

中国城市人口、土地和产值的分维关系研究

吴 丽¹, 杨保杰², 吴次芳¹

(1. 浙江大学 东南土地管理学院, 杭州 310029; 2. 杭州经济技术开发区建设局, 杭州, 310018)

摘 要:利用城市结构的分形模型和城市产出的 C-D 模型, 从国家、区域和典型城市三个层面对 1983—2006 年我国城市人口、土地和产值三者之间的非线性关系进行了分析。结果显示: 我国大部分城市在研究时段内具有分形特征, 标度因子值均为分维, 大部分城市系统在向结构优化的方向发展。

关键词:分形模型; 城市人口; 城市土地; 城市产出; C-D 函数; 动力相似性分析; 中国

中图分类号: F061.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-980X(2008)04-0050-07

1 文献回顾

在当前城市地理学研究领域, 分形理论的引入使得地理学定量分析进入了一个全新的发展阶段, 其研究涉及城市内涵的方方面面, 包括城市形态的模拟研究、城市等级结构分布研究(规模-位序法则的广泛应用)、城市结构的量化研究、城乡人口异速增长与城市化研究等。王新生等对中国特大城市空间形态变化的时空特征进行了研究, 主要借助 GIS 软件的支持对城市平面轮廓形状的分维、紧凑度和形状指数以及城市的用地扩展类型进行了研究^[1]; 陈彦光、常静等都对城市规模-产出关系的分形性质与分维特征进行了研究^[2-4]; 谈明洪、吕昌河以城市建成区面积来表征中国城市的规模分布特征^[5]; 陈彦光、罗静对郑州市的城市分形结构进行了动力相似性分析^[6]; 陈彦光、郭红建对城市化与 Logistic 方程参数进行了初步探讨^[7]; 陈彦光、靳军、余国忠等则对河南省城市化进程进行了异速生长分析^[8]; 刘明华、陈彦光等则对人口与城市面积间的分形关系作了详细研究^[9-11]; 陈彦光、刘继生则对我国豫北地区城镇规模分布的分形进行过类似研究^[12]。

本研究是在已有研究的基础上, 以我国全国、各省区和典型城市的数据为基础, 对典型年份进行分区域的时空对比研究, 以期更为直观地反映我国城市结构演变的规律。具体而言: 考察中国的城市人口、土地和产出关系的动力相似性质(dynamic simi-

larity), 并对区域人口与城市用地(面积)的异速生长关系(allometric growth)进行时空对比分析(借助历史性公理, 即时间平均=相平均=空间平均, 利用相空间的维数之比来揭示实空间的地理系统结构特征)。相对于前人研究而言, 本研究从多因素的角度丰富了异速生长模型, 并探索性地对中国城市结构的时空演变分形特征进行分析, 旨在为更深入地理解我国城市结构的内部演变规律提供一定的参考依据。本研究的数据主要来源于《中国统计年鉴》(1984—2007 年各年)。

2 方法说明

2.1 城市结构的分形模型

我们可以从一般的地理系统出发, 导出城市结构的分形模型。对于一个自治的城市动力系统, 可用如下微分方程组对其进行描述和定义:

$$\frac{dx_i}{dt} = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式(1)中, x_i 表示城市要素 i 的某个测度, n 为要素总数。在只考虑 i, j 两个变量的最简单情况下, 式(1)经泰勒级数变换并约简后, 可得方程组(2):

$$\frac{dx_i}{dt} = a_i x_i, \quad \frac{dx_j}{dt} = a_j x_j \quad (2)$$

方程组(2)中, a_i, a_j 分别为要素 i, j 的相对增长率。由方程组(2)可得城市异速生长的关系式:

收稿日期: 2008-01-02

作者简介: 吴丽(1981—), 女, 湖北潜江人, 浙江大学东南土地管理学院博士研究生, 主要研究方向: 土地资源管理及土地社会学; 杨保杰(1979—), 男, 河南平顶山人, 主要研究方向: 建筑工程管理、房地产管理; 吴次芳(1954—), 男, 浙江温州人, 浙江大学东南土地管理学院教授, 博士生导师, 主要研究方向: 土地资源管理、土地利用规划、房地产等。

$$\frac{dx_i}{dt} = a_{ij} \frac{x_i}{x_j} \frac{dx_j}{dt} \quad (3)$$

借助链锁法则求解式(3)可得到:

$$x_i = {}_j x_j^{a_{ij}} \quad (4)$$

式(4)便是常用的异速生长模型,其中 $a_{ij} = a_i/a_j$, 为标度因子(或称为异速生长系数), j 为比例系数。假定 x_i 的广义维数(即相空间中的维数)为 D_i , x_j 的广义维数为 D_j , 由几何测度关系则应有: $x_i = x_j^{D_i/D_j}$, 与式(4)进行函数比较, 可得如下分维方程:

$$a_{ij} = a_i/a_j = D_i/D_j \quad (5)$$

因此在理论上可认为,地理系统要素的广义维数之比在原则上等于它们的相对增长率之比,在数值上则决定了异速生长系数的大小,只要标度因子不为整数或整数之比,就可认为 D_i 、 D_j 中至少有一个是分维的,从而系统具有分形性质。

