

马尾松毛虫灾情指数的方差分析周期外推预报

余 燕^{1,2}, 张书平^{1,2}, 毕守东^{1*}, 周夏芝², 邹运鼎²,
张国庆³, 张 桢³, 方国飞⁴, 宋玉双⁴

(1. 安徽农业大学理学院, 合肥 230036; 2. 安徽农业大学林学与园林学院, 合肥 230036;
3. 安徽省潜山县林业局, 潜山 246300; 4. 国家林业局森林病虫害防治总站, 沈阳 110034)

摘要 为了提高马尾松毛虫 *Dendrolimus punctatus* Walker 灾情预报结果的准确性, 为提高防治效果提供科学依据, 本文采用方差分析周期外推预报法, 以安徽省潜山县的马尾松毛虫各代幼虫累计发生量和当代发生面积计算求得的灾情指数为依据, 进行方差分析周期外推预报, 并对预报结果进行验证。预报结果的历史符合率, 1989—2016 年全年灾情指数预报结果历史符合率为 89.29%; 预报 2017 年的结果与实况一致。1989—2016 年的越冬代历史符合率为 89.29%, 2017 年预报值与实际完全一致。1997—2016 年的一代预报结果历史符合率为 100%。1989—2016 年的二代预报结果的历史符合率为 85.19%。2017 年由于越冬代飞防使用灭幼脲, 使当年一、二代虫口大幅度降低, 预报值高于实况。方差分析周期外推预报法对马尾松毛虫的灾情指数预报是一种较理想的预报方法。

关键词 马尾松毛虫幼虫; 灾情指数; 方差分析周期外推预报

中图分类号: S 431.2 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2018328

Analysis of variance periodic extrapolation prediction of the damage index of *Dendrolimus punctatus* larvae

YU Yan^{1,2}, ZHANG Shuping^{1,2}, BI Shoudong¹, ZHOU Xiaozhi², ZOU Yunding²,
ZHANG Guoqing³, ZHANG Zhen³, FANG Guofei⁴, SONG Yushuang⁴

(1. College of Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; 2. College of Forestry and Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; 3. Forestry Bureau of Qianshan County, Anhui Province, Qianshan 246300, China; 4. General Station of Forest Disease and Insect Pest Control of State Forestry Administration, Shenyang 110034, China)

Abstract In order to improve the accuracy of disaster forecast of *Dendrolimus punctatus*, and provide scientific basis for improving the control efficacy, the periodic extrapolation prediction method of variance analysis was performed on the basis of the damage index calculated by the cumulative amount of larvae and the area of occurrence in each generation of *D. punctatus* in Qianshan county, Anhui province, and the prediction results were verified. The historical conformity rate of the annual disaster index forecast results was 89.29% for 1989—2016, and the forecasts for 2017 were in line with the actual data. The historical conformity rates of the overwintering and 2nd generations were 89.29% and 85.19% for 1989—2016, respectively, and the forecasts were in line with the actual data for 2017, while the historical conformity rate of the 1st generation was 100% in 1997—2016. In 2017, due to the application of chlorbenzuron by aerial spraying, the 1st and 2nd generations were greatly reduced and the forecast value was higher than the actual value. The method of variance analysis and periodic extrapolation is an ideal method for predicting the occurrence of *D. punctatus*.

Key words *Dendrolimus punctatus* larvae; damage index; analysis of variance periodic extrapolation prediction

马尾松毛虫 *Dendrolimus punctatus* Walker 分布于皖、豫、川、黔、陕、滇、赣、苏、湘、浙、闽、粤、琼、桂和台湾等省,主要为害马尾松 *Pinus massoniana* Lamb., 还为害黑松 *P. thunbergii* Parl.、火炬松 *P. taeda* Linn.、湿地松 *P. elliotii* Engelm.、晚松 *P. rigida* var. *serotina* (Michx.) Loud ex Hoopes、海南松 *P. fenzeliana* Hand.-Mazz. 等松属植物。20 世纪中叶马尾松毛虫是我国发生最广、危害面积最大,经常猖獗成灾的森林害虫。该虫不但影响林业生产,还危害人体健康^[1-4]。进入 21 世纪,森林管理上采用了封山育林、混交、间作等措施,优化了森林生态系统,增加了物种多样性以及科学地运用综合治理措施,使马尾松毛虫的危害得到有效控制,但该虫具有巨大的繁殖潜能,遇到有利条件极易暴发成灾,对其监测丝毫不能放松。

马尾松毛虫一年发生 2~4 代,发生世代的多少随不同地区而异。马尾松毛虫发生的预测预报是对其进行综合防治的基本工作;森林保护工作者分别采用不同的预测方法预测马尾松毛虫的发生量、虫害等级以及发生类别、发生空间格局,为马尾松毛虫的综合防治工作提供了有力支持^[5-15]。由于各地气象条件、植被条件和地形地貌的差异,马尾松毛虫的发生特点也不完全相同。对安徽省潜山县马尾松毛虫 1983—2016 年的各世代幼虫为害的灾情指数鲜见有具体的系统研究报道,本研究采用方差分析周期外推预报法预报马尾松毛虫幼虫为害的灾情指数,以期对马尾松毛虫的综合治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料来源

马尾松毛虫资料来自国家林业局的森林病虫害中心测报点——安徽省潜山县森林病虫害防治站,资料的时间跨度为 1983—2016 年。根据国家林业局森林病虫害防治总站制定的调查方法^[16]进行调查,即采用踏查和详查相结合的方法,对不同虫态采取不同的观测方法。沿林斑线、林道、公路、铁路等线路调查,目测发生范围、为害状况,发现虫情或灾情立即设临时标准地,采取平行线抽样法抽取 20 株标准株详查。卵期调查是在雌蛾羽化高峰后 1~2 d 调查平均卵块数,卵块平均粒数;幼虫期调查,1~2 龄幼虫调查枯黄卷曲的枝数,推算幼虫数,3 龄

