

广东省生态安全状态及趋势定量评价

高长波^{1,2}, 陈新庚^{2,*}, 韦朝海³, 彭晓春⁴

(1. 广东轻工职业技术学院, 广州 510300; 2. 中山大学环境科学研究所, 广州 510275;

3. 华南理工大学环境科学研究所, 广州 510640; 4. 国家环境保护总局华南环境科学研究所, 广州 510655)

摘要:为研究区域生态安全在不同时期的动态变化及发展趋势,在国内外已有的研究基础上,根据压力-状态-响应模型框架,提出了一套完整的区域生态安全水平度量的指标体系和基于熵权法赋权的综合指数评价方法,从时间尺度上(1990~2004年)对广东省生态安全进行定量评估和动态趋势分析。结果表明,广东省生态安全综合指数从1990年的0.125增加至2004年的0.402,生态安全整体水平呈逐年上升趋势,但发展过程中存在的问题是区域生态压力在不断加大及生态安全现状水平仍处于“较不安全”状态。对广东省环境规划的实施效果进行预测评估,得出在实现环境目标的情景下,2010规划年和2020规划年的生态安全综合指数将分别达到0.533(临界安全)和0.691(较安全)。评价方法简单直观,评价结果客观合理。

关键词:区域生态安全;评价;时间尺度;综合指数;广东省

文章编号:1000-0933(2006)07-2191-07 中图分类号:X171 文献标识码:A

Quantitative evaluation of ecological security status and trends: a case study of Guangdong Province, China

GAO Chang-Bo^{1,2}, CHEN Xin-Geng^{2,*}, WEI Chao-Hai³, PENG Xiao-Chun⁴ (1. Guangdong Industry Technical College, Guangzhou 510300, China; 2. School of Environmental Sciences and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 3. Institute of Environmental Sciences, South China University of Technology, Guangzhou 51640, China; 4. South China Institute of Environment Science, SEPA, Guangzhou 510655, China). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(7): 2191~2197.

Abstract: Ecological security is one of the foundations of regional security, and is the basis of sustainable development. Regional ecological security includes the natural ecological security, the economic ecological security and the social ecological security. Considering the inadequacies of dynamic analysis of the regional ecological security, based on historical research and related literature, and with the Pressure-State-Response (PSR) model framework as a basis, a 3-layer conceptual assessment index system and calculation model of regional ecological security was carried out. Using entropy weight and integrating index evaluation method, Guangdong Province was taken as a case study and its ecological security situation from 1990-2004 was assessed quantitatively. Furthermore, the prediction models of different ecological indices which include pressure index, state index, response index and ecological security integrated index (ESII) were established. Time series results showed that the ESII tended to increase continually in the last 15 years, from 0.125 to 0.402, while its ecological pressure become more intense. Therefore, this region is still in relatively unsafe ecological security situation according to the criterion of ecological security classification. A forecasting assessment based on the environmental planning scenarios was also made in this paper. It is expected that in 2010 and 2020, the ESII will become 0.533 (critically safe) and 0.691 (relatively safe), respectively. The process of evaluation indicated

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50278036);广东省自然科学基金资助项目(04300916);广东省财政厅资助项目(2003191)

收稿日期:2005-11-25; **修订日期:**2006-05-10

作者简介:高长波(1970~),男,浙江温州人,博士,主要从事环境评价和环境规划研究. E-mail: boeing222@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: eescxg@163.com

Foundation item: The project was supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50278036); Guangdong Province Natural Science Fund (No. 04300916); Research Foundation of Guangdong Finance Department (No. 2003191).

Received date: 2005-11-25; **Accepted date:** 2006-05-10

Biography: GAO Chang-Bo, Ph. D., mainly engaged in environmental assessment and planning. E-mail: boeing222@163.com

that the indices system and the assessment method were very simple and easily applied, and the research results were capable of providing useful decision information for evaluation of regional ecological security as well as ecological and environmental management.

