

广东黑石顶森林生物量的三维估算^{*}

刘蔚秋, 余世孝, 王永繁, 练琚[✉]

(中山大学生命科学学院, 广州 510275)

摘要: 基于广东黑石顶自然保护区的数字植被分布图, 在样地调查的基础上, 采用 ArcInfo 的 2 种三维模型 (TIN 模型和 Lattice 模型) 估算了该区的总生物量, 并与二维尺度的分析结果进行了比较。结果表明纯针叶林的单位面积生物量一般低于 200 Mg/hm², 成熟阔叶林的单位面积生物量则高达 460 Mg/hm²。在森林的总生物蓄积量估算方面, 2 种三维模型的计算结果非常接近, 约为 810×10^3 Mg, 其中占保护区总覆盖面积 10% 的纯针叶林, 生物蓄积量约占总生物蓄积量的 7%, 占总面积 50% 的针阔混交林, 生物蓄积量约占 38%, 而占总面积仅 33% 的阔叶林, 生物蓄积量则占 55%。二维尺度的计算结果较三维模型估算的约低 12%。海拔梯度变化的分析结果表明, 生物蓄积量主要分布于海拔 300~700 m 范围内, 而单位面积生物量在海拔 400~800 m 处较高。

关键词: 森林; 生物量; 地理信息系统; 3-D 模型

中图分类号: Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) 04-0066-04

森林生物量是指特定时间内森林群落现有活有机体的干物质总质量, 它与森林覆盖率一样, 是每年国家及地方公布的统计指标之一。区域森林生物量的常规测定, 是在样木测定及样地调查的基础上, 假设研究区域具有高度均质的结构, 然后类推到较大范围内进行估算。这一过程需要解决数据由点及面的扩展问题, 在地理信息系统 (GIS) 技术的支持下, 可以采用图层叠加功能^[1]、插值功能^[2]或模型处理功能^[3,4]等来实现, 最终得出区域范围的森林生物量分布图或总生物蓄积量。

依据研究区域的地面起伏状况 (平原或山地), 考虑采用二维或三维空间来进行分析, 是森林生物量估算过程中需要解决的另一问题。目前有关这一领域的研究, 基本上都是将森林在地面的分布作为二维平面来处理, 也即将单位面积存储量与森林覆盖区的投影面积相乘获得区域总蓄积量。而实际上, 特别在山地情况下, 森林的覆盖面积要大于垂直投影面积, 这种信息的损失将不可避免地导致估算结果的偏差。

本文将地处亚热带山区的广东省封开县黑石顶自然保护区不同类型的森林群落为研究对象, 在大范围野外调查的基础上, 采用常规的森林生物量测定方法, 分别利用 GIS 软件 ArcInfo 的 TIN 模型和 Lattice 模型来估算该保护区总森林生物量, 并对该地区生物量的海拔分布特征进行分析。

1 研究方法

1.1 研究地概况

黑石顶自然保护区位于 23°27'N, 111°53'E, 面积约 4 000 hm², 其地带性植被为亚热带常绿阔叶林, 但由于人为干扰等因素目前保护区内分布有较大面积的针叶林及针阔叶混交林。余世孝等^[5,6]曾将该区植被分为 5 个植被型、10 个群系和 30 个群丛, 其中森林植被包括 2 个植被型、5 个植被亚型、7 个群系和 25 个群丛。

1.2 样地调查

参考黑石顶自然保护区植被分布图^[5,6], 借助 GPS 进行定位, 对所有森林群丛各设置一个 30 m×40 m 的永久样地, 调查其中高度在 3 m 以上的全部植物的种名、高度、胸径、坐标以及生境因子, 如经纬度、海拔、坡度和坡向等。依据野外调查情况, 对原植被分布图略作修正, 所设置的样地情况见表 1, 各样地所对应的群丛参见文献 [7]。

1.3 生物量计算

生物量的计算方法参见文献 [7-9]。

1.4 生物量分布图及其三维分析

在数字植被图的基础上, 输入生物量数据, 利用 ArcInfo 绘制数字化生物量分布图, 并输入等高线图构建生物量三维信息分布图, 然后借助相关模型进行估算分析。

