

天目山—怀玉山区水源涵养与生物多样性保护 重要区生态承载力评价

乔媛媛¹, 于晴¹, 金鹏², 王淑¹, 王旭东¹, 李军利¹, 熊沛枫¹, 张云华^{1*}

(1. 安徽农业大学资源与环境学院, 合肥 230036; 2. 安徽省环境保护宣传教育中心, 合肥 230061)

摘要: 为了明确近 10 年天目山—怀玉山区水源涵养与生物多样性保护重要区生态承载力状况, 基于社会发展压力、经济发展压力、资源环境支撑力和生态弹性构建评价指标体系, 利用投影寻踪模型对 2008—2017 年天目山—怀玉山区水源涵养与生物多样性保护重要区生态承载力进行评价。研究结果显示, 第三产业占 GDP 比重、人均国内生产总值、一般工业固体废弃物产生量及森林覆盖率对研究区城市生态承载力有较大影响。2008 年研究区城市生态承载力评价等级基本安全的城市有 6 个, 较不安全的城市有 5 个, 不安全的城市有 2 个。2017 年研究区城市里生态承载力评价等级较安全的城市有 1 个, 基本安全的城市有 1 个, 较不安全的城市有 7 个, 不安全的城市有 4 个。2008—2017 年 5 个城市生态承载力呈上升趋势, 8 个城市生态承载力呈下降趋势。研究区城市生态承载力在空间分布上呈现由中心向南北递减的趋势。

关键词: 生态承载力; 投影寻踪模型; 水源涵养; 生物多样性保护

中图分类号: X826

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2020)06-0979-07

Evaluation of ecological carrying capacity in Tianmu Mountain-Huaiyu Mountain water conservation and biodiversity conservation important area

QIAO Yuanyuan¹, YU Qing¹, JIN Peng², WANG Shu¹, WANG Xudong¹, LI Junli¹, XIONG Peifeng¹, ZHANG Yunhua¹

(1. School of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036;

2. Anhui Environmental Protection Publicity and Education Center, Hefei 230061)

Abstract: In order to clarify the status of ecological carrying capacity of the Tianmu Mountain-Huaiyu Mountain water conservation and biodiversity conservation important areas in recent 10 years, an evaluation index system was constructed based on social development pressure, economic development pressure, resources and environmental support, and ecological elasticity. The projection pursuit model was used to evaluate the ecological carrying capacity in the Tianmu Mountain-Huaiyu Mountain water conservation and biodiversity conservation important areas from 2008 to 2017. The results showed that the tertiary industry of GDP per capita gross domestic product (GDP), general industrial solid waste production and forest coverage rate in the study area had a significant influence on urban ecological carrying capacity. From urban ecological carrying capacity evaluation grade, there were 6 cities with basic safety, 5 cities with less safety, and two cities with no safety in 2008. In 2017, there were 1 city with a safer ecological carrying capacity evaluation grade, 1 city with a basic safety grade, 7 cities with a less safe grade, and 4 cities with an unsafe grade. The ecological carrying capacity of 5 cities showed an upward trend, and that of 8 cities showed a downward trend from 2008 to 2017. The spatial distribution of urban ecological carrying capacity showed that decrease from the center to the north and the south in research area.

Key words: ecological carrying capacity; projection pursuit model; water conservation; biodiversity conservation

早在 19 世纪 70 年代承载力概念已经开始应用于自然生态系统。随着人口、经济、资源与环境等

全球性问题日益突出, 人口承载力、资源环境承载力、生态承载力、土地资源承载力、水资源承载力

收稿日期: 2020-03-09

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD1100104)资助。

作者简介: 乔媛媛, 硕士研究生。E-mail: 1165794908@qq.com

* 通信作者: 张云华, 博士, 教授。E-mail: yunhua9681@163.com

等研究应运而生^[1-5]。在众多承载力研究中生态承载力较早受到关注,20世纪20年代,Hawden与Palmer根据美国阿拉斯加州对驯鹿种群数量变化的观察研究生态承载力,首次对生态承载力进行了定义^[6]。随着研究深入,生态承载力经历了从静态转向动态、定性转为定量、单一要素转向多要素研究过程,越来越趋近于生态承载力的客观本质^[7]。2000年王家骥等认为生态承载力客观反映了生态系统的调节能力,维持生态平衡是生态系统的固有能力^[8]。高吉喜认为生态承载力需要包括社会、资源和环境等各个要素,对于某一地区的容纳能力其内容需要包括其他子系统^[9]。2015年金悦等以唐山市为例,从生态弹性力、承载媒体的支撑力、承载对象的压力三方面进行了生态承载力量化的研究,为城市生态承载力评价提供了较好的范例^[10]。但鉴于城市生态承载力评价中指标权重难以估计,本研究试图采用投影寻踪方法进行多指标数据降维处理,按照一定的原则寻求最优投影方向向量作为各评价指标重要程度的反映,在此基础上进行评价研究区生态承载力。

