

甘肃省资源环境承载力监测预警

陈晓雨婧, 吴燕红, 夏建新

(中央民族大学生命与环境科学学院, 北京 100081)

摘要: 在综合考虑国家不同部门出台的政策基础上, 构建了甘肃省资源环境承载力监测预警指标体系, 采用基于 AHP—熵权法的综合赋权法确定权重, 并借鉴已有成果对各项指标的警限阈值进行了讨论确定; 使用综合指数模型对甘肃省 2006-2016 年及各县级行政区资源环境承载力进行了分析研究。结果表明: (1) 2006-2016 年甘肃省资源环境承载力水平介于 0.32~0.46 之间, 虽总体呈现增加趋势, 但均处于超载预警状态。在空间上呈现出河西地区承载能力高, 南部和东南部地区次之、中部地区承载力较差的格局。(2) 十年间甘肃省资源承载力水平呈平稳上升态势, 其中水资源承载力与能矿承载力处于较差水平; 当前临夏市、天水市和平凉市处于橙色超载状态。(3) 十年间甘肃省环境承载力水平呈“W”型曲线波动且超载严重, 具有南部地区和兰州环境承载能力较好于河西和东部地区的空间差异。研究表明甘肃省资源环境超载严重, 虽然自“十二五”以来生态文明建设成效显著, 但缓解这一压力非短期之功, 仍需进行不懈的努力。

关键词: 资源环境承载力; 综合赋权法; GIS 技术; 监测预警

《国务院关于 2015 年度环境状况和环境保护目标完成情况的报告》指出我国“过去能源资源和生态环境空间相对较大, 但现在环境承载力已达到或接近上线”。因此通过对区域资源环境承载力状态进行监测并建立其监测预警长效机制, 协调社会经济发展与资源环境保护的矛盾, 科学把握并控制开发规模和强度, 是当前面临的迫切任务。

近年来国内学者在结合我国实际情况下从理论、实践、管理等层面开展研究, 目前资源环境承载力已成为可持续发展的核心内容之一, 在内涵及研究对象方面经历了一个由单一到综合的逐步演化发展的过程。封志明等^[1]、樊杰等^[2]将资源承载力、环境容量、生态承载力合并统一至资源环境承载力概念中, 使其具有综合性和限制性特征, 但其综合性也导致目前研究中存在概念泛化以及处于宏观层面的问题^[1]。在指标体系方面, 于洋等^[3]从资源供应、资源消费、环境治理和环境污染四个方面建立指标体系, 对中原城市群资源环境承载力进行研究; 徐美等^[4]基于 DPSIR 模型, 从驱动力、压力、状态、影响、响应五个方面构建湖南省土地承载力评价指标体系。对于研究结果, 如何将定性和定量结合进行系统分析和评价是当前研究热点之一。王书华等^[5]对中国东部沿海地区进行基于均方差决策法的土地综合承载力评价, 并对各地区结果进行排序, 浙江省排名第一承载力水平最好, 河北省排名最后承载力最差。王晓鹏等^[6]基于分层构权 GPCA 模型, 对果洛州 1999-2013 年资源环境承载力状况做综合评价并给出动态性评价结果。这些研究都是将

收稿日期: 2019-04-01; 修订日期: 2019-07-11

基金项目: 中央民族大学少数民族事业发展协同创新中心项目 (180430)

作者简介: 陈晓雨婧 (1993-), 女, 陕西西安人, 硕士, 主要从事环境政策等研究。E-mail: cxyujing@163.com

通讯作者: 夏建新 (1969-), 男, 湖北黄冈人, 博士, 教授, 主要从事区域可持续发展研究。

E-mail: jxxia@vip.sina.com

定量的结果基于空间维度进行排序或基于时间维度进行趋势分析,无法确定该区域的资源环境承载能力,因此如何界定承载力阈值以及如何量化承载力的绝对大小还有待进一步探讨。

本文在实地统计调研和前人研究工作的基础上,将区域资源环境承载力监测预警定义为对区域资源环境变化情况的监测以及依据监测结果对其承载状态的预测,并提出了区域资源环境承载力监测预警指标体系、警限阈值和方法,结合GIS技术对甘肃省2006-2016年及87个县级行政区资源环境现状进行监测,进一步从资源要素和环境要素的角度定量定性地对其资源环境承载力进行预警,以期对提高该区域资源环境承载能力、为其社会可持续发展提供切实可行的方法和建议。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况

甘肃地处黄土高原、青藏高原、内蒙古高原和西北干旱区、青藏高寒区、东部季风区的交汇处,总土地面积42.58万km²。全省辖12个地级市、2个自治州,共87个县(市、区)。区域土地资源类型丰富但土地生产力较低,难以利用的土地如沙漠、戈壁、盐碱地等占到54.36%。水能资源丰富但可用水资源贫乏,2016年甘肃省水资源总量仅为全国的0.52%,人均水资源量是全国人均的1/4。

