

# 基于分形理论的黄土丘陵区土地利用研究 ——以延安市宝塔区为例

田义超, 任志远

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 西安 710062)

**摘要:** 在 GIS 和分形理论的指导下, 将延安市宝塔区的土地利用类型进行了分类, 得到研究区的土地利用分类图, 并在分类的基础上, 对宝塔区的各种土地利用类型进行分形维数的分析。计算结果表明: (1) 宝塔区的土地利用类型的景观风貌是以林地为基础, 以草地、园地、居工、未利用地为斑块镶嵌结构, 并且以水体和道路为线状廊道的景观结构模式。 (2) 宝塔区各种土地利用类型的分维数从大到小的顺序依次为: 水体、道路、草地、林地、耕地、园地、未利用地、居工; 而稳定性指数从大到小排列顺序为: 水体、道路、居工、未利用地、园地、耕地、林地、草地。 (3) 宝塔区土地利用的各种景观指数在空间上的分布规律很大程度上受到人为活动的影响与干扰, 如植树造林、退耕还林、封山育林等因素。

**关键词:** 分形理论; 分维数; 稳定性; 景观指数; 延安市; 宝塔区

**中图分类号:** F127.41

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1003-2363(2011)06-0121-05

## 0 引言

土地利用与土地覆盖变化(LUCC)是全球变化研究中最显著的方面, 它既受自然因素的制约, 又受社会、经济、技术、政治等人文因素的影响, 同时, LUCC 的集成作用又反过来影响着全球环境及人类社会的发展, 因而成为全球变化研究中的热点之一<sup>[1]</sup>, 它主要研究不同植被覆盖与利用方式下土地资源的数量与质量随时间的演变, 以及这种变化对生态环境的影响与反馈。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>[2-3]</sup>。目前, 国内对于土地利用与土地覆盖变化(LUCC)的研究和报告已经相当多, 主要涉及的领域包括: 利用遥感影像对土地利用/土地覆盖变化的监测分析、土地利用/土地覆盖研究的数据库构建、土地利用/土地覆盖对农业生态系统及全球变化的影响、土地利用/土地覆盖驱动力研究以及土地利用/土地覆盖建模等方面<sup>[4]</sup>, 其中, 大部分研究土地利用/土地覆盖的方法主要集中在土地覆盖转换, 而忽略了由土地利用强度以及土地利用稳定性所引起的土地覆盖变化。近十几年来, 我国有部分学者针对各自的问题量化地表示了土地利用强度, 他们通常采用不同的层次系统和

不同量纲的数据来刻画土地利用强度。周青、黄贤金、濮励杰等<sup>[5]</sup>在运用主成分分析法选择农地利用变化影响因素的基础上, 构建了区域农业土地利用变化强度的驱动模型, 但是此驱动模型对于各方面的数据指标量需求很大, 并且对于计算的方法的选择要求也很高; 闫永涛、冯长春<sup>[6]</sup>借助 GIS 分析工具, 运用定性分析与定量分析相结合的方法, 剖析北京市城市土地利用强度的空间结构形态, 此方法所做出来的土地利用强度空间结构, 远远比理论模型所预测的结果复杂, 而且表现出鲜明的个性特征; 丁忠义、郝晋珉、李涛等<sup>[7]</sup>为了衡量土地利用强度将土地利用强度的概念模型和数学模型从二维拓展到了多维, 然而此方法实现起来比较复杂。这些学者的研究方法大部分集中在遥感方法、GIS 方法、模型方法以及数理统计方法等方面, 但是应用分形理论研究土地利用/土地覆盖变化强度的成果不太多, 谢花林、李秀彬<sup>[8]</sup>运用分形理论对江西东江源流域的土地利用变化强度进行了分析, 然而此研究区域主要集中在亚热带丘陵山区湿润季风气候, 而对于干旱半干旱地区, 尤其是对黄土高原地区的研究几乎没有, 黄土高原是我国乃至全球水土流失最严重的地区<sup>[9-10]</sup>, 由于较强的人类活动, 该区自然植被早已为人工植被所代替, 人类驱动下的土地利用/土地覆盖变化直接影响着该区水土流失的形成和演变, 同时对区域生态环境和全球变化产生深远影响<sup>[11]</sup>, 所以应用分形理论对黄土高原的丘陵沟壑区的土地利用变化强度进行研究就显得尤为重要。

