

# 基于改进层次分析法的四川省生态承载力评价

杨谦<sup>1a</sup> 刑立文<sup>2</sup> 赵璐<sup>1b1</sup>

(1. 四川大学 a. 公共管理学院;b. 水利水电学院, 四川 成都 610065;

2. 山西省水利水电科学研究院, 山西 太原 030002)

**【摘要】:** 构建四川省生态承载力综合评价指标体系, 利用改进层次分析法对评价指标进行赋权, 对四川省2005—2016年生态承载力指数进行计算并分析其变化趋势, 从生态弹性力、承载媒体的支撑力和承载对象的压力三个方面探讨了四川省生态承载力变化的原因。结果表明: 在研究时段内, 四川省生态承载力指数逐渐增加, 生态系统的承载能力不断提高; 生态弹性力指数呈上升趋势, 但稳定性较差; 承载媒体的支撑力在2010年以后有加速上升的趋势; 承载对象的压力指数有增大趋势, 表明压力有所缓解。通过对指标层的分析得出, 水资源调控不足、环境污染是制约四川省生态承载力提高及稳定的重要因素。该研究结果可为四川省生态文明建设及经济的可持续发展提供参考。

**【关键词】:** 生态承载力 层次分析法 弹性力 支撑力 压力

**【中图分类号】:** F062. 2; X826 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1005—8141 (2019) 02—0190—07

## 1 引言

1921年美国Park、Burgess首次提出了生态承载力概念, 它是指在某一特定的环境条件下(生物群落和无机环境组成的空间), 某种生物个体存在的数量极限<sup>[1]</sup>, 也称为“生态容量”。Costanza<sup>[2]</sup>、Wackernagel<sup>[3]</sup>等认为生态承载力的研究应建立在涵盖自然资源、环境和社会经济等多种因素的复杂生态系统之上。我国高吉喜<sup>[4]</sup>、王家骥<sup>[5]</sup>、毛汉英<sup>[6]</sup>等从多种角度对生态承载力的概念进行界定, 认为它作为一个“自然—经济—社会”复杂系统, 内容上体现在三个方面。即生态系统具有的对外界变化进行自我维持和调节的生态弹性力, 环境治理、社会进步和经济发展给承载媒体提供的支撑力, 人类活动和社会经济生产活动对生态系统产生的压力。作为衡量区域经济社会协调发展程度、生态环境可持续发展能力的重要依据, 生态承载力已成为国内外学者的研究热点<sup>[7, 8, 9]</sup>。

随着生态承载力理论研究的不断深入, 生态承载力的量化方法也呈现出多元化、系统化的特点, 如生态足迹法<sup>[7, 10]</sup>、能值分析法<sup>[11]</sup>、基于层析分析法确定权重的指标法<sup>[8]</sup>等; 研究范围囊括了流域<sup>[12]</sup>、湖泊<sup>[13]</sup>、城市群<sup>[14, 15]</sup>等; 研究尺度有基于省域<sup>[7]</sup>和市域<sup>[8]</sup>空间尺度的研究, 也有针对时间节点<sup>[15]</sup>、时间段<sup>[7]</sup>进行的时间尺度的研究; 研究对象涵盖了水域环境<sup>[16]</sup>、土地资源<sup>[17]</sup>和矿产资源<sup>[6, 18]</sup>等。但多数学者单从生态承载力的某一个方面进行评价, 如生态弹性力、资源承载力或环境承载力, 较少综合考虑区域生态环境、资源、社会 and 经济发展, 且少有研究分析承载力变化的趋势及影响因素。

**作者简介:** 杨谦(1994—), 女, 四川省广元人, 硕士研究生, 研究方向为教育发展与管理创新。赵璐(1981—), 女, 四川省南充人, 博士, 中级实验员, 研究方向为节水农业和水文气象。

**基金项目:** 四川大学大学生创新创业训练计划省级项目(编号:201710611176、2082404131064); 山西省水利厅科外处项目“ArcSwat在汾河上游流域“河长制”中的应用”(编号:2017-006)。

结合已有研究, 本文通过构建较为完整的生态承载力综合评价指标体系, 利用改进层次分析法对评价指标进行赋权, 对四川省生态承载力进行综合评价并分析其变化趋势和影响因素, 以期对四川省生态文明建设和经济的可持续发展提供可供参考的理论依据。

