

## 基于回归决策树和 ASTER 卫星影像的城市森林研究

黄初冬<sup>1,2</sup>, 邵芸<sup>1</sup>, 李静<sup>3</sup>, 柳晶辉<sup>1,2</sup>, 陈洁琼<sup>4</sup>

(1. 中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3. 浙江中医药大学 外国语学院, 浙江 杭州 310053; 4. 浙江科技学院 信息与工程学院, 浙江 杭州 310023)

**摘要:** 城市森林已成为城市生态环境研究和城市规划的热点问题之一。介绍了一种运用遥感影像分析城市森林的方法。分析过程分为两大内容: ①运用回归决策树模型和 ASTER 影像分析城市森林丰度, 即根据分类训练区内 ASTER 影像的光谱与实际森林丰度之间的对应关系, 建立回归决策树模型, 然后用该模型计算整个研究区域内各像元的森林丰度。②运用 CITYgreen 模型分析该地区城市森林生态功能, 即运用 CITYgreen 模型, 估算研究区域内城市森林的覆盖率、碳储量和清除空气污染物的能力, 以及在清除空气污染物方面的生态价值。以北京市通州新城为研究区域, 根据估算得出, 该地区森林覆盖面积约为 11.62 km<sup>2</sup>, 碳储量约为 12.36 万 t, 清除污染物总量为 267.1 t·a<sup>-1</sup>。讨论了该方法的优缺点以及需要改进的方面。图 2 表 1 参 12

**关键词:** 森林经理学; 城市森林; 回归决策树; 通州新城; 城市森林丰度

**中图分类号:** S757 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5692(2008)02-0240-05

## Urban forest research based on regression tree techniques and ASTER imagery

HUANG Chu-dong<sup>1,2</sup>, SHAO Yun<sup>1</sup>, LI Jing<sup>3</sup>, LIU Jing-hui<sup>1,2</sup>, CHEN Jie-qiong<sup>4</sup>

(1. Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. College of Foreign Studies, Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou 310053, Zhejiang, China; 4. School of Information and Electronic Engineering, Zhejiang Science and Technology University, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

**Abstract:** Urban forest was of great interest to a variety of scientific and urban planning applications. This paper presented the process and results of analysis using remote sensing imagery in this area. There were mainly two key steps in the analysis: the first was to analyze urban forest abundance utilizing regression tree techniques and advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) images; the second was to analyze the ecological benefits of urban forest using CITYgreen model. The analysis of urban forest abundance was accomplished implementing classification models, which were based on relationships between urban forest abundance and the spectrum on ASTER imagery, and were generated using regression tree techniques. Subsequently, the calculation of forest coverage, carbon storage and the amount of air pollutants removal about urban forest was carried out introducing CITYgreen model. According to the analysis, the total area in Tongzhou District was about 11.62 km<sup>2</sup>; the forest coverage was about 7.6%; the carbon storage and the amount of air pollutants removal amounted to 123 589 t and 267.1 t·a<sup>-1</sup> respectively. At the end, the advantages and disadvantages, as well as some of the conceivable improvements of this strategy were discussed. [Ch, 2 fig. 1 tab. 12 ref.]

**Key words:** forest management; urban forest; regression tree; Tongzhou District; urban forest abundance

城市森林是在城市内的树木覆盖区域, 包括娱乐休闲区、居住区以及道路两旁的树木覆盖区域。

收稿日期: 2007-03-27; 修回日期: 2007-10-31

基金项目: “十五” 国家科技攻关计划项目(2002BA90407); 中国科学院奥运科技资助项目(KACX1-10)

