

## 基于遥感影像的红树林虫害监测模型\*

# Mangrove Pests Monitoring Model based on the Remote Sensing Image

曹庆先<sup>1,2</sup>

CAO Qingxian<sup>1,2</sup>

(1. 广西海洋研究院, 广西南宁 530022; 2. 广西科学院广西红树林研究中心, 广西北海 536000)

(1. Guangxi Academy of Oceanography, Nanning, Guangxi, 530022, China; 2. Guangxi Mangrove Research Center, Guangxi Academy of Sciences, Beihai, Guangxi, 536000, China)

**摘要:**【目的】研究遥感监测对红树林(Mangrove)虫害的适用性。【方法】应用资源一号 02C 卫星(ZY1-02C)影像和实地调查红树林虫害状况数据,结合影像光谱与纹理特征,采用多元逐步回归分析方法对广西铁山港湾的红树林虫害状况进行估测,并制作研究区红树林虫害状况空间分布图。【结果】估测模型可做为叶片损失情况预测的一种工具。【结论】本研究首次将遥感技术应用于红树林虫害的监测,大大提高红树林虫害的监测效率,项目成果极具推广意义。

**关键词:**红树林虫害 遥感 多元逐步回归分析

**中图分类号:**S771.8 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2017)02-0144-06

**Abstract:**【Objective】To research the applicability of remote sensing monitoring on mangrove pests.【Methods】Based on the image of the 02C satellite (ZY1-02C) and the investigation of the mangrove pest status data on the spot, combined with the image spectrum and texture features, the multi-stepwise regression analysis method was used to estimate the mangrove pests in Guangxi Tieshangang Bay, and the spatial distribution map of mangrove pests status in study area was made.【Results】The research showed that the estimation model could be used as a tool to predict the damage of the leaves.【Conclusion】For the first time, remote sensing technology was applied to monitor mangrove pests, the research improved the monitoring efficiency of mangrove pests greatly.

**Key words:** mangrove pests, remote sensing, multiple stepwise regression analysis

## 0 引言

【研究意义】红树林(Mangrove)生长于陆地与海洋交界带的浅滩,其防风消浪、促淤保滩、固岸护堤、净化海水和空气功能具有重要的生态效益。近几年

来,红树林虫害频发,对红树林湿地生态系统的健康和安​​全产生严重威胁。因此,研究基于遥感影像监测红树林虫害的技术方法,为红树林虫害监测提供重要的技术手段支撑,保护有限的红树林资源迫在眉睫。【前人研究进展】遥感技术已经广泛应用于陆地森林病虫害的监测研究,主要研究方向为森林失叶与林冠动态研究、森林缺素症研究、受害程度分级分类研究、森林植被指标研究、森林对病虫害的易感性与耐受性研究、森林病虫害与光谱特性之间关系的研究、植被指数及各种比值方法等<sup>[1]</sup>,研究的主要病虫害有十多种,综合利用了航空遥感、卫星遥感(高光谱分辨率和高空间分辨率数据)及其他辅助数据如数字高程模

收稿日期:2016-05-25

修回日期:2016-06-12

作者简介:曹庆先(1981-),女,博士,副研究员,主要从事生态学3S技术应用研究,E-mail:caoqingxian@163.com。

\* 广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻 1140002-2-3)资助。

型、数字立地数据、野外调查数据和昆虫种群数据等。**【本研究切入点】**目前,对于红树林虫害的监测主要还是采用人工野外调查手段,远远不能满足监测与防治工作的需求,但红树林虫害的遥感监测极少有相关报道。**【拟解决的关键问题】**应用资源一号 02C 卫星影像(ZY1-02C)和实地调查红树林虫害数据,结合影像光谱与纹理特征,采用多元逐步回归分析方法对广西

