

城市土地集约利用与城市化效率的时空耦合关系 ——以辽中南城市群为例

丛东来¹, 邱 晖²

(1. 哈尔滨学院 理学院, 哈尔滨 150086; 2. 哈尔滨学院 经济管理学院, 哈尔滨 150086)

摘要:基于耦合理论运用模糊层次分析法和 DEA 方法对辽中南城市群 1987—2012 年城市土地利用集约度和城市化效率进行测算, 然后采用耦合度和耦合效应指数进行二者耦合阶段、耦合效应的时空分析。结果表明: (1) 研究期内辽中南城市群城市土地利用处于基本集约阶段, 城市化效率呈波动上升态势, 城市土地集约利用和城市化效率的耦合度变化曲线为浅口“U”型。(2) 辽中南城市群处于弱耦合到强耦合的转化阶段。西强东弱的耦合度分布正转化为以东西方向为轴, 南北对称分布的格局。表现为以沈阳、大连为高值双核心, 沈大联系带上辽阳、鞍山、营口、盘锦为次高值分布, 东部为低值区域。(3) 耦合效应的变化趋势为从负效应到正效应的过程, 城市耦合效应长期存在东、西差异。2012 年城市群耦合效应出现“质”的变化, 全局协调性得到优化。(4) 大连的耦合阶段与耦合效应协调同步, 耦合作用促进城市发展; 沈阳、鞍山、盘锦耦合效益超前于耦合阶段, 应适当控制城市化步伐, 缓解用地压力, 提高社会效益; 其余城市大体处在较低耦合阶段, 耦合效应没有带来积极的发展红利。

关键词:城市土地集约利用; 城市化效率; 耦合; 辽中南城市群

中图分类号: K902

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2015)06-0298-09

Research on Spatiotemporal Development and Coupling of Intensive Urban Land Use and Urbanization Efficiency —Taking Mid-Southern Liaoning Urban Agglomerations as Example

CONG Donglai¹, QIU Hui²

(1. College of Science, Harbin University, Harbin 150086, China;

2. College of Economics and Management, Harbin University, Harbin 150086, China)

Abstract: Based on coupling theory, first using fuzzy AHP and DEA methods, we calculated the urban land use intensity and efficiency calculation of mid-southern Liaoning urban agglomerations from 1985 to 2010, then adopted the coupling and coupling effects index for temporal and spatial analysis. Results showed that: (1) from 1987 to 2012, urban land use of mid-southern Liaoning urban agglomerations was in the basic intensive phase, city efficiency fluctuated upward trend, and coupling of the two curves showed U shape; (2) mid-southern Liaoning urban agglomerations was at stage of the conversion of the weak coupling to strong coupling, coupled distribution in the west was weaker than in the east and coupling distribution pattern exhibited in east-west direction axis, north and south symmetrical distribution, Shenyang and Dalian have become a high value dual-core, and Liaoyang, Anshan, Yingkou, Panjin are the second highest value distribution, east keeps for low value areas; (3) the change of coupling effect is largely from negative to positive effects of process, differences in eastern and western area have existed for a long time; significant changes of coupling effect occurred in 2012, it had also helped optimize the entire coordination constantly. (4) with respect to Dalian, coupling phase synchronized with coupling effect, coupling effect had promoted urban development; with respect to Shenyang, Anshan and Panjin, coupling efficiency was ahead of the coupling phase; the rest cities are at the lower coupling stage, coupling does not bring positive development dividends.

Keywords: land-use intensification; urbanization efficiency; coupling; mid-southern Liaoning urban agglomerations

改革开放 30 a 来,我国快速的城市化进程反映了社会经济水平的整体提升和城市的发展进步。但受以往粗放的经济增长方式影响,城市发展主要依靠资源投入,土地城市化速度大大超过了人口城市化速度,这意味着城市经营活动中高消耗、低效率,高投入、低产出始的现象终是我国城市化进程中一个不能忽视的问题^[1]。在经历了城市发展中长期存在的“数量—规模”粗放增长以后,2013 年 12 月举行的中央城镇化工作会议明确提出了“提高城镇化效率、提高城市土地利用集约程度”的新型城市化要求。

城市土地集约利用着眼于用地结构、用地强度和用地投入产出,强调城市系统内经济、社会和环境效益兼顾,而城市化效率则是城市系统质量的直接体现。城市本身是一个多元耦合的复杂系统,一般来说,城市土地利用的高效集约可以提高城市化效率,城市化效率的提高又常常促进城市土地利用的紧凑度,城市土地集约利用和城市化效率之间存在动态发展的耦合关系。近年来,我国学者从不同视角对城市土地集约利用的内涵与指标体系^[2-3]、动力机制^[4-5]、评价方法^[5-6]等方面进行了研究;国内对城市化效率的研究主要集中在数据包络分析(DEA)的引入和检验^[7]、城市化效率的指标体系和测算^[8]、城市化效率的影响因素分析^[9]。上述研究都把城市土地集约利用和城市化效率作为独立的研究系统,较少对二者的耦合关系进行探讨。而耦合或协调关系的研究主要集中在经济发展、生态环境、城市化等方面^[10-12],且大多借用物理学中的耦合系数模型,偏重于对耦合或协调结果的分析,但是理论依据鲜有提及,概念上有耦合度、协调度、耦合协调度、协调发展度^[10-13]等诸多相似的提法。因此,本研究以辽中南城市群城市土地利用集约度和城市化效率的耦合关系为例,尝试运用耦合系统理论,探索系统耦合演化的时空规律。

1 耦合理论阐释

1.1 耦合与耦合系统

耦合的概念源自物理学,后来被广泛应用在通信技术、软件工程、生态学、地理学等众多领域。一般意义上的耦合是指两个或两个以上的系统通过各种相互作用而彼此影响的现象^[14]。在电子学中的耦合概念进一步强调了电子元件间输入与输出的彼此影响,并提出这种相互作用伴随能量的传输。在系统科学中,这种按照一定规则传输的能量即为 Bertalaniffy 在一般系统论中提到的内聚力的来源^[15],系统的内聚力

使其保持相对独立性,系统结构稳定,系统间的耦合力(交互作用)则使系统能量变化,导致系统结构优化或退化。受能量流动驱使,多个系统在功能和结构上发生耦合作用而形成的新系统称为耦合系统^[16]。

1.2 耦合系统的发展阶段

在 Bertalaniffy 为耦合系统建立了早期框架以后,Haken 在系统自组织过程的研究中提出,子系统间的耦合导致宏观的空间或时间有序结构^[17];Eigen 把控制论中的巨系统理论应用于机体自组织建立起超循环理论;Holland 提出复杂适应性系统(CAS)的创造性演化。这些现代系统理论从不同的角度揭示了耦合系统的形成、发展、衰退、消亡以及从一种结构向另一种结构、从低层次向高层次进化的过程。