以上的幼虫 3 m 以下的小树直接调查合计树冠上的幼虫数,大树用“虫粪粒推算法”调查,幼虫越冬期间调查树干基部树皮缝中的幼虫数推算全部虫口。蛹期调查,在结茧盛期后 2~5 d 剖茧,调查雌雄性比、平均雌蛹重、死亡率、寄生率;成虫期调查,在成虫羽化前 2~3 d 及羽化期用黑光灯诱集,统计其诱集量和雌雄性比。

1.2 灾情指数计算公式

为了便于分析马尾松毛虫幼虫为害严重程度,考虑世代累计幼虫虫口和当代发生面积两个因素,提出了利用灾情指数为依据进行分析。灾情指数: $Z = \frac{x_i \times y_i \times n}{x_k \times y_H \times n} \times 100\%$ 。 x_i 为第 i 年某世代累计虫口, y_i 为第 i 年某世代马尾松毛虫发生面积, n 为平均每公顷松树株数, k 为某代或全年最大的虫口, H 为最大的发生面积。潜山县松林面积为 6.986 7 万 hm^2 , 1983 年以来发生最大面积的是 1996 年的二代,其发生面积为 33 381.4 hm^2 , 占全县松林面积的 47.78%, 最大虫口为 1996 年,二代为 52.6 头/株。灾情指数分为以下 4 级: $Z \leq 15\%$, 轻度发生; $15.1\% \leq Z \leq 30\%$, 中等发生; $30.1\% \leq Z \leq 45\%$, 重度发生; $Z > 45\%$, 特大发生。

1.3 方差分析周期外推预报法

方差分析周期外推预报是时间序列分析方法的一种^[1],吴劲松^[18]、张梅等^[19]、杨长登^[20]、武汉中心气象台等^[23]、康晓慧等^[21]和 Kwon 等^[22]将该法应用于气象、农业、物理等方面的预测。如果对某种害虫的灾情指数进行等时距观测,就得到一系列观测值 $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$, 即时间序列。如果该序列存在着周期长度为 T 的周期振荡,则当把序列排成 T 个数值一行时,得到 T 列数值

$$\begin{aligned} & y_1, y_2, y_3, \dots, y_T \\ & y_{T+1}, y_{T+2}, y_{T+3}, \dots, y_{2T} \\ & y_{KT+1}, y_{KT+2}, y_{KT+3}, \dots, y_{iT} \end{aligned}$$

因为每一列的数值都是在周期振荡的同一位相观测到的,每列数值内即组内(如 $y_1, y_{T+1}, \dots, y_{KT+1}$)差异不大,而各列平均值之间即组间的差异则较大,即各列间的差异较各列内的大。即组间均方差大于组内均方差。反之,如果序列的周期长度为 T ,在排列观测值时不是按 T 个数值一行,而是按 t ($t \neq T$) 个数值一行,得到 t 列数值,由于这 t 列数值中每一列都是由不同位相观测值组成的,所以,各列平均值间就不会有显著差异,利用以上原理,如果当

我们不知道序列中是否存在周期振荡时,就可以取不同的 t 值(试测周期, t 的最大值应取小于或等于 $N/2$, N 为样本数),将序列排列起来,用方差分析检验各列平均值之间是否存在显著差异,如果检测结果表明 t 取某些数值时,各列平均值间差异显著,则该序列为周期振荡序列,其周期长度为 t 。

在实际时序中常包括若干个周期,通常取最显著的(即 F 值最大的)试测周期作为第一周期,各列平均值作为第一周期分量。然后从原序列中减去第一周期分量,则得到第一周期余序列,对第一周期余序列继续进行方差分析,确定其中各列平均值差异最显著的周期为第二周期,相应各列平均值为第二周期分量。第一周期余序列减去第二周期分量,得到第二周期余序列,如此反复,重复试测周期,进行分析直到余序列没有显著周期时为止。预报时将各周期分量叠加,然后外延即可求出未来时段的灾情指数预报值。

2 结果与分析

将潜山县 1983—2016 年越冬代幼虫累计虫口动态列于表 1,其中 1998 年由于前两年马尾松毛虫暴发,用灭幼脉采取飞防措施导致该年没有发生,因此统计值为 0,根据虫口变动特点,划分为 1983—1998 年和 1999—2016 年两个时段。越冬代幼虫 1983—2016 年虫口数量变动很大,1983—1998 年除了 1992 年 12.2 头/株,1993 年为 7.8 头/株和 1998 年 0 头/株外,其他年份都在 12.2~42.1 之间,1983—1998 年平均达 24.76 头/株。1999—2016 年虫口较低,18 年平均 8.43 头/株。一代幼虫虫口数量变化与越冬代相似,1983—1998 年除了 1991、1992、1993、1997 和 1998 年数量较少外,16 年平均达 23.16 头/株,1999—2016 年平均虫口为 10.37 头/株。二代幼虫虫口数量 1983—1998 年平均为 24.98 头/株,1999—2016 年平均虫口为 13.35 头/株。总之 1983—1997 年各代幼虫累计虫口数量显著高于 1999—2016 年的虫口数量。

表 1 马尾松毛虫各代虫口数量

Table 1 Population sizes of different generations of *Dendrolimus punctatus*

年份 Year	虫口数量/头·株 ⁻¹ Population			年份 Year	虫口数量/头·株 ⁻¹ Population		
	越冬代 Overwintering generation	一代 1st generation	二代 2nd generation		越冬代 Overwintering generation	一代 1st generation	二代 2nd generation
1983	19.6	19.4	34.0	2000	7.6	7.2	12.3
1984	32.3	19.2	18.2	2001	6.2	6.1	12.6
1985	34.4	37.2	19.3	2002	7.1	8.6	16.4
1986	19.2	46.1	40.4	2003	15.7	18.6	18.8
1987	18.7	41.7	42.6	2004	7.6	7.7	22.6
1988	36.3	17.9	16.2	2005	6.4	16.4	12.6
1989	42.5	18.3	34.1	2006	6.6	12.0	11.8
1990	37.3	42.5	18.4	2007	6.4	12.6	12.1
1991	18.5	7.6	13.2	2008	6.6	12.1	13.2
1992	12.2	7.8	11.8	2009	8.4	12.8	13.8
1993	7.8	7.4	26.5	2010	16.2	16.2	26.8
1994	18.6	38.6	40.4	2011	16.6	16.1	16.7
1995	18.2	19.6	19.6	2012	7.2	7.4	8.9
1996	38.6	40.1	52.6	2013	7.2	6.7	7.2
1997	42.1	7.1	12.4	2014	6.4	6.7	7.4
1998	0.0	0.0	0.0	2015	6.2	6.3	7.4
1999	6.2	6.6	11.6	2016	7.1	6.6	8.1

