

港湾快速城市化地区景观生态安全评价 ——以厦门市为例

孙 翔, 朱晓东*, 李杨帆

(污染控制与资源化研究国家重点实验室 南京大学环境学院, 江苏 南京 210093)

摘要:以压力-状态-响应(PSR)为概念框架构建厦门景观生态安全评价指标体系,以 TM 遥感影像为基础数据元,对可空间插值指标进行格网采样空间插值,对不可空间插值指标进行专家赋值,采用 RS 和 GIS 相结合的技术,通过空间叠加得到厦门市 2003 年和 2006 年的景观生态安全综合指数,以揭示厦门市区域景观生态安全的空间分布规律。研究结果表明:(1) 2003 年厦门景观生态安全度平均值为 0.586,处于中等安全水平,2006 年平均值为 0.650,处于中高安全水平,区域景观生态安全度整体水平在小幅度提高;(2) 各行政区 2006 年较 2003 年数值均有所提高,2003 年其安全度自高向低排序依次是同安>翔安>思明>海沧=集美>厦门海域>湖里,2006 年其安全度自高向低排序依次是同安>思明>海沧=翔安>集美>湖里>厦门海域;(3) 景观变化压力指数 2006 年较 2003 年有所提升,但是景观生态安全调控力度也在加大,缓解了城市化过程对区域景观生态安全的压力和影响。

关键词:压力-状态-响应模型;景观生态安全;厦门市

文章编号:1000-0933(2008)08-3563-11 中图分类号:Q143 文献标识码:A

Landscape ecological security assessment in rapidly urbanizing bay-area: a case study of Xiamen City, China

SUN Xiang, ZHU Xiao-Dong*, LI Yang-Fan

State Key Laboratory of Pollution Control and Resources Reuse, School of the Environment, Nanjing University, Nanjing 210093, China
Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3563 ~ 3573.

Abstract: Based on the Pressure-State-Response (PSR) model framework, an indicator system was developed to assess landscape ecological security. The indicators were divided into two groups. One group included indicators of the spatial interpolation index. The other included indicators of non-spatial interpolation index which value was suggested by experts in the field. In order to explore the spatial distribution of landscape ecological security, the landscape ecological security individual index and comprehensive index for Ximen City between 2003 and 2006 were analyzed through spatial overlay with the TM remote sensing images and GIS technique. The results indicated that: (1) the mean value of the landscape ecological security in 2003 was 0.586 which is within the fair level while in 2006 was 0.650 which is within a better level; (2) the landscape ecological security levels within each districts of Ximen City in 2006 were better than the levels in 2003.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40576024);江苏省研究生创新计划资助项目(2005 年度);上海同济高廷耀环保科技发展基金会青年博士杰出人才基金资助项目(2006 年度)

收稿日期:2007-05-11; **修订日期:**2008-11-23

作者简介:孙翔(1982~),男,广西南宁人,博士生,主要从事景观生态学和 GIS 研究. E-mail: njusunxiang@sina.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xdzhu@nju.edu.cn

致谢:地球环境科学研究中心 Mei-Yin Wu 副教授对写作给予帮助,特此致谢。

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China(No. 40576024); Graduate Innovation Program of Jiangsu Province of China in 2005; Shanghai Tongji Gao Tingyao Environmental Science & Technology Development Foundation in 2006

Received date: 2007-05-11; **Accepted date:** 2008-11-23

Biography: SUN Xiang, Ph. D. candidate, mainly engaged in landscape ecology and RS-GIS. E-mail: njusunxiang@sina.com

Among the districts of Xiamen City the landscape ecological security levels ranked in decreasing order in 2003 as Tong'an > Xiang'an > Siming > Haicang > Jimei > sea area > Huli, whereas the orders in 2006 was Tong'an > Siming > Haicang and Xiang'an > Jimei > Hul > sea area; and (3) the landscape change pressure index in 2006 was higher than the index in 2003. However, between 2003 and 2006, the landscape ecological security control was strengthened and resulted in a rapid urbanization of the ecological system.

Key Words: press-state-response model; landscape ecological security; Xiamen City

随着建设用地不断向港湾湿地扩张,港湾地区景观生态格局、过程和稳定性维护机制面临着巨大压力,原有的港湾湿地景观系统正在发生快速而深刻的变化,其景观生态安全与健康水平急剧下降^[1,2],这种情形在经济发展、城市化速度相对更快、人口密度更大的我国东部港湾地区显得尤为典型^[3]。

国外近年有关生态安全(ecological safety/security)研究主要集中在全球或国家层面,对于地方或区域层面较少涉及,而与之相关的生态健康(ecological health)、生态风险(ecological risk)的研究则较为活跃^[4~7]。国内研究则更为关注与目前经济发展阶段相对应的生态安全问题,包括生态系统健康诊断、区域生态风险分析、景观安全格局、生态安全监测与预警以及生态安全管理、保障等方面^[8~10],近年来则以生态安全评价研究最为活跃。张浩等基于承载力分析以行政区域为分析单元研究珠江三角洲快速城市化区域生态安全时间序列演变趋势^[11];高长波等基于 P-S-R 评价模型对广东省生态安全状况进行时间序列分析^[12];任志远等基于生态足迹和生态承载力分析对山西省生态安全进行时空分异研究^[13];王耕等构建 P-S-R 评价指标体系利用空间叠加和统计分析的方法对辽河流域进行生态安全空间分异研究^[14];肖荣波等(2004)构建资源依赖性、生态环境状态、生态系统服务功能评价指标体系对海南岛生态安全状况进行研究^[15]。现有的研究多是基于统计年鉴数据进行时空变化趋势评价研究,并在评价模型上取得了一定的发展,但是鲜有景观尺度(角度)的生态安全时空分异评价研究。从景观尺度评价“城市-区域”生态安全状况是城市生态学、景观生态学研究的重要任务,掌握景观退化和生态安全的变化规律和作用机制则是政府科学决策和宏观调控的前提和基础。

对景观生态系统内部结构与功能的生态安全评价可分析不同年份区域生态安全状况,针对不同年份区域景观生态安全状况进行纵向比较和区域间的横向对比,则可实现其动态与演变趋势的研究;同时,通过景观动态干扰因素分析,可体现人类活动对区域生态安全的影响过程与机制。因此,本文结合 RS、GIS 和景观生态学方法,基于“压力-状态-响应”(P-S-R)概念模型,构建厦门港湾快速城市化地区景观生态安全评价指标体系,以遥感数据为主要信息源对指标进行空间量化,并进行 GIS 空间叠加和统计分析,重点研究近年快速城市化过程(以 2003 年和 2006 年为例)影响下港湾地区景观生态安全状况变化过程及规律。

1 景观生态安全评价方法

1.1 景观生态安全评价研究思路 and 流程

基于 RS-GIS 技术的厦门景观生态安全评价流程如图 1 所示。

1.2 景观生态安全评价指标体系

本次构建景观生态安全评价指标体系的基本原则为:

(1) 构建的指标体系应能充分体现景观生态学所重点关注的内容,如景观结构、功能、景观斑块动态和生态演替、关键生态系统的完整性和稳定性、干扰的阻抗和恢复能力^[8]。

(2) 指标可空间量化,充分反映区域景观格局时空演替。

(3) 指标体系应具有系统性、代表性、完备性、可比性、独立性和可操作性^[15,16]。

遵循以上基本原则,基于 P-S-R 概念框架,运用主成分分析方法筛选出贡献率大的指标,最终构建厦门景观生态安全评价指标体系,该指标体系由两个层次组成:第 1 层次是项目层(dimension),即压力、状态、响应 3 个项目,第 2 层次是指标层(index)。同时给出每个指标层的数据来源(data sources)和各指标权重(weights),

