

# 基于 P—S—R 模型的汕头市土地生态安全评价

杨春红, 张正栋, 田楠楠, 吴申凤, 张五美

(华南师范大学 地理科学学院, 广州 510631)

**摘 要:**汕头作为中国首批经济特区之一,人多地少是其一大特点,经历 30 a 特区的建设和发展,在经济发展同时其生态环境也发生了较大的变化。以经济特区汕头市社会经济发展特点为出发点,基于 P—S—R 模型构建了一套包含 3 个准则 19 个指标的土地生态安全评价指标体系,采用主成分分析法确定指标权重,依据土地生态安全综合指数法对 2001—2008 年汕头土地生态安全状况进行了评价。结果表明:2001—2008 年汕头市土地生态安全值在 0.65 上下摆动,变化幅度不大(不超过 0.034 8),介于临界安全和较安全等级,说明研究期内汕头市土地生态环境总体较好,土地生态系统结构较完整,土地生态系统服务功能基本完善,受干扰后一般可恢复。该研究可为了解汕头市土地生态安全现状,及未来生态环境质量改善和生态安全规划管理提供依据。

**关键词:**P—S—R 模型; 土地生态安全; 指标体系; 评价; 汕头市

中图分类号:X171.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)03-0209-06

## Evaluation on Land Ecological Security in Shantou Based on P—S—R Model

YANG Chun-hong, ZHANG Zheng-dong, TIAN Nan-nan, WU Shen-feng, ZHANG Wu-mei

(School of Geography, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

**Abstract:** As one of the first Special Economic Zones in China, Shantou has a large population, with relatively little (arable) land. During the past 30 years, with the rapid economic growth, the ecological environment of Shantou also got through great changes. Using the Socio-economic development characteristics of Shantou as a case, we established land ecological security assessment system which was based on the 'P—S—R' conceptual framework mode, with the main data sources of 2001—2008 Shantou Statistical Yearbook, 2001—2008 Shantou Environmental Bulletin, etc. Then 19 indexes according to the concrete features of Shantou City were selected by using principal components analysis method and analytical hierarchy process theory, with referring to related literatures and studying achievements to confirm the weight of indexes, so as to evaluate the safe condition of land ecological security at Shantou from 2001 to 2008. Finally, the result of calculation showed that the integrated value of the land ecological security at Shantou was between adjacent safety and comparative safety statement, yet, with the trend of slight decline, which indicated that it was necessary to take measures to improve Shantou's land ecological environments. This research showed the current situation of Shantou, which was a reference for land ecological security planning and ecological security management.

**Key words:** P—S—R model; ecological security; index system; Shantou City

土地生态安全是指土地资源所处的生态环境处于一种不受或少受威胁与破坏的健康、平衡的状态<sup>[1]</sup>。土地生态安全不仅包括土地生态系统本身的安全性,也包括土地生态系统是否能保证人类生产和生活的安全的问题<sup>[2]</sup>。土地生态安全评价是土地生态安全研究的一个重要方向<sup>[3]</sup>。汕头作为中国首批

经济特区之一,人口密度大,土地资源贫乏,耕地后备资源不足,人多地少一直是其突出的特点。特区建设 30 多年来,随着工业化、城市化的快速发展,土地资源短缺及土地利用过程中的污染、浪费等现象越来越突出。研究汕头市土地生态安全不仅可以丰富土地生态安全研究案例,促进土地评价科学发展,而且可

收稿日期:2011-11-07

修回日期:2011-12-04

资助项目:广东省自然科学基金项目(9151063101000046);广东省软科学项目(2009B70300115);华南师范大学学术骨干与团队培养专项(G21053)

作者简介:杨春红(1986—),女,广东饶平人,硕士研究生,主要研究方向为土地利用与土地规划。E-mail:chunhongyang@qq.com

通信作者:张正栋(1968—),男,甘肃榆中人,教授,硕士生导师,主要从事土地利用和土地规划研究。E-mail:zhangzdedu@163.com

以为汕头市未来土地利用方向和策略提供参考,具有较强的理论和实践意义。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究地区概况