将 1983—2016 年马尾松毛虫的发生面积列于表 2,1983—1998 年和 1999—2016 年两个时段,各年各代发生面积差别很大。越冬代发生面积:1984 年高达 13 600 hm^2 ,1985 年为 11 541.47 hm^2 。1983—1998 年平均发生面积为 4 477.42 hm^2 。1999—2016 年 19 年平均发生面积为 1 929.57 hm^2 。一代发生面积:1983—1998 年发生面积较大的年份主要集中在 1984—1987 年,4 年平均发生面积高达

10 697.5 hm^2 。1983—1998 年平均发生面积 3 899.27 hm^2 ,1999—2016 年平均发生面积 1 506.41 hm^2 。二代发生面积:1983—1998 年之间发生面积大的年份是 1983、1984、1985、1987 和 1996 年,分别为 9 162.33、8 163.67、10 393.33、17 020 和 33 381.4 hm^2 。16 年平均发生面积为 6 605.94 hm^2 。1999—2016 年平均发生面积为 4 755.65 hm^2 。这些波动都体现在周期振荡上。总之不管是发生面积还是各代幼虫累

计虫口都是 1983—1998 年大,波动也大,1999—2016 年的波动较小。由于波动幅度大小不一样,因

此要对各时间段逐一进行周期试测。

表 2 马尾松毛虫各代发生面积

Table 2 Occurrence areas of different generations of *Dendrolimus punctatus*

年份 Year	发生面积/hm ² Area of occurrence			年份 Year	发生面积/hm ² Area of occurrence		
	越冬代	一代	二代		越冬代	一代	二代
	Overwintering generation	1st generation	2nd generation		Overwintering generation	1st generation	2nd generation
1983	2 477.30	4 639.33	9 162.33	2000	576.67	1 533.33	1 333.33
1984	13 600.00	8 096.07	8 163.67	2001	82.33	16.67	2 516.67
1985	11 541.47	12 293.93	10 393.33	2002	2 583.33	2 313.33	10 533.33
1986	8 960.00	7 666.67	6 326.67	2003	3 046.67	4 684.00	18 514.00
1987	4 466.67	14 733.33	17 020.00	2004	1 563.33	1 733.33	1 785.07
1988	9 390.00	2 386.67	988.67	2005	733.33	1 282.00	606.67
1989	1 700.00	2 042.33	6 046.00	2006	280.00	183.33	367.13
1990	3 333.30	1 312.00	3 207.27	2007	253.33	283.33	386.67
1991	3 207.30	100.00	616.67	2008	386.67	366.67	214.67
1992	653.30	31.33	102.00	2009	326.67	319.33	333.33
1993	60.00	29.67	400.33	2010	3 026.67	719.93	34 874.13
1994	1 200.00	2 434.00	6 902.67	2011	9 813.33	3 400.00	2 610.00
1995	1 217.33	764.00	2 784.00	2012	2 600.00	686.67	1 933.33
1996	3 346.00	5 497.33	33 381.40	2013	1 933.33	2 200.00	2 333.33
1997	6 486.00	361.67	200.00	2014	2 333.33	2 200.00	2 000.00
1998	0.00	0.00	0.00	2015	2 333.33	2 400.00	2 400.00
1999	460.00	326.67	326.67	2016	2 400.00	2 466.67	2 533.33

2.1 全年的灾情指数动态

为了便于分析全年的马尾松毛虫灾情情况,将全年越冬代、一代、二代发生面积汇总,虫口数量采用越冬代、一代和二代之和的平均值。根据灾情指

数公式,1983—2016 年最大的全年累计发生面积为 1996 年的 42 224.73 hm²,年度平均虫口最多的是 1996 年 43.77 头/株,两者之积作为全年灾情指数的分母,计算年度灾情指数列于表 3,并绘于图 1。

表 3 安徽省潜山县马尾松毛虫年度灾情指数¹⁾

Table 3 Annual disaster index of *Dendrolimus punctatus* in Qianshan county, Anhui province

年份 Year	全年发生面积/hm ² Annual area	全年三代的平均虫口/头·株 ⁻¹ The average population size of three generations	灾情指数/% Disaster index	年份 Year	全年发生面积/hm ² Annual area	全年三代的平均虫口/头·株 ⁻¹ The average population size of three generations	灾情指数/% Disaster index
1983	16 278.99	24.33	21.43	2000	3 443.33	9.03	1.68
1984	29 859.74	23.23	37.53	2001	2 615.67	8.30	1.17
1985	34 228.73	30.30	56.12	2002	15 429.99	10.70	8.93
1986	22 953.34	35.23	43.75	2003	26 244.67	17.70	25.13
1987	36 220.00	34.33	67.28	2004	5 081.73	12.63	3.47
1988	12 765.34	23.47	16.21	2005	2 622.00	11.80	1.67
1989	9 788.33	31.63	16.75	2006	830.46	10.13	0.46
1990	7 852.60	32.73	13.91	2007	923.23	10.37	0.52
1991	3 923.94	13.10	2.78	2008	968.01	10.63	0.56
1992	786.66	10.60	0.45	2009	979.33	11.67	0.62
1993	490.00	13.90	0.37	2010	38 620.73	19.73	41.23
1994	10 536.67	32.53	18.55	2011	15 823.33	16.47	14.10
1995	4 765.33	19.13	4.93	2012	5 220.00	7.83	2.21
1996	42 224.73	43.77	100.00	2013	6 466.66	7.03	2.46
1997	7 047.67	20.53	7.83	2014	6 533.33	6.83	2.41
1998	0.00	0.00	0.00	2015	7 133.33	6.63	2.56
1999	1 113.34	8.13	0.49	2016	7 400.00	7.27	2.91

1) 年度发生面积最大的为 1996 年 42 224.73 hm²,年度平均虫口最多的是 1996 年 43.77 头/株。

The highest annual occurrence area was 42 224.73 hm² in 1996, and the greatest annual average population density was 43.77 individuals/plant in 1996.

