

## 基于多光谱数据的永定河流域植被生物量反演

何 诚<sup>1</sup>, 冯仲科<sup>1\*</sup>, 韩 旭<sup>1</sup>, 孙梦莹<sup>1</sup>, 巩垠熙<sup>1</sup>, 高 原<sup>1</sup>, 董 斌<sup>2</sup>

1. 北京林业大学测绘与 3S 技术中心, 北京 100083
2. 安徽农业大学理学院, 安徽 合肥 230036

**摘 要** 用传统研究植被生物量实测的方法不仅耗时费力, 而且由于影响因子不易确定会导致预估精度不高。选择永定河流域河北——北京段为研究区域, 以该地区 2009 年 7 月 20 日的 TM 影像数据为数据源, 结合当地分辨率为 30 米的数字高程模型(digital elevation model, DEM)数据和其他相关辅助解译资料, 并借助全站仪等高精度测量仪器进行外业调查, 归纳出永定河地区遥感因子与植被生物量可能存在的函数关系, 通过多元线性回归分析遥感影像因子并建立反演模型, 最后将反演模型进行精度分析。通过将实测值和预测值分析对比, 得出反演模型总体相对误差为 -0.025%, 平均相对误差为 -0.016%, 总体预估精度高达 84.56%。模型的建立可对大范围流域生态环境因子进行及时、快速、准确地调查, 为永定河生态环境问题诊断提供实验数据。

**关键词** 永定河; 植被; 生物量模型; 精度分析

**中图分类号:** TP79 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2012)12-3353-05

### 引 言

植被在陆地生态系统中所起的作用不仅表现在吸收二氧化碳释放出氧气, 而且在维持群落平衡和气候调解上起着重要作用。对特定区域植被生物量的估算研究, 能衡量该区域的生态环境优良程度, 掌握区域生态环境的变化, 为相关环境保护和规划部门提供决策数据。随着传感器技术的发展, 过去的 20 年, 遥感技术在森林资源清查工作和生物空间调查工作中应用广泛, 并且相关研究证明遥感数据的使用效果良好, 然而对流域植被生物量动态变化的研究仍很薄弱<sup>[1, 2]</sup>。

用传统实测估测生物量的方法, 需要在区域里建立标准样地, 对样地里的所有植被进行数据调查, 对样地数据进行处理建立模型, 从而推广开来, 估算出整个区域的生物量。这种方法首先需要投入大量人力、物力、财力在实验区做大量调查工作, 其次有的生物量测算区域限制了调查工作者去现场进行测量工作, 如沼泽、陡峭的山区, 灌木丛密集地带等一些受到自然因素制约的地带。类似于这些人为或天然的制约因素往往放大了估算生物量误差, 对及时发现区域生态

环境和生物量的变化带来了负担。遥感技术的投入使得估计生物量方便、精度更为准确, 常用的通过遥感数据变量来模拟生物量变化的方法是使用统计回归法, 通过地面测量数据校准卫星光谱数据, 建立模型。世界上很多研究表明这种方法是有效可行的<sup>[3-8]</sup>, 在模型的基础上进行回归分析已经应用的很多, 然而精度问题一直是讨论的热门话题。如冯仲科等<sup>[3]</sup>系统全面的对各种传感器的性能进行分析, 从而对生物多样性进行系统阐述, 让作者了解了各种传感器各自的特点, 以多光谱数据为基础为本文研究永定河流域的生物量, 进而为把握生态环境的变化打下基础。Hame 等<sup>[4]</sup>、DE Jong 等<sup>[5]</sup>、张慧芳等<sup>[6]</sup>采取遥感数据与地面调查相结合法对相应的区域生物量进行估算, 虽然效果明显, 但估算方法受区域限制, 推广难度很大。童庆禧等<sup>[7]</sup>运用光谱数据对湿地植被建立生物量模型, 对湿地的面积变化进行了探讨。但区域的差异, 导致不同植被类型建立的生物量模型结果精度稳定性不高。何诚等<sup>[8]</sup>运用三维激光扫描技术对北京市植被建立生物量模型, 提出基于数字高程模型计算植被体积的研究, 其精度与传统手工测量相比大大提高, 但因仪器价格昂贵, 操作程序繁杂, 普及研究需要三维激光扫描仪器技术和价格的相应发展。

