

黄静 崔胜辉 李方一 邱全毅 马克明. 厦门市土地利用变化下的生态敏感性. 生态学报 2011 31(24): 7441-7449.

Huang J, Cui S G, Li F Y, Qiu Q Y, Ma K M. Ecological sensitivity of Xiamen City to land use changes. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(24): 7441-7449.

## 厦门市土地利用变化下的生态敏感性

黄 静<sup>1 2 3 4</sup> 崔胜辉<sup>2 3 \*</sup> 李方一<sup>2 3 4</sup> 邱全毅<sup>2 3 4</sup> 马克明<sup>1</sup>

(1. 中国科学院生态环境研究中心 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085;

2. 中国科学院城市环境研究所 中国科学院城市环境与健康重点实验室, 厦门 361021;

3. 厦门市城市代谢重点实验室, 厦门 361021; 4. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:**当前, 城市化与全球变化背景叠加, 海岸带生态系统发生了巨大的变化, 沿海城市在全球变化下的脆弱性、敏感性与适应能力等问题已经成为政府和科学界关注的重要问题。土地利用变化是导致生态系统敏感性的重要因素之一。以厦门市作为沿海城市的典型代表, 对近 20 a 土地利用变化下的生态敏感性进行系统研究。分析了城市建设用地扩张、围填海等主要土地利用活动对生态敏感性的影响机制; 其次建立土地利用变化下的生态敏感性指数, 并分析其变化过程; 最后通过 ArcGIS 图层叠加计算功能, 获得生态敏感性空间分布状况。结果表明: 1987—2007 年厦门市城市建设用地面积由 1987 年的 67.48 km<sup>2</sup> 增加为 2007 年的 308.21 km<sup>2</sup>, 扩张了 4.57 倍, 主要为蚕食农业用地和林地而来; 海岸线长度由 1987 年的 290.19 km 增加为 1992 年的 343.23 km, 而后减小为 2007 年的 299.93 km, 围垦养殖活动使得岸线变得曲折, 填海造地活动导致岸线变得平滑。厦门市土地利用强度由 1987 年的 2.44 逐年增加为 2007 年的 2.52, 生态系统服务价值总体呈现减小的趋势, 由 1987 年的 7.39×10<sup>9</sup> 元减少到 2007 年的 7.02×10<sup>9</sup> 元, 土地利用强度与生态系统服务价值呈现负相关关系。土地利用变化下的生态敏感性指数由 1992 年的 1.50 增加为 1997 年的 4.94, 而后减小为 2002 年的 4.12, 再增加为 2007 年的 4.47。整体而言, 近 20 a 来厦门市生态系统对土地利用变化的敏感性灵敏响应程度不很剧烈, 生态敏感性高的区域主要位于沿海区域。

**关键词:**土地利用变化; 沿海城市; 生态敏感性; 生态系统服务价值; 厦门市

## Ecological sensitivity of Xiamen City to land use changes

HUANG Jing<sup>1 2 3 4</sup>, CUI Shenghui<sup>2 3 \*</sup>, LI Fangyi<sup>2 3 4</sup>, QIU Quanyi<sup>2 3 4</sup>, MA Keming<sup>1</sup>

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Key Lab of Urban Environment and Health, Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361021, China

3 Xiamen Key Laboratory of Urban Metabolism, Xiamen 361021, China

4 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract:** The coastal zone is considered as the most dynamic natural environment, providing goods and services essential to human beings. Due to diverse natural and human pressures, many coastal cities are experiencing severe environmental problems such as climate change, sea level rise, coastal erosion, environmental pollution and so on. Land use change is the apparent and widespread consequences of urbanization and global environment changes, which has important impacts on coastal zones, such as directly altering geomorphological configurations, influencing ecosystems and ecosystem services provision, and increasing coastal city's vulnerability.

The presence of a perturbation or stress, sensitivity of the affected entity and the system's capacity to cope or respond (resilience) are major elements in the vulnerability analysis of a social-economic-natural complex ecosystem. Sensitivity in this sense is defined as the interaction within the system, between the systems or inside the complex ecosystem used to

基金项目: 国家自然科学基金项目(40701059); 科技部国际合作项目(2009DFB90120)

收稿日期: 2010-08-17; 修订日期: 2011-10-27

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shcui@ iue. ac. cn

characterize the response level the system according to changes in its internal or external factors. This paper presents a new approach to ecological sensitivity assessment under the vulnerability research frame ,and the sustainable supply of ecosystem services is employed as a measurement of human well-being under the influence of global change threats ,such as land use change.

The paper took Xiamen , a coastal city in Fujian Province , as an example to study ecological sensitivity to land use changes from the year 1987 to 2007. Firstly the ecological sensitivity mechanism of the major land use activities was analyzed ,such as urban construction land expansion and reclamation. Then the Ecological Sensitivity Index ( ESI) to land use change was defined as the ratio of the variation of ecosystem services value to the variation of Land Use Intensity , and the dynamic changes of ESI are calculated in detail from the year 1987 to 2007. Finally ,using the layer calculation function of Geographic Information System ( GIS) technology , the spatial distributions of ecological sensitivity were derivate. The results showed that construction land area increased significantly from 67.48 km<sup>2</sup> in 1987 to 308.21 km<sup>2</sup> in 2007 , as much as 4.57 times. The sustained expansion of construction land came from agricultural land and forest. From the year 1987 to 2007 , shoreline length of Xiamen City experienced an increase-decrease process , from 290.19 km in 1987 , 343.23 km in 1992 , to 299.93 km in 2007. The reclamation aimed at aquiculture causing the coastal line to zigzag and fragment , while the reclamation for transportation or construction land causing the shoreline smoother and shorter. The Land Use Intensity increased from 2.44 in 1987 to 2.52 in 2007 , while the ecosystem services value showed a generally decreasing trend of  $7.39 \times 10^9$  Yuan in 1987 to  $7.02 \times 10^9$  Yuan in 2007. The mechanism research of the ecosystem sensitivity to land use change indicated that Land Use Intensity and the ecosystem services value showed an opposite trend and Land Use Intensity increased inversely with the decline of the ecosystem services value. The ESI increased from 1.50 in 1992 to 4.94 in 1997 , then decreased to 4.12 in 2002 , and finally increased slowly to 4.47 in 2007. Overall , in the past twenty years , the level of ecosystem affected by land use changes was not very severe. Most of the high ecological sensitivity areas located in the coastal area.

