

## 植保有害生物风险分析研究进展

沈佐锐 马晓光 高灵旺 李志红

(中国农业大学 农学与生物技术学院,北京 100094)

**摘要** 根据风险分析概念,总结了有害生物风险分析理论和方法。针对有害生物风险分析中存在的“数据获取”问题,结合天气模拟模型和多因子调控有害生物构想,提出了生态模拟现实 ESR (ecologically simulated reality),研制了 ESR 模拟现实生长箱,并形成了 ESR 有害生物风险分析技术。该技术可在生长箱中建立有害生物模拟现实生态系统,进行有害生物实验,获取数据,并建立有害生物模型和风险分析模型,进行有害生物风险分析研究。不仅能用于植物保护有害生物风险分析,还可应用于其他农业风险分析领域。

**关键词** 风险;有害生物风险分析;ESR 生态模拟现实技术

**中图分类号** S 431.9; S-03

**文章编号** 1007-4333(2003)03-0051-05

**文献标识码** A

### Advances in the research on pest risk analysis in plant protection

Shen Zuorui, Ma Xiaoguang, Gao Lingwang, Li Zhihong

(College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, 100094, China)

**Abstract** The theories and methods of risk analysis in plant protection were summarized according to conception of risk, risk analysis and pest risk analysis (PRA). Aim at the subject of data acquisition of PRA, integrate weather generator and frames of multi-factor regulation of pests, ESR (Ecologically Simulated Reality) technology and ESR technology of PRA were built, and ESR growth chamber was designed. The technology can build system of ESR, carry out experiment of pest, data acquisition, establish model of pest and PRA, complete research of PRA. The technology can not only be used in PRA in plant protection, but also in other risk analysis of agriculture.

**Key words** risk; pest risk analysis in plant protection; ecologically simulated reality

由于生物技术和信息技术的快速发展,“预防为主,综合治理”的植保方针在可持续农业和生态系统健康的新观念上取得实效。要真正做到“预防为主”,就必须具有风险意识,因为预防就是在不确定性(uncertainty)的前提下进行决策<sup>[1]</sup>。

有害生物风险分析(pest risk analysis, PRA),是采用生物学、经济学或其他科学的证据,确定和评价某种有害生物是否应予以管制,及管制所采取的植物卫生措施的过程<sup>[2]</sup>。

我国加入 WTO 之后,国际交往和贸易活动将日益频繁,生态安全和贸易壁垒问题成为各国共同关注的焦点。根据 WTO 的多边贸易规则,要按照争端解决机制与其他成员公正地解决贸易摩擦,如果没有做好风险分析,就很难在涉及植物检疫的争端中

占据主动地位<sup>[2]</sup>。

“有害生物数据获取”问题始终困扰着风险分析的进展,因为有害生物的发生是动态的,数据需要及时更新,同时许多有害生物的信息需要进一步核实<sup>[2]</sup>;由于自然条件下缺乏数据,导致 PRA 的定量分析主观性较大,风险概率及其后果非常难以估计;自然条件下的风险实验成本高、风险大;此外,从国内外的研究现状看,目前尚缺乏实用的或一致的 PRA 体系<sup>[3]</sup>。所以本实验室(IPMist)在 PRA 理论和方法进行研究的基础上,结合天气模拟模型<sup>[4]</sup>和多因子调控有害生物构想<sup>[5,6]</sup>,研制了 ESR 模拟现实生长箱,提出了生态模拟现实 ESR (ecologically simulated reality)概念,并形成了 ESR 风险分析技术。

收稿日期:2002-12-27

基金项目:国家 973 项目(G2000016210)和(2002CB111405)

作者简介:沈佐锐,教授,博士生导师,主要从事植保信息研究

## 1 风险及风险分析概述

19世纪末,风险(risk)的概念首先在西方经济管理科学中提出,现在已广泛应用于众多领域。1895年美国经济学家J. Haynes定义风险为损失的概率;日本学者Saburo Ikeda把风险定义为:由于自然或人类行为所导致的不利事件发生的可能性<sup>[7]</sup>;Lind介绍了关于风险的其他主要定义方法<sup>[8]</sup>;进一步研究认为风险度与可靠度之和等于1<sup>[9]</sup>,而且串联系统的可靠度等于各独立风险链可靠度的乘积<sup>[10]</sup>。国际大地测量学与地球物理学联合会(IUGG)风险评价委员会则把风险定义为对健康、财产、环境不利事件发生的概率及可能后果的严重程度,并表示为<sup>[7]</sup>: $Risk = Probability \times Consequences$ ;风险从对其认识和把握的角度来看都具有随机性、不确定性和连带性<sup>[11]</sup>。

