

文章编号: 1007 4619 (2006) 06 0932 09

# 结合树龄信息的遥感森林生态系统生物量制图

郑 光<sup>1</sup>, 田庆久<sup>1</sup>, 陈镜明<sup>2</sup>, 居为民<sup>2</sup>, 夏学齐<sup>1</sup>

(1. 南京大学 国际地球系统科学研究所, 江苏 南京 210093; 2. 多伦多大学 地理系 加拿大)

**摘要:** 森林生态系统是陆地生态系统中的重要组成部分, 其中的地上生物量 (AGB, Aboveground Biomass) 在全球气候变化和碳循环研究中起着重要的作用。本文利用 ETM<sup>+</sup> 遥感影像, 首先建立了实测叶面积指数 (LAI, Leaf Area Index) 与实测生物量数据的回归关系, 基于遥感叶面积指数图像得到初步地上生物量空间分布图; 同时在短波植被指数 (SWVI, Short Wave Vegetation Index) 与实测树龄之间建立了回归关系, 在此基础上得到了树龄空间分布图。然后通过将植被指数 (VI, Vegetation Index), LAI, 树龄等变量针对不同的树种类型进行逐步回归, 得到了较好的回归模型, 并结合土地利用/土地覆盖估算了贵州省黎平县的地上生物量, 绘制了其空间分布图。统计结果显示: 总体森林生态系统的 AGB 与 LAI 和 RSR (Reduced Simple Ratio) 之间有一定的相关关系 ( $R^2 = 0.895$ ); 杉木林的 AGB 与 LAI 和归一化植被指数 (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) 之间有较强的相关性 ( $R^2 = 0.93$ ); 针叶树种的 LAI 与年龄是 AGB 较好的估算因子 ( $R^2 = 0.937$ ); 阔叶林的 AGB 与年龄有一定的相关性 ( $R^2 = 0.792$ ); 混交林的 AGB 与 LAI 和 SR (Simple Ratio) 有较强的相关性 ( $R^2 = 0.931$ )。结果表明, 将树龄和土地利用/土地覆盖类型的信息加入到地上生物量估算模型的建立中, 是一种改善利用多光谱遥感估算精度的较好的方法。结合土地利用/土地覆盖类型的高分辨率的树龄空间分布图, 可为森林生态系统的可持续发展和管理提供科学的论据。

**关键词:** 树龄; 地上生物量; 遥感; 植被指数

中图分类号: TP79 文献标识码: A

## Combining Remote Sensing Imagery and Forest Age Inventory for Biomass Mapping

ZHENG Guang<sup>1</sup>, TIAN Qingjiu<sup>1</sup>, CHEN Jingming<sup>2</sup>, JU Weimin<sup>2</sup>, XIA Xueqi<sup>1</sup>

(1. International Institute for Earth System Science, Nanjing University, Jiangsu Nanjing 210093, China;

2. University of Toronto, 100 St. George St., Room 5047, Toronto, Ont., Canada M5S 3G3)

**Abstract:** The forest ecosystem is the important component in the terrestrial ecosystem and plays an important role in global change study. Aboveground biomass (AGB) of forest ecosystem is an important factor in global carbon cycle studies. This paper uses the ETM<sup>+</sup> image in combination with the field measurement data to estimate the aboveground biomass. After getting the various vegetation indexes, we get the LAI (Leaf Area Index), and then build the correlation between the LAI and field biomass data to get the initial biomass map. In addition, a shortwave infrared based vegetation index (SWVI) was calculated to get the forest age spatial distribution map, then, by incorporating the stand age and forest category information into the new regression model to get the final biomass map. We found that the AGB estimation for overall was related to the LAI and SR (Simple Ratio) ( $R^2 = 0.895$ ), and for Chinese fir has a good correlation with the LAI and NDVI ( $R^2 = 0.93$ ). The LAI and AGE are good predictors for the aboveground biomass of Conifer ( $R^2 = 0.937$ ); for the Broadleaf and Masson pine mix forest, the age is correlated to the AGB ( $R^2 = 0.792$ ); for the Broadleaf and Chinese Fir mix forest, the AGB was strongly related to the LAI and SR ( $R^2 = 0.931$ ). The result shows that combining the

收稿日期: 2005 08 02; 修订日期: 2006 02 23

作者简介: 郑光 (1982—), 男, 硕士研究生, 毕业于南京林业大学。现就读于南京大学地图学与地理信息系统专业。研究方向为植被生态遥感、全球变化及碳循环。E-mail: njuzg@yahoo.com.cn

stand age and forest categories information into the AGB estimation is a better way to improve the accuracy of aboveground biomass estimation with the optical remote sensing the high resolution forest stand age and aboveground biomass spatial distribution map can provide basic and effective information for the forest sustainable development and management

Key words stand age, aboveground biomass, remote sensing, vegetation index

## 1 引 言

气候变暖是全球变化研究中的一个热点话题,关于其成因依然有很大争议,其中争论的焦点是陆地生态系统到底释放了多少的  $\text{CO}_2$ <sup>[1]</sup>。森林生态系统是陆地生态系统中重要的组成部分,对大气中  $\text{CO}_2$  含量的变化具有重要的影响,因此在全球变化研究中起着积极的作用。同时森林生物量是生态系统运行的能量基础和营养物质的来源。因此科学、准确的调查森林中的生物量对研究森林生态系统是碳源与碳汇有着重要的意义,即该森林生态系统是吸收碳的能力强还是排放碳的能力强。除此之外,它还是研究生产力、净初级生产力 (NPP, Net Primary Productivity)、碳循环和全球变化的基础。同时森林生物量在林火的预测和模拟中也起着重要作用,是林火等级区域划分的重要参数之一。目前由美国 USGS 的 EROS 数据中心 [<http://landfire.gov/>] 承担正在进行的一个名为“LANDFIRE”(野火)的项目,目的就是建立一个全国范围的森林野火的预测系统。在这个系统中,森林生物量作为一个很重要的参数,用来识别一些具有过量可燃物的地区,因此利用遥感影像进行区域性的森林生物量调查具有重要的意义。

