

低碳视角下的城市圈土地可持续利用评价

员开奇, 董捷

(华中农业大学 公共管理学院, 湖北 武汉 430070)

摘要: 资源环境与经济发展的矛盾日益突出, 低碳视角下的资源节约集约利用是增强发展可持续性的根本途径。以武汉市为例, 采用文献资料法等结合已有研究成果, 立足低碳视角, 与城市圈土地利用特点相结合, 建立低碳视角下的城市圈土地可持续利用评价指标体系。综合 CSDEA(指标凝聚法)和熵值法对各指标值进行分析综合, 在获得评价结果后进一步计算得到各评价对象的改进方案。结果显示, 黄石市、黄冈市、咸宁市、潜江市为土地可持续利用 CSDEA 有效, 仙桃市、天门市、孝感市、武汉市、鄂州市为土地可持续利用 CSDEA 无效, 综合评价价值分别为 0.984 9, 0.979 1, 0.972 5, 0.957 4, 0.808 2, 评价价值最低的是鄂州市, 在地均农业产值等 9 个指标上均存在不足, 需要降低的指标包括农村恩格尔系数、地均碳排放量等, 其中地均碳排放量应降低 97.33 t/hm²。综合来看鄂州市仍需较大提升。评价结果和改进方案客观反映了城市圈土地利用的现状和不足, 经济发展应更加注重对环境的保护和资源的节约和集约利用, 不断提高可持续发展能力。

关键词: 土地管理; 土地可持续利用评价; 指标凝聚法; 低碳

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)01-0226-06

中图分类号: F321.1

Sustainable Land Use Evaluation for Urban Agglomerations from Perspective of Low Carbon

YUAN Kai-qi, DONG Jie

(College of Public Administration, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070, China)

Abstract: The contradictions between resource and economic development have become increasingly prominent. Resource saving and its intensive use from the perspective of low carbon is a fundamental approach to enhance the ability of sustainable development. Taking Wuhan City as a study area, By literature referring method, the low-carbon perspective was combined with the land use characteristics of urban agglomeration to establish a sustainable land use evaluation index system. Integration of CSDEA(indicators coacervation) with entropy method was used to analyze each index value and get comprehensive evaluation result. An improvement program was obtained by further calculations. Results show that Huangshi, Huanggang, Xianning, Qianjiang Cities are relatively effective in the CSDEA of sustainable land use, while Xiantao, Tianmen, Xiaogan, Wuhan, Ezhou Cities are ineffective, with comprehensive evaluation values of 0.9849, 0.9791, 0.9725, 0.9574, 0.8082, respectively. The evaluation value is the lowest for Ezhou City that has nine big shortage indicators such as agricultural production. Indicators for Ezhou City needed to be reduced include the rural Engel coefficient, garbage transport volume and other five indicators, of which carbon emissions should be reduced to 97.33t/hm². Overall, Ezhou City should be greatly improved in sustainable land use. The evaluation results objectively reflect the status and lack of urban agglomerations land use and improvement program. In economic development, more attention should be paid to environmental protection and intensive and economical resource utilization and continuously improve the capacity for sustainable development.

Keywords: land management; sustainable land use evaluation; indicators coacervation method; low-carbon

收稿日期: 2013-03-07

修回日期: 2013-05-01

资助项目: 中央高校基本科研业务费专项基金项目“基于碳排放约束的武汉城市圈土地利用配置研究”(2013SC32)

作者简介: 员开奇(1990—), 男(汉族), 河北省唐山市人, 在读硕士研究生, 研究方向为耕地保护及城市圈土地利用。E-mail: 512570486@qq.com。

通信作者: 董捷(1960—), 女(汉族), 湖北省武市人, 博士, 教授, 主要从事资源经济、区域经济研究。E-mail: Dongjie@mail.hzau.edu.cn。

土地是人类一切活动的载体,在社会经济发展中起到了基础性的作用。土地利用是人类以自身发展为目的对土地进行的长期经营活动,土地利用类型受到自然条件、技术、政策、社会、环境等多方面因素的影响。随着社会经济的不断进步,土地利用无论是结构还是内容都有了很大的发展,土地为经济增长提供了有力的保障。在经济发展的同时,也暴露了对土地的粗放利用和过度开发的现象。土地可持续利用是可持续发展的重要组成部分,是关系到经济长期稳定增长的主要约束之一。土地可持续利用研究对于完善土地基础性作用,保证经济社会持续健康平稳发展具有重要意义。