## 2 研究区概况

四川省位于我国西南地区, 地处长江上游, 介于  $92^{\circ} 21' - 108^{\circ} 12' E$ 、 $26^{\circ} 03' - 34^{\circ} 19' N$ , 全省面积 48.5 万  $km^2$ , 居全国第五位。四川省气候类型多样、降水充沛, 年降水量 1000—1200mm, 丰富的降水形成众多河流, 素有“千河之首”之称; 省内自然资源丰富、能源种类多样。四川西部为高原、山地, 东部为盆地和丘陵, 山地是四川的主体地貌, 占 77.2%, 广袤的面积和多样的地貌造就了四川多样的风土人情、丰富的生物资源和独特的自然景观, 旅游资源丰富。2016 年四川省 GDP 总量达到 32680.5 亿元, 位居全国第六位 (未包含香港和澳门特别行政区、台湾地区, 下同), GDP 增速为 7.7%。

## 3 研究方法

### 3.1 评价指标体系

本文根据参考文献<sup>[6,8,15]</sup>并结合四川省的数据资料, 将四川省生态承载力评价体系分为 4 个层面, 依次为目标层、准则层、因素层和指标层。目标层为生态承载力; 准则层包括生态弹性力、承载媒体的支撑力、承载对象的压力 3 个方面; 因素层包括气候、水文、环境治理和投资、社会进步、经济发展、环境污染、人口压力等 10 个影响因素; 指标层是选定的具体指标, 包含年降雨量、工业废水排放达标率、人口密度、城市居民最低生活保障人数、普通高等学校本专科毕业生人数、固定资产投资率、城乡居民养老保险覆盖人数、非农业人口占总人口比重等 33 项具体指标。

### 3.2 数据标准化

根据属性不同将研究指标分为效益型和成本型。效益型指标的值越大越有利, 成本型指标值则相反。生态弹性力和支撑力属于效益型指标, 压力属于成本型指标。为了将各评价指标量纲统一, 同时考虑效益型指标和成本型指标的特点, 本文采用极差标准化方法进行归一化处理。

效益型指标的标准化方法:

$$R_{ij} = (X_{ij} - X_j^{\min}) / (X_j^{\max} - X_j^{\min}) \dots\dots\dots (1)$$

成本型指标的标准化方法:

$$R_{ij} = (X_j^{\max} - X_{ij}) / (X_j^{\max} - X_j^{\min}) \dots\dots\dots (2)$$

式中,  $R_{ij}$  为进行指标标准化后的值;  $X_{ij}$  为  $i$  年第  $j$  个指标的实际值;  $X_j^{\max}$ 、 $X_j^{\min}$  分别为研究时段内第  $j$  个指标的最大值和最小值。

### 3.3 改进层次分析法

层次分析法是将系统涉及的相关要素按性质及目标要求构建成一个各要素间、要素集合间相互关联的有序层次结构, 以作为

优化决策依据的一种分析方法<sup>[19]</sup>。使用层次分析法进行指标相对重要性评价时,通常采用九标度法,但本文构建的评价体系较复杂,在专家进行指标重要性评判时容易出现不确定、偏差大、计算量大的弊端<sup>[20]</sup>,因此本文采用三标度法<sup>[20]</sup>。针对传统的层次分析法构建的判断矩阵不满足一致性条件,需要检验和修正计算精度不高的问题,本文将特征向量法与行归一法、方根法结合使用,解决了原层次分析法中判断矩阵的一致性条件,提高了收敛速度和精度<sup>[21]</sup>。

建立比较矩阵 K:为了易于各层指标之间进行重要性比较,提高比较结果的客观性,通过专家打分,采用三标度法对各个层次的指标进行两两比较得到比较矩阵 K:

$$K = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \cdots & k_{1j} & \cdots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \cdots & k_{2j} & \cdots & k_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ k_{i1} & k_{i2} & \cdots & k_{ij} & \cdots & k_{in} \\ k_{n1} & k_{n2} & \cdots & k_{nj} & \cdots & k_{nn} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3)$$

式中, $k_{ij}$ 为比较矩阵中因素 i 与 j 的比较值:

$$k_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{因素 } j \text{ 比因素 } i \text{ 重要} \\ 0.5 & \text{因素 } i \text{ 与因素 } j \text{ 同样重要} \dots\dots\dots (4) \\ 1 & \text{因素 } i \text{ 比因素 } j \text{ 重要} \end{cases}$$