2.2 城市产出的 C-D 模型

城市要素 x_i 与产出 Y 的关系还可以定义为如下形式:

$$Y = kf(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (6)$$

式(6)中, Y 表示产出, k 为产出系数。如果系统是分形的,经求导变换,可由式(6)得如下模型:

$$Y = \mu \prod_{i=1}^n x_i^{\alpha_i} \quad (7)$$

式(7)便为表征城市要素 - 产出关系的 Cobb-Douglas 函数,其中, μ 为生产系数, α_i 为城市要素 - 产值的弹性系数, $\alpha_i = d \ln Y / d \ln x_i$, 则有:

$$Y = C x_i^{\alpha_i} \quad (8)$$

式(8)中, C 为常数, α_i 具有广义的分维性质。若令 $x_i = S$, 表示城市规模,并以城市人口为测度,令 $b = \alpha_i$, 则有:

$$Y = CS^b \quad (9)$$

式(9)中, C 是比例系数, $b = \alpha_i$ 具有分维意义。若假定 Y 为 d_1 维、 S 为 d_2 维,则只要 b 不为整数或整数之比,系统就是分维的。考察 b 的临界值,可将式(9)两边同除以 S , 令 $y = Y/S$, 则有 $y = Y/S = CS^{b-1}$ 。

由此易见, $b = 1$ 是一种临界状态:当 $b = 1$ 时,则城市产值 Y 与城市规模 S 同速增长;当 $b > 1$ 时,则城市产值 Y 的相对增长速率较城市规模 S 要快;当 $0 < b < 1$ 时,则城市产值 Y 的相对增长速率较城市规模 S 要慢;特别是当 $b < 0$ 时,则城市产值 Y 随城市规模 S 的扩大而减少,这种情况一般不会发生。只有满足 $b > 1$ 时,当城市规模 S 扩大时,城市人均

产值才会增长,也只有城市人均产值能够实现增长,扩大城市规模才有意义。

当取 $Y = Y(t)$ 、 $S = S(t)$ 为时间序列时,式(9)则为城市规模与产出的动力相似模型(t 为时间);当取 $Y = Y(k)$ 、 $S = S(k)$ 为空间序列数据时,式(9)便是弹性相似模型(k 为城市位序),其均具有自相似性。

2.3 研究模型及参数意义

城市产出的 C-D 函数经变换可成为其他的二变量形式或多变量形式,如借助异速生长关系模型,即式(4)。可将式(7)变换为如下形式:

$$Y = x_i^{d_i} x_j^{d_j} \quad (10)$$

而变换后的式(8)、式(10)都是 C-D 函数的常用表现形式,式(10)中, d_i 、 d_j 均为参数。

C-D 函数具有独特的自仿射性质,当单纯考虑某个要素和产出的关系时,其他要素的信息皆“压缩”在系数 C 或参数 α_i 中,这为利用少数变量来分析复杂的城市动力系统提供了重要的理论基础和模型范例。

现用 P 表示城市人口,用 A 或 S 表示建成区面积,用 Y 表示城市产出,则可得到城市人口 - 城区面积的异速生长关系式:

$$A = aP^b \quad (11)$$

由式(8)可得城市人口与产出的弹性关系式:

$$Y = C_1 P^{\alpha_1} \quad (12)$$

以及城区面积与产出的弹性关系式:

$$Y = C_2 A^{\alpha_2} \quad (13)$$

由式(10)可得城市产出的 C-D 函数:

$$Y = P^{d_1} A^{d_2} \quad (14)$$

式(11)、式(12)、式(13)、式(14)中, a 、 b 、 C_1 、 C_2 、 α_1 、 α_2 均为参数,将式(12)、式(13)进行乘法及开方运算,可得:

$$Y = \sqrt{C_1 C_2} P^{1/2} A^{2/2} \quad (15)$$

将式(15)与式(14)相比,可得系数 $\alpha_1 = \sqrt{C_1 C_2}$, $d_1 = 1/2$, $d_2 = 2/2$ 。

假定相应于 P 、 A 、 Y 的广义维数分别为 D_p 、 D_a 、 D_y , 则由其几何测度关系可知: $b = D_a/D_p$, $\alpha_1 = 2d_1 = D_y/D_p$, $\alpha_2 = 2d_2 = D_y/D_a$ 。由此可推出: $b = \alpha_1/\alpha_2 = d_1/d_2$, 因此只要 b 不为整数或整数之比,则 d_1 、 d_2 都具有分维性质。

