

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 11 期 Vol.31 No.11 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 11 期

2011 年 6 月 (半月刊)

目 次

微生物介导的碳氮循环过程对全球气候变化的响应·····	沈菊培, 贺纪正 (2957)
巢湖蓝藻水华形成原因探索及“优势种光合假说”·····	贾晓会, 施定基, 史绵红, 等 (2968)
我国甜菜夜蛾间歇性暴发的非均衡性循环波动·····	文礼章, 张友军, 朱 亮, 等 (2978)
庞泉沟自然保护区华北落叶松林的自组织特征映射网络分类与排序·····	张钦弟, 张金屯, 苏日古嘎, 等 (2990)
上海大莲湖湖滨带湿地的生态修复·····	吴 迪, 岳 峰, 罗祖奎, 等 (2999)
芦芽山典型植被土壤有机碳剖面分布特征及碳储量·····	武小钢, 郭晋平, 杨秀云, 等 (3009)
土壤微生物群落结构对中亚热带三种典型阔叶树种凋落物分解过程的响应·····	张圣喜, 陈法霖, 郑 华 (3020)
中亚热带几种针、阔叶树种凋落物混合分解对土壤微生物群落碳代谢多样性的影响·····	陈法霖, 郑 华, 阳柏苏, 等 (3027)
桂西北喀斯特峰丛洼地表层土壤养分时空分异特征·····	刘淑娟, 张 伟, 王克林, 等 (3036)
重金属 Cd 胁迫对红树蚬的抗氧化酶、消化酶活性和 MDA 含量的影响·····	赖廷和, 何斌源, 范航清, 等 (3044)
海南霸王岭天然次生林边缘效应下木质藤本与树木的关系·····	乌玉娜, 陶建平, 奚为民, 等 (3054)
半干旱黄土丘陵区不同人工植被恢复土壤水分的相对亏缺·····	杨 磊, 卫 伟, 莫保儒, 等 (3060)
季节性干旱对中亚热带人工林显热和潜热通量日变化的影响·····	贺有为, 王秋兵, 温学发, 等 (3069)
新疆古尔班通古特沙漠南缘多枝桉柳光合作用及水分利用的生态适应性·····	王珊珊, 陈 曦, 王 权, 等 (3082)
利用数字图像估测棉花叶面积指数·····	王方永, 王克如, 李少昆, 等 (3090)
野生大豆和栽培大豆光合机构对 NaCl 胁迫的不同响应·····	薛忠财, 高辉远, 柳 洁 (3101)
水磷耦合对小麦次生根特殊根毛形态与结构的影响·····	张 均, 贺德先, 段增强 (3110)
应用物种指示值法解析昆崙山植物群落类型和植物多样性·····	孙志强, 张星耀, 朱彦鹏, 等 (3120)
基于 MSIASM 方法的中国省级行政区体外能代谢分析·····	刘 晔, 耿 涌, 赵恒心 (3133)
不同生态区烟草的叶面腺毛基因表达·····	崔 红, 冀 浩, 杨惠娟, 等 (3143)
B 型烟粉虱对 23 种寄主植物适应度的评估和聚类分析·····	安新城, 郭 强, 胡琼波 (3150)
杀虫剂啉虫脒和毒死蜱对捕食蜘蛛血细胞 DNA 的损伤作用·····	李 锐, 李生才, 刘 佳 (3156)
杀真菌剂咪鲜安对蓼花臂尾轮虫的影响·····	李大命, 陆正和, 封 琦, 等 (3163)
长、短期连续孤雌生殖对蓼花臂尾轮虫生活史和遗传特征的影响·····	葛雅丽, 席貽龙 (3170)
专论与综述	
区域景观格局与地表水环境质量关系研究进展·····	赵 军, 杨 凯, 邵 俊, 等 (3180)
露水对植物的作用效应研究进展·····	叶有华, 彭少麟 (3190)
葡萄座腔菌科研究进展——鉴定, 系统发育学和分子生态学·····	程燕林, 梁 军, 吕 全, 等 (3197)
人工林生产力年龄效应及衰退机理研究进展·····	毛培利, 曹帮华, 田文侠, 等 (3208)
树木年轮在干扰历史重建中的应用·····	封晓辉, 程瑞梅, 肖文发, 等 (3215)
植物中逆境反应相关的 WRKY 转录因子研究进展·····	李 冉, 娄永根 (3223)
研究简报	
三江源地区高寒草原土壤微生物活性和微生物量·····	任佐华, 张于光, 李迪强, 等 (3232)
3 种黑杨无性系水分利用效率差异性分析及相关 <i>ERECTA</i> 基因的克隆与表达·····	郭 鹏, 夏新莉, 尹伟伦 (3239)
猕猴桃园节肢动物群落重建及主要类群的生态位·····	杜 超, 赵惠燕, 高欢欢, 等 (3246)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 298 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-06



封面图说: 盘锦市盘山县水稻田——盘锦市位于辽宁省西南部, 自古就有“鱼米之乡”的美称。这里地处温带大陆半湿润季风气候, 有适宜的温度条件和较长的生长期以供水稻生长发育, 农业以种植水稻为主, 年出口大米达 1 亿多公斤, 是国家级水稻高产创建示范区和重要的水稻产区。

彩图提供: 沈菊培博士 中国科学院生态环境研究中心 E-mail: jpshe@reccs.ac.cn

我国甜菜夜蛾间歇性暴发的非均衡性循环波动

文礼章^{1,*}, 张友军², 朱亮¹, 王少丽², 肖强¹, 杨中侠¹

(1. 湖南农业大学生物安全科学技术学院, 湖南长沙 410128; 2. 中国农科院蔬菜花卉研究所, 北京 100081)

摘要:应用时间序列分析技术研究了我国甜菜夜蛾间歇性暴发的时间序列波动规律。结果表明,在 1949—2008 年的 60a 中,我国甜菜夜蛾大尺度暴发总年频次为 120 次,各年度暴发次数(年频次)存在着非均衡性循环波动特征,并且在其波动过程中呈明显的上升趋势。按“年频次”强度,可将我国 1949—2008 年 60a 中甜菜夜蛾发生过程,划分成两个明显不同的阶段。第一阶段(1949—1984 年)为平稳低发阶段,36a 总年频次量为 4 次,年平均仅 0.11 次;第二阶段(1985—2008 年)则为波浪式上升性高发阶段,24a 总年频次为 116 次,年平均 4.83 次(为第一阶段的 43.91 倍)。按第二阶段 24a(1985—2008 年)数据进行自相关系数和频谱图分析,结果表明,我国甜菜夜蛾大尺度暴发存在 2.8a 和 11.2a 两种不同长度的循环周期,其暴发趋势指数对滞后 1a 和滞后 4a 的影响为正相关,而对滞后 5a 和滞后 6a 的影响则为负相关。根据甜菜夜蛾暴发指数的非均衡周期性特征,建立了以时间序列为自变量的甜菜夜蛾暴发指数非均衡周期性预测模型,经回代结果检验,理论值与实测值之间无显著差异。

关键词:甜菜夜蛾;间歇性暴发;非均衡性循环波动;时间序列分析

Unbalanced cyclical fluctuation pattern of intermittent outbreaks of beet armyworm *Spodoptera exigua* (Hübner) in China

WEN Lizhang^{1,*}, ZHANG Youjun², ZHU Liang¹, WANG Shaoli², XIAO Qiang¹, YANG Zhongxia¹

1 College of Bio-Safety Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China

2 The Institute of Vegetables and Flowers Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

Abstract: *Spodoptera* (*Laphygma*) *exigua* Hübner is a worldwide insect pest, whose populations often explode intermittently causing disaster in China. Especially in the last 20 years, *S. exigua* outbreaks in China have been constantly expanding in their scope and quantity of occurrence, and the economic damage caused to agriculture has also been intensifying unceasingly. Although our predecessors, through broad and thorough research, have developed a relatively profound understanding of the pest development laws, as well as the reasons for the *S. exigua* outbreaks, the understanding of the temporal and spatial dimensions of the intermittence of outbreak of *S. exigua* is still very limited. There are few explorations on the overall rules governing the population dynamics during multi-years, in the long-term or the nationwide-range of *S. exigua*, which results in a weak ability for early warning of *S. exigua* outbreaks.

In order to further assess any regular patterns of frequently intermittent outbreaks of *S. exigua* in China, this paper studied the time series of fluctuations of intermittent outbreaks by using the temporal sequence analysis technique. The results showed that the outbreak frequency of *S. exigua* in China was 120 in the 60 years from 1949 to 2008. The annual frequency had some obvious characteristics of unbalanced cyclical fluctuation, with an increasing trend in the fluctuation. According to the intensity of annual frequency, the occurrence process of *S. exigua* outbreaks during these 60 years could be divided into two phases. The first phase (1949—1984) was a steady and low incidence phase, and the total annual frequency and the annual average frequency of which were 4 and 0.11, respectively. The second phase (1985—2008) was wavelike with a high incidence phase, and the total annual frequency and the annual average frequency of which were 116 and 4.83 (43.91 times that of the first phase), respectively; the annual minimum frequency was 1; the annual maximum

基金项目:农业部国家公益科研专项甜菜夜蛾行业项目(200803007)

收稿日期:2010-04-23; 修订日期:2010-09-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: weninsect123@yahoo.com.cn

frequency was 19. Based on the data of the second phase data of 24 years, the autocorrelation coefficient and spectrogram analysis were estimated. The results showed that two different length cycles (2.8-years and 11.2-years) of large-scale outbreaks of *S. exigua* were present in China, and that the trend index of the outbreak was positively correlated with a lag of 1 or 4 years, and was negatively correlated with a lag of 5 or 6 years.

