

烟台市牟平区生态承载力研究

张晨, 赵言文, 于莉, 徐涛

(南京农业大学 资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095)

摘要:以生态区建设为政策前提,以烟台市牟平区作为研究对象,从资源承载力、环境承载力以及人类支持能力 3 个方面,构建了研究区域生态承载力评价指标体系。利用 SPSS 和 Matlab 统计软件,将主成分分析法(PCA)和模糊综合评价模型(FSEM)相结合,对研究区域综合生态承载力做出定量评估,探讨了影响生态承载力变化的主要因素。研究结果表明,该区域生态承载力在 2006—2010 年间处于持续下降阶段,从较高的承载度转变为不可承载状态,其中资源承载力指数下降尤为明显。分析结果与牟平区的实际情况基本相一致,反映了构建的指标体系对生态环境比较敏感,经济迅速发展区域的生态承载力评价具有有效性及适用性,验证了主成分分析法与模糊综合评价模型相结合应用于生态承载力评价的准确性及易操作性。

关键词:生态承载力; 指标体系; 主成分分析; 模糊综合评价模型

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)04-0271-05

中图分类号: X8, X171.1

Evaluation on Ecological Carrying Capacity of Muping District, Yantai City

ZHANG Chen, ZHAO Yan-wen, YU Li, XU Tao

(College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China)

Abstract: Aiming at ecological zone construction, Muping district of Yantai City was selected as the study site. An index system for regional ecological carrying capacity(ECC) evaluation was established, including factors such as resource carrying capacity, environmental carrying capacity and social supporting ability. Using principal components analysis(PCA) and fuzzy synthetic evaluation model(FSEM) with SPSS and Matlab, the changes of ECC in Muping district from 2006 to 2010 were evaluated quantitatively. Furthermore, the main factors which caused the changes of the ECC were discussed. The ECC declined continuously from 2006 to 2010, downgraded from good level to incapable level, especially resources carrying capacity. The analysis results of this study reflected well the actual situation of Muping District, indicating the established evaluation index system is sensitive to regional ecological environment and has acceptable efficiency and applicability to evaluate ECC in the areas with rapid economic development. It was also confirmed that PCA and FSEM can be applied to evaluate the ECC adequately and operationally.

Keywords: ecological carrying capacity; index system; principal components analysis; fuzzy synthetic evaluation model

早期的承载力研究首先与生态学的发展密切相关。20 世纪 90 年代初国内学者开始对生态承载力进行研究,“生态承载力”概念的提出,丰富了“自然—经济—社会”复合生态系统可持续发展的内涵^[1-4],反映了生态系统自我维持、调节的能力^[5]和系统的受压状态与反馈能力^[6]。因此,生态承载力可综合表达资源可持续供给能力、生态环境纳污能力和人类支持作用能力^[7],是人类活动与自然界协调发展的重要判据和决策依据。

随着经济开发与资源、环境的矛盾日益凸显,如何实现经济、环境、社会和谐与可持续发展,是需要深入研究的重要课题。目前生态承载力研究被推至可持续发展研究的前沿,国内生态承载力的研究以生态足迹评价为主^[8-10],指标体系评价研究尚处探索阶段,生态承载力指标体系的建立还未形成统一完善的标准,评价指标过于繁冗^[11-12],评价方法较为单一^[13-14],评价过程中主观性误差较大,定量化仍是关键问题。本研究综合以往的研究成果,以烟台牟平为

收稿日期:2011-08-30

修回日期:2011-10-12

资助项目:国家自然科学基金重点项目“农村发展中生态环境管理研究”(70833001)

作者简介:张晨(1986—),女(汉族),陕西省铜川市人,硕士研究生,主要研究方向为环境监测、规划与评价。E-mail:zchen210095@126.com。

通信作者:赵言文(1965—),男(汉族),江苏省徐州市睢宁县人,博士,教授,研究方向为环境监测、规划与评价。E-mail:ywzhao@njau.edu.cn。

