

# 光谱分析技术在蝗虫监测中的应用

卢辉<sup>1,2</sup>, 韩建国<sup>1\*</sup>, 张录达<sup>3</sup>

1. 中国农业大学动物科技学院, 北京 100094

2. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 海南 儋州 571737

3. 中国农业大学理学院, 北京 100094

**摘要** 蝗虫监测技术的研究对保护生态环境和减少经济损失具有重要意义。但长期以来缺乏准确、有效的方法。文章介绍了蝗虫测报技术的发展和蝗虫生境监测的重要性, 阐述了光谱技术在蝗虫预测方面的发展概况以及常用算法。遥感可对蝗虫栖息、生长、繁殖的生境进行监测, 结合地理信息系统(GIS)可建立测报模型。利用高光谱遥感可以更为准确地监测蝗虫灾害, 有利于量度蝗虫危害程度和划分发生区域, 同时可监测蝗虫群落的空间分布动态。近红外技术可以判别蝗虫的种类, 还可通过土壤水分和养分的测定来监测蝗虫的产卵地, 对局部抽样调查和观测蝗虫非常有利。光谱分析技术作为一种快速、有效的监测和预测蝗虫发生的工具, 由于其在空间定位、信息获取、信息处理等方面的优势, 必将成为这一领域重要的研究手段。文章还对今后的研究方向进行了展望。

**关键词** 蝗虫; 监测; 遥感; 高光谱; 近红外

中图分类号: O657.3 文献标识码: A DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2008)12-2808-04

## 引言

蝗虫是一种世界性害虫, 由于全球性气候变化和人类对自然资源过度开发导致生态环境逐渐恶化, 使得蝗灾发生频率和灾害程度加剧<sup>[1]</sup>。传统蝗虫测报主要通过实地调查, 采用有效基数预测法, 需要进行多次、大面积的野外实地监测, 费时费力, 可靠性不高<sup>[2]</sup>。如能利用有效技术预测出蝗灾发生的空间位置、强度和时间, 将为及时采取有效措施和减少经济损失具有重要意义。

蝗虫的生长、发育和繁殖都与其生境有密切关系, 影响蝗虫发生和消长的自然因素主要有气候、地形、植被和土壤等, 就研究这些因子而言, 光谱学发展和完善了一些较为准确的预测方法, 如利用遥感、高光谱遥感和近红外技术都可以监测地上植被、土壤和气候等因子, 这些方法对监测蝗虫有重要的意义。

## 1 蝗虫监测技术的发展概况

根据气候资料可预测蝗虫发生代数和发生时期, 这一方法得到预测值偏高; 物候预测法是通过作物、杂草或其他昆

虫的生长时相预知蝗虫应处的阶段<sup>[3]</sup>; 地面调查法是在查卵、查蛹和查成虫的基础上, 根据蝗虫的生长速度、生殖力和扩散迁移习性, 结合环境的变化对蝗情做出预测<sup>[4]</sup>; 预测模型是通过实地监测结合多年资料研究蝗虫和各种环境因子之间的关系, 常用模型包括有效基数预测模型、灾变理论模型和二态马尔柯夫链模型<sup>[5]</sup>。20世纪40年代, 雷达技术被用于观察蝗虫的长距离迁飞, 并研制了昆虫监测雷达(Entomological Radar), 可全天候获取数据<sup>[6]</sup>。计算机技术发展进一步推动了蝗虫研究的发展, 在蝗虫遥感监测方面, 20世纪70年代以来, 开始基于卫星遥感和地理信息系统(GIS)技术应用的探索<sup>[7,8]</sup>, 遥感主要为监测蝗虫提供数据源, GIS则利用其空间分析和数据综合能力, 实现遥感数据和地面数据的融合。从这些研究中发现蝗虫和其栖息生境密切相关, 可通过监测蝗虫生境来监测蝗虫。

## 2 遥感技术在蝗灾监测中的应用

### 2.1 遥感监测蝗虫的方法

遥感是一种远距离、在不直接接触目标物体的情况下, 通过传感器接收目标物反射或辐射的电磁波, 经过分析和判读, 快速而准确地提供被测目标的有关信息<sup>[9]</sup>。Riley<sup>[10]</sup>认为