森林的生物量可大致分为三部分:乔木层生物量,动物与微生物生物量和下层覆被层生物量(包括灌丛、草本、苔藓等等)。在本研究中,森林地上生物量 (AGB, Aboveground Biomass) 定义为胸径大于 3cm, 树高大于 1.3m 的林木的生物量。随着全球变化研究的深入,陆地生态系统生物量的估算工作变得越来越重要。基于遥感的生物量估算模型也逐渐由传统的经验模型向机理模型转变。机理模型是建立在植被辐射的吸收、反射与辐射在植被冠层和大气中的传输过程以及影响森林生产力的生态学因子之上的。通过建立遥感信息和生态学因子之间的数学统计模型来构建精确的森林生物量估机理模型。这些模型的缺点是往往过于复杂。也有研究者<sup>[2]</sup>提出一种与蓄积量相容的生物量估算模型,这一模型不仅仅包括胸径和树高,而且包括树冠大小

和冠层体积等等。但这一模型的运行需要野外精确的实测数据,是一项费时而且劳动强度大的工作。除此之外,还有很多研究者利用传统林学中的方法进行了生物量的估算<sup>[3,4]</sup>。

遥感技术对同一地点重访周期短的特点,得以使科学家们可以对其生态系统过程和多尺度的年度变化进行研究<sup>[5-8]</sup>。利用陆地卫星的 ETM+ 影像并结合实测数据进行森林管理工作已被人们广泛接受<sup>[9]</sup>。而且光谱信息与森林生物量有较好的相关关系<sup>[10]</sup>。森林生物量与土地覆盖、叶绿素含量、森林郁闭度等都有关系。最近也有学者借助于雷达遥感进行地上生物量的估算工作<sup>[11,12]</sup>。事实上,利用光学遥感信息进行生物量制图,一个最突出的问题是利用遥感所得到的只是叶面积而不是实际的生物量,而叶面积指数可以通过与植被指数之间建立回归统计模型得到,或者通过辐射传输模型反演等方法得到。但研究表明,当森林的叶面积指数达到一定的阈值时,植被指数会出现饱和现象<sup>[13]</sup>。随着树木的生长,其生物量依然在累积。这意味着对于相同环境的森林,树龄在森林生物量的估算中起着重要的作用。因此,将树龄和土地覆盖/土地利用类型引入到地上生物量估算模型的建立中来可以改善其精度。

本文的主要目的是:(1)通过将树龄和土地覆盖/土地利用类型引入到原有的森林地上生物量估算模型,建立新的包含树龄等生态学因子的地上生物量估算模型;(2)利用遥感技术对地上生物量总量及其空间分布进行快速、大面积、动态地准确调查;(3)绘制高分辨率的基于土地覆盖/土地利用类型的树龄及地上生物量的空间分布图,以便输入基于过程的生态系统生产力估算 BEPS 模型<sup>[14]</sup>中,进行进一步 NPP 和碳循环研究。

## 2 数据源与方法

### 2.1 研究区介绍

黎平县位于云贵高原东南缘苗岭山脉向桂、湘低山丘陵过渡区域,地势起伏显著,地理位置在  $\text{N}25^{\circ}44' - 26^{\circ}31'$ ,  $\text{E}108^{\circ}37' - 109^{\circ}31'$  (图 1) 之间。

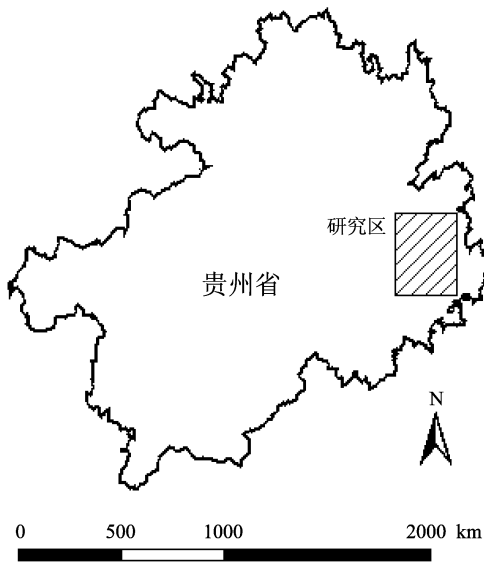


图 1 贵州省黎平县区位示意图

Fig 1 Location of Liping County in Guizhou Province

海拔高度为 600—800m, 最高峰老山界 1598m。全境处于中亚热带季风湿润气候区。全县林业用地面积为 371934.8hm<sup>2</sup>, 占总面积的 83.78%, 难利用地和非林地占总面积地 16.22%。其中针叶林面积最大, 占林业用地面积的 43.36%。德顺乡拥有 50 万 m<sup>3</sup> 以上的木材蓄积量, 是全县蓄积量最大的乡镇之一。而靠近河流以及公路两侧开发较早的地区, 大多已经形成过伐。全县林地分散, 集中成片大面积的林地较少。集中成片的多是人工营造的杉木林, 以中潮、德凤、洪州、岩洞、茅贡、水口等区域最为集中, 成为黎平森林的后续资源基地。德顺、谭溪等地的马尾松林天然更新能力强。天然次生阔叶林在岩洞乡成片分布。而原生的常绿阔叶林面积很小且零星分布, 只有在弄相山、老山界、三省坡几片连续分布。人工油茶林主要分布在龙额、水口和高屯等乡镇。

