

## 棉花盲蝽象预报方法研究与应用

吴昊<sup>1</sup>,段沙丽<sup>1</sup>,张玲芳<sup>2</sup>,刘定忠<sup>3</sup>,鲁速明<sup>4</sup>

(1.江西省九江市气象局,江西九江 332000;2.九江市经济作物站,江西九江 332000;  
3.彭泽县植保植检站,江西彭泽 332600;4.江西省棉科所,江西九江 332105)

**摘要:**小波分析表明,近 28 年来鄱阳湖北部棉花盲蝽象发生等级存在着明显的 5 年与 6~8 年的振荡周期。其中,1990—1998 年尺度为 5 年的主周期很明显,1990 年以前尺度为 7~8 年的主周期较明显,1999—2008 年显现明显的 6~7 年主周期。这也表明棉花盲蝽象的发生、消长存在着“年际生态后续效应”(即前、后年之间存在着一定的因果关系)。对比分析与相关分析表明:棉花盲蝽象的发生与冬季气候背景及中短期气象条件存在着显著的相关性。基于上述研究,通过逐步回归建立了棉花盲蝽象长期预报模式与中短期气象条件适宜度预报模式,并通过预报试验获得了在同一农业气候区推广应用的信度依据。

**关键词:**棉花盲蝽象;预报方法;研究;应用

**中图分类号:**S435.622 **文献标识码:**A

**文章编号:**1002-7807(2010)01-0057-06

## Research on Forecast Method of Cotton Mirids

WU Hao<sup>1</sup>, DUAN Sha-li<sup>1</sup>, ZHANG Ling-fang<sup>2</sup>, LIU Ding-zhong<sup>3</sup>, LU Su-ming<sup>4</sup>

(1. Jiujiang City Meteorological Bureau, Jiujiang, Jiangxi 332000, China; 2. Jiujiang City Economic Crops Station, Jiujiang, Jiangxi 332000, China; 3. Plant Protection and Quarantine Station, Pengze County, Pengze, Jiangxi 332600, China; 4. Cotton Research Institute of Jiangxi Province, Jiujiang, Jiangxi 332105, China)

**Abstract:** The cotton mirids in Pengze county, Jiangxi province, also show the possibility of the development from the secondary pest hazard to the main one. Wavelet analysis show that: nearly for 28 years, cotton mirids in the northern part of the Boyang Lake occurred as there is a clear hierarchy of 5-year and 6- to 8-year oscillation cycle. There showed a clear main 5-year cycle in 1990—1998, a 7- to 8-year main cycle before 1990, and a clear 6~7 years main cycle in 1999—2008. This also showed that cotton mirid occurrence, growth and decline exist "ecological inter-annual follow-up effect". Comparative analysis and correlation analysis showed that: the occurrence of cotton mirids had significant relevance with the winter climate and the short-term weather conditions. Based on the above-mentioned study, by the stepwise regression analysis, a long-term forecasting models and a long/short-term forecasting model of meteorological condition suitability for cotton mirids were established, and the same experiment of forecasting was to promote the application of agro-climatic based on reliability.

**Key words:** cotton mirids; forecast method; research; application

棉花是我国的经济作物之一,也是受虫害威胁最大的作物之一。20 世纪 90 年代以来,由于种植结构的调整,棉花盲蝽象的适宜寄主更加复杂多样;转 Bt 基因抗虫棉的种植面积逐年扩大,改变了农药在棉花虫害防治上的使用量次。而转 Bt 基因抗虫棉对棉铃虫以外的其它主要害虫防治

效果很差,尤其对刺吸式害虫基本上没有效应。转基因棉田昆虫群落、害虫和天敌亚群落的稳定性不如常规棉田,存在某些害虫大发生的机率。田间试验表明,在转基因棉田,当靶标害虫棉铃虫受到控制后,非靶标的次要害虫如棉蚜、红蜘蛛、棉蓟马、盲蝽、白飞虱、棉叶蝉、甜菜夜蛾等的