比较矩阵 K 各行、列求和  $r_i = \sum_{j=1}^n k_{ij}, r_j = \sum_{i=1}^n k_{ij}$ , 利用  $r_{ij} = (r_i - r_j) / (2n) + 0.5$ , 可得矩阵 K 的互补型判断矩阵  $R_0 = (r_{ij})_{n \times n}$ 。在以上基础上,根据方根法计算矩阵  $R_0$  的排序向量  $W^{(0)} = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 。利用公式  $e_{ij} = r_{ij} / r_{ji}$ , 将互补型判断矩阵  $R_0$  转换为互反型矩阵  $E_0 = (e_{ij})_{n \times n}$ 。将矩阵  $R_0$  的排序向量  $W^{(0)}$  作为特征值法的迭代初值  $V^{(0)}$ , 根据迭代公式  $V^{(k+1)} = E_0 \times V^{(k)}$  ( $V^{(k)}$ 、 $V^{(k+1)}$  分别代表  $V^{(0)}$  经 k、k+1 次的迭代值) 得到  $V^{(k)}$ 、 $V^{(k+1)}$ , 计算无穷范数  $\|V^{(k)}\|_{\infty}$ 、 $\|V^{(k+1)}\|_{\infty}$ 。若  $|\|V^{(k+1)}\|_{\infty} - \|V^{(k)}\|_{\infty}|$  小于  $\varepsilon$  ( $\varepsilon$  为计算精度,同时取  $\varepsilon < 0.0001$ ), 则  $\|V^{(k+1)}\|_{\infty}$  即为矩阵的最大特征值  $\lambda_{\max}$ 。将向量  $V^{(k+1)}$  进行归一化处理, 处理后的排序向量即为最终比较矩阵的权重排序向量  $W^{(k)}$ 。若  $\|V^{(k+1)}\|_{\infty} - \|V^{(k)}\|_{\infty}$  不满足精度要求, 即以  $V^{(k+1)} = V^{(k+1)} / \|V^{(k+1)}\|_{\infty}$ , 将规范化之后的  $V^{(k+1)}$  作为新初值  $V^{(k)}$  代入迭代公式  $V^{(k+1)} = E_0 \times V^{(k)}$  中, 直至满足精度要求。

### 3.4 构建评价模型

生态弹性力指数的计算式为:

$$EEC = \sum R_{ij} \times W_i (i = 1, 2, 3, \dots, 12; j = 1, 2, 3) \dots\dots\dots (5)$$

承载媒体支撑力指数的的计算式为:

$$CCC = \sum R_{ij} \times W_i (i = 1, 2, 3, \dots, 12; j = 1, 2, 3, \dots, 15) \dots\dots\dots (6)$$

承载对象压力指数的计算式为:

$$CCP = \sum R_{ij} \times W_i (i = 1, 2, 3, \dots, 12; j = 1, 2, 3, \dots, 15) \dots\dots\dots (7)$$

式中, EEC 为生态弹性力指数;  $R_{ij}$  为指标标准化值;  $W_i$  为权重值; CCC 代表承载媒体支撑力指数; CCP 代表承载对象压力指数, 其他符号同前。EEC 和 CCC 越大, 说明生态弹性力及承载媒体的支撑力越大; CCP 越大, 说明生态系统所承受的压力越小。对各子项评价结果进行加权求和, 可得生态承载力指数 ECC:

$$ECC = \sum A_i \times W_i (i = 1, 2, 3) \dots\dots\dots (8)$$

式中,  $A_i$  为子项  $i$  的评价结果指数;  $W_i$  为权重。

## 4 结果分析

### 4.1 指标层权重结果

以准则层为例, 根据式 (3)、式 (4) 得生态弹性力、承载媒体的支撑力、承载对象的压力三个指标的比较矩阵  $K_u$ :

$$K_u = \begin{bmatrix} 0.5 & 1 & 1 \\ 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (9)$$

根据以上得到矩阵  $K_u$  的互补型判断矩阵  $R_u$ :

$$R_u = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.75 & 0.75 \\ 0.25 & 0.5 & 0.5 \\ 0.25 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (10)$$

同时利用方根法求得矩阵  $R_u$  的排序向量  $W^{(0)} = (0.4522, 0.279, 0.279)^T$ 。根据以上步骤将  $R_u$  变换为互反型矩阵):

$$E_u = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 \\ 0.3333 & 1 & 1 \\ 0.3333 & 1 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (11)$$