作者简介: 黄初冬, 博士研究生, 从事遥感在城市生态环境中的应用研究。E-mail: cdhuang@tsinghua.org.cn

它为城市居民提供良好的工作、生活和居住环境，在改善城市生态环境中起到了重要的作用。环境问题的日益严重和人们环保意识的日益增强，使得森林的生态功能越来越受到人们的关注<sup>[1-4]</sup>。这些功能主要包括净化空气、调节小气候和减少噪音等<sup>[5]</sup>。其中最为重要的，是它在清除空气中污染物质方面的作用<sup>[6]</sup>。传统的城市森林生态研究，主要通过地面调查来取得森林信息。这种方法固然有其优势，例如能够准确获得树的种类，但它需要耗费大量的人力和物力。对于较大面积及大面积地区的定期森林调查，则需要寻找更为经济有效的方法。遥感技术的发展，为城市森林分析提供了一种技术手段。由于城市地物类型复杂，单个遥感影像的像元上往往含有多种地物，因而直接分类并不是很好的方法。Huang 等<sup>[7]</sup>提出一种运用 Landsat 影像计算树冠覆盖度的方法，该方法运用线性回归和回归决策树 2 种模型，并对 2 种模型进行了比较，得出回归决策树模型更适用的结论。本文所采用的方法就是基于这种回归决策树模型。针对 ASTER (advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer) 卫星影像的特点，本文提出城市森林丰度的概念：城市森林丰度，是针对单个卫星影像像元而言的，定义为像元内的各种地物覆盖类型中，城市森林所占面积的百分比。即：城市森林丰度 = 像元内城市森林面积/像元面积。通州区位于首都北京市的东部。为了缓解中心城的压力，通州及其他几个区将建成为中心城四周的新城。通州新城作为我国新城规划的试点项目，在规划过程中需要快速地获取城市森林生态信息。本文运用 ASTER 卫星影像和回归决策树的方法，结合训练区的高分辨率影像和地面调查数据，对通州新城地区的城市森林覆盖率进行分析计算。覆盖率估算之后，运用 CITYgreen 模型，分析该地区森林的碳储量，清除空气污染物的能力以及相应的生态价值，为城市规划部门提供决策依据。

## 1 数据与方法

### 1.1 遥感影像

此次分析主要采用了 2005 年的 ASTER 数据。ASTER 是极地轨道环境遥感卫星 Terra (EOS-AM1) 的 5 个传感器之一。Terra 卫星于 1999 年 12 月 18 日发射，是美国国家宇航局 (NASA) 地球行星使命计划中总数 15 颗卫星的第 1 颗，也是第 1 个提供对地球过程进行整体观测的系统。ASTER 影像包含波长 0.52 ~ 0.86  $\mu\text{m}$  内 3 个波段的 15 m 分辨率数据，和波长 1.60 ~ 2.43  $\mu\text{m}$  内 6 个波段的 30 m 分辨率数据。影像覆盖了整个通州新城区。数据获取时间是 7 月份，处于城市森林生长最茂盛的时期，有利于城市森林的提取。

在分析的同时，还采用了 2005 年部分地区的高分辨率 Quickbird 影像 (分辨率约 0.61 m) 及地面调查数据，用于训练区内城市森林的精确提取，以及 ASTER 影像分类识别的精度验证。

### 1.2 城市森林丰度计算

城市森林丰度的计算主要分 3 个步骤：①建立丰度计算回归决策树模型；②从影像提取光谱，生成整个区域的数据文件；③计算研究区域内所有像元的城市森林丰度。该过程的流程如图 1 所示。

回归决策树模型，是根据分类训练区内 ASTER 影像的光谱与实际丰度之间的对应关系，回归得到的由 ASTER 影像光谱反演城市森林丰度的模型<sup>[8]</sup>。该模型不是单个模型，而是由一系列复杂的分段模型组成。要得出城市森林丰度计算模型，首先要选择试验区。在试验区内，通过高分辨率影像和地面调查数据进行分类，提取该地区的城市森林，得到分辨率为 4 m 的森林覆盖图。接着，计算训练区内各像元的 15 m  $\times$  15 m 邻域内的城市森林丰度。然后提取各个像元的光谱和城市森林丰度，并分为两部分，分别是模型生成数据和精度检验数据。最后，运用专业的回归模型软件 Cubist，得到城市森林丰度计算模型。

回归决策树的模型生成数据和精度检验数据中，各波段的像元值为自变量，城市森林丰度为因变量。Cubist 通过寻找两者的关系，建立相应的回归模型。同样，从 ASTER 数据可得到整个研究区域的自变量值。运用自变量和计算模型，计算出所有像元的城市森林丰度。通过精度检验数据的自变量值，可计算出对应区域的的城市森林丰度估算值，与实际值进行比较，就能完成计算模型的精度检验。

