

## 基于熵值法的环渤海区域可持续发展评价

## Entropy Evaluation of Sustainable Development for Bohai Sea Region

檀菲菲 中国矿业大学恢复生态学研究所 陆兆华 滨州学院山东省黄河三角洲生态环境重点实验室

**摘 要** 构建环渤海区域可持续发展指标体系,采用社会经济各相关部门的数据和资料,运用熵值法对环渤海区域 2001-2010 年的可持续发展水平及其社会、经济、环境子系统的可持续发展状况进行定量分析。结果表明:基于熵值法确定的区域可持续发展各评价指标的权重较符合实际;研究时段内环渤海区域可持续发展水平呈现逐步增长的趋势,年增长率为 31.08%;该区域的可持续发展水平的上升主要源于经济子系统的变化,究其根本是依靠要素投入带来的经济规模的变化,这种发展是不可持续的。研究结果可为环渤海经济圈的可持续发展研究奠定基础,也对类似区域有一定的借鉴意义。

**关键词** 熵值法;可持续发展评价;环渤海区域

**免责声明** 本文仅代表作者个人观点,与中国 21 世纪议程管理中心、中国可持续发展研究会及联合国均无关。

*Disclaimer: This brief was submitted through the Administrative Centre for China's Agenda 21 (ACCA21), Ministry of Science and Technology, China, and the Chinese Society for Sustainable Development (CSSD). The views and opinions expressed are those of the author(s) and do not necessarily represent the views of, and should not be attributed to, the Secretariat of the United Nations, the ACCA21 or the CSSD. Online publication or dissemination does not imply endorsement by the United Nations. For further information, please contact Mr. Sun Xinzhang (sunxzh@acca21.org.cn)*

对区域可持续发展的度量和评价是实施区域可持续发展战略的基础和核心环节<sup>[1]</sup>,其实质是针对研究对象的社会—经济—环境复合系统整体水平的评估和预测<sup>[2]</sup>。常见的评价方法包括绿色 GDP 核算<sup>[3]</sup>、人类发展指数模型<sup>[4]</sup>、生态足迹<sup>[5,6]</sup>、能值分析<sup>[7]</sup>、指标体系法<sup>[8]</sup>等,也包括神经网络、遗传算法、蚁群算法等线性和非线性模型<sup>[9]</sup>等新兴方法。从评价方法来看,基于指标体系的综合评价方法因能较全面地反映和囊括整个可持续发展复杂巨系统而颇受学者青睐,覃成林<sup>[10]</sup>等采用主成分分析方法评价了河南省可持续发展水平,陈群元<sup>[11]</sup>等运用改进的层次分析法对东北地区可持续发展进行了纵向评价,朱新玲等<sup>[12]</sup>等通过因子分析法评价了武汉城市圈 9 个城市的可持续发展能力,崔和瑞<sup>[13]</sup>运用因子分析和聚类分析方法对河北省农业可持续发展状况进行了综合评价。

可持续发展系统的复杂性不仅决定了评价方法、模型选择和建立的困难,也严格要求对指标的赋权方法。一般可采取主观和客观赋权法,其中前者较受人为的知识和经验的影响,从而在某种程度上影响结果的客观性,本研究拟采用熵值法较客观地评价区域的可持续发展水平。环渤海区域是中国三大经济圈之一<sup>[14]</sup>,也是中国经济的第三增长极和中国北方经济最活跃和发达的区域,主要包括京津冀、辽宁、和山东在内的三省二市,因此评价环渤海区域的可持续发展是该区域实现可持续发展的基本前提,也可为中观尺度研究提供示范。

## 1. 研究原理与方法

熵是源于统计物理和热力学中的概念,在综合评价中信息熵被应用于评价所获系统中信息的有序程度和信息的效用值,用于描述样本数据变化的相对速率,若系数越接近于 1,距目标就越近,反之则越远,它与信息两者绝对值相等,但符号相反,因此可揭示指标变化的相对幅度<sup>[15]</sup>。运用熵值法能够揭示出指标数据间信息熵值的效用值,由此计算出的指标权重结果比层次分析法和德尔菲法等主观赋权法的可信度更高<sup>[16]</sup>。

