

文章编号: 1007-4619 (2004) 040-0370-08

基于东亚飞蝗生育周期的遥感蝗灾监测新模式

马建文, 韩秀珍, 哈斯巴干, 王志刚, 燕守勋, 戴 芹

(中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

摘要: 当前, 国际遥感蝗灾监测的技术路线一般是爆发蝗灾后受损面积、程度的监测与评价, 研究灾害的有效预警与预测方法, 对防灾减灾更具有现实意义。通过连续 2001、2002 年连续实地对渤海湾夏蝗孵化期、生长期和成虫期等 7 个阶段的野外观测, 对蝗虫生境物理和生物依赖条件样方统计、光谱测试和遥感机理实验, 提出了“飞蝗生育周期遥感三段监测”的论点, 根据这个论点将遥感监测设计为 3 个阶段: (1) 孵化期水热条件遥感反演; (2) 生长期食量猛增遥感监测芦苇叶面积指数和植被盖度变化; (3) 成虫期寻找新食源对芦苇盖度(温度)和地表水条件, 进而对聚集条件和迁移方向的分析指导灭蝗。有效发挥了遥感连续动态观测的技术特点, 为建立环渤海湾东亚飞蝗遥感监测体系提供了基本技术路线, 介绍的思路与方法也可以对森林病虫害等大规模突发病虫害起到借鉴作用。

关键词: 东亚飞蝗; 飞蝗生育周期; 遥感三阶段监测

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A

1 引言

近年来, 中国 14 个省 200 多个县, 爆发蝗虫灾害, 对中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中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, 本文就是在该项研究的基础上完成的。

东亚飞蝗是以绿色植物为主要食物的杂食昆虫, 飞蝗的卵孵化、生长成虫、繁殖最后成蝗灾的 5—7 个发育过程与其生长发育生物物理条件有密切的关系。根据飞蝗生长发育规律我们以东亚飞蝗生物特性与遥感信息机理之间的关联作为切入点, 以野外实验为基本方法, 选择环渤海湾老蝗区为研究实验区, 于 2001 年 4—6 月, 2002 年 4—6 月分别在天津北大港水库独流减河流域, 河北省黄骅市齐家务乡杨官庄、南大港水库等地进行了多次实验。

研究目标是建立蝗虫孵化期、发育期、成虫期成灾 3 个阶段生境的物理生物特征与遥感响应之间的相关关系。(1) 虫卵孵化需要的土壤水热条件的测试和遥感探测; (2) 生长发育阶段蝗虫以芦苇作为栖息地, 以芦苇叶子作为主要食物, 这个阶段的主要测试芦苇盖度和叶面积减少量及其反射光谱特征的测试; (3) 通过爆发地、芦苇生物特征变化与地表水体之间的综合分析预测蝗虫的迁移和方向和聚集地^[1-4], 见图 2。充分利用 MODIS 卫星资料时间分辨率和 Landsat 高空间分辨率遥感资料对蝗虫栖息地生境变化特征进行多尺度多时相连续监测和分析, 结合地面观测数据, 揭示生境特征变化与蝗虫种群发生、发育之间的关系机理, 建立蝗虫种群密度-生境指标-地面光谱-遥感影像之间的定量指标, 为遥感监测蝗害发生发展过程和防治途径提供科学方法。

2 东亚飞蝗的地理分布与区域温度条件的关系

当前中国的东亚飞蝗监测体系基本上是沿用了

收稿日期: 2003-06-16; 修订日期: 2003-07-17

基金项目: 国家科技攻关项目(2002BA904B07-2); 中国科学院知识创新项目(CX020014)。

作者简介: 马建文(1955), 湖南湘潭人, 研究员, 博士生导师, 1990—1991 年入选中国科学院百人计划, IEEE 会员, 遥感学会理事。主要研究方向: 遥感弱信息模型; 智能处理和变化检测, 发表专著 2 部, SCI 论文 5 篇; EI 论文 14 篇; CSCD 论文 30 余篇。

20 世纪 50 年代建立的地面站点体系。根据 20 世纪 80 年代和 90 年代的全国蝗区勘察结果,东亚飞蝗的频发区涉及天津、河北、山东、陕西、山西、安徽、江苏与海南等 9 个省(直辖市),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、华北一些洼淀水库和内涝洼地等。东亚飞蝗的分布区域属于中国东部季风带,海拔 500m 以下的丘陵和广阔的原野区。在地理位置上,东亚飞蝗在中国大陆的分布区北界在北纬 42°左右,西界可沿渭河河谷延伸至东