以 Eigen 的超循环理论为基础,按照耦合作用发生的时序,健康的耦合系统一个发展周期可分为弱耦合、强耦合、解耦合、再耦合四个基本阶段。弱耦合阶段是系统演化初始时期,子系统的成长完全基因化,内聚力强,子系统间交互作用弱且相对独立的阶段;强耦合阶段是子系统发展膨胀,系统间融合共生或对抗冲突的阶段;解耦合阶段是在融合共生中,率先获得足够的发展能量的子系统摆脱原来的耦合体,进入新的进化路径,从而使原有的耦合作用消解灭失;再耦合阶段是在新的进化路径里,子系统为了积累能量而选择与其他系统会聚并超循环和耦合。自然系统中的生物进化和城市系统中的经济发展、城市化、人力资源培育等过程都存在类似的系统耦合的四阶段,只是与自然系统相比较,人文社会系统中存在复杂的人为干预,甚至能在一定程度上控制耦合系统的发展。认清耦合系统的发展阶段,有利于了解系统的特征和进化趋势,从而有效地进行系统发展预测和风险规避。

耦合系统的四个发展阶段可以用耦合度来定量划分。耦合度是指系统间相互作用、相互影响的程度,按照物理学耦合度的本义及其模型的数学含义,耦合度的大小只表示系统间相互作用的强弱,不表达这种相互作用是否合理、协调等含义。在理想状态下,耦合度将在时间序列中有规律的变化。具体研究中,应该结合系统发展实际情况,按照耦合度的值及其变化情况判断系统所处阶段。以两个子系统的耦合为例,系统耦合度模型如下:

$$\text{耦合度: } C = [U^k V^k] / [\alpha U + \beta V]^{2k} \quad (1)$$

式中: C ——系统耦合度; U 和 V ——不同系统的属性值; α, β ——待定系数,且 $\alpha + \beta = 1$; k ——调节系数,一般 $2 \leq k \leq 8$ 。本研究中, U ——城市土地利用集约度; V ——城市化效率。由于城市土地集约利用只是高效率城市化的部分体现,而城市化效率的内涵更丰富,考虑

到二者重要性不一致,所以本研究取 $\alpha=0.4, \beta=0.6$ 。耦合关系由城市土地利用集约度和城市化效率两个子系统构成,故 k 值取 2。由此易知 $0 < C < 1.085$,在弱耦合和强耦合阶段 C 值越大,耦合作用越强烈。

1.3 耦合效应及其测算

系统耦合作用一般来说会带来三种效应。一是正效应,即耦合使系统结构完善、功能增强,子系统间相互协调、相互激发形成综合效应,整个系统获得进化动力;二是负效应,即系统耦合时发生严重的结构错位、功能紊乱,导致系统运行不协调,系统退化;三是拮抗效应,对于复杂系统来说,正效应和负效应可能在系统的不同组分中发生,其作用效果取决于两种效应对耦合系统的影响程度,把这种由正、负效应对抗冲突造成总能量减少的耦合影响称为拮抗效应。很显然,正效应使耦合系统比其子系统具有更复杂的组织结构和更高的能量聚集;负效应使耦合系统结构不稳和能量散失;拮抗效应则要么放缓系统进化速度,要么使系统陷入逐渐衰退的境地。值得注意的

是,三种效应可以出现在耦合系统的任何发展阶段中,三种效应的共存是由系统耦合的复杂性决定的。正确处理三种效应的关系有利于改善系统结构、释放系统发展潜力、增加系统效益。

按照系统及其子系统在耦合作用中的表现可以对耦合效应进行定量判断。参阅国内学者的研究成果基础上^[12-13],本研究提出 2 个子系统耦合时系统的耦合效应指数的数学模型:

$$C^* = 2\sqrt{U^k V^k (\alpha U + \beta V)^{1-2k}} - 1 \quad (2)$$

式中: C^* ——耦合效应指数,其他数学量含义均与公式(1)相同。由公式(1)易知,在本研究的城市土地利用集约度和城市化效率的耦合中, $-1 < C^* < 1.042$, C^* 的值越大,系统的耦合效应越良好。

以系统的耦合效应指数和子系统的属性评价价值可以更详细地对耦合效应进行区分(表 1)。效应分类中 C^* 按值域均匀划分,城市土地利用集约度 k 和城市化效率 P 的评价价值及评价标准见 2.4。

表 1 城市土地集约利用与城市化效率的耦合效应

效应	指标	特征
正效应	$C^* > 0.5; p=1; 0.5 < k < 0.8$	高效集约,协调发展,系统优化
正拮抗	$0.5 > C^* > 0; p=1; 0.3 < k < 0.5$ 或 $0.5 > C^* > 0; 0.5 < p < 1; 0.5 < k < 0.8$	集约度与效率不完全匹配,系统缓慢发展
负拮抗	$-0.5 < C^* < 0; p=1; 0 < k < 0.3$ 或 $-0.5 < C^* < 0; p < 0.5; 0.5 < k < 0.8$	集约度与效率不匹配,系统逐渐衰退
负效应	$C^* < -0.5; p < 0.5; 0 < k < 0.3$	低效粗放,发展不协调,系统紊乱

2 辽中南城市群土地利用集约度和城市化效率的测算

2.1 研究区概况

本研究所指的辽中南城市群是以沈阳、大连为核心,包括鞍山、抚顺、本溪、丹东、营口、辽阳、盘锦的 9 个地级以上城市组成。辽中南城市群属温带季风性气候,西部为辽河平原,东部为低山丘陵。2012 年区域总面积 9.7 万 km^2 ,人口约 2 827 万人,GDP 约 2 万亿元。辽中南城市群与韩、日、朝三国隔海(江)相望,处在东北亚合作的门户位置。城市群内城镇体系结构合理,城市密集,城市化水平高,地区工业发展基础好、门类全,但产业结构偏重和资源环境约束是城市群发展中需要解决的问题。

2.2 研究方法

2.2.1 模糊层次综合评价法:测算城市土地利用集约度 模糊层次综合评价法是应用模糊数学原理和层次分析法综合而成的评价方法。该方法能够突出指标和评价对象的隶属程度,并形成评价等级结果。模糊变换模型为:

$$k_j = \sum_{i=1}^n a_i r_{ij}, \sum_{i=1}^n a_i = 1 \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

