

重庆市江津区土地资源承载力时空差异研究¹

程小于^{1, 2}, 杨庆媛^{1, 2*}, 毕国华^{1, 2}

(1. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715; 2. 西南大学绿色低碳发展研究所, 重庆 400715)

【摘要】: 针对重庆市江津区脆弱的生态环境本底和土地利用特点, 从承载强度、承载效益、承载潜力 3 方面构建评价指标体系, 对江津区 2007-2016 年土地资源承载力进行综合评价, 并引入障碍度模型得出各乡镇土地资源承载力障碍因素。结果表明: (1) 2007~2016 年期间, 江津区的土地资源承载力整体呈现出上升趋势, 但上升幅度较小, 土地资源承载力仍然偏低, 各乡镇土地资源承载状态均未达到良好状态, 仍需采取各种措施不断提升土地资源承载力, 土地资源承载力的区域差距近年有所减小, 空间上呈现出南高北低的空间格局; (2) 各子系统对承载力的贡献大小不一, 承载强度贡献最大, 承载潜力次之, 承载效益贡献最小, 承载效益是提高土地资源承载力的关键; (3) 江津区土地资源承载力的主要障碍因素是单位建设用地产出、林地占比、人均生态用地、环保投资指数、人均耕地面积、水域占比、水土流失率、未利用地占比、单位农用地产出, 各乡镇障碍因素差别较大; (4) 障碍因素不同的区域, 应采取不同的措施提升土地资源承载力。主要城区和工业园区所在地应适当控制人口数量, 严格限制农用地转为建设用地; 生态环境脆弱地区应大力实施耕地休耕和退耕还林政策, 促进农民生计方式转变; 经济发展受生态保护限制的地区应转变经济发展方式和土地利用方式。

【关键词】: 土地资源承载力; 时空差异; 障碍因素; 江津区

【中图分类号】: F301.4 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2019)10-2319-12

DOI: 10. 11870/cjlyzyyhj201910005

土地是人类赖以生存的基础性自然资源, 土地资源承载力是资源环境承载力的重要组成部分。目前在经济社会取得长足发展的同时, 不合理的开发利用导致区域生态环境质量以及土地资源承载力下降等问题突出。为促进人类与自然协调发展, 2012 年“里约+20”峰会发起“未来地球”研究计划, 将资源环境承载力研究与全球变化、可持续发展研究紧密结合, 作为重要的战略研究议程^[1]。我国也十分重视资源环境的承载和可持续发展能力, 2015 年中共中央、国务院印发《关于加快推进生态文明建设的意见》强调要“严守资源环境生态红线, 将各类开发活动限制在资源环境承载能力之内”。2017 年出台的《关于建立资源环境承载能力监测预警长效机制的若干意见》则进一步要求划分资源环境承载力等级, 并提出分级管控措施。资源环境承载力研究已经成为生态文明建设的一项基础性工作, 对促进区域人口、经济与资源环境的可持续发展具有重要意义。2017 年, 江津区确立并深入实施“一三三六”^①发展思路, 将江津区定位为“重庆区域性重要战略支点、重庆现代化大都市重要功能组团、全市

¹收稿日期: 2018-12-10; 修回日期: 2019-01-16

基金项目: 重庆市教育委员会人文社会科学研究一般项目 (18SKSJ007)

作者简介: 程小于 (1995~), 女, 硕士研究生, 主要从事土地利用与国土规划研究. E-mail: 983854325@qq.com

* 通讯作者 E-mail: yizyang@swu.edu.cn

①2016 年中国共产党重庆市江津区第十四次代表大会研究确立了江津区“一三三六”发展思路, 即“围绕一个总体目标、把握三个发展定位、建设三大功能区域、突出六个更加注重”。

改革开放创新示范区”，并提出要“更加注重协调发展、更加注重绿色发展”，江津区的功能定位和发展要求意味着要对区域生态环境更加重视，更加注重区域可持续发展。

土地资源承载力作为衡量人地关系协调与否的重要依据之一，近年来备受关注。其研究以 1948 年 Vogot W^[2]首次提出土地资源人口承载力的概念及计算公式和 1949 年 Allan W^[3]提出以粮食为基础的土地资源人口承载力计算公式为开端。20 世纪 70 年代，以人地关系为核心的土地承载力研究兴起，比较有代表性的有 Millington 等^[4]运用多目标决策分析法计算了澳大利亚的土地资源承载力；FAO 主持的发展中国家土地资源潜在人口支持能力研究，创立了农业生态区域法确定土地生产潜力^[5]；20 世纪 80 年代初，联合国资助的基于 ECCO 模型（提高承载力的策略模型）的肯尼亚、赞比亚等发展中国家资源承载力研究^[6]等。近年来，国外土地资源承载力的研究对象逐渐从耕地扩展到草地^[7]、海洋^[8]等，研究多注重 GIS^[9]等科技手段的运用，且逐渐与其他学科相结合研究，如游憩生态学^[10]、营养学^[11]等。这些成果为国内土地资源承载力的研究奠定了基础。

目前国内土地资源承载力研究主要集中在土地资源承载力的内涵^[12~14]、评价指标体系构建^[15, 16]、承载力预警机制^[17, 18]、承载力预测^[19]等。研究视角主要集中在土地功能视角^[20, 21]、生态视角^[22, 23]、人粮关系视角^[24, 25]、城镇化发展视角^[26]等方面。多采用层次分析法^[27]、TOPSIS 方法^[28]、综合评价法^[16]、系统动力学法^[29]、生态足迹法^[30]等方法，对全国^[25]、省域^[19, 28]、市域^[21, 22, 29, 30]区域^[17, 26, 31]等尺度进行评价，评价的时间尺度既包括单一时间点的现状评估^[26, 27]，也包括时间序列的动态变化研究^[28, 31]。目前我国土地资源承载力研究已经取得了丰富的研究成果，但仍然存在以下不足：（1）研究多以省、市、区域等较大尺度为主，较少关注小尺度的精细化研究。（2）客观评价土地资源承载力状态居多，障碍因素或驱动力研究较少。（3）指标体系对区域特殊性因素关注不够。

