

快速开发背景下海岛的生态安全评价 ——以平潭岛为例

孙会荟¹, 高升², 曹广喜²

(1. 南京审计大学沁园书院, 江苏 南京 211815; 2. 南京信息工程大学管理工程学院, 江苏 南京 210044)

摘要:随着人类活动的加剧与社会经济的持续发展,对海岛的开发日益剧烈.动态评价海岛开发建设过程中的生态安全状况是提出生态环境保护对策的前提;深入分析影响海岛生态安全的主要影响因素是准确调整海岛发展政策的客观依据,对缓解海岛开发建设与生态安全的矛盾,实现海岛建设与生态环境相互协调具有重要意义.本研究依据平潭岛的实际情况筛选出34个评价因子构建生态安全评价指标体系,指标涵盖社会、经济、环境3个方面.采用熵权法计算各评价指标权重提高了评价的客观性与准确性,通过主成分投影法对平潭岛2005—2015年的生态安全状况进行动态评价,探讨了平潭岛生态安全的变化状况.其中生态安全状况最差与最好的年份分别为2006、2011年,2006年的生态安全投影值最小,只有0.0041;2011年的生态安全投影值最高,为0.1781.绘制生态安全状况趋势图发现2009—2011年生态安全投影值的变化最为明显.通过灰色关联法进行驱动力分析发现社会消费品零售总额增长率、财政总支出、固定资产投资额增长率、工业总值增长率、接待旅游人数、城镇人口失业率、水产品总产量、生活垃圾无害化处理率、耕地年均损失率等9个社会经济指标对平潭岛的生态安全状况起到关键影响.

关键词:海洋环境科学;生态安全评价;熵权法;主成分投影法;灰色关联分析;平潭岛

DOI:10.3969/J. ISSN. 2095-4972. 2018. 04. 012

中图分类号:P76

文献标识码:A

文章编号:2095-4972(2018)04-0560-08

随着海岛开发活动对岛屿的生态安全状况带来的重大影响,岛屿的生态安全状况越来越受到人们的重视^[1],海岛的生态安全评价对准确了解海岛的生态安全动态状况,及时采取有效措施调整发展规划与管理政策,实现海岛开发与生态环境的可持续发展具有重要意义.国内外学者采用了多种方法模型探讨客观的生态安全指数^[2],有的学者通过灰色关联模型、物元分析法^[3]进行生态安全评价,有的学者结合GIS和遥感空间分析方法,通过综合指数法^[4]对生态安全状况进行评价. Huang等(2017)规范了评价标准和权重的确定方法,以厦门湾为例构建了生态系统服务评价指标体系^[5]. Xu等(2014)将广州作为一个案例研究,介绍了土地生态安全综合评价方法,合理评估具体的城市规划、评价

区域和单位尺度的土地生态安全^[6]. 大多数的相关研究虽评价结果较为客观,但大多未进行生态安全的时空分析,也未进行主要驱动因子分析. 此外,国内外学者从可持续性角度出发提出了多种易于使用的生态状态评价指标^[7],从景观单元水平过程出发,提出了以分区形式的土地生态安全动态评价方法^[8];从潜在生态风险出发,采用内梅罗指数法、Hakanson潜在生态危害系数法对海岛的潜在生态风险进行评价^[9];从生态承载力角度出发,定量研究了海岛近岸海域资源环境承载状态^[10];在生态网络框架基础上,利用图形理论的相关评价方法量化评价识别生态用地的具体属性以及生态用地之间的功能联系^[11];从海岸带生态修复的角度, Jones等(2010)从景观、工程技术、生态环境和社会经济等

收稿日期:2017-12-06

基金项目:江苏省社科应用研究精品工程财经发展专项课题资助项目(17SCB-14);江苏省社会科学基金资助项目(17GLB003);江苏高校哲学社会科学研究资助项目(2017SJA025);江苏省高校哲学社会科学研究重大项目(2017ZDAXM005)