1.2 资源与环境监测预警指标体系及其方法

1.2.1 监测预警指标体系构建与警限阈值的确定

为正确认清甘肃省资源环境承载力现状,达到对其进行科学合理预警的目的,采用频度统计法对近十年国内外相关文献中160个指标进行频度分析^[5-14],并参照近年来相关行业政策文件要求,如《国民经济和社会发展的第十三个五年规划纲要》《“十三五”节能减排综合工作方案》《全国土地利用总体规划纲要(2006-2020年)》等,选取具有可指导性、包容性强、目的性强、方便简洁的指标,确定如下监测预警指标体系(表1)。

本文通过归类对比现有研究、文献资料及分析政策导向,按照以下五个原则对各监测预警指标进行警限阈值标准的划分:(1)首先若存在地方控制标准,且地方标准严于国家标准或国际标准的,选择地方标准作为划分依据;(2)其次若无地方相关标准,但存在国家有标准或国家规划值的,采用国家标准;(3)不符合以上两种情况时,参考国际或发达国家地区的相关标准或预测值作为标准;(4)若均不符合上述条件的,结合当地实际情况确定;(5)对于目前没有完整的相关统计数据,可通过咨询相关专家确定阈值^[15]。具体甘肃省资源环境承载力监测预警指标警限阈值标准见表2。

1.2.2 数据处理

采用自然分级法根据上文资源环境承载力监测预警指标警限阈值五级划分标准对原始数据进行标准化处理,即当某一指标收集到的原始数据处于绿色不超载阈值内时得到1.0分的标准化值,依此类推。

采取基于层次分析法(AHP)与熵权法的综合赋权法对各指标进行组合赋权,该方法同时兼顾主观意愿与客观数据,使所得权重科学合理^[16-17],结果见表1。

$$\begin{aligned} W_j &= \alpha\omega_i + (1-\alpha)\omega_j \\ 0 &\leq \alpha \leq 1 \\ 0 < W_j, \omega_i, \omega_j < 1, i, j &= 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (1)$$

表1 甘肃省资源环境承载力监测预警指标体系表

Table 1 Monitoring and early warning index system of resources and environment carrying capacity in Gansu province

预警层(A)	目标层(B)	准则层(C)	指标层(D)		权重
区域资源环境 承载力(A1)	资源承载力 (B1)	土地资源(C1)	人均耕地面积/(hm ² /人)	D1	0.081
			人均建设用地面积/(m ² /人)	D2	0.0432
			人均公园绿地面积/(m ² /人)	D3	0.0352
		水资源(C2)	人均水资源量/(m ³ /人)	D4	0.0505
			人均用水量/(m ³ /人)	D5	0.0454
			水资源开发利用率/%	D6	0.0457
			水耗指数/(m ³ /万元)	D7	0.0617
		能矿资源(C3)	万元GDP能耗/(t标准煤/万元)	D8	0.0508
			能源加工转换效率/%	D9	0.0386
	环境承载力 (B2)	生态环境(C4)	草地面积比例/%	D10	0.0465
			水域面积比例/%	D11	0.0373
			沙化土地面积比例/%	D12	0.0432
			森林覆盖率/%	D13	0.0482
		环境污染(C5)	废水中COD排放强度/(kg/万元)	D14	0.0412
			二氧化硫排放强度/(kg/万元)	D15	0.0406
			工业烟(粉)尘排放强度/(kg/万元)	D16	0.0398
			化肥使用折纯度/(t/hm ²)	D17	0.0378
		环境治理(C6)	工业固体废物综合利用率/%	D18	0.0465
			城市污水处理率/%	D19	0.0431
			空气质量达标率/%	D20	0.0538
			环境污染治理投资占GDP的比例/%	D21	0.0699

式中： W_j 为第 j 指标的最终综合权重； ω_i 为层次分析法（AHP）得到的权重； ω_j 为熵权法所得权重； α 为决策相关系数，本文取0.5。

在得到综合权重的基础上利用综合指数模型计算资源承载力监测预警指数、环境承载力监测预警指数和资源环境承载力监测预警指数：

$$T_P = \sum_{j=1}^9 W_j \times Y_{ij} \tag{2}$$

$$T_S = \sum_{j=9}^{21} W_j \times Y_{ij} \tag{3}$$

$$T = T_P + T_S = \sum_{j=1}^9 W_j \times Y_{ij} + \sum_{j=10}^{21} W_j \times Y_{ij} \tag{4}$$

式中： T_P 为资源承载力监测预警指数； T_S 为环境承载力监测预警指数； T 为区域资源环境承载力监测预警指数； Y_{ij} 为研究区域第 i 年第 j 指标的标准化数据。

1.2.3 数据来源

数据来源于《甘肃省统计年鉴》（2007-2013年）、《甘肃省发展年鉴》（2014-2017年）、《甘肃省环境状况公报》《甘肃省国土资源公报》、甘肃省各地级市2017年发展年鉴以及遥感数据等。