式中: j ——年份; k_j —— j 年待评城市土地利用集约度; a_i ——第 i 个指标权重值; r_{ij} ——第 j 年第 i 个指标的隶属度。

指标权重由层次分析法求得。根据美国运筹学家 Saaty 提出的 1~9 等级标度构造判断矩阵,计算准则层对目标层的权重和指标层对相应准则层的权重,最后用加权公式计算指标层对目标层的重要性程度。

隶属度是模糊层次评价法的关键。根据指标的实际意义选取升半梯形分布的隶属函数 1 和降半梯形分布的隶属函数 2 以及三角形分布的隶属函数 3。样板值 a, b, m, n 由函数 4, 5, 6 求得。

函数 1:

$$A(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a < x \leq b \\ 1 & x > b \end{cases}$$

函数 2:

$$A(x) = \begin{cases} 1 & x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a} & a < x \leq b \\ 0 & x > b \end{cases}$$

函数 3:

$$A(x) = \begin{cases} \frac{n+x-m}{n} & m-n < x < m \\ 1 & x = m \\ \frac{n-x+m}{n} & m < x < m+n \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

函数 4:

$$a_{ij} = \{\min(p_{ij}, s_{ij}, c_{ij})\}$$

函数 5:

$$b_{ij} = \{\max(p_{ij}, s_{ij})\}$$

函数 6:

$$n_{ij} = \{m_{ij} - q_{ij}\}$$

式中: a_{ij} ——第 j 年第 i 个指标的函数最小值; b_{ij} ——第 j 年第 i 个指标的函数最大值; p_{ij} ——第 j 年第 i 个指标对应的区域指标平均值; s_{ij} ——第 j 年第 i 个指标的上级城市或更高等级城市指标值; c_{ij} ——第 j 年第 i 个指标对应的待评城市指标值; m_{ij} ——第 j 年第 i 个指标对应的待评城市平均值; q_{ij} ——第 j 年第 i 个指标对应的待评城市最小值。

2.2.2 DEA 模型:测算城市化效率 数据包络分析 (DEA) 是一种线性规划的数学过程, 被广泛应用于对决策单元的效率评价中。它是美国运筹学家 Charnes 等人以“相对效率”概念为基础, 根据多指标投入和多指标产出对相同类型的决策单元进行相对有效性或效益评价的一种系统分析方法, 称为 C^2R 模型^[18]。当把规模收益假设由不变改为可变时, C^2R 模型进一步扩展为 BC^2 模型。 BC^2 模型能将技术效率分为纯技术效率和规模效率, 可以衡量决策单元在既定的生产技术条件下, 是否处于最优生产规模。因 DEA 方法比较成熟, 故不对其数学原理详细介绍。

假设共有 n 个决策单元, 每一个城市都视为一个决策单元, BC^2 模型可表示为:

$$\begin{cases} \min P \\ \text{s. t. } \sum \lambda_i x_i \leq P x_0 \\ \sum \lambda_i y_i \geq y_0 \\ \sum \lambda_i = 1 \\ \lambda_i \geq 0, i=1, 2, \dots, n \end{cases}$$

式中: x_i, y_i ——第 i 个城市的投入、产出变量; $\min P$ ——目标函数; s. t. ——限定条件; 该模型计算得到的 p 值就是决策单元的技术效率。

2.3 指标体系及数据处理

城市土地利用集约度测算时, 综合考虑城市土地集约利用的内涵, 并结合辽中南城市群的社会经济发展特点, 本研究构建了反映土地集约利用的土地投

入、土地产出、用地强度和可持续性的评价准则以及其下 12 个具体指标 (表 2), 并统一采用市辖区标准。采用层次分析法确定指标权重, 具体计算由 yaahp 7.5 软件完成 (表 2), 并且 $CR < 0.10$ 全部通过了判断矩阵随机一致性检验。

城市化效率测算时, 按照 DEA 方法的要求, 以辽中南城市群 9 个城市 (市辖区) 作为决策单元, 在投入、产出变量选择上, 借鉴国内学者的选取方法^[1,8], 投入变量选择四项指标为: 城市就业人数、固定资产投资额、市辖区面积、财政支出。产出变量选择两项衡量城市化水平的指标: 人口城市化水平 (城区人口占市辖区总人口比重)、非农产值 (第二、三产业产值之和)。需要说明的是, 由于统计口径的变动和城市人员流动性加大, 本文 2002 年以前的城区人口采用的是非农业人口和流动人口之和, 2007 年, 2012 年采用的是国家统计局标准的城区人口。

本研究数据涉及辽中南城市群 9 个城市 1987 年, 1992 年, 1997 年, 2002 年, 2007 年, 2012 年的 6 个时间节点, 9 个城市的行政区划以 2012 年为准。数据来源主要是相应的《中国城市统计年鉴》、《中国城市建设统计年鉴》、《辽宁统计年鉴》和 9 个城市的国民经济和社会发展统计公报。

表 2 城市土地集约利用指标体系及权重

目标层	准则层	权重	指标层	权重
城市 土地 集约 利用	土地投 入程度	0.189	地均固定资产投资	0.077
			地均房地产开发额	0.060
	土地经 济产出	0.342	地均就业人数	0.052
			地均第三产业产值	0.115
			地均工业总产值	0.128
			地均社会消费品零售额	0.109
			人均建设用地	0.074
			人均道路铺装面积	0.079
	土地利 用强度	0.288	人口密度	0.135
			工业废水排放达标率	0.045
			绿化覆盖率	0.043
			人均绿地面积	0.093
土地利 用可持 续性	0.181			

2.4 评价结果分析

2.4.1 城市土地利用集约度分析 使用模糊层次综合评价法计算出辽中南 9 城市土地利用集约度 (表 3)。根据辽中南城市群的发展过程, 结合 9 个城市的社会经济发展阶段、生态环境承载力和土地利用特点, 参考国内相关研究的成果^[2,5-6], 本研究集约度划分采用 4 级标准: 0~0.3 为不集约; 0.3~0.5 为基本集约; 0.5~0.8 为适度集约; 0.8~1 为过度集约。

从表 3 可以看出: (1) 1987—2012 年, 辽中南城市群土地利用整体上集约水平在上升, 处于基本集约

阶段,并且即将步入适度集约阶段。(2)大部分城市在 2002 年前后集约度达到 6 个时间节点中的最小值,评价期内各城市的集约度变化曲线均呈“U”型,最小值的出现可能是受当时城市经济粗放增长和城市发展无序蔓延的影响。(3)多数城市土地利用集约度都在上升。截至 2012 年,按集约度大小形成沈阳、大连第一梯队,鞍山、营口、辽阳、盘锦第二梯队,抚顺、本溪、丹东第三梯队,集约度空间分布上聚类形成南北两核心、中西部和东部三大特征区。