* 收稿日期: 2004-03-31

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目 (021657); 广东省千百十工程优秀人才基金资助项目

作者简介: 刘蔚秋 (1970 年生), 女, 讲师/博士; 通讯联系人: 余世孝; E-mail: lssx@zsu.edu.cn

1.4.1 TIN 模型估算总生物量 这是基于面图层的一种估算方式。利用 ArcInfo 的 TIN 表面模型得到各群丛的表面积，并将其与生物量数据叠加计算保护区内森林乔木层总生物量。

1.4.2 Lattice 模型估算总生物量 这是基于像元的一种估算方式。利用 ArcInfo 的 Lattice 模型从等高线图生成 Lattice 图像（栅格像元大小为 5 m×5 m），并利用 ArcInfo 的表面分析功能生成坡度图，从而得到每个像元的表面积，将其与生物量栅格图叠加计算，得到保护区内总生物量。

1.4.3 TIN 模型分析生物量随海拔梯度变化 黑石顶地区海拔范围为 145~927 m，利用 TIN 表面模型生成以 100 m 为间隔的 9 个等高带，与生物量分布图叠加分析不同海拔范围内生物量特征。

2 结果及分析

2.1 各群落生物量及其分布图

以乔木为指标的各森林群落生物量示于图 1，马尾松群系和杉木群系的生物量都较低，其中马尾松群系两个群落的生物量分别为 113.69 和 159.46 Mg/hm²，而 16 龄（样地 2-1）和 24 龄（样地 2-2）的人工杉木林的生物量分别为 41.2 和 165.15 Mg/hm²。

以马尾松为主的针阔叶混交林的生物量随干扰程度以及发育时间的不同，表现出较大波动。样地 3-2 为仅 7 龄的人工林，该群落的生物量仅为 14.78 Mg/hm²。而样地 3-5 和 3-8 为较成熟的混交林，且受人为干扰较小，其生物量分别为 348.59 和 314.85 Mg/hm²，其余的混交林由于受到人为干扰强度较大，生物量在 130~200 Mg/hm² 之间。

海拔较低的常绿阔叶林各群落生物量均较高，生物量最低的群落为 341.28 Mg/hm²。生物量最大的群落为 4-1 和 4-2，其生物量高达 460 Mg/hm²。

表 1 调查样地概况¹⁾

Tab 1 Description of the sampling plots surveyed

群落编号	样地号	海拔/m	群落概况
1	1-1	250	受割胶干扰
	1-2	540	1985 年曾受烧荒干扰
2	2-1	340	1986 年种植的杉木林
	2-2	280	1976 年种植的杉木林
3	3-1	290	割胶干扰
	3-2	500	1995 年种植的马尾松
	3-3	500	受割胶干扰
	3-4	360	干扰严重
	3-5	500	干扰较小
	3-6	550	1985 年曾有烧荒干扰
	3-7	450	干扰严重
	3-8	210	较少干扰
	3-9	560	受割胶干扰
4	4-1	540	较少干扰
	4-2	540	成熟群落
	4-3	470	树木密度大
	4-4	650	较少干扰
	4-5	540	较少干扰
5	5-1	410	较少干扰
6	6-1	550	1985 年曾受人为干扰
	6-2	780	1976 年曾受大风雪破坏
	6-3	750	1976 年曾受大风雪破坏
	6-4	840	成熟群落
	6-5	610	成熟群落
7	7-1	910	群落矮小

1) 1: 马尾松群系 Fom *Pinus massoniana*;
2: 杉木群系 Fom *Cunninghamia lanceolata*
3: 马尾松为优势的针阔叶混交林 Needle and broadleaved mixed forest dominated by *Pinus massoniana*
4: 阿丁枫+米椎+水栗-黄果厚壳桂群系 Fom *Altingia chinensis* + *Castanopsis carlesii* + *Castanopsis nigrescens* + *Cryptocarya concinna*
5: 粘木+小叶胭脂群系 Fom *Ixonanthes chinensis* + *Artocarpus styracifolius*
6: 阿丁枫+米椎+水栗-苦竹群系 Fom *Altingia chinensis* + *Castanopsis carlesii* + *Castanopsis nigrescens* - *Sinobambusa* sp.
7: 小硬叶+鼠刺群系 Fom *Lithocarpus synbalanos* + *Itea chinensis*