**Key Words:** land use changes; coastal city; ecological sensitivity; ecosystem service value; Xiamen City

目前全球约 60% 的人口以及 2/3 人口超过 250 万的大城市位于海岸带地区 ,沿海城市对于人类的生存和发展起着举足轻重的作用<sup>[1]</sup>。城市化与全球变化背景叠加 ,使全球范围的海岸带系统发生了巨大变化 ,沿海城市在全球变化下的脆弱性、敏感性与适应能力等问题已经成为政府和科学界关注的重要方向<sup>[2-3]</sup>。

传统生态敏感性评价是指在现有自然环境背景下 ,人类活动干扰和自然环境变化导致发生区域生态或环境问题的难易程度及其可能性大小 ,也就是生态环境问题出现的概率大小<sup>[4-9]</sup>。全球变化背景下 ,脆弱性从暴露、敏感性和适应性(恢复力)等方面开展研究 ,敏感性研究转为在脆弱性框架下展开 ,是影响脆弱性程度的一个因素。IPCC 报告中提出了气候变化下敏感性是指一个系统对气候条件变化的响应程度(比如 ,由于一定的温度或降水变化引起的生态系统组成、结构和功能 ,包括初级生产力的变化程度)<sup>[10]</sup>。欧洲 ATEAM 项目拓宽了 IPCC 脆弱性的概念 ,环境变化不仅涵盖气候变化 ,还包括其他全球变化如社会经济因素变化、大气温室气体浓度变化、土地利用变化等 ,敏感性是指人类-环境系统受到环境变化的正面或负面影响的程度<sup>[11]</sup>。综合各学科领域关于敏感性的定义与应用 ,本论文认为敏感性是指在系统内部、系统与系统之间、复合系统之间相互作用的关系网中 ,表征某个系统由于其内部或外部因素变化而产生响应的程度<sup>[12]</sup>。

当前对于土地利用变化的研究多集中在土地利用变化过程以及驱动力分析上 ,专门针对沿海城市生态系统在土地利用变化下的敏感性响应研究还不多见。本文以厦门市作为研究区域 ,建立的敏感性研究方法能够评价生态系统对土地利用变化的响应灵敏程度 ,识别出受土地利用变化影响的重点区域 ,研究结果将成为脆弱性研究的一个部分 ,为厦门市土地利用规划和海岸带综合管理提供依据。

### 1 研究方法

#### 1.1 敏感性研究框架

本文认为敏感性研究应该包括敏感性分析与敏感性评价两方面内容,如图 1 所示:敏感性分析主要分析研究主体(如自然生态系统、社会-经济系统、社会-经济-自然复合生态系统)“为什么敏感?”和“有多敏感?”;在敏感性分析基础上,敏感性评价研究主体系统受到内部或外部因素变化的影响程度,“敏感结果”包括系统特征、受影响程度及时间、空间分布等<sup>[12]</sup>。

按照上述研究框架,首先进行厦门市生态系统对土地利用变化的敏感机制分析,明确生态系统服务价值与土地利用强度的相关性;其次,借助生态系统服务价值作为工具,建立生态敏感性指数,对 1987—2007 年厦门市土地利用变化下的生态敏感性进行评价;最后对生态敏感性进行时间、空间分布表征,识别出厦门市生态敏感性高的区域。

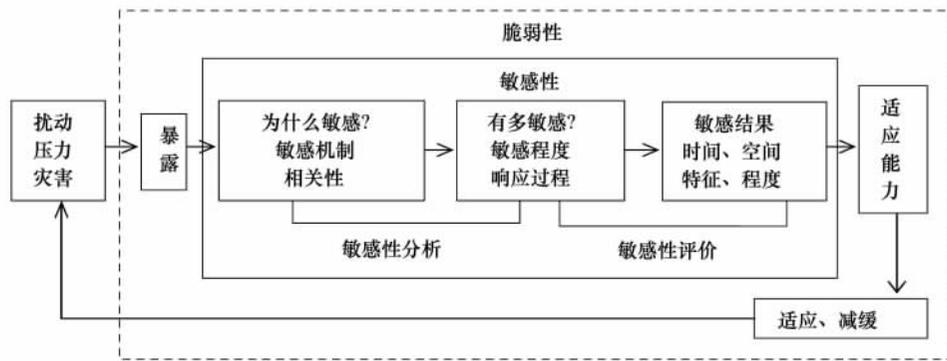


图 1 脆弱性研究框架

Fig. 1 Vulnerability research framework

#### 1.2 研究区概况

厦门市位于东经 117°53′—118°27′,北纬 24°25′—24°55′,地处我国东南沿海——福建省东南部、九龙江入海处,背靠漳州、泉州平原,濒临台湾海峡,面对金门诸岛,与台湾岛和澎湖列岛隔海相望,陆域面积约 1565 km<sup>2</sup>,海域面积约 390 km<sup>2</sup>。

