

安徽省森林生态承载力及其重心迁移研究

李岩¹ 黄超傑² 王珂³ 王禹婷¹ 张大红¹¹

(1. 北京林业大学 经济管理学院, 北京 100083;

2. 中山大学 地理科学与规划学院, 广东 广州 510220;

3. 中外园林建设有限公司, 北京 100040)

【摘要】: 以安徽省 72 个区县为研究样本, 基于 PSR (Pressure-State-Response) 模型, 运用熵权法与专家法确定综合权重, 根据综合指数法计算森林生态承载力指数, 并对 2001~2016 年安徽省森林生态承载力进行时空分析, 同时在 GIS 技术支持下对安徽省县域森林生态承载力重心轨迹的演变规律进行研究。结果表明: 安徽省森林生态承载力状况整体上得到了很大改善, 全省大部分区县处于可载等级; 政府林业投资强度、天然林保护面积占比、退耕还林面积占比、林分结构等指标权重较大; 省内森林生态承载力水平分布不均衡, 超载地区主要分布在皖北平原地区, 可载地区则大多分布在皖西南山区; 森林生态承载力重心在 2001~2006 年从西北向东南方向迁移, 2006~2009 年从东南向东北方向迁移, 2009~2016 再次向东南方向迁移, 且迁移的速度明显加快。

【关键词】: 森林生态承载力指数 评价指标体系 综合指数法 重心迁移

【中图分类号】: S718 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227 (2021)01-0087-10

可持续发展问题是当今全球发展所面临的核心主题。而生态承载力是度量生态环境及自然资源受到人类社会经济活动干扰程度的重要指标, 也是判断区域可持续发展的重要依据^[1]。森林作为陆地最大的生态系统不仅为人类社会经济贡献了源源不断的资源, 而且拥有强大的生态功能。然而森林的生态承载能力却是有限的, 当人类社会经济带来的资源环境压力超过森林生态系统可承受能力的阈值时, 森林便会失去自我调节能力, 使人类的可持续发展受到影响。森林生态承载力已成为衡量区域森林可持续发展的重要指标之一。因此, 对森林生态承载力及其重心演化进行研究可以动态评估区域森林生态系统的健康与完整程度, 揭示区域森林生态发展格局的特点与规律, 具有十分重要的理论意义。

国外学者对生态承载力的研究起步较早。在人类生态学研究, Park 等^[2]于 1921 年首次使用了生态承载力的概念, 用以度量生态环境因子对人类社会物质发展的影响程度。此后国外针对生态承载力的研究大多是从种群生态学的视角出发。Smaal 等^[3]认为生态承载力是在特定时间段内特定生态系统所能容纳种群数的最大值。而 Andrew 等^[4]认为生态承载力是在特定时期内植被所能供给种群数量的最大值。这一时期对生态承载力概念的认识是一致的, 都是指在现有状态下生态系统所能容纳的最大种群数。

国内学者于 20 世纪 90 年代初开始对生态承载力进行研究, 并从不同的角度对生态承载力的概念进行了阐释。杨贤智^[5]认为

作者简介: 李岩 (1989~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为林业区域经济与可持续发展. E-mail: liyangxsy2@163.com

张大红 E-mail: zhangdahong591120@163.com

基金项目: 国家林业局 2014 年林业重大问题调研课题 (ZDWT201415)

生态环境承载力是生态系统的客观属性,是其能够承受外部扰动能力的反映。高吉喜^[6]在以往生态环境承载力概念的基础上进一步得出了生态承载力的概念,他认为生态承载力是生态系统的自我维持、自我调节能力,并进一步阐述了生态承载力与资源承载力、环境承载力、生态弹性力之间的辩证关系。此后国内学者对生态承载力的研究进入了方法探索阶段,如生态足迹法^[7]、模型预测法^[8]、状态空间法^[9]、供需平衡法^[10]、复合模型系统^[11]等,但从评价指标体系的构建来看还不够全面,大多只局限于生态环境的承载力指标与压力指标忽视了生态系统各要素之间的网络关系及生态系统与人类社会经济系统之间的互动关系。从研究对象来看,大多是针对海洋生态承载力^[12]、水生态承载力^[13]、土地生态承载力^[14]等,而针对森林生态系统进行承载力研究的文章还较为少见。而随着新地理经济学和系统理论的发展,将生态问题和空间因素相结合来研究社会科学问题已经成为一种重要范式^[15],1874年Walker在研究美国人口分布特征时首次使用了重心分析方法,此后该方法就成为了研究空间格局演变的重要手段,但应用于生态承载力研究的还很少。因此本研究借助空间分析手段,着重从时空尺度来探讨安徽省森林生态承载力的测算与重心迁移问题,以期在县域层面对安徽省森林承载力的重心分布和变化趋势做出一个基本判断,从而为区域森林生态状况评价及可持续发展战略的制定提供参考。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区域概况