1.2.4 区域综合生态安全指数判定标准

在参考国内外相关研究^[9-10,18-19]以及综合计算结果基础上，采用自然分级法用五个等级

表2 甘肃省资源环境承载力监测预警指标警限阈值

Table 2 Warning threshold of monitoring and early warning indicators for RECC in Gansu province

指标名称		超载		临界超载		不超载
		红色(0.1)	橙色(0.3)	黄色(0.5)	蓝色(0.7)	绿色(1.0)
人均耕地面积/(hm ² /人)	D1	≤0.053	0.093~0.053	0.14~0.093	0.19~0.14	≥0.19
人均建设用地面积/(m ² /人)	D2	≤60	75~60	100~75	120~100	≥120
人均公园绿地面积/(m ² /人)	D3	≤6	8~6	10~8	12~10	≥12
人均水资源量/(m ³ /人)	D4	≤500	500~1000	1000~1700	1700~3000	≥3000
人均用水量/(m ³ /人)	D5	≤200	200~371	371~487	487~990	≥990
水资源开发利用率/%	D6	≥70	70~50	50~40	40~30	≤30
水耗指数/m ³	D7	≥170	120~170	90~120	70~90	≤70
万元GDP能耗/(t标准煤/万元)	D8	≥2.279	1.635~2.279	0.992~1.635	0.459~0.992	≤0.459
能源加工转换效率/%	D9	≤60	60~70	70~80	80~90	≥90
草地面积比例/%	D10	≤20	45~20	60~45	75~60	≥75
水域面积比例/%	D11	≤2	4~2	6~4	8~6	≥8
沙化土地面积比例/%	D12	≥50	40~50	30~40	20~30	≤20
森林覆盖率/%	D13	≤20.74	20.74~23.04	23.04~24.93	24.93~25.34	≥25.34
废水中COD排放强度/(kg/万元)	D14	≥3.77	3.42~3.77	3.25~3.42	3.08~3.25	≤3.08
二氧化硫排放强度/(kg/万元)	D15	≥3.35	3.04~3.35	2.89~3.04	2.74~2.89	≤2.74
工业烟(粉)尘排放强度/(kg/万元)	D16	≥1.36	1.24~1.36	1.18~1.24	1.12~1.18	≤1.12
化肥使用折纯度/(t/hm ²)	D17	≥30	30~21.9	21.9~15	15~8	≤8
工业固体废物综合利用率/%	D18	≤50	60~50	70~60	80~70	≥80
城市污水处理率/%	D19	≤55	70~55	85~70	95~85	≥95
空气质量达标率/%	D20	≤50	50~65	65~75	75~90	≥90
环境污染治理投资占GDP比例/%	D21	≤0.51	1.3~0.51	2.3~1.3	3~2.3	≥3

来预警计算得出的区域资源环境承载力指数所表达的资源环境承载力状况（表3）。区域资源环境承载力指数越高，区域资源环境承载力就越强，反之，则越弱。其中资源承载力与环境承载力指数限值通过权重值得到。

2 结果分析

按照甘肃省资源环境承载力监测预警指标体系和综合指数模型，计算出甘肃省2006-2016年、各县级行政区2016年的资源环境承载力指数及各项目层指数的预警结果。

表3 区域资源环境承载能力等级分类

Table 3 Classification of resources and environment carrying capacity

资源环境承载力指数值	资源承载力指数值	环境承载力指数值	预警状态	预警等级
[0, 0.2]	[0, 0.09]	[0, 0.11]	超载	红色
(0.2, 0.4]	(0.09, 0.18]	(0.11, 0.22]		橙色
(0.4, 0.6]	(0.18, 0.27]	(0.22, 0.33]	临界超载	黄色
(0.6, 0.8]	(0.27, 0.36]	(0.33, 0.44]		蓝色
(0.8, 1.0]	(0.36, 0.45]	(0.44, 0.55]	不超载	绿色

2.1 区域资源环境承载力指数预警分析

从时间变化来看,甘肃省资源环境承载力预警结果数值介于0.32~0.46之间,呈平稳上升态势,年均增速3.38%,其中2016年处于黄色临界超载预警等级,其他年份均为橙色超载预警状态。2006-2016年甘肃省资源环境承载力预警结果数值介于0.32~0.46之间,呈平稳上升态势,年均增速3.38%,其2006-2015年处于橙色超载预警等级,2016年上升为黄色临界超载预警状态。(图1)。深入分析发现,2006-2016年甘肃省资源环境呈现以下特点:一是十年间资源承载力逐步提升,2016年资源承载力指数值比十年前提升48.9%,达到0.24的黄色临界超载等级,上升来源主要为2013年后人均耕地面积及人均公园绿地面积的增加;二是环境承载力波动剧烈,“十二五”期间环境承载力水平骤降,最大波幅达9.95%。主要波动来源于生态环境,其中草地面积比例、水域面积比例均在2013年出现大幅下降,处于红色超载预警等级;其次环境污染对资源环境承载力压力较大,反映了甘肃省环境工业污染严重,且由于科技、经济等发展较落后,治理难度较大。

