

文章编号: 1008-2786-(2009)1-024-9

# 量化中国山区范围 ——以四川省为例

江晓波<sup>1</sup>, 曾鸿程<sup>2</sup>

(1. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 四川 成都 610041)

(2. Tulane University, Ecology and Evolutionary Biology, New Orleans, LA 70118, USA)

**摘要:** 山区范围较之山地范围更具有模糊性和不确定性, 同时山区在空间分布上更为连续和完整。在计算中国山地范围的基础上, 运用地理信息系统的空间分析功能和统计模型中的聚类分析和多元回归分析技术, 选择人口、土地利用、GDP、道路等社会经济因子, 构建了计算山区范围的边缘生长模型, 同时运用该模型计算出四川省的山区面积占总面积的 76.77%, 较之四川省的山地面积增长了 3.21%, 主要分布在川西及盆地周边区域。

**关键词:** 山区; 山地; 模型; 地理信息系统; 统计分析; 四川; 数字山地

**中图分类号:** P931, P941.76, TP79

**文献标识码:** A

山区划分历来都是令地学工作者头痛的一件事情。首先山区并无一个明确的定义; 其次也无一个明确的划分方法。在目前国外文献中山区和山地并没有做严格的区分, 关于山地和山区的表述多采用 mountains, mountain area 或 mountain region<sup>[1-6]</sup>。Kapos(2000)等在研究全球森林资源分布时对山地进行了定义和划分, 其定义就是 UNEP (United Nations Environment Programme) - WCMC (World Conservation Monitoring Centre) 目前采用的计算标准<sup>[5]</sup>。Meybeck(2001)等利用地表起伏度对全球山地进行了分类<sup>[6]</sup>。在大多数国内文献中, 山地和山区被当作可以通用的两个概念, 譬如山地和山区都强调“山”(Mountain)是核心内涵, 没有山也就无山地和山区两个概念。但是一部分学者也强调二者的差别: 山地侧重地形地貌上的垂直差异, 反映在高程、

起伏度(相对高差和坡度)两个方面, 着重区域的自然属性; 山区更强调区域的完整性和连续性, 在研究人文社会经济现象时, 多采用山区的提法, 其界线更具有模糊性和不确定性<sup>[7-15]</sup>。李矩章(1982)初步探讨了运用模糊数学手段定义中国地貌类型的函数表达式<sup>[8]</sup>, 郭绍礼等(1986)在县级行政单元基础上将中国划分为山区县、丘陵县和平原县<sup>[9]</sup>, 江晓波(2008)对比国内外的方法, 计算了中国的山地范围<sup>[10]</sup>。本研究强调山区和山地是两个有关联但不相同的概念, 分别用 mountains 和 mountain region 两个英文词汇表示山地和山区。

由于山区表述的模糊性和不确定性, 目前国内并无一个可以借鉴的山区定义和可利用的山区范围用于支撑相关的科学研究。本研究并不准备对山区下一个定义, 而是运用山区范围的相对完整性和模

收稿日期 (Received date): 2008-09-03; 改回日期 (Accepted): 2008-10-08.

基金项目 (Foundation item): 中国科学院西部之光项目“山区小城镇可持续发展决策支持系统”, 国家重点基础研究发展计划 (2007CB411507), 国家科技支撑计划 (2006BA B04A08) 和所前立项项目“数字山地原型研究”资助。[Supported by West Light Foundation of the Chinese Academy of Sciences “geographic information system of sustainable development in towns of mountain regions”, National Basic Research Program of China (2007CB411507), National Key Technology R & D Program (2006BA B04A08) and Foundation of Institute of Mountain Hazards and Environment “study on Prototype of Digital Mountains”.]

作者简介 (Biography): 江晓波 (1973-), 男, 羌族, 四川茂县人, 副研究员, 博士。主要从事 RS & GIS 应用和数字山地研究, 已发表论文 20 余篇。[Jiang Xiaobo (1973-), male, associate professor, Ph.D., research direction: application of remote sensing and geographic information system, and digital mountains theory. ] E-mail: jxb@imde.ac.cn Tel: 028-85222782

糊性的特点(较之山地),以及山区主要用于研究人文社会经济现象这一事实,建立模型并确定山区范围。

探讨量化我国山区范围具有以下四个方面的意义。首先,由于山区界线本身具有模糊性和不确定性,采用空间信息技术和统计方法量化山区范围具有较强的理论价值;其次,在人文和社会经济研究领域,山区能够成为分析人文要素和社会经济要素时空演变规律的基础;第三,数字山地目前处于深入探索阶段,山区范围的计算模型,能够推进数字山地战略工作;最后,在我国社会经济生活快速发展的背景条件下,山区成为我国全面建设小康社会的主战场,山区范围的明确能够为可持续山区发展提供必要的支撑<sup>[8 10 16-19]</sup>。

选择四川省作为研究对象,是基于省内地貌类型丰富多样(包括平原、丘陵、山地、高原等),社会经济和人文要素空间差异明显等因素的综合考虑。研究该区域内山区范围计算模型及其分布规律对全国山区范围划分有示范指导意义。