The reasons causing the changes in the insect population are complex and diverse. From these we may conclude 3 kinds of main factors; namely artificial factors, natural factors and insect population factors. The artificial factors include the periodic modification of the widespread or locally applied agricultural cultivation technologies, both the plant culture system (for example, crop allocation, variety change, soil amelioration and so on) and the pest control technology. Natural factors include the periodic exceptional changes of wide-range or local area climate (for example drought, rainstorm and so on). The insect population factors include the pest population processes themselves in response to the new environment or new pesticides, and the process of periodicity reducing and recovering the levels of the natural enemy populations and so on.

A non-equilibrium cyclical forecasting model of the outbreak index of *S. exigua* was established in this paper, taking a time series of years as the independent variable according to the non-equilibrium cyclical characteristics of the outbreak index of *S. exigua*. The results of the inspection by inverse calculation showed that there was no significant difference between the theoretical value and the actual value, which provided the theoretical means for exploring further the time evolution features of medium or long-term of *S. exigua* populations and establishing the medium or long-term population forecasting models, with the objective to enhance early warning capacity for *S. exigua* outbreaks, and to guide timely decisions for the integrated management of *S. exigua*.

Key Words: *Spodoptera exigua*; intermittent outbreak; unbalanced cyclical fluctuation; temporal sequence analysis

甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* Hübner 是一种世界性害虫,在我国常间歇性暴发成灾^[1]。随着甜菜夜蛾发生量和发生范围的不断扩大,我国关于甜菜夜蛾研究的文献量随之激增。查阅了 1915—2008 年 84a 间我国各类农业期刊文献相关甜菜夜蛾的记载,结果发现,关于“甜菜夜蛾”的文献总量,以题名中出现次数计有 617 篇,以全文中出现次数计则有 6157 篇。通过前人广泛而深入的研究^[2-10],人们对甜菜夜蛾发生发展规律以及大发生原因已有了较为深刻的认识,从而为甜菜夜蛾的预测预报以及制订有效的防治策略和措施提供了理论依据。

然而,从所查文献^[11-23]的总体表象来看,在甜菜夜蛾发生发展规律及其影响因子分析方面仍存在下列缺陷,一是在时间规律方面,多限于季节性发生规律的研究,而对多年度中、长期时间内种群动态规律探索较少;二是在空间规律方面,多限于局部种群或局部地区种群动态规律的研究,而对全国性范围内的总体规律探索较少;三是在大发生原因分析方面,多限于对直接影响因子的考虑,而对间接影响因子和天文影响因子考虑较少;四是在文献利用和文献分析方面,多限于对直接结果的引用,而对文献间的关联性和隐含信息挖掘较少。

由于不同年间或不同地区间自然条件、气候因素、栽培制度等变化或其它未知因子的影响,常导致不同年间或不同地区间同种害虫发生量存在着很大的差异。然而,如果将这种差异放在较长的时间轴上来分析,往往可能表现出一定的周期性或非周期性规律,而时间序列分析正是为发现这种规律提供了重要的分析工具。时间序列分析虽然并不研究事物的因果关系,也不考虑事物发展变化的原因,只从事物过去和现在的变化规律去推断事物的未来变化^[24],但是,它用“时间”集合了所有影响因子的综合效果,可以使复杂而看上去杂乱无章的害虫种群动态系统变得简单明了。时间序列分析是根据系统观测得到的时间序列数据,通过曲线拟合和参数估计来建立数学模型的一种理论方法。它一般采用曲线拟合和参数估计方法(如非线性最小二乘法)进行。时间序列分析已广泛应用于国民经济宏观控制、区域综合发展规划、企业经营管理、市场潜量预测、气象预报、水文预报、地震前兆预报、农作物病虫害灾害预报^[25]、环境污染控制、生态平衡、天文学和海洋学等方面。

关于害虫猖獗的周期性,已有不少作者做过研究,如典型的例子有:东亚飞蝗 *Locusta migratoria manilensis* 有 2—3a、5—6a 及 25a 等 3 种周期,东方粘虫 *Mythima separata* 有 15—18a 的周期性,草地螟 *Loxostege sticticalis* 有 10—12a 的周期等^[26-27]。但关于甜菜夜蛾间歇性爆发是否有周期性(循环性)特征,至今未见有文献报道。

本文是在查阅大量文献的基础上,充分挖掘我国近 60a 来相关甜菜夜蛾文献间的关联性和隐含信息,针对上述相关问题,应用时间序列分析技术研究我国甜菜夜蛾大尺度发生量的周期性或非周期性波动规律以及影响其波动的可能原因或其伴随性相关因子,以探索我国甜菜夜蛾种群数量的中、长期时间演变特征,为建立甜菜夜蛾中、长期种群预测模型,增强人们对甜菜夜蛾大发生的预警能力,并及时指导甜菜夜蛾的综合防治提供理论依据。本文首先报道关于我国甜菜夜蛾大尺度发生量的周期性波动规律分析结果。

1 材料和方法

1.1 甜菜夜蛾发生量评价指标的选择

在研究文献在时间序列中的关联性过程中发现,有许多文献^[28-30]直接或间接记录了本地或异地某些年甜菜夜蛾发生或危害程度的信息,这说明在丰富的甜菜夜蛾文献库中,蕴藏着甜菜夜蛾发生量或发生程度(轻重)信息。因此,研究和利用文献资料中的关联性和隐含信息是解决发生量评价指标难题的有效途径。

首先定义几个概念:

①暴发年 有文献记载的甜菜夜蛾大发生年。

②暴发“年频次”(year-frequency,简称 f) 同一年内全国记载的甜菜夜蛾大发生的总观测点数(同一年同一观测点只记 1 次,即不重复计数),或者同一观测点多年内甜菜夜蛾大发生的总年数,或者多个观测点或全国全部观测点同一年或多年甜菜夜蛾大发生的总年数之和。暴发“年频次”量主要受制于甜菜夜蛾发生量和发生面的大小,即发生量越大、面越广、危害越重,关注的人就越多,记载的暴发“年频次”数也就越多,反之,记载的暴发“年频次”数就会少。因此,定义暴发“年频次”作为甜菜夜蛾发生量的“评价指标”,如全国的暴发“年频次”在年时间轴上的变化规律,即可以显现出甜菜夜蛾在田间的年际动态规律;而各观测点的暴发“年频次”在地域空间上的变化规律即可以显现出甜菜夜蛾在田间的地理动态规律。

③平均“年频次”(简称 f) 1 个或多个观测点或全国全部观测点多年(两年或两年以上)内平均每年暴发的次数。

④暴发指数(简称 I) 定义 $I = \ln(f+1)$

⑤非均衡性循环序列 定义“在时间序列轴上,用统计学方法去除长期因子、季节因子和随机因子引起的波动后,对剩余的残差平稳时间序列,进行统计学检验,证明其存在理论上的周期性特征,但从其序列图形上看,却表现出不同时段具有不同的波长或波幅”的时间序列为非均衡性循环序列。序列的非均衡性循环特征反映出事件发生的复杂性,如存在大循环套小循环特征或存在非循环性因子的干扰。如果能够去除后者的影响,序列将仍会呈现出常规的均衡性循环序列。

1.2 暴发“年频次”数据的采集和处理

为系统研究我国甜菜夜蛾种群数量的中长期时间演变规律,本文利用现代电子数据库以及中国国家图书馆-中国科学院图书馆等纸质文献馆藏单位或部门,查阅和收集了自 1915—2008 年 84a 间我国各类农业期刊相关甜菜夜蛾的 6157 篇文献,通过分析其文献间的关联性和隐含信息,挖掘和筛选相关我国甜菜夜蛾大发生年或大发生地的内容,经过提取和对比分析,得出我国甜菜夜蛾在 1915—2008 年 84a 间发生的总暴发“年频次”为 120 次。1915—1948 年,所查到的暴发“年频次”数为 0 次,故整理的暴发“年频次”原始数据表(表 1)中只列出了 1949—2008 年各年度的暴发“年频次”。

1.3 暴发“年频次”循环性波动规律的测定

测定循环性(也称周期性)波动规律的方法很多,本文以甜菜夜蛾暴发“年频次”为指标对象,采用时间序列分析中的直观图形法,即“谷—谷”划分法,从一个波谷到另一个波谷经过的时间即为 1 个周期^[31]。转折点