## 2.2 方法介绍

本文的研究方法主要为样地各种生态参数的观测、遥感影像分析和各种回归模型的建立。

野外样方观测包括立地调查 (坡度、坡向、空间坐标、叶面积指数) 和每木检尺 (胸径、树高、树龄等)。其中叶面积指数的获得用加拿大多伦多大学陈镜明教授发明的一种光学仪器——冠层辐射跟踪仪 (TRAC, Tracing Radiation Architecture and Canopy) 和鱼眼 (Fish-eye) 照相结合的方法测定。利用相对生长法计算样地地上森林生物量。建立实测

叶面积指数与实测生物量之间的回归统计模型, 基于遥感影像可以得到初步的地上生物量空间分布图。

遥感影像的分析包括: (1) 土地利用/土地覆盖类型的分类。通过设定阈值的方法提取出植被区与非植被区, 然后采用监督分类的方法得到黎平县的土地利用/土地覆盖分类图, 并将植被覆盖类型分为阔叶林、针叶林、混交林和竹林 4 大类; (2) 进行大气辐射校正和地形校正; (3) 进行三种植被指数 NDVI, SR, RSR 的计算。同时还计算了短波植被指数<sup>[15]</sup>, 通过遥感影像植被指数与实测叶面积指数之间的回归关系得到 LAI 的空间分布图。

由于植被指数与叶面积指数存在饱和现象, 而且没有考虑树龄、土地覆盖/土地利用类型等因素的影响, 所得到的初步地上生物量空间分布图不能够反映其真实分布。因此, 本研究通过将植被指数、叶面积指数、树龄 (AGE) 和土地利用/土地覆盖等信息进行逐步回归建立回归模型, 对区域地上生物量进行了更为精确的估算。

图 2 为利用遥感影像估算地上生物量的流程图。

### 2.2.1 遥感影像处理与植被指数

本次试验所使用的遥感影像为两景 ETM+ 影像。时间分别为 2000 年 5 月 14 日 (125/42) 和 2000 年 5 月 21 日 (126/42, 含黎平县 90% 地区), 覆盖的范围为黎平县全境 (N25°44′—26°31′, E108°37′—109°31′)。首先对遥感影像进行辐射精校正, 然后利用“6S”大气校正模型对其进行大气订正, 消除大气对电磁波传输过程中造成的影响。黎平是典型的丘陵地区, 地形起伏的变化对利用遥感影像提取地表信息有较大的干扰, 有效地去除由于地形所造成的阴影, 对森林参数遥感反演研究具有重要的意义。阴影信息可能会隐藏植被冠层结构、树龄、树种等信息。进行地形校正的方法较多, 这里采用了<sup>[16]</sup>专门针对 TM 影像在森林制图研究时所提出的“太阳—冠层—传感器 (SCS, Sun Canopy Sensor)”亚像元方法<sup>[14]</sup>, 该方法是基于太阳辐射与受地形坡度和坡向影响的冠层元素之间的相互作用的原理发展而来的。已证实此方法可以从亚像元的水平去除阴影对植被的影响。

在此基础之上, 选用 ETM 中除热红外和全色波段以外的其余 6 个波段进行了几何校正, 校正后误差在一个像元之内。利用经过预处理的遥感影像进行了几种植被指数的计算, 公式见表 1。

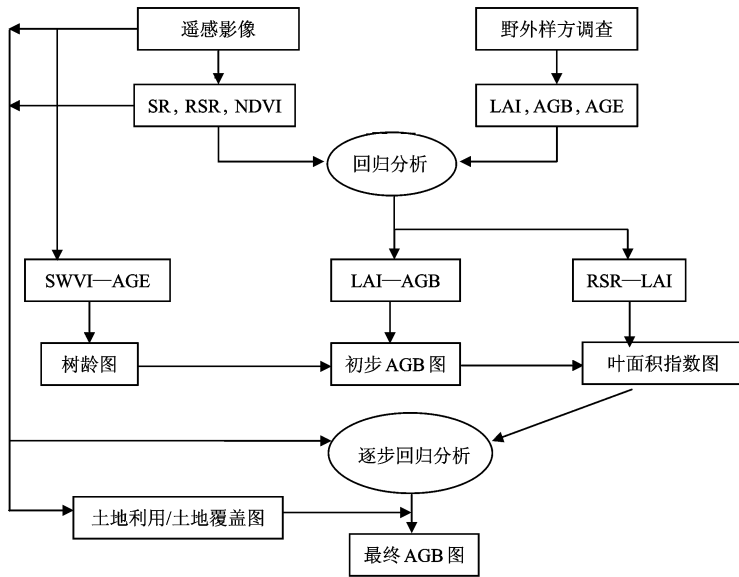


图 2 遥感影像估算地上生物量流程图

Fig 2 Flowchart of AGB estimation based on remote sensing images

表 1 三种不同的植被指数计算公式

Table 1 Three different calculation equations for vegetation index

| 植被指数类型 | 计算公式  |
|--------|---|
| NDVI   | $(NIR - red) / (NIR + red)$   |
| SWVI   | $(NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$   |
| SR     | $NIR / red$   |
| RSR    | $\frac{\rho_{NIR}}{\rho_{RED}} \left( 1 - \frac{\rho_S - \rho_{Smin}}{\rho_{Smax} - \rho_{Smin}} \right)$ |

注: NIR代表近红外波段, red代表红光波段, ρ代表某波段的反射率, S<sub>max</sub>, S<sub>min</sub>分别代表短波红外波段反射率的最大值与最小值, SWIR代表短波近红外的反射率。

RSR引进了短波红外通道,由于短波红外通道对植被下垫面的土壤和其他背景很敏感,因而可以抑制背景(包括灌木、草、苔藓和土壤森林中杂草)的影响<sup>[17]</sup>。