**收稿日期:**2009-07-20 **作者简介:**吴昊(1966-),男,高级工程师, [jjqxt121@sina.com](mailto:jjqxt121@sina.com).

**基金项目:**江西省防灾减灾研究基金(GJZ200606)

发生比常规棉对照严重,有些次要害虫已上升为最主要害虫;再者,加上全球气候变化的背景,使得棉花盲蝽象的发生规律发生了明显的变化<sup>[1-8]</sup>;近年来,该虫害已成为对棉花危害最大的致灾性害虫之一<sup>[8-11]</sup>。

鄱阳湖北部地区是江西省的棉花主产区,棉花是该地区种植面积比例较高的大宗农作物,是当地农业收入的重要来源。对棉花盲蝽象发生和危害规律进行分析,对防灾增收有重要意义。

小波分析(wavelet analysis)亦称多分辨率分析(multiresolution analysis),作为一种基本数学手段,既保持了傅里叶分析的优点,又弥补了某些不足。其基本原理是将一个一维信号在时间和频率两个方向上展开,通过时频结构分析,提取有价值的信息。20世纪90年代以来,小波分析成为众多学科共同关注的热点,在信号处理、图像处理、地震勘探、数字电路、物理学、应用数学、力学、光学等诸多科技领域得到了广泛应用。

某一固定区域农作物病虫害发生等级的年际变化,也属于一种一维信号,适合应用小波分析方法进行时频结构的分析研究。为此,本文拟利用小波分析 Wave 子波 10 年对称延伸法对江西省彭泽县 1981 年以来棉花盲蝽象年发生等级资料进行分析,以探究棉花盲蝽象发生等级年际变化的周期性特征,揭示其外在联系与内在规律,为预报方法的研究提供技术依据。

## 1 资料来源与研究方法

病虫害资料来源于江西省彭泽县植保站,气象资料来源于彭泽县气象站(其中 1987—1995 年彭泽县气象站撤并到湖口县气象站),资料时间序列为 1981—2008 年。

本文采用比较分析的方法,分析研究棉花盲蝽象的年内发生特征与年代际发生特征;采用小波分析方法,分析研究棉花盲蝽象发生等级的周期性特征;采用 DPS v 3.01 数据处理软件进行统计学分析,通过逐步回归方法建立预报模型。

小波分析的基本原理<sup>[12]</sup>如下:

设  $\psi(x) \in L^2(\mathbb{R})$ ,  $L^2(\mathbb{R})$  表示能量有限空间,若其满足  $\int_{-\infty}^{\infty} \psi(x) dx = 0$  或  $\int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\psi(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega <$

$\infty$ , 则称其为一个基本小波或小波母函数。

将小波母函数进行伸缩或平移,可派生出一

系列小波基函数  $\psi_{a,b}(x) = a^{-\frac{1}{2}} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right)$ , ( $a \in \mathbb{R}^+$ ,

$b \in \mathbb{R}$ )。式中,  $a$  为伸缩因子(又称尺度因子),  $b$  为平移因子(又称时间因子)。则小波变换:  $(W_\psi f)(a,$

$b) \leq \psi_{a,b}(x), f(x) \geq |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \overline{\psi\left(\frac{x-b}{a}\right)} dx,$

$(W_\psi f)(a, b)$  为小波变换系数,  $\overline{\psi\left(\frac{x-b}{a}\right)}$  为

$\psi\left(\frac{x-b}{a}\right)$  的共轭函数。

为了便于计算机计算,应将其离散化和量子化。选择  $a_0, b_0$ , 使  $a = cc; b = kb_0; a_0^j a_0 > 1 (b_0 \in \mathbb{R};$

$j, k \in \mathbb{Z})$ , 则小波基函数变为:  $\psi_{j,k}(x) = 2^{-\frac{j}{2}} \psi(a_0^j x - kb_0)$ , 通常取  $a_0 = 2, b_0 = 1$ , 于是有:  $\psi_{j,k}(x) = 2^{-\frac{j}{2}} \psi(2^j x - k)$ 。

