

烟台市海岸带土地利用空间结构分形特征

邹敏¹, 张雯雯²

(1. 烟台市地理信息中心, 山东 烟台 264003; 2. 烟台市征地办公室, 山东 烟台 264003)

摘要:为深入刻画烟台市海岸带土地利用空间结构特征,以烟台市农村土地利用详查成果数据为基础,利用分形理论和 GIS 空间分析方法,选取边界维数、计盒维数、信息维数和半径维数 4 个特征参数,对海岸带各土地利用类型的斑块复杂性、空间占比、空间分布的均衡性和向海聚集性进行了分析。研究表明:受人为干扰强的建设用地、耕地、园地和其他土地边缘相对比较规则且简单,而自然性较强的草地、林地、水域及水利设施和滩涂在人类活动干扰下正处于运动变化的随机状态,斑块边缘相对复杂;海岸带土地利用是以建设用地和耕地为主,其他用地类型为斑块镶嵌体的景观结构模式;土地利用空间分布的均衡性与空间占据能力表现出一定的正相关性;各用地类型斑块密度在海陆梯度上均呈现衰减的趋势,向海聚集程度的强弱,使得土地利用形态在海陆梯度上呈现似圈层状空间分异规律。分形理论的引入,为定量分析海岸带土地利用的合理性和科学性提供了新的研究方法。

关键词:海岸带; 土地利用; 分形理论

中图分类号:F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)01-0092-05

Fractal Analysis on Spatial Structure of Land Use in the Sea Coastal Zone of Yantai City

ZOU Min¹, ZHANG Wenwen²

(1. Geography Information Center of Yantai, Yantai, Shandong 264003, China;

2. Land Requisition Management Office of Yantai, Yantai, Shandong 264003, China)

Abstract: In order to further reveal spatial structure characteristics of land use in the sea coastal zone of Yantai City, based on the data of Yantai detailed rural land surveys, we used fractal theory and GIS spatial analysis method to analyze the patch complexity, spatial occupation, uniformity of spatial distribution and seaward agglomeration for each land use type through calculating the four parameters: boundary dimension, box-counting dimension, information dimension and radius dimension. The results indicate that the land uses under intensive human disturbance, such as construction land, cultivated land and garden plot, are comparatively regular and simple, while natural land uses, such as grassland, forestland, water body and water conservancy facilities, are more complicated and in the random state of motion and change. The model of land use is a landscape structure one with construction land and cultivated land as the dominant types and the other land use types as patches mosaic. There is the positive correlation between spatial occupation and uniformity of spatial distribution. On the sea-land gradient, patch density of land use shows a descent tendency and the land use spatial pattern presents a similar ring structure with different seaward agglomeration degrees. Fractal theory can provide a new research method for quantitative analysis of the reasonability and scientificity of land use in the sea coastal zone.

Keywords: sea coastal zone; land use; fractal theory

海岸带是海陆生态系统之间进行物质、能量、信息交换的重要生态过渡带,是典型的生态交错区和脆弱区,也是人类活动和社会经济发展最为集中的区域^[1-3]。独特的地理位置及其在海陆交互过程中的特

殊地位与作用和其较高的人口、资源环境承载能力,使得海岸带已成为区域 LUCC 研究的热点地区^[4-5]。众多学者基于 RS、GIS、地统计分析和景观生态学的理论方法,从不同的视角,对不同尺度区域海岸带

LUCC 进行了大量富有成效的研究与尝试^[1-8]。已有研究的热点主要集中在海岸带土地利用时空变化及驱动力分析方面,对于某一时间节点、中小区域尺度海岸带土地利用空间结构的深入研究较少,研究方法也较为单调,在分析土地利用中那些不规则、不稳定和高复杂现象时已显现诸多不足。分形理论的产生为描述复杂几何形体指明了方向,也为科学地描述土地利用类型空间形态提供了有力工具^[9]。分形理论在土地利用变化领域虽已得到了广泛应用^[9-16],但用于海岸带的研究却较为少见。基于此,本研究运用分形理论,对烟台市海岸带土地利用空间结构特征进行研究,旨在探索快速城市化背景下烟台市海岸带土地利用空间配置及其对比关系,以便管理者积极采取有效措施合理配置海岸带区域内的土地资源,通过不断优化土地利用空间结构与布局,实现海岸带土地利用的可持续性发展。