汕头市位于广东省东南沿海,东经  $116^{\circ}14'$ — $117^{\circ}19'$ ,北纬  $23^{\circ}02'$ — $23^{\circ}38'$ ,国土总面积  $2\,064\text{ km}^2$ ,辖金平、龙湖、澄海、濠江、潮阳、潮南六个区和南澳县,濒临南海。汕头港临近西太平洋国际黄金航道,距香港、台湾高雄均不足  $320\text{ km}$ ,处于“大珠三角”和“泛珠三角”经济圈的重要节点,是长三角、珠三角和海峡西岸经济带的重要连接点,也是全国五个经济特区之一和南方重要港口城市。2010年国内生产总值  $1\,203.25$  亿元,比上年增长  $13.7\%$ ,人均 GDP  $23\,274$  元,比上年增长  $11.8\%$ ;第一产业增加值  $64.00$  亿元,增长  $5.0\%$ ;第二产业增加值  $678.14$  亿元,增长  $16.1\%$ ;第三产业增加值  $461.11$  亿元,增长  $11.5\%$ 。从产业结构看,一、二、三产业增加值占 GDP 的比重分别为  $5.3:56.4:38.3$ ;人口  $524.11$  万人,人口密度为  $2\,343\text{ 人/km}^2$ ,人均实际耕地面积仅为  $0.007\,3\text{ hm}^2$ ,远远低于全国、全省平均水平,土地资源极为稀缺。

### 1.2 研究方法

关于土地生态安全评价方法很多<sup>[4-14]</sup>,本文选择基于 P—S—R 模型构建土地资源生态安全评价指标体系,采用综合指数法、层次分析法对汕头市的土地生态安全进行评价。

P—S—R 概念模型,即压力 (pressure)—状态 (state)—响应 (response) 模型,由 20 世纪 80 年代末在加拿大政府组织力量研究的基础上,经济合作和开发组织 (OECD) 与联合国环境规划署 (UNEP) 共同提出的环境指标。在 P—S—R 框架内,某一类环境问题,可以由 3 个不同但又相互联系的指标类型来表达: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。P—S—R 概念模型从人类与环境系统的相互作用与影响出发,对环境指标进行组织分类,具有较强的系统性<sup>[15]</sup>。

### 1.3 数据来源

研究主要以《汕头市统计年鉴》(2001—2010 年)、《汕头市统计公报》(2001—2010 年)、《汕头市土地变更调查统计资料》(2001—2010 年)、《汕头市环

境状况公报》(2001—2010 年)等为主要数据源,对汕头市进行土地生态安全评价。

## 2 汕头市土地生态安全评价

### 2.1 指标体系构建及标准化

土地生态安全评价指标体系的选择要遵循科学性、目的性和实用性等原则。在构建土地生态安全指标体系时不仅要考虑土地的资源环境等状况、人文因素对土地生态安全的影响及可能会对土地生态造成影响的因素,还要考虑数据的获取和方法的可操作性。本文以汕头市本身的特殊情况出发,综合考虑各种因素的关联,在学习国内外区域生态安全评价研究成果的基础上建立了 P—S—R 概念框架模型,以汕头市土地资源生态安全综合指数为目标层 A,以土地生态系统压力、土地生态系统状态和土地生态系统响应为准则层 B,并选择 19 个指标构成指标层 C,共三个层构成汕头市土地生态安全评价指标体系,具体见表 1。

### 2.2 生态安全基准值和指标权重的确定

土地生态安全的评价采用多指标结合更能从多方面反映土地的生态状况,但不同指标之间不存在直接的可比性,即所求的各个指标值是不能直接套用相同的数据和公式来计算土地生态安全值<sup>[16]</sup>,需要对数据进行标准化处理。本文通过选择基准值作为参考与计算值进行对比从而进行标准化。

基准值的选取要优先采取国家标准或者是国际标准,没有国家标准的或者国际标准的指标则应结合研究区的特色采取参考国内城市现状值做趋势外推,参考省内、国家或国际公认的或平均值。