将  $W^{(0)}$  作为特征值法的迭代初值  $V^{(0)}$ , 并根据以上步骤, 经过三次迭代之后求得满足精度的最终权重排序向量  $W^{(3)} = (0.6, 0.2, 0.2)^T$ 。利用同样的方法, 构建因素层和指标层各指标间的比较矩阵, 计算互补型判断矩阵的排序向量, 并分别以因素层、指标层各指标间互补型判断矩阵的排序向量为迭代初值, 计算迭代后的排序向量并得到最终权重。准则层中, 生态弹性力、承载媒体的支撑力、承载对象的压力所占权重分别为 0.6、0.2、0.2, 弹性力对生态承载力影响最大。因素层中, 在影响生态弹性力的三个因素内, 气候与水文权重均为 0.4286, 地物覆被占 0.1429, 气候和水文对生态弹性力有决定性影响; 承载媒体的支撑力评价体系中, 经济发展权重最大, 为 0.5954; 在影响承载对象压力的各因素中, 经济增长权重为 0.4952, 表明经济增长对承载对象的压力影响最大。

## 4.2 生态承载力

对指标层数据进行了标准化, 并根据构建的评价模型计算了四川省 2005—2016 年生态承载力目标层和准则层各指标的指数。

四川省生态承载力指数变化趋势见图 1。2005—2016 年生态承载力指数整体呈逐渐上升趋势, 趋势线斜率为 0.0457, 表明在 2005—2016 年承载力指数以 4.57%/a 的平均相对速率增长, 从 2005 年的 0.590 增加到 2016 年的 0.709, 增长了 20.17%。但承载力指数波动较大, 稳定性欠佳, 2006 年和 2011 年明显下降, 分别下降了 75.93%和 40.06%。

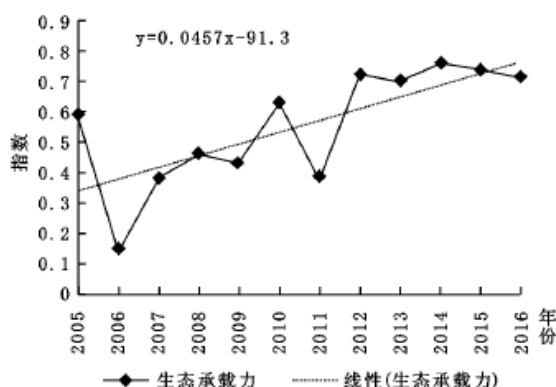


图 1 生态承载力指数变化趋势

## 4.3 生态弹性力

四川省准则层指数变化趋势见图 2, 生态弹性力指标层指数变化趋势见图 3。从图 2 可以看出生态弹性力总体呈波动上升趋势, 各年份之间的差异较大。四川省生态弹性力指数 2006 年和 2011 年分别为 0.024 和 0.357, 2012 年较高, 达 0.866。从图 3 可见, 四川省 2005—2016 年的森林覆盖率不断提高, 有利于增强四川省的生态弹性力。2006 年和 2011 年受持续高温干旱天气影响, 四川省各市(州)均遭受了不同程度的干旱灾害<sup>[22, 23]</sup>。四川省的水资源主要来源于天然降水<sup>[24, 25]</sup>。由于干旱, 降雨对地表水和地下水的补给作用不足, 2006 年和 2011 年的水资源总量分别仅为 1861.0 亿  $m^3$  和 2240.2 亿  $m^3$ , 水资源总量明显下降, 导致四川省生态弹性力在 2006 年和 2011 年出现明显下降。可见, 水资源稳定性不足导致四川省生态弹性力剧烈波动, 干旱对四川省生态承载力影响较大。水资源管理规划已成为制约四川省生态承载力稳定的重要因素。