经 106°58' 的宝鸡,往东可达东经 122°的山东胶东半岛,分布的南界至北纬 18°10' 的海南岛^[5,6]。

将东亚飞蝗分布图与 400 个常规站点气象数据空间变化图对比发现,东亚飞蝗分布界限与 3—4 月份平均气温梯度 13°和多年平均气温梯度 13°非常接近,这个现象揭示了东亚飞蝗卵孵化的底线温度为东亚飞蝗与西藏飞蝗、亚洲飞蝗的分布界线,同时也说明东亚飞蝗对温度的依赖特点,5—6 月出现的 20°以上的温度是飞蝗生长的最适宜温度(图 1)。

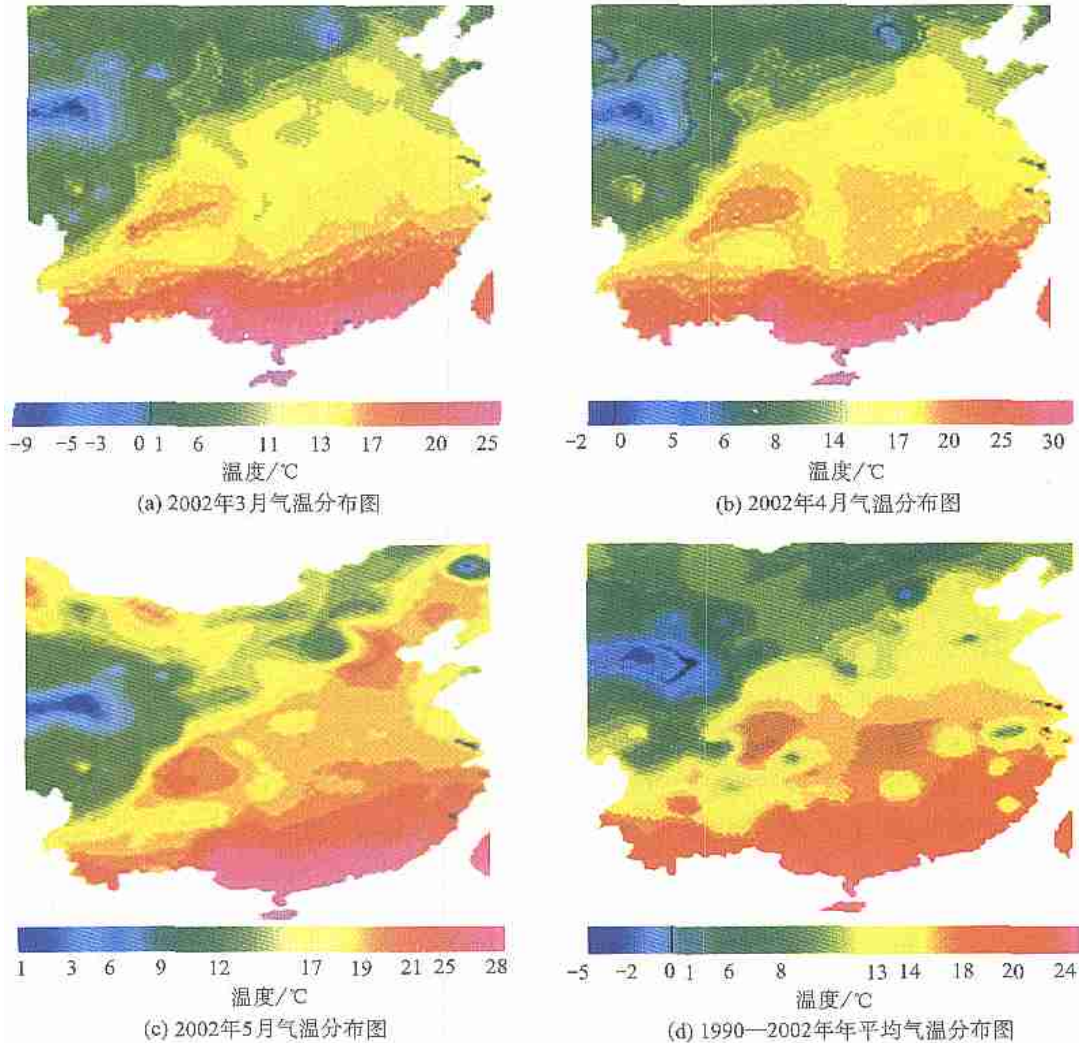


图 1 (a), (b), (c)2002 年 3—6 月中国局部平均气温空间 TIN 插值图, (d)为 1990—2002 年年平均气温分布图

Fig. 1 (a), (b), (c)are TIN maps of March to June average T of part China in 2002, (d)is TIN map of 5 years average T of part China from 1990 to 2002

