

文章编号: 1008 - 2786 - (2011)4 - 409 - 08

# 山地高梯度森林生物质能效应研究( I ):研究方法

明庆忠, 郭树荣, 角媛梅

(云南师范大学 旅游与地理科学学院, 云南 昆明 650092;

云南师范大学 高原地理过程与环境变化云南省重点实验室, 云南 昆明 650092)

**摘 要:** 中国是一个山地占 2/3 的国度。山地因其垂直高差产生了自然与人文现象随高差变化梯变的高梯度效应, 森林及其生物质能也呈现出梯变现象。以滇西北梅里雪山极高山地为实证点, 尝试综合应用森林生物量及生产力、地理信息技术、生物地理统计等方法, 建立山地森林生物质能资源高梯度效应研究模式, 有助于正确认识山地三维地貌体产生的高梯度效应, 更好认识山地生物质能分布规律并加以合理利用, 创建优良人居环境。

**关键词:** 高梯度效应; 山地森林; 生物质能; 研究方法

**中图分类号:** Q948

**文献标识码:** A

地处高原边缘区域由于大河发育产生明显的垂直高差, 导致了随着山地海拔和高差的变化而产生的自然和人文的梯变现象, 明庆忠<sup>[1]</sup> 将之称为山地高梯度效应, 其主要要素如山地能量、降水、气候、地貌、植被、资源利用、人类活动等发生相应变化。近年, 一些地理学者在山地与高原的研究中引入了“三维地带性”(the three dimensional zonalit) 的概念, 并提出了以三维的坐标轴表示自然地理空间分异三维结构的函数式<sup>[2]</sup>

$$S = f(W, J, G) \quad (1)$$

即, 任何一个地点的自然地理景观( $S$ ), 应该是纬度变化因数影响( $W$ )、经度变化因数影响( $J$ )和高度变化因数影响( $G$ )三者的函数。这个函数式的解, 是一个复杂的过程。因为上述三个变量( $W, J, G$ )本身已是多种复杂因素的综合。按目前的研究水平, 用数学公式来准确求出这些因素及其变化尚有困难。然而, 三维地带性或三维结构是自然地理环境的客观存在, 对其现象的描述和成因的探讨一直

在继续。

从山地生态系统所蕴藏的生物质能角度来探讨山地高梯度效应山, 是一个全新的研究视角: 森林生态系统生物量与生产力研究, 随着全球环境变化和全球碳循环研究的广泛开展越来越受到重视, 在全球或区域尺度上对森林生态系统的生物量和生产力及其地理分布格局进行了大量研究, 研究成果及研究方法也越来越精确和进步, 所研究的多是水热状况随经纬度的变化而产生的水平空间梯度对我国主要森林类型生物生产力的影响, 很少涉及到由于地形起伏变化而产生的水热分布的垂直梯变下山地不同海拔森林生态系统的生物量与生产力的差异。我国森林分布最主要的三大林区均是山地区域, 对山地由于地形起伏变化而引起水热气候条件的梯变进而导致不同海拔森林生态系统生物量与生物生产力的差异进行研究, 揭示山地不同海拔高度森林生物量、生产力的分布对研究山地森林生态系统碳储量和碳循环具有重要的科学价值。正确地分析和研究

收稿日期(Received date): 2011 - 02 - 07; 改回日期(Accepted): 2011 - 05 - 03。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金重点项目(U0933604, 40872118)和云南省中青年学术带头人培养基金、云南省科技发展计划 2009 年重点项目, 教育部科学技术研究重点项目(207102)资助。[State Key Program of National Natural Science of China(Grant No. U0933604, 40872118); The Grant from Candidates of Young and Middle Aged Academic Leader of Yunnan Province; Key program of science and technology development of Yunnan Province in 2009; Key program of Chinese Ministry of Education(207102).]

作者简介(Biography): 明庆忠(1963 - ), 男, 汉族, 湖北省黄冈市人, 博士, 云南师范大学教授, 博士生导师。主要从事地理学与区域开发研究。

[Ming Qingzhong (1963 - ), Doctor, Professor, and doctoral supervisor. Engaged in Geography and Regional Sciences. ] E-mail: mingqz2513@sina.com

山地森林生态系统生物量与生产力的分布格局及其与地形因子之间的关系,对指导制定林业建设规划、实现山地森林生态系统的保护和可持续经营管理山区林业生产和科学研究具有重要的现实意义。

## 1 森林生物量和生产力的研究理论

目前,对山地高梯度效应类似的山地垂直地带性的研究主要集中在对山地植被、气候、土壤等自然环境因子垂直带谱的成因探讨及特征描述<sup>[3-9]</sup>。森林植被是陆地生物圈的主体,约有85%的陆地生物量集中在森林植被。对森林生物量和生产力的研究,主要有三个目的:一是在国家、区域或全球大尺度上通过对森林生物量、生产力及其数量和空间分布格局进行研究,并与森林碳汇功能紧密结合起来,为评价大尺度的生态质量和林业与生态建设成效提供定量依据;二是在生态系统尺度上,利用生态系统生物量的分布格局和机理来揭示生产力与环境因子的相互关系,并为评价森林的可持续经营提供科学依据,三是森林生物量作为可再生的生物能源,研究通过生物技术措施来提高短轮伐期能源林的生物量和生产力、能源林收获与加工贮存及能源转换利用等技术均是森林生物量的主要研究内容<sup>[10]</sup>。其宗旨是为促进生物质能源合理利用和提高生物产量、生产力水平提供决策依据。