3 中国城市结构的分形特征

3.1 参数选择

参数选择必须遵循可测性、目的性、稳定性及适

时性的原则,基于此,本文选择城镇人口(排除流动人口)、建成区面积(具有适度的景观含义)及第二和第三产业总产值(代表城区内部产值和其所处的社会经济发展阶段)来表示城市人口、城区面积和城市产出,时间序列为 1983—2006 年,期间长度 24 年。在对全国各省区的城市结构特征进行时空对比研究时,因有些年份的统计数据缺失,有些时段如 1986—1995 年仅采用了城市人口和建成区面积的相关数据进行了相应分析。

3.2 城市结构分析

3.2.1 基于全国层面的动力相似模型分析

在确定指标后,利用前述的动力相似性模型对

我国城市结构进行分析。将全国数据的点列 $(P(t), A(t))$ 、 $(P(t), Y(t))$ 、 $(A(t), Y(t))$ 分别标绘在 $\ln-\ln$ 坐标图(见图 1)中,可发现其呈对数线性分布趋势。利用最小二乘法计算参数,可得基于全国层面的城市动力相似模型如下:

$$A = (9.29545E-05) P^{1.8057}; \tag{15}$$

$$Y = (9.9123E-15) P^{4.0622}; \tag{16}$$

$$Y = 0.00023A^{1.9429}。 \tag{17}$$

由式(16)、式(17)可得中国城市人口、土地与产值的 C-D 函数:

$$Y = (1.4979E-09) P^{2.0311} A^{0.9715}。 \tag{18}$$

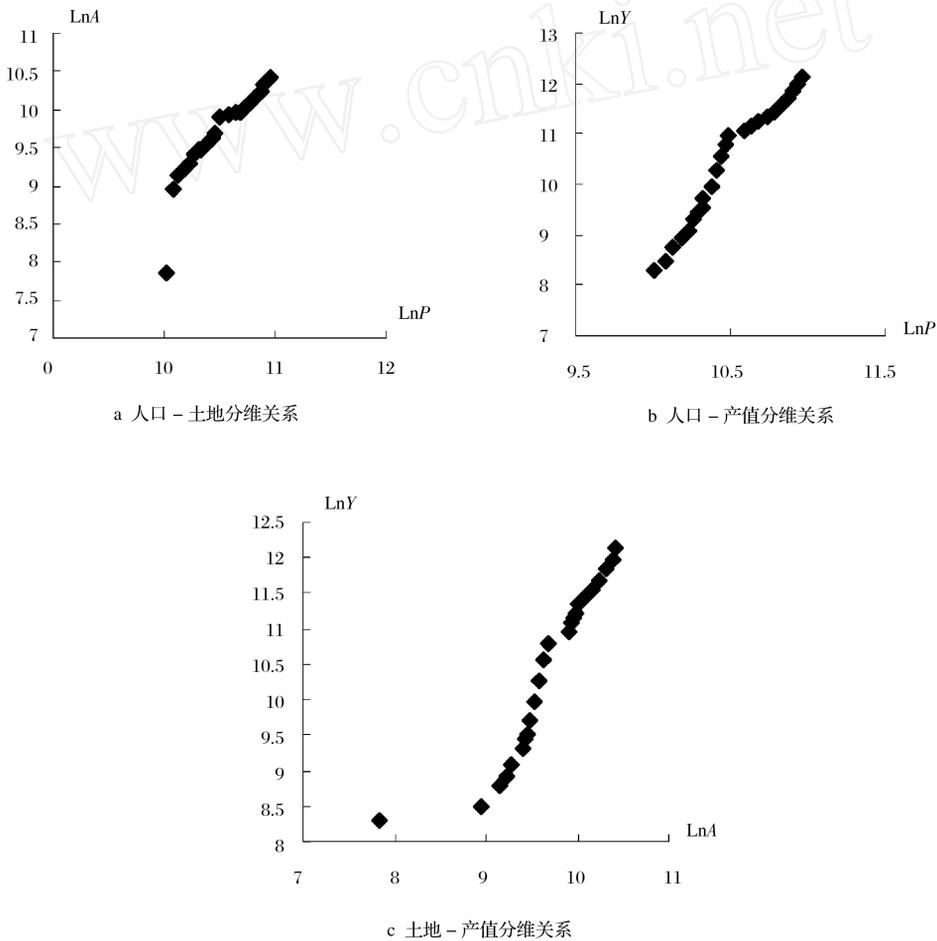


图 1 我国城市人口、城市建成区面积以及第二和第三产业总产值的双对数坐标图(1983—2006)

