

# 柴达木盆地察汗乌苏绿洲土地覆盖分形研究

刘小丹,张克斌,曹永翔,王海星

(北京林业大学 水土保持学院,水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室,北京 100083)

**摘 要:**以 RS 和 GIS 为技术手段,利用国土资源卫星遥感数据,采用分形几何方法研究了柴达木盆地都兰县察汗乌苏绿洲土地覆盖类型分形情况,并对覆盖类型的分形特征差异等进行了分析。结果表明:研究区景观分离度最大的是林地,最小的是耕地,表明耕地分散程度最小,林地分散程度最大。区域景观破碎度最大的是林地,最小的是荒草地和河床与水利设施用地,说明林地被分割程度最大,荒草地和河床与水利设施用地最小。察汗乌苏绿洲分维数最大的是河床与水利设施用地,最小的是耕地,即河床与水利设施用地形状最不规则,受人为干扰最小,相对耕地形状最为规则,受人为干扰最大。

**关键词:**柴达木盆地;察汗乌苏;绿洲;土地覆盖;分形理论

**中图分类号:**X171.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2009)02-0216-05

## Research on Fractal of Land Cover in Tsagan Us Oasis in Caidam Basin

LIU Xiao-dan, ZHANG Ke-bin, CAO Yong-xiang, WANG Hai-xing

(College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Key Laboratory of Ministry of Education on Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Beijing 100083, China)

**Abstract:** With the application of RS and GIS techniques, as well as the CBERS data, fractal theory was employed to study circumstances of the fractal of oasis land cover in Tsagan Us Oasis in Dulan county in Caidam Basin, and the prominence of the difference of fragmentation distribution was analyzed. The results show that the biggest landscape separation index in the research area is the forest land and the smallest is farmland, which shows that the scattered degree of farmland is the least and the land use of farmland is the biggest. The biggest regional landscape fragmentation is the forest land, the smallest are waste - grassland and riverbed and water conservancy facilities land, which shows that the dividing degree of forest land is the biggest and the land use of waste - grassland and riverbed and water conservancy facilities land are the least. The biggest index of fractal dimensions is riverbed and water conservancy facilities land, the least is farmland. It means that the shape of riverbed and water conservancy facilities land is irregular, the human disturbance is the least, otherwise the shape of farm land is regular and human disturbance is the biggest.

**Key words:** Caidam Basin; Tsagan Us; oasis; land cover; fractal theory

绿洲是指荒漠中稳定水源可供植物良好生长或人类聚集繁衍的生态地理区域。因此可认为绿洲是一种干旱区独有的地理景观(可以是自然景观或人文景观)<sup>[1]</sup>。土地覆盖是指被自然营造物和人工建造物所覆盖的地表诸要素的综合体<sup>[2]</sup>,是有关土地表面状况的概括表达。土地覆盖类型的分布及其变化,是自然与人为因素相互作用所产生的一定区域

生态环境的综合反映,其斑块的类型、形状、大小、数量、复杂性、破碎性和空间组合既是各种干扰因素相互作用的结果,又影响该区域的生态过程<sup>[3]</sup>。因而,土地覆盖变化不仅带来了地表结构的巨大变化,而且影响景观中的物质循环和能量流动,对区域生物多样性和重要的生态过程影响深刻<sup>[4+6]</sup>。绿洲是干旱区集自然与人文为一体的特殊景观综合体,日益

\* 收稿日期:2008-09-12

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD26B1001)

作者简介:刘小丹(1983-),男,山西吕梁人,硕士在读,主要从事荒漠化防治、监测,干旱区生态建设等方面的研究。E-mail: liuxiaodan831121@163.com

通信作者:张克斌(1957-),男,陕西咸阳人,副教授,研究方向为荒漠化防治及干旱区环境管理。E-mail: ctccd@126.com

频繁的人类干扰对土地覆盖变化已具有控制作用。绿洲开发进程导致绿洲土地覆盖的破碎和抗干扰和恢复力的下降。通过研究绿洲不同土地覆盖类型和分布,以及景观斑块覆盖的边界结构特征,可以深入了解绿洲景观镶嵌结构的整体与局部格局。