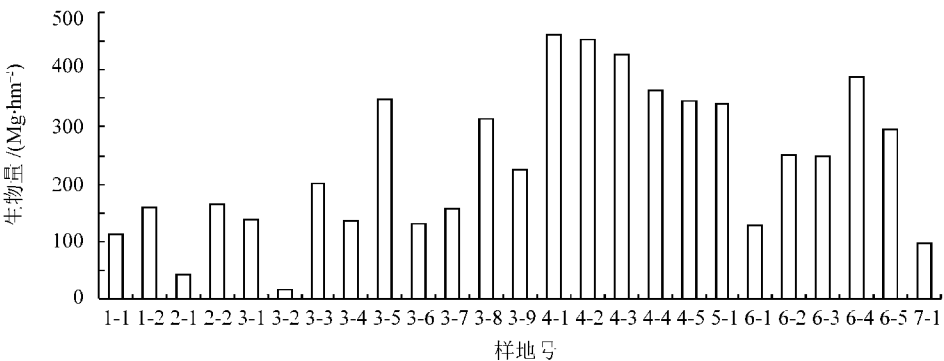


图 1 基于样地调查的各群落乔木生物量估算值（样地号参见表 1）

Fig 1 Estimation of the tree biomass in the community based on the survey of sampling plot

海拔高于 600 m 的常绿阔叶林各群落生物量差异较大, 群落 6-1, 6-2 和 6-3 由于人为干扰或曾受风雪破坏, 生物量较低, 而 6-4 虽然海拔较高但未受破坏, 群落保持较原始的状态, 生物量达到 387.07 Mg/hm²。山顶矮林 (7-1) 由于水热条件较差, 生物量亦很低。

由于同一群落类型的内部结构相似, 因此我们假定选定的样地可以代表该群丛的生物量平均水平, 在此基础上借助 GIS 软件绘制出黑石顶地区生物量分布图。由图 2 可见, 位于保护区西部和北部的群落生物量较低, 而位于保护区东部和南部的群落生物量较高。

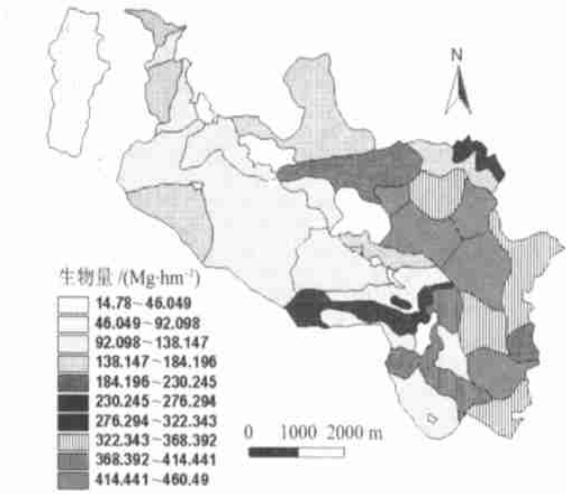


图 2 黑石顶森林生物量分布图

Fig 2 Map of the forest biomass distribution at Heishiding nature reserve

2.2 生物蓄积量估算模型

利用 2 种三维模型分别计算保护区总生物蓄积量及不同植被类型的生物蓄积量情况并与二维尺度上的计算结果比较 (见表 2)。结果表明, 采用基于面图层的 TIN 模型和基于像元的 Lattice 模型在三维尺度上计算生物蓄积量所得结果非常接近, 相差仅约 1%, 而二维模式计算结果比前者低 12%。从理论上来说, 三维模型估算的精度应该较高。而基于像元的二维模式和 Lattice 模型其总生物蓄积量的估算值略高于针叶林与阔叶林生物蓄积量之和, 是由于应用 ArcInfo 进行区域裁剪时, 部分位于群丛分界线处的像元被裁剪到相邻的其它群丛中。

