

# 基于土地利用空间格局的区域生态系统健康评价 ——以舟山岛为例

陆丽珍<sup>1,\*</sup>, 詹远增<sup>1,2</sup>, 叶艳妹<sup>1</sup>, 陈建裕<sup>2</sup>, 牟永铭<sup>3</sup>

(1. 浙江大学地球科学系, 杭州 310027; 2. 国家海洋局 第二海洋研究所 卫星海洋环境动力学国家重点实验室, 杭州 310012;

3. 浙江省环境监测中心, 杭州 310012)

**摘要:**土地利用空间格局是影响区域生态系统健康状态的重要因素。构建适用于舟山岛生态系统健康诊断的“活力-组织结构-恢复力-生态系统服务功能”评价指标体系,其活力以植被相对密度指数表征、组织结构以蔓延度等4个景观格局指数表征。选择镇、乡或街道等行政区作为评价单元,以遥感数据和土地利用调查数据为基础,采用GIS和RS技术,提取舟山岛17个乡镇1970—2005年间5个时期的土地利用空间格局和指标信息,采用综合参数评价模型对研究区生态系统健康进行时空动态评价。研究表明:(1)35a来舟山岛生态系统健康整体状况呈下降趋势,相对较好的区域面积下降了18%,相对一般的下降了8%,而相对较差的上升了26%;(2)城市化、滩涂围垦与沿海工业的发展是舟山岛生态系统健康状态下降的主要原因。

**关键词:**区域生态系统健康;评价指标体系;土地利用空间格局;舟山岛

## Regional ecosystem health assessment based on land use pattern: a case of study of Zhoushan Island

LU Lizhen<sup>1,\*</sup>, ZHAN Yuanzeng<sup>1,2</sup>, YE Yanmei, CHEN Jianyu<sup>2</sup>, MOU Yongming<sup>3</sup>

1 Earth Science Department of Zhejiang University, Hangzhou 310027, China

2 State Key Laboratory of Satellite Environment Dynamics, Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China

3 Zhejiang Environmental Monitoring Center, Hangzhou 310012, China

**Abstract:** Land use pattern is one of the important factors influencing regional ecosystem health. An assessment index system of “vigor-organization-resilience-service” was built to diagnose the regional ecosystem health of Zhoushan Island. Of which, the vigor index was represented by relative density of vegetation, and organization index was indicated by four indices of landscape pattern, including contagion, Shannon’s diversity, Shannon’s evenness, and intertusion & juxtaposition. The administrative units of town, township or subdistrict were taken for evaluation. Based on remote sensing images and land-use-survey data, using GIS and RS technologies, the spatial and temporal dynamics of ecosystem health of Zhoushan in 5 successive periods during 1970—2005 were assessed in terms of the comprehensive parameters evaluation model. The results showed that the ecosystem health of Zhoushan Island declined in the past 35 years in general. It dropped by 18% and 8% in good and ordinary areas respectively, while increased by 26% in worse area. The main reasons causing the decrease of the ecosystem health of Zhoushan Island were urbanization, beach land reclamation and industrial development.

**Key Words:** regional ecosystem health; assessment index system; land use pattern; Zhoushan Island

生态系统健康是近年来生态系统管理领域的研究热点<sup>[1]</sup>,是实现人类社会经济可持续发展的根本保

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(70673087);浙江省自然科学基金资助项目(Y505245)

**收稿日期:**2008-08-20; **修订日期:**2009-03-24

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lulizhen21@163.com.

证<sup>[2]</sup>,其为环境管理提供新思路和新方法<sup>[3-4]</sup>。目前生态系统健康研究还处在发展的初始阶段,其前沿性研究在于将生态系统健康概念与其它生态学理论相结合、应用遥感 RS 和地理信息系统 GIS 等技术来监测生态系统健康<sup>[5-6]</sup>,而评价指标体系和评价模型的构建是其研究的关键<sup>[7]</sup>。

但在实际应用中存在指标体系过于庞杂、评价模型可操作性较差等问题<sup>[6-8]</sup>,而且大都未能考虑生态系统服务功能指标(而这种生态系统服务功能的维持是评价生态系统健康的一个重要原则<sup>[9-10]</sup>),也基本上忽略了土地利用景观格局对健康状态的影响<sup>[8]</sup>。

