

基于全局熵值法的长江上游地区 产业生态化水平动态评价

李扬杰^{1,2} 张莉¹¹

(1. 重庆工商大学 长江上游经济研究中心, 重庆 400067;

2. 重庆财经学院 国际商学院, 重庆 401320)

【摘要】: 筑牢长江上游地区重要生态屏障, 构建现代生态产业体系具有全局性意义。基于产业生态化的内涵与特征, 构建区域产业生态化水平评价指标体系, 运用全局熵值法对 2011—2017 年长江上游地区产业生态化水平进行动态测度与比较, 结果显示: 从综合得分看, 长江上游地区产业生态化水平总体发展趋势持续向好, 各省市的产业生态化水平综合得分也不断提高; 从动态排名看, 各省市的历年排名也相对稳定, 基本呈现出“重庆>贵州>四川>云南”的动态排名格局; 从一级指标权重大小看, 创新支持、发展效率和结构优化指标对产业生态化综合水平的提升贡献较大; 从一级指标测算结果看, 长江上游地区各省市指标综合得分非均衡性、动态排名非平稳性的特征显现。

【关键词】: 全局熵值法 长江上游地区 产业生态化 动态评价

【中图分类号】: F062.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2021)07-044-05

生态文明又称后工业文明, 作为对工业时代粗放型经济增长方式的反思和扬弃, 反映了人与自然、人与人、人与社会和谐共生的本质, 是迄今最高级的文明形态。它要求变革生产方式和优化产业结构, 实现自然生态和产业生态的和谐发展, 是产业结构生态演进的必然结果。长江经济带是我国生态文明建设的先进示范带, 担负着凸显生态优势、补齐产业短板、解决民生难点的重大使命。长江上游地区(重庆、四川、贵州、云南)作为长江经济带建设中的独特地理单元, 是长江流域重要生态屏障, 但该地区生态环境脆弱复杂、经济发展相对滞后。加快建立健全以“产业生态化和生态产业化”为主体的生态经济体系, 是实现长江上游地区融入长江经济带绿色发展战略的关键。开展长江上游地区产业生态化水平的动态评价具有理论价值和现实意义。

1 文献综述

产业生态化的理论思想可追溯到 Odumo^[1]提出的“生态平衡”理论和 Ayres^[2]提出的“工业代谢”理论。Frosch & Callopoulos^[3]在《制造业战略》中提出“产业生态学”的概念, 认为传统产业应该学习自然生态系统, 这是开启产业生态系统理论逐渐走向成熟的里程碑。20 世纪 90 年代, 随着可持续发展战略在世界范围内的普遍实施, 产业生态化的相关研究率先在发达国家兴起, 研究内容多聚焦在产业生态系统的构建模式与运行机理上, 如 Allenby^[4]认为, 产业生态化通过构建一个模拟的产

作者简介: 李扬杰, 博士研究生, 讲师, 研究方向为生态经济与可持续发展。E-mail:2019651902@email.ctbu.edu.cn

基金项目: 国家社会科学基金项目“长江上游地区工业生态集聚及空间差异化策略研究”(18CJL031); 重庆市教育委员会人文社会科学研究项目“成渝地区双城经济圈生态文明与城镇化耦合协调发展的时空演进及对策优化研究”(21SKGH311); 重庆市社会科学规划培育项目“重庆三峡库区推进产业生态化, 生态产业化路径研究”(2019PY38)

业生态系统来组织安排经济生产,从而实现产业生态的可持续发展。Erkman^[5]从历史视角探讨了产业生态化的运行机理,指出产业生态化是基于对生态系统全面认识后的产业自我调整,最终达到产业活动和自然生态的和谐统一。国内相关研究起步较晚,大约在21世纪初才对产业生态化进行广泛研究。事实上,产业生态化实质是对产业生态学等相关理论的具体实践。关于产业生态化的内涵,刘则渊和代锦^[6]较早认为产业生态化是把产业活动的资源消耗与环境影响纳入整个生态系统中进行物质和能量交换,最终实现整个生态系统的良性循环和可持续发展。随后,根据视角和侧重点不同,派生出几种认识:(1)经济规律论。王如松和杨建新^[7]指出,生态产业是在生态系统承载力约束条件下,按照经济原理和规律形成具备生态功能的网络进化型产业。(2)全过程论。郭守前^[8]认为,产业生态化的核心是技术生态化,其本质是产业组织运行的全程生态化。(3)循环利用论。陈柳钦^[9]把产业生态化界定成一种新型循环经济;赵林飞和徐芸青^[10]也认为,产业生态化是让资源在产业系统内达到循环利用的一个系统工程。(4)技术流论。易成栋和罗志军^[11]认为,推行清洁生产技术是我国实现产业生态化的重要途径。关于产业生态化的路径选择,存在以下几种观点:推行清洁生产^[12]、实现物质减量化^[13]、增补产业链^[14]、集约集群式发展^[15]。关于产业生态化水平的评估方法,主要涉及生态效率分析法^[16-17]、物质流分析法^[18-19]、能值分析法^[20-21]和指标体系分析法^[22-23]。