**收稿日期:** 2012-04-30, **修订日期:** 2012-09-12

**基金项目:** 国家(863 计划)项目(2009AA12Z327, 2008AA121305-4), 国家科技支撑计划项目(2012BAH34B01), 北京市自然科学基金项目(09D0297)和国家自然科学基金项目(30872038)资助

**作者简介:** 何 诚, 1985 年生, 北京林业大学测绘与 3S 中心博士研究生 e-mail: hech\_eng@163.com

\* 通讯联系人 e-mail: fengzhongke@126.com

本研究采用 TM(thematic mapper)影像数据估算永定河流域生物量, 这项研究不是唯一的, 运用遥感数据反演生物量的研究比比皆是, 但是大部分研究都是用的常用的反演方法, 本文研究引进一种新的建模技术, 应用的方法强调了对地面因子的调查精度, 扩展了传统的海拔高度信息, 专门进行了广泛的实地调查研究的基础上, 结合精密测量仪器全站仪, 获取树高和树干任意处的直径, 结合遥感数据, 对最佳选择模型参数和模型比较研究, 并对最终建立的反演模型进行精度分析, 得出结论该模型适用于各时相的生物量计算。

## 1 实验部分

### 1.1 研究区概况

研究区永定河(北京段)位于中国西南部, 是北京地区最大的河流, 本研究范围为永定河的河北到北京段, 流域长达 169.55 km, 流域覆盖面积达到了 3 168 km<sup>2</sup>, 该地区气候干燥多暴雨, 全年降水主要集中在夏季的六、七、八三个月, 七、八月有大到暴雨容易导致洪水的发生。流域横跨北京 5 个区, 多山区, 高程落差大, 水流湍急, 被国务院列为重点防汛地。研究区相对于热带区域植被种类偏少, 灌木所占比率远远超过乔木的比率。北京日常用水和工业用水的需求大于北京供水量, 使得政府将永定河的水流引进到北京市内, 虽然明显缓解了北京的用水压力, 但随着工业的污染、植被的破坏, 导致永定河流域的生态环境发生了严重的恶化, 恢复永定河生态环境已经成了迫在眉睫的项目, 精准、及时的估算永定河植被生物量显得格外的有意义。

### 1.2 外业数据获取

森林资源清查期间, 将遥感图像与当地地形图相结合来确定植被在永定河区域的覆盖位置和面积, 在永定河流域(三家店水库——卢沟桥)段的样地运用分层抽样的方法建立研究位置, 对研究区域的林分特征参数(胸径、树高、冠幅)运用 GPS、全站仪等精密测量仪器进行了系统量测, 将获取数据作为建立植被生物量模型的配套数据。相对于传统测量方法, 样地的平面坐标、树高和冠幅精度都能达到厘米级, 高程精度达到分米级, 大大提高了模型配套数据的精度。在研究区域根据不同林分起源、林分密度等因数选取样地, 在确定样地的方位后, 用全站仪的放样功能定位出标准样地的四个顶点, 这样可以保证样地的面积的精准。在这标准样地里面的每棵树依次进行标号: 1, 2, 3...,  $n$ 。测量每棵树的胸径, 以及利用全站仪的悬高测量功能精准测取每棵树的树高, 使用北京林业大学冯仲科教授无伐倒测量立木材积技术获取这块样地胸径、树高接近平均值的立木的材积, 最终通过分析数据, 获取样地蓄积量。

### 1.3 遥感数据处理

整个研究区域以该地区 2009 年 7 月 20 日的 TM 影像数据为数据源, 借助于北京地区 30 米数字高程模型数据和其它地图、大气透过率等辅助解译资料, 对图像进行预处理, 同其他常见的卫星数据的步骤一样, 如几何和大气校正, 正射校正, 转换数字的反射率值等, 最终获取 TM 遥感影像解译的永定河流域植被覆盖等土地利用数据。以统计处理出来的林地面积、草地面积、耕地面积等数据为基础, 对永定河流域生物量模型进行研建。地理信息系统数据源, 以研究区