分形是指局部与总体具有某种相似性,或者说在不同尺度上看起来基本相似的形状,即具有自相似性<sup>[7-8]</sup>。分形研究的关键点是对研究区域的分维数值进行估算与分析。本研究在 RS 和 GIS 技术基础上,研究分析高寒干旱区绿洲景观斑块的空间配置情况,利用分形几何方法建立柴达木盆地都兰察汗乌苏绿洲土地覆盖类型特性分析模型,从土地覆盖类型的分形特征及差异显著性等方面进行了分析,旨在探讨绿洲土地覆盖的分布规律与景观格局特征。

## 1 研究区概况

柴达木盆地都兰县察汗乌苏绿洲位于青海省中部,柴达木盆地东南部,109 国道贯穿其间,距西宁 450 km。位于东经 97°52′ 98°10′,北纬 36°13′ 36°26′ 之间,全区东西长约 27 km,南北宽约 23 km,土地总面积 223.1 km<sup>2</sup>,总人口 1.79 万。海拔 3 075 ~ 3 090 m,光照充足,年日照时数 2 954 ~ 3 109 h,太阳辐射强,年太阳总辐射量 677.88 ~ 706.94 kJ/cm<sup>2</sup>,年光合有效辐射量 280 ~ 318 kJ/cm<sup>2</sup>,热量足,时空变化较大;年平均温度 2.1 ~ 3.7℃,0℃ 积温 1 724 ~ 1 919℃,年较差 25.3 ~ 26.5℃,降水较少,降水量 163.9 ~ 240.8 mm,降水均集中 5 ~ 9 月,表现出雨热同季,有利于农作物和牧草生长,区内农作物生长季 176 ~ 198 d。该区属干旱地区,湿润系数 0.21 ~ 0.35 之间,蒸发量 583 ~ 698 mm,大风日数 21 ~ 32 d,加剧了气候的干燥程度。区内年平均风沙日数 7.9 ~ 12 d,大风日数 21 ~ 32 d,风速最大时可达 25.9 m/s,风沙危害频率 38.4%。根据都兰县农村牧区经济区划土壤资源普查材料,该区土质呈碱性,主要以棕钙土、风沙土为主,土层浅,土质粗,黏粒含量低,土壤有效成分含量不高,土壤有机质在 0.948% ~ 1.143%,缺氮少磷钾富足。其为柴达木盆地平原地貌类型,区内有察汗乌苏河流过绿洲。因此该区属高原干旱大陆性气候,具有典型高寒大陆性荒漠气候特征。

## 2 研究方法

### 2.1 材料及处理方法

运用最新国土资源卫星的遥感数据(2007 年),在遥感数据处理软件 ERDAS IMAGINE 8.7 支持

下,进行波段合成、滤波、图像增强等预处理,以 1:5 万的察汗乌苏绿洲现状图作为参照进行几何精校正;在 ArcGIS 等地理信息系统软件支持下,结合实际调查数据及察汗乌苏绿洲现状图进行人机交互目视解译及矢量化工作,建立研究区域的数字影像地图。然后对不同景观类型进行遥感解译,并建立景观数据库,通过景观统计软件 Fragstats 3.3、SPSS 及 Excel 2003 进行景观空间分析和统计各景观类型的斑块数、周长、面积等基本信息以及制作察汗乌苏绿洲斑块分布图(图 1)。



图1 都兰察汗乌苏绿洲土地利用斑块分布图

### 2.2 景观类型的划分与选取

景观是土地覆盖的特征表现。景观的分类标准根据中国《土地利用现状调查技术规程》中的土地用途、利用方式、覆盖特征等因素作为土地利用的分类依据<sup>[9]</sup>。由绿洲土地覆盖遥感图像与数据并结合察汗乌苏绿洲的特点,同时考虑到该区域景观类型相对较为简单,故景观斑块类型划分为耕地、林地、居民及工矿用地、荒草地、河床及水利设施用地 5 个大类。

