

doi: 10.6046/gtzyyg.2020.02.32
引用格式: 徐洲洋. 基于 PSR 模型的四川生态系统健康时空动态研究[J]. 国土资源遥感, 2020, 32(2): 251–258. (Xu Z Y. Spatial-temporal dynamics of ecosystem health in Sichuan Province based on PSR model [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2020, 32(2): 251–258.)

基于 PSR 模型的四川生态系统健康时空动态研究

徐洲洋

(西南石油大学土木工程与建筑学院, 成都 610500)

摘要:四川省快速的经济发展和城镇化进程,引发了许多生态环境问题,评价其生态健康状况对区域可持续发展具有重要的意义。基于 2000—2016 年间四川省社会、经济、农业、生态等市级数据,以及降尺度模型获取的县级数据,建立压力-状态-响应模型,分市级和县级 2 种尺度对四川省区域的生态系统健康进行综合评价和分析。结果表明:在 2000—2016 年间,四川省生态系统健康状况整体得分从 0.610 上升到 0.687,整体的生态状况越来越好,但区域之间的发展极不平衡,东部地区优于西部地区,成都市的优势突出,与其他地区的差距明显;对各县的生态系统健康状况评价等级为“不健康”及“病态”的县占总数的 27.9%,一半左右的县在“正常”等级以上,等级为“病态”的县主要集中在甘孜藏族自治州和阿坝藏族羌族自治州,应对川西北部的生态健康状况引起足够的重视。
关键词:生态系统健康; 压力; 状态; 响应; 四川省
中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2020)02-0251-08

0 引言

随着社会的发展,人类活动所带来的空气污染、水土流失和生态系统退化等问题对周边的生态系统产生了深远的影响,并已经成为了限制地区发展的巨大障碍^[1]。生态系统的健康通常是指某生态系统拥有长时间维持其良好组织结构的稳定性和可持续性的能力,以及满足人类必要的物质和生态需求的能力,同时能够进行自我调节和具有对胁迫的恢复能力^[2]。目前,生态系统健康已成为社会所关注的热点问题,区域生态系统健康是综合评价生态系统健康的核心,也是规范区域开发、环境保护和可持续发展的重要基础^[3]。因此,对区域生态系统健康状况进行合理有效的评价,可及时识别区域内环境或经济危机,对可持续发展具有十分重要的作用。

自生态系统健康的概念^[4]提出以来,国内外的学者围绕生态系统健康的问题开展了一系列的研究,都取得了显著的效果。目前,针对城市^[5]、湿地^[6]、森林^[7]、海洋^[8]和农业^[9]等不同类型的生态系统,已有不同的模型来对其生态系统健康状

况进行评价。1979 年, Murray 等^[10]对海洋生态系统受放射性辐射影响进行评估,并研究出了一种可行的方法; Spiegel 等^[11]在对城市生态系统健康评估的过程中使用了驱动力-压力-状态-响应模型来进行研究,取得了不错的效果; 江香梅等^[12]对鄱阳湖湿地生态系统进行了研究分析,并根据目前所面临的问题(如水域面积减小、生物多样性降低、水质水量下降等),对鄱阳湖湿地生态系统恢复从多个方面提出了可行的建议。遥感(remote sensing, RS)和地理信息系统(geographic information system, GIS)技术在生态系统健康研究方面的运用^[13]推动了生态监测的发展。汪阳等^[14]基于 GIS 系统对洪泽湖生态系统健康状况进行了综合评估; 陈鹏^[15]利用压力-状态-响应(pressure-state-response, PSR)模型,在 RS 和 GIS 技术支持下获取厦门新区(翔安区)的生态健康评价指标,定量地评价了城市新区生态健康状况。

生态系统健康评价中常用的 PSR 模型是一种多变量的方法,它不仅关注生态系统健康的自然属性,而且在评价过程中还将这些自然属性与人类属性相结合^[16]。目前,四川省经济发展较快但省内区

收稿日期: 2019-05-17; 修订日期: 2019-08-15
基金项目: 国家自然科学基金项目“基于人类动力学的面向震后救援的人员在地理建筑空间的分布规律研究”(编号: 51774250)和四川省科技计划项目“基于移动终端的室内定位技术的面向地震救援的人群在地理空间分布规律研究”(编号: 2019JDR0112)共同资助。
作者简介: 徐洲洋(1994-),男,硕士研究生,研究方向为地理信息技术的应用。Email: 787090191@qq.com。

