

# 利用 Landsat ETM+数据检测人工刺槐林冠健康

刘庆生<sup>1</sup>, 刘高焕<sup>1</sup>, 姚 玲<sup>2</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

2. 武汉大学资源与环境学院, 湖北 武汉 430072)

**摘要:**通过发展一种基于单景 Landsat TM/ETM+数据客观、可靠、简单易行的人工刺槐林冠健康检测方法,为人工刺槐林地健康监测和管理服务。以孤岛林场的一块近乎纯人工刺槐林地为试验区,首先选择当地刺槐完全展叶时的 2000 年 5 月 2 日的 Landsat ETM+数据进行几何精校正,并将第 6 波段重采样为与第 1~5 和 7 波段相同的空间分辨率 30 m,然后将波段 1~5 和 7 波段数据校正到大气顶层反射率以减少传感器和数据获取方面的影响,利用第 6 波段计算亮度温度。接着进行 3 种组合的 ISODATA 非监督分类(健康或轻度枯梢、中度枯梢、重度枯梢或死亡或灌丛、非植被);波段 1~5 和 7,归一化后的缨帽变换 Tasseled Cap Transform(TCT)绿度和湿度成分,归一化后的缨帽变换 Tasseled Cap Transform(TCT)绿度、湿度成分和亮度温度。结果发现,增加了第 6 波段信息(亮度温度)的第 3 种组合对人工刺槐林冠健康检测更有效。

**关 键 词:**Landsat ETM+;人工刺槐;林冠健康;黄河三角洲

**中图分类号:**TP 79 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-0323(2008)02-0142-05

## 1 引 言

在黄河三角洲,人工刺槐是首要的造林树种,自 20 世纪 70 年代中期就开始被广泛种植,主要分布在大汶流自然保护区、一千二自然保护区和黄河故道附近,形成两个大的林场,即一千二林场和孤岛林场,到 1999 年建成了华东平原地区最大的人工刺槐林地,总面积达 120 km<sup>2</sup>[1]。但是,于 20 世纪 90 年代在黄河三角洲的许多地方已经发现人工刺槐枯梢或死亡的现象,其产生的原因既有刺槐生理特征因素(老而枯),又受到土地利用或其它人为(例如污染、石油开发、火灾、乱砍乱伐)和自然(气候条件如干旱、风暴潮,病虫害如大袋蛾)多种因素影响,相当复杂。国内外传统的林冠健康条件的评估方法主要为基于地面取样调查的评估或借助于航空调查、目视解译的评估方法,这些方法为森林管理者提供了有价值的信息,但大多数评估是带主观看法的,需要大量人力、物力和财力的投入。与传统方法相比,利用遥感技术来检测森林枯梢、健康具有可监测范围大,可按年、按月、甚至按天以一定的时间间隔来监

测,可从叶子到树冠到成片森林进行监测,进行森林早期病虫害、火灾等预警监测,所得结果更翔实、更具有空间性[2]。卫星遥感如 Landsat TM/ETM+、CBERS-02 星数据能够大面积(113 km×113 km、185 km×185 km)、重复(26 d、16 d 一个周期)获取同一地区在那些可用来区分植被生理特征的电磁谱段的图像数据,因此可以用来进行林冠健康、动态变化和扰动检测、识别和制图。目前利用 Landsat TM/ETM+数据监测森林冠层动态和健康主要集中在由林火、病虫害、风倒等引起的林冠变化方面,也有一些涉及干旱等因素引起的林冠变化[3],所用的方法可分为两类:一类是图像分类[4~8],另一类是图像运算[9~13],所有研究都取得了不错的结果。本论文的主要目的是以孤岛林场的一块近乎纯人工刺槐林地为试验区,在详细分析前人利用 Landsat TM/ETM+数据检测林冠健康方法的基础上,比较评价 Landsat TM/ETM+数据不同谱段(可见光波段、近红外波段、短波红外波段和热红外波段)检测人工刺槐林冠健康状况的效用,然后充分挖掘和利用 Landsat TM/ETM+数据信息,发展一种基于单