铁山港湾的红树林虫害发生程度进行估测,并制作研究区红树林虫害发生程度空间分布图。

## 1 材料与方法

本研究主要分为以下 3 步:(1)研究区样地数据获取;(2)红树林虫害状况遥感信息提取方法研究;(3)模型构建。技术流程图如图 1 所示。

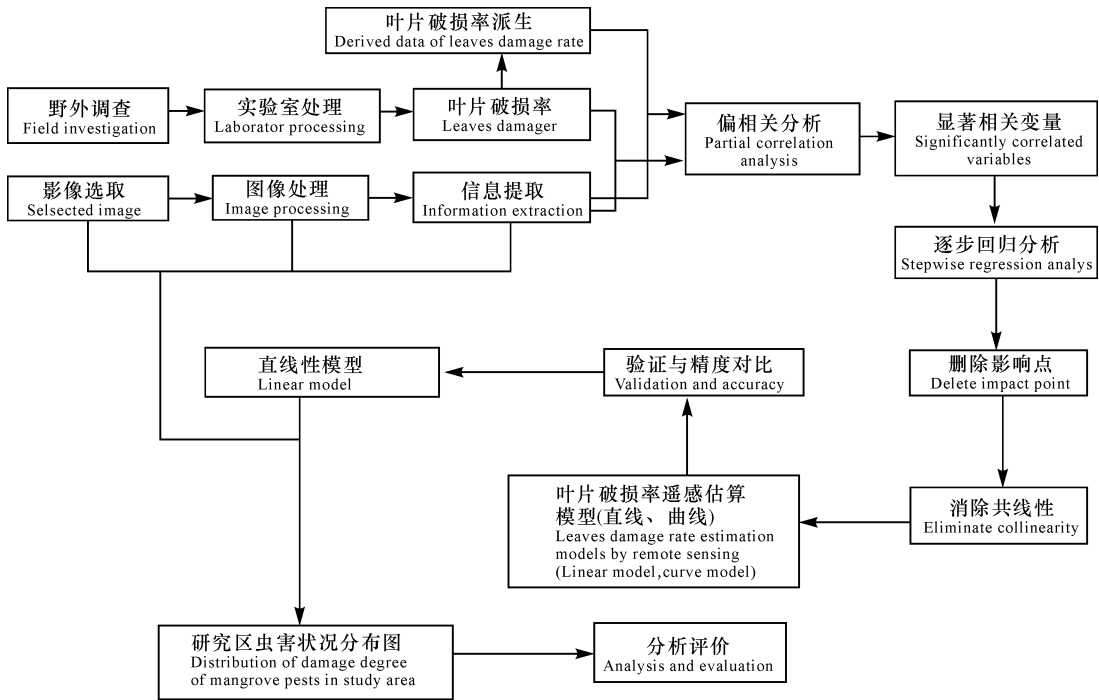


图 1 研究技术流程

Fig. 1 The flowchart of research technologies

### 1.1 研究区样地数据获取

铁山港是广西沿海重要的五大港湾之一,位于广西沿岸的东部,与广东省的安铺港接壤。大体范围是指北海市的营盘镇至合浦县英罗港连线与陆岸所包围的水域,港湾面积约 340 km<sup>2</sup>,其中滩涂面积 173 km<sup>2</sup>。铁山港的东岸有国家级山口红树林自然保护区,红树林面积为 818.8 hm<sup>2</sup>,是全广西沿岸红树林面积最大的区域。铁山港红树林有 8 个群丛,面积 1 876.9 hm<sup>2</sup>,白骨壤群丛面积最大,占铁山港红树林面积的 62.8%。

样地调查时间为 2012 年 5 月 8—16 日,共有 134 个,样地大小为 20 m×20 m。分布于铁山港大桥东西两岸、闸口、榄子根、沙尾、山塘、永安、车路口等海域,主要为白骨壤群落,有一定程度的广州小斑螟 (*Oligochroa cantonella* Caradja) 发生。在每个样地范围内,随机采摘林冠约 50 个小枝,放入样品袋中,目测红树林样地的覆盖度,手持 GPS 采集样地中心点坐标。

实验室中记录每个样品袋中小枝数量,叶片总

数,受损叶片总数以及所有虫数,计算叶片破损率及虫口密度(每小枝虫数)。叶片破损率是指受损叶片占有叶片的比例,其中受损叶片是指受损面积超过叶片总面积 1/3 的叶片。本研究中叶片破损率较之常用的目测失叶率偏大。

### 1.2 遥感数据处理与信息提取

#### 1.2.1 数据处理

本研究所用遥感影像为资源一号 02C 卫星(ZY1-02C),广西北海铁山港湾图幅,影像拍摄时间为 2012 年 5 月 12 日,空间分辨率为 5 m。遥感影像处理流程主要包括几何精校正、图像配准、图像融合、图像裁切和去云处理。实测样地中心点坐标由手持 GPS 测得,存在一定误差,为了与遥感影像相匹配,用校正遥感影像的基准图对样地点进行仿射变换。