表 3 城市土地利用集约度

区域	1987 年	1992 年	1997 年	2002 年	2007 年	2012 年
沈阳	0.4176	0.3715	0.4283	0.4225	0.5598	0.814
大连	0.6611	0.3753	0.5681	0.5636	0.7186	0.7532
鞍山	0.5472	0.6628	0.5849	0.3998	0.4837	0.4588
抚顺	0.2897	0.5536	0.3443	0.2812	0.3366	0.3374
本溪	0.1974	0.2585	0.4248	0.1882	0.2005	0.3395
丹东	0.3926	0.3372	0.2298	0.1048	0.2606	0.3216
营口	0.1896	0.234	0.2579	0.2061	0.193	0.4268
辽阳	0.1389	0.1788	0.4337	0.3116	0.2311	0.4175
盘锦	0.4022	0.6728	0.5579	0.4425	0.575	0.5624
均值	0.3596	0.4048	0.4255	0.3245	0.3954	0.4924

2.4.2 城市化效率分析 根据 DEA 方法的 BC² 模型,采用投入主导型分析模式,经 DEAP 2.1 软件计算,得到 9 城市的城市化效率 DEA 有效性评价结果(表 4)。技术效率是对城市的资源配置能力、资源使用效率等多方面能力的综合衡量与评价。一般认为:技术效率=纯技术效率×规模效率,纯技术效率反映的是城市在最优规模时投入要素的生产效率,规模效率反映的是实际规模与最优生产规模的差距。技术效率为 1,表示该城市的投入产出是综合有效的(DEA 有效),即同时技术有效和规模有效。纯技术效率为 1,表示在目前的技术水平上,其投入资源的使用是有效率的,未能达到综合有效的根本原因在于其规模无效,因此其改革的重点在于如何更好地发挥其规模效益,反之当技术无效时,应增加科技投入,提高技术水平。

从表 4 可以看出,(1)25 a 间,辽中南城市群整体技术效率水平呈波动上升态势,在 2012 年有 8 个城市实现了 DEA 有效,即投入和产出实现效率化。(2)在 2007 年以前,未实现 DEA 有效的城市,绝大部分处于规模报酬递减状态,城市发展中出现投入水平过高的问题;自 2007 年起,多数城市开始规模报酬递增或不变,直至 2012 年全区域基本实现规模有效性。(3)从单个城市来看,除盘锦外,其余城市 25 a 里均出现技术效率较大波动,有 4 个城市在 1992 年出现技术效率的极低值或接近极低值,沈阳和大连的波动原因

主要是当时的老工业基地技术陈旧、体制落后,深受“东北现象困扰”,鞍山和抚顺由于在当时资源利用粗放,技术管理手段相对落后,导致规模不经济。

表 4 辽中南城市群城市化效率

区域	1987 年		1992 年		1997 年	
	技术效率	规模报酬	技术效率	规模报酬	技术效率	规模报酬
沈阳	0.793	drs	0.338	drs	1	—
大连	1	—	0.356	irs	1	—
鞍山	1	—	0.617	drs	0.914	drs
抚顺	0.913	drs	0.482	drs	0.851	drs
本溪	0.771	drs	1	—	0.732	—
丹东	1	—	1	—	1	—
营口	1	—	1	—	1	—
辽阳	1	—	0.925	drs	0.926	—
盘锦	1	—	1	—	1	—
平均	0.9419		0.7464		0.9359	

区域	2002 年		2007 年		2012 年	
	技术效率	规模报酬	技术效率	规模报酬	技术效率	规模报酬
沈阳	0.823	drs	0.996	drs	1	—
大连	0.829	drs	1	—	1	—
鞍山	0.590	drs	1	—	1	drs
抚顺	0.551	drs	0.830	irs	0.891	drs
本溪	0.739	drs	0.679	irs	1	—
丹东	1	—	0.845	irs	1	—
营口	1	—	0.553	irs	1	—
辽阳	0.927	drs	0.842	irs	1	—
盘锦	1	—	1	—	1	—
平均	0.8288		0.8606		0.9879	

注:“drs”表示规模报酬递减;“irs”表示规模报酬递增;“—”表示规模报酬不变。

3 城市土地利用集约度与城市化效率的时空耦合

3.1 耦合度和耦合阶段的时空演变分析

使用公式 1、2 和表 3、表 4 的数据,计算得出辽中南城市群 9 城市在 1987—2012 年的耦合度和耦合效应指数(表 5)。从各城市耦合度的数值及其均值的变化来看,辽中南城市群及其各城市的耦合发展阶段均处在弱耦合和强耦合阶段内,目前没有经历解耦合和再耦合的阶段。理由如下:首先,在我国城市群综合指数排名上,珠三角、长三角、京津冀城市群居于前列^[19],相比之下辽中南城市群离城市系统发展的较高阶段尚有距离,而解耦合和再耦合都是建立在系统发展高级阶段上的;其次,各城市耦合度数值都明显小于最大值 1.085,所以在达到最大值之前的耦合度减小都不属于解耦合阶段。