1 研究区概况

烟台市地处山东半岛中部,西接潍坊,西南与青岛毗邻,北濒渤海、黄海,与辽东半岛对峙,全市海岸线总长 702.5 km,面积 13 746.47 km²,地理坐标:119°34′—121°57′E,36°16′—38°23′N。烟台市属暖温带大陆性季风气候,四季分明,雨水适中,空气湿润,气候温和。2010 年全市人口 651.1 万人,年平均降水量为 771.1 mm,年平均气温 12.1℃,日照时数 2 419.9 h,无霜期 209 d。根据全国海岸带和海涂资源综合调查规程规定,海岸带范围是指自海岸线向陆方向延伸 10 km 左右,向海至水深 10~15 m 等深线处。本研究以 2010 年烟台市域北部沿海城市莱州市、招远市、蓬莱市、开发区、福山区、城区(包括芝罘区、莱山区、高新区)和牟平区的海岸线为基线,以 10 km 缓冲半径向陆一侧建立缓冲区作为研究区。区内地貌以微倾斜低平原和丘陵为主,土地利用类型主要以建设用地、耕地、园地和林地为主,海岸主要分岩岸和砂岸,潮汐自莱州到龙口沿海为不正规半日潮,龙口到牟平沿海为正规半日潮。区内交通便利,社会经济优越,滨海旅游资源和港口岸线等资源十分丰富,优越的海岸区位条件使得全市约 1/4 的人口聚居于此。

2 数据源与研究方法

2.1 数据源与数据处理

本研究的数据来源于烟台市国土部门提供的 2010 年烟台市农村土地利用详查成果数据,其可靠性和现势性较强,土地利用分类采用土地利用现状分类标准(GB/T21010—2007)。自然地理和社会经济差异

导致海岸带土地利用的区域性特征较为突出,因此海岸带土地利用分类系统也就自然而然地表现出较为显著的区域针对性^[17]。参考 20 世纪 80 年代全国海岸带调查土地利用分类并结合烟台市海岸带土地利用的实际特点,本研究在详查数据成果分类基础上仅对部分地类进行了简单调整,将城市、建制镇、村庄、采矿用地、风景名胜及特殊用地合并为建设用地,将水域及水利设施用地中的沿海滩涂和内陆滩涂分离出来形成滩涂用地类型,其他用地类型的含义与土地利用现状分类标准(GB/T21010—2007)保持一致,最终烟台市海岸带土地利用类型为:耕地、园地、林地、草地、建设用地、水域及水利设施、滩涂和其他土地 8 大类,并利用 ArcGIS 10.0 软件完成了矢量数据处理和边界维数、计盒维数、信息维数和半径维数的计算。

2.2 研究方法

2.2.1 边界维数 对于任何一种用地类型斑块形态,如果以 r 为尺度去测量其周长 $P(r)$ 和面积 $A(r)$,则分形模型可表示为^[16]:

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

式中: D ——边界维数; $A(r)$ ——斑块面积; $P(r)$ ——斑块周长; r ——空间测量尺度; C ——常数。

本研究在计算边界维数的时候,是直接将矢量数据中各地类斑块的面积与周长的属性值,建立形如公式(1)的回归模型,从而得到回归系数 $2/D$,这样就求出了该土地利用类型的边界维数。边界维数反映了用地类型斑块边缘的复杂性,其值为 $1 \sim 2$, D 值越小,表明用地类型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,反之亦然。

2.2.2 计盒维数 以边长为 ϵ 的网格覆盖研究区域,用 $N(\epsilon)$ 表示某土地利用类型图斑包含的方格个数。当 ϵ 变化时, $N(\epsilon)$ 的值也随之变化,将 ϵ 值和相应的 $N(\epsilon)$ 值点绘在双对数坐标图上,通过建立公式(2)回归方程,即可计算出计盒维数^[10]。

$$\ln N(\epsilon) = \ln C - D \ln \epsilon \quad (2)$$

式中: $N(\epsilon)$ ——斑块空间结构中所包含的方格个数; ϵ ——网格边长; D ——计盒维数。

计盒维数越大,该用地类型的空间占据程度越大,反之亦然。

2.2.3 信息维数 用边长为 ϵ 的网格对研究区域土地利用图进行覆盖,统计每个非空格子某用地类型的面积 A_i ,若该用地类型的总面积为 A ,则每个网格中该用地类型的分布概率为 $P_{ij} = A_{ij}/A$,信息量为 $I_i = -P_{ij} \ln P_{ij}$,该用地类型在网格边长为 ϵ 时的总信息量

