

深圳湾近30年主要景观类型之演变*

陈保瑜¹, 宋悦¹, 咎启杰^{2,3}, 谭凤仪², 李喻春^{2,4},
岳钥¹, 田莉¹, 余世孝¹

- (1. 中山大学生命科学学院生态学系//有害生物控制与资源利用国家重点实验室, 广东 广州 510275;
2. 香港城市大学深圳研究院, 广东 深圳 518057;
3. 深圳市野生动物救护中心, 广东 深圳 518001;
4. 深圳市海洋局, 广东 深圳 518034)

摘要: 将深圳特区城市化过程划分为城市化初期、发展期、加速期和后期4个阶段, 借助不同时期的遥感图像, 包括1979年的MSS, 1989、1998、2003、2009的TM, 采用景观分类、景观转移和景观指数分析等一系列技术方法, 分析了深圳湾地区基围、红树林和滩涂3种湿地景观类型的动态特征变化。结果表明: ①深圳湾景观类型丰富, 有较高多样性, 但不同类型所占面积差异较大。人为干扰是深圳湾景观格局和景观类型发生改变的主要因素, 围垦填海和城市建设严重破坏了深圳湾滨海湿地, 海岸线不断向浅海延伸。②从1979年至2009年的30年间, 研究区的城市建成区面积从508.95 hm²增加到2 072.52 hm², 最大斑块面积指数从2.94%增加到17.55%; ③基围景观受人为干扰最严重, 其面积在城市化初期表现为增长的趋势, 1989年在景观中所占的比例达到了最高峰时的7.72%, 此后城市化速度的加快使得基围景观逐渐演变为建成区或其他景观类型, 且斑块形状趋于规则, 由非正方形的形状趋于偏向正方形。在城市化的后两个阶段, 基围景观发生转入和转出的斑块数量都很少, 主要分布在进行了几次大规模围海工程的南山区; ④城市化的前两个阶段红树林总面积持续减少, 1998年后开始恢复增长, 面积由52.65 hm²增加到2009年的81 hm²。景观指数分析表明, 红树林景观没有趋于破碎化, 反而形成了较大的景观斑块, 景观连通性增加, 保护区的建立对红树林的保护起着重要作用; ⑤滩涂景观在过去30年间呈现较大幅度的波动和反复性, 总的来说, 面积从1979年的634.5 hm²减少至2009年的377.28 hm², 景观趋于破碎化, 稳定性下降。

关键词: 城市化; 基围; 红树林; 滩涂; 景观转移; 景观指数

中图分类号: Q948 文献标志码: A 文章编号: 0529-6579(2012)05-0086-07

Dynamics of the Main Landscape Types at Shenzhen Bay during Past Three Decades

CHEN Baoyu¹, SONG Yue¹, ZAN Qijie^{2,3}, TAM Nora Fung Yee², LI Yuchun^{2,4},
YUE Yue¹, TIAN Li¹, YU Shixiao¹

- (1. Department of Ecology, School of Life Sciences/State Key Laboratory of Biocontrol, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;
2. Shenzhen Research Institute, City University of Hong Kong, Shenzhen 518057, China;
3. Shenzhen Wild Animal Rescue Center, Shenzhen 518001, China;
4. Shenzhen Marine Bureau, Shenzhen 518034, China)

Abstract: Shenzhen Special Economic Zone (SEZ) was established as a model city in 1979 and it has become a modern industrialization urban during the past three decades. The rapid urbanization has a sig-

* 收稿日期: 2012-03-19

基金项目: 国家海洋行业公益性科研专项经费资助项目(200905009)