### 1.1 数据预处理

依据文献<sup>[16]</sup>对多指标无量纲化方法的讨论,本文采用均值化方法对指标进行无量纲化,避免出现极差法和 z-score 等处理方法所致的对原始数据群差异性的消除以及权重过分依赖极大和极小值的不足,并在均值化处理之前对逆向指标用倒数法做同趋势化处理<sup>[17]</sup>。

### 1.2 基于熵值法的可持续发展评价

假设区域可持续发展系统中某一子系统有  $n$  个指标,  $m$  个年份序列,由此形成的原始数据的矩阵为

$X = (x_{ij})_{m \times n}$ , 则第  $j$  项指标的信息熵值  $e_j$  计算式为:

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m y_{ij} \ln y_{ij} \quad (1)$$

信息效用值  $d$  为:

$$d = 1 - e_j \quad (2)$$

若信息效用值越大则指标所占地位越重要, 对评价结果的影响也越大, 因此最后第  $j$  项指标的权重则由下式可得:

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (3)$$

则社会、经济或环境子系统的综合评价结果  $F$  为:

$$F = \sum w_j y_j \quad (4)$$

**表 1 环渤海区域可持续发展评价指标体系**

社会子系统指标	经济子系统指标	环境子系统指标
C1 失业率	C13 人均 GDP(元)	C23 人均水资源 ( $m^3$ )
C2 人均居住面积 ( $m^2$ )	C14 经济密度(元/ $m^2$ )	C24 万元 GDP 能耗 (tce)
C3 成人识字率	C15 人均财政收入 (元)	C25 人均森林蓄积量 ( $m^3$ )
C4 平均预期寿命 (岁)	C16 人均出口额 (元)	C26 自然保护区占国土面积比重
C5 全社会人均可支配收入(元)	C17 人均固定资产投资(元)	C27 人均 $SO_2$ 排放量(kg)
C6 城镇居民与农民人均收入比	C18 人均消费品零售额(元)	C28 人均 COD 排放量(kg)
C7 城市化率	C19 第一产业占 GDP 比重	C29 人均工业固废排放量(kg)
C8 全社会恩格尔系数	C20 第三产业占 GDP 比重	C30 环境污染治理投资占 GDP 比例
C9 每万人医疗卫生床位(张)	C21 在岗职工平均工资(元)	C31 工业固废综合利用率
C10 每万人口大学生数(人)	C22 全社会劳动生产率	C32 工业废水排放达标率
C11 人均邮电业务量(元)		C33 工业烟粉尘排放达标率
C12 人均公路里程数(km)		C34 工业 $SO_2$ 排放达标率

有关数据主要来源于《国家统计年鉴》(2002-2011)、《北京统计年鉴》(2002-2011)、《天津统计年鉴》(2002-2011)、《河北经济年鉴》(2002-2011)、《山东经济年鉴》(2002-2011)、《辽宁经济年鉴》(2002-2011), 并由相应年份的中国环境统计年鉴和各类公报等补充。

## 2 指标体系和数据来源

基于数据可得性和可行性综合和全面地考虑了子系统发展状况并构建了环渤海区域的指标体系(表 1), 社会子系统的指标从人民生活水平(C1-C6)和社会发展水平(C7-C12)两方面选取, 经济子系统的指标从经济规模(C13-C18)、经济结构(C19、C20)和经济效益(C21、C22)三方面指出, 而环境子系统的指标从资源水平(C23、C24)、生态指数(C25、C26)、环境污染(C27-C29) and 环境保护(C30-C34)等方面选择。为满足指标选取的实用性、可操作性, 尽可能实现均值、单位均值和百分率等形式表示, 如人均值、密度、利用率和达标率等。

## 3 结果与分析

依据已建立的环渤海区域可持续发展评价指标体系, 按照各省市各指标所占比重综合加权得到环渤海区域各指标的数据, 分别对环渤海区域社会、经济和环境子系统 2001-2010 年的原始数据进行同趋势化(倒数法)和标准化(均值法)预处理, 得到十个时间样本下的标准化值, 然后运用式(1)-式(3)求得各指标的权重结果, 见图 1。最后结合标准值和式(4)即得到社会、经济和环境子系统的评价结果, 并在此基础上进行综合评价, 见表 2。

