柑橘矢尖蚧发生期预测回归方程研究

李鸿筠， 刘浩强， 姚廷山， 冉 春， 胡军华

（西南大学柑桔研究所，中国农业科学院柑桔研究所，重庆 400712）

摘要 矢尖蚧是危害柑橘生产的重要害虫之一，搞好测报可以指导适时防治。笔者在重庆市北碚区柑橘园对矢尖蚧进行多年系统监测，结果表明，矢尖蚧在该地一年发生3代，世代重叠，第1代发生较为整齐，便于统一防治。因此，以2012年—2018年该虫发生前3个月的气象资料和矢尖蚧发生的田间历史数据为依据，应用DPS软件，分别采用简单法和多因子互作法进行逐步回归，建立了春季矢尖蚧第1代发生期的预测回归方程。两个方程总体回归达显著水平或极显著水平，两种方法建立的回归方程证明：第1代发生高峰期与发生前3个月的温度、湿度、雨日和降雨量等气象资料均有关系。将2019年数据用来进行检验，结果表明两个回归方程结论均为“比较准确”，均能比较准确地预测出该地矢尖蚧的发生高峰期。

关键词 柑橘； 矢尖蚧； 发生期； 预测； 回归方程

中图分类号： S 431.2 **文献标识码**： A **DOI**： 10.16688/j.zwbh.2019714

Predication regression equations for the occurrence period of the arrowhead scale, *Unaspis yanonensis*

LI Hongjun， LIU Haoqiang， YAO Tingshan， RAN Chun， HU Junhua

（*Research Institute of Citrus*, *Southwest University*, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Chongqing* 400712, *China*）

Abstract The arrowhead scale (*Unaspis yanonensis*) is one of the important pests of citrus. Good forecasting can guide prevention and control of this pest in time. For many years, the author has carried out systematic monitoring of arrowhead scale in citrus gardens in Beibei district of Chongqing. The results showed that three overlapping generations occurred in this area every year. The first generation occurred more regularly, which benefits unified prevention. Therefore, based on the meteorological data of the three months prior to the occurrence of arrowhead scale from 2012 to 2018 and the field historical data, DPS software was applied to carry out stepwise regression by using simple and multi-factor interaction methods, respectively. The prediction regression equation of the first-generation occurrence period of arrowhead scale in spring was established. The total regression of the two equations reached the significant or extremely significant level. The regression equations established by using the two methods indicated that the first-generation peak was related to the meteorological data such as temperature, humidity, rain days and rainfall in the preceding three months. The data of 2019 were used for testing, and the results showed that the two regression equations were “relatively accurate”, both of which could accurately predict the occurrence peak of arrowhead scale in this area.

Key words citrus; *Unaspis yanonensis*; occurrence period; predication; regression equation

柑橘矢尖蚧*Unaspis yanonensis*(Kuwana)属半翅目Hemiptera，盾蚧科Diaspididae，又名箭头介壳虫、矢尖盾蚧，是危害柑橘生产的重要害虫之一，我国各柑橘产区均有分布。柑橘矢尖蚧不仅为害柑橘类果树，还在花椒、龙眼、兰花、香樟、天竺桂、杨梅、油橄榄[1-4]上发生。该虫寄生在柑橘的枝梢、叶片和果实上，若虫和雌成虫取食柑橘的叶片、小枝和果的汁液。受害轻的叶片被害处呈现淡黄斑，严重时受害处反面呈现黄色大斑，甚至叶片焦枯，果实受害则呈黄绿色，外观差、味酸，柑橘树被害后大部分枝叶干枯、卷缩，严重削弱树势，产量下降，影响果实的外观和品质，甚至整株树枯死。目前对矢尖蚧的研究