最早的森林生物量研究是 Ebermeyer 于 1876 年发表的德国几种主要森林的枝叶凋落量和木材重量数据。20 世纪 50 年代初期,世界上开始重视森林生物量研究,此后在国际生物学计划 (IBP) 和人与生物圈计划 (MAB) 推动下,研究了地球上主要森林植被类型的生物量和生产力及其区域地理分布规律、植被生产力与气候因子和植物群落分布之间的关系,估算了地球生物圈的生物总量。森林在陆地生态系统碳循环中的作用进一步推动了森林生物量和生产力的研究。世界范围内森林生物生产力的大规模研究始于 20 世纪 60 年代,在欧洲,比利时的 Virelles 计划,英国的 Meathop 木材计划,西德的 Soling 计划和瑞典的针叶林计划,以及在北美的美国阔叶林生物群落计划等相继开展。在全球变化研究中,二氧化碳问题一直是人们关注的中心<sup>[11-12]</sup>。

国内森林生物生产力研究尽管起步较晚,但是发展迅速,李文华 (1978) 首先向国内系统介绍了 IBP 期间生物生产量的测定方法和研究成果。上世

纪 80 年代初,李文华 (1973)、俞新妥 (1979)、朱守谦 (1979)、冯宗炜 (1980) 等学者先后对亚高山暗针叶林、温带主要针叶林和亚热带杉木林的生物量及其生产力进行了研究<sup>[13-15]</sup>;在国家和区域尺度上,罗天详<sup>[10]</sup>对中国主要森林类型生物生产力格局进行了全面研究。方精云等<sup>[16]</sup>对我国森林的生物量和净第一性生产力进行了研究。增伟生<sup>[17]</sup>对云南省森林生物量和生产力进行了研究。在生态系统尺度上,对森林生物量与生产力的研究大部分是针对特定的树种如杉木、松属和少数阔叶树种等单个树种群落进行的生长规律和生物量分布格局的研究<sup>[14-20]</sup>。其中也有少量研究涉及海拔等地形因子对森林生物量和生产力影响的研究。

## 2 森林生物量及生产力研究方法

通过遥感技术和 GIS 等手段,可以测定林分到区域等不同空间尺度的森林生物量与生产力。其原理是光合作用是植被生产力形成的重要生理生态过程,树冠层的叶面指数和生物化学成分是森林碳获得量的决定因数,植物对太阳辐射的吸收、反射、透射及其辐射在林冠内和大气中的传递以及影响植被生产力的生态因子,可以与卫星接受的信息建立一定的解析式。Lee 等借助数字化地形数据对 Land Mt 数据进行校正,对日本西部 Hiroshima 地区森林进行分类和作图,森林生物量与归一化植被指数 (NDVI) 及分异植被指数 (DVI) 之间存在线性关系,松树与 NDVI 的相关系数为 0.85,日本雪松和落叶阔叶林与 DVI 的相关系数分别为 -0.83 和 0.80,估算的生物量分别为松树 143 t/hm<sup>2</sup>、日本雪松 135 t/hm<sup>2</sup>、落叶阔叶林为 121 t/hm<sup>2</sup><sup>[21]</sup>。

利用生物量与蓄积量的转换系数 (BEF, Biomass Expansion Factor) 进行推算。利用生物量换算因子 BEF 的平均值乘以该类森林类型的总蓄积,得到该类型森林的总生物量。该方法早在 IBP 区间就开始应用。后来国家尺度的森林生物量的推算大多使用平均的 BEF 值及森林清查资料所提供的森林总面积和蓄积量等数据。该方法尽管比较粗放但因为只要具备了各类树种生物量与蓄积量的转换系数,就可根据森林资源清查成果的蓄积量数据直接推算生物量等数据<sup>[4]</sup>。

研究表明,某森林类型的林分生物量与木材材积比值 (BEF) 不是不变的,而是随着林龄、立地、个

体密度、林分状况等不同而变化。因此,换算因子连续函数法将单一不变的平均换算因子改为分龄级的换算因子,以更准确地估算国家或地区尺度的森林生物量。进一步的研究表明,林分材积综合反映了林龄、立地、个体密度和林分状况等因素的变化,因此,可以作为换算因子的函数,以表示  $BEF$  的连续变化。幂指数函数表示  $BEF$  与林分材积( $x$ )的关系如下

$$BEF = ax^{-b} \quad (3)$$

式中  $a, b$  均为大于 0 的常数。然而,这种关系对于由实测资料建立的  $BEF$  值与材积之间的关系推广到处理大尺度的森林资源清查资料时,存在严重的数学推理问题,即难以实现由样地调查到区域推算的尺度转换(Scaling-up)。也就是说,理论上,不能利用该式估算区域(或国家)尺度的森林生物量。另一方面方精云等<sup>[22]</sup>利用倒数方程来表示  $BEF$  与林分材积之间的关系,即