在一定条件下,  $\{\psi_{j,k}(x) | j, k \in \mathbb{Z}\}$  构成一组完备标准正交基。

任意函数  $f(x) \in L^2(\mathbb{R})$  均可展开成:  $f(x) = \sum_{j,k} (w_\psi f)(j,k) \psi_{j,k}(x)$ 。其中,  $(w_\psi f)(j,k)$  称为小波系

数,  $(w_\psi f)(j,k) = 2^{-\frac{j}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \overline{\psi(2^j x - k)} dx$ 。

将小波系数的平方值在域上积分,就可得到

小波方差,即:  $w_\psi f(a) = \int_{-\infty}^{\infty} |w_\psi f(a,b)|^2 db$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 棉花盲蝽象的发生规律分析

2.1.1 主要发生时段。1981—2008 年的观测资料表明,鄱阳湖北部地区棉花盲蝽象在棉花苗期、蕾花期、花铃期(8 月份)及吐絮始期均可发生,最早发生在 4 月下旬(如 1993 年,该年度为重发生),最晚发生在 9 月上旬(如 1991 年等,年度发生等级均在 4 级以上),各时段的发生频率详见表 1。资料统计还表明,鄱阳湖北部地区盲蝽象在棉花全生育期内可反复发生,年发生次数最高可达 3 次。其中,一年内两次发生的概率为 21%,一年内 3 次发生的概率为 18%,而且,发生

频次越高,其危害越严重。

**2.1.2 发生等级的年代际变化。**从彭泽县 1981—2008 年棉花盲蝽象发生等级的年代变化(表 2)可看到,该地区 20 世纪 80 年代 80% 的年份盲蝽象为轻、中度发生,属棉花生产的次要害虫;80 年代末至 90 年代前、中期,随着大面积“水改旱”的推

表 1 棉花盲蝽象主要发生时间的年代分布

Table 1 The years distribution of the main occurrence periods of cotton mirids

发生时段	80 年代	90 年代	2000-2008
苗期(4-5 月)	5	9	4
蕾花期(6 月-7 月初)	4	6	9
花铃期(8 月)	0	4	0
裂铃始期(9 月初)	0	1	3

**2.1.3 发生等级的周期性特征。**图 1 表明,江西省彭泽县 1981 年以来棉花盲蝽象年发生等级存在着明显的 5 年与 6~8 年周期。其中,1990—1998 年 5 年周期很明显,1990 年以前 7~8 年周期较明显,1999—2008 年显现明显的 6~7 年周期。图 2 表明,1981—2008 年间 7 年周期方差最大,即 7 年周期振荡最强。图 3 表明,彭泽县棉花盲蝽象发生程度在 1981—1992 年以及 2000—2008 年存在正变势,即总体上显现加重的趋势;

行,棉花生产规模的扩大,盲蝽象发生等级持续为偏重至重度发生,成为主要致灾害虫之一;90 年代中后期至 21 世纪初,盲蝽象呈现出减轻的趋势。其原因可能与棉铃虫重发、棉田用药量剧增有关;2003 年以来,盲蝽象危害加重,再度持续偏重至重度发生。

表 2 棉花盲蝽象年发生等级年代概率分布

Table 2 The years probability distribution of cotton mirids yearly occurrence grades

时段(年)	轻度	偏轻	中等	偏重	重度
1981-1989	0.11	0.44	0.33	0.11	0
1990-1999	0	0.1	0.3	0.5	0.1
2000-2008	0	0.11	0.22	0.44	0.22

而在 1994—1998 年存在负变势,即总体上显现减弱的趋势。

综合分析图 1、图 3 可知,1993 年和 1999 年是两个奇异点。

农作物病虫害的发生、消长与危害受到生物因子(品种抗性等)、生态因子(如越冬基数、天敌种类与数量、寄主结构等)、环境因子(天气与气候等)、人为因素(如栽培技术与防治力度等)多方面因素的影响。棉花盲蝽象年度发生等级周期