土地资源承载力反映一定地域范围之内的人地关系状态，具有区域性和相对性。因此土地资源承载力的研究要立足区域实际，探讨区域资源禀赋、生态环境条件、主体功能定位、土地利用方式等约束下的承载力特征，追寻提升土地资源环境承载力的现实路径。而大尺度研究不利于提出更有针对性和可操作性的建议，基于此，本文结合江津区社会经济发展水平和土地生态环境特点，从乡镇尺度研究土地资源承载力的时空差异，并探讨制约承载力的障碍因素，以期制定区域差别化土地利用政策提供依据，为加强区域生态文明建设与社会经济可持续发展提供支撑。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

江津区地处 105° 49′~106° 38′ E, 28° 28′, ~29° 28′ N, 位于三峡库区尾端，川、黔接壤地带，是长江上游重要的航运枢纽和物资集散地。江津区四面高山环抱，境内丘陵起伏，地貌以低山兼丘陵为主，分为平阶地、丘陵和山地三大基本类型。其地质构造为“川东褶皱”和“川黔南北构造带”的过渡地带。属亚热带季风季候，气候温和湿润，降水充沛，年平均气温为 18.2℃，年平均降雨量为 1 034.7 mm。2016 年江津实现地区生产总值 674.1 亿元，增长 11.1%，年末全区常住人口为 135.33 万人，土地总面积为 32.19 × 10⁴ hm²，其中耕地面积 13.9 × 10⁴ hm²，占土地总面积的 43.18%，城镇建设用地面积 1.02 × 10⁴，占土地总面积的 3.17%。江津区是典型的生态环境脆弱区，水土流失面积达 695.38 km²（2016 年），占幅员面积的 21.73%，年土壤流失量高达 126.16 × 10⁴ t。因此研究土地资源承载力及其时空差异对江津区经济、生态、社会协调发展有着十分重要的基础性作用。

1.2 数据来源及处理

评价指标采用的经济发展与人口数据主要来源于《中国县域统计年鉴-2017》《江津统计年鉴》（2007-2016 年）《江津区国民经济和社会发展统计公报》（2007-2016 年），水土流失数据来源于《重庆市水土保持公报》（2007-2016 年）《江津统计年鉴》（2007-2016 年），土地利用现状数据来源于 2007~2016 年重庆市江津区土地利用变更数据库。数据整理过程中，建设用地、耕

地、农用地、交通运输用地、林地、水域覆盖、未利用地面积均按照《土地利用现状分类》(GB/T 21010-2017)整理计算得到,生态用地面积参照龙花楼等^[32]对生态用地分类的研究,并结合《土地利用现状分类》(GB/T 21010-2017)整理计算得到。江津区辖 4 个街道、25 个镇(2016 年),2007~2016 年间部分乡镇行政区划有所调整。其中鼎山街道原属几江街道,四面山镇原属柏林镇,四屏镇原属四面山镇和柏林镇。因此在处理数据时,将鼎山街道数据归入几江街道,将四面山镇、四屏镇数据归入柏林镇。

2 理论分析及研究方法

2.1 土地资源承载力及其影响因素

2.1.1 土地资源承载力的内涵解析

由于研究视角和研究目标不同,学者们对土地资源承载力内涵的理解也不同。传统意义上的土地资源承载力是围绕“耕地-食物-人口”展开的,具体表述为:在一定的时间内,在一定的社会、经济、技术条件下,一个国家或地区以其自身的土地资源能够持续稳定供养的人口数量。但是随着社会经济的快速发展,人们的需求不再局限于温饱问题,土地资源承载力研究也从单一的土地生产功能逐渐扩展到集承载功能、生产功能、生态功能、社会保障功能等于一体的土地多功能综合研究,土地承载的对象也不仅是人类的生存,还包括人类的各種社会、经济活动。因此,可以将土地资源承载力定义为:在一定时期和一定社会、经济、资源、环境等条件下,一个国家或地区的土地资源,能够持续稳定地支撑人类生活以及各种活动的开发规模和强度阈值。

2.1.2 土地资源承载力的影响因素分析

土地资源承载力的影响因素众多,已有研究从多个角度对其进行了分类,如部分学者认为土地资源承载力是指土地能够为人类提供的各种服务的阈值,实质上是对土地功能的评价,因此从土地功能的角度对承载力影响因素进行分类,用 GDP、耕地面积、第三产业比例等因素表示土地的生产功能;城镇绿化率、人均公园绿地面积、环保投资指数等因素表示土地的生态功能;人口密度、建设用地面积等因素表示土地的空间功能;农业人口人均耕地面积、单位土地吸纳从业人口等因素表示土地的社会保障功能。再如按照土地资源的构成进行分类,用人均耕地面积、人均粮食占有量反映耕地的承载力;土地开发强度、单位建设用地非第一产业增加值反映建设用地的承载力;城市人均公园绿地面积、森林覆盖率反映生态用地的承载力。无论从哪个角度进行分类,土地资源承载力的影响因素大同小异,所有影响因素都可以归为承载强度、承载效益、承载潜力 3 类,这样分类更加清晰地表明区域土地资源目前承受的压力,在现有土地利用方式下取得的效益,以及未来的可持续发展潜力。

2.2 土地资源承载力评价指标体系构建

2.2.1 指标选择

从承载强度、承载效益、承载潜力 3 方面构建江津区土地资源承载力评价指标体系。承载强度指土地资源所承受的人类活动强度,人类活动强度越大,承载强度越大,土地资源承载潜力越小。本文选取人口密度、土地开发强度、固定资产投资密度、人均耕地面积、耕地复种指数 5 个指标表示承载强度。承载效益指土地资源所承载人类活动的效益贡献,包括经济效益、生态效益、社会效益 3 个方面,效益越大,土地资源承载力越大。本文选取单位建设用地产出、单位农用地产出表示经济效益,人均生态用地、环保投资指数表示生态效益,单位土地吸纳从业人口、人均交通运输用地表示社会效益。承载潜力指现有的土地资源未来还能继续承载人类活动的的能力,选取林地占比、水域占比、未利用地占比、水土流失率、 $\geq 25^\circ$ 坡耕地占比 5 个指标反映承载潜力的大小。本文所用 16 个指标均按照科学性、代表性、独立性和可行性原则,并参考江津区实际情况筛选得出,最终构成土地资源承载力评价指标体系(表 1)。

2.2.2 指标标准化及权重确定

数据的差异性、多样性会导致数据之间离散程度很大，需要对数据进行标准化，即无量纲化处理，以消除量纲单位对承载力结果的影响。本文选取极值法进行数据标准化处理，根据指标性质，将指标分为正向和逆向两类，正向指标越大越好，逆向指标越小越好。