Key words: regional ecological security; assessment; time series; integrated index; Guangdong Province

生态安全的概念自 1989 年由国际应用系统分析研究所提出以来,生态安全研究已成为国内外相关学科研究的前沿和热点之一^[1~3]。但由于研究对象的复杂性和特殊性,人们对生态安全的内涵认识不足,在评价指标体系和研究方法上还没有形成共识^[4,5]。而维持生态安全是实现区域可持续发展的基础^[6,7],区域生态安全评价可以为区域生态环境管理、决策提供科学的依据^[8]。因此,开展区域生态安全评价研究具有十分重要的科学意义和实践意义。国内外部分学者^[7~12]对生态安全的概念、特点和内涵等方面做了论述,一些研究者^[13~21]对生态安全评价做了探讨,但多为宏观和静态研究,到目前为止还缺乏对区域生态安全做时间序列的动态分析和变化趋势研究。

本文在国内外已有的研究基础上认为,区域生态安全是指在一定时空范围内,在自然及人类活动的干扰下,区域内生态环境条件以及所面临生态环境问题不对人类生存和持续发展造成威胁,并且系统生态脆弱性能够不断得到改善的状态。当区域生态系统受到干扰时,人类积极采取响应措施一方面调整自身的行为,另一方面净化污染的生态环境,保护和恢复其生命支持系统的生态服务功能。基于压力-状态-响应模型(Press-State-Response,简称 PSR 模型),提出了一套完整的区域生态安全水平度量的指标体系和综合评价方法,并以广东省为例,对广东 1990 年至 2004 年时间尺度的生态安全状态进行评价,另外还预测了广东在实现环境规划目标情景下的近期(2010 年)和远期(2020 年)的生态安全水平发展态势,旨在为促进区域生态安全动态变化研究以及为区域可持续发展管理提供决策依据。

1 区域生态安全评价方法

1.1 区域生态安全评价的指标体系

采用自上而下、逐层分解的方法,把区域生态安全分为 3 个层次,每一个层次又分别选择反映其主要特征的要害作为评价指标。第 1 层次是目标层(A),以区域生态安全综合指数为目标,用来度量区域生态安全的总体水平。第 2 层次是准则层(B),即“系统压力”、“系统状态”、“系统响应”3 个准则。压力指标反映人类活动给环境造成的负荷;状态指标表征环境质量、自然资源与生态系统的状况;响应指标表征人类面临环境问题所采取的对策与措施。这种方法在思路与经济合作发展组织(OECD)提出的 PSR 概念模型是一致的,OECD 的国家一致认为在开发环境指标时此模型非常实用可信,应该继续在 OECD 的环境数据和指标中使用^[22]。第 3 层次是指标层(C),根据系统性、指标选择的独立性、可比性、科学性和实用性,考虑到数据的可得性,在广泛研究国内外生态安全评价指标体系案例的基础上,通过多轮专家咨询方法,最后从 70 个备选指标中筛选出 34 项形成评价指标体系(见表 1)。

表 1 中需要说明的几个指标的物理意义有: $C_3 = (\text{能源自给量} / \text{能源消耗量}) \times 100\%$; C_4 按非农业人口数占总人口数的百分比计算; C_6 中的可利用水资源总量不包括过境水资源量; C_7 、 C_8 分别为农药使用量、化肥使用量(折纯量)除以耕地面积; $C_9 \sim C_{12}$ 为各污染物排放总量除以研究区域的 GDP; C_{13} 指当年价; C_{21} 为依据环境质量标准将有关的空气污染物浓度等标化,计算得到的无量纲指数的加和,计算公式为: $C_{21} = \sum_{i=1}^n C_i / P_i$, 其中, C_i 为单项污染物浓度, P_i 为对应的标准值,这里参加计算的污染物包括 PM_{10} 、 SO_2 和氮氧化物,标准值取《环境空气质量标准》(GB3095-1996)中对应的二级标准。

1.2 区域生态安全评价标准

生态安全是一个相对的概念,没有绝对的安全,只有相对安全。区域生态安全评价标准主要从以下几个方面选取^[14,23]: (1) 国际、国家、行业和地方规定的标准,如指标 C_{20} 、 C_{21} 、 C_{22} 等以地表水、大气、噪声环境质量

标准等为主要统计依据, C_{24} 、 $C_{26} \sim C_{29}$ 等采用国际标准;(2) 背景和本底标准,如指标 C_3 、 C_5 、 C_6 等以研究区域的耕地资源、能源、水资源可利用量等为依据;(3) 类比标准,参考国外具有良好特色的区域的现状值作为标准值或参考国内区域的现状值作趋势外推,作为“安全”级别的标准值,以全国较劣值或国际公认的警戒线值为“不安全”的限定值,如指标 C_1 、 C_2 、 C_4 、 $C_7 \sim C_{18}$ 、 $C_{32} \sim C_{34}$ 等,具体见表 1。