### 1.3 城市森林生态分析

在城市森林生态分析中,笔者运用了 CITYgreen 模型。CITYgreen 是由 American Forests 开发的模型软件,在运用遥感和 GIS 技术研究城市森林生态价值方面,提供了一系列模型和方法,目前已在多个国家和地区得到成功的应用<sup>[9-11]</sup>。运用该模型,结合遥感数据,能比较方便地估算城市森林吸收有害气体和吸附有害微粒的能力,并以货币的形式估算这部分生态价值。经济学家通过“外在成本”的方法,提出由于空气污染引起的疾病、疗养费用的增加,以及旅游观光收入的减少而产生的“间接支出”,作为折算的依据<sup>[12]</sup>。折算的目的是更直观地引起决策部门的重视,同时也能为我国绿色国内生产总值(GDP)的估算提供参考依据。

本文主要关注的是城市森林的碳储量和每年从大气中吸收碳元素的数量,以及清除大气污染物质的能力。生态效益评估考虑的大气污染物质主要为以下 5 种:一氧化碳、臭氧、二氧化氮、直径小于 10  $\mu\text{m}$  的悬浮微粒( $\text{PM}_{10}$ )和二氧化硫。本文在生态效益评估的过程中,选取了符合通州地区情况的参数,包括根据观测资料和统计数据设定的降水量、大气状况(各污染物的含量)数据,及根据树种分布选取相应参数,选取适当的土地覆盖类型等,以增加模型的适用性。由于缺少通州当地医疗费用水平等数据,生态价值的折算采用默认数据,即根据美国的标准。因而这部分研究作为新方法的尝试,所得的结果只作为参考。

## 2 城市森林分析结果

### 2.1 城市森林覆盖面积及碳储量

图 2 为通州新城区的城市森林丰度图,从图 2 中可看出该地区的森林的分布情况。根据城市森林丰度图看出,通州新城区的城市森林在东部及沿河流地区较多,相对较少的为西北角。通过实地调查得知,原因是西北角靠近北京中心城区,且处于轻轨八通线附近,城市开发较快。而城市森林保存较好的地区,处于城市开发较少的地带,例如果园、公园附近。由此可以看出城市开发和房屋建设对城市森林的破坏作用。据估算,2005 年通州新城区森林覆盖面积约为 11.62  $\text{km}^2$ ;该地区森林覆盖率约为 7.61%。