根据《全国生态功能区划(2015年修编)》^[11]天目山—怀玉山区水源涵养与生物多样性保护重要区主要涉及浙江省的杭州、湖州、衢州,江西省的上饶、景德镇、九江,以及安徽省的宣城、黄山、池州。该区域是我国东部地区重要河流钱塘江的发源地,具有重要水源涵养功能,同时也是目前华东地区森林面积保存较大和生物多样性较丰富的区域,是我国生物多样性重点保护区域。近10年该区域经济取得了快速发展,但不同城市之间在资源利用效率和环境保护等层面存在一定差异,本研究在借鉴前人生态承载力研究成果的基础上,提出了一套完整的水源涵养与生物多样性保护重要区生态承载力评价指标体系和综合评价方法,分析近10年天目山—怀玉山区水源涵养与生物多样性保护重要区生态承载力状况,以期为区域生态文明建设和可持续发展管理提供依据。

1 研究区概况和数据处理

1.1 研究区域

天目山—怀玉山区水源涵养与生物多样性保护重要区位于116°21'39"E至120°5'27"E,28°32'36"N至31°17'10"N之间,是钱塘江的发源地,是目前华东地区森林面积保存较大和生物多样性较丰富的区域,具有重要的水源涵养和生物多样性保护的功能。该区域涵盖安徽、江苏、浙江和江西4个省的13个城市,2017年研究区面积为59747 km²,常住人

口5233万人,人口自然增长率为4.79%,地区生产总值为48965.56亿元,GDP增长率为7.75%,公路网密度为118 km/100 km²,城镇化率为61.23%。研究区内近年来城市人口和经济发展速度较快,资源环境问题比较突出,以该地区城市作为研究对象,具有一定的代表性。

1.2 数据来源与数据标准化处理

1.2.1 数据来源 数据主要来源于地理空间数据(<http://www.gscloud.cn/>),《安徽统计年鉴》(2009—2018)、《江苏统计年鉴》(2009—2018)、《江西统计年鉴》(2009—2018)、《浙江统计年鉴》(2009—2018)和《中国环境统计年鉴》(2009—2018)和其他行业数据^[12-16]。

1.2.2 数据标准化 由于原始数据里单位与量纲不统一,需要对数据进行预处理。指标数据的预处理包括两部分:数据的正向化处理和标准化处理。将指标数据分为三种类型,即逆向型、正向型与适度型指标,逆向型和适度型需进行正向化处理。

$$\text{对于逆向型指标: } x^{z_{ij}} = \frac{x_{ij} \text{MAX} - x_{ij}}{x_{ij} \text{MAX} - x_{ij} \text{MIN}} \quad (1)$$

$$\text{对于适度型指标: } x^{z_{ij}} = \begin{cases} \frac{1}{(1 + |\frac{x_{ij}}{A_i} - 1|)}, & X_{ij} < A_i \\ \frac{1}{(1 + |\frac{x_{ij}}{A_i} - 1|)}, & X_{ij} \geq A_i \end{cases} \quad (2)$$

式中: x_{ij} 是原始指标值, $x^{z_{ij}}$ 是原始指标的正向化值, $x_{ij} \text{MAX}$ 是第*j*个年份第*i*个指标的最大值, $x_{ij} \text{MIN}$ 是第*j*个年份第*i*个指标的最小值, A_i 是第*i*个指标的理想值。

将正向化处理后的适度型指标值与正向型指标进行标准化处理。

$$\text{对于适度型指标: } X^{z_{ij}} = \frac{x^{z_{ij}} - x_{ij}^{z} \text{MIN}}{x_{ij}^{z} \text{MAX} - x_{ij}^{z} \text{MIN}} \quad (3)$$

$$\text{对于正向化指标: } X_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{ij} \text{MIN}}{x_{ij} \text{MAX} - x_{ij} \text{MIN}} \quad (4)$$

