

基于熵值法的城市生态经济综合评价 体系构建及江苏省评价研究

李萌¹ 刘皓² 史聆聆¹ 孙启宏¹ 陈忱¹¹

(1. 中国环境科学研究院 环境管理研究中心, 北京 100012;

2. 生态环境部环境发展中心, 北京 100029)

【摘要】: 为推动我国高质量现代化经济体系建设, 发挥城市在生态文明建设中的主导作用, 从经济效益、社会建设和生态环境三个方面构建城市生态经济综合评价体系, 采用熵值法确定指标权重并对江苏省 13 个地级市的生态经济发展水平进行综合评价。在此基础上, 采用层次聚类分析将 13 个地级市划分为三种发展类型: 率先发展区域、平稳发展区域和一般发展区域。最后, 针对不同发展类型的城市, 提出相应的政策建议。

【关键词】: 生态经济 指标体系 熵值法 聚类分析

【中图分类号】: F299.27; F062.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2022)08-068-04

生态文明建设是中国特色社会主义事业的重要内容, 事关“两个一百年”奋斗目标和中华民族伟大复兴中国梦的实现。生态经济体系与生态文化体系、目标责任体系、生态文明制度体系、生态安全体系相辅相成, 共同构成新时代生态文明建设的全局性、根本性对策体系^[1]。

其中, 生态经济体系是关键, 是生态文明体系的物质基础。习近平总书记在 2018 年全国生态环境保护大会上明确提出, 要构建“以产业生态化和生态产业化为主体的生态经济体系”^[2]。党的十九届五中全会提出, 推动绿色发展, 促进人与自然和谐共生。深入实施可持续发展战略, 完善生态文明领域统筹协调机制, 构建生态文明体系, 促进经济社会发展全面绿色转型, 建设人与自然和谐共生的现代化。生态环境部部长黄润秋在 2021 年全国生态环境保护工作会议上提出, 要大力支持绿色技术创新, 不断壮大生态经济, 培育高质量发展绿色增长点。

本文通过对当前我国生态经济研究现状进行梳理分析, 从“经济—社会—环境”三个方面构建城市生态经济综合评价体系, 并基于指标体系选取江苏省各市进行验证分析, 从而为我国生态经济体系建设提供科学参考, 不断提高我国城市生态经济效益, 加快推进我国经济高质量发展。

1 研究方法

作者简介: 李萌, 硕士, 工程师, 研究方向为环境管理、生态文明与气候变化等。E-mail:limeng@craes.org.cn; 史聆聆, 硕士, 高级工程师, 研究方向为环境管理、生态文明与气候变化等。E-mail:shill@craes.org.cn

1.1 指标标准化处理

为消除不同指标之间量纲的差异，需要对原始数据进行标准化处理，使之均在区间[0,1]内，从而具有可比性^[3]。在指标体系中，指标分为正向指标与逆向指标两类，值越大越好的指标即为正向指标，相反则是逆向指标。正向指标[公式(1)]和逆向指标[公式(2)]的 min-max 标准化计算公式为：

$$y_{ij}=[x_{ij}-\min(x_j)]/[\max(x_j)-\min(x_j)] \quad (1)$$

$$y_{ij}=[\max(x_j)-x_{ij}]/[\max(x_j)-\min(x_j)] \quad (2)$$

式中： y_{ij} 是第 i 个城市的第 j 项指标原始值， $\max(x_j)$ 、 $\min(x_j)$ 分别表示所有城市第 j 项指标中的最大值和最小值。

1.2 熵值法

(1) 指标标准化调整。

为消除标准化后的指标值会出现极端值“0”在对数计算过程中造成的影响，对标准化处理后的指标进行调整。本文参考贾海发等^[4]的研究思路，对标准化后的指标值进行 0.001 的平移处理，即 $Y_{ij}=y_{ij}+d$ ，其中， $d=0.001$ 。