作者简介:孙会荟(1989—),女,助理研究员;E-mail:sunhuihui@ncc.edu.cn

通讯作者:曹广喜(1976—),男,博士,教授;E-mail:Caoguangxi@nuist.edu.cn

方面对德克萨斯南部海岸带生态修复项目进行了评价^[12]。总之,对于海岛的生态安全动态趋势及其驱动力的探讨相对较少,生态安全的动态评估与驱动力分析是有针对性提出相应政策建议的重要决策依据,是合理开展海岛开发建设的前提与保障。如何准确获取岛屿的生态安全状况并及时的采取有效措施维护海岛的良好生态安全状况成为当前岛屿生态安全的研究热点。随着快速城市化背景下海岛生态安全的退化,在城市人口迫切的土地生态安全要求下,根据海岛生态环境的实际情况构建海岛生态环境评价指标体系,采用客观的模型方法动态评价海岛开发建设过程中的生态安全状况,主要是为了准确的把握海岛生态环境的动态变化,深入分析海岛生态环境的主要影响因子,及时调整海岛开发规划与管理政策,采取相应措施保证海岛生态环境的良性发展。随着海岛开发的日益剧烈,动态客观评价海岛开发建设过程中生态安全的变化状况并进行驱动因子分析,对实现海岛生态环境与社会经济持续发展具有重要意义。

平潭岛(25°16'~25°44'N, 119°32'~120°10'E)又称海坛岛,位于福建省东部沿海。平潭岛海岸线长达408 km,面积为267.13 km²,为福建第一大岛。未来平潭岛的总体发展规划目标是成为100万人口规模的海峡西岸新兴生态宜居海岛城市。国家设立平潭综合实验区后,全岛进入社会经济快速发展期,进行了大规模的开发建设。岛内生态环境状态也随之产生较大变化。因此,亟需开展平潭岛生态安全动态评价研究,以期及时监测平潭岛生态变化,为维持其健康可持续发展提供科学决策依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本研究统计数据主要来源于福州市统计年鉴^[13]、平潭岛统计年鉴^[14]、平潭岛建设规划等相关统计调研数据。

1.2 构建生态安全评价指标体系

依据平潭岛生态环境实际情况,结合国内外评价指标体系研究成果^[15-16]筛选出70个评价因子,采用德尔菲法选取能够深入反映海岛快速城镇化开发建设或者深受海岛的快速开发影响的34个评价指标因子,构建社会-经济-环境生态安全评价指标体系(表1)。

1.2.1 数据标准化处理 由于评价指标体系中的各项参评因子没有可比性,为了消除指标间单位度

量不一致的影响,使评价结果更加科学可靠。采用极差标准化转换法对整个指标体系构成的指标判断矩阵进行数据标准化处理,按数值越小人活动干扰越弱原则将原始数据转化为0~1区间的无量纲可比数值,通过指数化处理得到标准化矩阵: $Y = [y_{ij}]_{m \times n}$ 。

效益型指标采用如下公式:

$$Y = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

成本型指标采用如下公式:

$$Y = \frac{X_{\max} - X_i}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2)$$

式(1、2)中: Y 为标准值; X_i 为第*i*个指标值; $X_{\max}$ 为指标最大值; $X_{\min}$ 为指标最小值。

1.2.2 熵权权重 在对2005—2015年共11a数据进行标准化处理的基础上,根据所得到的评价指标的信息熵^[17],采用熵权法^[18]确定每个评价指标的熵权权重值,权重计算公式如下:

$$W_j = \frac{1 - H_j}{m - \sum_{j=1}^n H_j}, i = 1, 2, 3, \dots, n,$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, m, 0 \leq W_j \leq 1, \sum W_j = 1 \quad (3)$$

