

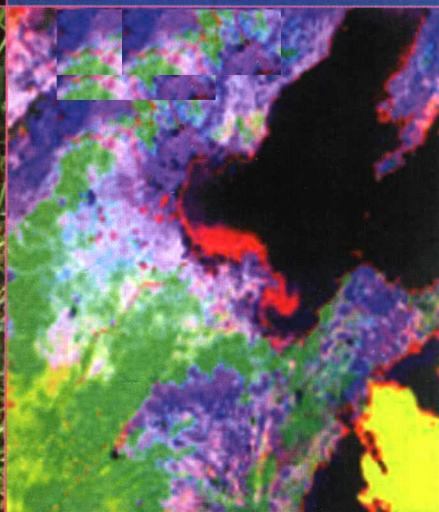


东亚飞蝗灾害

遥感监测机理与方法

——以环渤海湾地区为例

马建文 韩秀珍 编著



科学出版社
www.sciencep.com

遥感科学国家重点实验室出版基金资助

东亚飞蝗灾害遥感监测机理与方法

——以环渤海湾地区为例

马建文 韩秀珍 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

近年来,我国 14 个省(区、市)中 200 多个县暴发蝗虫灾害,已对中国农业生产造成严重威胁。本书在对环渤海湾地区东亚飞蝗进行遥感监测机理和方法研究的基础上,通过大量的野外实验,提出了根据东亚飞蝗生育周期即孵化期、发育期、成虫期三个阶段遥感监测的论点;通过两年连续野外与遥感同步实验,建立了东亚飞蝗生长发育期环境指标、样方统计、地面光谱测试与遥感影像提取参数之间的相关分析,为实现蝗灾预测预警提供了三阶段监测的新模式;综合分析气象数据、蝗灾历史数据可以辅助排除预测预警中的一些不确定要素。

本书可供从事农业、林业等大规模病虫害防治的管理人员、遥感灾害应用人员以及高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

东亚飞蝗灾害遥感监测机理与方法:以环渤海湾地区为例/马建文,韩秀珍编著. —北京:科学出版社,2004

ISBN 7-03-012992-X

I. 东… II. ①马…②韩… III. 遥感技术-应用-飞蝗-虫害测报-渤海湾 IV. S433.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 014530 号

责任编辑:彭胜潮 李久进/责任校对:陈丽珠

排版制作:科学出版社编务公司/责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004 年 5 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2004 年 5 月第一次印刷 印张: 10 1/4 插页: 2

印数: 1—1 500 字数: 225 000

定价: 35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

序

环渤海湾地区飞蝗灾害的遥感监测实验研究是生态学与昆虫学调查研究中遥感应用的又一成功范例,从中我们看到生命科学与地球信息科学的交叉融合。特别是在经历了SARS事件之后,我们对于应对突发事件,加强国家公共安全信息保障体系的重要性有了进一步的认识,就不难理解这部针对东亚飞蝗的生育周期演化规律、建立“全程监测”研究专著的重要性和必要性。

在自然灾害链中,蝗灾往往是继旱灾之后发生。蝗灾具有全球性,特别是在亚、非第三世界地区灾情最为严重。印度飞蝗西迁,殃及中东、北非地区。我国西藏与内蒙古也偶有发生。渤海湾地区飞蝗灾害的遥感监测实验研究,既总结、借鉴了前人的成果,又是深入机理分析与技术集成的创新之作,对于湿地保护、防灾抗灾、应对传染疾病都具有推广、借鉴意义,对于保障国家生态、环境安全做出了出色的贡献。

马建文、韩秀珍合作的这部专著中,通过天津北大港8个样地和河北黄骅的6个样地,利用MODIS多轨、36个通道和TM/ETM+的卫星遥感数据,对东亚飞蝗生育过程和灾情变化做了实验、测试和深入分析,展示出一些机理和方法上的创新亮点。

(1) 建立了遥感、地理信息系统、卫星定位系统与网络通信多项技术集成的核心技术和全新的解决方案。

(2) 建立了蝗虫孵化期地表水热条件的实地探测方法及其与遥感反演、水热参数之间的关联模型。

(3) 阐明了东亚飞蝗生长发育期间环境指标与地物光谱、遥感数据提取参数之间的相关关系。

(4) 阐明了植被指数反映东亚飞蝗栖境的变化。

(5) 计算了几种不同尺度遥感数据反演参数的精度。

(6) 论证了东亚飞蝗对气温有较强的依赖性,飞蝗的发生对全球气候和土地利用变化有一定的指示意义。

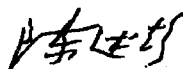
20世纪中叶,蝗灾在我国早已被扑灭,全球化经济的今天还会“死灰复燃”,发人深省。为实现国家信息化与现代化,国家公共安全与可持续发展战略的实施任重道远。

有幸先睹为快读到这本专著,举一反三,对我很有启发。为全面建设小康社会,还有许许多多实际问题需要科技工作者努力去解决!科学技术对于社会经济发展的贡献,现在还是只看到了冰山的一角。

中国科学院院士

中国减灾委员会委员

中国环境与发展国际合作委员会委员



2003年7月26日

前言

中国是农业大国,蝗灾同水灾、旱灾并列为农业三大灾害。近年来的连续干旱,使我国 14 个省(区、市)200 余个县,同时暴发蝗虫灾害,面积超过 200 万 km^2 ,对我国农业生产造成严重威胁。因此,2002 年 2 月国家计委发布“实施应用高技术控制我国蝗灾产业化专项的公告”。中国科学院遥感应用研究所、南京师范大学、中华人民共和国农业部全国农业技术推广中心、河北省黄骅市、渤海湾蝗虫防治中心、澳大利亚国家蝗虫治理委员会的专家联合在环渤海湾地区研究东亚飞蝗灾害的信息化防治,中国科学院遥感应用研究所主要从事环渤海湾东亚飞蝗灾害的遥感监测机理和方法的前期研究工作,本书主要就是介绍这个阶段的工作成果。