研究区域,从影响生态承载力因子的角度出发,简化了指标体系并检验了其可靠度,利用 SPSS 和 Matlab 软件技术,将主成分分析法(principal components analysis, PCA)和模糊综合评价模型(fuzzy synthetic evaluation model, FSEM)相结合,减少了人为因素对分析结果的干扰,更加系统、客观全面地分析了近 5 a 来研究区域生态环境对社会经济发展的承载力变化及其影响因素,通过对结果的分析,为区域生态承载力定量评估研究及牟平生态区规划决策提供依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

烟台市牟平区位于胶东半岛,总面积为 1 511 km²,海岸线 65 km。该区域属温带东亚季风区域大陆性气候,空气湿润、雨量偏大、冬暖夏凉、气候宜人的特点。年平均气温 11.5 ℃,多年平均降雨量为 763.9 mm,多年平均天然径流量为 3.60×10⁸ m³,干旱指数约为 1.75。自然资源丰富,山、海、岛、泉、河等资源齐备。该区辖 2 个街道,10 个乡镇,1 个省级开发区,总人口 45.5 万人。2010 年牟平地区国内生产总值为 164.1 亿元,三产比重为 13.28 : 55.15 : 31.57,近几年经济发展较为迅速。

1.2 评价指标体系的建立

在构建指标体系时,遵循代表性、独立性、简明易操作性及系统性等原则。

参照理论分析法、专家咨询法、层次分析^[15]、目标分层法^[16]等方法,根据研究区域的自然环境特性,结合建设项目的产业性质,从资源、社会、生态环境系统 3 个方面建立适合区域生态承载力评价的内容丰富、层次清晰、针对性强的指标体系,包括资源承载力、环境承载力以及人类支持能力 3 个方面,共 24 个指标(表 1)。

(1) 资源承载力指标^[17]。主要考虑各类资源对人类的供给水平,包括能源、水资源、土地资源、植被资源和旅游资源,各类资源占有量或可调用量越大,资源承载力越大。

(2) 环境承载力指标^[18]。包括大气环境、水环境和土壤环境。环境质量越好,剩余环境容量越大,区域的环境承载力越大。

(3) 人类支持能力指标^[19]。从管理和建设水平、技术进步水平和社会经济进步 3 个方面展开。环境管理与建设类指标主要为污染处理水平和生态建设水平的考核指标,技术进步表现在资源利用率的提高和排放系数的减少。

表 1 研究区域生态承载力评价指标体系

一级指标	二级指标
资源承载力 B_1	C_1^* 人均土地面积(m ² /人)
	C_2^* 人均耕地面积(m ² /人)
	C_3^* 粮食单产/(kg·hm ⁻²)
	C_4^* 花生单产/(kg·hm ⁻²)
	C_5^* 人均地表水资源总量(亿 m ³)
	C_6^* 人均地下水水资源总量/10 ⁸ m ³
	C_7^* 人均粮食产量/(kg·hm ⁻²)
	C_8^* 人均油料产量/(kg·hm ⁻²)
	C_9^* 人均果品产量/(kg·hm ⁻²)
	C_{10}^* 人均水产品产量/(kg·hm ⁻²)
环境承载力 B_2	C_{11}^{**} 二氧化氮年均值/(mg·m ⁻³)
	C_{12}^{**} 二氧化硫年均值/(mg·m ⁻³)
	C_{13}^{**} 可吸入颗粒物年均值/(mg·m ⁻³)
	C_{14}^{**} COD 年排放量/(mg·L ⁻¹)
	C_{15}^{**} 氨氮年排放量/(mg·L ⁻¹)
	C_{16}^{**} 化肥施用量(折纯)/(t·hm ⁻²)
	C_{17}^{**} 区域环境噪声年均值/dBA
人类支持能力 B_3	C_{18}^* 森林覆盖率/%
	C_{19}^{**} 工业固废综合利用率/%
	C_{20}^* 环保投资比重/%
	C_{21}^{**} 工业重复用水率/%
	C_{22}^{**} 工业年耗煤量(t/GDP)
	C_{23}^* 人均 GDP/元
	C_{24}^* 工业占 GDP 比例/%

