

李旭尧,邓艳,曹建华,等.典型岩溶县生态承载力演变分析:以云南泸西为例[J].中国岩溶,2020,39(3):359-367.
DOI:10.11932/karst2020y18

典型岩溶县生态承载力演变分析 ——以云南泸西为例

李旭尧^{1,2,3},邓艳¹,曹建华¹,蒋忠诚¹,徐焯¹,梁锦桃^{1,3}

(1. 中国地质科学院岩溶地质研究所/联合国教科文组织国际岩溶研究中心/自然资源部岩溶生态系统与石漠化治理重点实验室/自然资源部、广西岩溶动力学重点实验室,广西桂林 541004; 2. 重庆南江工程勘察设计集团有限公司,重庆 401147; 3. 桂林理工大学环境科学与工程学院,广西桂林 541004)

摘要:以云南省泸西县为研究对象,从生态弹性力、生态支撑力、生态压力3个维度将生态承载力目标分层,结合研究区石漠化严重、水资源匮乏、经济结构以农业为主的特点构建了岩溶石漠化县的生态承载力综合评价指标体系,并采用主客观有机结合的赋权方式,评价了泸西县2008—2017年生态承载力演变规律。结果显示:在研究时段内,生态弹性力指数波动剧烈,生态支撑力指数稳定上升,生态压力指数略有下降,生态承载力指数由0.269 2增加至0.759 0,由低承载力上升到较高承载力,虽然在2012年受严重自然灾害影响有所下降,但是承载力整体上升明显,泸西县生态系统的承载能力有所提高,可持续发展状况有所提升;受岩溶断陷盆地坡度陡、水土流失及石漠化严重等问题的制约,叠加原始粗放的耕作方式,泸西县第二、三产业发展缓慢,这仍制约着泸西县经济的可持续发展。

关键词:生态承载力;综合指标评价;岩溶贫困县;泸西

中图分类号:X24 文献标识码:A

文章编号:1001-4810(2020)03-0359-09 开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 引言

岩溶生态系统是受地质背景制约的生态系统^[1],具有生态环境敏感度高、环境容量低、稳定性差、抗干扰力弱等特点^[2],原本脆弱的生态系统叠加不合理的人类活动,造成水土流失和严重石漠化,土地生产力下降,人地矛盾突出。人类对自然资源的获取和干扰严重超过了生态系统的承载能力,使脆弱的岩溶生态系统向着恶性循环的方向发展,生态恶化与经济发展矛盾十分突出^[3-4],这严重阻碍了岩溶地区社会和经济的可持续发展。研究碳酸盐岩背景下的生态承载力供给状况,评估脆弱生态环境支撑能力的演变规律,可为西南岩溶地区生态文明建设以及

精准扶贫提供科学依据,具有较强的现实意义。

生态承载力概念的演变由于经济的快速发展,资源、环境和人口增长等问题,大致经历了从种群承载力、资源承载力、环境承载力到生态系统承载力^[5-7]4个阶段。近年来,生态承载力可持续发展受到了国内外研究学者的关注,不同领域的专家学者运用状态空间法^[8]、生态足迹方法^[9]、自然植被第一性生产力法^[10]、多指标综合评价法^[11-12]等一系列方法对生态承载力进行了深入研究,方法技术的日趋完善和成熟推动着生态承载力的研究,由最初基于不同需求的单因素承载力研究到现今的“自然—经济—社会”复合生态系统,由静态定量研究到现今的动态模拟预测研究^[13-15]。现今建立在资源、环境、社会以

基金项目:国家重点研发计划课题(2016YFC0502506);国家自然科学基金面上基金(41877206);基本科研业务费专项经费(JYYWF20182003)

第一作者简介:李旭尧(1995—),男,硕士研究生,主要从事水文生态学研究。E-mail:840859334@qq.com。

通信作者:邓艳(1978—),女,副研究员,博士,主要从事岩溶生态学研究。E-mail:dydesk@karst.ac.cn。

收稿日期:2019-06-12

及经济在内的复杂系统的生态承载力研究成为热点,相比单因素承载力和静态研究,其更加注重生态系统的整体性、持续性和协调性,是评价区域可持续发展能力的重要依据^[16-19]。

但是,目前的生态承载力研究大多集中在较发达的城市、流域或者湖泊^[20-22]等,针对西南岩溶石漠化贫困县的生态承载力研究还比较少。王雅敬等^[23]和苏品任等^[24]利用生态足迹法和指标体系法分别对贵州毕节市耕地资源和重庆岩溶地区水资源进行了单因子的生态承载力研究;向悟生等^[25]利用生态足迹法对桂西南岩溶生态脆弱区——广西平果县进行了生态承载力分析及可持续发展状况评价;杨廷锋^[26]以贵州省为例利用生态足迹法研究了西南岩溶山区生态承载力的演变及动力机制;王密等^[27]利用综合指标体系法研究了贵阳岩溶区域生态承载力。但单因子承载力的研究仅仅针对于水、土地资源等单因子承载状况,并未体现出复合生态系统的整体性、综合性;而生态足迹法是一种静态模型,忽略了区域人类生活方式的改变、技术的进步等因素对生态系统的影响,并且各地区产量因子相差较大,对结果会产生较大影响^[28];王密所用综合指标体系法指标并未针对研究地区的岩溶特点建立评价体系。因此,本文应用综合指标评价法,针对研究区石漠化严重、水资源匮乏、经济结构以农业为主的特点构建岩溶石漠化县的生态承载力综合评价指标体系,以评价生态承载力。