$$BEF = a + \frac{b}{x} \quad (4)$$

式中  $a$  和  $b$  为常数。当材积很大时(成熟林),  $BEF$  趋向恒定值  $a$ 。材积很小时(幼龄林),  $BEF$  很大。研究表明,这一简单的数学关系符合生物的相关生长(Allometry)理论,适合于几乎所有的森林类型,具有普遍性,并且由该式可以非常简单地实现由样地调查向区域推算的尺度转换,从而为推算区域尺度的森林生物量提供了理论基础和合理的方法,也使得区域森林生物量的计算方程得以简化。基于公式(4)估算森林生物量的方法被称为“换算因子连续函数法”<sup>[22]</sup>。

按照生物量转换因子( $BEF$ )的定义,一种林分的生物量  $y$  可以容易地由该林分的面积  $a$ , 蓄积量  $x$  和所对应的换算因子( $BEF$ )相乘得到,即

$$y = A \cdot x \cdot BEF \quad (5)$$

然而,  $BEF$  是一个变化的量,因此,从理论上讲,在没有建立  $BEF$  与材积的关系公式之前,如果要准确地利用森林资源清查资料计算某一森林类型的生物量,就必须区分年龄、立地质量(地位等级)、密度等级分别来进行。因为密度的大小已反映在森林的蓄积量中,故理论上,某一区域、某一森林类型的总生物量可以用公式(6)表示,即

$$Y = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^k A_{ijl} * BEF_{ijl} * x_{ijl} \quad (6)$$

式中  $Y$  为某一森林类型的总生物量,  $i, j, l$  分别为省区、地位级和龄级;  $A_{ijl}, BEF_{ijl}, x_{ijl}$  分别为第  $i$  省区、

第  $j$  地位级和第  $l$  龄级林分的面积、平均蓄积量和换算因子,  $m, n$  和  $k$  分别为省区、地位级和龄级的数量。

公式(4)综合反映了年龄、立地、密度等多种因子对生物量的影响。因此,将公式(4)代入公式(6),区域森林生物量的计算方程(6)就可以很容易地简化成公式(7)和(8)。也就是说,公式(7)和(8)是区域森林生物量计算方程的数学等价式

$$Y = \sum_{i=1}^m A_i * x_i * BEF \quad (7)$$

$$Y = A * x * BEF \quad (8)$$

式中  $Y, A, x$  和  $BEF$  分别是全国的总生物量、总面积、全国平均蓄积量和所对应的换算因子;  $A_i, V_i, x_i$  和  $BEF$  分别是某一森林类型在第  $i$  省份的总面积、总蓄积量、平均蓄积量及所对应的换算因子。也就是说,只要利用公式(5)和(6),就可以由森林资源清查资料中的森林面积和蓄积以及平均蓄积相对应的  $BEF$  值,十分方便而准确地计算出某一森林类型的生物量,而无需其他的与森林特征有关的信息(如龄级、密度、立地质量、疏密度、病虫害等)<sup>[23]</sup>。

### 3 地理信息技术

对山地森林生态系统生物质能资源高梯度效应进行定量研究,必须具备两方面的基本数据,一是必须具备研究区域地貌形态的空间数据,二是研究对象森林生态系统的类型及其分布面积数据。本研究收集了研究区域 1:10 万纸质地形图(编号:8-47-126)。用扫描仪将地图扫描后得到的栅格形式的地图数据,然后在数字化平台上对地形图进行采样,将栅格数据转换成矢量数据,获得地面高程采样值,对其进行编辑并赋属性值,生成基于不规则三角网的数字高程模型(TIN, based on triangulated irregular network DEM),利用研究区域 DEM 模型提取海拔、坡度、坡向数据作为进行空间分析的基础数据。收集研究区域 2004-12-12 TM 影象数据。陆地卫星 TM 的卫星飞行高度为 900 km, TM 影象在高山区(海拔 > 3 000 m)的图象边界位移相当于海拔的 10%。因此利用研究区域 1:10 万数字高程模型对图象进行正射纠正和地形归一化处理符合精度要求。采用最近邻居法重采样成 30 m × 30 m 象元大小的图象。通过遥感图象监督分类和目视解译等过程制作研究区域森林类型分布图。

在 arcview3.2 软件中,同时导入森林类型专题

图层与地形因子图层叠加,利用该软件空间分析模块(spatial analyst)统计功能中的分区汇总统计,统计分析不同地形条件下各森林评价因子的分布状况。

在进行野外调查工作之前,仔细观察研究区域遥感影像图片所显示不同地物的颜色特征,并进行初步归类分析(表1)。

#### 4 生物地理统计学方法

根据生物地理统计学<sup>[24]</sup>相关理论和方法,研究采用基于象元的取样方法,在GIS技术支持下利用数字高程模型和森林类型分布图,获取不同森林类型及其生态属性的空间分布数据,作为统计分析的基本数据。应用统计分析软件,对森林生物量与生产力和地形因子之间的相关关系进行分析,并通过森林生物量-植物平均热值——生物质能量的转换,探讨山地森林生态系统潜在生物质能资源赋存及其空间分异规律。