作者简介: 陈保瑜(1987年生), 男, 硕士研究生; 通讯作者: 咎启杰; E-mail: zqjmangrove@126.com

nificant effect on the landscape, and Shenzhen Bay is a typical example. In this paper, the urbanization process in Shenzhen special zone was divided into four stages: early urbanization phase, developed urbanization phase, accelerated urbanization phase and later urbanization phase. Based on five periods of remote sensing data located at Shenzhen Bay, including MSS in 1979, and TM in 1989, 1998, 2003, 2009, respectively the dynamic characteristic of three main wetland landscape types, Gei Wei, Mangrove and Intertidal Zone in Shenzhen Bay, was analyzed with a series of techniques including landscape classification, landscape transfer and landscape index analysis. The software platforms including ERDAS IMAGINR, ARCGIS and FRAGSTATS. The results are as followed: ① There are higher diversity landscape types at Shenzhen Bay, while the area of different landscape type varied greatly. Human disturbance is a major factor in the change of landscape pattern of Shenzhen Bay, the reclamation work projects and urban construction had seriously destroyed the coastal wetlands, the coastline of the Shenzhen Bay also had extended to the shallow water. ② During the past three decades, the built-up area increased from 508.95 hm² to 2 072.52 hm², accordingly the largest patch area index increased from 2.94% to 17.55%. ③ Gei Wei suffered the greatest human disturbance, its cover area increased in the early urbanization phase. Its proportion was 7.72% in 1989, the highest value during the past three decades. With the acceleration of urbanization, Gei Wei gradually evolved into built-up areas or other landscape types with the patch shape turn regular. In the last two phases, Gei Wei maintained at a low level of the move in or out and mainly occurred in Nanshan District where several large-scale reclamation work projects proceeded. ④ The total mangrove area decreased constantly in the first two phases of urbanization, but began to increase after 1998, with 52.65 hm² of area to 81 hm² in 2009. Landscape index analysis showed that the mangrove landscape did not become fragmented, but shaped larger landscape patches and the landscape connectivity increased. ⑤ There was a relatively large fluctuation and iterancy for intertidal zone in the past three decades, with the area reduced from 634.5 hm² in 1979 to 377.28 hm² in 2009, and the fragmentation increased with the stability declined.

Key words: urbanization; Gei Wei; mangrove; intertidal zone; landscape transfer; landscape index

城市化就是由乡村景观转变为城市或其它建成区景观的过程^[1], 城市生态学的一个主要目标是理解城市化的空间格局和生态过程之间的相互关系^[2]。目前全世界越来越多的学者在思考如何能更有效的将城市景观格局及其变化进行量化, 并对由城市化引起的生态后果进行监测与评估^[3-4]。

近年来, 利用 3S 技术研究城市湿地景观的时空动态变化, 已经成为景观生态学的研究热点^[5]。一些学者利用遥感手段, 对滨海湿地景观类型的变化特征进行了研究^[6-10]。深圳市在经过改革开放短短的 30 年后, 经历了由农业主导的半自然景观到工业主导的城市景观的巨大转变^[11], 然而, 这一典型的城市化过程中景观转移的时空特性, 尤其是滨海湿地景观受城市化的影响及其生态响应尚未被深入的研究。本研究以深圳湾区域改革开放 30 年来的五期遥感影像为数据源, 定量描述深圳湾(深圳部分)滨海湿地类型的变化过程, 为深圳湾湿地的保护与规划提供理论依据。

1 研究地与研究方法

1.1 研究地概况

深圳湾红树林湿地位于深圳湾北岸, 区域范围在北纬 22° 30' ~ 22° 32', 东经 113° 56' ~ 114° 3' 之间(图 1), 由西至东依次横跨南山区和福田区。研究区地处大型城市的滨海区域, 被城市所包围, 改革开放后受到人类活动的强烈影响, 景观格局发生了巨大的改变。福田红树林鸟类自然保护区位于深圳湾东北部, 东起新洲河口, 西至海滨生态公园, 南达滩涂外海域和深圳河口, 北至广深高速公路, 面积 368 hm²。保护区湿地生态系统由红树林带、基围鱼塘和滩涂组成, 区内有高等植物 170 多种, 其中, 红树林植物 13 科 22 种, 鸟类 192 种, 列入重点保护的鸟类有 23 种。

