

50 年来北海市滨海湿地景观格局变化及其驱动机制

梁文^{1,2,3}, 胡自宁⁴, 黎广钊^{1,2,3}, 宋垠先⁵, 余克服⁵, 农华琼^{1,2,3}

(1. 广西科学院广西红树林研究中心, 广西 北海 536000; 2. 广西海洋环境与滨海湿地研究中心, 广西 北海 536000; 3. 广西红树林保护与利用重点实验室, 广西 北海 536000; 4. 广西壮族自治区地质矿产勘查开发局, 广西 南宁 530023; 5. 中国科学院南海海洋研究所, 广东 广州 510301)

摘要: 以 1955~2004 年遥感影像为数据源, 结合野外调查, 运用景观生态学原理, 研究 50 a 间北海市滨海湿地的景观格局及其动态变化。结果表明, 50 a 间北海市滨海湿地呈整体退化趋势, 潮间砂质海滩、潮间淤泥质海滩、红树林滩、小型岛屿湿地减少; 景观格局指数显示 1977 年、1998 年是北海市滨海湿地较明显变化的拐点。1977 年人类活动影响增加, 滨海湿地稍有退化, 湿地景观多样性指数减小, 优势度指数增加, 均匀度指数减小、景观总面积指数降至最低值。1988 年湿地保护力度加大, 湿地略为好转, 景观多样性指数、优势度指数、均匀度指数则呈相反规律。1998 年湿地受到的极端气候灾害、人类干扰程度加大, 平均斑块分形维数下降, 斑块密度指数、景观斑块数破碎化指数呈最高值。湿地景观格局指数的变化, 反映了围垦改造、互花米草的生物入侵、城市污染、极端气候灾害等对景观格局的影响, 人类活动是北海市滨海湿地景观格局变化的主要驱动因子。

关键词: 滨海湿地; 遥感; 景观格局; 景观指数; 北海市

中图分类号: P737; Q149 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2016)02-0084-10

doi: 10.11759/hyxx20131218001

滨海湿地是海平面以下 6 m 至大潮高潮位之上与外流江河流域相连的微咸水和淡浅水湖泊、沼泽以及相应河段间的区域^[1], 具有高生产力及作为各种植物、鱼类、贝类和其他野生动物重要的栖息地, 具有维护生态平衡、环境稳定的功能。如抵御海洋灾害为沿岸提供保护、控制海岸侵蚀、改善水质过滤农业和工业废物和沿岸含水层补给^[2-4]。近年来, 气候变化对沿海湿地的影响也愈受关注, 特别是对于相对海平面上升、温度上升、降水变化等影响。滨海湿地已经证明易受气候变化影响^[2], 其景观动态变化已成为湿地研究的热点课题之一^[5-6]。

景观空间格局是指大小和形状不一的景观斑块在空间上的排列, 它是景观异质性的重要表现, 又是各种生态过程在不同尺度上作用的结果^[4-5]。景观生态学是非常有用的界定指标, 景观生态学广泛地被应用于城市、河口三角洲、流域及滨海湿地研究。景观指数是能够高度浓缩景观格局信息, 反映其构成和空间配置某些方面信息的简单定量指标^[5]。大量的景观指标已被用于监测区域尺度的环境质量、衡量和监测景观变化和生境破碎化、量化其生态过程; 研究人类活动对景观的影响及景观的设计等^[7]。

近年来, 广西滨海湿地的研究也逐渐开展。孟祥江等^[8]对广西滨海湿地生态系统服务价值进行了评价; 吴黎黎等^[9]提出了广西滨海湿地生态系统的恢复与保护措施; 曾聪等^[10]分析了广西滨海湿地和滨海植被的状况; 彭在清等^[11]对北海市滨海湿地生态系统服务价值进行了评价, 但仍缺乏对广西滨海湿地的景观变化的研究。本文利用“3S”技术, 利用 1955 年、1977 年、1988 年、1998 年、2004 年 5 个时相的遥感解译数据对北海市滨海湿地进行较为精确的定量描述, 分析其演变特征, 有助于北海市滨海湿地的保护与重构。

收稿日期: 2013-12-18; 修回日期: 2015-10-27

基金项目: 广西自然科学基金重大项目(2012GXNSFEA053001); 国家自然科学基金项目(41203074); 北海市科技局基础研究项目(北科合 200601055); 广西自然科学基金项目(桂科基 0575025)

[Foundation: Major Program of Natural Science Foundation of Guangxi of China, No. 2012GXNSFEA053001; National Natural Science Foundation of China, No. 41203074; Basic Research Project of Basic Research Beihai bureau of science & technology Guangxi of China, No. 200601055; Natural Science Foundation of Guangxi of China, No. 0575025]

作者简介: 梁文(1967-), 男, 广西北海人, 大学, 副研究员, 主要从事海洋地质、珊瑚礁地貌与生态研究, 电话: 0779-2055234, E-mail: gx.lw@163.com; 黎广钊(1956-), 通信作者, 男, 广西玉林人, 大学, 研究员, 主要从事海洋地质、珊瑚礁地貌与生态研究, E-mail: gxlqv@163.com

1 数据与方法

1.1 研究区概况

北海市位于广西区南端,北部湾东北岸,介于 $108^{\circ}50' \sim 109^{\circ}47'E$, $20^{\circ}26' \sim 21^{\circ}55'N$ 之间。滨海湿地陆上界线-海岸线东起与广东廉江县交界的英罗湾,西至与钦州市交界的大风江港,全长 500 km^[11-12],浅海界线为 6 m 等深线。