表 1 区域生态安全评价指标体系及其标准值

Table 1 The mark-value and index system of regional ecological security assessment					
目标层 Object layer	准则层 Criteria layer	因素层 Factor layer	指标层 Index layer	标准值 Mark-value	
				安全值 Safe value	不安全值 Unsafe value
区域生态 安全综合 指数 A ESII	系统压力 B_1 Ecosystem pressure	人口压力 Population pressure	人口密度 C_1 (人/ km^2 ^①)	200	500
			人口自然增长率 C_2 (‰)	0.7	5
			能源自给率 C_3 (%)	90	10
			城市化率 C_4 (%)	20	80
		能源压力 Energy pressure	人均耕地面积 C_5 (hm^2)	0.1	0.04
			用水量/水资源总量 C_6 (%)	10	40
			农药施用强度 C_7 (kg/hm^2)	10	40
			化肥施用强度 C_8 (kg/hm^2)	200	600
		资源压力 Resource pressure	万元 GDP SO_2 排放强度 C_9 (kg)	1	7
			万元 GDP 烟尘排放强度 C_{10} (kg)	0.1	2
			万元 GDP COD 排放强度 C_{11} (kg)	1.5	6
			万元 GDP 固废排放强度 C_{12} (kg)	30	200
		环境压力 Environmental pressure	人均 GDP C_{13} (万元 ^②)	10	1
			原煤消耗比例 C_{14} (%)	20	50
			万元 GDP 能耗 C_{15} (t 标煤 ^③)	0.1	1.5
			万元 GDP 水耗 C_{16} (t)	50	150
	系统状态 B_2 Ecosystem state	经济状态 Economic state	森林覆盖率 C_{17} (%)	60	30
			建成区绿化覆盖率 C_{18} (%)	40	10
			水土流失率 C_{19} (%)	2	15
			区域 I~III 类水体比例 C_{20} (%)	100	40
		能源状态 Energy state	空气综合污染指数 C_{21}	0.6	3
			环境噪声达标区覆盖率 C_{22} (%)	100	50
			酸雨频率 C_{23} (%)	10	50
			工业废水达标处理率 C_{24} (%)	100	70
		资源状态 Resource state	工业用水重复利用率 C_{25} (%)	90	20
			城市生活污水处理率 C_{26} (%)	100	20
			工业废气处理率 C_{27} (%)	100	70
			机动车尾气排放达标率 C_{28} (%)	100	70
		环境状态 Environmental state	工业固体废物处置利用率 C_{29} (%)	100	70
			自然保护区覆盖率 C_{30} (%)	10	1
			“三同时”执行合格率 C_{31} (%)	100	90
			环保投资占 GDP 比例 C_{32} (%)	3	0.5
系统响应 B_3 Ecosystem response	系统响应 B_3 Ecosystem response	环境响应 Environmental response	第三产业占 GDP 比例 C_{33} (%)	80	20
			每万人高等学历人数 C_{34} (人 ^④)	1000	200
		经济响应 Economic response			
		人文响应 Human response			
		环境响应 Environmental response			
		经济响应 Economic response			
		人文响应 Human response			

C_1 : Population density; C_2 : Ratio of natural population growth; C_3 : Self-supporting ratio of energy; C_4 : Ratio of urbanization; C_5 : Plantation of per capita; C_6 : Proportion of total water consumption to water resources; C_7 : Consumption intensity of pesticide; C_8 : Consumption intensity of fertilizer; C_9 : Discharge intensity of SO_2 ; C_{10} : Discharge intensity of industrial soot; C_{11} : Discharge intensity of COD; C_{12} : Discharge intensity of solids waste; C_{13} : GDP per capita; C_{14} : Proportion of coal consumption to total primary energy consumption; C_{15} : Energy consumption of per 10,000 yuan GDP; C_{16} : Water consumption of per 10,000 yuan GDP; C_{17} : Ratio of forest cover; C_{18} : Ratio of vegetation cover in established area; C_{19} : Proportion of soil loss area to total region area; C_{20} : Ratio of class I to III water quality; C_{21} : Air pollution integrated index; C_{22} : Ratio of urban area cover with permissible noise level; C_{23} : Frequency of acid rain; C_{24} : Percentage of reaching standard for industrial wastewater treatment; C_{25} : Percentage of repeated utilization of industrial water; C_{26} : Percentage of domestic sewage treatment; C_{27} : Percentage of industrial wasted gas treatment; C_{28} : Ratio of reaching standard for vehicle emission; C_{29} : Utilization rate of industrial solid waste; C_{30} : Ratio of the strictly protected reserves to the land area; C_{31} : Implementation rate of Three Synchronization Management for construction projects; C_{32} : Proportion of environmental protection investment to GDP; C_{33} : Proportion of third industry to GDP; C_{34} : Amount of advanced degree per ten thousand capita. ① capital per square kilometer; ② 10,000 yuan per capita; ③ 10 standard coal equivalent (SCE); ④ capital