1.2 遥感数据源与数据预处理

本研究所采用的遥感数据源共五期, 分别来自 1979 年的 MSS 遥感影像, 1989、1998、2003 和 2009 年的 TM 遥感影像。数据预处理过程包括分

分辨率变换、投影坐标变换、几何校正和缓冲区裁剪图像,地理坐标采用 WGS_1984_UTM_ZONE_50N。在参考前人研究的基础上^[5],首先在 ARC-GIS 平台下构建 2003 年的深圳湾海岸线,使用 Buffer 工具进行反复的缓冲试验,最后选定距海岸线 1.8 km 区域范围作为缓冲区,以保证不同时期的深圳湾红树林湿地完全包含在研究范围内,同时剔除不感兴趣的区域(图 1)。用该缓冲区分别裁剪出 5 期遥感图像,并将香港区域进行掩膜处理,得到对应时期的研究区。

1.3 景观分类

根据深圳湾的实际情况,将湿地景观分为基围、红树林、滩涂和水体四类,由于水体的变化特征不明显,本研究中不予重点讨论分析。为了提高分类精度,采用了一种人机交互解译的遥感图像综合分类方法。首先,采用最大似然分类算法对图像进行监督分类,将景观分为红树林、建成区、绿地、滩涂、水体和裸地六类。第二,由于基围的光谱特征与水体基本一致,通过光谱特征的监督分类方法无法将二者区分开,但基围的几何特征比较明显,通过目视解译的方法,将其进行直接的划分,分类结果见表 1。

1.4 景观转移检测

为了检测湿地景观在时间序列上发生的变化,根据景观分类图的变化趋势,我们将深圳湾的城市化过程分为 4 个阶段,分别是城市化初期(1979-1989)、发展期(1989-1998)、加速期(1998-2003)和后期(2003-2009)。基于此,通过构建“由像元到像元的景观转移矩阵”^[12-13]来计算不同阶段其他类型转移为目标景观类型(基围、红树林和滩涂)的变化量(转入),同时计算目标景观类型转移为其他类型的变化量(转出)。由于各个阶段的时间间隔不同,因此将各变化量标准化为年均变化量来对不同时间间隔的数值进行比较:

$$ACA_{\text{loss}} = \frac{LA_i - LA_{i+n}}{n} \times 100\% \quad (1)$$

$$ACA_{\text{gain}} = \frac{LA_{i+n} - LA_i}{n} \times 100\% \quad (2)$$

式中是目标景观类型转出为其他类型的年均量,而则是其他类型转入为该景观类型的年均量; n 是每

个阶段的间隔年数;分别是第 i 年和第 $i+n$ 年该景观类型的总量。据此,本研究分别计算了基围、红树林和滩涂 3 类湿地景观的转移变化量,揭示湿地景观转入转出发生的区域位置。

1.5 景观指数分析

完成景观转移检测操作后,将分类图导出矢量格式,在景观软件 FRAGSTATS 中计算景观指数。在类型水平上,选取面积组成比例(PLAND)在内的 5 个类型水平指数。斑块数 NP 和平均斑块面积 MPS 都反映了景观破碎化的程度,LPI 有助于确定景观的优势类型,LPI 值越大斑块优势度越大,LSI 能反映斑块的形状和团聚度。在景观水平上,选取 Shannon 多样性指数(SHDI)和 Shannon 均匀度指数(SHEI)。