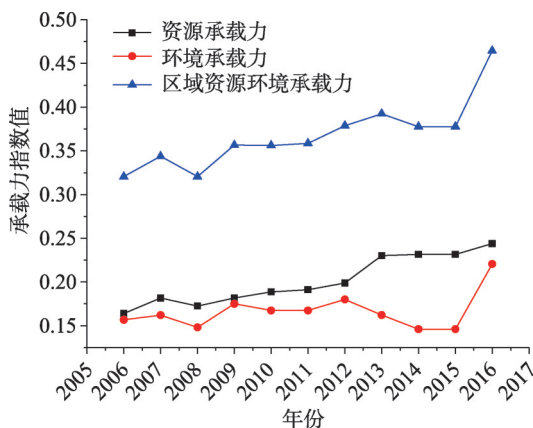


图1 2006-2016年甘肃省资源环境承载力变化

Fig. 1 Change of resources and environment carrying capacity in Gansu province from 2006 to 2016

结合GIS技术对当前甘肃省各区县资源环境承载力分析可知:74.71%的县(市、区)属于黄色临界超载等级,24.14%属于橙色超载等级,主要集中在临夏市和天水市;1.15%处于蓝色临界超载等级,其中天水市武山县指数值最低(0.30),张掖市甘州区指数值最高(0.64)(图2)。从空间分布特征来看,除嘉峪关外的河西走廊地区资源环境承载力水平较高,南部和东南部地区次之,中部地区(除兰州)资源环境承载力较差。从县域来看,少数民族地区资源环境承载能力较差,如积石山保安族东乡族撒拉族自治县、东乡族自治县等,核心城镇的承载能力较好,如张掖市甘州区、兰州市七里河区等。从贡献率来看,资源承载力的贡献率(45.47%)小于环境承载力(54.53%),但河西走廊地区资源承载力的贡献率大于环境承载力。河西地区资源丰富,经济发达,但其经济发展主要依托于重工业的开发利用,因此其环境承载能力低于资源承载力。

2.2 资源承载力预警分析

从时间变化来看,“十一五”至“十三五”期间甘肃省资源承载力水平变化情况表现为稳中向好的上升趋势,年均增速3.77%,其指数值处于0.16~0.24间,其中“十一五”初始之年处于橙色超载状态,其后十年均为黄色临界超载状态(图3)。68.24%的增长来源于人均耕地面积比例与人均公园绿地面积比例,说明居民生活环境和生活质量稳步提高。水资源于2014年出现大幅下降,达到谷值;其中人均水资源量均处于橙色超载预警状态,说明水资源相对贫乏;水耗指数均大于170 m³,处于红色超载预警等级,说明区域发展不平衡,经济增长耗水量大。能矿资源指数整体偏低,呈低水平上的平稳状态,万元GDP能耗与能源加工转换效率均处于超载预警状态,甘肃省能矿资源丰富,但低利用率的浪费现象严重;开采规模小,乱采滥挖;产品结构单一,经济效益低;管理混

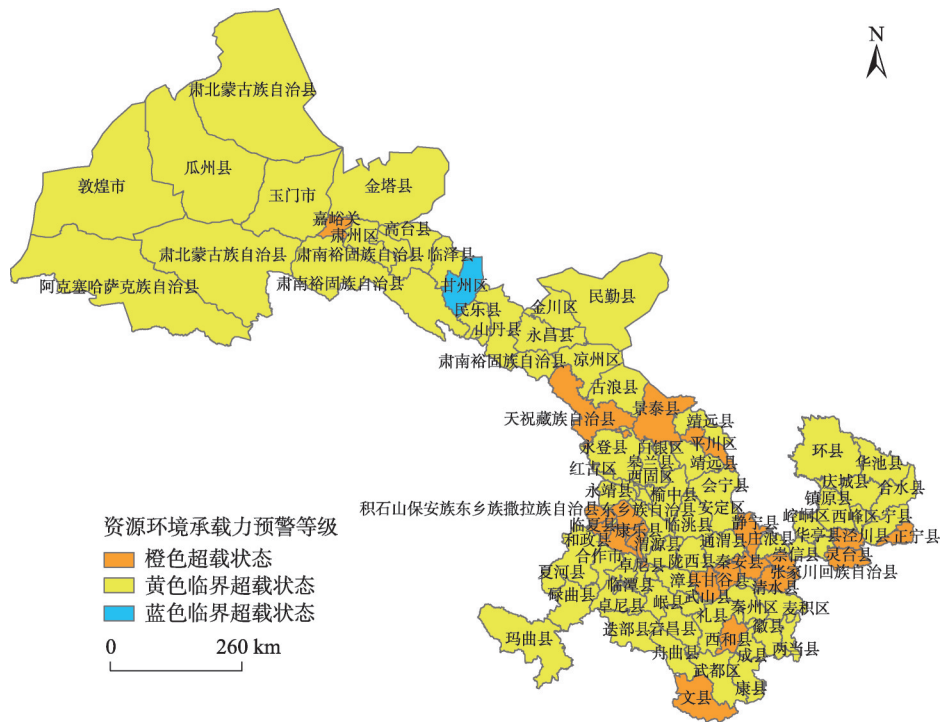


图2 甘肃省县域资源环境承载力空间分布格局

Fig. 2 The spatial distribution of resources and environment carrying capacity in county areas of Gansu province