本文以舟山岛为研究区,以舟山岛 17 个乡镇(街道)为评价单元,以生态系统健康、景观生态学等理论为基础,充分考虑研究区土地利用空间格局对海岛生态系统健康的影响,根据舟山岛生态系统特点,构建“活力-组织结构-恢复力-生态系统服务功能”评价指标体系,并采用 GIS 和 RS 技术,对舟山岛 1970 年至 2005 年间生态系统健康状态进行时空动态评价,为区域生态系统健康评价提供一种新方法,为舟山岛合理开发和利用土地资源、实现可持续发展提供科学依据。

## 1 研究区域和数据来源

### 1.1 研究区域概况

舟山岛位于浙江省东北部,背靠沪杭甬,面向太平洋,是华东门户。舟山岛涉及定海区和普陀区的核心部分,地处北纬 29°94′—30°19′,东经 121°93′—122°34′,属北亚热带南缘海洋性季风气候,四季分明,光照充足,蒸发量大,无霜期长,年平均气温 16.3℃,年平均日照时数 2038h,年平均降水量 1295mm,全年多大风,春季多海雾,夏秋季多台风。境内大部分为中生界侏罗系、白垩系火山——沉积岩系所覆盖,构造线走向呈东北—西南向,岸线蜿蜒曲折,滨海小平原狭窄,平原与丘陵交错分布,山脊或分水岭相隔,形成一丘一壑的地形。

随着舟山海洋经济的发展和大陆连岛工程的实施,滩涂资源的开发利用已成为舟山发展经济拓展空间的重要途径,舟山岛土地利用空间格局发生了和正在发生着较大的变化,这就势必影响舟山岛生态系统健康。

### 1.2 数据来源

遥感影像数据主要包括两种类型:一是美国 LandSat TM 影像,分辨率为 30m×30m,成像时间为 1986 年 5 月 31 日、1995 年 8 月 12 日和 2000 年 6 月 14 日 3 个时次;二是美国 CORONA 间谍卫星全色影像,分辨率为 6m×6m,成像时间为 1970 年 11 月 9 日。

其它数据包括:2005 土地利用调查数据即 2005 年土地利用/覆盖图,其数据格式为 ArcGIS 的 shp 文件,字段信息包括 DLDM(地类代码)、DLMC(地类名称)、ZQMC(政区名称)等;2005 年舟山市行政区划图;研究区 1:5 万地形图,其格式为 Arc/Info 的 Coverage;研究区 1:5 万的数字高程模型 DEM 数据,其网格大小为 25 m×25m、格式为 GRID;2005 年舟山市统计年鉴以及舟山市志等。

## 2 研究方法

### 2.1 土地利用/覆盖信息提取

利用 ERDAS 遥感影像处理软件对 CORONA、TM 影像进行配准后,以 2005 年土地利用/覆盖数据及 DEM 等为基础,通过人机交互方式提取 1970 年土地利用/覆盖信息,通过监督分类与人机交互相结合方法分别提取 1986 年、1995 年、2000 年的土地利用/覆盖信息。土地利用/覆盖信息主要分为林地、水田、旱地、盐田、河流水库水面、养殖水面、高密度建筑用地、低密度建筑用地、海涂等 9 种用地类型,其中高密度建筑用地主要指城市、城镇、独立工矿用地等不透水层覆盖面积比率较高的用地,低密度建筑用地是指包括部分耕地在内的农村居民地。将提取的各时次土地利用/覆盖信息转成矢量格式存入 Geodatabase 数据库,并利用 ArcGIS 软件的空间统计功能得到舟山岛各时次各乡镇(街道)9 种地类的面积(表 1)。

### 2.2 指标体系构建

评价指标体系的建立是生态系统健康评价的基础和核心,学者们提出了“生态特征-功能整合性-社会环境”<sup>[11]</sup>、“资源环境-社会经济人文影响-生态综合功能”<sup>[12]</sup>、“生态特征-人类扰动”<sup>[13]</sup>等指标体系分解方案。在这些分解方案中,以“活力-组织力-恢复力”分解框架为基础的评价指标体系得到了广泛认可<sup>[10,14-16]</sup>。