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>[12]</sup>。它是由美国学者曼德尔布罗特(B. B. Mandelbrot)在 20 世纪 70 年代创立的。该理论的基本思想是: 分形研究

**收稿日期:** 2011-07-10; **修回日期:** 2011-10-15

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(41071057、41001388); 教育部人文社会科学重点研究基地 2009 年度重大项目(2009JJJD770025)

**作者简介:** 田义超(1986—), 男, 陕西西安市人, 工程师, 在读硕士, 主要从事资源环境遥感与 GIS 的相关研究, (E-mail) iany-ichao1314@yeah.net。

的对象是具有自相似的无序系统,其维数的变化是连续的。地理若干现象具有分形特征,即具有自相似性或自映射的性质<sup>[13]</sup>。分形理论已经在地理学领域得到了广泛的应用,并且为土地利用研究的创新提供了新的理论支撑。土地利用斑块的形状特征是在特定的人地相互作用下形成的,是土地利用功能和动态变化的基础。不同土地利用类型斑块有不同的空间图形特征,同一土地利用类型斑块在不同演化阶段或处于不同环境中,其空间形状也有差异。而由土地利用图斑的类型、数量、大小、形状、边缘特征、位置空间关系等决定的土地利用空间格局,更蕴含着土地利用丰富的时空演变信息<sup>[14]</sup>。在广大的干旱半干旱地区,耕地、园地、林地、建设用地、水域以及未利用地等斑块形状景观要素交错分布,这些局部的景观斑块要素有机地结合形成一种独特的、总体的生态景观,即一个综合的景观镶嵌体。基于此,可以利用分形方法对土地利用的强度和稳定性进行探讨。本文以 GIS 和分形理论为指导,运用模型和数量分析相结合的方法研究延安市宝塔区土地利用斑块的镶嵌和组织关系,从分维值与稳定性指数之间的关系,以及从斑块的面积效应、覆盖类型的分形特征及差异显著性等景观要素方面进行了分析,目的是为宝塔区土地利用方向以及土地资源合理的配置提供理论上的指导,并且为延安市宝塔区的 2006—2020 年的土地利用总体规划提供理论上的指导和现实上的依据。

## 1 研究区概况

延安市位于陕西北部,陕北黄土高原中部丘陵沟壑区。全市总面积 37 037 km<sup>2</sup>,总人口 215.08 万人,共辖 1 区 12 县。宝塔区则是延安市委、市政府所在地,地处北纬 36°11′~37°09′,东经 109°21′~110°03′之间。东临延长县,西靠安塞县,南与甘泉、宜川、富县毗邻,北与子长、延川县接壤,是延安政治、经济、文化的中心。全区辖 11 镇 9 乡,3 个城市街道办事处,20 个社区和 17 个居委会,611 个行政村。总人口 36.08 万人,其中农业人口 20.09 万人,总土地面积 3 556 km<sup>2</sup>。辖区交通便利,基础设施完善。境内历史古迹、革命旧址和自然景观众多,石油、天然气、煤炭等矿产资源丰富。宝塔区属高原大陆性气候。北部属半干旱地区,南部属半湿润地区。年平均气温 7.7℃~10.6℃。年平均降水量在 490.5~663.3 mm 之间。无霜期为 142~175 d。延安是革命圣地,市区内有国家一级保护革命旧址 6 处、有革命纪念地 119 处。

