

Energy-Based Urban Ecosystem Health Assessment: A Case Study of Zhoushan

Xuan Li, Weiqing Jiang, Sheng Zhao*

Zhejiang Ocean University, Zhoushan Zhejiang
Email: *710332034@qq.com

Received: Oct. 15th, 2015; accepted: Oct. 31th, 2015; published: Nov. 3rd, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

A healthy ecosystem is stable and sustainable, can maintain organizational structure and autonomy and has resilience to stress by itself. The emergy theory builds a bridge of communication between economic development and natural environment. This paper uses the emergy analysis method to establish evaluation indicators of ecosystem health of Zhoushan, pointing out that zhoushan as a tourist city organization structure is not perfect, environmental load is heavy, and that ecosystem carrying capacity reduces year by year. That's why we need to start with reduce environmental stress, gradually reducing the interference of urban ecological system, which greatly improves the restoring force, increases the capacity of system bounce back, restores one's capacity to maintain structure and pattern, and realizes the healthy and harmonious development of the city.

Keywords

Emergy, Ecosystem Health Assessment, Zhoushan

基于能值分析的舟山市生态系统健康评估

李璇, 蒋伟情, 赵晟*

浙江海洋学院, 浙江 舟山
Email: *710332034@qq.com

收稿日期: 2015年10月15日; 录用日期: 2015年10月31日; 发布日期: 2015年11月3日

*通讯作者。

文章引用: 李璇, 蒋伟情, 赵晟. 基于能值分析的舟山市生态系统健康评估[J]. 世界生态学, 2015, 4(4): 93-99.
<http://dx.doi.org/10.12677/ije.2015.44013>

摘 要

一个健康的生态系统是稳定的和可持续的,在时间上能够维持它的组织结构和自治,也能够维持对胁迫的恢复力。能值理论为经济建设与自然环境建立了一个沟通的桥梁。本文用能值分析方法,建立了应用于对舟山市生态系统健康的评估指标,指出舟山作为旅游城市组织结构尚不完善,环境负荷大,生态系统承载力逐年降低,因此仍需从降低环境胁迫入手,逐步降低城市生态系统干扰,使其恢复力得以提高,增加系统反弹恢复的容量,使之恢复维持结构与格局的能力,实现城市健康和谐发展。

关键词

能值,生态系统健康评估,舟山

1. 引言

1.1. 基于能值的生态系统健康

城市生态系统是一个社会—经济—自然复合生态系统,各要素在其中均不是孤立存在,每个要素都统一于系统某一指定的位置上,发挥特定的作用。要素之间是一个互相依存、互相影响、互相交流,相互关联他们不适合作为单个因素,因此在评价过程中需要综合考虑之间的相互作用。通过能值理论,统一核算和模拟城市代谢过程中的物质、能量、人口等各种生态流,探讨城市生态系统在能量等级、环境容纳能力、生态经济效率等方面的特征,反映城市生态系统健康状况。

1.2. 国内外研究现状

随着社会的发展,人们的环保观念不断增强,对于生态系统健康越来越关注,对生态系统健康的研究也越来越深入。评估城市生态系统健康情况,其关键是选择合适的评价标准,并构建相应的评价指标,以更加准确地衡量某个城市生态系统是否健康。

在研究生态系统健康方面,我国涌现越来越多的研究者。如袁兴中、孔红梅、刘敏超、赵伟等。虽然很多学者对于生态系统的健康评价指标和方法等方面进行了研究,但是对于特定生态系统(如森林、河流、农田、湿地等生态系统)健康的研究较少,尤其是对某个实际城市生态系统健康评价体系及评价指标的研究较少[1]。