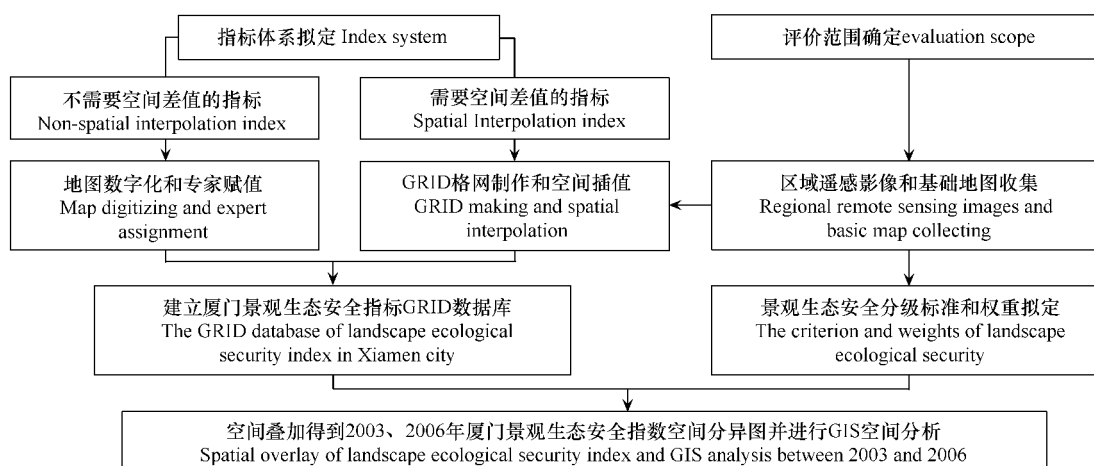


图1 厦门景观生态安全评价流程

Fig. 1 The assessment procedure for landscape ecological security in Xiamen City

权重通过 Delphi 专家打分法获得。结果见表 1。

表1 厦门景观生态安全评价指标体系

Table 1 The index system of landscape ecological security assessment for Xiamen City

项目层(权重) Dimension(weights)	评价指标(权重) Index(weights)	数据来源 Data sources
景观变化压力(0.3) Landscape change press	城市扩展强度(动态)(0.6) Urbanization intensity index 城市开发利用强度(现状)(0.4) City development intensity index	TM 解译的土地利用数据派生 Remote sensing images
景观生态安全状态(0.5) Landscape ecological security state	结构安全性(0.4) Patter security 功能安全性(0.4) Functioning security 恢复性(0.2) Resilience	景观破碎度 Fragmentation indices of the landscape 生态系统服务价值 Ecological service value 生态恢复力(弹性力) Ecological resilience
景观生态调控响应(0.2) Landscape ecological regulation response	生态功能区划调控实施力度 Implement degree of ecological function zoning	厦门市生态功能规划图与 TM 解译的土地利用数据结合 Eco-functional Planning map for Xiamen City and remote sensing images

1.2.1 景观变化压力指标

城市快速扩张是厦门海湾型城市中最主要的景观生态压力,也是区域生态系统退化的主要诱因。衡量城市扩张对区域生态系统安全的胁迫强度需要考虑两方面因素。一是建设用地所占区域总面积的百分比越高,区域生态系统受城市扩张的威胁就越大,以城市开发利用强度来衡量,其公式为:城市开发利用强度 = 建设用地面积/区域总面积;二是近年来城市面积扩展速度很大,区域生态系统受城市扩张的威胁也越大,以城市扩展强度来衡量,其公式为:

$$UII_{i,t \sim t+n} = [(ULA_{i,t+n} - ULA_{i,t}/n) \times 100/TLA_i]$$

式中, $UII_{i,t \sim t+n}$ 、 $ULA_{i,t+n}$ 、 $ULA_{i,t}$ 分别为空间单元 i 在 $t \sim t+n$ 时段内的城市扩展强度指数以及 $t+n$ 年及 t 年时的城市土地利用面积; TLA_i 为空间单元 i 的总面积^[17]。因此,本文首次把反映动态的城市扩展强度和反映现状的城市开发利用强度结合作为景观安全变化的压力指标。

1.2.2 景观状态综合指标

选择景观破碎度、生态服务价值和生态恢复力来反映结构完整性和稳定性、功能安全保护级别、干扰阻抗和恢复能力。

(1) 结构完整性和稳定性 可通过区域景观的空间结构和分布格局来衡量,合理的组织结构是自然斑块保持集中和分散相结合的空间格局^[18],合理的组织结构可以实现自组织和重组织过程以保障自身的生态安全。通过主成分分析法对 10 个景观结构相关的指数进行筛选(原指标有:景观破碎度、平均斑块面积、最大斑块面积、最大斑块占景观面积的比重、面积加权平均形状指数、香农多样性指数、香农均度指数、平均最近距离、分离度指数、景观丰度),最终选定景观破碎度指数反映系统组织的安全性。其基本公式为:

$$PD = \sum_{i=1}^n n_i / \sum_{j=1}^n A_j$$

式中, PD 为景观斑块破碎度(个/ km^2); n_i 为分析单元内某一土地利用类型的斑块数, A_i 为该土地利用类型的分布面积(km^2)。

(2) 功能安全保护级别 生态系统服务功能反映人类对生态系统功能的利用,包含了生态系统为人类提供的直接的和间接的、有形的和无形的效益^[19],生态系统为人类提供的服务价值越高,人类对其的开发利用则应更加慎重。本文根据谢高地、田刚等对生态系统服务价值系数从全球到区域的转换公式,并结合彭本荣对厦门海岸湿地生态系统服务价值计算的结果进行补充和修正^[19~22],计算得到厦门市域 11 类土地利用的景观类型生态系统服务价值系数,来反映功能安全保护级别的高低。

(3) 干扰阻抗和恢复能力 指生态系统自我维持、自我调节及其抵抗各种压力与扰动能力的大小,可通过生态弹性度来衡量。生态弹性度大小是指在特定驱动下区域生态环境系统缓冲和自我调节的能力,在评价过程中,根据不同地物覆盖对区域生态弹性的贡献和作用不同,把不同土地利用类型进行生态弹性赋值^[16]。

1.2.3 景观生态安全响应(调控)指标

景观生态安全响应指标表征的是人类面临区域生态安全问题时所采取的对策及措施,可通过生态功能区划调控实施力度来衡量。生态功能区划是根据区域生态环境要素、生态环境敏感性与生态服务功能空间分异规律,将特定区域划分成不同生态功能区的过程。其目的是为制定区域生态环境保护与建设规划、维护区域生态安全以及资源合理利用与工农业生产布局、保育区域生态环境提供科学依据^①。以生态功能分区为实施单元,以生态功能分区生态环境控制目标为基本方向,落实完成一系列系统的生态工程,是政府部门维护区域生态安全的主要调控手段,但是目标的实现是一个渐进的过程,而每一阶段则对应着一定调控实施力度。根据《厦门市生态功能区划研究报告》,规划方案和具体实施效果进行专家咨询打分赋值,其具体设计结果见表 2。

表 2 厦门景观生态功能区划调控实施力度情景设置

Table 2 Scenario setting for implement degree of ecological function zoning in Xiamen City

年份 Year	调控力度 Implement degree *				
	自然保护区 Nature reserve	湿地 Wetland	森林 Forest	基本农田 Farmland	建成区/工业区 Built-up area
2015	2 ~ 5	2 ~ 4	3	4 ~ 5	2 ~ 4
2010	1 ~ 3	1 ~ 2	2	4 ~ 5	1 ~ 2
2006	0 ~ 2	0 ~ 1	1	3 ~ 4	0 ~ 1
D2003	0 ~ 1	0 ~ 1	0	3 ~ 4	0

厦门市环境保护局. 厦门市生态功能区划研究报告, 2005 Xiamen environmental protection bureau. Ecological functional zoning report on Xiamen City, 2005