式(3)中: W_j 为指标权重, H_j 为各个指标的信息熵, m 为评价指标个数, n 为样本个数。

1.3 主成分投影法

主成分投影法^[19]通过正交交换将原有的指标转换成彼此正交的综合指标。作为一种多指标综合评价方法,利用各个主成分设计得到一个理想决策向量。该法克服了指标间信息重叠,客观确定评价对象的相对位置及安全等级。将被评价对象相对应的决策向量在该理想决策向量方向上的投影作为一维综合评价指标。基本步骤如下:

①选择评价指标建立评价矩阵 $[X_{n \times m}]$, n 代表决策方案, m 表示每个决策方案的指标。

②进行无量纲化得到矩阵 $[Y_{n \times m}]$ 。

③确定评价指标权重,对矩阵 $[Y_{n \times m}]$ 进行加权处理得到样本矩阵 $[Z_{n \times m}]$;评价向量为 $d_i = [z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{im}]$ 。

④指标正交变换,过滤掉指标间的重复信息。

对样本矩阵 $[Z_{n \times m}]$ 做正交变换,令 $U = ZA$ 得到新的样本评价矩阵 $[U_{n \times m}]$,其中每一个行向量对应一个决策,代表一个新的综合指标,通过 m 个无量纲化加权指标 z_{ij} 的线性组合表示。其新的决策向量记为 $d_i = [u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{im}]$ ($1 \leq i \leq n$)。其中正交矩阵 $A = [a_1, a_2, \dots, a_m]$ 满足

$$U^T U = A^T (Z^T Z) A = \begin{bmatrix} \lambda_1 & & \\ & \lambda_2 & \\ & & \dots \\ & & & \lambda_m \end{bmatrix} \quad (4)$$

式(4)中: $\lambda_1, \lambda_2, \cdots, \lambda_m \geq 0$ 是矩阵 $Z^T Z$ 的特征值; $A = [a_1, a_2, \cdots, a_m]$ 是其对应的特征向量.

⑤构造理想决策评价向量并计算投影值.

每个样本作为一个 m 维的向量,构造理想决策样本为 $d^* = [d_1, d_2, \cdots, d_m]$, 其中某决策样本 $d_i = \max_{1 \leq i \leq n} d_i = \max_{1 \leq i \leq n} \{u_{ij}\} \quad (1 \leq j \leq m)$; 将 d^* 单位化为

$$d_0^* = \frac{1}{\|d^*\|} \times d^* = \frac{1}{\sqrt{d_1^2 + d_2^2 + \cdots + d_m^2}} \times d^* \quad (5)$$

式(5)中: d_0^* 为决策向量单位化值, d^* 为理想决策向量, u_{ij} 是决策样本矩阵.

各决策向量在理想决策方向上的投影为

$$D_i = d_i \cdot d_0^* = \frac{1}{\sqrt{d_1^2 + d_2^2 + \cdots + d_m^2}} \sum_{j=1}^m d_j \cdot u_{ij} \quad (6)$$

式(6)中: D_i 为各个评价样本在理想决策方向上的投影值, d_j 是决策样本.

⑥将投影值大小进行排序,投影值越小,表明区域生态安全状况越差;投影值越大,表明区域生态安全状况越好.

1.4 灰色关联法

灰色关联法^[20]对系统参数要求不高,克服了常

见数理统计量化方法的局限性,特别适应尚未统一的生态安全系统,将因素之间发展趋势的相似或相异程度作为关联度,依次衡量因素间关联程度.若两个因素随时间或其他不同对象变化的曲线变化趋势越相近,则二者关联度较高,反之,则较低.依据灰色关联度原理,采用灰色关联度法确定生态安全状况的主要影响因子及关联度.每个评价指标在所有样本中的灰色关联系数的平均值反映了该指标在整个指标矩阵中的重要性.对评价指标在所有样本中的灰色关联系数取平均值,其计算公式如下:

$$\overline{w_j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \xi_i(k), 1 \leq j \leq m \quad (7)$$

式(7)中: $\overline{w_j}$ 为关联度,反映各个指标因子的相对重要性; $\xi_i(k)$ 为关联系数, n 为样本个数, m 为评价指标个数.