Rapport 提出以“生态系统危险性症状(EDS)作为生态系统非健康状态的指标”。Costanza 从系统可持续性能力的角度出发,提出了三个描述系统状态的指标:活力、恢复力、组织结构,并在此基础上对三个指标进行了综合评判。Jirgensen 等提出使用能质(Exergy)、结构能质(Structural exergy)和生态缓冲容量(Ecological buffer capacity)来评价生态系统的健康情况。Jerry 等采用驱动力—压力—状态—暴露—影响—响应模型对哈瓦那城市生态系统健康评价指标体系和评价方法进行了探索。Vassallo 等运用热力学和神经网络的方法对沿海区域生态系统健康进行评价,并选择了环境质量预警物质[2]。

2. 研究对象及方法

2.1. 舟山市概况

舟山市位于浙江省东部,地理位置北纬 29°32'~31°04',东经 121°30'~123°25'之间。全市总面积 2.22 万平方公里,其中海域面积 2.08 万平方公里、陆域面积 1440 平方公里,东西长 182 千米,南北宽 169

千米。全市由 1390 个岛屿组成，占全国的五分之一[3]。

舟山群岛四面环海，属北亚热带南缘季风海洋型气候。年平均气温 16℃左右，常年降水量 927~1620 毫米。年平均日照 1941~2257 小时，太阳辐射总量为 $4126 \times 10^6 \sim 4598 \times 10^6$ 焦耳/平方米，冬暖夏凉，温和湿润，光照充足适宜各种生物群落生存，为渔农业生产提供了良好条件。群岛主要以旅游业等二三产业为主，群岛的分布成东西成行、南北成列、面上成群的分布格局；济南岛屿多且大、地势高，远岸岛屿少且小、地势低；近岸岛屿的环境受大陆水系的影响较大；岛屿的分布格局造成了众多大小不等情况各异的海区和水道。

2.2. 能值分析理论

能值分析是以能值为基准，把生态系统或生态经济系统中不同种类、不同等级、不可比较的能量转换成同一标准的能值来衡量和分析，从中评价其在系统中的作用和地位；综合分析系统中各种生态流(能物流、货币流、人口流和信息流)，得出一系列能值综合指标，定量分析系统的结构功能特征与生态经济效益[4]。

2.2.1. 能值分析理论

首先将生态系统中的能量流动作为课题进行研究的是全球著名的生态学家 H. T. Odum。1987 年，H. T. Odum 将能值的定义修订为“产品或劳务形成过程中直接或简介接入应用的一种有效能量”，这就是在生态系统中产品所具有的能值参数。能值的权威定义是：“一种流动或贮存的能量中所包含的另一种类别能量的数量”，作为一个全新的科学概念，能值很有效地度量生态系统能量的流通状况，评价生态系统的健康。

在实际应用中，任何含有存储的或者流动的、已经消耗的太阳能之量的综合，即为该对象的太阳能值。任何对象均可以通过太阳能值表现出来是因为，任何原始能量均始于太阳能。例如 1 毫升雨水降落在地上，包含了 7.5×10^2 sej 的太阳能值，即，通过这一毫升水， 7.5×10^2 sej 的太阳能值流动到了地上。Odum 提出了一个比较合理的生态系统总能量使用量的计算公式： $U = N_0 + N_1 + R + IMP$ 。在该计算公式中，U 代表的是系统总能值使用量，N0 是较粗放使用的自然资源，N1 是集约使用的自然资源，R 是可更新资源，IMP 是总进口(包括旅游业、进口劳务和利用的外资) [5]。

2.2.2. 能值转换率

能值转换率(Energy Transformity)指的就是形成一个单位能量或者物质所需要的其它能量物质的数量。太阳能转换率，可想而知，指的就是形成一个单位能量或者物质所需要的太阳能值(如表 1)。一般的情况下，将太阳能能值定义为：产生 1 焦耳产品或服务所需要投入的太阳能能值。单位为 sej/J。例如形成 LJ 木材的能量，需要 3.5×10^5 焦耳的太阳能转化而来，那么木材的太阳能转换率即为：35,000 sej/J [2]。