## 2 研究方法 with 数据来源

### 2.1 研究方法

**2.1.1 分形维数 D。**分形由分维 D(fractal dimension)来定量描述,根据 Mandelbrot 研究动物脑褶皱分形结构

提出的表面积 S(r)与体积 V(r)的关系式<sup>[15]</sup>

$$S(r)^{\frac{1}{D}} \sim V(r)^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

用物理量纲分析方法进行推导,得出适用于 n 维欧氏空间关系的分形公式

$$S(r)^{\frac{1}{D_{n-1}}} = K \times r^{\frac{n-1-D_{n-1}}{D_{n-1}}} \times V(r)^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

若  $n = 2$  则可得到二维欧氏空间面积与周长的分维公式。在土地利用变化应用中,若令  $A(r)$  代表以  $r$  为量度的面积, $P(r)$  为同一图斑周长,对应的分维公式定义为

$$P(r)^{\frac{1}{D}} = K \times r^{\frac{1-D}{D}} \times A(r)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

通过取自然对数公式(3)可变换为

$$\ln A(r) = \frac{2}{D} \ln P(r) + C \quad (4)$$

公式(4)为土地利用类型“周长—面积”分维公式,分维值  $D$  为斜率的倒数乘以 2。 $D$  值的大小反映了地类斑块的复杂性和稳定性, $D$  值越大表明空间上的镶嵌结构越复杂,当  $D = 1.50$  时,表示处于一种类似与布朗运动的随机运动状态,及空间结构最不稳定,换言之,就是  $D$  值越接近 1.5 就表示空间结构越不稳定,并且据此定义一个稳定性指数

$$S = |1.5 - D| \quad (5)$$

$S$  越大表示空间结构越稳定<sup>[16-17]</sup>。

**2.1.2 景观形状指数。**景观形状指数是通过计算某一斑块形状与相同面积的圆或正方形之间的偏离程度来测量其形状复杂程度的<sup>[18]</sup>。计算公式<sup>[18]</sup>

$$S = \frac{0.25P}{\sqrt{A}} \quad (6)$$

式中: $P$  为斑块周长; $A$  为斑块面积。 $S$  越大,表明斑块形状越复杂。

**2.1.3 景观形状破碎度<sup>[8]</sup>。**其公式

$$FS = 1 - 1/ASI \quad (7)$$

其中,  $ASI = \sum_{i=1}^N A(i)/A$ ;  $SI(i) = P(i)/[4\sqrt{A(i)}]$ ;

$$A = \sum_{i=1}^N A(i)。$$

式中: $FS$  为某一景观类型斑块形状破碎化指数; $ASI$  为用面积加权的景观斑块平均形状指数; $SI(i)$  为景观斑块  $i$  的形状指数; $P(i)$  为景观斑块  $i$  的周长; $A(i)$  为景观斑块  $i$  的面积; $A$  为该景观类型的总面积; $N$  为该景观类型的斑块数。

**2.1.4 景观类型分离度<sup>[8]</sup>。**指某一景观类型中不同斑块分布的分离程度。分离度在一定程度上反映了人类活动强度对景观结构的影响,其计算公式

$$F = D_i/S_i \quad (8)$$

其中,  $D_i = \sqrt{N_i/A/2}$ ;  $S_i = A_i/A$ 。

式中: $F$  为某一景观类型分离度; $D_i$  为景观类型  $i$  的距离指数; $S_i$  为景观类型  $i$  的面积指数; $A_i$  为景观类型  $i$  的面积; $A$  为景观的总面积。

2.2 数据来源

研究数据来源于可靠性和现势性较强的全国第二次农村土地调查成果,并且以正射纠正后的 0.61m 分辨率 QuickBird 影像图为辅助信息,其中比例尺为 1:10 000 和 1:50 000。根据《全国土地利用现状分类》,并结合我国土地利用现状分类系统,将延安市宝塔区的土地利用类型中的二级类进行合并,并将相同的地类进行融合,最后将延安市宝塔区的土地利用类型分为 8 类,依次为耕地、园地、林地、草地、居工、道路、水体以及未利用地。图 1 为宝塔区的土地利用类型图。