2 结果与讨论

2.1 构建评价指标体系与权重处理

将筛选出的 34 个评价指标作为 2005—2015 年平潭岛的生态安全状况动态评价的主要影响因子,构造平潭岛生态安全评价指标体系并得到一个涵盖 11a 的样本评价矩阵 $[X_{11 \times 34}]$,标准化处理后得到矩阵 $[Y_{11 \times 34}]$,依靠熵权法重新计算出与平潭岛生态安全状态相关的 34 个评价因子权重(表 1),对 $[Y_{11 \times 34}]$ 进行赋权处理得到 $[Z_{11 \times 34}]$.

表 1 平潭岛生态安全评价指标体系

Tab.1 Ecological security evaluation index system for Pingtan Island

准则层	指标层	指标属性	编号	熵权权重
社会指标	水产品总产量	+	X1	0.021 7
	农林牧渔业不变价发展速度	+	X2	0.021 2
	城镇人口比重	+	X3	0.035 3
	农村住户人均住房面积	-	X4	0.034 6
	社会消费品零售总额增长率	+	X5	0.028 6
	城镇人口失业率	-	X6	0.010 8
	人均住宅施工面积	+	X7	0.020 7
	单位耕地粮食产量	+	X8	0.031 5
	生活垃圾无害化处理率	+	X9	0.013 6
	土地开发面积增长率	+	X10	0.034 7
	土地垦殖率	-	X11	0.044 3
	工业产值环比增长率	+	X12	0.021 5
	年接待旅游人数	-	X13	0.031 1
	第一产业占 GDP 比率	-	X14	0.014 5

续表 1				
准则层	指标层	指标属性	编号	熵权权重
环境指标	第二产业占 GDP 比率	+	X15	0.024 3
	实际利用外资增长率	+	X16	0.047 8
	固定资产投资额增长率	+	X17	0.028 7
	水利环境和公共设施投资占 GDP 比率	+	X18	0.048 9
	卫生社会保障投资占 GDP 比率	+	X19	0.064 7
	教育投资占 GDP 比率	+	X20	0.041 2
	交通运输投资占 GDP 比率	+	X21	0.051 4
	土地开发投资额占 GDP 比率	+	X22	0.031 4
	财政总支出	+	X23	0.043 7
	年台风数	-	X24	0.010 7
	农作物受灾面积	-	X25	0.014 1
	水产品养殖受灾面积	-	X26	0.012 7
	单位面积耕地化肥使用量	+	X27	0.015 4
	单位面积耕地农药使用量	+	X28	0.016 9
	大气污染指数	-	X29	0.023 2
	水体质量达标率	+	X30	0.036 9
	森林覆盖率	+	X31	0.043 5
	城镇绿化率	+	X32	0.021 7
	年造林面积	+	X33	0.037 4
	人均森林面积	+	X34	0.021 3
注:“+”为权益性指标,“-”为成本性指标				

2.2 投影值的计算

依据投影理论求出矩阵 Z 和其转置矩阵 Z^T 的乘积,得到一个新的矩阵 $[N_{34 \times 34}]$,通过 matlab 计算得到矩阵 $[N_{34 \times 34}]$ 的特征值,其特征向量构成正交矩阵 A . 令 $U=ZA$,经过指标的正交变换得到新的决策矩阵 $[U_{11 \times 34}]$,找出每一列的最大值,构造一个理想决策向量 d^* ,计算出各个评价样本在理想决策方向上的投影值 D_i ,投影值越大,表明区域生态安全状况越好,反之则越差,依据样本投影值的大小可得出平潭岛 2005—2015 年期间各年的生态系统健康状况及优劣排序(表 2).