厦门是闽南“金三角”经济、文化的中心,国际海运交通的要道,是一个国际性港口及风景城市。现辖思明、湖里、集美、海沧、同安和翔安 6 个行政区,共有 13 个镇、24 个街道、155 个村委员会和 313 个社区居委会。2009 年户籍人口 1.77×10<sup>6</sup> 人,常住人口 2.52×10<sup>6</sup> 人,GDP 总量为 1.74×10<sup>11</sup> 元,按常住人口计算,人均 GDP 为 6.90×10<sup>4</sup> 元。城市工业化水平较高,三次产业比例为 1.2:47.3:51.6<sup>[13]</sup>。

#### 1.3 数据来源

厦门市土地利用资料来源于 1987、1992、1997、2002 和 2007 年的 Landsat-TM 影像(分辨率为 30 m),应用遥感和 GIS 技术提取各时期的海岸带土地利用的数字化信息。另外,收集厦门地形图、植被分布图、行政区划图等帮助图像解译。根据遥感数据和电子地图提供的植被信息,把厦门市土地利用类型划分为农业用地、林地、淡水水域、建设用地、未利用地、滩涂和近海水域 7 类。

#### 1.4 土地利用变化下的生态敏感性分析

目前对土地变化的生态效应产生过程与机理方面的规律总结得还较少<sup>[14]</sup>,敏感机制研究较难进行明确的定量表征。厦门城市化进程中,最主要的土地利用方式为建设用地扩张及围填海活动<sup>[15]</sup>,研究土地系统和生态系统二者的耦合变化关系,探讨土地利用强度与生态系统服务价值的相关性,将为敏感性评价提供研究基础。

##### 1.4.1 土地利用强度计算

土地利用方式变化的频率有强有弱、幅度可大可小,造成的环境问题也存在差异,在土地利用强度较高的

沿海城市,土地利用变化往往是生态系统变化的重要驱动力之一。

土地利用强度指数:

$$L = \sum_{i=1}^n (G_i \times C_i) \times 100\% \quad (1)$$

式中  $L$  代表研究区土地利用强度指数,  $G_i$  代表第  $i$  种土地利用类型的强度等级值,  $C_i$  代表第  $i$  种土地利用类型面积占研究区总面积的比例,  $n$  代表研究区土地利用类型的数量。土地利用类型根据其自然状态被人为干扰的程度进行分级,等级越高代表受到人为干扰的程度越高,未利用地为 1 级,林地、淡水水域、滩涂、近海水域为 2 级,农业用地为 3 级,建设用地为 4 级<sup>[16]</sup>。

#### 1.4.2 生态系统服务价值计算

土地利用变化带来地表结构的巨大变化,影响生态系统物质循环和能量流动等生态过程,对生态系统的结构和功能造成影响,进而影响生态系统服务和人类福祉<sup>[17-18]</sup>。土地利用变化引起区域生态系统服务变化已引起广泛关注<sup>[19]</sup>,通过生态系统服务价值评估将区域大气、土壤、水等多个生态系统的变化综合到一起,从宏观层面反映生态系统受到土地利用变化的影响。本文参考已有研究<sup>[20]</sup>,将各种土地利用类型分别归并为农田、森林、湿地 3 类自然生态系统或人工生态系统,其中,农田生态系统包括农业用地,湿地生态系统包括淡水水域、近海水域和滩涂,森林生态系统包括林地,生态系统服务价值计算如公式(2)所示。建设用地和未利用地归入人工生态系统,生态系统服务价值暂不做评价:

$$ESV = \sum_{i=1}^n (A_i \times VC_i) \quad (2)$$

式中  $ESV$  为生态系统服务价值;  $A_i$  为第  $i$  种土地利用类型的分布面积;  $VC_i$  为第  $i$  种土地利用类型单位面积的生态系统服务价值系数。根据高莉洁等的研究方法,基于谢高地等构建的中国生态系统服务价值当量表,选择厦门市单位当量的经济价值量进行计算<sup>[21]</sup>。

#### 1.5 土地利用变化下的生态敏感性评价

测定敏感程度可以借助某种特殊形式的计算、测量揭示各个影响因素同某项目或某系统的关联程度,衡量某项目或某系统对各因素的敏感程度,如目标变动百分比与因素变动百分比的比值<sup>[22]</sup>。

本文建立土地利用变化下的生态敏感性指数,利用生态系统服务价值变化率与土地利用强度变化率的比值对生态系统在土地利用变化驱动下的敏感性响应灵敏程度进行表征:

$$I(j) = \left| \frac{\Delta ES_{(j-1,j)}}{\Delta LU_{(j-1,j)}} \right| = \left| \frac{(ES_j - ES_{j-1}) / ES_{j-1} - 1}{(LU_j - LU_{j-1}) / LU_{j-1} - 1} \right| \quad (3)$$

式中  $I(j)$  代表第  $j$  年土地利用变化的生态敏感性指数,  $\Delta ES_{(j-1,j)}$  代表第  $j-1$  年至第  $j$  年生态系统服务价值变化率,  $\Delta LU_{(j-1,j)}$  代表第  $j-1$  年至第  $j$  年土地利用强度变化率,  $ES_j$  代表第  $j$  年生态系统服务价值,  $ES_{j-1}$  代表第  $j-1$  年生态系统服务价值,  $LU_j$  代表第  $j$  年土地利用强度,  $LU_{j-1}$  代表第  $j-1$  年土地利用强度。以  $j-1$  年作为研究基准年。