Wave子波 10 对称 延伸法

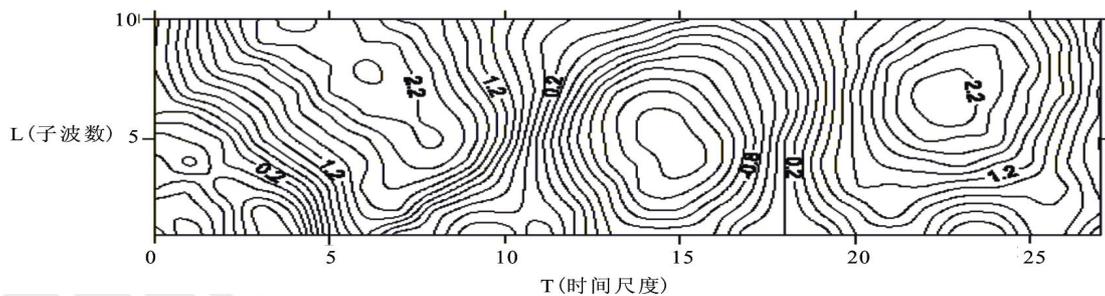


图 1 1981—2008 年棉花盲蝽象发生等级 Wave 子波图

Fig. 1 Wavelet analysis of cotton mirids occurrence grades between 1981 and 2008

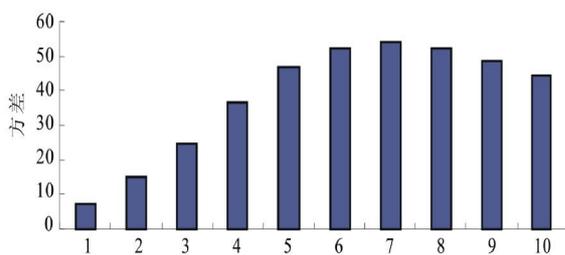


图 2 各尺度小波方差柱状图

Fig. 2 Histogram of each scale square deviation

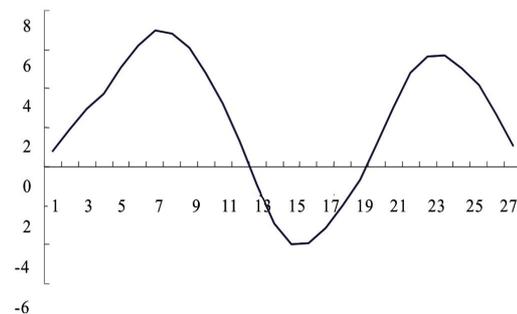


图 3 主周期(7 年、6 年、8 年)叠加图

Fig. 3 Superposed graph of 7, 6, 8 wavelet periods

性变化规律的存在,表明其发生、消长存在着“年际生态后续效应”,即前、后年之间存在着一定的因果关系。而这一效应的存在,是因为棉花盲蝽象的“迁飞性”较弱,而影响其发生与消长的生物因素、生态因素以及人为因素等在一定的时域与空域上具有一定程度的连续性。当上述影响因素发生显著改变时,便出现了图 1 与图 3 中的奇异点现象,而且其发生态势也会随之发生改变。

## 2.2 盲蝽发生等级与气象因子间的相关性分析

观测表明,鄱阳湖北部地区棉花盲蝽象的发

生、消长及危害程度受气候条件的影响较大。一般阴雨天气偏多的时段,有利于棉花盲蝽象的发生与危害;生长茂盛的棉田因植株群体荫蔽,透光性差且空气相对湿度较高,一般发生也较重。此外,该地区多发的绿盲蝽对温度的适应范围相对较广。