为 $I(\epsilon)=\sum I_i$, 将 $I(\epsilon)$ 与相应的网格边长 ϵ 的对数值建立公式(3)回归方程, 即可计算出信息维数 $D^{[14]}$ 。

$$I(\epsilon)=I_0-D\ln\epsilon$$

(3)

式中: $I(\epsilon)$ ——某用地类型的总信息量; ϵ ——网格边长; D ——信息维数。

信息维数越大, 土地利用斑块空间分布越均衡, 反之, 土地利用斑块空间分布越集中, D 值越小。当 D 值趋近 1 时, 表明土地利用斑块均匀地集中到一条线(如交通线、河流、海岸等)上^[18]。

2.2.4 半径维数 为更好从“海岸区位”的角度揭示海岸带土地利用形态在海陆梯度上的空间分异特征, 本研究在计算半径维数时以海岸线为基线, 以缓冲半径 r 做缓冲, 则 r 范围内某种地类面积为 $S(r)$, 假定 $S(r)\propto r^D$, 则有:

$$S(r)=\eta r^D$$

(4)

公式(4)两边取对数后转化为:

$$\ln S(r)=\ln \eta+D \ln r$$

(5)

式中: η ——常数; r ——缓冲半径; $S(r)$ ——缓冲范围内某种地类面积; D ——半径维数。

将缓冲半径 r 从 1 km 以 1 km 步长依次递增到

10 km, 并计算相应的面积 $S(r)$, 对 $\ln S(r)$ 与 $\ln r$ 进行线性拟合, 得到半径维数 D 值。半径维数描述了土地利用密度在海陆梯度上的变化趋势, 半径维数 D 值越小, 土地利用密度衰减越快, 向海聚集程度越强, 即相对越偏向于海洋一侧, 反之, 土地利用密度衰减越慢, 向海聚集程度越弱, 相对越偏向于陆地一侧。因此, 半径维数 D 值能很好地反映出海岸带土地利用形态在海陆梯度上空间分异规律。

3 结果与分析

3.1 海岸带土地利用结构总体特征.

由表 1 可以看出, 烟台市海岸带土地利用类型以耕地和建设用地为主。其中建设用地的面积最大, 占到总面积的 31.29%; 其次是耕地, 占总面积的 29.39%; 园地和林地面积相对均衡, 所占比重保持在 10%~16%; 其他类型用地比重均小于 5%, 其中其他土地面积最少, 仅占总面积的 0.79%。烟台市海岸带土地利用基本上还是以建设用地和耕地为基质, 园地、林地、滩涂和其他土地为斑块镶嵌体, 以交通为廊道的景观结构模式。

表 1 烟台市海岸带土地利用结构总体特征

土地利用类型	斑块数目/个	斑块总周长/m	斑块总面积/hm ²	平均斑块面积/hm ²	边缘密度/(m·hm ⁻²)	比重/%
耕地	10041	16116994.46	81466.04	8.11	197.84	29.39
园地	9719	11081665.86	43169.82	4.44	256.70	15.58
林地	5244	6591937.85	29307.28	5.59	224.92	10.57
草地	6658	6614706.69	13105.79	1.97	504.72	4.73
建设用地	10573	10831983.37	86729.51	8.20	124.89	31.29
水域及水利设施	3527	3115693.88	10274.33	2.91	303.25	3.71
滩涂	126	834611.78	10895.1	86.47	76.60	3.93
其他土地	727	606525.16	2202.27	3.03	275.41	0.79