#### 1.2.2 遥感影像信息提取

处理后的影像像元大小为 5 m×5 m,而样地面积约为 20 m×20 m,为了像元信息能够综合反映样地信息,提取样地中心点所在像元及其周围 4 个像元的 Digital Number(DN)值的均值。

### (1) 单波段和复合波段数据

本研究提取有遥感影像单波段数据及其派生数据。包括全色波段 PAN; 多光谱波段 MUXR、MUXG、MUXB; 各波段倒数及比值 PM1 (1/PAN)、PM2 (1/MUXR)、PM3 (1/MUXG)、PM4 (1/MUXB)、PM5 (PAN/MUXR)、PM6 (PAN/MUXG)、PM7 (PAN/MUXB)、PM8 (MUXR/MUXG)、PM9 (MUXR/MUXB)、PM10 (MUXB/MUXG); 融合后波段 RHR、RHG、RHB、PM11 (1/RHR)、PM12 (1/RHG)、PM13 (1/RHB)、PM14 (PAN/RHR)、PM15 (PAN/RHG)、PM16 (PAN/RHB)、PM17 (RHR/RHG)、PM18 (RHR/RHB)、PM19 (RHB/RHG)。

### (2) 植被指数提取

本研究提取的植被指数有比值植被指数 (RVI)、归一化植被指数 (NDVI)、环境植被指数 (DVI)、土壤植被指数 (SAVI)。经主成分变换的第一主成分 (PC1)、第二主成分 (PC2)。

### (3) 纹理特征值提取

图像纹理是一种重要的视觉手段,它不同于灰度和颜色等图像特征,它通过像素及其周围空间邻域的灰度分布来表现,即局部纹理信息;纹理分析过程应用 ERDAS 软件进行,然后应用 ArcGIS 的 Sample 工具提取各样地点的多种纹理测度值。

### 1.3 红树林虫害遥感信息回归模型构建

回归模型的构建采用多元逐步回归分析方法,模型构建流程如图 2 所示,主要相关原理方法如下:

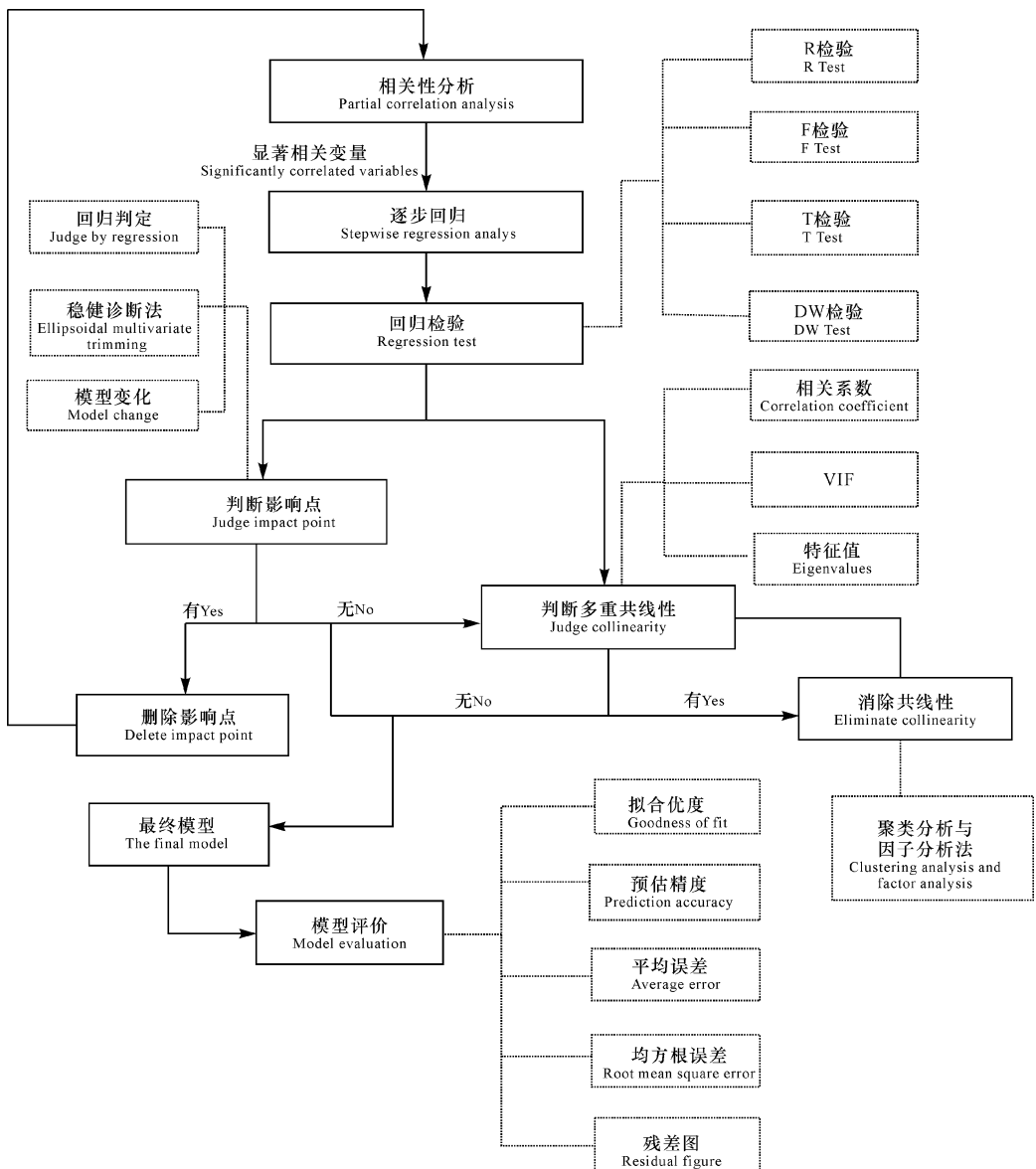


图 2 回归模型构建流程

Fig. 2 The flowchart of building regression models

### (1) 相关分析与偏相关分析

本研究中,样地覆盖度是影响遥感提取变量与林冠信息相关关系的主要因素,所以,要在控制覆盖度的前提下,求算相关系数,即偏相关系数。

### (2) 奇异值影响点的稳健诊断方法

用稳健诊断方法 (Ellipsoidal multivariate trimming, MVT) 针对方差-协方差矩阵进行稳健<sup>[2-4]</sup>,即对空间的异常点诊断。步骤如下:

1) 应用回归模型中的变量为自变量,计算样本数据的均值和方差-协方差矩阵。

$$x^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i,$$

$$S^* = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x^*) (x_i - x^*)'.$$

2) 计算所有样地与样地均值的马氏距离平方和  $d_i^2$ ,  $d_i^2$  值越大,越有可能为影响点。

$$d_i^2 = (x_i - x^*)' S^{*-1} (x_i - x^*), i=1, 2, \dots, n.$$

3) 观察前面逐步回归中判定的奇异值是否具有较大  $d_i^2$  值的观测点。若不是,则判定该点不是影响点,若是则暂时将该点删除,并重新计算样本  $x^*$  与  $S^*$ 。若删除点前后  $x^*$  与  $S^*$  的值变化很大,则判定该点为影响点,若基本稳定,即前后之差小于  $10^{-5}$ <sup>[4]</sup>,则不是影响点。

### (3) 多重共线性

综合考虑各方面因素,本模型采取基于聚类分析和因子分析的方法消除多重共线性的影响。采用聚类分析对这些变量进行分类,具有相似性的变量自成一类,对于变量个数大于 1 的类再进行因子分析,将多个变量转化为少数几个不相关的综合指标,应用因子分析后的变量代替原始变量参与模型构建,既不损失变量信息,又能消除变量间的多重共线性问题<sup>[5]</sup>。

## 1.4 模型精度评价

得到各类模型后,本研究对叶片破损率遥感估算模型进行估测精度评价,精度评价采用以下 3 个参数。

### (1) 拟合优度 ( $R^2$ )

相关系数 ( $R$ ) 检验主要用于检验拟合模型的线性关系的显著程度,相关系数的平方 ( $R^2$ ) 为回归平方和在总平方和中所占的比率,称为拟合优度,体现了回归模型所能解释的因变量变异性的百分比。 $R^2$  越大,说明模型拟合程度越好。