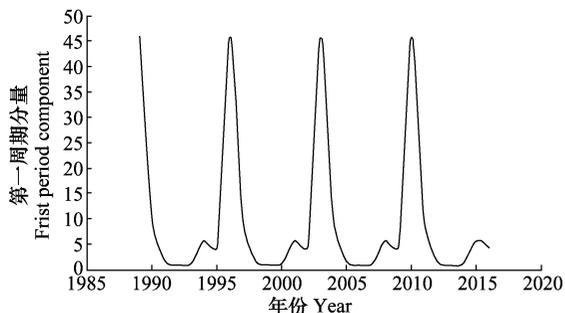


图 1 全年灾情指数周期性变化图

Fig. 1 The periodic variation chart of annual disaster index

灾情指数大于 45% 的有 1985 年、1987 年和 1996 年,属于特大发生年。灾情指数大于 30% 小于 45% 的有 1984 年、1986 年和 2010 年,是重度发生年;灾情指数大于 15% 小于 30% 的有 1983 年、1988 年、1989 年、1994 年和 2003 年,属于中度发生年;灾情指数均小于 15%,属于轻发年,一共 23 年,占 34 年的 67.65%,由于历史的原因,乱砍滥伐,森林生态系统遭到严重破坏,所以 1983—1990 年灾情指数一直很高。由于 1992 年、1993 年全年平均虫口低,发生面积小,疏于防治,致使 1994 年和 1995 年虫口数量和发生面积都在上升,1996 年大暴发,灾情指数达到 100%。1996 年和 1997 年两年连续飞防大大

减小了 1998 年的灾情指数。进入 21 世纪以来由于采取了封山育林等一系列科学管理措施,优化了森林生态系统,使马尾松毛虫各代的虫口数量都较低。

根据图 1 反映的信息对 1989 年以来全年灾情指数进行周期试测, $t=3, F=0.558; t=4, F=0.429; t=5, F=0.56; t=6, F=0.709; t=7, F=4.765; t=8, F=1.356; t=9, F=0.755; t=10, F=0.625; t=11, F=1.812; t=12, F=1.072; t=13, F=0.959; t=14, F=1.158$ 。查 F 表, $F_{0.01}(df=6, 21)=3.81$,只有 $t=7$ 时, $F > F_{0.01}(6, 21)$,组间差异极显著。将其第一周期 $t=7$ 的周期分量列于表 4,求得第一周期余序列也列于表 4,对第一周期余序列继续周期试测, $t=3, F=2.137; t=4, F=1.094; t=5, F=1.083; t=6, F=1.479; t=8, F=0.994; t=9, F=1.026; t=10, F=0.945; t=11, F=1.218; t=12, F=1.026; t=13, F=0.786; t=14, F=1.35$, F 值均小于 $F_{0.05}$,差异均不显著,经评判,1989 年、1994 年和 2003 年与实况不符,28 年的历史符合率为 89.29%。根据方差分析周期外推预测结果 2017 年为 45.78%,2017 年全年发生面积 21 149.533 3 hm^2 ,年平均虫口为 5.033 3 头/株,灾情指数实况为 57.57%,预测结果与实况相符,均是特大发生年。

表 4 马尾松毛虫全年灾情指数预报

Table 4 Annual disaster index forecasts of *Dendrolimus punctatus*

年份 Year	全年灾情指数 (原序列)/% Disaster index (The original sequence)	第一周期 分量($t=7$) First period component	第一周期 余序列 First period sequence	评判 Judgement	年份 Year	全年灾情指数 (原序列)/% Disaster index (The original sequence)	第一周期 分量($t=7$) First period component	第一周期 余序列 First period sequence	评判 Judgement
1989	16.75	45.777 5	-29.027 5	—	2003	25.13	45.777 5	-20.647 5	—
1990	13.91	9.827 5	4.082 5	✓	2004	3.47	9.827 5	-6.357 5	✓
1991	2.78	1.665 0	1.115 0	✓	2005	1.67	1.665 0	0.000 5	✓
1992	0.45	0.965 0	-0.515 0	✓	2006	0.46	0.965 0	-0.505 0	✓
1993	0.37	1.245 0	-0.875 0	✓	2007	0.52	1.245 0	-0.725 0	✓
1994	18.55	5.710 0	12.840 0	—	2008	0.56	5.710 0	-5.150 0	✓
1995	4.93	4.347 5	0.582 5	✓	2009	0.62	4.347 5	-3.727 5	✓
1996	100.00	45.777 5	54.222 5	✓	2010	41.23	45.777 5	-4.547 5	✓
1997	7.83	9.827 5	-1.997 5	✓	2011	14.10	9.827 5	4.272 5	✓
1998	0.00	1.665 0	-1.666 0	✓	2012	2.21	1.665 0	0.545 0	✓
1999	0.49	0.965 0	-0.475 0	✓	2013	2.46	0.965 0	1.495 0	✓
2000	1.68	1.245 0	0.435 0	✓	2014	2.41	1.245 0	1.165 0	✓
2001	1.17	5.710 0	-4.540 0	✓	2015	2.56	5.710 0	-3.150 0	✓
2002	8.93	4.347 5	4.582 5	✓	2016	2.91	4.347 5	-1.437 5	✓