只用弱耦合和强耦合来区分辽中南城市群的发展阶段太过粗略,本研究采用自然断点法把强耦合和

弱耦合阶段继续细分为高级、中级、较低和低级四个阶段,分别表示耦合阶段由高到低,并利用 ArcGIS

10.1 绘制出城市土地集约利用和城市化效率耦合发展阶段时空分布(图 1)。

表 5 辽中南城市群土地集约利用与城市化效率耦合度和耦合效应指数

区域	1987 年		1992 年		1997 年	
	耦合度	耦合效应指数	耦合度	耦合效应指数	耦合度	耦合效应指数
沈阳	0.6421	0.2850	1.0341	0.2396	0.5182	0.2645
大连	0.7827	0.6452	1.0200	0.2375	0.6891	0.5101
鞍山	0.6659	0.4769	1.0265	0.6497	0.7627	0.5450
抚顺	0.3606	-0.0215	1.0471	0.5228	0.4859	0.1226
本溪	0.2693	-0.2362	0.2729	-0.4687	0.7023	0.3081
丹东	0.4694	0.1923	0.3898	-0.2747	0.2305	-0.2012
营口	0.1723	-0.3173	0.2366	-0.5293	0.2721	-0.1251
辽阳	0.1044	-0.4766	0.1775	-0.6436	0.5709	0.2903
盘锦	0.4831	0.2128	0.7927	0.4599	0.6779	0.4941
平均	0.4389	0.0845	0.6663	0.0214	0.5455	0.2454
区域	2002 年		2007 年		2012 年	
	耦合度	耦合效应指数	耦合度	耦合效应指数	耦合度	耦合效应指数
沈阳	0.6265	0.2888	0.6825	0.4976	0.9027	0.8282
大连	0.7995	0.5205	0.8324	0.7190	0.8597	0.7606
鞍山	0.7976	0.2806	0.5902	0.3687	0.5584	0.3230
抚顺	0.6228	0.0507	0.4872	0.1104	0.4496	0.0974
本溪	0.2672	-0.2553	0.3280	-0.2000	0.3933	0.0760
丹东	0.0647	-0.5923	0.3474	-0.0783	0.3670	0.0344
营口	0.1959	-0.2686	0.4071	-0.1838	0.5163	0.2617
辽阳	0.3883	0.0285	0.2969	-0.1575	0.5037	0.2432
盘锦	0.5377	0.2930	0.6967	0.5270	0.6829	0.4813
平均	0.4778	0.0384	0.5187	0.1774	0.5815	0.3451

从表 5 和图 1 可以看出,1987—2012 年辽中南城市群耦合度和耦合阶段有如下特征:(1) 整体耦合强度偏弱,城市群处于弱耦合到强耦合的转化阶段。从时间上看,研究期内耦合度整体呈小幅波动、缓慢增长的态势,25 a 中耦合度整体最大变幅不超过 0.23,增长率约为 32%;从空间上看,城市群西部耦合度一直强于东部。(2) 单体城市耦合度变化较大,耦合阶段上升过程曲折反复。耦合度变化形式为浅“U”型曲线。耦合度变化的最大、最小幅度分别是丹东 625%和大连 48%,共有 5 个城市耦合度变化超过 150%;大多数城市的耦合度在 1997 年或 2002 年达到研究期内的最小值。(3) 各城市的耦合发展阶段之间差异较大。沈阳、大连耦合阶段明显超前于其他城市,且 25 a 中这种差距不断扩大。(4) 从空间看,各城市耦合阶段分布不均衡,西强东弱的耦合度分布正转化为以东西方向为轴,南北对称分布的格局。表现为以沈阳、大连为高值双核心,沈大联系带上为次高值分布,东部为低值区域。

耦合度的逐渐增强反映了城市土地利用与城市

化效率之间的相互影响在逐渐加强,辽中南城市群正向着更高的耦合阶段迈进,但是城市群内部的东西差异和南北分化也表现出发展的不均衡。改革开放以来,辽中南地区依托区内的工业基础、资源条件以及沿海沿江的区位优势,走上了一条工业化和城市化相对同步的道路,经济发展和快速的城市化使城市土地增值,土地的稀缺性得以显现,土地利用的集约度成为影响城市化效率的关键因素,二者的相互作用(耦合度)日益增强。但是城市群内 9 个城市的性质、发展基础、发展模式不尽相同,目前处于高级耦合阶段的沈阳、大连一直是辽中南城市群乃至整个辽宁省的发展核心,人口、资源和环境的压力导致城市化发展对土地利用的敏感度高、响应快,二者在相互作用中高度耦合。中东部的辽阳、本溪、丹东在以往发展中土地利用方式粗放,集约水平过低,极大地影响了城市化效率的提升,既不利于城市自身发展,也不利于形成城市群发展的合力。