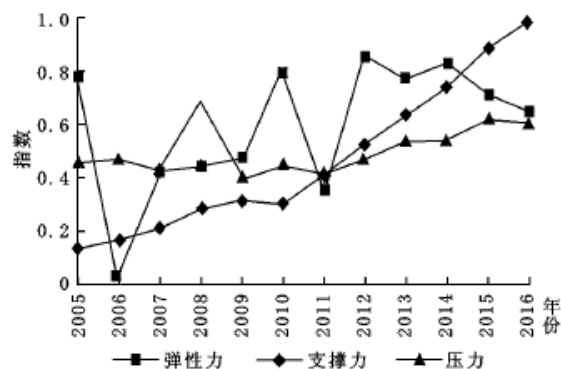


图 2 生态弹性力、支撑力、压力指数变化趋势

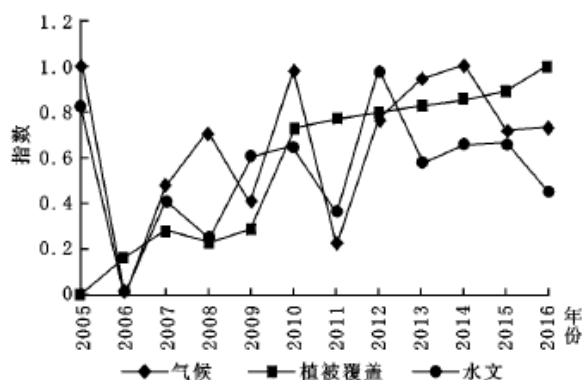


图 3 生态弹性力指标层指数变化趋势

#### 4.4 承载媒体的支撑力

2005—2016 年四川省承载媒体的支撑力指数呈整体上升趋势,指数从 2005 年的 0.140 提高到 2016 年的 0.988,2010 年以后支撑力指数有加速增长趋势(图 2),表明四川省支撑力越来越强。四川省承载媒体支撑力指标层指数变化趋势见图 4。

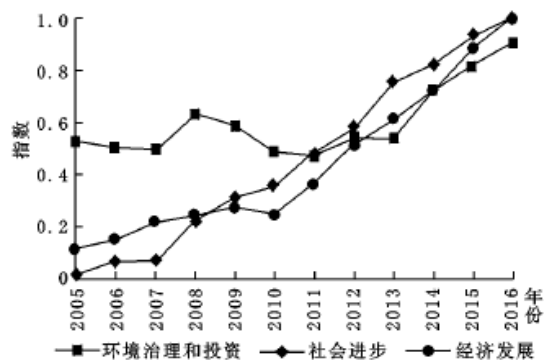


图 4 承载媒体的支撑力指标层指数变化趋势

从图 4 可见,社会进步和经济发展从 2010 年开始加速增长,环境治理和投资则增长缓慢。社会进步指数由 2005 年的 0.13 增

加到 2016 年的 1。分析原因可以发现,城乡居民收入水平、城乡居民养老保险覆盖人数、每 1000 人拥有的医院床位数和普通高等学校本专科毕业生人数 4 项指标均呈倍数增长,2016 年达到 10 年来的最大值。其中,城乡居民养老保险覆盖人数从 2005 年的 562.4 万人增加到 2016 年的 3052.4 万人,增长了 4.4 倍。

在影响经济发展的各个因素中,人均 GDP 的权重为 0.495,社会消费品零售额的权重为 0.154,两者对经济发展有较强的促进作用。环境治理与投资方面,工业废水排放达标率等环境治理工作不断进步,特别是生活垃圾的无害化处理率从 51.2%增长到 98.6%,提高了 47%。四川省环境污染治理投资占 GDP 的比例,2005 年为 1.1%,2005—2011 年下降到 0.52%,2014 年达到 1%。从绝对化数量来说,四川省环境污染治理的总投资不断增长,但并没有随着经济发展保持正向增长的趋势,对环境治理的投资应加大。此外,第三产业占 GDP 比重增长缓慢低于我国的平均水平。因此,四川省需要协调环境治理与经济发展之间的关系,加大产业调整力度,大力发展第三产业和新兴产业。

#### 4.5 承载对象的压力

压力指数越大表示承载对象的实际压力越小,因此承载对象的实际压力与压力指数变化趋势相反。2005—2016 年,四川省承载对象压力指数整体呈上升趋势(图 2)。2005 年压力指数为 0.459,2008 年达到最高值 0.684,2009 年达到最低值 0.4,承载对象的压力达到最大。从 2011 年开始,承载对象的压力指数持续增长,压力不断减轻。此外,2011 年前压力指数一直高于支撑力指数,从 2011 年开始支撑力指数高于压力指数,并出现差值扩大趋势,表明四川省的生态环境有所改善。