乱，缺乏统筹规划等，都妨碍了该地区能矿资源的高效可持续发展。

对县域资源承载力结合 ArcGIS 空间格局图进行分析可知：66.67%的区县属于黄色临界超载等级，25.29%属于橙色超载等级，主要集中在临夏市、天水市和平凉市；8.05%处于蓝色临界超载等级，其中临夏市临夏县指数值最低（0.10），张掖市甘州区指数值最高（0.31）（图4）。空间上呈现出河西地区和甘南地区高，东南部地区资源承载能力差的地区差异。从资源承载力子系统来看，市辖区的水资源贡献率大于土地资源，而县、自治县的土地资源贡献率大于水资源，反映核心城镇土地利用率高，土地资源紧缺。对各区县单项指标预警程度分析发现：人均耕地面积五级预警比例较为分散，其中红色超载地区主要集中在兰州、嘉峪关，橙色超载地区主要集中在陇南、临夏、甘南，而绿色不超载地区位于张掖、平凉和庆阳（图5）。水耗指数五级预警比例两级分化较为严重，主要集中在红色超载状态（兰州、天水、临夏）和绿色不超载状态（庆阳、定西、陇南）。

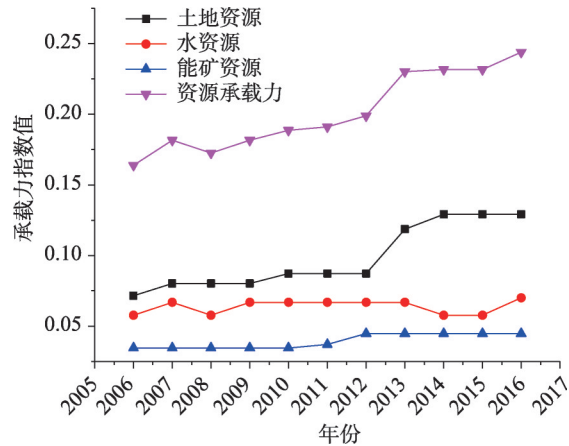


图3 2006-2016年甘肃省资源承载力变化

Fig. 3 Change of resources carrying capacity in Gansu province from 2006 to 2016

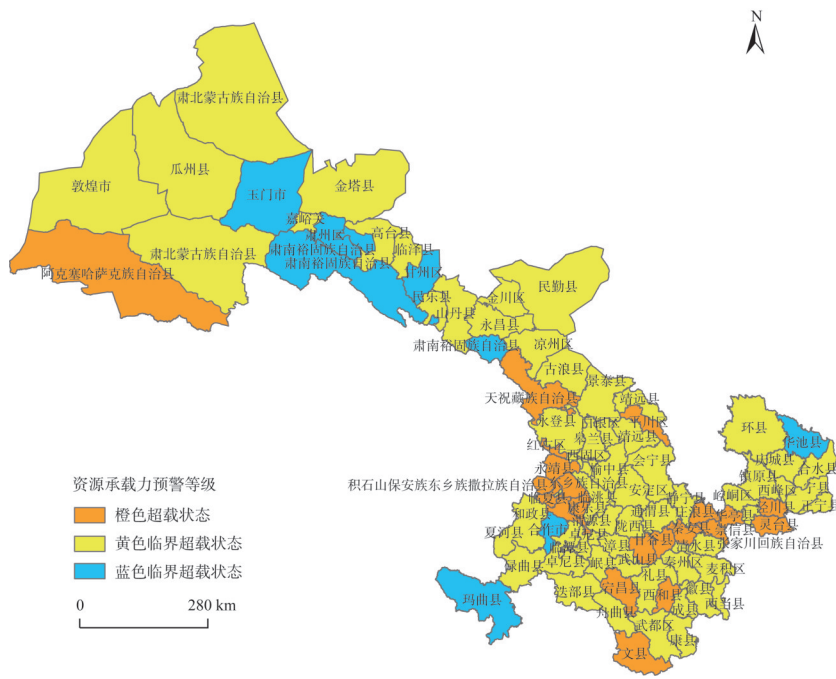


图4 甘肃省县域资源承载力空间分布格局

Fig. 4 The spatial distribution of resources carrying capacity of county areas in Gansu province