将联合国粮食开发署的非洲-东亚蝗灾监测系统、澳大利亚国家蝗虫治理委员会的蝗灾监测系统等作为典型考证,遥感技术在系统中的作用是灾情暴发后的监测和受灾评估。根据 2001~2002 年 4~6 月连续野外样方实验和观察以及同时段卫星数据对比分析,研究对比前人工作和历史记录结果,针对东亚飞蝗灾害建立全生育周期演化规律,提出了“遥感飞蝗生育过程监测”论点。只有将被动的灾后监测转为蝗虫生育过程的监测,才有可能实现遥感蝗灾监测理论的突破。

东亚飞蝗孵化期、发育期、成虫期各发育阶段的样方统计、遥感机理验证、确定监测指标是实现“遥感飞蝗生育过程监测”论点的关键环节和目标。我们在天津北大港选择了 8 个样地,在河北黄骅选择了 6 个样地,每个样地为 $1000\text{m} \times 1000\text{m}$,并在样地中再选择 3~6 个样点,每个样点为 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 。每个样地完成 5 项工作:实测光谱、实测温度/湿度(选择)。称重、计算叶面积指数、计算蝗虫头数(选择)。野外测量时间选在卫星过境时间,其中包括 18 轨 36 通道的 MODIS 数据和两景 TM/ETM+ 数据。MODIS 数据主要做生育过程变化分析, TM/ETM+ 主要做成虫阶段的灾情分析。

遥感监测三个阶段,包括虫卵孵化期、虫蛹生长期和成虫迁移与聚集期,这三阶段具有不同的遥感监测特征参数和指标。

(1) 虫卵孵化期:主要受地表水热条件的制约,从 4 月中旬开始。遥感 MODIS 卫星数据反演地表水热物理参数,参考探测指标(与地表样方对应)为地表温度(LST)大于 15°C ,土壤湿度(SM)达 18%~22%。

(2) 虫蛹生长期:这个时期交叉分布 3~5 龄蝗虫,主要特点是进食量增大,主要食物为芦苇叶片,这个时期从 5 月初开始延续约 5 个星期。遥感 MODIS 卫星监测芦苇生物量的变化和温度条件,蝗蛹成长阶段,参考探测指标(与地表样方对应) LST 一般大于 18°C ,大于 25°C 的天数不得少于 30 天。样方植被指数,正常芦苇 0.1~0.5,受灾 0.2~0.3。样方叶面积指数,受灾 0.5~1.5,植被覆盖度 25%~70%。

(3) 成虫迁移与聚集期:这个时期蝗虫的主要发育特征是羽化,需要充足的食物、水分和阳光照射。遥感 MODIS 卫星监测覆盖度, ETM+ 植被指数模糊 K-均值分类结果。

·iii·

参考探测指标(与地表样方对应)植被覆盖度小于75%,植被指数聚类灰度为91~103;迁移区域植被指数153~164;聚集与迁移地基本条件为有地表水体的沟、湖周边,覆盖度小,食物充足。

本书系统地介绍了遥感飞蝗监测三阶段监测方法的建立过程,包括野外实地探测蝗虫孵化期地表水热条件,建立遥感反演水热参数与实测参数之间的关联模型,建立野外实测东亚飞蝗生长发育期环境指标、地面光谱、遥感影像提取参数之间的相关关系;对比研究植被要素对飞蝗生境的响应;开展了野外同步实验,验证遥感反演生物物理参数的可靠性,估算了不同尺度(1000m、250m和30m)遥感数据反演参数的精度;在蝗区大尺度范围内利用了低空间分辨率、高时间分辨率的MODIS数据,对东亚飞蝗孵化的水热条件和植被要素进行了实时动态监测;在河北黄骅、天津北大港蝗区利用高分辨率Landsat-5/TM、Landsat-7/ETM数据进行东亚飞蝗的栖境条件监测。

书中还介绍了东亚飞蝗分布范围与3月和4月月温度平均16℃和1990~2002年年平均温度13℃圈定的范围一致性现象。这一现象的发现说明东亚飞蝗对气温具有很强的依赖性。同时也说明了东亚飞蝗的研究可能对全球气候变化也具有一定的指示意义。

本研究集成了我国遥感、地理信息系统、全球定位系统、通信、网络技术的东亚飞蝗监测系统的核心技术。

全书共分为6章。第1章论述了东亚飞蝗研究的目的和意义,以及国内外蝗虫遥感监测方法的进展;第2章说明了东亚飞蝗的生态环境特征、生物学特征及危害状况;第3章分析和讨论了研究区的野外实验,包括土壤的温度和湿度实验,土壤和植被的光谱实验,植被要素的实验等;第4章探讨利用遥感技术对研究区的东亚飞蝗生境要素进行监测,包括利用MODIS反演土壤的温度、土壤湿度和植被要素,利用TM/ETM反演重点区域的植被要素,利用ASTER对研究区的分类等;第5章为东亚飞蝗遥感实验的综合分析;第6章为东亚飞蝗灾害遥感监测系统的建立。

项目论证初期得到了中国科学院院士陈述彭先生的大力支持,亲笔书写了支持信件,最近又为本书作序;中国科学院遥感应用研究所王超副所长、王长耀研究员、田国良研究员、柳钦火研究员不仅在野外测试设备上给予了大力支持,还在地表物理参数反演与算法上提供了无私的帮助;遥感实验场的王志刚研究员连续两年参加野外工作;农业部张跃进、汤金仪、朱恩林提供了东亚飞蝗生物性方面和东亚飞蝗现状调查的宝贵资料;天津北大港防蝗站的谢志庚,河北省黄骅市农业局赵恩亭,黄骅市防蝗站刘俊祥提供了诸多宝贵资料;中央电视台科技10频道,于2002年7月将我们的阶段研究成果作为专题的一部分介绍给全国观众。在此一并表示衷心的感谢。