数检验法^[32]、自相关系数法和功能谱分析方法^[33-34]综合测定我国甜菜夜蛾间歇性暴发的循环性或非循环性波动规律。

2 结果与分析

2.1 暴发“年频次”数据的采集结果

查阅了1915—2008年84a间我国各类农业期刊文献相关甜菜夜蛾的记载,结果发现,相关“甜菜夜蛾”的“文献总量”达6157篇,其中以甜菜夜蛾为题名的文献量为617篇,以全文中有但篇名中无甜菜夜蛾的文献量为5540篇,继续对617篇甜菜夜蛾题名文献进行全文分析,挖掘和筛选其文献间的关联性和隐含信息,结果提取出120次关于我国甜菜夜蛾大发生的暴发“年频次”值。表1列出了1949—2008年各年度的暴发“年频次”值。1915—1948年,查到的相关暴发“年频次”值均为0,故未列出。

2.2 阶段性长期趋势特征

长期趋势意味着害虫发生量随时间的推移而逐渐变动,它反映一定时期内害虫种群活动持续存在的稳定性^[34]。从表1可以明显看出,在1949—1984年的36a间总共只有4个“年频次”记录,年均几乎为0,且最高值也仅为1,所以,此阶段(定义为第1阶段)可被视为甜菜夜蛾平稳低频暴发阶段。而在1985—2008年的24a间则总共有116个“年频次”记录,年均达4.83次,年最高达19次。该阶段(定义为第2阶段)的趋势特征是,年间的暴发次数分布极不均匀,其中年发生10次以上的有3a(连续发生于1999[19次],2000[14次]和2001年[11次]);5—9次的有9a,1—4次的有10a,0次的只2a,与第一阶段相比,第二阶段显然为高频暴发阶段。

表1 我国甜菜夜蛾历年发生暴发“年频次”值原始数据表

Table 1 Original datasheet of year-frequency of *Spodoptera exigua* Hübner outbreak in China

年份 Year	暴发年 频次 Year- frequency	年份 Year	暴发年 频次 Year- frequency	年份 Year	暴发年 频次 Year- frequency	年份 Year	暴发年 频次 Year- frequency	年份 Year	暴发年 频次 Year- frequency	年份 Year	暴发年 频次 Year- frequency
1949	0	1959	1	1969	0	1979	0	1989	0	1999	19
1950	0	1960	0	1970	0	1980	1	1990	2	2000	14
1951	0	1961	0	1971	0	1981	0	1991	9	2001	11
1952	0	1962	0	1972	0	1982	0	1992	1	2002	9
1953	0	1963	0	1973	0	1983	0	1993	1	2003	5
1954	0	1964	0	1974	0	1984	0	1994	5	2004	7
1955	0	1965	0	1975	0	1985	1	1995	2	2005	1
1956	1	1966	0	1976	0	1986	2	1996	1	2006	6
1957	0	1967	0	1977	0	1987	0	1997	5	2007	5
1958	1	1968	0	1978	0	1988	2	1998	2	2008	6

设“年频次值”为 f_y ,并定义甜菜夜蛾暴发指数实测值为 $I(I=[\ln(f_y+1)])$,经线性模型拟合,则 I 与年时间序列 t 具有显著的直线回归关系,即 I 的理论估计值模型为:

$$\hat{I} = 0.6331 + 0.0657t \pm 0.694 \quad (24 \geq t \geq 1) \quad (1)$$

($r=0.565^{**}$, $P=0.004$, $F=10.31$)

式(1)中, $\hat{I}$ 为暴发趋势指数估计值, t 为时间序列[年],且($24 \geq t \geq 1$)

式(1)表明,模型中回归系数($b=0.0657^{*}$)和相关系数($r=0.565^{**}$)都在 $P=0.004<0.01$ 水准上存在着显著相关-回归关系,且均为正数,这说明我国甜菜夜蛾大尺度种群数量或年暴发频次,自1985年以来,不仅总体上为波浪式高频暴发阶段,而且呈显著的上升性长期趋势(图1)。

2.3 非均衡性循环特征

2.3.1 非均衡性循环特征的判断

从表1和上述2.2项分析结果可知,我国1949—2008年60a间甜菜夜蛾暴发“年频次”数变化趋势中有11个波峰或波谷,平均波期5.5a,但其波峰的高度和“峰—峰”或“谷—谷”间的宽度极不均匀,如在1949—1984的36a间仅包含3个峰值,平均波期为11.7a;在1985—1998的14a中包含5个峰值,平均波期为2.8a;而在1999—2008的10a间包含3个峰值,平均波期为3.0a,也接近上一时期的波期(2.8a),但其平均峰值远高于前2个时期的平均峰值。可见我国甜菜夜蛾大尺度暴发虽然具有平均每5—6a发生1次“峰—谷”交替的间歇性特征,但没有明显的“等时等量”循环性特征。

虽然经目测分析可知,自1949年以来,我国甜菜夜蛾暴发“年频次”时间序列趋势未表现出明显的均衡性(等时等量)循环特征,但是,经时间序列分析中“转折点数检验”结果表明,我国甜菜夜蛾暴发“年频次”时间序列趋势中,仍存在着理论循环性波动特征,主要表现为,其“年频次”值在时间序列轴上表现出明显的“峰—谷”循环交替过程,只是其峰值高度和峰底宽度具有明显的非均衡性。

判断时间序列数据是否有循环性(周期性)特征的方法有多种,本文采用剩余测定法^[33]。剩余测定法的基本原理是,从时间序列中消除长期趋势、季节变动和随机因素后,剩余的“残差平稳时间序列波动”即为周期性波动。

本文采用1985—2008年度数据(表2),不存在季节因素的影响,而长期趋势指数估计值 $\hat{I}$ 已由式(1)估出。将表2中暴发趋势指数实测值 I 减去估计值 $\hat{I}$ 消除长期趋势(差分法)后形成的新时间序列 I_d 中,其长期趋势影响已完全消除(平均数 ≈ 0 ,标准差 ≈ 1)(图2),即 I_d 曲线的变化与时间序列变化无关(生物学意义可解释为:甜菜夜蛾暴发指数残差值的波动不是因为时间变化引起的,而是由于其它因子的影响或自身的固有规律或随机因子所引起的),因此,可以认为 I_d 残差时间序列为一平稳时间序列,可作进一步的周期性特征分析。

为了进一步检验甜菜夜蛾暴发指数残差值的波动是否具有周期性特征,现采用转折点数检验方法^[32]对经过去除长期趋势后的平稳数列 I_d (图2)进行统计分析。

数列的转折点是指上升转为下降的点(峰值点)和下降转为上升的点(谷值点)。数列的转折点数多表明数列只有随机变动,转折点数少表明数列存在有规律的变动,即可能存在循环性(或称周期性)波动。判断数列转折点数多少的标准是转折点数的标准化值^[32]。

设 n =数列项数, P =转折点数,则随机数列转折点数的数学期望(μ_p)和标准差(δ_p)分别为:

$$\mu_p = 2(n-2)/3, \delta_p = [(16n-29)/90]^{1/2}$$

转折点数 P 的标准化值 z 为:

$$z = (P - \mu_p) / \delta_p$$

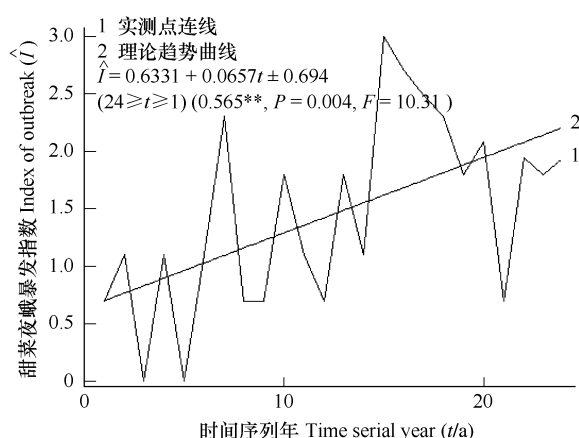


图1 我国甜菜夜蛾暴发年频次时间序列分布长期趋势图(1985—2008年)

Fig. 1 Time serial trend chart of year-frequency index distribution of *Spodoptera exigua* outbreak in China

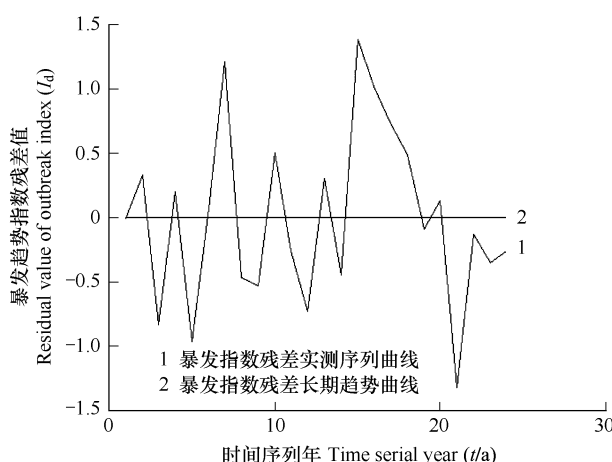


图2 我国甜菜夜蛾暴发趋势指数消除长期趋势后的残差值变化图(1985—2008)