3.2 烟台市海岸带土地利用类型分形特征分析

3.2.1 边界维数分析 由表 2 可知, 烟台市海岸带不同土地利用类型分形特征显著, 斑块边界分维数差异明显, 总体上来看边界维数的大小依次为: 草地>林地>水域及水利设施>滩涂>耕地>园地>其他土地>建设用地。其中草地的分维数最大, 为 1.512 6, 建设用地的分维数最小, 为 1.199 3。草地多为分布在低山丘陵山坡沟谷地带的荒草地, 基本处于自然状态, 边界曲折程度无疑是最复杂的, 因此草地边界分维数最大。建设用地由于受城镇规划的影响, 其形态大都简单、边界规则, 因此分维数最小。林地、草地、水域及水利设施分维数保持在 1.5 左右, 表明在受人类干扰的情况下最不稳定, 其镶嵌结构处于运动变化的随机状态。耕地、园地、滩涂和其他土地在长期的

人类开发活动的影响下, 空间结构趋于简单化, 形成较为规则的形状, 因此边界分维值仅次于建设用地。可见, 自然景观的斑块形状相对比较复杂, 而人工景观的斑块形状是比较有规律相对简单。

表 2 烟台市海岸带土地利用类型边界维数

土地利用类型	分形模型	R ²	边界维数 D
耕地	lnA=1.498lnP-0.4076	0.9413	1.3351
园地	lnA=1.5169lnP-0.5255	0.9255	1.3185
林地	lnA=1.4059lnP+0.1142	0.8870	1.4226
草地	lnA=1.3222lnP+0.4488	0.8829	1.5126
建设用地	lnA=1.6677lnP-1.3012	0.9592	1.1993
水域及水利设施	lnA=1.4068lnP+0.193	0.9246	1.4217
滩涂	lnA=1.4688lnP-0.114	0.9389	1.3617
其他土地	lnA=1.5714lnP-0.7419	0.9251	1.2728

3.2.2 计盒维数分析 由表 3 可知,烟台海岸带土地利用空间结构计盒维数的大小顺序为:耕地>建设用地>园地>林地>滩涂>草地>水域及水利设施>其他土地。其中耕地的计盒维数最大,为 1.760 7,其他土地的盒维数最小,为 1.025 0。这说明研究区耕地分布最为复杂,空间占据程度高;建设用地面积最大,但其形状最为规则,空间占据程度次之;园地和林地面积占据比较大且交错分割,与其他地类上有较多的边界,空间计盒维数较大;草地、水域及水利设施、滩涂和其他土地分布相对简单且规模较小,空间计盒维数较小。对比分析表 1 和表 3 计算结果,可以看出计盒维数是面积、斑块数量和平均斑块面积等单项景观指标有机结合的综合表现,而不仅仅是某一单项因素的直接反映。

表 3 烟台市海岸带土地利用类型计盒维数

土地利用类型	分形模型	R^2	计盒维数 D
耕地	$\ln N(\epsilon)=19.975-1.7607\ln \epsilon$	0.9998	1.7607
园地	$\ln N(\epsilon)=18.941-1.6239\ln \epsilon$	0.9970	1.6239
林地	$\ln N(\epsilon)=17.943-1.4847\ln \epsilon$	0.9995	1.4847
草地	$\ln N(\epsilon)=17.221-1.3835\ln \epsilon$	0.9988	1.3835
建设用地	$\ln N(\epsilon)=18.353-1.7152\ln \epsilon$	0.9992	1.7152
水域及水利设施	$\ln N(\epsilon)=16.209-1.2508\ln \epsilon$	0.9971	1.2508
滩涂	$\ln N(\epsilon)=16.279-1.4362\ln \epsilon$	0.9943	1.4362
其他土地	$\ln N(\epsilon)=13.481-1.025\ln \epsilon$	0.9889	1.0250

3.2.3 信息维数分析 由表 4 可知,各用地类型信息维数大小顺序为:耕地>建设用地>园地>林地>滩涂>草地>水域及水利设施>其他土地,表明烟台市海岸带用地类型斑块分布的均匀程度存在明显差异。耕地和建设用地信息维数较大,基本达到 1.8,说明耕地和建设用地空间分布均匀。园地多分布于农村居民点的周边,信息维数超过了 1.6,空间分布相对均匀适中。林地、草地和滩涂空间分布主要是受自然条件的影响,信息维数保持在 1.4 左右,斑块集中分布较为明显。水域及水利设施主要是河流及附属设施,其他土地主要是一些城镇、村庄内部尚未利用的空闲地,斑块基本沿交通线分布,两者信息维数基本趋向于 1,空间分布均匀度差,斑块集中沿线状分布的特征明显。烟台市海岸带用地类型空间分布信息维数和计盒维数的大小关系具有完全一致的规律性,空间占据能力的大小与空间分布均衡程度呈现一定的正相关性,空间占据能力较强的建设用地、耕地、园地和林地,相对于其他地类其空间分布表现地更为均匀。