## 2 研究结果

### 2.1 厦门市土地利用变化下的生态敏感性分析

土地利用变化下的生态敏感性分析包括敏感机制和敏感程度分析,敏感机制分析土地利用变化过程及其与生态系统服务价值的相关性,敏感程度通过分析生态系统服务价值和土地利用强度的变化来表征。

#### 2.1.1 厦门市土地利用变化过程

对于沿海城市厦门而言,土地利用变化过程不仅反映在建设用地扩张导致的各种用地利用类型转变,而且包括围填海活动导致的海岸线变化。

受城市化进程建设用地扩张的影响,1987—2007 年厦门市各类型土地利用面积变化如图 2 所示。建设用地面积由 1987 年的 67.48 km<sup>2</sup>,增加为 2007 年的 308.21 km<sup>2</sup>,2007 年面积是 1987 年的 4.57 倍。通过土地利用类型转移矩阵判断,主要为农业用地和林地转变而来,1987—2007 年,共有 232.631 km<sup>2</sup> 的农业用地面积

和 20.221 km<sup>2</sup> 的林地面积被建设用地蚕食。农业用地面积由 1987 年的 728.96 km<sup>2</sup> 减小为 2007 年的 442.69 km<sup>2</sup> 特别是 2002 年厦门市海湾型城市战略转变以来, 2002—2007 年厦门市农业用地面积减小了 216.46 km<sup>2</sup>。20 a 间, 林地面积由 1987 年的 658.10 km<sup>2</sup> 减小为 1997 年的 541.54 km<sup>2</sup> ,而后增加为 2007 年的 664.42 km<sup>2</sup> ,1997 年之后林地面积增加主要与实行退耕还林政策有关。

1987—2007 年厦门市海岸线变化如图 3 所示, 主要受围填海活动的影响, 海岸线长度由 1987 年的 290.19 km 增加为 1992 年的 343.23 km ,而后下降为 2007 年的 299.93 km<sup>[23]</sup>。1987—2002 年, 渔业围垦养殖大幅增加, 主要发生在马銮湾、同安湾等沿海区域, 围垦养殖活动导致岸线曲折, 岸线长度有所增加; 1997 年起, 城市建设加快推进, 填海造地活动迅速上升, 填海造地由岛内向岛外推进, 主要位于厦门岛西部、北部及东部的码头、机场及城市建设区域, 海沧东部、南部的码头及工业区建设区域, 以及同安湾、翔安西南部分区域及大嶝岛东部等地, 填海造地活动导致沿海岸线区域平滑, 岸线长度下降<sup>[23]</sup>。

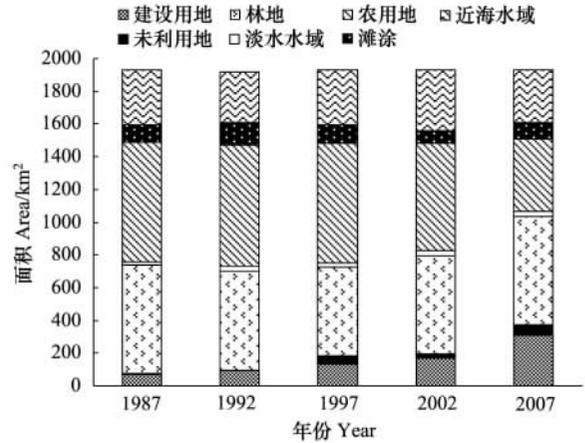


图 2 1987—2007 年厦门市各类型土地利用面积变化  
Fig. 2 Land use changes of Xiamen City from Year 1987 to 2007

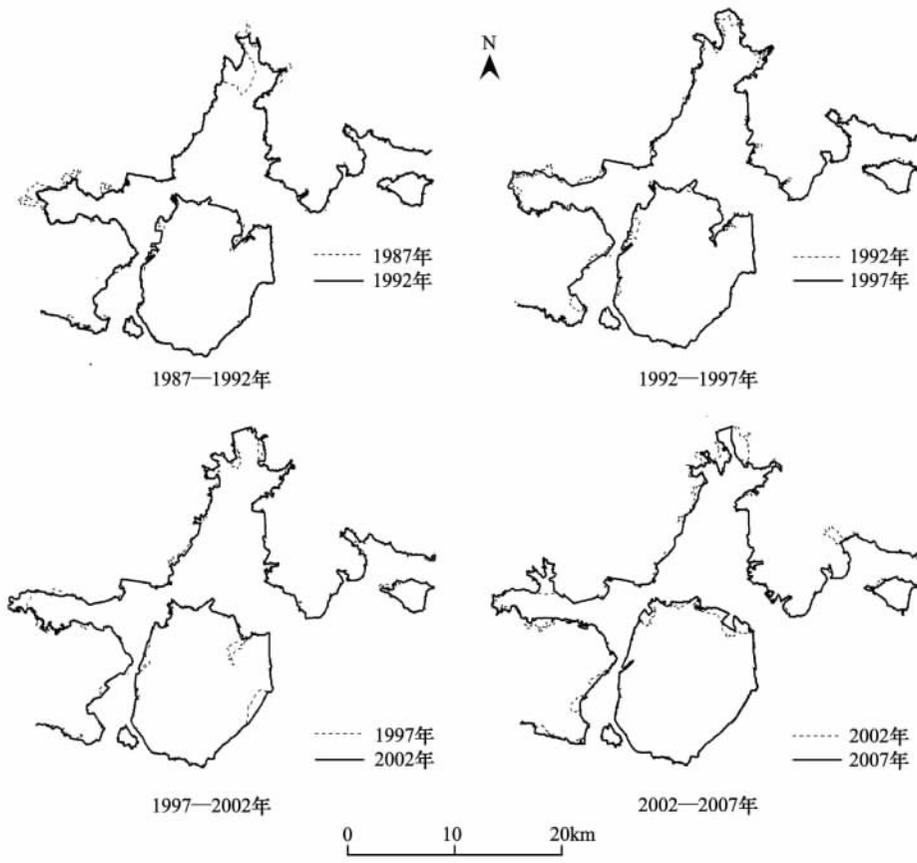


图 3 1987—2007 年厦门市海岸线变化  
Fig. 3 Coastal line changes of Xiamen City from Year 1987 to 2007