1.3 评价指标计算方法及依据

1.3.1 数据预处理

(1) 评价样本矩阵的建立 定义 X 为区域生态安全状况对应于 m 个评价指标与 n 个评价对象的样本矩

阵,则:

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1m} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{nm} \end{bmatrix} = [X_{ij}]_{n \times m} \quad (1)$$

(2) 矩阵元素标准化 指标确定以后,直接用它们去进行评价是困难的。因为各系数之间的量纲不统一,所以没有可比性。即使对于同一个参数,尽管可以根据实测数值的大小来判断它们对环境影响的程度,但也因缺少一个可作比较的标准而无法较确切地反映其对环境的影响。为此,必须对参评因子进行规范化处理。区域生态安全评价可采用极差标准化方法。假设样本矩阵 X 标准化后记为 Y 。

对大者为优的效益型指标(数值越大越好的指标,如人均耕地面积),令:

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

对小者为优的成本型指标(数值越小越好的指标,如万元 GDP 能耗),令:

$$y_{ij} = (\max x_j - X_{ij}) / (\max x_j - \min x_j) \quad (3)$$

式中, $\max x_j$ 、 $\min x_j$ 分别表示第 j 个指标下各评价样本属性值的标准值(即表 1 中的最大值和最小值)。经过无量纲化处理后,样本矩阵 X 转化为矩阵 Y ,即:

$$Y = (y_{ij})_{n \times m} \quad (\text{其中 } y_{ij} \in [0, 1]) \quad (4)$$

1.3.2 指标权重的确定 确定权重的方法有多种,如 Delphi 法、AHP 法、主成分分析法等。这里采用熵权法来确定各指标的权重。在信息论中,当评价对象在某项指标上的值相差较大时,熵值较小,说明该指标提供的有效信息量较大,该指标的权重也应较大;反之,若某项指标的值相差越小,熵值较大,说明该指标提供的信息量较小,该指标的权重也应较小;当各被评价对象在某项指标上的值完全相同时熵值达到最大,这意味着该指标未向决策提供任何有用的信息,可以考虑从评价指标体系中去除。所以,“熵权”理论是一种客观赋权方法,现已在工程技术、社会经济和环境科学等领域得到广泛应用^[24]。

(1) 定义 f_{ij} 为矩阵 Y 第 j 项指标下第 i 个被评价对象的指标值的比重,则:

$$f_{ij} = y_{ij} / \quad (\text{其中 } j = 1, 2, \cdots, m) \quad (5)$$

(2) 令 e_j 为第 j 项指标的熵值,有:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \quad (\text{其中 } k = 1/\ln n, \text{当 } f_{ij} = 0 \text{ 时,令 } f_{ij} \ln f_{ij} = 0) \quad (6)$$

(3) 计算第 j 个指标的熵权 w_j ,即:

$$w_j = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^m (1 - e_j) \quad (\text{其中 } 0 \leq w_j \leq 1, \sum_{j=1}^m w_j = 1) \quad (7)$$

1.3.3 综合评价方法 综合评价是在指标值规范化和指标权重确定的基础上进行的,国内外研究者提出了多种的生态安全评价方法^[14~21]。本文定义区域生态安全程度(安全度)用生态安全综合指数(ESII)来表示,即:

$$ESII_i = \sum_{j=1}^m w_j \cdot y_{ij} \quad (8)$$

ESII 取值为[0,1]之间,其值越大,表明区域生态安全度越高,ESII = 1 时为理想安全。

2 广东省生态安全评价

2.1 研究区概况

广东位于中国大陆南部,地处北纬 20°09'~25°31',东经 109°45'~117°20',面积 17.8 万 km²,年平均气温 19~23℃,雨量充沛。广东省是我国经济发达地区之一,对中国国民经济发展具有重要的示范作用。2003 年,广东省人均国内生产总值为 1600 多美元,城镇化水平为 55.7%,人口密度为 434 人/km²。广东在经济快速发展的同时,也给生态环境带来了许多负面的影响。