云南省泸西县岩溶面积约占全县总面积的79%,地下水深埋、水土流失和石漠化严重,居民贫困人口多,贫困程度深,生态环境的恶化和贫困严重制约着泸西县的可持续发展。本文对泸西县进行生态承载力的评估,了解其生态承载力状况,分析其可持续发展能力,从生态承载力组成结构分析制约泸西县发展的瓶颈因素,以期能为促进泸西县生态、经济、社会的协调可持续发展及脱贫致富提供科学依据。

1 研究区概况

泸西县为云南省红河哈尼族彝族自治州下辖县,位于云南省东南部,地处珠江流域上游,属低纬度高原,地势东部高、西南低,起伏很大;常年气温为15.2℃,近年年平均降雨量为796.85 mm,蒸发量为1 676.7 mm,气温和降雨时空分布不均匀,水资源比较匮乏且分布不均。全县石漠化总面积达746.61 km²,境内主要出露以中生界三叠系为主的地层,以个

旧组(T₂g)灰岩、白云岩分布最广,大部分地表灰岩裸露;以山地为主,大部分土壤为红壤,乱石丛生,土地贫瘠,具有岩溶、构造剥蚀和河流侵蚀3种地貌^[29]。泸西县以种植畜牧业为主,全县户籍总人口有44.06万,农业人口有33万,农业产值占生产总值的22%左右;共辖5个镇(中枢镇、金马镇、旧城镇、午街铺镇、白水镇)、3个乡(向阳乡、三塘乡、永宁乡)。

2 研究方法

2.1 建立评价体系

多指标综合评价法^[9]基于指标体系,通过描述、评价性质的可度量参数的集合来反映某种事物,指标体系的构建应遵循科学性、全面性、可操作性、代表性和动态性^[30-31]等原则,还必须结合当地的自然资源、生态环境和社会经济实际情况提出符合区域的生态指标体系^[32]。

本文将泸西生态承载力作为评价体系的目标层。根据生态承载力的定义,包含两层含义:一是不包含人类社会活动在内的生态系统自身的自我维持和调节能力;二是在人类社会活动参与下,生态系统给予人类的资源环境以及经济社会增长对生态系统承载能力的加强,另外作为承载对象,对环境资源的损耗和污染以及经济社会发展对生态系统带来的压力。

由此可将生态承载力概括为3个方面:生态弹性力、生态支撑力和生态压力,将这3个方面作为评价指标体系的准则层,其中包括资源、环境、社会以及经济各个方面。生态弹性力即生态系统的自我维持和调节能力,其系统自身的状态可决定弹性力大小。高吉喜^[33]发现气候、地形、水文、地物覆盖基本反映了生态系统的状态,由于地形是一个静态的指标,本文将气候、水文、地物覆盖以及土地利用作为生态弹性力的因素层。生态支撑力是生态系统内资源和环境子系统的纳污供容能力,包括社会进步和经济发展对环境与资源子系统的积极影响从而提高生态支撑力^[34],本文将资源供给、环境治理资源利用、社会进步以及经济发展作为因素层。生态压力是由于社会经济的发展,人类的生产活动、人口的增长等对资源消耗和环境污染等方面带来的压力,本文将资源消耗、环境破坏、人口压力以及经济压力作为因素层。

在遵循上述原则后,结合当地以农业为主的经

济结构以及水土流失、石漠化严重所提出的针对性的指标建立指标层。例如,针对岩溶区域资源环境方面提出的人均水浇地面积、石漠化面积、治理水土流失面积、垦殖率、有效灌溉率、水资源利用率等指标;针对经济结构以农业为主提出的农业综合机械(水利)化水平、新农合作医疗参保率、农业占 GDP 比值、农业劳动力占比等指标。经过筛选,最终选择了 51 项指标(表 1)。

2.2 数据来源及处理

2.2.1 数据来源

主要选取了泸西县 2008-2017 年间的各项数据,其数据主要来自于 2008-2017 年的《泸西年鉴》、《红河州年鉴》、政府网站以及一些关于泸西地区的文章、报告等。另外,还有一些指标数据是根据收集的数据计算得出的。