对比分析与回归分析也表明,彭泽县对棉花盲蝽象发生、消长影响较明显的气象因子主要是降水、日照以及空气湿度(表 3),而温度条件与之相关不显著。

表 3 1981-2005 年棉花盲蝽象发生等级与气象因子的相关关系分析

Table 3 Correlativity analysis between the cotton mirids occurrence grades and the weather factor in the years of 1981 to 2005

气象因子	旬降水日数/d	旬日照时数/h	旬平均空气相对湿度/%	备注
相关系数(r)	0.401	-0.385	0.496	$r_{0.05}=0.381$

## 2.3 预报模型的建立

预报模式研究资料的时间序列长度为 25 年,开展预报试验的年份为 2007 年和 2008 年。

**2.3.1 年发生等级长期预报。**一方面,四季气候的变化更替并非相互孤立,而是互为因果的。冬季既是上一个年度的结束,也是下一个年度的开始,冬季气候背景对全年下一阶段的气候演变有着重要的影响;而且,冬季气候的冷暖与干湿状况,对病虫害越冬有着直接的影响。基于此,本文采用逐步回归方法对棉花病虫害发生等级与上年度冬季光、温、水等基本气候要素进行了“遥相关”分析。结果表明,棉花盲蝽象年度发生等级与 2 月份的平均最低气温存在着较好的相关性。

另一方面,由于棉花盲蝽象“年际生态连续效应”的存在,使得上年度发生等级可能成为预报模式研究中影响因子选取的重要依据。统计结果也表明,前、后年的发生等级之间的相关性极其显著。采用逐步回归方法,得到棉花盲蝽象年度发生等级的长期预报模式如下:

$$Y_{\text{长期}} = 0.4 + 0.22X_1 + 0.63X_2 \cdots \cdots \cdots \text{①}$$

①式中,  $Y_{\text{长期}}$  取整数数值(小数 4 舍 5 入),当

$Y_{\text{长期}} < 1$  时取 1, 当  $Y_{\text{长期}} > 5$  时取 5;  $X_1$  为当年 2 月份平均最低气温;  $X_2$  为上一年度的发生等级。模式①的回归检验结果见表 4。

在一般情况下,模式①的结果不需要作订正;但对于在图 3 中处于“奇异点”的年份,可适当作  $Y_{\text{长期}}$  值订正,订正幅度以  $[-0.5, +0.5]$  为宜, +、- 的选取与波谱周期变势的正、负表现相一致。

为了检验预报结果,本文规定预报值与实际值误差  $\leq 1$  级为准确,否则为不准确。预报准确率为预报准确的年数占总预报年数的百分比。

模式①的拟合情况为:最大等级误差值为 1.46(仅出现 1 次),84% 的年份拟合误差  $< 1.0$ ,拟合准确率达到 100%,拟合效果极好。

根据 1986 年江西省综合农业区划结果,九江市各主要产棉县(不含修水、武宁两县)同属赣北鄱阳湖平原北部棉区。表 5 列举了利用彭泽县单站资料建立的棉花盲蝽象长期预报模式在多点推广应用试验结果与实况的对照。由表 5 可见,棉花盲蝽象单站长期预报模式在同一气候区推广应用的信度是可靠的。

表 4 棉花盲蝽象长期预报模式回归效果检验

Table 4 The regression effect test to the long-term forecasting model of the cotton mirids

相关系数( $r_1$ )	相关系数( $r_2$ )	偏相关系数( $r_{12}$ )	复相关系数(R)	F 值	显著水平 P
0.387	0.671	0.027	0.710	11.17	0.0004

注:  $r_{0.10}=0.323$ ,  $r_{0.001}=0.597$ .