式中: X_{ij} 是第*j*年个年份第*i*个指标的标准化后的值, x_{ij} 是原始指标值, $x^{z_{ij}}$ 是原始指标的正向化值。

2 研究方法 with 评价过程

2.1 指标体系的构建

城市生态承载力指标体系的目前还没有形成统一的标准,在文献总结的基础上^[17-20],根据专家咨询和研究区城市的特点从社会发展压力、经济发展压力、资源环境支撑力和生态弹力方面构建评价指标体系(表1)。

表 1 研究区城市生态承载力指标体系

Table 1 Index system of urban ecological carrying capacity in the study area

系统层 System layer	准则层 Criterion layer	指标层 Criterion layer	单位 Unit	指标性质 Index properties	
城市生态承载力指标体系	社会发展 压力系统	公路网密度 X1	$\text{km} \cdot (100 \text{ km}^2)^{-1}$	正向	
		每万人拥有医生数 X2	人·万人 ⁻¹	正向	
	每万人拥有病床数 X3	人·万人 ⁻¹	正向		
	人口密度 X4	人·km ⁻²	逆向		
	城镇化率 X5	%	适度		
	人口自然增长率 X6	%	逆向		
	经济发展 压力系统	第三产业占 GDP 比重 X7	%	正向	
		GDP 增长率 X8	%	适度	
	资源环境 支撑力系统	第二产业占 GDP 比重 X9	%	逆向	
		人均国内生产总值 X10	元	正向	
		农民人均可支配收入 X11	元	正向	
		污水处理率 X12	%	正向	
		工业污水排放总量 X13	万吨(10 ⁴ t)	逆向	
			工业废气排放量 X14	亿立方米(10 ⁸ m ³)	逆向
		工业二氧化硫排放量 X15	吨(t)	逆向	
		一般工业固体废弃物产生量 X16	万吨(10 ⁴ t)	逆向	
		农用化肥施用量 X17	万吨(10 ⁴ t)	逆向	
		有效灌溉面积 X18	千公顷(10 ³ hm ²)	逆向	
		生态弹力系统	每万人普通中小学在校学生数 X19	人·万人 ⁻¹	正向
			人均水资源量 X20	m ³ ·人 ⁻¹	正向
			水资源总量 X21	亿立方米(10 ⁹ m ³)	正向
			森林覆盖率 X22	%	正向
		年平均降雨量 X23	mm	正向	

表 2 生态安全等级划分

Table 2 Classification of ecological safety levels

评价结果 Evaluation results	[0-2]	[2-2.5]	[2.5-3]	[3-3.5]	[3.5-4]
评价 Evaluation	I	II	III	IV	V
等级 Grade	不安全 Unsafe	较不安全 Less safer	基本安全 Basically safe	较安全 Safer	安全 Safe

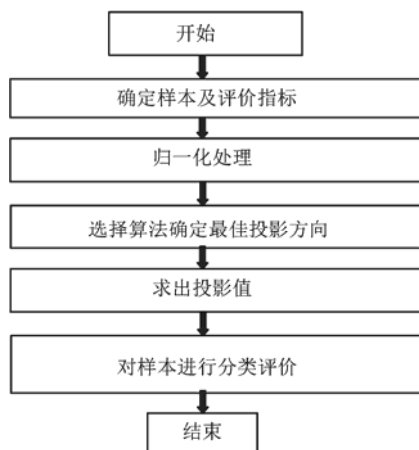


图 1 投影寻踪模型的流程图

Figure 1 Flow chart of the projection pursuit model

划分没有统一的规定, 依据专家咨询和已有的文献参考^[21-23], 结合研究区城市生态承载力的状况, 将研究区城市生态承载力分为表 2 所示 5 个类型。

2.3 投影寻踪模型的构建

美国学者 Friedman 和 Tukey 最早提出投影寻踪模型 (Projection Pursuit, PP), 该模型数据处理方法常用于处理多因素复杂问题^[24]。投影寻踪法的基本思路是将高维数据向低维空间进行投影, 通过低维投影数据的散布结构来研究高维数据特征, 可用于聚类、分类、综合评价、预测等, 投影寻踪模型的流程图如图 1。