2.2.2 指标标准化

由于各项指标数据之间的单位各不相同,不能直接计算,因而本文采用极差标准化方法^[35]消除数

量纲和量级之间的影响。根据各指标的含义属性,通常当指标值越高、对生态系统起促进作用的称为效益型指标,如生态弹性力和生态支撑力,反之,指标值越高、对生态系统起损害作用的称为成本型指标,如生态压力。标准化公式如下:

效益型指标:

$$Y_{ij} = (X_{ij} - \min X_j) / (\max X_j - \min X_j) \quad (1)$$

成本型指标:

$$Y_{ij} = (\max X_j - X_{ij}) / (\max X_j - \min X_j) \quad (2)$$

式中: Y_{ij} 为指标标准化值; X_{ij} 为各指标实际值; $\max X_j$ 为第 j 个指标的最大值; $\min X_j$ 为第 j 个指标的最小值。

2.2.3 确定指标权重

由于单一的赋权方法都存在局限性,本文采用主客观组合赋权方法,以避免单一方法存在的局限性对评价的二次影响,使评价结果更加准确。利用熵值法确定指标层权重,再利用层次分析法确定准则层和因素层的权重,最终得出泸西县各层次指标的权重(表 1)。

表 1 泸西生态承载力评价指标体系及权重

Table 1 Evaluation index system and weight of ecological carrying capacity in Luxi county

目标层	准则层	因素层	指标层	单位	权重	综合权重
生态承载力	生态弹性力 0.169 2	气候 0.309 2	年平均降水量	mm	0.310 8	0.016 3
			年平均温度	°C	0.433 5	0.022 7
			年日照时间	h	0.255 6	0.013 4
		水文 0.233 0	地表水资源量	$\times 10^8 \text{ m}^3$	0.473 6	0.018 7
			地下水资源量	$\times 10^8 \text{ m}^3$	0.526 4	0.020 8
		植被覆盖 0.284 5	年造林面积	万亩	0.520 5	0.025 1
			森林覆盖率	%	0.479 7	0.023 1
		土地利用 0.173 3	草地面积占比	%	0.496 2	0.014 5
			水域面积占比	%	0.503 8	0.015 8
	资源供给 0.127 2	人均水浇地面积	人均水浇地面积	$\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$	0.516 6	0.029 1
			人均水资源量	$\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$	0.212 6	0.012 0
			人均粮食产量	$\text{kg} \cdot \text{人}^{-1}$	0.270 7	0.015 3
		工业固体综合利用率	工业固体综合利用率	%	0.105 3	0.013 1
			工业废水排放达标率	%	0.165 0	0.020 5
			生活污水处理率	%	0.149 2	0.018 5
生态支撑力 0.443 4	治理石漠化面积	治理石漠化面积	%	0.164 5	0.020 4	
		治理水土流失面积	km^2	0.120 1	0.014 9	
	水资源利用率	水资源利用率	%	0.133 8	0.016 6	
		有效灌溉率	%	0.162 3	0.020 2	

续表

目标层	准则层	因素层	指标层	单位	权重	综合权重
			农民人均纯收入	元	0.149 6	0.018 6
			科学教育支出占GDP比值	%	0.099 9	0.012 4
		社会进步 0.280 4	复种指数	%	0.148 7	0.018 5
			土地产出率	%	0.135 2	0.016 8
			农业综合机械(水利)化水平	%	0.143 2	0.017 8
			新农合作医疗参保率	%	0.115 4	0.014 3
			水利农田建设投资	亿元	0.117 7	0.014 6
			石漠化治理投资	万元	0.090 5	0.011 3
			经济发展 0.312 0	人均GDP	元	0.364 0
		第三产业占GDP比值		%	0.299 3	0.041 4
		社会消费品零售总额		亿元	0.336 7	0.046 6
		资源消耗 0.255 0	万元GDP电耗	kWh·万元 ⁻¹	0.205 5	0.020 3
			万元GDP能耗	标准煤·万元 ⁻¹	0.181 6	0.017 9
			万元GDP水耗		0.285 2	0.028 2
			居民人均生活用电量	kWh·人 ⁻¹	0.150 7	0.014 9
			居民生活人均用煤量	t·人 ⁻¹	0.177 0	0.017 5
		环境破坏 0.316 2	石漠化面积	km ²	0.274 5	0.044 3
			水土流失程度	%	0.306 9	0.049 5
			垦殖率	%	0.169 6	0.027 3
			农用化肥强度	t·人 ⁻¹	0.123 7	0.019 9
			农药使用强度	t·人 ⁻¹	0.125 4	0.020 2
	生态压力 0.387 4		城镇化率	%	0.196 0	0.014 6
			人口密度	人·km ⁻²	0.153 7	0.011 5
	人口压力 0.242 5		人口自然增长率	‰	0.149 5	0.011 1
			城镇失业率	%	0.159 4	0.011 9
			高中辍学率	%	0.184 7	0.013 8
			农业劳动力占比	%	0.156 3	0.011 7
	经济压力 0.186 3		城镇居民恩格尔系数	%	0.221 0	0.011 7
			农村居民恩格尔系数	%	0.146 9	0.007 8
			农业占GDP比值	%	0.204 4	0.010 8
			第二产业占GDP比值	%	0.258 8	0.013 7
			地区生产总值增长率	%	0.168 9	0.008 9