3.2.4 半径维数分析 半径维数是从海岸区位的视

角,反映海岸带各种用地类型向海聚集程度和空间分布格局。由表 5 可以看出,不同土地利用类型半径维数表现为:耕地>园地>水域及水利设施>草地>建设用地>其他土地>林地>滩涂,计算得出的半径维数均小于 2,说明烟台市海岸带各用地类型斑块密度在海陆梯度上均呈现出由海向陆逐渐衰减的趋势,半径维数大小排序,反映了不同用地类型向海洋聚集程度的强弱,使得土地利用形态在海陆梯度上呈现出类似圈层状结构特征。研究区的滩涂主要是沿海滩涂,因此其半径维数最小,向海洋聚集程度最强。滩涂的外围分布有大量的海防林,因此林地向海洋聚集程度次之。建设用地受地形和交通线的吸引大都靠近海岸分布,而其他土地主要是一些城镇、村庄、工矿内部尚未利用的空闲地,因此均表现出较强向海洋聚集的特点。耕地和园地多分布于建设用地的外围,草地多分布于低山丘陵山坡沟谷地带,水域及水利设施在海陆梯度上呈线状分布,因此向海聚集性均表现的不明显。上述结果表明,烟台市海岸带土地利用形态在海陆梯度上的空间分异规律是自然因素和人为因素共同作用下的产物,随着对海岸带开发利用活动的加剧,土地利用形态在海陆梯度空间分异将更加明显。

表 4 烟台市海岸带土地利用类型信息维数

土地利用类型	分形模型	R^2	信息维数 D
耕地	$I(\epsilon)=19.885-1.7939\ln \epsilon$	0.9998	1.7939
园地	$I(\epsilon)=18.793-1.6678\ln \epsilon$	0.9999	1.6678
林地	$I(\epsilon)=17.899-1.5759\ln \epsilon$	0.9996	1.5759
草地	$I(\epsilon)=16.996-1.4419\ln \epsilon$	0.9994	1.4419
建设用地	$I(\epsilon)=19.818-1.7768\ln \epsilon$	0.9998	1.7768
水域及水利设施	$I(\epsilon)=15.847-1.3049\ln \epsilon$	0.9996	1.3049
滩涂	$I(\epsilon)=16.486-1.5538\ln \epsilon$	0.9971	1.5538
其他土地	$I(\epsilon)=13.285-1.1252\ln \epsilon$	0.9927	1.1252

表 5 烟台市海岸带土地利用类型半径维数

土地利用类型	分形模型	R^2	半径维数 D
耕地	$\ln A(r)=1.4615\ln r+7.092$	0.9986	1.4615
园地	$\ln A(r)=1.1416\ln r+9.4238$	0.9962	1.1416
林地	$\ln A(r)=0.5997\ln r+13.858$	0.9772	0.5997
草地	$\ln A(r)=0.7843\ln r+11.382$	0.9858	0.7843
建设用地	$\ln A(r)=0.7137\ln r+14.009$	0.9999	0.7137
水域及水利设施	$\ln A(r)=0.8002\ln r+11.055$	0.9974	0.8002
滩涂	$\ln A(r)=0.1709\ln r+16.975$	0.9113	0.1709
其他土地	$\ln A(r)=0.6878\ln r+10.573$	0.9761	0.6878

4 结 论

分维值反映了无标度区间内土地利用空间分布特征。将边界维数、计盒维数、信息维数和半径维数 4 种性质不同、功能各异的分形维数作为特征指标,可以更加有效地从多种角度深入刻画烟台市海岸带土地利用的空间格局特征,克服了传统欧氏几何模型、景观生态学和单一分形维数在土地空间格局分析方面存在的局限性。

边界维数、计盒维数、信息维数和半径维数的计算结果代表了烟台市海岸带土地利用的空间复杂性,空间占比、空间分布均衡性和向海聚集性特征,为定量分析海岸带土地利用的合理性和科学性提供了新的研究方法。