注: * 数据参考牟平区统计年鉴(2006—2010 年); ** 烟台市环境监测报告(2006—2010 年)。

1.3 评价方法与评价模型

利用 SPSS 统计分析软件,对原始数据进行标准化,以消除指标间的量纲影响。采用主成分分析法^[20]对研究区域各项指标进行因子分析,应用模糊综合评价模型^[21-22],通过 Matlab 并参考主要因子分析的结果,对资源承载力、环境承载力以及人类支持能力 3 个子系统在生态承载力中相对重要程度进行判断,最终确定区域综合生态承载力指数,从而对牟平区生态承载力进行评价。

(1) 主成分分析法。将研究区域具有一定相关性的各项指标原值作线性组合,形成一组新的互相无关的综合指标来代替原来的指标,并以方差作为信息量的测度,对新指标体系进行降维处理,再通过综合评价函数进行系统转化。

(2) 模糊综合评价模型。将生态承载力看成是由多项指标组成的模糊集合,再设定这些指标所能选取的评审等级,组成评语的模糊集合,分别求出各指标对各个评审等级的归属程度,然后根据各指标在评价目标中的权重分配,通过计算,求出评价指数。

2 结果与讨论

2.1 数据处理结果

对牟平区生态承载力指标进行标准化处理结果详见表 2。分别对表 2 中环境承载力、资源承载力以

及人类支持能力进行主成分分析,分析结果详见表 3。

根据主成分累计贡献率 $F_1 + F_2 > 85\%$ 的原则,资源承载力、环境承载力和人类支持能力均选择第 1,第 2,第 3 主成分。

表 2 研究区域生态承载力评价指标体系标准化结果

目标层	指标层	指标	指标数据				
			2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年
资源承载力 B_1	资源承载力	C_1^{***} 人均土地面积	0.807	0.590	0.086	0.23	-1.714
		C_2^{***} 人均耕地面积	0.770	-0.509	-0.469	1.309	-1.101
		C_3^{***} 粮食单产/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	-1.002	0.179	-0.924	0.334	1.414
		C_4^{***} 花生单产/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	-1.583	-0.173	0.217	1.111	0.427
		C_5^{***} 人均地表水资源总量	-0.344	-0.410	-0.528	-0.502	1.784
		C_6^{***} 人均地下水资源总量	-0.345	-0.409	-0.529	-0.501	1.784
		C_7^{***} 人均粮食产量($\text{kg}/\text{人}$)	0.096	1.640	-0.579	-0.964	-0.193
		C_8^{***} 人均油料产量($\text{kg}/\text{人}$)	-0.459	0.524	0.197	1.180	-1.443
		C_9^{***} 人均果品产量($\text{kg}/\text{人}$)	-1.498	-0.542	0.502	0.657	0.882
		C_{10}^{***} 人均水产品产量($\text{kg}/\text{人}$)	0.253	0.806	0.964	-1.406	-0.616
环境承载力 B_2	环境承载力	C_{11}^{***} 二氧化氮年均值	-0.631	-1.307	0.721	0.045	1.171
		C_{12}^{***} 二氧化硫年均值	-0.440	-0.468	1.789	-0.423	-0.457
		C_{13}^{***} 可吸入颗粒物年均值	-0.167	-1.558	-0.028	0.807	0.946
		C_{14}^{***} COD 年排放量	0.931	0.494	0.713	-0.850	-1.288
		C_{15}^{***} 氨氮年排放量	-1.452	0.603	0.877	-0.630	0.603
		C_{16}^{***} 化肥施用量(折纯)	-1.130	-0.257	-0.232	0.005	1.614
		C_{17}^{***} 区域环境噪声年均值	-1.562	0.475	-0.373	0.985	0.475
人类支持能力 B_3	人类支持能力	C_{18}^{***} 森林覆盖率	-1.779	0.308	0.380	0.530	0.560
		C_{19}^{***} 工业固废综合利用率	0.522	0.370	-0.370	-1.784	0.522
		C_{20}^{***} 环保投资比重	-0.668	-0.646	-0.500	0.116	1.696
		C_{21}^{***} 工业重复用水率	0.807	-1.094	-1.094	0.658	0.723
		C_{22}^{***} 第二产业 GDP 耗煤量	1.668	-0.272	-1.016	-0.330	-0.051
		C_{23}^{***} 人均 GDP	-1.061	-1.061	0.299	0.917	0.906
		C_{24}^{***} 第二产业占 GDP 比重	0.761	1.038	-0.007	-1.503	-0.290