现有文献对产业生态化水平评价的研究成果颇丰,但研究视角主要聚焦于截面指标的静态分析,缺乏动态探析,且研究对象多为整个国家或单个省市,鲜有涉及对长江上游地区产业生态化水平的动态评价研究。基于此,本文采用全局熵值法对2011—2017年长江上游地区产业生态化水平进行动态评价,为筑牢长江上游地区生态屏障,促进长江经济带生态优先、绿色发展提供理论依据和实证支持。

2 指标体系构建、研究方法 with 数据说明

2.1 指标体系构建

产业生态化是按照“+生态”的思路发展产业,运用绿色、低碳、循环的理念改造粗放型传统产业,培育资源利用高、生态效益好的新兴产业,实现产业的绿色化发展,具有动态化属性,蕴含着“经济、社会、生态”相互协调的价值观。产业生态化所具备的“低消耗、少排放、可循环、绿色化、高效率、能创新、有融合、显集约”8大特征可从以下三个维度提炼而得。企业维度:应倡导低消耗、少排放、可循环的企业行为,实现传统企业绿色化改造和新兴企业生态化培育;产业维度:应推动产业结构优化升级,鼓励产业技术创新与生态融合,确保产业高效发展和生态化转型;空间维度:应推进国土空间优化布局,促进产业集约集聚集群式发展,保证生态空间、生产空间和生活空间达到绿色标准。因此,本文根据产业生态化的内涵与特征,以客观性、全面性、层次性和可行性的指标设计原则,从资源消耗、污染排放、代谢循环、结构优化、创新支持、发展效率、空间集约7个维度构建了长江上游地区产业生态化水平动态评价指标体系,如表1所示。

2.2 研究方法

熵值法是一种客观赋权法,其思路是根据各项指标观测值所提供的信息大小来确定指标权重,一般采用截面数据进行分析。而改进熵值法则要求在计算指标权重前,要对指标的原始数值进行标准化处理^[24]。为动态分析长江上游地区产业生态化水平,本文拟运用全局熵值法,即在一般截面数据中引入时序,建立“区域—时间—指标”的立体时序数据表来进行产业生态化水平的动态测度。具体步骤如下:

(1) 设定指标。

设有 m 个省市, n 个评价指标, T 个年份,共同构成初始全局评价矩阵:

$$X = \{x_{ij}^t\}_{m \times n \times T} \quad (1)$$

式中： x_{ij}^t 表示第 t 年第 i 个省市的第 j 项指标值。

(2) 处理数据。

表 1 长江上游地区产业生态化水平动态评价指标体系

一级指标	二级指标	单位	指向性
A ₁ : 资源消耗	B ₁ : 单位 GDP 能耗	吨标准煤/万元	负向
	B ₂ : 单位 GDP 水耗	立方米/元	负向
	B ₃ : 单位 GDP 电耗	千瓦小时/万元	负向
A ₂ : 污染排放	B ₄ : 单位 GDP 工业废水排放量	吨/万元	负向
	B ₅ : 单位 GDP 工业废气排放量	标立方米/元	负向
	B ₆ : 单位 GDP 工业固体废物产生量	吨/万元	负向
A ₃ : 代谢循环	B ₇ : 工业固体废物综合利用率	%	正向
	B ₈ : 城市污水处理率	%	正向
	B ₉ : 环境污染治理投资占 GDP 比重	%	正向
A ₄ : 结构优化	B ₁₀ : 第三产业值占 GDP 比重	%	正向
	B ₁₁ : 第三产业就业人数比重	%	正向
	B ₁₂ : 高新技术产业产值占 GDP 比重	%	正向
A ₅ : 创新支持	B ₁₃ : 技术市场成交额占 GDP 比重	%	正向
	B ₁₄ : R&D 经费占 GDP 比重	%	正向
	B ₁₅ : 教育经费占 GDP 比重	%	正向
A ₆ : 发展效率	B ₁₆ : 人均 GDP	万元	正向
	B ₁₇ : 城镇居民可支配收入	元	正向
	B ₁₈ : 失业率	%	负向
A ₇ : 空间集约	B ₁₉ : 人均绿地面积	平方米	正向
	B ₂₀ : 建成区绿化覆盖率	%	正向
	B ₂₁ : 人均道路面积	平方米	正向

