

文章编号: 1007-4619 (2002)04-0294-05

# 云南漾弓江流域城乡聚落形态信息提取与分形分析

蒋雪中<sup>1</sup>, 杨山<sup>2</sup>, 沈婕<sup>2</sup>, 赵锐<sup>1</sup>

(1. 南京大学 城市与资源学系, 南京 210093; 2. 南京师范大学 地理科学学院, 南京 210097)

**摘要:** 利用1996年2月和1999年11月的TM影像, 通过对漾弓江流域的遥感影像的光谱特征分析, 建立地物光谱模型, 提取区域城乡聚落的时空分布信息。在此基础上, 根据分形几何理论计算漾弓江流域城乡聚落不同时段空间形态的分形维数, 从其变化分析流域内聚落空间形态的特征。结果表明, 欠发达地区城乡聚落空间形态具有分形现象, 并且城市与农村集镇的分形维数变化不一致, 1996年丽江地震和1998年大丽线的开通加速了丽江城和鹤庆城的发展, 使其形态趋于复杂、不稳定性增大。

**关键词:** 城乡聚落; 空间信息; 遥感; 分形几何; 漾弓江流域

**中图分类号:** TP79 **文献标识码:** A

土地覆盖变化研究是全球变化和可持续发展研究的重要内容之一<sup>[1]</sup>。城乡聚落作为人类干预自然环境最剧烈的地域, 是土地利用的主要形式。聚落的分布与规模是一定社会经济条件下人类对自然的响应<sup>[2]</sup>。西南地区由于地形、气候的差异十分明显, 同时少数民族聚集, 因此城乡聚落的结构、规模、密度、分布特点与东部地区存在差异。深入研究西部典型地区的聚落形态及其扩展, 既对西部地区的城乡建设具有一定的实践意义, 也对西部地区实现区域可持续发展具有一定的理论意义。将城乡聚落系统看成是由无数本质上是无法预知的作用导致产生的一种分形结构<sup>[3]</sup>, 运用分形分析将过程与形态联系起来<sup>[4,5]</sup>。为此, 选取了颇具特色的漾弓江流域作为研究区, 高效率地从遥感影像上提取城乡聚落形态信息, 根据分形几何理论, 寻求其城乡聚落形态特点和发展规律。

漾弓江作为金沙江中游小支流, 发源于玉龙雪山南侧, 流域主要包括丽江盆地、鹤庆盆地及周围山地, 大地构造上属于横断山余脉。河流总长121.5km, 流域面积为1706.3km<sup>2</sup>。流域地处西南季风区西北部, 冬季以南支西风急流影响为主, 夏季主要受来自孟加拉湾暖湿气流影响, 具有年温差小、冬干夏湿的物点, 夏季降雨量占全年的80%—90%<sup>[6]</sup>。盆地四周为群山环抱, 河流源头玉龙雪山,

山地垂直植被发育。民族分布上, 丽江盆地以纳西族为主; 鹤庆以白族、汉族占多数。盆地区以耕作农业为主。研究区域的城乡聚落绝大多数分布在两个盆地内。

## 1 农村聚落形态变化研究的技术路线

将遥感、地理信息系统和全球定位系统结合起来, 系统、定量、动态地分析城乡聚落空间的变化过程, 具有很强的现实意义和实践意义<sup>[7]</sup>。根据研究内容特点、空间信息源及各种软件和硬件, 研究采用如图1的技术路线。全部研究工作所用的主要软件包括: 遥感图像处理软件ERDAS 8.4、地理信息系统软件Arc/Info、ArcView 3.2和S-PLUS统计软件。

## 2 城乡聚落形态信息的提取

### 2.1 遥感信息提取

遥感信息提取的类型可分为5大类: 分类、变化检测、物理量的提取、指标提取和特定地物及状态提取<sup>[8]</sup>。根据漾弓江流域土地利用类型及其光谱特征, 聚落信息提取采用图像判读, 根据色调和颜色等影像特征建立判读标志, 掌握流域内土地覆盖的类型。然后采用仿NDVI方法提取区域城乡聚落信

收稿日期: 2001-05-22; 修订日期: 2001-10-17

基金项目: 中国科学院创新项目(KZCX1-10-01)及地理信息科学江苏省重点实验室基金共同资助。All rights reserved. <http://www.cnki.net>