## 1 方法和研究区域

### 1.1 量化山区范围的基本原则

山区的核心组成是山地,山地是拓展山区的前提条件,不存在没有山地的山区。山区则是山地范围一定程度地外延,这一外延也是必须的,因为这一外延部分受到山地的强烈影响。但同时,这一外延具有相对性,其宽度是界定山区范围的难点。为了便于量化山区范围,设定如下 4 点基本原则: 1. 山区的人文和社会经济要素较之非山区(如平原)应具有显著的差异性; 2. 有山地不一定有山区,只有达到一定的面积阈值的山地才能被外延拓展形成山区; 3. 山区范围的界定应尽可能符合传统的认知习惯; 4. 山区和非山区域内部的相对一致性。

### 1.2 四川的山地范围

为了计算四川省的山区范围,有必要首先确定四川省的山地范围。江晓波(2008)根据 UNEP-WCMC 定义的山地标准计算所得的中国山地面积为  $4\,426\,130.34\text{ km}^2$ , 占中国陆地面积的 46.11%。这一方案计算所得的山地范围除了在青藏高原及其周边区域、天山山脉和阿尔泰山山脉周边较为连续和完整外,基本上表现较为零散和破碎<sup>[10]</sup>。其中,四川省的山地面积达到  $359\,209\text{ km}^2$ , 占四川省国土

面积的 73.56% (图 1)。四川省的山地主要位于省内的西部区域以及盆地周边区域,另有少数位于东部和中部。东部边界山地是和重庆市交界的川东平行岭谷,而中部山地主要集中在龙泉山脉以及威远县和荣县境内。

### 1.3 平台选择及数据收集

#### 1.3.1 平台选择

选择 ArcGIS 9.2 作为空间数据处理的平台; 选择 SPSS11.5 作为统计分析运算平台。

#### 1.3.2 数据收集

本研究需要的数据按来源分为四类: 第一类是山地范围数据,作者依托热带农业国际中心(International Center of Tropical Agriculture-ICTA)提供的 DEM 数据,按照 UNEP-WCMC 的山地定义计算所得,数据空间分辨率为 86 m; 第二类数据包括水系和道路,源于国家测绘局,比例尺为 1:25 万; 第三类数据是 2000 年土地利用数据,是从 TM 影像中解译所得,源于中国科学院知识创新项目“西南地区土地资源时空变化数据库建设”,由地球系统科学数据共享网西南山地分中心提供(<http://index.geodata.cn>),比例尺为 1:10 万; 第四类数据为 2000 年的人口和 GDP 栅格数据,由地球系统科学数据共享网提供(<http://www.geodata.cn>),空间分辨率为 1 km。

### 1.4 模型的确定

#### 1.4.1 总体思路

综合考虑自然、人文和社会经济的空间分异,依托山地进行空间范围的拓展,从而得到山区范围。由于山地范围非常破碎,尤其是在四川东北部和东南部地区,因此需要采取一定的方法将其归纳和拓展,从而获取空间上相对连续和完整的山区范围。基本计算流程如图 2 所示。

#### 1.4.2 因子选择与处理

根据已获取的数据,将与山区范围相关的因子初步确定为 4 个方面共 5 个因子,并对其进行空间位置、格式等的统一处理。将本文中所有空间数据的投影确定为 Albers 中央经线为  $105^\circ\text{E}$ , 双标准纬线分别为  $25^\circ\text{N}$  和  $47^\circ\text{N}$ , 椭球体为 Krasovsky, 因子统一处理为栅格格式,以  $1\text{ km} \times 1\text{ km}$  的栅格作为统计分析的基本单元。

#### 1. 道路因子 ( $X_1$ )

定义单位面积 ( $1\text{ km}^2$ ) 内的不同等级的道路长度加权和为道路密度,以此作为一个图层参与模型运算。根据道路等级差异,将高速公路、国道、省道、