3 东亚飞蝗生育周期遥感三阶段监测模式实验与分析

有着栖息相关关系,在孵化期,对水热环境条件的要求比较高,有着密切的关系;蝗蛹的若虫期以芦苇为主要食物,成虫期的迁移与聚集与芦苇盖度条件、地表水体关系密切^[1-4]。为了建立遥感三阶段监测新模式,在天津北大港选择了 8 个样地和河北黄骅选

择了 6 个样地, 每个样地为 $1000\text{m} \times 1000\text{m}$, 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); 测量时间选在上午 10 时与 Landsat 同步和下午 2 时与 MODIS 过境时间接近。

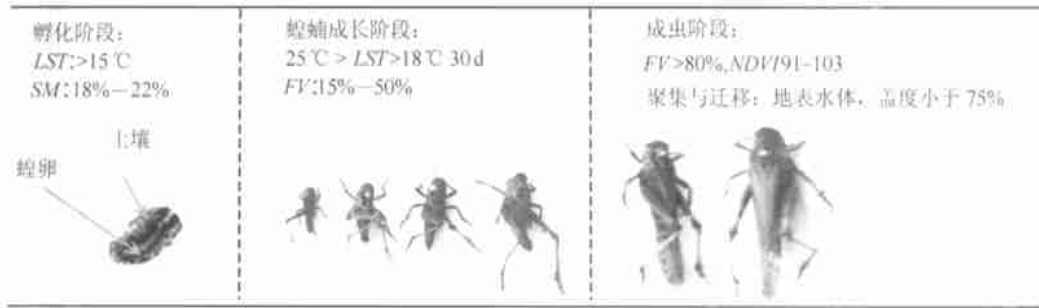


图 2 东亚飞蝗成长 5—7 个阶段与遥感监测划分 3 个阶段

Fig. 2 East Asian Migratory locust 5—7 breeding phase and 3 stages for remote sensing

3.1 地表温度(LST)时间序列变化曲线

地表温度和湿度是影响东亚飞蝗分布最重要的环境因素。特别是旱涝或干湿交替, 是东亚飞蝗发生区的重要气候特征。东亚飞蝗的发育起点温度为 15°C , 蝗蛹的发育起点温度为 18°C , 整个生育期要求 25°C 以上的天数不少于 30 天, 冬季 5—10cm 土温在 -15°C 以下时, 蝗卵难以越冬。据观察, 日均气温在 -10°C 以下超过 20 天或 -15°C 以下超过 5 天的地区, 东亚飞蝗的卵不能安全越冬。因此, 根据上述低温的等温线可找到东亚飞蝗的分布北界。

东亚飞蝗的蛹期所经历的积温, 随温度高低而异。在 35°C 恒温中, 蝗蛹积温需 356.48 日度, 而在 $28-34^{\circ}\text{C}$ 变温中, 蝗蛹积温为 304—372 日度。在恒温 25°C 中, 蝗蛹的发育天数为 41.2 天; 在 35°C 中为 20.12 天。在东亚飞蝗成虫发育、产卵阶段及卵的孵化时期, 遇到雨水调和的气候, 能提高蝗虫产卵量、蝗卵的孵化率和幼蛹成活率。图 3 为 2002 年 4 月 27 日至 6 月 16 日天津北大港水库 9 天 MODIS 反演的亮温图像与地面 8 个样地对应点的时间序列 12 条温度变化曲线, 其地表温度大致在 295K (21.84°C)— 315K (41.84°C) 之间变化, 符合东亚飞蝗的生长发育的温度条件。

3.2 地表湿度(SM)时间序列变化曲线

土壤是东亚飞蝗产卵的场所, 因此, 东亚飞蝗对土壤的理化性、含水量、含盐量以及表土的松紧度都有较强的选择性。一般来看, 东亚飞蝗分布区尤其是孳生地的土壤通常是略为板结的盐碱地。调查研究表明, 东亚飞蝗对土壤的含水量也有较强的选择

性, 一般沙土含水量在 $8\% - 12\%$ 、壤土含水量在 $15\% - 18\%$ 、粘土含水量在 $19\% - 22\%$ 时适宜飞蝗产卵和生存。因此, 土壤的含水量也是东亚飞蝗分布的重要制约因素。图 4 为 2002 年 4 月 27 日至 6 月 16 日天津北大港水库 9 天 MODIS 数据反演并且与地面 8 个样地对对应点的 12 条地表湿度变化曲线, 其地表土壤湿度大致在 $5\% - 30\%$ 之间变化, 基本符合东亚飞蝗的生长发育的土壤湿度条件。