2.3 生态承载力综合评价模型

根据上述对生态承载力的定义,生态承载力指数由生态弹性力指数、生态支撑力指数和生态压力指数决定。

①生态弹性力指数(EEC)表达式为:

$$EEC = \sum_{i=1}^n (S_i \times W_i) \quad (3)$$

②支撑力的大小直接反映了区域生态承载力状

况的好坏,支撑力越大,承载能力就越好。生态支撑力指数(ECS)的表达式为:

$$ECS = \sum_{i=1}^n (S_i \times W_i) \quad (4)$$

③压力的大小直接反映了生态系统存在的各种问题,其指数越大,说明生态系统所承受的压力越小。生态压力指数(ECP)的表达式为:

$$ECP = \sum_{i=1}^n (S_i \times W_i) \quad (5)$$

④生态承载力由生态弹性力、生态支撑力、生态压力3个子系统组成,加权3个子项。生态承载力指数(ECC)的表达式为:

$$ECC = \sum_1^3 (E_i \times W_i) \quad (6)$$

式中: S_i 为各对应指标层的标准化值; E_i 为各子系统

的评价结果; W_i 为各指标层、准则层对应的权重。

3 结果分析

计算得出的各准则层指数以及生态承载力指数结果如表2。

表2 泸西县生态承载力各年度指数

Table 2 Annual index of environmental carrying capacity of Luxi county

指数	年份									
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
生态弹性力	0.322 1	0.283 7	0.350 1	0.397 7	0.135 4	0.364 6	0.417 9	0.509 8	0.720 9	0.658 7
生态支撑力	0.133 2	0.252 6	0.350 5	0.465 1	0.488 1	0.545 2	0.615 5	0.660 9	0.812 4	0.896 3
生态压力	0.402 9	0.430 2	0.454 3	0.501 7	0.486 4	0.473 7	0.525 9	0.552 1	0.632 1	0.645 6
生态承载力	0.269 2	0.326 7	0.390 6	0.467 9	0.428 7	0.486 9	0.547 4	0.593 2	0.727 1	0.759 0

3.1 生态弹性力

由图1可知,泸西县生态弹性力指数在2008-2011年保持在一个稳定的状态,而后在2012年突然下降,随后到2016年一直保持上升的趋势,近两年有所下降。2012年生态弹性力骤降的原因是由于从2010年开始,一直遭受旱灾,由图2可知2012年年降雨量仅有522.3 mm,突破历年极少记录,成为自1958年有气象资料以来降雨量最少时期,持续的旱灾也导致地表水和地下水资源量持续减少,使2012年生态弹性力为最低值,虽然2010年降雨量也相对较低,但是生态弹性力并未发生较大波动,其原因是由于年造林面积和森林覆盖率的增加。在2012年后,年降雨量逐渐回升,丰富的降水量使得地表水及地下水资源量得到补给,加上森林覆盖率的持续增长使得

生态承载力持续增长。在2016年,年降雨量为近10年来首次超过1 000 mm,地表水和地下水资源量提高,生态弹性力也达到最大值。总体来看,泸西县2008-2017年生态弹性力指数呈上升趋势,但中间过程波动强烈,说明岩溶生态系统稳定性较差,受气候降雨的影响较明显。另外,与邻近弥勒县相比,泸西县的年降水量(泸西:796.85 mm,弥勒:990.40 mm)、地表水地下水资源量(泸西: $3.737 \times 10^8 \text{ m}^3$,弥勒: $8.438 \times 10^8 \text{ m}^3$)、人均水资源量(泸西: 906 m^3 ,弥勒: $1\,526 \text{ m}^3$)都较低,而作为一个以农业经济为主的岩溶地区,耕地岩石裸露,土层较薄,土壤含水量较少,水资源显得尤其重要。水资源的匮乏和供需矛盾会成为泸西县社会发展的重要制约因素,因此必须做好水资源的有效利用和节水蓄水等水利工程。

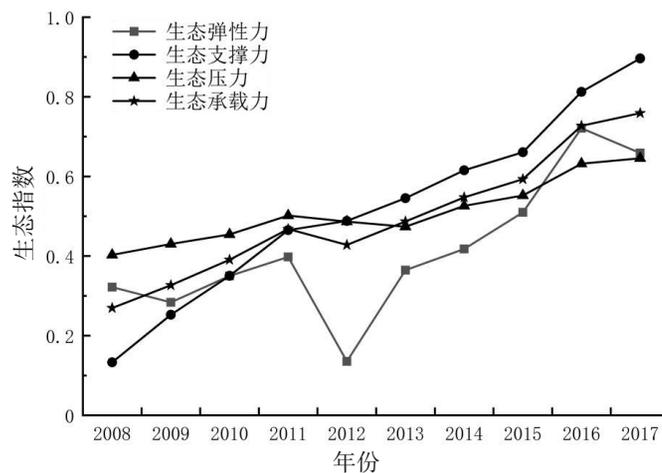


图1 泸西县生态弹性力、生态支撑力、生态压力以及生态承载力指数动态趋势图

Fig. 1 Dynamic trend of ecological resilience, ecological support, ecological pressure and ecological carrying capacity index in Luxi county