收稿日期： 2019-12-24 **修订日期**： 2020-02-22
联系方式 E-mail:lhjcitrus@126.com

主要集中在生物学[5-6]、生态学[7]、生物防治[8-10]、综合防治[11-15]等方面，在测报方面王代武等、张永毅等[16-18]利用矢尖蚧卵的发育进度进行分级，预测矢尖蚧第 1 代发生期，该预测方法的结果与实际发生情况基本吻合，但矢尖蚧幼蚧初见日观察费时费工，且卵的分级方法不容易掌握。搞好矢尖蚧的发生期预测预报，可以减少柑橘矢尖蚧第 2 代的扩散和蔓延，减轻对柑橘的为害，为果农减少损失。笔者应用统计学原理和相关软件，构建数学回归方程，进行监测、预报，为果园生产上防治该虫提供理论依据。本文分析多年历史资料，选择幼龄虫态发生高峰期、发生为害前 3 个月的平均温度、平均相对湿度、降雨量、雨日数等气象资料作为预测因子，使用逐步回归的方法，组建矢尖蚧发生期的预测预报回归方程，以对其发生进行预报并指导及时防治。

1 材料与方法

1.1 资料的获取

自 2012 年开始，在重庆市北碚区天生桥街道、歇马街道人和村、光明村、卫星村、小湾村等柑橘园，根据天气情况，从 4 月上旬开始，每 3～5 d 巡视矢尖蚧发生的果园，调查矢尖蚧初见日。在常年发生矢尖蚧的果园，每个园子分别按五点取样法，每点选取 2 株树，一个果园共选取 10 株树，在树冠东、南、西、北、中 5 个方位随机调查矢尖蚧发生较多的柑橘叶片 2 片，用 20 倍手持放大镜进行调查，记录矢尖蚧成、若虫数量，同时记录部位和物候期。一旦确定当年的初见日，可每 5～7 d 检查矢尖蚧的发育进度，确定并记录各年的防治时期。同时，全年对柑橘园进行调查，了解矢尖蚧发生状况，进行系统监测。气象资料来自北碚区气象局和本所果园自动测报系统。

1.2 回归方程的建立

利用 2012 年—2019 年矢尖蚧多年发生的历史资料，将前 7 年气象资料和害虫发生防治数据用来建立回归方程。应用 DPS 软件[19]，分别采用简单逐步回归法和多因子互作逐步回归法进行逐步回归，建立矢尖蚧第 1 代发生期的预测回归方程。

1.3 回归方程准确度验证

将历史资料最后一年的发生实况资料，应用唐启义等[20]提出的病虫测报应验程度判定模式来检验本文拟合的回归方程，从而判断该方程的准确程度。公式为：

$$ST = 100 \cdot e^{-\frac{\pi}{\ln t}\cdot\left(\frac{a_1-a_2}{\delta}\right)^2}$$

其中，ST 为发生期判定模式的分值；$ST<40$ 表示预报不准确，$40\leqslant ST<60$ 表示预报比较准确，$ST\geqslant 60$ 表示预报准确；a_1 为实测值，a_2 为预测值；δ 为预报对象常年标准差，t 为自预报发出至实际发生时的期距(d)。

2 结果与分析

2.1 矢尖蚧发生及防治基本情况

在重庆市北碚区柑橘园，矢尖蚧一年发生 3 代，世代重叠。第 1 代发生较为整齐。每年第 1 代若虫高峰期出现在 5 月中、下旬，多数在老叶上寄生为害；第 2 代若虫高峰期一般在 7 月中旬，多数在当年生春梢叶片上取食为害，也有少部分在果实上寄生；第 3 代若虫高峰期发生在 9 月中、下旬，主要为害果实，常以雌虫爬到果实上吸食汁液。雌虫大多分散取食，雄虫大多数个至上百个聚居在母体附近取食。2012 年—2019 年种群动态趋势见图 1。