从不同植被类型的角度来说, 尽管常绿阔叶林仅占保护区总面积的 33%, 但其蓄积量占总蓄积量的 55%, 而占总面积 10%和 50%的纯针叶林和针阔叶混交林, 其蓄积量分别占总蓄积量的 7%和 38%, 平均单位面积生物量明显低于常绿阔叶林。

表 2 不同模式估算的森林生物量

Tab 2 Comparison of the forest biomass estimated with different models

计算模式	纯针叶林	针阔混交林	阔叶林	总和
二维模式	48.018	277.512	396.084	721.686
TIN 模型	54.750	313.108	451.015	818.870
Lattice 模型	54.272	309.785	444.929	809.476

2.3 生物量的海拔梯度变化

由于 2 种三维模型计算结果非常接近, 故仅列出采用 TIN 模型的分析结果。由图 3 可见, 在海拔梯度上生物量表现为两头低中间高, 在海拔 400 m 以下地段, 由于多分布着针叶林及针阔叶混交林, 且草地和灌丛等占据着较大面积, 因此其平均生物量均低于 200 Mg/hm², 而在海拔高于 900 m 的地区则以山顶矮林为主, 故生物量也不高。在海拔 400~800 m 之间, 由于受人为影响较小, 多为阔叶林, 因此平均生物量较高。

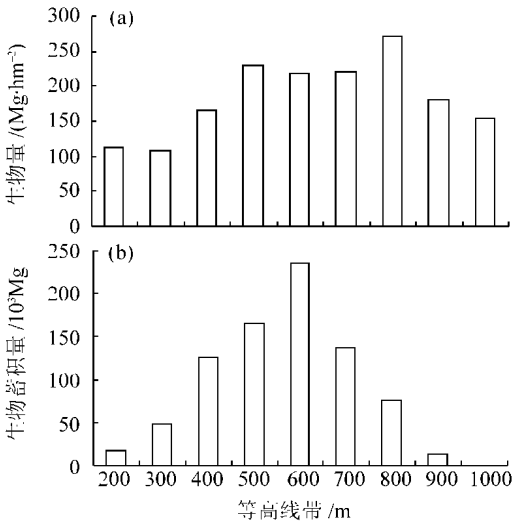


图 3 生物量的海拔梯度变化

Fig 3 Gradient analysis of the biomass along the altitude
(a) 各海拔高度处的每公顷蓄积量
(b) 各等高线带的生物蓄积量

进一步分析各等高带内生物蓄积量可见, 生物蓄积量主要分布于海拔 300~700 m 之间, 该范围内的生物蓄积量占保护区内总生物蓄积量的 80%, 而以海拔 500~600 m 范围内蓄积量最高, 达到 235.6 × 10³ Mg, 占总生物蓄积量的 28.7%。

3 讨 论

常规的生物量估算, 较为精确的测定方法是采用收割法, 但这种方法由于破坏性很强而在森林生物量估算中极少采用。通常是采用样本法, 然后类

推到一定面积范围内。在假定同类植被具有较为均一结构的条件下,通过 GIS 来计测各类型植被的分布面积,然后在样地测定的基础上估算各类型的生物蓄积量,将是一种较为可行的方法。

从高中级植被类型的角度来讲,黑石顶地区不同类型或处于不同发育阶段的相同类型植被(同一植被型、植被亚型或群系),其生物蓄积量存在着较大的差异。就成熟阔叶林而言,其生物量可高达 460 Mg/hm^2 ,高于鼎湖山 400 龄厚壳桂林的 419.68 Mg/hm^2 [10]。而在部分较为稀疏的针叶林群落类型,其生物蓄积量低于 50 Mg/hm^2 。总体而言,阔叶林的单位面积生物量远高于针叶林,虽然其覆盖面积仅占总面积的 33%,但其生物蓄积量占总蓄积量($810\times 10^3\text{ Mg}$)的 55%。

