

长江经济带土地综合承载力时空分异评价与 障碍因子诊断¹

李洁

（安徽理工大学经济与管理学院，安徽淮南 232001）

【摘要】：文章结合灰关联熵权 TOPSIS 法和障碍度模型，对长江经济带 2007-2016 年土地综合承载力进行定量评价和主要障碍因子诊断。研究结果表明：2007-2016 年长江经济带整体、东中西段及 11 省市土地综合承载力均呈不同幅度上升态势，除江西、湖南一直处于中级水平外，其余各地均由 2007 年的中级水平升为 2016 年的良好水平，但提升压力与潜力俱在；2007-2012 年东中西段土地综合承载力基本呈西高东低阶梯状空间格局，2013-2016 年基本呈东高西低阶梯状空间格局；4 个子系统承载力呈不同幅度上升态势，经济社会系统基本呈线性增长态势，土地资源和科教管理系统上升幅度小，生态环境系统波动频繁，子系统不一致性变化制约了土地综合承载力快速提升；土地资源承载系统是首要障碍系统，人口密度、土地集约化程度、地均废水负荷等是主要障碍因子；土地综合承载力提升应重点突破与系统治理相结合。

【关键词】：土地综合承载力；长江经济带；灰关联熵权；TOPSIS 法；障碍度模型；

【中图分类号】：F061.5；F301.2 **【文献标志码】：**A **【文章编号】：**1007-5097（2019） 08-0067-09

一、引言及文献综述

土地是支撑经济社会发展的基础性自然资源和战略性经济资源，其可持续利用是经济社会可持续发展的关键。长江经济带横贯中国东中西三大区域，面积约占全国的 21%，人口和经济总量均超全国的 40%，是支撑我国经济社会快速发展的重要战略区域之一^[1]。然而长期高强度的经济开发和粗放式经济增长模式使得长江经济带正面临严峻的资源环境问题，尤其是土地资源短缺和土地生态环境污染破坏问题。据统计，2016 年长江经济带耕地面积减少占全国 52.35%，废水、化肥等土地污染物分别占全国 44.21%和 35.66%。因此，在土地资源日益稀缺、土地生态环境污染破坏形势日益严峻的大背景下，科学评价长江经济带土地综合承载力并诊断其关键障碍因子，对长江经济带土地综合承载力提升及可持续发展具有重要的现实意义。

系统梳理土地综合承载力评价相关文献发现，土地综合承载力评价主要围绕评价指标体系构建、评价方法选择展开。典型的评价指标体系构建方法有两种：一是根据土地综合承载力影响因子的复杂属性，从自然资源、生态环境与经济社会等系统中选择相应影响因素构建指标体系，如于广华（2015）等^[2]从水土资源保障、生态环境保护、经济技术发展、社会支撑四个维度构建评价指标体系，李兰图（2011）等^[3]构建包含水土资源、生态环境、经济技术、社会发展 4 个维度评价指标体系。二是基于固定框架模型，如 PSR 模型^[4]、DPSIR 模型^[5]构建指标体系。指标筛选多采用频度统计法、极大不相关法等^[6]，指标选择也从绝对量指标转向相对量指标。在评价方法方面，多运用常规趋势法^[7]、模糊数学法^[8]、系统动力学法^[9]、主成分分析法^[10]等

¹收稿日期：2018-09-12

基金项目：安徽省软科学项目“安徽省生态文明建设进程中利益主体的非对称信息博弈及仿真研究”（1706a02020021）

作者简介：李洁（1982-），女，安徽歙县人，讲师，硕士，研究方向：区域发展。

测度或模拟某一区域土地承载力。不难看出，评价方法由单一因子承载力测度向综合因子承载力测度，由主观测度向客观测度的转变。

综上所述，已有文献在评价指标体系构建和评价方法选择方面为本文提供了有益启发。但相关研究仍有以下不足，一是指标体系构建虽考虑了复杂性与归属性，但忽视了影响因子间复杂的非线性相互作用关系，缺少理论分析土地综合承载系统内在演变机理，也就难以从整体层面统筹协调各要素关系；二是评价方法虽能测度或模拟土地综合承载力的时间演变，但难以量化诊断土地综合承载力的障碍因子，且难以反映土地综合承载系统内各子系统的演变。土地综合承载力评价最终目的在于趋近土地最佳承载状态，远离土地最劣承载状态，而 TOPSIS (Technique for Order Preference By Similarity to Ideal Solution) 法就是通过测度目标靠近正理想解和远离负理想的距离来评价土地综合承载力水平^[11]。TOPSIS 法不仅能反映系统总体状况还能反映系统内各子系统状况，在样本容量、指标多少和数据分布等方面均没有严格要求，具有几何意义直观、运算灵活和信息失真小等优点，应用广泛^[12]；三是研究尺度多集中于单一省域或市域，难以从空间差异角度寻求土地承载力提升对策。基于此，本文首先以系统论为原理，在刻画土地综合承载系统内各要素相互作用机理基础上，构建评价指标体系，然后运用灰关联熵权法和 TOPSIS 法相结合的客观加权评价法，从时空两个维度评价长江经济带土地综合承载力演变，并引入障碍度模型量化诊断制约长江经济带土地综合承载力提升的关键障碍因子，以为长江经济带土地综合治理提供依据。

二、指标体系构建与数据来源

系统是由若干要素以一定结构形式联结构成的具有某种功能的有机整体^[13]，其要素个体功能发挥取决于其它构成要素实现它们功能的完善程度^[14]。土地具有自然与社会双重属性，土地综合承载系统是由经济社会发展水平、自然资源禀赋、生态环境容量及科教管理水平等具有相互作用要素构成的复杂系统，如图 1 所示。