土地可持续利用评价是土地适宜性评价的发展,是对土地适宜性在时间上是否有效的评价。土地可持续利用的思想最早在首次国际可持续土地利用系统研讨会提出,该会议分析了各地区土地可持续利用的现状和问题^[1]。联合国粮农组织于 1993 年正式颁布了《可持续土地利用评价纲要》(《FELSM》)等文件,文件中说明了土地可持续利用评价中的原则、规程和评价标准等问题,并初步建立了土地可持续利用评价指标框架,此框架成为后来各国进行相关问题研究的重要参考。此后,国内外很多学者都进行了土地可持续利用评价方面的研究。Gameda^[2]在《FELSM》的指导下研究了加拿大农场管理中的可持续利用问题,在生产性、保护性、安全性、可持续性和可接受性 5 个方面进行了指标的选取和结果评价。Berroteran 等^[3]对委内瑞拉的土地利用进行了实例研究,以国家的视角分析了可持续土地利用的指标体系确定的问题。孙雁等^[4]针对土地细碎化研究了江西省分宜县土地资源可持续利用评价的问题,构建了乡镇级土地可持续利用评价指标体系。李长健等^[5]从土地发展权的角度开展了土地可持续利用问题的研究。袁磊等^[6]建立了基于循环经济理念的土地可持续利用评价指标,并以黑龙江为实例进行实证分析,实现了评价目标的进一步具体化。赵艳等^[7]利用三角模型对江苏省无锡市进行了土地可持续利用评价,实现了评价方法的创新。

《FELSM》是土地可持续利用评价的纲领性文件,但缺乏具体的指标描述,很难在不同用地类型、不同发展水平和评价目标下通用,土地可持续利用评价应该在其基础上因地制宜,确定各研究的评价目标、指标体系和评价方法。土地作为可持续发展的要素,与低碳经济有着内在的联系^[8],将低碳与土地可持续利用评价相结合可以客观地反映研究对象在新的发

展导向下的土地可持续利用水平,但已有研究中鲜有涉及。研究评价方法的选择对结果的呈现和应用影响很大,诸如层次分析法、熵值法、PSR 等传统指标综合方法只能单一反映评价对象的优劣水平,很少能客观指出各对象的不足和优势,研究结果的参考价值受到限制。研究选取 CSDEA 作为评价方法,在得到评价结果的基础上,进一步分析了各评价对象的改进方向。

1 研究区概况

1.1 武汉城市圈经济社会发展现状

武汉城市圈,又称“1+8”城市圈,包括武汉、鄂州、黄冈、孝感、咸宁、黄石、天门、仙桃、潜江共 9 个城市,其中武汉为城市圈中心城市。武汉城市圈是全国资源节约型和环境友好型社会建设综合改革配套实验区,实验区建设涉及工业、交通、教育、金融、旅游等诸多领域。武汉城市圈土地面积占全省 33%,人口总数为全省 51.6%。自然环境优越,城市化水平高,经济发展条件好。2008 年武汉城市圈实现地区生产总值 6 972.11 亿元,同比增长 14.8%,占全省总量 61.5%,其在全省经济增长中处于重要的位置。

1.2 土地资源特征

武汉城市圈总面积为 57 972 km²,是中部最大、发展条件最好的城市圈之一^[9]。在土地利用结构中,面积最大的是耕地,其次是林地,水域和建设用次之,未利用地为最少。武汉城市圈耕地面积达 29 321 km²,占总面积的 50.58%,主要集中在中东部地区和黄冈市,耕地面积最大的地区是黄冈市和孝感市,占总量的 46.06%;林地面积达 17 535 km²,占总面积的 30.25%,主要分布在南部和东北部,尤其是黄冈市,该市林地面积占总面积高达 43.43%,此外,咸宁也是林地分布较集中的地区;草地面积达 1 413 km²,占总面积的 2.44%,分布较为集中,黄冈市和咸宁市的草地面积超过总量的 80%;水域面积达 5 731 km²,占总面积的 9.89%,武汉市在水域分布中占有绝对优势,占总量的 30%;城乡、工矿、居民点用地面积达 3 722 km²,占总面积的 6.42%,各地区差异不明显,除武汉市外分布较为均匀;未利用地是 251 km²,占总面积的 0.43%。

2 低碳视角下的城市圈土地可持续利用评价

研究从低碳视角建立了土地可持续利用评价指

标体系,结合指标凝聚法(CSDEA)^[10]和熵值法对武汉城市圈各城市的土地可持续利用水平进行评价。不仅在指标体系中融合了低碳的思想,而且通过 CS-DEA 还可以获得各评价对象的改进方向,对政策措施的制定有重要的参考价值。