### 2.2.2 野外实地观测

为了得到准确的生物量资料,分别于 2003年 8月和 2004年 8月赴黎平县进行了实地的样地测量(图 3),共选取了 60个样地。其中有 46个样地进行了叶面积指数和立地环境的调查,对另外的 14个样地进行了叶面积指数观测、立地调查和每木检尺的工作,包括胸径、树高、坡度、坡向、海拔和利用生长锥进行相对生长量的测定,并利用高精度的 GPS进行了定位。样地的植被类型包括马尾松、鹅掌秋、香樟、杉木、混交林等。

根据实测数据计算每株林木的地上生物量。地上生物量的计算公式为  $AGB = a (D^2H)^b$  [AGB代表地上生物量, D代表胸径, H代表树高, a和 b分别回归参数]。本研究中所采用的计算公式为一些相近地区的马尾松、杉木等已发表的相关文献中的公式<sup>[18]</sup>。在计算过程中,先单独分别计算各个器官的生物量,然后求和得到每一株树木的地上生物量。树干生物量占森林地上生物量的主要部分,其他的枝和叶的生物量只占少数部分。在利用遥感信息进行森林生物物理参数的提取过程中,冠层尺寸、冠层郁闭度等与土壤背景对遥感信息的干扰有着密切关系。这一点在利用遥感信息进行叶面积指数的提取过程中已得到证实。在本研究中,选用了 RSR植被指数来解决这样的问题,它不仅可以减少背景信息的影响,而且对 LAI变化更为敏感,还可以将常绿阔叶和针叶林提取统一起来<sup>[15]</sup>。

### 2.2.3 建立地上生物量与植被指数和树龄的关系

在本次研究中,定义生物量为胸径大于 3cm,树高大于 1.3m的林木的生物量。张佳华等人<sup>[19]</sup>分析了植被生理参数(LAI, NDVI, FPAR, PAR)与遥感信息参数之间的关系,并认为这些参数可以用来建立地上生物量的机理估算模型。为了能够生成树龄空间分布图,首先在进行采样的 14块样地中,使用生长锥分别选取幼龄、中龄、老龄共十几棵不同阶段的树木进行取样,然后对不同年龄、不同树种的木芯进行了年轮分析以及相对生长量的测量。得到了实测

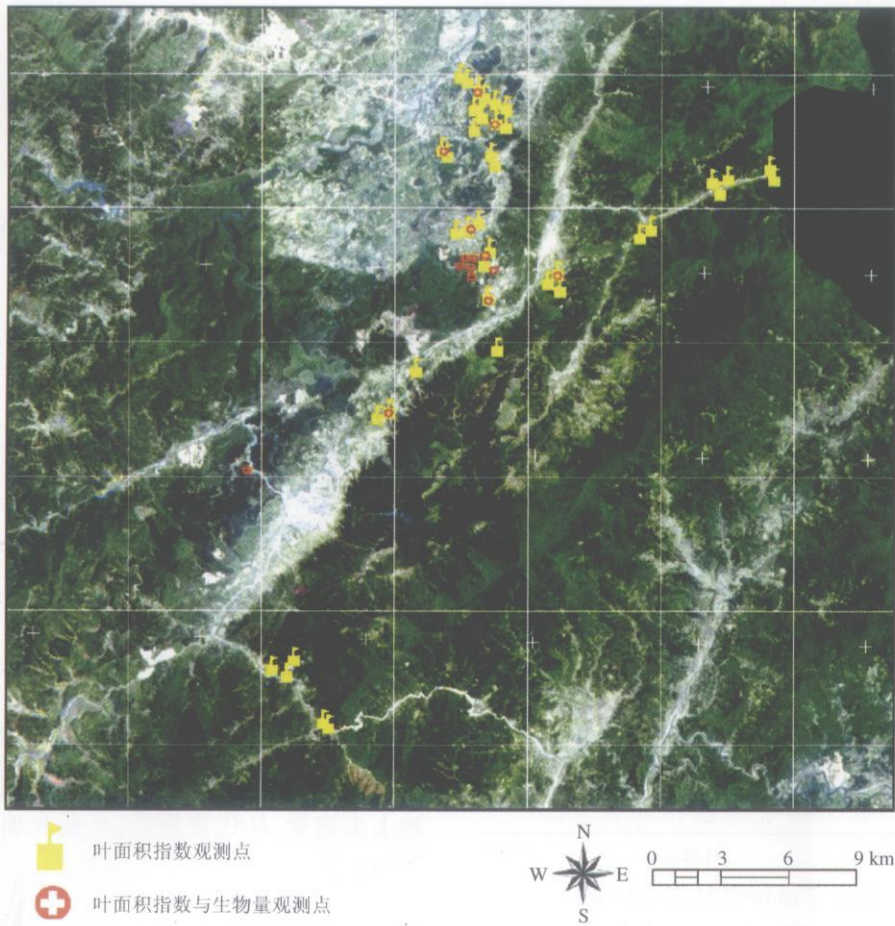


图 3 叶面积指数与生物量观测点 (背景为黎平地区的 ETM 真彩色合成影像图 2000 05 15)

Fig 3 The field observed plots of LAI and biomass

(The background is the true color ETM remote sensing image of Liping County on May 15, 2000)

的树龄数据。最近已有研究<sup>[20]</sup> [Fraser & Li, 2002] 发现短波近红外在识别树种与树龄方面有着较为突出的作用, 树木年龄的变化导致了在遥感影像中红光、近红外和短波近红外波段的反射率的变化, 因此利用短波近红外与近红外波段来进行树木年龄的空间分布制图是可行的。本文将得到的 SWVI 指数图像与实地测量的样地树龄数据进行了回归统计分析 (图 4)。

通过上述的计算得到样地的乔木层的地上生物量和叶面积指数。然后建立地上生物量与叶面积指数之间的回归关系 (图 5), 结果显示叶面积指数与生物量之间有一定的相关性 ( $R^2 = 0.6099$ )。利用这一模型和由遥感信息获取的叶面积指数图即可得到初步的地上生物量空间分布图。由于不同的树种之间有很多的诸如生长速度、生长周期等等差异, 因此所得到的初步的地上生物量空间分布不能反映真实情况, 需建立更为准确的估算模型。由遥感影像