碳储备从一定程度上反映一个地区的生物量。森林通过吸收大气中的二氧化碳气体,来固存碳元素和增加碳储备量。在通州新城区内,

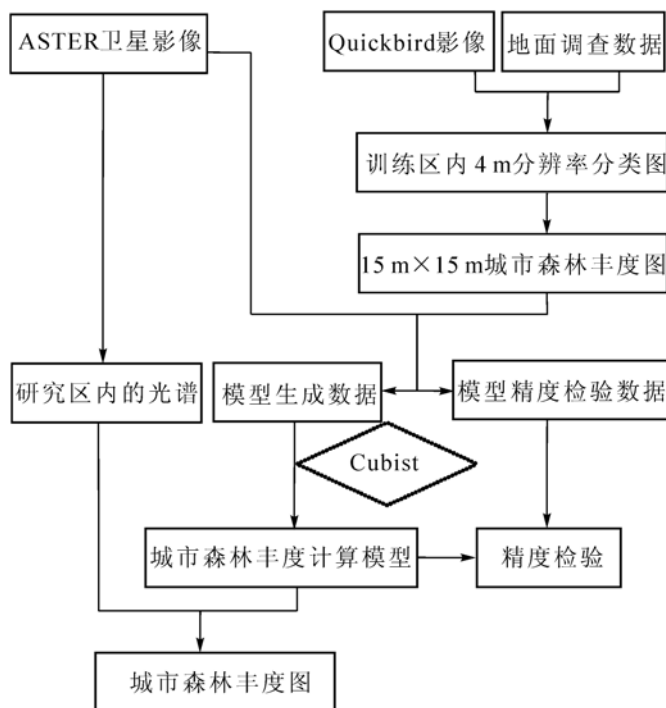


图 1 城市森林丰度计算流程图

Figure 1 A flowchart of urban forest abundance calculation

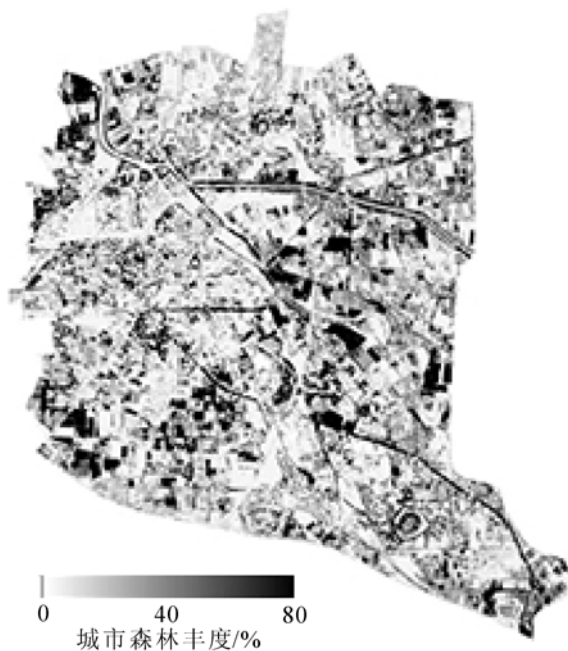


图 2 通州新城区的城市森林丰度图

Figure 2 Map of urban forest abundance in New Tongzhou District

城市森林碳储备约为 12.36 万 t，固存的碳元素总量约为  $962.2 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

## 2.2 空气污染物清除能力

城市森林通过吸收有害气体和吸附有害微粒，来净化城市内的空气，从而提高空气质量。目前，城市空气污染物主要有一氧化碳、臭氧、二氧化氮、 $\text{PM}_{10}$  和二氧化硫。通过估算得知，通州新城内的森林每年吸收这 5 大类污染物的数量如表 1 所示，总量达到  $267.1 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ 。如果这些气体保留在大气中，将会对该地区及周边的环境产生恶劣的影响。按上文所述方法进行折算，仅在清除空气污染物方面的生态价值就达到约 148.4 万美元。在一定范围内，城市森林净化空气的功能随着森林覆盖率呈接近线性的变化<sup>[8]</sup>。因此，对城市森林的破坏将对人类所获得的生态效益产生直接的影响。

表 1 清除空气污染物总量分析

Table 1 Total amount of air pollutants removal analysis

污染物类型	年清除量/t	生态价值/万美元
一氧化碳	13.93	1.3
臭氧	80.13	54.3
二氧化氮	73.16	49.6
二氧化硫	92.90	42.0
$\text{PM}_{10}$	6.97	1.2
总计	267.09	148.4

## 3 结论与讨论

本文提出了一种运用遥感影像分析城市森林的方法，该方法经济有效，适用于较大面积和大面积地区的快速森林调查。分析过程分为两大内容：第一部分是遥感反演的方法研究，采用了建立回归决策树模型的方法，利用中等分辨率的 ASTER 影像计算城市森林丰度；第二部分是应用研究，结合遥感和地理信息系统技术，对城市森林生态价值进行估算。通过该方法，快速估算了研究区域内城市森林的覆盖率、碳储备、清除空气污染物的能力，以及在清除空气污染物方面的生态价值。

在城市森林分析过程中，为了使最后的结果更准确，地物分类需要有足够的精度，尤其是城市森林的识别，因为它是影响城市森林分析的关键因素。因此，在分析过程中选择了一定数量的训练区，而且训练区涵盖了城市森林典型的分布情况和各种典型地物。

此次分析低估了森林覆盖率(近几年林业局统计的森林覆盖率在 15% 以上)，究其原因，是在该分析过程中，草地、灌木和零星散布的小树没有作为城市森林，因为它们在吸收有害气体和吸附有害微粒方面，和相同占地面积的树林不在同一个数量级上，如果把它们也作为森林，结果的精度会受很大的影响。