除确定基准值外,指标权重的确定也是土地生态安全计算的关键部分。确定指标权重的方法很多,如层次分析法、主要成分分析法等等。主成分分析 (principal components analysis) 是把原来多个变量化为少数几个综合指标的一种数学统计分析方法,其原理是利用降维的思想,把原来众多具有一定相关性指标,重新组合成一组新的互相无关的综合指标来代替原来的指标,这些新的综合指标按照方差依次递减的顺序排列。在数学变换中保持指标的总方差不变,使第一指标具有最大的方差,称为第一主成分,第二指标的方差次大,并且和第一指标不相关,称为第二主成分。依次类推, $I$  个指标就有  $I$  个主成分。主成分分析法确定权重是利用某指标的公因子方差除以所有指标公因子方差总和而得。在数据标准化的基础上,在 SPSS 16.0 中执行命令,结果如图 1 所示。

表 1 汕头市土地生态安全评价指标体系

目标层	基准层	指标层	指标计算
土地生态安全综合值 A	土地生态系统压力 (B <sub>1</sub> )	城市建设用地扩展强度 (C <sub>1</sub> )	建成区面积增长率
		土地后备资源率 (C <sub>2</sub> )	可利用而还未利用的土地部分与区域土地总面积的比例
		单位面积农药施用量 (C <sub>3</sub> )	单位面积农药施用量
		单位面积化肥施用量 (C <sub>4</sub> )	单位面积化肥施用量
		单位土地面积工业废水排放量 (C <sub>5</sub> )	单位土地面积工业废水排放量
		单位土地面积工业固体废弃物排放量 (C <sub>6</sub> )	单位土地面积工业固体废弃物排放量
		工业 SO <sub>2</sub> 排放量 (C <sub>7</sub> )	土地单位面积内的 SO <sub>2</sub> 排放量
		城市化水平 (C <sub>8</sub> )	非农人口占总人口比重和非农 GDP 占 GDP 比重分别以 0.8 和 0.2 加权求和
		人口自然增长率 (C <sub>9</sub> )	人口自然增长率
		人口密度 (C <sub>10</sub> )	全市总人口数和土地总面积之比
		人均耕地 (C <sub>11</sub> )	人均耕地
	土地生态系统状态 (B <sub>2</sub> )	森林覆盖率 (C <sub>12</sub> )	森林覆盖率
		水域面积率 (C <sub>13</sub> )	区域水面面积与区域土地总面积之比
		单位土地面积 GDP (C <sub>14</sub> )	年内 GDP 与区域土地总面积的比值
	土地生态系统响应 (B <sub>3</sub> )	基本农田保护区占农用地比重 (C <sub>15</sub> )	基本农田面积占农用地的比例
		工业废水处理率 (C <sub>16</sub> )	工业废水处理率
		工业固废综合利用率 (C <sub>17</sub> )	工业固废综合利用率
		环保投资占 GDP 比例 (C <sub>18</sub> )	环保投资占 GDP 比例
		R&D 经费占 GDP 比例 (C <sub>19</sub> )	R&D 经费占 GDP 比例