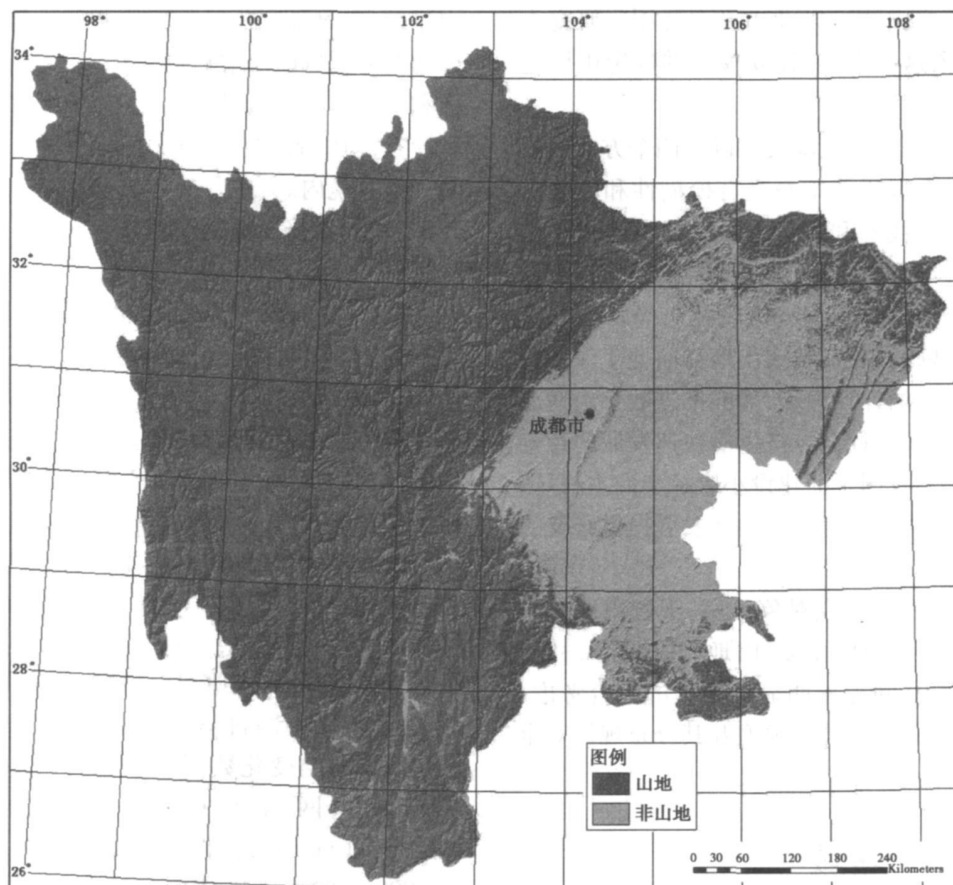


图 1 四川省的山地

Fig 1 Mountains in Sichuan Province

县道、乡村道划分为四级,并赋予不同的权重(表1)。另外,因为道路对周围社会经济的影响超出了 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 的单元格范围,计算出的道路密度作了 $10\text{ km} \times 10\text{ km}$ 的平滑处理,以增加道路的影响范围。

#### 2. 林草因子( $X_2$ )和耕地因子( $X_3$ )

分别计算单位面积( $1\text{ km}^2$ )内林草地或耕地的比例,以此二者分别作为两个图层参与模型运算。

#### 3. 人口因子( $X_4$ )

人口因子直接利用地球系统科学数据共享网提供的 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 的人口数量作为一个图层参与运算。

#### 4. GDP因子( $X_5$ )

GDP因子直接利用地球系统科学数据共享网提供的 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 的GDP(单位:万元)作为一个图层参与运算。

#### 1.4.3 因子相关性分析

为了验证上述5个因子和山区之间相关性,这

里借用了江晓波(2008)计算的四川山地范围<sup>[10]</sup>,运用SPSS软件中的分析模块,计算山地与这5个因子的相关性,结果如表2所示。除林草地呈正相关外,其余因子都呈负相关。而且所有的因子都和山地范围之间具有显著的相关性。这种相关关系也说明了山区的社会经济要素明显区别于非山区。据此,可以应用上述因子建立山区范围的计算模型。

#### 1.4.4 边缘生长模型

##### 1. 模型思路

边缘生长模型是基于栅格单元模型,由地理信息系统的空间分析功能和数理统计模型(聚类分析和多元回归分析)共同构建。设定所有的山地都是山区的核心部分,采取边缘生长方式确定每一个邻近山地的栅格单元被划分为山区的概率。边缘生长模型由上述4个方面的5个因子共同生成。设定区别山区与非山区栅格单元的概率阈值为0.5,即当概率 $\geq 0.5$ 时,该栅格单元应为山区,否则为非山区(图3)。

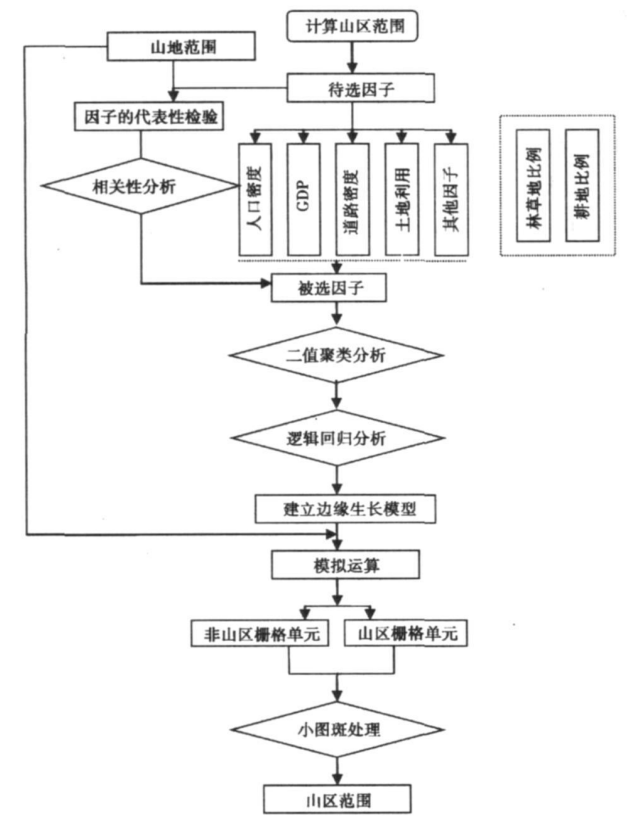


图 2 山区范围计算流程

Fig 2 Stream line of Computing Range of Mountain Region

表 1 道路的等级及权重

Table 1 Classes and Weights of the Roads in Sichuan Province

道路等级	权重	道路等级	权重
高速公路	4	国道	4
省道	3	县道	2
乡村道	1		

表 2 因子的相关性和显著性检验

Table 2 Correlation and significance of factors

		耕地 ( $X_3$ )	林草地 ( $X_2$ )	道路 ( $X_1$ )	人口 ( $X_4$ )	GDP ( $X_5$ )
山地范围	Pearson correlation	-0.833	0.776	-0.562	-0.481	-0.206
	Sig. (2-tailed)	0	0	0	0	0

