

Analysis of Fractal Features of Urban Land and Wetland in Dongying City

Yuan Sun

College of Resources and Environment, Qingdao Agricultural University, Qingdao Shandong
Email: 3465943823@qq.com

Received: Jan. 7th, 2020; accepted: Jan. 30th, 2020; published: Feb. 6th, 2020

Abstract

Based on predecessors' analysis of the spatial structure of the urban system, the capacity and information dimensions in the fractal theory were selected to calculate the spatial form of the urban system and wetlands in Dongying. The main results are as follows: 1) Both urban land and wetlands in Dongying have fractal features, but the fractal features of wetlands are not as obvious as those of towns. 2) Urban land is a bifractal structure characterized by a dominant double scale, that is, a self-affine structure; wetlands are a single fractal structure characterized by self-similarity. 3) The spatial structure and hierarchical structure of urban land and wetlands are inconsistent, but there are laws that evolve towards integration. 4) The fractal dimension of wetland is larger than that of urban land. In general, the scale and wetland form of Dongying City are relatively balanced, but the functions of the urban system and wetland have not been fully exerted.

Keywords

Fractal Characteristics of Urban Land, Fractal Feature, Capacity Dimension, Information Dimension, Wetland Fractal Features

东营市城镇用地和湿地的分形特征分析

孙 园

青岛农业大学资源与环境学院, 山东 青岛
Email: 3465943823@qq.com

收稿日期: 2020年1月7日; 录用日期: 2020年1月30日; 发布日期: 2020年2月6日

摘 要

基于前人对城镇体系空间结构的分析, 选取分形理论中的容量维和信息维测算东营市城镇体系和湿地的空间形态。主要结果如下: 1) 东营市城镇用地和湿地都存在分形特征, 但湿地的分形特征不如城镇的分

形特征明显。2) 城镇用地属于以显性双标度为特征的双分形结构, 即自仿射结构; 湿地属于以自相似为特征的单分形结构。3) 城镇用地和湿地的空间结构和等级结构存在不协调的现象, 但都有向一体化演化的规律。4) 湿地的分形维数是大于城镇用地的分形维数的。总体来说, 东营市城镇规模和湿地形态较为均衡, 但城镇体系和湿地的功能尚未充分发挥。

关键词

城镇用地分形特征, 分形特征, 容量维, 信息维, 湿地分形特征

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

分形理论是美国科学家 B. B. Mandelbort 提出的一门自组织理论, 其数学基础是分形几何学, 分形理论是解决欧氏几何难以描述复杂问题的一种十分奏效的理论方法, 无标度、自相似性是分形的两个基本特征[1]。对于简单的分形体, 由于要素分布均匀, 只有单一的标度, 可以用一个维数表示, 但对于复杂的系统, 空间分布一般很不均匀, 标度自然难以统一, 单个维数无法刻画其总体的特征, 因此就必须引用多分形测定[2]。目前主要有四种分形概念分别为单分形、双分形、多分形、自仿射分形。分析几何作为分形分析的有效工具之一, 早就在城镇的空间形态研究中广泛应用。城镇体系是发育在地形、水系等分支上的多重分形, 其空间结构与自然环境理应相关。从现已发现的理论规律看来, 中心地和城市体系都与水系具有相同的数学模型[3]。本文将研究城镇体系的分形模型应用于湿地的分形分析中, 借助分形理论思想, 不仅可以探究黄河三角洲地区城镇体系空间结构特征, 还可建立湿地与城镇用地空间结构特征关系, 为黄河三角洲地区城镇和湿地体系空间结构优化及相关理论实证研究提供一定的参考。

建立城镇与湿地关系的理论和现实依据如下: 第一、中国自古就有逐水而迁、泽水而居的习惯, 因此城镇体系与湿地体系之间必定存在某种联系; 第二、第三次全国土地调查将湿地独立划分为一个调查单元, 湿地的概念已超过了水系的概念, 足以见得湿地的重要性; 第三、随着国土空间规划体系的完善, 用途管制对象已从传统意义上的城镇和农业空间逐步向生态空间转变, 不断强化山水林田湖草生命共同体系统思维, 推进全域综合整治、系统治理。这也使得本文对湿地的空间形态的分析具有现实意义。第四、早在学者研究表明水系构成与城市体系的等级结构具有完全相同的数学模型[2]。