从图 5 可见,四川省人口压力指数以 2010 年为转折点,由波动上升转为连续下降,人口压力有上升趋势。研究期内,四川省失业率呈逐步下降趋势,但城市居民最低生活保障人数规模庞大,财政负担沉重。人口自然增长率 2010 年为 2.31‰,2011 年增长到 2.98‰,2013 年突破 3‰,2016 年增长到 3.49‰,人口总量增长对资源的需求不断加大。资源损耗指数整体呈增长趋势,2014 年和 2016 年出现明显下跌,资源损耗趋于降低,但不稳定。2005—2016 年环境污染指数整体呈波动上升趋势,资源浪费和环境污染问题有所缓解。四川省工业废水、二氧化硫排放量明显降低,而工业固体废弃物逐年增加,因此进行工业固体废弃物的再利用和无害化处理是今后四川省治理环境污染的一项重要工作。

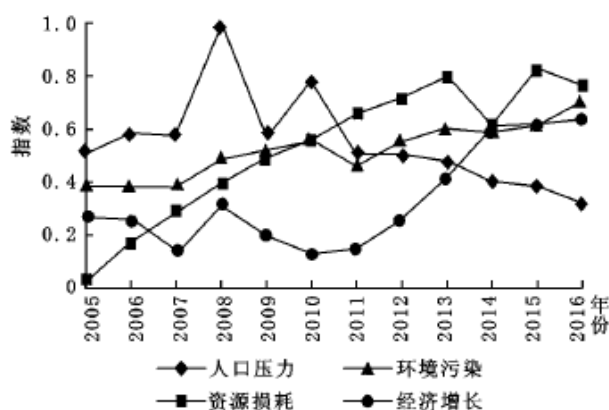


图 5 承载对象的压力指标层指数变化趋势

2005—2016 年四川省经济增长指数呈“V”形,受金融危机的影响,经济增长指数 2008—2010 年持续下跌,2011 年开始回升,并有加速增长趋势。值得注意的是,近年来四川省固定资产投资率从 2005 年的 47.1%提升到 2009 年的 84.9%,尤其是 2009 年比 2008 年同比增长了 24%,这可能是受到汶川地震灾后重建投资的影响。2010 年和 2011 年有明显回落的趋势,2012 年重新回升到 80%以上的水平。除 2005 年外,研究期内其他年份的指数均高于全国平均水平。国际水平的固定资产投资率一般维持在 18%—25%,不超过 30%,即使处于特殊时期的发展中国家也不宜长期维持过高水平<sup>[26]</sup>,四川省固定资产投资率有明显过高的态势。此外,四川

省固定资产投资效果系数整体下降, 2014 年低到 9.1%, 高投资、低收益的现状亟待转变, 应加大对创新和民生领域的固定资产投资。

## 5 讨论与结论

### 5.1 讨论

徐中民<sup>[27, 28]</sup>对我国各省 1999 年生态足迹的研究结果表明, 四川省生态足迹高于生态承载力, 出现生态赤字。陈敏<sup>[29]</sup>在分析 2002 年我国省域生态足迹时发现四川省耕地、化石等矿产资源和林地均出现生态赤字; 广佳<sup>[30]</sup>用定量分析方法研究了四川省 2005—2011 年的生态足迹和生态承载力, 表明四川省人均生态足迹增量始终高于人均生态承载力增量, 生态赤字不断增长, 年均达 3.7357%, 经济社会发展属于强不可持续水平。本文利用改进层次分析法研究了四川省 2005—2016 年生态承载力指数与变化趋势, 总体上四川省生态承载力逐渐增强, 但受自然及人为因素的影响, 稳定性不足; 刘东等<sup>[31]</sup>以县为基本单位分析了我国空间尺度上生态承载力供需平衡关系, 发现人口密度大、流动人口迁入集中的地区生态承载力失衡严重。随着社会对生态环境的重视, 生态弹性力、支撑力水平在不断提高。需要指出的是, 本研究将四川省作为一个整体研究其生态承载力与变化趋势, 但四川省幅员辽阔, 地域发展差异大。张莹<sup>[32]</sup>指出, 绵阳市人均生态承载力在 2007—2014 年由 0.319hm<sup>2</sup> 下降到 0.311hm<sup>2</sup>, 数值变化不大, 但呈现出持续下降趋势; 苏子友<sup>[33]</sup>对川西南山地地区的研究则发现川西南地区经济高速发展的同时, 生物资源和能源消耗剧烈增长, 从 2011 年开始由生态盈余转为生态赤字; 王翠华等<sup>[34]</sup>发现, 达州、巴中、广元等山地城市均面临城市化率低的问题, 具体表现为人口就业率低、恩格尔系数高, 可见四川省局部地区的生态承载力和整体承载力存在差异。因此, 相关部门在制定政策时, 应统筹全局, 综合考虑地区发展的差异与特点。