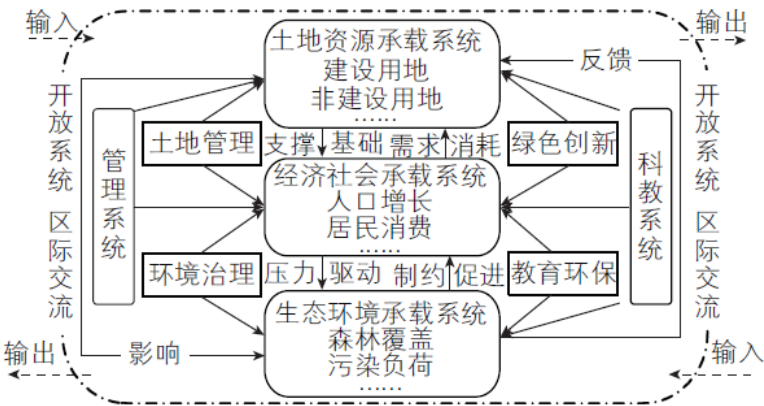


图 1 土地综合承载系统构成要素相互作用机理

土地资源一方面为人类生存提供必需的农畜产品，另一方面为人类发展提供建设空间，是人类生存与发展的基础。经济社会系统发展离不开土地资源的支撑，不管是人口增长对土地生产功能需求的增加，还是城镇化对建设用地需求的增加，都将消耗一定的土地资源和产生一定的污染物，驱动土地生态环境发生相应变化。当土地生态环境压力超限，如建设用地增加导致森林生态破坏，难以维持人与生物圈的平衡、水土流失加剧等。生态环境将产生反作用力，制约经济社会可持续发展。为了应对经济社会发展引起的土地资源短缺和土地生态环境恶化，人们会采取相应改善措施，如增加地均环保投入、提高绿色创新水平、革新土地管理模式、加大环保宣传等，以更好发挥土地资源优化与土地生态环境改善对经济社会发展的支撑与促进作用。区域土地综合承载力不仅受到区域内要素影响，还受到区域外要素影响，如全球变暖导致极端气候现象增加，影响地表生态环境。

由此可见，土地综合承载系统从整体层面协调 4 个子系统构成关系，而 4 个子系统则从不同层面支撑土地综合承载系统发

展。其中土地资源系统是经济社会系统存在与发展基础，也是土地生态环境的载体，起基础性作用。经济社会系统是引起土地资源系统和生态环境系统变化的根本力量，也是连接两者纽带，同时是科教管理系统作用得以发挥的关键，起核心作用。土地生态环境系统容量制约着经济社会发展可能边界和土地资源承载力提高，起约束作用。鉴于当前多数土地综合承载力研究将科教管理水平提高直接视为经济社会发展水平提高自然而然产物，而忽视将其纳入指标体系中的不足，本文增加科教管理维度。原因一是以经济社会发展水平直接指代科教管理水平具有一定片面性，难以真实反映科教管理对土地综合承载力的影响。从党的十八大以来生态文明建设成就不难看出，生态环保理念的迅速提升、绿色创新技术的推陈出新、土地管理水平的提高等，需要教育宣传、绿色创新研发投入和相关法律法规的共同作用，而这些都是经济社会发展难以直观反映的；二是科技创新能力和管理水平都是一种隐性能力，其典型特征是延续性与稳定性，教育水平也是随着教育经验的积累不断提升，而经济发展受外部环境影响较为显著，如金融危机、地方保护主义等，实际中经济增长可能波动较大，因此以经济社会发展指标直接指代科教管理水平难以避免大幅波动，与科教管理特性不符；三是科教管理系统与其他三个子系统相互作用，对土地综合承载力提升具有重要意义。首先，科技发展有利于绿色创新技术水平提高，促进土地资源利用效率提高和土地生态环境改善。其次，环保教育一方面直接有利于人们环保意识提升，另一方面教育为科技发展提供大量科技人才，通过科技发展作用于土地综合承载力提升。最后，土地资源有效节约和高效利用有赖于土地管理水平的不断提高。如何捍卫耕地红线，如何提高建设用地效率，破除“摊大饼”式的城市扩张，如何消除鬼城空城和闲置园区，如何盘活城乡闲置土地置换等，都亟须土地管理水平提高予以应对。由此不难看出科教管理系统既是土地资源系统和生态环境系统优化、提升的保障，也是促进经济社会发展的重要推动力，起保障作用。

基于上述土地综合承载系统构成要素相互作用机理分析，在参考相关研究成果^[2-3, 12, 15]基础上，结合国务院印发的《全国国土规划纲要（2016-2030年）》和国家发改委印发的《绿色发展指标体系》《生态文明建设考核目标体系》等政策文件，依据长江经济带实际情况，按照指标选取的代表性、独立性、系统性和可量化性原则，以突出反映4个子系统内涵为重点，选取了24个指标构建了长江经济带土地综合承载力评价指标体系，具体见表1所列。

表1 土地综合承载力评价指标体系

子系统	指标	权重
经济社会	城镇化率 $S_1/\%$	0.039
	人口增长率 $S_2/\%*$	0.037
	二、三产业比重 $S_3/\%$	0.040
	地均GDPS _i / (万元·km ²)	0.038
	地均居民消费水平 $S_5/(\text{元} \cdot \text{km}^{-2})$	0.040
	地均固定资产投资 $S_6/(\text{万元} \cdot \text{km}^{-2})$	0.043
土地资源	水土资源匹配系数 R_1	0.034
	人口密度 $R_2/(\text{人} \cdot \text{km}^{-2})$	0.048
	人均耕地面积 $R_3/(\text{hm}^2 \cdot \text{人}^{-1})$	0.045
	人均城市道路面积 $R_4/(\text{m}^2 \cdot \text{人}^{-1})$	0.042
	人均公园绿地面积 $R_5/(\text{m}^2 \cdot \text{人}^{-1})$	0.036
	人均建成区面积 $R_6/(\text{km}^2 \cdot \text{万人}^{-1})$	0.041
生态环境	森林覆盖率 $E_1/\%$	0.047
	建成区绿化覆盖率 $E_2/\%$	0.032
	地均废水负荷 $E_3/(\text{万 t} \cdot \text{km}^{-2})$	0.048
	湿地面积占辖区面积比重 $E_4/\%$	0.090
	地均环境治理投资额 $E_5/(\text{万元} \cdot \text{km}^{-2})$	0.044
	地均工业固体废弃物负荷 $E_6/(\text{万 t} \cdot \text{km}^{-2})$	0.035

科教管理	土地集约化程度 M_1	0.044
	建成区面积增长弹性系数 M_2^*	0.029
	R&D 经费投入强度 $M_3/\%$	0.037
	地均财政教育科技支出 $M_4/(\text{万元} \cdot \text{km}^{-2})$	0.039
	地均发明专利申请授权量 $M_5/(\text{项} \cdot \text{km}^{-2})$	0.044
	地均普通高校在校学生数 $M_6/(\text{人} \cdot \text{km}^{-2})$	0.031