(2) 计算第 i 个城市第 j 项指标的比重 P_{ij} ：

$$P_{ij} = Y_{ij} / \sum_{i=1}^m Y_{ij}, 0 \leq P_{ij} \leq 1 \quad (3)$$

(3) 计算第 j 项指标的熵值 E_j ：

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (4)$$

式中： $k>0$ ， $\ln$ 为自然对数，常数 k 与城市个数 m 有关，一般令 $k=1/\ln m$ ，则 $0 \leq E_j \leq 1$ 。

(4) 计算第 j 项指标的差异性系数 D_j 。

差异性系数表示该指标对于研究对象所起到的作用，数值越大，对研究对象的影响越大。

$$D_j = 1 - E_j \quad (5)$$

(5) 确定第 j 项指标的权重 W_j 。

根据该指标信息的差异性系数计算权重，差异性系数越大，其所占权重越大。

$$W_j = D_j / \sum_{i=1}^m D_j \quad (6)$$

(6)通过加权求和计算综合评价指数 U_i :

$$U_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} W_j \tag{7}$$

式中: n 为指标数。 U 值越大, 综合评价指数越高, 评价效果越好^[5, 6]。

1.3 聚类分析

聚类分析是按照一定准则对样本或指标进行定量分类的一种多元统计分析方法, 能够将分析对象进行分类, 以达到组内同质、组间异值的目的^[7]。为从整体上把握江苏省各地级市的城市生态经济发展状况的空间分布差异, 本文采用 SPSS25.0 软件对江苏省 13 个地级市的生态经济综合评价得分进行层次聚类分析。其中, 样本间距离的度量方法选择平方欧氏距离计算方法, 聚类方法选择平均联接(组间)方法。

2 指标体系的构建

2.1 指标选取的原则

生态经济是一个多目标、多层次、多功能的新型复合生态系统, 其评价体系的构建需要使用尽可能少而精准的指标全面、科学地反映城市生态经济的本质特征。指标体系应该满足以下要求^[8, 9, 10]: (1)科学性, 应能客观反映城市生态经济发展水平, 每项指标应概念清晰, 以保证评价结果的真实与客观。(2)系统性, 指标体系应作为一个系统的有机整体, 所选取的指标应具有代表性, 能够全面反映城市生态经济发展的特征与状态。(3)稳定性与动态性相结合, 指标选取既要考虑相对稳定性, 又要把握不同时期、不同层次的动态变化, 综合反映出城市生态经济的现状特点和发展趋势。(4)导向性, 指标体系的设置应利于城市生态经济的可持续发展, 分别从“经济—社会—环境”三个方面对城市生态经济的发展进行引导。(5)可比性、可操作性和可量化性, 指标的选取应注意评价对象范围内评价项目的一致性, 以满足评价对象之间的可比性, 指标对应的数据也应易获取且计算方法简单。

2.2 指标初选

本文对国家发布的有关生态文明建设的权威指标体系进行了梳理, 同时, 对纳入有关生态经济指标体系文献资料中的相关指标, 筛选出其中的高频指标, 进一步构建基于“经济—社会—环境”三个方面的初选指标。本文参考的文件包括《美丽中国建设评估指标体系及实施方案》《国家生态文明建设示范市县建设指标》《“两山指数”评估指标体系》《循环经济发展评价指标体系(2017 年版)》《生态文明建设考核目标体系》《绿色发展指标体系》《国家生态文明建设示范村镇指标(试行)》以及联合国可持续发展指标体系, 并参照了一系列参考文献^[11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19]。

2.3 指标体系构建

在文献收集与政策文件梳理的基础上, 采取频度统计法进行指标初选, 进而通过专家咨询法与指标数据的可获性, 进一步对指标进行筛选, 最终构建城市生态经济综合评价指标体系, 如表 1 所示。

表 1 城市生态经济综合评价指标体系

准则层	权重	指标层	单位	属性	权重
-----	----	-----	----	----	----

经济效益	0.3346	人均 GDP 增长率	%	正	0.0320
		城镇居民人均可支配收入	元	正	0.0933
		第二产业占地区 GDP 比重	%	正	0.0433
		第三产业占地区 GDP 比重增速	%	正	0.0463
		节能环保支出占地区 GDP 比例	%	正	0.0743
		万元 GDP 用电量	万千瓦时	逆	0.0454
社会建设	0.3961	城镇化率	%	正	0.1056
		城镇居民恩格尔系数	%	逆	0.0509
		人均教育经费	元/人	正	0.1151
		城镇登记失业率	%	逆	0.0432
		每万人拥有公共交通工具	标台	正	0.0813
生态环境	0.2693	建成区绿化覆盖率	%	正	0.0489
		城市空气质量优良天数比例	%	正	0.0269
		地表水水质达到或好于 III 类比例	%	正	0.0522
		集中式饮用水水源地水质达标率	%	正	0.0260
		人均公园绿地面积	平方米	正	0.0543
		城镇污水处理率	%	正	0.0260
		一般工业固体废物综合利用率	%	正	0.0201
		生活垃圾无害化处理率	%	正	0.0149