## 2. 模型的建立

引入逻辑模型如下

$$F = \frac{e^{(aX_1 + bX_2 + cX_3 + dX_4 + eX_5 + f)}}{1 + e^{(aX_1 + bX_2 + cX_3 + dX_4 + eX_5 + f)}} \quad (1)$$

式中  $F$ —山区概率;  $X_1$ —道路因子;  $X_2$ —林草地因子;  $X_3$ —耕地因子;  $X_4$ —人口因子;  $X_5$ —GDP 因子;  $a, b, c, d, e$  为各因子的系数,  $f$ —常量。

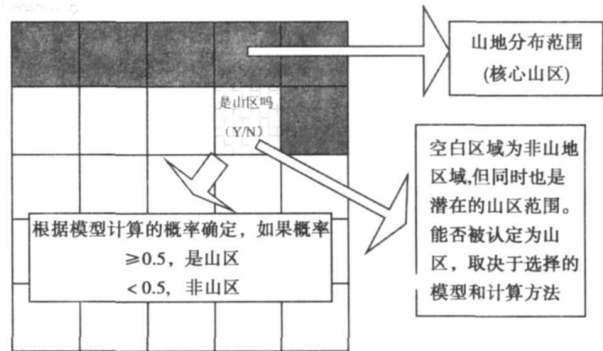


图 3 基于栅格的边缘生长模型的思路

Fig 3 Framework of edge-growing model based on grid cell

## 3. 模型参数计算

运用 SPSS 软件中的 TwoStep Cluster Analysis 模型将 5 个因子进行聚类, 随机产生二值分类结果, 作为 Binary Logistic 模型计算的因变量; 然后运用 Binary Logistic 模型, 代入二值分类结果及 5 个因子, 计算公式 (1) 中的参数, 结果如表 3 所示。

表 3 模型参数确定

Table 3 Computing the values of constant and coefficients of the model

a	b	c	d	e	f
1.010	-0.606	0.309	0.025	0.015	2.533

### 1. 4.5 模型运算

利用 ArcGIS Desktop 的空间分析功能, 运行边缘生长模型, 对山地周围的栅格单元进行山区划分概率计算 (见图 3), 得到初步的山区范围。基于山区内部的相对一致性原则和空间分布较为完整和连续的特点, 设定一定的阈值对山区和非山区内部的小图斑进行处理, 将面积未能达到阈值的小图斑合并入周围的主要类型中。根据模型计算所得山区和非山区图斑的面积及其分布特点, 运用 SPSS 中的

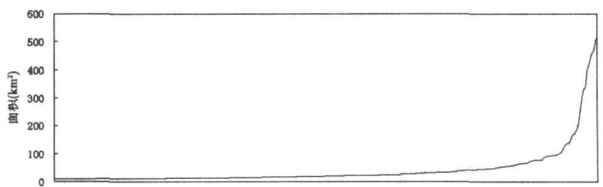


图 4 边缘生长模型计算的初始山区范围中图斑面积的分布特征

Fig 4 Distribution pattern of the patches in the preliminary computing area of mountain region based on the edge-growing model

descriptive statistics功能描述其分布特点(图 4),发现  $100 \text{ km}^2$  是四川省山区和非山区的小图斑面积分布的拐点,据此确定小图斑合并的阈值为  $100 \text{ km}^2$ 。

## 2 结果与讨论

### 2.1 结果

#### 2.1.1 四川省山区范围

根据边缘生长模型计算所得的四川省山区面积为  $374\,901 \text{ km}^2$ , 占四川省国土面积的  $76.77\%$ , 较之按照 UNEP-WCMC 方法计算所得的四川省山地面积增长  $3.21\%$  (图 5)。

由于四川省山区范围是依托山地为核心运用边缘生长模型计算所得, 因此山区的空间分布特征与四川省山地分布特点基本一致, 即四川省的山区主要分布在川西及盆地周边区域。同时山区较之山地更具有完整和连续性, 这点尤其是在川西区域表现

尤为突出。山区的生长在川东北和川东南表现尤为突出, 这主要是因为川东北和川东南的山地比较破碎, 但与山地相邻的地区在人文和社会经济上仍然具有很强的山区特点。另外, 盆地内成都市东侧龙泉山脉由于模型计算后的山区面积未达到临界阈值 ( $100 \text{ km}^2$ ), 因而归入非山区类型(其人文经济特征在区域层次上更趋近于非山区)。相反, 威远县和荣县境内山区面积达到该阈值, 因而被确定为山区。特别需要指出的是安宁河谷由于面积较大, 地势平坦, 经过模型计算, 成为川西部连片山区中唯一的非山区域。川东平行岭谷山地呈东北-西南走向, 面积较大, 经过边缘生长模型计算后确定为山区。