安徽省位于我国东部地区,地跨 114° 54' ~119° 37' E, 29° 41' ~34° 38' N,位于长江、淮河、新安江三大流域交汇处,而淮河又是我国传统的南北分界线,生态区位非常重要。2016年安徽省现有森林覆盖率为 28.65%,森林面积 396 万 hm²,活立木总蓄积 2.61 亿 m³,森林蓄积量 2.22 亿 m³,在该省生态环境建设中发挥着不可替代的“杠杆作用”。

1.2 数据来源

本文所有数据来源于森林生态安全指数研究项目,涉及安徽省 72 个县域 2001~2016 年的面板数据。为方便数据的收集与统计,课题组设计了数据投放器,以方便各区县在线输入数据。数据收集工作分几个步骤完成:首先组织安徽省林业厅、规划院培训数据投放器的使用方法;然后安徽省林业厅将数据收集工作下派至各县林业局、规划院;省林业厅对上报数据进行审核;最后由课题组专家修正数据并于 2018 年 5 月完成数据工作。

1.3 研究方法

1.3.1 评价指标体系的建立

文章参考联合国发展委员会提出的状态-压力-响应(Pressure-State-Response, PSR)模型,并在此基础上建立了安徽省县域森林生态承载力评价指标体系,其中森林支撑力指标用以表征森林生态系统状态,反映了森林生态系统的资源状况与灾害情况;社会压力指标是指人类活动对森林生态系统产生的负面影响;系统响应类指标是指人类活动对森林生态系统产生的正面影响。通过文献综述并借鉴 PSR 模型的分析框架,在充分借鉴国内外研究成果^[16~18]的基础上选取了森林覆盖率、林分结构等 30 余指标。通过专家咨询、打分,对选择的指标进行了调整和删减。2017 年 6 月又对安徽省祁门县、凤阳县进行了实地调研,走访了林业局、规划院等单位,发现荒漠化面积、沙化土地面积等存在统计口径不一致、数据连贯性差等问题。剔除了数据之间相关性强及可获得性低的指标后,最终确定了森林生态承载力的 22 个具体指标。

对于森林支撑力指标,应分别从生态区位、资源状况及自然灾害类 3 个一级指标充分全面地反映森林生态承载力的状态。生态区位是用以综合反映气象、地形等区域自然条件的重要因素,它能够通过影响物种分布和植被的生产力来对森林生态系统发生作用。文章主要从温度、光照、湿润度等基础指标来考察地区生态区位状况,分别选取年平均气温、年日照时数、湿润指数及水域面积占比等指标。资源状况类指标是从森林生态系统资本的物质资源状况反映森林生态承载力状况,主要从森林资源数量、资

源质量以及物种变化情况 3 个方面来考察森林资源状况,分别选取森林覆盖率、森林单位面积蓄积量、林分结构及林木丰度指数等指标。自然灾害类指标旨在反映森林生态系统自身受到外界有害干扰的严重程度,选取森林火灾致灾率、森林旱涝灾害致灾率及森林病虫害发生率 3 项指标。森林生态承载力社会压力指标包括对森林生态起作用的一般压力和行为压力指标。一般压力主要从人口密度、单位面积能源消耗、林木采伐强度、水土流失强度 4 个方面进行考察。行为压力主要从二氧化硫排放度、单位面积 GDP、单位面积工业产值 3 个方面考虑。森林生态承载力系统响应指标从天然林保护面积占比、退耕还林面积占比、新增造林面积占比与政府林业投资强度 4 个方面考虑。

1.3.2 指标权重的确立

文章采用将熵权法与德尔菲法计算结果各赋予 0.5 的权重进行集成的方法确定综合权重,这样既克服了专家法主观性带来的缺陷,也改进了熵权法中数据波动对计算结果影响过大的不足之处。

表 1 森林生态承载力评价指标体系

目标层	准则层	一级指标	二级指标	计算公式	指标权重	
森林生态承载力评价指标体系	森林支撑力指标	基础指标	年平均气温(+)	直接获取	0.0053770	
			年日照时数(+)	直接获取	0.0138789	
			湿润指数(+)	年降水量/年蒸发量	0.0186235	
			水域面积占比(+)	水域面积/国土面积	0.0418468	
		状态指标	森林覆盖率(+)	森林面积/国土面积*100%	0.0388093	
			森林单位面积蓄积量(+)	森林蓄积量/森林面积	0.0083247	
			林分结构(+)	天然林面积/森林面积	0.0991854	
			林木丰度指数(+)	(权重 A*乔木林面积+权重 B*灌木林面积+权重 C*疏林地面积和其他林地面积)/土地总面积	0.0356065	
		灾害指标	森林火灾致灾率(-)	森林火灾受害面积/森林面积*100%	0.0021476	
			森林旱涝灾害致灾率(-)	森林旱涝灾害受害面积/森林面积*100%	0.001623	
			森林病虫害发生率(-)	森林病虫害发生面积/森林面积×100%	0.0026153	
		社会压力指标	一般压力指标	人口密度(-)	县年末人口数/国土面积	0.0056107
				单位面积能源消耗(-)	能源消耗量/国土面积	0.0056405