收稿日期: 2007-09-06, 修订日期: 2007-12-12

基金项目: 国家科技攻关计划课题(2006BAD16B01)资助

作者简介: 卢辉, 1978年生, 中国农业大学动物科技学院博士生

e-mail: aaluhui@163.com

\* 通讯联系人

遥感技术在昆虫学上的应用主要体现在:对昆虫本身的观察;对影响昆虫种群动态的有关环境因子的监测;对昆虫产生影响(通常是植被破坏)的探测。在蝗虫研究中主要是监测并评估蝗虫的适宜生境,间接分析和预测蝗虫可能发生的地区<sup>[11]</sup>。早期研究中, Pedgley, Hielkeman 利用 Landsat MSS 数据对蝗虫分布区植物生长动态监测; Tucker 在沙漠蝗重点研究区用空间分辨率较高的 Landsat MSS 数据,较大区域则采用时间分辨率高、覆盖范围大的 NOAA AVHRR 数据,对植被和土壤水分进行监测<sup>[2]</sup>。目前采用空间分辨率更高的 LANDSAT TM, SPOT 等数据,监测范围也扩展到地形、土壤、气候条件等和蝗虫有关的多种因素<sup>[12]</sup>。

近年来,遥感与 GIS 技术相结合进行蝗虫监测<sup>[13]</sup>,早期研究主要结合遥感进行蝗虫生境制图<sup>[14-16]</sup>,随着 GIS 软件逐步完善,生物学家开始应用 GIS 作为蝗虫研究的辅助工具,制作不同比例尺的专题图,涉及地形、土壤、植被、气象等多个方面<sup>[17]</sup>。目前研究集中在蝗虫发生与生态因子之间关系“机理”并建立预测模型,如 FAO 沙漠蝗信息署的 SWARMS 系统<sup>[18]</sup>,澳大利亚治蝗委员会的 DSS 系统<sup>[19]</sup>,都是基于 GIS 数据收集、动态模拟、图形处理等功能为一体的蝗虫预警系统,为防治决策提供了充分依据,较好地控制了蝗虫危害。

## 2.2 遥感监测蝗虫的算法

遥感监测蝗虫生境时,常采用的算法是归一化植被指数 (NDVI), NDVI 是许多表征植被绿度的指数之一。植物受蝗虫取食后,叶片的内部组织遭到破坏,细胞活性、含水量与叶绿素含量均发生变化,致使在红光波段的吸收率下降,近红外波段的反射率下降,最终导致 NDVI 降低,因此 NDVI 值的变化能反映植被是否遭受病虫害危害。 $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$ ,式中 NIR, RED 分别为近红外和红光两个波段的光谱反射值<sup>[20,21]</sup>。在蝗虫监测中,除经常使用 NDVI 外,还有土壤调节植被指数(SAVI)。张洪亮<sup>[22]</sup>发现了一种新算法,在青海湖地区,可用于草地蝗虫发生的遥感监测。

## 3 高光谱遥感在蝗虫监测中的研究

### 3.1 蝗虫监测中高光谱数据的采集方法

高光谱遥感是遥感发展的一个重要趋势,高光谱遥感与常规遥感主要区别是,成像光谱仪(Imaging spectroscopy)将视域中观测到的各种地物以完整光谱曲线记录下来,由于从高光谱数据提取的光谱信息可以较高精度估计作物生物参数<sup>[23]</sup>,所以由高光谱数据预测蝗虫或估计蝗灾损失的精度将会更高。高光谱遥感技术常见的方法是,采用光谱仪测定植被冠层光谱,再测定植物的叶面积指数(LAI),通过回归模型筛选高光谱特征参数,最后建立虫害光谱指数,就可对草原蝗虫发生和危害进行可靠和准确的预测。

### 3.2 蝗虫监测中高光谱遥感的算法

光谱反射仪测得是众多地物吸收光谱和散射光谱的混合光谱,为了正确地解译遥感数据,减少背景的影响,采用多种植被指数,也采用微分光谱技术<sup>[24,25]</sup>,微分技术对光谱信