为避免指标之间量纲和正负取向的干扰，采用极差归一化的方法对原始数据矩阵进行无量纲标准化处理。为消除负数和零的影响，同时进行数据平移。对于越大越好的正向指标采用公式 (2)：

$$y_{ij}^t = \frac{x_{ij}^t - x_{j\min}}{x_{j\max} - x_{j\min}} + 1 \quad (2)$$

式中: $i=1, 2, \dots, m$; $j=1, 2, \dots, n$; $t=1, 2, \dots, T$ 。

对于越小越好的负向指标采用公式(3):

$$y_{ij}^t = \frac{x_{j\max} - x_{ij}^t}{x_{j\max} - x_{j\min}} + 1 \quad (3)$$

式中: $i=1, 2, \dots, m$; $j=1, 2, \dots, n$; $t=1, 2, \dots, T$ 。

(3) 计算熵值。公式为:

$$e_j = -k \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^m p_{ij}^t \ln p_{ij}^t \quad (4)$$

式中: e_j 为第 j 项指标的熵值, $0 \leq e_j \leq 1$; $p_{ij}^t = y_{ij}^t / \sum_{i=1}^m \sum_{t=1}^T y_{ij}^t$, P_{ij}^t 为第 t 年第 i 个指标值在第 j 项指标下所占比重; $k=1 / \ln(mT)$, k 决定于省市数和年份数。

(4) 确定权重。公式为:

$$w_j = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^n (1 - e_j) \quad (5)$$

式中: w_j 为第 j 项指标权重, $0 \leq w_j \leq 1$, $\sum_{j=1}^n w_j = 1$, $(1 - e_j)$ 被称为差异性系数, 常记为 g_j , g_j 值越大, 表示指标越重要。

(5) 测算得分。公式为:

$$s_i = \sum_{j=1}^n w_j y_{ij}^t \quad (6)$$

式中: s_i 为综合评价得分, w_j 为第四步求得的指标权重。

2.3 数据说明

本文采用全局熵值法，收集长江上游地区四省市 2011—2017 年的 21 项指标统计数据，构建初始全局数据矩阵 $X = \{x_{ij}\}_{n \times m}$ 进行产业生态化水平动态测度。统计数据均来自历年《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国高技术产业统计年鉴》和长江上游四省市的统计年鉴。其中，重庆、四川、贵州和云南 4 省市的 2017 年高新技术产值缺失数据采用回归插补法填补。

3 结果分析

基于上述研究方法和基础数据，本文首先得到各类指标的信息熵、差异性系数和权重(表 2)，然后通过加权求和得到 2011—2017 年长江上游地区产业生态化水平的综合得分趋势与动态排名变化(表 3)，以及各省市在 7 个一级指标下的得分变动与排名比较(表 4)。如表 2 所示，在一级指标中，权重由大到小依次为：创新支持(A₅)、发展效率(A₆)、结构优化(A₄)、代谢循环(A₃)、空间集约(A₇)、资源消耗(A₁)、污染排放(A₂)。在二级指标中，教育经费占 GDP 比重(B₁₅)、失业率(B₁₈)、高新技术产业产值占 GDP 比重(B₁₂)3 个指标权重较大，均超过 7%，而城市污水处理率(B₈)和单位 GDP 工业废气排放量(B₅)2 个指标权重较小，均低于 3%。