有关风险分析的文献众多,这里仅列举一些为研究有害生物风险分析提供重要参考的例子。自70年代初,对于威胁人类健康的环境风险分析的评价进入了数量化阶段<sup>[12]</sup>。关于农业上的风险分析和风险管理,Roumasset等和Boussard的论文集都作了较全面的讨论<sup>[13]</sup>;杜鹏、李世奎简略地分析了农业气象灾害风险的特点和分析方法<sup>[14]</sup>;钱迎倩等提出了关于转基因植物的生态风险或对环境危害的不同概念和测试方法<sup>[15]</sup>;赵建梅等应用模糊数学对反映农业项目各类经济效益指标的风险进行综合评价<sup>[16]</sup>;杨华和彭庆荣介绍了主观测定法中的A记分法和客观测定法中的Z记分法,并提出引入贝叶斯决策方法<sup>[17]</sup>;万方浩针对生防作用物安全性常规测定方法的不足之处,提出了引进生防作用物的风险评价理论与方法<sup>[18]</sup>;庞雄飞、梁广文对若干重要生态因子与稻纵卷叶螟种群数量关系进行风险研究<sup>[19]</sup>;沈佐锐提出了温室生态系统健康理论<sup>[2]</sup>。PRA主要包括3个方面的工作即PRA确定、风险评估和风险管理<sup>[20]</sup>。

农业是处于自然风险和市场风险中的基础产业;作为农业领域中重要组成的植物保护工作更是一种多风险的事业,而风险分析、风险预测和风险决策是农业有害生物综合治理的原则和依据。本文按照风险分析、风险预测、风险决策及其计算机应用进行综述。

## 2 植保有害生物风险分析的理论和方法

植保风险分析包括各种对植物健康不利的的不确

定因素的风险分析。这样的因素很多,大致包括有害生物和有害非生物风险分析两类。本文主要论述植物保护科学中的有害生物风险分析,目前主要有以下几种方法。

### 2.1 天气模拟模型方法

凭借计算机功能的增强,沈佐锐运用随机性模型提出一种新方法,即用天气模拟模型驱动有害生物种群动态模拟模型,并用Monte Carlo和Bootstrap技术,构造WVP(Weather - Via - Pest)风险函数<sup>[3]</sup>。此后,用天气模拟模型驱动蔬菜多病害流行模型进行了蔬菜病害综防管理系统的风险分析<sup>[22]</sup>、对苹果害虫进行了生态适应性和经济风险分析<sup>[23]</sup>以及天气模拟模型在北京地区的应用研究<sup>[24]</sup>。

### 2.2 CLIMEX方法

这种方法由澳大利亚专家Robert Sutherst提出,属于一种与天气数据匹配的生物丰盛度与地理分布估计模型<sup>[25]</sup>。魏淑秋等于1990年开始,应用CLIMEX做过对美国白蛾和苹果蠹蛾在中国的适生可能性进行估计。CLIMEX凭借的方法论是基于确定性模型的评估方法,但其并没有向随机模型改进,因此评估的结果只能是初步的或粗放的。

### 2.3 多指标综合评价方法

梁忆冰、蒋青等1995年借鉴系统分析方法提出了多指标综合评价方法<sup>[20,21]</sup>,从分布、潜在危害性、受害寄主的经济重要性、移殖的可能性和危险性管理难度5个方面对有害生物做了风险评价,计算风险得分值,进行风险分析;马晓光在西北3省区部分地区杨树天牛风险分析研究中,提出“五因素多因子三级法”的风险分析评估体系<sup>[5]</sup>。

### 2.4 气候相似距法

1924年Cook提出用气候图对有害生物的潜在分布进行分析,随后这一技术得到更进一步发展完善:原北京农业大学魏淑秋等建立了“农业气候相似距库”,可用于病虫草的气候分析<sup>[26]</sup>;金瑞华等用气候相似距方法研究美国白蛾在我国的适生地分布<sup>[27]</sup>,但这种方法仅从气候方面分析,有一定的局限性。