**2.3.2 中短期气象条件适宜度预报。**就中、短期(1旬至1月)而言,影响棉花盲蝽象发生、消长与危害的主要因素是天气与人的活动(生产管理),而人的活动在一定程度上仍然受到天气条件的制约。所以,对于某一时间段(旬或月),气象条件是最决定的因素。

根据中、短期气象条件变化对虫害发生消长不同程度的影响,将其按适宜程度划分为5个等级,如表6。

基于棉花盲蝽象与环境气象因子间的相关关系分析,同时,考虑到降水、日照及空气湿度因子之间的自相关性,兼顾常规天气要素预报中降水日数预报结论较为稳定的实际,采用逐步回归方法建模,得到以旬降水日数(预报值)作为影响

因子的“棉花盲蝽象中短期气象条件适宜度预报模式”如下:

$$Y_{\text{气象等级}} = 4.4 - 0.25x \dots \dots \dots \text{②}$$

②式中,  $Y_{\text{气象等级}}$  为预报时段的气象等级(划分方法见表6),取整数,小数4舍5入;  $x$  为旬降水日数。模式②的显著水平  $P < 0.05$ 。

可见,结合中、短期天气预报结论,可以方便地做出某时段棉花盲蝽象发生的气象条件等级预报。

棉花盲蝽象发生的气象条件适宜度中短期预报模式在2007年与2008年的试验与推广应用中获得较好的效果。预报时间与主发生时间相吻合,预报等级与实发等级误差为0或1,预报结论准确,在此不一一列举。

表5 棉花盲蝽象长期预报精度

Table 5 Accuracy of the long-term forecasting of the cotton mirids

地名	彭泽站	都昌站	德安站	瑞昌站	九江市综合
2007 预报	5	4	4	5	4~5
2007 实况	5	3	4	5	4.0
误差	0	1	0	0	0.5
2008 预报	4	3	3	4	3~4
2008 实况	5	4	4	4	4~5
误差	1	1	1	0	1

表6 气象等级划分

Table 6 Level of division of the meteorological conditions

$Y_{\text{气象等级}}$	1级	2级	3级	4级	5级
适宜度	极适宜	很适宜	适宜	较不适宜	不适宜
对应的虫害等级	重发生	偏重	中等	偏轻	轻发生

### 3 结论与讨论

综上所述,可以得出:(1)小波分析方法能够较好地揭示农作物病虫害发生等级变化的周期性,且由此引申出的“年际生态后续效应”概念又成为农作物病虫害长期预报模式研究可靠的理论依据之一。可见,小波分析理论在农作物病虫害预报研究领域的应用前景是广阔的。(2)基于“遥相关”思想与方法,从上年冬季气候要素中筛选出物理意义明确的长期预报影响因子做出的预报结论具有较好的稳定性与准确性。因此,遥相关在病虫害预报方法研究中具有实用性。

盲蝽象中短期气象条件适宜度预报对于棉

花生产管理有着积极的指导意义。但是,由于预报模式中的影响因子较多地用到天气预报的结论,故对天气预报具有一定的依赖性,影响其准确率。因此,在实际应用与服务中,必须注意与长期预报结论的有机结合。

此外,由于其它站点存在病虫害档案资料的连续性问题,因而限制了多序列(即不同站点资料)对比研究工作的开展。再者,资料序列长度较短也会影响到小波分析方法的研究精度。

#### 参考文献:

[1] 王仁祥.中国转基因抗虫棉的应用及发展对策[J].棉花学报, 2003,15(3):180-184.