太阳能能值与太阳能转换率之间有固定的计算方式： $N = S \times B$ 。其中 N 为太阳能能值，S 为太阳能转换效率，B 为可以使用的能量。通过太阳能值转换率可以计算得出某种物质、能量或劳务的太阳能值。H. T. Odum 和合作者从地球系统和生态经济角度换算出自然界和人类社会主要能量类型的太阳能值转换率，可用于大系统如国家、区域、城市系统的能值分析。根据各种资源(物质、能量)相应的太阳能值转换率，可将不同类别能量(J)或物质(g)转换为统一度量的能值单位(sej)。

2.3. 舟山市生态系统健康评估

目前众多学者普遍的看法是，可通过生态系统的活力、组织结构、恢复力、生态系统服务功能的维持、管理选择、外部输入减少、对邻近系统的影响及人类健康影响等 8 个方面来衡量生态系统的健康状况

Table 1. The energy conversion rate of the energy common type
表 1. 常见能量类型的能值转换率

能量类型	太阳能值转换率/sej/J	能量类型	太阳能值转换率/sej/J
太阳光	1	波浪、海潮机械能	17,000~29,000
风动能	623	燃料	18,000~58,000
有机物质	4420	食物、果菜、粮食、土产品	24,000~200,000
雨水势能	8888	高蛋白食物	1,000,000~4,000,000
雨水化学能	15,423	人类劳动	80,000~5,000,000,000
河流势能	23,564	资料信息	10,000~10,000,000,000,000
河流化学能	41,000		

况。这主要是针对自然生态系统提出的，作者将其引申到城市生态系统中，结合城市这一人工复合生态系统的特 点，选择活力、组织结构、恢复力、生态系统功能的维持、人群健康状况作为城市生态系统健康评价的 5 个要素，针对每个要素所涵盖的内涵提出相应的指标，最后构成城市生态系统健康评价指标体系[6]-[8]。

活力即其活性、代谢及初级生产力。可用初级生产力和经济系统中单位时间的货币流通率来表示。对城市生态系统来说，可用经济生产力、能流和物流的利用效率来表示。

组织结构指生态系统组成及途径的多样性。城市生态系统的结构包括经济结构、社会结构、自然结构，可分别用相应的几个指标来评价其结构是否合理。

恢复力是生态系统维持结构与格局的能力。即胁迫消失时，系统克服压力及反弹回复的容量。由于城市生态系统的分解者功能微乎其微，城市发展产生的大量废物得不到分解，几乎全部用人工的废物处理设施来还原。因此城市生态系统的恢复力可理解为城市废物处理能力、物质循环利用率等[9]。

生态系统服务功能的维持是人类评价生态系统健康的一条重要标准。不健康的生态系统对人类的服务功能的质和量均会减少。城市生态系统对人类的服务功能主要表现在它是提供人类生产、生活的载体，城市的环境质量的好坏及人们的生活便利程度直接影响着生态系统服务功能的优劣。

因此，对于舟山市的生态系统健康评估，主要从生态系统的活力、组织结构、恢复力、生态系统服务功能的维持 4 个方面进行评估。本文收集了舟山市 2008~2012 年的相关数据，得出了舟山市生态系统的能值分布以及各评估指标的情况。

3. 结果与讨论

3.1. 城市生态系统活力

舟山市经济的快速发展主要依赖于第二产业和第三产业，由于投入的有偿性，系统的竞争能力较弱，环境负载能力大。从活力指标进行分析，在 2008~2012 年的数据之中，舟山能值投资率表现出不断降低的现状，揭露了系统开发程度波动中逐渐降低，但是其竞争力在不断加强。在这五个年头里，舟山电力能值逐比逐年上升，说明舟山市工业水准的不断提高，活力呈现出蓬勃发展的局势。

净能值产出率指标呈波动上升趋势，表征城市社会经济子系统的循环反馈过程能够逐步满足经济活动所需的基础能源资源[10]。指标的变化趋势说明舟山经济效率在逐年升高，系统活力总体保持上升态势(表 2)。