依据式(15),考察 b 值及其他参数: $b = 1.8057$
 2.0000 , $1/2 = d_1/d_2 = 4.0622/1.9429 = 2.0908$ 。满足方程 $b = 1/2 = d_1/d_2$,由此可得出中国城市结构具有自仿射分形结构的结论。且 $Da/Dp = 1.8057$, $Dy/Dp = 4.0622$, $Dy/Da = 1.9429$,均非整数或整数之比,说明系统是分维的。

但从人口 - 产值、土地 - 产值的关系来看,二者的动态弹性系数值仍然相当高,部分原因是因为第二和第三产业总产值是按当年价格统计的,产值中隐含有通货膨胀的影响。同时,人口 - 产值弹性大于土地 - 产值弹性,因此对于第二和第三产业总产值而言,扩大人口规模相对于扩大土地面积能带来

更大的经济效益,这也表明我国城市的发展不应以片面追求城市面积扩大为目标,应合理地进行城市规模的规划,并对劳动力进行合理引导,避免因人口过多而产生负效应。此外, b 值从理论上不应大于1,否则便意味着城市系统的时空结构不协调,即城市规模越大,人均用地越多,从而造成土地的浪费。而在本研究中, $b=1.8057 > 1$,这说明我国城市整体水平上土地的集约利用度不高,土地资源的利用可能存在浪费。

3.2.2 基于区域层面的动力相似模型分析

从区域层面(以省市为单位)对我国城市结构进行动力相似分析,考察时间段分为两个:1986—1995年

表1 1986—1995年我国各省会城市的城市人口-城市面积动力相似分析结果

城市	b	R^2	城市	b	R^2
北京	0.666 3	0.958 0	郑州	0.640 8	0.903 0
天津	0.720 8	0.981 9	武汉	0.185 8	0.201 6
石家庄	0.814 4	0.805 4	长沙	0.663 2	0.907 7
太原	0.006 5	0.127 2	广州	0.909 7	0.902 9
呼和浩特	0.806 9	1.000 0	南宁	0.428 9	0.917 2
沈阳	0.210 3	0.446 7	成都	0.739 8	0.924 7
大连	0.854 8	0.481 8	重庆	0.504 7	0.090 1
长春	0.470 3	0.981 8	贵阳	0.090 8	0.778 7
哈尔滨	0.239 8	0.475 9	昆明	0.748 1	0.942 1
上海	-0.261 1	0.738 8	拉萨	0.176 6	0.472 6
南京	0.815 8	0.961 6	西安	0.265 8	0.113 2
杭州	0.827 3	0.997 2	兰州	0.040 7	0.873 8
合肥	0.562 5	0.994 1	西宁	0.254 2	0.495 4
福州	0.772 6	0.991 2	银川	0.430 1	0.954 4
南昌	0.399 6	0.777 7	乌鲁木齐	0.685 8	0.926 6
济南	0.717 3	0.876 5			

从表1中各省会城市(包括直辖市)的城市面积-人口动力相似分析结果可知,在1986—1995年这10年期间,只有上海市的 b 值为负,而负值所表达的含义是:城市人口越来越少,而城市建成区面积却愈来愈大。显然,这与上海市的实际情况不相符。在考察了原始数据后发现,上海市在1994年和1995年所统计的城市人口密度由1993年的11946人/平方公里分别骤降为2048.4人/平方公里和2053人/平方公里,其原因可能是统计口径和方法的差异所致,而并非城市本身的结构出现异变。

除此之外,全国其他30个省会城市(包括直辖市)的 b 值均在区间(0,1)内,且不为整数。表2为几个其他国家的城市人口-城区面积的异速生长模型及参数,其可为本文 b 值的判断提供参考标准。

对比表1和表2可发现:整体上,我国各省会城

和1996—2006年。其中,前一时段主要从各省会城市的城市人口-城市面积的角度来进行研究,后一时段的研究则结合了城市产出因素。具体分析方法与基于全国层面的动力相似模型分析相同,在此不再赘述。研究结果如下:

(1)1986—1995年我国各省会城市(包括直辖市)的动力相似分析 该时段的分析以北京市的计算过程为例来说明,其他城市类似。北京市的动力相似模型如下所示:

$$A = 0.043175 P^{0.6663}, R^2 = 0.958.$$

1986—1995年我国各省会城市人口-城市面积动力相似分析结果见表1。

市的 b 值基本与世界典型国家城市人口-城区面积的 b 值接近,具有一定的理论和实践意义上的合理性。同时,参考已有的研究结果可知,当 b 值在(0.7,1)^[1]之间时,城市具有最为优化的体系结构发展特征。从这一角度来看,北京、天津、广州、大连、杭州、南京、石家庄、呼和浩特、福州、昆明、成都、济南和乌鲁木齐这13个城市在1986—1995年这10年间的城市系统具有明显的分形特征,其时空结构协调,城市规模愈大则人均用地愈少,土地资源得到了高效利用。从城市发展策略的角度来看,这也恰好证明了我国的城市发展应坚持“大城市”、“大都市”的方针。