野外调查时间2007-11。仔细观察卫星图片上研究区域内显示的不同形状、色调及纹理特征,参照该地区的地形,以尽可能多地覆盖研究区域森林植被类型为原则,选择了贯穿研究区域西北向及西

南向各一条野外调查路线。调查方法采用样线及典型样方调查相结合,对沿途经过的不同森林植被类型布设样方,样方为20 m×20 m。对样方及重复出现的森林植被类型进行卫星定位并做每木检尺,详细记录样方地理因子及环境条件(表2)。在调查线路上,对TM影像中所显示的特殊颜色实地勘察。

本研究中森林类型分类原则方面参考《云南森林》<sup>[25]</sup>的森林分类,将森林分为森林植被型和森林类型两个级别单位,中间有森林植被亚型。森林植被型是森林分类系统中的高级单位,由主林层优势树种所属生活型相同或大体相同的林分,组合为森林植被型,如针叶林,阔叶林等。考虑到主林层优势树种对热量条件反应一致的林分,组合为森林植被亚型。

森林类型(forest type)是森林分类的基本单位,由主林层优势树种相同的林分,组合为森林类型。一个森林类型,由于优势树种相同,其分布地理范围、结构、林木组成、林分生产力和动态特点均是基本近似的。森林类型以优势树种来命名,如云南松林、长苞冷杉林。

结合野外实地调查结果,确定研究区域的森林类型分类一级系统,拟定图例。需说明的是,《云南森林》<sup>[25]</sup>中将可能发展为森林的灌木丛也列为一个

表1 梅里雪山东坡森林植被类型的遥感影像特征(TM 5,4,3波段)

Table 1 Image analysis of the remote sensing data of the major vegetation types in Meili snow mountain region

类型 Type	色调 Color	形状 Shape	纹理特征 Texture	海拔分布 Elevation
A	青绿色	小块或片状	立体感强、边界清晰	>2 500 m 广泛分布
B	绿色	片状	立体感强、边界清晰	<3 500 m 成片分布
C	亮绿色	片状	立体感强、边界明显	<3 500 m 集中分布于局部
D	鲜绿色	条、小块状	立体感强、边界明显	<2 800 m 集中分布于局部
E	深绿色	颗粒状	立体感强、边界明显	广泛分布
F	草绿色	块状镶嵌	立体感不强、边界较明显	>2 400 m
G	砖红色	片状	立体感强、边界明显	广泛分布
H	粉红色	小块镶嵌	立体感不强、边界明显	<2 700 m
I	淡红色	小块镶嵌	立体感不强、边界明显	广泛分布
J	绿、红色交杂	片状分布	立体感不强、边界模糊	>2 500 m
K	亮蓝色	块状分布	边界明显	广泛分布
L	黑色	片状分布	立体感强、边界明显	广布于>3 200 m 西南坡
M	深蓝色	细条状	立体感不强、边界明显	分布于2 000 m 的沟谷

A 冷杉林、云杉林(Fir forests and Spruce); B 云南松、高山松林(Pinus yunnanensis and densata); C 华山松林(Pinus armandi); D 黄杉林(Douglas fir); E 栎类林(Oak forest); F 针阔混交林(Mixed broadleaf-conifer forest); G 灌木丛(Shrub); H 侧柏(Arbovitae); I 灌木丛(Shrub); J 灌木丛(Shrub); K 冰雪(Snow); L 山体阴影、岩石(Shadow and rock); M 河流(River)

表2 梅里雪山东坡主要森林类型野外样方调查表

Table 2 The major forest types in east slope of Meili snow mountain in field survey

样地号 Sample ID	海拔 Elevation /m	坡度 Slope degree /°	坡向 Slope aspect /°	面积 Area /m <sup>2</sup>	株数 Count numbers /株	树种组成 Tree species	森林类型 Forest types	平均树高 Average height /m	平均胸径 Average chest diameter /cm
01	2 440	35	335	400	145	10 柏	侧柏林	1.8	3.4
02	2 730	15	235	400	98	8 云 2 华	云南松林	7.8	12
03	3 050	25	185	400	97	8 松 2 扬	高山松林	9.2	24
04	3170	25	265	400	68	10 杨	落叶阔叶林	18	13
05	3 380	35	175	400	8	10 杉	云杉林	35	80
06	3 600	25	170	400	96	8 栎 2 杂	栎类林	26	12.5
07	3 590	15	175	400	66	10 杉	冷杉林	30	15
08	2 550	15	135	400	82	8 黄 2 华	澜沧黄杉林	28	14
09	3 250	0	0	400	8	10 沙棘	沙棘林	15	48
10	3 050	25	335	400	72	8 华 2 松	华山松林	22	16
11	3 882	15	36	400	68	10 落	落叶松林	18	9