			林木采伐强度 (-)	林木采伐量/森林蓄积量	0.0022243
			水土流失强度 (-)	水土流失面积/国土面积	0.0056797
		行为压力指标	二氧化硫排放 度 (-)	二氧化硫排放量/国土面积	0.0015829
			单位面积 GDP (-)	GDP/国土面积	0.0041064
			单位面积工业 产值 (-)	工业产值/国土面积	0.0037269
	系统响应 指标	人类维 护指标	天然林保护面 积占比 (+)	天然林保护面积/国土面积	0.2333468
			退耕还林面积 占比 (+)	退耕还林面积/森林面积	0.1006861
			新增造林面积 占比 (+)	年度造林面积/森林面积	0.0531037
			政府林业投资 强度 (+)	政府年度林业投资额/森林面积	0.316254

熵权法是一种在综合考虑各指标数据提供信息量的基础上计算指标权重的客观定权法,能够有效避免权重设置的主观影响。熵权法计算权重的步骤如下:

(1) 设有 m 个样本数(本文有 72 个样本), 每个样本有 n 个评估指标(本文有 22 个指标), 按照定性与定量相结合的原则构建多对象关于多指标的判断矩阵: $X=(x_{ikj})_{m \times n}$ ($i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, n$)。

(2) 对判断矩阵指标数据进行标准化处理。正向指标的标准化公式为:

$$y_{ikj} = \frac{x_{ikj} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

逆向指标的标准化公式为:

$$y_{ikj} = \frac{x_{\max} - x_{ikj}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

式中: x_{\max} 、 x_{\min} 分别为第 j 个指标的最大值和最小值; x_{ikj} 为第 i 个样本在年份 k 第 j 个指标的实际值; y_{ikj} 为第 i 个样本在年份

k 第 j 个指标的标准化值。

(3) 计算第 j 个指标的信息熵:

$$H_j = - \frac{\sum_{i=1}^m Y_{ikj} \ln Y_{ikj}}{\ln m} \quad (3)$$

其中 $Y_{ikj} = \frac{y_{ikj}}{\sum_{i=1}^n y_{ikj}}, i=1, 2, \dots, n; H_j$ 为第 j 个指标的信息熵。

(4) 计算指标 j 的权重:

$$W_j = \frac{1 - H_j}{\sum_{j=1}^n (1 - H_j)} \quad (4)$$

W_j 为第 j 个指标的熵权。

1.3.3 评价模型的建立

森林生态承载力评价系统包含森林支撑力、社会压力和系统响应 3 个子系统。本文采用综合评价法对其进行评价, 计算步骤如下:

(1) 森林生态支撑力指数表达式:

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

式中: ESC 为森林生态支撑力指数; C_i 为森林生态系统中各支撑指标; W_i 为各指标 i 对应的权重值。ESC 值越高, 表示森林生态支撑力越强。

(2) 森林生态社会压力指数表达式:

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

式中: EP 为森林生态社会压力指数; P_i 为森林生态系统中各压力要素; W_i 为各指标 i 对应的权重值。由于数据经过标准化处理,

故 EP 值越小,表示森林生态压力越大。

(3) 森林生态系统响应指数表达式:

$$ER = \sum_{i=0}^n R_i \times W_i \quad (6)$$

式中:ER 为森林生态系统响应指数; R_i 为森林生态系统中各响应要素; W_i 为各要素 i 对应的权重值。ER 值越大,表示森林生态系统响应越强。

(4) 森林生态承载力指数表达式:

$$FECC = \alpha ESC + \beta EP + \gamma ER \quad (7)$$

式中:FECC 为森林生态承载力指数; α 、 β 、 γ 为各子系统的贡献系数,经专家咨询后将三者分别取值为 0.4、0.3、0.3。FECC 值越大,表示森林生态承载力越强。

1.3.4 重心分析模型

重心是区域内某种属性值在空间范围内某一时刻的力矩平衡点,表征该点各个方向的力量对比能够维持均衡的情况^[19]。而森林生态承载力重心则指在研究空间内存在一个点,在该点各个方向上的森林生态承载力对比能够维持平衡状态。森林生态承载力重心变动反映了区域森林生态系统差异变化轨迹,其偏移的方向指出了森林生态发展的“高密度”部位。通过 GIS 技术可测算安徽省各区县中心的地理坐标 (x_i, y_i) , 然后以森林生态承载力指数为权重,可求出安徽省森林生态承载力重心的地理坐标:

$$\begin{aligned} X &= \frac{\sum_{i=1}^n FECC_i x_i}{\sum_{i=1}^n FECC_i} \\ Y &= \frac{\sum_{i=1}^n FECC_i y_i}{\sum_{i=1}^n FECC_i} \end{aligned} \quad (8)$$