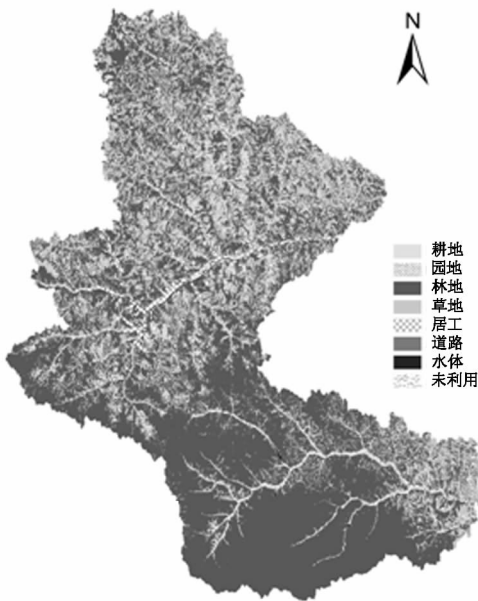


图 1 延安市宝塔区 2009 年土地利用类型图  
Fig. 1 Land use of Pagoda District of Yan'an City in 2009

3 计算结果与分析

3.1 土地利用类型的数量结构特征

按景观生态学的基质—斑块—廊道模式,如果某一景观要素类型的面积较其他景观要素类型的面积大得多,或景观要素类型的面积大体相似而连通性最高则可视作为基质<sup>[19]</sup>。利用 ArcGIS 软件对延安市宝塔区的各个地类的土地利用类型按照地类进行汇总,可以求出各个土地利用类型的面积以及周长的统计值,如表 1,从表 1 中可知,此次分类中,延安市宝塔区的土地利用斑块总数为 46 057 个,土地总面积为 354 076.03 hm<sup>2</sup>,其中各个地类图斑的总周长为 65 506 457.13 m。在各类土地利用类型中,林地的面积最大,为 218 653.50 hm<sup>2</sup>,占全区土地面积的 61.75%,其中林地斑块的总周长为 22 348 339.83 m;其次为牧草地,其中牧草地的斑块总周长为 17 099 702.02 m,面积为 61 887.92 hm<sup>2</sup>,占全区土地面积的 17.48%;第三为耕地,宝塔区耕地的面积为 42 772.33 hm<sup>2</sup>,占全区土地面积的 12.08%;其他依次为园地、居工、水体、道路和未利用地。因此,宝塔区的

土地利用类型从景观风貌尺度上来说,是以林地为基础,以草地、园地、居工、未利用地为斑块镶嵌结构,并且以水体和道路为线状廊道的景观结构模式。随着人类活动的加剧,仅从一个区域土地利用类型占总土地面积的比例关系中衡量土地利用强度已不能客观反映当地实际情况,也不能反映区域的土地利用稳定性的关系,所以必须运用分形理论对其进行深入研究。

表 1 2009 年土地利用类型面积、周长统计  
Tab. 1 Statistics of area, perimeter and its percentage of land uses in 2009

类型	斑块数/个	总面积 A/hm <sup>2</sup>	总周长 P/m	面积百分比/%
耕地	13 576	42 772.33	14 725 130.02	12.080
园地	6 054	17 439.93	5 878 001.01	4.925
林地	4 808	218 653.50	22 348 339.83	61.753
草地	8 752	61 887.92	17 099 702.02	17.479
居工	12 078	10 436.47	4 026 073.51	2.948
道路	31	551.69	265 179.28	0.156
水体	632	2 249.03	1 119 155.18	0.635
未利用	126	44 876.27	65 506 457.13	0.024
总计	46 057	354 076.03	65 506 457.13	100.00