四川省生态弹性力的稳定性受到降雨量的制约, 为避免生态弹性力强烈波动, 一方面应提高生态水利工程的利用效率, 增强水利工程引、蓄、提、灌水各方面能力, 增强抵抗干旱灾害的能力<sup>[35, 36]</sup>; 另一方面要强化干旱风险预警机制, 设立抗旱专项基金, 做到旱灾提前预防, 抗旱应对有序, 灾后快速重建。加强水生态系统调控和景观生态规划和加强水资源的可持续性管理, 结合“海绵城市”的设计理念, 科学、合理地设计城市水资源循环系统, 维持生态系统的弹性力。提高对环境污染治理工作的重视度, 通过加大环境治理投资力度, 发展生态创新技术, 降低社会经济发展对自然资源的损耗; 以减少社会总体污染为准则, 完善二氧化碳、二氧化硫等污染物的排放交易协议, 建立污染物排放的市场机制, 提高生态效率; 提升大众的环保意识和认知水平, 加强可持续消费的宣传教育, 减轻人类发展对环境的影响; 加大产业调整力度, 大力发展第三产业, 转变产业发展方式, 提高生态系统服务价值, 提高整体的支撑力。此外, 通过加大对服务业和新兴产业的支持, 缓解传统行业对资源的消耗和对环境的破坏; 提供政策优惠和财政支持, 鼓励大众创业, 提高生态创新投入, 减少社会失业率, 减轻政府的财政负担, 减轻生态压力。

### 5.2 结论

本文的主要结论为: (1) 四川省生态承载力指数整体呈明显上升趋势, 2005—2016 年以 4.57%/a 的相对速率增长, 但稳定性不足。生态弹性力权重高于生态支撑力和生态压力之和, 表明生态弹性力对生态承载力的变化起决定性作用。(2) 生态弹性力总体呈波动上升趋势, 在 2006 年和 2011 年分别为 0.024 和 0.357。年降雨量和水资源总量占生态弹性力指数权重的 0.857, 导致干旱年份生态弹性力较弱。承载媒体的支撑力呈稳定上升趋势, 社会进步和经济发展对承载媒体支撑力的提高提供了很强的推动力, 但环境污染治理投资并没有随着经济发展保持正向的增长趋势。承载对象的压力指数从 2011 年开始持续增长, 表明压力的增长有所控制, 生态环境有所改善。(3) 通过对指标层的分析发现, 水资源总量是影响四川省生态弹性力变化的主要因素, 有效的水资源管理规划成为四川省生态承载力稳定的关键。环境污染仍是制约四川省生态承载力提高的重要因素, 对工业固体废弃物的再利用和无害化处理必须加大。

### 参考文献:



- 
- [1]Park R E, Burgess E W. Introduction to the Science of Sociology[M]. Chicago:The University of Chicago Press, 1921.
- [2]Costanza R, Arge R, Rudolf de G, et al. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital[J]. Ecological Economics, 1998, 25(1):3-15.
- [3]Wackernagel M, Galli A. An Overview on Ecological Footprint and Sustainable Development:A Chat with Mathis Wackernagel[J]. International Journal of Ecodynamics, 2007, 2(1):1-9.
- [4]高吉喜. 区域生态学基本理论探索[J]. 中国环境科学, 2013, 33(7):1252-1262.
- [5]狄乾斌, 张洁, 吴佳璐. 基于生态系统健康的辽宁省海洋生态承载力评价[J]. 自然资源学报, 2014, 29(2):256-264.
- [6]金悦, 陆兆华, 檀菲菲, 等. 典型资源型城市生态承载力评价——以唐山市为例[J]. 生态学报, 2015, 35(14):4852-4859.
- [7]王丽萍. 生态足迹视角下河南省生态承载力研究[J]. 资源开发与市场, 2017, 33(12):1456-1460.
- [8]陈宏观, 杨晓君, 杨浩波, 等. 基于层次分析法的东台市生态承载力研究[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(3):759-761.
- [9]曹永辉. 生态承载力视角下可持续发展的政策响应研究[J]. 资源开发与市场, 2013, 29(8):832-835, 873.
- [10]王书华, 毛汉英, 王忠静. 生态足迹研究的国内外近期进展[J]. 自然资源学报, 2002, 17(6):776-781.
- [11]Haberl H, Fischer-Kowalskia M, Krausmann F. Progress Towards Sustainability? What the Conceptual Framework of Material and Energy Flow Accounting (MEFA) Can Offer[J]. Land Use Policy, 2004, 21(3):199-213.
- [12]刘保强, 熊理然, 蒋梅英, 等. 滇池流域生态承载力及系统耦合效应剖析[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(5):868-875.
- [13]熊建新, 彭保发, 陈端吕, 等. 洞庭湖区生态承载力时空演化特征[J]. 地理研究, 2013, 32(11):2031-2040.
- [14]程超, 童绍玉, 彭海英, 等. 滇中城市群水资源生态承载力的平衡性研究[J]. 资源科学, 2016, 38(08):1561-1571.
- [15]王维, 张涛, 王晓伟, 等. 长江经济带城市生态承载力时空格局研究[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(12):1963-1971.
- [16]姜大川, 肖伟华, 范晨媛, 等. 武汉城市圈水资源及水环境承载力分析[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(5):761-768.
- [17]姜秋香, 付强, 王子龙. 基于粒子群优化投影寻踪模型的区域土地资源承载力综合评价[J]. 农业工程学报, 2011, 27(11):319-324.
- [18]宋岭, 张磊. 新疆矿产资源开发利用的综合承载力研究[J]. 新疆大学学报(哲学人文社会科学版), 2009, 37(4):11-17.
- [19]兰继斌, 徐扬, 霍良安, 等. 模糊层次分析法权重研究[J]. 系统工程理论与实践, 2006, (9):107-112.