### 3.1 基于熵值法的可持续发展指标体系权重的计算

图 1 展示了环渤海区域可持续发展系统中各指标的权重分布状况, 其中横轴为社会、经济和环境子系统的指标序列号(经济子系统只选取了 10 个指标), 由图可知社会子系统中 C3(成人识字率)和 C4(平均预期寿命)所占比重最高, 其次是 C1(失业率)和 C6(城镇居民与农民人均收入比), 某种程度上也说明这些指标应该是提高该区域社会进步水平的关键因子。而经济子系统中指标权重较高的有表征产业结构的 C19 和 C20、表征经济增长和规模的 C13 和 C17 以及表征经济效益的 C22, 由此验证了这些指标是区域可持续发展进程应当重点关注的方向。图中也显示了环境子系统评价过程中各指标所占的比例, 较高比例的为 C29 和 C23, 其余指标所占权重都相差无几, 说明在生态环境可持续发展进程中, 水资源、能源、生态资源的合理利用和保护, 大气、水中污染物及固废的控制等方面都应当加大力度, 不可削弱任一方面的地位。

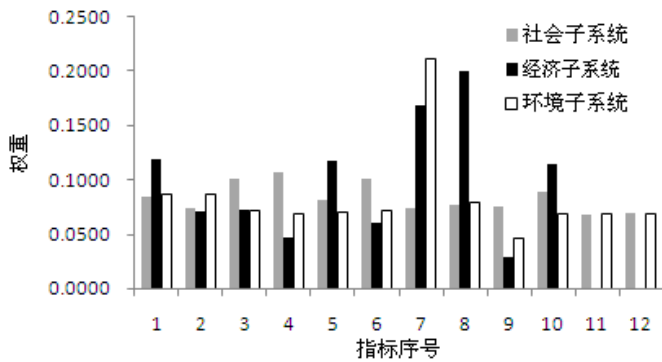


图1 环渤海区域可持续发展指标权重分布图

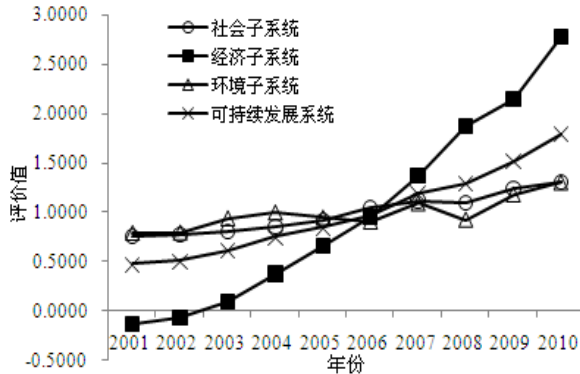


图2 环渤海区域 2001-2010 年可持续发展系统及各子系统评价价值变化图

表2 环渤海区域 2001-2010 年可持续发展评价结果

年份	社会子系统评价价值	经济子系统评价价值	环境子系统评价价值	可持续发展评价价值
2001	0.7607	-0.1358	0.7948	0.4732
2002	0.7732	-0.0754	0.7996	0.4991
2003	0.8025	0.0873	0.9448	0.6115
2004	0.8552	0.3717	1.0044	0.7438
2005	0.9166	0.6583	0.9508	0.8419
2006	1.0452	0.9426	0.9125	0.9668
2007	1.1203	1.3628	1.0974	1.1935
2008	1.0947	1.8644	0.9317	1.2969
2009	1.2392	2.1502	1.1884	1.5259
2010	1.3056	2.7739	1.3107	1.7967

### 3.2 社会子系统评价

社会发展的本质应当是改善人类生活质量，提高人类健康水平，也是可持续发展最终目标和落脚点。由表2可知环渤海区域可持续发展水平从2001年的0.7607到2010年的1.3056，年增长率为7.96%。从社会子系统的原始数据来看：成人识字率、全社会人均可支配收入、城市化率、人均邮电业务量等上升幅度和速率都很大，全社会恩格尔系数呈现一定程度的下降趋势，失业率和人均居住面积变化程度较稳定，而城镇居民与农民人均

收入比在前五年上升较快而后五年逐渐稳定下来。这说明在国家“十五”和“十一五”期间环渤海区域人民生活水平逐年得到了改善，为该区域的社会发展奠定了较好的基础，但城乡差距方面还有待改善。