说明:居工指城乡建设用地以及工矿用地;道路包括铁路公路以及机场用地,下表同。

3.2 土地利用类型分形维数分析

分形维数是检验土地利用斑块形状复杂程度的指标,其值越大,则该土地斑块形状越复杂;反之,斑块形状复杂程度降低。从时空角度讲,若分形维数随时间变化而增大,则说明该土地利用类型形态变得越复杂、越不规则,该土地利用类型在空间上呈扩展趋势;反之,该土地类型形态变得简单,越规则,在空间上呈缩小趋势。各种土地利用类型分维值的具体计算方法是,首先,用 ArcGIS 软件计算每一种土地利用类型中图斑的面积和周长,将每个图斑的面积和周长依次带入对数公式;然后,对每一对数据在 Excel 中做散点图,并进行线性拟合;最后,通过斜率 K 与分维值 D 的关系得出每个地类的分形维数。图 2 为延安市宝塔区耕地、园地取对数后的散点图。

用相同的方法对延安市宝塔区的其他地类图斑进行线性拟合,表 2 列出了延安市宝塔区各个土地利用类型的回归方程、回归方差、F 统计量、分维数以及 F 值的显著水平。从表 2 可知延安市宝塔区的各个地类的回归拟合方程的拟合结果都很好,各个地类的相关系数都达到 0.84 以上,并且线性回归方程的检验结果表明,各个地类回归方程的显著性概率值均为 0,可以说明延安市宝塔区各个地类的面积—周长存在着显著的线性相关关系,所以应用分形理论研究土地利用结构是可行的。

从表 2 中可以看出宝塔区的各个土地利用类型存在着分形特征,其中耕地、园地、林地、草地、居工、道路、水体以及未利用地的分维值分别为 1.435 8,1.407 5,

1.469 5, 1.472 8, 1.310 6, 1.733 1, 1.795 3 以及 1.365 0。按照分维数从大到小的顺序依次为水体、道路、草地、林地、耕地、园地、未利用地、居工。从几个地类的对比之中可知,水体的分维值最大,而未利用地的分维值最小,二者相差 0.53,表明水体的空间分布最为复杂,空间镶嵌结构最为复杂。而居工用地相对于水体用地来说它的空间分布相对比较简单,形状也比较规整,空间镶嵌结构比较简单,这主要是受人类活动的影

响比较大,居民点和工矿用地一般比较接近于四方方的规则体。草地和林地的分维值分别为 1.469 5 和 1.472 8,二者离随机运动状态的值 1.50 比较接近,说明草地和林地在这八种土地利用类型中最不稳定,潜在的运动趋势最大。综上所述,各种土地利用类型的分维值反映了土地利用类型的空间分布状态,从而为土地利用/土地覆被研究提供新的方法。

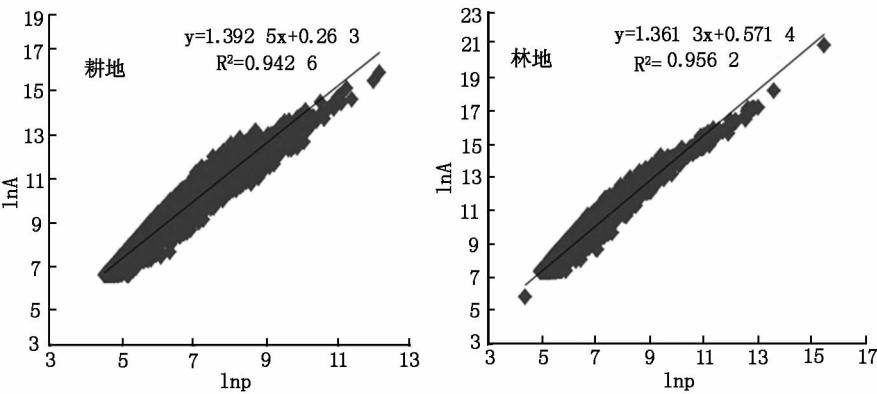


图 2 延安市宝塔区 2009 年耕地、林地面积周长取对数散点图

Fig. 2 Scatter plot of crop and wood land lnA—lnP relationship in Pagoda District of Yan'an City in 2009