三维模型的应用,将有助于减少地形起伏因素所造成的森林覆盖面积估算的误差,从结果看,二维尺度上的估算值约低 12%。而采用 2 种三维表面模型估算区域生物蓄积量所得结果非常接近,说明基于面图层的 TIN 模型和基于像元的 Lattice 模型都可用于区域蓄积量的估算。实际操作中,由于 TIN 模型本身含有表面积信息,应用时较简便,而使用 Lattice 模型则需经过从坡度→余弦值→表面积的几次转换,较复杂,但由于后者是基于像元模式,可与遥感数据或由模型计算而来的栅格图层叠加分析,应用范围较广。随着多光谱、高分辨率遥感技术逐渐地广泛应用,遥感将成为研究植被生物量的主要技术手段,而这一研究,为进一步借助不同格式的遥感数据来估算本地区的生物量分布奠定了基础。

参考文献:

[1] JOHNSTON M H, HOMANN P S, ENGSTROM J K, et al. Changes in ecosystem carbon storage over 40 years on an old-field/forest landscape in east-central Minnesota[J]. Forest Ecology and Management, 1996, 83: 17—26.

[2] WANG S Q, ZHOU C H, LIU J Y, et al. Carbon storage in northeast China from vegetation and soil inventories[J]. Environmental Pollution, 2002, 116: S157—S165.

[3] TATSUHARA S, KURASHIGE H. Estimating foliage biomass in a natural deciduous broad-leaved forest area in a mountainous district[J]. Forest Ecology and Management, 2001, 141—148.

[3] PARIKKA M. Biosims — a method for the calculation of woody biomass for fuel in Sweden [J]. Ecological Engineering, 2000, 16: S73—S84.

[4] 余世孝,李勇,王永繁,等. 广东黑石顶自然保护区植被分类系统及其数字植被图 I. 植被型及群系的分布[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2000, 39(2): 61—66.

[6] 李勇,余世孝,练琚,等. 广东黑石顶自然保护区植被分类系统及其数字植被图 II. 群丛的分布[J]. 热带亚热带植物学报, 2000, 8(2): 147—156.

[7] 刘蔚秋. 广东黑石顶森林植被生物量及其遥感估算[D]. 广州:中山大学, 2003: 17—21.

[8] 冯宗炜. 中国森林生态系统的生物量和生产力[M]. 北京: 科学出版社, 1999.

[9] 杨清培,李鸣光,李仁伟. 广东黑石顶自然保护区马尾松群落演替过程中的材积和生物量动态[J]. 广西植物, 2001, 21(4): 295—299.

[10] 彭少麟. 南亚热带森林群落动态学[M]. 北京: 科学出版社, 1996.

Estimation of the Forest Biomass with 3 Dimensional Model
at Heishiding Nature Reserve, Guangdong

LIU Wei qiu, YU Shi xiao, WANG Yong fan, LIAN Ju yu

(School of Life Sciences, Sun Yat sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The forest biomass in various types of communities at Heishiding nature reserve in Guangdong province was estimated with two kinds of 3-D models, TIN and Lattice. The results were compared with that in 2-D scale. The biomass per unit of area is usually less than 200 Mg/hm^2 in the coniferous forest, much less than that in the mature broadleaved forest with the maximum of 460 Mg/hm^2 . The biomass in the needle and broadleaved mixed forest were quite different with their age and the status of disturbance. As for the estimation of total forest biomass in the nature reserve, the values with TIN and Lattice model were very close. It is about $810\times 10^3\text{ Mg}$. The coniferous forest with 10% of the coverage in the nature reserve, accounts for 7% of the total biomass, while the needle and broadleaved mixed forest with 50% of the coverage, accounts for 38% of the total biomass. The broadleaved forest, with 33% of the coverage, accounts for 55% of the total biomass. Gradient analysis of the biomass along the altitude showed that the biomass mainly distributed in the belt from 300 m to 700 m. The biomass per unit of area is comparatively higher in the belt from 400 m to 800 m.

Key words: forest; biomass; geographic information system; 3 dimensional model