噪比非常敏感。研究表明,光谱的低阶微分处理在实际应用中较有效<sup>[26]</sup>。植物不同生长发育阶段或外界条件干扰下都会引起植物反射光谱曲线的变化,可以利用植被光谱的这一特征,使用野外光谱仪在一定条件下测定它们对各种波段的一阶微分反射光谱,来研究植物的生长状况<sup>[24,27,28]</sup>,从而确定蝗虫和植被之间的关系。一阶微分光谱可表示为  $R(\lambda) = [R(\lambda_{i+1}) - R(\lambda_i)] / (\lambda_{i+1} - \lambda_i)$ ,其中  $R$  为光谱反射率。

目前还有一些研究采用多维偏最小二乘(NPLS)算法建立三维高光谱预测产量的数学模型<sup>[29]</sup>,对高光谱数据进行全谱分析,避免植被指数模型造成的信息损失,NPLS 优点是可以得到稳定的模型,可以使模型具有更好的预测效果<sup>[29,30]</sup>,有利于对蝗虫危害植物在不同生育阶段做全程监测。高光谱遥感已经成功用于作物种类的识别,可以区分健康和病危植物的可能性<sup>[31]</sup>,这有利于监测蝗虫危害的程度和发生区域的划分,也可以对植物种类和土壤类型进行分类,因为蝗虫对草地植被有特定的取食性,对不同的土壤类型也有依赖性。未来研究中,可以引入 NPLS 模型和其他几种高维数据模型<sup>[32]</sup>,比较在回归效果上的优劣,选择最利于蝗虫监测的模型。

## 4 近红外光谱技术在蝗虫监测中的研究

### 4.1 蝗虫危害程度监测

近红外光谱技术(NIRS)是一种快速、高效、无损的现代检测技术,常规方法鉴定病虫害所需周期长而且操作复杂,NIRS 可以通过直接感知植物体内各种化学成分的变化,植物叶片的光谱特性是植物生长状态的重要信息,与叶片厚度、水分和叶绿素物质成分有关<sup>[33]</sup>,叶片在近红外波段(760 ~ 2 200 nm)的光谱特征主要是受叶片中二氧化碳、水分含量、营养状况和叶片结构等因素的影响。

在病虫害自动监测方面,Rutherford 等<sup>[34]</sup>利用 NIRS 研究了不同品种甘蔗的茎表面蜡粉对螟蛾的抗性,建立了预测模型。吴达科等<sup>[35]</sup>采用图像处理 and 光谱分析技术,对斑潜蝇虫害叶片破损率和干鲜比与红外分光反射率的关系分别进行了回归分析,结果表明叶片的虫害程度能很好地被近红外光谱信息反映。利用 NIRS 也可以建立蝗虫危害程度的近红外模型,NIRS 不仅是一种建立模型的工具,并且还能揭示一些病虫害发生的潜在机理,监测病虫害发生状况和规律。

### 4.2 蝗虫种类鉴定

采用近红外光谱与化学模式识别相结合的方法直接侦测出蝗虫,快速准确地预测蝗虫成灾信息,为蝗虫自动侦测系统提供技术支持,为开发实时动态分析便携式近红外光谱蝗虫识别仪提供理论依据。熊雪梅等<sup>[36]</sup>利用傅里叶近红外光谱仪进行全谱测定蝗虫样品,采用矢量归一化将光谱数据进行预处理,再采用 OPUS 近红外软件的聚类分析方法对光谱数据进行处理,建立判别模型,其鉴定准确率可达 91.67%,基本上可准确判断出蝗虫。总之,NIRS 减少了室内分析测试工作,为蝗虫监测研究提供了一种新的快速、准确的手段。

### 4.3 蝗虫产卵地监测

蝗虫的产卵区和虫卵的孵化都和土壤状况有关系,研究表明蝗卵完成发育需要的有效积温随土壤含水量增多而增加的趋势,而且产卵地和土壤有关,东亚飞蝗的产卵地以壤土最宜,其次是粘土及湖淤土,沙土最差<sup>[4]</sup>。彭玉魁等应用 NIRS 对我国黄土区土壤湿度、有机质和总氮含量进行近红外光谱分析, NIRS 预测值均达到与实验室化学分析值相近的水平<sup>[37]</sup>, NIRS 通过对土壤水分、矿物质的分析,可以建立土壤和蝗虫卵之间的预测模型。