由于安徽省内各区县森林生态状况及经济与社会的发展的差异性,所以各地区森林生态支撑力指数与社会压力指数都会相应发生改变,这会导致全省森林生态承载力的平衡点发生移动,依据勾股定理,每年重心迁移的距离为:

$$D_{i-j} = R \times \sqrt{(Y_i - Y_j)^2 + (X_i - X_j)^2} \quad (9)$$

D_{i-j} 表示重心从第 i 年至 j 年的移动距离,其中 R 为常数即地球表面坐标单位转化为平面距离的系数,通常取 111.111^[20]。

2 结果与分析

2.1 县域森林生态承载力综合评价指标权重分析

本文求取指标权重的方法主要是采用综合权重法,即将熵权法与专家法相结合。综合权重法既克服了专家打分的主观性,又改进了熵权法确定权重的客观性。

根据综合权重(表 1)可知,政府林业投资强度、天然林保护面积占比、退耕还林面积占比、林分结构等指标所占比重较大,说明这些指标对安徽省县域森林生态承载力产生了比较大的影响。因此提高安徽省森林生态承载力的关键在于加强林业投入,加大人为保护力度,同时应注意优化树种结构提高林分质量及森林生态系统稳定性。

2.2 安徽省森林生态承载力计算结果分析

按照公式(7)~(10)可以计算得到安徽省县域森林生态支撑力指数、社会压力指数、生态系统响应指数及森林生态承载力综合指数。为了更加直观地展示各县域的森林生态承载力状况,文章运用自然断裂法将计算所得数值划分为重度超载、中度超载、轻度超载、适度可载及可载 5 类区域并利用 ArcGIS 软件将计算所得数据进行可视化处理如图 1~图 4 所示。

2.2.1 森林生态社会压力

文章对社会压力指数做了标准化处理,故压力指数越大,说明森林面临的压力越小。从图 1 中可以看出,2001 年安徽省县域森林生态社会压力大多数处于轻度超载区域,占样本总数的 26.4%,其次是处于中度超载的区县,其数量占样本总量的 23.6%。反映出安徽省整体森林生态社会压力较大。而可载区域占样本总数的 15.3%,其中滁州市定远县社会压力最小(0.013854);重度超载区域占样本总数的 19.4%,其中芜湖市南陵县社会压力最大(0.000836)。而从 2001~2016 年安徽省县域森林生态社会压力开始持续下降。截止 2016 年,全省除马鞍山市区、合肥市区、芜湖市区、蚌埠市区外,其余区县全部可载。其中社会压力最小的是黄山市黟县(0.028119)。