参加本项工作的还有燕守勋研究员、哈斯巴干博士、刘志丽博士、李启青博士、戴芹博士。

东亚飞蝗遥感监测是遥感信息科学、地学、生态学和昆虫学等多学科的交叉研究,由于作者的研究水平有限,又受到知识领域的限制,书中难免存在不足之处,敬请各位专家和读者不吝赐教。

目 录

序

前言

第1章 绪论	1
1.1 研究意义	2
1.1.1 东亚飞蝗灾害	2
1.1.2 遥感监测东亚飞蝗的意义	3
1.2 国内外蝗虫遥感监测研究的现状	5
1.2.1 国外研究现状	5
1.2.2 国内研究现状	7
1.3 主要研究内容和技术路线	8
1.3.1 主要研究内容	8
1.3.2 主要技术路线	9
1.4 本书主要特色	10
第2章 东亚飞蝗生物性	12
2.1 东亚飞蝗的地理分布	12
2.1.1 飞蝗的类型	12
2.1.2 东亚飞蝗的地理分布	13
2.2 东亚飞蝗的生物学特性	14
2.2.1 东亚飞蝗的生活史	14
2.2.2 发生世代数	15
2.3 东亚飞蝗生育条件分析	17
2.3.1 地形特征	17
2.3.2 气候特征	17
2.3.3 土壤特征	18
2.3.4 植被特征	18
2.3.5 水文特征	19
2.4 东亚飞蝗的发生动态分析	19
2.4.1 蝗区演变现状	19
2.4.2 蝗区演变成因	23
2.4.3 东亚飞蝗发生动态	26
2.4.4 影响东亚飞蝗暴发的主要因素	29
2.4.5 东亚飞蝗灾害灾变趋势	32
2.5 蝗害测报模型	33

2.5.1 二态马尔柯夫链模型	34
2.5.2 灾变理论模型	35
2.5.3 模糊数学模型	37
第3章 东亚飞蝗生育环境要素的野外实验	43
3.1 土壤温度和湿度实验	43
3.1.1 土壤温度实验	43
3.1.2 土壤湿度实验	49
3.2 野外光谱实验	51
3.2.1 光谱仪的性能指标和精度	51
3.2.2 地面光谱测量及数据处理	52
3.2.3 研究区光谱数据分析	53
3.3 野外样方实验	57
3.3.1 植被的采样方法	57
3.3.2 植被指标	58
第4章 东亚飞蝗生育环境要素的遥感监测	62
4.1 数据处理	62
4.1.1 MODIS 数据特征	62
4.1.2 MODIS 1B 数据处理流程图	63
4.1.3 MODIS 1B 数据几何校正	63
4.1.4 MODIS 1B 数据大气校正	65
4.1.5 MODIS 1B 反射率的太阳高度角校正	65
4.1.6 MODIS 1B 数据坏值及噪声去除	66
4.2 基于 MODIS 的地表温度反演	66
4.2.1 地表温度反演原理	66
4.2.2 温度反演算法	68
4.2.3 比辐射率的确定	75
4.2.4 算法实现	77
4.3 基于 MODIS 的地表土壤湿度反演	84
4.3.1 土壤湿度遥感监测的研究进展	84
4.3.2 由温度/植被指数方法遥感估算地表土壤湿度	85
4.3.3 结果显示	89
4.4 东亚飞蝗其他环境要素的遥感监测	95
4.4.1 植被指数	95
4.4.2 植被覆盖度	96
4.4.3 叶面积指数	97
4.4.4 地表粗糙度	97
4.5 综合分析东亚飞蝗灾害	108
4.5.1 TM/ETM 数据处理	108

4.5.2	研究区位置和样方统计	111
4.5.3	地面实测样地与光谱数据的相关分析	111
4.5.4	环境要素的遥感数据反演	113
4.5.5	综合分析	116
4.6	ASTER 数据的自组织神经网络降维分类研究	118
第 5 章	东亚飞蝗灾害遥感监测实验的综合分析	123
5.1	气象数据与遥感反演参数的相关分析	123
5.1.1	气象数据	124
5.1.2	可能蒸散率的计算方法	124
5.1.3	研究方法	124
5.1.4	气候变化分析	125
5.1.5	植被指标与气候指标之间的相关分析	130
5.2	环境要素的综合分析	130
5.2.1	环境要素的时间序列分析	130
5.2.2	环境要素之间的相关性分析	134
5.3	遥感反演数据与实测数据的对比分析	136
5.3.1	遥感反演与实测温度的相关性	136
5.3.2	遥感反演与实测土壤湿度的关系	137
5.3.3	遥感反演与实测叶面积指数的关系	137
5.3.4	遥感反射率与地面光谱反射率的对比	138
5.3.5	MODIS 反演参数与 ETM 反演参数的对比分析	138
5.4	综合分析	140
第 6 章	东亚飞蝗灾害遥感监测系统的建立	142
6.1	东亚飞蝗蝗情速报“3S + C + W”系统	142
6.1.1	“3S + C + W”蝗情速报系统结构图	142
6.1.2	“3S + C + W”蝗情信息系统流程图	143
6.2	“3S”蝗灾监测、预警技术系统	143
6.2.1	遥感技术子系统	143
6.2.2	地理信息系统子系统	144
6.2.3	全球导航定位系统子系统	144
6.2.4	安全防治专家系统	144
6.3	蝗灾速报网络发布	145
6.4	结论与展望	146
主要参考文献		147
附录		152
附录 1	蝗虫名录	152
附录 2	植物名录	152