3.3 归一化植被指数(NDVI)时间序列变化曲线

从 4 月末到 6 月初, 植被指数是逐渐增大, 而从 6 月 11 日开始植被指数开始不稳定的波动变化, 大体上具有减小的趋势。而这种原因主要是由于 6 月初开始大部分东亚飞蝗若虫蜕化成成虫, 有一些飞蝗已经有了迁飞的能力, 此时东亚飞蝗食量大增, 对食物的需求量也大增, 而在我们实验区, 北大港水库和黄骅南大港水库东亚飞蝗的食物来源主要为芦苇, 我们在当天做的野外实验中研究区有些样本的芦苇被东亚飞蝗吃的只剩下 1—2 片叶子, 有的甚至已经被吃成了光杆, 而且面积在增大。图 5 为 2002 年 4 月 27 日至 6 月 16 日天津北大港水库 9 天 MODIS 反演的 NDVI 图像与地面 8 个地面样地对对应点的时间序列 12 条 NDVI 变化曲线。

3.4 植被覆盖度(f_v)时间序列变化曲线

植被覆盖度对飞蝗的分布也有影响。据观察, 蝗区的植被覆盖度一般在 75% 以下, 而最适宜的植被覆盖度在 $15\% - 50\%$; 覆盖度超过 80% 很少有蝗虫分布, 盖度高地表温度会减低, 同时也不利于蝗虫迁移^[3,5]。不同的东亚飞蝗孳生区, 其植被群落结构有较大的差

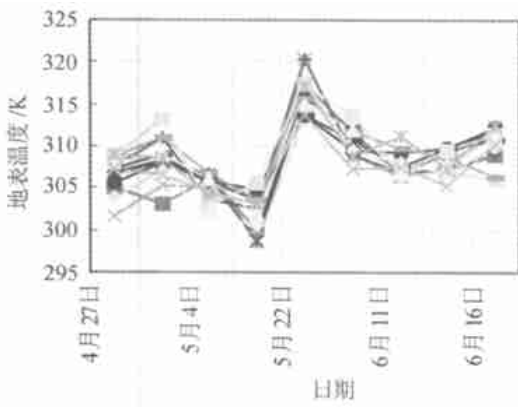


图 3 地表温度时间序列变化曲线(2002 年)

Fig.3 Temporal change curves of surface temperature

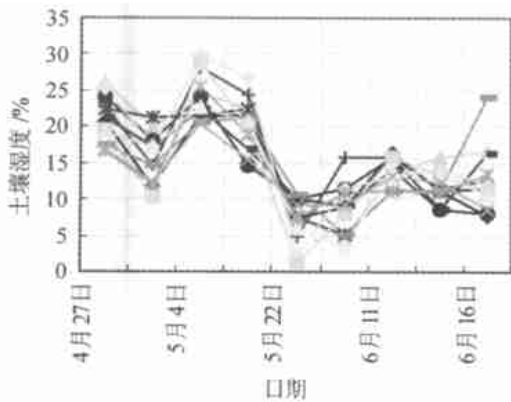


图 4 土壤湿度时间序列变化曲线(2002 年)

Fig.4 Temporal change curves of soil moisture

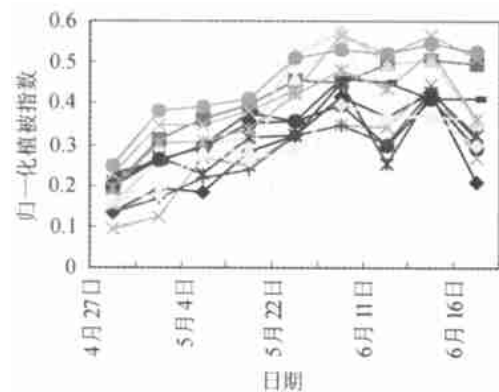


图 5 植被指数时间序列变化曲线

Fig.5 Temporal change curves of NDVI

区的植被覆盖度在 15%—75%。湖库(淀)蝗区和河泛蝗区植物种类较多,尤其蝗虫喜食的禾本科杂草种类多,植被覆盖度高达 25%—100%。不同地理环境中植被覆盖度不一样。道路、堤埝植被覆盖度相对较小,松软的洼淀和平地植被覆盖度大。东亚飞蝗喜欢选择植被覆盖度在 50%以下的地方产卵。据北大港独流减河分洪道调查,在土壤湿度适中的情况下,植被覆盖度 75%以下蝗区,蝗卵量是覆盖度 75%以上蝗区卵量的 2—5 倍。因此,道路两旁和堤埝的产卵量高于洼淀和平地的卵量。图 6 为 2002 年 4 月 27 日至 6 月 16 日天津北大港水库 9 天 MODIS 反演计算的 f_v 图像与地面 8 个样地对对应点的时间序列 12 条 f_v 变化曲线。