### 2.5 区域灾害系统方法

区域灾害系统论具有代表性的著作是美国Burton、Katers和White的“The Environment as Hazard”<sup>[28]</sup>,以及Blaikie、Cannon、Davis和Wisner 1994年合著的《风险:自然致灾因子和人类脆弱性及灾害》(At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and

Disasters)<sup>[29]</sup>。这2部著作阐述了当时国际上区域灾害系统理论研究的核心。

国内外学者认为在灾害形成过程中,致灾因子、孕灾因子、承灾体缺一不可,灾害是地球表层变异过程的产物,并以此为基础提出区域灾害系统论<sup>[7]</sup>。区域灾害系统论的理论与方法均可用于植保风险分析<sup>[30,31]</sup>。这种方法理论性强,但缺乏具体技术支持。

### 3 植保有害生物发生的风险预测

通过风险分析对随机事件的各种状态在不确定因素影响下变动结果做出预见,称为风险预测(risk forecast)。植保科学中诸如:发生期预测(emergence period forecast)、发生量预测(emergence size forecast)、分布预测(distribution forecast)和虫害损失估计(estimates of pest damage)均属于风险预测范畴<sup>[32]</sup>。

有害生物灾变的发生具有大强度、小概率、复杂性(多因子相互作用)、混沌性(非常规趋势)和突变性(量变到质变、能量积累后的突然释放)的特点,使得用于线性系统的常规预测方法(统计预测)存在局限性。所以,目前解决灾变预测的难题最好的途径是开展宏微观结合、多途径综合研究<sup>[33]</sup>。

在植物保护科学中所应用的传统预测方法有发育进度法、诱测法、物候法、数理统计法等。较新的方法如系统分析法、模糊列联表法、灾变分析法、灰色关联度法,以及多种方法的计算机模拟技术和以害虫防治指标(经济阈值, economic threshold)的风险预测方法。蒲天胜曾提出在制定害虫防治指标时需作害虫数量动态预测、作物经济受害预测和产品销售价格预测<sup>[32]</sup>。

### 4 植保有害生物管理的风险决策

植保有害生物发生预测是植保有害生物管理的前提。采用风险预测,就是为了使植保有害生物管理也能采用风险管理。Palti & Ausher 指出了风险概念在管理中的重要性<sup>[34]</sup>;Casavenr & Infanger 也认为如果讨论的都是确定性问题,也就无需风险管理了<sup>[35]</sup>。

当决策问题存在2种以上的自然状态且各种自然状态发生的概率均确知时,称为风险决策(risk decision making),又称为随机型决策或统计型决策。在有害生物综合治理中,植保工作者根据诸如天气因素变化概率(温度、降水量等)、作物产量概率、害

虫密度概率、产品价格概率和治理费用概率等进行风险效益分析(risk - benefit analysis)然后根据风险预测做出综合判断进行治理决策<sup>[35]</sup>。

传统的风险决策方法有期望值法、最大可能法、机会均等法、边际分析法、敏感性分析法、优势原则法等。此外还有在生物学上常常使用的马尔可夫决策法、模拟决策法、动态规划决策法<sup>[36]</sup>。在信息技术迅速发展的今天,风险决策应该有更新的思路 and 手段。

### 5 信息技术在植保有害生物风险分析和管理中的应用

近年来,信息技术的发展为植保有害生物风险分析提供了许多有效的分析手段及空前的发展机遇。目前在国际互联网上也可看到许多有关风险分析的网站,如风险管理 <http://rmisweb.com/>; 风险协会 <http://www.sra.org>, 风险实验室 <http://www.risklabs.com> 和美国动植物检疫局网站等等。

国内外结合计算机进行的有害生物风险分析有:MARYBL YT 根据花枯萎程度判断梨火疫病的模型<sup>[37]</sup>;1st - CLASS 归纳法推理的系统<sup>[38]</sup>;PASKY 产地、运输、目的地系统和神经网络系统等都是通过人机对话输入系统所要求的一些数据,从而进行分析<sup>[39]</sup>;范京安的专家系统评估<sup>[40]</sup>;White et al 应用计算机技术进行风险分析给出了具体的例子<sup>[41]</sup>。