式中： k_i 为第 i 种一级指标(压力、状态、响应)内的三级指标总个数； S_i 为压力、状态和响应的得分值； W_{ij} 为第 i 种一级指标内第 j 个三级指标的权重； F_{ij} 为第 i 种一级指标内第 j 个三级指标的归一化值； Q 为区域生态系统健康综合得分。

2.2 空间演变分析

2.2.1 区域生态系统健康的全局特征

本文使用变异系数法和首位度法^[25-26]，对 2000—2016 年间四川省市级生态系统健康的总体状况进行分析,并用于揭示区域生态系统健康的平衡程度。首位度主要反映了城镇发展过程中最大城市的集中程度,通常取排名前 2 位城市的值进行比较,首位度越大则 2 个城市之间的差距越大。

变异系数是衡量指标中各观测值变异程度的统计量。本文中则主要反映了各区域之间发展的平均程度,变异系数越大区域之间发展越不平衡。当需要比较 2 个或多个指标的变异程度时,如果度量单位与平均数相同,可以直接利用标准差来比较。变异系数 C_v 的计算公式为：

$$\tan \theta = \frac{\sum_{i=1}^n H_i'^2 X_i'^2 - \sum_{i=1}^n H_i'^2 Y_i'^2 + \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n H_i'^2 X_i'^2 - \sum_{i=1}^n H_i'^2 Y_i'^2\right)^2 + 4\left(\sum_{i=1}^n H_i'^2 X_i' Y_i'\right)^2}}{2 \sum_{i=1}^n H_i'^2 X_i' Y_i'}, \tag{6}$$

$$\delta_x = \frac{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n H_i X_i' \cos \theta - H_i Y_i' \sin \theta\right)^2}}{\sum_{i=1}^n H_i^2}, \tag{7}$$

$$\delta_y = \frac{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n H_i X_i' \sin \theta - H_i Y_i' \cos \theta\right)^2}}{\sum_{i=1}^n H_i^2}, \tag{8}$$

式中 X_i' 和 Y_i' 分别为各点距离区域重心的相对坐标, $X_i' = \bar{X} - X_i^2$, $Y_i' = \bar{Y} - Y_i^2$ 。

2.3 县级指标数据获取方法

县级评价能更加细致地对区域生态系统健康状况进行评价,为了使评价结果之间的关联性更强,评价的指标应该确保统一。但农业机械总动力和农林牧渔业总产值县级的数据不够完整,需要运用数学方法进行推算。

农业机械总动力是指用于第一产业的所有动力机械的动力的总和。农林牧渔业总产值反映了一定时期内农业生产的规模。县级统计数据获取是在市级数据的基础上通过已有的该指标数据与土地利用类型和其他社会经济农业数据的相关性分析,建立线性回归方程实现的,即

$$C_v = \sigma / u, \tag{3}$$

式中： σ 为各地区生态系统健康得分的标准差； u 为各地区生态系统健康得分的平均值。

2.2.2 区域生态系统健康的局部演化特征

本文中生态系统健康状况在空间中的迁移过程可以利用重力模型进行分析^[27]。设大区域由 n 个小区域组成,而 (X_i, Y_i) 为第 i 个小区域的重心坐标, H_i 为其属性值,则大区域的重心坐标 $(\bar{X}, \bar{Y})$ 为：

$$\bar{X} = \left(\sum_{i=1}^n H_i X_i\right) / \sum_{i=1}^n H_i, \tag{4}$$

$$\bar{Y} = \left(\sum_{i=1}^n H_i Y_i\right) / \sum_{i=1}^n H_i. \tag{5}$$

标准差椭圆由旋转角 θ 、沿 x 轴的标准差 δ_x 和沿 y 轴的标准差 δ_y 这 3 个要素组成。 θ 可以看作是笛卡尔坐标系下 x 轴和 y 轴按照点集分布的地理方位沿一定角度旋转后,正北方向与顺时针旋转的主轴之间的夹角^[28]。各要素计算公式为：

$$Y = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \cdots + a_m x_m, \tag{9}$$

$$Y_x = (Y \cdot Y_s) / \sum_{i=1}^n Y, \tag{10}$$

式中： Y 为推算农业机械总动力和农林牧渔业总产值的县级指标系数； a_i ($i = 1, 2, \cdots, m$) 为系数； x_m 为第 m 个与该指标极其相关的推算因子,例如, Y 表示农业机械总动力时,通过与已有数据的相关性分析,得相关因子分别为不透水面面积、耕地面积、荒地面积和第一产业产值； Y_x 为推算的某指标各个县的值； Y_s 为各个市的实际值； n 为该市的县级行政区的个数。