表 2 平潭岛生态安全投影值		
Tab. 2 Projection value of the ecological security for Pingtan Island		
年份	投影值	排序
2005	0.007 6	10
2006	0.004 1	11
2007	0.014 7	9
2008	0.016 4	8

续表 2		
年份	投影值	排序
2009	0.023 2	7
2010	0.057 8	6
2011	0.178 1	1
2012	0.167 7	4
2013	0.164 9	5
2014	0.168 3	3
2015	0.173 5	2

从表 2 可以看出,2011 年的生态安全投影值最高,为 0.178 1,而 2006 年的生态安全投影值最小,只有 0.004 1,表明在进行评价的 11 个年份中,生态安全状况最好的年份是 2011 年,而生态安全状况最差的年份是 2006 年. 2011—2015 年的生态安全状况基本排在评价年份生态安全状况的前 5 位.

2.3 灰色关联分析

根据灰色关联度原理计算得到评价指标在所有样本中的灰色关联系数的平均值,然后对 $\overline{w_j}$ 结果进

行归一化处理,得到灰色关联权重数列 $W = (w_1, w_2, \cdots, w_m)$. 按照灰色关联权重大小对评价指标降序排序(表3),从而得到影响平潭岛生态安全状态的主要驱动因子.

表3 灰色关联权重排序
Tab.3 Sorted gray associated weight

指标	编号	准则层	灰色关联法权重	排序
社会消费品零售总额增长率	X5	社会指标	0.039 2	1
财政总支出	X23	经济指标	0.036 3	2
固定资产投资额增长率	X17	经济指标	0.036 1	3
工业总值增长率	X12	经济指标	0.035 8	4
接待旅游人数	X13	经济指标	0.035 6	5
城镇人口失业率	X6	社会指标	0.035 5	6
水产品总产量	X1	社会指标	0.035 3	7
生活垃圾无害化处理率	X9	社会指标	0.035 2	8
土地垦殖率	X11	社会指标	0.035 1	9

通过对各评价指标的灰色关联权重结果排序并进行驱动力分析发现,9个关键影响因子分别为经济指标与社会指标,其中社会消费品零售总额增长率、财政总支出、固定资产投资额增长率及工业总值增长率等4个经济投入产出指标对平潭岛生态安全状况具有重大影响,灰色关联权重分别为0.039 2、0.036 3、0.036 1、0.035 8.

2.4 讨论

当前平潭综合实验区正在快速开发建设,根据平潭岛社会经济发展与生态安全状况主要影响因子之间的相互作用关系,用一系列生态安全评价指标深入评估分析平潭岛生态安全状况,并进行影响因子分析,分析各项指标因子的相互影响机制,在采用合理评价方法以及生态安全阈值的基础上有效反应平潭岛的生态问题和现状具有实践意义. 在构建生态安全评价指标体系的基础上,主成分投影法的评价模型具有较强的适用性,可为海岛生态安全评价提供一个重要的方法参考. 在主成分投影法评估平潭岛生态安全状况的基础上,通过灰色关联法进行生态安全的驱动力分析,深入分析影响平潭岛生态安全状况的主要因子. 基于筛选出的评价指标,采用德尔菲法对评价因子进行筛选,最终构建含有社会-经济-环境34个指标因子的平潭岛生态安全评价指标体系,对于整个指标体系内的指标进行数据标准化处理,随后采用熵权法对该指标体系中所有指标进行了客观赋权. 本研究仅用主成分投影法对海岛进行了生态安全评价,动态评

价了海岛的生态状况,分析了平潭综合实验区在大规模快速开发建设过程中的生态环境状况. 采用灰色关联法进行驱动力分析,探求影响平潭岛生态安全状况的主要影响因子,如果影响因子较少,就可能会减少发现关键影响因子的可能性,其实也是一种驱动因子的筛选过程.