(2)1996—2006年我国各省(包括直辖市)的动

城市人口数据由城区面积和城市人口密度计算而得。

本研究没有考虑我国香港地区、台湾地区、深圳市和海口市的情况

表 2 典型国家城市人口 - 城区面积的动力相似分析结果^[13]

国家	年份	模型	相关系数
英格兰和威尔士		$A = 0.4140P^{0.3750}$	$r = 0.870$
美国	1950 年数据	$A = 0.00126P^{0.8600}$ $R = 0.0200P^{0.4300}$	$r = 0.927$
	1960 年数据	$A = 0.00151P^{0.8757}$ $R = 0.2190P^{0.4400}$	$r = 0.922$
日本	1960 年数据	$A = 0.00028P^{0.9140}$ $R = 0.00946P^{0.4600}$	$r = 0.976$
瑞典	1960 年数据	$A = 0.0085P^{0.6640}$ $R = 0.0530P^{0.3320}$	$r = 0.976$
	1965 年数据	$A = 1.3000P^{0.6040}$ $R = 1.4400P^{0.6500}$	$r = 0.889$
加拿大	1960 年数据	$R = 0.0292P^{0.437}$ $A = -0.42 + 0.87 \ln p$	$r = 0.987$
中国	1953 年数据	$A = 0.000013P^{0.6640}$	

资料来源:由作者整理得。

力相似分析 该时段的动力相似分析亦以北京市的计算过程为例来进行说明,其他省会城市类似。北京市的动力相似模型如下所示:

$$A = 0.0015P^{0.9068}, R^2 = 0.9265;$$

$$Y = 0.0006P^{1.0715}, R^2 = 0.8802。$$

$$Y = 2.3413A^{1.0796}, R^2 = 0.7931;$$

我国各省的动力相似模型计算结果见表 3。

表 3 1996—2006 年我国各省城市人口、城市面积和城市产出的动力相似模型分析结果

省市	b	R^2	1	R^2	2	R^2	$2/1$
北京	0.9068	0.9265	1.0715	0.7931	1.10796	0.8802	0.9925
天津	-0.6660	0.3465	-1.6775	0.9427	3.0507	0.2227	-0.5499
河北	0.6831	0.9715	1.7741	0.9769	2.5846	0.9583	0.6864
山西	0.9810	0.8325	0.9632	0.2437	7.4550	0.1034	0.1292
内蒙古	0.1743	0.7372	0.7837	0.9530	4.3814	0.7401	0.1789
辽宁	0.8415	0.9560	3.5641	0.9833	4.2747	0.9227	0.8338
吉林	0.8274	0.7754	3.8865	0.7923	4.1859	0.7736	0.9285
黑龙江	0.1919	0.7212	1.1899	0.7998	5.1601	0.8326	0.2306
上海	0.2730	0.1189	0.2773	0.8758	1.5924	0.0423	0.1741
江苏	1.4282	0.2747	2.6863	0.9531	1.5221	0.3998	1.7649
浙江	0.8147	0.8565	1.3340	0.9633	1.5444	0.9274	0.8638
安徽	0.9430	0.9065	2.1465	0.9684	0.1070	0.9591	20.0607
福建	0.3488	0.1951	-0.2648	0.0001	-0.0060	0.3269	44.1333
江西	0.1207	0.5850	0.3968	0.8139	2.4333	0.8685	0.1631
山东	0.5726	0.9514	0.9507	0.9842	1.6714	0.9241	0.5688
河南	0.2326	0.8348	0.5029	0.9916	2.1330	0.8501	0.2358
湖北	-0.0221	0.0033	1.4256	0.3135	-2.5728	0.6423	-0.5541
湖南	0.5137	0.9530	1.0904	0.9471	2.1564	0.8744	0.5057
广东	0.6884	0.7944	0.9614	0.9523	1.3675	0.789	0.7030
广西	0.3692	0.9399	0.9857	0.8970	2.5652	0.9137	0.3843
海南	0.1777	0.1260	0.1075	0.0664	-0.4517	0.015	-0.2380
重庆	0.4672	0.9374	0.5251	0.9519	1.1676	0.8268	0.4497
四川	-0.4380	0.3393	0.896	0.8016	-1.74750	0.3727	-0.5127
贵州	0.1924	0.7769	0.788	0.4855	3.00745	0.7007	0.2622
云南	0.4603	0.9408	0.7011	0.9843	1.4999	0.9551	0.4674
西藏	0.0230	0.2141	1.3103	0.0308	7.1686	0.4170	0.1828
陕西	0.4330	0.8063	1.0282	0.6903	1.9042	0.8658	0.5400
甘肃	0.0529	0.7883	0.1983	0.8661	3.7302	0.6895	0.0532
青海	0.0114	0.1209	0.120	0.9194	7.32545	0.2311	0.0164
宁夏	-0.3037	0.0538	-0.288	0.9575	1.34597	0.0257	-0.2145
新疆	0.0378	0.9079	0.3293	0.9156	3.1099	0.8299	0.1059