表 2 2009 年宝塔区各地类分维计算回归方程及相关统计量

Tab. 2 Linear equation and other statistic parameters in Pagoda District in 2009

土地利用类型	回归拟合方程	R <sup>2</sup>	F 统计量	F 显著水平	分维值 D
耕地	$\ln A = 1.393 \ln P + 0.266$	0.953 7	310 889.81	0.00	1.435 8
园地	$\ln A = 1.421 \ln P + 0.273$	0.947 2	66 953.22	0.00	1.407 5
林地	$\ln A = 1.361 \ln P + 0.571$	0.954 2	149 100.00	0.00	1.469 5
草地	$\ln A = 1.358 \ln P + 0.517$	0.947 6	222 177.94	0.00	1.472 8
居工	$\ln A = 1.526 \ln P - 0.518$	0.981 6	236 067.95	0.00	1.310 6
道路	$\ln A = 1.154 \ln P + 1.395$	0.838 9	98.97	0.00	1.733 1
水体	$\ln A = 1.114 \ln P + 1.180$	0.912 0	4 890.89	0.00	1.795 3
未利用	$\ln A = 1.581 \ln P - 0.694$	0.866 3	2 158.16	0.00	1.365 0

3.3 土地利用类型稳定性分析

稳定性指数是检验土地利用稳定性的指标,其值反映土地利用状态的稳定程度。其值越大,表明该土地利用类型越稳定;其值越小,表明该土地利用类型稳定性越差。从表 3 中可以看出,延安市宝塔区 2009 年耕地、园地、林地、草地、居工、道路、水体以及未利用地的稳定性指数分别为 0.064 2,0.092 5,0.030 5,0.027 2,0.189 4,0.233 1,0.295 3 以及 0.134 9。按照稳定性指数从大到小排列顺序为水体、道路、居工、未利用地、园地、耕地、林地、草地。综合对比这几个类型土地利用的稳定性指数可知,水体用地的稳定性指数最大,受人类的影响比较大。其次为道路、居民点和工矿用地,这两类用地主要是受人类活动的干扰,形状比较接近于规则体,所以比较稳定。而延安市宝塔区的园地大部分是人工园地,种植的时候也是集中连片地种植,因此相比较而言其稳定性较高。耕地和林地的空间稳定性较低,主要是由于耕地和林地的过渡地带带有大量的荒草地,导致

表 3 2002 年各类土地的分形维数及稳定性指数比较

Tab. 3 Comparisons of dimension, persistence index and its order in 2009

土地利用类型	分维数 D <sub>2009</sub>	稳定性指数 SK <sub>2009</sub>	稳定性指数排序
耕地	1.435 8	0.064 2	6
园地	1.407 5	0.092 5	5
林地	1.469 5	0.030 5	7
草地	1.472 8	0.027 2	8
居工	1.310 6	0.189 4	3
道路	1.733 1	0.233 1	2
水体	1.795 3	0.295 3	1
未利用地	1.365 0	0.134 9	4

林地和耕地的空间结构相对复杂化,因而稳定性比较低。

3.4 土地利用景观类型指数分析

根据上文计算公式,可以得出延安市宝塔区的各个土地利用的景观类型指数,从表 4 中可以看出,延安市宝塔区的土地利用斑块形状指数介于 12.16~177.99

之间,其中耕地的斑块形状指数最大,为 177.999 1,其他依次为草地、林地、园地、居工、水体、道路和未利用地。这表明宝塔区耕地的边界最复杂,边缘地带较大,面积有效性减小,斑块形状不规则,由于宝塔区大部分都是川地,许多耕地都是通过开发和整理在半山坡上实施,这种特殊的地形导致宝塔区耕地面积比较零碎。因此,其边缘地带也比较大,面积比较小,形状不规则。而居工用地、道路用地和水体用地受到人类的影响和干扰比较大,其形状指数比较小,其边缘地带比较小,形状比较规则。

