

混沌理论在储粮害虫预测中的应用研究展望

党豪¹, 孙福艳¹, 吕宗旺¹, 甄彤¹, 曹阳², 赵会义²

(1. 河南工业大学 信息科学与工程学院, 河南 郑州 450001;

2. 国家粮食局科学研究院, 北京 100037)

摘要: 针对我国储粮害虫预测所面临的技术需求, 分析了储粮害虫预测预报技术研究现状及其存在的问题, 以研究解决储粮害虫前期预测问题为目标, 围绕储粮害虫种群数量、生长规律、发生时间序列的混沌特性等进行探讨并做出展望, 探索运用混沌理论中的相空间重构、庞卡莱截面、返回映像和自相关函数等方法对害虫发生非平稳时间序列进行分析和预测, 将混沌理论运用于粮虫的预测预报领域, 寻求储粮害虫预测技术的创新点与突破点, 为储粮害虫预测预报技术提供支撑, 对完善储粮害虫预测技术和保障粮食安全具有指导意义。

关键词: 混沌; 储粮害虫预测; 模式识别; 最大 Lyapunov 指数

中图分类号: S 379.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7561(2015)04-0112-04

Prospect of application of chaos theory in stored grain insect forecast

DANG Hao¹, SUN Fu-yan¹, LV Zong-wang¹, ZHEN Tong¹, CAO Yang², ZHAO Hui-yi²

(1. College of Information Science and Engineering, Henan University of Technology,

Zhengzhou Henan 450001; 2. Academy of State Administration of Grain, Beijing 100037)

Abstract: According to the technical demand of stored grain pests forecast in China, research status and open questions about stored grain pests forecast was analyzed. In order to solve the problem, the increasing population of insects, growth rhythm, and chaotic characteristics of time sequence were discussed. The phase space reconstruction, Poincare section, and the return map and auto correlation function of chaos theory are applied tentatively to analysis and predict time series of pests in non-stationary stage. Chaotic theory is applied to the field of prediction for stored grain insects to seek the innovation and break through point of stored grain pest's prediction technique, which provided technology support for stored grain pests prediction system and had guiding significance for the improvement of stored grain pest's forecasting technology and food security.

Key words: chaos; stored grain insect forecast; pattern recognition; maximum lyapunov exponent

我国每年粮食总产量为 4 500 ~ 5 000 亿 kg, 其中 25% 是由国家储备粮库存, 据统计, 每年因害虫虫害造成的粮食损失占总损失的近 30%^[1], 粮食损失数量高达 150 ~ 600 万 t, 直接经济损失在 20 亿元以上^[2]。所以, 如何做好前期害虫的预测预报工作已成为安全储粮的重要工作。科研工作者在害虫

预测模型研究方面做了大量工作, 王尚昆^[3]等利用 Logistic 方程分析了害虫种群发生系统呈现混沌性的规律, 根据害虫种群混沌系统中非线性及线性共存的特性, 提出了利用复合模型理论进行害虫预测预报的方法; 王国昌^[4]等研究了人工神经网络在农林业害虫的识别、诊断以及发生期、发生量、危害程度预测预报中优势; 牛波^[5]等根据储粮害虫玉米象的特性, 在二维平面的基础上, 利用元胞自动机预测并建立了二维模型下的玉米象群落走势和群落的发展趋势; 向昌盛^[6]等研究了支持向量机在害虫预测预报中的应用。另外, GIS 的信息量模型^[7]、多维时

收稿日期: 2015-01-04

基金项目: 河南工业大学科技创新人才培育计划项目(11CXRC08); 国家粮食公益性行业科研专项(201313008); 国家“十二五”科技支撑计划项目(2013BAD17B04); 国家 863 计划项目(2012AA101608); 教育厅科学技术研究重点项目(14B510001)