注: b 表示城市人口 - 城市面积动力相似模型的标度因子, 1 表示城市产出 - 城市面积动力相似模型的标度因子, 2 表示城市产出 - 城市人口动力相似模型的标度因子, R^2 为各项拟合度的检验值。

从省域层面来考察我国城市体系的结构特征,可能不如基于单个城市层面那般明显,但这样做可以反映出全国以省区为单位的空间联系及其在结构

体系层面的变化。探讨其是否具有明显的自相似性是本研究的目所在。周一星^[14]曾于 1984 年对我国 285 个城市的规模 - 产出之间的关系进行了详细

研究,认为人均产值和职均产值的综合拟合效果以幂指数的分形模型为佳,其模型为: $Y = 387.6154S^{1.2775}$,广义维数 $b = 1.2755 > 1$ 。这一结果表明我国的城市在 1984 年便具有向混沌边界演化的趋势。

在 1984—2006 年期间,我国以省区为单位的城市体系特征是否会发生变化,其判断依据主要在于 $1/2$ 和 b 值之间的对比关系:若 $1/2$ 恰好等于或接近 b 值,则可判断我国省域层面的城市结构具有自仿射的分形结构;若相差太多,则表明我国的城市发展还未形成合理的体系。

首先,通过分析 1996—2006 年这 11 年间我国各省市的城市人口-城区面积动力相似模型的 b 值可发现: b 值在 $(0.7, 1)$ 之间的省市有北京、山西、辽宁、吉林、浙江和安徽; b 值较接近 0.7 的省份有河北、山东和广东; b 值大于 1 的省份是江苏; b 值为负的省市有天津、湖北、四川和宁夏自治区。为了辨别各省市 b 值可能存在的误差,我们对原始数据进行了考察。经考察发现:在 1996—2006 年期间,天津市的人口密度由 2001 年的 1388 人/平方公里突降为 2002 年的 831 人/平方公里,而湖北省的建成区面积呈现出逐年递减的趋势,由 1996 年的 1539.79 平方公里减少为 2006 年的 1298.1 平方公里,四川省的人口密度由 2002 年的 515 人/平方公里骤降为 2003 年的 237 人/平方公里,宁夏回族自治区的城市人口也在逐年减少。再结合具体的行政区划变动情况进行分析:四川省人口密度降低的原因可能是重庆作为直辖市被划分出去而导致四川省的人口密度突变,因此 b 值无法反映其实际的城市体系特征;湖北省建成区面积的减少和天津市人口密度的突降,也可能是由于统计口径和方法的差异引起的;此外,宁夏回族自治区城市人口的减少则是近年来人口的大规模外迁造成的。因此,从此角度来看, b 值基本能真实地反映我国省域层面的城市体系发展特征。

其次,对 1_1 、 1_2 这一组反映城市产出与规模之间关系的参数进行考察可发现:我国绝大多数省份的 b 值都大于 1,即城市产值的相对增长速率快于

城市规模,城市发展政策中扩大城市规模为有效方式;而天津、福建、湖北、四川、宁夏五省市的 1_1 值、 1_2 值为负,其原因除了前文分析的因素外,还在于福建、湖北、四川等省的产值受 1998 年洪水的影响而发生骤降,此异常点未被剔除所导致。

最后,通过分析 $1/2$ 和 b 值之间的对比关系可知:山西 $(0.1219 \quad 0.981)$ 、上海 $(0.1741 \quad 0.273)$ 、江苏 $(1.7649 \quad 1.4282)$ 、安徽 $(20.0607 \quad 0.943)$ 、福建 $(44.1333 \quad 0.3488)$ 、湖北 $(-0.5541 \quad -0.0221)$ 、海南 $(-0.2380 \quad 0.1777)$ 、四川 $(-0.5127 \quad -0.438)$ 、陕西 $(0.540 \quad 0.433)$ 、西藏 $(0.1828 \quad 0.023)$ 、宁夏 $(-0.2145 \quad -0.3037)$ 、新疆 $(0.1059 \quad 0.0378)$ 等 12 省市的 $1/2$ 和 b 值有较大的差异,而其他 19 个省市则较为接近。