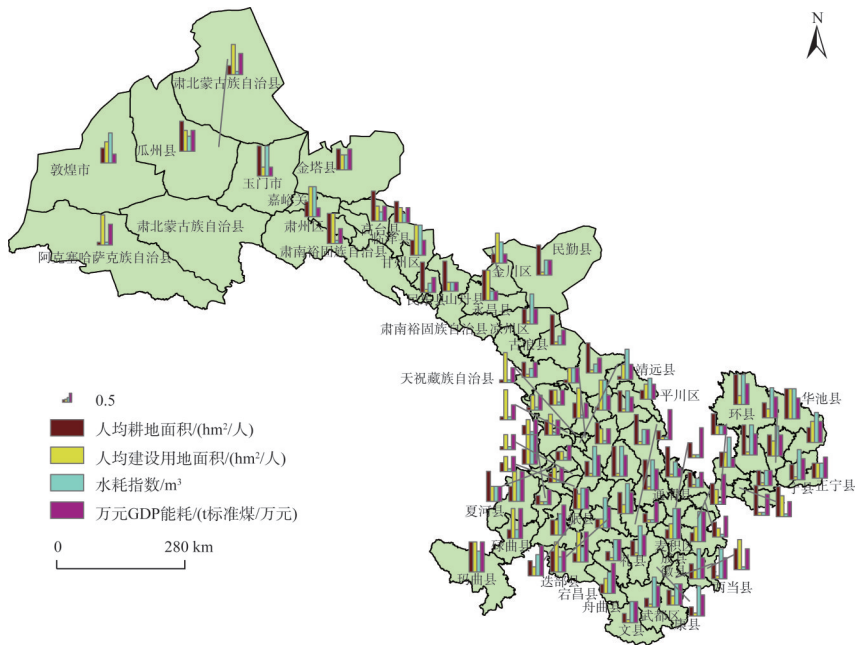


图5 甘肃省县域资源承载力部分指标预警值分布

Fig. 5 The numerical distribution of some indicators of resources carrying capacity of county areas in Gansu province

2.3 环境承载力预警分析

从图6来看，甘肃省环境承载力整体超载现象严重，且水平波动较大，变化趋势呈

“W”型曲线,峰值出现于2016年,谷值出现于2008年、2015年,指数值介于0.15~0.22间,年均增速2.34%,整体超载严重,但有小幅提升态势。从子系统内部来看,生态环境子系统相对平稳,但于2013年出现下降态势,主要源于草地和水域面积比例的减少。“十二五”期间甘肃省草场退化现象加剧,牧草地减少58.01%,说明该地区过度放牧、超载现象十分严重。环境污染子系统变化幅度不大,但承载力水平较低,表现为SO₂排放强度、工业烟(粉)尘排放强度十年来虽有所好转,上升幅度达23.63%和14.25%,但依旧均处于红色超载预警状态,凸显了全省近十年来工业污染的严重性。环境治理子系统变化情况与环境承载力变化相似,体现了甘肃政府对环境保护生态建设作出的努力,其中2016年全省城市污水处理率较2012年提高了39.31%。

从空间格局对县域环境承载力分析可以看出(图7):68.97%的县(市、区)属于黄色临界超载等级,26.44%属于橙色超载等级,主要集中在天水市、酒泉市和白银市;4.59%处于蓝色临界超载等级,其中天水市武山县指数值最低(0.16),兰州市七里河区指数值最高(0.36)。从空间分布特征来看,河西走廊地区和陇东地区环境承载能力较差,陇南地区和兰州市承载水平较好。从环境承载力子系统来看,河西地区包括金昌、武威、酒泉生态环境子系统的贡献较低,其承载能力较差,与河西地区脆弱的自然本底

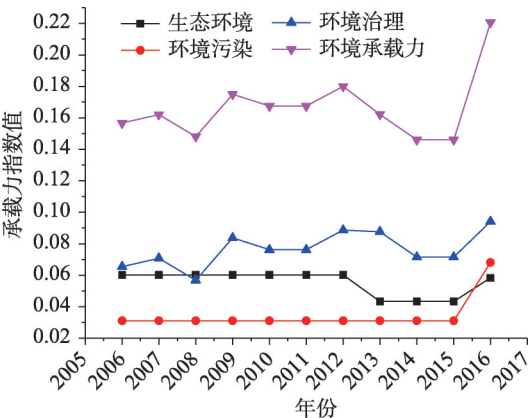


图6 2006-2016年甘肃省环境承载力动态
Fig. 6 Change of environment carrying capacity in Gansu province from 2006 to 2016