设粒子的群体规模为 N, 第 $i(i=1, 2, \dots, N)$ 个粒子的位置可表示为 x_i , 速度表示为 v_i , 在计算过程中会有初始的位置和速度 t , 在 $(t+1)$ 时候会达到最优, 其个体极值表示为 $pbest_i$, 全体极值表

2.2 生态安全等级划分

基于投影寻踪模型生态承载力的生态安全等级

示为 gbest。

任意粒子 i 将根据以下公式来更新自己的位置和速度：

$$v_i(t+1) = wv_i(t) + c_1r_1(t)(pbest_i(t) - x_i(t)) + c_2r_2(t)(gbest(t) - x_i(t)) \quad (5)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (6)$$

式中： c_1 和 c_2 为常数，称为加速系数（或学习因子）， r_1 和 r_2 是(0,1)上的随机数， w 为惯性权重。将每个粒子的个体极值和全体粒子的全局极值进行更新：

$$Pbest_i(t+1) = \begin{cases} x_i(t+1), & \geq pbest_i(t) \\ pbest_i(t), & < pbest_i(t) \end{cases} \quad (7)$$

$$gbest(t+1) = \max(pbest_i(t+1)), i=1,2,\dots,N \quad (8)$$

针对指标权重难以估计的特点，利用投影寻踪方法进行多指标数据降维处理，采用粒子群算法进行高维全局寻优，相关参数为取种群规模为 400，交叉概率为 0.8，变异概率为 0.2，优化变量数目为 23，迭代次数设定为 200 次。该方法将评价指标样本进行线性投影，按照一定的原则寻求最优投影方向向量作为各评价指标重要程度的反映，即客观权重，在此基础上进行评价求解。依据上述区域生态承载力的评估测算模型，得出 2008—2017 年天目山—怀玉山区水源涵养与生物多样性保护重要区域生态承载力 23 个评价指标最优投影（表 3）和生态承载力评价结果（图 2）。

表 3 2008—2017 年研究区生态承载力评价指标最优投影

Table 3 Optimal projection of the evaluation indicators of ecological carrying capacity in the study area from 2008 to 2017

年份	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年
X1	0.081 3	0.156 1	0.092 7	0.161 0	0.173 9	0.180 2	0.196 6	0.099 1	0.173 3	0.124 4
X2	0.262 4	0.220 2	0.297 6	0.286 5	0.252 9	0.377 8	0.308 5	0.208 9	0.243 4	0.193 7
X3	0.074 9	0.064 4	0.083 7	0.068 3	0.058 1	0.117 1	0.050 0	0.127 2	0.094 9	0.114 8
X4	0.05 52	0.114 8	0.232 3	0.137 5	0.104 9	0.215 2	0.270 1	0.176 0	0.196 5	0.203 9
X5	0.148 9	0.196 3	0.221 2	0.175 6	0.240 2	0.280 5	0.223 2	0.181 5	0.159 5	0.152 4
X6	0.180 5	0.135 3	0.153 5	0.100 4	0.099 1	0.213 9	0.117 1	0.063 6	0.095 9	0.059 8
X7	0.199 5	0.161 2	0.301 3	0.275 7	0.235 7	0.136 3	0.256 7	0.288 8	0.217 0	0.277 3
X8	0.110 2	0.248 2	0.243 4	0.228 4	0.331 8	0.168 0	0.232 4	0.288 0	0.248 1	0.185 9
X9	0.070 8	0.373 1	0.116 7	0.217 2	0.216 1	0.180 8	0.256 4	0.159 6	0.229 9	0.296 6
X10	0.290 3	0.266 7	0.261 9	0.306 7	0.360 4	0.370 7	0.322 7	0.223 6	0.111 4	0.280 1
X11	0.237 0	0.090 1	0.282 0	0.314 3	0.236 9	0.338 4	0.288 0	0.168 9	0.127 1	0.164 2
X12	0.101 6	0.274 9	0.079 8	0.224 9	0.098 8	0.188 1	0.101 4	0.207 0	0.241 0	0.314 3
X13	0.312 3	0.069 6	0.298 5	0.184 2	0.253 2	0.158 2	0.235 8	0.105 1	0.163 3	0.141 7
X14	0.347 9	0.165 3	0.128 6	0.139 4	0.072 6	0.063 3	0.108 4	0.118 5	0.263 4	0.311 4
X15	0.210 2	0.311 5	0.248 1	0.275 3	0.301 6	0.247 4	0.235 1	0.268 6	0.323 1	0.182 5
X16	0.353 9	0.246 8	0.305 1	0.238 0	0.233 5	0.275 8	0.217 7	0.344 4	0.309 0	0.225 3
X17	0.098 7	0.169 2	0.122 5	0.269 6	0.259 4	0.100 2	0.063 1	0.219 2	0.049 8	0.199 2
X18	0.102 3	0.184 7	0.131 9	0.181 8	0.148 3	0.121 0	0.146 5	0.196 2	0.316 9	0.079 1
X19	0.093 2	0.149 1	0.119 0	0.089 4	0.057 1	0.041 5	0.107 5	0.127 1	0.107 8	0.093 0
X20	0.060 6	0.148 7	0.081 1	0.061 6	0.081 5	0.087 6	0.063 1	0.195 4	0.194 9	0.163 7
X21	0.174 0	0.246 8	0.124 0	0.164 0	0.227 0	0.135 4	0.132 1	0.252 8	0.142 2	0.229 4
X22	0.301 2	0.286 3	0.239 4	0.168 8	0.180 7	0.188 6	0.238 3	0.284 9	0.170 7	0.259 8
X23	0.334 5	0.177 2	0.255 1	0.271 7	0.208 9	0.139 1	0.243 0	0.217 8	0.287 0	0.243 2