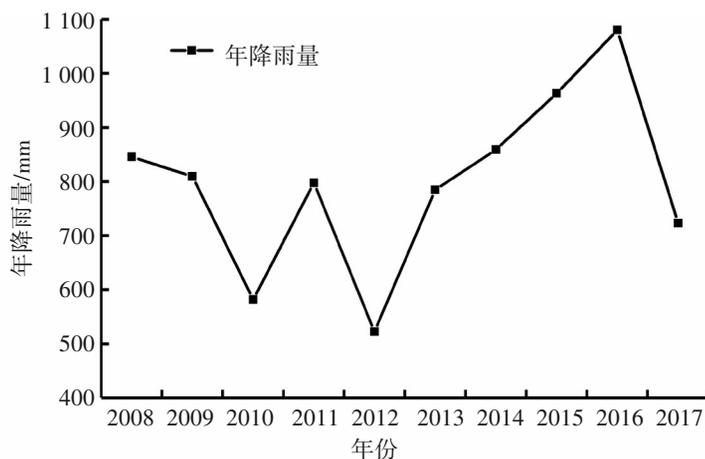


图2 研究时段内泸西年平均降雨量

Fig. 2 Average annual rainfall in Luxi county during the study period

3.2 生态支撑力

泸西县生态支撑力指数在研究时间段内均呈现稳定增长趋势(图1),生态支撑力指数从2008年的0.1332增长至2017年的0.8963,增长率为572%,总体来看,泸西生态支撑力稳定提高。这主要是由于经济的快速增长,泸西县各级政府投入资金进行工农隧洞、皮家龙潭、平海子水库、白水塘水库等水利工程的建设和水资源的开发利用,实施封山育林、人造生态林等对水土流失以及石漠化的治理,通过蓄水保土,提高了农业区的水资源利用率,使土地的产出率和复种指数提高,也直接提高了农民的人均纯收入。在经济子系统方面,经济的快速增长为资源环境利用与修复以及社会的进步提供了充足的财政支持。县政府加大环境保护设施的建设,针对资源型企业,处理废水、废渣等污染物的能力不断提升。同时,加大农田水利建设,以及水土流失和石漠化的治理,提高水资源的利用率和农业综合机械化水平,以实现传统农业向现代化农业的转变,提高农业的收入。在社会子系统方面,居民人均收入的持续上涨,教育投资的增加以及新农合作医疗参保率的提高推动了社会进步综合指数的上升。另外,泸西县第三产业比重由2008年的38.8%提高到了2017年的41.4%,说明产业结构开始优化,产业结构的合理化和多元化提高。总体来看,泸西县2008-2017年生态支撑力呈现不断上升趋势,这为泸西县生态承载力提供了良好的支撑能力。但是泸西县岩溶面积较广,水土流失以及石漠化现象还比较严重,贫困人口众多,另外,产业结构调整缓慢,且从2008-2014年第三产业占GDP的比重不断降低,仅在最近2年才有提

高。其次,对科学教育投资的力度仍然不足,对高层次人才和外来企业入驻不具备足够吸引力。虽然居民人均收入不断提高,但与发达地区相比还相差甚远,尤其是农村居民人均纯收入。

3.3 生态压力

生态压力指数越大,代表生态系统所受的压力越小,生态系统所受压力的变化与生态压力指数变化趋势相反。从图1可知,泸西生态系统所受压力在2008-2011年逐渐减小,在2012-2013年略有上升,随后逐渐降低,这是由于2012年自然灾害导致生态环境压力增加。分析具体指标,万元GDP能耗和万元GDP电耗持续降低,使资源消耗的压力有所下降;封山育林、人造经济林等对水土流失以及石漠化的治理,使生态效益显著,森林覆盖率以及农业经济的提高使得生态压力减小。但是在这10年第一、二产业所占GDP的比重较高,从事农业劳动的人口比重一直处于40%左右,大量的劳动人口从事经济效益较低的农业劳动,另外居民恩格尔系数较高,离小康生活水平还存在差距。此外,农业化肥和农药的增加,也给环境和生态带来了破坏。总体来看,随着生态治理的推进和生态文明建设,泸西县的生态压力处于稳定并在近几年有下降的趋势,给生态系统带来的压力在逐渐下降。但是岩溶区生态环境的脆弱性、产业结构的矛盾、优化水平不足仍是限制泸西县社会经济发展进步的因素。