2.1.2 土地利用变化与生态系统服务价值相关性研究

按照公式(1), 计算出厦门市土地利用强度, 如图 4 所示, 1987—2007 年厦门市土地利用强度不断增加,

由 1987 年的 2.44 逐年增加为 2007 年的 2.52。

按照公式(2),计算出 1987—2007 年厦门市生态系统服务价值,如图 4 所示,厦门市生态服务价值总量由 1987 年的  $7.39 \times 10^9$  元,减少到 1997 年的  $6.99 \times 10^9$  元,2002 年略微升高,达到  $7.17 \times 10^9$  元,2007 年又下降为  $7.02 \times 10^9$  元,总体呈现减小的趋势。

利用 SPSS13.0 软件对厦门市土地利用强度与生态系统服务价值进行相关性分析,计算 Pearson 相关系数。计算结果表明,厦门市土地利用强度与生态系统服务价值呈现负相关,相关性系数为 -0.834,结果通过 0.01 水平双边显著性灵敏性检验。

### 3.2 土地利用变化的生态敏感性评价

根据公式(3)计算出 1987—2007 年厦门市土地利用变化下的生态敏感性指数,如表 1 所示,1992 年的计算结果是以上一个年份即 1987 年作为基准年计算得出的,其他年份处理方式相同。1987—2007 年厦门市土地利用变化的生态敏感性指数呈现增加—减小—增加的变化过程,由 1992 年 1.50 增加到 1997 年的 4.94,而后减小为 2002 年的 4.12,再增加为 2007 年的 4.47。

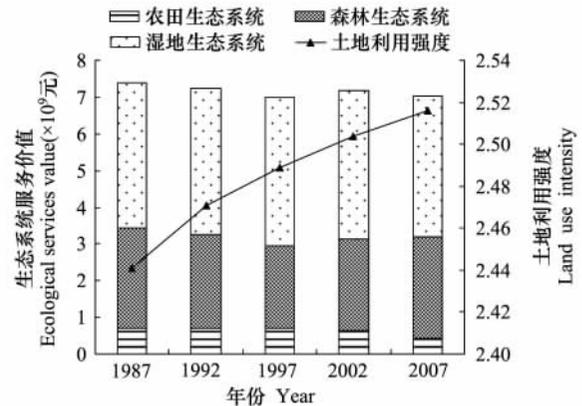


图 4 1987—2007 年厦门市生态服务价值及土地利用强度变化

Fig. 4 Changes of ecosystem services value and Land Use Intensity of Xiamen City from Year 1987 to 2007

表 1 1987—2007 年厦门市土地利用变化的生态敏感性指数

Table 1 Ecological Sensitivity Index to land use changes of Xiamen City from Year 1987 to 2007

年份 Year	1992	1997	2002	2007
敏感性指数 ESI	1.50	4.94	4.12	4.47

采用 ArcGIS 的空间处理功能,根据公式(3)对 1987—2007 年不同时段土地利用类型分布图进行叠加计算,获得 1992 年、1997 年、2002 年及 2007 年厦门市土地利用变化下的生态敏感性分布图,如图 5 所示。利用 Tabulate Area 操作功能,获得相应研究时段的土地利用类型转移矩阵。参考相关文献<sup>[24]</sup>在综合分析生态敏感性指数特点的基础上进行等距重新分级,生态敏感性程度低区域( $I$  值为 1—8.47),生态敏感性程度中等区域( $I$  值为 8.47—15.95),生态敏感性程度高区域( $I$  值为 15.95—23.42)。生态敏感区域之外的面积为生态不敏感区域,主要为两种情况构成:其一,人工生态系统一般不转变为自然生态系统,形成人工生态系统后,对土地利用变化不存在生态敏感性,成为不敏感区域;其二,若研究前后两期土地利用类型不发生变化,生态系统服务价值也不发生变化,成为不敏感区域。

厦门市土地利用变化下的生态敏感性计算结果如表 2 所示。结果表明,虽然不同研究时期不同敏感类型的面积及比例各不相同,但总体而言,生态敏感性程度高的区域面积和比例均最小,生态敏感性程度中等的区域面积和比例次之,生态敏感性程度低的区域面积和比例最高。不同研究时期,不敏感区域均占据全市面积的大部分区域。

表 2 1987—2007 年厦门市土地利用变化的生态敏感性面积

Table 2 Ecological sensitivity area to land use changes of Xiamen City from Year 1987 to 2007

年份 Year	1992		1997		2002		2007	
	面积/km <sup>2</sup>	比例/%						
生态敏感性高区域	10.25	0.53	23.98	1.24	16.20	0.84	10.83	0.56
生态敏感性中等区域	25.29	1.31	102.23	5.29	94.69	4.90	106.39	5.50
生态敏感性低区域	241.16	12.48	178.44	9.23	104.19	5.39	241.47	12.49
生态不敏感区域	1656.10	85.68	1628.14	84.24	1717.70	88.87	1574.10	81.44