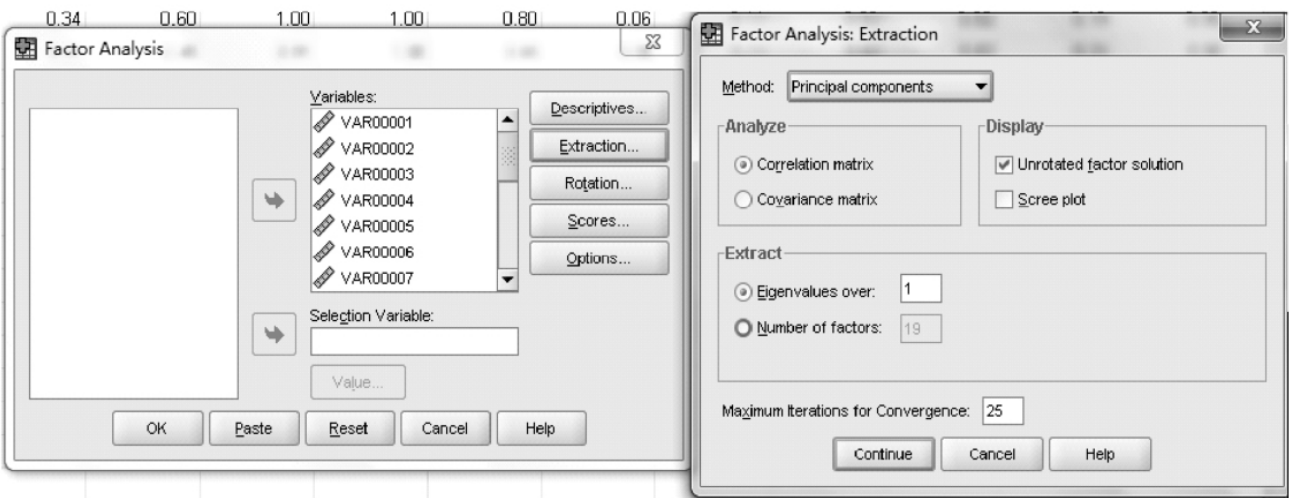


图 1 因子分析对话框与说明子对话框

本文采用主要成分分析法时,以每个主成分所对应的特征值占所提取主成分总的特征值之和的比例作为确定权重的依据之一,并以距离汕头市较近、地理自然条件相似的广州市、湛江市、海南省等地的相关文献的基准值及权重作为参考并针对汕头的状况进行修改,具体见表 2。

2.3 安全指数的确定

参考相关文献<sup>[1]</sup>,根据评价指标与土地生态安全的关系,将生态安全评价指标划分为正向指标、负向指标和中性指标。指标值越大土地越安全的为正向指标,反之为负向指标,指标值越靠近某一阈值越安全的则为中性指标。具体处理如下:

假设  $X_i$  为第  $i$  个评价指标的实际值,  $S_i$  为第  $i$  个评价指标的基准值,  $P_i$  为第  $i$  个评价指标的安全指数(即标准化数值),则:

- (1) 正向指标:当  $X_i > S_i$  时,  $P_i = 1$ ;  
当  $X_i < S_i$  时,  $P_i = X_i / S_i$ 。
- (2) 负向指标:当  $X_i < S_i$  时,  $P_i = 1$ ;  
当  $X_i > S_i$  时,  $P_i = S_i / X_i$ 。

(3) 中性指标:(城市建设用地扩展强度)则视情况而定,一般趋向正向的中性指标的计算方法和正向指标相同;趋向负向的中性指标计算方法和负向指标相同,计算结果见表 3。

表 2 汕头市土地生态安全指标基准值、权重及指标性质

准则层	指标层	基准值	基准值来源	权重	指标性质
0.43	$C_1$	1.12	深圳、珠海、汕头和厦门四经济特区平均值调整	0.083	中性指标
	$C_2$	7%	深圳、珠海、汕头和厦门四经济特区平均值调整	0.092	正向指标
	$C_3$	30 kg/hm <sup>2</sup>	国际公认值	0.053	负向指标
	$C_4$	255 kg/hm <sup>2</sup>	国际公认值	0.053	负向指标
	$C_5$	8132.2 t/km <sup>2</sup>	广东省平均	0.088	负向指标
	$C_6$	113.8 t/km <sup>2</sup>	广东省平均	0.087	负向指标
	$C_7$	0.02 mg/m <sup>3</sup>	国家一级标准	0.067	负向指标
	$C_8$	60%	国际公认值	0.124	正向指标
	$C_9$	5%	国内公认值	0.137	负向指标
	$C_{10}$	135 人/km <sup>2</sup>	国内公认值	0.160	负向指标
	$C_{11}$	0.08 hm <sup>2</sup> /人	国际公认值	0.057	正向指标
0.27	$C_{12}$	40.00%	国际公认值	0.354	正向指标
	$C_{13}$	27.40%	深圳、珠海、汕头和厦门四经济特区平均值调整	0.333	正向指标
	$C_{14}$	0.0128 亿元/hm <sup>2</sup>	深圳、珠海、汕头和厦门四经济特区平均值调整	0.313	正向指标
0.30	$C_{15}$	88%	省土地利用总体规划要求	0.117	正向指标
	$C_{16}$	100%	国际标准	0.261	正向指标
	$C_{17}$	100%	国际标准	0.200	正向指标
	$C_{18}$	3.00%	深圳、珠海、汕头和厦门四经济特区平均值调整	0.261	正向指标
	$C_{19}$	1%	深圳、珠海、汕头和厦门四经济特区平均值调整	0.161	正向指标