3.4 生态承载力

将生态系统承载力指数划分为5级^[36-37],进行生态承载力评价,确定研究区域是否处于安全可持续发展状态。

表 3 生态承载力评价标准与特征

Table 3 Evaluation criteria and characteristics of ecological carrying capacity

等级	生态承载力状况	生态承载力特征
(0,0.2]	弱承载力	生态系统结构极不完整,生态承载力已超载,已经不能维持正常生产活动,生态系统处于崩溃边缘,阻碍了社会经济发展,完全不能持续发展
(0.2,0.4]	低承载力	生态系统结构已经出现缺陷,生态承载力满载,已有生态异常,只能基本维持现有的生产活动,不能可持续发展
(0.4,0.6]	中等承载力	生态系统结构尚完整,生态承载力一般,能够维持基本生产活动,具有较低的可持续发展能力
(0.6,0.8]	较高承载力	生态系统结构比较合理,生态承载力较高,具有较好的可持续发展能力,满足社会经济可持续发展的要求
(0.8,1.0]	高承载力	生态系统结构十分合理,生态承载力很高,具有很好的可持续发展能力,十分有利于社会经济的可持续发展

由表 3 和图 1 可知,泸西县 2008—2017 年生态承载力指数除了 2012 年以外呈平缓增长趋势,生态承载力状况由低承载力提升到较高承载力,生态结构逐渐变得稳定合理,具有较好的可持续发展能力。2012 年生态承载力降低的原因是因为严重的自然灾害,农业经济的损失,导致生态弹性力为研究时段最低值以及生态压力的增加。生态承载力指数的变化和生态支撑力指数的动态变化趋势大致相同(图 1),各指数之间呈很强的正相关性(表 4),尤其是生态支撑力和生态承载力之间相关系数达到了 0.987,生态支撑力对生态承载力的大小起着决定性的作用。针对泸西岩溶生态系统特征,增加水利基础设施建设,加大水土流失和石漠化治理等生态环境措施,使得森林覆盖率、土地产出率、水资源利用率、水浇地等大幅度提升,而水土流失、石漠化面积的减少,也大幅度提升了生态承载力。此外,泸西县从资源、环境、社会、经济多方面采取措施,提升生态系统的承载力,减少生态系统的压力,并且取得了较好的效果。总体来看,泸西县生态承载力在近十年间呈现出比较好的发展趋势,承载力不断提高,由低承载力提升到较高承载力,可持续发展状况逐年提升。

表 4 生态承载力与生态弹性力、生态支撑力和生态压力的相关系数

Table 4 Correlation coefficients between ecological carrying capacity and ecological resilience, ecological support and ecological pressure

	生态弹性力	生态支撑力	生态压力	生态承载力
生态弹性力	1	0.800**	0.888**	0.884**
生态支撑力		1	0.967**	0.987**
生态压力			1	0.990**
生态承载力				1

注:**表示在 $P < 0.01$ 水平显著相关。

4 讨论

泸西县生态承载力逐年上升,呈现出较好的发展趋势,但由于岩溶生态系统脆弱,其仍然存在很多问题。泸西县水土流失及石漠化面积还很大,涉及面广,成土速率慢、土层薄、土壤贫瘠,而其又是以农业为主的经济结构,大量的劳动力从事第一产业,劳动力消耗量大却效益较低,这导致泸西县整体经济较低,特别是石漠化农村地区。其次,农业活动注定会使用大量化肥农药,给环境和资源带来污染,使生态压力增大;水资源的匮乏和与农业生产之间的供需矛盾也是阻碍泸西经济发展的因素。另外,泸西县的工业、高新技术产业极不发达,产业结构优化水平缓慢。这些原因严重制约着泸西经济的发展,也是其经济发展落后于其他地区的重要原因。

本文研究方法简单易行,可操作性强,可定量了解泸西县承载力状况,但指标的筛选以及指标间的相互联系和赋权的方法还应进一步探讨,以使研究更加具有应用价值。

5 结论与建议

5.1 结论

泸西县生态弹性力在 2008—2011 年保持稳定,2012 年突然下降,随后至 2016 年呈上升趋势,近两年有所下降。整体来看,生态弹性力在研究时段内逐渐上升,但波动较大,岩溶生态系统稳定性较差,具有明显的脆弱特征。生态支撑力在研究时段内稳定快速增加,虽然 2012 年增幅有所下降,但是整体上升趋势明显。生态压力在 2008—2011 年逐渐下降,但 2012—2013 年略有上升,随后又逐渐减少,整体来看泸西县生态压力呈现逐渐缓慢下降的趋势。生态承

承载力除了2012年以外,其余年份均呈平缓增长趋势,这是由2012年严重的自然灾害所致。其生态承载力状况由低承载力提升到较高承载力,生态结构逐渐稳定合理,可持续发展能力逐渐提升。