3 数据来源

各指标数据主要来源于：(1)统计年鉴资料，包括江苏省及江苏省各地级市统计年鉴、中国统计年鉴、中国城市统计年鉴、中国社会统计年鉴。(2)人民政府及生态环境部公布的官方数据，包括江苏省及江苏省各地级市人民政府发布的国民经济和社会发展统计公报、省市生态环境厅(局)发布的年度生态环境状况公报，等。数据资料的基准年为 2019 年。

4 研究结果与分析

4.1 熵值法确定指标权重

基于熵值法的计算过程，对江苏省 13 个地级市对应指标体系中的 19 项指标进行处理与计算，从而得到各指标的权重，已列示于表 1 中。可以看出，准则层中权重最高的是社会建设(39.61%)，其次是经济效益(33.46%)，最后是生态环境(26.93%)。在

指标层中，综合权重较高的是人均教育经费(11.51%)、城镇化率(10.56%)与城镇居民可支配收入(9.33%)，说明城镇人口比重、城市对居民教育经费的投入程度以及城镇居民的收入水平是影响城市生态经济建设的重要因素。

4.2 熵值法综合评价结果

通过加权法计算出 2019 年江苏省 13 个地级市的生态经济综合评价结果，具体见表 2。从综合评分结果来看，2019 年江苏省 13 个地级市的生态经济发展情况呈阶梯状并存在较明显的差异性，其中，南京市的综合评价得分为全省第一名，其分值(0.8083)为排名末位的连云港市(0.4413)的近两倍。

4.3 聚类分析结果

通过平均联接(组间)聚类分析法进行分析,得到江苏省 13 个地级市的城市生态经济发展情况聚类谱系图,具体如图 1 所示。

取分类数为三类时，分类结果比较恰当，对应的地级市详见表 3。运用 ArcGIS10.4 软件将 13 个地级市的聚类分析结果进行可视化表达，如图 2 所示。

表 2 2019 年江苏省 13 个地级市的生态经济综合评价结果

城市	经济效益		社会建设		生态环境		综合评价	
	评分	排名	评分	排名	评分	排名	评分	排名
南京市	0.2119	3	0.3692	1	0.2272	1	0.8083	1
苏州市	0.2044	4	0.3536	2	0.1710	11	0.7291	2
无锡市	0.2322	1	0.2727	3	0.1823	9	0.6872	3
扬州市	0.2269	2	0.2335	5	0.2108	3	0.6713	4
镇江市	0.2003	5	0.2510	4	0.1833	8	0.6346	5
南通市	0.1748	9	0.1977	7	0.2258	2	0.5983	6
常州市	0.1974	6	0.2103	6	0.1850	7	0.5927	7
泰州市	0.1759	7	0.1470	10	0.1969	4	0.5198	8
徐州市	0.1416	12	0.1729	8	0.1880	6	0.5025	9
盐城市	0.1571	11	0.1529	9	0.1657	12	0.4756	10
宿迁市	0.1647	10	0.1049	13	0.1904	5	0.4600	11
淮安市	0.1294	13	0.1449	11	0.1723	10	0.4467	12
连云港市	0.1753	8	0.1296	12	0.1365	13	0.4413	13

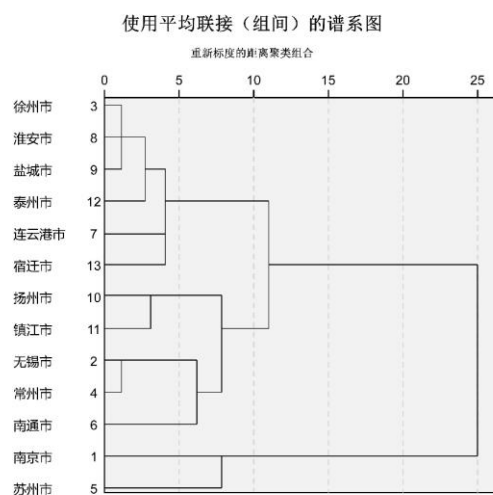


图 1 聚类谱系图

表 3 聚类分析分 3 类结果

类序	江苏省地级市	得分范围	类别
第 1 类	南京市、苏州市	≥ 0.70	率先发展区域
第 2 类	扬州市、镇江市、无锡市、常州市、南通市	$0.58 \sim 0.70$	平稳发展区域
第 3 类	徐州市、淮安市、盐城市、泰州市、连云港市、宿迁市	≤ 0.58	一般发展区域