将实际数据与推算出的数据的散点图进行拟合的情况见表 2。虽然农业机械总动力拟合精度偏低,但是由于数据的特殊性,只有约 23.5% 的县的数据缺失。部分缺失的县的数据可以用市级数据直接准确推算出。

表 2 推算数据与原始数据拟合结果

Tab.2 Fitting results between calculated data and original data

指标	拟合方程	决定系数 R^2
农业机械总动力	$y = 0.787x + 5.250$	0.82
农林牧渔总产值	$y = 0.989x + 0.349$	0.98

3 结果与讨论

3.1 市级生态系统健康的整体特征

四川省市级生态系统健康的总体趋势如图 2 所示。结果表明,整体上看 2000—2016 年期间四川省的生态系统健康总体在上升,在 2000 年整个研究区平均健康评分为 0.610,而 2016 年提高到了 0.687。压力得分整体变化不大,整个研究时间段内的得分都在 0.72~0.73 内变化。另外,研究区的状态和响应得分平均下来分别以每年 0.009 和 0.008 的速度增加。状态得分除在 2001 年和 2005 年有所下降外,整体趋势是一直在增长。响应得分在整个研究时间段内一直在增长,在 2007 年之前增长较为缓慢,2007 年以后增长速率持续加快。

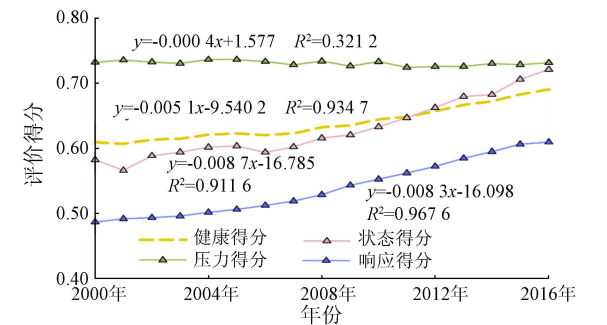


图 2 2000—2016 年四川省生态系统健康状况
Fig. 2 Ecosystem health in Sichuan Province from 2000 to 2016

图 3 显示了生态系统健康的首位度在 2005 年以后呈现出增长的趋势,而在 2005 年之前呈现下降趋势。2005 年以后,首位度平均每年增长 0.001 5,且 2011—2012 年间增长最快,2012 年的首位度较 2011 年增长了 56.3%。变异系数在 2005 年之前略有下降,之后整体上也呈现平稳向上增长的状态,个别年份有所波动。

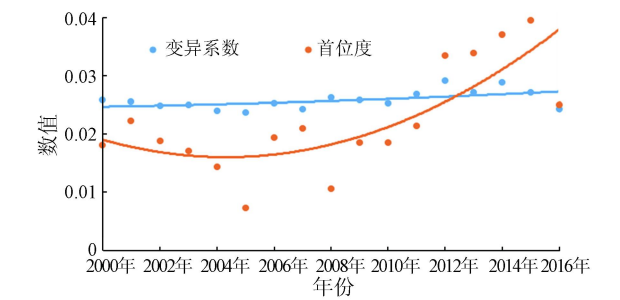


图 3 生态系统首位度和变异系数变化
Fig. 3 Change of ecosystem primacy and coefficient of variation

从图 2 中可以看出,2000—2016 年间,四川省整体的生态系统的压力得分变化不大,状态和响应得分持续增长。进入 21 世纪后,西部大开发政策为四川引入了大量的国有资本投资,促进了地区经济发展,使得状态得分和反应得分都取得了显著进步。因此,即使整体的压力得分变化不大,四川省生态系统的综合健康得分也稳步增加。另一方面,由于 2006 年《四川省“十一五”规划纲要(草案)》的出台,规划重点将成都发展成为带动四川经济发展的龙头^[29]。这使得成都市在 2006 年以后迅速拉开与其他城市之间的差距,首位度值大幅提升(图 3),区域之间的发展越来越不平均(变异系数不断增大)。

3.2 市级生态健康的空间格局演化

通过计算 2000—2016 年间各市级区域的压力得分、状态得分、响应得分和健康得分,采用自然断点法^[30]将数据分为 5 类。如图 4 所示,压力得分在整个研究区域的空间分布为东部、南部较高,西北部得分较低,绵阳、南充、达州和凉山彝族自治州的压力得分最高;状态得分也主要表现为东部高西部低的状况,成都、德阳和攀枝花得分较高,甘孜藏族自治州和阿坝藏族羌族自治州的得分较低;响应得分没有明显的空间分布特征,除个别地区(内江、自贡、遂宁、广安和巴中)得分较低外,整体得分较好。