2. 研究区域概况

黄河三角洲位于黄河入海口渤海湾和莱州湾沿岸, 北靠京津唐经济区, 南连山东半岛开放城市, 属于国家制定的沿海开放地带。鉴于现代黄河三角洲中 93% 的行政区域属于东营市, 因此本文以东营市为主要研究区域[4], 以东营区、牛庄区、河口区 3 个区, 广饶县、利津县、垦利县 3 个县为基本调查单元开展研究。

东营市位于黄河三角洲的核心地带, 城镇体系和湿地发育历史悠久, 其空间分布蕴含大量的时空信息, 揭示这些信息对东营市的城镇和湿地体系优化具有现实的实践价值。且东营市湿地资源丰富, 有湿地之城的美誉。2018 年 10 月成功入选全国首批“国际湿地城市”。为了加强湿地保护, 《东营市湿地保护条例》已于 2018 年 10 月 26 日经东营市第八届人民代表大会常务委员会第 14 次会议通过, 本条例

所称湿地，是指常年或者季节性积水、适宜野生动植物生长栖息、具有一定面积和较强生态功能，并经依法认定和公布的潮湿地带、水域和低潮时水深不超过六米的海域，主要包括沼泽湿地、河流湿地、湖泊湿地、滨海湿地等自然湿地，以及重点保护野生动物栖息地或者重点保护野生植物原生地等人工湿地。并将湿地规划列入湿地保护条例中，真正做到了湿地保护，有法可依。

本文以黄河三角洲地区的东营市为研究对象，基于 1973、1980、1990、2000、2010、2018 年 45 年跨度的数据，以城镇用地形态和湿地用地形态为切入点，以遥感影像解译的空间数据为基础，以分析几何为工具，利用分维分析的方法，从空间形态的角度揭示东营市城镇和湿地发展进程中的分形特征及其演化规律，为东营市的城镇和湿地管理提供科学依据。

3. 分形模型的构建

测量分维的方法有很多，研究目标不同，视角不同，采用的方法往往也不尽相同。目前运用频率较高的是盒子计数法(box counting)，由此得到的分维叫做盒子维数[7]。分维的定义有两种等价方式，分别基于两种函数，其一是熵函数，计算公式表现为对数函数；其二是关联函数，计算公式表现为幂指数函数[5]。本文主要基于熵函数进行分维数的测算。判断一个地理现象是否多分形的基本方法是考察容量维和信息维[5]。容量维和信息维的确定方法如下：

首先，若土地利用形态具有无尺度性，则非空盒子的数量与尺度之间存在以下关系：

$$N(r) \propto r^{-D_0} \quad (1)$$

两边取对数可得到容量维的计算公式：

$$D_0 = \frac{\ln N(r) - \ln(N_0)}{\ln r} \quad (2)$$

其中 D_0 为容量维， r 为尺度， $N(r)$ 为不同尺度的盒子中非空盒子的数量， N_0 为常数。

若土地利用形态具有标度性，则信息维的测算利用以下方法：

$$P_{ij} = S_{ij} / S \quad (3)$$

$$I(r) = -\sum_i \sum_j^n p_{ij}(r) \ln(p_{ij}) \quad (4)$$

$$D_1 = \frac{I(r) - I_0}{\ln r} \quad (5)$$

D_1 是信息维， $I(r)$ 为信息量， I_0 为常数。设盒子的尺度为 r ，用网格法表示即为 i 行 j 列的网格， S_{ij} 即为每个非空盒子中的面积， S 为研究区的总面积。