2.2 原始数据的来源及处理

为了获取广东省生态安全评价指标的原始数据,查阅了大量的资料^{①~⑦},这些资料包括公开出版的 1991~2005 年广东省统计年鉴、中国统计年鉴、以及由广东省环境保护局提供的广东省环境状况公报、广东省环境保护规划(2004~2020 年)等其他相关统计资料,一些原始数据可以直接用来进行评价,如人口密度、人口自然增长率等,有的原始数据需要按指标的物理意义进行量化处理,如各污染物的排放强度等。

2.3 评价结果

按照上述区域生态安全水平评价的指标体系和综合评价模型,得出了广东省的生态安全综合指数及各准则层指数的度量结果(见表 2 及图 1)。同时参考相关文献^[16,25,26]和根据本研究的计算结果,设计了一个 5 级生态安全水平等级划分标准(表 3)。

2.4 结果分析

2.4.1 1990~2004 年生态安全水平

(1)系统压力指数 从表 2 及图 1 可以看出,广东省系统压力指数(该指标是逆向指标,数据越小,压力越大,对生态安全的贡献越小)从 1990 年的 0.108 下降到 2004 年的 0.061,最大下降幅度达 14.3%,年均下降 3.7%。表明该区域的人类活动给生态环境造成的负荷在加剧,表现在各种污染物排放量加大,如 SO₂ 排放量从 1990 年的 39.64t 增加到 2004 年的 114.8t,15a 间 COD 排放量和固体废物排放量分别增加了 83.2%和 55.5%,同时人口密度不断增加、而人均耕地面积逐年下降(15a 间减少了 25.9%)。利用统计软件 SPSS12.0 计算出生态压力指数的预测线性方程为: $y_1 = -0.0029x + 0.1107$ (通过显著性检验, $R^2 = 0.8636$),总体呈下降趋势。

(2)系统状态指数 系统状态指数从 1990 年的 0.017 上升到 2004 年的 0.156,主要得益于经济因素中的人均 GDP 指标从 2537 元提高到 19316 元、森林覆盖率从 48.9%增加到 57.4%、建成区绿化率从 26.13%提升到 30.69%,同时万元 GDP 能耗从 2.61t 标煤减少到 0.92t 标煤和万元 GDP 水耗不断降低(从 1738t 降到 283t)。系统状态指数的回归方程为: $y_2 = 0.0562\ln(x) + 0.005$ (通过显著性检验, $R^2 = 0.9842$),在 1990~1994 年期间,指数快速提高,年均增长 56.9%,而后增长速度放缓,1995~2004 年年均增长 4.8%。

表 2 广东省 1990~2004 年及规划年生态安全水平综合评价结果

Table 2 Integrated assessment results of regional ecological security in Guangdong Province

年份 Year	生态安全 综合指数 ESII	系统压力指数 Pressure index (PI)	系统状态指数 State index (SI)	系统响应指数 Response index(RI)
1990	0.125	0.108	0.017	0.001
1991	0.155	0.107	0.035	0.013
1992	0.184	0.107	0.056	0.021
1993	0.208	0.102	0.080	0.026
1994	0.225	0.098	0.098	0.029
1995	0.229	0.084	0.107	0.038
1996	0.255	0.082	0.117	0.056
1997	0.269	0.085	0.119	0.065
1998	0.292	0.082	0.127	0.083
1999	0.321	0.081	0.138	0.103
2000	0.337	0.082	0.142	0.112
2001	0.353	0.084	0.142	0.128
2002	0.375	0.081	0.151	0.143
2003	0.394	0.071	0.158	0.165
2004	0.402	0.061	0.156	0.185
2010	0.533	0.078	0.209	0.246
2020	0.691	0.088	0.295	0.308

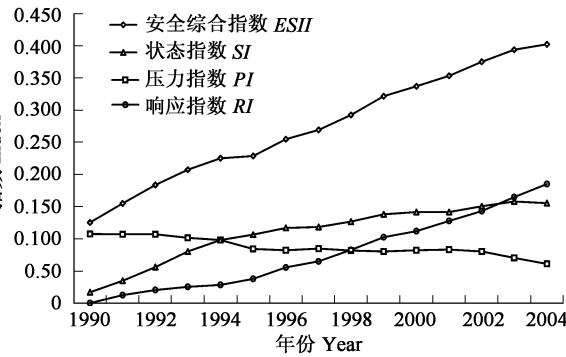


图 1 1990~2004 年广东省生态安全水平动态变化

Fig. 1 Dynamics of regional ecological security in Guangdong Province from 1990~2004