注:***为标准化处理后指标。

表 3 主成分因子的方差贡献率分析

指标	因子	贡献率/%	主因子	累计贡献率/%
资源承载力	F_1	52.165	F_1	52.165
	F_2	27.723	F_2	79.888
	F_3	11.851	F_3	91.739
	F_4	8.261		100.000
环境承载力	F_1	50.942	F_1	50.942
	F_2	24.313	F_2	75.255
	F_3	19.784	F_3	95.039
	F_4	4.961		100.000
人类支持能力	F_1	52.026	F_1	52.026
	F_2	29.867	F_2	81.893
	F_3	15.691	F_3	97.584
	F_4	2.416		100.000

通过模糊综合评价模型计算,得到环境承载力、资源承载力以及人类支持能力对应的权重系数分别为 0.533,0.386,0.081。然后根据权重系数对各子系统进行加权后综合评判,得到评价区生态承载力指数计算结果(表 4)。

表 4 生态承载力指数计算结果

年份	指标			
	生态承载力	资源承载力	环境承载力	人类支持能力
2006	1.209	1.701	1.305	-1.769
2007	0.481	0.665	0.553	-0.866
2008	0.022	-0.230	0.260	-0.342
2009	-0.707	-0.664	-1.025	1.175
2010	-1.058	-1.472	-1.093	1.145

2.2 生态承载力各子系统评价结果

2.2.1 资源承载力评价 由表 3 可得,第 1 主成分在资源承载力子系统内的贡献率达 52.165%,反映了人均土地面积、人均地表水资源总量、人均地下水资源总量、粮食单产 4 项指标与评价区资源承载力变化状况具有较好的相关性。因此,人均土地面积、人均水资源总量与水产品年产量是导致研究区域资源承载力变化的直接因素。由图 1 可知,研究区域资源承载力指数变化的总趋势与研究区域生态承载力指数的下降状态相符。资源承载力指数在 2006—2010 年期间迅速下降,2008 年进入负承载状态,说明该区域追求经济快速增长的同时,大量消耗自然资源,使得区域自然资源进入枯竭状态。

通过对研究区域的分析发现,近 5 a 来牟平区大力推广节水技术及水资源循环利用,保证了人均水资源总量稳中求长,缓解了水资源压力;但随着农业种植水平的提高,粮食单产也逐年递增,从而导致土壤养分及肥力逐年迅速弱化,并且大批城中村的改建及房地产快速开发,进一步强化了对区域土地资源的需求压力。

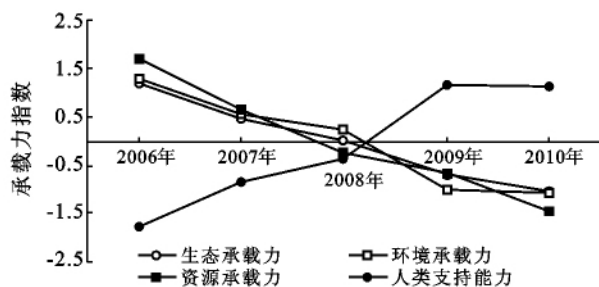


图 1 研究区域生态承载力及各子系统指数变化对比

2.2.2 环境承载力评价 由图 1 可知,环境承载力指数从 2006—2010 年的变化趋势为持续下降的状态,与研究区域生态承载力指数的变化趋势相一致。相比而言,2007 和 2009 年的下降速度较快,而 2008 和 2010 年资源承载力指数下降的趋势有所缓和。2010 年研究区域环境承载力指数为 -1.093,说明该区域环境承载力由较大承载度转变为不可承载。经分析,第一主成分在环境承载力子系统内的贡献率达 50.942%(表 3),主要包括 COD 年排放量和化肥施用量 2 项指标,表明 COD 年排放量和化肥施用量的变化是导致研究区域环境承载力下降的主要影响因素。