表 1 1970—2005 年间舟山岛各种用地类型面积百分比表

Table 1 Area percentage of different land use types of Zhoushan inland between 1970 and 2005

| 用地类型面积<br>Area of land use type    | 年 Year |       |       |       |       |
|------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|
|                                    | 1970   | 1986  | 1995  | 2000  | 2005  |
| 林地 Forest land                     | 48.01  | 47.16 | 47.17 | 47.18 | 47.65 |
| 旱地 Dry land                        | 12.82  | 13.97 | 16.67 | 14.65 | 11.07 |
| 水田 Paddy land                      | 19.43  | 17.82 | 14.33 | 15.08 | 14.88 |
| 高密度建筑用地 High-density built-up land | 2.63   | 4.48  | 5.87  | 7.11  | 10.26 |
| 低密度建筑用地 Low-density built-up land  | 4.64   | 5.23  | 5.46  | 5.58  | 5.70  |
| 河流水库水面 Water surfaces              | 2.07   | 2.22  | 2.21  | 2.31  | 2.67  |
| 养殖水面 Aquacultural waters           | 0.16   | 0.98  | 1.35  | 1.39  | 2.16  |
| 盐田 Salt land                       | 0.47   | 1.36  | 1.41  | 1.37  | 1.38  |
| 海涂 Beach                           | 9.78   | 6.78  | 5.54  | 5.34  | 4.22  |
| 合计 Summation                       | 100    | 100   | 100   | 100   | 100   |

“活力-组织力-恢复力”的评价方法在实际应用中大都未能考虑生态系统服务功能指标,也基本上忽略了土地利用景观格局对健康状态的影响,而且存在可操作性比较差等问题。本文充分考虑研究区土地利用空间格局对生态系统健康的影响,并根据舟山岛生态系统特点,构建如图 1 所示的“活力-组织结构-恢复力-生态系统服务功能”评价指标体系。

2.2.1 活力

活力指标值一般通过解译 TM 影像计算归一化植被指数 NDVI 得到<sup>[14-15]</sup>。而本文研究的是 1970—2005 年间舟山岛生态系统健康状态的动态变化,所采用的数据源包括 CORONA 全色影像、3 个年份不同月份的 TM 影像及土地利用调查数据,为克服无法基于全色影像和土地利用调查数据计算 NDVI 值、以及因植被的繁茂程度存在季节性差异而导致的不同年份 NDVI 差异,本文引入植被相对密度指数 (vegetation relative density index,简称 VRDI)来表征生态系统活力。

VRDI 表示某一地类相对于高密度建筑用地的植被繁茂程度。

(1) 选用植物生长茂盛的 1995 年 8 月份的 TM 影像,按公式(1)计算各像元 C 值:

$$C = \frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3} \quad (1)$$

(2) 分别计算研究区高密度建筑用地、旱地等 9 类用地的 C 均值  $\bar{C}$ ;

(3) 按公式(2)计算某一地类的相对密度指数 VRDI:

$$VRDI_i = \bar{C}_i - \bar{C}_{\text{高密度建筑用地}} \quad (2)$$

在获得 1995 年各乡镇各类用地 VRDI 值并用 1995 年各类用地 VRDI 值近似代替其他各年份对应地类的 VRDI 基础上,即可按公式(3)求得研究区生态系统各年份各乡镇的活力指标 VI:

$$VI = \sum_i VRDI_i \times S_i \quad (3)$$

其中,VRDI<sub>i</sub>为某乡镇某一年份地类 i 的 VRDI 值;S<sub>i</sub>为某乡镇某一年份地类 i 的总面积。

2.2.2 组织结构

景观格局的复杂性和多样性是生态系统适应环境变化的基础,基于空间邻接关系的景观格局指数是区域生态系统健康评价的适宜指标<sup>[2]</sup>。本文在分析已有研究所采用的景观格局指数基础上<sup>[14-15]</sup>,根据舟山岛生