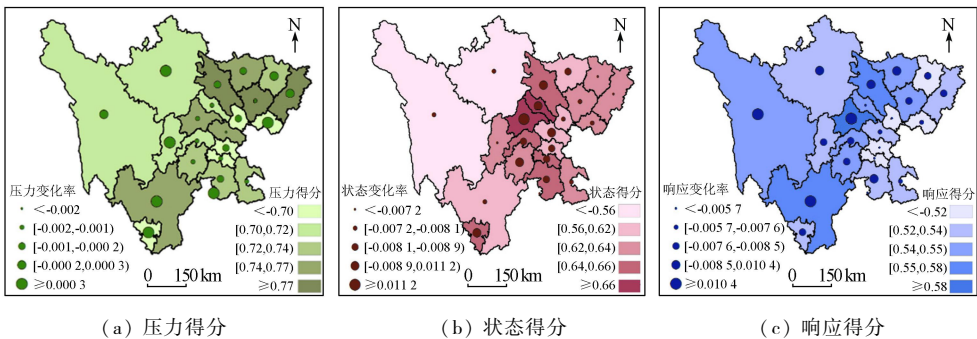


图 4 四川省市级生态系统健康评价压力、状态和响应得分
Fig. 4 City ecosystem health assessment pressure, state and response scores in Sichuan Province

参考前人的相关研究^[31-32]把市级生态系统健康状况评价结果分为病态、不健康、临界健康、良好

和健康 5 类(图 5)。从图 5 中可以看出,2000 年四川省内“不健康”等级和“病态”等级的城市共有 7

个,到2016年,“不健康”等级和“病态”等级的城市数量有5个,下降了28.6%。总体上来讲,区域内的生态健康状况呈上升趋势,成都地区一直处于健

康状态,对比其他地区差距明显。但是,也应该注意到个别城市(如遂宁、德阳)的评分出现下降的状况。

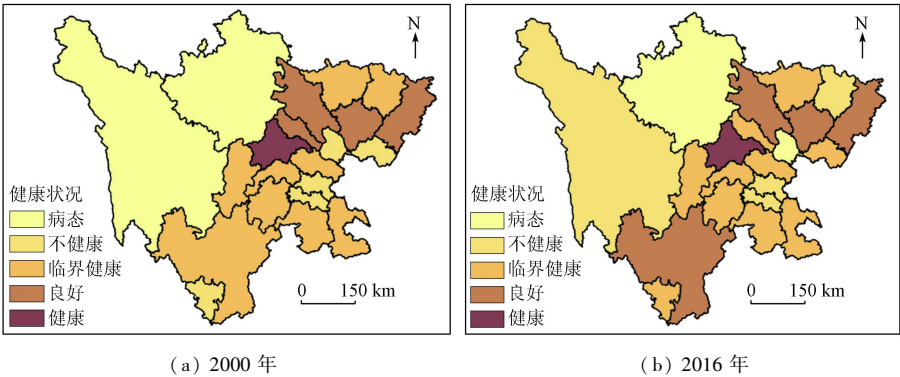


图5 2000年与2016年四川省市级生态系统健康状况
Fig. 5 Ecosystem health status of Sichuan municipal level in 2000 and 2016

综合图4—5,压力、状态和综合健康分值基本显示四川东部优于西部。由于恶劣的自然地理环境^[33],西部区域生态系统压力得分和状态得分较低。四川盆地地势相对平坦,气候宜人有利于社会经济的发展。但由于巨大的人口压力和飞速的经济发展,该地区的生态系统面临着许多生态环境问题。所以盆地内虽然自然条件较好,但部分地区压力得

分和状态得分偏低。社会应对能力和对环境变化的关注程度决定了响应得分^[9]。政策会给予重点城市和一些受到关注的城市更多的支持,这些区域的响应得分会更高。四川西部地区一直是社会重点关注的区域,所以其响应得分与东部地区差距不大。