作者简介: 蒋雪中(1974—), 男, 博士生, 地图学与地理信息系统专业, 主要研究方向为景观生态学及遥感应用。1999年毕业于中国科学院南京地理与湖泊研究所, 获硕士学位。E-mail: jiangzxh@sohu.com

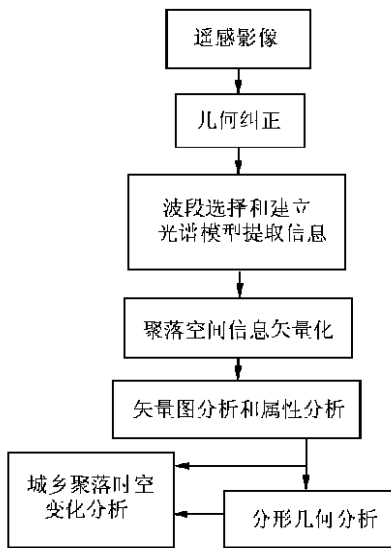


图 1 城乡聚落空间信息提取与分形分析技术流程

Fig.1 Framework of the process

息。

遥感影像数据包括 1996 年 2 月的 TM 影像、1999 年 11 月的 TM 影像,时段上都处于该地区的干季,具有可比性。在假彩色合成影像上,城乡聚落多以深青色斑块出现,内部存在纹理,可以识别与其相连的道路,面积较大的县城中有亮斑。农田、林地以红色斑块出现,其中农田色调较浅,林地则较深。由于 TM 数据包括 7 个波段,能较好地应用于陆地资源探查和环境监测。Landsat TM 影像的地面单元分辨率为 30m×30m(除 TM6),小于 30m×30m 的建筑物以混合像元存在。研究区内县城和部分集镇中建筑物房顶多为平顶水泥面和大红瓦坡面结构,存在水泥房顶的纯净像元;大多数集镇和村级聚落的房顶多是小黑瓦坡屋面,一般宽度不超过 30m,并且建筑物都与周围的零散树木、空地、农田等以混合像元的形式表现出来。

## 2.2 区域各类用地的光谱值分析

漾弓江流域的土地利用类型主要有城乡聚落、农田、林地、道路、荒地、河流和湖泊水库。为了提取城乡聚落空间范围信息,建立基于光谱知识的信息提取模型,需对上述各类用地的光谱特征进行比较分析(表 1)。

从表 1 光谱特征分析可得出:在 TM1, TM2, TM3 波段上,城乡聚落很难与周围田地分开,也不容易与水域、林地及山地区分;TM4 波段上,城乡聚落与田地、水体的区分度最高,但与林地、裸露的岩石区分

表 1 各种土地利用类型的光谱值

Table 1 Spectral average value of various land-use

	城乡聚落	林地	田地	金沙江	湖泊、水库	裸露的山地
TM1	54.7	44.0	51.7	60.1	47.1	61.8
TM2	23.2	17.0	22.4	24.9	17.8	29.0
TM3	29.8	17.5	25.1	21.9	14.4	45.0
TM4	30.1	43.5	59.5	8.5	6.8	47.7
TM5	50.9	44.9	58.4	9.8	6.6	110.0
TM6	118.7	109.3	116.7	111.3	105.3	128.1
TM7	26.1	15.3	22.1	4.4	2.7	54.7
样本数	265	151	317	249	69	91

度不高;TM5 波段上,城乡聚落与水体、裸露的岩石容易区分,但与林地、田地相混;各种土地利用类型的光谱均值在 TM6 波段上都很高,但彼此间比较接近,难以区分;TM7 波段的情况与 TM5 波段差不多。

利用地物类型的光谱曲线特征也可以进一步分析各类用地光谱之间的差异<sup>[9]</sup>。图版 I 图 2 显示了从点(100.20°, 26.80°)至点(100.24°, 26.90°),穿越丽江盆地内文笔水库和丽江城的光谱剖面反映的 TM 各波段和 NDVI 光谱曲线特征。