由于“3S”技术的发展,空间格局动态的研究已有长足进步。林伟利用地理信息系统(GIS)预测了苹果蠹蛾在中国的潜在分布<sup>[42,43]</sup>;侯陶谦等应用卫星遥感监测松毛虫得到虫情分级图且在1995年对北京地区小麦蚜虫监测成功<sup>[44]</sup>;中国动植物检疫实验所利用地理信息系统开展了小麦矮腥黑穗病菌(TCK)定量风险分析的研究。应用好信息技术,建立完善的数据库系统,包括气象信息、动态的国内外有害生物信息、国家口岸截获信息等工作,尚有待进一步加强<sup>[1]</sup>。所有这些方法的应用都极大地推动有害生物风险分析的发展。

### 6 ESR 模拟现实技术

ESR(ecologically simulated reality)生态模拟现实技术由沈佐锐教授提出,马晓光博士进行ESR模拟现实生长箱设计、开发和调试,目前这项工作已经完成。应用ESR技术,可以解决PRA中的数据获取问题和天气-作物-害虫-天敌系统建模,具体步骤

如下。

1) 模拟生态环境 (simulated ecological environment) 的构建: 特别设计制作若干个 ESR 模拟现实生长箱 (ESR growth chamber, 用于小型作物) 或生长室 (ESR growth room, 用于大型作物)。ESR 模拟现实生长箱是以天气模拟模型调控的生长箱。天气模拟模型是用计算机程序产生某特定研究地区全年或指定时段 (如某种作物生长季) 的逐日气温 (最高、最低温度)、太阳辐射量、降水量等数值。ESR 模拟现实生长箱的调控元件就是按照这些数值实现模拟的气候状态。当然, 最好使用研究地区的土壤。有了这种功能, 在冬天就可以实现其他季节中的试验, 在北京就可以进行外阜某地甚至国外某地的试验, 就是说, 可以在生长箱内实现“超越时空”的生态系统试验。

2) 仿拟生态系统 (mimic ecosystem) 的建植: 在生长箱内种植供试作物, 模仿自然天气, 在适当的时候置入拟研究的害虫; 如有必要, 并有条件, 还可在适当时候置入相关生物组份 (如天敌)。

3) 仿拟生态系统的培育: 天气模拟模型启动后即可逐日产生研究地区的天气现象, 并影响土壤水肥动态, 在这一过程中, 仿拟生态系统将不断发育, 完成从作物种植到收获的全过程。

4) 仿拟生态系统的建模: ESR 模拟现实生长箱内的小气候数据和生物学试验数据 (如作物生长、病虫害动态监测数据) 均可采用自动化技术采集并自动输入数据库进行分析、加工利用, 最后实现仿拟的作物 - 害虫 - 天敌生态系统建模。

5) 仿拟生态系统模型的检验: 这个模型可以纳入害虫测报系统中, 根据测报效果的检验, 可以进一步调整上述 4 个要素, 使仿拟生态系统在结构和功能上更贴近实际生态系统, 这就是所谓“生态系统仿拟进化” (ecosystem mimicry evolution) 的过程。

目前 ESR 模拟现实生长箱仅仅实现了对温度的模拟和控制, 但随着 ESR 技术的不断改进和完善, 在仿拟生态系统中将可以进行多种风险因子的实验和建模, 对有害生物和寄主植物在不同地理气候环境下的适生性以及有害生物的入侵、定殖、扩散、危害后果等给出科学的评价, 进而提出有害生物的风险分析的新方法。由于篇幅和内容所限, 本文对 ESR 风险分析技术仅作简单描述, 尚有许多与之相关的问题有待进一步研究, 特别是开发用于生态研究的多种设备, 如环境数据采集仪和有害生物数据采集系统等一系列产品。

相信这些 ESR 技术和多因子风险分析体系, 将来不仅能用于植保风险分析, 还可应用于其他农业风险分析如天气风险分析、植物引种风险分析、农药风险分析和转基因风险分析等领域<sup>[45]</sup>。