正向指标的标准化：

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (1)$$

$i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, n$

逆向指标的标准化：

$$Z_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (2)$$

$i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$

标准化公式中， Z_{ij} 为标准化后的指标值，值越大越好； x_{ij} 为指标原始值； $\max x_{ij}$ 、 $\min x_{ij}$ 分别为指标的最大值、最小值，标准化后的指标值处于[0，1]之间。

指标权重的确定采用层次分析法，该方法目前在土地资源承载力评价求取权重过程中运用最广，已发展成熟。在确定准则层权重时，认为土地资源承载力的3个子系统等权重，各指标具体权重见表1。

表 1 土地资源承载力评价指标体系

目标层	准则层	指标层	指标解释	指标类型	权重
土地资源承载力	承载强度	X1 人口密度（人/km ² ）	人口总数/土地总面积	逆向	0.053 3
		X2 土地开发强度（%）	建设用地面积/ 土地总面积 x 100%	逆向	0.053 4
		X3 固定资产投资密度（万元/hm ² ）	固定资产投资额/ 土地总面积	逆向	0.082 1
		X4 人均耕地面积（hm ² /人）	耕地总面积/人口总数	正向	0.108 6
		X5 耕地复种指数（%）	农作物播种面积/耕地总面积 x 100%	逆向	0.035 9
	承载效益	X6 单位建设用地产出（万元/hm ² ）	二三产业增加值/建设用地面积	正向	0.072 9
		X7 单位农用地产出（万元/hm ² ）	第一产业增加值/农用地面积	正向	0.046 7
		X8 人均生态用地（hm ² /人）	生态用地面积/人口总数	正向	0.072 9
		X9 环保投资指数（%）	环保财政资金投入额/生产总值 x 100%	正向	0.072 9
		X10 单位土地吸纳从业人口（人/hm ² ）	从业人口数/土地总面积	正向	0.036 5
		X11 人均交通运输用地（hm ² /人）	交通运输用地面积/人口总数	正向	0.031 4

	X12 林地占比 (%)	林地面积/ 土地总面积× 100%	正向	0.095 2
	X13 水域占比 (%)	水域覆盖面积/ 土地总面积× 100%	正向	0.047 6
承载力	X14 未利用地占比 (%)	未利用地面积/ 土地总面积× 100%	正向	0.047 8
	X15 水土流失率 (%)	水土流失面积/ 土地总面积× 100%	逆向	0.095 2
	X16≥25° 坡耕地占比 (%)	坡度耕地面积/耕地总面积×100%	逆向	0.0476

2. 3 土地资源承载力指数计算及承载力分级方法

土地资源承载力是一个综合的系统，需全面考虑多方面影响因素，因此在计算承载力时采用综合评价的方法，定义表示土地资源承载状态的承载力指数公式为：

$$C = \sum_{j=1}^n z_{ij} \times w_j \quad (3)$$

式中：C 为土地资源承载力指数； Z_{ij} 为标准化后的指标值； W_j 为指标权重。

基于承载力计算结果，参照齐亚彬^[33]的研究，并根据江津区生态环境脆弱的特点，将江津区土地资源承载力计算结果分为 5 级，以 0.6 分为基本标准，0.6 分以上表示土地资源承载力可以满足经济生态社会可持续发展的需求，0.6 分以下表示承载力不能满足需求。具体分级结果见表 2。

表 2 土地资源承载力指数分级标准

承载状态	指数范围	标准解释
承载良好	$C \geq 0.8$	土地资源无压力，具备较大的承载空间，应继续保持
承载安全	$0.8 > C \geq 0.6$	土地资源压力较小、与人口、经济社会发展处于平衡状态，有一定的承载空间，未来在保证承载力水平不下降的同时，应尽力提升土地资源承载力
承载预警	$0.6 > C \geq 0.4$	土地资源有一定的压力，承载空间有限，即将超载，应及时采取措施避免超载
轻微超载	$0.4 > C \geq 0.2$	土地资源压力较大，承载空间较小，应尽快采取措施提升土地资源承载力
严重超载	< 0.2	土地资源处于强压力状态，基本无承载空间，亟需采取各项有效措施迁移人口，减少人类活动，降低承载压力

2.4 土地资源承载力障碍因素诊断方法

在土地资源承载力评价基础上，通过障碍因素分析找到承载力的短板要素，从而有针对性地制定提高江津区土地资源承载力的政策。具体方法为：引入因子贡献率 R_{ij} ，指标偏离度 P_{ij} ，障碍度 A_{ij} 3 个变量。因子贡献率、表示单一指标对总目标的贡献，一般用指标权重表示，即 W_j 。指标偏离度 P_{ij} 为指标实际值与指标最优值之间的差距，一般用 1 与指标标准化值、之差表示。障碍度 A_{ij} 为单一指标对总目标的阻碍程度值越大，阻碍程度越高，计算公式为：

$$A_{ij} = P_{ij} \cdot R_{ij} / \sum_{i=1}^n P_{ij} \cdot R_{ij} \times 100 \quad (4)$$