3.2. 城市生态系统组织结构

从不可更新资源能值比的变化可以看出，5 年里，舟山市不可更新资源能值比一直处于不断上升状

态,这一现象表明,舟山市资源利用结构还有待提高,处于以不可更新资源利用为主的状态。能值交换律却在不断下降,显示出舟山市作为一个工业产品出口城市财富贮存逐年减少,由于能值交换结构不合理导致本地能值的流失[11]。组织结构要素指标的变化趋势表明舟山生态系统结构仍未明显改善(表3)。

Table 2. The valuation index of ecosystem healthy emergy of Zhoushan from 2008 to 2012

表 2. 舟山市生态系统健康能值评估指标汇总表(2008~2012 年)

指标名称	2008	2009	2010	2011	2012
活力					
能值投资率(%)	4.12	4.27	3.85	3.96	3.47
电力能值比	1.1	2.1	2.4	3.8	4.9
净能值产出率	1.48	1.47	1.52	1.5	1.58
组织结构					
不可更新资源能值比(%)	19	20	22	23	24
能值交换率	109	98	87	74	60
恢复力					
环境负荷率	499	550	591	640	690
人口承载力	26,000	24,000	24,500	23,000	22,000
废弃物产生率(%)	4.1	4	4.1	4.2	6.4
服务功能维持					
能值自给率(%)	18.3	17.6	21.2	19.8	4.8
能值货币比率(%)	9.49×10^{13}	9.52×10^{13}	7.62×10^{13}	5.98×10^{13}	4.75×10^{13}
绝对密度	9.74×10^{12}	1.07×10^{13}	1.14×10^{13}	1.21×10^{13}	1.30×10^{13}
综合指标					
基于能值可持续发展指数(ESI)	0.0097	0.0087	0.0079	0.59	0.46
可持续发展能力					
能值指标(ESID)	1.04	0.88	0.75	0.59	0.46
城市生态系统健康					
能值指标	0.0106	0.099	0.113	0.12	0.126

Table 3. Ecosystem emery flow profile of Zhoushan from 2008 to 2012

表 3. 舟山市生态系统能值流简表(2008~2012 年)

指标名称	单位	2008	2009	2010	2011	2012
可更新资源能值	sej/a	2.10×10^{21}	2.10×10^{21}	2.10×10^{21}	2.10×10^{21}	2.10×10^{21}
不可更新资源能值	sej/a	5.40×10^{22}	5.10×10^{22}	5.41×10^{22}	6.95×10^{22}	6.99×10^{22}
进口能值	sej/a	2.21×10^{23}	2.44×10^{23}	2.5×10^{23}	2.7×10^{23}	2.81×10^{23}
出口能值	sej/a	2.06×10^{21}	2.44×10^{21}	2.89×10^{21}	3.26×10^{21}	4.34×10^{21}
总能值使用量	sej/a	2.70×10^{23}	2.96×10^{23}	3.17×10^{23}	3.37×10^{23}	3.61×10^{23}
人口	Person	2.04×10^6	2.04×10^6	2.04×10^6	2.04×10^6	2.04×10^6
GDP	dollars	2.85×10^{10}	3.11×10^{10}	4.16×10^{10}	5.23×10^{10}	6.70×10^{10}

3.3. 城市生态系统恢复力

随着舟山市工业的不断发展,其本身环境的负荷越来越大,从能值分析角度来看这个问题,近五年里,其能值投资率有所下降,但是环境的负荷却没有减少反而增大[12]。外界大量的能值输入以及过度开发本地不可更新资源是引起环境系统恶化的主要原因。同样人口承载力逐年减小,但人口总数却逐年增大。废弃物产生率指标也逐年增大,生态胁迫不断加大,由2008年的4.1%上升到2012年的6.4%,原因在于当年废气的排放量大幅度上升(表2)。