注： S_1 – M_6 为指标代码；带*指标为负向指标，其余均为正向指标；指标权重计算见下文公式（3）–（5）。

经济社会子系统主要考察区域经济实力、产业结构和人民生活水平等，是驱动土地综合承载力变化的根本力量，其中城镇化率（ S_1 ）、二三产业比重（ S_3 ）、地均 GDP（ S_4 ）和地均居民消费水平（ S_5 ）从不同角度直观反映区域经济实力，人口增长率（ S_2 ）反映区域经济吸引力，地均固定资产投入（ S_6 ）反映区域土地开发强度；土地资源子系统主要考察土地资源对区域经济社会发展的支撑与经济社会发展对土地资源的利用与消耗，是土地综合承载力的基础，其中水土资源匹配系数（ R_1 ）反映土地自然状态质量的优劣，人口密度（ R_2 ）反映土地承载人口的压力，人均耕地面积（ R_3 ）反映土地资源储量，人均城市道路面积（ R_4 ）和人均建成区面积（ R_6 ）反映土地供需状态，人均公园绿地面积（ R_5 ）反映土地资源对居民生活质量改善的满足状态；生态环境子系统主要考察区域经济社会发展对土地生态环境的污染破坏和土地生态环境所能承载的经济社会发展边界，是制约土地综合承载力提升的关键因子，其中森林覆盖率（ E_1 ）、建成区绿化覆盖率（ E_2 ）、湿地面积占辖区面积比重（ E_4 ）从不同角度反映了区域土地生态现状，地均废水负荷（ E_3 ）、地均工业固体废弃物负荷（ E_6 ）反映区域土地环境污染强度，地均环境治理投资额（ E_5 ）反映区域致力于土地环境改善的力度；科教管理子系统主要考察科技创新、教育发展和土地管理对提高土地综合承载力的作用，其中土地集约化程度（ M_1 ）和建成区面积增长弹性系数（ M_2 ）反映土地管理水平现状，R&D 经费投入强度（ M_3 ）和地均发明专利申请授权数（ M_5 ）反映区域绿色创新技术水平，地均财政教育科技支出（ M_4 ）和地均普通高校在校学生数（ M_6 ）从不同角度反映了教育发展水平。此外，根据指标对结果效用的不同，划分正向指标（数值越大，评价结果越好）和负向指标，见表 1 所列。

上述指标数据来源于 2008–2017 年《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国科技统计年鉴》及研究区 11 省市统计年鉴，除少数指标直接获得外，其余指标均为计算获得，所有指标均为相对性指标，能更为客观评价区域间土地综合承载力差异。

三、评价方法与模型

（一）灰关联熵权 TOPSIS 法

TOPSIS 模型全称为逼近理想解排序法，原理是通过测度评价对象与正（最优）、负（最劣）理想解的相对距离进行排序优选，适用于有限方案多目标决策问题，能较为全面客观地反映评价对象的动态变化趋势，可用于评估土地综合承载力^[16]。不同指标对土地综合承载力结果效用存在差异，客观确定指标权重直接影响结果的精确性。熵值法通过评价对象信息量大小确定其权重，能有效兼顾指标的变异程度，可客观反映其重要性。承载力本身是动态变化的，其评价指标设置难以完全避免模糊性与不确定性，灰色关联法能够有效解决部分信息已知和部分信息未知的问题^[17]。据此本文借鉴文献^[18]，结合熵值法与灰色关联法优点，引入灰关联熵权法，构造灰关联熵权 TOPSIS 法用于评价土地综合承载力。具体步骤如下：

1. 评价指标数据标准化

标准化的目的是消除指标量纲不同和指标性质不同对评价结果的影响。设有 m 个评价对象， n 个评价指标，形成原始评价矩阵 $R = (R_{ij})_{m \times n}$ 。本文采用极值法对原始数据进行标准化处理，正向（越大越好）指标处理方式，见公式（1），负向（越小越好）指标处理方式，见公式（2）。

$$v_{ij} = [r_{ij} - \min(r_{ij})] / [\max(r_{ij}) - \min(r_{ij})] \quad (1)$$

$$v_{ij} = [\max(r_{ij}) - r_{ij}] / [\max(r_{ij}) - \min(r_{ij})] \quad (2)$$

根据公式 (1)、(2) 得到标准化评价矩阵 $V = (V_{ij})_{m \times n}$ 。

2. 加权规范化评价矩阵构建

分别取 4 个子系统各评价指标标准化值的最大值构成参考序列 V_0 ，则 $V_0 = \{v_{01}, v_{02}, \dots, v_{0n}\}$ ， $v_{0j} = \max_i v_{ij}$ ， $j = 1, 2, \dots, n$ 。则第 i 年第 j 项指标的灰色关联系数为：

$$\delta_{ij} = \frac{\min_i \min_j |v_{0j} - v_{ij}| + \lambda \max_i \max_j |v_{0j} - v_{ij}|}{|v_{0j} - v_{ij}| + \lambda \max_i \max_j |v_{0j} - v_{ij}|} \quad (3)$$

其中，分辨系数 $\lambda = 0.5$ 。

则第 j 项评价指标的灰关联熵为：

$$E_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m e_{ij} \ln e_{ij} \quad (4)$$

其中， $e_{ij} = \delta_{ij} / \sum_{i=1}^m \delta_{ij}$ ， $j = 1, 2, \dots, n$ ，且 $e_{ij} \geq 0$ ， $\sum_{i=1}^m e_{ij} = 1$ 。因此，第 j 项评价指标的灰关联熵权为：

$$\omega_j = t_j / \sum_{j=1}^n t_j, \quad j=1, 2, \dots, n \quad (5)$$

其中， $t_j = 1 - E_j$ 为第 j 项指标的偏离度。

则加权规范化矩阵为：

$$Y = \omega_j \times V = (y_{ij})_{m \times n} \quad (6)$$

3. 确定正、负理想解 Y^+ 和 Y^-

$$Y^+ = \{ \max y_{ij} | i = 1, 2, \dots, m \} = \{ y_1^+, y_2^+, \dots, y_m^+ \} \quad (7)$$

$$Y^- = \{ \min y_{ij} | i = 1, 2, \dots, m \} = \{ y_1^-, y_2^-, \dots, y_m^- \} \quad (8)$$