4. 方法和结果

4.1. 数据源与处理方法

研究区的 TM 影像数据取自地理空间数据云网站以及美国地质调查局(USGS)网站。借助遥感图像，可以提取城镇用地和湿地用地空间数据，研究东营市的显示特征和发展趋势。利用 ARCGIS 中监督分类功能生成 1973、1980、1990、2000、2010、2018 年东营市的建设用地和湿地的空间数据，空间分辨率为 60 m。分形参数的确定采用盒子法(box counting)测量，具体操作步骤如下：第一步，确定研究区范围。研究区范围不宜过小，过小会导致样本数据不足，空间体系的内在规律不能得到充分展现，且研究区的范围也不宜过大，过大可能会受到地图投影变形的影响，因此本文选择东营市行政区划边界的最小外接矩形为最大研究区范围(图 1)。第二步，划分单元网格。借助 ARCGIS 软件中 create Fishnet 工具(ArcToolbox

→Data Management Tools→Feature class→create Fishnet)生成矩形网格, 基于数据量和图像分辨率等方面的考虑, 城镇用地划分的网格层次为 10, 分别为 1×1 、 2×2 …… 512×512 ; 湿地划分的网格层次为 9, 分别为 1×1 、 2×2 …… 256×256 。第三步, 空间数据的融合, 借助 ARCGIS 软件中 Intersect 工具(ArcToolbox →Analysis Tools→Ovelay→Intersect), 分别将每一年的城镇用地和湿地空间数据与划分的网格文件进行相交操作。第四步, 分形参数的估计。考虑到东营市的研究现状和数据来源, 选取容量维和信息维来测算东营市城镇体系和湿地体系的分形特征。统计划分的网格中非空格子的数量 $N(r)$, 生成 $\ln r-N(r)$ 散点图, 根据变化趋势对其进行双对数拟合, 得到 6 个年份的 12 个回归模型(图 3(a); 图 4(a))。统计非空网格中城镇用地和湿地的面积, 利用式(4)计算信息量 $I(r)$, 生成 $\ln r-I(r)$ 散点图, 根据变化趋势对其进行单对数拟合, 得到 6 个年份的 12 个回归模型(图 3(b); 图 4(b))。

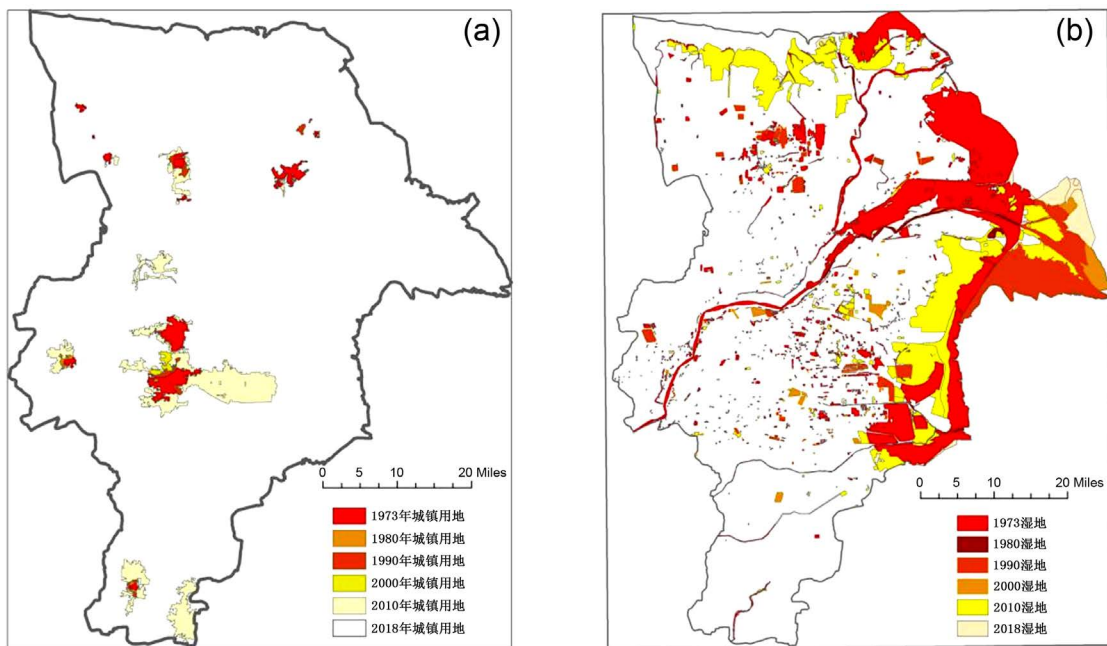


Figure 1. The largest outline of the urban land and wetlands in Dongying City from 1973 to 2018. (a) Scope of urban land research area in Dongying; (b) Scope of Dongying wetland research area