2.1 指标体系的构建

世界粮农组织曾在《FELSM》中给出了土地可持续利用评价的指标选取框架,在此框架的指导下,学者根据各区域的具体情况和评价目标建立了指标评价体系。尹君^[11]在其土地可持续利用研究中从时间、空间、发展程度等多角度对土地资源可持续利用进行了分析并构建了评价指标体系。陈百明^[12]对区域土地可持续利用进行了深入分析,建立了包括生产性、保护性、稳定性、可接受性、经济活力 5 个准则层在内的指标体系框架,并对各指标的计算方法、阈值等进行了说明。本文参考已有的研究成果,将低碳与土地可持续利用评价相结合,基于 CSDEA 评价方法的指标分类要求,建立了指标体系。

2.1.1 土地可持续利用评价指标体系

土地利用是由自然、社会、经济 3 部分共同作用形成的典型复合系统,土地的可持续利用就是土地的自然属性通过合理的资源分配实现经济可发展、社会可接受并产生持续性生产力的过程,即通过合理分配土地资源达到生态可持续、经济增长可持续、社会发展可持续。土地可持续利用评价可以从生态、社会、经济方面进行,碳源和碳汇是生态效益最具代表性的特征之一,因此,在正负两类指标体系中,分别由碳源和碳汇相关指标代表生态子系统的作用。

衡量低碳水平最有效的指标就是碳排放量和碳吸收量,研究将这两个指标融入到体系框架中。除此之外,再根据《FELSM》及后续的研究成果和城市圈发展的特征最终确定指标体系。由于评价方法的需要,指标体系中将各指标预先分为正向指标和负向指标。具体指标体系如表 1 所示。

2.1.2 部分指标计算的说明

(1) 农民收入指数。这一指标代表各地区农民收入水平与其他地区的差异水平,农民收入水平的高低一定程度上代表了地区农业生产能力,是土地可持续利用在农业可持续方面的具体体现。具体的计算方法是:

$$\text{农民收入指数} = \frac{\text{某地区农民人均收入}}{\text{城市圈农民人均收入}}$$

(2) 人均耕地经营面积。保护耕地是保证粮食

安全的根本途径,人均耕地水平代表了地区农业生产的潜力,是土地可持续利用评价中的重要部分。人均耕地经营面积的计算方法如下:

$$\text{人均耕地经营面积} = \frac{\text{某地区耕地总面积}}{\text{农村人口数}}$$

(3) 地均碳吸收量和排放量。土地利用类型主要分为 3 大类,即农用地、建设用地和未利用地,对于用地各类型的碳排放和碳吸收核算系数,很多学者都开展了相关研究。本文根据城市圈各城市土地利用结构,参考赖力^[13]的研究成果以及傅伯杰等^[14]学者有关碳排放计算的理论研究,计算各城市土地碳吸收和碳排放总量,进一步得到地均的排放和吸收水平。

表 1 低碳视角下的城市圈土地可持续利用评价指标体系

指标类型	准则层	指标层
正向指标	经济 指标	全社会经济增长/%
		单位农业用地产值/(元·hm ⁻²)
		单位建设用地工业产值/(万元·hm ⁻²) 人均 GDP(元/人)
	社会 指标	农民收入指数
		人均公共基础设施投入/元
		区域内人均农业产值/元 人均水资源/m ³
	碳汇 指标	人均耕地经营面积/hm ²
		林草覆盖率/%
		建成区绿地覆盖率/%
		地均碳吸收量/(t·hm ⁻²) 基本农田保护指数/%
经济 指标	单位 GDP 能耗吨标准煤/万元	
	单位 GDP 占用建设用地面积(hm ² /万元)	
	单位耕地投资/(元·hm ⁻²)	
	建设用地年增量/hm ²	
社会 指标	城乡人均收入差异/元	
	农村恩格尔系数/%	
	平均征地补偿金额/(万元·hm ⁻²)	
碳源 指标	气象灾害损失/亿元	
	地均单位面积垃圾清运量/(t·hm ⁻²)	
	单位 GDP 工业废水排放量(t/万元)	
	单位面积污染治理投资/(元·hm ⁻²) 地均碳排放量/(t·hm ⁻²)	

2.2 基于 CSDEA 的评价方法

数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)是美国著名运筹学家 Charnes 等提出的一种评价方法,经过几十年的发展已经在系统工程、管理科学、决策分析、评价技术等领域有了广泛的应用。一般来说,用于土地可持续利用评价的指标体系比较庞大,指标个数与决策单元数量差距较大,这很有可