3 结果与分析

3.1 研究区城市生态承载力等级评价

如图 3 所示，2008 年研究区生态承载力评价等级基本安全的城市有 6 个（黄山市、无锡市、常州市、杭州市、湖州市和金华市），较不安全的城市有 5 个（芜湖市、宣城市、池州市、景德镇市和衢州市）不安全的城市有 2 个（九江市和上饶市）。2017 年研究区生态承载力评价等级较安全的城市有 1 个

（黄山市），基本安全的城市有 1 个（杭州市），较不安全的城市有 7 个（衢州市、池州市、无锡市、常州市、景德镇市、湖州市和金华市），不安全的城市有 4 个（芜湖市、宣城市、九江市、上饶市）。2017 年较安全城市数量占研究区内总城市数量的 7%，基本安全的城市占 7%，较不安全的城市占 53.8%，不安全的城市占 30.8%。黄山市旅游业发达第二产业占比较小，森林覆盖率较高。人口密度较低，污染物排放较少，可能是黄山市生态承载力安全等级

较高的原因。2017 与 2008 年相比研究区城市生态承载力评价等级不安全的城市增加 2 个, 较不安全的城市增加 2 个, 较不安全的城市增加 2 个, 基本安全的城市减少 5 个, 新增 1 个较安全城市。