① 国家环境保护总局. 生态功能区划暂行规程 SEPA. Ecological function regionalization criteria. http://www.sepa.gov.cn/natu/stbh/stglq/200308/t20030815_90755.htm, 2003

1.3 景观生态安全评价分级标准

生态安全是一个相对的概念,对于生态安全的分级至今国内外均无统一的标准,在实际研究工作中,通常采用定性的、模糊的和模拟的表征方法。所以本文统筹 2003 年和 2006 年的计算结果,分指标按照分值的高低取最大、最小值,最大、最小值之间采用五分法进行分级,生态安全综合指数设定最低一级为 0.4,逐级增加 0.1 进行五级划分,分值越高越安全。具体分级标准描述见表 3。

表 3 厦门市景观生态安全评价指标分级
Table 3 The ranking of landscape ecological security assessment in Xiamen City

指标与项目层 Index	分级 Ranking				
	低(I) Worst	中低(II) Worse	中(III) Fair	中高(IV) Better	高(V) Best
城市扩展强度 Urbanization intensity index	<3	3~6	6~9	9~12	>12
城市开发利用强度 City development intensity index	<0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	0.6~0.8	>0.8
景观变化压力指数 Landscape change pressure index	<0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	0.6~0.8	>0.8
景观破碎度 Fragmentation indices of the landscape	<15	15~30	30~45	45~60	>60
生态系统服务价值 Ecological service value	<17128	17128~33815	33815~50502	50502~67189	>67189
生态恢复力 Ecological resilience	<2.2	2.2~4.4	4.4~6.6	6.6~8.8	>8.8
景观状态安全指数 Landscape state safety index	0.4~0.5	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~0.8	0.8~0.9
生态功能区划调控实施力度指数 Implement degree of ecological functional zoning	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5
景观生态安全综合指数 landscape ecological security index	<0.4	0.4~0.5	0.5~0.6	0.6~0.7	>0.7

1.4 景观生态安全评价计算方法

在综合评价之前,必须对不同量纲指标的初始数据进行标准化处理。对于越大越安全的指标: $X_j = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$; 对于越小越安全的指标: $X_j = (X_{\max} - X_i) / (X_{\max} - X_{\min})$ 。其中, X_i 为实测值, X_j 为标准化后的数值, $X_{\max}$ 和 $X_{\min}$ 分别为最大值、最小值。

最终的景观生态安全度综合指标 LES(landscape ecological security)的计算公式为: $LES = \sum_{i=1}^n W_j \times X_j$, 其中, LES 为景观生态安全综合指数,其值在 0~1 之间, X_j 为第 j 个指标标准化值, W_j 为第 j 个评价指标的权重, n 为评价指标的个数。

2 厦门市景观生态安全评价

2.1 研究区概况和数据源

厦门市位于东经 118°04'04"、北纬 24°26'46",地处我国东南沿海福建省东南部、九龙江入海处,现辖湖里区、思明区、海沧区、集美区、同安区、翔安区(图 2 所示^①)。总面积 390km²,2006 年年末建成区面积达到 158km²,常住人口达 233 万人;拥有海岸线 234km,港区深水岸线 27km,大小岛屿 31 个。2001 年厦门地方政府提出建设海峡西岸经济区,全面实施从海岛型城市向海湾型生态城市的战略转变,城市建设的重点已从岛内转向岛外海湾地区,由海岛向海湾空间拓展。随着海峡西岸经济区海湾型发展战略的推进、经济规模快速增长和城市迅速扩容,厦门市区域性的生态压力也日趋严重。随着近期以高速公路、干线公路、国道和海底隧道为主的快速道路网以及八大工业产业园区的规划实施,区域现状景观格局将发生变化和破碎,区域生态安全面临着空前的压力。为了能反应厦门快速城市化过程,本论文所用的遥感数据为 2003 年 1 月 29 日的 Landsat TM 数据和 2006 年 2 月 12 日 Landsat TM 数据,时间跨度比较短,以反映厦门快速城市化的过程。

2.2 评价结果

根据以上评价模型和评价分级标准,以 ACGIS9.0 为分析平台,得到景观变化压力指数、景观状态安全指

① 厦门市环境保护局. 厦门市生态功能区划研究报告, 2005 Xiamen environmental protection bureau. Ecological functional zoning report on Xiamen City, 2005

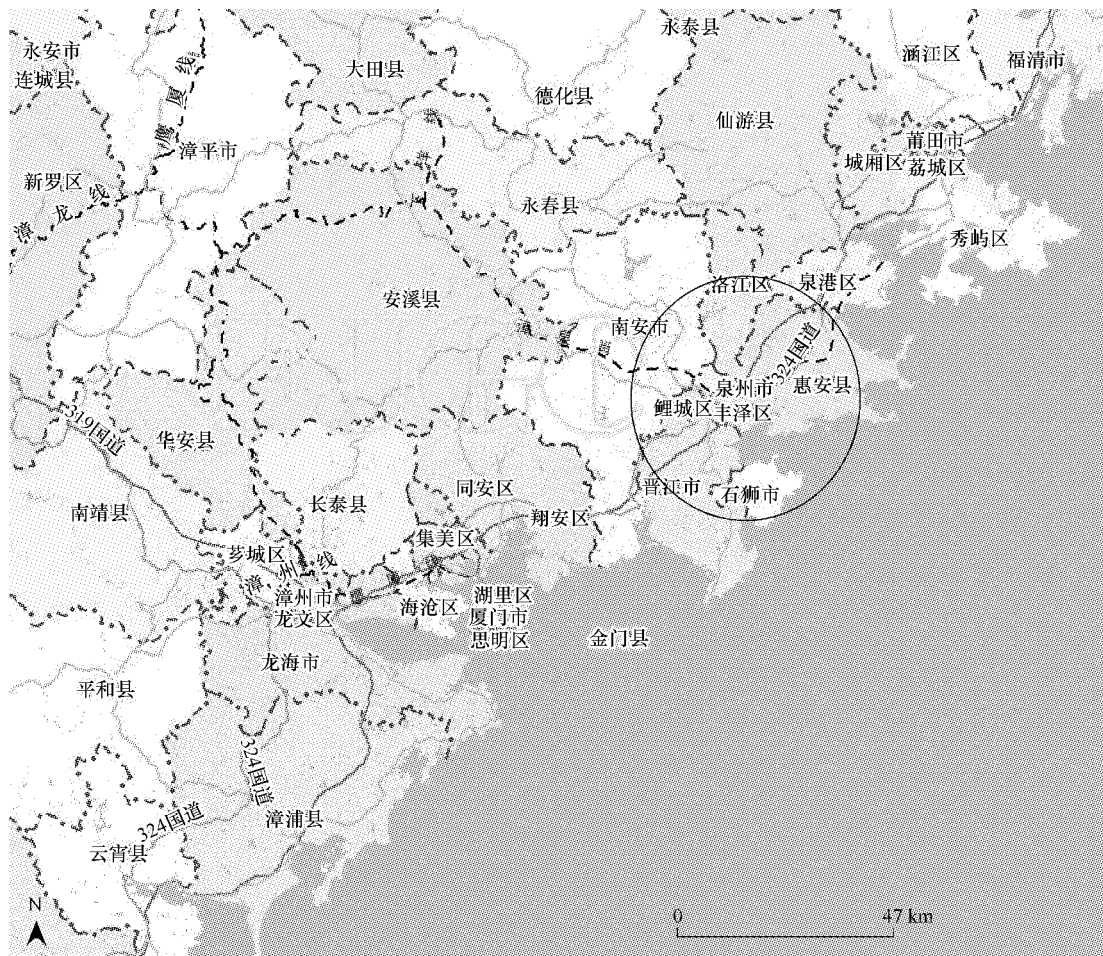


图2 厦门市地理位置

Fig. 2 Location map and study site

数、生态功能区划调控实施力度指数、景观生态安全综合指数如图3~图6所示。

2.3 结果分析

通过GIS空间分析统计得到各指标及相应综合指数的统计信息见表4。

2.3.1 景观变化压力指标及综合指数

表4表明,城市扩展强度和城市开发利用强度在中、中高及高值分布区2006年较2003年均有一定程度的增加,说明近年来快速城市化过程作用区域生态的压力在加大。其中2003年城市扩展强度高值区出现在集美区灌口镇开发区、海沧区海沧镇、同安东北部东溪流域;2006年城市扩展强度高值区主要出现在集美区灌口镇、同安区大同镇、翔安区马巷镇、本岛东北部五缘湾(原钟宅湾)外围以及马銮湾南部,港湾型城市战略加速实施以来相关区域开发建设强度加大趋势明显。而城市开发利用强度2003年和2006年的高值区与城市建成区基本一致,呈连片逐步扩大趋势。