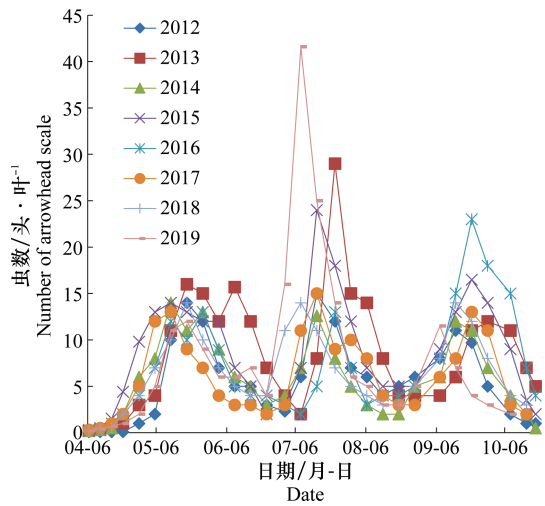


图 1 2012 年—2019 年矢尖蚧的种群动态

Fig. 1 Population dynamics of arrowhead scale from 2012 to 2019

根据历年发生发展情况及防治资料，结果表明：重庆市北碚区春季柑橘矢尖蚧发生及防治时期基本一致，初见日在 4 月中、下旬出现，5 月中、下旬为春季即第 1 代发生高峰期，因此 5 月中、下旬是该地防治的关键时期。第 2 代和第 3 代的发生期较长，且零星、分散分布，不易集中防治，而第 1 代便于统一防治，可控制矢尖蚧的发生为害，减少虫口基数，为

控制当年第 2 代和第 3 代的发生打基础。第 1 代防治得当,则第 2 代和第 3 代发生轻微不需要再次防治。

2.2　回归方程的建立

由于在春季矢尖蚧第 1 代发生相对比较整齐,防治时期也比较一致,本预测预报回归方程的建立针对春季矢尖蚧进行。

2.2.1　简单逐步回归方程

简单逐步回归方程及相关系数、标准误、t 值和显著水平如表 2、表 3。从表中可以看出,该方程总体回归达显著水平(F=3 174.173 5,P=0.013 5<0.05),方程中入选的 X_1(2 月份的平均温度)、X_7(3 月份平均相对湿度)、X_{10}(4 月份总降雨量)、X_{11}(4 月份平均相对湿度)、X_{12}(4 月份雨日)等 5 个气象因子达极显著水平(P 值均小于 0.001)。本研究结果表明,柑橘矢尖蚧在重庆北碚的第 1 代发生高峰期与当年 2 月份的平均温度、3 月份的平均相对湿度、4 月份的总降雨量和 4 月份的平均相对湿度呈负相关关系,与 4 月份的雨日呈正相关关系。表明温度、湿度、雨日和降雨量是影响矢尖蚧发生期的重要因素,2 月份的平均温度越高,高峰期越早;3 月份和 4 月份的平均相对湿度越大,高峰期越早;4 月份的降雨量越大,高峰期越早;4 月份的雨日数越多,高峰期越晚,反之则越早。

表 1　重庆北碚柑橘矢尖蚧发生期的历史数据及拟合值[1)]

Table 1　The historical data and fitting values of the occurrence period of arrowhead scale in Beibei, Chongqing

年份 Year	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	Y	SR 拟合值 Fitting value of SR	MR 拟合值 Fitting value of MR
2012	10.06	39.2	84.70	16	14.05	104.7	82.60	21	20.60	91.0	75.37	14	19	19.05	19.00
2013	9.23	22.6	77.40	11	13.39	55.8	77.60	18	19.96	125.9	76.73	15	23	23.02	23.01
2014	8.59	38.6	93.50	17	12.37	75.2	90.30	11	18.84	90.4	78.00	14	15	14.95	15.00
2015	12.71	22.9	80.43	11	14.92	34.0	77.74	11	18.24	109.4	79.30	18	17	17.05	17.00
2016	7.05	35.9	81.31	18	15.39	54.8	81.26	19	19.09	101.1	77.93	17	29	29.00	29.00
2017	13.49	19.0	84.96	10	14.61	48.8	71.90	11	18.83	104.4	76.40	15	19	18.95	19.00
2018	10.28	10.0	73.04	10	14.14	44.2	74.10	17	16.60	129.7	76.73	20	28	27.97	28.00
2019	9.78	9.8	71.11	8	11.50	46.3	70.45	15	19.18	122.2	76.33	15	31	28.40	28.79