3.1 长江上游地区产业生态化水平总体分析

长江上游地区产业生态化水平的总体趋势持续向好，但区域间的非均衡性特征明显。如表 3 所示，长江上游地区产业生态化总体水平有序提升，综合得分从 2011 年的 1.3364 逐年上升到了 2017 年的 1.6103，累计提高 0.2739，年均提高 3.16%。其中，四川、贵州和云南三省综合得分年均增速均超过了长江上游地区产业生态化的平均水平；贵州产业生态化水平综合得分从 2011 年的 1.2434 提高到了 2017 年的 1.5835，累计提高 0.3401，年均提高 4.11%，得分增速最快；重庆产业生态化水平综合得分从 2011 年的 1.5999 上升到了 2017 年的 1.7752，累计提高 0.1752，年均提高 1.75%，得分增速最慢，低于长江上游地区平均水平。不难发现，虽然重庆产业生态化水平得分增速最慢，但其得分总值和排名均稳居历年第一，强势领先于长江上游其他省份，是历年产业生态化水平最高的地区。贵州产业生态化水平也相对较高，除在“十二五”初期的 2011 年排名第 3 以外，该省在 2012—2017 年产业生态化水平排名保持第 2。云南产业生态化水平则相对偏低，该省在 2011—2017 年产业生态化水平排名一直处于最末位。总的说来，除了重庆在 2015 年出现产业生态化水平综合得分下降的情形外，其他三省的综合得分均逐年提升(图 1)。

表 2 长江上游地区产业生态化水平动态评价指标测算结果

一级指标	二级指标	熵值	差异性系数	二级指标权重	一级指标权重
A ₁ : 资源消耗	B ₁ : 单位 GDP 能耗	0.996	0.004	0.033	0.110
	B ₂ : 单位 GDP 水耗	0.995	0.005	0.043	
	B ₃ : 单位 GDP 电耗	0.996	0.004	0.034	
A ₂ : 污染排放	B ₄ : 单位 GDP 工业废水排放量	0.997	0.003	0.031	0.087
	B ₅ : 单位 GDP 工业废气排放量	0.997	0.003	0.025	
	B ₆ : 单位 GDP 工业固体废物产生量	0.997	0.003	0.032	
A ₃ : 代谢循环	B ₇ : 工业固体废物综合利用率	0.992	0.008	0.070	0.133
	B ₈ : 城市污水处理率	0.997	0.003	0.027	
	B ₉ : 环境污染治理投资占 GDP 比重	0.996	0.004	0.036	

A ₄ : 结构优化	B ₁₀ : 第三产业值占 GDP 比重	0.996	0.004	0.039	0.161
	B ₁₁ : 第三产业就业人数比重	0.995	0.005	0.047	
	B ₁₂ : 高新技术产业产值占 GDP 比重	0.992	0.008	0.074	
A ₅ : 创新支持	B ₁₃ : 技术市场成交额占 GDP 比重	0.994	0.006	0.058	0.213
	B ₁₄ : R&D 经费占 GDP 比重	0.993	0.007	0.064	
	B ₁₅ : 教育经费占 GDP 比重	0.990	0.010	0.091	
A ₆ : 发展效率	B ₁₆ : 人均 GDP	0.996	0.004	0.040	0.173
	B ₁₇ : 城镇居民可支配收入	0.995	0.005	0.044	
	B ₁₈ : 失业率	0.990	0.010	0.088	
A ₇ : 空间集约	B ₁₉ : 人均绿地面积	0.995	0.005	0.045	0.122
	B ₂₀ : 建成区绿化覆盖率	0.996	0.004	0.033	
	B ₂₁ : 人均道路面积	0.995	0.005	0.045	