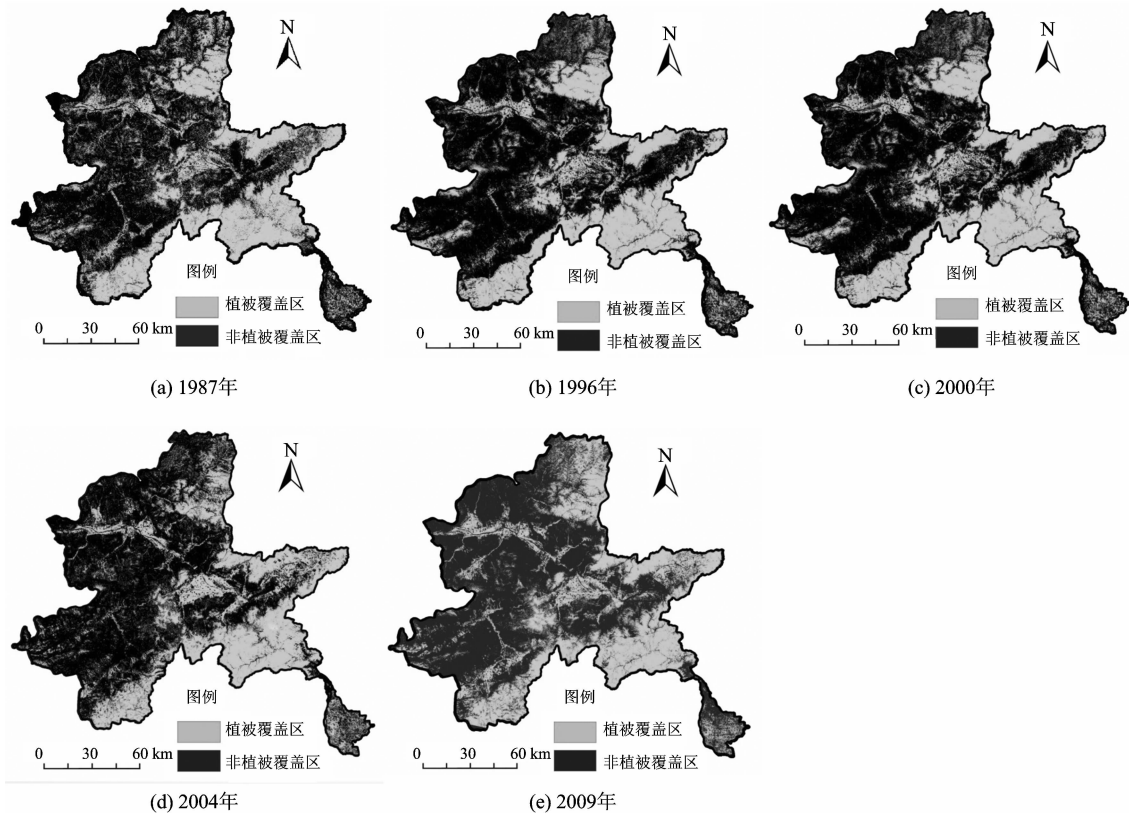


Fig. 1 Vegetation cover distribution along Yongding River

30 m 的数字高程模型数据为基础生成坡度图和坡向图, 用来作为生物量模型研建的基础数据。将 NDVI 值进行变换处理, 用像元灰度值明确北京永定河研究区域的植被指数分布, 通过 NDVI 值转化来获取对应的植被覆盖等级, 最终获取研究区域(永定河流域北京段区域)植被覆盖度信息, 如图 1 所示。