彩图

第1章 绪 论

东亚飞蝗(*Locusta migratoria manilensis* Meyen) 由于其孳生区广,繁殖力强,食量大,成群聚集,远距离迁飞,对我国农业生产造成严重威胁。2002 年 2 月国家计委发布“实施应用高技术控制我国蝗灾产业化专项的公告”。中国科学院遥感应用研究所,农业部全国农业技术推广中心,河北省计委联合开始在环渤海湾地区研究东亚飞蝗灾害,同时中国科学院遥感应用研究所启动了环渤海湾东亚飞蝗灾害的遥感监测机理和方法的前期研究,本专著就是在该项研究的基础上完成的。

东亚飞蝗是以豆科以外的绿色植物为主要食物的杂食昆虫,栖息、繁殖和生长蝗虫的过程与其生育环境条件有着密切的关系。国际上从 20 世纪 70 年代就开始探索利用卫星遥感数据和 GIS 技术监测蝗虫灾害。这些研究一般都是对发生蝗灾地区面积、程度和损失的评估、飞蝗出土水热条件(土壤温度和土壤湿度条件)、植被覆盖度、气候等生育环境要素统计数据与遥感图像解译等方面的研究。防灾减灾的关键是预测与预警,根据灾后信息的监测是很难做出有效的预测与预警。目前,我国蝗虫预报基本上还是沿用老蝗区防蝗站现场观察体系,这个预报体系还难以实现大面积的、实时对蝗灾的监测和预报。利用现代信息高技术对飞蝗出土水热条件、植被覆盖度、植被指数、叶面积指数、气候等生育环境要素大面积提取与分析,结合地面资料是准确预报灾情,治理蝗灾的有效之路,也是当前我国蝗灾预测与防治的薄弱环节。

本研究选择环渤海湾东亚飞蝗灾害具有典型意义的天津大港独流减河下游泻洪区芦苇地和河北省黄骅老蝗区,于 2001 年 4~6 月,2002 年 4~6 月分别在东亚飞蝗经常发生的老蝗区天津北大港水库,河北省黄骅市齐家务乡杨官庄、南大港水库等地进行过多次实验,实验时间与卫星过顶时间同步。通过地面 16 个样地,每个样地 1000m×1000m,一个样地选择 5~6 个样点,每个样点 1m×1m。主要测试飞蝗孵化期的地表辐射、水热等 3 个参数,蝗蝻生长期植被光谱、植被指数、叶面积指数、植被覆盖度和样方植被重量、蝗虫个数(有条件情况下)等 6 个参数和成虫期的 7 个参数,还包括蝗蝻生长期的地表水体分布情况。与此同时接收的 MODIS 数据可以实现反演上述参数的要求,同时利用 TM/ETM+数据分类图提取飞蝗灾害面积分析可能的迁移地和聚集地。通过研究初步揭示生境特征变化与蝗虫种群发生、发育之间的相关关系和遥感机理。

在理论上提出了遥感三个阶段蝗灾监测的新论点。通过大量的野外光谱测试、样方统计结果和遥感信息的响应,我们将飞蝗成灾期(4~6 月)的 5~7 阶段生育周期归并成遥感可以探测的孵化期、发育期、成虫期特征,并且建立了这三个阶段的遥感探测参数和指标。这些指标为建立遥感蝗灾监测的运行系统提供了理论和实验基础,为防治东亚飞蝗工作开辟新的途径。

1.1 研究意义

1.1.1 东亚飞蝗灾害

1. 东亚飞蝗灾害对我国农业的威胁

蝗灾属于毁灭性的生物灾害,一旦暴发,对国家粮食安全、农民增收、社会安定可造成严重的影响。考证中国历史上发生的 940 次蝗灾中,有 90% 以上是由东亚飞蝗引起的。中国史书上曾把“蝗灾、水灾、旱灾”并称三大自然灾害,史书上记载“飞蝗蔽天,赤地千里,禾草皆光,饿殍枕道,人饥相食”等蝗灾惨状不胜枚举。东亚飞蝗主要以禾本科芦苇、稗草、小麦、玉米、高粱、水稻等为食物,最喜欢吃芦苇,一般选择在芦苇地、茅草地、河堤等处产卵。东亚飞蝗在我国的发生区主要分布于渤海湾、黄河中下游河滩、淮河中下游及其行洪区、华北一些洼淀水库、内涝洼地及海南等地区。

近年来,随着全球气候变暖、气候干旱和异常导致黄河断流,沿海、河泛、滨湖的水位变动,以及农田撂荒、耕作粗放和生态植被的破坏,加之对蝗灾的监测、治理及进一步研究等方面有些放松,使得在老蝗区延续的同时,不断出现一些新的蝗区,蝗虫的大发生频率上升,危害程度加重。据专家分析,今后几年我国蝗虫发生趋势将进一步加重。20 世纪 80 年代中期以来,东亚飞蝗在我国大发生间隔期由原来的 5 年一暴发缩短到 3 年一暴发。90 年代后期,蝗虫几乎连年发生,且发生面积不断扩大。“久旱必有蝗”,干旱的气候条件决定我国蝗虫发生将进一步加重。

据农业部的统计,1995 ~ 2000 年期间(夏、秋),全国蝗虫发生面积累计达 12 000 万亩^①,2001 年夏蝗发生面积比常年增加 50%,引发了 30 年来历史上罕见的蝗虫特大暴发。2002 年适宜东亚飞蝗孳生为害的面积达 2700 余万亩,比 2001 年扩大了 10%;东亚飞蝗的发生面积约 2200 万亩,涉及津、冀、晋、辽、吉、苏、皖、鲁、豫、琼、川、藏、陕、新 14 个省(市、区)200 多个县,从总体看 2002 年蝗虫仍是偏重发生年份。2002 年,天津有蝗区县占到天津市区县的 50% 以上,其中大港区有 35 万亩土地发生蝗灾,密度达 1000 ~ 5000 头/m²,远高出国家规定的每平方米 0.5 头的防治标准。