3 评价结果与分析

3.1 土地资源承载力的时间变化

根据公式 (3) 计算得到江津区各乡镇土地资源承载力指数 (表 3)。

表 3 2007~2016 年江津区各乡镇土地资源承载力指数

乡镇名称	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
几江街道	0.382 3	0.389 7	0.401 1	0.423 7	0.412 0	0.403 6	0.422 4	0.441 1	0.447 9	0.461 3
德感街道	0.408 0	0.414 3	0.425 5	0.457 9	0.481 9	0.480 2	0.463 6	0.448 5	0.453 5	0.458 5
双福街道	0.349 1	0.334 7	0.327 9	0.343 1	0.323 9	0.332 9	0.328 6	0.334 7	0.354 0	0.348 3
支坪街道	0.439 6	0.450 3	0.457 5	0.492 3	0.481 3	0.517 5	0.537 1	0.562 2	0.594 2	0.600 3
白沙镇	0.509 6	0.509 3	0.513 7	0.550 1	0.549 3	0.540 6	0.534 4	0.538 9	0.540 9	0.542 2
珞璜镇	0.431 6	0.434 9	0.435 7	0.458 1	0.467 0	0.467 4	0.469 2	0.469 7	0.470 5	0.468 2
石蟆镇	0.541 1	0.552 7	0.557 3	0.597 5	0.575 1	0.595 3	0.581 0	0.592 1	0.600 1	0.601 2
李市镇	0.476 4	0.487 5	0.492 7	0.527 7	0.554 8	0.541 0	0.531 1	0.531 8	0.538 3	0.539 6
油溪镇	0.387 0	0.408 6	0.415 5	0.441 8	0.438 4	0.457 3	0.450 5	0.449 5	0.461 8	0.470 1
先锋镇	0.321 6	0.328 6	0.351 6	0.391 0	0.405 2	0.433 1	0.428 5	0.431 2	0.435 0	0.439 3
蔡家镇	0.560 8	0.563 0	0.568 8	0.594 7	0.579 0	0.587 7	0.589 3	0.586 0	0.582 5	0.583 8
柏林镇	0.557 9	0.582 4	0.593 8	0.630 3	0.620 7	0.608 1	0.600 0	0.599 7	0.599 1	0.600 2
西湖镇	0.485 1	0.501 5	0.506 4	0.558 6	0.533 1	0.557 8	0.539 6	0.544 6	0.552 3	0.545 6
石门镇	0.410 4	0.424 1	0.426 3	0.453 8	0.448 6	0.436 9	0.453 6	0.484 2	0.477 0	0.481 8
永兴镇	0.420 0	0.438 0	0.447 0	0.470 1	0.463 9	0.489 6	0.498 4	0.516 9	0.528 8	0.530 1
龙华镇	0.329 3	0.319 5	0.330 9	0.392 8	0.386 2	0.377 6	0.391 0	0.389 7	0.399 5	0.402 6
吴滩镇	0.326 4	0.360 4	0.330 2	0.375 3	0.378 1	0.377 3	0.407 3	0.420 9	0.426 0	0.429 3
贾嗣镇	0.454 1	0.466 3	0.466 2	0.522 2	0.525 7	0.534 9	0.536 1	0.537 7	0.541 3	0.538 5
杜市镇	0.399 9	0.403 4	0.414 4	0.444 0	0.445 4	0.452 0	0.476 4	0.506 3	0.509 2	0.524 4
朱杨镇	0.361 5	0.379 8	0.391 1	0.433 7	0.434 9	0.469 0	0.455 1	0.519 0	0.530 3	0.545 0
慈云镇	0.379 7	0.395 5	0.408 5	0.451 8	0.452 3	0.465 1	0.472 2	0.497 5	0.509 7	0.508 4
中山镇	0.528 0	0.515 9	0.524 6	0.589 9	0.568 7	0.609 1	0.607 6	0.616 8	0.631 1	0.616 6
夏坝镇	0.404 2	0.416 5	0.430 3	0.471 1	0.493 0	0.524 3	0.544 0	0.554 6	0.598 9	0.603 3
广兴镇	0.359 3	0.365 9	0.415 5	0.459 8	0.453 5	0.481 6	0.499 0	0.546 6	0.561 2	0.565 3
嘉平镇	0.438 7	0.463 1	0.504 4	0.558 5	0.532 7	0.568 0	0.560 9	0.584 3	0.593 6	0.595 1
塘河镇	0.481 9	0.504 3	0.509 8	0.551 0	0.533 3	0.569 7	0.565 4	0.589 0	0.583 8	0.592 6

在时间尺度上, 江津区 2007、2010、2013、2016 年的土地资源承载力指数均值分别是 0.428 6、0.486 2、0.497 8、0.522 8, 呈现出上升趋势, 但上升幅度较小, 土地资源承载力指数均值累计提升率为 21.98%。说明江津区近年来经济、生态、社会协调发展整体形势向好, 但整体承载力仍然偏低, 各乡镇的土地资源承载状态均未达到良好状态。

2007 年江津区所有乡镇均处于承载不安全的状态，其中处于轻微超载状态的乡镇为双福街道、几江街道、先锋镇、吴滩镇、油溪镇、朱杨镇、龙华镇、慈云镇、杜市镇、广兴镇，共计 10 个乡镇，其余 16 个镇处于承载预警状态。

到 2010 年，除双福街道的土地资源承载力指数略有下降外，其余各乡镇均有不同程度的提升，其中广兴镇和嘉平镇的提升率最高，相对基期年分别提高 27.98%、27.32%。部分乡镇的土地资源承载状态有所变化，其中柏林镇由承载预警转为承载安全，几江街道、油溪镇、朱杨镇、慈云镇、杜市镇、广兴镇由轻微超载转为承载预警。双福街道、吴滩镇、龙华镇、先锋镇仍处于轻微超载状态，其余大多数乡镇处于承载预警状态。

2013 年共有 9 个乡镇承载力指数有所下降，分别是几江街道、双福街道、白沙镇、石蟆镇、蔡家镇、柏林镇、西湖镇、石门镇、龙华镇，但下降幅度较小，相对于 2010 年下降率最高的柏林镇为 4.81%。其余 17 个乡镇承载力指数均有不同程度的提升，其中夏坝镇提升率最高，相对于 2010 年提升 15.47%。承载状态也有所改变，轻微超载状态的乡镇数量由 2010 年的 4 个乡镇减少到双福街道、龙华镇 2 个乡镇，承载安全状态由 1 个乡镇增加到柏林镇、中山镇 2 个乡镇，其余各乡镇处于承载预警状态。

到 2016 年，德感街道、珞璜镇、蔡家镇承载力指数略有下降，但下降幅度非常小，德感街道下降幅度最高，相较于 2013 年下降 1.08%。其余 23 个乡镇承载力指数均有所上升，上升幅度最大的朱杨镇为 19.74%。轻微超载状态的乡镇数量减少到双福街道 1 个乡镇，承载安全状态的乡镇数量增加到 5 个乡镇，分别是柏林镇、中山镇、石蟆镇、支坪街道、夏坝镇，其余乡镇均处于承载预警状态。从承载状态来看，虽然已有 5 个乡镇的土地资源承载力达到承载安全状态，但承载力指数值均刚过 0.6 安全线，距离承载良好状态还有很大距离，仍需采取各种措施不断提升土地资源承载力，促进江津区经济、生态、社会协调发展。