#### 2.1.2 剖面验证

选择  $32^\circ\text{N}$  纬线作为剖面, 对四川省山区和山地的范围以及 5 个因子进行分析(图 6)。

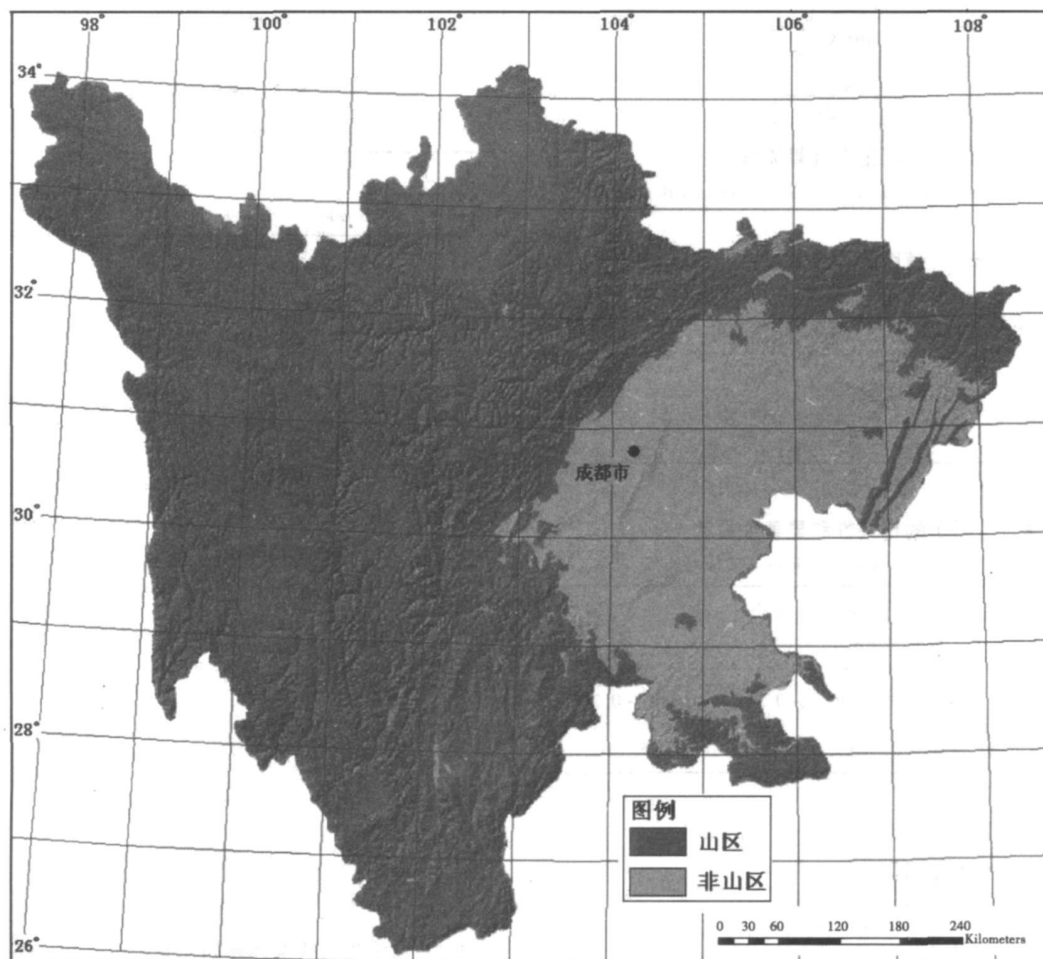


图 5 四川省的山区范围

Fig 5 Range of mountain region in Sichuan Province

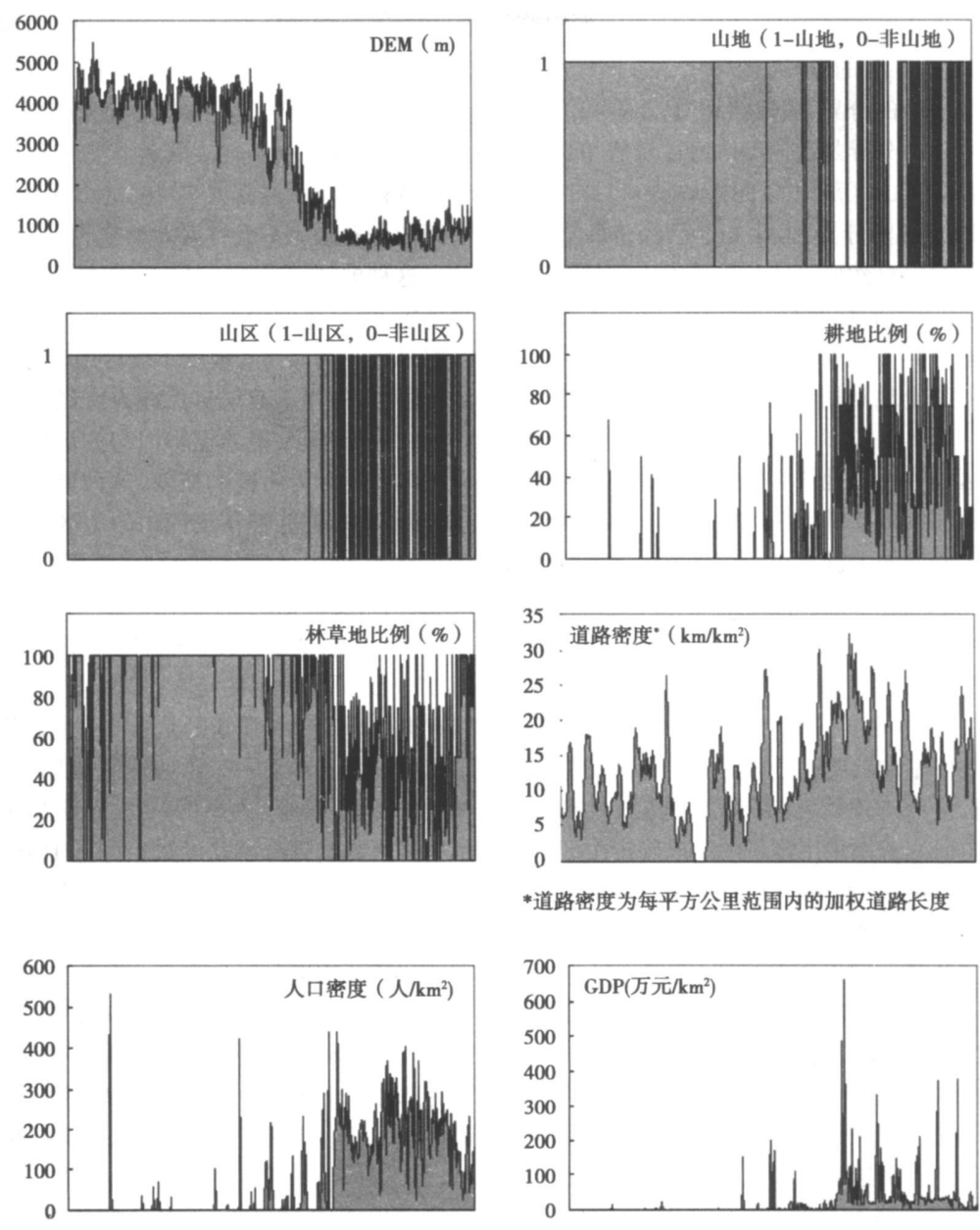


图 6 32° N 纬线剖面验证结果

Fig 6 Transect validation at 32° N

根据图 6 及相关分析可以得出以下 4 点结果:

1. 沿着 32°N 剖面线, 山区较之山地有一定程度的拓展, 山区(地)类型单元所占比从 77.28% 提升至 84.61%;
2. 山区的拓展主要表现在剖面线的东部位置, 占增加的绝大部分;
3. 山区表现出较之山地更为连续和完整的分布特点;
4. 耕地、林草地、道路、人口和 GDP 5 个因子在山区(地)和非山区(地)间表现出差异较大的分布特征。

## 2.2 讨论

山区界线自身具有模糊性和不确定性, 量化其

范围是为了给相关的研究工作提供一个可供参考的基础, 不至于地学工作者一旦提到山区范围的时候, 均毫无例外的采取含糊其词和模棱两可的表述方法。江晓波 (2008) 应用 GIS 的空间分析手段定量划定了中国山地的范围, 但由于量化方法的局限性, 部分山地 (主要是中国东部) 表现得较为破碎和孤立, 而包含人地系统的山区强调空间上的连续性和完整性。因此本研究选择和社会经济人文因素密切相关的人口、GDP、道路和土地利用等因子构建模型, 对山地范围进行一定尺度的拓展, 从而获取山区

范围。