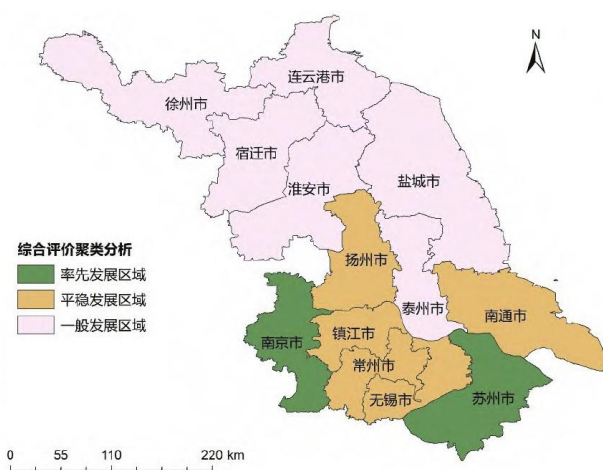


图 2 江苏省 13 个地级市聚类分析结果

本次聚类分析结果在空间上呈现出了较强的集聚态势，即苏南地区经济高质量发展和苏北经济欠发达地区两种形式的集聚，

该结果与地区经济发展的整体情况相吻合，因此认为本次聚类分析结果是合理有效的。

(1) 率先发展区域：

南京市(0.8083)和苏州市(0.7291)。两个城市的生态经济综合评价得分均远高于全省平均分数 0.5821，处于全省生态经济发展领先水平。南京市是江苏省省会城市，准则层中的社会建设与生态环境两方面均处于全省第一名，而在经济效益方面位于全省第三名。苏州市在经济效益与社会建设两方面均处于全省领先水平，但在生态环境方面排名偏后。总体而言，率先发展的两个城市均处于经济效率高、产业结构较稳定的发展水平。

(2) 平稳发展区域：

处于该水平的 5 个城市的综合评价得分均处于全省平均水平 0.5821 以上，同时，在准则层的各个方面也均能够处于全省平均值(经济效益 0.1840、社会建设 0.2108、生态环境 0.1879)以上。此类城市在生态经济发展方面具有较大的潜力，社会建设投入较大，但相对前两项准则层指标，生态环境方面投入有待加强。

(3) 一般发展区域：

徐州市、淮安市、盐城市、泰州市、连云港市、宿迁市 6 个城市，其综合评价得分均不足全省平均水平 0.5821，在经济效益和社会建设两个准则层方面均低于全省平均水平。该 6 个城市主要位于江苏省的苏北地区，相对苏南地区，其经济发展较为落后，技术效率水平仍存在较大提升空间。而在生态环境方面，泰州市、宿迁市和徐州市的生态环境评分高于全省平均值，说明生态环境方面是该 3 个城市拉动生态经济发展的主要作用力。淮安市、盐城市、连云港市的生态环境评分处于全省末位，仍需加强城市产业结构绿色转型，提高生态环境治理投入。

5 结论与建议

本研究通过指标梳理与筛选，构建了基于“经济—社会—环境”的城市生态经济综合评价体系(包括 3 个准则层与 19 个评价指标)，通过熵值法确定指标权重，并在该指标体系构建的基础上，对 2019 年江苏省 13 个地级市的相关指标数据进行了综合评价及层次聚类分析，从而对我国城市生态经济体系的构建提供理论支撑。

基于熵值法的综合评价结果显示，2019 年江苏省 13 个地级市的生态经济发展情况呈阶梯状并存在较明显的差异性，体现了江苏省内各城市发展的差异性特征。

根据聚类分析结果，本文将江苏省 13 个地级市划分为率先发展区域、平稳发展区域和一般发展区域共三类。各城市生态经济发展水平的空间分布特征与江苏省经济发展水平基本保持一致，苏南地区发展水平高于苏北发展水平。说明本研究构建的城市生态经济综合评价体系具有一定的科学性，评价结果可信度较高。针对不同生态经济发展水平的区域，提出以下政策建议：

(1) 率先发展区域，保持经济的高质量发展水平，继续完善产业结构调整、提高资源能源的综合利用效率，加大生态环境治理力度，尤其是对南方夏季臭氧超标问题的治理。政府应完善与修订城市发展规划，将“节能降碳”纳入城市发展的重点工作任务，力争尽早实现碳排放与经济增长脱钩，积极推进实现城市碳达峰、碳中和目标，努力打造区域性生态经济标杆城市。

(2) 平稳发展区域，此类城市在生态经济发展方面具有较大的潜力，其经济发展处于较高水平，产业结构处于优化转型阶段。政府在保持经济效益的同时，应提高资源利用效率，继续加强生态环境保护投入，促进经济与生态环境的协同发展。