## 2 模型的建立及精度分析

永定河(北京段)植被生物量模型精度保证, 首先样地调查利用了全站仪等精密测量仪器对样地观测获取数据, 用全站仪对样地树木的精准量测, 相对传统工具每木检尺法是一个创新。样地调查的内容, 包括样地 GPS 坐标, 地形因子, 林分因子, 土壤类型, 样地概况等。全站仪的悬高测量功能及坐标反算距离功能, 使得在量取树木高度和冠幅上的精度上有了很大的提高, 树高的精度由原先的亚米级上升为毫米级, 冠幅的精度由传统皮尺量测的亚米级上升为厘米级。将外业采集的高精度数据, 使用回归软件对其分析, 寻找出样地实测数据与遥感影像数据的相互函数关系。其次是外业布设样本点共达 112 个, 为保证数据精度, 在布设样地的时候, 使用全站仪的放样功能, 大大保证了量测样地面积的精度。为了避免样地量测数据与后期处理产生误差, 如影像校正时因样地点处于地类变化边缘, 而引起的误差, 所以对样地点数据进行了严格的筛选。将离群值较大和地类变化边缘地区的样本点进行了删除。筛选出来可建模样本点数据 80 个, 运用随机抽样原理抽取 50 个样地数据进行建模, 将剩余的 30 个样地点数据作为反演模型的检验数据。

### 2.1 模型选择

坡度、坡向等地形因子, 影像成像时间, 气候因素, 人为活动等多种因素都与植被的生物量有关联。所以, 由多个自变量的最优组合来预测自变量的多元线性回归方法, 成为了首选。该方法相对于一元和二元线性回归的方法更能体现实际, 精度相对更高。

#### 2.1.1 确定反演因子

获取的 TM 遥感影像解译的北京地区土地利用数据, 以林地的分布及统计数据为基础, 对研究区域(永定河流域北京段)的森林生物量进行反演。地形数据以北京地区 30 m 的 DEM, 生成坡度图, 坡向图, 作为参与建立模型的基础数据。首先将外业样地的 GPS 定位点以坐标的形式在 ArcMAP 软件中进行展绘, 读取每一点的卫星影像灰度值、波段组合值、高程、坡度、坡向值作为自变量, 建立起像元生物量与影像灰度值及 GIS 地形因子之间的一一对应关系, 来作为反演模型的样本数据, 通过试验, 回归模型中引入地形因子, 并没有提高回归模型精度, 甚至, 还使模型稳定性有所下降, 因此, 试验结果表明, 地形因子不参与反演, 模型中只引入 18 个遥感因子。参考高战等<sup>[9-12]</sup>的建立反演模型的经验, 加入了 3 个地理信息系统因子之间的相关性、信息量和方差扩大因子分析。对上述的 21 个因子(如表 1 所示)进行研究筛选, 用数率统计软件 SPSS 对上述因子进行相关性分析, 挑选出与植被生物量相关性较高的因子建模。

Table 1 Remote sensing factor and its correlation coefficient

变量	变量对应的因子	与像元生物量的相关系数	Sig
$x_1$	TM1	0.512	0.000
$x_2$	TM2	0.606	0.000
$x_3$	TM3	0.643	0.000
$x_4$	TM4	0.563	0.000
$x_5$	TM5	0.164	0.660
$x_6$	TM6	0.446	0.001
$x_7$	TM7	0.408	0.003
$x_8$	TM(4-3)/TM(4+3)	0.769	0.000
$x_9$	TM4/TM3	0.734	0.000
$x_{10}$	TM4-TM3	0.747	0.000
$x_{11}$	TM(4+5-2)/TM(4+5+2)	0.615	0.000
$x_{12}$	TM(4*3)/TM7	0.250	0.080
$x_{13}$	TM7/TM3	0.269	0.059
$x_{14}$	TM4/TM2	0.737	0.000
$x_{15}$	TM(5+7-2)/TM(5+7+2)	0.303	0.032
$x_{16}$	TM1-TM7	0.185	0.198
$x_{17}$	TM(4*5)/TM7	0.718	0.000
$x_{18}$	TM3/TM(1+2+3+4+5+7)	0.736	0.000
$x_{19}$	海拔 $h$	0.238	0.096
$x_{20}$	坡度 slope	0.297	0.036
$x_{21}$	坡向 aspect	0.084	0.562

通过表 1 数据分析, 选择建立模型的自变量为:  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{14}, x_{15}, x_{17}, x_{18}, x_{20}$ 。原因是其满足相关性大于 0.2 且显著性的值小于 0.05。