2. 东亚飞蝗在世界蝗灾中的地位

蝗灾是一种世界性的农业生物灾害,全世界约有 1/3 的大陆,包含近 100 个国家或地区不同程度地受到蝗灾的威胁(图 1.1),其中尤以非洲和亚洲的一些国家蝗灾发生最为频繁,危害也最重,而大洋洲、欧洲和南美洲国家的蝗灾发生较轻。

从蝗灾的形成来看,可将其划分为暴发性蝗灾和慢发性(或缓发性)蝗灾两类灾变类型。暴发性蝗灾主要是由一些具有暴发性、群集性和迁飞性的蝗虫引起,这类蝗灾往往是间歇性发生,一旦发生,不仅涉及面广,而且来势凶猛,致灾严重,典型的如沙漠蝗

^① 1 亩 = 666.7m²。

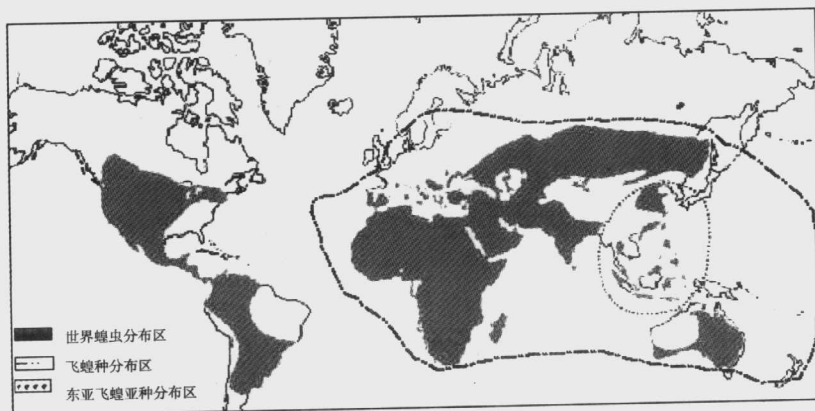


图 1.1 全球可能遭受蝗虫危害的区域(据朱恩林,2002 改编)

(*Schistocerca gregaria* Forskal)和东亚飞蝗(*Locusta migratoria manilensis* Meyen)等蝗虫引起的灾害;慢性蝗灾则主要是由地区性蝗虫或其他非迁移性蝗虫引起,这类蝗灾常年有发生,但多属于较小的地域范围,且致灾程度相对较轻,典型种类如中华稻蝗(*Oxya chinensis* Thunberg)、西伯利亚蝗(*Gomphocerus sibiricus* L.)、意大利蝗(*Calliptamus italicus* L.)等。

根据世界蝗灾发生历史资料分析,对农业生产危害最大的蝗虫种类应是沙漠蝗和飞蝗(*Locusta migratoria* L.)两个种类。沙漠蝗在千年历史上是引发非洲蝗灾的头号害虫,其大暴发年份的侵袭区可波及整个非洲大陆、中东以及地中海沿岸的 57 个国家,总面积达 2900 万 km^2 。仅 20 世纪以来,沙漠蝗就已有 5 次大发生,即 1913 ~ 1919 年、1926 ~ 1934 年、1941 ~ 1948 年、1950 ~ 1962 年和 1986 ~ 1990 年。

近几次蝗灾每次都波及 30 ~ 40 个国家和地区。尤其是 20 世纪 80 年代中后期发生的这次蝗灾,使非洲数百万公顷的作物和草原受到毁灭性打击,并导致了严重的饥荒。为此,有人曾将此次沙漠蝗灾比喻成在非洲大陆爆炸的“生物炸弹”。

从世界飞蝗各亚种的分布范围看,东亚飞蝗、亚洲飞蝗和非洲飞蝗这三个亚种的分布范围较为广泛,但从暴发频率和致灾程度来看,东亚飞蝗的发生最频繁、成灾最严重,其次是非洲飞蝗和亚洲飞蝗。因此,从全球蝗灾的构成成分来看,东亚飞蝗的暴发与否,对蝗灾的形成具有十分重要的影响。

1.1.2 遥感监测东亚飞蝗的意义

1. 国家对蝗害的重视

为了尽快扼制当前蝗虫猖獗势头和持续治理蝗害,2002 年 2 月国家计委发布“高技术控制我国蝗灾产业化专项的公告”。其内容为:①把控制蝗虫危害作为一项重大的、应急的防灾减灾工程,纳入国家计划,对特效药剂、施药机具和监测设备的产业化生产,综合防治配套技术示范应用;②强化监测和信息传递等基础设施建设,引进遥感技术、地理信息系统、全球定位系统等信息技术,研究建立蝗虫灾情预警体系等可持续控制技术措施,全面增强我国对蝗灾的预测预警能力。

2. 蝗灾频发原因与蝗灾监测体系

近几年,新蝗区不断产生,老蝗区蝗害反复,蝗虫的大发生频率上升,蝗灾发生呈现不断加重趋势,其原因如下。

(1) 由于近几年气候异常,持续不断的干旱使内陆湖、水库水面大幅度缩小、水位下降,河流流量减小,湖滩、河滩面积显著增加,为蝗虫提供了更多的适生区,形成了大面积脱水新蝗区,有利于蝗虫孳生。

(2) 气候干旱、土壤沙化和盐碱化的影响,农业生态环境发生了很大的变化,致使新蝗区不断产生,老蝗区蝗害反复,蝗虫的大发生频率上升,危害程度加重。

(3) 一些地区实施退耕还湖、还草、还林、还滩等生态保护措施和一些工程带来的不利影响,也导致蝗虫孳生地得以扩张,给蝗虫提供了大量的适生环境。

(4) 近年蝗虫发生基数大,防治后的残虫量较高,虫源自然累积增加。由于前一年防治不彻底,秋残蝗面积大、密度高,为下一年蝗虫再度发生留下隐患。

(5) 受周边国家蝗灾的影响。近年哈萨克斯坦等国外蝗虫的迁入,提供了大量虫源。而当前我国蝗虫预报基本上沿袭了老蝗区防蝗站现场观察的传统预报体系。这个预报体系难以进行大面积的实时、快速监测,尤其是对新发生蝗区很难做到及时、快速的预报,在这种情况下又经常会因延误防治时期而使蝗灾大发生,造成严重危害。而用遥感和 GIS 相结合就是实现信息化监测和预防的手段之一。