作者简介: 党豪, 1990 年出生, 男, 河南南阳人, 硕士研究生。

间序列建模方法^[8]、相空间重构^[9]、泛化回归神经网络^[9] (GRNN)、粗糙集理论^[10]、最小二乘支持向量机^[11]、小波分解^[12]等理论在害虫的预测预报中被广泛研究。然而,储粮生态系统作为一个复杂的体系结构(如图1所示),影响害虫发生的因素众多,环境条件、粮食品种、仓内流场变化、地域特性等因素都在不同程度上影响和决定着害虫种群的动态变化,这导致了害虫的长短期变化规律呈现出复杂性的特点。所以,很多预测模型方法对于储粮害虫的预测工作不能相适应。

混沌理论作为研究非线性问题的重要理论,对其在揭示各种自然规律中的应用已引起人们的广泛注意^[13]。经过半个多世纪的发展,混沌理论在电力系统^[14] (短期风电功率预测等)、经济领域^[15-19] (股票市场走势预测、原油价格预测、房地产价格短期预测和玉米期货价格预测等)、岩石工程、水文预报、软件分析、DNA 序列分析、火灾损失预测^[20]、风速短期预测^[21]、交通状态预测^[22]、飞机飞行冲突预测^[23]、网络舆情预测^[24]等领域得到广泛应用。基于以上问题并充分根据储粮害虫生态系统的非线性、时序性等特征。本文研究了混沌理论对非线性时间序列问题的预测方法,试探性的将混沌理论的预测方法运用于储粮害虫的预测领域。在确定的条件下,害虫种群经历的周期性循环(可预测的)在环境因子变化的情况下是可变为混沌状态的,而且,经历一段时间将恢复平稳状态。这种周而复始的过程呈现了生态系统的本质特性,有助于解释害虫种群中的不稳定性,对提高生物控制策略具有重要的指导意义。为建立虫害发生系统行为的时空模拟模型^[25]、灾情分析模型^[25],经过从定性到定量的综合集成技术,从而建立储粮害虫发生系统的智能化综合集成管理咨询与决策系统提供理论依据。

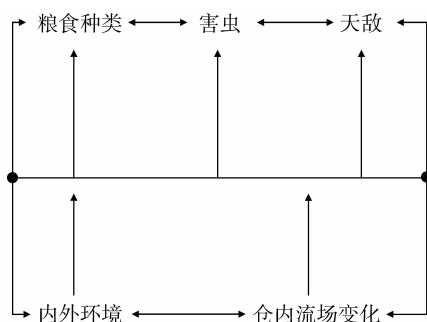


图1 储粮生态系统系统结构

1 储粮害虫预测技术研究现状

我国害虫预测预报的发展历程大致经历了经验预测、实验预测、统计预测和信息预测四个发展阶段。现阶段国内研究的热点主要是信息预测技术。国内研究者在害虫预测方面做了大量的工作:主要包括数据库管理系统、害虫发生时间预测系统、信息传递系统、管理信息系统、决策支持系统、专家系统和地理信息系统等^[26]。但计算机在其信息分析过程中,始终处于辅助研究的地位,不能代替人的作用,其预测精度是随着信息量的变化而变化;同时这类预测模型中包括许多模型^[26]:害虫种群模型、害虫生长模型、天敌种群模型、仓内流场变化模型等。模型结构复杂参数多,并且假定为常数,但是事实上由于地域时间不同和环境的不同导致差异很大,参数随着波动,会导致预测结果的准确率下降。马飞^[26]研究了褐飞虱发生系统的混沌特性和预测工作,研究表明我国长江流域短期褐飞虱发生演化过程在相对空间中存在混沌吸引子(或奇异吸引子),具有分维结构,分维数是4.43,对应的饱和嵌入维为10,证明了褐飞虱发生系统的混沌特性。HUSEYIN KOCAK 教授^[27]研究了害虫种群中混沌与非混沌之间的间歇性传递,指出害虫发生系统在环境作用的影响下,系统将在混沌与非混沌状态下交替进行,这一发现有助于解释害虫种群中发生的不稳定状态。LIEBE F. CAVALIERI 教授^[28]用混沌理论解释了害虫食物链中复杂的动力学行为。