根据城市扩展强度和城市开发利用强度加权求和计算得到的景观变化压力指数(图3和表4)表明,2003年和2006年压力综合作用强度较低值区(低值、中低值和中值区)基本保持稳定,而较高值区(中高值、高值区)有所升高;2006年高、中高值区域较2003年所占百分比有所增加,高强地带有所增加,特别是开始呈现向港湾地区集中的趋势,这与港湾型城市战略加速引起的港湾地区开发热潮一致。

2.3.2 景观状态安全指标及综合指数

表4表明,2003年厦门快速城市化开发建设引起的区域景观破碎化主要集中在同安城区东北、西北、西

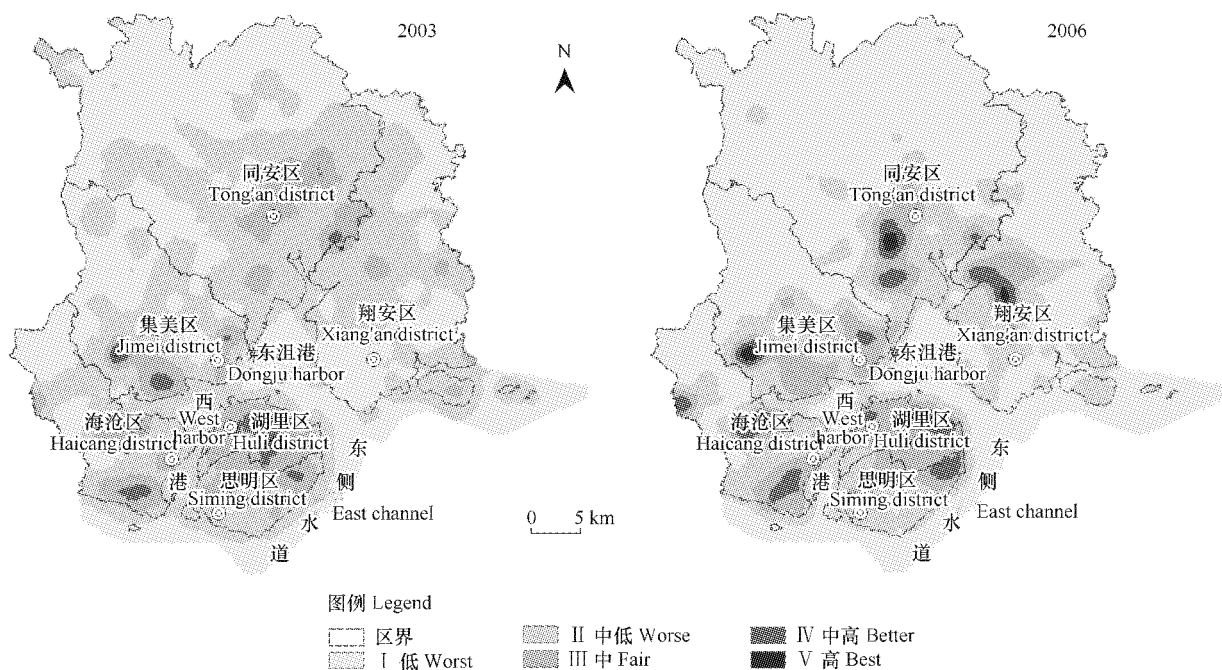


图3 厦门景观变化压力指数空间分异图

Fig. 3 The spatial pattern of landscape change pressure index in Xiamen City

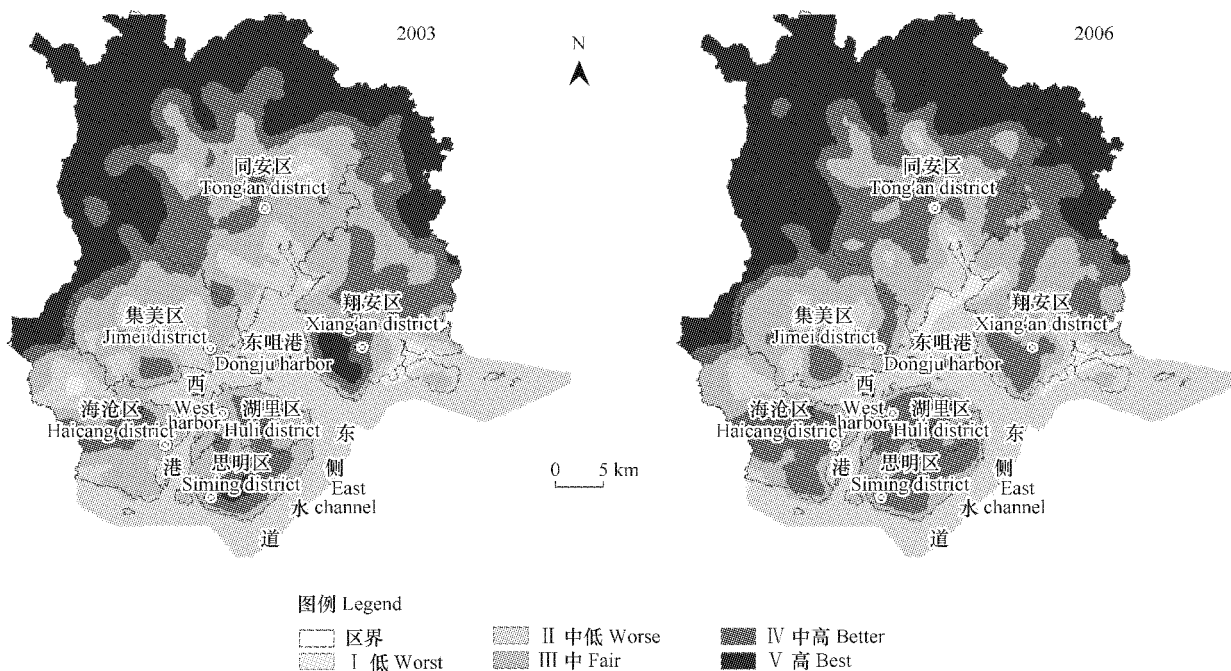


图4 厦门景观状态安全指数空间分异图

Fig. 4 The spatial pattern of landscape state security index in Xiamen City

南,集美城区西北,海沧区西北;2006 年高值区仍然出现在 2003 年的主要地区,但强度有所减弱,新的高值区出现在翔安区北部马巷镇境内的火炬东部产业园区。区域景观生态服务价值显示(表 4)2006 年较高值区(高值、中高值)较 2003 年略有降低,区域整体生态服务价值有下降趋势。区域生态弹性度(表 4)的较高值区由 2003 年的 74.8% 下降为 2006 年的 66.2%,表明区域抵御生态风险的恢复力在减弱。