3. 监测东亚飞蝗灾害的有效方法

联合国粮食开发署于 20 世纪 80 年代就建立了遥感与 GIS 监测非洲和西亚地区的蝗灾监测运行系统,监测结果在网站发布;澳大利亚成立国家蝗灾委员会,建立了国家级蝗灾监测运行系统,同时动员全社会通过网络和通信设备及时通报见到的蝗虫情况,这些方法在防蝗治蝗中发挥了重要的作用。利用现代高技术结合我国蝗虫监测网站,建立天地一体化的蝗虫监测体系,提高蝗虫灾害的预测预警能力是有效防治蝗灾的有效技术途径,这个技术途径应当包括以下基本内容:

(1) 利用遥感的实时、快速、覆盖范围广的特点,通过对东亚飞蝗在不同生长发育阶段与生境之间的相互影响的遥感全发育过程的监测,可以提供蝗虫及其栖境的实时或准实时信息。

(2) GIS 以其强大的数据分析和处理功能,为蝗虫发生信息数据库建立的及时快速分析、处理与集成提供了强有力的工具。

(3) 遥感数据与 GIS 结合,可以对蝗虫生育特征、历史蝗灾记录、蝗害发生时有关数据进行集成和分析,提供蝗灾时空变化地点、蝗灾范围、蝗灾程度、灭蝗的最佳时段等信息。

(4) 利用现代通信设备和网络收集和发布蝗灾现势信息。

因此,依靠遥感等高新技术实现飞蝗灾害监测的信息化,监测与防蝗站观测体系密切相结合的方法,将成为监测蝗灾发生的最有效途径。

1.2 国内外蝗虫遥感监测研究的现状

1.2.1 国外研究现状

世界上有近 60 个国家经常受到蝗虫灾害的侵袭。蝗虫的繁殖和迁徙与当地气候的温度、湿度和地面水分含量及农作物生长状况等环境因素密切相关。基于“3S”技术的飞蝗预测预警系统在国外相继问世。例如,英国爱丁堡大学与英国国立自然资源研究所(NRI)、联合国粮农组织(FAO)联合研制并安置于联合国粮农组织总部(罗马)的沙漠蝗预警管理系统 SWARMS,可对大范围区域的沙漠蝗进行动态监测。澳大利亚国家蝗虫防治委员会(APLC)近年来也开发了一个基于“3S”技术的飞蝗预测预警系统。该系统可将卫星图像数据、通过高频无线电 MODEM 接收带的蝗虫发生的实地调查数据、通过 Internet 获得的气象数据以及蝗虫预测模型(GENSECT, DYMEX)相集成。系统已成功地应用于对飞蝗进行实时或准实时动态监测和预警。印度计划建立一个基于航空数据、低地轨道卫星数据(印度遥感卫星 IRS、Landsat)、气象卫星(NOAA)数据的综合数据收集系统,用于作物虫害/虫灾预报和作物长势监测。

国外从 20 世纪 70 年代就已开始,用遥感技术来监测蝗虫适生基地的规模和适合度。最初使用的是 Landsat MSS 图像,用于对飞蝗的生境条件和产卵、蝗虫的暴发与其适生基地的关系等进行监测,如 Pedgley (1973)和 Hielkema(1977, 1980)用卫星图像监测澳大利亚的蝗虫适生植被及其动态。80 年代,主要用遥感植被绿度(McCulloch 等 1983),植被指数(Hielkema 1986),或植被绿度与土壤水分结合(Tucker 等 1985)推断蝗灾发生区。但根据遥感植被指数判断蝗虫密度时,需配合地面调查,才能得到可靠结果(Bryceson 1989)。从 90 年代初起则开始使用空间分辨率更高的 TM 图像。此外,从实现动态监测角度出发,又尝试采用空间分辨率低,但时间分辨率较高的 NOAA/AVHRR 图像如采用 NOAA/AVHRR 遥感数据和地面目测数据结合来确定沙漠蝗繁殖地区的植被指数。也有遥感植被指数结合 GIS 或遥感植被指数和 GIS 综合降雨模型监测沙漠蝗的分布区域(Cherlet 1991)的报道。GIS 在飞蝗监测中的应用始于 80 年代末到 90 年代初,主要用于飞蝗发生及其影响因子数据的分析、处理以及飞蝗预测模型的集成。GIS 在国外已被用于害虫的适宜生育风险评估,空间分布动态监测和发生预测。Johnson (1989)用 GIS 研究了历史上蝗虫暴发与土壤特征、降雨的相关性,实现了发生量的预测并生成了发生程度的空间分布图,但采用的是地方特有的路边和田间数据建立的统计预测模型,应用范围局限于本地。

蝗虫的个体不大,不可能从卫星遥感图像上直接予以识别。但大量研究表明,蝗虫的栖息、生长、繁殖与特定的生境(habitat)有密切的关系。因此,20 世纪 70 年代开始的早期遥感研究,就采取了这一思路。例如, Pedgley, Hielkema 分别对澳大利亚昆士兰州西南部及澳大利亚东南部地区的研究表明,使用 Landsat/MSS 图像可对蝗虫赖以生存的绿色植被及其动态做出有效的监测。McCulloch 等的研究,不仅从 MSS 图像上区分出蝗虫的生境,而且还通过蝗虫生境的绿度(Greenness)及其特征的识别,去推断可能发生蝗灾的区域。