研究结果表明:受人为干扰强的建设用地、耕地、园地和其他土地边缘相对比较规则且简单,而自然性较强的草地、林地、水域及水利设施和滩涂在人类活动干扰下正处于运动变化的随机状态,斑块边缘相对复杂;海岸带土地利用模式是以建设用地和耕地为主,其他用地类型为斑块镶嵌体的景观结构模式;土地利用空间分布的均衡性与空间占据能力表现出一定的正相关关系,空间占据能力越强,空间分布就表现的越均匀;各用地类型斑块密度在海陆梯度上均呈现衰减的趋势,向海洋聚集程度的强弱,使得土地利用形态在海陆梯度上呈现似圈层状空间分异规律。

值得指出的是本研究仅对 2010 年单一时间点的烟台市海岸带土地利用空间结构分形特征进行了研究,随着烟台市工业化和城镇化向纵深发展,海岸带土地利用结构和空间形态将持续发生变化,因此,基于分形理论开展长时间序列的烟台市海岸带土地利用空间演变特征及其驱动机制的研究将是下一步工作的重点。

参考文献:

[1] 钱金平,贾俊艳,何萍,等. 河北省海岸带土地利用空间格局[J]. 水土保持研究,2013,20(5):261-265.

- [2] 侯西勇,徐新良. 21 世纪初中国海岸带土地利用空间格局特征[J]. 地理研究,2011,30(8):1370-1379.
- [3] 许学工,彭慧芳,徐勤政. 海岸带快速城市化的土地资源冲突与协调:以山东半岛为例[J]. 北京大学学报:自然科学版,2006,42(4):527-533.
- [4] 张学儒,陈春,董坤. 基于 RS 与 GIS 唐山海岸带地区近 50 年土地利用格局时空特征分析[J]. 西北农业学报,2013,22(2):204-208.
- [5] 马万栋,张渊智,施平,等. 海岸带土地利用/土地覆被变化研究进展[J]. 地理科学进展,2007,27(5):87-94.
- [6] 王玉,贾晓波,张文广,等. 江苏海岸带土地利用变化及驱动力分析[J]. 长江流域资源与环境,2010,19(S1):7-12.
- [7] 朱会义,李秀彬,何书金,等. 环渤海地区土地利用的时空变化分析[J]. 地理学报,2001,56(3):253-260.
- [8] 吴泉源,侯志华,于竹洲,等. 龙口市海岸带土地利用动态变化分析[J]. 地理研究,2006,25(5):921-929.
- [9] 朱晓华,蔡运龙. 中国土地利用空间分形结构及其机制[J]. 地理科学,2005,25(6):671-677.
- [10] 宋博,马建华,秦艳培. 土地利用与土地覆被变化的分形分析:以郑汴间沙岗地为例[J]. 地域研究与开发,2004,23(3):106-108.
- [11] 张荣天. 宁镇扬丘陵区土地利用空间结构的分形研究:以镇江市为例[J]. 水土保持研究,2013,20(3):98-103.
- [12] 李昭阳,汤洁,孙平安,等. 松嫩平原西南部土地利用动态变化的分形研究[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2006,36(2):250-258.
- [13] 杨涵,王芳芳,吴世新,等. 基于分形理论的新疆土地利用空间格局分析[J]. 干旱区研究,2009,26(2):194-199.
- [14] 沈中原,李占斌,武金慧,等. 基于 GIS 的流域土地利用/土地覆被分形特征[J]. 农业工程学报,2008,24(8):63-67.
- [15] 李保杰,顾和和,纪亚洲. 矿区土地利用分形特征动态变化[J]. 农业工程学报,2013,29(21):233-240.
- [16] 徐建华,艾南山. 西北干旱区景观要素镶嵌结构的分形研究:以黑河流域为例[J]. 干旱区研究,2001,18(1):35-39.
- [17] 邸向红,侯西勇,吴莉. 中国海岸带土地利用遥感分类系统研究[J]. 资源科学,2014,36(3):463-472.
- [18] 刘继生,陈彦光. 城镇体系空间结构的分形维数及其测算方法[J]. 地理研究,1999,18(2):171-178.