①广东省年鉴编委会. 广东省统计年鉴(1991~2005), 1991~2005
②中国国家统计局. 中国统计年鉴(1991~2005), 1991~2005
③广东省环境保护局. 广东省环境状况公报(1990~2004), 1991~2005
④广东省环境保护局. 广东省环境保护规划纲要(2004~2020 年), 2005
⑤广东省环境保护局. 珠江三角洲环境保护规划解读, 2004
⑥广东省统计局. 广东社会统计资料(1997~2003), 2004
⑦广东省水利厅. 广东省水资源公报(1997~2003), 1998~2004

表 3 区域生态安全水平等级标准

Table 3 Criterion of regional ecological security classification

<i>ESII</i>	[0, 0.25]	(0.25, 0.45)	[0.45, 0.55]	(0.55, 0.75)	[0.75, 1]
等级 Classification	不安全 Unsafe	较不安全 Relatively unsafe	临界安全 Critical safe	较安全 Relatively safe	安全 Safe

(3) 系统响应指数 从系统响应指数来看,呈逐年上升趋势,其主要原因是各种污染物的处理率、每十万人中高等学历人数等指标值不断提高,加上政府相关部门加大了对环保、基础设施的投资力度(如环保投资占 GDP 的比例从 0.37 % 增加到 2.71 %)。系统响应指数的动态变化方程为: $y_3 = 0.0005x^2 + 0.0043x - 0.0015$ (通过显著性检验, $R^2 = 0.9966$)。

(4) 生态安全综合指数 综合上述 3 个指标,生态安全综合指数从 1990 年的 0.125 递增至 2004 年的 0.402,年均增长 8.8 %,研究时间尺度内的生态安全综合指数变化趋势方程为 $y = 0.0195x + 0.1189$ (通过显著性检验, $R^2 = 0.9938$),表明该区域的生态安全水平整体情况得到不断改善,但其生态安全现状水平仍处于“较不安全”状态。主要的制约因素是人地矛盾突出(2004 年人均耕地面积仅 0.03hm²)、酸雨频率多年居高不下(徘徊在 45 % 左右)、区域地表水环境质量无明显改善(2004 年饮用水源地水质总达标率为 67.8 %)、城市生活污水处理率(2004 年仅为 35 %)与工业用水重复利用率(2004 年仅为 36.2 %)低下、经济快速增长带来的高消耗和高排放,使得该区域生态环境系统存在较大的不安全隐患。

另外,从生态安全综合指数的构成进行分析,系统压力指数的贡献率从 1990 年的 85.8 % 下降到 2004 年的 15.2 %,状态指数的贡献率从 1990 年的 13.8 % 上升到 1995 年的 46.6 % 后缓慢下降到 38.8 %,响应指数的贡献率从 1990 年的 0.4 % 递增至 2004 年的 46 %,说明 15a 来广东省生态安全水平的提高是依赖于对环境的治理和投入,较大程度上还处在末端治理型阶段,人工调节虽然可以弥补自然调节的不足,但从长远看,人工调节不能代替自然调节,因此,以后应加强对系统压力准则层(见表 1)中的各指标进行优化,即控制人口、节约资源和能源、推进清洁生产和循环经济、实现污染物减量化和资源化,从根本上降低区域生态环境压力,才能保证该区域的生态安全迈向更高的水平。

2.4.2 2010 年、2020 年生态安全水平预测 针对生态安全的制约因素和未来经济发展面临的生态环境压力,广东省提出了一系列环境目标,如 2010 年 COD 排放总量和 2020 年 SO₂ 排放总量分别在 2002 年的基础上削减 17 % 和 22 %,2010 年饮用水源地水质达标率提高到 95 %,2010 年的城市生活污水处理率和工业用水重复利用率分别达到 60 % 以上、2020 年的万元 GDP 能耗降低到 0.26t 标准煤等。为了评估在实施这些目标的情景下的广东省生态安全状况,运用本文提出的研究方法,预测得出广东省 2010 年和 2020 年的生态安全综合指数将分别达到 0.533 和 0.691,系统压力指数、状态指数和响应指数比 2004 年均得到提高(见表 2),经济发展致使生态环境压力加剧的趋势得到控制,区域生态安全水平由“临界安全”状态迈向“较安全”状态,生态环境步入良性循环。