的城市增加 2 个, 基本安全的城市减少 5 个, 新增 1 个较安全城市。

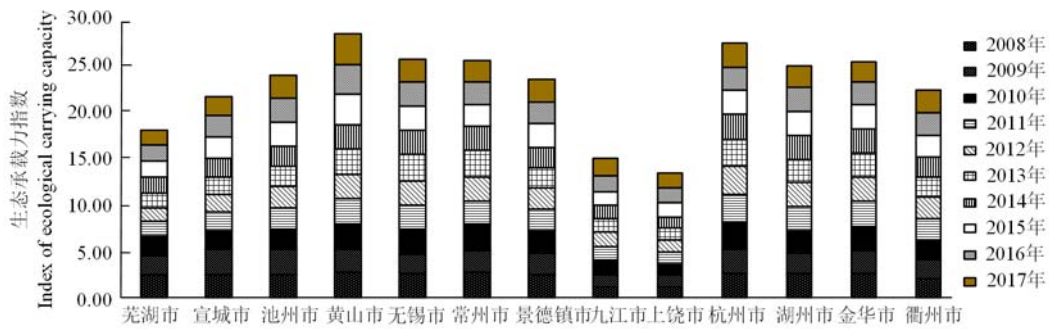
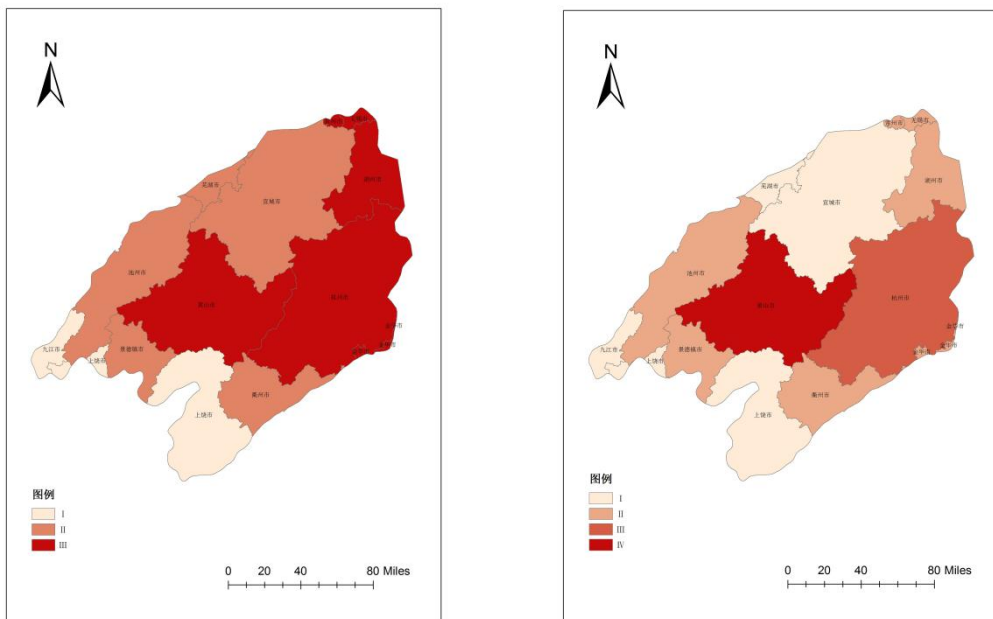


图 2 2008—2017 年研究区生态承载力变化

Figure 2 Changes in ecological carrying capacity in the study area from 2008 to 2017



(a) 2008 年研究区生态安全等级

(b) 2017 年研究区生态安全等级

图 3 研究区生态安全等级空间分布

Figure 3 Spatial distribution of ecological security levels in the study area

3.2 生态承载力影响因素分析

由表 3 研究区生态承载力指标最优投影可知, 2008—2017 年研究区权重多年平均数为 0.17, 第三产业占 GDP 比重 (X7) 多年平均权重为 0.23、人均国内生产总值 (X10) 为 0.28、一般工业固体废弃物产生量 (X16) 为 0.27、及森林覆盖率 (X22) 为 0.23, 这 4 个指标权重系数较大, 对研究区生态承载力产生较大的影响。近 10 年第三产业占 GDP 比重权重变化呈现总体上升的趋势, 权重由 2008 年的 0.19 上升到 2017 年的 0.28。研究区第三产业平均占比由 2008 年的 35.6 % 上升到 2017 年的 49 %; 2008 年第二产业平均占比由 52 % 下降到 45 %, 产业结构的调整是这一指标权重变化的重要

原因。人均国内生产总值, 反映区域宏观经济发展状况以及经济发展对承载力的影响, 2013 年以前人均国内生产总值平均权重为 0.31, 2013 年以后人均国内生产总值平均权重为 0.23, 随着社会经济的快速发展人均国内生产总值对生态承载力的影响减弱。一般工业固体废弃物产生量, 反映研究区废弃资源的产生状况, 未经处理的工业废弃物会对区域的生态环境造成严重影响。一般工业固体废弃物产生量 2015 年之前权重在 0.25 左右波动, 2015 年之后呈下降趋势, 说明区域城市工业进行有效的技术改进, 促进资源利用率, 降低了工业固体废弃物产生。近年来随着我国千万亩森林工程等项目大力推进, 研究区森林覆盖率不断提升, 对区域空气质量