Fig. 2 Residual sequence trend chart of year-frequency index distribution of *Spodoptera exigua* outbreak in China

对于横坐标,定义1985年为第1年,2008年为第24年

检验的基本步骤是:取统计显著水平为 5%。如果 $|z| > 1.96$, 则拒绝接受数列的随机性假设, 可认为数列存在有规律的变动; 如果 $|z| \leq 1.96$, 则接受数列的随机性的假设。对于经过去除长期趋势处理的暴发趋势指数的残差数列 I_d 来说:

$n = 24$ (数列项数, 见表 2 中 I_d 数列), $P = 8$ (转折点数, 见图 2 中波峰点个数)

$$\mu_p = 2(24 - 2) / 3 = 14.67, \delta_p = [(16n - 29) / 90]^{1/2} = 3.94^{1/2} = 1.99$$

$$z = (P - \mu_p) / \delta_p = (8 - 14.67) / 1.99 = -3.35, |z| = |-3.35| = 3.35 > 1.96$$

由此可知, z 的绝对值大于 1.96, 表明我国甜菜夜蛾暴发趋势指数消除长期趋势后的残差数列缺乏随机性, 故理论上存在循环性(或称周期性)波动特征。

表 2 我国甜菜夜蛾 1985—2008 年间年暴发频次及暴发指数相关数据计算表

Table 2 Calculation of frequency and trend index of *Spodoptera exigua* outbreak in 1985—2008 of China

时间序列 Time serial year (t_i)	年频次数 Year-frequency $y(y_1)$ ①	暴发指数 Index of outbreak (y_2)②	y_2 的长期趋势 Long stage trend ($\hat{y}_{2t}$)③	暴发指数残差 Residual value of index of outbreak (y_4)④	y_4 的标准化值 Value of standardization of $y_4(y_{4s})$ ⑤	y_{4s} 的模型预测值 Predicted value of y_{4s} model ($\hat{y}_{4s}$)⑥
1985	1	0.69	0.70	-0.01	-	-1.97
1986	2	1.10	0.76	0.33	-0.48	-1.74
1987	0	0.00	0.83	-0.83	-0.39	-1.17
1988	2	1.10	0.90	0.20	-0.91	-0.42
1989	0	0.00	0.96	-0.96	-0.55	0.22
1990	2	1.10	1.03	0.07	-0.14	0.48
1991	9	2.30	1.09	1.21	0.06	0.30
1992	1	0.69	1.16	-0.47	-0.19	-0.21
1993	1	0.69	1.22	-0.53	-0.47	-0.76
1994	5	1.79	1.29	0.50	-0.39	-1.09
1995	2	1.10	1.36	-0.26	-0.47	-1.05
1996	1	0.69	1.42	-0.73	-0.55	-0.66
1997	5	1.79	1.49	0.30	-0.63	-0.08
1998	2	1.10	1.55	-0.45	0.22	0.50
1999	19	3.00	1.62	1.38	0.51	0.90
2000	14	2.71	1.68	1.02	1.00	1.01
2001	11	2.48	1.75	0.73	0.63	0.83
2002	9	2.30	1.82	0.49	0.18	0.43
2003	5	1.79	1.88	-0.09	-0.06	-0.09
2004	7	2.08	1.95	0.13	-0.79	-0.61
2005	1	0.69	2.01	-1.32	-0.81	-1.03
2006	6	1.95	2.08	-0.13	-1.00	-1.28
2007	5	1.79	2.14	-0.35	-0.58	-1.36
2008	6	1.95	2.21	-0.26	-	-1.27
平均数	4.833	1.453	1.454	-0.001	-0.264	-0.422
标准差	4.779	0.823	0.464	0.678	0.521	0.870
95% 置信区间	-	-	0.694	-	-	0.501

① 暴发频次/年: 数据取自本文表 1 中 1985—2008 年的数据; ② 暴发指数: $y_{2i} = \ln(y_{1i} + 1)$; ③ 长期趋势: $\hat{y}_{2i} = 0.6331 + 0.0657t_i$; ④ 暴发指数残差: $y_{4i} = y_{2i} - \hat{y}_{2i}$; ⑤ 标准化值: $y_{4si} = y_{4i}$ 数列经 3 阶移动平均后再进行 $(-1, 0, 1)$ 化处理所得的新数列; ⑥ 模型预测值: $\hat{y}_{4s} = \sin(2 \times \pi \times x_i / 11.2 + \sin a(x_i) + \sin b(x_i))$, 其中 $x_i = (t_i - t_0)$; $t_0 = 1986$; $a(x_i) = (0.2278 x_i - 0.0090 x_i^2 - 1.3747)$; $b(x_i) = (0.1776 x_i - 0.0068 x_i^2 - 1.1374)$; $\pi = 3.14$

其生物学意义可解释为: 我国甜菜夜蛾大尺度暴发量(或暴发面积)显著存在“峰—谷”(大、小)年交替发生的循环性特征, 但其各高峰年暴发量(峰值高度)和各循环周期的时间长度(峰底宽度)具有明显的非均衡性, 所以, 被称之为“非均衡性循环特征”。

2.3.2 判断时间数列影响滞后数列的自相关系数检验

应该指出的是, 转折点数检验法只能检验数列的随机性, 但不能确定数列的变动规律。所以下面用自相关系数对暴发趋势指数残差数列 I_d 做进一步检验。自相关系数^[33-34]指一个时间数列与其不同滞后期数列的

相关系数,它可以有效地量化数列不同时期数值间的关联程度。首先,计算出暴发趋势指数残差数列 I_d 滞后 1—12 期的自相关系数 $r_k (k=1,2,\dots,16)$,再用下式求出每个自相关系数的标准差(s_k):

$$s_k = [(1-r_{k2})/(n-k-2)]^{1/2}$$

最后,检验 r_k 的绝对值是否大于 $1.96s_k$,以判断其是否能通过统计显著性检验。

表 3 列出了经 3a 中心移动平均(去除随机因子的影响)残差数列 I_{dm} (表 2)各滞后期的自相关系数及其标准差,由表 3 可知,1985—2008 年间甜菜夜蛾暴发趋势指数残差数列 I_d 与其滞后 1、4、5a 和 6a 自相关系数都通过显著性检验。特别是其相关系数的正负符号表明,我国甜菜夜蛾某一年的暴发趋势指数对滞后 1a 和滞后 4a 的影响为正相关($r_1=0.726^*$, $r_4=0.378^*$),而对滞后 5a 和 6a 的影响则为负相关($r_5=-0.478^*$, $r_6=-0.449^*$);而相关系数值的大小可被认为是可能发生这类影响的概率。可见,自相关系数分析进一步表明,我国甜菜夜蛾大尺度暴发“年频次”量存在着有规律的非均衡性循环波动特征。

2.3.3 判断非均衡性循环种类及循环周期长度的谱分析检验

自相关系数检验结果虽然证明了甜菜夜蛾暴发“年频次”非均衡性循环特征的存在以及明确了数列前后数的相关关系,但是,没有明确周期的种类及周期长度。

谱分析方法^[33-34]的基本思想是把时间序列看作互不相关的不同频率分量的叠加。利用傅立叶变换^[24,32]等手段将各频率分量加以分解,通过谱密度函数来衡量各分量的相对重要性以找出序列中存在的主要频率分量,从而把握序列的周期波动特征。由于谱分析方法从频域角度反映了时间序列周期波动特征的全部信息,并有助于更深入地研究各种不同循环周期的特殊形态及其形成机制,避免时域方法带来的混淆(时域方法所衡量的只是各频率分量共同叠加后的结果)。因此,在研究时间序列的周期波动方面,它具有其它方法所无法替代的优势。

本文采用的谱估计方法是使用较为普遍的图基-汉宁(Tukey-Hanning)窗谱估计法^[33]。计算上采用单变量谱分析方法。现将我国甜菜夜蛾暴发趋势指数残差数列 I_d (表 2)进行谱分析,得到结果如图 3。

由于高频处的谱密度估计值几乎全部为零,故图 3 中仅画出频率(f)从 0 到 0.5 处的谱密度值)。由图 3 可见。谱密度曲线分别出现有两个明显的峰值点,分别位于频率 $f=0.089$ 和 $f=0.355$ 处,其对应谱密度峰值分别是 5.17 和 4.01。

表 3 我国甜菜夜蛾暴发趋势指数残差数列 I_d 自相关系数及其标准差

Table 3 Autocorrelation coefficient and standard deviation of residual sequence of index of outbreak trend of *Spodoptera exigua* outbreak in ChinaK

K 滞后年数 Lag years	r_k 自相关系数 Autocorrelation coefficient	s_k 标准差 Standard deviation	$1.96s_k$ $1.96 \times$ 标准差 Standard deviation	K 滞后年数 Lag years	r_k 自相关系数 Autocorrelation coefficient	s_k 标准差 Standard deviation	$1.96s_k$ $1.96 \times$ 标准差 Standard deviation
1	0.726 *	0.199	0.390	7	0.196	0.169	0.331
2	0.340	0.195	0.382	8	0.036	0.163	0.319
3	-0.105	0.190	0.372	9	0.176	0.157	0.308
4	0.378 *	0.185	0.363	10	0.087	0.151	0.296
5	-0.478 *	0.179	0.351	11	-0.029	0.144	0.282
6	-0.449 *	0.174	0.341	12	-0.164	0.138	0.270