## 7 结语与展望

当前 PRA 工作中存在的主要问题是: 各国的有害生物风险分析体系不一致, 但都在探索能为国际接受的 PRA 程序并适合本国特点的体系和方法, 特别是数据获取方法。

ESR 技术不仅为定量分析提供了新途径, 更重要的是从整个生态系统的角度出发进行 PRA 实验的新尝试, 它将为有害生物风险分析数据获取及体系的建立提供科学方法。这种模式虽然是初步的, 但在原理上是创新的, 并有推广应用价值的, 可广泛应用于医疗、化工、建材 (质量监督检验)、环境保护、医学 (菌种保藏、药品稳定性试验)、卫生防疫、药检、食品 (绿色认证)、生物研究、农牧、林、水产等生产和科研部门。

国际上风险分析发展非常迅猛, 涉及社会、经济、自然的大量风险分析内容相继出现, 风险分析网站、风险分析服务正在不断增多, 而且已网络化, 正向多学科多领域渗透, 风险分析已成为风险科学的核心内容。有害生物风险分析方法将逐步从定性到定量, 并与时空分析和信息技术结合, 进行风险决策优化, 必将发展成为真正科学意义上的实用性技术。植保有害生物风险分析也将集成多种理论和技术, 进行多因子风险分析, 不断计算机化、网络化, 并且与“3S”结合, 发展成为植保风险分析系统工程。

## 参 考 文 献

- [1] 陈洪俊. 我国有害生物风险分析 (PRA) 的历史与现状 [J]. 植物检疫, 2002, 21(1): 28~32
- [2] 沈佐锐. 温室生态系统健康研究进展 [J]. 中国生态学会通讯, 2000, (特刊): 39~41
- [3] 国家质量检验检疫总局. 有害生物风险分析 [EB/OL] <http://www.aqsiq.gov.cn/cgi-bin/smodel.cgi?model=00000000000000000493>
- [4] 沈佐锐. 用于植保系统管理的天气模拟模型 [D]. 北京: 北京农业大学, 1988
- [5] 马晓光. 西北三省区部分地区杨树天牛风险分析初步研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2000
- [6] 马晓光, 沈佐锐, 高灵旺. 浅论有害生物多因子调控构想 [A]. 见: 倪汉祥. 面向 21 世纪的植物保护发展战