- 
- [20]朱克毓, 杨善林. 关于 Saaty 对模糊逻辑不适用于 AHP 观点的评述[J]. 系统工程理论与实践, 2016, 34(1) : 197-205.
- [21]李永, 胡向红, 乔箭. 改进的模糊层次分析法[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2005, (1) : 11-12, 16.
- [22]张明军, 贺晋云, 汪宝龙, 等. 1960—2009 年西南地区极端干旱气候变化[J]. Journal of Geographical Sciences, 2013, 23(1) : 3-16.
- [23]白开旭, 刘朝顺, 施润和, 等. 2010 年中国西南旱情的时空特征分析——基于 MODIS 数据归一化干旱指数[J]. 地球信息科学学报, 2012, 14(1) : 32-40, 48.
- [24]毛绩. 宜宾市翠屏区水资源供需平衡分析[D]. 成都: 四川农业大学硕士学位论文, 2012.
- [25]李林育. 四川盆地丘陵区降雨侵蚀与输沙特征[D]. 杨凌: 中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心)硕士学位论文, 2009.
- [26]张展, 陆晓丽. 区域固定资产投资率理性回归分析[J]. 前沿, 2011, (20) : 7-9.
- [27]徐中民, 陈东景, 张志强, 等. 中国 1999 年的生态足迹分析[J]. 土壤学报, 2002, (3) : 441-445.
- [28]张志强, 徐中民, 程国栋, 等. 中国西部 12 省(区市)的生态足迹[J]. 地理学报, 2001, (5) : 598-609.
- [29]陈敏, 王如松, 张丽君, 等. 中国 2002 年省域生态足迹分析[J]. 应用生态学报, 2006, (3) : 3424-3428.
- [30]广佳. 基于生态文明理念的区域经济可持续发展研究——以四川省为例[J]. 西南民族大学学报(人文社科版), 2016, (4) : 127-131.
- [31]刘东, 封志明, 杨艳昭. 基于生态足迹的中国生态承载力供需平衡分析[J]. 自然资源学报, 2012, 27(4) : 614-624.
- [32]张莹. 区域生态红线划分方法研究[D]. 绵阳: 西南科技大学硕士学位论文, 2017.
- [33]苏子友. 川西南山地区生态足迹和生态承载力动态变化分析[J]. 四川林业科技, 2016, 37(4) : 39-42.
- [34]王翠华, 冉瑞平, 魏晋. 区域土地综合承载力空间差异评价研究——以四川省为例[J]. 国土与自然资源研究, 2010, (2) : 30-31.
- [35]王文国, 何明雄, 潘科, 等. 四川省水资源生态足迹与生态承载力的时空分析[J]. 自然资源学报, 2011, 26(9) : 1555-1565.
- [36]雷刚旭. 西部大开发中的四川水资源问题[J]. 农村经济, 2002, (3) : 15-17.