3.2 土地资源承载力的空间变化

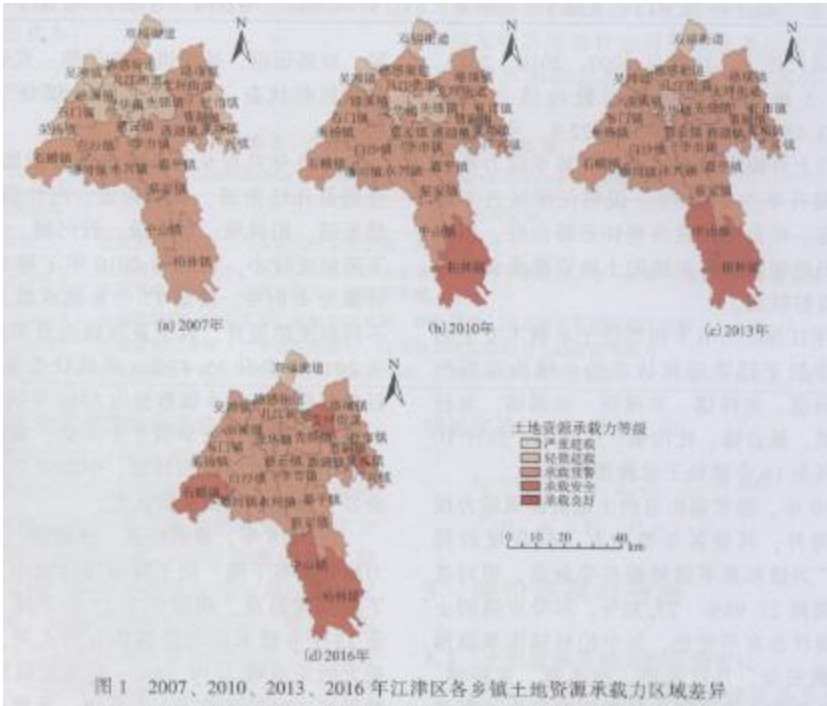
根据表 3 选取 2007、2010、2013、2016 年 4 个时间节点绘制江津区各乡镇土地资源承载力区域差异图，结果如图 1 所示。

从图 1 可以看出，在空间尺度上，江津区各乡镇土地资源承载力指数值在不同的年份区域差异不同，2007 年承载力指数最低的是先锋镇 0.3216，最高的是蔡家镇 0.5608，两者相差 1.74 倍。2010 年最低的是双福街道 0.3431，最高的是柏林镇 0.6303，两者相差 1.84 倍。2013 年最低的是双福街道 0.3286，最高的是中山镇 0.6076，两者相差 1.85 倍。2016 年最低的是双福街道 0.483，最高的是中山镇 0.6166，两者相差 1.77 倍，区域承载力指数之间的差距前期呈逐渐增大的趋势，但近年差距有所减小，说明江津区近年来区域发展不平衡的状态有所缓解。

从空间分布来看，江津区的土地资源承载力整体呈现出南高北低的分布格局。但在不同的年份，空间分布特征有所不同。2007 年江津区东北部、西北部、北部承载力指数较低，中部、南部相对较高，形成土地资源承载力南高北低的空间格局；2010 年江津区北部、西北部承载力指数较低，中部次之，南部最高，整体呈现出由北向南渐次升高的空间格局；2013 年土地资源承载力同样呈由北向南渐次升高的空间格局；到 2016 年，土地资源承载力空间分布有所改变，整体呈现出东北、西南、南部高，中部北部低的“哑铃”状格局。

土地资源承载力指数高的区域包括南部的中山镇、柏林镇；北部的支坪街道、夏坝镇；西南部的石蟆镇。其中南部组团处于四面山自然保护区和华蓥山西侧，北部组团分布着临峰山、龙门山，海拔较高的地区林地遍布，人类活动受到限制，人口密度低，土地开发强度小，未利用地比例相对较高，因此土地资源承载力较高。西南部的石蟆镇为长江入渝第一镇，境内岸线长达 38.8 km，流域面积 125.1 km²，水域面积相对较大，且全镇地貌为平坝兼浅丘地貌，地形平坦，坡耕地比例较小，土地资源承载力相对较高。承载力最低的区域始终集中在江津区北部地区，因为北部是江津区主要城区和工业园区所在地，固定资产投资密度大，人类活动强度大，人口密集，人均耕地面积和人均生态用地面积小，造成土地资源承载力偏低。如 2016 年双福街道的固定资产投资密度高达 307.81 万元/hm²，而投资密度最低的中山镇仅有 1.33 万元/hm²；人口密度为 1552 人/km²，而人口密

度最低的中山镇仅为 149 人/km²;人均耕地面积为 0.01 hm²/人,而最高的夏坝镇有 0.17 hm²/人;人均生态用地面积为 0.03 hm²,而最高的中山镇为 0.63 hm²/人,多因素综合导致双福街道土地资源承载力偏低。



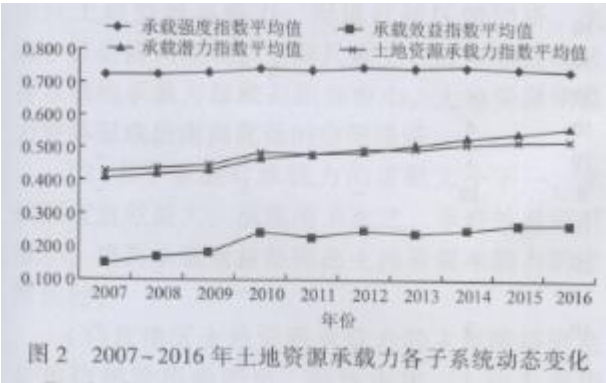
3.3 各子系统对土地资源承载力的贡献分析

取各乡镇的子系统指数平均值和土地资源承载力指数平均值分别代表江津区的子系统指数和土地资源承载力指数,如表 4 和图 2 所示,江津区土地资源承载力整体逐年上升,但上升速度较慢,承载力整体较低,大致维持在 0.5 左右,还未达到承载安全状态。承载强度指数处于相对平稳状态,承载效益、承载潜力指数逐年上升,其中承载潜力指数上升速度较快。主要原因在于近年来江津区加快转变经济发展方式,并出台《重庆市江津区生态建设与环境保护“十二五”规划》和《生态文明建设“十三五”规划》,通过规划优化生态空间布局,指明产业生态化发展方向,同时配合实施退耕还林、坡耕地整治等生态保护工程,生态环境改善成效显著,承载潜力不断提高。从各子系统对承载力的贡献来看,承载强度贡献最大,承载潜力次之,承载效益贡献最小。说明承载效益系统是江津区土地资源承载力提高的主要限制性系统,要提高江津区土地资源承载力,需主要从承载效益方面入手。