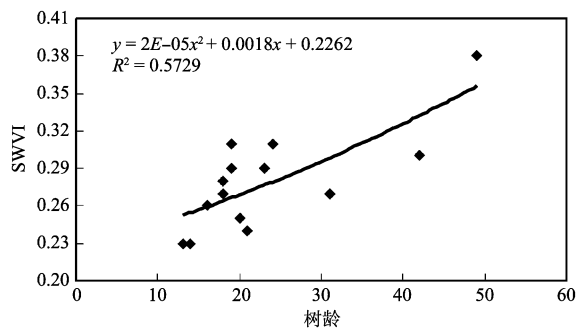


图 4 黎平地区短波近红外植被指数 (SWVI) 与树龄之间的相关关系

Fig 4 The correlation between SWVI and forest age

计算出 SR, RSR, NDVI 三种植被指数, 通过逐步回归的方法将地上生物量作为因变量, SR, RSR, NDVI, LAI, 树龄作为自变量重新建立回归模型。

### 2.3 土地覆盖/土地利用图

在本次研究中, 为了能够得到精确的地上生物

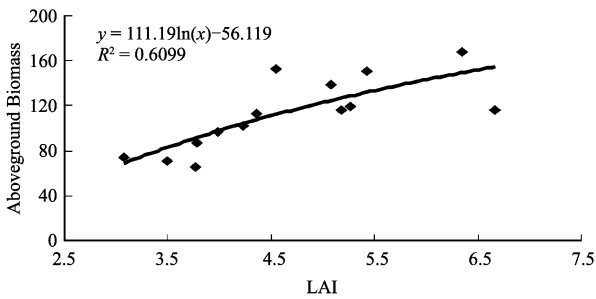


图 5 地上生物量与叶面积指数之间的相关关系  
Fig 5 The correlation between the aboveground and leaf area index (LAI)

量估算结果,利用监督分类的平行六面体法对黎平全县全境进行了分类(图 6);分为六大类:针叶林(conifer)、阔叶林(broadleaf)、竹林(bamboo)、混交林(mix forest)、裸土(bare soil)和人工建筑(building)、水体和河流(water)。如图 6 所示,黎平县的主要树种为混交林和针叶林。

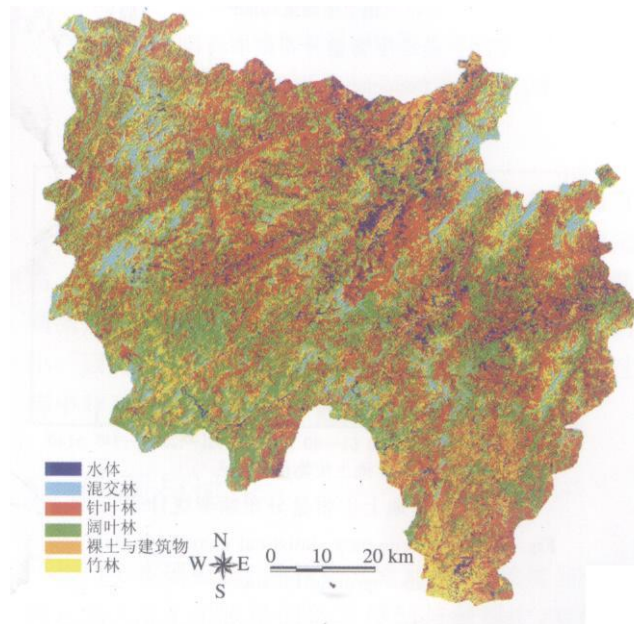


图 6 黎平县土地利用/土地覆盖分类图  
Fig 6 The land cover/land use map of Liping County

### 3 结 论

通过逐步回归分析发现(表 2),总体的森林生态系统的地上生物量与 LAI 和 RSR 之间有一定的相关关系 ( $R^2 = 0.895$ );杉木林的 AGB 与 LAI 和 NDVI 之间有较强的相关性 ( $R^2 = 0.93$ );针叶树的 LAI 与年龄是 AGB 较好的估算因子 ( $R^2 = 0.937$ );

表 2 生物量估算的统计模型

Table 2 The statistical model for biomass estimation

| 名称  | 回归模型         |               |                | $R^2$ |
|-----|--------------|---------------|----------------|-------|
| 总体  | AGB = 43.351 | LAI + 4.443   | AGE - 166.565  | 0.895 |
| 杉木  | AGB = 36.941 | LAI + 197.411 | NDVI - 125.951 | 0.930 |
| 针叶  | AGB = 55.185 | LAI + 3.862   | AGE - 204.038  | 0.937 |
| 阔叶林 | AGB = 7.238  | AGE - 15.792  |                | 0.792 |
| 混交林 | AGB = 26.808 | LAI + 15.181  | SR - 60.584    | 0.931 |

阔叶林的 AGB 与年龄有一定的相关性 ( $R^2 = 0.792$ );混交林的 AGB 与 LAI 和 SR 有较强的相关性 ( $R^2 = 0.931$ )。结果表明,将年龄与土地覆盖类型的信息加入到地上生物量回归模型的建立中,是一种较好的改善多光谱遥感估算精度的方法。结合土地覆盖类型的高分辨率树龄空间分布图可为森林生态系统的可持续发展和管理提供科学的论据(表 2)。

利用叶面积指数与地上生物量之间的回归关系,将其与由遥感影像获得的土地利用/覆盖分布图叠加,得到了带有树种信息的树龄空间分布图(图 7),这样的结果不仅为森林的采伐间期管理和树种的空间分布提供了直观、科学的依据,而且还有利于进行种群年龄结构的分布状况的了解。