收稿日期:2007-10-10;修订日期:2008-03-06

基金项目:中国科学院院方向项目(kzcx2-yw-308)和国家自然科学基金项目(40771172)资助。

作者简介:刘庆生(1971—),男,博士,副研究员,主要从事遥感与 GIS 在区域资源环境评价中的应用研究。E-mail:liuqs@lreis.ac.cn。

景 Landsat TM/ETM+数据客观、可靠、简单易行的人工刺槐林冠健康监测方法,为人工刺槐林地健康监测和管理服务。

## 2 数据预处理

### 2.1 数据收集

刺槐是一种中等尺寸的落叶树,容易被移植、生长快速、喜阳、耐旱、耐盐碱、耐热、耐污染、固氮、适宜在多种土壤上生长,经常被用来作为防风固沙、水土保持的优良树种,自20世纪70年代中期开始就在黄河三角洲被广泛种植。选择位于现行黄河入海口附近的孤岛林场,位于瞭望塔西侧的一块面积约4.97 km<sup>2</sup>的近乎纯人工刺槐林地作为试验区。根据人工刺槐当地物候期<sup>[14]</sup>,选择当地刺槐完全展叶时的2000年5月2日的Landsat ETM+数据进行分析。

### 2.2 图像预处理

首先,利用1:5万地形图,将2000年5月2日的影像进行几何精纠正,投影设置为:Transverse Mercator,中央经线为117°,比例因子为1,椭球体为Krasovsky,向东偏移500 000 m,并将第6波段重采样为与第1~5和7波段相同的空间分辨率30 m。然后,利用公式(1)将DN值转换为辐射亮度,接着利用公式(2)将辐射亮度值转换为大气顶层反射率,利用公式(3)将第6波段辐射亮度值转换为亮度温度。

$$L_{\lambda} = \text{"gain"} * \text{QCAL} + \text{"offset"} \quad (1)$$

由于所用Landsat ETM+数据为2001年4月11日的快速格式数据,因此需要对原始数据头文件中的gain和offset进行校正,校正后的"gain" = gain \* (255/254),校正后的"offset" = offset - "gain"。详情可查询Landsat 7官方网站相关内容。

$$\rho_p = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{\text{ESUN}_{\lambda} \cdot \cos\theta_s} \quad (2)$$

其中: $\rho_p$  = 无量纲的大气顶层反射率; $L_{\lambda}$  = 辐射亮度; $d$  = 日地距离; $\text{ESUN}_{\lambda}$  = 平均太阳顶层辐照度; $\theta_s$  = 太阳天顶角。这些参数部分可从原始数据头文件获得,部分可查询网站([http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/handbook\\_htmls/chapter11/chapter11.html](http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/handbook_htmls/chapter11/chapter11.html))中的相关内容。

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (3)$$

其中: $T$  = 亮度温度(K); $L_{\lambda}$  = 辐射亮度; $K1 = 666.09(\text{w/m}^2 * \text{ster} * \mu\text{m})$ ;  $K2 = 1\,282.71\text{ K}$ 。

为了减少后续计算分析的工作量,进一步利用试验区边界对影像进行子区裁切,获得只包括试验区的图像。

### 2.3 人工刺槐林冠健康检测与分类

#### 2.3.1 方法选择

目前利用Landsat TM/ETM+数据监测森林冠层动态和健康所用的方法可分为两类:一类是图像分类,包括监督分类、非监督分类和目视解译;另一类是图像运算,比较常用且有效的是比值植被指数( $\text{RVI} = \rho_4 / \rho_3$ )、湿度压力指数( $\text{MSI} = \rho_5 / \rho_4$ )、第1~5和7波段的主成分分析(PCA)后的信息量大的前几个主成分、第1~5和7波段的缨帽变换Tasseled Cap Transform(TCT)后的绿度和湿度成分等。缨帽变换的绿度成分对应于叶绿素在可见光波段的高吸收和叶子结构在近红外波段的高反射(这是健康绿色植被所具有的特征)的综合。缨帽变换的湿度成分扩大了可见光和近红外波段(ETM+第1、2、3和4波段)总和与短波红外波段(ETM+第5和7波段)总和之间的差异,可以用来确定植被或土壤的湿度含量。Lea<sup>[15]</sup>在论文中指出缨帽变换的湿度成分更适合检测森林生物量细微的变化,而MSI更适合检测显著的森林总的冠层变化,并不能检测森林采伐后林下植被的变化。这些研究都没有考虑利用热红外波段(TM 6和ETM+ 6),也许是因为它低的空间分辨率(120 m/TM 6和60 m/ETM+ 6)。鉴于此,本文比较3种组合的ISODATA非监督分类(健康或轻度枯梢、中度枯梢、重度枯梢或死亡或灌丛、非植被):波段1~5和7,归一化后的缨帽变换Tasseled Cap Transform(TCT)绿度和湿度成分和亮度温度,以期为人刺槐林地健康监测和管理者提供一种客观、可靠、简单易行的人工刺槐林冠健康检测方法。