2 结果与讨论

2.1 湿地景观变化的动态特征

城市景观的变化受到一系列动态的驱动因子影响,包括区域内特定的自然环境、社会、政治和历史等背景因素,而这些因素之间复杂的交互作用产生了不同的景观变化情景和后果^[14]。由于经济特区的建立和改革开放,建成区景观面积快速增加(图 2)。与建成区景观相似,基围景观同样表现出了非线性变化的特征(表 1)。在城市化初期,基围受城市化的影响不显著,面积有所增加。但从 1989 年开始,随着城市化速度的加快,基围景观逐渐被城市建成区或其他景观类型所代替。滩涂景观作为近海和陆地之间的缓冲带,不仅是一种重要的土地资源和空间资源,而且本身也蕴藏着各种矿产、生物及其他海洋资源。研究发现,过去 30 年,滩涂景观的演变呈现较大幅度的波动和反复性,表现为某一阶段该地区转入,下一阶段该区域的滩涂几乎全部转出。红树林是整个湿地生态系统的核心,主要分布在深圳湾东北岸深圳河口的福田红树林核心区(图 1)。随着城市的扩张,1979 年至 1998 年间,红树林被其他景观类型逐步替代,面积持续减少。但随着 1984 年红树林鸟类自然保护区的建立,核心区内的红树林面积由 1998 年的 52.65 hm² 恢复到 2009 年的 81 hm²。

表 1 深圳湾景观分类结果
Table 1 The result of landscape classification in Shenzhen Bay

| 景观类型 | | 相关描述 | 类型面积/hm ² | | | | |
|------|-----|--|----------------------|----------|----------|----------|----------|
| | | | 1979 | 1989 | 1998 | 2003 | 2009 |
| 相关描述 | 红树林 | 位于潮间带的红树植物，生长于陆地和海洋交界带的滩涂浅滩 | 79.56 | 58.59 | 52.65 | 72.99 | 81.00 |
| | 滩涂 | 河流沉积物区域，海水低潮位与高潮位之间的区域，包括岸线以上的沼泽 | 634.50 | 406.62 | 358.74 | 657.36 | 377.28 |
| | 水体 | 包括湖泊、河流水面和浅海水域 | 2 329.74 | 2 805.57 | 2 016.00 | 1 346.40 | 1 320.03 |
| 人工湿地 | 基围 | 包括水库、水田和养殖塘，大都呈规整的块状，有陇状基分割 | 227.25 | 431.28 | 100.26 | 60.39 | 30.15 |
| 其他类型 | 建成区 | 实际已成片开发建设、市政公用设施和公共设施基本完备、具备了城市居住条件的区域 | 508.95 | 708.48 | 1 194.57 | 1 895.85 | 2 072.52 |
| | 绿地 | 包括林地、草地、旱田和灌丛 | 1 400.67 | 304.83 | 500.22 | 572.04 | 770.67 |
| | 裸地 | 包括原生裸地和次生裸地 | 186.66 | 651.96 | 1 144.89 | 762.30 | 715.68 |

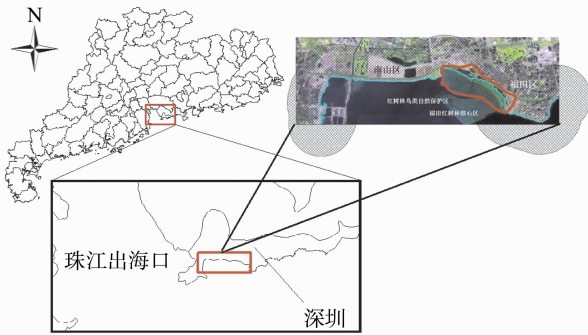


图 1 深圳湾福田红树林核心区和红树林鸟类自然保护区地理位置

Fig. 1 The geographic location of Futian Mangrove core area and Mangrove Birds Natural Reserve in Shenzhen Bay