光谱剖面图(图版 I 图 2)中以 NDVI 曲线为例,可以明显区分出绿地、水面、城市,绿地部分(横坐标 0—0.015, 0.03—0.042, 0.046—0.059, 0.061—0.069, 0.073—0.077, 0.09—0.1)具有最高的 NDVI 值,其中农田部分由于此时存在小麦等绿色植被,在 TM4 波段上获得了较林地更高的灰度值, TM1 波段则相反。水面(横坐标 0.015—0.03 段)部分除 TM1 外,各波段灰度值均较其它用地类型低,尤以 NDVI 为明显。村镇、城市的 NDVI 值介于水面和绿地间,而且村镇中由于杂有较多的树或小片菜地等绿色覆盖, NDVI 和 TM4 的值要稍高于城市区域(横坐标 0.069—0.073, 0.077—0.09)。在单一的曲线上,如 TM2, TM3 和 TM6 上难以区分农田、村镇、城市和林地,因而利用光谱曲线判识各类用地需要结合多曲线综合分析。

## 2.3 农村聚落空间信息提取模型

根据以上分析,从遥感影像上提取漾弓江流域城乡聚落的空间信息,简单直接的波段合成难以将城乡聚落的特征与其它背景特征区分开。但是漾弓江流域,城乡聚落绝大部分多分布于盆地内,背景区分最主要考虑是与田地的区分,大部分林地、裸露的岩石都不在盆地内,因 TM4 能够较好地地区分聚落

与周围田地,利用这些特征,建立流域范围城乡聚落的光谱提取模型:

$$ABS \left[ \frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3} \right] < v_1$$

经过反复试验,当  $v_1$  取值为 0.05 时获得最佳效果,将得到结果再经过整体化合并,较好地研究区域城乡聚落与其它地物区分开来,再将此图像进行矢量化,能够精确地提取城乡聚落的空间信息(图版 I 图 3)。通过随机选取样本,对目视判读以瓦房顶为主的村镇聚落进行点位精度评价,在目视判读的 100 个聚落中,有 8 个漏提,14 个误提,总体精度为 89%。漏提的多是位于盆地边缘和漾弓江下游山地间零散的聚落,多提取的多是村镇房屋间的菜地和杂地。

### 3 分形分析

分形是美国数学家 Benoit B. Mandelbrot 于 1975 年提出的定义,用以描述那种不规则的、破碎的、琐屑的几何特征<sup>[10]</sup>。分形几何通过对标度和分辨率的操作,能给地理工作者提供一种研究结构和动态的严格的方法。为了理解现实世界的复杂性,可以将空间、时间和距离概念进行扩展<sup>[11]</sup>。分数维是分形几何对象复杂性程度的度量<sup>[12]</sup>。

分形理论目前正处于不断发展阶段,分形理论的应用研究仍是在一些基本分形理论的前提下,结合分形特征,去寻找适合于所研究对象的分数维计算方法。城乡聚落空间形态在特定时间呈二维空间分布,采用二维欧氏空间的分数维公式计算漾弓江流域城乡聚落形态的动态变化维数<sup>[13]</sup>,以此来描述聚落扩张形成的空间形体外边界的复杂性。

$$\ln A(r) = \frac{2}{D} \ln P(r) + C \quad (1)$$

此计算公式根据 Benoit B. Mandelbrot 的研究结果变化而来<sup>[3]</sup>,  $A(r)$  表示以  $r$  为量测尺度的某一样本的面积,  $P(r)$  为同一样本的周长,  $C$  为截距,  $2/D$  为斜率,分形维数  $D$  等于 2 除以斜率,其值在 1—2

之间  $D$  值越大代表图形形状越复杂。当  $D=1.5$  时,则代表图形处于布朗随机运动状态,越接近该值,稳定性越差。如果定义城乡聚落形态变化(一个随机过程)  $B(t)$  为布朗运动,并且  $B(t)$  满足:

$$\text{Var}(B(t_2) - B(t_1)) \propto |t_2 - t_1|^{2H} \quad (2)$$

由于  $B(t)$  的图形只是某一次的取样图形,对于一定的  $H$ ,  $B(t)$  的所有取样都具有相同的分数维。且:

$$D = 2 - H \quad (3)$$

参数  $H(0 < H < 1)$  在直观上表示了图形的粗糙度。因此可以将分形布朗运动分成 3 个完全不同的类型:  $H < 1/2$ ,  $H = 1/2$ ,  $H > 1/2$ 。当  $H = 1/2$  时,即  $D = 1.5$ ,  $B(t_2) - B(t_1)$  与  $B(t_3) - B(t_2)$  ( $t_1 < t_2$ ) 时是独立的,两者相关为 0,图形处于最不稳定状态;而对于  $H > 1/2$  时,即  $D < 1/2$  时,随机过程的增量间有正的相关值,故图形趋于简单;当  $H < 1/2$  时,随机过程的增量间存在一个负的相关,一般此时的图形更为奇特,有较大的分维数;当  $H = 1$  时,图形在  $t$  方向的扩展必须以图形在幅度方向上相同的因子的扩展补偿才能保持一致,此时图形的  $D = 2 - H = 1$ 。当  $H = 0$  时,便得到一个完全不同的随机行为,在  $t$  方向上任意压缩或扩展  $B(t)$  图形,看上去还是一样的,也即  $B(t)$  的图形密集地充满了平面上的区域,它的分数维为 2<sup>[12]</sup>。根据 1996 年的漾弓江流域遥感影像提取的城乡聚落信息,共统计样本 408 个,包括丽江县城和鹤庆县城。分别计算 408 个样本的面积对数和周长对数,建立一元线性回归模型。采用同样的方法对 1999 年研究区聚落的空间形态信息进行计算,相关结果见表 2。

从表 2 看出,1996 年和 1999 年漾弓江流域城乡聚落分维数分别为 1.334428 和 1.334757。各年的相关系数均大于 0.96,表明聚落面积对数和周长对数的相关性较好,分形维数  $D$  值的计算是有一定理论依据的。线性回归的方差分析结果  $F$  检验值大于  $F_{0.01}$ ,说明建立的回归是高度显著的,面积和周长的这种关系并不是偶然发生的,  $D$  值的含义代表了图形的复杂程度和稳定程度。

表 2 漾弓江流域城乡聚落的分形维数

Table 2 Residential fractal dimensions of Yanggong River drainage area

时段	类型	样本数	分形维数	相关系数	$F$ 检验值	$F_{\alpha}(\alpha=0.01)$
1996	城、镇、村	408	1.334428	0.968293	6099.44	6.70
1999	城、镇、村	349	1.334757	0.968992	3798.54	6.72

1996—1999年,漾弓江流域城乡聚落的分形维数增大,说明城乡聚落的空间形态趋向复杂化,稳定性降低。结果的分形维数值都比较接近布朗随机运动值(1.5),反映了当地城乡聚落发展的随意性较大,聚落基本上呈自发发展。

但是,上述分析是建立在漾弓江流域整个城乡聚落的基础上,难以说明单一样本如丽江城和鹤庆城的分形维数变化。采用的分数维公式不能计算单个样本的分形维数值。因此,在研究时,将这两个样本从整体中剔除,再进行其它样本的分形维数计算,

然后通过对比即可反映两个县城在整体样本中的权重和分形维数的变化情况。表3显示了去掉丽江城和鹤庆城后的计算结果。可以发现,去除两个县城后的1996—1999年间分形维数值呈降低趋势,说明漾弓江流域村镇聚落的空间形态变化趋于简单,稳定性增强。这与该地区进入90年代后注意基础设施建设,特别是道路建设的加快有关,使得有些聚落向道路附近迁移,或者是聚落向外的道路改善,原来的聚落形态得到重组,受道路的约束,聚落形态至少在靠道路侧简单化。

表3 漾弓江流域城乡聚落的分形维数(去除丽江、鹤庆县城样本)  
Table 3 Residential fractal dimensions of Yanggong River drainage area  
(excluding the county seat of Lijiang and Heqing)

时段	类型	样本数	分形维数	相关系数	F 检验值	$F_{\alpha}(\alpha=0.01)$
1996	镇、村	406	1.334683	0.967254	5860.10	6.70
1999	镇、村	347	1.332965	0.965355	3353.24	6.72

(F 检验值远远大于  $\alpha=0.01$  时的  $F_{\alpha}$  显著性检验值)