4. 距离计算

计算评价对象各指标不同年份值与正、负理想解的距离 D_j^+ 和 D_j^- ：

$$D_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^m (y_i^+ - y_{ij})^2} \quad (9)$$

$$D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^m (y_i^- - y_{ij})^2} \quad (10)$$

5. 计算贴近度

贴近度表征评价对象与最优评价方案的接近程度，通常用 T_j 表示，公式如下：

$$T_j = \frac{D_j^-}{D_j^+ + D_j^-} \quad (11)$$

由式 (11) 可知， $T_j \in [0, 1]$ ，其值越接近 1，表明土地综合承载力越接近最优状态。反之，越接近 0，土地综合承载力越接近最劣状态。

目前关于土地综合承载力研究成果较多，但由于研究方法、评价指标体系构建和研究区域的不同，学术界尚未形成统一的土地综合承载力划分标准，故本文根据研究目的和相关研究^[19-20]中常采用的非等间距划分方法将贴近度划分为 4 个等级，表示土地综合承载力水平高低，见表 2 所列。

表 2 土地综合承载力水平判定标准

贴近度	[0, 0.3)	[0.3, 0.6)	[0.6, 0.8)	[0.8, 1)
承载水平	较差	中级	良好	优质

(二) 土地综合承载力障碍因子诊断模型

土地综合承载力评价目的在于识别差距和改善方向，对影响土地综合承载力的障碍因子进行诊断与分析，可以更有针对性地制定相应对策。在此引入因子贡献度、指标偏离度和障碍度 3 个变量。因子贡献度 F_{ij} 是单项指标对土地综合承载力的贡献度，一般用指标权重 ω_i 表示；指标偏离度 I_{ij} 是单项指标实际值与最优目标值之间的差距；障碍度 O_i 是子系统或单项指标对土地综合承载力的障碍程度，公式如下：

$$O_i = I_i \omega_i / (\sum_{i=1}^n I_i \omega_i) \quad (12)$$

其中， $I_i = 1 - v_{ij}$ ， v_{ij} 为指标标准化值。

四、实证测算与结果评价

（一）长江经济带 11 省市及分段土地综合承载力结果评价

长江经济带地跨我国东中西三大区域，区域内发展差异大，为了更客观体现差异，按照传统地域划分法，将长江经济带划分为东段（上海、江苏、浙江）、中段（安徽、江西、湖北、湖南）和西段（重庆、四川、贵州、云南）。根据上文研究方法，本文测算了 2007-2016 年长江经济带分省市及分段土地综合承载力，见表 3 所列。

表 3 长江经济带 11 省市及分段土地综合承载力结果

年份	上海	江苏	浙江	安徽	江西	湖北	湖南	重庆	四川	贵州	云南	标准差	东段	中段	西段
2007	0.365	0.401	0.362	0.298	0.402	0.346	0.424	0.368	0.316	0.376	0.381	0.037	0.310	0.349	0.382
2008	0.358	0.394	0.376	0.286	0.408	0.317	0.443	0.331	0.313	0.371	0.389	0.047	0.299	0.337	0.373
2009	0.363	0.343	0.368	0.326	0.442	0.364	0.500	0.320	0.337	0.377	0.389	0.053	0.302	0.384	0.355
2010	0.327	0.328	0.406	0.433	0.516	0.382	0.489	0.352	0.417	0.408	0.419	0.060	0.326	0.424	0.434
2011	0.373	0.347	0.394	0.420	0.490	0.384	0.481	0.419	0.406	0.380	0.383	0.044	0.388	0.398	0.420
2012	0.402	0.377	0.453	0.438	0.593	0.456	0.508	0.479	0.474	0.369	0.425	0.063	0.434	0.438	0.455
2013	0.556	0.575	0.579	0.599	0.502	0.601	0.478	0.606	0.614	0.545	0.588	0.044	0.593	0.595	0.583
2014	0.610	0.587	0.602	0.609	0.531	0.634	0.518	0.641	0.629	0.604	0.620	0.040	0.644	0.620	0.649
2015	0.647	0.620	0.625	0.611	0.560	0.616	0.560	0.619	0.629	0.596	0.623	0.027	0.684	0.625	0.634
2016	0.680	0.638	0.658	0.659	0.586	0.656	0.581	0.692	0.648	0.613	0.649	0.035	0.714	0.668	0.651

注：标准差为 11 省市标准差，不包含东中西段。

表 3 显示，从时间尺度分析，2007-2016 年长江经济带 11 省市与东中西段土地综合承载力均呈不同幅度上升态势，2016 年，11 省市中除江西和湖南还处中级水平外，其余省市均达良好水平，土地利用方式转变与土地生态环境建设总体成效显著，但提升潜力依然大。其中，安徽省土地综合承载力提升幅度最大，10 年间提升了 121.1%，原因是初期土地综合承载力过低，提升空间大，且安徽快速发展起步时间相对较晚，土地破坏与污染存量相对较低。湖南土地综合承载力提升幅度最小，10 年间仅提升了 37.2%，原因是初期土地综合承载力相对较高，提升空间相对较小，但地均污染治理投入增长缓慢和湿地面积减少等是湖南土地综合承载力提升幅度不大的重要原因。其余省市 10 年间土地综合承载力增长幅度多处于 60%~90%之间，增长幅度差距不大，各省市土地综合承载力均提升显著。10 年间东中西段土地综合承载力增幅同样显著，分别提升了 130.3%、91.7%、70.7%。

从空间尺度分析，各省市及东中西段土地综合承载力均存在一定差距，标准差显示，2007-2012 年 11 省市间差距呈扩大态势，2012 年后差距呈缩小态势。一是我国区域发展差异较大，土地综合承载力必然存在差距。二是 2012 年生态文明建设上升为国家战略，各地开始大力贯彻落实生态文明建设，差距开始缩小。此外，首末位省市土地综合承载力绝对差值由 2012 年的 0.224 降为 2015 年的 0.087，下降了 1.57 倍，尤其是 2014 年国务院印发的《关于依托黄金水道推动长江经济带发展的指导意见》提出创新驱动促进产业转型、建设绿色生态廊道和创新区域协调发展体制机制等七项重点任务后，各省市间加强交流合作，协同