从城市分形结构的角度来看, $1/2 < b$,则表明该城市(省份)的体系结构基本形成,并向着良好的方向演进。可见,该类型的省市包括:北京、天津、河北、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、浙江、江西、山东、河南、湖南、广东、广西、重庆、贵州、云南、甘肃、青海)。而其余差异明显的 12 个省市理论上显示其城市还处于相对病态的发展阶段,剔除天津、四川和湖北三省市原始数据的影响,其余 9 省市的城市体系具有真正意义上的不完善特征,其中最为明显的是安徽省和福建省,两省城市人口-产值的弹性远远大于城市土地-产值的弹性,这意味着两省城市人口对产值的贡献率要高于城市土地对产值的贡献率,反映出其土地利用正处于相对粗放和不节约的状态,同时也说明了引进劳动力比扩大城市土地规模能带来更大的经济效益。而这与国际城市发展的普遍规律(即土地对城市产值的贡献率通常高于人口对产值的贡献率)相左,从另一侧面也反映出安徽省和福建省的城市结构体系发育不完全。

3.2.3 基于典型城市的动力相似模型分析

根据时间序列的连续性特点,对北京、天津、上海和重庆这 4 个典型的特大直辖市进行动力相似模型分析(已剔除异常点的影响),以期为分时段分析进行相应的补充。表 4 是 1986—2006 年上述 4 个城市的动力相似模型分析结果。

表 4 1986—2006 年我国典型城市人口、面积和产出动力相似模型分析结果

城市	b	R^2	1_1	R^2	1_2	R^2	$1/2$
北京	0.781	0.685	1.682	0.743	1.768	0.819	0.951
天津	0.860	0.955	4.098	0.838	4.678	0.815	0.876
上海	1.976	0.857	4.129	0.934	1.983	0.888	2.082
重庆	1.038	0.890	1.041	0.730	0.935	0.747	1.113

注: b 表示城市人口-城市面积动力相似模型的标准因子, 1_1 表示城市产出-城市面积动力相似模型的标准因子, 1_2 表示城市产出-城市人口动力相似模型的标准因子, R^2 为各项拟合度的检验值。

由表 4 可知,北京、天津和重庆全时段的标度因子 b 取值在 $(0.7, 1)$ 间,而上海的 b 值则大于 1。这一结论与前文分时段的研究结果有一定出入。究其原因,除了因为城市人口计算方法存在差异外,还可能在于全时段分析会掩盖异常年份分析的结果,其反映了整个城市结构体系的演变趋势和特征。从这一角度来看,北京、天津和重庆的城市体系发育较正常,城市土地逐渐得到最高效的利用。而上海作为我国最大的城市之一,其全时段的标度因子 $b_{1986-2006} = 1.976 > 1$,稍偏高,对比分时段 b 值,即 $b_{1986-1995} = -0.2611$, $b_{1996-2006} = 0.273$,可见上海的人口增长与城市面积扩大在空间上还不十分协调。

再结合城市土地产出的因素来看, α_1 、 α_2 的值基本都大于 1(其中重庆的 α_1 值为 0.935,接近于 1),说明这 4 个城市的城市规模和产值基本相匹配。同时,比较 α_1/α_2 与 b 值,二者也基本相等,这充分说明城市具有自仿射性的分形结构,城市产出与城市面积、人口规模基本能保持协调发展,城市体系和结构处于良性发展。

4 结论和讨论

本研究从城市人口、面积和土地产值的角度对我国的城镇结构特征进行了分形分析,并从全国层面、省区层面和典型城市层面进行了分时段、分区域研究。得到的结论如下:

1) 从全国层面来看,我国城市在 1983—2006 年的发展中基本具有自仿射分形结构特点,系统呈现分维,但相空间与实空间维数还不十分匹配,土地资源的利用集约度水平整体还不够高。

2) 从区域和省级层面来看,1996—2006 年我国 19 个省市(北京、天津、河北、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、浙江、江西、山东、河南、湖南、广东、广西、重庆、贵州、云南、甘肃、青海)的城市体系结构基本处于良性的发展阶段。在考察城市产出因素后,得出的结论也基本一致,说明这些省市不论规模结构还是产出结构都十分优化。

3) 从单个城市层面来考察,1986—1995 年我国各省会城市的结构体系发育基本良好,其中北京、天津、广州、大连、杭州、南京、石家庄、呼和浩特、福州、昆明、成都、济南和乌鲁木齐这 13 个城市的发展态势最为优良。从 4 个典型的直辖市(北京、天津、上海和重庆)在 1985—2006 年的城市发展来看,其城市规模和产值相匹配,城市产出与城市面积和人口规模也基本能保持协调。

此外,本研究仍存在需进一步深入探讨的地方,归纳为以下三点:

1) 研究所采用的数据连续性和精确性有待进一步提高,特别是目前对通货膨胀因素的影响并未予以考虑。

2) 在结合产出因素后,部分省份出现了与实际情况有偏差的情况,说明动力相似分析方法对大范围的适宜程度不如单个城市良好,因此以城市为单位作为研究对象,可使研究结论更具有科学性。