### 3.3 经济子系统评价

2001-2010年环渤海区域经济可持续发展水平持续上升(图2)，从-0.1358到2.7739，且比其他子系统度更明显，这表明区域内各省在经济增效等方面取得较大发展，经济总体形势运行良好。但是通过分析原始数据得知，各经济指标间的增速有很大差异，表征经济效益和结构的指标的增长较慢于表征经济规模的指标(人均GDP, 人均出口额和人均固定资产投资等)，说明2001-2010年环渤海区域的经济发展主要是依靠要素投入的拉动，由于该区域内部各省域间缺乏高度协作沟通和深度产业分工，以及产业趋同和不良竞争等问题都亟待解决。

### 3.4 环境子系统评价

结合表2和图2可知，环渤海区域环境子系统的可持续发展水平在十年间呈现缓慢增长的趋势，年增长率为7.21%，且增长幅度在各子系统中最低。其中2008年轻微下降后又回升，返查原始数据得知是由于占环境子系统权重最大的工业固废指标值在2008年稍高于其他年份所致，证实了指标的变化对整个系统评价价值的影响，因此若是资源水平的降低或某种污染物的增长都会导致环境子系统可持续发展水平不同程度的下降，进而影响整个区域的可持续发展水平。该区域有很多老工业基地，污染物、水资源量与人口、耕地的矛盾非常尖锐，问题错综复杂，但当前可注重加强各省域内部的环境子系统的水平，以及各行政区之间的资源调配关系等。

### 3.5 区域可持续发展水平

将社会、经济和环境子系统在区域可持续发展水平中的地位等同，由各子系统加权计算可得区域可持续发展水平，由表2可知环渤海区域的可持续发展水平在2001-2010年间保持增长的趋势，评价价值从0.4732上升到1.7967，年增长率为31.08%。由图2可看出环渤海区域可持续发展水平的增长主要是由经济子系统拉动，根据以上分析实质上是依靠经济规模的提高或者要素投入，说明此种情况下环渤海区域的可持续发展发展仍然迫切要求科技进步与创新、产业结构优化、提高资源水平和能耗、生产模式集约化等。

#### 4. 结论与讨论

综上, 2001-2010 年环渤海区域及各子系统的可持续发展水平均呈现增长的趋势, 却是主要建立在依靠要素投入带来的经济规模变化的基础上, 这种发展是难以长久持续的。研究时段内该区域社会和环境子系统的可持续发展水平的进步尚显微弱, 说明当前的社会制度、科技水平和生态环保水平的进步还远远不能填补与可持续发展的空白, 因此亟需从根本上解决问题。比如区域内的天津、大连、青岛三大枢纽港可加强信息交流和分工合作, 结合各枢纽港的腹地整合各种资源以实现港区一体化, 承接国际产业转移中制造业的中高端环节和现代服务产业, 发展外向型经济, 但有关政府和管理部门在有政策和资金发面给予相应的支持。

以上实证研究证明基于熵值法评价区域可持续发展是可行的, 分析过程简单易行, 评价结果直观明了, 可操作性高, 但由于熵值法本身只适于一次性评价的缺陷, 区域内空间演变方面的研究将是下一步的工作目标。

#### 参考文献

[1] 曹斌, 林剑艺, 崔胜辉. 可持续发展评价指标体系研究综述[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(3): 99-105.

Cao B, Lin J Y, Cui S H. Review on Assessment Index of Sustainable Development[J]. Environmental Science & Technology, 2010, 33(3): 99-105.

[2] Kates R, Clark W C, Corell R, et al. Environment and development: sustainability science[J]. Science, 2001, 292(5517):641-642.

[3] Eugenio FB, Carlos OR, Enrique CT. 2010. Green Accounting and Sustainability of the Peruvian Metal Mining Sector[J]. Resources Policy, 35:156 - 167.

[4] Dumith SC, Hallal PC, Reis RS, et al. 2011. Worldwide prevalence of physical inactivity and its association with human development index in 76 countries[J]. Preventive medicine, 53(1): 24-28.

[5] Wackernagel M, Monfreda C, Schulz N B, et al. 2004. Calculating national and global ecological footprint time series: resolving conceptual challenges[J]. Land use policy, 21(3): 271-278.