3 结论与讨论

(1) 利用本文所建立的区域生态安全评价指标体系和计算模型,从时间尺度对区域生态安全进行动态分析和趋势研究,计算得出广东省生态安全整体情况得到不断改善,但区域生态环境系统压力在不断加大及生态安全现状水平仍处在“较不安全”状态,存在较多的“不安全”因素,生态安全建设任重道远。

(2) 人类积极采取响应措施才能弥补由于人类活动消极影响给生态环境系统带来的压力,目前应加强控制人口、节约资源和能源、推进清洁生产和循环经济、实现污染物减量化和资源化等,从根本上降低区域生态环境压力,才能保证该区域的生态安全迈向更高的水平。

(3) 对广东省环境规划(2004~2020 年)的实施效果进行预测评估,表明在实施环境目标的情景下,2010 规划年和 2020 规划年的生态安全综合指数将分别达到 0.533 和 0.691,生态安全分别达到“临界安全”和“较安全”水平。

(4) 综合评价方法优势在于时间序列、空间横向比较,但同时可能掩盖了单一指标极值情况下对生态系统

的灾难性影响。

(5) 标准化方法和指标赋权是该综合评价模型的核心。熵权法充分挖掘了原始数据本身蕴涵的信息,结果比较客观,但却不能反映专家的知识经验和决策者的意见,有时得到的权重可能与实际重要程度不相符。极差法标准化的缺陷在于有时很难判断该指标是效益型指标或是成本型指标,因为事实上有些指标是相对最优值的效益型(成本型)指标,如人口密度、城市化率等,而最优值的确定又非常困难^[27]。因此,标准化方法、最优值的确定和赋权问题仍需要进一步的研究。

References:

- [1] Chen G J. On ecological security. *Chongqing Environmental Sciences*, 2002, 24(3): 1~4.
- [2] Cui S H, Hong H S, Huang Y F, et al. Progress of the ecological security research. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(4): 861~868.
- [3] Anantha K D. Ecological Security and Capabilities: A Conceptual Framework for Sustainable Development. Italy: University of Pavia, 3rd Conference on the Capability Approach: From Sustainable Development to Sustainable Freedom, 7~9 September, 2003.
- [4] Zhou C X, Shen W S. Ecological security research progress. *Rural Eco-environment*, 2003, 19(1): 56~59.
- [5] Stoett P J. Global environmental security, energy resources and planning: A framework and application. *Future*, 1994, 26(7): 741~758.
- [6] Costanza K, Arge R, Goot R, et al. The value of the world's ecosystem service and natural capital. *Nature*, 1997, 387(15): 235~260.
- [7] Halle M. State-of-the-art Review of Environment, Security and Development cooperation. Paris: Working paper of conducted on behalf of the OECD DAC Working Party on Development and Environment, 2000. 43.
- [8] Alcamo J, Endejan M B, Kaspar F, et al. The GLASS model: a strategy for quantifying global environmental security. *Environmental Science & Policy*, 2001, 4(1): 1~12.
- [9] Cheng S L, Chen Y. Highly recognition on national ecological security strategy. *Ecological Economy*, 1999, (5): 9~11.
- [10] Qu G P. The problems of ecological environmental have become a popular subject of country safety. *Environmental Protection*, 2002, (5): 3~5.
- [11] Xiao D N, Chen W B, Guo F L. On the basic concepts and contents of ecological security. *Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(3): 354~358.
- [12] Ma K M, Fu B J, Li X Y, et al. The concept and theoretical basis of the regional pattern of ecological security. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(4): 761~768.
- [13] Zuo W, Wang Q, Wang W J. Study on regional ecological security assessment index and standard. *Geography and Territorial Research*, 2002, 18(1): 67~71.
- [14] Xiao R B, Ouyang Z Y, Hang Y S. Ecological security assessment of Hainan Island. *Journal of Natural Resources*, 2004, 19(6): 669~775.
- [15] Chen D J, Xu Z M. Study on assessment of the ecological security in the continental watersheds in northwest China — A case study at the middle reaches of Heihe river watershed, Zhangye prefecture. *Arid Land Geography*, 2002, 25(3): 219~224.
- [16] Xie H L, Li B. A study on indices system and assessment criterion of ecological security for city. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2004, 40(5): 705~710.
- [17] Du Q L, Xu X G, Liu W Z. Ecological security assessment for the oases in the middle and lower Heihe River. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(9): 1916~1923.
- [18] Ehrenfeld J G, Scott N. Invasive species and the soil, effects on organisms and ecosystem process. *Ecological Application*, 2001, 11(5): 1259~1260.
- [19] Zhou W H, Wang R S. Methodology of urban ecological security assessment: A case study of Beijing. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(2): 848~852.
- [20] Ren Z Y, Huang Q, Li J. Quantitative analysis of dynamic change and spatial difference of the ecological safety: the case of Shanxi Province. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(4): 597~606.
- [21] Kullenberg G. Regional co-development and security: a comprehensive approach. *Ocean and Coastal Management*, 2002, 45: 761~776.
- [22] OECD. Using the Pressure-State-Response Model to develop indicators of Sustainability — OECD Framework for Environmental Indicators, 1999.
- [23] Song Y C, Qi R H, You W H, et al. A study on indices system and assessment criterion of eco-city. *Urban Environment & Urban Ecology*, 1999, 12(5): 16~19.
- [24] Zhou Z H, Sun J N, Ren G P. Study and application on the entropy method for determination of weight of evaluating indicators in fuzzy synthetic evaluation for water quality assessment. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2005, 25(4): 552~555.
- [25] Wu G Q. Study on ecological safety and its evaluation of agricultural sustainable development. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(3): 227~233.
- [26] Zuo W, Zhou H Z, Zhu X H, et al. Integrated evaluation of ecological security at different scales using remote sensing: a case study of Zhongxian County, the Three Gorges area, China. *Pedosphere*, 2005, 15(4): 456~464.
- [27] Zhou W H, Wang R S, Zhang K F. Comprehensive ecological assessments of human impacts on air quality in Beijing, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(9): 2214~2220.