### 2.3 分形模型的建立及数据分析

根据察汗乌苏绿洲景观数据得到每个景观斑块的属性数据,运用分形模型和 SPSS 软件对土地覆盖类型的分形特征差异显著性进行分析。

计算多边形分形维数的方法有很多,本文采用景观生态学中应用最广的周长-面积关系方法,其中复杂多边形的周长和面积满足以下关系<sup>[10-11]</sup>。

$$P \propto A^{D/2} \quad (1)$$

即得出

$$P = C_0 A^{D/2} \quad (2)$$

式中:  $P$ ——多边形周长;  $A$ ——多边形面积;  $D$ ——多边形的分维数,  $C_0$ ——常数。该方法通常被用来估算多个多边形组成的整体分维数。一般的做法是将式(2)两边取对数,得到

$$\ln P = \ln C_0 + (D/2) \ln A \tag{3}$$

令  $c = \ln C_0$ ,  $b = D/2$ , 则式 (3) 可以写成

$$\ln P = c + b \ln A \tag{4}$$

即  $\ln P$  为  $\ln A$  的线性函数。取  $M$  个多边形, 得到其周长  $P_i$  和面积  $A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, M$ ), 这样就得到  $M$  个点  $[\ln A_i, \ln P_i]$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, M$ ), 然后在  $\ln P - \ln A$  坐标上进行线性拟合,  $c$  为该直线在  $\ln P$  轴上的截距,  $b$  为该直线的斜率, 分维数  $D = 2b$ , 即分维数就是该直线斜率的 2 倍。

破碎度 (Fragmentation): 表示景观的破碎化程度, 反映景观空间结构的复杂性。这里采用单位面积上各种斑块数目来表示, 其计算公式为

$$C = n_i / A_i$$

分离度 (Separation): 某景观类型中不同斑块个体类型的分离程度。分离度指数  $S_k$  的计算公式为

$$S_k = P_k / B_k, \text{ 其中: } P_k = 1/2 \cdot n_k / A, B_k = A_k / A$$

式中:  $P_k$  —— $k$  类景观地物所占的面积比;  $n$  ——景观地物类型数目;  $n_k$  —— $k$  类景观斑块数目;  $A_k$ ,  $A$  —— $k$  类景观面积和研究区域总面积。

### 3 结果与分析

#### 3.1 察汗乌苏绿洲土地覆盖的空间格局分析

运用 SPSS 软件, 对察汗乌苏绿洲国土资源卫星图像处理和信息提取结果进行分析, 5 大类景观类型分析结果见表 1。通过统计, 察汗乌苏绿洲各景观类型中耕地所占面积最大为 37.67%, 斑块最多, 为 296 个; 从覆盖提取图上可以看到一种被耕地镶嵌包围居民及工矿用地空间格局形态, 建筑用地向周围延伸。其次是河床与水利设施用地, 其景观比例为 35.43%, 斑块为 2 个; 荒草地其景观比例

是 21.59%, 斑块 12 个。耕地、河床与水利设施用地荒草地 3 种景观类型占研究区的 94.69%。林地和居民及工矿用地景观类型占 5.31%。

景观破碎度: 景观破碎度的大小反映景观类型斑块被分割程度, 其域值为  $[0, 1]$ , 0 表示景观要素完全没被破坏, 1 表示完全被破坏。察汗乌苏绿洲破碎度最大的是林地, 其值为 0.1184, 其次是居民及工矿用地为 0.0585。破碎度最小的是河床和水利设施用地, 其破碎度值为 0.0003。

景观分离度: 景观分离度按照耕地、林地、荒草地、河床与水利设施用地、居民及工矿用地的顺序分别是: 1.152, 140.909, 9.986, 14.905, 23.263, 从景观分离度的定义知, 察汗乌苏绿洲各景观要素在区域分布最为分散的是林地, 其景观分离度为 140.909, 其次是居民及工矿用地, 分离度为 23.263, 分离度最小的是耕地为 1.152, 表明耕地斑块之间分布较为密集, 分散程度较低。

#### 3.2 土地覆盖斑块分维分析

景观分维数 ( $D$ ) 描述景观中斑块形态的复杂性与稳定性, 一般而言,  $D$  的理论值域为  $1.0 \sim 2.0$ ,  $D$  越大, 表示该景观斑块形态越复杂; 分维数越接近 1.0, 表明景观要素斑块的自我相似性越强, 斑块形状越有规律, 斑块的集合形状趋向简单, 表明受干扰程度越大, 其中  $D = 1.0$ , 表示景观斑块的形状为正方形; 相反, 分维数越接近 2.0, 表明景观要素斑块的形状越无规律, 形状越复杂, 受干扰程度越小, 其中  $D = 2.0$ , 表示景观斑块的形状最复杂;  $D = 1.5$ , 则表示该景观斑块形态的镶嵌结构处于运动变化的随机状态, 即最不稳定状态;  $D$  越接近 1.5, 表示其越不稳定。