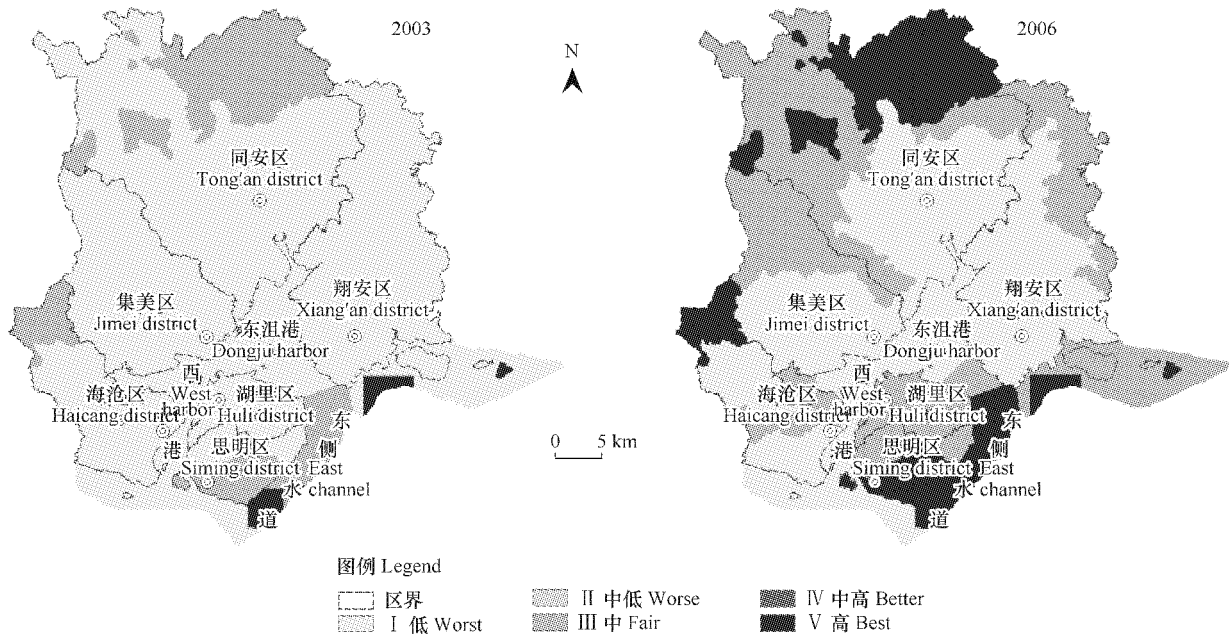


图5 厦门生态功能区划调控实施力度空间分异图

Fig. 5 The spatial pattern of implement degree of ecological functional zoning in Xiamen City

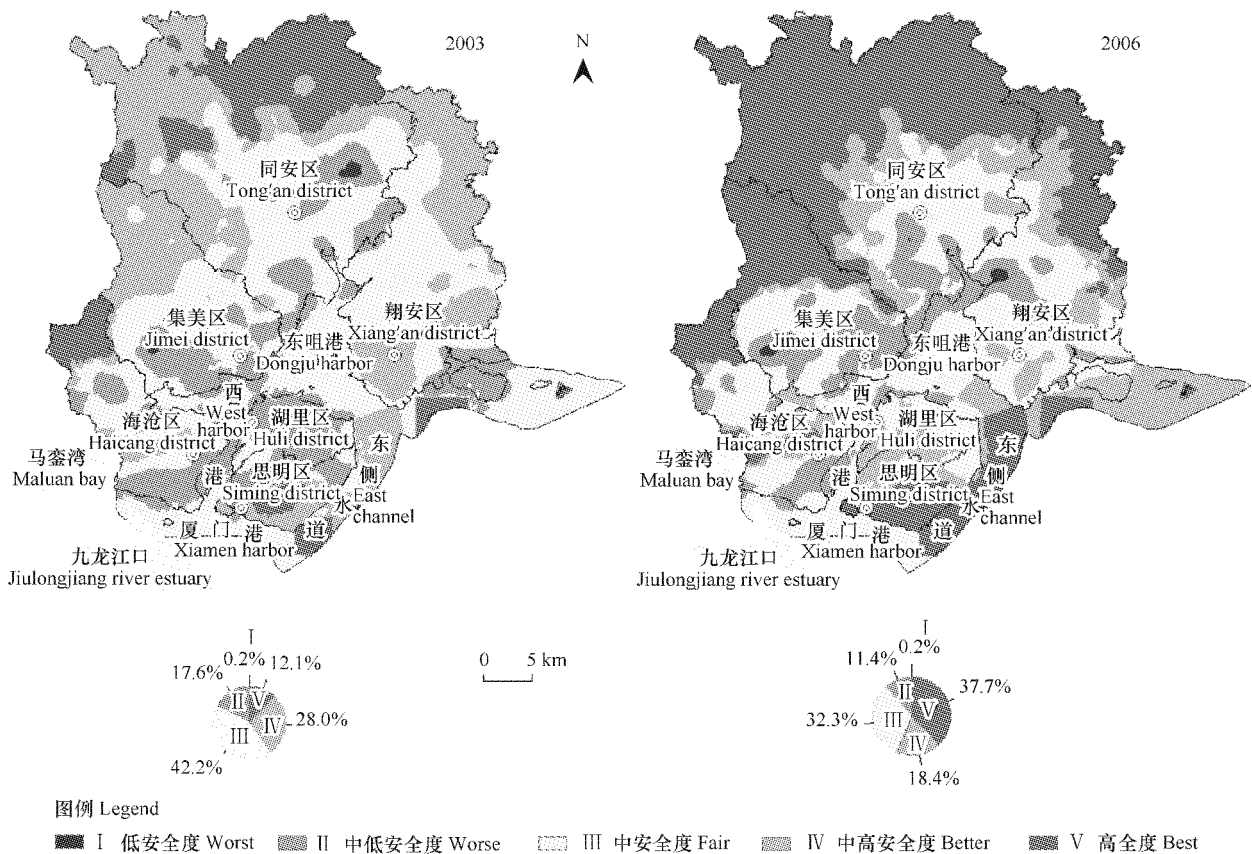


图6 厦门景观生态安全综合指数空间分异图

Fig. 6 The spatial pattern of landscape ecological security index in Xiamen City

根据以上 3 个状态分指标加权求和计算得到的景观状态安全指数(图 4 和表 4)结果表明, 2003 年和

2006 年同安湾湾口、翔安区东南部与大嶝岛西北部组成的三角地带、集美城区西北部均为状态综合指标低值区,即状态较差区;2006 年北部山林地状态高值区较 2003 年有所增加,安全状态趋于改善,而翔安区南部地区由高值区转变为中高、中值区,状态退化较为明显。

表 4 2003 和 2006 年厦门市景观生态安全测度各分指标及综合指数统计分析结果

Table 4 The statistics analysis result of landscape ecological security indexes in Xiamen City between 2003 and 2006

分指标和综合指数 Index	所占百分比(%) Percentage									
	I 低值区 Worst		II 中低值区 Worse		III 中值区 Fair		IV 中高值区 Better		V 高值区 Best	
	2003	2006	2003	2006	2003	2006	2003	2006	2003	2006
城市扩展强度 Urbanization intensity index	93.3	91	5.1	6.4	1.3	2.2	0.2	0.4	0	0
城市开发利用强度 City development intensity index	69.8	65.5	18.5	16.5	6.7	8.2	3.4	6.9	1.7	2.9
景观破碎度 Fragmentation indices of the landscape	42.2	44.9	24.1	24.4	23.0	21.9	9.4	8.2	1.2	0.5
生态系统服务价值 Ecological service value	38.7	41.7	38.7	36.9	5.0	4.9	4.6	4.6	13.0	11.9
生态恢复力 Ecological resilience	2.5	4.3	6.2	11.7	16.5	17.8	36.5	29.2	38.5	36.9
生态功能区划调控实施力度 指数 Implement degree of ecological functional zoning	83.3	47.6	15.4	35.7	1.3	16.7	0	0	0	0
景观变化压力指数 Landscape change pressure index	41.4	60.1	46.2	25.5	10.8	10.8	1.5	3.2	0.1	0.4
景观状态安全指数 Landscape state safety index	1.0	1.9	26.0	22.0	28.2	24.2	21.4	26.3	23.5	25.6