3.2 长江上游地区产业生态化水平一级指标比较分析

如表 4 所示, 资源消耗方面, 长江上游地区各省市历年得分均逐年提高, 各省市历年排名趋于稳定。在 2011—2017 年, 重庆的资源消耗水平持续最优, 排名始终位列第 1; 四川、贵州和云南紧随其后, 历年排名分别稳定在第 2、第 3 和第 4, 无波动起伏。污染排放方面, 长江上游地区各省市历年得分均逐年提高, 且各省市历年排名相对稳定。重庆的污染排放水平控制最好, 排名始终位列第 1; 四川紧随其后, 历年保持第 2, 贵州、云南于 2014 年和 2017 年出现了排名第 3 和第 4 的轻微变动。代谢循环方面, 长江上游地区各省市历年得分均逐年提高, 且各省市历年排名也相对稳定。重庆和四川的代谢循环水平排名历年维持不变, 分别位列第 1 和第 4; 贵州和云南在 2011 年和 2013 年出现排名波动, 但排名变化也只是在第 3 和第 4 间交替。结构优化方面, 长江上游地区各省市, 除四川和贵州外, 历年得分均逐年提高, 且各省市历年排名有轻微变动。重庆和四川的代谢循环水平持续强势, 历年始终排名第 1 和第 2; 2011—2013 年, 贵州保持排名第 3, 而在 2014—2017 年, 云南赶超贵州, 排名稳居第 3。创新支持方面, 长江上游地区各省市, 除四川外, 历年得分均有起伏, 且各省市历年排名波动较大。2011—2017 年, 贵州有 5 年排名第 1, 重庆有两年排名第 1, 创新支持力度优势明显; 四川有 5 年排名第 4, 云南有 5 年排名第 3, 创新支持力度有待加强。发展效率方面, 长江上游地区各省市历年得分均逐年提高, 且各省市历年排名也有变化。重庆和贵州的发展效率水平较高, 几乎包揽历年排名的第 1 和第 2; 云南处于中游水平, 连续 6 年排名第 3; 四川的发展效率水平则相对较弱, 历年持续排名第 4。空间集约方面, 长江上游地区各省市, 除四川和云南外, 历年得分均逐年提高, 且各省市历年排名波动较小。重庆和四川空间集约水平最好, 历年始终排名第 1 和第 2; “十二五”期间, 云南始终排名第 3, 而迈入“十三五”后, 贵州实现赶超, 排名持续上升至第 3, 空间集约发展态势良好。

表 3 长江上游地区各省市产业生态化水平综合得分和排名

年份	重庆		四川		贵州		云南		均值
	得分	排名	得分	排名	得分	排名	得分	排名	

2011	1.5999	1	1.2723	2	1.2434	3	1.2301	4	1.3364
2012	1.6470	1	1.3293	3	1.3405	2	1.2756	4	1.3981
2013	1.6867	1	1.3764	3	1.3833	2	1.3358	4	1.4456
2014	1.7202	1	1.4110	3	1.4290	2	1.3514	4	1.4779
2015	1.6990	1	1.4591	3	1.4803	2	1.3908	4	1.5073
2016	1.7557	1	1.4982	3	1.5202	2	1.4663	4	1.5601
2017	1.7752	1	1.5534	3	1.5835	2	1.5292	4	1.6103

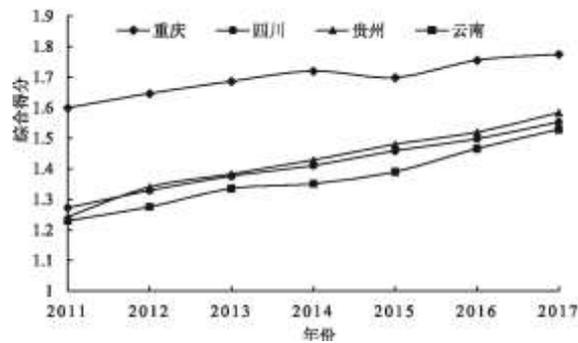


图 1 长江上游地区各省市产业生态化水平综合得分趋势图

表 4 长江上游地区各省市产业生态化水平一级指标综合得分与排名

地区得分	2011 年		2012 年		2013 年		2014 年		2015 年		2016 年		2017 年		
	排名	得分													
A ₁	重庆	0.1955	1	0.2030	1	0.2053	1	0.2092	1	0.2133	1	0.2169	1	0.2194	1
	四川	0.1751	2	0.1812	2	0.1885	2	0.1928	2	0.1940	2	0.1974	2	0.2030	2
	贵州	0.1097	4	0.1261	4	0.1426	4	0.1573	4	0.1681	4	0.1742	4	0.1803	4
	云南	0.1379	3	0.1470	3	0.1583	3	0.1629	3	0.1785	3	0.1829	3	0.1821	3
A ₂	重庆	0.1456	1	0.1529	1	0.1548	1	0.1575	1	0.1605	1	0.1696	1	0.1740	1
	四川	0.1402	2	0.1483	2	0.1529	2	0.1545	2	0.1567	2	0.1649	2	0.1681	2
	贵州	0.1093	3	0.1202	3	0.1308	3	0.1330	4	0.1435	3	0.1570	3	0.1574	4
	云南	0.1011	4	0.1177	4	0.1295	4	0.1347	3	0.1359	4	0.1404	4	0.1579	3
A ₃	重庆	0.2522	1	0.2348	1	0.2391	1	0.2343	1	0.2317	1	0.2211	1	0.2153	1