能导致绝大多数决策单元均为 DEA 有效,同时将重要性不同的指标或较多的底层指标同时列入 DEA 模型,经常会导致忽略重要指标、强调次要指标的后果,而使得 DEA 失去很好的评价效果。因此,研究选取了一种评价复杂系统的 DEA 方法——指标凝聚法(CSDEA),该方法的基本思路是先将指标体系按照正向指标或者负向指标进行分类,然后在两类指标体系下根据指标的自然归属进行再分类,获得准则层的指标子类,最终确定完整的指标体系。在进行评价之前,需要对指标层的各指标进行一次权重的计算,选用熵值法计算各指标的权重值。再利用 CSDEA 进行评价,只对准则层的指标子类进行操作。这样就可以既实现各指标水平的综合又不会过分强调次要指标对整体的作用,使得评价结果更加客观。

2.2.1 CSDEA 原理及实现 假设有 n 个决策单元,输入指标为 N_1, N_2, \dots, N_m , 其中,第 i 个输入指标类中有 L_i 个次要指标,输出指标类为 K_1, K_2, \dots, K_m , 其中,第 r 个输出指标类中有 T_r 个次要指标。 \hat{x}_{ij}^l 为 j 个决策单元的第 K_r 个输入指标类中第 t 种指标的投入量; \hat{y}_{ij}^t 为第 j 个决策单元的第 K_r 个输出指标类中第 t 种指标的产出量; a_i^l 为第 N_i 个输入指标类中第 l 种指标在类内的相对权重; b_r^t 为第 K_r 个输出指标类中第 t 种指标在类内的相对权重; v_i 为 N_i 个输入指标类相对于总投入的权重; u_r 为第 K_r 个输出指标类相对于总产出的权重。其中, $\hat{x}_{ij}^l, \hat{y}_{ij}^t, a_i^l, b_r^t$ 为正数, v_i, u_r 为变量, $N_1, N_2, \dots, N_m, K_1, K_2, \dots, K_s$ 为非空集合,令:

$$x_{ij}^l = \hat{x}_{ij}^l / \max(\hat{X}_{ij}^l), \quad y_{ij}^t = \hat{y}_{ij}^t / \max(\hat{Y}_{ij}^t)$$

定义:

$$P_j = \sum_{r=1}^s \sum_{t=1}^{T_r} u_r (b_r^t y_{ij}^t), \text{ 为系统的正向贡献; } Q_j = \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^{L_i} v_r (a_i^l x_{ij}^l), \text{ 为系统的负向贡献。}$$

对决策单元 j 有贡献比 P_j/Q_j , 则对决策单元 j_0 有以下模型(CSDEA):

$$\begin{aligned} \max: & \sum_{r=1}^s \sum_{t=1}^{T_r} u_r (b_r^t y_{ij}^t) + \delta u_0 = V_p \\ \text{s. t. 1:} & \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^{L_i} v_r (a_i^l x_{ij}^l) - \sum_{r=1}^s \sum_{t=1}^{T_r} u_r (b_r^t y_{ij}^t) - \delta u_0 \geq 0 \\ & (j=1, 2, \dots, n) \\ \text{s. t. 2:} & \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^{L_i} v_r (a_i^l x_{ij_0}^l) = 1 \\ \text{s. t. 3:} & v = (v_1, \dots, v_m)^T \geq 0 \\ & (u = (u_1, \dots, u_m)^T \geq 0) \end{aligned}$$

若规划(CSDEA)存在最优解满足 $u_0, v_0 > 0, V_p = 1$, 则称决策单元 j_0 为 CSDEA 有效。经过变量替

换,可以得到如下优化模型(DCSDEA):

$$\begin{aligned} \min: & [\theta - \epsilon(e^T s^- + e^T s^+)] = V_D \\ \text{s. t. 1:} & \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^{L_i} (a_i^l x_{ij}^l) \lambda_j + s_i^- = \theta \sum_{l=1}^{L_i} a_i^l x_{j_0}^l \quad (i=1, \dots, m) \\ \text{s. t. 2:} & \sum_{j=1}^n \sum_{t=1}^{T_r} (b_r^t y_{ij}^t) \lambda_j - s_i^+ = \sum_{t=1}^{T_r} b_r^t y_{j_0}^t \quad (r=1, \dots, m) \\ \text{s. t. 3:} & \delta \sum_{j=1}^n \lambda_j = \delta \\ \text{s. t. 4:} & \lambda \geq 0, s_i^- \geq 0 \quad (s_i^+ \geq 0) \end{aligned}$$