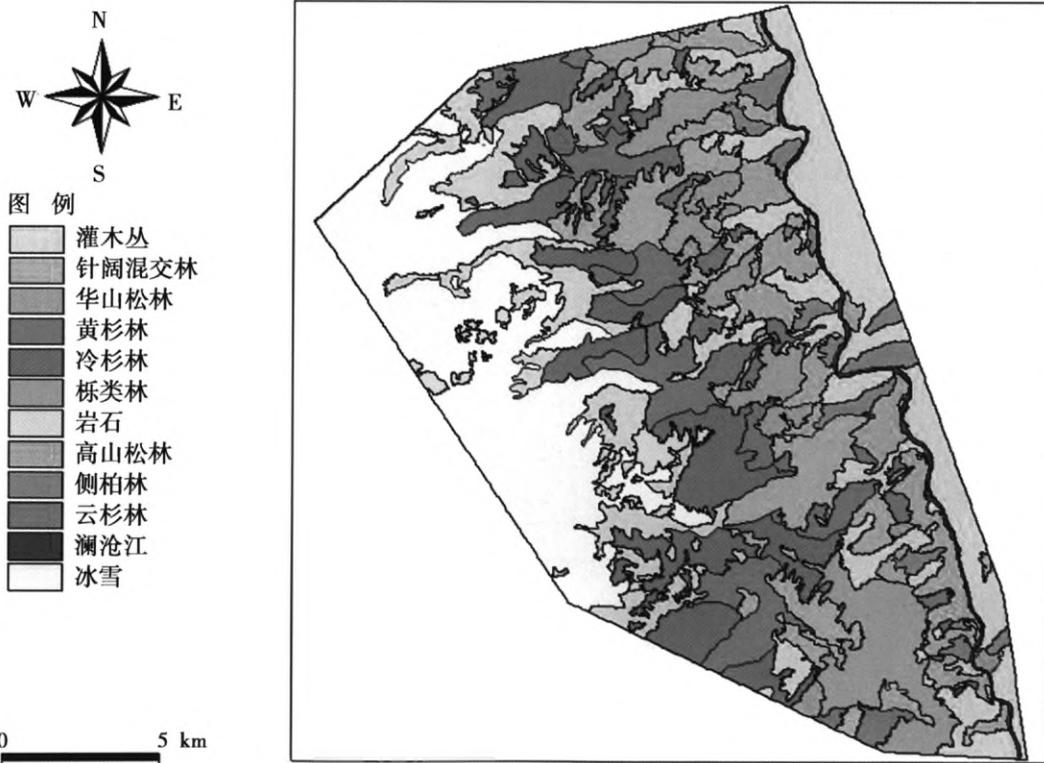


图1 研究区域森林植被类型图

Fig. 1 Forestry vegetation types in research regional

森林植被类型。本研究中,由于目前对灌木丛生物量估算方法研究较少,德钦县第六次森林普查中也没有涉及对灌木丛的调查,所以没有将灌木丛列为一个森林类型。

采取目视解译和计算机监督分类两种方法——监督分类:根据野外调查结果及其在影像中的相应位置,在 Erdas Imagine8.5 软件中,选取训练区对影像进行监督分类。目视解译:参考野外调查线路中

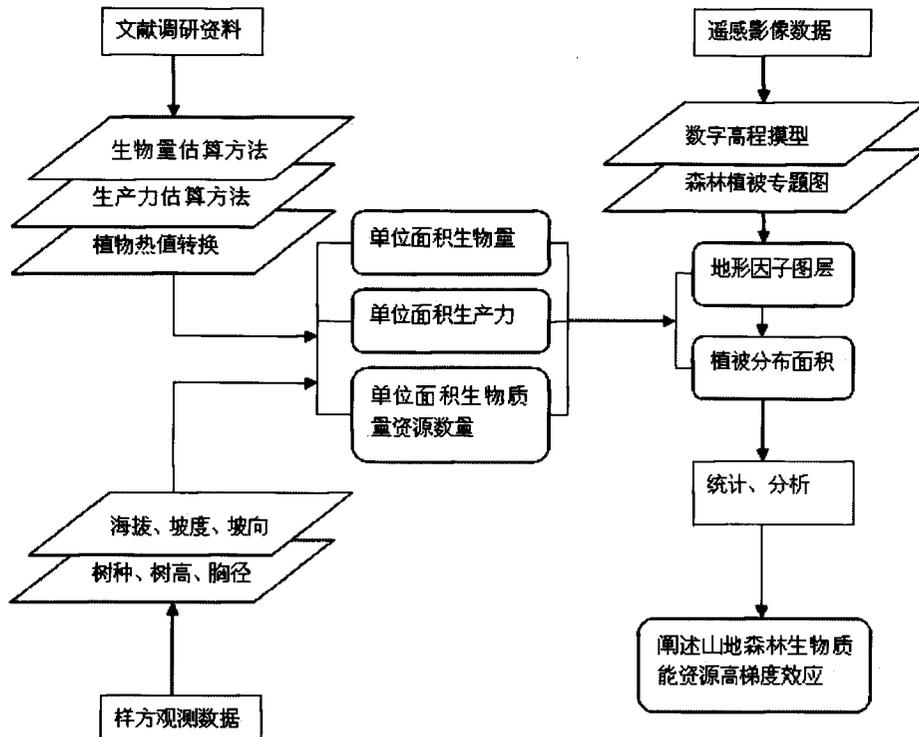


图2 研究模式图

Fig. 2 Research flowchart

所记录的各森林植被型或森林植被类型的GPS定位点在卫片上所对应的相应位置,来判读每种或部分植被型在卫片上所显示的形状、色调及纹理特征;根据各森林植被类型的分布规律,如海拔分布范围、环境特征、文献资料等间接特征进行综合解译分析。对部分在卫片上具有明显形状、色调及纹理特征的森林植被类型建立目视解译标志。