2.3.3 景观生态区划调控实施力度指数

景观生态区划调控实施力度指数空间分异结果(图 5、表 4 所示)显示实施力度低值区有明显降低,中低和中值区显著升高,高值区并无明显变化,说明政府加大生态调控能力并初显成效,但要达到较高的调控力度尚需经历更长的时间。

2.3.4 厦门市景观生态安全综合指数

厦门市景观生态安全综合指数结果(图 6)显示,2003 年厦门景观生态安全度平均值为 0.586,处于中等安全水平,2006 年平均值为 0.650,处于中高安全水平;中低、中、中高安全值所占百分比 2006 年相比于 2003 年均有降低,同时高安全值所占百分比由 2003 年的 12.1% 提升到 2006 年的 37.7%,说明区域景观生态安全度整体水平在大幅度提高。

对该指数进行以行政区划为分析单元的统计结果表明,各分区 2006 年较 2003 年数值均有所提高。2003 年处于中安全水平的有思明(0.58)、海沧(0.57)、集美(0.57)、翔安(0.59)和厦门海域(0.54),处于中低安全水平的有湖里(0.49),处于中高安全水平的有同安(0.63),其安全度自高向低排序依次是同安 > 翔安 > 思明 > 海沧 = 集美 > 厦门海域 > 湖里;2006 年处于中高安全水平的有思明(0.69)、湖里(0.60)、海沧(0.62)、集美(0.61)和翔安(0.62),处于中低水平的有厦门海域(0.59),处于高水平的有同安(0.72),其安全度自高向低排序依次是同安 > 思明 > 海沧 = 翔安 > 集美 > 湖里 > 厦门海域。2006 年较 2003 年增幅大小排序依次是湖里(22.5%) > 思明(19.0%) > 同安(14.7%) > 厦门海域(9.2%) > 海沧(8.8%) > 集美(8.4%) > 翔安(4.9%)。排序结果表明同安区在 2003 年和 2006 年的景观生态安全度均为最高,其原因是长期以来厦门市的开发方向是以本岛、海沧和集美为主,区域内开发程度和强度较低使其高安全水平得以维持。厦门本岛虽然城市开发度最高,但是政府生态调控力度到位,景观生态安全度提升较快。比较两期的结果景观生态安全度数值最低的厦门海域以及景观生态安全度降低最快的翔安区最值得关注。厦门海域特别是同安湾、五

缘湾以及马銮湾附近海域填海造地、房地产开发、围网养殖等有损景观生态安全度的行为尚在港湾地区一定范围内存在,厦门市 2003~2006 年环境质量公报显示,2003 至 2006 年劣三类以下海水水质比例在逐年上升(2003~2005 年分别为 53.3%、76.4%、79.8%,2006 年比 2005 年更低),并且厦门市 2003~2006 年海洋环境质量公报记录显示近 4a 自然保护区内文昌鱼栖息密度和生物量相对于 20 世纪 90 年代在大量锐减(20 世纪 90 年代平均为 110 尾/ m^2 ,近 4a 平均为 50 尾/ m^2 ,2003 年甚至低到 8 尾/ m^2),近 4a 栖息密度和生物量起伏不定,底栖生物耐污种类增加,生物多样性减小,水环境质量及海洋生物锐减和多样性降低的事实进一步印证了厦门海域生态安全度低值的结论;翔安区自 2003 年从同安区分离成为独立的行政区以来,作为厦门的东部产业带的龙头,承担着整个厦门工业重心转移的重任,境内工业开发区建设、城镇建成区扩建、城镇基础设施建设全面启动,同时新区政府机构部门建设相对滞后,环境管理和生态调控尚未完全到位,使得翔安区的景观生态安全度下降较快。因此翔安区和厦门海域将是未来生态调控的重点区域。

2003 年景观安全度的中低以下值区主要分布在湖里区大部、思明区北部、海沧区南部、集美区城区及南部杏林镇和灌口镇、西港湿地中部、马銮湾南部、同安区东溪流域、翔安区南部大嶝岛及周边海域,其中最低值部分集美区南部的灌口镇和同安区东北部东溪流域;最低值出现在集美区南部灌口镇和同安区东北部的东溪流域。

2006 年景观安全度的中低以下值区主要向港湾地区集中,包括海沧区南部、马銮湾南部、集美城区及灌口镇、同安区南部、同安湾西侧沿岸地带及翔安区北部马巷镇,且分布范围大幅减少,特别是本岛、同安区东北部、翔安区南部大嶝镇部分景观生态安全度均有大幅提升;最低值主要集中在集美区灌口镇西部和翔安区马巷镇西部,范围较 2003 年有所扩大。

3 结论与讨论

(1) 运用景观生态安全评价指标体系和计算模型从景观尺度对厦门市区域生态安全状况进行了分析,试图为厦门市区域生态环境建设提供警示信息,确定合理的土地开发利用方式和城市扩展模式,减少城市扩展对区域生态系统的负荷和影响。

(2) 计算结果表明,2003 年厦门景观生态安全度平均值为 0.586,处于中等安全水平,2006 年平均值为 0.650,处于中高安全水平,区域景观生态安全度整体水平在大幅度提高;各行政区 2006 年较 2003 年数值均有所提高,2003 年其安全度自高向低排序依次是同安>翔安>思明>海沧=集美>厦门海域>湖里,2006 年其安全度自高向低排序依次是同安>思明>海沧=翔安>集美>湖里>厦门海域,仍存在总体改善局部恶化的现象,存在较多的“不安全”因素,生态安全建设任重道远;景观变化压力指数 2006 年较 2003 年有所提升,但是景观生态安全调控力度也在加大,缓解了城市化过程对区域景观生态安全的压力和影响。

(3) 指标的选取、指标赋权和分级标准是综合评价模型的核心。本文所建评价模型可用于不同区域生态安全因子的评价与比较,但是有 4 个问题尚待进一步深入研究。一是评价指标体系中的结构指标最终通过主成分分析法仅从 10 个指标中选取了景观破碎度的指标,舍弃了同样具有一定现实意义和实践意义的平均斑块面积、分离指数等指标,反映的结构指数还有待进一步补充完善;二是所选取的响应调控指标通过专家咨询和赋值的方法进行衡量,有一定主观性;三是指标的权重主要通过专家的经验 and 知识进行判断,没有结合主成分分析法、熵权法等客观赋值方法,有待于结合客观赋权的方法对权重进行修正;四是生态安全等级的阈值选取,有一定主观性,应寻求一个较好的阈值划定方法。

(4) 评价单元的划分直接影响到评价结果的精度,本文以网格作为采用评价单元,具有一般性,但是还应该结合 DEM 数据进行小流域划分或者以行政区界作为评价单元,或者应该分析评价不同大小网格单元对于评价结果的影响,有关评价单元的研究将在今后的工作中加以实践。

References:

- [1] Kline J D, Moses A, Alig R. Integrating urbanization into landscape-level ecological assessments. *Ecosystems*, 2001, 4: 3-18.
- [2] Gu D Q, Zhao X T, Xia D X. A systemic analysis of the environmental pressure factors to the degradation of coastal wetlands in China. *Acta*