5.2 建议

泸西县可持续发展状况有所提升,但由于岩溶生态环境系统的制约以及落后的生产活动方式仍然阻碍泸西县经济的可持续发展,因而建议注重以下问题以实现泸西县生态—经济的可持续发展:

(1)继续植树造林,加强兴建水池、水窖、引水管、沟渠等水利基础设施,以缓解石漠化地区水土流失、土壤贫瘠和缺水压力,保护好现有的林草植被,防止产生新的石漠化土地;

(2)实现传统农业向现代化农业的转变,减少施用农药化肥,努力推动高原特色现代农业产业朝着多元化、产业化发展;依靠环境资源优势,重点发展特色经济作物,建设生态农业示范园,推广高效农业经济带,优化农业生产结构和布局结构,积极建设更多高效优质的农产品品牌,重点打造“泸果、泸菜、泸药、泸花”四大农业产业品牌;

(3)加快工业化进程,依靠高原资源环境的优势,利用风能、水能等清洁环保可再生资源,建立风力、水力发电站以增加工业产值;加大对科学教育投资的力度,吸引更多高学历的人才和高新技术企业入驻,建设高新技术产业园,积极发展第三产业。

参考文献

- [1] 袁道先.全球岩溶生态系统对比:科学目标和执行计划[J].地球科学进展,2001,16(4):461-466.
- [2] 曹建华,袁道先,童立强.中国西南岩溶生态系统特征与石漠化综合治理对策[J].草业科学,2008,25(9):40-50.
- [3] 熊康宁,池永宽.中国南方喀斯特生态系统面临的问题及对策[J].生态经济,2015,31(1):23-30.
- [4] 王建锋,谢世友.西南喀斯特地区石漠化问题研究综述[J].环境科学与管理,2008,33(11):147-152.
- [5] 赵东升,郭彩霞,郑度,等.生态承载力研究进展[J].生态学报,2019,32(2):1-10.
- [6] 顾康康.生态承载力的概念及其研究方法[J].生态环境学报,2012,21(2):389-396.
- [7] 陈端吕,董明辉,彭保发.生态承载力研究综述[J].湖南文理学院学报:社会科学版,2005,30(5):70-74.
- [8] 纪学朋,白永平,杜海波,等.甘肃省生态承载力空间定量评价及耦合协调性[J].生态学报,2017,37(17):5861-5870.
- [9] 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.
- [10] 王家骥,姚小红,李京荣,等.黑河流域生态承载力估测[J].环境科学研究,2000,13(2):44-48.
- [11] 王瑶.基于可持续发展的上海市生态承载力研究[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2016,34(2):13-18.
- [12] 王影,柴立和.生态承载力水平评价的动态模型及其应用:以洞庭湖生态经济区为例[J].环境科学学报,2016,36(5):1859-1865.
- [13] Li Yang, Guo Tingting, Zhou Jing. Research of Ecological Carrying Capacity: Comprehensive Evaluation Model[J]. Procedia Environmental Sciences, 2011, 11: 864-868.
- [14] 封志明,李鹏.承载力概念的源起与发展:基于资源环境视角的讨论[J].自然资源学报,2018,33(9):1475-1489.
- [15] 黄静.典型喀斯特峰丛峡谷区生态承载力综合评价:以贵州花江为例[D].贵阳:贵州师范大学,2016.
- [16] 熊建新,陈端吕,彭保发,等.洞庭湖区生态承载力系统耦合协调度时空分异[J].地理科学,2014,34(9):1108-1115.
- [17] Wang Jiayang, Wei Xiaomei, Guo Qiang. A three-dimensional evaluation model for regional carrying capacity of ecological environment to social economic development: Model development and a case study in China[J]. Ecological Indicators, 2018, 89: 348-355.
- [18] 曹智,闵庆文,刘某某,等.基于生态系统服务的生态承载力:概念、内涵与评估模型及应用[J].自然资源学报,2015,30(1):1-11.
- [19] 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.
- [20] 施开放,刁承泰,孙秀峰,等.基于耕地生态足迹的重庆市耕地生态承载力供需平衡研究[J].生态学报,2013,33(6):1872-1880.
- [21] 曹宸,李叙勇.区县尺度下的河流生态系统健康评价:以北京房山区为例[J].生态学报,2018,39(12):4296-4306.
- [22] 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.
- [23] 王雅敬,谢炳庚,李晓青,等.喀斯特地区耕地生态承载力供需平衡[J].生态学报,2017,37(21):7030-7038.
- [24] 苏品任,官冬杰,杨莎.重庆喀斯特地区水资源承载力动态变化评价[J].绿色科技,2018,4(8):203-207.
- [25] 向悟生,李先琨,何成新,等.桂西南岩溶生态脆弱区生态承载力分析及可持续发展状况评价:以广西平果县为例[J].中国岩溶,2008,27(1):75-79.
- [26] 杨廷锋.西南岩溶石山地区生态承载力的演变及动力机制:以贵州省为例[J].中国岩溶,2016,35(3):332-339.
- [27] 王密,何谋军,叶晓云.喀斯特区域生态承载力综合评价案例研究[J].环境与可持续发展,2009,34(6):10-13.
- [28] 覃楠钧.广西环大明山区域生态承载力评价[D].南宁:广西大学,2013.
- [29] 王宇,张贵,李丽辉,等.云南泸西小江流域岩溶地下水调查与地质环境整治示范报告[R].云南省地质调查院,2006.
- [30] Li Ying, Zhao Guohua, Zhou Jing. Establishment of Evaluation Index System of Ecological Carrying Capacity in Changping District Pusalu Village[J]. Procedia Environmental Sciences, 2011, 11: 899-905.
- [31] 沈利娜,蒋忠诚,尹辉,等.果化石漠化监测区岩溶生态环境