3.2 耦合效应的时空分析

耦合效应指数能够弥补耦合度不能评估耦合效

应的缺陷,该指数与土地利用集约度和城市化效率指标相结合,能够较细致地评价耦合效应。根据表 1 和表 5 中的耦合效应指数判断各城市的耦合效应时,指

标值不完全符合表 1 的城市,采用数值相近的原则进行归类,并用 ArcGIS 10.1 软件绘制辽中南城市群耦合效应图(图 2)。

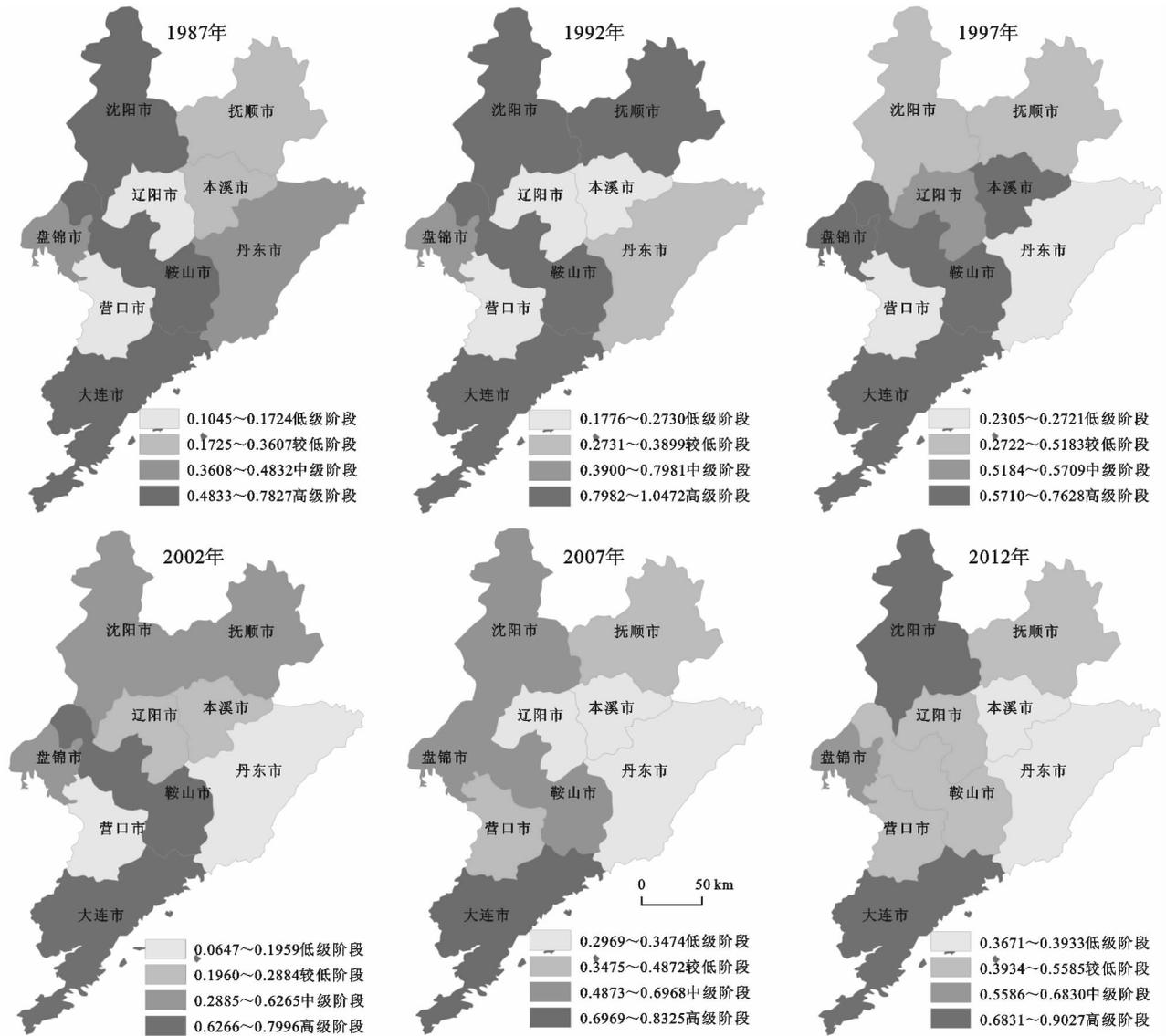


图 1 1987—2012 年辽中南城市群土地集约利用与城市化效率的耦合阶段

从图 2 可以看出:(1)整体上耦合效应的变化沿着从负效应到正效应的路线进化,尽管稳定地保持高效集约正效应的城市(仅大连、盘锦)较少,但低效粗放的负效应和负拮抗效应城市的比例不断减小,直至 2012 年没有体现负面效应的城市。这表明辽中南城市群土地集约利用和城市化效率是向着良性协调的方向发展,城市群的耦合效益不断提升,集约利用土地和提高城市化效率还应该是今后城市发展长期保持的重要原则。(2)各城市耦合效应变化幅度不大。耦合效应的改善要以土地集约利用和高效率的城市化为前提,更为宏观的背景是城市综合实力的提高,只有长期的发展和积累才能显现出效益。大连在 25 a 里长期处在高效集约的协调阶段,反映了城市土地利用与城市化建设的良性互动,是“不求最大,但求最

好”的城市发展政策的体现。作为区域性中心城市,沈阳的耦合效应稳步上升,到 2007 年步入高效集约正效应城市的行列,这是城市经济增长、内部结构优化、土地集约利用和城市化同步协调发展的结果。(3)城市耦合效应长期存在东、西差异。西部沈阳、大连、鞍山、盘锦耦合效应持续为正,且不断累积(表现为耦合效应指数不断增加);而中东部抚顺、本溪、丹东、辽阳长期处于耦合负面效应之中,由于这些城市以资源或农林为主的产业结构在城市发展中长期发挥重要作用,重工业比重过大导致城市中心区用地负荷大,外围工矿企业用地粗放,城市化发展空间与土地利用结构出现矛盾,但未来城市土地集约利用的潜力巨大。(4)2012 年是辽中南城市群耦合效应的新转折。从发展阶段看,2007 年开始城市群内耦合

效应提升明显,2012年9城市全面实现正面耦合效应,正效应和正拮抗效应城市数量为1:2。从空间格局看,2012年辽中南城市群的耦合效应呈现明显的区域对称特征。辽中南城市群耦合阶段和耦合效应的变化与区域发展的过程是基本一致的。首先,在区域发展初期,城市群处于沈、大双核极化发展阶段,中心城市的集聚能力强,城市化速度快,土地利用强度大,资源协调配置能力明显高于周边中小城镇,因此城市群内不同规模等级的城市处在不同的发展阶

段,出现耦合度高值和低值相邻分布。而随着中心城市经济辐射和城市化率增长趋于平稳,外围城市的劳动力、土地资源优势逐渐显现,产业发展速度加快,这些城市耦合效应的积极方面逐渐显现,与中心城市沈阳、大连的耦合效应差距日益缩小。其次,2012年城市群耦合效应出现“质”的变化,全局协调性得到优化,标志着城市群由“规模—数量”型发展模式向“质量—内涵”型模式转变,也将带动城市群内中西部城市健康发展,逐步缩小发展差距。