1) X_1、X_2、X_3、X_4 分别为 2 月份的平均温度(℃)、总降雨量(mm)、平均相对湿度(%)和雨日数(d);X_5、X_6、X_7、X_8 分别为 3 月份的平均温度(℃)、总降雨量(mm)、平均相对湿度(%)和雨日数(d);X_9、X_{10}、X_{11}、X_{12}分别为 4 月份的平均温度(℃)、总降雨量(mm)、平均相对湿度(%)和雨日数(d);Y 为矢尖蚧若虫发生高峰期(5 月 1 日为 1)。SR 表示简单逐步回归,MR 表示多因子互作逐步回归。下同。
X_1, X_2, X_3 and X_4 are average temperature (℃), total rainfall (mm), average relative humidity (%) and number of rainy days (d) in February, respectively. X_5, X_6, X_7 and X_8 are average temperature (℃), total rainfall (mm), average relative humidity (%) and number of rainy days (d) in March, respectively. X_9, X_{10}, X_{11} and X_{12} are average temperature (℃), total rainfall (mm), average relative humidity (%) and number of rainy days (d) in April, respectively. Y is the peak of nymphal occurrence of arrowhead scale (May 1 is 1). SR represents a simple stepwise regression equation, and MR represents a stepwise regression equation for multi-factor interactions. The same applies below.

表 2　简单逐步回归方程及复相关系数

Table 2　Simple stepwise regression equation and complex correlation coefficient

复相关系数 R Complex correlation coefficient	调整后相关系数 Ra Adjusted correlation coefficient	F 值 F value	剩余标准差 S Residual standard deviation	显著水平 P Significant level
1.000 0	0.999 8	3 174.173 5	0.105 2	0.013 5
回归方程 Regression equation	Y=146.022 384−2.601 656X_1−0.882 858X_7−0.085 242X_{10}−0.449 432X_{11}+0.982 734 1X_{12}			

表 3　简单逐步回归方程的系数、标准误及 t 检验

Table 3　Coefficients, standard errors and t test of simple stepwise regression equations

因子 Factor	偏相关系数 Partial correlation coefficient	标准误 Standard error	t 检验值 t test value	显著水平 P Significant level
X_1	−0.999 9	0.853 6	85.915 4	0.000 1
X_7	−0.999 8	2.303 4	53.985 3	0.000 3
X_{10}	−0.998 5	5.876 1	18.099 1	0.003 0
X_{11}	−0.995 1	0.488 3	10.049 5	0.009 8
X_{12}	0.999 5	0.857 1	31.487 0	0.001 0

2.2.2 多因子互作逐步回归方程

多因子互作逐步回归方程及相关系数、标准误、t 值和显著水平如表 4、表 5。从表中可以看出，该方程总体回归达极显著水平（$F=99\ 999.85$，$P=0.002\ 4<0.01$），入选回归方程的 X_{11}、X_1X_6、X_3X_5、X_3X_{10}、X_8X_{12} 等 5 个因子达极显著水平（P 值均小于 0.01）。多因子互作回归方程表明，2 月份的平均温度（X_1）、平均相对湿度（X_3），3 月份的平均温度（X_5）、总降雨量（X_6）、雨日（X_8），4 月份的总降雨量（X_9）、平均相对湿度（X_{11}）、雨日（X_{12}）等因子作为预测因子入选回归方程，其发生高峰期与 4 月份的平均相对湿度呈负相关关系，与 2 月份的平均温度和 3 月份的降雨量之乘积、2 月份的平均相对湿度和 3 月份的平均温度之乘积、2 月份的平均相对湿度和 4 月份的降雨量之乘积呈负相关关系，与 3 月份和 4 月份的雨日之乘积呈正相关关系。经多因子互作回归，其结论与简单逐步回归一致，再次证明温度、湿度、降雨量和雨日是影响矢尖蚧发生期的重要因素。4 月份的平均相对湿度越大，高峰期来临越早。

表 4 多因子互作逐步回归方程及复相关系数

Table 4 Multi-factor interactive stepwise regression equation and complex correlation coefficient

复相关系数 R Complex correlation coefficient	调整后相关系数 Ra Adjusted correlation coefficient	F 值 F value	剩余标准差 S Residual standard deviation	显著水平 P Significant level
1.000 0	1.000 0	99 999.85	0.014 7	0.002 4
回归方程 Regression equation	$Y=332.101\ 109-3.489\ 183X_{11}-0.029\ 752X_1X_6-0.002\ 116X_3X_5-0.003\ 343X_3X_{10}+0.032\ 307X_8X_{12}$			