- Oceanologica Sinica, 2003, 25(1): 78—85.
- [3] Li Y F, Zhu X D, Deng J Z. Ecological Governance for Bay-area City under Rapid Urban Expansion: A Case Study of Liangyungang City. In: China Association of City Planning (CACP) ed. Planning 50th Anniversary-The proceedings of Annual National Planning Conference 2006 (Vol. 1). Beijing: China Architecture & Building Press, 2006. 637—642.
- [4] Costanza R, Norton B G, Hashell B D. Ecosystem health: New goals for environmental management. Washington DC: Island Press, 1992, 1—125.
- [5] Rapport D J, Costanza R, McMichael A J. Assessing ecosystem health. Trends in Ecology & Evolution, 1998, 13(10): 397—402.
- [6] Rapport D J, Böhm G, Buckingham D, et al. Ecosystem health: the concept, the ISEH, and the important tasks ahead. Ecosystem Health, 1999, 5(2): 82—90.
- [7] Chen H, Liu J S, Chao Y, et al. Progresses of ecological risk assessment. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(5): 1558—1566.
- [8] Xiao D N, Chen W B, Guo F L. Study on the basic concepts and contents of ecological security. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(3): 354—358.
- [9] 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.
- [10] Chen X, Zhou C H. Review of the studies on ecological security. Progress in Geography, 2005, 24(6): 8—20.
- [11] Zhang H, Tang X M, Wang S B. Regional ecological security of rapidly urbanizing pearl river delta, china: a case study of foshan city. Journal of Natural Resources, 2006, 21(4): 615—624.
- [12] Gao C B, Chen X G, Wei C H, et al. Quantitative evaluation of ecological security status and trends: a case study of Guangdong Province, China. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(7): 2191—219.
- [13] Ren Z Y, Huang Q, Li Q. 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.
- [14] Wang G, Wu W. Assessment on ecological security spatial differences of west areas of Liaohe river based on GIS. Environmental Science, 2005, 26(5): 28—33.
- [15] Xiao R B, Ouyang Z Y, Hang Y S. Ecological security assessment of Hainan Island. Journal of Natural Resources, 2004, 19(6): 669—775.
- [16] Jiang W G, Li J, Li J H, et al. Assessment of wetland ecosystem health in the Liaohe River Delta. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(3): 408—414.
- [17] Li X W, Fang J Y, Pu S L. The intensity and modes of urban landuse growth in Shanghai. Journal of Natural Resources, 2003, 18(4): 412—422.
- [18] Liu Q K, Liu H Y, Lü X G. Ecological fragility of wetlands in Sanjiang Plain. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(2): 241—244.
- [19] Xie G D, Lu C X, Leng Y F, et al. Ecological assets valuation of Tibetan Plateau. Journal of Nature Resource, 2003, 18(2): 189—195.
- [20] Xiao Y, Xie G D, An K. Economic Value of ecosystem services in Mangcuo Lake drainage basin. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(5): 676—680.
- [21] Tian G, Cai B F. Evaluation of the ecosystem services of artificial landscapes in Beijing. Environmental Science, 2004, 25(5): 5—9.
- [22] Peng B R, Hong H S, Chen W Q, et al. Ecological damage appraisal of sea reclamation: theory, method and application. Journal of Natural Resources, 2005, 20(5): 714—726.

参考文献:

- [2] 谷东起, 赵晓涛, 夏东兴. 中国海岸湿地退化压力因素的综合分析. 海洋学报, 2003, 25(1): 78—85.
- [3] 李杨帆, 朱晓东等. 海湾快速城市扩张地区生态管治研究. 见: 中国城市规划学会编. 规划50年——2006中国城市规划年会论文集(上册). 北京: 中国建筑工业出版社, 2006. 637—642.
- [7] 陈辉, 刘劲松, 曹宇, 等. 生态风险评价研究进展. 生态学报, 2006, 26(5): 1558—1566.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 陈星, 周成虎. 生态安全: 国内外研究综述. 地理科学进展, 2005, 24(6): 8—20.
- [11] 张浩, 汤晓敏, 王寿兵, 等. 珠江三角洲快速城市化地区生态安全研究——以佛山市为例. 自然资源学报, 2006, 21(4): 615—624.
- [12] 高长波, 陈新庚, 韦朝海, 等. 广东省生态安全状态及趋势定量评价. 生态学报, 2006, 26(7): 2191—219.
- [13] 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.
- [14] 王耕, 吴伟. 基于GIS的西辽河流域生态安全空间分异特征. 环境科学, 2005, 26(5): 28—33.
- [15] 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.
- [16] 蒋卫国, 李京卜, 李加洪. 辽河三角洲湿地生态系统健康评价. 生态学报, 2005, 25(3): 408—414.
- [17] 李晓文, 方精云, 朴世龙. 上海城市用地扩展强度、模式及其空间分异特征. 自然资源学报, 2003, 18(4): 412—422.
- [18] 刘振乾, 刘红玉, 吕宪国. 三江平原湿地生态脆弱性研究. 应用生态学报, 2001, 12(2): 241—244.
- [19] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189—195.
- [20] 肖玉, 谢高地, 安凯. 莽措湖流域生态系统服务功能经济价值变化研究. 应用生态学报, 2003, 14(5): 676—680.
- [21] 田刚, 蔡博峰. 北京地区人工景观生态服务价值估算. 环境科学, 2004, 25(5): 5—9.
- [22] 彭本荣, 洪华生, 陈伟琪, 等. 填海造地生态损害评估: 理论、方法及应用研究. 自然资源学报, 2005, 20(5): 714—726.