由多树种组成的森林生态系统,种内和种间与环境之间构成了复杂的相互关系,为了能够实现森林生态系统的可持续发展,有必要对整个生态系统

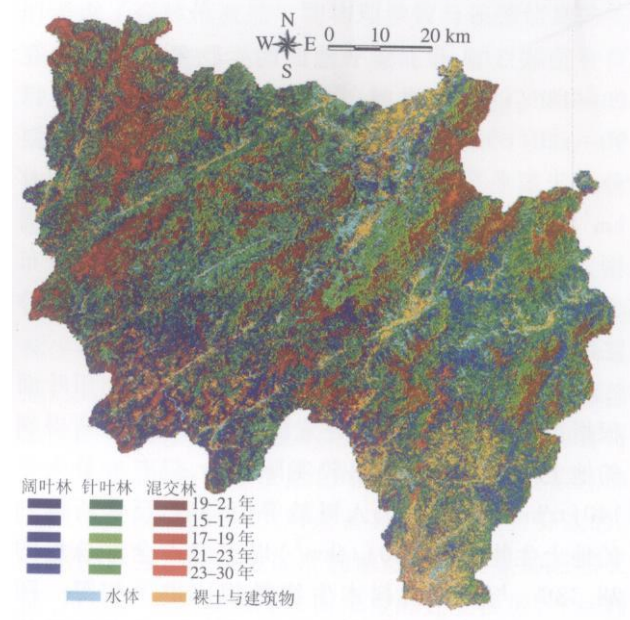


图 7 黎平地区结合土地利用类型的树龄空间分布图  
Fig 7 The forest age spatial distribution with the land cover/land use information

的树种组成及其空间分布、树龄组成及其空间分布制图有所了解,这对指导森林经营具有重要的意义,同时也可作为森林抚育间伐的主要依据。以龄级为标准可将森林划分为同龄林和异龄林,获得了具有较好分辨率的带有森林类型信息的树龄分布图。通过将树龄和土地覆盖类型引入到模型中来,建立了新的统计回归方程,分别计算出阔叶林、针叶林、混交林的地上生物量的空间分布,形成了最终的黎平县地上生物量空间分布图(图 8)。

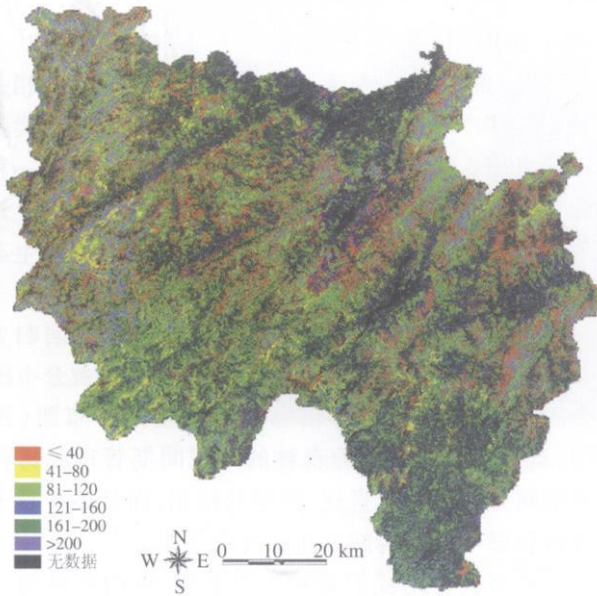


图 8 黎平县地上生物量空间分布图

Fig 8 The spatial distribution of final aboveground biomass

由表 3 显示了黎平地区的生物量主要集中在 90—180 (t/hm<sup>2</sup>) 之间,占总量的 64.16%,其中以 90—120 (t/hm<sup>2</sup>) 最为集中;占总量的 46.25%,主要分布于黎平县的西南部;图 8 显示生物量低于 40 (t/hm<sup>2</sup>) 的树林主要分布于一些河流、公路及乡镇周围,已形成一些采伐迹地。在黎平县西部集中分布着一些生物量较高的树林,介于 120—200 (t/hm<sup>2</sup>) 之间。

通过将图 9 与图 10 对比可发现,仅仅利用叶面积指数与地上生物量所建立的统计回归关系所得到的地上生物量总体结果较实际偏小,仅有少量大于 140 (t/hm<sup>2</sup>)。通过引入树龄等信息后,反演所得到的地上生物量在 140 (t/hm<sup>2</sup>) 以上的占全部总量的 28.38%,与实测的树木生物量相比也不相符。图 11 显示树木的生物量分布也相对均匀,虽然这只是样地中的部分树木,由于所选样地的典型性,因而可以反映整个区域的整体趋势。

表 3 最终地上生物量区间频率统计表

Table 3 The range frequency statistical chart of final aboveground biomass

| 生物量区间   | 百分比 /% | 生物量区间   | 百分比 /% |
|---------|--------|---------|--------|
| 0—30    | 10.08  | 181—210 | 0.28   |
| 31—60   | 11.97  | 211—240 | 9.09   |
| 61—90   | 3.32   | 241—270 | 0.08   |
| 91—120  | 46.25  | 271—300 | 0.93   |
| 121—150 | 4.43   | >300    | 0.09   |
| 151—180 | 13.48  |         |        |