对比表3和表2,去除两个县城后分形维数变化趋势相反,说明两个县城的样本在总体样本中占的权重较大。1996—1999年间县城的分形维数值是上升的,反映期间城市发展增快,形态变化大。丽江在经历了1996年底的大地震后,城市建设加快,同时,纳西古城被评为世界文化遗产后,给丽江城的发展带来了巨大的影响,新城在古城西侧不断向西延伸,原来靠近县城西侧的村庄已并入县城的版图,使得丽江城1999年的面积较1996年扩大了19.7%,而且空间形态日趋复杂,(图版I图4)。鹤庆城的发展更多的受到通过松桂乡的大丽线(大理—丽江)的影响,一改以往的交通不便。古镇在1998年前的变化不大,随着交通状况的改善,县城发展迅速,在发展和保护鹤庆白族特色民居民俗的同时,新城向西侧缓坡地迁移,而环城路外围,特别是东侧大丽线经过的地段,城市建筑快速增多,导致县城的空间形态趋向复杂。

## 4 结论与讨论

根据对漾弓江流域城乡聚落的分形维数计算,发现城乡聚落的空间形态复杂多样,但是仍表现一定的规律:西部欠发达地区的城乡聚落发展受规划等制约的情况较少,特别是村镇聚落的发展呈自发

形态,这与东部发达地区的城乡发展较多的受到规划、发达的道路网等的制约作用,城乡聚落的空间形态的分形维数较小有差异<sup>[14]</sup>。随着西部大开发和西部地区基础设施的改善,城市发展加快,导致空间形态更趋于复杂,如何引导这些地区的城市建设走向科学化,减少随意性发展,增强地区可持续发展能力,是这些地区面临的问题之一。

**致谢** 一起参加野外调查的还有中国科学院南京地理与湖泊研究所沈吉研究员、羊向东副研究员、吴艳宏博士和夏威岚高工,同时特别感谢云南地理研究所王学林老师提供相关资料和对文章的指导。

## 参考文献 (References)

- [1] Chen Shupeng, Tong Qingxi, Guo Huadong. On Mechanism of Remote Sensing Information [M]. Beijing: Science Press, 1998. [陈述彭, 童庆禧, 郭华东. 遥感信息机理研究[M]北京: 科学出版社, 1998.]
- [2] Jin Qiming. Rural Residential Geography of China [M]. Nanjing: Science and Technology Press of Jiangsu Province, 1989. [金其铭. 中国农村聚落地理[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1989.]
- [3] Mandelbrot B B. The Fractal Geometry of Nature [M]. San Francisco: W. H. Freeman & Co. 1982.
- [4] Batty M, Longley P. AA Diffusion-Limited Aggregation and the Fractal Nature of Urban Growth [J]. Paper of the Regional Science Association. 1989. 67: 55—69.

- [5] Goodchild M F, Mark D M. 1987. The Fractal Nature of Geographic Phenomena [J]. *Annals of the Association of American Geographers* 77, 265—278.
- [6] Yunnan Vegetation Group. Yunnan Vegetation [C]. Beijing: Science Press, 1987, 763—781. [云南植被编写组. 云南植被[C]. 北京: 科学出版社, 1987.]
- [7] Zhao Rui. Map-Remote Sensing-Geographic Information Integrated Study [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1995, 50(1): 67—72. [赵锐. 地图—遥感—地理信息系统一体化的应用试验研究(以长江三角洲动态制图为例) [J]. 地理学报, 1995, 50(1): 67—72.]
- [8] Japan Remote Sensing Institute. Translated by Liu Yongwei, He Xuehong. Precise Interpretation of Remote Sensing [M]. Beijing: Surry and Mapping Press, 1993. [(日)遥感协会编. 刘勇卫, 贺雪鸿译. 遥感精解[M]. 北京: 测绘出版社, 1993.]
- [9] Yang Cunjian, ZHOU Chenghu. Extracting Residential Areas on the TM Imagery [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2000, 4(2): 146—150. [杨存建, 周成虎. TM 影像的居民地信息提取方法研究[J]. 遥感学报, 2000, 4(2): 146—150.]
- [10] Zhang Jizhong. Fractal [M]. Beijing: Tignhua University Press, 1995. [张济忠. 分形[M]. 北京: 清华大学出版社, 1995.]
- [11] Lin Shaoyan, Zhao Rui *et al.* Fractal in Geography [M]. Supported by National Science Foundation of China, 1997. [林绍颜, 赵锐等. 王嘉松, 赵安等译. 地理学中的分形[M]. 国家自然科学基金资助出版, 1997.]
- [12] Wang Dongsheng, Cao Lei. Chaos, Fractal and Application [M]. Beijing, Chinese Science and Technology Press, 1995. [王东升, 曹磊. 混沌、分形及其应用[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.]
- [13] Dong Lianke. Fractal Theory and Application [M]. Shenyang: Liaoning Science Press, 1991. [董连科. 分形理论及应用[M]. 沈阳: 辽宁科学出版社, 1991.]
- [14] Yang Shan. On Extraction and Fractal of Urban and Rural Residential Spatial Pattern in Developed Area [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(6): 671—678. [杨山. 发达地区城乡聚落形态的信息提取与分形研究——以无锡市为例[J]. 地理学报, 2000, 55(6): 671—678.]