表 1 青海察汗乌苏绿洲土地覆盖状况

特征值	耕地	林地	荒草地	河床与水利设施用地	居民及工矿用地
斑块数	296	27	12	2	56
总面积/ km <sup>2</sup>	84.038	2.280	48.172	79.040	9.580
平均斑块面积/ km <sup>2</sup>	0.284	0.084	4.014	39.52	0.171
斑块总周长/ km	710.36	34.24	152.35	112.52	109.48
平均斑块周长/ km	2.399	1.268	12.696	56.26	1.955
景观比例/ %	37.67	1.02	21.59	35.43	4.29
分离度	1.152	140.909	9.986	14.905	23.263
破碎度	0.0352	0.1184	0.0025	0.0003	0.0585
分维数	1.098	1.099	1.298	1.567	1.207

根据周长 - 面积关系法, 利用 SPSS 软件进行统计分析, 得到都兰察汗乌苏绿洲各类土地覆盖所有斑块的 分维数, 发现斑块面积和分形特征有一定关系。图 2 为察汗乌苏绿洲耕地、林地、居民及工矿

用地、荒草地、河床及水利设施用地各类型斑块土地覆盖面积与斑块周长在对数坐标上的关系, 即  $\ln P - \ln A$  的关系。

从表 1 可知, 耕地、林地、荒草地、河床及水利

设施用地、居民及工矿用地的分维数分别为 1.098, 1.099, 1.298, 1.567 和 1.207。按分维数从大到小依次为河床及水利设施用地、荒草地、居民及工矿用地、林地、耕地。这就说明河床与水利设施用地形状

最不规则,受人为干扰最小,相对耕地形状最为规则,受人为干扰最大。同时,线性回归方程的检验结果表明(表 2),ln A 与 ln P 呈现显著的相关关系,应用分形方法分析是合理的。