表 3 汕头市 2001—2008 年土地生态安全各指标标准化数值

指标层	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年
$C_1$	0.8929	0.9140	1.7158	0.9027	0.7546	0.9098	0.9054	0.9030
$C_2$	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
$C_3$	0.3298	0.3254	0.3438	0.3434	0.3512	0.3658	0.3581	0.3547
$C_4$	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
$C_5$	0.3808	0.3096	0.3498	0.3430	0.3108	0.3079	0.3217	0.3150
$C_6$	0.8429	0.7036	0.6973	0.5957	0.4525	0.3179	0.3683	0.3162
$C_7$	0.7143	1.0000	0.6452	1.0000	0.9091	1.0000	0.9091	0.9091
$C_8$	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
$C_9$	0.7587	0.7123	0.7331	0.8026	0.6545	0.6039	0.4771	0.4669
$C_{10}$	0.0604	0.0581	0.0575	0.0572	0.0567	0.0563	0.0556	0.0550
$C_{11}$	0.1295	0.1270	0.1132	0.1128	0.1115	0.1082	0.1069	0.0875
$C_{12}$	0.8100	0.8125	0.8150	0.8150	0.8150	0.7550	0.7525	0.7500
$C_{13}$	0.8212	0.8212	0.8212	0.8212	0.8212	0.8212	0.8212	0.8212
$C_{14}$	0.1451	0.1504	0.1631	0.1870	0.2132	0.2425	0.2782	0.3190
$C_{15}$	0.9647	0.9647	0.9647	0.9647	0.9647	0.9647	0.9647	0.9647
$C_{16}$	0.9384	0.9807	0.9732	0.9666	0.9655	0.9598	0.9418	0.9459
$C_{17}$	0.9850	0.9847	0.9588	0.9584	0.9280	0.9906	0.9905	0.9809
$C_{18}$	0.5894	0.7191	0.7251	0.7412	0.8540	0.8930	0.8834	0.8870
$C_{19}$	0.0163	0.0267	0.0280	0.0279	0.0235	0.0141	0.0166	0.0194

## 2.4 确定综合评价价值

采用线性加权方法计算已经无量纲化的数据,最终得到土地生态安全的综合评价价值。具体步骤如下:

$$Y = \sum_{i=1}^{19} P_i \times w_i \quad (1)$$

式中:  $Y$ ——土地生态安全综合值;  $P_i$ ——第  $i$  个指标的安全指数(即标准化数值);  $w_i$ ——各指标权重。

由公式(1)计算出的 2001—2008 年汕头土地生态安全综合值如表 4 所示。

表 4 汕头市 2001—2008 年土地生态安全计算结果

项 目	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年
土地生态系统压力	0.6359	0.6313	0.6800	0.6363	0.5825	0.5831	0.5643	0.5562
土地生态系统状态	0.6056	0.6081	0.6130	0.6205	0.6287	0.6166	0.6269	0.6388
土地生态系统响应	0.7113	0.7577	0.7524	0.7548	0.7771	0.7968	0.7900	0.7906
土地生态安全综合值	0.6503	0.6630	0.6836	0.6676	0.6534	0.6563	0.6489	0.6488

根据表 4 绘制汕头市 2001—2008 年土地生态安全值变化图如图 2 所示。

2.5 土地生态安全等级标准的确定

本文在所计算的汕头市土地生态安全综合值的基础上,参考相关文献<sup>[15,17-18]</sup>,在 0~1 之间的数值设置了土地生态安全 5 个等级作为汕头市土地生态安全的等级标准,具体等级划分及其意义见表 5。

3 结果与分析

3.1 土地生态安全变化趋势

由图 2 可知,研究期间汕头市土地生态安全逐年下降。研究期间土地生态安全综合值在 0.65 上下摆动,2001—2002 年安全值上升,到 2003 年综合值达到最高,从 2003 年起总体呈现微弱的下降趋势,2007 年土地生态安全综合值小于 0.65。其中,土地生态系统压力安全指数下降较大,土地生态系统压力曲线起伏最大,2001—2003 年较大幅度上升,2003 年到