## 5 结 语

光谱分析技术的发展推动了蝗虫监测的研究,研究范围、精度和实时性都大大提高,充分发挥各种预测、监测方

法的优势,力求在节省人力、物力和资金等条件下,对蝗虫生境进行监测的效果达到最佳。现阶段应在以下几个方面进一步开展研究:(1)加强对基础理论的研究,尤其是蝗虫生长发育及生境因子之间的关系,对不同种类蝗虫种群的发生、扩散、繁殖进行系统研究,明确监测的目标。(2)目前遥感、高光谱遥感、近红外技术都已经应用到蝗虫监测中了,而热红外、微波、紫外波段和激光等光谱技术在昆虫生态学的应用尚处于起步阶段,有必要进行深入的研究,在蝗虫监测中应该细化研究方向,充分发挥各种光谱技术的优势。(3)综合监测技术,利用光谱技术监测蝗虫时结合 GIS、Internet 技术平台及蝗虫历年发生资料库,建立综合模型,可以实现各种空间数据的远程操作,通过这一系统可以更好地进行防治决策。

## 参 考 文 献

- [1] LU Hui, ZHANG Zerhua, LONG Ruijun(卢 辉, 张泽华, 龙瑞军). Grassland and Turf(草原与草坪), 2005, (3): 59.
- [2] WANG Jie chen(王杰臣). Acta Geodaetica et Cartographica Sinica(测绘学报), 2001, 32(3): 281.
- [3] SHI Ruixiang, LIU Chuang, LI Dianmo, et al(石瑞香, 刘 闯, 李典谟, 等). Acta Ecologica Sinica(生态学报), 2003, 23(11): 2475.
- [4] MA Shijun(马世骏). Acta Entomologica Sinica(昆虫学报), 1963, 8(1): 40.
- [5] HAO Shuguang, QIN Qilian, WANG Zhengjun, et al(郝树广, 秦启联, 王正军, 等). Acta Entomologica Sinica(昆虫学报), 2002, 45(4): 531.
- [6] Riley J R. Annual Review of Entomology, 1989, 34: 247.
- [7] LI Zhiwei, PAN Jianjun, ZHANG Jiaobao(李志伟, 潘剑君, 张佳宝). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2005, 25(6): 979.
- [8] Bro Rasmus, Calubratin Multiway. Journal of Chemometrics, 1996, 10: 47.
- [9] LI Minzan(李民赞). Spectral Analysis Techniques and Applications(光谱分析技术及其应用). Beijing: Science Press(北京: 科学出版社), 2006. 97.
- [10] Riley J R. Annual Review Entomology, 1989, 34: 247.
- [11] McCulloch L, Hunter D M. Remote Sensing of Environment, 1983, 13: 95.
- [12] Kevin P P, Guo Xulin, James M S. Computers and Electronics in Agriculture, 2002, 37: 157.
- [13] Cigliano M M, Kemp W P, Kalaris T M. Journal of Orthoptera Research, 1995, 4: 111.
- [14] Bryceson K P. Int. J. Remote Sensing, 1989, 10: 1794.
- [15] Tappan G G, Moore D G, Knausenberger W I. Int. J. Geographic Information System, 1991, 5: 123.
- [16] Voss F, Dreiser L. New Trends in Locust Control. GIZ, 1994. 23.
- [17] Scott P S, Jeffrey A L. Geographic Information System World, 1995, 8(11): 97.
- [18] Cressman K. SWARMS: a Geographic Information System for Desert Locust Forecasting. New Strategies in Locust Control, FAO, 1997.
- [19] Ted D, David H. Entomologia Sinica, 2002, 9(4): 1.
- [20] Tucher C J, Heilkema J U, Roffey J. International Journal of Remote Sensing, 1985, 6: 127.
- [21] Sinba P P, Satish C. Plant Protection Bulletin, 1994, 46(1): 38.
- [22] ZHANG Hongliang, NI Shaoliang(张洪亮, 倪绍祥). Journal of Remote Sensing(遥感学报), 2003, 7(6): 504.
- [23] PU Ruiliang, GONG Peng(浦瑞良, 宫 鹏). Hyper-Spectral Remote Sensing and Its Application(高光谱遥感及其应用). Beijing: Higher Education Press(北京: 高等教育出版社), 2000. 3, 52.
- [24] Demetriades Shah T H, Steven M D, Clark J A. Remote Sensing of Environment, 1990, 33: 55.
- [25] Li Y, Demetriades Shah T H, Kanemasu E T, et al. Remote Sensing of Environment, 1993, 44: 81.
- [26] Huguenin R L, Jones J L. Journal of Geophysical Research, 1986, 91: 9585.
- [27] ZHANG Shufang, QIN Mei, QU Liqiang(张淑芳, 秦 梅, 曲立强). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2002, 22(1): 113.
- [28] WU Tong, NI Shaoliang, LI Yumei, et al(吴 彤, 倪绍祥, 李云海, 等). Journal of Remote Sensing(遥感学报), 2007, 11(1): 103.
- [29] WANG Tao, ZHANG Lirui, LAO Cailian, et al(王 韬, 张录达, 劳彩莲, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2006, 26(10): 1915.
- [30] Bro Rasmus, Calubratin Multiway. Journal of Chemometrics, 1996, 10: 47.