设 ϵ 是非阿基米德无穷小量,若 $\theta^0 = 1, s^- = 0, s^+ = 0$, 则线性规划问题(DCSDEA)的最优解为 $\lambda^0, \theta^0, s^- = 0, s^+ = 0$ 。

进一步计算决策单元的改进方向,定义决策单元 j_0 的投影为:

$$\bar{x}_i^l = \sum_{j=1}^n \hat{x}_{ij}^l \lambda_j^0 \quad (i=1, \dots, m; l=1, \dots, L_i)$$

$$\bar{y}_r^t = \sum_{j=1}^n \hat{y}_{ij}^t \lambda_j^0 \quad (r=1, \dots, s; t=1, \dots, T_r)$$

令:

$$\Delta \hat{x}_{ij_0}^l = \hat{x}_{ij_0}^l - \bar{x}_i^l \quad (i=1, \dots, m; l=1, \dots, L_i)$$

$$\Delta \hat{y}_{ij_0}^t = \bar{y}_r^t - \hat{y}_{ij_0}^t \quad (r=1, \dots, s; t=1, \dots, T_r)$$

则 $\Delta \hat{x}_{ij_0}^l$ 和 $\Delta \hat{y}_{ij_0}^t$ 分别为输入和输出各指标的改进方向。这可以为分析决策单元无效的原因和如何改进提供重要信息。

DEA 的实现方法有很多,如利用 LINGO 优化软件,DEA—solver, matlab 软件等。研究根据 CSDEA 针对数据处理的复杂性特点选用 matlab 优化工具箱来实现这一模型

2.2.2 评价步骤

(1) 数据整理,利用最大最小标准化方法对数据进行标准化;(2) 利用熵值法计算各指标权重;(3) 根据上一步得到的权重计算各指标子类的内部权重;(4) 利用 CSDEA 模型进行综合评价;(5) 计算各无效单元的改进方向。

2.3 结果分析

研究选取了城市圈 2011 年的相关数据,数据来源主要有中国城市统计年鉴^[15]、湖北省统计年鉴^[16]、湖北省国民经济与社会发展统计公报^[17]等数据库。

2.3.1 有效性分析 利用评价步骤中对武汉城市圈各城市的土地可持续利用评价指标进行综合评价,得到各城市有综合评价结果如表 2 所示。综合评价值为 1 时,决策单元处于 CSDEA 有效,即评价对象的投入资源高效地用于产出,属于土地利用相对可持续的状态;综合评价值小于 1 时,决策单元处于 CSDEA 无效,即评价对象投入资源没有得到最大限度的利用,产出不足或投入过剩。

表 2 武汉城市圈土地可持续利用评价结果

城市名称	武汉	黄石	鄂州	孝感	黄冈	咸宁	仙桃	潜江	天门
综合评价值	0.957 4	1.000 0	0.808 2	0.972 5	1.000 0	1.000 0	0.984 9	1.000 0	0.979 1

评价结果显示,武汉城市圈土地可持续利用评价中处于 CSDEA 有效的城市有黄石市,黄冈市,咸宁市,潜江市。这 4 个有效的城市可以分为两类,一类是第一产业占优的城市,包括咸宁市和黄冈市,另一类为第二产业占优的城市,包括黄石市和潜江市。黄冈市是武汉城市圈中耕地面积和林地面积均最大的城市,分别达 383 848 和 713 255.2 hm^2 ,占城市圈总量的 20.23%和 43.97%,第一产业的绝对优势和区域内的较低资源环境消耗使得黄冈市土地可持续利用评价有效。咸宁市在第一产业用地类型上虽然较黄冈市略低,但在城市圈其他城市中仍占据较大优势,且咸宁市导致土地不可持续利用的高污染、高能耗为主的产业较少,从投入产出的效率角度分析,咸宁市处于 CSDEA 有效较为合理。黄石市是传统的工业城市,是中部地区最大的原材料基地,在冶金、水泥等诸多领域具有先进的技术优势,产业发展的绝对优势使得

黄石市的环境资源投入得到有效利用,促使其在评价中有效。潜江市既是农业大市,其棉花种植、水产品养殖等方面均有较大规模,也是中部重要的石油基地,工业较发达,第一二产业交叉发展,其在土地可持续利用方面优势较明显,属于 CSDEA 有效。