* 表示 $r_k > 1.96s_k$, 即自相关系数在 $P=0.05$ 水上显著

图 3 中两个峰值点可解释为:我国甜菜夜蛾年暴发趋势指数残差序列在过去的 24a 间(1985—2008),是由两个循环周期复合而成的,第一个循环周期的峰值点为 5.17,发生的年频率为 $f=0.089$,取其倒数即为其周期长度 $T_1=1/0.089=11.2a$;第二个循环周期的峰值点为 4.01,发生的年频率为 $f=0.355$,取其倒数即为其周期长度 $T_2=1/0.355=2.82a$ 。这与图 3 中显示的暴发趋势指数残差值峰值点数完全吻合,即 24a 间有 2 个突出峰值(表示有两个特大发生年,分别为 1991 年和 1999 年),另有 6 个一般峰值,加上因 2 个突出峰值覆盖的一般高峰值点,应共有 8 个一般峰值点。因此,谱分析结果进一步从理论上证明了,我国甜菜夜蛾大尺度间

歇性暴发的非均衡性循环波动规律为:(以 1985—2008 年 24a 为例)每 11.2a 左右有 1 次特大面积发生,而每 3a 左右有 1 次大面积发生。

2.4 甜菜夜蛾猖獗周期性预测模型的构建及其应用

以下分析是基于年暴发原始频次数经自然对数 $\ln(y+1)$ 转换和三阶中心移动平均及 $(-1, 0, 1)$ 标准化处理后所形成的新数组序列进行的(表 2)。

2.4.1 以时间序列为自变量的非均衡周期性预测模型的构建

由 2.3 可知,甜菜夜蛾年暴发趋势指数残差序列 I 在理论上存在周期性波动特征,且存在两种周期长度,分别为 $T_1=11.2a$, $T_2=2.82a$ 。

定义:甜菜夜蛾年暴发趋势指数 $I(t)$,包括 2 个主要成分:即长期趋势成分 $I_1(t)$ 和周期波动成分 $I_2(t)$,且: $I(t) = I_1(t) + I_2(t)$,移项得周期波动成分, $I_2(t) = I(t) - I_1(t)$ 。

长期趋势成分已由本文式(1)获得,即 $I_1(t) = \hat{I} = 0.6331 + 0.0657t$, $I(t)$ 则为观察值 $\ln(f_i+1)$

代入 $I_2(t)$ 中,即得周期波动成分新序列(表 2 中的 y_4 数列),即 y_4 数列由 $I_2(t_i) = I(t_i) - I_1(t_i) = \ln(f_i+1) - (0.6331 + 0.0657t_i)$ 计算而得。

构建平稳时间序列:为使序列 $I_2(t_i)$ 成为平均数=0,方差=1 的平稳时间序列,对表 2 中 $I_2(t_i)$ (表 2 中的 y_4) 数列进行三阶中心移动平均及 $(-1, 0, 1)$ 标准化处理,获得平稳时间序列 $y_{4s}(t_i)$ (平均数=-0.264,方差=0.271)。

构建非均衡性周期预测模型:根据正弦函数定理, $y = A \sin(\omega x_i + a) + b$ 为一均衡性周期函数,如设 T 为周期的长度,则有 $\omega = 2\pi/T$,代入上式得:

$$y = A \sin(2\pi x_i/T + a) + b \quad (2)$$

在式(2)中, A 为周期的振幅值,即离平衡位置最大时的 y 值,在本例中可定义为甜菜夜蛾年暴发指数的最高值,由于在分析过程中,对数据序列进行了归一化处理,所以最大值为 1,即 $A=1$ 。

T 为周期长度,由本文图谱分析结果可知,我国甜菜夜蛾年暴发趋势指数残差序列在过去的 24a 间(1985—2008),是由两个循环周期复合而成的,第一个循环周期的长度 $T_1 = 1/0.0899 = 11.2a$;第二个循环周期长度 $T_2 = 1/0.355 = 2.82a$,所以,在式(2)中, T 可取 11.20 或 2.82。

a 为 $y = A \sin(2\pi x_i/T + a)$ 函数的初始相位,即 $y = A \sin(2\pi x_i/T)$ 函数值在直角坐标系中沿 x 轴向左或向右平移的单位距离(a),对于一般正弦函数,可通过函数的已知点求得。

b 为正弦函数的平均值,即 $y = A \sin(2\pi x_i/T + a) + b$ 函数值是由 $y = A \sin(2\pi x_i/T + a)$ 沿 y 轴向上或向下平移 b 个单位所得到的函数。

在式(2)中,如 a 和 b 为常数,则正弦函数为一均衡性周期函数,即周期的振幅和长度在任一时间轴上都保持不变。而在本例中,已知甜菜夜蛾暴发指数的周期性具有非均衡性特征,即其周期的振幅和长度可随时间发生波动或摆动。为在周期性模型中反映出这种不规则的摆动,本文建立了以下 a 和 b 随时间变化的摆动模型:

$$a(x_i) = \sin(0.2278 x_i - 0.0090 x_i^2 - 1.3747(0.619)) \quad (3)$$

$$b(x_i) = \sin(0.1776 x_i - 0.0068 x_i^2 - 1.1374(0.478)) \quad (4)$$

将 $A=1$ 及式(3)和式(4)代入式(2),即得甜菜夜蛾暴发指数的非均衡性周期预测(或解析)模型:

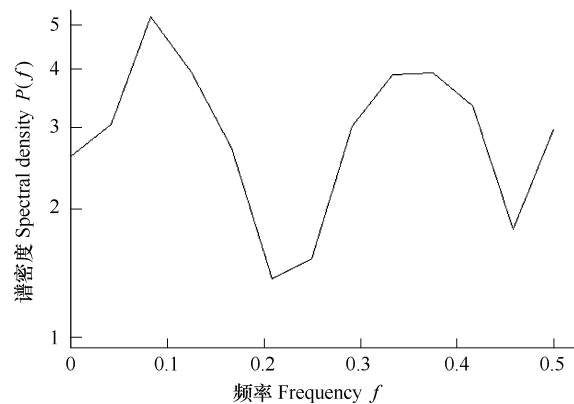


图 3 我国甜菜夜蛾暴发趋势指数消除长期趋势后残差数列值 I_d 的谱密度图

Fig. 3 Spectral density chart of the residual sequence of outbreak trend index of *Spodoptera exigua* in China (1985—2008)

$$\begin{aligned}
 y &= A\sin(2\pi x_i/T + \sin(a(x_i))) + \sin(b(x_i)) \pm 0.521 \\
 &= \sin(2\pi x_i/T + \sin(0.2278 x_i - 0.0090 x_i^2 - 1.3747)) + \\
 &\quad \sin(0.1776 x_i - 0.0068 x_i^2 - 1.1374) \pm 0.521
 \end{aligned} \quad (5)$$

式(5)中, y 为甜菜夜蛾年暴发趋势指数相对预测值, x_i 为年时间序列值($x_i \geq 1$)。如设 t_0 为起始年度(如 1986), t_i 为预测年度(如 2011), 则有 $x_i = t_i - t_0$ 。因本模型建模起始年数据取自 1986 年, 所以定义 $t_0 = 1986$, 即有 $x_i = (t_i - 1986)$, 将其代入式(5), 可得我国甜菜夜蛾暴发指数以年度为时间序列自变量的非均衡性周期预测(或解析)函数(或模型):

$$\begin{aligned}
 y_i &= \sin(2\pi(t_i - 1986)/T + \sin(0.2278(t_i - 1986) - 0.0090(t_i - 1986)^2 - 1.3747)) + \\
 &\quad \sin(0.1776(t_i - 1986) - 0.0068(t_i - 1986)^2 - 1.1374) \pm 0.521
 \end{aligned} \quad (6)$$

式(8)中, y_i 为第 i 年度(如 1987, 2012 等)甜菜夜蛾年暴发趋势指数的相对预测值, t_i 为第 i 年度时间序列值(如 1987, 2012 等, 且 $t_i \geq 1986$)。经解析, 模型(6), 在有限年时间序列中的函数值, 不仅具有周期性, 而且具有非均衡性周期特征。

2.4.2 以年度时间序列为自变量的非均衡性周期预测模型的检验和应用

将 1985 至 2008 各年度值代入式(6)中所计算出的

趋势指数值 $\hat{y}_i$ 作为预测值和本例 1985 至 2008 年 24a 文献统计并经标准化处理趋势指数相对值 y_i 作为实测值, 列于表 2, 经相关分析和趋势图观察比较(图 4), 表明, 预测值与实测值有较高的拟合度, 特别是对于两个峰值阶段年, 即 1990—1991 和 1999—2001 年, 其预测值与实测值几乎完全吻合。