土地利用的景观破碎化指数表明了土地利用的景观破碎程度,其值越大表明景观破碎程度越高,它在一定程度上反映了人类对景观的干扰程度。从表 4 中可以看出,林地的景观破碎化程度最高,景观破碎化指数为 0.961 0,主要原因是由于陕北在 2006 年以前进行植树造林以及封山育林的政策导致有林地面积在陕北的丘陵沟壑地带分布不均衡,整体上分布比较零散;其次为道路,景观破碎化指数为 0.892 1;未利用地的景观破碎化指数最小,为 0.252 6,其主要原因是未利用地受人类的影响程度最小。景观分离度指数反映了不同斑块在空间上的分散程度,其值越大表明该景观类型分布越分散,从表 4 中可以看出,未利用地的景观分离度指数最大,为 0.392 2,表明未利用的景观分布在空间上最分散。其主要原因是该类土地利用类型的平均斑块面积较小,而且占用的面积较小,斑块数少,在空间上分布零散,彼此之间的空间联系很少,甚至没有;而林地的景观分离性指数最小,刚好说明林地这类景观类型在空间上的面积比较大,而且斑块彼此之间存在着较为紧密的联系。

表 4 2009 年宝塔区各类土地的景观指数比较

Tab. 4 Comparisons of some landscape index of Pagoda District in 2009

土地利用类型	形状指数	破碎化指数	分离度
耕地	177.9991	0.741 4	0.008 1
园地	111.274 9	0.560 3	0.013 3
林地	119.483 3	0.961 0	0.000 9
草地	171.840 5	0.794 3	0.004 5
居工	98.524 7	0.707 8	0.031 3
道路	28.224 9	0.892 1	0.030 0
水体	58.997 3	0.838 3	0.033 3
未利用地	12.157 6	0.252 6	0.392 2

从以上的分析可知,延安市宝塔区土地利用的形状指数、破碎化指数以及分离度指数的空间分布规律很大程度上受到人为活动的影响与干扰,比如植树造林、退耕还林、封山育林等因素的影响。

4 结论

通过分形理论和景观格局指数对延安市宝塔区的土地利用景观格局以及景观格局指数进行了实证分析。

为土地利用/土地覆被的定量研究提供了新的方法和新的思路,分形方法在土地利用总体规划中具有较大的运用空间<sup>[20]</sup>:一是根据规划资料和图件可以检查规划后的各地类土地是否具有分形结构,对比规划基期年和规划年各土地利用结构稳定性指数的改变程度。二是根据各个地类的分维值、稳定性指数的不同,考虑在土地利用总体规划中实施更多的人为影响,制定相应的法律政策规范人们的用地,切实保护耕地。这一理论在延安市宝塔区 2006—2020 年的土地利用总体规划中得到了广泛而成功的应用。

从以上的研究表明:第一,宝塔区的土地利用类型的景观风貌尺度是以林地为基质,以草地、园地、居工、未利用地为斑块镶嵌结构,并且以水体和道路为线状廊道的景观结构模式。第二,延安市宝塔区 2009 年各种土地利用类型的分维数从大到小的顺序依次为:水体、道路、草地、林地、耕地、园地、未利用地、居工;而稳定性指数从大到小排列顺序为:水体、道路、居工、未利用地、园地、耕地、林地、草地。第三,延安市宝塔区土地利用的形状指数、破碎化指数以及分离度指数在空间上的分布规律很大程度上是受到人为活动的影响与干扰,比如植树造林、退耕还林、封山育林等因素。

参考文献:

[1] 熊惠波,周艳芳,江源,等. 扎鲁特旗土地利用变化中的生态损益估算[J]. 干旱区研究, 2003,20(2):98—103.

[2] 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.

[3] 肖笃宁,钟林生. 景观分类与评价的生态原则[J]. 应用生态学报,1998,9 (2):217—221.