图 1. 1973~2018 年间东营市城镇用地和湿地最大外框示意图。(a) 东营市城镇用地研究区范围; (b) 东营市湿地研究区范围

4.2. 城镇用地形态的分形特征分析

1973 年~2018 年间东营市的城镇用地面积是不断扩张的且在 2018 年时达到顶峰 471,665,491 平方米(表 1), 自 1973 年至 2018 年间城镇用地面积总共增加了 367,065,548 平方米, 扩张速度较快。那么其城镇扩张是否具有分形特征、具有哪种分形特征是本文研究的重点之一。通过构建容量维的双对数拟合图和信息维的单对数拟合图, 观察其变化趋势。当散点在双对数坐标图上呈显著直线分布时, 说明在全域尺度上遵循同一个标度率, 否则说明并非遵循同一个标度率, 而是有所谓的双分形结构[6]。东营地区城镇用地的容量维的拟合曲线出现了较为明显的分形特征且具有局部对数线性性质, 即在容量维的估计过程中出现了无标度区。刘继生曾在文献中提出如果点列的双对数拟合曲线有无标度区的出现, 其直线段的斜率便是容量维[3]因此, 可以利用直线斜率估计容量维, 为了精确起见, 还是应采用公式(2)计算。相同的原理也可应用在信息维的测算上, 利用单对数拟合曲线中无标度区的直线段斜率估算信息维, 利用式(5)可精确计算出信息维, 计算结果见表 2。

Table 1. 1973-2018 Area and proportion of urban and wetland land
表 1. 1973~2018 年城镇用地和湿地用地面积及所占比例

城镇用地		湿地用地	
面积/m ²	比例(%)	面积/m ²	比例(%)
104,599,943	7.51	1,143,092,803	16.55
110,008,252	7.90	1,027,410,331	14.87
124,860,119	8.96	885,882,200	12.82
134,967,464	9.69	869,694,873	12.59
447,215,824	32.10	1,464,885,386	21.21
471,665,491	33.85	1,516,609,746	21.96

Table 2. 1973-2018 capacity and information dimensions of urban land and wetlands
表 2. 1973~2018 年城镇用地和湿地的容量维和信息维

年份	城镇用地			湿地用地		
	容量维 D_0	信息维 D_1	D_1/D_0	容量维 D_0	信息维 D_1	D_1/D_0
1973	1.1208	1.1125	0.9926	1.5823	1.5224	0.9621
1980	1.1290	1.1011	0.9753	1.5791	1.5118	0.9574
1990	1.1516	1.1237	0.9758	1.5799	1.4983	0.9484
2000	1.1626	1.1445	0.9844	1.5841	1.4985	0.9460
2010	1.3553	1.3417	0.9900	1.6067	1.5606	0.9713
2018	1.3600	1.3803	1.0149	1.5672	1.5730	1.0037

从静态层面看，容量维呈现出不同标度的现象，即出现了两个折线段交接的折线关系。双标度分为两类：显性双标度(双对数图上可以看到)表明自仿射结构，而隐性双标度(双对数图上看不到)为多分形结构[8]，因此东营地区城镇用地容量维的分形结构属于自仿射结构。以 2018 年为例(图 2(a))，中间 4 个点形成一个标度区，后三个点形成了另一个标度区，显性双标度区的出现表明 2018 年的城镇用地结构为自仿射结构。这种现象出现的原因可能与东营市的区域发展不均衡有关。