面积 Area; 比例 Proportion; 生态敏感性高区域 High ecological sensitivity area; 生态敏感性中等区域 Medium ecological sensitivity area; 生态敏感性低区域 Low ecological sensitivity area; 生态不敏感区域 Non-ecological sensitivity area

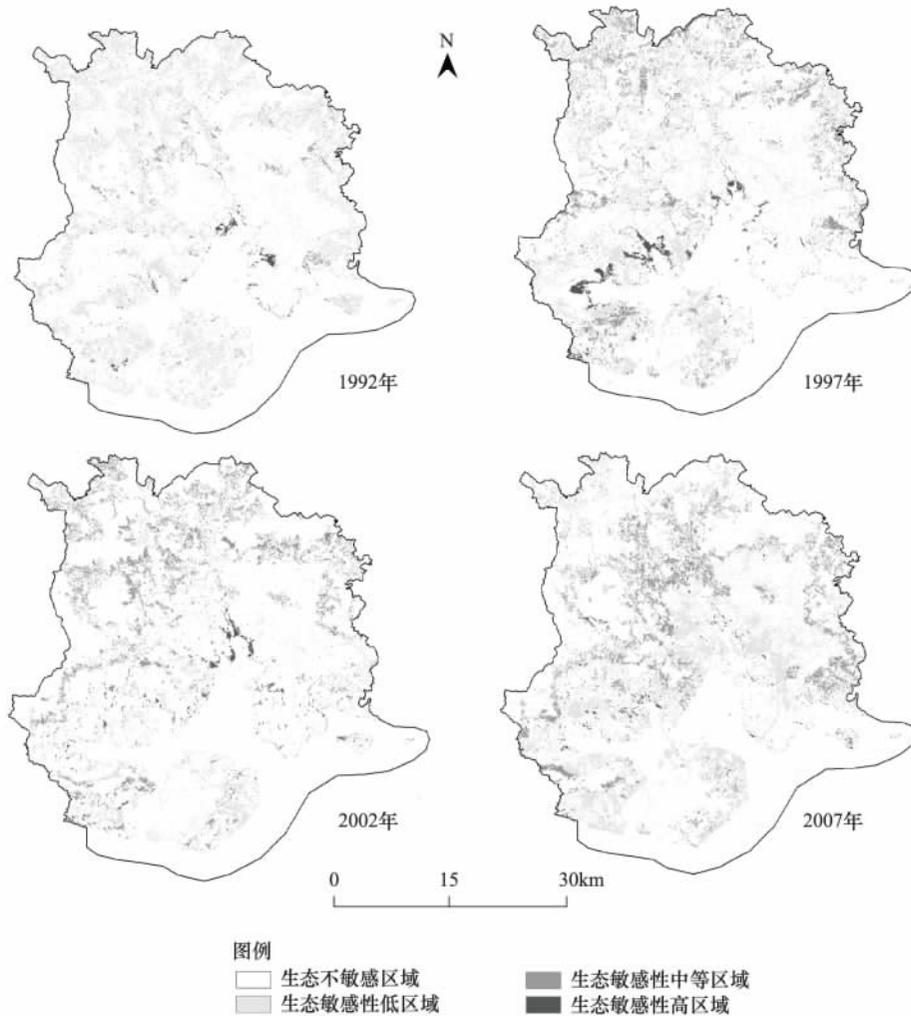


图 5 1987—2007 年厦门市土地利用的生态敏感性分布图

Fig. 5 Distributions of ecological sensitivity area to land use changes of Xiamen City from Year 1987 to 2007

### 3 讨论

根据计算结果,1987—1992 年厦门全市土地利用变化的生态敏感性处于较低状态,1992—2007 年处于中等状态,除沿海部分区域外,生态系统对土地利用变化的敏感性响应不强,即近 20 a 来厦门市生态系统在土地利用变化驱动下受影响的程度不很剧烈。

土地利用变化的生态敏感性高的区域说明该区域生态系统受土地利用变化的影响最大,应引起高度重视。从空间分布来看,1992 年生态敏感性高的区域主要位于同安湾湾顶、东坑湾、杏林湾和西海域海沧区的部分区域;1997 年生态敏感性高的区域面积大幅增加,集中分布于马銮湾、杏林湾及同安湾沿岸大部分区域;2002 年生态敏感性高的区域面积开始减小,分布于同安湾沿岸部分区域;2007 年生态敏感性高的区域面积继续减小,仅零星分布于沿岸小部分地区。生态敏感性程度高的区域主要发生在海陆交界地带,1987—2002 年近岸海域围垦持续进行水产养殖活动,2002 年之后,厦门市开展海岸带综合管理,控制开发近岸海域围垦养殖活动,敏感性程度高的区域大幅减少。生态敏感性程度中等区域主要为农用地转变为林地的区域,生态敏感性程度低的区域主要为自然生态系统向人工生态系统转变的区域。厦门市不敏感区域的基数很大,不敏感区域的主体为近岸海域,说明目前城市化进程开发的强度和规模,对海域生态系统的整体影响还不太强烈。本文仅对土地利用下的生态敏感性进行初步研究,以绝对值表征生态系统受土地利用变化影响的重要程度,可能掩盖了生态系统服务价值、土地利用强度增减变化对生态系统正面或负面的影响<sup>[11 25]</sup>,应在今后研究中