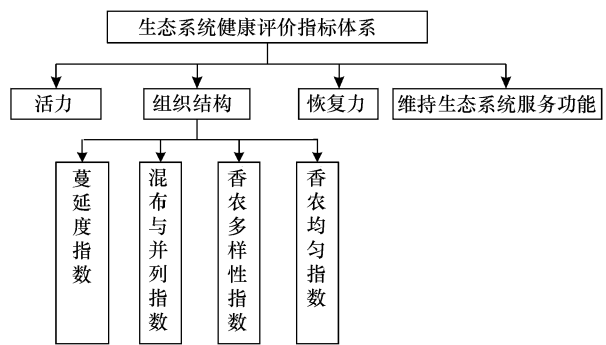


图 1 生态系统健康评价指标体系

Fig. 1 Assessment indicators system for ecosystem health

态系统特点,选择蔓延度指数、混布与并列指数、香农多样性指数、香农均匀度指数等景观格局指数来表征生态系统组织结构。景观格局指数计算公式及含义见表2。

表2 景观格局指数计算公式及含义  
Table 2 Calculation formulae and meanings of landscape pattern indices

| 参数 Parameters                                       | 缩写<br>Abbreviation | 公式 Formula                                                                                                                                                                                                      | 含义 Meaning                            |
|-----------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 蔓延度指数<br>Contagion index                            | CONTAG             | $\text{CONTAG} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[ \left( P_i \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \ln \left( P_i \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right]}{2 \ln m} \right] (100)$ | 表示斑块的聚集程度                             |
| 混布与并列指数<br>Interspersion and<br>Juxtaposition Index | IJI                | $\text{IJI} = \frac{\sum_{r=1}^{m'} \sum_{k=r+1}^{m'} \left[ \left( \frac{e_{ik}}{E} \right) \ln \left( \frac{e_{ik}}{E} \right) \right]}{\ln \frac{1}{2} m(m-1)} (100)$                                        | 表示斑块的混合或分散程度                          |
| 香农多样性指数<br>Shannon's<br>Diversity Index             | SHDI               | $\text{SHDI} = - \sum_{i=1}^m (P_i \ln P_i)$                                                                                                                                                                    | 在景观级别上等于各斑块类型的面积比乘以其值的自然对数之后的和的负值。    |
| 香农均匀度指数<br>Shannon's<br>Evenness Index              | SHEI               | $\text{SHEI} = \frac{- \sum_{i=1}^m (P_i \ln P_i)}{\ln m}$                                                                                                                                                      | 等于香农多样性指数除以给定景观丰度下的最大可能多样性(各斑块类型均等分布) |

### 2.2.3 恢复力

恢复力是指生态系统维持结构与格局的能力,即系统在胁迫消失后逐步反弹回复的能力。直接测量生态系统的恢复力比较困难<sup>[6]</sup>,因此,本文根据不同用地类型对生态恢复的贡献和作用,并在参考刘明华等研究的基础上<sup>[14]</sup>,给各种用地类型赋予不同级别的生态恢复力值(表3)。

表3 各种用地类型恢复力系数  
Table 3 The values for ecological resilience of different land use types

| 用地类型 Land use type                 | 恢复力 Resilience | 说明 Statement                                                 |
|------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------|
| 林地 Forest land                     | 1              | 对维持生态系统的恢复力有决定意义的用地类型;林地和水域在维持区域稳定性和保持区域的调节能力方面有极其重要的作用的生态类型 |
| 河流水库水面 Water surface               | 0.9            |                                                              |
| 养殖水面 Aquacultural waters           | 0.8            |                                                              |
| 海涂 Beach                           | 0.7            |                                                              |
| 水田 Paddy land                      | 0.6            | 对维持生态系统恢复力有重要作用,但利用不好,容易使生态系统退化而导致生态恢复力的下降                   |
| 旱地 Dry land                        | 0.5            |                                                              |
| 低密度建筑用地 Low-density built-up land  | 0.4            |                                                              |
| 高密度建筑用地 High-density built-up land | 0.3            |                                                              |
| 盐田 Salt land                       | 0.1            | 对维持生态系统恢复力的贡献相对很小                                            |

生态系统恢复力计算公式为:

$$F = \sum_i \frac{A_i \times F_i}{A} \quad (4)$$

公式(4)中, $F$ 为生态系统总恢复力; $A_i$ 为第*i*种地类面积; $F_i$ 为第*i*种地类的恢复力系数。 $A$ 为研究区总面积。

### 2.2.4 生态系统服务功能

生态系统服务功能是指生态系统对人类社会所提供的物质和生存环境的服务性能。李加林等把生态系

统服务功能概括为直接经济价值(物质生产)和间接经济价值(水土保持、休闲文化等)共 13 项服务功能,并以土地利用动态数据为基础,应用生态学、生态经济学等方法分析了杭州湾南岸滨海平原土地利用变化所引起的生态系统服务价值变化<sup>[16]</sup>。本文研究区域毗邻杭州湾滨海平原,根据地理学第一定律,维持生态系统服务功能指标可以用李加林等<sup>[16]</sup>计算得到的各类用地生态服务功能价值来近似地加以衡量(表 4)。