总的来说,混沌理论在储粮害虫预测预报领域的应用在国内外文献资料中尚未发现有报道,只是在产前害虫和林间害虫预测中有一些研究。很多问题还有待探讨,如混沌系统对初始条件极其敏感,任何微小的差异都会引起预测结果的较大偏离,因此如何减小噪声的影响和如何选取最佳的时间序列长度等问题都有待解决。另外,对于粮堆生态系统这种复杂的非线性系统,构建储粮害虫预测研究的复杂性理论框架(如图2所示)是必要的,对仓储害虫的预测与控制工作提供理论指导和技术参考。

2 分析与展望

根据储粮害虫预测研究的复杂性理论框架所述,将从粮食储藏生态系统入手,分析其生物子系统^[29]与非生物子系统^[29]对害虫发生系统的影响因子,研究储粮害虫诱集序列^[30]和种群数量^[31-36]的混沌特性,试图从害虫发生系统的时间序列中分析

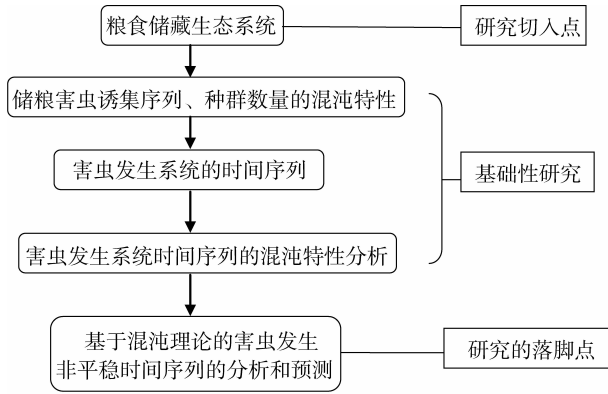


图2 储粮害虫预测研究的复杂性理论框架

其混沌特性,最终完成害虫发生非平稳时间序列的分析和预测。

2.1 害虫诱集序列和种群数量的混沌特性分析

害虫的诱集序列和种群数量是研究害虫发生系统混沌特性的两个基础性工作。通过时间序列分析和前馈网络模型建模方法分析储粮害虫诱集序列的复杂性动态,用前馈网络模型计算的最大 Lyapunov 指数,说明储粮害虫诱集序列存在混沌现象,可以用非线性模型预测储粮害虫诱集数量。根据混沌理论,分别采用功率谱分析法、关联维数和嵌入维数、最大 Lyapunov 指数和主分量分析法识别储粮害虫种群数量序列的混沌特性,将害虫种群数量的一维时间序列拓展到多维相空间中去,得出主要的混沌特性指标。

2.2 害虫发生系统的混沌特性分析

现阶段,粮仓内主要是以害虫诱捕器的使用为主,诱捕器只能对仓内区域害虫进行诱捕、计量,却不能对发生虫害的区域粮食生态系统的变量因子进行跟踪预测,这一缺陷恰恰是安全储粮的关键环节。储藏物昆虫的生长发育过程从胚胎发育到最终死亡经历了孵化、幼虫期、化蛹、羽化和成虫等阶段。其整个过程变化复杂、规律性强的特点需要从整个害虫发生系统(包含害虫的出生、发育、生长、死亡等阶段,如图3所示)入手,研究整个系统变化过程中的混沌特性。

储粮害虫整个发生系统在时间上存在季节性的发生周期,但由于整个系统存在不稳定性,某些因素的改变也可能破坏年变化周期的单一特点,再加上各年之间的年变化振幅也在不断改变,实际上,这个时间序列表现为及其复杂的结构。混沌理论对初始状态的敏感性、随机性,但又表现出规律性、有序和

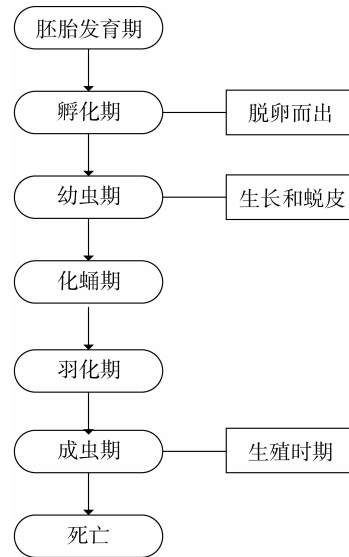


图3 储藏物昆虫生长发育过程

无序、稳定和不稳定、简单和复杂、局部与整体、决定论与非决定论等特性,表明大量的随机现象实际上比过去想象的更容易预测。所以,通过对自相关函数和功率谱的分析,可以初步表征其发生系统具有类似混沌的特征。是否是混沌系统,还需要用 Lyapunov 指数、Kolmogorov 熵等来定量描述。