- WANG Ren-xiang. The development and application of transgenic insect-resistant cotton in China[J]. Cotton Science, 2003,15(3):180-184.
- [2] 崔金杰, 雒珺瑜, 王春义, 等. 转双价基因棉田主要害虫及其天敌的种群动态[J]. 棉花学报, 2004,16(2):94-101.
- CUI Jin-jie, Luo Jun-yu, Wang Chun-yi, et al. Population dynamics of main pests and enemies in the transgenic *CryI*Ac + *CpTI* cotton field[J]. Cotton Science, 2004,16(2):94-101.
- [3] 王留明, 张学坤, 刘任重, 等. 转 *Bt* 基因棉在山东棉区的抗虫特性及棉田害虫发生与防治[J]. 中国棉花, 2001,28(4):5-8.
- WANG Liu-ming, Zhang Xue-kun, Liu Ren-zhong, et al. The characteristic of resistance to pest and pest occurrence and control on transgenic *Bt* cotton area of Shandong [J]. China Cotton, 2001,28(4):5-8.
- [4] 王瑞明. 农作物病虫害的发生规律与防治技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998:107-109.
- WANG Rui-ming. The occurrence regularity and technique of control on disease and pest in crop [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1998:107-109.
- [5] 徐文华, 王瑞明, 吉荣龙, 等. 非靶标害虫在 *Bt* 棉田的虫量消长动态与原因分析[J]. 江苏农业科学, 2003(3):36-38.
- XU Wen-hua, Wang Rui-ming, Ji Rong-long, et al. The dynamic change of pests quantity and analysis of reason about the non-target pests in transgenic *Bt* cotton fields[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2003(3):36-38.
- [6] 张英健, 朱月英, 徐文华, 等. 中黑盲蝽形态、发生周期与为害特征[J]. 中国棉花, 1993(3):15-16.
- ZHANG Ying-jian, Zhu Yue-ying, Xu Wen-hua, et al. The characteristic of injury, the cycle of occurrence and morphology of cotton *Adelphocoris suturalis*[J]. China Cotton, 1993(3):15-16.
- [7] 徐文华, 戚永奎, 吴忠义, 等. 几种农药防治棉花铃期盲蝽象的药效试验[J]. 江西棉花, 1999,21(6):13-15.
- XU Wen-hua, Qi Yong-kui, Wu Zhong-yi, et al. Efficacy test of control miridae in cotton at bolling stage with chemicals [J]. Jiangxi Cotton, 1999,21(6):13-15.
- [8] 徐文华, 王瑞明, 武进龙, 等. 转 *Bt* 基因抗虫棉田棉花盲蝽象预测预报方法的改进研究[J]. 江西农业学报, 2008,20(1):29-31.
- XU Wen-hua, Wang Rui-ming, Wu Jin-long, et al. Research on improvement of forecasting methods for cotton plant bugs in transgenic *Bt* cotton fields [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2008, 20(1):29-31.
- [9] 徐文华, 周加清, 李万青, 等. 江苏沿海地区转 *Bt* 基因抗虫棉的抗虫性及生长发育研究[J]. 江西农业学报, 1999,11(1):30-37.
- XU Wen-hua, Zhou Jia-qing, Li Wan-qing, et al. Studies on resistance and developmental characters of transgenic *Bt* cotton in coastal cotton area of Jiangsu Province [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 1999,11(1):30-37.
- [10] 徐文华, 王瑞明, 吉荣龙, 等. 中棉所 29 在江苏沿海棉区的抗性及其生育特性研究[J]. 江西农业学报, 2002,14(4):23-30.
- XU Wen-hua, Wang Rui-ming, Ji Rong-long, et al. Studies on resistance and developmental characters of “CCRI 29” in coastal cotton area of Jiangsu Province [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2002,14(4):23-30.
- [11] 徐文华, 王瑞明, 吴春, 等. 江苏沿海农区转 *Bt* 基因抗虫棉的研究进展[J]. 华东昆虫学报, 2005,14(1):33-37.
- XU Wen-hua, Wang Rui-ming, Wu Chun, et al. Advances of *Bt* transgenic cotton studies in coastal agricultural area of Jiangsu Province[J]. Entomological Journal of East China, 2005,14(1):33-37.
- [12] 吕爱清, 胡大伟, 邱爱保, 等. 江西单位耕地食物产量变化的小波分析[J]. 土壤, 2008,40(1):34-38.
- LÜ Ai-qing, Hu Da-wei, Qiu Ai-bao, et al. Wavelet analysis of grain yield per unit area of crop land in Jiangxi[J]. Soils, 2008, 40(1):34-38. ●