表 5 多因子互作逐步回归方程的系数、标准误及 t 检验

Table 5 Coefficients, standard errors and t test of multi-factor interaction stepwise regression equation

因子 Factor	偏相关系数 Partial correlation coefficient	标准误 Standard error	t 检验值 t test value	显著水平 P Significant level
X_{11}	−1	0.488 3	248.986 1	0.000 1
X_1X_6	−1	86.300 4	272.908 3	0.000 1
X_3X_5	−0.996 5	34.125 4	11.886 8	0.007 0
X_3X_{10}	−0.999 9	266.574 4	99.943 4	0.000 1
X_8X_{12}	1	28.828 3	184.109 1	0.000 1

2.3 回归方程准确度验证

将 2019 年的数据资料，应用应验评判公式，对本文中拟合的两个回归方程进行检验。验证结果表明，用简单逐步回归和多因子互作逐步回归拟合的方程，评分分值分别为 78.16 和 83.72，结论均为“比较准确”（表 6）。

根据拟合结果，北碚区 2019 年矢尖蚧发生高峰期，简单回归方程的拟合值为 28.40，多因子互作回归方程拟合值为 28.79，拟合的预测值均在 5 月 28 日—5 月 29 日之间，实际发生高峰期为 5 月 31 日。两种方法的拟合值比较，只相差 0.39 d，表明两种逐步回归法拟合出的回归方程都比较可靠，接近实测值。

表 6 重庆市北碚区柑橘矢尖蚧发生期预测回归方程的验证

Table 6 Verification of the regression equation for predicting the occurrence period of arrowhead scale in Beibei, Chongqing

模拟方法 Simulation method	α_1	α_2	t	δ	ST	结 论 Conclusion
简单逐步回归 Simple stepwise regression	31	21.428 5	31	5.010 2	78.16	比较准确
多因子互作逐步回归 Multi-factor interactive stepwise regression	31	21.428 5	31	5.010 2	83.72	比较准确

3 结论与讨论

多年调查结果表明，温暖湿润和荫蔽果园有利于柑橘矢尖蚧的发生，且大树受害比幼树重。柑橘矢尖蚧的分布呈中心分布，整个橘园普遍发生的情况基本不出现。

经多年普查结果，矢尖蚧第 1 代幼蚧发生高峰期在每年 5 月中旬到 5 月下旬之间，此时为该虫防治的关键时期，生产上应在第 1 代幼蚧发生高峰期间进行防治，合理喷施农药，能有效降低虫口基数，

减轻第 2 代、第 3 代矢尖蚧在果实上的为害,减轻果品损失。

本研究结果表明,矢尖蚧第 1 代发生高峰期与发生前 3 个月内的温度、相对湿度、降雨量和雨日等气象条件有相关关系。本文分别用简单逐步回归法和多因子互作回归法两种方法进行模拟,并通过验证公式检验,结果表明两种方法对 2019 年的拟合值基本一致,与实际发生值比较,均"比较准确"。应用简单逐步回归法预测预报来组建方程时,主要考虑温度、湿度、降雨等单个自变量与因变量发生期的相关关系,而多因子互作回归法则既考虑某一气象因子与发生期的单相关关系,同时还考虑各气象因子自变量相互之间的关系,两种方法各取所需,各有优劣。分析认为,2019 年气象因子中,2 月份的总体平均温度较低,3 月份的平均相对湿度也低于以往年份,此外,2 月份的平均温度与 3 月降雨量之乘积、3 月份的平均温度与 2 月相对湿度之乘积小于往年,因此矢尖蚧发生要晚于常年。

温度、湿度、降雨等气象因素直接影响着矢尖蚧的生长发育和繁殖,在适温范围内,矢尖蚧的繁殖能力随着温度的升高而上升[21],露地园区的自然死亡率高于避雨区[5],雨期长、雨量大、雨日多,影响幼蚧的爬行和固定,死亡率增加,表明这些因子还间接影响矢尖蚧的存活、发生量、发生期和为害程度。此外,气象因子还影响柑橘物候期和各种天敌的发生和捕食行为[8],也间接地影响矢尖蚧的发生;柑橘植株受害后,叶绿素含量发生变化[22],也会影响矢尖蚧发育。这些因子对本方程的准确度有着一定的实践意义,因此,在实际应用过程中,可酌情考虑。

参考文献

[1] 杨学松,杜戈,吕国显,等. 香樟矢尖蚧发生规律与综合防治技术[J]. 河北果树, 2009(6):55 - 56.

