 3 倍体,来源于我国的新疆,后者是 2 倍体,来源于日本,它们  $r_m$ (精确算法)值只相差 2.3161%,比组 2 与组 1 相对差值(13.089%)和组 3 与组 4 的差值(2.5539%)要小,然而,通过成对检验(Maia *et al.*, 2000),能很好的检验它们之间的差异显著性。这对筛选抗朱砂叶螨的桑树种质资源及育种材料,都具有很好的参考意义。

**致谢** 西南大学蚕学与生物技术学院 2004 级本科毕业生薛小兰、任素儒和冯涛参加本研究调查;中国农业科学院蚕业研究所程嘉翎副研究员、唐顺明博士,中国科学院上海生命科学研究院植物生理生态研究所李木旺博士,中国科技大学魏兆军博士,对本论文提出了许多建设性建议和修改过程中多次鼓励;江苏科技大学陶士强讲师与本文作者多次辩论,在此一并衷心致谢!

### 参考文献 (References)

- Birch LC, 1948. The intrinsic rate of natural increase of an insect population. *J. Anim. Ecol.*, 17(1): 15-26.
- Crowley PH, 1992. Resampling methods for computation-intensive data analysis in ecology and evolution. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 23: 405-447.
- Deevey ES, 1947. Life table for natural population of animals. *Q. Ver. Biol.*, 22: 283-314.
- Ding YQ, 1994. *Insect Mathematic Ecology*. Beijing: Science Press. 329-330. [丁岩钦, 1994. 昆虫数学生态学. 北京: 科学出版社. 329-330]
- Efron B, 1982. The Jackknife, the Bootstrap and Other Resample Plans. Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, Pennsylvania.
- Frei A, Gu H, Bueno JM, Cardona C, Dorn S, 2003. Antixenosis and antibiosis of common beans to *Thrips palmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae). *J. Econ. Entomol.*, 96(5): 1577-1584.
- Ge GP, 2003. Jackknife method. In: Mao SS ed. *Statistics Handbook*. Beijing: Science Press. 216-227. [葛广平, 2003. Jackknife 方法. 见: 茆诗松 主编. 统计手册. 北京: 科学出版社. 216-227]
- He L, Zhao ZM, Deng XP, Wang JJ, Liu H, Liu YH, 2002. Selection and risk assessment of resistance to fenprothrin, abamectin and pyridaben in *Tetranychus cinnabarinus*. *Acta Entomologica Sinica*, 45(5): 688-692. [何林, 赵志模, 邓新平, 王进军, 刘怀, 刘映红, 2002. 朱砂叶螨对三种杀螨剂的抗性选育与抗性风险评估昆虫学. 昆虫学报, 45(5): 688-692]
- Huang ET, Zhang FQ, 1989. Studies on biologic characteristic and predicting method of carmine spider mite (*Tetranychus cinnabarinus*) infesting mulberry. *Acta Sericologica Sinica*, 15(1): 18-22. [黄尔田, 张夫其, 1989. 桑园朱砂叶螨生物学和测报方法的研究. 蚕业科学, 15(1): 18-22]
- Irvin N, Hoddle MS, O'Brochta DA, Carey B, Atkinson PW, 2004. Assessing fitness costs for transgenic *Aedes aegypti* expressing the GFP marker and transposon genes. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 101(3): 891-896.
- Jeppson LR, Keifer HH, Baker EW, 1975. *Mites Injurious to Economic Plants*. Berkeley: University of California Press. 614.
- Krebs CJ, 2001. *Ecology - The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. 5th ed. New York: Benjamin Cummings. 133-156.
- Lei HD, Hu JH, Li HJ, Ran C, Zhang QB, Lin BM, Tian WH, Qian KM,