2.2 1989—2016 年潜山县马尾松毛虫越冬代灾情指数

通过周期试测 1989—2016 年有周期振荡现象存在,越冬代最大虫口为 1989 年 42.5 头/株,越冬代最

大发生面积为 1984 年 13 600 hm^2 ;将两者乘积作为灾情指数计算时的分母,将求得各年灾情指数列于表 5,并绘于图 2,进行周期试测, $t=3, F=0.755$;

$t=4, F=0.207; t=5, F=0.702; t=6, F=0.826;$
 $t=7, F=5.323; t=8, F=0.918; t=9, F=0.441;$
 $t=10, F=0.948; t=11, F=0.879; t=12, F=0.725;$
 $t=13, F=1.106, t=14, F=5.213$ 。查 F 表, $F_{0.01}(6, 21)=3.81$, 只有 $t=7$ 时, $F > F_{0.01}(6, 21)$, 组间差异极显著。将其第一周期 $t=7$ 的周期分量列于表 5, 求得第一周期余序列也列于表 5, 对第一周期余序列继续周期试测, $t=3, F=1.577; t=4, F=0.662; t=5, F=1.647; t=6, F=1.381; t=8, F=0.498; t=9, F=0.93; t=10, F=1.196; t=11, F=1.102; t=12, F=0.813; t=13, F=0.478; t=14,$

$F=1.429$ 。 t 由 3 至 12 为周期, 其 F 值均小于 $F_{0.05}$, 表明第一周期余序列没有周期振荡现象存在, 第一周期分量就是预报值, 历史符合率为 89.29%。2017 年越冬代发生面积为 5 521.47 hm², 发生虫口数量为 12.8 头/株, 灾情指数为 12.23%。2018 年越冬代发生面积为 5 790 hm², 发生虫口数量为 1.8 头/株, 灾情指数为 1.8%, 预测灾情指数 2017 年为 12.90%, 2018 年为 24.75%, 2017 年预测值与实况相符, 2018 年预测值高一级, 其原因是 2017 年越冬代进行了飞防, 压低了 2018 年的虫口, 使预测值大于实况值。

表 5 越冬代幼虫灾情指数预报

Table 5 The disaster index forecasts of the overwintering larvae

年份 Year	灾情指数 (原序列)/% Disaster index (The original sequence)	第一周期 分量($t=7$) First period component	第一周期 余序列 First period sequence	评判 Judgement	年份 Year	灾情指数 (原序列)/% Disaster index (The original sequence)	第一周期 分量($t=7$) First period component	第一周期 余序列 First period sequence	评判 Judgement
1989	12.50	12.902 5	-0.402 5	✓	2003	8.28	12.902 5	-4.622 5	✓
1990	21.51	24.747 5	-3.237 5	✓	2004	2.06	24.747 5	-22.687 5	—
1991	10.27	3.580 0	6.690 0	✓	2005	0.81	3.580 0	-2.770 0	✓
1992	1.38	1.150 0	0.230 0	✓	2006	0.32	1.150 0	-0.830 0	✓
1993	0.08	0.925 0	-0.845 0	✓	2007	0.28	0.925 0	-0.645 0	✓
1994	3.86	1.722 5	2.137 5	✓	2008	0.44	1.722 5	-1.282 5	✓
1995	3.83	2.602 5	1.227 5	✓	2009	0.47	2.602 5	-2.132 5	✓
1996	22.35	12.902 5	9.447 5	—	2010	8.48	12.902 5	-4.422 5	✓
1997	47.24	24.747 5	22.492 5	—	2011	28.18	24.747 5	3.432 5	✓
1998	0.00	3.580 0	-3.580 0	✓	2012	3.24	3.580 0	-0.340 0	✓
1999	0.49	1.150 0	-0.660 0	✓	2013	2.41	1.150 0	1.260 0	✓
2000	0.76	0.925 0	-0.165 0	✓	2014	2.58	0.925 0	1.655 0	✓
2001	0.09	1.722 5	1.632 5	✓	2015	2.50	1.722 5	0.777 5	✓
2002	3.17	2.602 5	0.567 5	✓	2016	2.94	2.602 5	0.337 5	✓

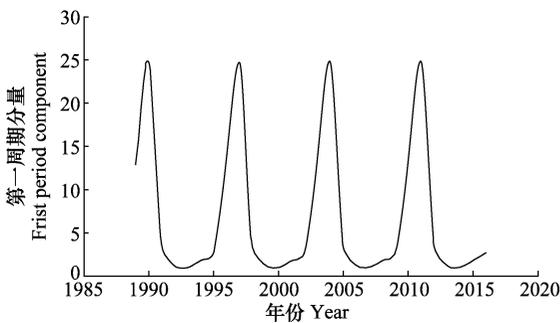


图 2 越冬代灾情指数周期性变化图

Fig. 2 The periodic variation chart of the disaster index of overwintering generation

2.3 马尾松毛虫一代幼虫灾情指数

通过周期试测 1997—2016 年有周期振荡现象存在, 一代最大虫口数量为 1986 年的 46.1 头/株,

一代最大发生面积为 1987 年的 14 733.33 hm²。将两者乘积作为灾情指数计算时的分母, 将求得的各项灾情指数列于表 6, 并绘于图 3, 进行周期试测, $t=3$ 时, $F=0.529; t=4$ 时, $F=1.72; t=5$ 时, $F=0.488; t=6$ 时, $F=0.636; t=7$ 时, $F=1.393; t=8$ 时, $F=11.474; t=9$ 时, $F=1.242; t=10$ 时, $F=0.999$ 。只有 $t=8$ 为周期的 $F > F_{0.01}(7, 20)=3.7$, $t=8$ 的周期分量和余序列也列于表 6, 继续对 $t=8$ 为周期的余序列进行周期试测, $t=3$ 时, $F=0.151; t=4, F=0; t=5, F=0.797; t=6, F=0.479; t=7, F=0.882; t=9, t=0.848; t=10, t=2.327$ 。表明第一周期余序列的 t 为 3、4、5、6、7、9、10 时 F 值都小于 $F_{0.05}$, 即没有周期振荡现象存在, 第一周期分量就是预报值。对其进行评判, 28 年的历史符合率为 100%。2017 年一代发生