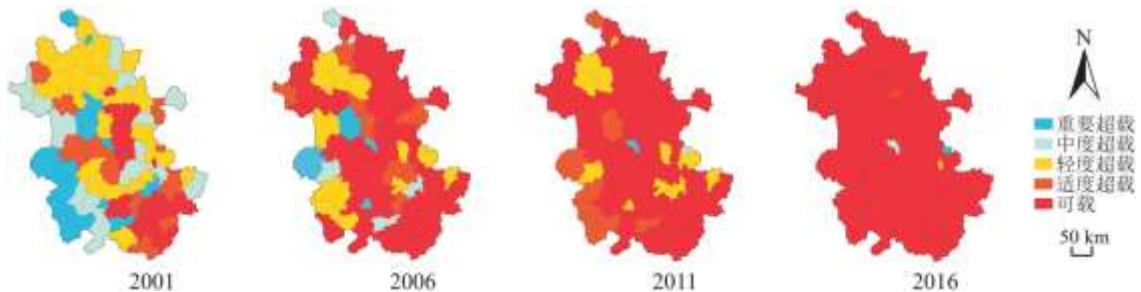


图 1 安徽省县域森林生态社会压力指数分布图

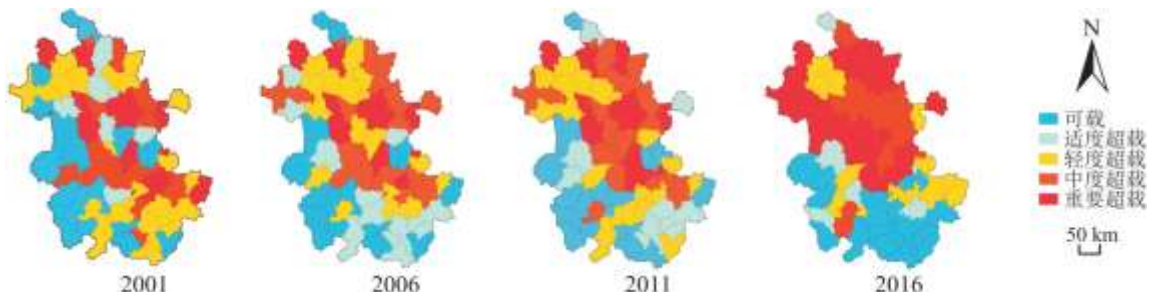


图 2 安徽省县域森林生态支撑力指数分布图

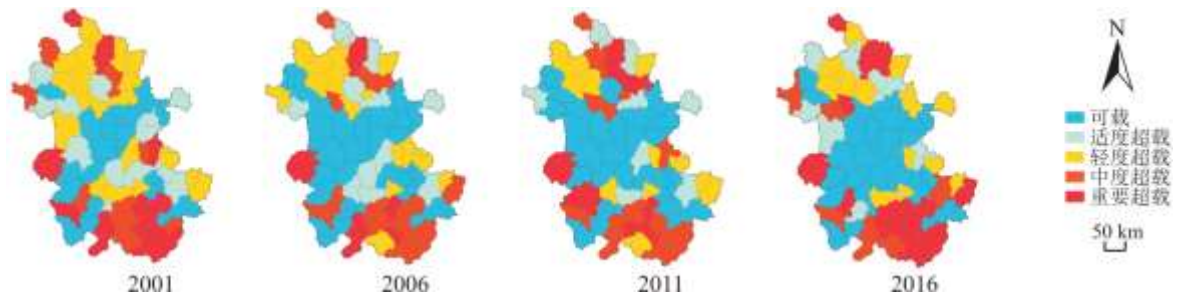


图3 安徽省县域森林生态系统响应指数分布图

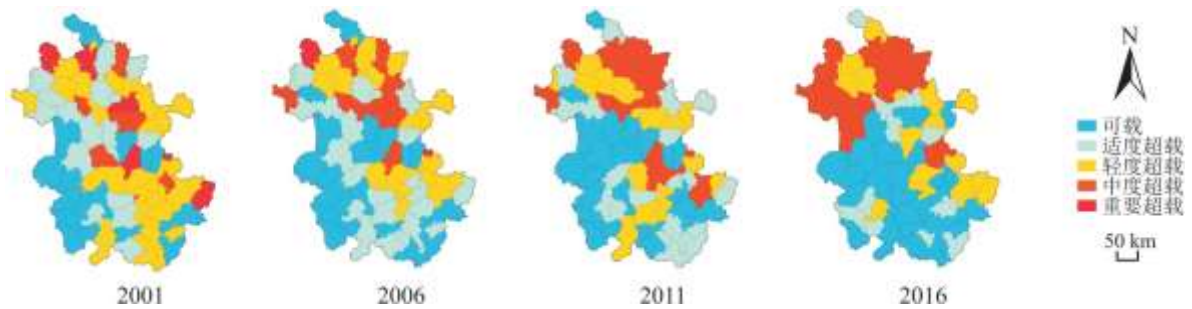


图4 安徽省县域森林生态承载力指数分布图

从全省县域森林生态社会压力的空间分布来看,2001 年重度超载区域大多分布于皖中都市区以及淮北人口聚集带而皖南地区森林生态社会压力较小。这与安徽省内皖东、皖北发展林产工业,皖南、皖西发展森林旅游业,皖中、沿江发展苗木花卉业的产业布局密切相关。由于林产工业对森林生态造成了较大压力,因此,皖北的森林生态压力较安徽南部严重。而截至2016年安徽省森林生态社会压力情况已得到极大改观,全省除合肥都市区外基本处于可载水平。显示了近年来安徽省实施集体林权制度改革、林业建设第二次创业等一系列林业发展战略令省内林业产业升级取得了良好效果,提高了森林资源的利用率,极大地降低了对省内森林造成的压力。

2.2.2 森林生态支撑力

从图2中可以看出,2001年安徽省森林生态支撑力大多数县域处于可载区域,占样本总数的27.8%,反映出安徽省整体森林生态支撑力处于良好状态,其中岳西县森林生态承载力指数最高达到0.254782。而处于重度超载区域的区县数量达到13个,占样本总量的18.1%,其中马鞍山市区的森林生态支撑力指数最低,仅为0.011589。2006、2011年安徽省各区县森林生态支撑力状况变化不大,但皖北地区如宿州市区、固镇县、界首市、临泉县等地森林生态支撑力有一定程度的恶化。2016年,安徽省森林生态支撑力指数超载区县进一步增加至24个,达到样本总数的33.3%,其中最低的区县为无为县(0.033698);而可载区域占总数的27.8%,达到20个,其中最高的区县为石台县(0.209279),两极分化趋势明显。

从空间分布来看,2016年除怀宁、望江两县以外,其他超载县域全部位于安徽中部及北部地区,而除砀山县外,其他可载及适度可载区域则全部位于皖西南地区。由此可见,安徽省内森林生态支撑力大致呈现出从西南向东北依次递减空间分布格局,且呈现出较强的空间聚集性。其原因在于省内森林资源缺乏、覆盖率较低且地理分布不均,87.5%的森林都分布在皖南山区及皖西大别山区,其蓄积量更是占到了全省的96.4%。而淮北平原区由于长期开荒务农,除萧县尚有小规模落叶阔叶林保存之外,森林植被几乎被破坏殆尽。