整体来看,评价土地可持续利用水平的核心在于环境资源等的投入是否获得了足够的经济生态效益产出,如果产出与投入合理,则达到 CSDEA 有效。武汉城市圈各城市土地可持续利用评价的有效性排名为:黄石,黄冈,咸宁,潜江>仙桃>天门>孝感>武汉>鄂州。

2.3.2 改进方案 基于 CSDEA 方法的土地可持续利用评价在获得有效性评价的基础上可以进一步分析各评价对象的不足与改进方向。根据式(4)和(5)所述计算改进方向,运用 matlab 软件得到 5 个 CSDEA 无效评价对象的改进方案(如表 3 所示)。

表 3 土地可持续利用改进方案

指标名称	武汉	鄂州	孝感	仙桃	天门
全社会经济增长/%	2.60	0.40	0.33	0.03	-0.03
单位农业用地产值/(元· hm^{-2})	-1 55.41	1 602.15	-2 824.82	-1 494.84	-1 856.36
单位建设用地工业产值/(万元· hm^{-2})	-20 930.98	-51 735.35	69 048.27	-22 634.38	-46 539.40
人均 GDP(元/人)	36 854.33	8 079.09	408.47	13 554.50	22 263.26
农民收入指数	0.48	0.21	0.17	0.13	0.11
人均公共基础设施投入/元	-4.32	182.45	-23.83	7.27	-28.41
区域内人均农业产值/元	2 829.56	2 351.40	-555.56	-1 286.63	424.28
人均水资源/ m^3	860.00	302.00	74.47	15.29	-210.84
人均耕地经营面积/ hm^2	-0.33	0.91	0.11	-0.07	-0.43
林草覆盖率/%	-0.58	4.71	1.14	-2.87	0.42
建成区绿地覆盖率/%	-0.27	4.56	0.74	-2.01	0.03
地均碳吸收量/($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	1.36	4.24	0.32	-2.38	0.34
基本农田保护指数/%	0.07	0.10	0.01	0.07	0.06
单位 GDP 能耗吨标准煤/万元	0.52	0.20	-0.22	0.20	0.30
单位 GDP 占用建设用地面积(hm^2 /万元)	-0.51	-2.99	0.07	1.01	0.94
单位耕地投资/(元· hm^{-2})	509.32	-60.06	109.35	-76.11	183.21
建设用地年增量/ hm^2	-1.52	0.07	-0.13	0.05	0.09
城乡人均收入差异/元	-3 408.79	1 417.02	218.89	1 034.40	1 749.69
农村恩格尔系数/%	14.51	-2.38	-3.15	7.17	2.79
平均征地补偿金额/(万元· hm^{-2})	-13.75	-9.72	4.75	1.17	3.32
气象灾害损失/亿元	14.80	-5.00	18.38	12.89	14.09
地均单位面积垃圾清运量/($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	-271.85	-37.74	-13.18	9.16	-1.27
单位 GDP 工业废水排放量(t /万元)	-5.81	0.01	8.73	25.89	23.82
单位面积污染治理投资/(元· hm^{-2})	1.07	10.77	0.36	0.03	-0.05
地均碳排放量/($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	-247.45	-97.33	6.10	-5.11	2.19

表 3 中的数据数值代表各评价对象为达到 CS-DEA 有效应进行的改进。改进方向为正,说明此决策单元在该项指标上有不足,如果是负向指标则此值无需改进,如果是正向指标则提高这一水平下的该指标值后,此决策单元有效性提高;改进方向为负值,说明决策单元在该项指标上存在富余,如果是正向指标可不进行改进,如果是负向指标,则降低这一水平下的该指标值,决策单元有效性将提高。

武汉市的综合评价为 0.957 4,在城市圈综合评价中处于第 8 位,正向指标中需要提高较大的主要有全社会经济增长、人均 GDP 和地均碳吸收量等,需要控制的投入指标主要有单位 GDP 占用建设用地面积、建设用地年增量等。武汉市虽在交通、政策、教育等方面均拥有较大优势,且近些年发展速度较快,但对环境资源的过分透支使得其产出不足以平衡其环境资源的投入。天门市,仙桃市,孝感市 3 市的综合评价较接近,分别是 0.979 1,0.984 9,0.972 5。天门市的不足主要体现在人均 GDP 和人均农业产值较低,降低垃圾清运量也有利于提高其有效性。仙桃市的不足主要体现在人均 GDP 较低和人均水资源,在耕地投资方面应不断提高其资金的使用效率,在保证耕地保护效果的前提下适当降低投资比例有利于提高仙桃市的有效性。孝感市的建设用地利用效率有待提高,人均水资源也严重不足,单位面积垃圾清运量和恩格尔系数数值偏高,对上述 4 个指标进行适当改进有利于提高孝感市的有效性。鄂州市是综合评价最低的城市,评价值仅为 0.808 2。由表 3 可见,鄂州市在地均农业产值、人均 GDP、单位面积污染治理费用、人均基础设施投资、人均农业产值、人均水资源、林草覆盖率、地均碳排放量等 9 个指标上均存在较大不足,需要降低的指标包括农村恩格尔系数、垃圾清运量和地均碳排放等,综合来看鄂州市在土地可持续利用方面仍需较大改善。