本文提出的城市森林分析方法较为简便，在今后的研究中有些环节需要得到改进。总的来说，该方法还有如下几个方面需要改进：①完善城市森林种类、大小的统计数据，在计算时对不同种类、大小的树，分别用不同的参数；②统计大气质量资料，分析时采用当地的大气污染数据；③考虑森林、污染物的空间分布对结果的影响。④考虑城市森林在其它方面的生态效益，用相应的模型计算。

总的来说，本文提出的是一种有效、可行的方法。该方法不仅能用于某一年的城市森林分析，还可以用作森林的动态监测及大面积地区的城市森林分析。运用 Landsat 影像时也可以采用这种方法，只需将训练区丰度图计算成 30 m 分辨率。在今后的研究中，会努力解决上面提出的几个问题，使该方法得到改进。

致谢：此次分析研究得到了香港中文大学杨立民老师的指导，在此表示衷心感谢！

## 参考文献：

- [1] COSTANZA R, D'ARCE R, GROOT R, *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. *Nature*, 1997, **387** (15): 253–260.
- [2] NOWAK D J, CIVEROLO K L, RAO S T, *et al.* A modeling study of the impact of urban trees on ozone [J]. *Atmos Environ*, 2000, **34** (10): 1 601–1 613.

- [3] MYEONG S, NOWAK D J, AND DUGGIN M J. A temporal analysis of urban forest carbon storage using remote sensing [J]. *Remote Sens Environ*, 2006, **101** (2): 277 – 282.
- [4] 胡志斌, 何兴元, 陈玮, 等. 沈阳市城市森林结构与效益分析[J]. *应用生态学报*, 2003, **14** (12): 2 108 – 2 112.
- [5] BOLUND P, HUNHAMMAR S. Ecosystem services in urban areas [J]. *Ecol Econ*, 1999, **29** (2): 293 – 301.
- [6] YANG J, MCBRIDE J, ZHOU J, *et al.* The Urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction [J]. *Urban For Urban Green*, 2005, **3** (2): 65 – 78.
- [7] HUANG C D, YANG L, WYLIE B, *et al.* A strategy for estimating tree canopy density using Landsat 7 ETM+ and high resolution images over large areas [C/OL] // Colorado: The Third International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry Held in Denver, 2001.
- [8] HUANG C D, SHAO Y, LIU J, *et al.* Temporal analysis of urban forest in Beijing using Landsat imagery [J]. *J Appl Remote Sens*, 2007, **1** (1): 9.
- [9] MILLER L. GIS branches into urban forestry [J]. *Am City County*, 1995, **110**: 35.
- [10] LONGCORE T, LI C, WILSON J P. Applicability of CITYgreen urban ecosystem analysis software to a densely built urban neighborhood [J]. *Urban Geogr*, 2004, **25** (2): 173 – 186.
- [11] SOLECKI W D, ROSENZWEIG C, PARSHALL C, *et al.* Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey [J]. *Global Environ Change Part B: Environ Hazards*, 2005, **6** (1): 39 – 49.
- [12] ESCOBEDO F J, NOWAK D J, WAGNER J E, *et al.* The socioeconomics and management of Santiago de Chile's public urban forests [J]. *Urban For Urban Green*, 2006, **4**: 105 – 114.
- 

## “4 个南方重要经济林树种良种选育和定向培育关键技术 研究及推广” 获 2007 年度国家科技进步奖二等奖

浙江林学院常务副校长周国模教授参加的“4 个南方重要经济林树种良种选育和定向培育关键技术研究及推广” 获 2007 年度国家科技进步奖二等奖。

项目提出的相关机制及关键技术, 进一步丰富了森林生态、森林培育、食品加工等学科内容; 项目成果对于促进原料林培育行业的标准化、科学化、产业化和工程化以及原料林培育和加工产业的快速发展均具有重要的支撑和推动作用; 项目成果的推广实施, 对加快农村经济发展, 实现农业增效、农民增收以及推进社会主义新农村建设等方面均起到了积极作用。

立 早