## On Extraction and Fractal of Urban and Rural Residential Spatial Patten from Yanggong River Drainage Area in Yunnan Province

JIANG Xue-zhong<sup>1</sup>, YANG Shan<sup>2</sup>, SHEN Jie<sup>2</sup>, ZHAO Rui<sup>1</sup>

(1. Department of Urban and Resources Sciences, Nanjing University, Nanjing, 210093, China; 2. Geography Science College, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

**Abstract:** Yanggong River is a tiny anabranch of upper reaches of the Changjiang River. Its drainage area consists of Lijiang basin and Heqing basin, and is a representative area in northwest Yungui Plateau. Furthermore, there are different nationality and culture background between the upper basin and the lower. Before late 1990s, urbanization process in Yanggong River drainage area is spontaneous, after then, it has been quickened, especially the county seat of Lijiang and Heqing. Spatial pattern of urban and rural residential area has changed greatly, which was reflected mainly in spatial diffusion. With the changes, the problem of how can we realize sustainable development of urban and rural residential area in scale, form, pattern and function in a certain spatial and temporal range should be paid attention to. The paper explores the method to extract urban and rural residential information of research area by remote sensing technology, using imitated ratio of vegetation index (RVI) to extract the spatial information from the Landsat TM images of 1996's and 1999's, measuring fractal dimensions to explain urban and rural residential area complexity and stability with time out, and comparing the pattern characteristics of the two county seat cities. According to the bigger residential fractal dimension value of total residential area in 1999 than 1996's and the contrary result while excluding the county seat of Lijiang and Heqing, we find that the Lijiang city and Heqing city become more complex and unstable from year 1996 to 1999, but the pattern changes of rural residential area is different. Although the changes of residential area pattern are caused by many factors that interact with each other, the function of various factors is different. We study the dynamic mechanism for facilitating the pattern of the residential area on the bases of research pattern, and find that the earthquake happened in February, 1996 and opening of the highway from Dali to Lijiang passing through Songgui basin in 1998 are primary factors influencing the Lijiang and Heqing city and rural residential area along the road. And the flourishing tourism is also important, which leads to the different change rate between Lijiang and Heqing in past three years.

**Key words:** urban and rural residential area; spatial information; remote sensing; fractal geometry; Yanggong river drainage area