面积为 9 855.2 hm²,2017 年一代虫口数量为 1.2 头/株,实际灾情指数 2017 年为 1.74,预测外推结果依次为 0.31。2018 年发生面积为 2 333.33 hm²,2018

年虫口数量为 1.6 头/株,实际灾情指数 2018 年为 0.5,预测外推结果为 2.325。2017 年和 2018 年灾情实况和预测值均为轻度发生,预报结果准确。

表 6 一代幼虫灾情指数预报

Table 6 The disaster index forecasts of the first-generation larvae

年份 Year	灾情指数 (原序列)/% Disaster index (The original sequence)	第一周期 分量($t=8$) First period component	第一周期 余序列 First period sequence	评判 Judgement	年份 Year	灾情指数 (原序列)/% Disaster index (The original sequence)	第一周期 分量($t=8$) First period component	第一周期 余序列 First period sequence	评判 Judgement
1997	0.38	1.880 0	-1.500 0	✓	2007	0.53	1.025 2	-0.499 6	✓
1998	0.00	0.830 0	-0.830 0	✓	2008	0.65	1.556 7	-0.906 7	✓
1999	0.32	1.025 2	-0.705 2	✓	2009	0.60	0.310 0	0.290 0	✓
2000	1.63	1.556 7	0.073 3	✓	2010	1.72	2.325 0	-0.605 0	✓
2001	0.02	0.310 0	-0.290 0	✓	2011	8.06	10.445 0	-2.385 0	✓
2002	2.93	2.325 0	0.605 0	✓	2012	0.75	1.360 0	-0.610 0	✓
2003	12.83	10.445 0	2.385 0	✓	2013	2.17	1.880 0	0.290 0	✓
2004	1.97	1.360 0	0.610 0	✓	2014	2.17	0.830 0	1.340 0	✓
2005	3.09	1.880 0	1.210 0	✓	2015	2.23	1.025 2	1.204 8	✓
2006	0.32	0.830 0	-0.510 0	✓	2016	2.39	1.556 7	0.833 3	✓

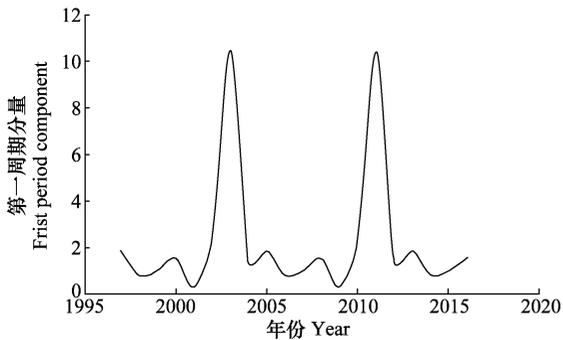


图 3 一代灾情指数周期性变化图

Fig. 3 The periodic variation chart of the disaster index of first generation

2.4 马尾松毛虫二代幼虫灾情指数预报

通过周期试测 1989—2016 年有周期振荡现象存在,二代最多虫口数量为 1996 年的 52.6 头/株,二代最大发生面积为 1996 年的 33381.4 hm²。将两者乘积作为灾情指数的分母,求得的各年灾情指数列于表 7,并绘于图 4,进行周期试测, $t=3, F=0.395; t=4, F=0.639; t=5, F=0.482; t=6, F=0.702; t=7, F=4.057; t=8, F=1.484; t=9, F=1.23; t=10, F=0.692; t=11, F=1.23; t=12, F=1.062; t=13, F=0.935; t=14, F=8.295$ 。 t 为 3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14 时的 F 值只有 $t=14$ 时, $F > F_{0.01}(13, 14) = 3.72$,即差异极显著,对 $t=14$ 周期的余序列继续进行周期试测, $t=3, F=1.922; t=4, F=0.345; t=5, F=0.733; t=6, F=$

1.118; $t=7, F=0; t=8, F=0.831; t=9, F=1.401; t=10, F=0.838; t=11, F=1.487; t=12, F=0.806; t=13, F=0.988$ 。 t 为 3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13 时其 F 值均小于 $F_{0.05}$,表明第一周期余序列没有周期振荡存在,第一周期分量就是预报值。按照灾情指数的分级,历史符合率为 100%,其中 2003 年和 2010 年为特大发生,其余均为轻度发生。2017 年二代发生面积 5 772.87 hm²,二代幼虫虫口数量 1.1 头/株,灾情指数为 0.36,外推预测结果灾情指数为 12.935,实况和预报值均为轻度发生,外推灾情指数高于实际发生的灾情指数。由于 2017 年越冬代飞防使用了灭幼脉,所以使当年二代虫口数量大幅下降,使实况灾情指数降低。1989 年以来预测结果历史符合率为 85.19%,只有 1994、1996、2003 和 2010 年的预测结果略低于实况。