2.2.3 森林生态系统响应

从图3中可以看出,2001年安徽省县域森林生态响应在各个水平分布得较为均衡,其中大部分区县处于可载区域,占样本总数的26.4%,其次是处于轻度超载的区县,其数量占样本总数的22.2%。重度超载区域占样本总数的比重最低,仅为16.7%。反映了安徽省整体森林系统响应处于较为良好的状态。其中霍山县生态系统响应最强(0.178529),黟县生态系统响应最弱(0.001026)。截止2016年,全省县域森林生态系统响应可载区县占总样本的比重升至41.7%。其中森林生态系统响应最强的区县为合肥市区(0.3449244)。

从计算结果来看,2001~2016年安徽省县域森林生态系统响应水平持续增强。这是由于上世纪八十年代末安徽省政府先后组织了退耕还林、长江淮河流域防护林、林业血防工程造林、治沙造林以及世行林业项目、德援林业项目等一大批林业重点工程。从全省县域森林生态系统响应的空间分布来看,上述重点工程大多分布在安徽中部地区,故森林生态响应力最强,而水平较弱的区县则主要分布在安徽北部及南部地区。

2.2.4 森林生态承载力

从图4中可以看出,2001年安徽省森林生态承载力大多数处于轻度超载区域,占样本总数的31.9%,反映出安徽省整体森林生态承载力状况较差。处于重度超载区域的区县占样本总数的8.3%,其中马鞍山市区森林生态承载力最低(0.033461)。而处于可载区域的区县则占到样本总数的26.4%,其中安庆市岳西县森林生态承载力最高达到0.299508。而截止2016年,安徽全省已基本没有重度超载区县,全省大多数区县森林生态承载力处于可载区域,占样本总数的43.1%。可见相比2001年,安徽省森林生态承载力状况整体上得到了很大改善,其中六安市霍山县森林生态承载力最大达到0.4437261。

从空间分布来看,2006、2011、2016年可载区域与超载区域越来越呈现出两极分化的趋势,在空间分布上逐渐集中。超载地区主要分布在皖北平原地区,可载地区则大多分布在皖南地区。省内森林生态承载力状况逐渐呈现出南北两极分化的趋势。且淮北平原地区森林生态承载力有持续恶化的趋势,而皖南地区森林生态承载力则得到不断改善,省内森林生态格局有陷入“优者恒优,劣者恒劣”陷阱的趋势。因此,省内森林生态发展不均衡问题将成为制约安徽省森林生态发展的核心问题。

2.3 重心分析

依据重心分析模型中公式(11)~(12)并结合2001~2016年安徽省县域森林生态承载力指数值,可以计算出研究时段内安徽省森林支撑力、社会压力及系统响应力的重心轨迹并运用ArcGIS软件绘制各子系统的重心迁移轨迹图(如图5(1)~(3)所示),可以看出森林支撑力重心整体自西北向东南迁移,2001~2008年在肥西县内移动,2008~2016年转移至庐江县,表明省内森林支撑力的南北差异不断拉大;而社会压力重心2001~2006年为西北向东南迁移,从合肥市区转移到肥东县再到庐江县,2006年以后开始再次向西北方向转移,2016年又重回合肥市辖区,显示合肥市区及其周边一直是全省森林承受人口经济压力的高密度地区;森林系统响应力重心2001~2011年在肥西县内自东南向西北方向移动,2011年后又再次向东南方向移动,截至2016年转移至合肥市辖区境内,显示2011年之前省内森林维护行为主要集中在淮北平原一带试图解决省内南北部森林生态不断分化的态势,直到近年又将森林管护的重点放在皖南地区。最后可计算出安徽省森林生态承载力重心坐标,如表2所示。表2反映了2001~2016年安徽省森林生态承载力的变化情况,从该表中可以看出历年重心基本在 $117^{\circ} 11' 49'' E$ 和 $117^{\circ} 24' 06'' E$ 之间、 $31^{\circ} 28' 51'' N$ 和 $31^{\circ} 39' 46'' N$ 之间波动。

如图5~(4)所示,安徽省森林生态承载力重心的演变轨迹可以分为3个阶段:第一阶段(2001~2006年)从西北区域向东南方向迁移,表明省内森林生态承载力南北差异逐渐增大;第二阶段(2006~2009年)从东南区域向东北方向迁移,该时段内经过省内大规模森林工程的改造,森林生态承载力南北差异有短暂的缩小,但东西差距仍在持续拉大;第三阶段(2009~2016年)从东北区域向东南方向迁移,由于淮北平原及江淮丘陵区本身生态区位不如皖西南地区,加上林区作业道密度低导致抚育难度较大,森林

经营中存在“重造轻管”问题,故该阶段内不仅南北分化的态势越发严重,而且森林生态承载力向南迁移的距离亦在不断增加。从总体上看,该省森林生态承载力重心从2001年开始不断向东南方向迁移,2014年之前森林生态承载力重心一直在肥西县移动,2015年之后该重心开始转移至庐江县。