2004. Performances of the citrus red mite, *Panonychus citri* (McGregor) (Acarina: Tetranychidae) on various citrus varieties. *Acta Entomologica Sinica*, 47(5): 607–611. [雷慧德, 胡军华, 李鸿筠, 冉春, 张权炳, 林邦茂, 田文华, 钱克明, 2004. 不同柑桔品种上桔全爪螨的生长和种群动态差异. 昆虫学报, 47(5): 607–611]
- Liu SS, Wang XG, Shi ZH, Shi ZH, Guo SJ, 2000. Biology of *Oomyzus sokolowskii* and effect of temperature on its population parameters. *Acta Entomologica Sinica*, 43(2): 159–167. [刘树生, 汪信庚, 施祖华, 郭世俭, 2000. 菜蛾啮小蜂的生物学及温度对其种群增长的影响. 昆虫学报, 43(2): 159–167]
- Lotka AJ, 1907. Relation between birth rates and death rates. *Science*, 26(653): 21–22.
- Maia AHN, Luiz AJ, Campanhola C, 2000. Statistical inference on associated fertility life table parameters using jackknife technique: computational aspects. *J. Econ. Entomol.*, 93(2): 511–518.
- Meyer JS, Igersoll LL, MacDonald, Boyce MS, 1986. Estimating uncertainty in population growth rates: jackknife vs. bootstrap techniques. *Ecology*, 67(5): 1156–1166.
- Miller RG, 1974. The jackknife: a review. *Biometrika*, 61(1): 1–15.
- Myers SW, Gratton C, Wolkowski RP, Hogg DB, Wedberg JL, 2005. Effect of soil potassium availability on soybean aphid (Hemiptera: Aphididae) population dynamics and soybean yield. *J. Econ. Entomol.*, 98(1): 113–120.
- Qiu BL, Ren SX, 2005. Effect of host plants on the development, survivorship and reproduction of *Encarsia bimaculata* (Hymenoptera: Aphelinidae), a parasitoid of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Acta Entomologica Sinica*, 48(3): 365–369. [邱宝利, 任顺祥, 2005. 寄主植物对双斑蚜小蜂的发育、存活和繁殖的影响(英文). 昆虫学报, 48(3): 365–369]
- Quenouille MH, 1956. Notes on bias in estimation. *Biometrika*, 43, 353–360.
- Quinn GP, Keough MJ, 2002. *Experimental Design and Data Analysis for Biologists*. Cambridge University Press. 26–27.
- Roux LV, Saguez J, Vincent C, Giordanengo P, 2004. Rapid method to screen resistance of potato plants against *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae) in the laboratory. *J. Econ. Entomol.*, 97(6): 2079–2082.
- Southwood TRE (Translated by Luo HQ, Zhou CQ, Liu FS), 1984. *Ecological Methods with Particular Reference to the Study of Insect Populations*. 2nd ed. Beijing: Science Press. 313–318. [索思伍德著(罗河清, 周昌清, 刘复生译), 1984. 生态学研究方法——适应于昆虫种群的研究, 1984. 北京: 科学出版社. 313–318]
- Tao SQ, Wu FA, Yu MD, 2005a. Analysis of laboratory population life table of carmine spider mite (*Tetranychus cinnabarinus*) infesting Feng Chi Sang (*Morus L.*). *Acta Arachnologica Sinica*, 14(1): 33–36. [陶士强, 吴福安, 余茂德, 2005a. 危害丰驰桑的朱砂叶螨实验种群生命表参数的分析. 蛛形学报, 14(1): 33–36]
- Tao SQ, Wu FA, Yu MD, Wang J, Cheng JL, 2005b. Study on laboratory population parameters of carmine spider mite (*Tetranychus cinnabarinus*) infesting mulberry YU-711. *Acta Sericologica Sinica*, 31(3): 344–347. [陶士强, 吴福安, 余茂德, 王俊, 程嘉翎, 2005b. 朱砂叶螨在桑品种YU-711上的实验种群生命参数研究. 蚕业科学, 31(3): 344–347]
- Tukey JW, 1958. The teaching of concrete mathematics. *American Mathematical Monthly*, 65: 1–9.
- Wang JJ, Zhao ZM, Zhang JP, 2004. The host plant-mediated impact of simulated acid rain on the development and reproduction of *Tetranychus cinnabarinus* (Acari, Tetranychidae). *J. Appl. Ent.*, 128(6): 397–402.
- Wang JL, 2003. Sampling Investigation. In: Mao SS ed. *Statistics Handbook*. Beijing: Science Press. 262–324. [王静龙, 2003. 抽样调查. 见 茆诗松 主编. 统计手册. 北京: 科学出版社. 262–324]
- Wang XG, Liu SS, 1998. Method for estimating uncertainty on intrinsic rate of increase ( $r_m$ ) of insect. *Entomological Knowledge*, 35(3): 169–171. [汪信庚, 刘树生, 1998. 昆虫种群内禀增长率的变异估计方法. 昆虫知识, 35(3): 169–171]
- Xin JL, 1988. *Agricultural Archaeology*. Beijing: China Agricultural Press. 237–238. [忻介六, 1988. 农业昆虫学. 北京: 中国农业出版社. 237–238]
- Xu RM, 1987. *Entomological Population Ecology*. Beijing: Beijing Normal University Press. [徐汝梅, 1987. 昆虫种群生态学. 北京: 北京师范大学出版社]
- Ye YB, Tang YX, 1979. Observation of behavior and study of controlling on carmine spider mite (*Tetranychus cinnabarinus*) infesting mulberry. *Acta Sericologica Sinica*, 5(2): 48–52. [叶元柏, 唐以巡, 1979. 朱砂叶螨为害桑树的观察及其防治的研究. 蚕业科学, 5(2): 48–52]
- Zheng FY, Lu HF, Peng SL, 2005. Advantages and disadvantages in ecological meta-analyses. *Ecology and Environment*, 14(3): 417–421. [郑凤英, 陆宏芳, 彭少麟, 2005. 整合分析在生态学应用中的优势及存在的问题. 生态环境, 14(3): 417–421]

(责任编辑: 袁德成)