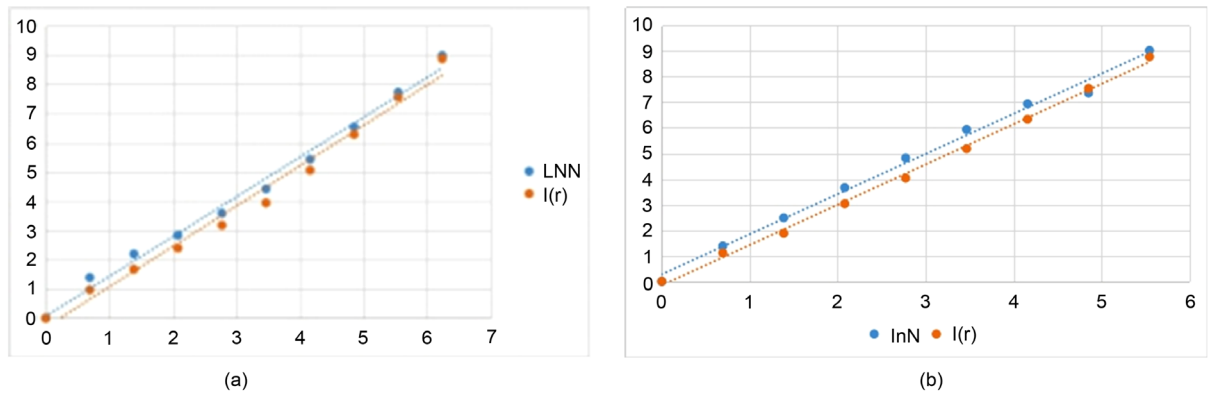


Figure 2. Dongying City urban land and wetland capacity dimensions and information dimensions in 2018. (a) Logarithmic estimation of urban land capacity and information dimensions in Dongying City in 2018; (b) Logarithmic estimation of wetland capacity and information dimensions in Dongying City in 2018

图 2. 2018 年东营市城镇用地和湿地容量维、信息维。(a) 2018 年东营市城镇用地容量维、信息维对数估计图；(b) 2018 年东营市湿地容量维、信息维对数估计图

从动态层面看, 1973~2018 年间东营地区城镇用地的容量维在逐步增加(图 3)。不论是通过对数拟合分析图的斜率来看还是通过公式计算都可看出这一规律。在 1973 至 2018 的 45 年间, 由 1.1208 增加到 1.36, 这表明区域的土地填充程度和均衡度越来越高。且随着年份的增加, 自仿射结构有向自相似结构演化的趋势。自相似的分形结构表明城镇体系中各个城镇之间有较强的空间联系和协作关系[7]。因此, 1973~2018 年东营市的城镇体系的空间联系和协作是越来越成熟的。总体来看, 全局的双对数线性关系的拟合效果越来越好。

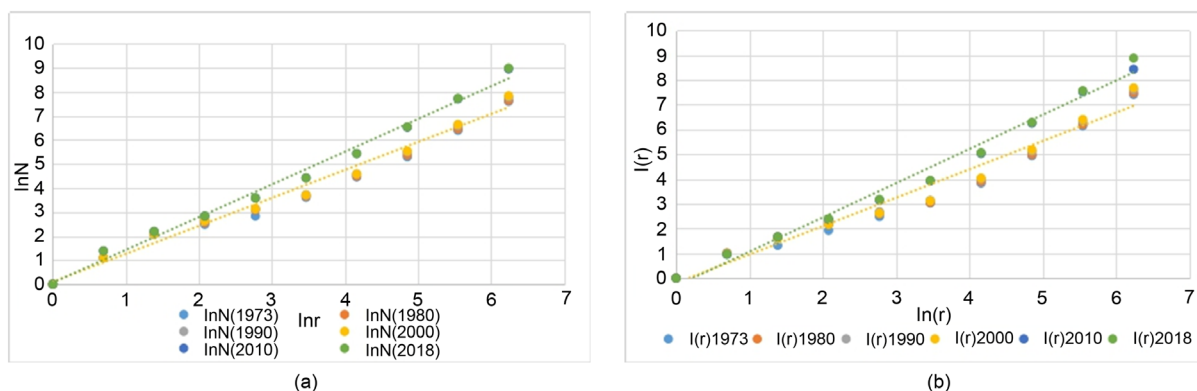


Figure 3. 1973-2018 Dongying City urban land capacity maintenance and information maintenance. (a) Double logarithmic plot of D_0 capacity dimension of Dongying City from 1973 to 2018; (b) Single logarithm diagram of D_1 information dimension of Dongying City from 1973 to 2018