表 4 2007–2016 年土地资源承载力各子系统平均值

年份	承载强度指数平均值	承载效益指数平均值	承载潜力指数平均值	土地资源承载力指数平均值
2007	0.723 8	0.150 4	0.411 6	0.428 6
2008	0.725 4	0.167 8	0.423 3	0.438 9
2009	0.729 1	0.181 7	0.433 0	0.447 9
2010	0.742 6	0.244 1	0.471 8	0.486 2
2011	0.738 3	0.227 9	0.480 4	0.482 2
2012	0.746 9	0.249 0	0.490 0	0.495 3
2013	0.744 0	0.239 5	0.509 8	0.497 8
2014	0.750 0	0.251 4	0.532 5	0.511 3
2015	0.742 6	0.268 0	0.549 4	0.520 0

2016	0.735 1	0.268 3	0.564 8	0.522 8
------	---------	---------	---------	---------



3.4 土地资源承载力障碍因素分析

根据公式（4）计算得到 2007~2016 年江津区各乡镇各指标对土地资源承载力的障碍度。由于本文指标较多、时间序列较长且篇幅有限，为便于分析，筛选出每年各乡镇障碍度排名前 3 的障碍因素，综合 10 年筛选结果，得到 2007~2016 年江津区土地资源承载力主要障碍因素出现频数图（图 3）和 2007 ~ 2016 年江津区各乡镇土地资源承载力主要障碍因素出现频数表（表 5）。

由图 3 可知，江津区土地资源承载力的主要障碍因素包括单位建设用地产出（ X_6 ）、林地占比（ X_{12} ）、人均生态用地（ X_8 ）、环保投资指数（ X_9 ）、人均耕地面积（ X_4 ）、水域占比（ X_{13} ）、水土流失率（ X_{15} ）、未利用地占比（ X_{14} ）、单位农用地产出（ X_7 ）共 9 项指标。这 9 项指标中，4 项属于承载效益系统，4 项属于承载潜力系统，1 项属于承载强度系统。从各主要障碍因素出现的频数来看，属于承载效益系统的障碍因素出现频数共计 429 次，属于承载潜力系统的障碍因素出现频数共计 269 次，属于承载强度系统的障碍因素出现频数共计 82 次，说明承载效益系统是提升江津区土地资源承载力的重心，这也从侧面印证了前文中各子系统对土地资源承载力的贡献分析。

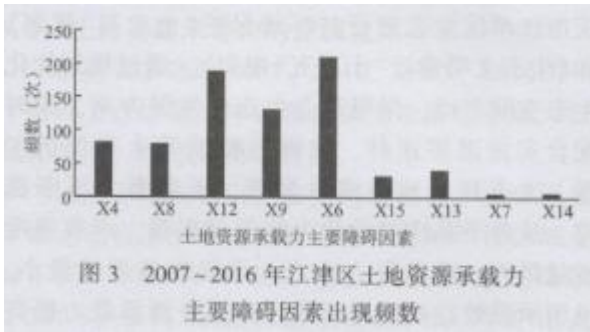


表 5 2007~2016 年江津区各乡镇土地资源承载力主要障碍因素出现频数（次）

乡镇名称	X4	X8	X12	X9	X6	X15	X13	X7	X14
几江街道	10	10	10	—	—	—	—	—	—
德感街道	10	2	8	10	—	—	—	—	—
双福街道	10	5	7	8	—	—	—	—	—
支坪街道	10	6	—	5	9	—	—	—	—
白沙镇	1	2	10	7	10	—	—	—	—

珞璜镇	10	3	7	10	—	—	—	—
石蟆镇	—	6	10	4	10	—	—	—
李市镇	—	1	10	9	10	—	—	—
油溪镇	—	4	10	3	10	3	—	—
先锋镇	5		10	2	10	3	—	—
蔡家镇	—	—	—	9	10	—	10	1
柏林镇	7	—	—	2	10	—	9	2
西湖镇	—	7	10	3	10			
石门镇	—	—	10	4	10	6	—	—
永兴镇	—	—	7	7	10	1	5	—
龙华镇	2	—	10	—	8	10	—	—
吴滩镇	5	—	10	4	10	1	—	—
贾嗣镇	—	6	10	4	10	—	—	—
杜市镇	2	1	10	7	10	—	—	—
朱杨镇			10	2	10	8	—	—
慈云镇	—	7	10	3	10	—	—	—
中山镇	4	—	—	4	10	—	9	3
夏坝镇	2	6	3	5	9	—	3	2
广兴镇	5	5	10	5	5	—	—	—
嘉平镇		5	—	6	10	—	5	—
塘河镇	1	4	—	9	10	—	3	—

从乡镇尺度来看，江津区各乡镇经济发展水平差距过大，主要经济重心都集中在几江、德感、双福、珞璜等主要城区和工业园区所在地，地区人口密集，耕地、林地以及其他生态用地面积有限，人均耕地面积、人均生态用地面积、林地占比都较小，经济增长速度较快，环保资金投入不足，因此人均耕地面积、人均生态用地、林地占比、环保投资指数是其承载力的主要障碍因素。环保投资指数同样是其他许多乡镇的主要障碍因素，事实上江津区每年投入生态环保财政资金量差距并不大，但是生态环保财政资金投入与经济发展速度不匹配，根据江津区财政局资料显示，自 2013 年以来，全区生态环保财政资金投入占 GDP 的比重不到 1%，环保资金投入远远不足。另外，由于主要城区和工业园区所在地的建设用地产出远高于其他乡镇，造成单位建设用地产出成为其他多数乡镇的主要障碍因素之一。柏林镇、中山镇等由于生态保护要求限制了土地开发利用的乡镇，工业发展和农业规模扩张都受到一定的管制，地势较高，地形崎岖，境内河流较少，因此单位建设用地产出、人均耕地面积、水域占比均是其土地资源承载力的障碍因素；同时也由于其位于四面山风景区内，森林覆盖率达 50%~65%，远高于其余乡镇，导致林地占比成为许多乡镇的障碍因素，但近年来随着退耕还林政策的实施，其他乡镇林地占比的障碍度有所下降。朱杨、石门、龙华等乡镇，生态环境脆弱，属于水土流失重点治理区域，水土流失率、林地占比是其土地资源承载力的主要障碍因素。同时在统计分析过程中发现，未利用地占比、水域占比近几年成为障碍因素的频数逐年增加，因此需防微杜渐，在保护耕地、林地的同时，也同样重视其他生态用地的保护，防止过度开发导致生态环境遭到破坏。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文从承载强度、承载效益、承载潜力 3 个方面，选取 16 个评价指标构建江津区土地资源承载力评价指标体系，并从土地资源承载力时间变化和空间差异、各子系统承载力贡献、承载力障碍因素 3 个方面，系统地分析了江津区的土地资源承载状况，