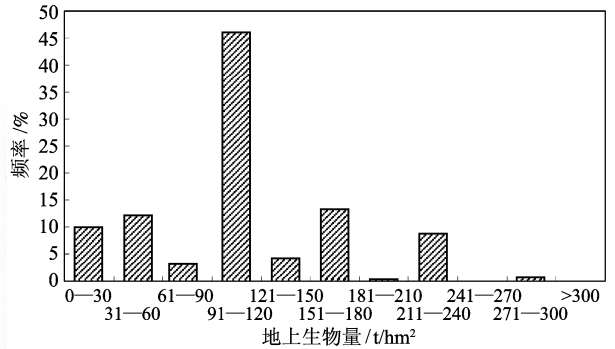


图 9 最终生物量分布频率统计表

Fig 9 The frequency statistical chart of final aboveground biomass

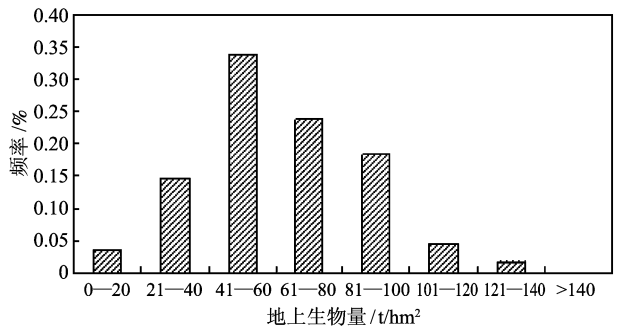


图 10 初步地上生物量分布频率统计表

Fig 10 The frequency statistical chart of initial aboveground biomass

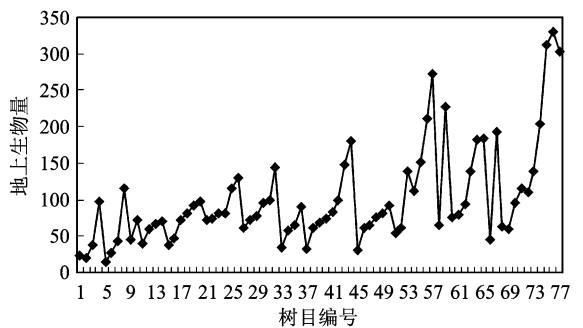


图 11 树木实测生物量统计表

Fig 11 The statistical chart of field observed forest aboveground biomass

## 4 模型验证

样地数据中选取了 26 株树木的生物量进行了模型的验证,实测的与通过模型计算得到的地上生物量建立回归关系,其相关性较好 ( $R^2 = 0.9068$ ) (图 12)。

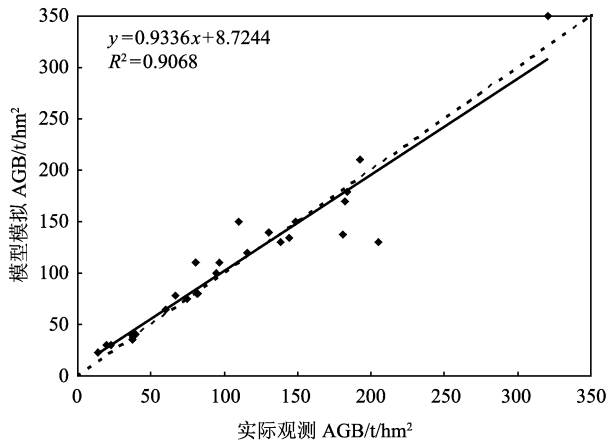


图 12 实测地上生物量与模型计算生物量的相关关系

Fig 12 The correlation between the observed and modeled AGB

本研究所建立的模型计算得到的地上生物量有着较高的精度,当对于树龄较大的树木结果略为偏高,主要是由于在郁闭度较高的森林中,对树高的精确测量较为困难,测量结果与实际树高相比可能稍小。因此在利用经验公式计算树木地上生物量的过程中导致偏小。

## 5 问题与讨论

(1) 本研究,将树龄和土地利用/土地覆盖类型信息加入地上生物量的估算模型与制图中,有效地改善了其制图精度。由于黎平地区是典型的丘陵地区,地形阴影对植被的准确分类与树种的识别都有较大的干扰作用,同时也对水体提取有较强的干扰。本研究中,叶面积指数制图基于森林植被的准确分类,取决于植被指数的选取,从遥感机理上抑制土壤背景和垫面的影响以及地形阴影的有效去除,因此进行地形校正具有很重要的意义,本研究中,对比地形校正前后的地上生物量的结果发现,经过地形校正后的结果准确性较之校正前有较明显的提高。

(2) 本研究所采用的数据是 ETM 数据,利用 ETM 影像所得到的山区森林覆盖类型图精度往往

较低。理论上,ETM 影像的最小像元为  $30\text{m} \times 30\text{m}$  的大小,因此对于分布面积不大且比较分散的树种不能很好地反映到影像上,必然会造成混合像元。贵州黎平地区主要以针叶林为主,且多为混交林,由于海拔较低,该地区的植被分布的垂直地带性不明显,加上 ETM 影像光谱波段的限制很难从影像分类中区分树种类型,从而影响了叶面积指数的算法,进一步导致了地上生物量的制图精度。

(3) 在利用遥感技术进行森林生态系统的地上乔木层生物量的估算过程中,首要的是建立真正的实测生物量与遥感信息间的相关关系,将树龄引入到地上生物量估算模型的建立中来,在一定程度上改善了地上生物量的估算精度,但要实现对森林生态系统整体地上生物量的估算还是会受到诸如灌丛等等的影响,从而会降低估算精度。

(4) 对于同一地区的森林生态系统来说,森林的郁闭程度与植被的生长年龄之间并不是完全的线性关系。可能会出现某一林分的郁闭度很高,但它却是幼龄林或中龄林(对于某些阔叶林);而同时也可能会有郁闭度较低的老龄林,反映在遥感影像上的植被指数信息较低,会造成遥感反演生物量的误差。

## 6 结束语与展望

(1) 本文主要分析并实现了利用多光谱卫星遥感影像进行大区域的生态系统生物量制图研究,同时考虑了森林植被的生物物理参数与遥感信息的关系,由于黎平地区为典型的丘陵地带,而且其优势树种为针叶树种。在对三种植被指数进行了比较之后,发现 RSR 指数对于黎平地区的叶面积指数的提取效果较好,而且可以有效的降低由于地面背景所造成的影响。