在ARCVIEW3.2系统中,打开分类结果图层及TM影像使之叠加。以野外调查的2条线路样方调查结果为准,进行目视判读及森林植被类型边界的划定。保存植被类型分类结果,建立森林植被类型图(图1),并对分类结果进行精度检验,Kappa系数为0.81。

## 5 研究模式

为掌握研究区域森林植被类型及分布面积数据,收集了研究区域遥感影像,经过影像特征分析-野外样方调查-监督分类-目视解译等步骤,提取植被信息,制作研究区域森林类型分布图。为获得研究区域海拔、坡度、坡向地形因子数据,收集了研究区域1:10地形图,经过扫描数字化方法提取高

程数据,建立数字高程模型。在arcview3.2软件平台中,将森林植被图层和地形因子图层进行叠加分析统计得到各种地形条件下森林类型及分布面积、生物量、生物质能资源数量等数据,对其空间异质性及空间相关性进行分析。研究模式如图2。

## 参考文献(References)

- [1] Ming Qingzhong. The landform development and environmental effects of Three Parallel Rivers[M]. Beijing: Science Press, 2006: 7 [明庆忠. 三江并流区地貌与环境效应[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 7]
- [2] Meng Jijun. Integrated physical geography[M]. Beijing: Peking University Press, 2006: 7 [蒙吉军. 综合自然地理学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2004: 3]
- [3] Yu Guangfu, Chen Yongsen. On soil distribution in Yunnan [J]. Journal of Yunnan University: Natural Sciences, 1998, 20 (1): 55-58 [虞光复, 陈永森. 论云南土壤的地理分布规律[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 1998, 20 (1): 55-58]
- [4] Chen Zuoxiong. A disputation on distributive laws of vertical zonality of climate in Guangxi [J]. Journal of Guangxi Teachers Education University: Natural Science Edition, 2007, 24 (3): 54-60 [陈作雄. 论广西气候的垂直地带性分布规律[J]. 广西师范学院学报: 自然科学版, 2007, 24 (3): 54-60]
- [5] Chen Zuoxiong. A disputation on distributive laws of vertical zonality of soil in Guangxi [J]. Journal of Guangxi Teachers College: Natu-