20 世纪 80 年代初期 Tucker 等的研究则有了改进。他们的研究地区是北非、中东一带及印度、巴基斯坦等国的干旱区域。由于沙漠蝗一般都出现在发生过降雨的地区,因此他们的研究方法是用遥感技术同时对绿色植被和土壤水分进行监测。对绿色植被生物量进行监测的依据,是遥感红色波段与近红外波段对植被光谱反射特征响应的区别。同时他们还考虑到了遥感图像的空间分辨率与时间分辨率问题。就空间分辨率而言,所选定的遥感图像的空间分辨率要适当,即能够对沙漠蝗发生的整个区域的绿色植被生物量同时做出监测,以便在地表物质的光谱特征反映上有可比性;就时间分辨率而言,沙漠蝗的动态监测要求有较高的时间频率。基于这些考虑,他们在研究中分别采用了 Landsat/MSS、TM、SPOT 及 NOAA/AVHRR 图像。此外,他们在选择卫星图像时,特别考虑到了沙漠蝗的生境在分布规模上的差异。例如,在毛里塔尼亚、沙特阿拉伯、乍得、苏丹、阿曼、印度和巴基斯坦等地,常可发现规模在 20km^2 或更大一些的沙漠蝗生境。因此,在这些地区他们采用空间分辨率约为 4km^2 的 NOAA/AVHRR 的 GAC 资料;而在北非的干谷(wadi)地区,则宜采用空间分辨率为 1.1km^2 的 NOAA/AVHRR 的 LAC 资料;而在印度与巴基斯坦毗邻处的塔尔沙漠,除了采用以上两种 NOAA/AVHRR 资料外,还使用了 Landsat/MSS 资料,发现这两类遥感图像都对绿色植物的生物量较为敏感。他们的研究结论是,为了有效地监测与沙漠蝗有关的绿色植物生物量,最好选用空间分辨率较小、但仍能充分反映绿色植被状况、并有合适时间分辨率的遥感图像。

20 世纪 80 年代后期,研究人员开始注意开展遥感植被指数与蝗虫关系的研究。例如, Hielkema 等为研究 1980~1981 年间北非西北部沙漠蝗暴发的生境条件,利用所选 7 个时相的 NOAA/AVHRR 的 GAC 资料,在对遥感图像进行几何校正和辐射校正之后,计算出了近红外波段与红色波段的归一化差异植被指数(NDVI)。然后,据所获得的 NDVI 数据,进一步对 3 个生态区域的特定时相计算出沙漠蝗的“潜在繁殖因子”,计算公式为

$$\text{潜在繁殖因子} = (A \times 10^0 + B \times 10^1 + C \times 10^2 + D \times 10^3)/T$$

式中: A 为 NDVI 值在 $-0.04 \sim 0.04$ 之间的像元数; B 为 NDVI 值在 $0.04 \sim 0.1$ 之间的像元数; C 为 NDVI 值在 $0.1 \sim 0.16$ 之间的像元数; D 为 NDVI 值在 0.16 以上的像元数; T 为 A 、 B 、 C 、 D 之和。

“潜在繁殖因子”可按经纬度格网或其他格网进行计算。结果表明,“潜在繁殖因子”与实地所记录的沙漠蝗的密度之间存在着较显著的正相关关系。这说明,“潜在繁殖因子”是监测沙漠蝗的一种重要指数,它可用于指导沙漠蝗的实地防治。

Bryceson 在澳大利亚新南威尔士州的研究,也是计算 Landsat/MSS 7 和 5 两个波段的 NDVI 值,原因是 NDVI 值与植被生物量之间存在很好的正相关关系;但在林地区域,尽管其 NDVI 值高于草地区域的 NDVI 值,可是实地调查发现,那里沙漠蝗的密度并不高,原因是林地不像草地那样有利于沙漠蝗的繁殖。由此可见,在根据遥感图像的 NDVI 值去判断沙漠蝗的密度时,必须同时开展必要的地面检验,这样才能得到较为可靠的结果。

进入 20 世纪 90 年代以来,在遥感技术用于蝗虫的监测上有了进一步的进展。这一阶段的重要特点,是将遥感技术与地理信息系统(GIS)技术相结合去进行蝗虫的监测。例如, Voss 等 20 世纪 90 年代初在北非苏丹红海沿岸一带的研究,这一地区是典型的沙漠蝗繁殖区域之一。在研究中,他们选用了 1988 年和 1991 年的 6 景 Landsat/TM 图像。首

先,在室内对 TM 图像进行预判,并对与蝗虫生境有关的自然特征进行分析,确定沙漠蝗的有代表性的生境类型;然后,在野外对蝗虫生境进行实地调查,并在 GPS 的协助下对生境类型计算机分类中所用的训练区进行准确定位,同时还详细收集了该地区的历史蝗灾资料;在此基础上,利用最大似然分类法完成了 TM 图像的沙漠蝗生境类型监督分类;此外,还利用 GIS 技术,对沙漠蝗生境的有关参数进行数据建库、分析与成图,并将其与遥感生境分类图像进行复合,从而获得研究区的“沙漠蝗潜在繁殖区分布图”。图上表示出各类生境分别针对沙漠蝗的发生、繁殖和群聚的潜在可能性评价结果,将其用于指导地面沙漠蝗防治队伍进行有针对性的防治。2001 年,德国柏林工业大学地理研究所的弗雷斯约夫·福斯教授主持这项试验,他首次在野外草原上蝗虫聚集的地方放置了包括可见光、热红外和声音传感器的数字遥感器,收集有关蝗虫活动的数据。这些数据通过短波传输到设在玛纳斯蝗虫鼠害预测预报防治站的数据分析站,然后由电脑解译蝗虫的密度,预测预报蝗害程度。他已经在北非和中国的青海湖周围的地区进行了多年的蝗虫监测试验,分别取得了不同程度的成功。在新疆的试验结果将用于完善和改进基于数码技术的蝗害前期预测预报系统。