	四川	0.1466	4	0.1538	4	0.1487	4	0.1569	4	0.1583	4	0.1542	4	0.1568	4
	贵州	0.1823	3	0.1933	2	0.1881	3	0.2079	2	0.2029	2	0.1937	2	0.2001	2
	云南	0.1861	2	0.1849	3	0.1893	2	0.1786	3	0.1781	3	0.1774	3	0.1603	3
A ₄	重庆	0.2473	1	0.2616	1	0.2754	1	0.2882	1	0.2982	1	0.3108	1	0.3203	1
	四川	0.2184	2	0.2277	2	0.2405	2	0.2489	2	0.2484	2	0.2654	2	0.2736	2
	贵州	0.2062	3	0.2032	3	0.1990	3	0.1977	4	0.2046	4	0.2092	4	0.2101	4
	云南	0.1846	4	0.1877	4	0.1961	4	0.2020	3	0.2094	3	0.2169	3	0.2245	3
A ₅	重庆	0.2861	2	0.2795	2	0.2981	2	0.3213	1	0.2856	4	0.3198	1	0.2861	4
	四川	0.2351	4	0.2488	4	0.2654	4	0.2732	4	0.2990	3	0.2987	4	0.3075	3
	贵州	0.2923	1	0.3026	1	0.2985	1	0.2969	2	0.3092	1	0.3065	2	0.3409	1
	云南	0.2667	3	0.2698	3	0.2873	3	0.2806	3	0.2944	2	0.3042	3	0.3146	2
A ₆	重庆	0.2592	1	0.2892	1	0.2899	1	0.2881	1	0.2849	2	0.2871	2	0.3272	1
	四川	0.1898	4	0.1977	4	0.2057	4	0.2107	4	0.2205	4	0.2262	4	0.2502	4
	贵州	0.2210	2	0.2616	2	0.2726	2	0.2801	2	0.2869	1	0.3005	1	0.3121	3
	云南	0.1904	3	0.2019	3	0.2131	3	0.2199	3	0.2290	3	0.2708	3	0.3174	2
A ₇	重庆	0.2140	1	0.2260	1	0.2240	1	0.2215	1	0.2250	1	0.2304	1	0.2328	1
	四川	0.1673	2	0.1718	2	0.1747	2	0.1739	2	0.1821	2	0.1913	2	0.1942	2
	贵州	0.1224	4	0.1335	4	0.1517	4	0.1561	4	0.1652	4	0.1791	3	0.1826	3
	云南	0.1630	3	0.1667	3	0.1621	3	0.1726	3	0.1655	3	0.1737	4	0.1723	4

4 结论与启示

本文基于产业生态化的内涵与特征，从资源消耗、污染排放、代谢循环、结构优化、创新支持、发展效率和空间集约 7 个维度，构建产业生态化水平评价的 21 项指标体系，采集 2011—2017 年相关统计数据，选择加入时序的全局熵值法对长江上游地区产业生态化水平进行了动态测度与比较，得到以下结论：(1)从综合得分看，长江上游地区整体产业生态化水平呈现逐年上升趋势；而省域层面，除重庆在 2015 年综合得分出现下降以外，四川、贵州和云南三省的产业生态化水平综合得分均逐年提高。(2)从动态排名看，重庆和云南历年排名持续保持第 1 和第 4；除 2011 年，贵州和四川历年排名持续保持第 2 和第 3。四个省市在 2011—2017 年基本呈现出“重庆>贵州>四川>云南”的动态排名格局。(3)从指标权重看，创新支持、发展效率和结构优化对产业化水平提升的贡献度相对较大，而资源消耗和污染排放的贡献度相对较小。由此表明，科技创新投入的多少、产业结构的好坏、发展效率的高低是决定产业生态化水平高低的关键所在。(4)从一级指标得分趋势看，除在结构优化、创新支持和空间集约 3 个维度下的个别年份外，各省市在另外四个维度下的历年得分均呈现逐年上升趋势。总的来说，长江上游各省市的一级指标综合得分基本呈现上升趋势，但省际得分的非均衡性特征也较为明显。(5)从一级指标动态排名看，重庆在各项一级指标下的

动态排名优势明显,除在创新支持维度下的个别年份外,其他维度下的多个年份排名均保持第1,而另外三个省份的排名则波动较大。由此表明,长江上游地区省际一级指标的动态排名也存在非平稳性特征。