### (2) 预估计精度 ( $P$ )

$$P = \left(1 - \frac{t_a \sqrt{\sum (\hat{w}_i - \hat{w}_i)^2}}{\hat{w} \sqrt{n(n-t)}}\right) \times 100\%,$$

$$\hat{w} = \frac{1}{n} \sum \hat{w}_i.$$

$w_i$  为样地叶片破损率实测值,  $\hat{w}_i$  为样地叶片破损率估计值,  $n$  为样本容量,  $t$  为置信水平为  $\alpha = 0.05$  时的  $t$  分布值,  $n$  为回归模型中参数个数。预估计精度越高,模型拟合程度越好。

### (3) 均方根误差 (RMSE) 和平均误差 ( $\bar{e}$ )

由于本研究样地较少,精度的评价在像元尺度采用交叉评价方法进行。应用基于遥感信息的叶片破损率模型,计算各样地预测叶片破损率,根据叶片破损率实测值和预测值,计算均方根误差 (RMSE) 和平均误差 ( $\bar{e}$ )。如下式,  $X_i$  为实测样地叶片破损率,  $Y_i$  为回归模型估测样地叶片破损率,其中  $\bar{X}$  是  $X$  的均值。平均误差、均方根误差越小,说明模型误差越小。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2}{N}} \times 100\%,$$

$$\bar{e} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)}{N}.$$

## 2 结果与分析

经过数据提取,得到的因子包括单波段数据、多波段复合数据、植被指数、主成分分析数据、纹理分析数据等,自变量多达 36 个,在回归分析中,并不是自变量越多越好,只有那些对因变量有显著影响的自变量才有进入模型的资格。因变量主要包括两个,即叶片破损率和虫口密度 (每小枝虫数)。

应用 SPSS 软件,分别对两个因变量和所有自变量进行偏相关分析 (控制覆盖度),结果表明,虫口密度和各因变量相关性不大,很难进行下一步的回归分析,而叶片破损率和各因变量都有着显著的相关性,值得进行进一步的回归拟合研究。这可能因为 ZY1-02C 卫星影像为可见光影像,所拍摄影像主要为红树林林冠,叶片破损率主要是反映红树林林冠信息。

叶片破损率的回归拟合分为直线回归拟合和曲线回归拟合。为了将曲线回归转换为直线回归,取叶片破损率的常用对数、自然对数、平方根、立方根、倒数作为因变量。

### 2.1 叶片破损率的回归拟合

应用 SPSS 软件,分别以叶片破损率为因变量,与叶片破损率显著相关的变量做为自变量;以叶片破损率取平方根、立方根、常用对数、自然对数、倒数作为因变量,与其显著相关的变量为自变量进行逐步回

归分析。将显著性水平 0.05 和 0.10 作为挑选和剔除变量的条件,进行多元逐步回归分析,删除奇异点,消除多重共线性,得到像元尺度上叶片破损率最佳回归模型,即  $YPPSL = 0.494 + 0.015 * RHG - 1.073 * PM16$ , 实测与预测结果对比见图 3。

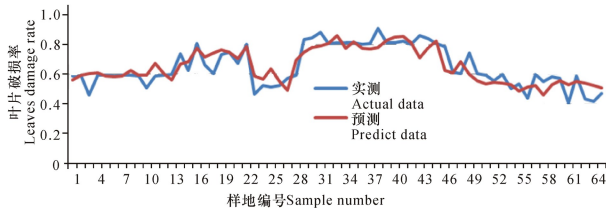


图 3 叶片破损率实测与预测结果对比

Fig. 3 The comparative tendency chart between actual data and predicted data of leaves damage rate

由图 3 可以看出,叶片破损率与 RHG 和 PM16 (即 PAN/RHB) 相关性较好;RHG 波段为 0.63~

0.69  $\mu m$ ,为叶绿素的主要吸收波段,反应不同植物叶绿素吸收、植物健康状况;叶片破损率预测值和实测值变化趋势基本一致,模型可做为叶片损失情况预测的一种工具。

## 2.2 模型精度评价

计算模型的拟合优度、预估计精度、均方根误差和平均误差,结果如表 1 所示: $P = 0.99, E = 0.03, RMSE = 0.01$ 。各指标精度都较高,说明模型可用作估测虫害叶片破损率。

根据回归模型,应用遥感软件的建模功能,进行研究区红树林虫害发生状况遥感反演。根据叶片破损率情况,将虫害发生程度分为 3 个等级,大于 70% 为重度发生区域,30%~70% 为中度发生区域,小于 30% 为轻度发生区域。生成的分布图如图 4,遥感反演的铁山港湾红树林发生情况和现场调查基本吻合,详细如下。