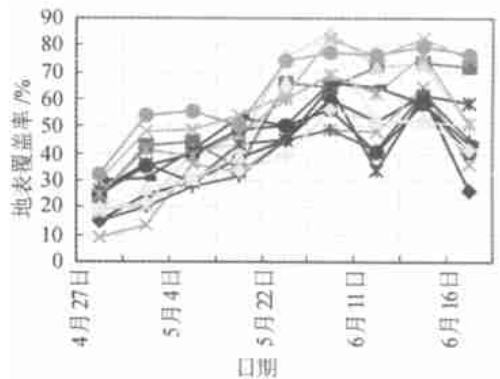


图 6 地表覆盖度时间序列变化曲线

Fig.6 Temporal change curves of vegetation cover

3.5 叶面积指数(LAI)时间序列变化曲线

叶面积指数也是东亚飞蝗环境背景中的一个重要参数,其时间序列变化与地表植被指数和地表覆盖度变化大致是一致的,从图 12 时间变化序列图中可以看出,从 4 月末到 6 月初,叶面积指数是逐渐增大,而从 6 月 11 日开始叶面积指数开始不稳定的波动变化,大体上具有减少的趋势。而这种原因主要是由于 6 月初开始大部分东亚飞蝗若虫蜕化成成虫,有一些飞蝗已经有了迁飞的能力,此时东亚飞蝗食量大增,对食物的需求量也大增,根据我们在北大港水库和黄骅南大港水库观察结果,多数样地的芦苇被东亚飞蝗吃的只剩下 4—5 片叶子,比较严重的芦苇地只剩下光杆。图 7 为 2002 年 4 月 27 日至 6 月 16 日天津北大港水库 9 天 MODIS 反演计算的 LAI 图像与地面 8 个样地对对应点的时间序列 12 条 LAI 变化曲线。

异,如天津蝗区生长植物 102 种,但东亚飞蝗喜食的植物以芦苇为主,其次稗草、狗尾草、马绊草、荻草等。不同类型的蝗区,植物种类和植被覆盖度不同,沿海蝗区因含盐量高,生长植物种类少,多生长黄须、圣柳、蒿类等耐盐碱植物。有水的地方生长芦苇,大部分沿海蝗