判断评价对象是否有效是各指标综合的结果,单独调整某一指标并不能使评价对象的有效性显著提高。在以评价结果指导政策措施制定的过程中,应保持政策的整体性和协调性,通过系统的宏观调控来逐步改善评价对象的可持续利用水平。

3 结论

(1) 土地可持续利用评价是衡量各地区土地可持续利用能力的重要手段,由于各地区的自然条件、发展阶段、政治环境、社会因素等不同,导致土地可持续利用评价的内容区别很大。各地在进行土地可持续利用评价时应因地制宜,根据实际需要确定评价的

目标、指标体系和评价方法。

(2) CSDEA 是一种利用优化手段来解决复杂系统评价问题的方法,其指导思想是:以最小的代价来维持复杂系统的有效运行;与此同时,又要与所依托的环境保持高度的协调发展。在系统发展的过程中,既应注重目前的发展效率又应放眼于未来的发展能力,促使系统的负面条件逐渐减少,正面条件不断增多,增强系统的自我完善能力。

(3) 低碳经济是目前应对气候变化最有效和最具现实性的发展方式。对于世界而言,低碳经济是一次全球性的产业变革。对于各个国家来说,当资源环境成为经济发展的瓶颈时,低碳引领下的发展方式必将带来经济增长模式的创新,这是转变发展方式的基本途径。研究将低碳作为土地可持续利用评价的主要因素之一,以《FELSM》提出的指标框架为指导,综合已有研究成果,建立了低碳视角下的城市圈土地可持续利用评价指标体系,该体系可以很好地反映各区域的土地可持续利用水平。

(4) CSDEA 能够客观地实现土地可持续利用评价并获得改进方向。CSDEA 是一种能够处理多指标、多层次评价体系并给出改进方案的一种有效评价决策方法,本文对 CSDEA 的原理及实现进行了简要的介绍并成功应用于武汉城市圈土地可持续利用评价,取得了很好的评价效果,得出了城市圈各城市今后土地可持续利用发展的改进方案。

(5) 武汉城市圈各城市在土地可持续利用方面存在显著差异。分析可知,武汉市作为城市圈中心城市,在诸如单位 GDP 占用建设用地面积、建设用地年增量、地均碳排放量等方面均存在不足。武汉市在土地可持续利用方面的问题主要在于资源粗放式利用和环境破坏方面,今后武汉市在保证经济快速发展的同时应特别注重对环境的保护和土地、能源、水等资源的节约和集约利用,不断提高发展的质量。

[参 考 文 献]

- [1] Smyth A J, Dumanski J. FELSM: An International Framework for Evaluating Sustainable Land Management[M]. Rome, Italy: FAO, 1993.
- [2] Gameda S, Dumanski J, Acton D. Farm level indicators of sustainable land management information for sustainable land management [Z]. ISSS/ I TC, Enschede, Netherlands, 1997.
- [3] Berroteran J, Zinck A. Criteria and Indicators of agricultural sustainability at national level geo-information for sustainable land management[Z]. ISSS/ I TC, Enschede, Netherlands, 1997.

(下转第 236 页)

4 470 m地区各坡向分布较均匀;针阔混交林最优生长地形区间为海拔 2 700~3 290 m的阴坡,面积约为 90%;高山落叶阔叶林的最优生长在海拔 2 995~3 290 m的(半)阴坡,面积约为 40%;高寒灌丛最优生长在海拔 3 585~4 470 m,各坡向分布较均匀,阴坡分布面积略高,约为 39%,高寒草原的最优生长地形在海拔 2 955~4 175 m,分布比较广泛。各植被类型的最优生长地形区间分布如表 4 所示。

表 4 各植被类型最优生长区间

植被类型	地形因子		
	海拔/m	坡度/(°)	坡向
亚高山暗针叶林	3 290~3 880	25~45	阴
山地圆柏林	3 880~4 470	25~45	阳
针阔混交林	2 700~3 290	15~25	阴
高山落叶阔叶林	2 995~3 290	15~25	(半)阴
高寒灌丛	3 585~4 470	15~45	(半)阴
高寒草原	2 955~4 175	<45	—