起到极大的提升作用。

3.3 研究区生态承载力时间变化分析

研究区生态承载力时间变化图 2 显示, 2008—2017 年黄山市、九江市、上饶市、杭州市和衢州市生态承载力呈现上升趋势, 芜湖市、宣城市、池州市、无锡市、常州市、景德镇市、湖州市和金华市生态承载力呈下降趋势。总体来看, 2017 年研究区平均生态承载力为 2.25, 较 2008 年下降了 0.05, 人口密度、经济、城镇化率和工业“三废”排放量的增加可能是区域生态承载力下降的主要原因。2008—2009 年研究区生态承载力波动下降, 农业灌溉面积、农业化肥施用量、工业废气排放量的增加以及万人拥有医生数的下降, 导致生态承载力的降低。2009—2010 年区域生态承载力上升, 影响这一结果的原因是公路网密度、人均国内生产总值、农民人均可支配收入的上升以及工业二氧化硫排放量的下降。2010—2011 年区域第二产业占 GDP 比重上升, 第三产业占 GDP 比重下降, 工业的快速发展导致生态承载力下降。2012—2014 年区域生态承载力基本没有变化, 在这一阶段区域平均人口密度基本保持不变, 虽然 GDP 快速增加, 但是第二产业占 GDP 比重下降, 第三产业占 GDP 比重上升, 经济的发展基本上没有造成区域生态承载力的下降。2014—2015 年公路网密度、森林覆盖率和污水处理率增加, 工业二氧化硫排放量下降, 公共交通的发展、植树造林以及对工业污染物的治理使得区域生态承载力增加。2015—2016 年区域生态承载力基本不变, 2017 年区域生态承载力下降, 2016—2017 年区域平均人口密度增加可能是区域生态承载力下降的主要原因。

3.4 研究区城市生态承载力空间变化分析

将研究区生态承载力评价结果导入到 Arc GIS10.0 中, 利用 GIS 空间分析的方法显示研究区生态承载力的空间变化 (图 3)。

研究区南部的城市有 4 个 (上饶市、衢州市、景德镇市和九江市), 中部城市有 4 个 (池州市、黄山市、杭州市和金华市), 北部的城市有 5 个 (芜湖市、宣城市、湖州市、常州市和无锡市)。2008 年南部城市有 2 个处于不安全, 2 个处于较不安全; 中部城市有 1 个处于较不安全, 3 个处于基本安全; 北部城市有 2 个处于较不安全, 3 个处于较安全。2017 年南部城市有 2 个处于不安全, 2 个处于较不安全; 中部城市有 2 个处于较不安全, 1 个处于基本安全, 1 个处于较安全; 北部城市有 2 个处于不安全, 3 个处于较不安全。空间分布来看, 研究区

生态承载力呈带状分布, 由中间向上下两边递减。生态承载力较安全的城市位于研究区的中部, 较不安全的城市分布在较安全城市的周围, 不安全的城市位于研究区的边缘。2017 年与 2008 年生态承载力安全等级相比, 南部城市安全等级基本不变, 中部城市有 2 个安全等级上升 1 个下降 1 个不变, 北部城市安全等级全部下降。2017 年生态承载力最高的城市黄山市生态承载力为 3.23, 生态承载力最低的城市上饶市生态承载力为 1.64, 研究区生态承载力之间存在较大差异。2008—2017 年研究区生态承载力评价结果的最小值由 1.08 增加到 1.64, 区域差异由 1.61 减少到 1.59。2008—2017 年黄山市生态承载力波动上升, 主要是第三产业尤其是旅游业的发展带动了黄山市的经济增长, 第二产业占比逐年下降, 农用化肥施用量及工业“三废”的排放也在逐渐减少以及生态农业的发展和“绿色 GDP”的增长使得黄山市生态承载力不断提高。上饶市第二产业占比高, 第三产业占比低, 工业二氧化硫、工业“三废”等排放量均远高于研究区平均值, 经济快速发展导致环境污染治理设施配套不到位可能是上饶市生态承载力低的原因。2017 年上饶市第三产业占比、污水处理率、公路网密度相较 2008 有所上升, 第二产业占比、二氧化硫排放量下降, 说明产业结构进行了优化调整, 环保和公共交通投入加大推动了上饶市生态承载力不断提升。区域城市生态承载力存在差异的主要原因可能是生态承载力较高城市的经济发展主要依靠旅游业或其他第三产业, 同时注重加强生态环境保护, 实现了区域生态和经济的协调发展, 而生态承载力小的城市出现人口和经济快速发展, 生态环境保护措施配套不力等因素造成区域生态系统失调。

4 结论

第三产业占 GDP 比重、人均国内生产总值、一般工业固体废弃物产生量及森林覆盖率是天目山—怀玉山区水源涵养与生物多样性保护重要区生态承载力变化的主要影响因子。其中三产业占 GDP 比重、人均国内生产总值、森林覆盖率是促进区域生态承载力提升的主要因子, 一般工业固体废弃物产生量是城市生态承载力下降的主要因子。