回代检验: 本模型以“回代估计值与实测值”之间的同向相关系数作为适合性检验标准。如相关系数符号为+, 且在 $P \leq 0.05$ 水准上相关显著, 则表明, 回代估计值与实际值之间没有显著差异。经对 1985 至 2008 年 24a 二者数据(表 2 中的 y_{4s} 和 $\hat{y}_{4s}$) 进行对应回代检验, 其相关系数 $r = 0.782^{**}$, $P \leq 0.001$, 可见相关极显著, 即二者间无显著差异, 进一步表明式(6)模型可以

较好地定量描述我国甜菜夜蛾 1985—2008 年间年暴发趋势指数的非均衡性循环波动过程。

长期预测: 本文将 2011—2034 年各年度值代入式(6)中, 模拟出了我国今后 24a 间甜菜夜蛾年暴发趋势指数的相对预测值, 并绘制成波动曲线图(图 5), 图 5 曲线走势提示, 我国甜菜夜蛾在 2011—2014 年间, 仍将处于高发期, 而在 2015—2020 年间将进入低谷期, 至 2020—2028 年间将进入较长时间的高发期, 随后又进入低谷期, 如此往复, 表现出了甜菜夜蛾间歇性暴发的长期特征和非均衡性循环波动特征。是否可信, 只能拭目以待。

3 讨论与结论

3.1 关于我国甜菜夜蛾大尺度暴发“年频次”的非均衡性循环波动的动因

关于害虫猖獗周期性现象, 已得到不少学者的认可。如张真和李典谟认为^[35], 马尾松毛虫 *Demdraolimus punctatus* 的暴发过程具有周期性和突发性相结合的特点; 黄绍哲和江幸福等认为^[27], 草地螟 *Loxostege sticticalis* L. 是一种周期性大发生的农作物主要害虫, 自新中国成立后已经 3 次大规模暴发成灾。但袁锋和件均祥则研究认为^[36], 麦红吸浆虫 *Sitodiplosis mosellana* 造成的灾害无明显的周期性, 不过本文作者查对了该文所提供的“麦红吸浆虫 1911—2002 年在陕西关中地区的灾害阶比”坐标图, 经分析认为, 麦红吸浆虫灾害实

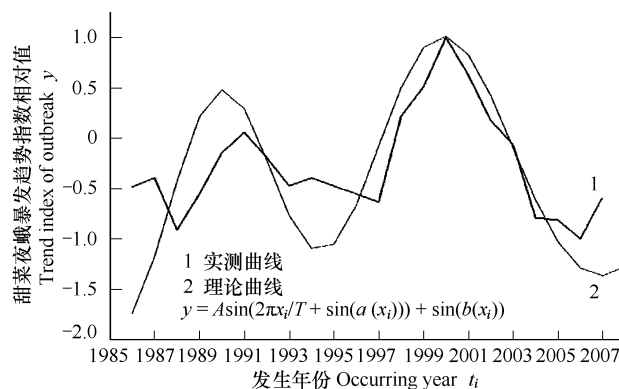


图 4 1985—2008 年间我国甜菜夜蛾年暴发趋势指数相对实测值曲线与相对模拟值曲线比较图

Fig. 4 Comparison diagram between the actual and theories curve line of trend index of *Spodoptera exigua* outbreak between 1985—2008 in China

际上也存在着明显的非均衡性循环周期现象。关于造成害虫猖獗周期性波动的动因,国内外有许多学者研究认为,害虫发生动态的周期性波动与气候变化、农业生产活动以及行星运动、太阳活动(如耀斑、谱斑、黑子)、地球转速、地质运动、海洋涛动和厄尔诺尼现象等天文现象中的周期性变动有关^[37]。特别是关于太阳活动对害虫发生动态的影响研究文献更多,如 Beletskii 通过对 1854—1984 年间前苏联区域内 70 种害虫的大发生情况与气候和太阳活动 11a 周期的统计分析发现,大多数害虫的同步性大发生与太阳周期性活动之间有着一种明显的相随关系^[26,37]。有趣的是,本文探讨的甜菜夜蛾暴发周期也有 11a 周期(11.2a)现象,这是否与太阳活动 11a 周期同步或有关,因篇幅有限,将另文讨论。

尽管造成害虫种群变动的原因复杂多样,但我们可总体归纳为 3 类主要因子:即人为因子、自然因子和虫源因子。人为因子包括重大的农业耕种技术或作物栽培制度的大面积变革或局部地区作物栽培制度和害虫防治技术的周期性变更(如作物布局、品种更替、土壤改良等);自然因子包括较大范围天文、气候的周期性变动或局部地区气候周期性异常(如干旱、暴雨等);虫源因子包括害虫种群自身对新环境、新杀虫剂的适应性过程或天敌种群数量的周期性降低和恢复过程等。关于上述因子对甜菜夜蛾大暴发频次非均衡性循环波动的定量影响规律还有待进一步研究。

3.2 关于我国甜菜夜蛾暴发“年频次”非均衡性循环波动规律的应用

本文提出的计量害虫暴发强度的“年频次”概念,主要解决了常常因缺乏连续系统的害虫发生量历史数据(这类数据几乎是不可能补救的)而无法开展害虫大尺度中长期发生规律研究的问题,从而为充分挖掘和利用前人记载的零散的害虫历史文献信息,开展其大尺度中长期发生状况的时间变迁规律分析提供了新途径。本文提出的描述害虫暴发强度变动过程的“非均衡性循环波动”概念及其定量描述模型,为分析和发现间歇性暴发害虫种群动态中可能存在的时序循环规律提供了新方法和新思路。本文研究出的甜菜夜蛾大发生的若干非均衡性循环特征及其相关描述模型,基本揭示了我国甜菜夜蛾种群数量近 30a 来的时间序列演变规律,为进一步探索和建立甜菜夜蛾中、长期种群预测模型,增强人们对甜菜夜蛾大发生的中长期预警能力,并利用历史事件规律及时指导甜菜夜蛾的综合防治提供了重要理论依据。

References:

- [1] Luo L Z, Cao Y Z, Jiang X F. Analysis of trend and harm characteristics of beet armyworm *Spodoptera exigua* (Hübner). Plant Protection, 2000, 26(3): 37-39.
- [2] Jiang X F, Luo L Z, Hu Y. Influence of larval diets on development, fecundity and flight capacity of the beetarmyworm, *Spodoptera exigua*. Acta Entomologica Sinica, 1999, 42(3): 270-276.
- [3] Li Y Q, Peng H M, Yang F G, Xie F Q. Studies on the biological characteristic of *Spodoptera exigua* (Hübner). Entomological Knowledge, 1998, 35(3): 150-153.
- [4] Su J Y. Migration and occurrence of *Spodoptera exigua* (Hübner) in China. Entomological Knowledge, 1998, 35(1): 55-57.
- [5] Dong S L, Du J W. Effects of mating experience and temperature on sex pheromone production of beet armyworm, *Spodoptera exigu*. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(12): 1633-1636.
- [6] Han L Z, Zhai B P, Zhang X X. Life table of the laboratory population of *Spodoptera exigu* (Hübner) at different temperatures. Acta Entomologica Sinica, 2003, 46(2): 184-189.
- [7] Wang H S, Xu H F, Cui F, Xu Y Y, Zhou Z. Effects of temperature on mating behavior and fecundity of beet armyworm *Spodoptera exigu* (Hübner). Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(1): 1633-1636.
- [8] Xu J H, Guan X, Huang Z P, Yu Z Q. Effect of different combinations of temperature and humidity on the development and fecundity of *Spodoptera exigu*. Chinese Journal of Applied Ecology, 1999, 10(3): 335-337.

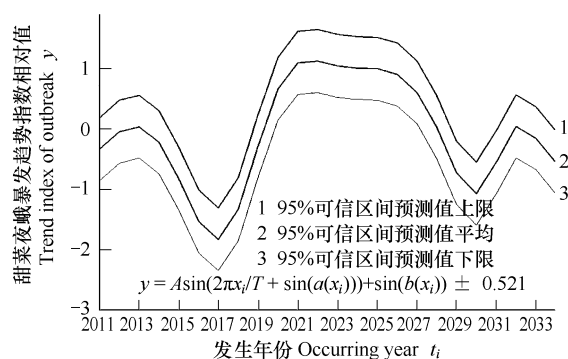


图5 应用非均衡性周期模型预测 2011—2034 年间我国甜菜夜蛾年暴发趋势指数相对值曲线图

Fig.5 Diagram of predict year-trend-index curve of *Spodoptera exigua* outbreak during 2011—2034 years in China by applying unbalanced period model