(2) 在此基础上,提出了利用树龄信息进行修正由于叶面积指数(LAI)的“饱和”现象所带来的森林生物量的估算误差,由于树木在生长过程中,当森冠达到一定的郁闭程度时,其叶面积指数在遥感信息上的反映将出现相应的饱和现象,但此时,随着树木的生长,其生物量依然在增加,因此将树龄信息加入到估算模型的建立,对改善其精度是较为有效的。

(3) 为了能够更加准确地进行生物量的遥感反演,可以从生物量机理方面来考虑建立模型,并且利用微波雷达、激光荧光等技术来获取一些植被的生物物理参数,从而建立植被的生物物理参数(诸如 LAI, FAPR, 净光合利用率等)与遥感信息之间的信

息反演模型,从而从根本上推算森林生态系统的生物量的空间分布,并实现森林生物量的动态监测。而且可以将森林生态系统的乔木层的生物量分为几部分,分别利用对应的遥感信息来反演,比如说,可以利用遥感信息反演得到叶面积指数,从而得到叶子的生物量;树高可以利用雷达和激光遥感的方法来测得,也可以利用数字地表模型和数字高程模型之间的差值来获得树高,从而推算树干和树枝的生物量,再利用地上生物量与地下生物量之间的比例关系,来获得全树的生物量。

## 参 考 文 献 (References)

- [1] IPCC (International Panel on Climate Change). Impacts Adaptations and Mitigation of Climate: Scientific technical Analyses [A]. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [C]. Cambridge University Press, 1996.
- [2] Xu H. A Biomass Model Compatible with Volume [J]. Journal of Beijing Forestry University, 1999, 21 (5): 32—36. [胥辉. 一种与材积相容的生物量模型 [J]. 北京林业大学学报, 1999, 21 (5): 32—36.]
- [3] Haripriya G S. Estimates of Biomass in Indian [J]. Forests Biomass and Bioenergy, 2000, 19: 245—258.
- [4] Fang J Y, Wang G G, Liu G H, et al Forest Biomass of China: an Estimate Based of the Biomass volume Relationship [J]. Ecological Applications, 1998, 8 (4): 1084—1091.
- [5] Goetz S J, Prince S D, Small J, et al Interannual Variability of Global Terrestrial Primary Production: Results of a Model Driven with Satellite Observations [J]. Journal of Geographic Research, 2000, 105: 20077—20091.
- [6] Prince S D, Goward S N. Global Primary Production: A Remote Sensing Approach [J]. Journal of Biogeography, 1995, 22: 815—835.
- [7] Running S W, Thomson P E, Nemani R, et al Global Terrestrial Gross and Net Primary Productivity from the Earth Observing System [M]. Methods in Ecosystem Science, 2000.
- [8] Zheng D L, Rademacher John, Chena Jiquan, et al Estimating Aboveground Biomass Using Landsat 7 ETM + Data Across a Managed Landscape in Northern Wisconsin, USA [J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 93: 402—411.
- [9] Luuk K A Dorrena, Bemhard Maierb, Arie C. Seijmonsbergena. Improved Landsat based Forest Mapping in Steep Mountainous Terrain Using Object based Classification [J]. Forest Ecology and Management, 2003, 183: 31—46.
- [10] Spencer R D, Green M A, Bliggs P H. Integrating Eucalypt Forest Inventory and GIS in Western Australia [J]. Photogram Metric Engineering & Remote Sensing, 1997, 63 (12): 1345—1351.
- [11] Sophie Moreau, Thuy Le Toanb. Biomass Quantification of Andean Wetland Forages Using ERS Satellite SAR Data for Optimizing Livestock Management [J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 84: 477—492.
- [12] Peter A Harrell, Eric S Kasischke, Laura L Bourgeau Chavez, et al Aboveground Biomass in Southern Pine Forests Using SIR C Data [J]. Remote Sensing of Environment, 1997, 59: 223—233.
- [13] Anatoly A. Gitelson. Wide Dynamic Range Vegetation Index for Remote Quantification of Biophysical Characteristics of Vegetation [J]. Journal of Plant Physiology, 2004, 161: 165—173.
- [14] Liu J, Chen J M, Cihlar J, et al A Process Based Boreal Ecosystem Productivity Simulator Using Remote Sensing Inputs [J]. Remote Sensing of Environment, 1997, 62: 158—175.
- [15] Fraser R H, Li Z. Estimating Fire related Parameters in Boreal Forest Using SPOT Vegetation [J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 82: 95—110.
- [16] Gu D G, Alan Gillespie. Topographic Normalization of Landsat TM Images of Forest Based on Sub pixel Sun Canopy Sensor Geometry [J]. Remote Sensing of Environment, 1998, 64: 166—175.
- [17] Brown L J, Chen J M, Leblanc S G, et al Short Wave Infrared Modification to the Simple Ratio for LAI Retrieval in Boreal Forests: an Image and Model Analysis [J]. Remote Sensing of Environment, 2000, 71: 16—25.
- [18] Feng Z W, et al Forest Ecosystem's Biomass and Productivity in China [M]. Beijing: Science Press, 1999. [冯宗炜等, 中国森林生态系统生物量与生产力 [M]. 北京: 科学出版社, 1999.]
- [19] Zhang J H, Fu C B. A Study on Relationships Between Remote Sensing Information and Plant Photosynthetic Parameters in Estimating Biomass Model [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 1999, 128 (2): 128—132. [张佳华, 符宗斌. 生物量估测模型中遥感信息与植被光合参数的关系研究 [J]. 测绘学报, 1999, 128 (2): 128—132.]
- [20] Eastwood J A, Plummer S E, Wyatt B K, et al The Potential of SPOT Vegetation Data for Fire Scar Detection in Boreal Forests [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19: 3681—3687.