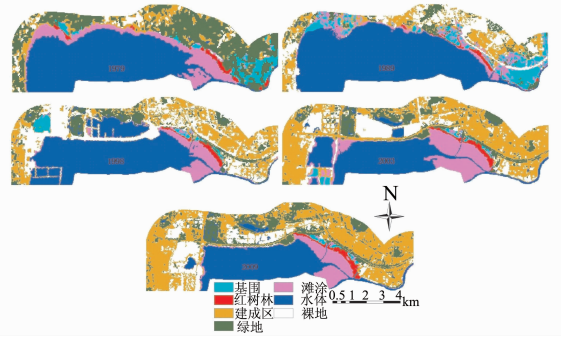


图 2 沿时间序列上的深圳湾景观分类图

Fig. 2 The map of landscape types at Shenzhen Bay at various periods

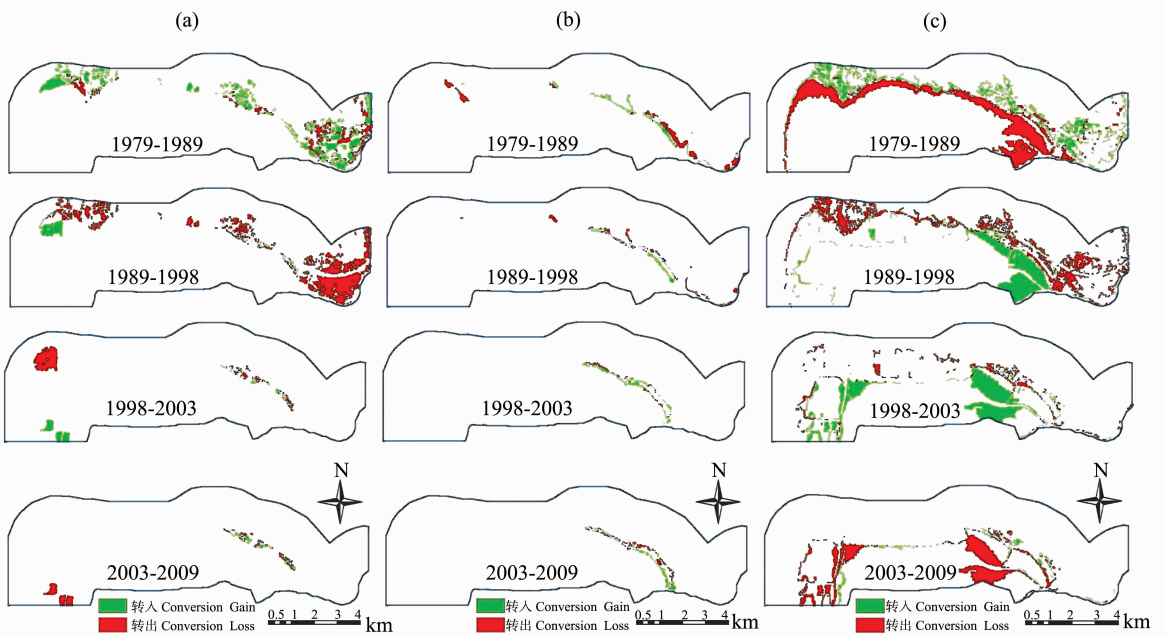


图 3 不同城市化阶段基围 (a)、红树林 (b) 和滩涂 (c) 景观转移的发生区域

Fig. 3 Landscape conversion of Gei Wei (a), Mangrove (b) and Intertidal Zone (c) at different stages of urbanization

2.3 景观转移检测

研究发现,不同景观的转移情况在不同的城市化阶段是不同的。在城市化初期,由于城市扩张速度较慢,深圳市仍以农业生产占主导经济地位,以水田和养殖塘为代表的人工湿地景观得到了保存和发展(图3a),基围年均转入量远高于年均转出量(图4a)。1989年至1998年的9年间,城市化速度加快,以农业耕作主导的半自然景观格局快速转变为工业主导的城市景观格局,人工湿地大量转变为其他景观类型。该阶段红树林的转入和转出速度均达到了过去30年的最低值,仅为 $2.10\text{ hm}^2/\text{年}$ 和