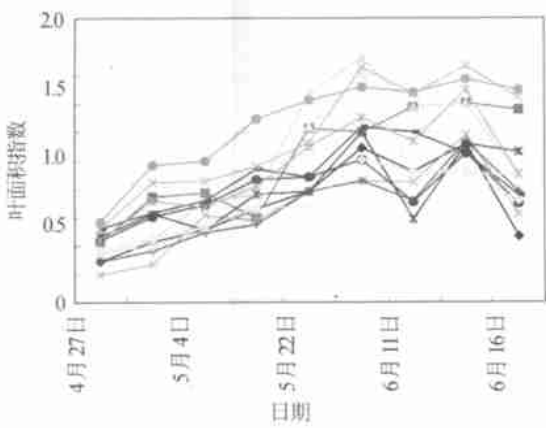


图 7 叶面积指数(LAI)时间序列变化曲线

Fig.7 Temporal change curves of LAI

4 遥感反演数据与实测数据的对比分析

为了验证遥感反演的各种参数的可靠性,卫星过境时,在天气晴朗的情况下,加强观测,进行同步的野外实验,得到了同步观测数据,为验证遥感反演的精度提供了宝贵的资料。

(1) 从遥感反演的地表温度与实测温度两条曲线的变化趋势看,二者变化趋势大致上是一致的,并且二者呈现正相关的关系,二者之间的相关系数为 0.68,见图 8。

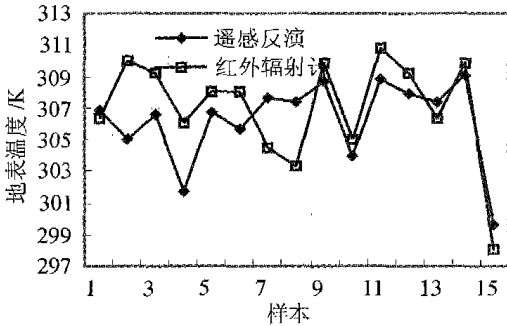


图 8 遥感反演 K 与实测 K 相关性曲线

Fig.8 Relation curves of remote sensing K and field K

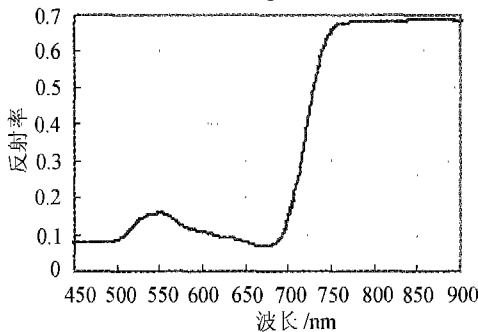


图 11 遥感反演植被反射率与地面光谱反射率的曲线对比

(2) 从遥感反演的地表湿度与实测地表湿度两条曲线的变化情况看,二者变化趋势大致上是一致的,并且二者呈现正相关的关系,二者之间的相关系数为 0.54,见图 9。

(3) 遥感反演的叶面积指数与实测叶面积指数两条曲线的变化情况看,二者变化趋势大致上是一致的,并且二者呈现正相关的关系,二者之间的相关系数为 0.94;二者之间的最大误差为 59.10%;最小误差为 3.22%;平均误差为 18.51%,见图 10。

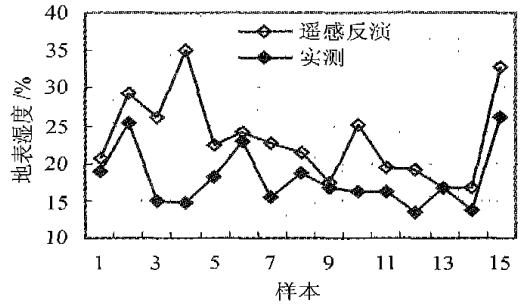


图 9 遥感反演 SM 与实测 SM 相关性曲线

Fig.9 Relation curves of remote sensing SM and field SM

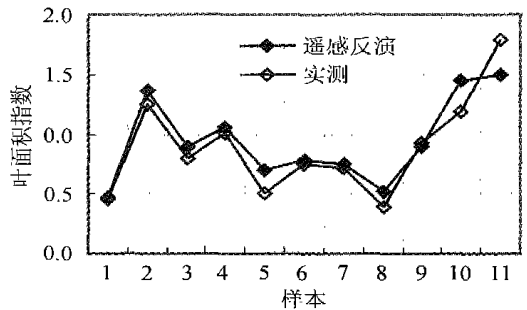
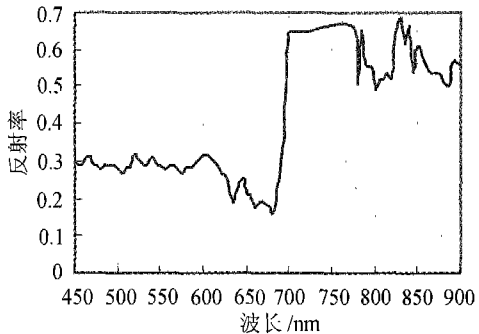


图 10 遥感反演叶面积指数与实测叶面积指数的相关性曲线

Fig.10 Relation curves of remote sensing LAI and sample LAI

(4) 遥感图像上反演的芦苇反射率和地面光谱实测的芦苇光谱反射率曲线,从 2 个曲线的线形情况来看,二者具有一定的相关性,相关系数为 0.74,见图 11。



(5) 选择模糊 K 均值对植被指数影像作聚类处理,选择 8 个聚类中心的结果中灰度 90—103 区域为受灾区,精度为 95%。褐色区域灰度为 153—164 为潜在迁移聚集区。

5 遥感三阶段监测与技术集成

地面测试结果与遥感对东亚飞蝗生育周期划分 3 个段具有显著的响应机理和代表参数,将遥感三阶段监测技术集成,见图 12、图 13。

(1) 在东亚飞蝗孵化期,蝗卵与土壤水热条件有着密切的关系。一般东亚飞蝗在 4 月末 5 月初陆续出土,其临界温度在 20—42℃ 之间,土壤水分在

18%—22% 之间;遥感反演了土壤温度和湿度,通过野外实验建立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,发现二者之间具有较强的相关性,因此,遥感反演地表水热参数的能力为大范围的实时、快速监测蝗虫的发生提供了可靠的信息。

(2) 东亚飞蝗出土后,与周边的环境(芦苇)有着密切的联系。这一阶段遥感主要反演食料指标(植被指数,地表植被覆盖度,叶面积指数等),建立了野外实测数据东亚飞蝗生长发育期环境指标(芦苇覆盖度和生物量)、地面光谱、遥感影像提取参数之间的相关关系,进而揭示遥感探测机理和方法。