3) 对于城市产出没有考虑土地构成的信息熵及城市产业结构的信息熵等,仅以第二和第三产业总产值来表示,应深入分析考虑此类因素的影响。

参考文献

- [1] 王新生,刘纪远,庄大方,等.中国特大城市空间形态变化的时空特征[J].地理学报,2005,60(3):392-400.
- [2] 陈彦光,周一星.城市规模-产出关系的分形性质与分维特征——对城市规模-产出幂指数模型的验证与发展[J].经济地理,2003,23(4):476-481.
- [3] 常静,李雪铭.修正后的城市系统异速生长方程实证研究——以大连市为例[J].地理科学,2004,24(4):406-412.
- [4] 陈彦光,周一星.基于 RS 数据的城市异速生长分析和城镇化水平预测模型:基本理论与应用方法[J].北京大学学报(自然科学版),2003,40(2):229-235.
- [5] 谈明洪,吕昌河.以建成区面积表征的中国城市规模分布[J].地理学报,2003,58(2):285-293.
- [6] 陈彦光,罗静.郑州市分形结构的动力相似分析——关于城市人口、土地和产值分维关系的实证研究[J].经济地理,2001,21(4):389-393.
- [7] 陈彦光,郭红军.城市化水平 Logistic 方程参数性质的初步探讨[J].信阳师范学院学报(自然科学版),1999,12(1):65-69.
- [8] 陈彦光,靳军,余国忠.河南省城市化进程的异速生长分析[J].信阳师范学院学报(自然科学版),1999,12(3):321-325.
- [9] 刘明华,陈彦光,单纬东.河南省城市人口-面积时空关联的分形特征.信阳师范学院学报(自然科学版),1999,12(2):204-209.
- [10] 陈彦光.城市人口-城区面积异速生长模型的理论基础、推广形式及其实证分析[J].华中师范大学学报(自然科学版),2002,36(3):375-380.
- [11] 陈彦光,许秋红.区域城市人口-面积异速生长关系的分形几何模型——对 Nordbeck-Dutton 城市体系异速生长关系理论的修正与发展[J].信阳师范学院学报(自然科学版),1999,12(2):198-203.
- [12] 陈彦光,刘继生.豫北地区城镇规模分布的分形研究[J].人文地理,1998,13(1):22-29.

(下转第 84 页)

期货市场发展与现货市场发展的结合,增强市场信息的透明度,改善现货的运输系统等,从而使中国的豆油期货市场与现货市场走上相互促进的良性发展道路。

参考文献

- [1] 董宛生,胡俞越,冯中越,等.中国商品期货价格形成理论与实证分析[M].北京:中国财政经济出版社,1997.
- [2] 刘晓宇.中国饲料工业期货的价格发现实证研究[J].中央财经大学学报,2006(11):43-47.
- [3] 王健,黄祖辉.中国大豆期货市场价格发现功能的实证研究[J].农业技术经济,2006(3):42-46.
- [4] 陶④,王献立.期货经济学教程[M].北京:商务印书馆,2003.
- [5] COLINS R A. Toward a positive economic theory of hedging[J]. American Journal of Agricultural Economics,1997,79:488-499.

Empirical Analysis on Function of Soybean Oil Futures in China

Chen Yusheng, Qiao Juan, Zhao Rong

(College of Economics & Management, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: Based on co-integration test, vector error correction model, impulse response function and variance decomposition model, this paper empirically analyzes the price-discovering function of soybean oil futures market in China. And through the analysis on basis risk and market liquidity, it studies the risk-evading function of it. The results show that the price-discovering function of soybean oil futures market in China has been basically exerted in the long term, and the risk-evading function has been gradually improved under the operation mechanism of futures market and comes into effect.

Key words: soybean oil futures; function of futures market; market effectiveness; empirical analysis; China

(上接第 56 页)

- [13] LEE Y. Allometric analysis of the US urban system: 1960-80[J]. Environment and Planning, 1989, 21 (4): 463-476.
- [14] 周一星.中国城市工业产出水平与城市规模的关系[J].经济研究,1988(5):74-79.

Study on Relationship between Population, Land and Output of China Based on Fractal Dimension

Wu Li¹, Yang Baojie², Wu Cifang¹

(1. Southeast College of Land Management, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China;
2. Construction Bureau of Hangzhou Economic Development Areas, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Based on the fractal model and the C-D function, this paper analyzes the non-linear relationship between urban population, urban land and output of cities in China during 1983-2006 from aspects of the nation level, the region level and the city level. The results show that, most of cities in China have the characteristics of the fractal patterns of self-affinity; the scale factor also has the characteristic of fractional dimension, and most cities system are moving toward the goal of structure optimization.

Key words: fractal model; urban population; urban land; output; Cobb-Douglas function; dynamic similarity analysis; China