2.3 害虫发生非平稳时间序列的分析和预测

由于整个储粮生态系统是一个复杂的非线性系统,影响害虫发生的因素较为复杂,而且整个害虫的生长系统不但存在害虫的繁殖,而且同时伴随着害虫的自然死亡。所以,害虫发生所形成的时间序列多数都存在着非平稳的特点^[38],仅仅考虑平稳时间序列的分析方法是不能够满足其需求,在害虫的预测预报研究中,探讨非平稳时间序列的分析和预测具有更加切实的意义。对于非平稳时序的分析处理,基本思路是考虑如何转化到平稳时序,或者如何与平稳时序联系起来,然后采用传统的 ARMA 模型进行分析和预测,在分析周期性、季节性等非平稳特征明显而且单一的非平稳时间序列时,这种方法是非常有效的。混沌动态对产生系统的多样性和适应性有利,它比随机系统对外界干扰的抵抗能力更强。储粮生态系统的变化和系统的维持是持续性和混沌相互矛盾统一的结果。害虫种群复杂性动态的研究为害虫的管理提供了更多的理论依据。混沌理论为研究复杂行为提供了一种新的方式:只要抓住问题的本质,就可以用常微分方程代替偏微分方程,可以用时间离散的迭代方程代替常微分方程,也可以用极简单的系统来模拟出相似的复杂性。

3 结论

在储粮害虫的预测预报领域,很多科研工作者已采取各种技术进行研究并取得了若干富有成效的成果,为我国储粮害虫预测技术研究奠定良好的基础。但是现有预测技术仍存在不足之处。本文在总结和吸收国内外各种研究成果基础上,围绕害虫诱集序列、种群数量、发生系统和发生非平稳时间序列的分析和预测等方面进行探讨并做出展望。希望能为储粮害虫的预测工作提供有力的技术支撑,最大限度地降低储粮损失,保障我国粮食安全。

参考文献:

- [1] 司永芝,刘凯霞,李彪,等. 农户储粮损失调查研究[J]. 粮食储藏,2005,34(1):24-28.
- [2] 王晶磊,肖雅斌,徐威,等. 粮库储粮害虫防治存在问题及前景展望[J]. 粮食与食品工业,2014,54(3):82-85.
- [3] 王尚昆,鲍勇,张文将,等. 基于复合模型理论的害虫测报方法研究[J]. 安徽科技学院学报,2012,26(5):28-32.
- [4] 王国昌,王洪亮,吕文彦,等. 基于人工神经网络的害虫预测预报[C]. The 2nd Asia-Pacific Conference on Information Network and Digital Content Security,2011:110-112.
- [5] 牛波,张元,秦建平,等. 基于元胞自动机的玉米象害虫预测模型研究[J]. 河南工业大学学报,2013,34(2):77-79.
- [6] 向昌盛,周子英,张林峰,等. 支持向量机在害虫发生量预测中的应用[J]. 生物信息学,2011,9(1):28-31.
- [7] 马菁. 基于GIS的信息量模型在森林病虫害空间预测中的应用方法研究[J]. 林业调查规划,2014,39(5):40-43,50.
- [8] 徐镜善. 多维时间序列建模及害虫发生量预测[D]. 长沙:湖南农业大学,2013.
- [9] 田万银,徐华潮. 基于相空间重构及GRNN的海防林害虫预测及效果检验[J]. 浙江林业科技,2014,34(2):65-69.
- [10] 张艳荣. 基于粗糙集理论的森林病虫害预测模型与算法[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2012.
- [11] 向昌盛. 最小二乘支持向量机在害虫预测中的应用[J]. 湖南科技大学学报,2012,27(2):111-116.
- [12] 朱军生,翟保平,刘英智. 基于小波分解的害虫发生非平稳时间序列分析和预测[J]. 南京农业大学学报,2011,34(3):61-66.
- [13] 吕金虎,陆君安,陈士华. 混沌时间序列分析及其应用[M]. 武汉:武汉大学出版社,2001,23-34.
- [14] 郑婷婷. 基于混沌理论的短期风电功率预测方法研究[D]. 大连:大连理工大学,2013.
- [15] 袁博. 混沌理论在股票市场走势预测中的应用研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2012.
- [16] 徐亚鹏,边平勇,陈贵磊. 基于混沌理论的股票价格实时预测[J]. 科技信息,2012,29(5):76-79.
- [17] 张金良,谭忠富. 基于混合模型的原油价格混沌预测方法[J]. 运筹与管理,2013,22(5):166-172.
- [18] 窦二巍. 基于混沌理论的房地产价格短期预测研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2012.
- [19] 张鑫. 基于混沌时间序列的玉米期货价格预测研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2012.
- [20] 秦清华,戴晓江,陈靖. 混沌动力学模型在火灾损失预测中的应用[J]. 甘肃科学学报,2014,26(6):94-97.
- [21] 张博. 混沌支持向量机风速短期预测及其在pcDuino平台实现[D]. 太原:中北大学,2014.
- [22] 马庆禄. 基于混沌理论的交通状态预测研究[D]. 重庆:重庆大学,2014.
- [23] LI SHAN MEI, XU XIAO HAO, MENG LINGHANG. Flight conflict forecasting based on chaotic time series [J]. Transactions of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics,2012:387-394.
- [24] 黄敏,胡学钢. 基于支持向量机的网络舆情混沌预测[J]. 计算机工程与应用,2013,49(24):130-135.
- [25] 张真,李典谟,张培义,等. 自然种群中混沌的检测及其在种群动态研究中的意义[J]. 生态学报,2003,23(10):1951-1962.
- [26] 马飞. 褐飞虱发生系统的混沌特性及其预测研究[D]. 南京农业大学,2001.
- [27] LIEBE F, CAVALIERI, HUSEYIN KOCAK. Intermittent transition between order and chaos in an insect pest population [J]. J. theor. Biol. 1995, 175:231-234.
- [28] CAVALIERI LIEBE F, HUSEYIN KOCAK. Chaos: A Potential problem in the biological control of insect pests [J]. Mathematical Biosciences, 1995, 127:1-17.
- [29] 吴子丹,赵会议,曹阳,等. 粮食储藏生态系统的仿真技术应用研究进展[J]. 粮油食品科技,2014,22(1):1-6.
- [30] 陈绘画,王坚娅,崔相富. 短角幽天牛成虫林间诱集序列的混沌检测[J]. 森林保护,2011,(3):31-33.
- [31] 陈绘画,赵锦年,徐志宏. 短角幽天牛成虫林间种群数量的混沌特性[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2011,35(2):39-42.
- [32] 陈绘画,徐志宏. 基于混沌理论的马尾松毛虫有虫面积BP神经网络预测[J]. 中国森林病虫,2011,30(5):11-13.
- [33] 陈绘画,王坚娅,杨胜利. 马尾松蛀干类害虫林间种群数量混沌特性的识别[J]. 东北林业大学学报,2010,38(11):101-104.
- [34] 陈利星,陈绘画,周钦富. 神经网络对马尾松蛀干类害虫数量的混沌识别[J]. 安徽农业科学,2011,39(28):17281-17282.
- [35] 郑志敬,周钦富,张建华,杨胜利. 松墨天牛成虫林间种群数量混沌特性的识别[J]. 安徽农业科学,2011,39(3):1393-1395.
- [36] 陈绘画,田万银,徐华潮. 基于混沌时间序列的马尾松角胫象林间诱捕数量短期预测[J]. 中国农业通报,2012,28(28):69-73.
- [37] 白旭光. 储藏物害虫与防治[M]. 北京:科学出版社,2008:138-143.
- [38] 朱军生. 小波分析在害虫预测中的应用研究[D]. 南京:南京农业大学,2011. ☉