进一步加以完善。

研究表明,在厦门城市化不断推进过程中,土地利用变化导致生态用地面积相应缩小,生态系统服务发生变化,耦合生态系统服务价值变化和土地利用强度变化,能有效评价生态系统受土地利用变化影响的敏感程度。生态系统管理应针对不同生态敏感性的发生区域、发生机制和敏感程度,制定不同的生态系统管理与保护策略。生态敏感性高的区域主要出现在沿岸地区,围垦养殖极大增加了区域生态系统服务价值,但也导致生态环境恶化、水域生物多样性减少、近海生态系统结构变化等一系列问题<sup>[26]</sup>,应加强海岸带综合管理和海域环境保护的战略和行动计划,对围填海等开发活动进行科学安排,找到经济发展与环境保护的平衡点。针对城市化进程建设用地扩张导致的生态敏感性,合理规划,制定适宜的开发强度和规模,实现经济和环境的协调发展。

#### 4 结论

敏感性分析和评价是敏感性研究的两个方面,分别代表着理论分析与实际运用。敏感性分析揭示全球变化背景下复合生态系统中各因素之间的相互关系,增强人们对客观规律的认识和理解;敏感性评价为决策者和公众提供直观的评价与预测信息,以便做出符合客观规律和人类自身利益的决策,二者相互依存,具有同等重要的地位<sup>[12]</sup>。本文以厦门市作为沿海城市的典型代表,对近 20 a 土地利用变化下的生态敏感性分析和评价进行系统研究。敏感性分析研究表明,1987—2007 年,受城市建设和围垦养殖活动的影响,厦门市土地利用强度由 1987 年的 2.44 逐年增加为 2007 年的 2.52,生态系统服务价值由 1987 年的  $7.39 \times 10^9$  元减少到 2007 年的  $7.02 \times 10^9$  元,土地利用强度与生态系统服务价值呈现负相关关系。敏感性评价表明,厦门市土地利用变化下的生态敏感性指数由 1992 年的 1.50 增加为 1997 年的 4.94,而后减小为 2002 年的 4.12,再增加为 2007 年的 4.47,生态系统受土地利用变化的影响程度不很剧烈,土地利用变化的生态敏感性高的区域主要位于沿海区域。

生态系统服务直接关系人类福祉,本文通过建立土地利用强度与生态系统服务价值的相互关系,构建生态敏感性指数,评价厦门市土地利用变化下的生态敏感性,识别生态敏感区域。本研究结果可为我国沿海城市辨识土地利用变化的影响,科学管理土地的开发和利用提供借鉴。

致谢:颜昌宙、石龙宇老师对本文写作给予帮助,特此致谢。

#### References:

- [ 1 ] Vitousek P M, Mooney H A, Lubchenco J, Melillo J M. Human domination of earth's ecosystems. *Science*, 1997, 277( 5325 ): 494-499.
- [ 2 ] Klein J T R, Nicholls R J. Assessment of coastal vulnerability to climate change. *Ambio*, 1999, 28( 2 ): 182-187.
- [ 3 ] IPCC. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change/Organization for Economic Cooperation and Development, 2001.
- [ 4 ] Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H. China's eco-environmental sensitivity and its spatial heterogeneity. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20( 1 ): 9-12.
- [ 5 ] Wang X K, Ouyang Z Y, Xiao H, Miao H, Fu B J. Distribution and division of sensitivity to water-caused soil loss in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21( 1 ): 14-19.
- [ 6 ] Xu G C, Kang M Y, Zhao C J, Zhao W W, Qin Y H. Appraisal of eco-sensitivity on Fukang city. *Journal of Beijing Normal University ( Natural Science )*, 2007, 43( 1 ): 88-92.
- [ 7 ] Yang Z F, Xu Q, He M C, Mao X Q, Yu J S. Analysis of city ecosensitivity. *China Environmental Science*, 2002, 22( 4 ): 360-364.
- [ 8 ] Yan L, Xu X G, Xie Z L, Li H L. Integrated assessment on ecological sensitivity for Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29( 6 ): 3117-3125.
- [ 9 ] Yu S, Wang Y, Li J, Wang X R. Appraisal of eco-sensitivity on small-sized industrial city in northern China: set the Shahe city as an example. *Journal of Fudan University ( Natural Science )*, 2008, 47( 4 ): 501-508.
- [ 10 ] Watson R T, Zinyoera M C, Moss R H. *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses*. IPCC Working Group II. 1996.
- [ 11 ] Schröter D, Acosta-Michlik L, Arnell A W, Araújo M B, Badeck F, Bakker M, Bondeau A, Bugmann H, Carter T, de la Vega-Leinert A C, Erhard M, Espineira G Z, Ewert F, Friedlingstein P, Fritsch U, Glendinning M, Gracia C A, Hickler T, House J, Hulme M, Klein R J T, Krukenberg B, Lavorel S, Leemans R, Lindner M, Liski J, Metzger M J, Meyer J, Mitchell T, Mohren F, Morales P, Moreno J M, Reginster I, Reidsma P, Rounsevell M, Pluimers J, Prentice I C, Pussinen A, Sanchez A, Sabate S, Sitch S, Smith B, Smith J, Smith P, Sykes M Y, Thonicke K, Thuiller W, Tuck G, van der Werf G, Vayreda J, Wattenbach M, Wilson D W, Woodward F I, Zaehle S, Zierl B, Zudin S, Cramer W. Potsdam institute for climate impact research ( PIK ). ATEAM Final Report. Potsdam, 2004. [2010-09-02]. <http://www.pik-potsdam.de/>

ateam/.