推进创新与产业转型升级，增加环境治理投入等，使得区域内差异不断缩小，首末位省市间差距也大幅缩小。以 2012 年为转折点，长江经济带土地综合承载呈现西高东低阶梯状空间格局向东高西底阶梯状空间格局转变，且东段地区整体优势越发显著。与中西段地区相比，虽然东段地区前期粗放式的高速发展导致土地需求压力倍增和土地生态环境污染破坏高存量，以致 2012 年之前一直低于中西段。但近来东段地区依靠先发优势在环境污染治理、绿色创新技术研发和生态保护方面的投入规模迅速扩大，土地综合承载力显著提升并开始超过中西段，这也说明经济社会发展到一定阶段后，对资源环境承载力提升的正向作用开始显著大于负向作用。

（二）长江经济带土地综合承载力及子系统承载力结果评价

为了更深入分析长江经济土地综合承载力变化趋势及可能原因，计算 4 个子系统贴近度，据此分析长江经济带各子系统承载力特征与演变趋势，如图 2 所示。

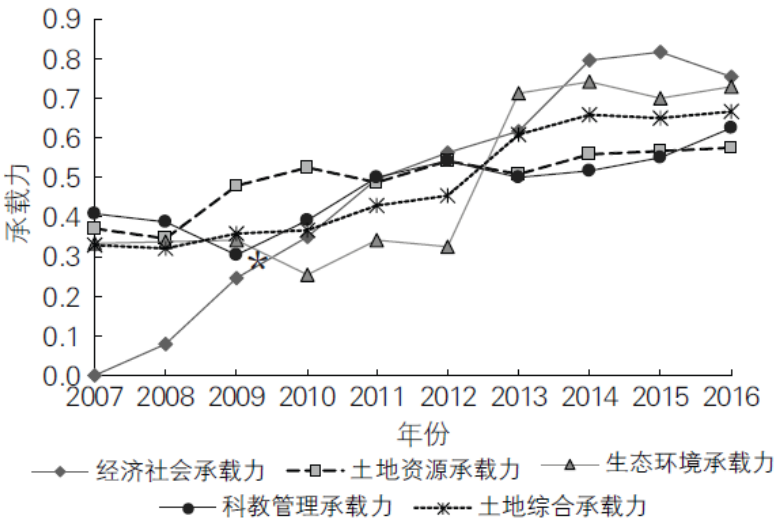


图2 长江经济带土地综合承载力及子系统承载力结果

1. 土地综合承载力评价

2007-2016 年长江经济带土地综合承载力呈上升态势。样本期内 D^+ 由 0.188 下降为 0.089，实际值与理想值差距不断缩小，逐步趋于正理想解； D^- 由 0.093 上升为 0.182，实际值与非理想值差距不断扩大，逐步偏离负理想解，承载力由 2007 年的 0.330 升为 2016 年的 0.669，提升了 102.7%，土地综合承载力显著提升。这首先得益于科学发展观、生态文明建设、绿色创新发展理念等贯彻落实和清洁生产、节能降耗、环境治理等技术水平提高，以及国土空间优化开发、全过程治理和严格土地用途管制等管理模式创新，极大提高了土地资源利用效率和改善了土地生态环境；其次，长江经济带作为三大国家级区域发展战略之一，其地位举足轻重。习近平总书记强调：“推动长江经济带发展必须坚持生态优先、绿色发展的战略定位。”国家和区域内各省市也制定了一系列政策法规或措施贯彻落实生态优先、绿色发展战略，如 2007 年《上海市节能减排工作实施方案》、2013 年《安徽省人民政府关于进一步强化土地节约利用工作的意见》、2014 年《湖北生态省建设规划纲要（2014-2030）》、2015 年《长江经济带国土资源与重大地质问题图集》、2016 年《长江经济带生态环境保护规划》等的制定与实施为长江经济带土地综合治理提供了政策支撑与行动指南，极大促进了土地综合承载力提升。

2. 子系统承载力评价

(1) 经济社会承载力 2007-2016 年经济社会承载力基本呈线性上升态势,增幅大,承载力由中级水平上升为良好水平。长江经济带作为中国国土开发和经济布局“T”形空间结构战略极其重要的一横发展轴,具有独特的区位优势和巨大发展潜力。改革开放以来,长江经济带经济社会发展步入快车道,经济总量不断跃升,城镇化水平持续提高、产业结构不断优化、居民消费水平层层攀升。2007-2016 年人均 GDP、城镇化率、人均居民消费水平年均增长率分别为 10.55%、2.63%、9.54%,2016 年第二、三产业增加值占地区生产总值达 90.64%,经济社会发展水平稳步提升,特别是提质增效发展方式的深入推进,不但有效提高了资源利用效率,减少了资源消耗浪费,而且减轻了经济社会发展对资源、生态环境的压力,有力支撑了土地经济社会承载力的持续快速提升。

(2) 土地资源承载力 2007-2016 年土地资源承载力呈波动上升态势,总体变化幅度小,评价期内一直处于中级水平,提升压力与提升空间并存。土地资源作为支撑经济社会发展的基础性自然资源和战略性经济资源,在经济社会快速发展阶段必然带来需求压力和污染破坏压力交织叠加,导致土地资源承载力难以显著提升。但随着生态文明建设、绿色创新理念等的贯彻落实,长江经济带正加速步入集约高效、绿色创新发展道路,土地资源集约化利用水平持续提高、耕地红线制度严格落实、人口—经济—资源—环境相协调的空间开发格局正逐步形成。水土资源匹配系数、人均公园绿地面积等分别由 2007 年的 61.15 、 $8.41\text{m}^2 \cdot \text{人}^{-1}$ 上升为 2016 年的 $85.16\text{m}^2 \cdot \text{人}^{-1}$ 、 $12.83 \text{m}^2 \cdot \text{人}^{-1}$,土地资源压力存量不断消除、新增压力逐步趋弱,土地资源承载力状况明显改善,提升趋势稳中向好。