#### 2.3.2 方法流程

整个方法流程见图1,利用ENVI遥感图像处理软件完成。为了消除量纲的影响,对缨帽变换后绿度成分、湿度成分以及亮温进行归一化,使它们的值都位于0和1之间。ISODATA分类后都合并为4类,即健康或轻度枯梢、中度枯梢、重度枯梢或死亡或灌丛以及非植被。

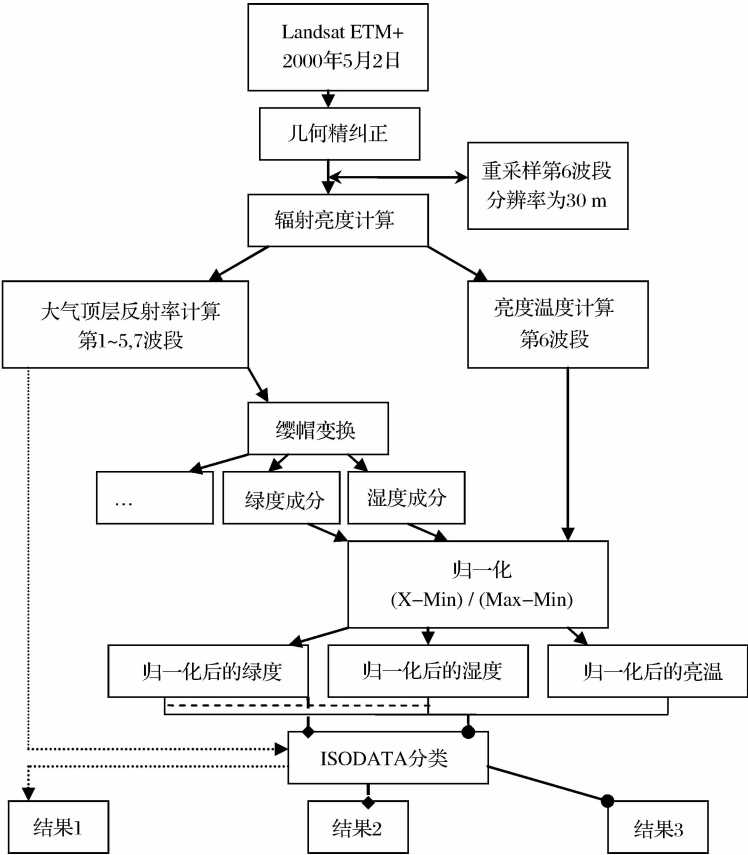


图 1 人工刺槐林冠健康检测流程

Fig. 1 A flow chart showing detection of Robinia Pseudoacacia planted forest canopy health

湿度成分对森林冠层湿度敏感,随着冠层覆盖的增加,湿度成分值会不断增加,这也表现在归一化后的绿度与湿度成分呈明显正相关。归一化后的亮温与归一化后的绿度和湿度成分均成负相关关系,这是由于冠层覆盖高的(健康的刺槐)刺槐叶面蒸腾作用强,使得冠层温度降低。这也表明冠层温度、湿度和绿度可用来表征和检测林冠健康,而这些参数可用遥感数据来反演,从而可为林冠健康监测与评价节省大量的人力、物力和财力。

2.3.3 结果分析

表 1 是 3 种方法人工刺槐分类结果面积统计。图 2(a)(见图版 I)是直接利用波段 1~5 和 7 的大气顶层反射率进行 ISODATA 分类后的结果(结果 1)。参照拉伸后波段 4、3、2 假彩色合成影像图 2(d)(见图版 I),与其它两种方法结果相比,其将刺槐林地里原为栽种刺槐所修筑和挖的沟渠归为非植被,因而非植被较多,事实上现在已被灌草地和刺槐所覆盖。另外,其将部分非植被分成了重度枯梢或死亡刺槐或灌丛类,如图的右上处。同时,其它几类之间也存在误分现象。图 2(b)(见图版 I)是仅利用归一化后的绿度和湿度成分进行 ISO-