### 2.2.1 山区与非山区的分异

山区与非山区的分异,表现在物质、能量和信息等诸多方面。这种分异是我们得以通过自然和人文社会经济要素计算山区范围的工作基础。除了自然因素(如地形地貌)的分异,人文和社会经济要素同样存在巨大差异。自然要素的分异决定于大的构造运动及水热空间格局;而自然要素则决定了人文和社会经济要素分异。在作者所选取的因子中,空间分异最显著的是土地利用类型和道路的分布(见表2)。

划分山区是进行山地科学研究和促进区域可持续发展必须关注的重要基础性工作。进入21世纪,可持续发展的问题的关键点之一就是山区可持续发展问题,这一点在《21世纪议程》第12章《管理脆弱生态系统—可持续山地发展》中有系统的讨论<sup>[3]</sup>。当前我国处于国家发展的重要时期,国民经济发展和生态环境保护之间的矛盾日益突出,如何实现可持续山区发展面临的首要问题就是确定山区的生态环境和人文社会经济现状,而其首要工作就是确定山区范围。本研究首次采用定量的手段确定山区范围的计算模型(即基于栅格单元的边缘生长模型),并将模型运用于四川省。

这一模型及其在四川省的应用,使得山区从定性阶段进入定量阶段,具有广泛的实用前景和理论价值,对于推动可持续山区发展,促进数字山地战略实施以及构建和谐山区都具有重要价值。

### 2.2.2 边缘生长模型

边缘生长模型所选取的人文经济社会要素(土地利用类型、道路、人口和GDP)存在明显空间分异。它们与山地的显著相关性使得山区边缘生长模型的建立成为可能(见表2)。当然可能还会有一些其他因子的空间分布也存在山区与非山区的分异,但由于数据的局限,我们仅选取了上述的几种我们认为相对重要的因子构建山区范围的边缘生长模型。这种模型采用在山地边缘生长的方式可以消除部分误差,如山地的某些单元被误划分成非山区,反之亦然。同时,边缘生长也能够更大程度的保持山区和非山区的连续性。

边缘生长模型的难点在于对岛状区域的处理,如山区内部的岛状非山区,或非山区内部的岛状山区。为了保持山区和非山区的连续性,使其符合传统的认识,更具有空间上的连续性和完整性,设定小