[4] 臧淑英,冯仲科. 资源型城市土地利用/土地覆被变化与景观动态——大庆市案例分析[M]. 北京:科学出版社,2008.

[5] 周青,黄贤金,濮励杰,等. 经济快速发展地区农业土地利用变化驱动机制研究——以无锡市东亭镇、安镇镇和羊尖镇为例[J]. 经济地理,2004,24(6):842—846.

[6] 闫永涛,冯长春. 北京市城市土地利用强度空间结构研究[J]. 中国土地科学,2009,23(3):37—43.

[7] 丁忠义,郝晋珉,李涛,等. 区域土地利用强度内涵及其应用——以河北省曲周县为例[J]. 中国土地科学, 2005,19(5):19—24.

[8] 谢花林,李秀彬. 基于分形理论的土地利用空间行为特征——以江西东江源流域为例[J]. 资源科学,2008,30 (12):1867—1872.

[9] Fu Bo-jie , Gulinck H. Land Evaluation in Area of Severe Erosion ;The Loess Plateau of China[J]. Land Degradation & Rehabilitatioon,1994,5(1):33—401.

[10] 蒋定生,王宁,王万忠,等. 黄土高原水土流失与治理模式[M]. 北京:中国水利水电出版社,1997.

- [11] 傅伯杰,马克明,周华峰,等. 黄土丘陵区土地利用结构对土壤养分分布的影响[J]. 科学通报, 1998, 43(22):2444—2471.
- [12] 陆华,朱晓华. 分形理论及其在城市地理学中的应用和展望[J]. 南京师范大学学报, 1999, 22(2):106—112.
- [13] Goodchild M F. Fractals and the Accuracy of Geographical Measures [J]. Mathematical Geology, 1980, 12(2):85—89.
- [14] 王平,卢珊,杨桃,等. 地理图形信息分析方法及其在土地利用研究中的应用[J]. 东北师范大学学报(自然科学版), 2002, 34(1):93—99.
- [15] 刘纯平,陈宁强,夏德深. 土地利用类型的分数维分析[J]. 遥感学报, 2003, 7(2):136—141.
- [16] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京:高等教育出版社, 2006:392—417.
- [17] 郝柏林. 混沌与分形[M]. 上海:上海科学技术出版社, 2004:46—68.
- [18] WU J G, SHENW J, SUNW Z, et al. Empirical Patterns of the Effects of Changing Scale on Landscape Metrics[J]. Landscape Ecology, 2002, 17: 761—782.
- [19] 傅伯杰,陈利顶,马克明,等. 景观生态学原理与应用[M]. 北京:科技出版社, 2000.
- [20] 张丽,杨庆媛,冯应斌. 基于分形理论的区域土地利用类型探讨——以重庆市沙坝区为例[J]. 西南大学学报, 2008, 30(8):137—141.

## Land Use in Loess Hilly Area Based on Fractal Theory :A Case Study in Pagoda District of Yan'an City

Tian Yichao, Ren Zhiyuan

(College of Tourism and Environment, Shanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

**Abstract:** Based on GIS technology and fractal theory, the land use of Pagoda District of Yan'an City was classified and the maps of land use types were obtained. On the basis of the classification, the fractal dimension in research areas was carried out. The results indicated: (1) In the landscape structure model, the forestland is the substrate of all the land use types in Pagoda District, the patches of grassland, garden plot, residential and industrial land, and unexploited land showed a mosaic structure, and the water bodies and roads were linear corridors; (2) The descending order of land use types' fractal dimension were following: water bodies, roads, grassland, forest land, cultivated land, garden plot, unexploited land, residential and industrial land; while the descending order of stability indices as follows: water bodies, roads, residential and industrial land, unexploited land, garden plot, cultivated land, forest land, grassland; (3) The spatial distribution of all types of landscape indices were influenced and disturbed by human activities, such as forest planting, grain for green program, forest conservation etc.

**Key words:** fractal theory; fractal dimension; stability; landscape index; Pagoda District; Yan'an City