得出以下结论：

(1) 时间尺度上，2007~2016 年间江津区的土地资源承载力整体呈现出上升趋势，但上升幅度较小，承载力仍然偏低，各乡镇土地资源承载状态均未达到良好状态，仍需采取各种措施不断提升土地资源承载力，促进江津区的经济、生态、社会协调发展。空间尺度上，近年来江津区各乡镇的承载力指数差距在变小，土地资源承载力整体呈现出南高北低的空间格局。

(2) 各子系统对承载力的贡献大小不一，承载强度贡献最大，承载潜力次之，承载效益贡献最小，提高承载效益是提高土地资源承载力的重要途径。

(3) 江津区土地资源承载力的主要障碍因素是单位建设用地产出、林地占比、人均生态用地、环保投资指数、人均耕地面积、水域占比、水土流失率、未利用地占比、单位农用地产出。近年来未利用地占比、水域占比有成为主要障碍因素的趋势，需防微杜渐。从乡镇尺度来看，几江、德感、双福、珞璜等江津区主要城区和重要工业园区所在地的主要障碍因素是人均耕地面积、人均生态用地、环保投资指数、林地占比。柏林镇、中山镇等受到发展受生态保护限制的乡镇，单位建设用地产出、人均耕地面积是其土地资源承载力的主要障碍因素。朱杨镇、石门镇、龙华镇等生态环境脆弱地区，水土流失率、林地占比是其土地资源承载力的主要障碍因素。

4.2 讨论

通过结论分析得知，江津区的土地资源承载力仍有较大的提升空间，各乡镇由于区域发展不均衡、所处地理环境不同，造成其土地资源承载力的障碍因素各异。针对不同的障碍因素，应因地制宜采取不同的措施：对于主要城区和工业园区所在地，应在适当控制人口数量的基础上，严格实行土地用途管制和城市用地规模审核制度，控制农用地转为建设用地，并把充分挖掘存量建设用地潜力作为城市用地的主要方向。同时要建立起耕地、林地保护动态监测系统，及时掌握其变更状态，鼓励实行土地整理复垦，增加有效耕地面积。对于生态环境脆弱地区，除必要的植树造林、土地整治工程等水土保持措施外，还应鼓励实施耕地休耕和退耕还林政策，并大力扶持花椒、花卉等产业实行规模化经营，促进农民生计方式由务农向务工转变。对于经济发展受生态保护限制的地区，应适当转变经济发展方式和土地利用方式，促进传统农业向生态旅游转变，改变传统的种植结构，发展具有高附加值的生态农业。

与前人研究相比，本文立足区域实际，从较小尺度进行了土地资源承载力障碍因素的精确诊断，并提出了具有针对性的承载力提升建议。但仍存在两点不足：(1) 鉴于数据的可获取性，在构建评价指标体系时，没有将会影响承载潜力的土地污染和损毁情况纳入指标体系；(2) 在确定指标权重时，没有找到科学的时间序列的多指标客观权重计算方法，只采取层次分析法赋权重，无法避免主观因素的影响。在以后的研究中，将进一步完善不足，探索建立更为完善的土地资源承载力评价体系和更科学准确的指标权重计算方法。

参考文献：

- [1] RUNNING S W. A measurable Planetary boundary for the bi-osphere[J]. Science, 2012, 337(6101) : 1458-9.
- [2] VOGOT The way of subsistence [M].Chicago: Chicago U-niversity Press, 1949: 256-342.
- [3] ALLAN W. Studies in African land usage in northern Rhodesia, Rhodes Livingstone papers and No. 15 [M]. Cape Town: Ox-ford University Press, 1949.
- [4] GIFFORD R, MILLINGTON R. Energetics of agriculture and food production with special emphasis on the Australian

situation[J]. Journal of Sleep Research, 1975, 4(SI) : 21-29.

[5] FAO. Potential population supporting capacities of lands in de-veloping world[R]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1982.

[6] UNESCO & FAO. Carrying capacity assessment with a pilot study of Kenya : A resource accounting methodology for explo-ring national options for sustainable development [R]. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1985.

[7] SKROBLINA, LEGGES, WEBB T, et al. EcoFire: Regional-scale prescribed burning increases the annual carrying capacity of livestock on pastoral properties by reducing pasture loss from wildfire [J]. Rangeland Journal, 2014, 36(2) : 133-142.

[8] OUTEIRO L, BYRON C, ANGELINI R. Ecosystem maturity as a proxy of mussel aquaculture carrying capacity in Ria de Arousa(NW Spain) : A food web modeling perspective[J]. Aquacul-ture, 2018.

[9] REDDY G P O, SARKAR D, PRASAD J, et al. Geospatial modeling in assessment of biophysical resources for sustainable and resource management [J]. Tropical Ecology, 2013, 54: 227-238.

[10]MARION J L. A review and synthesis of recreation ecology re-search supporting carrying capacity and visitor use managementdecision making [J] . Journal of Forestry-Washington, 2016, 114(3) : 339-351.

[11]PETERS C J, PICARDY J, et al. Carrying capacity of US agri-cultural land: Ten diet scenarios[J]. Elementa-Science of the Anthropocene, 2016.

[12]陈百明. “中国土地资源生产能力及人口承载力”项目研究方法概论[J]. 自然资源学报, 1991(3): 197-205. CHEN B M. An outline of the research method of the project “the productivity and population carrying capacity of the land resource in China” [J]. Journal of Natural Resources, 1991: 197-205.

[13]封志明. 土地承载力研究的过去、与未来[J]. 中国土地科学, 1994(3) : 1-9. FENG Z M. The past, present and future of land carrying ca-pacity research[J]. China Land Science, 1994(3) : 1-9.

[14]王书华, 毛汉英. 土地综合承载力指标体系设计及评价——中国东部沿海地区案例研究[J]. 自然资源学报, 2001(3) : 248-254. WANG S H, MAO H Y. Design and evaluation on the indicator system of land comprehensive carrying capacity [J]. Journal of Natural Resources, 2001(3) : 248-254.