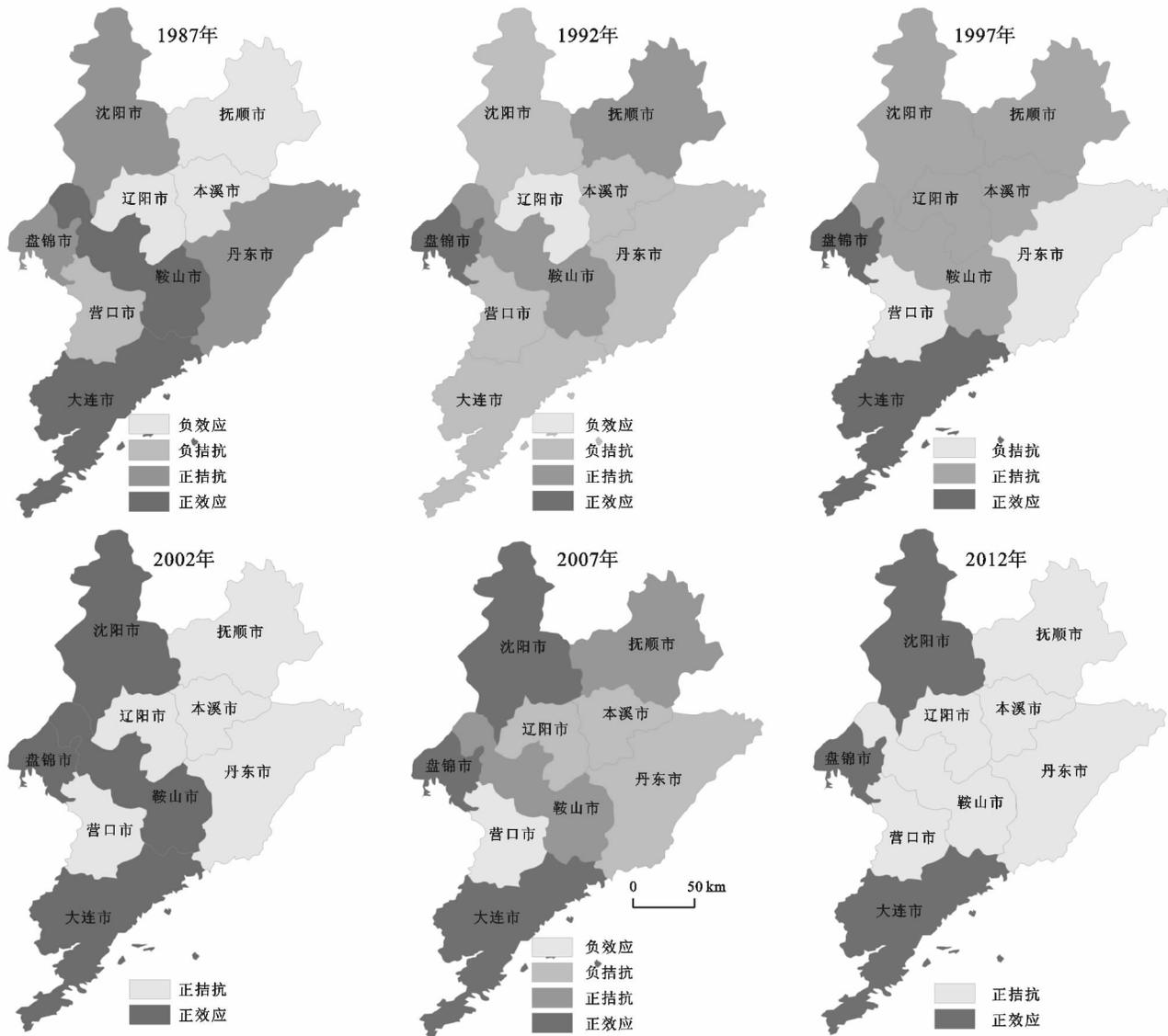


图2 1987—2012年辽中南城市群土地集约利用与城市化效率的耦合效应

3.3 耦合阶段和耦合效应的匹配协调分析

在耦合系统的发展的每一阶段,耦合作用都会发挥不同效应,二者之间的匹配协调关系决定了系统发展的兴衰。经过上文对土地集约利用和城市化效率耦合阶段与耦合效应的分析,结合图1和图2,可以总结出辽中南城市群耦合阶段与耦合效应的三种匹配对应方式:(1)同步型。大连是唯一一个处在高级耦合阶段并保持正效应的城市,本溪、丹东、营口、辽

阳是处在较低耦合阶段产生负拮抗效应的城市,虽然两类城市都属于同步型,但耦合作用给前者带来的是推动和促进,给后者带来的是阻滞和延缓。(2)效应超前型。沈阳、盘锦、鞍山属于城市土地利用和城市化效率的耦合效应相对超前于耦合阶段。这类城市都处在较高级别的耦合发展阶段上,但是耦合效应表现得更为突出超前。这些城市经济发展的省内排名都在前列,城市发展倚重土地,土地产出效益很高。

需要注意的是,从2012年这一个时间点上,有7个城市出现了效应超前的局面,这提示政府管理者要注意协调耦合阶段与效应的关系,以免透支城市发展潜力、影响城市社会效益。(3)负相关型。抚顺的耦合阶段与耦合效应呈负相关。二者表现出此消彼长的发展态势,反映出城市化发展和土地利用之间极不协调的关系。抚顺是资源衰退型工业城市,城市化发展相对滞后于工业化,土地利用粗放,因此长期处于较低的耦合阶段。在衰退时期城市经济发展受阻,土地经济支撑着城市发展;当政府调整发展模式、规范土地市场时,以往土地粗放利用的弊端因滞后效应得以显现,城市化发展面临的资源环境约束很大,形成了土地利用与城市化发展的耦合负效应。

4 结论

(1)耦合理论有效地整合了不同要素指标的测算方法,通过对耦合度、耦合效应计算结果的可视化处理,直观反映出所研究系统的丰富信息,从而揭示要素间的耦合关系。此方法对于研究事物的时空耦合具有较为普遍的适用性。

(2)耦合关系研究模式中,耦合度主要揭示耦合强度和划分耦合阶段,耦合效应指数用来评价耦合作用产生的优劣影响,二者结合能够探讨耦合系统内的协调状况。①研究期内,辽中南城市群土地利用整体上处于基本集约阶段,且集约水平在上升。除沈阳、大连外,其他城市土地集约利用尚有较大潜力,集约度分布在空间上初步形成南北两端、西部、东部三个梯队等级。辽中南城市群城市化效率呈波动上升态势,多数城市经历了规模报酬递减、递增和不变的发展过程,城市系统的投入和产出结构逐渐得到优化。②辽中南城市群处于弱耦合到强耦合的转化阶段。西强东弱的耦合度分布正转化为以东西方向为轴,南北对称分布的格局。表现为以沈阳、大连为高值双核心,沈大联系带上辽阳、鞍山、营口、盘锦为次高值分布,东部为低值区域。③耦合效应的变化大体上是从负效应到正效应的过程。城市耦合效应长期存在东、西差异。2012年城市群耦合效应出现“质”的变化,全局协调性得到优化。④大连的耦合阶段与耦合效应协调同步,耦合作用促进城市发展;沈阳、鞍山、盘锦耦合效益超前于耦合阶段,城市化发展中应适当缓解用地压力,兼顾社会效益和生态效益,不可预支耦合效应带来的发展红利;其余城市大体处在中级或较低耦合阶段,耦合效应没有带来积极的发展利益。

(3)根据系统耦合的发展理论,我国现阶段城市群发展总的原则应该是重视区域联动发展、加强城市综合

管理、提高统筹规划水平。具体到辽中南城市群,首先应构筑沈阳、大连双核辐射中心,打破行政区经济的壁垒,通过政策和制度手段引导周边城市融入沈阳经济区和辽宁沿海经济带的发展;城市群中东部的资源型城市应主动走出自身的经济内循环,参与区域分工协作,依靠集群经济摆脱资源环境束缚,促进城市群均衡发展,实现城市群综合效益最大化;其次,利用丰富发达的信息网络,建立不同层次的城市化质量和城市土地利用的监测预警平台,及时掌握各城市的土地利用情况,释放存量土地潜力,提高城市化效率;最后,从规划制度创新着手,推进城市规划、土地利用规划和产业规划的融合协调,保证土地利用与城市发展相协调。

耦合理论在系统发展和复杂关系研究中应用价值很大,系统科学和生态学中曾提出过耦合、耦合系统的概念,目前缺少普适的耦合过程和机制的理论构建。本研究中提出的耦合阶段和耦合效应分析虽有理论依据,但当前采用的度量方法还有完善空间,并且因研究对象的发展水平所限,耦合系统的解耦合和再耦合阶段没有得到验证。在对耦合效应进行具体划分时,可供参考的数值标准较少,缺少同类成果的比对。上述问题的解决,有待于耦合理论的完善和新方法的应用。

参考文献:

- [1] 王家庭. 多重约束下“低成本,集约型”城镇化模式研究[M]. 天津:南开大学出版社,2010.
- [2] 宋戈,郑浩. 黑龙江省地级市土地集约利用评价及驱动力:以佳木斯市为例[J]. 经济地理,2008,28(2):297-299.
- [3] 周作江,周国华,唐承丽,等. 环长株潭城市群土地集约利用时空演变研究[J]. 水土保持研究,2014,21(5):89-93.
- [4] 王家庭,季凯文. 城市土地集约利用动力机制研究[J]. 城市问题,2008(8):9-13.
- [5] 宋戈,崔登攀,陈红霞. 有色金属资源城市土地集约利用评价研究:以安徽省铜陵市为例[J]. 经济地理,2009,29(2):280-283.
- [6] 王丽娜,李世平. 沈阳市城市土地利用效率评价及影响因素分析[J]. 水土保持研究,2014,21(5):311-315.
- [7] 刘建徽,王克勤. 基于DEA方法评价城市化相对效率[J]. 重庆职业技术学院学报,2005,14(2):107-109.
- [8] 刘晓峰,陈通,柳锦铭,等. 城市化相对效率评价指标选择及评价方法研究[J]. 华中科技大学学报:城市科学版,2007,24(3):82-86.
- [9] 王家庭,赵亮. 我国分省区城市化效率的实证研究[J]. 同济大学学报:社会科学版,2009,20(4):44-49.
- [10] 梁红梅,刘卫东,刘会平,等. 深圳市土地利用社会经济效益与生态环境效益的耦合关系研究[J]. 地理科学,2008,28(5):636-641.

土地利用的无序程度随着时间逐渐减低,土地利用结构趋于平衡,土地资源开发利用趋向合理。

(2) 信息熵是在宏观上分析土地利用结构的动态变化,但不能具体的反映小区域土地利用结构均衡程度。利用空间洛伦茨曲线可以直观地表征小区域土地利用结构的配置及彼此关系。阿克苏地区各类型土地利用中,园地、林地和草地分布比较集中,耕地、城镇村及工矿用地和未利用地分布比较均衡。从时间尺度上看阿克苏地区土地利用结构,耕地和未利用地在过去 17 a 中变化不大,而林地与城镇村及工矿用地较大,并且是随着林地的减少与居民及独立工矿用地的增加的趋势发展。

(3) 近年来规划土地利用结构发展方向与上述现状相反,耕地、城镇村及工矿用地、交通运输用地、未利用地在阿克苏地区各县(市)分布较分散,而园地、林地和草地趋向集中,说明土地利用的自我调节能力在加强。针对阿克苏地区土地结构的现状及变化趋势,应发挥区域土地的区位和功能优势保持合理的土地开发程度和土地投入强度,保持人地系统的协调运行和可持续发展。

参考文献:

- [1] 刘立诚. 新疆土地类型结构及其合理利用[J]. 新疆大学学报:自然科学版,1994,11(1):91-96.
- [2] 许学强,周一星,宁越敏,等. 城市地理学[M]. 北京:高等教育出版社,1996.
- [3] 陈彦光,刘继生. 城市土地利用结构和形态的定量描述:从信息熵到分数[J]. 地理研究,2001,20(2):146-152.

- [4] 张海龙,蒋建军,解修平,等. 近 25 年来西安地区土地利用变化及驱动力研究[J]. 资源科学,2006,28(4):71-77.
- [5] 姜鲁光,聂晓红,刘恩峰. 基于 GIS 的济南市城市土地利用空间结构分析[J]. 经济地理,2003,23(1):70-73.
- [6] 刘彦随. 土地利用优化配置中系列模型的应用:以乐清市为例[J]. 地理科学进展,1999,18(1):26-31.
- [7] 张裕凤,王凤玲. 乡域土地利用结构变化分析[J]. 干旱区资源与环境,2004,18(6):90-94.
- [8] 陈彦光,刘明华. 城市土地利用结构的熵值定律[J]. 人文地理,2001,16(4):20-24.
- [9] 张洁. 东京城市土地利用结构分析及其对中国大城市的启示[J]. 经济地理,2004,24(6):812-815.
- [10] 谭永忠,吴次芳. 区域土地利用结构的信息熵分异规律研究[J]. 自然资源学报,2003,18(1):112-117.
- [11] 贾科利,张俊华,常庆瑞. 基于信息熵与分形理论的土地利用景观格局变化研究:以陕北农牧交错带为例[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(5):235-239.
- [12] 陈彦光,刘明华. 城市土地利用结构的熵值定律[J]. 人文地理,2001,16(4):20-24.
- [13] 陈彦光,刘继生. 城市土地利用结构和形态的定量描述:从信息熵到分数维[J]. 地理研究,2001,20(2):146-152.
- [14] 刘筱非,周宝同. 信息熵在区域土地利用结构研究中的应用:以重庆市江北区为例[J]. 西南师范大学学报,2004,29(6):1062-1065.
- [15] 王夏琰,刘学录. 甘肃省土地利用结构变化及其驱动力分析[J]. 甘肃农业大学学报,2007,42(4):97-102.
- [16] 边静,何多兴,田永忠,等. 基于信息熵与空间洛伦茨曲线的土地利用空间结构分析:以重庆市合川区为例[J]. 水土保持研究,2011,18(5):201-204.

(上接第 306 页)

- [11] 孙东琪,张京祥,张明斗,等. 长江三角洲城市化效率与经济发展水平的耦合关系[J]. 地理科学进展,2013,32(7):1060-1071.
- [12] 廖重斌. 环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系:以珠江三角洲城市群为例[J]. 热带地理,1999,19(2):171-177.
- [13] 刘浩,张毅,郑文升. 城市土地集约利用与区域城市化的时空耦合协调发展评价:以环渤海地区城市为例[J]. 地理研究,2011,30(10):1805-1817.
- [14] Vefie L. The Penguin dictionary of physics[M]. 北京:外语教学与研究出版社,1996.
- [15] Von Bertalanffy L, Sutherland J W. General systems

theory: Foundations, developments, applications[M]. New York: Braziller, 1968.

- [16] 任继周,万长贵. 系统耦合与荒漠—绿洲草地农业系统:以祁连山—临泽剖面为例[J]. 草业学报,1994,3(3):1-8.
- [17] 哈肯,纪岳,物理学研究者,等. 协同学导论[M]. 西北大学科研处,1981.
- [18] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European Journal of Operational Research,1978,2(6):429-444.
- [19] 陈桂龙. 2013 中国城市群发展状况与研判[J]. 中国建设信息,2013(21):62-65.