近年来,国外在将 GIS 技术用于蝗虫的防治上已有一些初步研究,例如, Schell 等在美国怀俄明州的研究。在研究中,他们系统地收集了该州 48 年内的历史草地蝗虫发生资料,并利用 GIS 技术将每年的蝗虫分布图与行政区界线图相叠置,历史上蝗灾发生的具体位置则借助 GPS 予以确定。在此基础上,编制了该州“蝗虫成灾频率图”。结果发现:在 48 年内,怀俄明州有 63% 的地区蝗虫的密度不足 $10 \text{ 头}/\text{m}^2$,即未超过所确定的应予防治标准;18% 的地区为 5~10 年发生虫害;仅有 4% 的地区在 10 年以上发生虫灾。在较为严重的重灾区,48 年内有 21 年成灾。最为严重的虫灾分别发生于 1947 年和 1987 年,面积均超过 $400 \text{ 万 } \text{hm}^2$;最不严重的虫灾发生于 1944 年和 1989~1994 年间,面积也都不足 $30 \text{ 万 } \text{hm}^2$ 。此外,他们还利用 GIS 对地形(高程)、土壤、降水及潜在蒸发蒸腾等与蝗虫发生有关的参数进行了综合分析,即开展生境类型对蝗灾可能暴发的“敏感性”是找出应优先考虑进行蝗虫防治的地点。由于他们的研究对蝗虫潜在发生的地点和范围能做出估计,因而研究成果具有很高的实用价值。

1.2.2 国内研究现状

国外的研究经验表明,为了有效地对蝗虫进行防治,应在继续从昆虫学角度进行深入研究的同时,开展蝗虫与其栖境因素关系的定量综合研究,以阐明蝗虫发生的内部原因和外界环境条件,尤其是蝗虫发生与外界环境因子的时空动态变化规律。在研究手段上,越来越重视模型的构建及遥感、地理信息系统等先进技术的应用,将它们作为蝗虫发生预测的基本手段。

我国昆虫学家在飞蝗及其防治上做了大量卓有成效的研究。研究内容涉及飞蝗的种群结构、地域分布、形态学、组织学、食性、生殖以及迁飞规律。在飞蝗的发生机理和数量预测方面,马世骏、邱式邦、印象初、丁岩钦等先生做了许多有意义的探索和卓有成效的贡献,如:①气象气候、地形、土质、植物等自然因子及人为因子与飞蝗发生之间关系的分析。②“三查”(查卵、查蛹、查成虫)为中心的飞蝗数量预测方法。③飞蝗发生区农业植

保部门的技术人员飞蝗的实地调查、研究和防治措施等方面工作。然而,由于飞蝗分布的地理范围很广,情况相当复杂,而且飞蝗又有很强的迁飞能力,因此从监测和防治的角度来说,单纯从昆虫学角度研究飞蝗会有一些不足。

国内从 20 世纪 90 年代也开始了应用地理信息系统和遥感技术进行蝗虫防治的探索。例如,南京师范大学倪绍祥教授 1996 年开始与青海省草原总站的有关技术人员,以及德国柏林工业大学地理研究所 F.Voss 教授和美国怀俄明大学农学院蝗虫研究中心 J.A.Lockwood 教授合作,在青海湖地区对草地蝗虫的发生及其动态变化规律进行了较深入研究,同时,他们还就草地蝗虫的预测模型和预测系统进行了初步的探索。

在本专著介绍的研究是对东亚飞蝗灾害的研究。2001 年,笔者与澳大利亚蝗虫防治委员会合作,在渤海湾地区开展了飞蝗遥感监测机理与预测方法实验的研究工作。从而,拉开了针对东亚飞蝗和飞蝗灾害的遥感监测理论、技术和方法进行全面系统研究的序幕。

1.3 主要研究内容和技术路线

1.3.1 主要研究内容

主要包括以下五个方面的内容。

(1) 蝗虫生物特性,包括研究飞蝗生活习性、种类、种群密度等。

(2) 蝗虫生存环境的样方统计,包括土壤温度、土壤水分、植被生物量、植被光谱、植被指数、蝗虫头数、蝗灾面积、蝗灾程度等;建立研究区的飞蝗生境的遥感数据库、光谱数据库等背景信息数据库。历史数据库和预测数据库。

(3) 同步遥感 MODIS 高时间分辨率的土壤温度、土壤水分、植被生物量、植被光谱、植被指数等地表参数反演,建立模型库;同步遥感 TM/ETM+ 聚类发现受灾面积和潜在蝗群迁移方向。

(4) 飞蝗生物特性、野外样方统计计算结果以及卫星反演参数的相关分析,包括:分析飞蝗种群密度、生境遥感指标与地面光谱之间的相关关系;建立飞蝗种群密度、生境遥感指标、地面光谱、遥感影像之间的相关关系。

(5) 东亚飞蝗灾害三阶段遥感监测新模式技术体系。应用遥感数据对蝗虫栖息地生境特征及蝗害发生不同阶段进行多尺度多时相连续监测和分析,揭示生境遥感特征变化与蝗虫种群发生、繁育之间的关系机制,并建立多要素蝗灾与生境遥感因子动态变化相关模型。包括:遥感对飞蝗发生发展的全程监测模型;土壤温度反演模型;土壤水分反演模型;生物量反演模型;综合分析模型;利用多元数据融合和数量分析方法建立蝗虫种群密度-栖境指标-遥感影像之间的定量模型;蝗灾发生的预测预警和灾情评价模型;蝗灾预测模型和灾情评价模型。

蝗虫是否大规模的暴发,取决于土地覆盖(如荒滩),气候条件(如干湿变化),历史情况(如上年是否有卵遗留)等各种因子,因此根据当地的生态环境因子和历史数据就可以预报蝗虫发生的动向。