- ral Science Edition, 2003, 20(1):66-72 [陈作雄. 论广西土壤的垂直地带性分布规律[J]. 广西师范学院学报:自然科学版, 2003, 20(1):66-72]
- [6] Shen Zehao, Zhang Xinshi, Jin Yixing. Spatial pattern analysis and topographical interpretation of species diversity in the forest of Daluoling in the region of the Three Gorges[J]. Acta Botanica Sinica, 2000, 42(6):620-627 [沈泽昊, 张新时, 金义兴. 三峡大老岭森林物种多样性的空间格局分析及其地形解释[J]. 植物学报, 2000, 42(6):620-627]
- [7] Shen Zehao, Fang Jingyun, Liu Zengli, et al. Patterns of biodiversity along the vertical vegetation spectrum of the east aspect of Gongga Mountain[J]. Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25(6):721-732 [沈泽昊, 方精云, 刘增力, 等. 贡嘎山东坡植被垂直带谱的物种多样性格局分析[J]. 植物生态学报, 2001, 25(6):721-732]
- [8] Wang Guohong, Yang Limin. Gradient analysis and environmental interpretation of woody plant communities in the middle section of the northern slopes of Qilian Mountain, Gansu, China [J]. Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25(6):733-740 [王国宏, 杨利民. 祁连山北坡中段森林植被梯度分析及环境解释[J]. 植物生态学报, 2001, 25(6):733-740]
- [9] Zhang Feng, Zhang Jintun, Zhang Feng. Pattern of forest vegetation and its environmental interpretation in Zhuweigou, Lishan Mountain Nature Reserve[J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(3):421-427 [张峰, 张金屯, 张峰. 历山自然保护区猪尾沟森林群落植被格局及环境解释[J]. 生态学报, 2003, 23(3):421-427]
- [10] Luo Tianxiang. Patterns of net primary productivity for Chinese major forest types and their mathematical models [D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 1996 [罗天祥. 中国主要森林类型生物生产力格局及其数学模型[D]. 北京:中国科学院, 1996]
- [11] Xiang Wenhua, Tian Dalun. Review of researches on forest biomass and Productivity[J]. Central South Forest Inventory and Planning, 2003, 8, 22(3):57-64 [项文化, 田大伦. 森林生物量与生产力研究综述[J]. 中南林业调查规划, 2003, 8, 22(3):57-64]
- [12] Zhao Min, Zhou Guangsheng. Carbon storage of forest vegetation and its relationship with climatic factors[J]. Scientia Geographica Sinica, 2004, 2, 24(1):50-54 [赵敏, 周广胜. 中国森林生态系统植物碳储量及其影响因子分析[J]. 地理科学, 2004, 2, 24(1):50-54]
- [13] Li Wenhua, Luo Tianxiang. Productivity patterns and mathematical models of spruce-fir forests in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 1997, 9, 17(5):511-518 [李文华, 罗天祥. 中国云冷杉林生物生产力格局及其数学模型[J]. 生态学报, 1997, 9, 17(5):511-518]
- [14] Wang Yuhui, Zhou Guangsheng. Estimating biomass and NPP of Larix forests using forest inventory data(FID)[J]. Acta phytocologica Sinica, 2001, 25(4):420-425 [王玉辉, 周广胜. 基于森林资源清查资料的落叶松林生物量和净生长量估算模式[J]. 植物生态学报, 2001, 25(4):420-425]
- [15] Wu Gang, Feng Zongwei. Study on the social characteristics and biomass of the Pinus Tabulaeformis forest systems in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 1994, 12, 14(4):425-422 [吴刚, 冯宗伟. 中国油松林群落特征及生物量的研究[J]. 生态学报, 1994, 12, 14(4):425-422]
- [16] Fang Jingyun, Liu Guohua, Xu Songling. Biomass and net production of forest vegetation in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 1996, 16(5):497-508 [方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 我国森林植被的生物量和净生产量[J]. 生态学报, 1996, 16(5):497-508]
- [17] Zeng Weisheng. Research on forest biomass and productivity in Yunnan[J]. Central South Forest Inventory and Planning, 2005, 24(4):1-13 [曾伟生. 云南省森林生物量与生产力研究[J]. 中南林业调查规划, 2005, 24(4):1-13]
- [18] Wu Zhaolu, Dang Chenlin, Wang Chongyun, et al. A preliminary study on biomass of Pinus densata forests in northwest Yunnan Province, China[J]. Journal of Yunnan University: Natural Sciences, 1994, 9, 16(3):220-224 [吴兆录, 党承林, 王崇云, 等. 滇西北高山松林生物量的初步研究[J]. 云南大学学报:自然科学版, 1994, 9, 16(3):220-224]
- [19] Wu Zhaolu, Dang Chenglin, He Zhaorong, et al. A preliminary study on biomass and net primary productivity of Quercus pannosa forest in northwest Yunnan Province, China[J]. Journal of Yunnan University: Natural Sciences, 1994, 9, 16(3):245-249 [吴兆录, 党承林, 和兆荣, 等. 滇西北黄背栎林生物量和净第一性生产力的初步研究[J]. 1994, 9, 16(3):245-249]
- [20] Chen Zhanghe, Wang Bosun, Zhang Hongda. Growth of the trees and saplings in the lower subtropical evergreen broad leaved forest in Heishiding, Guangdong Province[J]. Acta Phytocologica Sinica, 1999, 23(5):441-450 [陈章和, 王伯荪, 张宏达. 广东黑石顶南亚热带常绿阔叶林树木生长研究[J]. 植物生态学报, 1999, 23(5):441-450]
- [21] Zhang Feng. Study on estimation of forest biomass based on Remote Sensing Data [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2003 [张锋. 基于遥感信息估测森林生物量的研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学, 2003]
- [22] Fang Jingyun, Chen Anping. Estimating biomass Carbon of China's forests: supplementary notes on report published in Science (291: 2320-2322) by FANG et al. (2001) [J]. Acta Phytocologica Sinica, 2002, 26(2):243-249 [方精云, 陈安平. 中国森林生物量的估算: 对 Fang 等 Science 一文(Science, 2001, 291: 2320-2322)的若干说明[J]. 植物生态学报 2002, 26(2):243-249]
- [23] Dali Branch of Yunnan Forestry Investigation and Planning Institute. Reports of planning and designing of forest resources in Deqin County, Yunnan Province, 2007 [云南省林业调查规划院大理分院. 云南省德钦县森林资源规划设计调查报告[R]. 2007]
- [24] Wang Zhengquan. Geostatistics and its application in ecology [M]. Beijing: Science Press, 1999:2 [王正权. 地统计学在生态学中的应用[M]. 北京:科学出版社, 1999:2]
- [25] Yunnan Forest Writing Committee. Yunnan forest. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, Beijing: China Forestry Press, 1986: 1-527 [云南森林编写委员会. 云南森林. 昆明:云南科学技术出版社, 北京:中国林业出版社, 1986:1-527]

## High Gradient Effects of Forest Biomass Energy in Mountainous Region ( I ): Research Methods

MING Qingzhong, GUO Shurong, JIAO Yuanmei

(Tourist and Geography College of Yunnan Normal University, Kunming 650092, China;

Yunnan Provincial Key Laboratory of Plateau Geographical Process and Environmental Change, Yunnan Normal University, Kunming 650092, China)

**Abstract:** China is a mountainous nation with two-thirds mountainous areas. Owing to the vertical difference, mountains have obvious high gradient effects on natural and cultural phenomena, as well as forest and its biomass energy. This paper took Meili Snow Mountain in northwestern Yunnan as the object, use forest biomass and productivity, Geographic Information System, and biogeographic statistics methods, established a research model of mountain high gradient effects on forest biomass energy. This can be used to understand the high gradient effects of three dimensional physiognomy and the distributing pattern, and then to use and make a better residential environment.