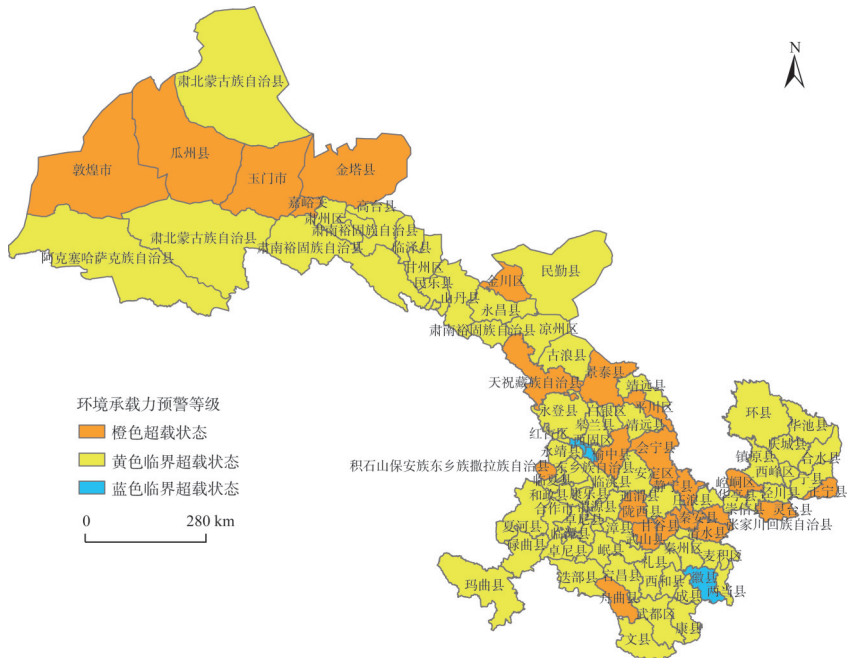


图7 甘肃省县域环境承载力空间分布格局
Fig. 7 The spatial distribution of environment carrying capacity of county areas in Gansu province

高该区域资源环境承载能力, 走上可持续发展道路, 在资源方面应保护现有耕地面积, 控制区域用水量, 改变高投入、高消耗、高排放、低效率的粗放型能矿发展方式; 在环境方面应遏制草场退化速度, 加大环境治理力度。

参考文献(References):

- [1] 封志明, 李鹏. 承载力概念的缘起与发展: 基于资源环境视角的讨论. 自然资源学报, 2018, 33(9): 1475-1489. [FENG Z M, LI P. The genesis and evolution of the concept of carrying capacity: A view of natural resources and environment. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(9): 1475-1489.]
- [2] 樊杰, 王亚飞, 汤青, 等. 全国资源环境承载能力监测预警(2014版)学术思路与总体技术流程. 地理科学, 2015, 35(1): 1-10. [FAN J, WANG Y F, TANG Q, et al. Academic thought and technical progress of monitoring and early-warning of the national resources and environment carrying capacity (V2014). *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(1): 1-10.]
- [3] 于洋, 韩鹏, 杨楠, 等. 中原城市群核心城市资源环境承载力研究. 北京大学学报: 自然科学版, 2018, 54(2): 407-414. [YU Y, HAN P, YANG N, et al. Research of carrying capacity on resource and environment in core cities of Central Henan urban agglomeration. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2018, 54(2): 407-414.]
- [4] 徐美, 朱翔, 李静芝. 基于DPSIR-TOPSIS模型的湖南省土地生态安全评价. 冰川冻土, 2012, 34(5): 1265-1272. [XU M, ZHU X, LI J Z. Evaluation of land ecological security in Hunan province based on DPSIR-TOPSIS model. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2012, 34(5): 1265-1272.]
- [5] 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. 自然资源学报, 2001, 16(3): 248-254. [WANG S H, MAO H Y. Design and evaluation on the indicator system of comprehensive carrying capacity. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(3): 248-254.]
- [6] 王晓鹏, 丁生喜. 三江源地区人口资源环境承载力动态评价研究: 以青海省果洛州为例. 生态经济, 2015, 31(11): 149-152. [WANG X P, DING S X. Dynamic evaluation of carrying capacity of population, resource and environment in the Three-River Headwaters region: Taking Guoluo prefecture of Qinghai province as an example. *Ecological Economy*, 2015, 31(11): 149-152.]
- [7] 樊杰, 周侃, 王亚飞. 全国资源环境承载能力预警(2016版)的基点和技术方法进展. 地理科学进展, 2017, 36(3): 266-276. [FAN J, ZHOU K, WANG Y F. Basic points and progress in technical methods of early-warning of the national resource and environment carrying capacity (V2016). *Progress in Geography*, 2017, 36(3): 266-276.]
- [8] 刘明, 廖和平, 李涛, 等. 基于模糊物元的重庆市资源环境承载力动态评价研究. 中国农学通报, 2015, 31(20): 113-118. [LIU M, LIAO H P, LI T, et al. Dynamic evaluation of resource-environment carrying capacity based on fuzzy matter element in Chongqing city. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(20): 113-118.]
- [9] ZHANG J S, HU X Z, CELLY K, et al. Evaluation and comparison of the resource and environmental carrying capacity of the 10 main urban agglomerations in China. *Nature Environment and Pollution Technology*, 2015, 14(3): 573-578.
- [10] YE W, XU X Y, WANG H X, et al. Quantitative assessment of resources and environmental carrying capacity in the northwest temperate continental climate ecotope of China. *Environmental Earth Sciences*, 2016, 75(10): 1-15.
- [11] 雷勋平, 邱广华. 基于熵权TOPSIS模型的区域资源环境承载力评价实证研究. 环境科学学报, 2016, 36(1): 314-323. [LEI X P, QIU G H. Empirical study about the carrying capacity evaluation of regional resources and environment based on entropy-weight TOPSIS model. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2016, 36(1): 314-323.]
- [12] 武凤阳, 王晖. 贵州省资源环境承载力综合评估研究. 资源与产业, 2016, 18(6): 68-73. [WU F Y, WANG H. Comprehensive evaluation of Guizhou's resource and environment carrying capacity. *Resources & Industries*, 2016, 18(6): 68-73.]
- [13] 姜长军, 李贻学. 基于熵值法TOPSIS模型的陕西省资源环境承载力研究. 资源与产业, 2017, 19(3): 53-59. [JIANG C J, LI Y X. Carrying capacity of resource and environment in Shaanxi province based on entropy TOPSIS model. *Resources & Industries*, 2017, 19(3): 53-59.]
- [14] WANG S X, SHANG M, ZHOU Y, et al. Resources and environmental carrying capacity using RS and GIS. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2017, 26(6): 2793-2800.
- [15] 翁窈瑶, 张静. 城市水环境监测预警系统的建立. 安徽农业科学, 2014, (2): 532-534. [WENG Y Y, ZHANG J. Establishment of urban water environment automatic monitoring and early warning systems. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2014, (2): 532-534.]
- [16] 时佳, 薛联青, 陈新芳, 等. 基于综合赋权法的叶尔羌河流域水资源承载力可变模糊综合评价. 水资源与水工程学报, 2017, 28(5): 32-36. [SHI J, XUE L Q, CHEN X F, et al. Variable fuzzy comprehensive evaluation of water resources carrying capacity in Yarkant River watershed based on comprehensive empowerment. *Journal of Water Resources and Water Engineering*, 2017, 28(5): 32-36.]