从时间尺度变化来看, 2008—2017 年天目山—怀玉山区水源涵养与生物多样性保护重要区生态承载力状况呈现出波动下降的趋势, 研究区内有 5 个城市生态承载力呈上升趋势, 8 个城市生态承载力呈下降趋势, 这暗示研究区大多数城市在发展过程

中生态环境保护 and 经济发展之间协调还存在一定的欠缺。

从空间尺度变化来看, 2008—2017 年天目山—怀玉山区水源涵养与生物多样性保护重要区生态承载力呈带状分布, 承载力大小由中间向上下两边递减, 区域差异显著, 且随着时间的推移城市间生态承载力的差距有逐步减小的趋势。

参考文献:

- [1] 杜文鹏, 闫慧敏, 杨艳昭, 等. 生态承载力的评估方法与研究趋势展望[J]. 资源与生态学报, 2018, 9(2): 115-124.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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, 16(3): 248-254.
- [5] 夏军, 张永勇, 王中根, 等. 城市化地区水资源承载力研究[J]. 水利学报, 2006, 37(12): 1482-1488.
- [6] FENG L H, ZHANG X C, LUO G Y. Application of system dynamics in analyzing the carrying capacity of water resources in Yiwu City, China[J]. Math Comput Simul, 2008, 79(3): 269-278.
- [7] 张莹, 侯兰功, 袁琦, 等. 生态承载力研究综述[J]. 农业科技与信息, 2016(8): 49-50.
- [8] 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.
- [9] 高吉喜. 区域生态学核心理论探究[J]. 科学通报, 2018, 63(8): 693-700.
- [10] 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.
- [11] 中华人民共和国生态环境部. 全国生态功能区划(修编版) [EB/OL]. 中华人民共和国生态环境部网, 2015-11-23. http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201511/t20151126_317777.htm.
- [12] 安徽省统计局. 安徽统计年鉴(2009-2018) [EB/OL]. 安徽省统计局网, 2019-2-11. <http://tj.ah.gov.cn/ssah/qwfbjd/tjnj/index.html>.
- [13] 江苏省统计局. 江苏统计年鉴(2009-2018) [EB/OL]. 江苏省统计局网, 2018-9-14. <http://tj.jiangsu.gov.cn/col/col70123/index.html>.
- [14] 江西省统计局. 江西统计年鉴(2009-2018) [EB/OL]. 江西省统计局网, 2019-2-1. http://tj.jiangxi.gov.cn/id_tjsj201803120100294255/Index.shtml.
- [15] 浙江省统计局. 浙江统计年鉴(2009-2018) [EB/OL]. 浙江省统计局网, 2018-11-28. <http://tj.zj.gov.cn/col/col1525563/index.html>.
- [16] 中华人民共和国国家统计局. 中国环境统计年鉴(2009-2018) [M]. 北京: 中国统计出版社, 2010-2019.
- [17] 沈威, 鲁丰先, 秦耀辰, 等. 长江中游城市群城市生态承载力时空格局及其影响因素[J]. 生态学报, 2019, 39(11): 3937-3951.
- [18] 廖文梅, 秦克清, 童婷, 等. 长江经济带城市化与森林生态承载力协调关系研究[J]. 浙江农林大学学报, 2019, 36(2): 349-358.
- [19] 刘婷, 赵伟, 黄婧, 等. 三峡库区重庆段生态承载力时空演变研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(1): 115-125.
- [20] 李恕洲, 何刚, 余保华. 安徽省城市生态承载力多维测度及空间差异分析: 基于绿色城镇化视角[J]. 安徽农业大学学报(社会科学版), 2017, 26(4): 36-41.
- [21] 姚罗兰. 基于投影寻踪模型的河北省土地安全生态评价[J]. 绿色科技, 2019, 18(43): 122-123.
- [22] 毛德华, 邹君, 李杰, 等. 基于遗传算法的投影寻踪方法在洞庭湖区洪灾易损性评价中的应用[J]. 冰川冻土, 2010, 32(2): 389-396.
- [23] 莫维桑. 基于土地资源承载力评价的国土空间优化研究: 以广西宁明县为例[D]. 南宁: 南宁师范大学, 2019.
- [24] 邓楚雄, 谢炳庚, 李晓青, 等. 基于投影寻踪法的长株潭城市群地区耕地集约利用评价[J]. 地理研究, 2013, 32(11): 2000-2008.