#### 2.1.2 模型的建立

模型的建立可以表述为以数学表达式的方式来反应变量与变量之间的相关性<sup>[13,14]</sup>, 多元线性回归方程一般表达式是

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon \quad (1)$$

其中  $\epsilon$  是随机项, 服从正态分布  $N(0, \sigma^2)$ 。假如  $(y_1; x_{11}, x_{21}, \dots, x_{k1}), \dots, (y_n; x_{1n}, x_{2n}, \dots, x_{kn})$  为一个容量是  $n$  的样本, 则有

$$\begin{cases} y_1 = \sum_{j=0}^k \beta_j x_{j1} + \epsilon_1 \\ \dots \\ y_n = \sum_{j=0}^k \beta_j x_{jn} + \epsilon_n \end{cases} \quad (2)$$

求出模型参数  $\beta_j$  的估计值  $\beta'_j (j=0, 1, \dots, k)$ , 进而求得  $y$  对  $x_1, \dots, x_k$  的线性回归方程

$$y' = \beta_0 + \beta'_1 x_1 + \dots + \beta'_k x_k \quad (3)$$

本文中, 因变量  $y$  是森林生物量, 筛选出的高相关性的 15 个因子作为自变量。实验分析表明, 地形因子引入到模型中, 不但没有提高生物量模型精度, 反而使其稳定性下降, 从而, 地形因子被删除不参与反演。反演的生物量模型为

$$\begin{aligned} B = & 0.424x_1 + 1.428x_2 - 2.513x_3 - 0.926x_4 + \\ & 0.052x_6 + 1.395x_7 + 196.352x_8 - 1.485x_9 - \\ & 41.519x_{11} + 11.784x_{14} + 28.344x_{15} + 0.136x_{17} + \\ & 1726.31x_{18} - 263.299 \end{aligned} \quad (4)$$

### 2.2 精度分析

将 30 个检验样本数据带入生物量遥感模型,对建立的森林生物量遥感模型进行精度分析,如表 2 所示。

**Table 2 Precision of multiple linear regression model**

R	R <sup>2</sup>	调整 R <sup>2</sup>	SEE
0.830	0.689	0.577	1.779 380

表 2 可得出,永定河流域北京段林地生物量多元回归模型的相关系数 R 值 0.83,决定系数高达 0.689,说明方程对参与建模数据拟合较好,能较好的反映出生物量与遥感因子的关系。

**Table 3 Analysis of multiple linear regression variance**

方差来源	平方和	自由度	均方	F	Sig.
回归	252.935	8	19.457	6.145	0.000
残差	113.983	41	3.166		
总计	366.918	49			

表 3 方差分析中可以得出:F 显著性检验概率是 0.000 (<0.001),表明回归方程具有显著性的程度极高。本研究采用 50 个样本参与建模过程,并用 30 个剩余样本进行精度检验。将检验样本数据带入模型(式 4)进行计算,获取预测值,通过实测值与预测值的对比分析来判别预测精度。

通过计算检验得出,如表 4 所示,模型的总体相对误差

RS 为 -0.025%,平均相对误差 E 为 -0.016%,总体预估精度 P 为 84.56%,表明模型精度很高。

**Table 4 Analysis of multiple linear regression error**

RS/%	E/%	P/%
-0.025	-0.016	84.56

### 3 结 论

通过使用高精度测量仪器全站仪进行实地调查,保证了样地量测的精度,结合 TM 影像数据,通过相对辐射校正获取各历史时期的森林生物量,是在无历史调查数据的情况下,实现了永定河流域森林生物量的反演。为了保证遥感反演结果的精度及适用性,精密测量仪器大大提高了外业调查样本量测的精度,将研究区域的实测值与遥感因子实施多元回归分析,建立模型。通过 30 样本的实测数据对模型进行精度分析,精度高达 85%。

Landsat TM 影像数据具有成本低、易获取、较好的光谱分辨率等优点。但是 TM 影像在获取居民地植被信息的精度较低,QuickBird 和 IKONOS 等高光谱遥感影像在生物量研究中更占优势。若要探讨森林生物量历史变化的深层原因,需结合历史时期的气象资料及社会各种因素,涉及的数据及文件资料庞大且难以收集,本研究没有对其变化的各种原因做定量分析,有待进一步的研究。