- [12] Cui S H, Li F Y, Huang J, Yu Y X. Review of sensitivity research on the context of global change. *Advances in Earth Science*, 2009, 24(9): 1033-1041.
- [13] Editorial Board of Yearbook of Xiamen Special Economic Zone. *Yearbook of Xiamen Special Economic Zone 2010*. Beijing: China Statistics Press, 2010.
- [14] Shi L Y, Lu X, Cui S H. Research progress on ecological effects of land change. *China Land Science*, 2008, 22(4): 73-79.
- [15] Hua L Z, Cui S H, Huang Y F, Yin K, Xiong Y Z. Analyses of peri-urban land space dynamics in the rapid urbanizing process: a case study of Xiamen. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(7): 3509-3517.
- [16] Zhuang D F, Liu J Y. Study on the mode of regional differentiation of land use degree in China. *Journal of Natural Resource*, 1997, 12(2): 105-111.
- [17] Turner B L II, Skole D L, Sanderson G, Fischer L, Fresco L, Leemans R. Land-use and land-cover change science/research plan. IGBP Report No 35, IHDP Report No 7. Stockholm: IGBP, 1995.
- [18] Wang J L, Huang X J, Lu R C, Xiao S S, Zheng Z Q. Assessment on the vulnerability of ecosystem services to land use change — a case study of carbon stock of Taihu Lake District in Jiangsu Province. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(4): 556-563.
- [19] Kumar P. Payment for ecosystem services: emerging lessons. *Ecological Economy*, 2008, (4): 2-14.
- [20] Shi L Y, Cui S H, Yin K, Liu J. The impact of land use/cover change on ecosystem service in Xiamen. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(6): 708-714.
- [21] Gao L J, Shi L Y, Cui S H, Lin T, Yin K. Response of ecosystem services to land use change in Xiamen Island. *Ecological Science*, 2009, 28(6): 551-556.
- [22] Ma Y J, Huang X J, Xu M M, Zhong T Y, Du W X. Sensitivity analysis of ecosystem service value to coastal tideland development in Jiangsu Province. *China Land Science*, 2006, 20(4): 28-34.
- [23] Huang J, Cui S H, Qiu Q Y, Shi L Y, Ma K M. Estimates of exposure of a coastal city to spatial use changes — a case study in Xiamen. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 2010, 17(4): 292-298.
- [24] Qiu P H, Xu S J, Xie G Z, Tang B A, Bi H, Yu L S. Analysis on the ecological vulnerability of the western Hainan Island based on its landscape pattern and ecosystem sensitivity. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(4): 1257-1264.
- [25] Metzger M J, Leemans R, Schröter D. A multidisciplinary multi-scale framework for assessing vulnerabilities to global change. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2005, 7(4): 253-267.
- [26] Luo L, Shu T F, Wen Y M. Effects of aquaculture on coastal ecological environment. *Fisheries Science*, 2002, 21(3): 28-30.

#### 参考文献:

- [4] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究. *生态学报*, 2000, 20(1): 9-12.
- [5] 王效科, 欧阳志云, 肖寒, 苗鸿, 傅伯杰. 中国水土流失敏感性分布规律及其区划研究. *生态学报*, 2001, 21(1): 14-19.
- [6] 徐广才, 康慕谊, 赵从举, 赵文武, 秦艳红. 阜康市生态敏感性评价研究. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2007, 43(1): 88-92.
- [7] 杨志峰, 徐肖, 何孟常, 毛显强, 鱼京善. 城市生态敏感性分析. *中国环境科学*, 2002, 22(4): 360-364.
- [8] 颜磊, 许学工, 谢正磊, 李海龙. 北京市域生态敏感性综合评价. *生态学报*, 2009, 29(6): 3117-3125.
- [9] 禹莎, 王原, 李敬, 王祥荣. 北方小型工业城市生态敏感性评价研究——以沙河市大沙河古河道地区为例. *复旦学报(自然科学版)*, 2008, 47(4): 501-508.
- [12] 崔胜辉, 李方一, 黄静, 于裕贤. 全球变化背景下的敏感性研究综述. *地球科学进展*, 2009, 24(9): 1033-1041.
- [13] 厦门经济特区年鉴编委. 2010 厦门经济特区年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2010.
- [14] 石龙宇, 卢新, 崔胜辉. 土地变化的生态效应研究进展. *中国土地科学*, 2008, 22(4): 73-79.
- [15] 花利忠, 崔胜辉, 黄云凤, 尹锴, 熊永柱. 海湾型城市半城市化地区空间扩展演化——以厦门市为例. *生态学报*, 2009, 29(7): 3509-3517.
- [16] 庄大方, 刘纪远. 中国土地利用程度的区域分异模型研究. *自然资源学报*, 1997, 12(2): 105-111.
- [18] 王佳丽, 黄贤金, 陆汝成, 肖思思, 郑泽庆. 区域生态系统服务对土地利用变化的脆弱性评估——以江苏省环太湖地区碳储量为例. *自然资源学报*, 2010, 25(4): 556-563.
- [20] 石龙宇, 崔胜辉, 尹锴, 刘江. 厦门市土地利用/覆被变化对生态系统服务的影响. *地理学报*, 2010, 65(6): 708-714.
- [21] 高莉洁, 石龙宇, 崔胜辉, 吝涛, 尹锴. 厦门岛生态系统服务对土地利用变化的响应研究. *生态科学*, 2009, 28(6): 551-556.
- [22] 马育军, 黄贤金, 许妙苗, 钟大洋, 杜文星. 江苏省沿海滩涂开发的生态系统服务价值响应研究. *中国土地科学*, 2006, 20(4): 28-34.
- [24] 邱彭华, 徐颂军, 谢跟踪, 唐本安, 毕华, 余龙师. 基于景观格局和生态敏感性的海南西部地区生态脆弱性分析. *生态学报*, 2007, 27(4): 1257-1264.
- [26] 罗琳, 舒廷飞, 温琰茂. 水产养殖对近海生态环境的影响. *水产科学*, 2002, 21(3): 28-30.