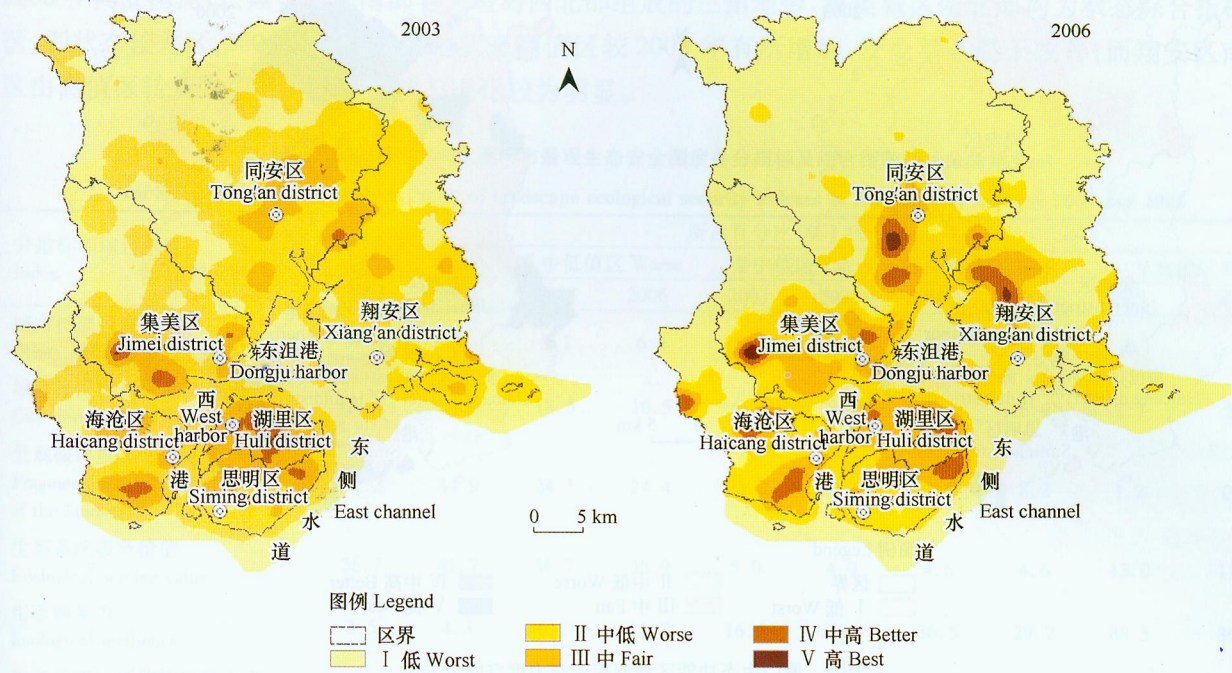


图 3 厦门景观变化压力指数空间分异图

Fig. 3 The spatial pattern of landscape change pressure index in Xiamen City

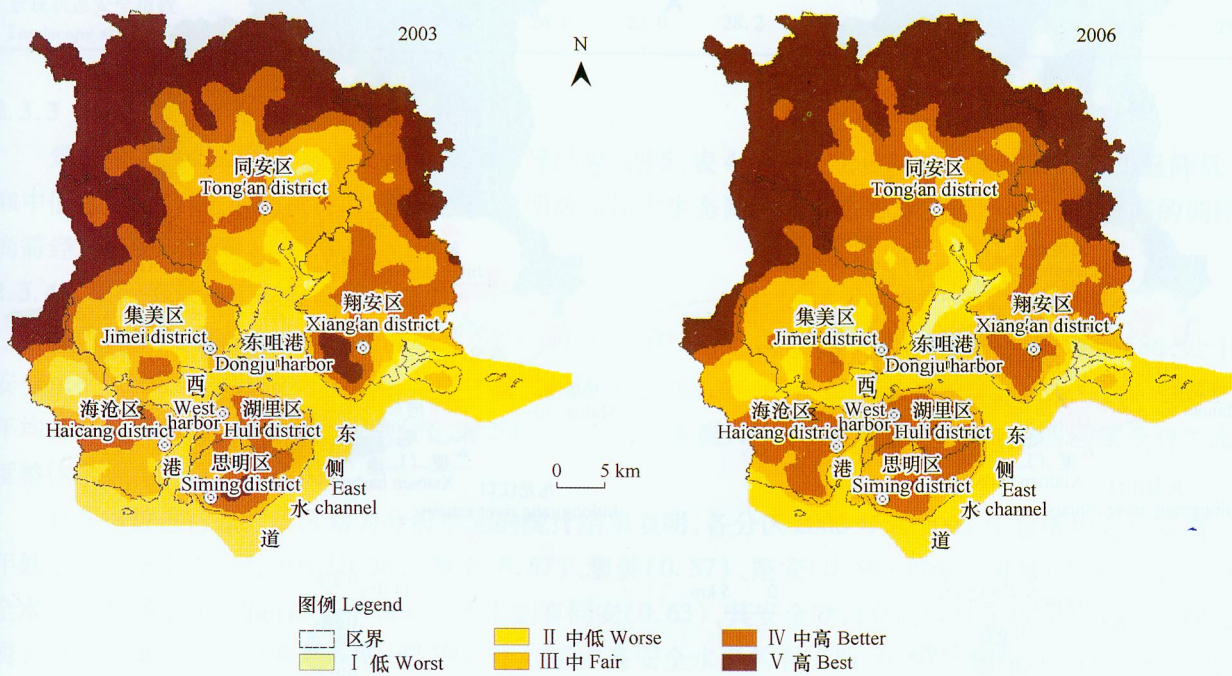


图 4 厦门景观状态安全指数空间分异图

Fig. 4 The spatial pattern of landscape state security index in Xiamen City

南,集美城区西北,海沧区西北;2006 年高值区仍然出现在 2003 年的主要地区,但强度有所减弱,新的高值区出现在翔安区北部马巷镇境内的火炬东部产业园区。区域景观生态服务价值显示(表 4)2006 年较高值区(高值、中高值)较 2003 年略有降低,区域整体生态服务价值有下降趋势。区域生态弹性度(表 4)的较高值区由 2003 年的 74.8%下降为 2006 年的 66.2%,表明区域抵御生态风险的恢复力在减弱。

根据以上 3 个状态分指标加权求和计算得到的景观状态安全指数(图 4 和表 4)结果表明,2003 年和

图 6 厦门景观生态安全综合指数空间分异图
Fig. 6 The spatial pattern of landscape ecological security index in Xiamen City

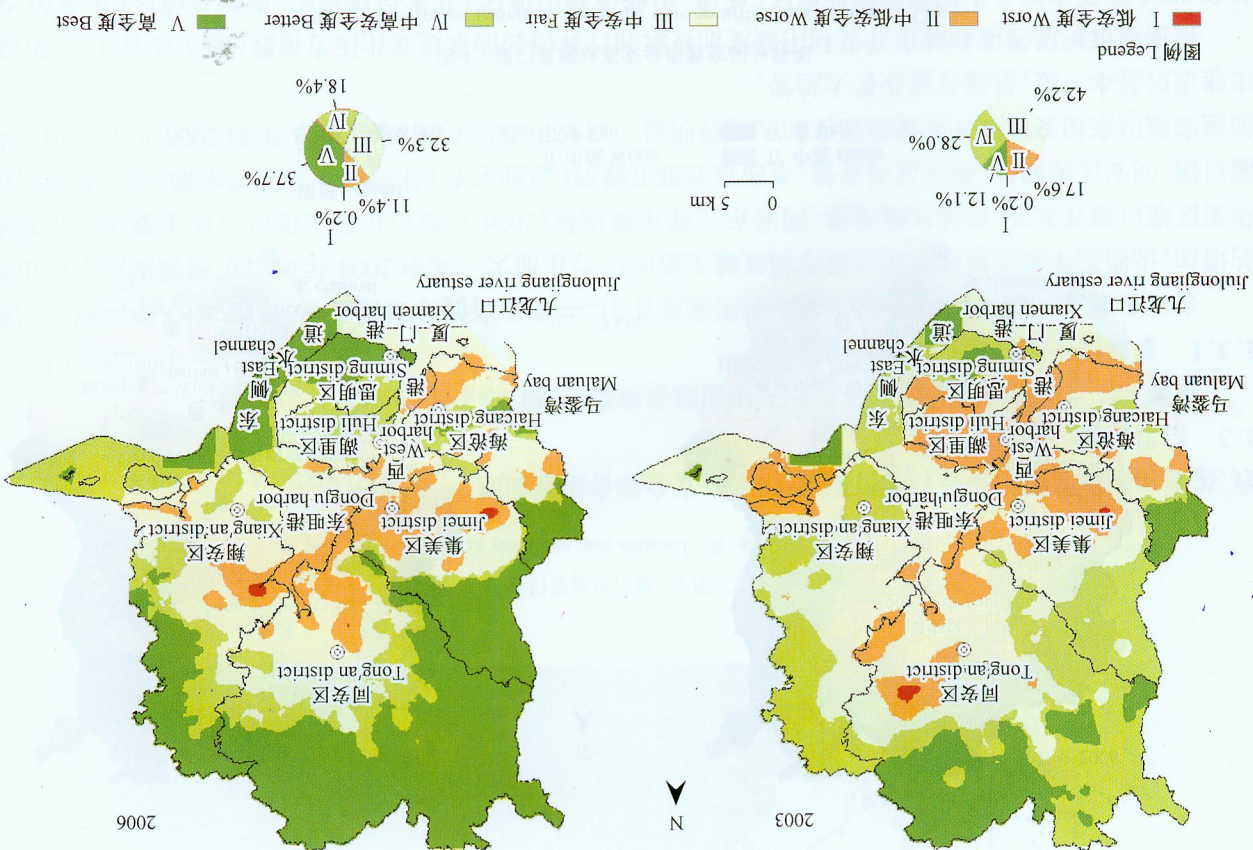


图 5 厦门生态功能区划调控实施力度空间分异图
Fig. 5 The spatial pattern of implement degree of ecological functional zoning in Xiamen City