表 4 各种用地类型单位面积生态系统服务功能价值表  
Table 4 Ecosystem services values of different land use types

| 用地类型 Land use type                 |                         | 单位面积价值 Unit area value/(10 <sup>6</sup> yuan·km <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> ) |      |
|------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------|
| 本研究 The study                      | [16]                    | 本研究 The study                                                                    | [16] |
| 林地 Forest land                     | 林地 Forest land          | 8.17                                                                             | 8.17 |
| 旱地 Dry land                        | 旱地 Dry land             | 1.22                                                                             | 1.22 |
| 水田 Dry land                        | 水田 Dry land             | 3.17                                                                             | 3.17 |
| 高密度建筑用地 High-density built-up land | 建筑用地                    | 1.05                                                                             | 1.05 |
| 低密度建筑用地 Low-density built-up land  | Built-up land           | 1.15                                                                             | —    |
| 河流水库水面 Water surfaces              | 水域 Water body           | 4.85                                                                             | 4.85 |
| 养殖水面 Aquacultural water            | 养殖用地 Aquacultural water | 5.73                                                                             | 5.73 |
| 盐田 Salt land                       | 盐田 Salt land            | 2.57                                                                             | 2.57 |
| 海涂 Beach                           | 滩地 Beach                | 15.8                                                                             | 15.8 |

\* 价值计算以 2000 年的价格为基准

2.3 评价单元

目前,我国区域生态系统健康评价研究主要针对以下区域类型展开:湿地、森林、农田、城市、港口等,而针对行政区的生态系统健康评价则刚刚起步<sup>[8]</sup>。本文根据舟山市 2005 年行政区划图,将舟山岛 17 个乡镇和街道作为本次研究的评价单元,见图 2(a)。

2.4 综合参数评价模型

指标体系中各项评价指标的量纲各不相同,即使是同一量纲,其实际数量也存在很大差异。为消除量纲不同和数量差异而造成的影响,在进行综合评价时需要先对各指标进行标准化处理。本文采用公式(5)的极值归一化方法对各指标进行量纲统一处理。

$$P_i = \frac{X_i - \min(X_i)}{\max(X_i) - \min(X_i)} \tag{5}$$

按公式(6)计算生态系统健康状态综合指数 SHI:

$$SHI = \sum_i P_i \cdot W_i \tag{6}$$

式中,SHI 为生态系统健康状态综合指数; $P_i$ 为归一化处理后指标值; $W_i$ 为*i*项指标的权重值。权重值主要依据专家经验,并参考对指标重要性的分析,用层次分析法获取,结果为:VI 0.222、CONTAG 0.038、IJI 0.038、SHDI 0.112、SHEI 0.112、RESI 0.167、KSI 0.312。

3 评价结果与分析

3.1 评价结果

按上述方法计算得到舟山岛各年份各乡镇生态系统健康评价单项指标归一化值,在此基础上,根据公式(6),计算求得研究区各年份各乡镇生态系统健康评价综合指数,评价结果参见表 5 和图 2(b)—(f)。

3.2 健康状态的时空特征

从时间角度分析,舟山岛健康状态相对较好(含良好)的乡镇由 1970 年的 4 个减少到 1986 年的 2 个(1986 年后保持不变),区域面积则由 40.7% 下降到 22.89%,下降了近 18%;健康状态一般的乡镇由 1970 年的 6 个减少到 2005 年的 4 个,区域面积则由 42.2% 下降到 34.25%,下降了近 8%;健康状态相对较差(含差)的乡镇由 1970 年的 7 个增加到 2005 年的 11 个,区域面积则由 17.1% 上升到 42.86%,上升了近 26%。由此