图6为四川省生态系统健康标准差椭圆及重心分布。

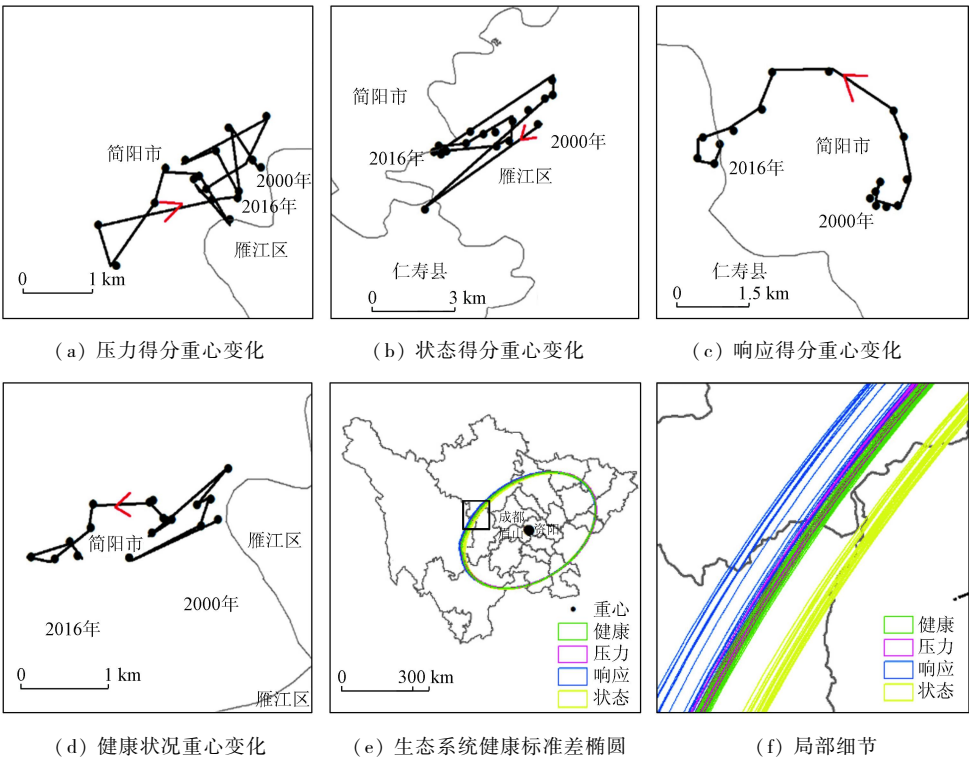


图6 生态系统健康标准差椭圆及重心分布

Fig. 6 Standard deviation ellipse and center of gravity distribution of ecosystem health

由图6可知,四川省生态系统健康重心位于资阳市(简阳市、雁江区)与眉山市(仁寿县)交界处,并在一定范围内波动(简阳市在2016年5月由成都

市代管,而本文研究时间为2000—2016年,所以文中按照资阳市进行描述)。状态得分整体重心大致向西南方偏移,而压力得分则没有明显的变化趋势。

响应得分的重心逆时针向西北方向移动了 3 km 左右。图 6(e) 显示每年的标准偏差椭圆都以该年的重心为中心,标准差椭圆呈 NE-SW 分布,西部比其他地区变化更为明显。

3.3 县级生态系统健康

首先运用降尺度模型^[34]推算出 2016 年的县级数据,进行标准化处理,并计算权重。研究区内共有 183 个县级行政区划单位,考虑到县(区)个数较多,为了针对每个县得出更细化的结果,避免由于类别较少造成各个县对比不明显,故将县级生态系统的评价结果分为 6 类(图 7)。如图 7 所示,研究区生

态系统压力得分在 0.61~0.93 之间。压力得分最高的县有 8 个,占比 4.4%,最差的县有 29 个,占比 15.8%。四川省由 SE 向 NW 压力得分呈逐渐降低的趋势。状态得分在 0.58~0.90 之间,空间上从 NW 向 SE 递增。状态得分最高的县有 13 个,占比 7.1%,近 2/3 的区县得分都在 0.68 以上,总体状态得分较好。响应得分在 0.45~0.66 之间,响应得分整体都比较高,得分最低的区县有 16 个,占比 8.7%。绝大部分地区的响应得分都较好,空间分布上没有明显的规律,得分较高的区县在川东和川西都有分布。