- [17] 李研, 刘艳芳, 王程程. 基于AHP-熵权TOPSIS法的湖北省县域资源环境承载力评价和空间差异分析. 资源与产业, 2017, (4): 41-51. [LI Y, LIU Y F, WANG C C. County resource and environmental carrying capacity and spatial difference of Hubei province based on AHP-entropy and TOPSIS. Resources & Industries, 2017, (4): 41-51.]
- [18] 杨渺, 甘泉, 叶宏, 等. 四川省资源环境承载力预警模型构建. 四川环境, 2017, 36(1): 144-151. [YANG M, GAN Q, YE H, et al. Early warning model establishment of resource environmental bearing capacity of Sichuan province. Sichuan Environment, 2017, 36(1): 144-151.]
- [19] 池源, 石洪华, 孙景宽, 等. 城镇化背景下海岛资源环境承载力评估. 自然资源学报, 2017, 32(8): 1374-1384. [CHI Y, SHI H H, SUN J K, et al. Evaluation on island resources and environment carrying capacity under the background of urbanization. Journal of Natural Resources, 2017, 32(8): 1374-1384.]
- [20] 陈晓雨婧. 甘肃省资源环境承载力评估预警研究. 北京: 中央民族大学, 2019. [CHEN X Y J. Study on the assessment and early warning of carrying capacity of resources and environment in Gansu province. Beijing: Minzu University of China, 2019.]

Dynamic monitoring and early warning of resources and environment carrying capacity in Gansu, China

CHEN Xiao-yu-jing, WU Yan-hong, XIA Jian-xin

(College of Life and Environmental Science, Minzu University of China, Beijing 100081, China)

Abstract: The monitoring and early warning index system of RECC in Gansu province was constructed by comprehensively considering the policies issued by different departments of the state. The weights were determined by the comprehensive weighting method based on AHP-entropy weight method, and the warning threshold of each index was discussed and determined by referring to the existing achievements. On the basis of the above methods, the comprehensive index model was used to analyze the carrying capacity of resources and environment in Gansu province and the county administrative units from 2006 to 2016. The results show that: (1) The level of resources and environment carrying capacity of Gansu province in 2006-2016 was between 0.32-0.46, which was in the state of overload warning despite of the overall increasing trend. Spatially, the bearing capacity of Hexi region was high, followed by the southern and southeastern regions, while the central region showed a poor carrying capacity. Moreover, the carrying capacity of resources and environment in ethnic minority areas was lower than that in the core towns; (2) From 2006 to 2016, the resources carrying capacity of Gansu increased steadily, in which the carrying capacity of water resources and energy mines is at a relatively poor level. The carrying capacity in Linxia and Tianshui was in an orange overload state; (3) The level of environment carrying capacity in Gansu fluctuated greatly from 2006 to 2016, showing a "W"-shaped curve, and the environment carrying capacity was seriously overloaded. Spatially, the southern region and Lanzhou had better environment carrying capacity, while the carrying capacity in Hexi and eastern region was lower. The results show the serious resources and environment overload in Gansu province. Although great progress has been made in the ecological civilization construction since the 12th Five-Year Plan (2011-2015), it is still long-term task to ease the pressure and make continuous efforts.

Keywords: resources and environment carrying capacity; comprehensive weighting method; GIS technology; monitoring and early warning