通过对研究区域的分析发现,牟平区农业面源污染问题日益显现,大量使用化肥农药,大部分不能被有效吸收而撒落到农田地面,有些残留于农田土壤中,有些流失到河流、水库,形成水土污染,由于区域

生态系统的自净过程缓慢,导致大量污染物蓄积于环境中,严重影响研究区域环境纳污能力。

2.2.3 人类支持能力评价 由图 1 可知,研究区域人类支持能力指数从 2006—2009 年有很大幅度地上升,同时,研究区域综合生态承载力指数的下降速度也有所减缓,这表明人类社会活动在促进社会经济快速发展的同时,也重视了环境保护,对生态系统有一定程度的积极影响。第 1 主成分在人类支持能力子系统内的贡献率达 52.026%,主要包括人均 GDP、第二产业占 GDP 比重这 2 项指标,通过对研究区域的分析发现,近几年牟平区创建三大工业园区,企业进行集群化和规模化发展,不断地进行技术改造和产业结构调整,使得企业总产值逐年攀升;同时,牟平区构建了工业与服务“双轮驱动”发展模式,经济总量不断提升,地方财政收入大幅度增加,提高了区域人均生活水平,当地民众的环保意识也逐渐加强,环保工作越来越被重视,从而改变了社会经济发展对生态系统造成的负面影响,缓解了对生态环境的压力。

2.3 生态承载力综合分析

生态承载力是由环境承载力、资源承载力和人类支持能力共同作用的结果^[23]。2006—2010 年研究区域生态承载力指数持续下降,2008 年后转为负值,说明研究区域生态承载力已达到不可承载的状态。

结合研究区域 2006—2010 年发展现状,通过图 1 分析可知,资源承载力指数的变化对区域综合生态承载力的影响最为突显。近年来,牟平区经济进入一个高速发展期,资源的消耗以及由此带来的环境污染不同程度地上升。随着企业扩增和产业发展,水产品养殖发展迅速,面源污染日益加重,直接影响水环境和土壤质量,人均有效耕地面积持续减少,水环境质量下降;化工产业的不断加速发展,也加快了研究区域及区域外资源的掠夺式开发利用,并不断向外界环境排放废弃物,导致资源严重短缺,环境恶化,降低了资源与环境的承载状况。虽然牟平区已开始加强环境保护,增加环保投资,使得人类支持能力有所提高,但其水平还处于较低阶段,未能扭转区域生态承载力降低的趋势。

3 结论

(1) 研究结果与牟平区实际情况基本符合,表明所建立的区域生态承载力评价指标体系的合理性及有效性,为生态承载力评价指标体系的完善提供依据。在区域生态承载力评价研究中,利用主成分分析法分析得到研究区生态承载力的主要影响因子,可以为模糊综合评价中权重的确定提供参考依据,一定程度上降

低了专家赋权导致的人为性偏差,增强了通过模糊综合评估模型计算的结果的准确性与可信度。并且,通过 SPSS 与 Matlab 软件,该研究方法具有易理解、简便、可操作操作的优点。但由于自然资源、社会环境的不同差异,不同区域的生态承载力也有所不同。

(2) 通过对研究区域 2006—2010 年的生态承载力及各子系统承载力变化分析得知,牟平区的生态系统已步入过度开发状态,资源供给压力尤其突出,是生态承载力下降的主要原因。这充分说明,在过去 5 a 的经济高速发展过程中,由于对资源循环再利用的重视不够,留下较严重的资源短缺问题。当然,产业发展造成的环境污染也较严重,由此形成的生态压力也十分严峻。并且,人类支持能力还处于较低水平,成为目前制约牟平区当地经济可持续发展的重要瓶颈,诸如产业结构、生产效率和高污染的生产工艺。