表 5 舟山岛生态系统健康综合评价结果

Table 5 The results of ecosystem health assessment in Zhoushan inland

| 健康等级<br>Health class | 健康状态<br>Health state | 标准化分值<br>Standard scores | 健康值分布(乡镇个数、面积百分比) Health scores (township number, area percent) |      |      |       |      |       |      |       |      |       |
|----------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
|                      |                      |                          | 1970                                                            |      | 1986 |       | 1995 |       | 2000 |       | 2005 |       |
| 一级<br>First class    | 良好 Good              | >0.8                     | 1                                                               | 12.8 | 0    | 0.0   | 0    | 0.0   | 0    | 0.0   | 0    | 0.0   |
| 二级<br>Second class   | 较好 Fairly good       | 0.6—0.8                  | 3                                                               | 27.9 | 2    | 22.89 | 2    | 22.89 | 2    | 22.89 | 2    | 22.89 |
| 三级<br>Third class    | 一般 Ordinary          | 0.4—0.6                  | 6                                                               | 42.2 | 7    | 53.81 | 6    | 47.24 | 6    | 47.25 | 4    | 34.25 |
| 四级<br>Fourth class   | 较差 Relatively poor   | 0.2—0.4                  | 4                                                               | 15.3 | 4    | 19.13 | 5    | 25.7  | 4    | 22.2  | 6    | 35.2  |
| 五级 Fifth class       | 差 Poor               | <0.2                     | 3                                                               | 1.8  | 4    | 4.17  | 4    | 4.17  | 5    | 7.66  | 5    | 7.66  |

行政区划按 2005 年; 本岛面积按 2005 年的 502.65km<sup>2</sup>统计(其中陆地 476.17 km<sup>2</sup>, 滩涂 26.48 km<sup>2</sup>); 其余年份不在 2005 年行政区划范围内的部分不作计算, 在 2005 年范围内且为海域部分作水域地类处理