表2 安徽省森林生态承载力重心

年份	经度	纬度	年份	经度	纬度
2001	117° 11' 49" E	31° 39' 46" N	2009	117° 15' 46" E	31° 38' 21" N
2002	117° 12' 05" E	31° 39' 18" N	2010	117° 16' 16" E	31° 37' 40" N
2003	117° 13' 05" E	31° 37' 58" N	2011	117° 16' 42" E	31° 37' 28" N
2004	117° 13' 25" E	31° 37' 06" N	2012	117° 16' 50" E	31° 35' 55" N
2005	117° 14' 01" E	31° 36' 08" N	2013	117° 17' 44" E	31° 34' 42" N
2006	117° 15' 21" E	31° 35' 36" N	2014	117° 19' 15" E	31° 32' 40" N
2007	117° 15' 22" E	31° 36' 27" N	2015	117° 22' 07" E	31° 31' 10" N
2008	117° 15' 01" E	31° 37' 44" N	2016	117° 24' 06" E	31° 28' 51" N

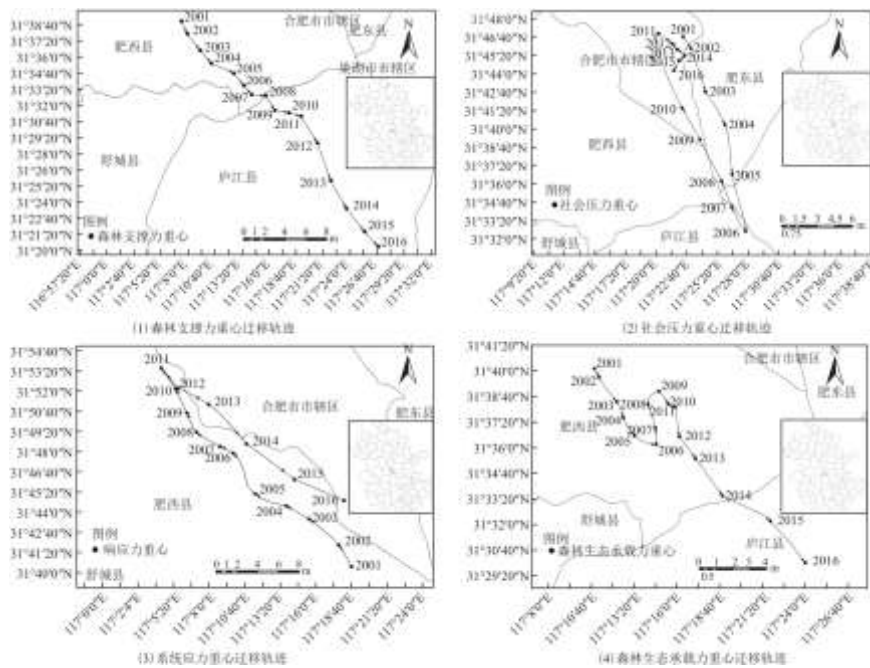


图5 001~2016年安徽省县域森林支撑力、社会压力、响应力及生态承载力重心迁移图

为更加全面地掌握这3个阶段的重心迁移方向、距离及速度,本文统计了这3个时间段内森林生态承载力重心演变数据,如表3所示。

表 3 2001~2016 年安徽省县域森林生态承载力重心演变统计

时间段	迁移方向	迁移距离	年均距离	迁移速度
2001~2006	西北-东南	9.942	1.657	慢
2006~2009	东南-东北	5.621	1.405	慢
2009~2016	东北-东南	22.887	2.861	快

从表 3 中可以看出,安徽省森林生态承载力重心在第一阶段(2001~2006 年)向东南方向迁移了 9.942km,在 6 年间年均移动 1.657km;第二阶段(2006~2009 年)向东北方向迁移了 5.621km,这 4 年年均移动了 1.405km;第三阶段(2009~2016 年)再次向东南方向迁移,且迁移幅度较大,达到了 22.887km,在 8 年时间里年均移动了 2.861km,森林生态承载力重心向东南迁移速度明显加快。

3 结论与建议

文章基于 PSR 模型,构建了 6 大指标层,22 个具体指标的安徽省森林生态承载力评价指标体系;选取熵权法和专家法相结合的方法对各指标赋予权重;运用综合评价法计算森林生态承载力指数。同时运用 ArcGIS 及重心模型来分析安徽省森林生态承载力重心的轨迹迁移情况,得出结论如下:

(1)政府林业投资强度、天然林保护面积占比、退耕还林面积占比、林分结构等指标所占比重较大,因此提高安徽省森林生态承载力的重要途径是加强政府林业投入,加大人为保护力度,同时应注意优化树种结构提高林分质量。