因此,牟平区在今后的发展中,应重点发展循环经济,提高资源使用效率,缓解资源供给压力。同时,控制污染物排放总量和浓度,推广清洁生产,提高环境质量。优化产业结构、提高生产效率、优化生产工艺等,科学合理进行各乡镇的功能定位,注重产业链循环建设和产业集群布设,创建现代农业发展体系,建设静脉工业园区,提高人类支持能力指标,建设为资源节约型、环境友好型可持续发展的生态区。

(3) 本研究构建的生态承载力指标体系仅适用于经济迅速发展、生态环境较敏感的区域,针对于特殊地形地貌的生态承载力模型,应该是需要深入研究的问题。虽然多指标综合评价的结果用数字表示,但其评价结果并不具有数学意义上的精确性,只能大体反映被评价对象的特点,其评价结果的准确与否并不是绝对的,需借助必要的定性分析解释研究结果的合理性。因此,生态承载力量化评价是仍要继续研究的问题。

[参 考 文 献]

- [1] 马世骏,王如松. 社会—经济—自然复合生态系统[J]. 生态学报,1984,4(1):1-9.
- [2] Brown M T, Ulgiati S. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: Monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation [J]. Ecological Engineering, 1997,9(6):51-69.
- [3] 李金海. 区域生态承载力与可持续发展[J]. 中国人口·资源与环境,2001,11(3):76-78.
- [4] 陆宏芳,蓝盛芳,彭少麟. 系统可持续发展的能值评价指标的新拓展[J]. 环境科学,2003,24(3):150-154.
- [5] Seidl I, Tisdell C A. Carrying capacity reconsidered: From Malthus' population theory to cultural carrying capacity [J]. Ecological Economics, 1999,31(2):395-408.
- [6] 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.
- [7] Low B, Costanza R, Ostrom E, et al. Human-ecosystem interactions: A dynamic integrated model [J]. Ecological Economics, 1999,31(7):227-242.
- [8] 张衍广等. 基于 EMD 的中国生态足迹与生态承载力的动力学预测[J]. 生态学报,2008,28(10):5027-5032.
- [9] 熊春梅. 黔东南苗族侗族自治州生态可持续性的评价[J]. 土壤通报,2010,41(1):179-184.
- [10] 李飞. 生态足迹与生态承载力动态变化研究[J]. 生态环境学报,2010,19(3):718-723.
- [11] 杜金辉. 山东省生态环境承载力评价指标体系探讨[J]. 中国环境管理干部学院学报,2008,18(1):10-14.
- [12] 陈乐天. 上海市崇明岛区生态承载力的空间分异[J]. 生态学杂志,2009,28(4):734-739.
- [13] 陈宏观. 基于层次分析法的东台市生态承载力研究[J]. 湖北农业科学,2010,49(3):759-761.
- [14] 谷文明. 区域开发生态承载力计算模型及其应用[J]. 哈尔滨商业大学学报:自然科学版,2011,27(3):300-303.
- [15] 中国科学院可持续发展战略研究组. 2006 中国可持续发展战略报告:建设资源节约型和环境友好型社会 [M]. 北京:科学出版社,2007.
- [16] 李刚,万绪才,刘小钊. 南京城市生态系统可持续发展指标体系与评价[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2002,26(1):23-26.
- [17] Gopal B. Evaluation of the livestock carrying capacity of land resources in the Hills of Nepal based on total digestive nutrient analysis [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2000,78(3):225-235.
- [18] Odum E P. Fundamentals of Ecology [M]. Philadelphia: W B Saunders,1972.
- [19] Geoffrey W. Cycles and capacity, incipient theory of conceptual contradictions [J]. Tourism Management, 1982,3(3):188-192.
- [20] 童其慧. 主成分分析方法在指标综合评价中的应用 [J]. 北京理工大学学报,2002,4(1):59-61.
- [21] 周嘉,张洪峰,尚金城,等. 模糊综合评判法在生态旅游战略环境评价中的应用[J]. 东北林业大学学报,2004,32(2):52-54.
- [22] 万金保,李媛媛. 模糊综合评价法在都阳湖水水质评价中的应用[J]. 上海环境科学,2007,26(5):215-218.
- [23] 许联芳,杨勋林,王克林. 生态承载力研究进展[J]. 生态环境,2006,15(5):1111-1116.