参考文献:

- [1] 陈国阶. 论生态安全. *重庆环境科学*, 2002, 24(3): 1~4.
- [2] 崔胜辉, 洪华生, 黄云凤, 等. 生态安全研究进展. *生态学报*, 2005, 25(4): 861~868.
- [4] 邹长新, 沈渭寿. 生态安全研究进展. *农村生态环境*, 2003, 19(1): 56~59.
- [9] 程漱兰, 陈焱. 高度重视国家生态安全战略. *生态经济*, 1999, (5): 9~11.
- [10] 曲格平. 关注生态安全之一: 生态环境问题已经成为国家安全的热门话题. *环境保护*, 2002, (5): 3~5.
- [11] 肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 论生态安全的基本概念和研究内容. *应用生态学报*, 2002, 13(3): 354~358.
- [12] 马克明, 傅伯杰, 黎晓亚, 等. 区域生态安全格局: 概念与理论基础. *生态学报*, 2004, 24(4): 761~768.
- [13] 左伟, 王桥, 王文杰, 等. 区域生态安全评价指标与标准研究. *地理学与国土研究*, 2002, 18(1): 67~71.
- [14] 肖荣波, 欧阳志云, 韩艺师, 等. 海南岛生态安全评价. *自然资源学报*, 2004, 19(6): 669~775.
- [15] 陈东景, 徐中民. 西北内陆河流域生态安全评价研究 —— 以黑河流域中游张掖地区为例. *干旱地理*, 2002, 25(3): 219~224.
- [16] 谢花林, 李波. 城市生态安全评价指标体系与评价方法研究. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2004, 40(5): 705~710.
- [17] 杜巧玲, 许学工, 刘文政. 黑河中游绿洲生态安全评价. *生态学报*, 2004, 24(9): 1916~1923.
- [19] 周文华, 王如松. 城市生态安全评价方法研究 —— 以北京市为例. *生态学杂志*, 2005, 24(7): 848~852.
- [20] 任志远, 黄青, 李晶. 陕西省生态安全及空间差异定量分析. *地理学报*, 2005, 60(4): 597~606.
- [23] 宋永昌, 戚仁海, 由文辉, 等. 生态城市的指标体系与评价方法. *城市环境与城市生态*, 1999, 12(5): 16~19.
- [24] 郭志红, 孙靖南, 任广平. 模糊评价因子的熵权法赋权及其在水质评价中的应用. *环境科学学报*, 2005, 25(4): 552~555.
- [25] 吴国庆. 区域农业可持续发展的生态安全及其评价研究. *自然资源学报*, 2001, 16(3): 227~233.
- [27] 周文华, 王如松, 张克锋. 人类活动对北京空气质量影响的综合生态评价. *生态学报*, 2005, 25(9): 2214~2220.