(2)2001~2016 年安徽省森林生态承载力状况整体上得到了很大改善。2001 年安徽省森林生态承载力大多数处于轻度超载区域,占样本总数的 31.9%,重度超载区域的区县占样本总数的 8.3%,反映出安徽省整体森林生态承载力状况较差。而截至 2016 年安徽全省已基本没有重度超载区县,全省大多数区县森林生态承载力处于可载区域,占样本总数的 43.1%。

(3)安徽省森林生态承载力指数的空间分布不均衡且呈现出南北分化日趋严重的态势。超载地区主要分布在皖北平原地区,可载地区则大多分布在皖西南山区。因此,省内森林生态发展不均衡问题将成为制约安徽省森林生态发展的核心问题。

(4)安徽省森林生态承载力重心的演变轨迹可以分为 3 个阶段:第一阶段(2001~2006 年)从西北区域向东南方向迁移,距离为 9.942km;第二阶段(2006~2009 年)从东南区域向东北方向迁移,距离为 5.621km;第三阶段(2009~2016 年)从东北区域向东南方向迁移,距离为 22.887km,该阶段内不仅南北分化的态势越发严重,而且森林生态承载力向南迁移的幅度与速度亦在不断增加。

通过研究发现安徽省是我国的一个少林省份,不仅面积小,森林结构不合理且南北分布不均,并且该分化格局有逐渐加重的趋势。因此要着重改善淮北平原及江淮丘陵地区森林生态状况,注重森林经营,加强森林抚育,加大森林管护资金及技术投入,因地制宜开展四旁的绿化植树和林粮间作。根据气候特点,建立以田、渠、路、村为依托,片带结合的农田林网防护体系。同时取消森林采伐限额制度,对国家重点生态林采取补偿的方式,也可以通过招标形式,承包给企业或个人经营管理。而皖西南地区自然条件较为优越,林业生产基础较好,要积极恢复和培育常绿阔叶林,提高林分质量,最大程度地发挥森林涵养水源和保持水土的生态功能。

参考文献:

-
- [1]高吉喜. 可持续发展理论探讨:生态承载力理论、方法与应用[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2001:12-28, 69.
- [2]郭秀锐, 毛显强, 冉圣宏. 国内环境承载力研究进展[J]. 中国人口·资源与环境, 2000(S1):29-31.
- [3]SMAAL A C, PRINS T C, DANKERS N, et al. Minim requirements for modeling bivalve carrying capacity[J]. Aquatic Ecology, 1998, 31:423-428.
- [4]HUDAK A T. Range land mismanagement in South Africa:failure to apply ecological knowledge[J]. Human Ecology, 1999, 27(1):55-78.
- [5]杨贤智. 环境管理学[M]. 北京:高等教育出版社, 1990:150-155.
- [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]刘子刚, 郑瑜. 基于生态足迹法的区域水生态承载力研究——以浙江省湖州市为例[J]. 资源科学, 2011, 33(6):1083-1088.
- [8]邓波. 区域生态承载力量化方法研究述评[J]. 甘肃农业大学学报, 2003(3):64-67.
- [9]熊建新, 陈端吕, 谢雪梅. 基于状态空间法的洞庭湖区生态承载力综合评价研究[J]. 经济地理, 2012, 32(11):138-142.
- [10]王中根, 夏军. 区域生态环境承载力的量化方法研究[J]. 长江职工大学学报, 1999, 16(4):9-12.
- [11]王开运. 生态承载力复合模型系统与应用[M]. 北京:科学出版社, 2007.
- [12]靳超, 周劲风, 李耀初, 等. 基于系统动力学的海洋生态承载力研究——以惠州市为例[J]. 海洋环境科学, 2017, 36(4):537-543.
- [13]刘佳骏, 董锁成, 李泽红. 中国水资源承载力综合评价研究[J]. 自然资源学报, 2011, 26(2):258-269.
- [14]方创琳, 贾克敬, 李广东, 等. 市县土地生态-生产-生活承载力测度指标体系及核算模型解析[J]. 生态学报, 2017, 37(15):5198-5209.
- [15]关兴良, 方创琳, 鲁莎莎. 中国耕地变化的空间格局与重心曲线动态分析[J]. 自然资源学报, 2010, 25(12):1997-2006.
- [16]肖佳媚, 杨圣云. PSR 模型在海岛生态系统评价中的应用[J]. 厦门大学学报:自然科学版, 2007(S1):191-196.
- [17]马倩, 张洋, 赵枫. 基于 PSR 模型的干旱区绿洲城市生态安全评价——以乌鲁木齐市为例[J]. 土壤通报, 2011, 42(5):1225-1230.
- [18]张永利, 吴宜进, 王小林, 等. 内蒙古贫困地区生态安全评价及空间格局分析[J]. 地球信息科学学报, 2016, 18(3):325-333.

[19]王泽宇,卢雪凤,孙才志,等.中国海洋经济重心演变及影响因素[J].经济地理,2017,37(5):12-19.

[20]涂建军,刘莉,张跃,等.1996-2015年我国经济重心的时空演变轨迹——基于291个地级市数据[J].经济地理,2018,38(2):18-26.