- [31] Bro Rasmus, Smilde Age K, de Jong Sijmen. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 2001, 58: 3.
- [32] CHEN Zengping, WU Hailong, JIANG Jianhui, et al. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 2000, 52: 75.
- [33] Grant D, Binkley D. Forest Science, 1987, 33(2): 548.
- [34] LI Bo(李 博). Ecology(生态学). Beijing: Higher Education Press(北京: 高等教育出版社), 1993. 3.
- [35] WU Da ke, MA Cheng wei, DU Shang feng(吴达科, 马承伟, 杜尚丰). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (农业工程学报), 2007, 23(2): 156.
- [36] XIONG Xue mei, WANG Yiming(熊雪梅, 王一鸣). Laser & Infrared(激光与红外), 2007, 37(3): 237.
- [37] PENG Yu kui, ZHANG Jiann xin, HE Xu sheng, et al(彭玉魁, 张建新, 何绪生, 等). Acta Pedologica Sinica(土壤学报), 1998, 35(4): 553.

## Applications of Spectral Analysis Technique to Monitoring Grasshoppers

LU Hui<sup>1,2</sup>, HAN Jiann guo<sup>1\*</sup>, ZHANG Lir da<sup>3</sup>

1. College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100094, China

2. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Danzhou 511737, China

3. College of Science, China Agricultural University, Beijing 100094, China

**Abstract** Grasshopper monitoring is of great significance in protecting environment and reducing economic loss. However, how to predict grasshoppers accurately and effectively is a difficult problem for a long time. In the present paper, the importance of forecasting grasshoppers and its habitat is expounded, and the development in monitoring grasshopper populations and the common arithmetic of spectral analysis technique are illustrated. Meanwhile, the traditional methods are compared with the spectral technology. Remote sensing has been applied in monitoring the living, growing and breeding habitats of grasshopper population, and can be used to develop a forecast model combined with GIS. The NDVI values can be analyzed throughout the remote sensing data and be used in grasshopper forecasting. Hyper spectra remote sensing technique which can be used to monitor grasshoppers more exactly has advantages in measuring the damage degree and classifying damage areas of grasshoppers, so it can be adopted to monitor the spatial distribution dynamic of rangeland grasshopper population. Differentialsmoothing can be used to reflect the relations between the characteristic parameters of hyper spectra and leaf area index (LAI), and indicate the intensity of grasshopper damage. The technology of near infrared reflectance spectroscopy has been employed in judging grasshopper species, examining species occurrences and monitoring hatching places by measuring humidity and nutrient of soil, and can be used to investigate and observe grasshoppers in sample research. According to this paper, it is concluded that the spectral analysis technique could be used as a quick and exact tool in monitoring and forecasting the infestation of grasshoppers, and will become an important means in such kind of research for their advantages in determining spatial orientation, information extracting and processing. With the rapid development of spectral analysis methodology, the goal of sustainable monitoring grasshoppers can be developed in the future. First, it is needed to find the relationship between the grasshopper and its environment. Second, the new spectral technology including thermal infrared, microwave, UV detection, and laser technique will be widely practiced in grasshopper monitoring. Finally, it is obvious that the integration of all methods will drive the research into a bright direction of synthetically monitoring grasshoppers. Such approaches will greatly decrease the likelihood of grasshopper outbreaks.

**Keywords** Grasshoppers; Monitoring; Remote sensing; Hyper spectra; Near infrared spectroscopy

\* Corresponding author

(Received Sep. 6, 2007; accepted Dec. 12, 2007)