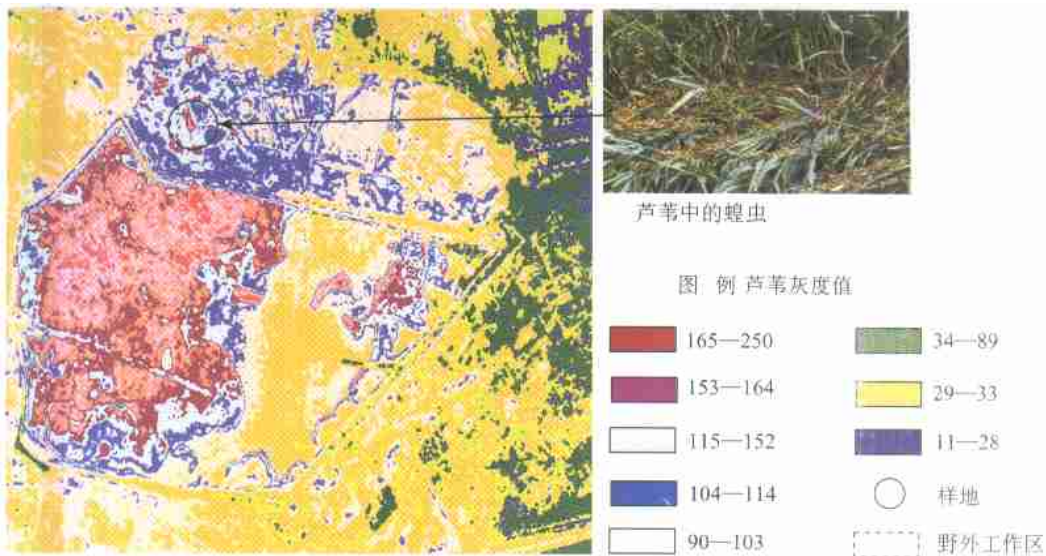


图 12 植被指数模糊 K 均值聚类图

Fig. 12 Vegetation imagery Fuzzy K -mean clustering map

(3) 飞蝗迁移和聚集条件是道路、地表水体周边,芦苇盖度小于 75%,盐碱度相对低的芦苇地。一般情况下,在高分辨率卫星影像上发现受损芦苇后,蝗虫已经迁移和重新聚集。

在蝗虫灾害发生的 2002 年,天津大港地区和河北黄骅重点地区利用高分辨率 Landsat-5/TM、Landsat-7/ETM 数据进行了东亚飞蝗的栖境条件变化监测,发现蝗虫迁移方向, GPS 精确定位蝗虫发生地点,发生范围等,指导蝗虫治理。

6 结论与讨论

蝗灾同水灾、旱灾并列为中国农业三大灾害。近年来,爆发蝗灾频繁,受灾面积很大,对中国农业

生产造成严重威胁。根据国家之急需,本文选择东亚飞蝗灾害的遥感监测机理和方法为主要内容展开研究,提出了蝗灾遥感三阶段监测论点,并且通过卫星观测与地面同步实验的方法将飞蝗生育的 7 个阶段划分为具有遥感机理的遥感响应水热参数和生物物理参数,这些参数反映了蝗虫孵化期、发育期、成虫期环境背景的变化特征,同时介绍了植被生境要素(主要为芦苇)聚类方法,反演算法和聚类过程^[1-6]。研究结果为建立东亚飞蝗监测体系和蝗灾预警、预测提供了科学依据和技术支持。