达最高,2003—2005 年下降幅度较大,导致土地生态系统压力变化幅度较大的原因是城市建成区面积调整。土地生态系统状态安全指数变化不大,状态曲线基本保持平稳,土地生态系统响应安全指数逐渐提高,土地生态系统响应曲线高于土地生态系统压力曲线和土地生态系统状态曲线且保持总的上升趋势,说明研究区域对土地生态环境人为改善较大,而且持续加大人为控制土地生态问题的力度,努力改善土地生态环境。

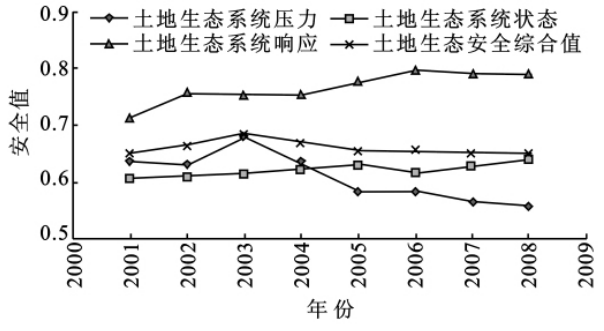


图 2 汕头市 2001—2008 年土地生态安全值变化

表 5 土地生态安全分级和系统标准

安全值区间	安全等级	具体特征
>0.85	理想安全	土地生态环境好,系统结构完整,土地生态系统服务功能完善,受干扰后能恢复
0.65~0.85	较安全	土地生态环境较好,土地生态系统结构较完整,土地生态系统服务功能基本完善,受干扰后一般可恢复
0.45~0.65	临界安全	土地生态环境较差,土地生态系统结构已开始被破坏,土地生态系统服务功能已有退化,但尚能维持基本功能,受干扰后易恶化
0.3~0.45	较不安全	土地生态环境较恶劣,土地生态系统结构破坏较大,土地生态系统服务功能较大退化,系统功能不全,受外界干扰后恢复困难
<0.3	极不安全	土地生态环境脆弱,土地生态系统结构破碎,服务功能严重退化,生态恢复和重建很困难

注:表中安全值包括上限不包含下限,如 0.65~0.85 包含 0.85 不包含 0.65。

由表 3 可知,2001—2008 年间单位面积化肥施用量和城市化水平数值等于 1,对研究区域土地生态安全正面贡献最大。城市建设用地扩展强度、基本农田保护区占农用地比重、工业废水处理率和工业固废综合利用率均大于 0.9,对研究区域土地生态安全正面贡献居第二位。人口密度和 R&D 经费占 GDP 比例则稳定小于 0.1,数值较小,反映其对研究区域土地生态安全负面影响较大。2008 年以前单位面积 GDP 指标数值均小于 0.3,到 2008 年才突破 0.3,数值较低,但总的趋势是上升的,说明研究区域土地利用经济效益偏低,土地集约度不高,但随生产力的发展,土地利用经济效益逐渐在上升。单位面积土地工业废水的指标值在 0.3~0.4 之间并有下降的趋势,说明工业废水产生量较多并有增加的趋势。人均耕地指标值数值较低且由 0.125 下降到 0.087 5,可能是人口增长和耕地破坏、耕地被建设用地占用而减少等原因造成的。

单位面积土地工业固体废物、人口自然增长率

指标数值分别由 0.842 9 和 0.758 7 下降到 0.316 2 和 0.466 9,下降幅度较大,这说明工业固体废物产量逐年增多,对土地压力增大,人口自然增长率持续上升,直接导致人口数量对土地压力增大。环保投资占 GDP 比例指标数值由 0.589 4 上升到 0.887,环保投资占 GDP 比重持续上升间接反映了研究区域环保意识与环保能力在增强,有利于土地生态安全的改善。

3.2 土地生态安全评价

由表 5 看出,2001—2008 年汕头市土地生态安全值介于 0.6~0.7,即处于临界安全和较安全的等级之间。说明研究期内汕头市土地生态环境总体较好,土地生态系统结构较完整,土地生态系统服务功能基本完善,受干扰后一般可恢复。具体看来,土地生态安全综合值在 0.65 上下摆动,虽然变化幅度不大(不超过 0.034 8),但从 2003 年起总体呈现微弱的下降趋势,尤其是 2007 年土地生态安全综合值小于 0.65,土地生态安全等级开始进入临界安全状态。