$2.76\text{ hm}^2/\text{年}$ (图4b),从图3b我们可以看出,红树林的转入转出主要发生在红树林核心区,保护区的建立对红树林景观的保护效应开始显现。第3阶段红树林面积增加最快,达到了年均 5.58 hm^2 ,同时滩涂景观年均面积增长 77.40 hm^2 ,达到了非常高的水平(图4c),同时,基围景观经过前两个阶段的演变已变得相对稳定,其发生转入转出的斑块数量很少(图4a),且主要分布在进行了几次大规模围海工程的南山区。城市化后期,红树林核心区内的红树林得到较好的发展,面积有所增加,但仅存不多的基围却进一步转移为其他景观类型。

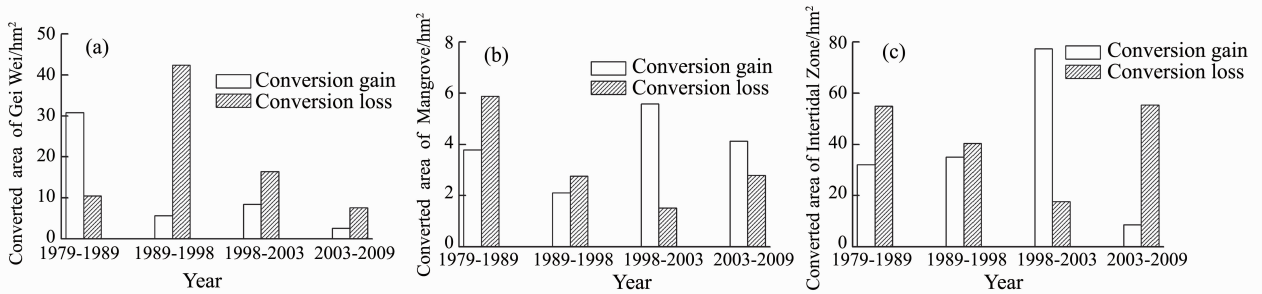


图4 基围(a)、红树林(b)和滩涂(c)三类景观的年均转移面积在不同城市化阶段的变化趋势

Fig. 4 The annual area of transfer for Gei Wei (a), Mangrove (b) and Intertidal Zone (c) at various stages of urbanization

2.4 湿地景观格局分析

2.4.1 类型水平指数分析 从表2可以看出,基围景观从1979年占整个景观比例的4.07%增长至1989年的7.72%,到2009年仅占0.54%,斑块数总体上呈减少趋势,斑块团聚度先降低后增加,到2009年仅有少量分布在福田红树林核心区(图2)。得益于保护区的建立,红树林景观没有趋于破碎化,反而形成了两个大的斑块,斑块数减少的同时总面积变化很小,因此平均斑块面积增大,景观连通性增加。但红树林在整个景观格局中所占的比例一直很小,基本处于1%~2%之间。滩涂所占比例呈现较大幅度的波动和反复性,总的来说,斑块数增加,平均斑块面积在减少,说明滩涂趋于破碎化,稳定性下降。水体所占比例持续减小,LPI和LSI都呈下降趋势,斑块数增加的同时斑块形状趋于规则,偏向正方形。

通过景观指数分析我们发现,基围受人类干扰的影响最大,而红树林形成了两个大的斑块,保护

区的建立让基围和红树林免受城市化进一步的破坏。城市化过程需要大量的土地满足城镇、厂房、交通和住房建设,因此深圳湾在改革开放后进行了几次大规模的围垦填海工程,西岸蛇口的海岸线向东延伸了约2.4 km,北岸南山区的海岸线向南延伸了约1.2 km,这是深圳湾原有的湿地景观格局发生了巨大改变的根本原因。

2.4.2 景观水平指数分析 如表3所示,研究区景观多样性指数SHDI较为稳定,基本处于1.6~1.7之间,说明深圳湾多样性高,景观类型丰富。均匀度指数SHEI基本在0.7~0.8之间,说明景观均匀度不高,不同类型的所占面积变化很大,例如,水体、绿地、建成区所占面积较大,而基围、红树林所占面积较小,最大可相差40倍左右。研究区的斑块总数增加,同时平均斑块面积减少,总体来看,深圳湾湿地正朝着不利于其稳定的趋势发展。