于一定面积阈值的区域应合并并在相邻区域中。此类阈值很难准确界定,在四川省的山区范围计算中采用的 $100\text{ km}^2$ 也仅仅是根据小面积图斑的分布来确定的(见图4),并不代表其他省份或地区也要采用同样的标准。不过其大小对总的山区面积和山区在空间的分布趋势不会有太大影响。

这种模型同样可以推广到国内的其他省份或其他国家,但具体的模型参数则需要根据当地的实际情况来定。边缘生长模型不仅可用于山区的范围界定,还可以应用于其他自然或人文经济社会要素的区划。另外,模型中的逻辑回归方法可以输出每个栅格单元划分为山区的概率,这种概率应用到蒙特卡罗分析中,就能够预测四川的山区的定量划分的概率范围,即山区划分的空间置信区间。

### 2.2.3 精度讨论

本研究计算结果的准确性受限于以下两个方面:首先是原始数据的精度;其次是模型的精度。空间数据的分辨率和质量等是影响模型计算结果的一个重要方面。本文中采用的空间数据类型多,且比例尺(空间分辨率)大小不一致;而且人口和GDP的公里格网数据自身也是经过空间插值方式形成的,因而其精度对山区范围的量化结果有一定影响。

模型精度表现在因子的代表性、相关性及其完整性和模型的构造两个方面。作者选择了自然和社会经济人文的十余个因子进行初始筛选;考虑到山区主要用于和人文经济社会相关等研究,因此将因子的选择确定为和社会经济密切关系的土地利用、道路、人口和GDP四个方面。从表2分析中可以得出,上述四个方面的5个因子和山区具有较强的相关性,且显著度都极高,适合于构建模型。另外,模型采用 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 作为统计单元,很多人文经济要素的空间影响范围远远超出了一个栅格单元。如高速公路的宽度远小于 $1\text{ km}$ ,但其对周围社会经济的影响远不止于 $1\text{ km}$ 。有的非山区的栅格虽然没有道路的分布,但并不说明其通达性比山区差。如何对原始道路数据进行处理使其能更好的代表区域的特点而不仅仅是其栅格本身,这是一个非常棘手的问题。作者采用了 $10\text{ km} \times 10\text{ km}$ 的平滑,对原始数据进行了一些改进;同时采用多因子分析,可以弥补单个因子在某些方面的不足,从而建立一个较为完善的模型。

总而言之,山区范围的确定是一个极其复杂的工作,同时局限于空间数据的完备性,因而因子的完

整性还有待在实践中进一步的检验。另外 SPSS 软件中的算法自身的精度也是制约山区计算结果的重要方面。

### 3 结论

本研究依托地理信息系统的空间分析手段, 结合数理统计中的聚类分析和多元回归分析方法, 构建了基于栅格单元的边缘生长模型, 并以四川省为例, 计算了四川的山区范围。主要结论如下:

1. 本研究所选择的人文和社会经济要素(土地利用、人口、GDP 和道路)表现出明显的空间分异特征, 这一点沿着  $32^{\circ}\text{N}$  表现得非常明显(见图 6); 同时这一分异特征与山地范围有较强的相关性(见表 2)。

2. 边缘生长模型首次将山区从定性带入定量的阶段。虽然对模型的可靠性没有做进一步的分析, 但此模型在一定程度上对山区范围进行了归纳, 使其范围具有空间上的完整性和连续性, 便于人文和社会经济领域使用。

3. 四川的山区分布相对集中, 绝大部分位于川西部, 少数分布在川东北和川东南。山区面积占全省国土面积的 76.77%。这一基本情况使得四川山区的发展成为该省社会经济的重要组成部分, 处理好四川省山区的可持续发展问题, 就基本上解决了四川省构建和谐社会的矛盾和问题。同时四川省位于长江流域的上游, 山区在整个长江上游的生态屏障中具有重要的意义, 如何保持四川山区的植被和防止水土流失关系到整个长江流域的生态安全。

本研究在量化四川山区范围的基础之上, 下一步拟开展以下两个方面的工作: 首先将此项工作扩展到全国山区, 便于对中国山区有一个准确统一的认识, 从而有利于国家关于山区的宏观政策和措施的制定和实施; 其次进一步依托目前的方法和技术, 深入分析全国山区的人口、资源、环境和发展的历史、现状和趋势, 从而为认知山地科学规律, 推进“数字山地”战略, 促进山区可持续发展提供数据、技术和思想。

致谢: 本文得到余大富教授悉心指导, 特此致谢!