## 4 结 论

研究基于 P—S—R 模型构建了汕头市土地生态安全评价指标体系,对 2001—2008 年汕头市的土地生态安全进行评价。结果表明,研究期间汕头市土地生态安全逐渐下降。

城市建设用地扩展强度、单位面积化肥、单位面积农药、单位土地面积工业废水、单位土地面积工业固体废弃物等指标数值的逐年减少使得汕头市土地生态系统压力安全指数逐年下降;森林覆盖率、水域面积率、单位土地面积 GDP 等指标数值逐年变化不大使得汕头市土地生态系统状态安全指数变化不大;环保投资占 GDP 比例和 R&D 经费占 GDP 比例等指标逐年提高使得汕头市土地生态系统响应安全指数逐渐提高。结合评价指标进行分析可知,人口增长、经济快速发展、城市扩张、土地利用变化给汕头市脆弱的生态环境带来了巨大压力。为此,汕头市进一步宣传计划生育政策,控制人口过快增长;倡导城乡土地的集约节约高效利用,积极开展社会主义新农村建设;保护生态环境健康发展,提高区域生态环境的服务能力。

### 参考文献:

- [1] 刘勇,刘友兆,徐萍. 区域土地资源生态安全评价:以浙江嘉兴市为例[J]. 资源科学,2004,26(3):69-70.
- [2] 董飞,宋戈. 城市区域土地生态安全评价:以哈尔滨市阿城区为例[J]. 国土资源情报,2010(4):41-45.
- [3] 吴未,谢嗣频. 中国土地生态安全评价研究进展与展望[J]. 河北农业科学,2010,14(5):99-100.
- [4] 李明月,赖笑娟. 基于 BP 神经网络方法的土地生态安全评价:以广州市为例[J]. 经济地理,2011,31(2):289-292.
- [5] 曲衍波. 基于 GIS 的山区县域土地生态安全评价与土地利用优化调控研究[D]. 山东泰安:山东农业大学,2008.
- [6] 杜艳春,姜畔,毛建素. 基于 P—S—R 模型的焦作市生态安全评价[J]. 环境科学与技术,2011,34(6):280-284.
- [7] 陈西蕊,张蓉珍. 基于 PSR\_TOPSIS 法的区域土地资源生态安全动态分析:以陕西省为例[J]. 贵州农业科学,2011,39(1):223-227.
- [8] 张小虎,袁磊,宋卫方. 基于灰关联法的城市土地生态安全评价:以哈尔滨市为例[J]. 国土与资源研究,2009(4):19-20.
- [9] 韦仕川,栾乔林,柴强. 基于灰色模糊综合评价模型的土地生态安全评价:以海南西部为例[J]. 广西农业科学,2010,41(2):187-190.
- [10] 李红霞,李霖,赵忠君. 基于模拟退火算法的投影寻踪模型在土地生态安全评价中的应用研究[J]. 国土与自然资源研究,2011(1):62-64.
- [11] 刘庆,陈利根,何长元,等. 基于生态足迹的长株潭城市群土地生态安全分析[J]. 资源与环境,2010,26(11):771-777.
- [12] 骆文辉,赵清,王乾坤,等. 基于属性识别模型的区域土地生态安全评价:以徐州市为例[J]. 云南地理环境研究,2009,21(2):75-80.
- [13] 黄辉玲,罗文斌,吴次芳,等. 基于物元分析的土地生态安全评价[J]. 农业工程学报,2011,26(3):316-320.
- [14] 杜忠潮,韩申山. 基于主成分分析的土地生态安全评价实证研究:以陕西省 10 个省辖市为例[J]. 水土保持通报,2009,29(6):198-207.
- [15] 谢花林. 土地利用生态安全格局研究进展[J]. 生态学报,2008,28(12):6305-6309.
- [16] 李玲玲. 广州市土地资源生态安全评价[D]. 广州:中山大学,2006.
- [17] 王恒伟,廖和平,赵宏伟,等. 山地城市生态安全评价:以重庆市渝北区为例[J]. 环境科学与管理,2010,35(1):147-151.
- [18] 王军广,赵志忠,赵广孺,等. 海南岛土地生态安全评价[J]. 安徽农业科学,2010,38(8):4215-4218.