DATA 分类后的结果(结果 2),图 2(c)(见图版 I)是增加了温度成分,利用归一化后的绿度、湿度成分和亮度温度进行 ISODATA 分类后的结果(结果 3)。与结果 2 相比,结果 3 中 4 种类别的分布与拉伸后波段 4、3、2 假彩色合成影像图 2(d)中色调更吻合。结果 2 中健康或轻度枯梢刺槐面积约为结果 3 的 3 倍,这是由于将顶部中度枯梢但其下层叶面覆盖高(这样其绿度和湿度成分与健康或轻度枯梢刺槐会出现混淆,但枯梢部分会减少蒸腾,使冠层温度升高)的这部分刺槐也分为了健康或轻度枯梢刺槐类,中度枯梢刺槐与重度枯梢或死亡刺槐或灌丛类之间出现的误判也是这个道理。这也表明第 3 种组合一利用归一化后的绿度、湿度成分和亮度温度进行 ISODATA 分类对人工刺槐林冠健康检测更有效。尽管这还需要足够多的野外验证数据或同时期的高分辨率遥感数据进行更加深入、准确、定量的比较和精度评价,但从目视效果和本文作者对该地区的多年考察积累来说,这种结论还是可信的。由结果 3 可见,黄河三角洲孤岛林场人工刺槐林枯梢或死亡现象相当严重,需要及时进行刺槐林冠健康监测、机理研究与综合管理。

表 1 3 种方法人工刺槐分类面积统计表

Table 1 The statistic areas of Robinia Pseudoacacia planted forests from three methods

	结果 1(面积 km <sup>2</sup> )	结果 2(面积 km <sup>2</sup> )	结果 3(面积 km <sup>2</sup> )
非植被	1. 935	1. 499	1. 452
重度枯梢或死亡刺槐或灌丛	1. 112	1. 404	1. 822
中度枯梢刺槐	1. 455	1. 119	1. 179
健康或轻度枯梢刺槐	0. 1629	0. 6462	0. 2133

3 结 语

本文利用 3 种组合的 ISODATA 非监督分类进行人工刺槐林冠健康检测(健康或轻度枯梢、中度枯梢、重度枯梢或死亡或灌丛、非植被):波段 1~5 和 7,归一化后的缨帽变换 Tasseled Cap Transform (TCT)绿度、湿度成分和亮度温度。结果发现,增加了第 6 波段信息(亮度温度)的第 3 种组合对人工刺槐林冠健康检测更有效。其结果表明黄河三角洲孤岛林场人工刺槐林枯梢或死亡现象相当严重,需要及时进行刺槐林冠健康监测、机理研究与综合管理。然而由于没有获得足够多的野外验证数据或同时期的高分辨率遥感数据,更加深入、准确、定量的人工刺槐林冠健康检测以及 3 种方法精度的定量评价都需要将来进一步详细的研究和更多数据的支持。

参考文献:

[1] Wang S M. Quicken Steps in Greening in the Yellow River Delta [J]. Land Greening, 2002, 3: 18. [王树民. 加快黄河三角洲造林绿化步伐[J]. 国土绿化, 2002, 3: 18.]

[2] Coops N C, Stone C, Culvenor D S , *et al.* Assessment of Crown Condition in Eucalypt Vegetation by Remotely Sensed Optical Indices [J]. Journal of Environment Quality, 2004, 33: 956-964.

[3] Guo Z H, Xiao W F, Jiang Y X. Applications of Remote Sensing to Monitoring Forest Canopy Dynamics [J]. Acta Phytocologica Sinica, 2003, 27(6): 851-858. [郭志华, 肖文发, 蒋有绪. 遥感在林冠动态监测研究中的应用[J]. 植物生态学报, 2003, 27(6): 851-858.]

[4] Xiao S. Using TM Satellite Images to Conduct the Feature Draw of Forest Change [J]. Journal of Fujian Forestry Sci & Tech, 1998, 25(1): 26-30. [肖胜. 利用 TM 卫星图像进行森林变化的特征提取[J]. 福建林业科技, 1998, 25(1): 26-30.]

[5] Radeloff V C, Mladenoff D J, Boyce M S. Effects of Interacting Disturbances on Landscape Patterns: Budworm Defoliation and Salvage Logging [J]. Ecological Applications, 2000,

10: 233-247.