4 结论

植被类型与海拔的关系。海拔高度变化影响植被类型复杂度和丰富度变化,通常情况下,海拔越高,植被类型越少,均匀度越高。

植被类型与坡度的关系。在 0°~25°地区,随着坡度升高,斑块数量增加,景观破碎度、复杂度较高,植被类型较复杂多样;在 25°~60°地区,随着坡度上升,斑块数量越少,均匀程度越高,复杂度越低,植被类型相对减少;在 >60°地区,各指数值下降,在这个

坡度范围内植被稀疏,类型较少。

植被类型与坡向的关系。阴坡、阳坡的植被类型基本相同,阴坡斑块较破碎,阳坡较完整,由于阳坡、阴坡的气温、光照、降水等条件不同,导致植被在阴坡和阳坡的分布情况表现出较大的差异。

[参 考 文 献]

- [1] 王伯荪. 植物群落学[M]. 北京:高等教育出版社,1987.
- [2] 方精云,沈泽昊,崔海亭. 试论山地的生态特征及山地生态学的研究内容[J]. 生物多样性,2004,12(1):10-19.
- [3] 焦超卫,赵牡丹,汤国安,等. 基于 GIS 的植被空间格局特征与地形因子的相关关系[J]. 水土保持通报,2005,25(6):20-23.
- [4] 王明宁,马金祥,胡琳,等. 三江源区植物多样性与保护[J]. 青海草业,2006,15(2):24-27.
- [5] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2003:372-383.
- [6] 宋冬梅,张茜,杨秀春,等. 三江源区 MODIS 植被指数时空分布特征[J]. 地理研究,2011,30(11):2067-2075.
- [7] 王继夏,孙虎,李俊霖,等. 南水北调中线水源区长安河流域景观格局变化[J]. 水土保持通报,2008,28(4):147-151.
- [8] 赵羿,李月辉. 实用景观生态学[M]. 北京:科学出版社,2001:92-97.
- [9] 姜永华,江洪. 基于 RS 与 GIS 的森林景观空间异质性研究:以杭州市余杭区为例[J]. 中国农学通报,2008,24(6):139-145.
- [10] 朱晓勤,刘康. 基于 GIS 的秦岭山地植被分布与环境梯度关系分析[J]. 水土保持学报,2006,20(5):192-196.
- [10] 马占新. 数据包络分析[M]. 北京:科学出版社,2009:196-207.
- [11] 尹君. 土地资源可持续利用评价指标体系研究[J]. 中国土地科学,2001,15(2):6-9.
- [12] 陈百明. 区域土地可持续利用评价指标体系框架的构建与评价[J]. 地理科学进展,2002,21(3):204-215.
- [13] 赖力. 中国土地利用的碳排放效应研究[D]. 南京:南京大学,2011.
- [14] 傅伯杰,陈利顶,马诚. 土地可持续利用评价的指标体系与方法[J]. 自然资源学报,1997,12(2):113-118.
- [15] 中华人民共和国国家统计局. 中国城市统计年鉴 2011 [DB/OL]. <http://www.stats.gov.cn>,2011.
- [16] 湖北省统计局. 湖北省统计年鉴 2011[DB/OL]. <http://www.stats-hb.gov.cn>,2011.
- [17] 湖北省统计局. 湖北省国民经济与社会发展统计公报 2011[DB/OL]. <http://www.hubei.gov.cn>,2011.
- (上接第 231 页)
- [4] 孙雁,刘友兆. 基于细碎化的土地资源可持续利用评价:以江西分宜县为[J]. 自然资源学报,2010,25(5):802-810.
- [5] 李长健,钟涨宝,伍文辉. 基于发展权理论的土地资源可持续利用问题研究[J]. 生态经济,2006,10(4):139-143.
- [6] 袁磊,雷国平,张小虎. 基于循环经济理念的黑龙江土地可持续利用评价[J]. 水土保持研究,2010,17(1):127-133.
- [7] 赵艳,濮励杰,张建,等. 基于三角模型的城市土地可持续利用评价[J]. 经济地理,2011,31(5):810-815.
- [8] 薛进军. 低碳经济学[M]. 北京:社会科学文献出版社,2011:6-11.
- [9] 刘建红,李仁东,王宏志,等. 基于遥感和 GIS 武汉城市圈土地资源利用研究[J]. 世界地理研究,2009,18(1):83-90.