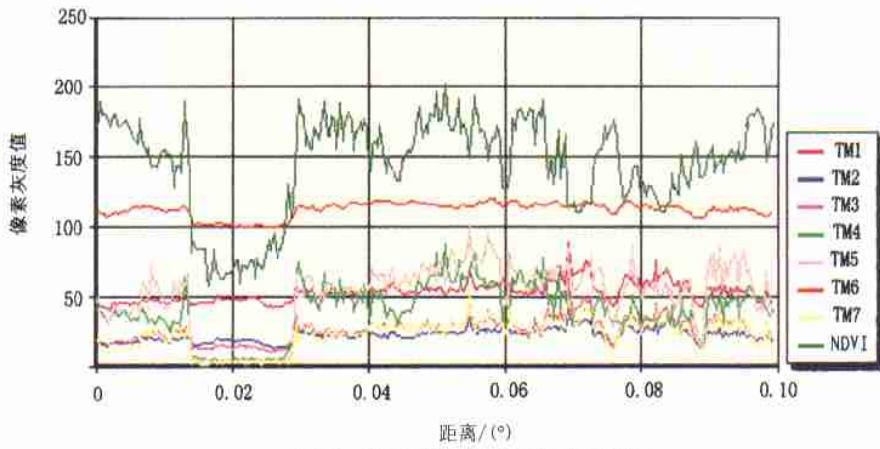


图2 丽江盆地的光谱剖面曲线特征

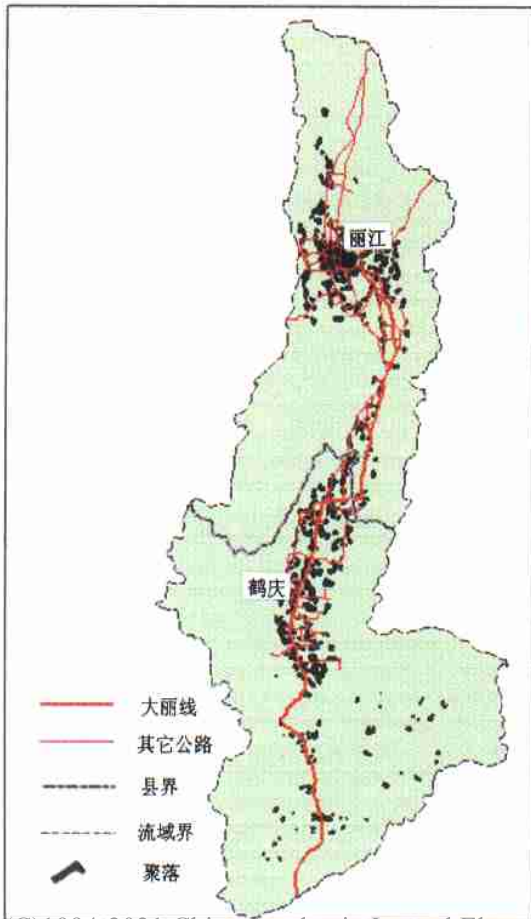


图3 漾弓江流域城乡聚落空间信息矢量图

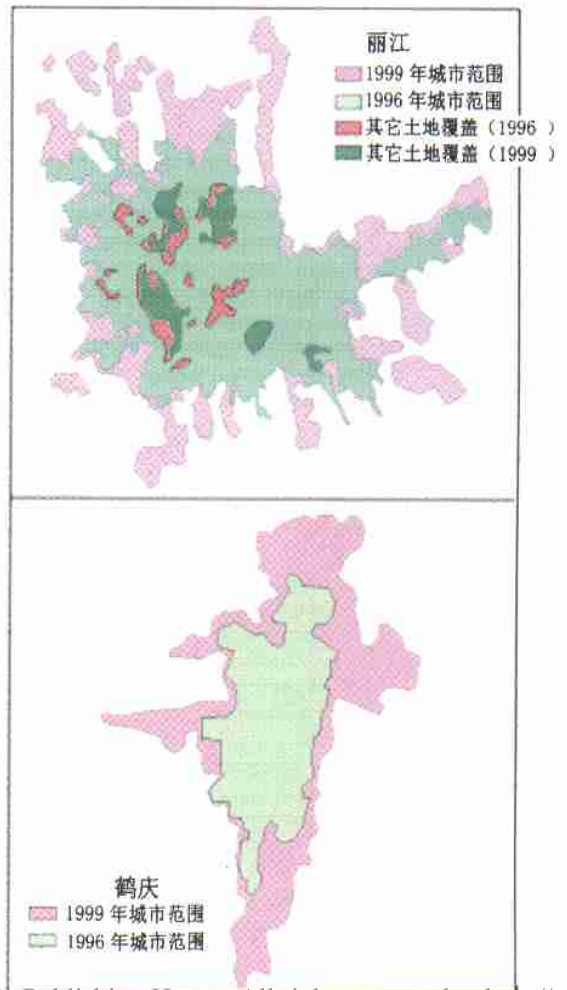


图4 丽江市和鹤庆县城空间扩展