为进一步提升产业生态化水平,筑牢长江上游重要生态屏障,推进长江经济带绿色发展,基于以上结论,本文有如下启示:(1)微观层面,发挥企业各式创新功能,将生态化创新融入投入产出全过程,实现技术环节、组织模式和产出效能等方面的生态化变革。(2)中观层面,加快产业结构优化调整,将生态文明理念坚持到底,实现传统产业生态化转型、战略新兴产业多元化培育和三次产业市场化融合。(3)宏观层面,优化空间承载布局,以集约、集聚乃至集群的方式进行生态化组织,促进生产空间集约高效、生活空间宜居适度、生态空间山清水秀,最终实现人与自然和谐共生。

参考文献:

- [1]Odum E P. The strategy of ecosystem development[J]. Science, 1969, 164(3877):262-270.
- [2]Ayres R U. Industrial metabolism: Theory and policy[C]//Allenby B R, Richards D J. The greening of industrial ecosystems. Washington D C: National Academy Press, 1994. In technology and the environment[M]. Ausubel J H, Sladovich H E, Washington D C: National Academy Press, 1989:23-25.
- [3]Frosch R A, Callopoulos N E. Strategies for manufacturing[J]. Scientific American, 1989, 261(3):144-152.
- [4]Allenby B R. Industrial ecology gets down to earth[J]. IEEE Circuits and Devices Magazine, 1994, 10(1):24-28.
- [5]Erkman S. Industrial ecology: An historical view[J]. Journal of Cleaner Production, 1997, 5(1-2):1-10.
- [6]刘则渊, 代锦. 产业生态化与我国经济的可持续发展道路[J]. 自然辩证法研究, 1994(12):38-42.
- [7]王如松, 杨建新. 产业生态学和生态产业转型[J]. 世界科技研究与发展, 2000(5):24-32.
- [8]郭守前. 产业生态化创新的理论与实践[J]. 生态经济, 2002(4):34-37.
- [9]陈柳钦. 产业发展的可持续性趋势——产业生态化[J]. 未来与发展, 2006(5):31-34.
- [10]赵林飞, 徐芸青. 基于生态系统的产业生态化研究[J]. 浙江理工大学学报, 2007(4):494-497.
- [11]易成栋, 罗志军. 中国生态工业园初探[J]. 中国人口·资源与环境, 2002(3):115-118.
- [12]陈晓涛. 循环经济下的技术生态化演进分析[J]. 科学管理研究, 2006(3):37-40.
- [13]赵林飞. 产业生态化的若干问题研究[D]. 杭州:浙江大学, 2003.
- [14]Levine S. Comparing products and production in ecological and industrial systems[J]. Journal of Industrial Ecology, 2003, 7(2):33-42.
- [15]吴荻. 产业集群生态化发展策略探讨[J]. 商业时代, 2012(30):119-120.

-
- [16]Willison J H M,Côté R P.Counting biodiversity waste in industrial eco-efficiency:fisheries case study[J].*Journal of Cleaner Production*,2009,17(3):348-353.
- [17]杨果,郑强,叶家柏.我国农业的就业和碳排放双重效应研究[J].*改革*,2019(10):130-140.
- [18]沈万斌,赵涛,刘鹏,等.物质流分析模型的应用研究[J].*东北师大学报(自然科学版)*,2009(1):127-132.
- [19]戴铁军,赵迪.基于物质流分析的京津冀区域物质代谢研究[J].*工业技术经济*,2016(4):124-133.
- [20]Nelson M,Odum H T,Brown M T,et al.“Living off the land”:resource efficiency of wetland wastewater treatment[J].*Advances in Space Research*,2001,27(9):1547-1556.
- [21]韩增林,胡伟,钟敬秋,等.基于能值分析的中国海洋生态经济可持续发展评价[J].*生态学报*,2017(8):2563-2574.
- [22]刘淑茹,韩世芳.西部地区产业生态化评价研究[J].*生态经济*,2017(3):90-94.
- [23]陆根尧,盛龙,唐辰华.中国产业生态化水平的静态与动态分析——基于省际数据的实证研究[J].*中国工业经济*,2012(3):147-159.
- [24]郭显光.改进的熵值法及其在经济效益评价中的应用[J].*系统工程理论与实践*,1998(12):3-5.