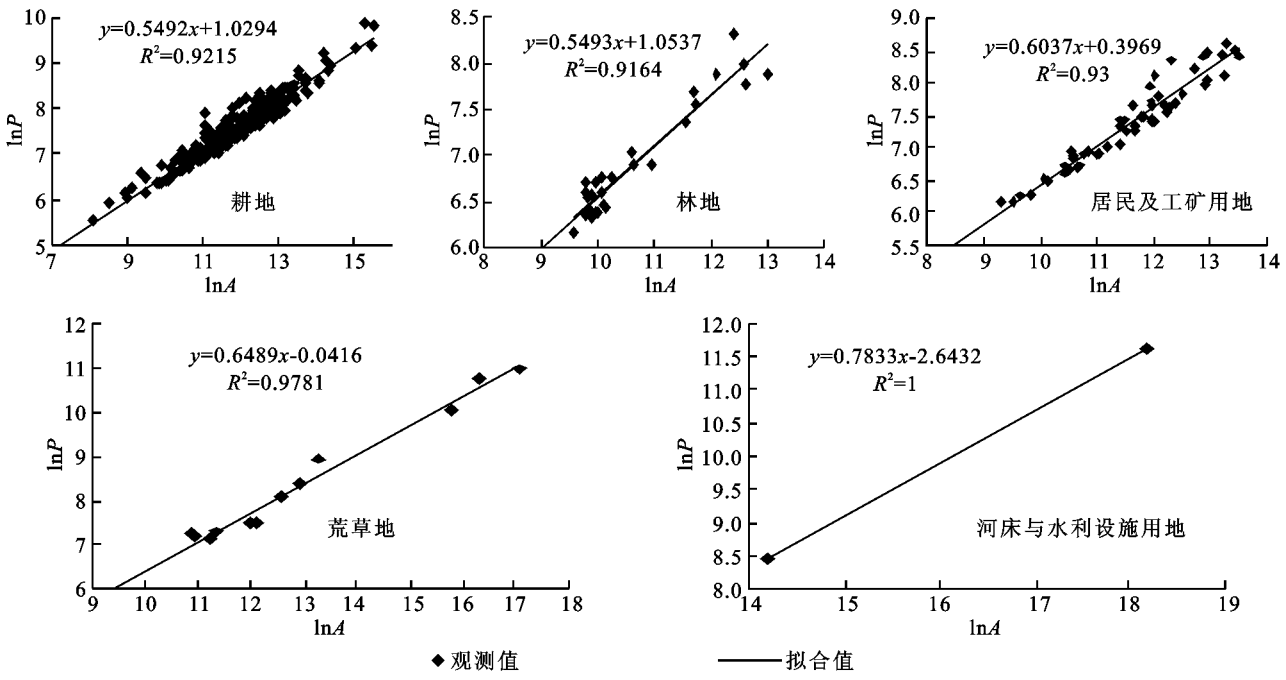


图 2 周长 - 面积关系法的分形拟合图

表 2 斑块回归模型统计及回归方程的显著性 F 检验

类型	$R^2$	修正 $R^2$	标准误差	F 值	F 值的显著水平
耕地	0.922	0.921	0.173	3453.413	0.000
林地	0.916	0.913	0.181	273.979	0.000
荒草地	0.978	0.976	0.222	447.597	0.000
居民及工矿用地	0.930	0.929	0.179	717.819	0.000
河床和水利设施用地	1	-	0	-	-

从图 2 可知,察汗乌苏绿洲不同景观斑块的分维数从大到小依次为河床及水利设施用地、荒草地、居民及工矿用地、林地、耕地。河床及水利设施用地分维值最大,其值最接近 1.5,表明在受人类干扰的情况下处于最不稳定状态。荒草地、居民及工矿用地分维值也很大,说明绿洲的发展建设对土地分割较为严重。林地和耕地分维值较小并接近 1.0,自我相似性强,易受人类活动的干扰;耕地和居民点及工矿用地同是人工景观,分维数相差很大,导致这个结果的主要原因是察汗乌苏绿洲在建设初期没有进行比较合理而有效的规划,使居民点与工矿用地和自然景观之间整体上杂乱而无规律;相对来说,耕地是农业绿洲的主体,在绿洲建设初期就受到高度重视,得到合理而有效的规划,使其多呈规则的几何状分布。从中可以看出,自然景观的斑块形状是比较复杂的,而人工景观的斑块形状是比较有个规律的、相对简单的。

4 结语

察汗乌苏绿洲土地覆盖类型相对较为简单,分别是林地、耕地、河床及水利设施用地、荒草地、居民及工矿用地,其中耕地、河床与水利设施用地、荒草地 3 种景观类型占研究区的 94.69%,是主要的覆盖类型。土地覆盖斑块在相对尺度下,ln P - ln A 具有显著的正线性相关性和景观的自相似性,基于周长 - 面积关系法得到青海都兰察汗乌苏绿洲土地覆盖分维数从大到小依次为河床及水利设施用地、荒草地、居民及工矿用地、林地、耕地。这就表明河床及水利设施用地的边界最不规则,耕地的边界最规则、简单。

察汗乌苏绿洲特有的水土条件决定了其较适宜于农牧业生产和人类居住,经过 50 多年的发展过

(下转第 226 页)

达到了 289.86%。利用流域出口水文站点的 37 a 水文与降水数据,通过建立基于统计回归分析方法的降雨-梯田-产流模型,获得如下结论。

(1) 流域年降水量保持稳定、最丰 3 个月降雨量略有递减、最枯 3 个月降雨量呈现上升的情况下,3 个研究时段的产流系数趋于减小,其中年径流系数从 0.502 下降至 2006 年的 0.221、最丰 3 个月的径流系数从初始的 0.645 下降至 2006 年的 0.156、最枯 3 个月的径流系数从初始的 0.396 下降至 2006 年的 0.214。在 20 世纪 70 年代研究区降雨-产流相关程度较高,随着研究时段的前进相关程度逐渐降低,到 90 以后关系已经及其微弱,而随着时间的推进梯田面积与产流系数之间相关程度逐渐提高,2000 年以后已达到了较高的精度。这表明研究区产流系数的持续降低是梯田开发利用变化的结果,表明渭河源区“坡改梯”工程将导致流域产流量的减小。梯田开发,加大了雨水截留下渗和蒸发<sup>[4]</sup>,这是造成研究区产流效率降低的主要原因。

(2) 20 世纪 80 年代以来,梯田开发引起的产流系数减小对不同的研究时段的贡献不一,根据梯田面积、降雨因素回归统计(表 6),梯田对年产流系数的影响影响系数由初始的 0.245 7 上升至 2006 年的 0.449 5、对最丰 3 个月产流的影响回归系数则由初始的 0.233 5