(3) 生态环境承载力 2007-2016 年生态环境承载力总体呈波动上升态势,变化幅度较大,承载力由中级水平上升为良好水平。其中,2007-2012 年波动频繁,未形成显著演变趋势。从子系统内部看,正向指标森林覆盖率、建成区绿化覆盖率分别由 2007 年的 29.96%、35.7% 上升为 2012 年的 35.08%、39.5%;正向指标湿地面积占辖区面积比重基本未变,地均环境治理投资额虽总体上升,但期间也出现两次下降;负向指标地均废水负荷、地均工业固体废弃物负荷分别由 2007 年的 $4.64 \text{万 t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $0.62 \text{万 t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 增加为 2012 年的 $4.86 \text{万 t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $0.79 \text{万 t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。综上,子系统内部正负指标共同作用,导致这一阶段生态环境承载力波动频繁。2012-2013 年生态环境承载力显著提升,提升幅度达 118.8%,直接得益于系统内正负指标均向好发展,如森林覆盖率、湿地面积占辖区面积比重分别上升了 8.8%、41.8%,而地均工业固体废弃物负荷降低了 1.3%。深层次则是发展方式转变、经济结构优化、增长动力转换以及生态文明建设等共同发挥作用所致。

(4) 科教管理承载力 2007-2016 年科教管理承载力总体呈上升态势,变化幅度小,评价期内均属中级水平。科技创新与教育水平提高,不但能直接提高资源利用水平,加速推进创新型国家建设,而且能提高全社会环保意识,实现消费革命,从多个方面作用于土地综合承载力提升。科技创新与教育水平作为一种内蕴于经济社会发展过程中的隐性能力,典型特征是稳定性,理论上是稳定上升,从地均普通高校在校学生数和地均发明专利申请授权量的稳定提升即可体现,两者分别从 2007 年的 $11.6 \text{人} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $0.052 \text{项} \cdot \text{hm}^{-2}$,上升为 2016 年的 $13.8 \text{人} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $0.374 \text{项} \cdot \text{hm}^{-2}$,但短期内难以实现大的突破,这决定了科教管理承载力提升的缓慢与稳定。而 2007-2009 年、2012-2013 年科教管理承载力 2 次下降主要是管理方式滞后所致。具体看,土地集约化程度由 2007 年的 1.985 下降为 2009 年的 1.640。产出投入比不断降低反映了土地投入边际产出正在弱化,应积极调整土地投入管理策略,扭转这一趋势;建成区增长弹性系数由 2007 年的 0.215 增长为 2009 年的 0.597,表明城市规模扩张速度正逐步追平经济增长速度,城市无序扩张压力大。城市无序扩张不仅造成土地需求压力倍增,还导致诸如建设垃圾激增、基础设置滞后等负面影响。2012-2013 年科教管理承载力下降原因与 2007-2009 年类似。

(三) 长江经济带土地综合承载力障碍因子诊断

根据公式(12)计算得出长江经济带土地综合承载力各因子障碍度,为了体现关键性,这里仅列出障碍度排名前 8 的因子,见表 4 所列。在单项指标障碍度计算结果基础上,进一步测度各子系统障碍度。

表 4 长江经济带土地综合承载力主要障碍因素排序

排序	2007 年		2012 年		2016 年	
	障碍因素	障碍度 (%)	障碍因素	障碍度 (%)	障碍因素	障碍度 (%)
1	E ₄	11.53	E ₄	7.67	R ₂	20.89
2	E ₁	5.94	R ₂	5.68	M ₁	19.15
3	M ₅	5.61	E ₆	5.36	E ₃	17.07
4	E ₅	5.59	E ₅	4.99	R ₃	14.16
5	S ₆	5.43	M ₁	4.94	S ₂	12.66
6	R ₃	5.40	S ₆	4.82	E ₆	6.72
7	R ₄	5.30	E ₃	4.81	M ₂	6.59
8	R ₆	5.22	M ₅	18.05	E ₅	2.76

1. 指标层障碍因子分析

如表 4 所列，首先，从主要障碍因子的集聚性看，2007 年主要集中在生态环境系统和土地资源系统，两个系统各涵盖 3 个指标，具体包括湿地面积占辖区面积比重、森林覆盖率、人均耕地面积等；2012 年主要集中在生态环境系统，涵盖了 4 个指标，集聚性增强，具体包括湿地面积占辖区面积比重、地均工业固体废弃物负荷等。此外，科教管理系统也涵盖了 2 个指标，分别是土地集约化程度和地均发明专利申请授权量，表明土地管理水平滞后和土地科技创新水平不高的阻碍作用正逐步增强；2016 年集聚性较为分散，生态环境系统涵盖 3 个指标，土地资源系统和科教管理系统各涵盖 2 个指标。结合各指标障碍度数值看，单项指标障碍度数值随着时间推进，呈现不断增大态势，如 2007 年首位障碍因素障碍度为 11.53%，2012 年为 18.05%，2016 年则为 20.89%，这表明未来在注重障碍因素集聚性同时，需同时关注单项因子的障碍度，尤其是排序靠前的障碍因子，系统治理与单项突破相结合，有重点的将资源倾向某些关键性障碍因子，以实现边际效益最大化。

其次，从单项障碍因子年际排序变化看，不同年份变化较大。其中，2007 年湿地面积占辖区面积比重 (E₄)、森林覆盖率 (E₁) 和地均发明专利申请授权数 (M₅) 位列前三位，且湿地面积占辖区面积比重障碍度远远高于其余因子。湿地被称为“地球之肾”，具有净化水源、降解污染物、维持自然生态健康平衡等极其重要的生态功能，对土地生态环境变化有重要影响，湿地面积占辖区面积一直不高，严重制约了土地综合承载力提升。2012 年，前三位障碍因子出现了较大变化，除湿地面积占辖区面积比重依然是首位障碍因子外，人口密度和地均工业固体废弃物负荷分别成为第二、第三位障碍因子。两者分别由 2007 年的 601.52 人·hm⁻²、0.062 万 t·hm⁻² 上升为 2012 年的 653.78 人·hm⁻²、0.079 万 t·hm⁻²，两者数值的快速上升成为障碍度显著提升的直接原因。2016 年人口密度上升为首位障碍因子，土地集约化程度、地均废水负荷紧随其后，分列第二、第三。人口密度障碍度上升为首位，一是人口密度一直在增加，二是原先首位障碍因子状况不断改善，如湿地面积占辖区面积比重由 2007 年的 9.36% 上升为 2016 年的 13.27%，共同作用所致。而土地集约化程度由 2007 年的 1.985 降为 2016 年的 1.399，地均废水负荷由 2007 年的 4.64 万 t·hm⁻² 升为 2016 年的 4.99 万 t·hm⁻² 是两者障碍度显著提升的直接原因。从单项障碍因子年际排序变化不难看出，人类活动已成为制约土地综合承载力提升的关键因素。