[15]黄敬军, 姜素, 张丽, 等. 城市规划区资源环境承载力评价指标体系构建——以徐州市为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(S2) : 204-208. HUANG J J, JIANG S, ZHANG L, et al. Establishment of evaluation index system of resource environmental carrying ca-pacity in urban planning area: Taking Xuzhou as an example[J]. China Population, Resources and environment, 2015 , 25(S2) : 204-208.

[16]黄宇驰, 苏敬华, 吕峰. 基于 SEP 模型的土地资源承载力评价方法研究——以上海市闵行区为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(S1) : 124-127. HUANG Y C, SU J H, LV F. Evaluation method of land re-sources carrying capacity based

on SEP model : A case of Min-hang district in Shanghai [J]. China Population, Resources and environment, 2017, 27(S1) : 124-127.

[17]朱凤武,高永年,鲍桂叶.江苏沿海地区土地综合承载力指标预警与短板要素识别[J].长江流域资源与环境,2015,24(S1):15-22.ZHU F W, GAO Y N, BAO G Y. Determination of short board factors and early warning of land comprehensive carrying capacity in the coastal areas of Jiangsu province [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(S1) : 15-22.

[18]叶有华,韩宙,孙芳芳,等.小尺度资源环境承载力预警评价研究——以大鹏半岛为例[J].生态环境学报,2017,26(8):1275-1283.YE Y H, HAN Z, SUN F F, et al. Early-warning for environmental and resource carrying capacity on small scale : A case study of Dapeng peninsula, Guangdong [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2017, 26(8) : 1275-1283.

[19]魏媛,吴长勇,曾昉,等.喀斯特贫困山区土地资源承载力动态分析与预测[J].水土保持研究,2016,23(6):322-326.WEI Y, WU C Y, ZENG F, et al. Analysis and prediction of land resources carrying capacity in karst mountainous areas[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2016, 23(6) : 322-326.

[20]郭欢欢,李波,侯鹰.基于土地功能的土地资源承载力研究——以北京市海淀区为例[J].北京师范大学学报(自然科学版),2011,47(4):424-427.GUO H H, LI B, HOU Y. Research on the capacity of land resources based on land function : Taking Haidian district in Beijing as an example [J]. Journal of Beijing Normal University(Natural Science) , 2011, 47(4) : 424-427.

[21]彭立,刘邵权.土地功能视角下的土地资源人口承载力研究——以攀枝花、六盘水市为例[J].长江流域资源与环境,2012,21(S1):74-81.LI, LIU S Q. Population carrying capacity of land resources from the perspective of land function : A case study of Panzhihua and Liupanshui cities [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2012, 21 (S1) : 74-81.

[22]史娜娜,全占军,韩煜,等.基于生态敏感性评价的乌海市土地资源承载力分析[J].水土保持研究,2017,24(1):239-243.SHI N N, QUAN Z J, HAN Y, et al. Analysis of land resources carrying capacity in Wuhai city based on ecological sensitivity[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(1):239-243.

[23]乔盛,白宏涛,张稚妍,等.生态导向的城市发展土地资源承载力评价研究[J].生态经济,2011(7):33-37.QIAO S, BAI H T, ZHANG Z Y, et al. Evaluation on land carrying capacity of urban development integrated with ecological issues[J]. Ecological Economy, 2011, 7) : 33-37.

[24]施开放,刁承泰.重庆市粮食生产发展特征及土地资源承载力空间格局研究[J].水土保持研究,2012,19(4):168-171.SHI K R, DIAO C T. Development of grain production and spatial pattern of land carrying capacity in Chongqing city[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2012, 19(4): 168-171.

[25]封志明,杨艳昭,游珍.中国人口分布的土地资源限制性和限制制度研究[J].地理研究,2014,33(8):1395-1405.FENG Z M, YANG Y Z, YOU Z. Research on land resources restriction on population distribution in China[J]. Geographical Research, 2014, 33(8) : 1395-1405.

-
- [26]刘明, 高林. 基于城镇化科学发展的京津冀区域土地资源承载力研究[J]. 城市发展研究, 2015, 22(4): 6-8. LIU M, GAO L. Based on the research of scientific development of urbanization on Beijing-Tianjin-Hebei's bearing capacity of land resources [J]. Urban Development Studies, 2015, 22(4): 6-8.
- [27]温亮, 游珍, 林裕梅, 等. 基于层次分析法的土地资源承载力评价——以宁国市为例[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(3): 1-6. WEN L, YOU Z, LIN Y M, et al. Evaluation on land carrying capacity: A case of Ningguo city [J]. Chinese Journal of Agricultural resources and regional Planning, 2017, 38(3): 1-6.
- [28]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. YANG L J, YANG Y C. The spatiotemporal variation in resource environmental carrying capacity in the Gansu province of China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(20): 7000-7017.
- [29]张红, 李林峻, 张洋, 等. 基于修正系统动力学模型的海岛城市土地综合承载力及其趋势评价——以舟山市为例[J]. 生态经济, 2016, 32(7): 178-182. ZHANG H, LI L J, ZHANG Y, et al. Land comprehensive carrying capacity of island cities and its trend evaluation based on correction system dynamics model: Taking Zhoushan city as an example [J]. Ecological Economy, 2016, 32(7): 178-182.
- [30]张红, 陈嘉伟, 周鹏. 基于改进生态足迹模型的海岛城市土地承载力评价——以舟山市为例[J]. 经济地理, 2016, 36(6): 155-160, 167. ZHANG H, CHEN J W, ZHOU P. A modified ecological footprint model to evaluate the land carrying capacity of island cities: Taking Zhoushan city as example [J]. Economic Geography, 2016, 36(6): 155-160, 167.
- [31]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. YU G H, SUN C Z. Land carrying capacity spatiotemporal differentiation in the Bohai sea coastal areas [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(14): 4860-4870.
- [32]龙花楼, 刘永强, 李婷婷, 等. 生态用地分类初步研究[J]. 生态环境学报, 2015, 24(1): 1-7. LONG H L, LIU Y Q, LI T T, et al. A primary study on ecological land use classification [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2015, 24(1): 1-7.
- [33]齐亚彬. 国土资源承载力定量综合评价研究——以天津为例[J]. 中国国土资源经济, 2004(6): 6-9, 5048. QI Y B. Quantitative and comprehensive evaluation on bearing capacity of land resources: Taking Tianjin as an example [J]. Natural Resource Economics of China, 2004(6): 6-9, 5048.