- 系统安全评价[J].广西师范大学学报:自然科学版,2014,32(3):141-149.
- [32] Xu Liuyu, Kang Peng, Wei Jinjin. Evaluation of urban ecological carrying capacity: a case study of Beijing, China[J].*Procedia Environmental Sciences*, 2010, 2:1873-1880.
- [33] 高吉喜.可持续发展理论探索:生态承载力理论、方法与应用[M].北京:中国环境科学出版社,2001.
- [34] 王云霄.北京市生态承载力与可持续发展研究[D].北京:中国矿业大学,2010.
- [35] 俞立平,潘云涛,武夷山.学术期刊综合评价数据标准化方法研究[J].图书情报工作,2009,5(12):136-139.
- [36] 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.
- [37] 解雪峰,吴涛,肖翠,等.基于PSR模型的东阳江流域生态安全评价[J].资源科学,2014,36(8):1702-1711.

Evolution of ecological carrying capacity in typical karst counties: A case study of Luxi county, Yunnan Province

LI Xuyao^{1,2,3}, DENG Yan¹, CAO Jianhua¹, JIANG Zhongcheng¹, XU Ye¹, LIANG Jintao^{1,3}

(1.*Institute of Karst Geology, CAGS/International Research Center on Karst under the Auspices of UNESCO/Key Laboratory of Karst Ecosystem and Treatment of Rocky Desertification*, MNR/Key Laboratory of Karst Dynamics, MNR&GZAR, Guilin, Guangxi 541004, China; 2.*Chongqing Nanjiang Engineering Survey and Design Group Co., Ltd.*, Chongqing 401147, China; 3.*College of Environmental Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi 541004, China*)

Abstract Luxi county is located in the southeast of Yunnan Province, where karst accounts for 79% of the total area. The vulnerable ecosystem overlapping with unreasonable human activities in the county has caused serious water and soil erosion and rocky desertification, thus the contradiction between human and land is prominent. Besides, there are many poor people in the county, and the deterioration of the ecological environment and poverty seriously limit the sustainable development of Luxi county. The purpose of this work is to understand ecological carrying capacity, analyze sustainable development capacity and the bottleneck factors restricting the development of Luxi county from the structure of ecological carrying capacity, thus to provide a scientific theoretical basis for promoting the coordinated sustainable development of ecology, economy and society as well as poverty alleviation in this area. We use the multi-index comprehensive evaluation method from three dimensions of ecological resilience, ecological support and ecological pressure to stratify the ecological carrying capacity, combining with the characteristics of the study area to construct an evaluation index system suitable for the karst rocky desertification area. In terms of the entropy method and the Analytic Hierarchy Process (AHP) method, combining subjective and objective weighting methods, we analyze the evolution of ecological carrying capacity of Luxi county from 2008 to 2017. Results show that the ecological resilience index has an upward trend, while the intermediate process fluctuates sharply, indicating that the karst ecosystem is less stable and has obvious fragile characteristics. As the rapid economic growth has given supports to the management and utilization of environmental resources, residents' income and other aspects, the ecological support index has increased year by year, from 0.133, 2 to 0.896, 3. With the improvement of the ecological environment and the promotion of ecological civilization in recent years, the ecological pressure index is in a stable state and has been decreasing slowly in recent years, and the pressure on the ecosystem is also decreasing gradually. Except for the severe natural disasters in 2012, the index of ecological carrying capacity has been steadily increasing year by year, from 0.269, 2 to 0.759, 0. The carrying capacity has changed from low to high state. The structure of the ecosystem turns gradually stable and reasonable, and the capacity for sustainable development has been improved. The overall development trend in the past ten years is fairly good. Although the ecological carrying situation exhibits a good development trend, due to the steep karst slope in the fault basin, the restriction of natural environment, such as serious soil erosion and rocky desertification, superposition of original extensive farming, the development of the secondary and tertiary industries in Luxi country remains slow, limiting its economic development. So there is still a long way to the national well-off society.

Key words ecological carrying capacity, comprehensive index evaluation, karst poverty county, Luxi country

(编辑 黄晨晖)