### References

- [1] DAI Xiao-hua, YU Shi-xiao(戴小华,余世孝). Chinese Journal of Ecology(生态学杂志), 2004, 23(4): 92.
- [2] XUE Li-hong, CAO Wei-xing, LUO Wei-hong, et al(薛利宏,曹卫星,罗卫红,等). Acta Phytocologica Sinica(植物生态学报), 2004, 28(1): 47.
- [3] HE Cheng, FENG Zhong-ke, YUAN Jin-jun, et al(何 诚,冯仲科,袁进军,等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2012, 32(6): 1628.
- [4] Hame T, Salli A, Andersson K. International Journal of Remote Sensing, 1997, 18(7): 3211.
- [5] DE Jong S M S, Pebesma E J, Lacaze B. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(7): 1505.
- [6] ZHANG Hui-fang, ZHANG Xiao-li, HUANG Yu(张慧芳,张晓丽,黄 瑜). World Forestry Research(世界林业研究), 2007, 20(4): 30.
- [7] TONG Qing-xi, ZHENG Lan-fen, WANG Jin-nian, et al(童庆禧,郑兰芬,王晋年,等). Journal for Remote Sensing(遥感学报), 1997, 1(1): 50.
- [8] HE Cheng, FENG Zhong-ke, YUAN Jin-jun, et al(何 诚,冯仲科,袁进军,等). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(农业工程学报), 2012, 28(8): 195.
- [9] GAO Zhan-guo, ZHANG Li-quan(高占国,张利权). Acta Ecologica Sinica(生态学报), 2006, 26(3): 793.
- [10] CHEN Jian, NI Shao-xiang, LI Yun-mei(陈 健,倪绍祥,李云梅). Remote Sensing for Land and Resources(国土资源遥感), 2008, 1(2): 62.
- [11] SHAO Cheng, ZHEN Zhong-lin, DONG Hou-de(邵 成,陈中林,董厚德). Journal of Liaoning University(辽宁大学学报·自然科学版), 1995, 22(1): 89.
- [12] Boote K J, Jones J W, Pickering N B. Agronomy Journal. 1996, 88(5): 704.
- [13] XIE Yun, Kiniry J R(谢 云, Kiniry J R). Acta Agronomica Sinica(作物学报), 2002, 28(2): 190.
- [14] Villalobos F J, Hall A J, Ritchie J T, et al. Agronomy Journal, 1996, 88(3): 403.

## The Inversion Processing of Vegetation Biomass along Yongding River Based on Multispectral Information

HE Cheng<sup>1</sup>, FENG Zhong-ke<sup>1\*</sup>, HAN Xu<sup>1</sup>, SUN Meng-ying<sup>1</sup>, GONG Yin-xi<sup>1</sup>, GAO Yuan<sup>1</sup>, DONG Bin<sup>2</sup>

1. Institute of GIS, RS & GPS, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2. College of Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China

**Abstract** Researching on vegetation biomass using the traditional measurement method is time-consuming and hard sledding, and prediction precision of biomass is always not good because of uncertain influencing factors. The present article aims at the current situation of Hebei-Beijing reach along Yongding River, using the Thematic Mapper data in this place on 20th July 2009 as source data, with the 30 meters Digital Elevation Model data in Beijing and other auxiliary information, meanwhile through field observation data, to find out the possible functional relationship along vegetation biomass and remote sensing image factor. The authors sorted out the vegetation biomass and remote sensing image factor on the sample plot, then set up an inverse model through multiple linear regression analysis, and analyzed the precision of inverse model. After calculating the measured value and predicted value, the authors got the global relative error is  $-0.025\%$ , the average relative error is  $-0.016\%$ , and the general predictive precision is  $84.56\%$ . The establishment of this model is able to investigate eco-environmental factors on large range timely, quickly and accurately, also can provide the experimental base for the eco-environmental survey on river basin, and make the foundation for the problem diagnosis of ecological environment and the research on ecosystem degradation mechanism of Yongding River.

**Keywords** Yongding River; Vegetation; Model of biomass; Accuracy analysis

(Received Apr. 30, 2012; accepted Sep. 12, 2012)

\* Corresponding author