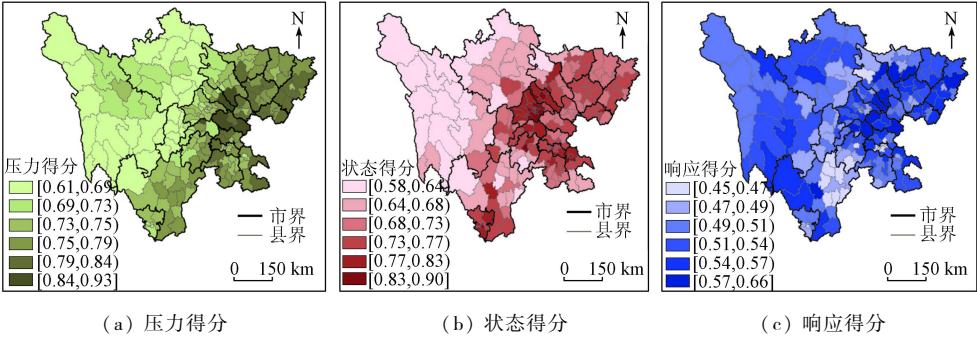


图 7 县级生态系统压力、状态和响应得分

Fig. 7 Scores of pressure, state and response of county-level ecosystem

结合前人的研究成果^[31-32]和实际状况,在市级评价等级的基础上,加上“正常”等级,用以细化区分各个县之间的差距。由图 8 可知,四川东部盆地内的各县健康状况普遍较好,大部分健康等级都在“正常”以上。评价等级为“健康”的区县共有 8 个,占总数的 4.4%。四川西部山区得分普遍不高,绝大多数的区县得分都在“临界健康”等级以下。

态系统较为脆弱,自然环境恶劣,导致其整体的得分偏低。总的来说,虽然自然环境较差的地区会受到较多的社会关注,但是由于自身生态的脆弱,整体生态系统得分一直不高;四川东部地区虽然面临人口密集、环境污染和资源消耗等压力,但由于自身良好的自然环境,整体的生态系统健康状况依然较好。

4 结论

1) 对 2000—2016 年间四川省区域生态系统健康状况的时空格局进行了深入分析,生态系统健康整体得分在 16 a 间从 0.610 提高至 0.687,得分年平均增长 0.005 左右,大部分地区生态系统状况随时间推移越来越健康。

2) 对区域首位度和变异系数的研究分析表明,在 2005 年以后各四川省地区间的差距在逐渐扩大,成都市的领先优势越来越明显,各市(州)之间的发展不平衡性在逐渐扩大。

3) 四川省区域生态系统健康重心一直位于资阳市与眉山市交界处,东部的生态健康状况优于西部地区,西部地区恶劣的自然环境导致了生态环境脆弱,经济发展落后。

4) 从全省县级评价结果来看,评价等级为“健康”的地区主要集中在东部;而西部甘孜藏族自治

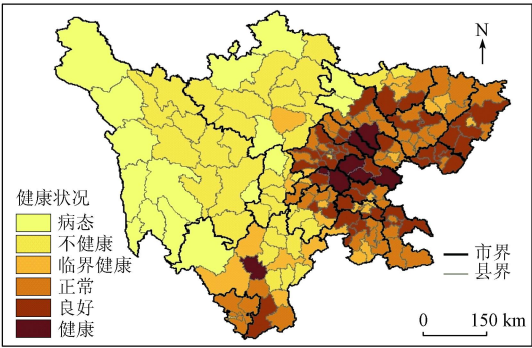


图 8 县级生态系统健康状况

Fig. 8 Ecosystem health status at county level

由于丰富的自然资源和良好的经济基础,成都平原的区县基本保持着较为健康的经济生态环境状态。虽然这些区域面临着密集的人口、过度的资源消耗和环境污染等问题,但整体上健康状况较好(图 8)。与之相反,四川西部地区虽然在人口、资源消耗和环境污染等方面的压力较小,但该地区的生

州和阿坝藏族羌族自治州各区县的整体生态系统健康状况都较差,这些地区的生态系统健康状况需要重点的关注和保护。

参考文献(References):

[1] Wang Z,Tang L,Qiu Q, et al. Assessment of regional ecosystem health—A case study of the golden triangle of southern Fujian Province, China [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health,2018,15(4):802.

[2] 孙 燕,周杨明,张秋文,等. 生态系统健康:理论/概念与评价方法[J]. 地球科学进展,2011,26(8):887-896.

Sun Y,Zhou Y M,Zhang Q W, et al. Ecosystem health: Theory/ concept and evaluation method[J]. Progress in Geosciences,2011, 26(8):887-896.

[3] Zhang F,Zhang J,Wu R, et al. Ecosystem health assessment based on DPSIRM framework and health distance model in Nansi Lake, China[J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment,2016,30(4):1235-1247.

[4] Rapport D J. What constitutes ecosystem health?[J]. Perspectives in Biology and Medicine,2015,33(1):120-132.

[5] Zhang J Y,Wang L C. Assessment of water resource security in Chongqing City of China: What has been done and what remains to be done? [J]. Natural Hazards,2015,75(3):2751-2772.