图 3. 1973~2018 年东营市城镇用地容量维和信息维。(a) 1973~2018 年东营市容量维 D_0 估计双对数图; (b) 1973~2018 年东营市信息维 D_1 估计单对数图

前述无标度区的存在表明东营市城镇用地体系的确具有分形性质, 根据表 2 容量维 D_0 是一直大于信息维 D_1 的, 这说明东营市城镇用地体系具有多重分形形态, 这也同时验证了上述容量维具有自仿射结构的正确性。信息维数的大小, 可以反映区域城镇空间分布的聚散程度[9]。当所有的城镇聚集到一点时系统为零维; 当城镇均匀分布于地表时, 系统为 2 维; 通常情况下系统的维数介于 0~2 维之间; 要素分布越均匀, 系统的信息维数越高[10]。东营市城镇用地的信息维数是逐步增加的, 且有向 2 靠近的趋势, 这说明东营市城镇用地逐步均匀分布, 且信息维值维持在 1.2 左右, 这说明影响东营市城镇体系的因素不是很多, 城镇发展还是比较稳定的。

1980~2018 年, 东营地区城镇用地的信息维与容量维的比值 D_1/D_0 是逐步增加的, 这说明城镇土地利用形态的差异性在缩小。但 1973 年的数据打破了这一规律, 这可能与 1973 年影像的质量与分辨率有关。

4.3. 湿地用地形态的分形特征分析

1973~2000 年间, 东营市湿地面积是不断减少的, 这可能与黄河水量变化和海潮侵袭等自然因素, 城镇扩展和海涂开发等人为因素有关。近年来, 国家逐渐实现了由注重城镇农业发展向注重生态发展转变, 人们的生态保护也是也越来越强烈。由表 1 数据可知在 2010~2018 年间, 且东营市湿地面积不断增加, 且在 2010 至 2018 间湿地面积增加最多, 这与东营市当地的湿地保护政策也是密不可分的。城镇体系与水系具有相似的分形结构[2], 因此可将测算城镇体系分形特征的方法用于湿地的分形特征研究上。

从静态层面看, 东营市湿地的容量维和信息维的拟合图中散点大致沿一条直线分布(图 2(b)), 如果一个地理系统的容量维和信息维没有显著差异, 则为简单分形; 如果信息维显著小于容量维, 则可能是多分形结构[5]。显然湿地的容量维出现了自相似的现象, 因此为自相似结构, 即为单标度的单分形现象。

从动态层面看(图 4), 在 1973~1980 年间, 湿地的容量维在小范围内是波动上升的, 猜测这与当地湿地生态系统的不稳定性相关。但总体来看波动很小, 容量维还是维持在 1.58 左右。信息维也存在小范围波动现象, 且在 2010 年和 2018 年间有明显增大的趋势, 这说明在 2010~2018 年间东营市在湿地利用方面集约度提高, 这与东营市 2018 年发布的《东营市湿地保护条例》密切相关。

1980~2000 年, 东营地区湿地的信息维与容量维的比值 D_1/D_0 是逐步减少的, 这说明湿地土地利用形态的差异性在增大, 即湿地的利用存在区域的不协调性。2010~2018 年, 湿地的信息维与容量维的比值 D_1/D_0 又有增加的趋势, 这说明在 2010~2018 年间, 东营市加强了对湿地利用的管理, 使湿地的利用集约度在一定程度上得到了提高。