- [9] Wu C C, Wang M. Effect of different diets on the susceptibility of insecticides and the activity of detoxifying enzymes in the Beet Armyworm, *Spodoptera exigua*. Chinese Journal of Pesticide Science, 2003, 5(1): 56-60.
- [10] Wang M, Wu C C, Zhu F X. Studies on insecticide susceptibility of the beet armyworm fed on different host plants. Acta Phytophylacica Sinica, 2003, 30(2): 193-197.
- [11] Zhang Y J, Wang G F, Wu Q J, Xu B Y, Bai L Y, Zhu G R, Zhang W J. The toxicity of spinosad to beet armyworm and its effect on endogenous enzymes of protective system. Chinese Journal of Pesticide Science, 2003, 5(3): 31-38.
- [12] Jiang J X, Wang D S, Zeng A P, Ji X Y, Liu J J. Influence of incubation and inoculation temperatures on the epizootic of *Spodoptera exigua* nuclear polyhedrosis virus. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(8): 1724-1730.
- [13] Zhang H Y, Niu G D, Hong J J, Zhang Z X. Cloning and expression of superoxide dismutase gene encoded by *spodoptera exigua* multi nucleopolyhedrovirus. Virologica Sinica, 2003, 18(6): 576-580.
- [14] Yuan Y D, Wang D S, Yu W J. Resistance of beet armyworm (*Spodoptera exigua*) to insecticides and its control. Acta Agriculturae Shanghai, 2006, 22(1): 42-45.
- [15] Zhao J Z, Wu S C. Resistance to pesticide and its management of *Spodoptera exigua*. Pesticide Science and Administration, 1995, (2): 22-23, 41-41.
- [16] Lan Y Q, Zhao S X, Wu G. Monitoring of insecticides resistance of *Spodoptera exiua* in Fujian Province, China. Chinese Journal of Tropical Crops, 2005, 26(4): 90-94.
- [17] Guo J P, Zhang J J, Shi Y J, Yang S F. *Spodoptera exiua* Hübner at different temperature in western region of Henan Province. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2005, (8): 63-66.
- [18] Liu X W, Li Y S, Yang D J. Occurrence characteristic and control countermeasure of *Spodoptera exigua*. in the south area of Anhui Province, China. China Cotton, 2002, 29(2): 35-36.
- [19] Yao S T, Zheng Y L, Chen G X, Chen L Y. Population dynamics of *Laphygma exigua* Hübner and its application in forecasting and prediction. Acta Agriculturae Jiangxi, 2008, 20(7): 65-66, 70-70.
- [20] Li Z M, He C X, Gao C L, Yang C R, Wang Y H, Wang S Q, Li Z M. Grey system analysis of abiological factor influencing the beet armyworm *Spodoptera exigua* population. Journal of Yunnan University: Natural Sciences, 2008, 30(1): 148-151.
- [21] Xue M S, Gao J S, Li K X. Reasons of affecting occurrence degree and forecast formula of *Spodoptera exigua*. Modern Agricultural Science and Technology, 2008, (16): 117-118, 127-127.
- [22] Ao C G, Wang J L, Zhu X Q, Jiang W F. outbreak causes and agricultural control techniques of *Spodoptera exigua*. Journal of Changjiang Vegetables, 2002, (5): 28-28.
- [23] Xu W H, Wang R M, Zhou R Q. Infestation regularity and new control techniques of *Spodoptera exigua* in Yancheng cropping area. Acta Agriculturae Jiangxi, 2006, 18(5): 62-65.
- [24] Wu Y G, Li Y, Wang W X, Du J G. Application of Time Series Analysis. Guilin: Guangxi Normal University Press, 1999.
- [25] Wu W H, Fu H P, Wu X D, Dong W H, Xu S L. Forecasting the population dynamics of *Cricetulus barabansls* and *Merlones unguiculatus* by time series method. Journal of Inner Mongolia Agricultural University: Natural Science Edition, 2007, 28(4): 6-11.
- [26] Dai X F, Guo Y Y. Causality exploratIon for cotton bollworm plague occurred in china in 1992 and the countermeasures. Journal of Catastrophology, 1994, 9(1): 22-30.
- [27] Huang S Z, Jiang X F, Lei C L, Luo L Z. Correlation analysis between the periodic outbreaks of *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Pyralidae) and solar activity. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(10): 4823-4829.
- [28] Deng J M. Beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) outbreak of disaster in cotton fields. Plant Protection, 1992, 18(1): 32-32.
- [29] Xu G Q, Meng W L, Wang L J, Yang L, An G R, Wang D W, Zhu M L, Zhao J Q. The burst of laphygma exygua in Liaoning Province. Liaoning Agricultural Sciences, 2000, (6): 53-53.
- [30] Wu S X. Beet armyworm outbreak of disaster in Yingtan City of Jiangxi Province. Plant Protection, 1992, 18(6): 51-51.
- [31] Chen L Y. A positive study on Japan Business Cycles. Research on Financial and Economic Issues, 2004, (8): 79-82.
- [32] Shi F Q. Analysis of the existence of Chinese economic cycle. Statistical Research, 2000, (7): 59-62.
- [33] Zhang W T. Statistical Analysis Tutorial (Advanced Chapter) of SPSS 11.0 (SPSS.11.0). Beijing: Beijing Hope Electronic Press, 2002.
- [34] Wang Y. Application of Time Series Analysis. Beijing: China Renmin University Press, 2005.
- [35] Zhang Z, Li D M. Approach to Outbreak Mechanism of *Dendrolimus punctatus* (Lepidoptera: Lasiocampidae). Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(1): 140-150.
- [36] Yuan F, Wu J X, Hua B Z, Liu Y H, Zhu C S. Studies on plagues caused by *Sitotiplosis mosellana* (Gehin) and their law and control I. spatial patten and periodicity on plague emergence. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry(Natural Science Edition), 2003, 31(5): 96-100.
- [37] Ma F, Xu X F, Zhai B P, Cheng X N. The framework of complexity theory in insect pest disaster research. Entomological Knowledge, 2003, 40(4): 307-312.

参考文献:

- [1] 罗礼智, 曹雅忠, 江幸福. 甜菜夜蛾发生危害特点及其趋势分析. 植物保护, 2000, 26(3): 37-39.