表 2 湿地景观类型指数
Table 2 The indexes of different wetland landscape types

| 年份 | 景观类型 | 面积组成比例 | 斑块个数 | 斑块平均面积指数 | 最大斑块面积指数 | 景观形状指数 |
|------|------|--------|------|----------|----------|--------|
| | | PLAND | NP | MPS | LPI | LSI |
| 1979 | 基围 | 4.07 | 26 | 8.74 | 2.74 | 7.85 |
| | 红树林 | 1.42 | 9 | 8.84 | 0.67 | 4.6 |
| | 滩涂 | 11.36 | 38 | 16.7 | 9.17 | 7.22 |
| | 水体 | 41.71 | 12 | 194.15 | 41.33 | 2.92 |
| 1989 | 基围 | 7.72 | 83 | 5.2 | 2.56 | 14.73 |
| | 红树林 | 1.05 | 15 | 3.91 | 0.5 | 7.65 |
| | 滩涂 | 7.28 | 100 | 4.07 | 1.81 | 23.37 |
| | 水体 | 50.23 | 8 | 350.7 | 50.17 | 2.52 |
| 1998 | 基围 | 1.79 | 8 | 12.53 | 1.23 | 5.04 |
| | 红树林 | 0.94 | 4 | 13.16 | 0.69 | 4.18 |
| | 滩涂 | 6.42 | 83 | 4.32 | 3.32 | 9.96 |
| | 水体 | 36.09 | 58 | 34.76 | 28.52 | 6.04 |
| 2003 | 基围 | 1.08 | 14 | 4.31 | 0.24 | 5.96 |
| | 红树林 | 1.31 | 4 | 18.25 | 0.92 | 4.51 |
| | 滩涂 | 11.77 | 46 | 14.29 | 5.33 | 7.5 |
| | 水体 | 24.1 | 47 | 28.65 | 18.69 | 6.07 |
| 2009 | 基围 | 0.54 | 5 | 6.03 | 0.15 | 4.62 |
| | 红树林 | 1.45 | 2 | 40.5 | 1.12 | 4.9 |
| | 滩涂 | 6.75 | 46 | 8.2 | 5.71 | 7.59 |
| | 水体 | 23.63 | 49 | 26.94 | 20.64 | 5.74 |

表 3 景观的 Shannon 多样性指数、均匀度指数和斑块总数

Table 3 The Shannon diversity index, evenness of landscape and total number of plaques

| 年份 | SHDI | SHEI | NP |
|------|------|------|-----|
| 1979 | 1.61 | 0.77 | 301 |
| 1989 | 1.58 | 0.76 | 611 |
| 1998 | 1.66 | 0.8 | 672 |
| 2003 | 1.7 | 0.82 | 549 |
| 2009 | 1.64 | 0.79 | 601 |

3 结 论

1979 年至 2009 年的 30 年里，深圳湾的湿地景观格局发生了很大的变化，总体来看，该区域的湿地景观正朝着不利于其稳定的趋势发展，破碎化程度增加，海岸线不断向浅海延伸，但保护区的建立对湿地景观尤其是红树林和基围的保护起到了重要作用。随着城市化的进行，城市建成区景观面积由 208.95 hm² 增加到 2 072.52 hm²；基围景观受人为干扰最严重，城市化使得基围景观逐渐转移为建成区等景观类型，且斑块形状趋于规则，偏向正方形；保护区内的红树林受到较好的保护，形成了

两个大的斑块，景观连通性增加；滩涂景观在过去 30 年间呈现较大幅度的波动和反复性，总的来说，面积从 1979 年的 634.5 hm² 减少至 2009 年的 377.28 hm²，景观趋于破碎化，稳定性下降。