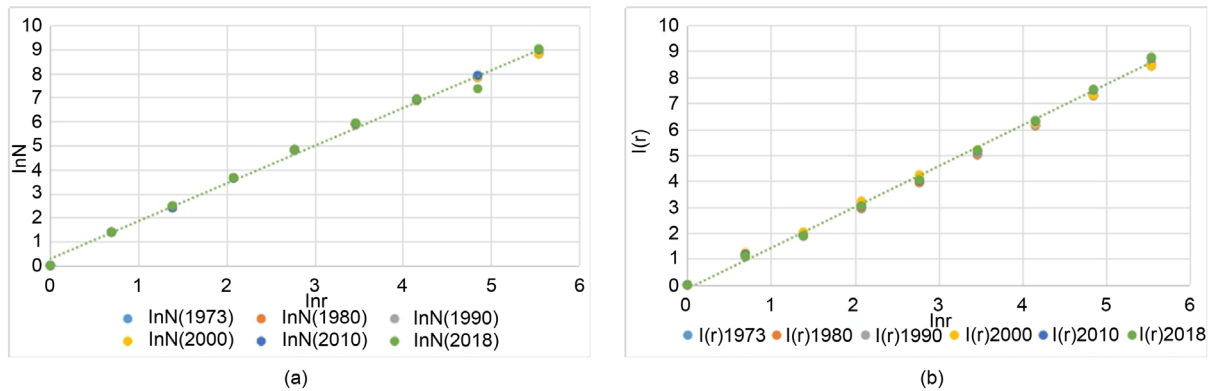


Figure 4. 1973-2018 wetland capacity and information maintenance in Dongying City. (a) Double logarithm diagram of D_0 capacity dimension estimation of Dongying City from 1973 to 2018; (b) Single logarithm diagram of D_1 information dimension of Dongying City from 1973 to 2018

图 4. 1973~2018 年东营市湿地容量维和信息维。(a) 1973~2018 年东营市容量维 D_0 估计双对数图; (b) 1973~2018 年东营市信息维 D_1 估计单对数图

5. 讨论

本文具有以下新意: 第一、在前人研究的基础上将城镇体系的分形研究模型推广到湿地的分形研究中。第二、基于遥感数据, 利用分维分析的方法, 将城镇和湿地的分形研究结合起来, 从静态和动态两个方面系统的分析了城镇和湿地的分形特征及其相互关系。第三、本文利用长时间序列的数据, 系统的研究了 1973~2018 年 45 年间的城镇和湿地的空间形态, 并进行了长期的动态分析。

研究过程也存在一些问题, 主要不足与改进意见如下。第一、本文依据行政区划边界确定城镇用地和湿地研究区的范围。如果要从景观的角度研究城市结构必须摆脱行政地域单元, 选择客观的、基于距离和景观的城区范围作为研究区[6], 但是由于数据变动性等现实因素的影响, 本文仍把行政区划边界作为研究区范围确定的依据。第二、由于东营市湿地的数据量太大, 在利用 ARCGIS 软件创建网格时只能生成 9 个网格层次这与城镇用地的 10 个网格层次不对应, 可能对数据结果产生一定的影响。第三、本文只选用容量维和信息维两个测算标准进行分形研究, 实际上分形研究还需要计算更多矩次的广义维数才能更精确的确定。第四、数据质量问题。严格的说湿地的分形维数应该是大于城镇的, 否则违背空间优化的原则, 但是 1973 年的数据结果却呈现出相反的结果, 这一现象除了具有自然的现实因素存在, 还应与数据的精确度有关, 下一步希望可以借助更加精确的数据进行分析。

6. 结论

虽然本文存在一些不足但总体的效果还是令人满意的, 本文从东营市城镇体系的空间分布的现状出

发,通过对东营市城镇用地和湿地的容量维和信息维的结果表明:

第一、东营市城镇用地和湿地都存在分形特征,但湿地的分形特征不如城镇的分形特征明显。分形是大自然的优化结构,分形体能够最有效地利用空间[11],多分形体发育地区也是城镇空间体系健全地区。这说明东营市城镇优化结构比湿地的优化结构要好,即城镇土地利用的集约程度要高于湿地的土地集约利用程度。