[6] 付会霞, 张彦明, 尹志红等. 基于生态足迹模型的黑龙江省可持续发展研究[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(4):961-964, 968.

Fu H X, Zhang Y M, Ying Z H, et al. Study on sustainable development in Heilongjiang based on ecological footprint model [J]. Science

Technology and Engineering, 2012, 12(4):961-964, 968.

[7] 孙玥, 程全国, 李晔等. 基于能值分析的辽宁省生态经济系统可持续发展评价[J]. 应用生态学报, 2014, 25(1):188-194.

Sun Y, Cheng Q G, Li Y, et al. Assessment of eco-economic system sustainable development of Liaoning Province based on emergy analysis[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(1):188-194.

[8] Ronchi E, Federico A, Musmeci F. 2002. A system oriented integrated indicator for sustainable development in Italy[J]. Ecological Indicators, 2(1): 197-210.

[9] 李祚泳. 可持续发展评价模型与应用[M]. 科学出版社. 2007, 68-75.

Li Z Y. Li, Z.Y. Sustainable development assessment model and application [M]. Beijing: Science Press. 2007, 68-75.

[10] 覃成林, 刘迎霞. 河南区域可持续发展能力实证分析[J]. 地域研究与开发, 2005, 24(3): 11-15.

Qin C L, Liu Y X. A positive study on the abilities of regional sustainable development in Henan [J]. Areal Research and Development, 2005, 24(3): 11-15.

[11] 陈群元, 宋玉祥. 东北地区可持续发展评价研究[J]. 中国人口资源与环境, 2004, 14(1): 78-83.

Chen Q Y, Song Y X. Study and assessment of sustainable development of northeast China[J]. China, population, resources and environment, 2004, 14(1): 78-83.

[12] 朱新玲, 黎鹏. 武汉城市圈可持续发展能力综合评价[J]. 中南民族大学学报: 自然科学版, 2010, (2): 125-128.

Zhu X L, Li P. Evaluation on the Sustainable Development of Wuhan Urban Circle. Journal of South-Central University for Nationalities (Nat. Sei. Edition), 2010 (2): 125-128.

[13] 崔和瑞. 河北省农业可持续发展状况的综合评价[J]. 统计与决策, 2008, 12:103-105.

Cui H R. Comprehensive evaluation on agricultural sustainable development of Hebei province[J]. Statistics and Decision, 2008, 12:103-105.

[14] 邹卫星, 周立群. 区域经济一体化进程剖析: 长三角, 珠三角与环渤海[J]. 改革, 2010, 10:86-93.

Zou W X, Zhou L Q. Analysis of regional economic integration: Yangtze River Delta, Pearl River Delta and Bohai Rim Region[J]. Reform, 2010, 10:86-93.

[15]赵丽,朱永明,付梅臣,等.主成分分析法和熵值法在农村居民点集约利用评价中的比较[J].农业工程学报,2012,28(7):235-242.

Zhao L, Zhu Y M, Fu M C, et al. Comparative study on intensive use of rural residential land based on principal component analysis and entropy method [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(7): 235-242.

[16]袁久和,祁春节.基于熵值法的湖南省农业可持续发展能力动态评价[J].长江流域资源与环境,2013,22(2):152-157.

Yuan J H, Qi C J. Dynamic assessment of regional agricultural sustainability of Hunan province based on entropy method [J]. Resources and environment in the Yangtze Basin, 2013, 22(2): 152-157.

[17]叶宗裕.关于多指标综合评价中指标正向化和无量纲化方法的选择[J].浙江统计,2003,(4):24-25.

Ye Z Y. The choice of positive change and normalization method of indicators in multi-index evaluation [J]. Zhejiang Statistics, 2003, (4): 24-25

**作者简介:**檀菲菲,博士生,主要研究方向为生态与可持续发展。联系地址:北京市海淀区学院路丁11号中国矿业大学化学与环境工程学院(逸夫楼622室),邮编:100083。电子邮箱:[tanfeil29x@163.com](mailto:tanfeil29x@163.com)。

**通讯作者:**陆兆华,博士,教授,博导。E-mail:[lu\\_zhh@263.net](mailto:lu_zhh@263.net)

**基金项目:**国家自然科学基金项目(71273260/G0312);中国矿业大学(北京)博士研究生拔尖创新人才培养基金项目(800015Z668)。