表 1 红树林叶片破损率遥感估算模型精度评价指标表

Table 1 The table of accuracy evaluating indicators of mangroves leaves damage rate models using remote sensing data

树种 Species	实测生物量 Actual biomass ( $t/hm^2$ )	预测生物量 Predicted biomass ( $t/hm^2$ )	平均误差 $\bar{e}$ ( $t/hm^2$ )	均方根误差 RMSE	拟合优度 $R^2$	预估计精度 $P$
混合	0.650	0.662	0.012	0.01	0.722	0.99

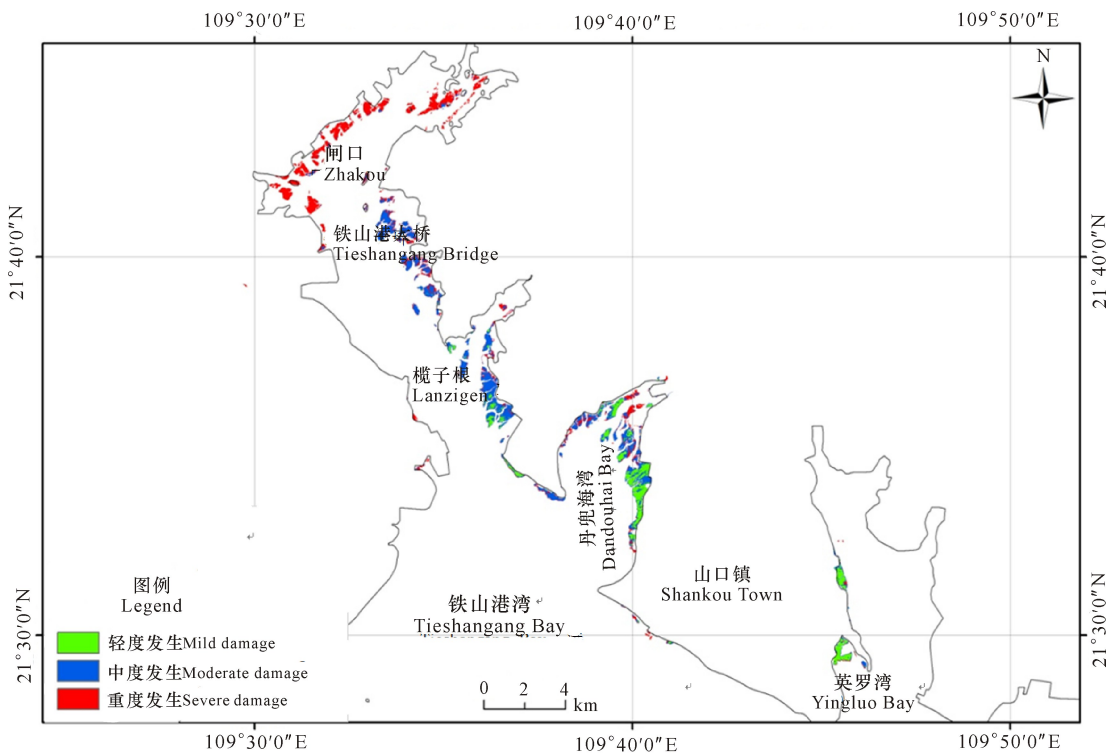


图 4 铁山港湾红树林虫害发生程度分布

Fig. 4 Distribution of damage degree of mangrove pests in Tieshangang Bay

### (1) 重度发生区域

主要分布在铁山港海角、闸口、铁山港大桥西侧沿岸, 闸口区域的红树林及顶端河口区域尤为严重, 目测大面积出现变黄、干枯等症状, 样方调查叶片破损率达到 70% 以上。这可能是因为河口地区和铁山港西岸开发活动较为密集有关, 过多的人为活动干扰了造成一定的污染, 使得红树林虫害爆发。

### (2) 中度发生区域

主要分布在铁山港大桥东侧、榄子根、沙尾沿岸。目测红树林区整体呈暗黄绿色, 多有枯枝分布其中, 样方调查叶片破损率为 30%~70%。此区域虽人为活动相对较少, 但其并不处于保护区范围内, 红树林也受到一定干扰的损害, 虫害发生程度中等。