第二、城镇用地属于以显性双标度为特征的双分形结构,即自仿射结构;湿地属于具有自相似特征的单分形结构,即自相似结构。城镇用地空间形态出现显性双标度现象的原因与城镇发展区域不协调有着密切关联,即土地利用密度高的区域和土地利用密度低的地区形成了不同的分形,尤其表现在中小城市的发育与大城市不同步。

第三、城镇用地和湿地的空间结构和等级结构存在不协调的现象,但都有向一体化演化的规律。1973~2018年城镇的容量维逐步从自仿射向自相似转变,这表明城镇的土地利用填充度在逐步增强。

第四、湿地的分形维数是大于城镇用地的分形维数的。这也充分说明了湿地的土地空间分布的复杂程度高于城镇用地的空间分布复杂度。在空间分布层面上,湿地遍布东营市的东部沿海地带和境内的黄河沿岸地带,远比城镇的空间分布要复杂的多。

第五、1973~2018年间,湿地的容量维和信息维在小范围内是波动上升的,且在2010年和2018年间有明显增大的趋势,这说明在2010~2018年间东营市在湿地利用方面集约度提高,这与东营市2018年发布的《东营市湿地保护条例》密切相关。

7. 建议

根据本文所述的特点和问题,提出以下几点建议:第一、由于历史发展和自然因素的限制,东营市的城镇体系还不完善,存在不均衡发展的现象,且发展水平与全国经济发达地区相差较远,因此应注重发展中小城市,完善城镇发展体系。第二、应扩大中心城区的发展规模,以充分发挥中心城区的辐射扩散作用。东营市虽然为黄河三角洲的核心地带,具有发展的各方面基础条件和绝对优势,但其中心城区地位尚不明显,因此应大力培育中心城镇,选择发展潜力大、基础条件好的城镇着力发展。第三、应充分发挥湿地的生态功能,对当地的生态资源开发进行合理规划,同时要加紧对已遭到破坏的湿地的修复进程,对于不同的湿地利用现象制定具有针对性的修复计划,实现生态平衡。第四、湿地的恢复工作应从人工湿地恢复与自然湿地恢复两方面进行,尤其应加强除新生湿地外的蚀退湿地等湿地类型的恢复工作,改善湿地恢复工作的单一性和局限性。

参考文献

- [1] 刘军伟,申怀飞,吴国玺,魏帅领. 河南省城镇体系空间结构分形特征分析[J]. 资源开发与市场, 2012, 28(2): 137-140.
- [2] 陈彦光,刘继生. 中心地体系与水系分形结构的相似性分析——关于人-地对称关系的一个理论探讨[J]. 地理科学进展, 2001(1): 81-88.
- [3] 刘继生,陈彦光. 河南省城镇体系空间结构的多分形特征及其与水系分布的关系探讨[J]. 地理科学, 2003(6): 713-720.
- [4] 赵小萱,韩美,于佳,刘莉,李高伟. 基于遥感影像的黄河三角洲湿地退化研究[J]. 人民黄河, 2016, 38(4): 59-64.
- [5] 陈彦光. 城市地理研究中的单分形、多分形和自仿射分形[J]. 地理科学进展, 2019, 38(1): 38-49.
- [6] 黄琳珊,陈彦光,李双成. 京津冀城镇用地空间结构的多分维谱分析[J]. 地理科学进展, 2019, 38(1): 50-64.
- [7] 赵静湉,陈彦光,李双成. 京津冀城市用地形态的双分形特征及其演化[J]. 地理科学进展, 2019, 38(1): 77-87.
- [8] 陈彦光. 分形城市系统的空间复杂性研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京大学, 2004.

-
- [9] 陈涛, 陈彦光, 王永洁. 城镇体系相关作用的分形研究[J]. 科技通报, 1997(4): 30-34.
- [10] 陈彦光, 罗静. 城镇体系空间结构的信息维分析[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 1997(1): 68-73.
- [11] 赵宗彦, 丁莉兰. 一门当代大学生必修的新学科——评《分形论——奇异性探索》[J]. 大学物理, 1994(5): 43-44+47.