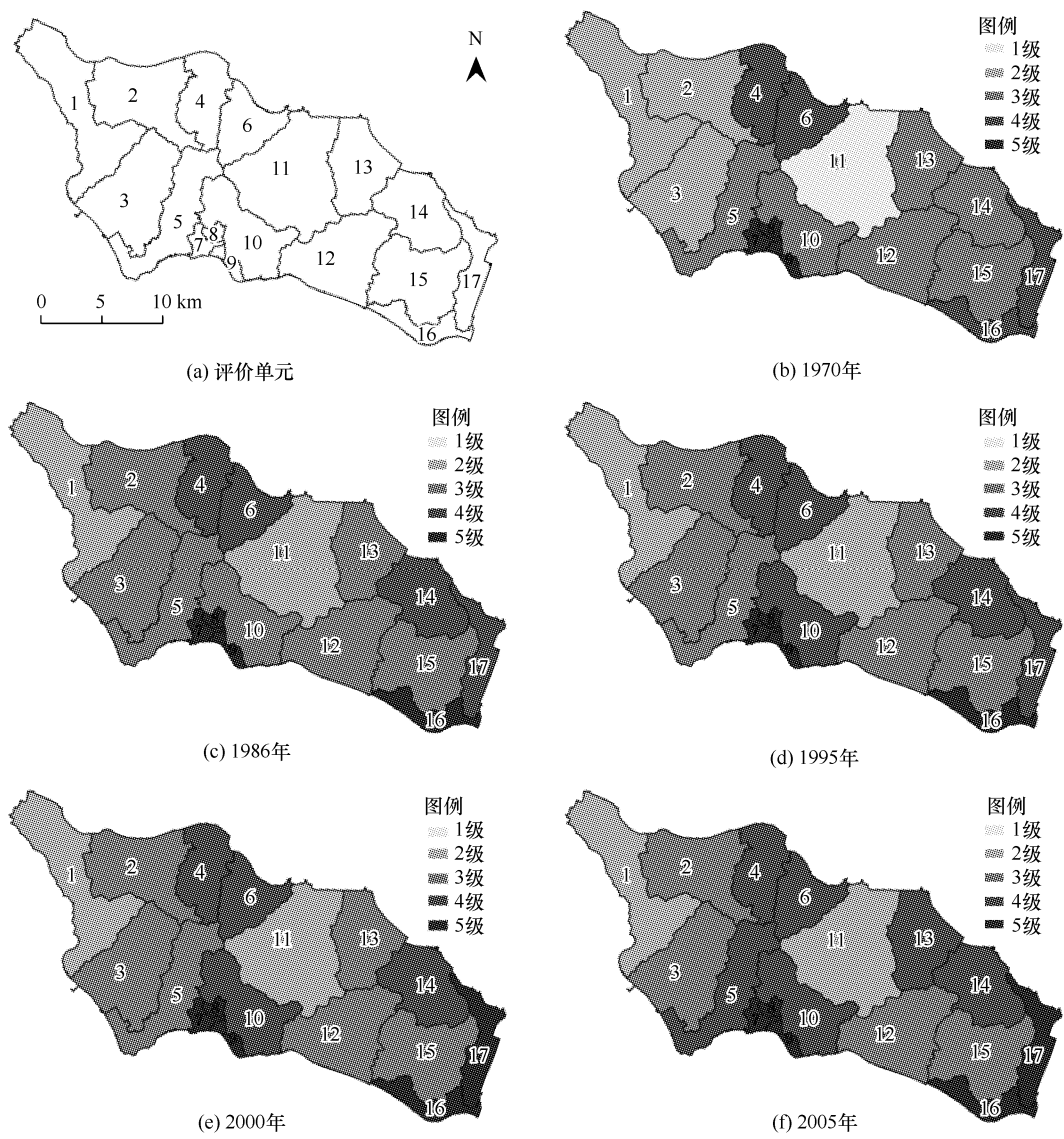


图 2 1970—2005 舟山岛综合评价指数分布图

Fig. 2 Synthesized indices of ecosystem health in Zhoushan inland between 1970 and 2005

可以得知,舟山岛生态系统健康整体状况一般,且 35a 来健康状态下降趋势明显。影响舟山岛生态系统健康状态的主要原因是近二三十年来舟山海洋经济的发展,使得占一定数量的具有高恢复力和高生态系统服务功能的景观斑块(如滩涂)向低恢复力和低生态系统服务功能的景观斑块(如高密度建筑用地)转变所致(表 1)。

从空间角度分析,区域 1、2、3、11 的健康状态相对较好,这是因为这几个区域离城区(区域 7、8、9 及 16、17 等)相对较远,人类活动影响相对较少,且林地覆盖率高,区域生态系统的活力、恢复力及服务功能相对较强;区域 7、8、9、16、17 的健康状态相对较差,这是由于这几个区域为定海区和普陀区的老城区,人口密度大,人类干扰活动显著,组织结构不合理及服务功能弱等原因造成的。

从时空综合角度分析,区域 5、10、16、17 健康状态下降趋势明显,这主要是由舟山市城市化过程中城区扩张所致;区域 2、11、13、14 健康状态有所下降,其主要原因为这些区域的滩涂围垦、工业发展较快所致。

#### 4 结语

目前生态系统健康研究还处在发展的初始阶段,但其作为一种环境管理新方法越来越受到重视。本文通过构建基于土地利用空间格局的“活力-组织结构-恢复力-生态系统服务功能”评价指标体系和评价模型,在 GIS 和 RS 技术支持下,以遥感数据和土地利用调查数据为基础,以行政区划为评价单元,对舟山岛 1970—2005 年间的生态系统健康进行时空动态评价,研究结果表明:(1)35a 来舟山岛生态系统健康状态相对较好的区域面积下降了 18%,相对一般的下降了 8%,而相对较差的上升了 26%,这说明舟山岛生态系统健康整体状况呈下降趋势;(2)城市化、滩涂围垦与沿海工业的发展是舟山岛生态系统健康状态下降的主要原因。

本文没有试图制定一个生态系统健康评价标准,而是对舟山岛 17 个乡镇不同时段的生态系统健康状态作相互比较研究,得出的研究结果是相对的。但由于本文采用了 GIS 和 RS 技术,舟山岛土地利用空间格局及其它信息可以很方便地得以更新,因此能够较好地实现生态系统健康动态评价,为舟山岛环境保护和合理开发利用土地资源提供科学依据,也为生态系统健康评价研究提供一种新方法。