- 略 [C]. 北京:中国科学技术出版社,2001
- [7] 万庆.洪水灾害系统分析与评估 [M]. 北京:科学出版社,1999
- [8] Lind N C, ed. Technological Risk [M]. University of Waterloo Press, Waterloo, Ontario, 1982, 185
- [9] 罗荣高.水利工程经济评价风险分析方法 [M]. 杭州:杭州大学出版社,1984
- [10] 亨利 E J. 可靠性工程与风险分析 [M]. 北京:原子能出版社,1988
- [11] 卢有杰.项目风险管理 [J]. 中国投资与建设. 1997, (1):57~58
- [12] Oftedal P, Brogger A, eds. Risk and Reason [M]. New York: Alan R. Liss, Inc, 1986. 189
- [13] Roumasset J A, Boussard J M, Singh I. Risk, Uncertainty and Agricultural Development. Southeast Asian Regional for Graduate Study and Research in Agriculture, College, Laguna, Philippines [C]. New York: Agricultural Development Council, 1979. 452
- [14] 杜鹏,李世奎.农业气象灾害风险分析初探 [J]. 地理学报,1998, (3):38~42
- [15] 钱迎倩,田彦,魏伟.转基因植物的生态风险评价 [J]. 植物生态学报,1998,22(4):289~299
- [16] 赵建梅.农业项目风险分析方法初探 [J]. 农业技术经济,1999,4:37~39
- [17] 杨华,彭庆荣.风险投资项目的风险测定与决策 [J]. 武汉水利电力大学学报,1997,20(3):24~27
- [18] 万方浩,叶正楚.生物防治作用物风险评价的方法 [J]. 中国生物防治,1997,13(1):37~41
- [19] 庞雄飞,梁广文.害虫种群系统控制 [M]. 广州:广东科学技术出版社,1995
- [20] 梁忆冰,齐桂臣,施宗伟,等.我国开展有害生物风险分析 PRA 研究概述 [A]. 检疫性有害生物风险分析 PRA 研究论文汇编 [C]. 北京:1995, (4):1~5
- [21] 蒋青,梁忆冰,王乃杨,等.有害生物危险性评价的定量分析方法研究 [A]. 检疫性有害生物风险分析 PRA 研究论文汇编 [C]. 北京:1995, (4):16~19
- [22] Luo Y, Shen Z R, Zeng S M. Risk analysis of disease epidemics on wheat by simulation studies [J]. Agricultural Systems, 1993, 43: 67~89
- [23] 周睿.中国苹果及其害虫专题地理信息系统(CN-APPLEGIS)初步研究 [D]. 北京:中国农业大学,1996
- [24] 张军.天气模拟模型工具软件的开发及其在植保上的应用 [D]. 北京:北京农业大学,1995
- [25] Sutherst R W, Maywald G F. A computerised system for matching climates in ecology [J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 1985, 13: 281~299
- [26] 魏淑秋.农业气候相似距简介 [J]. 北京农业大学学报,1994,10(4):427~428.
- [27] 金瑞华.利用气候相似距研究美国白蛾在我国的地理分布 [C]. 北京:中国植物保护学会植物检疫协会第二届代表大会暨学术讨论会专刊,1988,26~32.
- [28] Burton, Katers, White. The Environment as Hazard [M]. 2nd ed. New York: The Guilford Press, 1993.
- [29] Blaikit P T, Cannon I Davis, B Wisner. At Risk: Natural Hazards [M]. People's Vulnerability, and Disasters, Routledge, London, 1994
- [30] 张润杰,康华春.应用区域灾害系统论、地统计学和GIS研究病虫害灾害 [A]. 见:李典谟.走向21世纪中国昆虫学 [C]. 北京:中国科学技术出版社,2000.
- [31] 张润杰,康华春.区域生物灾害密度分布预测 [A]. 见:李典谟.走向21世纪中国昆虫学 [C]. 北京:中国科学技术出版社,2000.
- [32] 蒲天胜.浅谈植保科学中的风险概念 [J]. 广西植保,1996, (4):35~38
- [33] 翟保平.对有害生物灾变预测工作的思考 [A]. 见:李典谟.走向21世纪中国昆虫学 [C]. 北京:中国科学技术出版社,2000
- [34] Palti J, Ausher R, ed. Advisory Work in Crop pest and Disease Management [M]. Berlin: Springer Verlag, 1986. 284
- [35] Casavant K L, Infanger G L. Economics and Agricultural Management [M]. An Introduction. Reston Publishing Co., Reston, Virginia, 1984. 290
- [36] 朱新民,李永春,周杰.现代管理科学词库 [M]. 上海:上海交通大学出版社,1994
- [37] 赵友福,张从仲.利用MARYBLYT模型预测中国各栽培区梨火疫病发生的可能性 [A]. 检疫性有害生物风险分析 PRA 研究论文汇编 [C]. 北京:1995, (4):30~34
- [38] Royer M H. Integrating Computerized Decisions Aids into the Pest Risk Analysis Process [C]. NAPPO Annual Meeting, October, 1989, 16~20
- [39] 北美植物保护组织有害生物危险性分析专门小组.生物体的引入和/或扩散对植物和植物产品的危险性的分析步骤 [A]. 有害生物危险性分析译文集 [C]. 北京:1993, 3:1~6
- [40] 范京安,赵学谦.农作物外来有害生物风险评估体系与方法研究 [J]. 植物检疫,1997,11(2):57~62
- [41] White J A, Agee M H, Case K E. Principles of Engineering Economic Analysis [M]. New York: John Wiley & Sons, 1977. 480
- [42] 林伟,陈克.地理信息系统及其在植检领域的应用前景 [J]. 植物检疫,1996,10(2):81~83
- [43] 林伟.苹果蠹蛾在我国的危险性初步研究 [D]. 北京:中国农业大学,1994
- [44] 侯陶谦.应用卫星遥感监测主要森林虫害——松毛虫的研究 [A]. 见:李典谟.走向21世纪中国昆虫学 [C]. 北京:中国科学技术出版社,2000
- [45] 马晓光,沈佐锐.随机天气发生器的可视化编程及其将来在农业生态学上的应用 [J]. 中国农业科学,2002,35(12):1473~1478