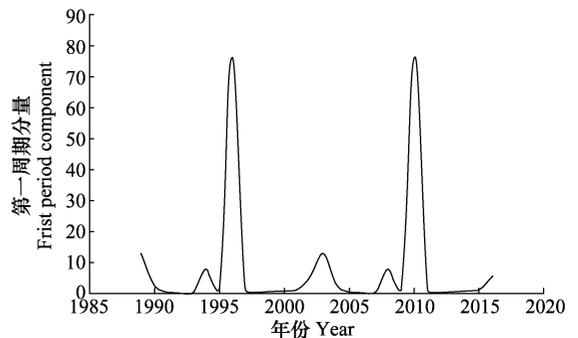


图 4 二代灾情指数周期性变化图

Fig. 4 The periodic variation chart of the disaster index of second generation

表 7 二代幼虫灾情指数预报¹⁾

Table 7 The disaster index forecasts of the second-generation larvae

年份 Year	灾情指数 (原序列)/% Disaster index (The original sequence)	第一周期 分量($t=14$) First period component	第一周期 余序列 First period sequence	评判 Judgement	年份 Year	灾情指数 (原序列)/% Disaster index (The original sequence)	第一周期 分量($t=14$) First period component	第一周期 余序列 First period sequence	评判 Judgement
1989	11.74	12.935	-1.195	✓	2003	19.82	12.935	6.885	—
1990	3.36	2.825	0.535	✓	2004	2.29	2.825	-0.535	✓
1991	0.46	0.445	0.015	✓	2005	0.43	0.445	-0.015	✓
1992	0.07	0.160	-0.090	✓	2006	0.25	0.160	0.090	✓
1993	0.61	0.440	0.170	✓	2007	0.27	0.440	-0.170	✓
1994	15.88	8.020	7.860	—	2008	0.16	8.020	-7.860	✓
1995	3.11	1.685	1.425	✓	2009	0.26	1.685	-1.425	✓
1996	100.00	76.615	23.385	—	2010	53.23	76.615	-23.385	—
1997	0.14	1.310	-1.170	✓	2011	2.48	1.310	1.170	✓
1998	0.00	0.490	-0.490	✓	2012	0.98	0.490	0.490	✓
1999	0.22	0.590	-0.370	✓	2013	0.96	0.590	0.370	✓
2000	0.93	0.885	0.045	✓	2014	0.84	0.885	-0.045	✓
2001	1.81	1.410	0.400	✓	2015	1.01	1.410	-0.400	✓
2002	9.84	5.505	4.335	✓	2016	1.17	5.505	-4.335	✓

1) 最大发生面积×最大发生虫口=5×22=110。

Maximum area of occurrence×Maximum population density=5×22=110.

3 小结与讨论

本文采用方差分析周期外推预报法以安徽省潜山县马尾松毛虫各代幼虫累计发生量和当代发生面积为依据计算灾情指数,对灾情指数进行周期试测,并对越冬代、一代、二代和全年的灾情指数预报值和实况值进行评判和比较,结果是越冬代的历史符合率为 89.29%,2017 年的预报值与实况一致。一代历史符合率为 100%,二代的历史符合率为 85.19%。2017 年的预报值比实况高一级,全年灾情预报结果历史符合率为 89.29%。方差分析周期外推预报法较之于 BP 神经网络法,马尔科夫链法,灾变预测法,列联表分析法优,计算方便,预报结果较准确,且计算时采用分析的数据不是其他生态因子数据,对一些与害虫发生有关的不易获取的生态因子数据,作为预报要素,这些数据与预报量有关时则不易进行预报,而方差分析周期外推预报法可以克服这些困难,但方差分析周期外推预报法只适用于预报因子有周期振荡现象时的预报,这是其局限性。

对于一个县域范围总体上的虫害灾情评判,到目前为止还没有一个较理想的标准,特别是森林害虫。本文采用灾情指数,基于危害虫态的数量以及发生面积等因子计算灾情指数。本文是基于安徽省潜山县 1983—2016 年马尾松毛虫各代幼虫发生数量和发生面积的历史资料进行研究的,其他虫害也

可参考此法,灾情指数通过外推可预报未来的发生严重程度,以便提前做好预防工作,变被动为主动,尽量减少虫害损失。本研究发发现越冬代的振荡周期是 7 年,一代是 8 年,二代是 14 年,为什么三代的震荡周期不一致?分析其原因,可能主要包括:害虫的数量变化一是受气象等物理环境因素影响,二是受管理措施影响,三是受天敌的种类和数量多少影响,这三种因子对越冬代、一代、二代的作用可能是不一样的,因此出现越冬代、一代和二代的灾情指数振荡周期不一致的现象;其不同代幼虫受外界因素的具体影响情况以及马尾松毛虫响应的内在因素尚需开展系统研究。

参考文献

[1] 侯陶谦. 中国松毛虫[M]. 北京:科学出版社,1987:188-191.
 [2] 邹运鼎,程扶玖,查光济. 松针内含物与马尾松毛虫生存发育关系的研究[J]. 林业科学,1990,26(2):142-148.
 [3] 萧刚柔. 中国森林害虫(第二版)[M]. 北京:林业出版社,1992:948-953.
 [4] 张真,李典漠. 马尾松毛虫暴发机制分析[J]. 林业科学,2008,44(1):140-150.
 [5] 张爱兵,陈建,王正军,等. BP 网络模型和 LOGIT 模型在森林害虫测报上的应用初报——以安徽省潜山县马尾松毛虫为例[J]. 生态学报,2001,21(12):2159-2165.
 [6] PARK Y S, CEREGHINO R, COMPIN A. Applications of artificial neural networks for patterning and predicting aquatic insect species richness in running waters [J]. Ecological Model-