最后，从不同年份共同障碍因子变化看，地均环境治理投资额 (E₅) 为 3 年共同障碍因子，环境治理投资是改善土地生态环境重要手段之一，结合表 1 看，其权重排在第 7 位，对土地综合承载有重要影响。人口密度 (R₂)、地均工业固体废弃物负荷 (E₆)、土地集约化程度 (M₁)、地均废水负荷 (E₃) 是 2012 年和 2016 年的共同障碍因子，其中人口密度、土地集约化程度、地均废水负荷障碍度与排序均出现了不同程度上升，表 1 显示，其权重排序分别为第 3 位、第 8 位、第 2 位，说明这些障碍因子的改善是未来提高土地综合承载力的着力点，需重点关注。此处也启示，10 年间障碍度和权重均排序前 8 的指标是未来首要关注点，而近期新出现在前 8 位的障碍因子，如果其权重也在前 8 位，则是未来需重点关注的，如果其权重靠后，一般对结果影响不大，短期内集中解决即可改善。

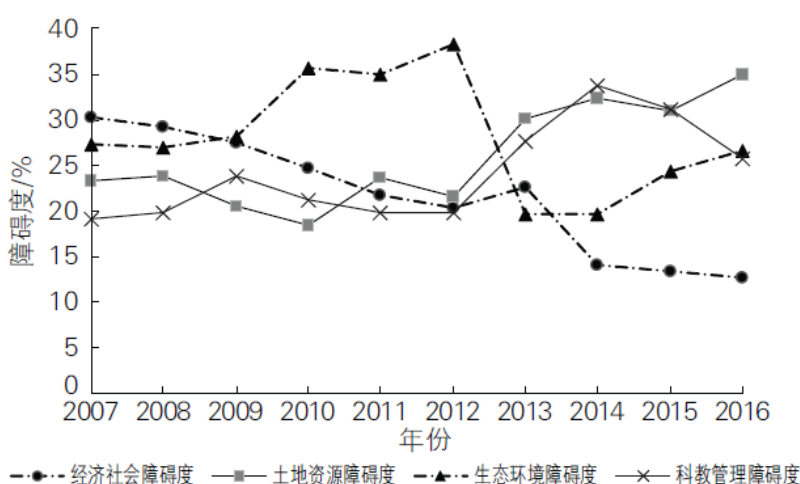


图3 长江经济带土地综合承载力子系统层障碍度

2. 子系统层障碍度分析

如图3所示,从变化趋势看,2007-2016年4个子系统障碍度变化趋势不尽相同。社会经济系统障碍度除2013年有小幅波动外,基本呈线性下降趋势,10年间共下降了138.9%;土地资源系统和科教管理系统障碍度变化趋势相似,2007-2012年障碍度维持在18.4%~23.9%之间波动,变化幅度小,且未形成显著的上升或下降趋势,2012-2014年快速上升,之后土地资源系统障碍度继续上升,科教管理系统障碍度开始下降,两者存在一定差异,但就总的变化而言,与2007年基期相比,两者障碍度均较大幅度上升;生态环境系统障碍度总的波动最频繁,幅度最大,但也呈现较为显著的三个变化阶段,波动上升(2007-2012年)、迅速下降(2012-2014年)、小幅上升(2014-2016年)。从具体数值看,社会经济系统、土地资源系统、生态环境系统、科教管理系统障碍度年平均值分别为21.65%、25.99%、28.17%、24.19%,结合数值年际变动分析,社会经济系统高障碍度阶段集中在2010年之前,生态环境系统2012年之前障碍度明显高于2012年之后,据此可以判断,土地资源系统是未来一段时期首要障碍系统,生态环境系统障碍度增长压力依然严峻,形势不容乐观,科教管理系统障碍度虽然下降趋势显著,但障碍度仍较高。

五、结论与政策建议

(一) 主要结论

(1) 从土地综合承载力看,时间上,2007-2016年长江经济带整体、11省市及东中西段均呈不同幅度上升态势。除江西、湖南一直处于中级水平外,其余省市及区域均由2007年的中级水平上升为2016年的良好水平,综合承载力提升显著,但2016年仅东段地区承载力达0.7以上,提升压力与潜力俱在。空间上,各省市及东中西段承载力分布存在一定差异。2012年前差异呈扩大态势,2012年后差异呈缩小态势,得益于区域协调战略和生态文明建设贯彻落实。东中西段承载力呈两阶段相反分布特征,2007-2012年基本呈西高东低阶梯状空间格局。2013-2016年基本呈东高西低阶梯状空间格局。主要是前期土地资源消耗、生态环境污染存量与后期绿色创新技术发展和生态环境保护投入差异等共同作用所致。

(2) 从子系统承载力看,2007-2016年4个子系统承载力总体呈不同幅度上升态势,为长江经济带土地综合承载力提升奠定了坚实基础。其中土地经济社会承载力基本呈线性增长态势,土地资源和土地科教管理承载力上升幅度小,土地生态环境承载力波动频繁。子系统不一致性变化一定程度上制约了土地综合承载力的快速提升,尤其是同一年份子系统有升有降,土地综合承载力提升更为缓慢,甚至下降,这说明必须统筹协调子系统间关系,注重消解经济社会快速发展对土地资源与土地生态环境的不利影响,着力提高科教管理和生态环境保护投入力度,以实现4个子系统承载力的协同提高。

(3) 从子系统障碍度看,土地资源承载系统是制约长江经济带土地综合承载力提升的首要障碍系统。其次是土地生态环境系统,且障碍度提升压力大。之后依次是科教管理系统、经济社会系统。其中科教管理系统障碍度虽下降趋势显著,但障碍度仍较高,应持续关注。从具体指标障碍度看,人口密度、土地集约化程度、地均废水负荷、环境治理投资等是主要障碍要素。结合指标权重对结果影响大的原则可以得出,障碍度与权重均排序靠前的指标是首要关注对象,障碍度排序靠前而权重排序较靠后的指标,短期内重点突破即可成效显著,障碍度排序较靠后而权重排序靠前的指标,是潜在的易转化为高障碍度的指标,需持续关注。