[2] 江西林,戴小华,郭青云,等. 矢尖蚧在天竺桂叶上不同尺度空间分布格局研究[J]. 赣南师范大学学报, 2017(6):123 - 126.

[3] 戴德江,宋会鸣,丁佩,等. 松脂酸钠防治杨梅介壳虫的初步研究[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2015, 36(2):89 - 94.

[4] 赵丽芳. 云南丽江油橄榄介壳虫调查及防治试验[J]. 中国南方果树,2016,45(2):97 - 100.

[5] 王洪祥,龚洁强,陈国庆,等. 柑桔矢尖蚧生物学特性与发生规律研究[J]. 浙江农业学报,2003,15(2):78 - 82.

[6] 钟小坚,陈新泉,罗秀荣. 矢尖蚧在沙田柚上的生物学特性[J]. 植物检疫,2006,20(5):284 - 285.

[7] 王洪祥,陈国庆,龚洁强,等. 柑桔矢尖蚧生态学研究[J]. 生态学报, 2002,22(12):2272 - 2277.

[8] 李鸿筠, 刘浩强, 姚廷山,等. 不同条件下日本方头甲对矢尖蚧捕食功能的反应[J]. 植物保护学报,2009,36(6):491 - 496.

[9] 李鸿筠,刘浩强,姚廷山,等. 应用日本方头甲控制柑桔矢尖蚧试验[J]. 中国南方果树, 2006, 35(3): 24 - 26.

[10] 任顺祥,郭振中,熊继文,等. 二双斑唇瓢虫对矢尖蚧的捕食作用[J]. 生态学报,2001,21(10):1602 - 1606.

[11] 刘浩强,李鸿筠, 冉春,等. 2 种植物源农药对矢尖蚧毒力测定和药效评价[J]. 西南农业学报,2013,26(1):174 - 176.

[12] 张雄,刘奇文,李书松. 柑桔矢尖蚧田间消长规律及防治技术探讨[J]. 中国南方果树,2006,35(1):19 - 20.

[13] 叶根成,刘甫祥. 氟啶虫胺腈悬浮剂防治柑桔矢尖蚧的田间试验初报[J]. 现代园艺,2012(21):15.

[14] 宋寿龄,黄邦侃,黄明藩. 矢尖蚧发生动态及其综合防治研究[J]. 植物保护学报,1990,17(3):233 - 236.

[15] KIM D S, SEO Y D, CHOI K S. The effects of petroleum oil and lime sulfur on the mortality of *Unaspis yanonensis* and *Aculops pelekassi* in the laboratory [J]. Journal of Asia-Pacific Entomology, 2010,13:283 - 288.

[16] 王代武,黄良炉,张权炳. 矢尖蚧第一代幼蚧发生期的预测预报方法[J]. 昆虫知识,1987,24(3):159 - 162.

[17] 张永毅,吴世源,赵志模,等. 柑橘矢尖蚧第一代发生期预测简报[J]. 植保技术与推广,2001,21(7):7 - 9.

[18] 王代武,张权炳,万天伦. 矢尖蚧第一代幼蚧发生期预测预报方法续探[J]. 中国柑橘,1990,19(1):11 - 13.

[19] 唐启义,冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京:科学出版社,2002:294 - 311.

[20] 唐启义,李绍石. 病虫测报应验程度判定模式[J]. 病虫测报,1988,8(1):1 - 5.

[21] KIM S B, KIM D S. Temperature-dependent fecundity of overwintered *Unaspis yanonensis* (Hemiptera: Diaspididae) and use of degree-days for the prediction of first crawler [J]. Crop Protection,2013,43:60 - 64.

[22] 姚廷山,李鸿筠,雷慧德,等. 矢尖蚧和潜叶蛾的危害对柑橘叶片叶绿素含量的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2007,33(S1):107 - 108.

(责任编辑:田　喆)