从平潭岛生态安全投影值动态趋势图中发现平潭岛生态安全投影值在2005年呈现稍微的下降后(图1),2006—2009年持续平稳上升,2009—2011年生态安全投影值变化最为剧烈,陡然上升,这主要原因是2009年平潭岛由省级平潭综合试验区项目上升到国家战略层面,进入高速发展期,这说明在克服海岛的开发建设对生态环境的压力下,政府的积极响应收到成效,生态状况持续优化. 2011—2015年平潭岛处于稳定发展期,岛内生态安全投影值趋于稳定.

由于平潭岛在2005年进入较快的发展阶段,尤其是2009年设立平潭综合实验区之后,国家加大了资金投入,涉及海岛社会经济发展的诸多方面,带动了海岛整体经济的快速发展. 2009—2015年期间,经济指标在生态安全评价指标体系中的作用也日渐凸显.“十二五规划”中提出加快开放、开发平潭综合试验区,并将平潭设立为自由贸易区建设试点,一系列支撑政策的出台,使得平潭岛进入开放、开发的新阶段.

平潭岛以旅游城市与生态宜居城市为规划建设目标,吸引更多的旅游度假人数,在不断加大开发建

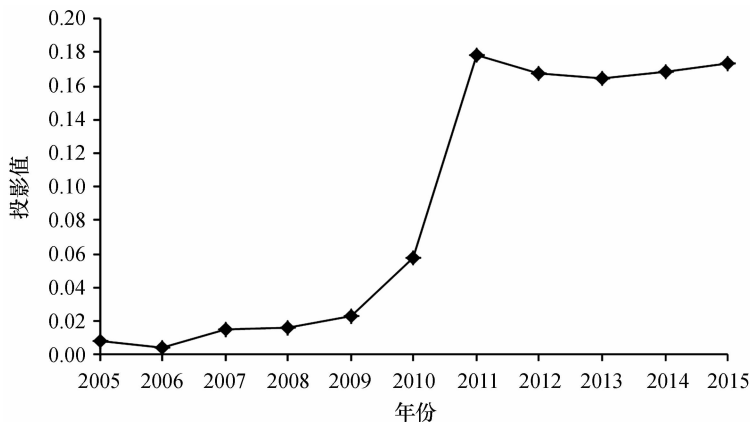


图1 2005—2015年平潭岛生态安全投影值变化

Fig. 1 Projection value change of the ecological security of Pingtan Island from 2005 to 2015

设投资的同时,不断提升海岛整体的社会经济效益,从而又带动优化了平潭岛的生态环境。随着经济的发展,人民生活水平的提高,平潭岛的旅游资源开发也日渐完善,自2005年被列入国家自然遗产名录后,岛内旅游业也随之得到发展,接待旅游人数指标成为影响平潭岛生态安全状况的重要指标,灰色关联权重达到0.035 6,在海岛生态安全状况的影响因子中位列第5。因此,在发展平潭岛旅游的同时,要注重依托科学理论开展生态旅游,同时要开展生态承载力监测,在确保生态安全状态良好的前提下开展旅游服务。城镇人口失业率是衡量经济好坏的重要指标,其灰色关联权重为0.035 5,位列第6,对平潭岛的生态安全状况具有一定的影响力。平潭岛作为“窗口”,政府投入大量资金并出台若干优惠政策,吸引大量重大项目前来建厂投资,大幅拉动岛内经济发展。虽然平潭岛第一产业主要以渔业为主,但第二、第三产业快速发展对经济增长贡献率较高,因此,水产品总量的灰色关联权重为0.035 3,排在旅游人次、城镇登记失业率指标之后位列第7。随着平潭岛经济的高速发展,城市化速率的提升,岛内居民生活水平不断提高,城市生活垃圾产量也直线上升,生活垃圾对岛内生态环境影响较大,其灰色关联权重达到0.035 2,排名第8。因此,在发展岛内经济的同时,要调查城市生活垃圾产生的途径,不仅从根源上减少城市生活垃圾的产生,同时要探索提高城市生活垃圾无害化处理率的方法,从技术上提高垃圾无害化处理效率,使得岛内生态环境得到良性发展。土地垦殖率指标表示土地被开垦后用于发展种植业的程度,以耕地面积和园地面积之和在土地总面积中所占比重来衡量,得到的灰色关联权重为0.035 1,位列第9,是影响平潭岛生态安全状况的环境因子中的重要指标。通过计算发现土地垦殖率由