根据东亚飞蝗对温度的生存依赖特点,还要加强秋季和冬季蝗虫对生境要素的研究,进一步发展三阶段遥感监测模式,对蝗灾实施更科学有效的控制。

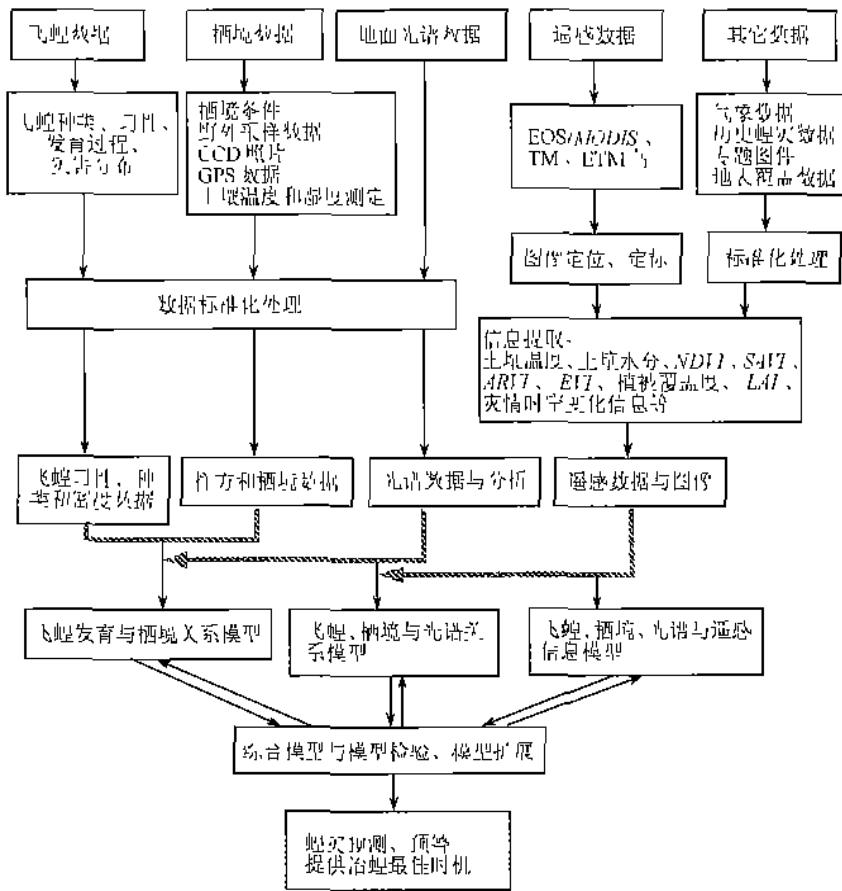


图 13 遥感三阶段监测与技术集成

Fig. 13 Remote sensing 3 stage monitor procedure and integration

致谢 本文作者感谢陈述彭院士、王长耀教授、田国良教授、柳钦火教授在研究过程中给予的大力支持,李启青、刘志丽参加了部分野外工作,在此表示感谢。

参考文献(References)

- [1] Ma J W, Han X Z, Hasibagan. East Asian Migratory Locust Detection Using Remote Sensing[J]. *Remote Sensing Journal of Land and Resources*, 2003, **1**: 51-55. [马建文, 韩秀珍, 哈斯巴干. 东亚飞蝗灾害的遥感探测实验[J]. 国土资源遥感, 2003, **1**: 51-55.]
- [2] Han X Z, Ma J W, Ma C F. The Use of TM Data and Field Sample Statistics Data and Spectral Data to Synthetically Analysis East Asian migratory locust Hazards[J]. *Journal of Nature Disaster*, 2001, **10** (4): 173-178. [韩秀珍, 马建文, 马超飞等. 利用 TM 及地面样方与光谱数据分析东亚飞蝗灾害[J]. 自然灾害学报, 2001, **10**(4): 173-178.]
- [3] Han X Z, Ma J W, Luo J M. *et al.* Remote Sensing and GIS Used for East Asian Migratory Locust Hazards [J]. *Geography study*, 2003, **22**(2): 253-260. [韩秀珍, 马建文, 罗敬宁等. 遥感与 GIS 在东亚飞蝗灾害研究中的应用[J]. 地理研究, 2003, **22**(2): 253-260.]
- [4] Ma J W, Han X Z, Hasibagan. Ted Deveson *et al.* Monitoring East Asia Migratory Locust Plague Using Remote Sensing Data and Field Investigations[J]. *INT. J. Remote Sensing* (in Press)
- [5] Ma S J. *The Principal of China Insect Ecological Geography* [M]. Beijing: Science Press, 1995. [马世俊. 中国昆虫生态地理概述[M]. 北京: 科学出版社, 1959.]
- [6] Zhu E L. *China East Asian Locust Break out and Preventions* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1998. [朱恩林. 中国东亚飞蝗发生与治理[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.]

Remote Sensing New Model for Monitoring the East Asian Migratory Locust Infections Based on Its Breeding Circle

MA Jian-wen, HAN Xiu-zheng, HA Shibagan, WANG Zhi-gang, YAN Shou-xun, DAI Qin

(*Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101*)

Abstract: Currently the function of operational locust monitoring system mainly focus on after-hazards monitoring and assessment, and to find the way effectively to perform early warning and prediction has more practical meaning. Based on two years of 2001 and 2002 continuous field sampling and statistics for 7 phases observation of locusts eggs hatching, nymph growth, adults sample statistics and calculation, spectral measurements as well as synchronously remote sensing data processing, we raise the view point of three stage monitor the locust hazards with Remote Sensing. They are: (1) during the egg hitching phase remote sensing can retrieve parameters of land surface temperature (*LST*) and soil moisture; (2) during nymph growth phase locust increases appetite greatly and remote sensing can calculate vegetation index, leaf area index, vegetation cover and analysis changes; (3) during adult phase the locust move and assembly towards ponds and water ditches as well as less than 75% vegetation cover areas and remote sensing combination with field data can monitor and predict potential areas for adult locusts to assembly. In this way the priority of remote sensing technology is elaborated effectively and to provide technique support for the locust monitor system. The idea and techniques employed in the study can also be used as a reference for other plant diseases and insect pests.

Key words: east Asian migratory locust; breeding circle; remote sensing 3-stage monitor model