(3)一般发展区域,此类城市在经济效益与生态环境方面较薄弱。政府应当加快推进产业结构绿色转型,积极推动第三产业对拉动经济发展的贡献,从而促进生态经济发展水平向较高的层次进步。同时,此类城市在空气质量、地表水水质两方面表现欠佳,必须加大生态环境治理力度,努力实现经济发展和生态建设的双赢。

6 讨论

本文通过频度统计法构建了城市生态经济综合评价体系,并采用熵值法对指标赋权,通过对江苏省13个地级市的例证分析,说明分析结果能够客观反映城市生态经济在经济效率、社会建设、生态环境方面的发展水平,但本文仍存在需要进一步分析与完善的内容:

(1)指标的选取仍需进一步完善。

基于数据的可获取性,本文在指标筛选过程中删除了综合能源消耗量、碳排放强度等与生态经济发展关联性较强的能源消费相关的典型指标。说明在城市层面,存在有关能源消费与碳排放的信息统计工作不够或信息披露程度不高的问题。建议在国家应对气候变化与力争实现碳达峰、碳中和目标的大背景下,城市层面应加强对能源消费情况的梳理与信息披露,加快推进碳核查工作,积极制定城市碳达峰、碳中和方案与技术路线图。

(2)评价方法本身的缺陷需要后续进一步探索与完善。

本文以熵值法确定指标权重,克服了主观赋权法带来的偏差,具有一定的合理性。但是熵值法本质是通过指标值的变异程度来确定指标权重,忽略了指标本身的重要程度与不同指标之间的相互作用,后续会进一步考虑对指标体系进行优化与完善。

参考文献:

- [1]任勇. 加快构建生态文明体系[J]. 求是, 2018(13): 50.
- [2]陈洪波. 构建生态经济体系的理论认知与实践路径[J]. 中国特色社会主义研究, 2019(4): 55-62.
- [3]郭亚军. 综合评价理论、方法及拓展[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [4]贾海发, 邵磊, 罗珊. 基于熵值法与耦合协调度模型的青海省生态文明综合评价[J]. 生态经济, 2020(11): 215-220.
- [5]陈燕丽. 基于熵值法研究区域生态经济发展状况评价[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2020(8): 232-237.
- [6]何佳玲, 谢萍, 王静. 基于熵值法的云南省生态经济可持续发展质量综合评价[J]. 云南农业大学学报(社会科学), 2020(5): 112-118.
- [7]林楚佩, 石磊. 生态经济指标体系及省域评价研究[J]. 生态经济, 2020(7): 77-82.
- [8]何佳玲, 谢萍, 王静. 基于熵值法的云南省生态经济可持续发展质量综合评价[J]. 云南农业大学学报(社会科学), 2020(5): 112-118.
- [9]赵晓光, 张源方. 黑龙江省绿色经济发展评价研究[J]. 经济师, 2014(1): 201-202.

-
- [10]肖翠仙,唐善茂.城市低碳经济评价指标体系研究[J].生态经济,2011(1):45-48.
- [11]盖敏燕.贵州绿色经济高质量增长的指标体系研究[J].农村经济与科技,2020(13):206-207.
- [12]侯淑婧,周洋.区域生态经济效益评价指标体系构建研究[J].中国经贸导刊,2016(18):66-68.
- [13]张文爱,王俊然.经济—生态—社会复合系统的耦合协调发展研究——对重庆的实证检验[J].重庆理工大学学报(社会科学),2021(2):39-49.
- [14]陈燕丽.基于熵值法研究区域生态经济发展状况评价[J].重庆理工大学学报(自然科学),2020(8):232-237.
- [15]李海龙,于立.中国生态城市评价指标体系构建研究[J].城市发展研究,2011(7):81-86.
- [16]邢艳春,王嘉策.基于R型聚类-因子分析的绿色经济发展指标体系的构建[J].统计与管理,2018(1):102-104.
- [17]欧阳志云,赵娟娟,桂振华,等.中国城市的绿色发展评价[J].中国人口·资源与环境,2009(5):11-15.
- [18]沈益雯,钟琦瑶,何裕.海岛生态经济系统可持续发展评价指标体系研究[J].国土与自然资源研究,2020(2):8-11.
- [19]孔雷,刘文国,张良,等.县域生态文明建设评价指标体系的构建研究——以普洱市为例[J].林业经济,2016(3):30-33.