#### References:

- [1] Liu G Y, Yang Z F, Chen B, Zhang Y, Zhang L X, Zhao Y W, Jiang M M. Emergy-based urban ecosystem health assessment: A case study of Batou, China. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2009, 14: 972-981.
- [2] Ma K M, Kong H M, Guan W B, Fu B J. Ecosystem health assessment: methods and directions. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(12): 2106-2116.
- [3] Costanza R. Toward an operational definition of ecosystem health//Costanza R, Norton B G, Haskell B D, eds. *Ecosystem health: new goals for environmental management*. Washington D C: Inland Press, 1992: 239-256.
- [4] Gallopín G C. Perspective on the health of urban ecosystem. *Ecosystem Health*, 1995, 1: 129-141.
- [5] Rapport D J. Gaining respectability: development of quantitative methods in ecosystem health. *Ecosystem Health*, 1997, 3: 3-10.
- [6] Xiao F J, Ou Y H. Ecosystem health and its evolution indicator and method. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(2): 203-209.
- [7] Suo A N, Xiong Y C, Wang T M, Yue D X, Ge J P. Ecosystem health assessment of the Jinghe River watershed on the Huangtu Plateau. *Ecohealth*, 2008, 5: 127-136.
- [8] Peng J, Wang Y L, Wu J S, Zhang Y Q. Evaluation for regional ecosystem health: methodology and research progress. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11): 4877-4885.
- [9] Ren H, Wu J G, Peng S L. Evaluation and monitoring of ecosystem health. *Tropical Geography*, 2000, 20(4): 310-316.
- [10] Guo X R, Yang J R, Mao X Q. Primary studies on urban ecosystem health assessment. *China Environmental Science*, 2002, 22(6): 525-529.
- [11] Cui B S, Yang Z F. Establishing an indicator system for ecosystem health evaluation on wetlands II. an application. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(8): 1231-1239.
- [12] Dai A H, Liu G B, Tian J L, Xue S, Zhai S, Wang G L. Health diagnoses of eco-economy system in Zhifanggou small watershed on typical erosion environment. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(7): 2219-2228.
- [13] Chen M, Zhang S Q, Wang Z Q, Wang D D. The assessment of ecosystem health of wetland of Jiaoliu river based on GIS. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2006, 22(3): 165-168.
- [14] Liu M H, Dong G X. Ecosystem health assessment and driving force analysis in Qinhuangdao area based on RS & GIS. *Geographical Research*,

2006,25(5):930-938.

- [15] Jiang W G, Li J, Li J H, Xie Z R, Wang W J. Assessment of wetland ecosystem health in the Liaohe river delta. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3):408-414.
- [16] Li J L, Xu J Q, Tong Y Q, Yang X P, Zhang D F. Effects of land use changes on values of ecosystem service on costal plain of south Hangzhou bay bank. *Economic Geography*, 2005, 25(6): 804-809.

#### 参考文献:

- [6] 肖风劲,欧阳华.生态系统健康及其评价指标和方法. *自然资源学报*, 2002, 17(2): 203-209.
- [8] 彭建,王仰麟,吴健生,张玉清. 区域生态系统健康评价——研究方法与进展. *生态学报*, 2007, 27(11): 4877-4885.
- [10] 郭秀锐,杨居荣,毛显强. 城市生态系统健康评价初探. *中国环境科学*, 2002, 22(6): 525-529.
- [11] 崔保山,杨志峰. 湿地生态系统健康评价指标体系 II. 方法与案例. *生态学报*, 2002, 22(8): 1231-1239.
- [12] 戴全厚,刘国彬,田均良,薛蕙,翟胜,王国梁. 侵蚀环境小流域生态经济系统健康定量评价. *生态学报*, 2006, 26(7): 2219-2228
- [13] 陈铭,张树清,王志强,王丹丹. 基于 GIS 的蛟流河流域湿地生态系统健康评价. *农业系统科学与综合研究*, 2006, 22(3): 165-168.
- [14] 刘明华,董贵华. RS 和 GIS 支持下的秦皇岛地区生态系统健康评价. *地理研究*, 2006, 25(5): 930-938.
- [15] 蒋卫国,李京,李加洪,谢志仁,王文杰. 辽河三角洲湿地生态系统健康评价. *生态学报*, 2005, 25(3): 408-414.
- [16] 李加林,许继琴,童亿勤,杨晓平,张殿发. 杭州湾南岸滨海平原生态系统服务价值变化研究. *经济地理*, 2005, 25(6): 804-809.