[6] Jia H C,Cao C X,Ma G R, et al. Assessment of wetland ecosystem health in the source region of Yangtze, Yellow and Yalu Tsangpo Rivers of Qinghai Province [J]. Wetland Science,2011,9(3):209-217.

[7] Jørgensen, S E, Constanza R, Xu F L. Handbook of Ecological Indicators for Assessment of Ecosystem Health [M]. London: CRC Press,2005.

[8] Xu F L,Lam K C,Chen Y Q, et al. Restoring marine coastal ecosystem health as a new goad for integrated catchment management in Tolo Harbour, Hong Kong, China[J]. Chinese Journal of Population Resources and Environment,2004,2(2):11-19.

[9] Su S,Zhang Z,Xiao R, et al. Geospatial assessment of agroecosystem health: Development of an integrated index based on catastrophe theory[J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment,2012,26(3):321-334.

[10] Murray C N,Avogadro A. Effect of a long-term release of plutonium and americium into an estuarine-coastal sea ecosystem-I. Development of an assessment methodology [J]. Health Physics, 1979,36(5):573-585.

[11] Spiegel J M,Bonet M,Yassi A, et al. Developing ecosystem health indicators in Centro Habana: A community-based approach[J]. 2001,7(1):15-26.

[12] 江香梅,周敏荣,李 田,等. 鄱阳湖退化湿地生态系统恢复策略初探[J]. 江西林业科技,2009(6):50-53.

Jang X M,Zhou M R,Li T, et al. Recovery strategies of degradation wetland ecosystem in Poyang Lake[J]. South China Forestry Science,2009(6):50-53.

[13] 易武英,苏维词. 基于 RS 和 GIS 的乌江流域生态安全度变化评价[J]. 中国岩溶,2014,33(3):308-318.

Yi W Y,Su W C. Evaluation of ecological security in the Wujiang River basin using remote sensing and GIS technologies [J]. Carso-

logica Sinica,2014,33(3):308-318.

[14] 汪 阳,钱汪洋,朱 琳. 基于 GIS 的洪泽湖湖泊生态系统健康分区评价[J]. 水资源与水工程学报,2011,22(4):124-127.

Wang Y,Qian W Y,Zhu L. Zoning assessment of ecosystem health based on GIS in Hongze Lake[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering,2011,22(4):124-127.

[15] 陈 鹏. 基于遥感和 GIS 的景观尺度的区域生态健康评价——以海湾城市新区为例[J]. 环境科学学报,2007(10):1744-1752.

Chen P. Ecological health assessment at the landscape scale based on RS and GIS: A case study from the new district of a bay-type city[J]. Acta Scientiae Circumstantiae,2007(10):1744-1752.

[16] Magaña P,López-Ruiz, Lira A, et al. A public, open Western Europe database of shoreline undulations based on imagery [J]. Applied Geography,2014,55:278-291.

[17] Frashure K M,Bowen R E,Chen R F. An integrative management protocol for connecting human priorities with ecosystem health in the Neponset River Estuary [J]. Ocean and Coastal Management, 2012(69):255-264.

[18] Dereynier Y L,Levin P S,Shoji N L. Bringing stakeholders, scientists, and managers together through an integrated ecosystem assessment process [J]. Marine Policy,2010,34(3):534-540.

[19] Pirrone N,Trombino G,Cinnirella S, et al. The driver-pressure-state-impact-response (DPSIR) approach for integrated catchment-coastal zone management: Preliminary application to the Po catchment-Adriatic Sea coastal zone system [J]. Regional Environmental Change,2005,5(2-3):111-137.

[20] Liang P,Du L,Yue G. Ecological security assessment of Beijing based on PSR model [J]. Procedia Environmental Sciences,2010, 2(2):832-841.

[21] Ye H,Ma Y,Dong L. Land ecological security assessment for Bai Autonomous Prefecture of Dali based using PSR model-with data in 2009 as case [J]. Energy Procedia,2011,5(22):2172-2177.

[22] 史永亮,杨东峰,王如松,等. 基于 PSR 模型的大丰市城市生态系统健康综合评价[J]. 环境科学与技术,2008(2):120-123.

Shi Y L,Yang D F,Wang R S, et al. Ecosystem health assessment based on PSR model: A case study of Dafeng City in Jiangsu Province [J]. Environmental Science and Technology,2008(2):120-123.

[23] Jin Y,Lu Z,Tan F, et al. Assessment of ecological carrying capacity on the typical resources-based cities: A case study of Tangshan City [J]. Acta Ecologica Sinica,2015,35(14).