### 参考文献 (References)

- [1] Messerli B. and Ives J.D. Mountains of the World: A Global
- [2] Jia D. I. and messerli B. Progress in theoretical and applied mountain research 1973 ~ 1989 and major future needs [J]. *Mountain Research and Development*, 1990 10(2): 101 ~ 127
- [3] UNESCO, Programme on man and biosphere(MAB), working group on project 20 ~ 236 Impact of human activities on mountain and tundra ecosystem, Lillehammer, November 1973, Final report MAB report 14 [R]. UNESCO, Paris 1973 1 ~ 132
- [4] John G. Mountain Environments An Examination of the Physical Geography of Mountains [M]. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1994 1 ~ 260
- [5] Kapos V., Rhind J. Edwards M., Price M. F. Developing a map of the world's mountain forest [R]. In: Price M. F. and Butts N., editors. Forest in Sustainable Mountain Development: A State of Knowledge Report for 2000. Commonwealth Agricultural Bureau (CAB) International, Wallingford, UK, 2000. 4 ~ 9
- [6] Meybeck M., Green P., Vörösmarty, C. A. New Typology for Mountains and Other Relief Classes [J]. *Mountain Research and Development*, 2001, 21(1): 34 ~ 45
- [7] Institute of mountain hazards and environment Chinese Academy of Sciences Outline of Mountainology and Mountain Research in China [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 2000 27 ~ 30[中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所. 山地学概论与中国山地研究 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2000 27 ~ 30]
- [8] Li Juzhang A preliminary study on the quantitative index of basic types of geomorphologic form in China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1982 37(1): 17 ~ 26[李钜章. 中国地貌形态基本类型数量指标初探 [J]. 地理学报, 1982 37(1): 17 ~ 26]
- [9] Guo ShaoLi Zhang Tianzeng Preliminary Study on Regionalization and Developmental Direction of mountainous Areas in China [J]. *Journal of Natural Resources*, 1986 1(1): 28 ~ 40[郭绍礼, 张天曾. 中国山地分区及其开发方向的初步意见 [J]. 自然资源学报, 1986 1(1): 28 ~ 40]
- [10] Jiang Xiaoba Preliminary Study on Computing the Area of Mountain Regions in China Based on Geographic Information System [J]. *Journal of Mountain Science*, 2008 26(2): 129 ~ 136[江晓波. 中国山地范围界定的初步意见 [J]. 山地学报, 2008 26(2): 129 ~ 136]
- [11] Wang Mingye Zhu Guojin Mountains in China [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1988 1 ~ 2[王明业, 朱国金. 中国的山地 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1988 1 ~ 2]
- [12] Xiao Kefei Economics of Mountainous Regions in China [M]. Beijing: Land Press, 1988 1 ~ 250[肖克非. 中国山区经济学 [M]. 北京: 大地出版社, 1988 1 ~ 250]
- [13] Zhao Songqiao Physical feature of China's mountain environment and economic problem of its utilization [J]. *Mountain Research (Journal of Mountain Science)*, 1983, 1(3): 1 ~ 9[赵松乔. 我国山地环境的自然特点及其开发利用 [J]. 山地研究(现山地学报), 1983, 1(3): 1 ~ 9]
- [14] Xu Qiaoli Tan Chuanfeng Geographic System in Mountainous Re-



- gions [M]. Nanjing: Central China Normal University Press, 1994: 1~320 [徐樵利, 谭传凤. 山地地理系统综论 [M]. 南京: 华中师范大学出版社, 1994: 1~320]
- [15] Cheng Hong. The exploitation of the mountain resources in China [J]. *Mountain Research (Journal of Mountain Science)*, 1983, 1(2): 1~7 [程鸿. 我国山地资源的开发 [J]. 山地研究 (现山地学报), 1983, 1(2): 1~7]
- [16] Chen Guojie, Wang Qing. Economic development differences related to off-peak industries' Contribution in mountainous areas of China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(2): 172~178 [陈国阶, 王青. 中国山区经济发展差异与非农产业的贡献 [J]. 地理学报, 2003, 58(2): 172~178]
- [17] W C Zhou, X B Jiang. Developing trace of GIS and design of Digital Mountain [J]. *Journal of Mountain Science*, 2006, 24(5): 620~627 [周万村, 江晓波. 地理信息系统的发展轨迹与数字山地构建 [J]. 山地学报, 2006, 24(5): 620~627]
- [18] Jiang Xiaobo. Digital Mountains: Towards Development and Environment Protection in Mountain Regions [C]. *Geoinformatics 2007. Proceedings of SPIE*. 67521Q-1~67521Q-8
- [19] Xiaobo Jiang, Wancun Zhou. Digital Mountains: Concept, Architecture and Contents [C]. *MGIS*. 2007: 268~276

## Quantifying Mountain Regions of China

### —A Case Study in Sichuan

JIANG Xiaobo<sup>1</sup>, ZENG Hongcheng<sup>2</sup>

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Key Laboratory of Mountain Hazards and Surface Process, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, Sichuan, China; 2. Tulane University, Ecology and Evolutionary Biology, New Orleans, LA 70118, USA)

**Abstract:** Mountain region (MR) is a more confusion and uncertainty terminology than mountains. It is defined by not only the physical characteristics (i.e. topography), but also some social-economic factors. A MR is a more continuous and integrative area than mountains at landscape scale. At the basis of the quantitative areas of the mountains in China, an edge growing model (EGM) was developed in this work to quantify the MRs. The model utilized the spatial analysis functions in geographical information system (GIS), and the cluster analysis and logistic regression. The social-economic factors, which have high correlation with the mountains, were included in the EGM model (i.e. population, land use, GDP, and road). The EGM model was applied to quantify the MRs in Sichuan province. It was found there are 374 901 km<sup>2</sup> MRs in Sichuan which increased 3.21% compare to mountains (i.e. from 73.56% to 76.77%). The MRs are mainly concentrated in western Sichuan; some are located in Northeastern and Southeastern Sichuan. There are much less isolated small areas in the map of mountain and non-mountain regions, comparing to the map of mountain and non-mountains. The EGM model is an effective and efficient method to delineate the mountain regions in a province or country. Furthermore, it is also portable and easy to be applied in other provinces or countries.

**Key words:** mountain region; mountains; model; geographic information system; statistical analysis; Sichuan; digital mountains