3.4. 城市生态系统服务功能维持

舟山能值自给率波动变化总体呈上升态势,但该指标均小于1,表明舟山市的发展依赖于外部的投入,经济的发展建立在摄取利用其他地区和国家财富的基础上,通过利用其他地区原始资源 and 产品,以达本地区经济的高速发展。能值货币比由2008年的 9.49×10^{13} sej/J下降至2012年的 4.75×10^{13} sej/J,可见舟山经济活动所需资源大多来从自然环境资源中获取,但随着城市规模扩张和工业化程度的增强,促进了自然环境资源对经济增长的贡献,但仍有限[13]。能值使用密度指标增加幅度很大,可知该地区能值使用的集约情形属于高度开发的地区,经济活动频繁。可见舟山居民生活福祉在快速经济增长下已日渐升高,但主要来自商品而非自然环境的贡献(表2)。

4. 结论

通过对舟山市生态系统能值的评估和分析显示,舟山市整体健康程度总体呈现上升状态,健康等级不断提高,这说明近几年子在国家大环境下,舟山市重视改变资源结构和利用效率,使得城市生态系统的组织结构和生态系统服务功能维持方面不断改善,社会、经济、自然结构趋向合理,居民生活福祉增加,健康程度提高。另一方面,舟山市作为旅游城市,环境负荷大,生态系统恢复力本身较低,而且还在逐年降低,仍需要从降低环境胁迫入手,逐步降低城市生态系统干扰,使其恢复力得以提高,增加系统克服压力及反弹恢复的容量,使之恢复维持结构与格局的能力。

基金项目

国家科技支撑计划(2012BAB16B02),国家海洋局海洋公益性行业科研专项经费项目(201305009-3)。

参考文献 (References)

- [1] 魏胜文,陈先江,张岩,等.能值方法与存在问题分析[J].草业学报,2011,20(2):270-277.
- [2] 江勇,付梅臣,王增,等.基于能值分析的武安市农业生态安全预警[J].农业工程学报,2011,27(6):319-323.
- [3] 蓝盛芳,李明国,夏磊,杨晟,等.舟山市生态畜牧业发展现状及对策分析[J].湖北畜牧兽医,2013,34(12):78-80.
- [4] 钦佩.生态系统的能值分析[J].应用生态学报,2001,12(1):129-131.
- [5] 汤萃文,苏研科,陈银萍,等.天祝县生态经济系统的能值分析[J].生态学杂志,2011,30(2):343-348.
- [6] 陈源泉,隋鹏,孙会慧,石培基.甘肃省农业生态系统能值演变及动态计量分析[C]//中国自然资源学会.中国自然资源学会2012年学术年会论文集,2012:1158-1158.
- [7] 裴雪.基于能值分析的哈尔滨农业生态系统评价[D].长春:东北农业大学,2013.
- [8] 张洁瑕,郝晋琨,段瑞娟,等.黄淮海平原农业生态系统演替及其可持续性的能值评估[J].农业工程学报,2008,24(6):102-108.
- [9] 陈志峰,曾玉荣,林晓桂,等.休闲农业园区生态系统经济能值投入产出分析[J].浙江农业学报,2011,23(6):1255-1260.
- [10] 罗昆燕,程鹏,池家西.基于能值分析的贵州生态经济系统可持续发展研究[J].中国农学通报,2012,28(32):

215-221.

- [11] 傅世枰, 王大庆, 张洋. 基于能值分析的黑龙江垦区农业生态经济系统可持续性[J]. 生态学杂志, 2013, 32(7): 1723-1729
- [12] 侯茂章, 朱玉林. 基于能值理论的湖南环洞庭湖区域农业产出研究[J]. 中国农学通报, 2013, 29(14): 61-68.
- [13] 李海涛, 廖迎春, 严茂超. 江西生态经济系统的能值分析[J]. 江西农业大学学报(自然科学版), 2003, 25(1): 93-98.