- [2] 江幸福, 罗礼智, 胡毅. 幼虫食物对甜菜夜蛾生长发育、繁殖及飞行的影响. 昆虫学报, 1999, 42(3): 270-276.
- [3] 李月秋, 彭宏梅, 杨凤刚, 谢凤琦. 甜菜夜蛾生物学特性的研究. 昆虫知识, 1998, 35(3): 150-153.
- [4] 苏建亚. 甜菜夜蛾的迁飞及在我国的发生. 昆虫知识, 1998, 35(1): 55-57.
- [5] 董双林, 杜家纬. 交配和温度对甜菜夜蛾 (*Spodoptera exigua*) 雌性信息素产生的影响. 应用生态学报, 2002, 13(12): 1633-1636.
- [6] 韩兰芝, 翟保平, 张孝羲. 不同温度下的甜菜夜蛾实验种群生命表研究. 昆虫学报, 2003, 46(2): 184-189.
- [7] 王竑晟, 徐洪富, 崔峰, 许永玉, 周真. 温度对甜菜夜蛾生殖行为及生殖力的影响. 生态学报, 2004, 24(1): 1633-1636.
- [8] 徐金汉, 关雄, 黄志鹏, 余朝勤. 不同温湿度组合对甜菜夜蛾生长发育及繁殖力的影响. 应用生态学报, 1999, 10(3): 335-337.
- [9] 吴承春, 王沫. 不同食料对甜菜夜蛾药剂敏感性及其解毒酶活性的影响. 农药学报, 2003, 5(1): 56-60.
- [10] 王沫, 吴承春, 朱福兴. 取食不同寄主植物对甜菜夜蛾药剂敏感性的变化. 植物保护学报, 2003, 30(2): 193-197.
- [11] 张友军, 王光峰, 吴青君, 徐宝云, 柏连阳, 朱国仁, 张文吉. 多杀菌素对不同发育阶段甜菜夜蛾的毒力及其体内超氧化物歧化酶、过氧化氢酶和过氧化物酶的影响. 农药学报, 2003, 5(3): 31-38.
- [12] 蒋杰贤, 王冬生, 曾爱平, 季香云, 刘劲军. 温度对甜菜夜蛾核型多角体病毒流行的影响. 生态学报, 2004, 24(8): 1724-1730.
- [13] 张海元, 牛国栋, 洪靖君, 张忠信. 甜菜夜蛾核多角体病毒 *sod* 基因的克隆及原核表达. 中国病毒学, 2003, 18(6): 576-580.
- [14] 袁永达, 王冬生, 於文俊. 上海地区甜菜夜蛾的抗药性及防治. 上海农业学报, 2006, 22(1): 42-45.
- [15] 赵建周, 吴世昌. 甜菜夜蛾的抗药性及其治理. 农药科学与管理, 1995, (2): 22-23, 41-41.
- [16] 兰亦全, 赵士熙, 吴刚. 福建主要菜区甜菜夜蛾的抗药性监测. 热带作物学报, 2005, 26(4): 90-94.
- [17] 郭建平, 张建军, 史要强, 杨松芳. 甜菜夜蛾在豫西地区的生活史和不同温度发育历期研究. 河南农业科学, 2005, (8): 63-66.
- [18] 刘轩武, 李延山, 杨德金. 皖东地区甜菜夜蛾在棉花上的发生特点及治理对策. 中国棉花, 2002, 29(2): 35-36.
- [19] 姚士桐, 郑永利, 陈国祥, 陈利英. 甜菜夜蛾种群消长规律及其在预测预报上的应用. 江西农业学报, 2008, 20(7): 65-66, 70-70.
- [20] 李志敏, 何成兴, 高纯林, 杨存荣, 王艳红, 王顺乾, 李自命. 影响甜菜夜蛾种群数量的非生物因子的灰色系统分析. 云南大学学报: 自然科学版, 2008, 30(S1): 148-151.
- [21] 薛敏生, 高九思, 李可兴. 影响甜菜夜蛾发生程度的原因及预测模式研究. 现代农业科技, 2008, (16): 117-118, 127-127.
- [22] 敖成光, 王金良, 朱晓群, 姜伟峰. 甜菜夜蛾灾变原因及农业防治技术. 长江蔬菜, 2002, (5): 28-28.
- [23] 徐文华, 王瑞明, 周汝芹. 盐城农区甜菜夜蛾的灾变规律与监控新技术研究. 江西农业学报, 2006, 18(5): 62-65.
- [24] 伍尤桂, 李元, 王炜妍, 杜金观. 应用时间序列分析. 桂林: 广西师范大学出版社, 1999.
- [25] 武文华, 付和平, 武晓东, 董维惠, 徐胜利. 应用时间序列分析法预测黑线仓鼠和长爪沙鼠种群数量. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版, 2007, 28(4): 6-11.
- [26] 戴小枫, 郭予元. 棉铃虫暴发的特点、成因及治理对策. 灾害学, 1994, 9(1): 22-30.
- [27] 黄绍哲, 江幸福, 雷朝亮, 罗礼智. 草地螟 (*Loxostege sticticalis*) 周期性大发生与太阳黑子活动的相关性. 生态学报, 2008, 28(10): 4823-4829.
- [28] 邓建明. 甜菜夜蛾在棉田爆发成灾. 植物保护, 1992, 18(1): 32-32.
- [29] 许国庆, 孟未来, 王丽娟, 杨蕾, 安桂荣, 王德伟, 褚茗莉, 赵季秋. 甜菜夜蛾在辽宁爆发成灾. 辽宁农业科学, 2000, (6): 53-53.
- [30] 吴淑秀. 江西省鹰潭市甜菜夜蛾爆发成灾. 植物保护, 1992, 18(6): 51-51.
- [31] 陈乐一. 日本经济周期实证分析. 财经问题研究, 2004, (8): 79-82.
- [32] 施发启. 中国经济周期实证分析. 统计研究, 2000, (7): 59-62.
- [33] 张文彤. SPSS 11.0 统计分析教程 (高级篇). 北京: 北京希望电子出版社, 2002.
- [34] 王燕. 应用时间序列分析. 北京: 中国人民大学出版社, 2005.
- [35] 张真, 李典谟. 马尾松毛虫暴发机制分析. 林业科学, 2008, 44(1): 140-150.
- [36] 袁锋, 仵均祥, 花保祯, 刘延虹, 祝传书. 麦红吸浆虫的灾害与成灾规律研究 I. 灾害出现的空间格局与周期性. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2003, 31(5): 96-100.
- [37] 马飞, 许晓风, 翟保平, 程遐年. 害虫灾害研究的复杂性理论框架. 昆虫知识, 2003, 40(4): 307-312.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 11 June, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Responses of microbes-mediated carbon and nitrogen cycles to global climate change	SHEN Jupei, HE Jizheng (2957)
Formation of cyanobacterial blooms in Lake Chaohu and the photosynthesis of dominant species hypothesis	JIA Xiaohui, SHI Dingji, SHI Mianhong, et al (2968)
Unbalanced cyclical fluctuation pattern of intermittent outbreaks of beet armyworm <i>Spodoptera exigua</i> (Hübner) in China	WEN Lizhang, ZHANG Youjun, ZHU Liang, et al (2978)
Self-organizing feature map classification and ordination of <i>Larix principis-rupprechtii</i> forest in Pangquangou Nature Reserve	ZHANG Qindi, ZHANG Jintun, Suriguga, et al (2990)
Ecological effects of lakeside wetlands restoration in Dalian Lake, Shanghai	WU Di, YUE Feng, LUO Zukui, et al (2999)
Soil organic carbon storage and profile inventory in the different vegetation types of Luya Mountain	WU Xiaogang, GUO Jinping, YANG Xiuyun, et al (3009)
Response of soil microbial community structure to the leaf litter decomposition of three typical broadleaf species in mid-subtropical area, southern China	ZHANG Shengxi, CHEN Falin, ZHENG Hua (3020)
The decomposition of coniferous and broadleaf mixed litters significantly changes the carbon metabolism diversity of soil microbial communities in subtropical area, southern China	CHEN Falin, ZHENG Hua, YANG Bosu, et al (3027)
Spatiotemporal heterogeneity of topsoil nutrients in Karst Peak-Cluster depression area of Northwest Guangxi, China	LIU Shujuan, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (3036)
Effects of cadmium stress on the activities of antioxidant enzymes, digestive enzymes and the membrane lipid peroxidation of the mangrove mud clam <i>Geloina coaxans</i> (Gmelin)	LAI Tinghe, HE Binyuan, FAN Hangqing, et al (3044)
The edge effects on tree-liana relationship in a secondary natural forest in Bawangling Nature Reserve, Hainan Island, China	WU Yuna, TAO Jianping, XI Weimin, et al (3054)
Soilwater deficit under different artificial vegetation restoration in the semi-arid hilly region of the Loess Plateau	YANG Lei, WEI Wei, MO Baoru, et al (3060)
The diurnal trends of sensible and latent heat fluxes of a subtropical evergreen coniferous plantation subjected to seasonal drought ..	HE Youwei, WANG Qiubing, WEN Xuefa, et al (3069)
Ecological adaptability of photosynthesis and water use for <i>Tamarix ramosissima</i> in the southern periphery of Gurbantungut Desert, Xinjiang	WANG Shanshan, CHEN Xi, WANG Quan, et al (3082)
Estimation of leaf area index of cotton using digital Imaging	WANG Fangyong, WANG Keru, LI Shaokun, et al (3090)
Different response of photosynthetic apparatus between wild soybean (<i>Glycine soja</i>) and cultivated soybean (<i>Glycine max</i>) to NaCl stress	XUE Zhongcai, GAO Huiyuan, LIU Jie (3101)
Effects of water and phosphorus supply on morphology and structure of special root hairs on nodal roots of wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.)	ZHANG Jun, HE Dexian, DUAN Zengqiang (3110)
Applications of species indicator for analyzing plant community types and their biodiversity at Kunyushan National Forest Reserve ..	SUN Zhiqiang, ZHANG Xingyao, ZHU Yanpeng, et al (3120)
Societal metabolism for chinese provinces based on multi-scale integrated analysis of societal metabolism (MSIASM)	LIU Ye, GENG Yong, ZHAO Hengxin (3133)
Comparative gene expression analysis for leaf trichomes of tobacco grown in two different regions in China	CUI Hong, JI Hao, YANG Huijuan, et al (3143)
Performance evaluation of B biotype whitefly, <i>Bemisia tabaci</i> on 23 host plants	AN Xincheng, GUO Qiang, HU Qiongbo (3150)
Studies of hemocytes DNA damage by two pesticides acetamiprid and chlorpyrifos in predaceous spiders of <i>Pardosa astrigera</i> Koch ..	LI Rui, LI Shengcai, LIU Jia, (3156)
Effects of the fungicide prochloraz on the rotifer <i>Brachionus calyciflorus</i>	LI Daming, LU Zhenghe, FENG Qi, et al (3163)
Effects of long- and short-term successive parthenogenesis on life history and genetics characteristics of <i>Brachionus calyciflorus</i>	GE Yali, XI Yilong (3170)
Review and Monograph	
Review of the relationship between regional landscape pattern and surface water quality	ZHAO Jun, YANG Kai, TAI Jun, et al (3180)
Review of dew action effect on plants	YE Youhua, PENG Shaolin (3190)
Advances in Botryosphaeriaceae: identification, phylogeny and molecular ecology	CHENG Yanlin, LIANG Jun, LÜ Quan, et al (3197)
Advances in research on the mechanisms of age-related productivity decline of planted forests	MAO Peili, CAO Banghua, TIAN Wenxia, et al (3208)
The application of tree-ring on forest disturbance history reconstruction	FENG Xiaohui, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (3215)
Research advances on stress responsive WRKY transcription factors in plants	LI Ran, LOU Yonggen (3223)
Scientific Note	
The soil microbial activities and microbial biomass in Sanjiangyuan Alpine grassland	REN Zuohua, ZHANG Yuguang, LI Diqiang, et al (3232)
The differences of water use efficiency (WUE) among three <i>Populus deltoids</i> clones, and the cloning and characterization of related gene, <i>PdERECTA</i>	GUO Peng, XIA Xinli, YIN Weilun (3239)
Arthropod community reestablishment and niche of the main groups in kiwifruit orchards	DU Chao, ZHAO Huiyan, GAO Huanhuan, et al (3246)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 11 期 (2011 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 11 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元