[24] 贾艳红,赵 军,南忠仁,等. 熵权法在草原生态安全评价研究中的应用——以甘肃牧区为例[J]. 干旱区资源与环境,2007, 21(1):17-21.

Jan Y H,Zhao J,Nan Z R, et al. The application of entropy-right method to the study of ecological security evaluation of grassland: A case study at the ecological security evaluation of grassland to pastoral area of Gansu [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2007,21(1):17-21.

[25] Mayor M,López A J. Spatial shift-share analysis versus spatial filtering: An application to Spanish employment data [J]. Empirical Economics,2008,34(1):123-142.

[26] 方叶林,黄震方,陈文娣. 2001—2010 年安徽省县域经济空间演化[J]. 地理科学进展,2013,32(5):831-839.

Fang L Y, Huang Z F, Chen W D. Spatial evolution of county economy in Anhui Province during 2001—2010[J]. Progress in Geography, 2013, 32(5): 831—839.

[27] Zhou L, Zhou C, Yang F, et al. Spatio-temporal evolution and the influencing factors of PM_{2.5} in China between 2000 and 2011[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(11): 2079—2092.

[28] 侯光雷, 张洪岩, 郭 聘, 等. 长白山区植被生长季 NDVI 时空变化及其对气候因子敏感性[J]. 地理科学进展, 2012, 31(3): 285—292.

Hou G L, Zhang H Y, Guo D, et al. Spatial-temporal variation of NDVI in the growing season and its sensitivity to climatic factors in Changbai Mountains[J]. Progress in Geography, 2012, 31(3): 285—292.

[29] 汪佳程. 空间经济学视角下成都经济区经济引力模型的构建与运用[D]. 成都: 西南交通大学, 2018.

Wang J C. The construction and application of economic gravity model in Chengdu economic zone from the perspective of spatial economics[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2018.

[30] Raskie J. Geospatial analysis of fisheries to improve federal enforcement[D]. Durham: Duke University, 2013.

[31] 何 新, 姜广辉, 张瑞娟, 等. 基于 PSR 模型的土地生态系统健康

康时空变化分析——以北京市平谷区为例[J]. 自然资源学报, 2015, 30(12): 2057—2068.

He X, Jiang G H, Zhang R J, et al. Temporal and spatial variation of land ecosystem health based on the pressure-state-response model: A case study of Pinggu District, Beijing[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(12): 2057—2068.

[32] 洪惠坤, 廖和平, 魏朝富, 等. 基于改进 TOPSIS 方法的三峡库区生态敏感区土地利用系统健康评价[J]. 生态学报, 2015, 35(24): 8016—8027.

Hong H K, Liao H P, Wei C F, et al. Health assessment of a land use system used in the ecologically sensitive area of the Three Gorges reservoir area, based on the improved TOPSIS Method[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(24): 8016—8027.

[33] Wang L, Cao L, Deng X, et al. Changes in aridity index and reference evapotranspiration over the central and eastern Tibetan Plateau in China during 1960—2012[J]. Quaternary International, 2014, 349: 280—286.

[34] Vuuren D P V, Smith S J, Riahi K. Downscaling socioeconomic and emissions scenarios for global environmental change research: A review[J]. Wiley Interdisciplinary Reviews Climate Change, 2010, 1(3): 393—404.

Spatial-temporal dynamics of ecosystem health in Sichuan Province based on PSR model

XU Zhouyang

(School of Civil Engineering and Architecture, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China)

Abstract: A great many ecological and environmental problems have been caused in the course of rapid economic development and urbanization in Sichuan Province. Evaluating ecosystem health condition is of significant importance for regional sustainable development. Based on relevant city-level data in social, economic, agricultural and ecological aspects from 2000 to 2016 as well as county-level data obtained through the downscaling model, the authors built the pressure-status-response model to make comprehensive evaluation and analysis of ecosystem health of studied regions in Sichuan Province on city-level and county-level scales. The results show that the overall score of ecosystem health in Sichuan increased from 0.610 to 0.687 in 2000—2016, but the spatial distribution shows that the eastern part of Sichuan was better than the western part. The development between studied regions is extremely unbalanced. Chengdu had outstanding advantages in comparison other regions. The results of ecosystem health assessment in each county shows that 27.9% of the total counties are “unhealthy” and “sick”, while about half of the counties are above the “normal” level. The counties whose evaluation results are “sick” are mainly concentrated in Garze and Aba prefectures. The ecological health status in northwest Sichuan deserves much more attention.

Keywords: ecosystem health; pressure; state; response; Sichuan Province

(责任编辑: 张 仙)