- ling, 2003, 160(3): 265 - 280.
- [7] 贾春生. 利用马尔可夫链方法测报马尾松毛虫发生级别[J]. 东北林业大学学报, 2006, 34(5): 21 - 22.
- [8] ZHANG W J, ZHONG X Q, LIU G H. Recognizing spatial distribution patterns of grassland insects: neural network approaches [J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2008, 22(2): 207 - 216.
- [9] 陈绘画, 王坚妮, 徐志宏. 基于响应面方法马尾松毛虫发生量混沌特性检测及其预测[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(9): 94 - 96.
- [10] 田万银, 徐华潮. 浙江沿海防护林马尾松毛虫的预测预报模型[J]. 环境昆虫学报, 2012, 34(4): 401 - 406.
- [11] 费海泽, 王鸿斌, 孔祥波等. 马尾松毛虫发生相关气象因子筛选及预测[J]. 东北林业大学学报, 2014, 41(1): 136 - 140.
- [12] 许章华, 李聪慧, 刘健. 马尾松毛虫害等级的 Fisher 判别分析[J]. 农业机械学报, 2014, 45(6): 275 - 283.
- [13] 王庆, 毕猛, 杜婷. 基于气象因子的马尾松毛虫发生率空间格局研究[J]. 林业科学研究, 2016, 29(2): 256 - 260.
- [14] 余燕, 李尚, 王振兴, 等. 马尾松毛虫幼虫发生严重程度的预测研究[J]. 安徽农业大学学报, 2017, 44(5): 882 - 893.
- [15] 周夏芝, 王振兴, 余燕, 等. 马尾松毛虫幼虫高峰期发生量的预测模型研究[J]. 应用昆虫学报, 2017, 54(6): 1031 - 1043.
- [16] 国家林业局森林病虫害防治总站. 林业有害生物监测预报技术[J]. 北京: 中国林业出版社, 2013: 117 - 118.
- [17] 张孝羲, 翟保平, 牟极元, 等. 昆虫生态及预测预报[M]. 第 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2002: 262 - 265.
- [18] 吴劲松. 用方差分析周期及随机时间序列法作赫章 6—8 月总降雨量预报[J]. 贵州气象, 1999, 23(1): 13 - 14.
- [19] 张梅, 陈玉光, 杨冰. 方差分析周期叠加法预测农作物生长季积温[J]. 现代农业科技, 2017(21): 237 - 240.
- [20] 杨长登. 用方差分析周期叠加外推法预报年降水量[J]. 贵州气象, 1998, 22(1): 23 - 25.
- [21] 康晓慧, 陈浩, 张梅. 3 种时间序列分析模型在水稻稻瘟病预测中的应用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2011, 39(6): 173 - 184.
- [22] KWON J H. Crystal graphs and the combinatorics of young tableaux [M]. Handbook of Algebra. Vol 6, North-Holland, New York, 2009: 473 - 504.
- [23] 武汉中心气象台, 武汉大学数学系. 方差分析周期外推法在长期预报中的应用[J]. 数学学报, 1974, 17(3): 156 - 163.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 82 页)

- [12] 赵丹, 康业斌. 牡丹溃疡病—葡萄座腔菌引起的新病害[J]. 植物病理学报, 2012(5): 528 - 531.
- [13] 赵丹. 牡丹根部茎部真菌病害及病原鉴定[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2012.
- [14] 徐成楠, 周宗山, 迟福梅, 等. 越橘葡萄座腔菌枝枯病的病原菌鉴定[J]. 园艺学报, 2013(2): 231 - 236.
- [15] 余仲东, 赵官成, 淡静雅, 等. 葡萄座腔菌属 ITS-nrDNA 的分子系统学分析[J]. 菌物学报, 2010, 29(2): 285 - 293.
- [16] 程燕林, 梁军, 吕全, 等. 葡萄座腔菌科研究进展—鉴定, 系统发育学和分子生态学[J]. 生态学报, 2011(11): 3197 - 3207.
- [17] 李诚, 蒋军喜, 赵尚高, 等. 猕猴桃灰霉病病原菌鉴定及室内药剂筛选[J]. 植物保护, 2014, 40(3): 48 - 52.
- [18] WISEMANN V. Molecular evidence for allopolyploid origin of the *Rosa canina* complex (Rosaceae, Rosoidae) [J]. Journal of Applied Botany 2002, 76 (6): 176 - 178.
- [19] CHOI I Y. First report of bark dieback on blueberry caused by *Botryosphaeria dothidea* in Korea [J]. Plant Disease, 2011, 95(2): 227.
- [20] TANG W, DING Z, ZHOU Z Q, etc. Phylogenetic and pathogenic analyses show that the causal agent of apple ring rot in China is *Botryosphaeria dothidea* [J]. Plant Disease, 2012, 96: 486 - 496.
- [21] EI-GOORANI M A. Dieback of grapevine by *Botryodiplodia theobromae* Pat. In Egypt [J]. Phytopathologia Mediterranea, 1972, 11: 210 - 211.
- [22] 陈海燕, 田呈明, 梁军, 等. 引起树木溃疡病病原菌 *Botryosphaeria* 属及相关无性态分类研究[J]. 西北林学院学报, 2006(6): 145 - 150.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 87 页)

- [4] DEGNAN P H, OCHMAN H. Illumina-based analysis of microbial community diversity [J]. The ISME Journal, 2012, 6(1): 183 - 194.
- [5] 张泽生, 王春龙, 刘清岱, 等. 扩增自测序技术分析红茶菌中优势微生物的研究[J]. 生物工程, 2016, 37(16): 185 - 188.
- [6] MUKHERJEE P K, CHANDRA J, RETURTO M, et al. Oral mycobiome analysis of HIV-infected patients: identification of *Pichia* as an antagonist of opportunistic fungi [J/OL]. PLoS Pathogens, 2014, 10(3): 1 - 17.
- [7] 赵淑艳, 李喜宏, 陈丽, 等. 蒜薹采后致病菌种类及侵染规律研究[J]. 中国农学通报, 2005(9): 74 - 78.
- [8] 王友升, 何欣萌, 张燕, 等. 1 株蒜薹采后病原真菌的鉴定、rDNA-ITS 序列及碳源代谢指纹图谱分析[J]. 食品科学, 2013, 34(15): 171 - 175.
- [9] 苏建红, 郭成, 张军高, 等. 洋葱贮藏期干腐病致病镰刀菌的鉴定及室内药剂毒力测定[J]. 甘肃农业大学学报, 2016, 51(5): 78 - 84.
- [10] 王金龙. 柑橘指状青霉 (*Penicillium digitatum*) 对咪酰胺耐药性分子机制研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2013.
- [11] 沙月霞. 红枣贮藏期果面微生物多样性[J]. 生态学报, 2011, 31(2): 483 - 490.
- [12] 赵莹, 梁克力, 贾纪春, 等. 不同时期的柑橘果实中真菌种类分析[J]. 植物病理学报, 2017, 47(3): 389 - 397.
- [13] 刘瑜, 王海, 王艳丹, 等. 枸杞鲜果霉变菌种分离鉴定及其生物学特性[J]. 农业工程学报, 2017, 33(S1): 374 - 380.

(责任编辑: 田 喆)