### (3) 轻度发生区域

主要分布于山口保护区范围内。目测林区整体呈翠绿色, 偶有枯枝分布, 样方调查叶片破损率绝大多数在 30% 以下。这是由于保护区人为活动较少, 且每年都进行虫害防治。但在人工林及米草分布较多的区域红树林仍然受到一定损害。

## 3 讨论

本研究得到的模型通过相关检验, 但也存在一定误差, 其原因可能在于:

(1) 本研究以叶片破损率评估红树林虫害发生状况, 然而, 叶片破损率可能由多种原因引起, 不单单只有虫害, 所以估测结果可能会偏大。

(2) 红树林虫害发生林冠特征变化较快, 而地面调查数据和遥感影像数据有一定的时间差。红树林是潮汐类沼泽, 受海水潮汐以及上空多云雨雾的影响, 清晰的影像很难获得, 而地面调查也极其艰难, 研究所需的大量样地很难在短时间内集中完成, 很难保证影像与地面调查的时效性。因此, 课题组须在红树林虫害的爆发期投入大量的人力、物力, 尽快完成外业样地的调查, 影像选取时, 在保证清晰度的同时尽量保证影像拍摄时间与地面调查时间的相符性。

(3) 研究样地面积与影像分辨率不一致也是误差存在的一个重要因素。为了像元信息能够综合反映样地信息, 我们提取样地中心点所在像元及其周围 4 个像元的 DN 值, 取 5 个值的平均做为该样地遥感信息源, 这样会使样地数据距离实际值的波动更小; 同时, 对 GPS 所采集样地点基于遥感影像基准图进行了仿射变换, 使匹配精度更高。

(4) 遥感影像校正误差的存在也是影响预测精度的一个影响因子。

## 4 展望

鉴于时间、经费、数据源等问题, 本研究只对铁山港湾红树林虫害状况进行了遥感估算研究, 未能进行大范围内红树林的虫害状况进行估测, 未来应该对更多树种、更广范围内以及动态变化等方面展开更深入的研究。对于水的影响, 本研究只是去除了  $NDVI \leq 0$  的影像, 在以后的工作中, 还应该进一步研究如何消除水对林地光谱信息的影响。合适的变量选择对提高模型的估算精度极其重要, 在本研究中, 应用多元逐步回归分析进行变量的筛选, 方法较简便, 但还有很多问题没有进行深入的研究。

虫害具有突发性强的特点, 而遥感数据受时间分辨率的限制很难满足与灾害的发生发展同步或者准同步获取数据的要求, 这必然会对监测准确性产生影响, 所以必须经过大量研究, 建立病虫害生物学特性与树木生长等的关系模型, 并建立区域遥感物候模型, 才有望提高监测的时效性和准确性。从研究趋势来说, 集成 RS、GIS、GPS、专家知识系统、决策知识系统、通信技术和网络技术等现代信息技术, 在各种辅助信息的支持下, 建立一个集监测、预测预警与优化管理为一体的、具有开放性和可扩充性的虫害综合管理系统是必然的。

### 参考文献:

- [1] 黄麟, 张晓丽, 石韧. 森林病虫害遥感监测技术研究的现状与问题[J]. 遥感信息, 2006(2): 71-75.  
HUANG L, ZHANG X L, SHI R. Current status and problems in monitoring forest damage caused by diseases and insects based on remote sensing[J]. Remote Sensing Information, 2006(2): 71-75.
- [2] 卢纹岱. SPSS for Windows 统计分析[M]. 北京: 电子工业出版社, 2000: 284-337.  
LU W D. SPSS for statistical analysis of Windows[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2000: 284-337.
- [3] DEVLIN J S, GNANADESIKAN R, KETTENRING J R. Robust estimation of dispersion matrices and principal components[J]. Journal of the American Statistical Association, 1981, 76(374): 354-362.
- [4] ROUSSEEUW P J, CROUX C. Alternatives to the median absolute deviation[J]. Journal of the American Statistical Association, 1993, 88(424): 1273-1283.
- [5] 林乐义, 印凡成. 基于聚类分析和因子分析消除多重共线性的方法[J]. 统计与决策, 2008(8): 153-155.  
LIN L Y, YIN F C. A method of eliminating multiple collinearity based on clustering analysis and factor analysis[J]. Statistics and Decision, 2008(8): 153-155.

(责任编辑: 陆雁)