(二) 政策建议

综上,评价期内长江经济带土地综合承载力虽实现了增长,但提升压力依然严峻,有效提高长江经济带土地综合承载力还需多方努力,具体应做好以下工作:第一,贯彻落实“创新、协调、绿色、开放、共享”的发展理念,以创新为动力源驱动经济社会高质量发展,提高全要素生产率,降低能耗和污染排放对土地资源的破坏压力,提高土地资源利用效益;以协调、共享为抓手推动区域开放合作,构建土地污染防治联动机制和定期经验交流机制,共同贯彻落实《长江经济带生态环境保护规划》《关于加强长江黄金水道环境污染防治治理的指导意见》等重要政策文件,从整体上推进长江经济带土地综合整治工作进展;以绿色为发展底线督促生态环境改善,建立实施土地资源产权制度和土地资源用途管制制度,着力提高湿地占比、森林覆盖率和人均耕地保有量等,拓宽生态环境保护投融资渠道,提高财政环境保护投资占比,划定生态环境保护红线,扩大生态空间;第二,走新型城镇化道路,推进城市发展由摊大饼式的粗放模式向集约高效的精益模式转变,降低土地财政依赖,提高建设用地效率和地均产出边际收益。科学规划城市发展,消除鬼城空城及低产出或闲置园区。统筹城乡一体化发展,完善农村土地“三权分置”办法更好提高土地生产力,盘活城乡闲置土地置换;第三,贯彻实施供给侧结构性改革,不断优化调整产业结构,加速产业升级步伐,优先发展战略性新兴产业和高技术产业,大力发展循环经济和低碳经济,减轻经济快速增长对生态环境造成的负外部性影响,不断提高土地生态环境承载力;第四,应重点关注土地资源系统和生态环境系统,同时兼顾社会经济系统和科教管理系统,进一步统筹协调经济社会发展与能源资源集约高效利用、生态环境保护关系,探索和创新土地利用、节约、保护、治理方式,从系统论视角出发,全面提高与重点突破相结合,推动长江经济带土地综合承载力持续提高。

全面而系统的评价指标体系和有效的评价方法是科学评价土地综合承载力的基础和保障。鉴于土地综合承载力的系统属性,借助系统论原理构建评价指标体系,然后运用灰关联熵权 TOPSIS 法测度长江经济土地综合承载力,并从时空两个维度加以评价。评价目的在于识别差距与改善方向,采用障碍度模型,结合排序,明确子系统障碍度与关键障碍因子,为有效提高土地综合承载力提供了科学依据。在资源约束趋紧,生态环境问题日益严峻的当下,土地综合承载力评价研究被赋予了更多使命,如何构建更为科学的评价指标体系,设计更加符合实际运用的数理模型仍需探索。如怎样有效减小跨区域环境污染导致的数据误差,怎样有效预测未来一段时期承载力动态变化等。

参考文献:

- [1] 王圣云,林玉娟,罗玉婷.长江经济带科技创新效率变化的指数分解及聚类分析[J].华东经济管理,2018,32(9):66-72.
- [2] 于广华,孙才志.环渤海沿海地区土地承载力时空分异特征[J].生态学报,2015,35(14):4860-4870.
- [3] 李兰图,陈文宽,孙丽娜.江苏省土地综合承载力时空差异分析[J].水土保持研究,2011,18(1):12-16.
- [4] 焦红,汪洋.基于PSR模型的佳木斯市土地生态安全综合评价[J].中国农业资源与区划,2016,37(11):29-36.
- [5] 于伯华,吕昌河.基于DPSIR模型的农业土地资源持续利用评价[J].农业工程学报,2008,24(9):53-58.

-
- [6] 靳相木, 李陈. 土地承载力研究范式的变迁、分化及其综论 [J]. 自然资源学报, 2018, 33 (3): 526-540.
- [7] 郭倩, 汪嘉杨, 张碧. 基于 DPSIRM 框架的区域水资源承载力综合评价 [J]. 自然资源学报, 2017, 32 (3): 484-493.
- [8] 祝秀芝, 李宪文, 贾克敬, 等. 上海市土地综合承载力的系统动力学研究 [J]. 中国土地科学, 2014 (2): 90-96.
- [9] 刘文政, 朱瑾. 资源环境承载力研究进展: 基于地理学综合研究的视角 [J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27 (6): 75-86.
- [10] YOON K S, HWANG C L. Multiple at tribute decision making [M]. Berlin: Spring Verlag, 1981.
- [11] 胡永宏. 对 TOPSIS 法用于综合评价的改进 [J]. 数学的实践与认识, 2002, 32 (4): 572-575.
- [12] 朱珠, 张琳, 叶晓雯, 等. 基于 TOPSIS 方法的土地利用综合效益评价 [J]. 经济地理, 2012, 32 (10): 139-144.
- [13] 周德群, 方志耕, 潘东旭, 等. 系统工程概论 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [14] 贝塔朗菲. 一般系统论基础、发展和应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1987.
- [15] 魏玮, 伍博炜, 王强, 等. 基于生物免疫学原理的海西城市群土地综合承载力研究 [J]. 资源科学, 2015, 37 (10): 2018-2029.
- [16] 杨亮洁, 杨永春. 甘肃省资源环境承载力时空分异 [J]. 生态学报, 2017, 37 (20): 7000-7017.
- [17] 刘思峰, 杨英杰, 吴利丰. 灰色系统理论及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [18] 胡启洲, 陆化普, 蔚欣欣, 等. 基于关联熵与复合物元的公交系统综合测度模型 [J]. 系统工程理论与实践, 2011, 31 (1): 186-192.
- [19] 鲁春阳, 文枫, 杨庆媛, 等. 基于改进 TOPSIS 法的城市土地利用绩效评价及障碍因子诊断: 以重庆市为例 [J]. 资源科学, 2011, 33 (3): 535-541.
- [20] 雷勋平, ROBIN Q, 刘勇. 基于熵权 TOPSIS 模型的区域土地利用绩效评价及障碍因子诊断 [J]. 农业工程学报, 2016, 32 (13): 243-253.