**Key words:** effect of high gradient; mountainous forest; biomass energy; research method

---

### 消息 2:《山地学报》网上投稿操作说明

#### 1 作者注册

首先请新作者进行注册。点击主页 <http://www.sdxbl983.com> 的“在线注册”,注册完成后,系统会自动给作者注册的邮箱发一封 E-mail,告诉其用户名和密码。请作者不要删除该邮件,如果忘记密码了,可以到邮箱里查看。

#### 2 作者投稿查稿

作者点击主页上的“在线投稿查稿”,输入用户名和密码,登录到作者页面。点击“我要投稿”,填完稿件信息后上传稿件,上传完后务必点击“**投稿完成**”按钮,此时投稿成功,系统会自动分配稿号,同时会自动发送收稿通知给作者“未读信息”(具体收稿通知的内容可以在后台:模板管理-邮件模板管理-E-mail 发送收稿通知查询),此时稿件状态为“投稿成功”。

注:如果作者信息改变了,可以在页面的“用户中心”进行修改。

(然子桐)

作者: 明庆忠, 郭树荣, 角媛梅, MING Qingzhong, GUO Shurong, JIAO Yuanmei  
作者单位: 云南师范大学旅游与地理科学学院, 云南昆明650092; 云南师范大学高原地理过程与环境变化云南省重点实验室, 云南昆明650092  
刊名: 山地学报 ISTIC PKU  
英文刊名: Journal of Mountain Science  
年, 卷(期): 2011, 29(4)

## 参考文献(25条)

1. 明庆忠 三江并流区地貌与环境效应 2006
2. 蒙古军 综合自然地理学 2004
3. 虞光复;陈永森 论云南土壤的地理分布规律 1998(01)
4. 陈作雄 论广西气候的垂直地带性分布规律[期刊论文]-广西师范学院学报(自然科学版) 2007(03)
5. 陈作雄 论广西土壤的垂直地带性分布规律[期刊论文]-广西师范学院学报(自然科学版) 2003(01)
6. 沈泽昊;张新时;金义兴 三峡大老岭森林物种多样性的空间格局分析及其地形解释[期刊论文]-植物学报 2000(06)
7. 沈泽昊;方精云;刘增力 贡嘎山东坡植被垂直带谱的物种多样性格局分析[期刊论文]-植物生态学报 2001(06)
8. 王国宏;杨利民 祁连山北坡中段森林植被梯度分析及环境解释[期刊论文]-植物生态学报 2001(06)
9. 张峰;张金屯 历山自然保护区猪尾沟森林群落植被格局及环境解释[期刊论文]-生态学报 2003(03)
10. 罗天祥 中国主要森林类型生物生产力格局及其数学模型 1996
11. 项文化;田大伦 森林生物量与生产力研究综述[期刊论文]-中南林业调查规划 2003(03)
12. 赵敏;周广胜 中国森林生态系统植物碳储量及其影响因子分析[期刊论文]-地理科学 2004(01)
13. 李文华;罗天祥 中国冷杉林生物生产力格局及其数学模型 1997(05)
14. 王玉辉;周广胜 基于森林资源清查资料的落叶松林生物量和净生长量估算模式[期刊论文]-植物生态学报 2001(04)
15. 吴刚;冯宗炜 中国油松林群落特征及生物量的研究 1994(04)
16. 方精云;刘国华;徐嵩龄 我国森林植被的生物量和净生产量 1996(05)
17. 曾伟生 云南省森林生物量与生产力研究[期刊论文]-中南林业调查规划 2005(04)
18. 吴兆录;党承林;王崇云 滇西北高山松林生物量的初步研究 1994(03)
19. 吴兆录;党承林;和兆荣 滇西北黄背栎林生物量和净第一性生产力的初步研究 1994(03)
20. 陈章和;王伯荪;张宏达 广东黑石顶亚热带常绿阔叶林树木生长研究[期刊论文]-植物生态学报 1999(05)
21. 张锋 基于遥感信息估测森林生物量的研究[学位论文] 2003
22. 方精云;陈安平 中国森林生物量的估算:对Fang等Science一文(Science, 2001, 291:2320-2322)的若干说明[期刊论文]-植物生态学报 2002(02)
23. 云南省林业调查规划院大理分院 云南省德钦县森林资源规划设计调查报告 2007
24. 王正权 地统计学在生态学中的应用 1999
25. 《云南森林》编写委员会 云南森林 1986

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_sdx201104004.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_sdx201104004.aspx)