2005年的22.75%逐渐下降到2011年的21.96%,并在后续年份中持续下降,说明耕地面积与园地面积占土地总面积的比重有所下降,反映土地利用程度不断提高,这是由于城市化发展过程中土地利用类型的变化。

3 结论

基于主成分投影法计算的生态安全投影值,发现平潭岛生态环境状况总体呈上升趋势,不断优化,2011年的生态安全状况最好,投影指数为0.178 1,其次是2015年与2014年,生态安全状况排序分别为第2与第3,投影指数为0.173 5与0.168 3。在所有评价年份中,2009—2011年的生态安全状况优化幅度最为明显。

通过计算各评价因子的灰色关联权重进行驱动力分析发现,9个社会经济因子对平潭岛的生态安全状况起到主要影响作用。社会消费品零售总额增长率、财政总支出、固定资产投资额增长率、工业总产值增长率、接待旅游人次、城镇登记失业率、水产品总产量、生活垃圾无害化处理率、土地垦殖率是平潭岛生态环境的主要驱动因子。

平潭岛频繁的开发活动一方面促进海岛社会经济发展,另一方面也可能带来一系列生态环境问题。因此,在海岛快速城镇化背景下,有必要对生态环境质量状况变化、社会经济发展的趋势进行驱动力分析,揭示平潭生态安全动态特征。深入分析在平潭岛开发建设过程中对其生态环境有重大影响的因子,以此调整相应的管理、保护机制,提高平潭岛的生态水平,为平潭海岛环境保护与可持续发展提供理论依据与政策支持,缓解海岛社会经济发展和资源环境保护之间的矛盾。

参考文献:

- [1] ROMBOUTS I, BEAUGRAND G, ARTIGAS L F, et al. Evaluating marine ecosystem health : Case studies of indicators using direct observations and modelling methods[J]. *Ecological Indicators*, 2013,24(1):353-365.
- [2] 燕守广, 唐欢欢, 曹学章, 等. 江苏省陆域生态红线区域生态安全评价[J]. *生态环境学报*, 2016,25(10):1 638-1 643.
- [3] 张凤太, 王腊春, 苏维词. 基于物元分析-DPSIR 概念模型的重庆土地生态安全评价[J]. *中国环境科学*, 2016,36(10): 3 126-3 134.
- [4] CAO C X, YANG B, XU M, et al. Evaluation and analysis of post-seismic restoration of ecological security in Wenchuan using remote sensing and GIS[J]. *Geomatics Natural Hazards and Risk*, 2016,7(6):1 919-1 936.
- [5] HUANG H, CHEN B, MA Z, et al. Assessing the ecological security of the estuary in view of the ecological services:A case study of the Xiamen Estuary[J]. *Ocean & Coastal Management*,2017,137:12-23.
- [6] XU L, HAO Y, LI Z, et al. Land ecological security evaluation of Guangzhou, China[J]. *International Journal of Environmental Research & Public Health*, 2014,11(10):10 537-10 558.
- [7] HUERTA E, KAMPICHLER C, OCHOAGAONA S, et al. A multi-criteria index for ecological evaluation of tropical agriculture in southeastern Mexico[J]. *Plos One*, 2014, 9(11):e112493.
- [8] 吴未, 陈明, 范诗薇, 等. 基于空间扩张互侵过程的土地生态安全动态评价:以(中国)苏锡常地区为例[J]. *生态学报*, 2016,36(22): 7 453-7 461.
- [9] 张鑫, 余树全, 李清林, 等. 洞头列岛土地利用对土壤及沉积物重金属污染的影响及其生态风险评价[J]. *生态科学*, 2016(5):126-135.
- [10] 张晓霞, 陶平, 程嘉熠, 等. 海岛近岸海域资源环境承载能力评价及其应用[J]. *环境科学研究*, 2016,29(11):1 725-1 734.
- [11] 傅强, 顾朝林. 基于生态网络的生态安全格局评价[J]. *应用生态学报*, 2017,28(3):1-13.
- [12] JONES K, PAN X, GARZA A, et al. Multi-level assessment of ecological coastal restoration in South Texas[J]. *Ecological Engineering*, 2010, 36(4):435-440.
- [13] 平潭县统计局. 平潭县统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2005—2015.
- [14] 福州市统计局. 福州市统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2005—2015.
- [15] 孙会芸. 福州市生态安全评价研究[D]. 福州:福建农林大学,2013.
- [16] DE LANGE H J, SALA S, VIGHI M, et al. Ecological vulnerability in risk assessment-a review and perspectives[J]. *Science of the Total Environment*, 2010, 408(18):3 871-3 879.
- [17] 张俊光, 宋喜伟, 杨双. 基于熵权法的关键链项目缓冲确定方法[J]. *管理评论*,2017,29(1):211-219.
- [18] 刘鑫, 葛淼, 原琳娜, 等. 基于熵权模糊模型的土壤重金属生态风险评价[J]. *安全与环境学报*, 2016,16(5):384-389.
- [19] 吴昌友, 杨静红, 许智慧. 基于主成分投影法的洪水灾情评价研究[J]. *中国安全科学学报*, 2012,22(4):121-126.
- [20] 关小克, 吴克宁, 王秀丽, 等. 灰关联分析在城市生态安全评价中的应用[J]. *安全与环境学报*, 2008,8(1):105-108.

Ecological security assessment for islands under rapid development with a case study in Pingtan Island

SUN Hui-hui¹, GAO Sheng², CAO Guang-xi²

(1. Qinyuan Academy, Nanjing Audit University, Nanjing 211815, China; 2. School of Management Science and Engineering, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: With the intensification of human activities and the sustainable development of the social economy, the exploitation of islands has intensified. Dynamic evaluation of the ecological security status in the development of island is a prerequisite for proposing ecological environmental protection measures. In-depth analysis of the main factors affecting island ecological security is an objective basis for accurately adjusting island development policies. It is of great significance to alleviate the contradiction between island development and ecological security and realize the coordination between island construction and ecological environment. Based on the case in Pingtan Island, this

study screened 34 evaluation factors to construct an ecological safety evaluation index system. The indexes cover social, economic and environmental aspects. Using entropy weight method to calculate the weight of each evaluation index improves the objectivity and accuracy of the evaluation. Based on entropy weight method, the ecological security of Pingtan Island from 2005 to 2015 was evaluated dynamically by principal component projection method, and the objectivity and accuracy of the evaluation were improved. It is found that the worst and the best years of ecological security situation were 2006 and 2011, respectively. The ecological security projection value in 2006 was the smallest and it was only 0.004 1. The highest ecological security projection value in 2011 was 0.178 1. Based on the map of ecological security situation, it is found that the ecological security projection value in 2009 and 2011 changed obviously. The driving force analysis showed that 9 social and economic indicators, including the total retail sales of social consumer goods growth rate, financial expenditure, fixed asset investment growth rate, industrial growth rate, tourist number, unemployment rate, total output of aquatic products, garbage harmless treatment rate, average annual loss rate of cultivated land, of ecological security situation of Pingtan Island play important influence with the grey correlation method.

Key words:marine environmental science; ecological safety evaluation; entropy weight method; key composition projection method; driving force analysis; Pingtan Island

DOI:10.3969/J. ISSN. 2095-4972. 2018. 04. 012

(责任编辑:方建勇)