上升至 2006 年的 0.392 4、对最枯 3 个月的影响由 0.210 2 上升至 2006 年的 0.830 4,从回归公式上梯田的影响系数可以得出梯田开发对产流的影响枯水期 > 年产流 > 丰水期,这也符合枯水期产降雨小产流少产流过程脆弱易受影响,而丰水期降水较多,梯田截留比例较小,对产流影响较弱的感性认识。

(3) 研究表明流域大规模进行梯田开发,极易造成流域产流量的锐减,这必然会影响到整个流域的生态环境平衡,合理规划利用土地对于流域水资源可持续利用、整个流域的生态经济平衡至关重要。

#### 参考文献:

- [1] WANG Gen xu, ZHANG Yu, LIU Gui min, et al. Impact of land-use change on hydrological processes in the Maying River basin[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2006, 49(10): 1098-1110.
- [2] 李元寿, 王根绪, 沈永平, 等. 长江源区不同植被覆盖下产流产沙效应初步研究[J]. 冰川冻土, 2005, 27(6): 869-876.
- [3] 冉大川, 赵力仪, 王宏, 等. 黄河中游地区梯田减洪减沙作用分析[J]. 人民黄河, 2005, 27(1): 51-53.
- [4] 马博虎, 薛学选, 刘毅, 等. 梯田、坝地在黄土高原生态恢复中的地位与作用[J]. 水土保持研究, 2007, 14(4): 27-33.

(上接第 219 页)

程,察汗乌苏绿洲逐渐形成人工绿洲的同时,人类对该区域水土资源的开发利用不断向外扩展。察汗乌苏绿洲土地覆盖分形的研究表明:虽然研究区域的土地利用趋于均匀化,但在开发利用程度较高的绿洲区内部,耕地和荒草地仍占了较大的比例。此外随着西部大开发的深入,城镇化速度加快,外来人口正不断涌入察汗乌苏绿洲,耕地的面积还有不断扩大的趋势。如何协调人地关系以及如何合理规划绿洲景观要素的比例问题正是目前察汗乌苏绿洲急需解决和攻关的难题;在荒草地景观中因自然因素和人为活动造成的退化景观类型如沙化土地、退化草场等退化类型土地占据相当比重。因此土地覆盖反映了高度发展的人工景观成为主要景观类型,但与耕地镶嵌分布的荒草地景观也反映了该区域生态退化趋势较为严重。各类斑块几何形状规则(尤其林地、耕地),随着人类活动的干扰,绿洲景观的多样性会逐步增强,景观更趋破碎,这也是人类改造与利用自然景观的趋势所在。

#### 参考文献:

- [1] 韩德麟. 关于绿洲若干问题的认识[J]. 干旱区资源与

境, 1995, 9(3): 13-31.

- [2] 左大康. 现代地理学辞典[M]. 北京: 商务印书馆, 1990: 585-585.
- [3] 刘灿然, 陈灵芝. 北京地区植被景观斑块形状的分形分析[J]. 植物生态学报, 2000, 24(2): 129-134.
- [4] 肖笃宁. 土地变化研究中的景观生态学方法[C]//中国地理学会自然地理专业委员会. 土地变化科学与生态环境建设, 北京: 商务印书馆, 2004: 6-13.
- [5] 赵亚敏, 田国行, 何瑞珍, 等. 基于 RS 和 GIS 的开封市土地覆盖分形[J]. 生态学杂志, 2006, 25(10): 1218-1222.
- [6] 傅伯杰, 陈利顶, 邱扬, 等. 黄土丘陵沟壑区土地利用结构与生态过程[M]. 北京: 商务印书馆, 2002.
- [7] 王桥, 毋河海. 地图信息的分形描述与自动综合研究[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1998: 24-30.
- [8] 陈禹贡, 陈凌. 分形几何学[M]. 北京: 地震出版社, 1998: 5-7.
- [9] 李瑞, 张克斌, 杨晓晖, 等. 基于 RS 和 GIS 的青海香日德绿洲景观格局特征分析[J]. 水土保持研究, 2006, 13(3): 129-131.
- [10] Mandelbrot B B. The Fractal Geometry of Nature [M]. San Francisco: Freeman, 1983: 468.
- [11] Mandelbrot B B. Fractal: Form, Chance and Dimension [M]. San Francisco: Freeman, 1977: 365.