通过景观格局的分析，我们发现人为干扰是深圳湾景观格局改变和发生景观转移的主要因素，围垦填海和城市建设严重破坏了滨海湿地。如果不改变过去以破坏湿地为代价的开发利用模式，深圳湾滨海湿地只会进一步的遭受破坏，湿地面积只会进一步减小，破碎化程度只会进一步增加。而这一变化趋势严重威胁着滨海生物尤其是鸟类的生存，最终会导致区域生物多样性的减少，加剧湿地的生态脆弱性。

综上所述，政府应加大对深圳湾湿地保护的资金投入与科学研究，通过增加人工湿地和生态修复等方式改善目前的湿地景观格局。建立长效保护和监督机制，研究退建还湿的可行性，加快制定深圳湿地保护与管理的法律法规，逐步完善湿地保护法律体系，严禁围垦填海，促进滨海湿地资源与环境的可持续发展。

合理的政策和科学的规划能够促进城市滨海湿地生态系统的保护和建设，作为改革开放前沿阵地的深圳市，在享受巨大经济效益的同时又要面临降

低其负面的生态环境效益这一巨大的挑战,景观生态学和 3S 技术正好提供了把湿地景观格局与时空变化特征连接起来的理论基础和量化手段,是研究湿地景观动态变化的有效方法。研究表明,通过对湿地景观格局的研究可以帮助我们理解其生态演变的过程,揭示景观演替的内部机制和规律,最终寻求合理的湿地管理和保护策略,为深圳湾湿地的保护和规划提供理论参考。

参考文献:

- [1] PICKETT S T A, CADENASSO M L, GROVE J M, et al. Urban ecological systems: Linking terrestrial ecological, physical, and socioeconomic components of metropolitan areas[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 2001, 32: 127 - 157.
- [2] GRIMM N B, FAETH S H, GOLUBIEWSKI N E, et al. Global change and the ecology of cities[J]. *Science*, 2008, 319: 756 - 760.
- [3] WENG Y C. Spatiotemporal changes of landscape pattern in response to urbanization[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 81: 341 - 353.
- [4] YU X, NG C. An integrated evaluation of landscape change using remote sensing and landscape metrics: a case study of Panyu, Guangzhou[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2006, 27: 1075 - 1092.
- [5] MUSACCHIO L R. landscape ecological planning process for wetland, waterfowl and farmland conservation[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2001, 56: 142 - 147.
- [6] 徐玲玲,张玉书,陈鹏师,等. 近 20 年盘锦湿地变化特征及影响因素分析[J]. *自然资源学报*, 2009, 24(3): 484 - 490.
- [7] 陈爽,马安青,李正炎. 辽河口湿地景观格局变化特征与驱动机制分析[J]. *中国海洋大学学报*, 2011, 41(3): 81 - 87.
- [8] 曹林,韩维栋,李凤凤,等. 雷州湾红树湿地景观格局演变及驱动力分析[J]. *林业科技开发*, 2010, 24(4): 18 - 23.
- [9] 叶功富,谭芳林,罗彩莲,等. 泉州湾河口湿地景观格局变化研究[J]. *湿地科学*, 2010, 8(4): 361 - 365.
- [10] 曾辉,高启辉,陈雪,等. 深圳市 1988 - 2007 年间湿地景观动态变化及成因分析[J]. *生态学报*, 2010, 30(10): 2706 - 2714.
- [11] GONG Chongfeng, CHEN Jiquan, YU Shixiao. Spatio-temporal dynamics of urban forest conversion through model urbanization in Shenzhen, China[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2011, 32: 9071 - 9092.
- [12] RIDD M K, LIU J J. A comparison of four algorithms for change detection in an urban environment[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1998, 63: 95 - 100.
- [13] YANG X J. Satellite monitoring of urban spatial growth in the Atlanta metropolitan area[J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2002, 68: 725 - 734.
- [14] NAGENDRA H, MUNROE D K, SOUTHWORTH J. From pattern to process: landscape fragmentation and the analysis of land use/land cover change[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2004, 101: 111 - 115.