[6] Mukai Y, Hasegawa I. Extraction of Damaged Areas of Wind-fall Trees by Typhoons Using Landsat TM Data [J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21(4): 647-654.

[7] Ma R H, Jia J H, Hu M C, *et al.* The Analysis of Vegetation Changes in Hainan Island Based on RS and GIS [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2001, 23(1): 7-10. [马荣华, 贾建华, 胡孟春, 等. 基于 RS 和 GIS 方法的海南植被变化分析[J]. 北京林业大学学报, 2001, 23(1): 7-10.]

[8] Guo H, Lu Y H, Hong L X, *et al.* Dynamic Spatial-temporal Changes of Forest Resources in Xixia County Based on RS and GIS [J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2005, 29(4): 53-56.

[9] Spanner M A, Pierce L L, Peterson D L, *et al.* Remote Sensing of Temperate Coniferous Forest Leaf Area Index: The Influence of Canopy Closure, Understory Vegetation and Background Reflectance [J]. International Journal of Remote Sensing, 1990, 11: 95-111.

[10] Brockhaus J A, Khorram S, Bruck R I, *et al.* A Comparison of Landsat TM and SPOT HRV Data for Use in the Development of Forest Defoliation Models [J]. International Journal of Remote Sensing, 1992, 13: 3235-3240.

[11] Franklin S E, Raske A G. Satellite Remote Sensing of Spruce Budworm Forest Defoliation in Western Newfoundland [J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 1994, 20: 30-48.

[12] Collins J B, Woodcock C E. An Assessment of Several Linear Change Detection Techniques for Mapping Forest Mortality Using Multi-temporal Landsat TM Data [J]. Remote Sensing of Environment, 1996, 56: 65-77.

[13] Royle D D, Lathrop R H. Monitoring Hemlock Forest Health in New Jersey Using Landsat TM Data and Change Detection Techniques [J]. Forest Science, 1997, 43: 327-335.

[14] Chen K J. Phenological Phase Observation of Landscape Trees in Dongying City [J]. Journal of Shandong Forestry Science and Technology, 1998, 1: 12-14. [陈坤军. 东营市园林树种物候期观测[J]. 山东林业科技, 1998, 1: 12-14.]

[15] Lea R D. A Comparison of Forest Change Detection and Implication for Forest Management [D]. A Candidate for the Degree of Master of Arts in Geography, the Graduate School University of Missouri-Columbia, 2005.

## Detection of Robinia Pseudoacacia Planted Forest Canopy Health Using Landsat ETM+ Image Data

LIU Qing-sheng<sup>1</sup>, LIU Gao-huan<sup>1</sup>, YAO Ling<sup>2</sup>

(1. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*; 2. *Wuhan University College of Resources and Environmental Science, Wuhan 430072, China*)

**Abstract:** The principal goal of this experiment study was to develop an objective, reliable and simple methodology for detection of Robinia Pseudoacacia Planted forest canopy health using Landsat ETM+ image data which would provide a cost-effective first-level indication of forest canopy health for forest managers. Digital procedures to optimize the information content of Landsat ETM+ image data for detection of Robinia Pseudoacacia planted forest canopy health were described. On the basis of phonological calendar of Robinia Pseudoacacia in the local region, imagery acquired on May 2, 2000 was calibrated to exoatmospheric reflectance to minimize sensor calibration offsets and standardize data acquisition aspects, and Band 6 was converted into effective at satellite temperature in Kelvin. Then, a nearly pure artificial Robinia Pseudoacacia forest land was selected as the experimental area. Robinia Pseudoacacia forests were classified into healthy or slight dieback, moderate dieback, dead or severe dieback or shrub and grass lands, non-vegetation land using ISODATA classifier with three types of different band composition such as Band 1~5 and 7 (Group 1), normalized Green and Moisture component of Tasseled Cap transform (Group 2), normalized Green and Moisture component of Tasseled Cap transform and normalized effective at satellite temperature converted from Band 6 (Group 3). The results show that ISODATA classification of Group 3 was more effective method for detection of Robinia Pseudoacacia Planted Forest Canopy Health.

**Key words:** Landsat ETM+; Robinia Pseudoacacia planted forest; Forest canopy health; The Yellow River Delta