市区三面环海,滨海湿地资源十分丰富,类型较多。由于海草、珊瑚礁(分布于涠洲岛、斜阳岛)在遥感影像上均未能识别,因此本文参考国际湿地公约规定的滨海湿地范围,确定研究区为北海市大陆沿岸海岸线向海至 6 m 等深线之间的范围,其中的 6 m 等深线是根据 1985 年海图描绘出其特征点,连接成曲线在 GIS 软件中通过叠合分析。对所有时相的影像都如是处理,可忽略遥感资料成像时刻的潮位不统一对潮间带范围判读的影响^[3-5, 13-16],由此获得 6 m 等深线以上的滨海湿地区域范围。本文研究区不包括涠洲岛、斜阳岛;围塘养殖和盐田沿海岸线两侧分布,属滨海湿地重要研究的类型,本文也归纳做了统计分析。

1.2 研究方法

根据 2008 年《全国湿地资源调查技术规程(试行)》的分类标准^[17]和 2001 年广西壮族自治区湿地资源调查大队对北海市湿地资源的调查结果^[18],参考《中国滨海湿地的分类》^[1],并结合北海市滨海湿地实际情况,本文滨海湿地类型分为浅海水域、小型离岛湿地、盐田、围塘养殖、岩石滩、潮间砂质海滩、潮间淤泥质海滩、红树林滩、水草滩 9 种类型。

遥感信息源选取跨度大且资料收集较完整的时相,包括:1955 年航摄的 1:3.75 万~1:5 万黑白航片、1977 年航摄的 1:1 万黑白航片、1985 年 10 月 3 日航摄的 1:1 万真彩色航片(北海市)、1986~1988 年、1998 年美国陆地 5 号卫星 TM 数据和法国 SPOT 卫星 HRV 数据、2002 年的 ETM 卫星数据、2004 年的 TM 卫星数据和 CBERS 卫星数据等。

图像资料处理:利用 1955 年的黑白航片、1977 年的 1:1 万航片、1985 年的真彩色航片对目标物进行目视解译,然后根据地形地物进行转绘到 1:5 万地形图上,最后形成解译图;利用 ENVI Ver3.0 遥感图像处理软件对 1988 年、1998 年的 TM 数据、1998 年 SPOT 卫星 HRV 数据以及 2002 年 ETM 数据、2004 年 CBERS 数据进行处理,制作卫星影像图,同时根

据解译要求对相关影像特征信息进行增强、提取处理等。

5 个时相采用目视解译为主,结合相关图件以及实地调查对遥感影像进行解译和分类。(1)1988 年、1998 年 1:5 万 TM 遥感影像制作—原始数据灰度拉伸增强→TM543 波段假彩色合成→多景数据镶嵌→镶嵌图的精校正,误差控制在 0.68 个象元内;(2)1998 年 1:2.5 万 SPOT 的 HRV 与 TM 数据复合影像制作—SPOT 卫星 HRV 原始数据灰度拉伸增强→两景数据镶嵌, TM 原始数据灰度拉伸增强→TM543 波段假彩色合成→多景数据镶嵌→与 SPOT 卫星 HRV 镶嵌图配准→复合图,误差控制在 0.70 个象元内;2004 年 1:5 万 ETM 与 TM 数据复合影像制作—选择 TM13478 等波段数据进行线性拉伸等预处理后→TM8 经过插值处理后与 TM73 进行假彩色合成→形成假彩色影像图,误差控制在 0.77 个象元内。

解译标志及结果进行了抽查、野外查证、统计,查证以定点查证为主,以点延伸到面上的解译目标物。查证点的选择原则为:(1)解译的各种目标物均有查证;(2)城市新扩建的建设用地、交通用地中的高速公路、港口、码头;(3)解译标志较典型的目标物;(4)解译标志不明显、较隐晦的,有争议的目标物。解译正确率达 85%以上,误解、漏解率在 15%以下,解出率达 90%以上。其中红树林解译基本正确,除了部分稀疏或面积较小的斑块,因影像不明显,在铁山港等地有一些漏解,在实地查证时已作了补充。红树林解出率在 85%以上,解译正确率达 80%。

景观格局是景观生态学的研究对象,景观的格局与过程是景观生态学研究的重要内容^[19-20]。本文采用景观指数来描述景观的空间格局,需要从大量的景观指数中选取合适的指标来评价滨海湿地景观格局的变化。参考前人的研究结果^[3-6, 15-16, 19-23],选取了景观总面积指数(T_A)、平均斑块分形维数(D)、多样性指数(H)、均匀度指数(E)、优势度指数(D_o)、景观斑块数破碎化指数(F_N)、斑块密度指数(P_D)研究景观空间格局及其景观类型斑块级别上的变化。

$$T_A = A / 10000^{[4, 6, 16, 19]} \quad (1)$$

其中, A : 总景观面积(m^2)。

$$D = 2B^{[5, 15, 19-22, 24]} \quad (2)$$

其中, B : $\ln 0.25p$ 与 $\ln a$ 的回归系数; P : 斑块周长; a : 斑块面积。

$$H = -\sum_{k=1}^m P_k \log_2 P_k^{[3-5, 16, 19-23]} \quad (3)$$

其中, P_k : k 种景观类型占总面积的比, m 是研究区中景观类型的总数。

$$E = (H/H_{\max}) \times 100\%^{[3, 16, 19, 22-24]} \quad (4)$$

其中, $H_{\max}$ 为研究区内各类景观所占比例相等时的多样性指数, 即最大多样性指数;

$$H_{\max} = \log_2 m$$

$$D_O = H_{\max} + \sum_{k=1}^m P_k \log_2 P_k^{[3-4, 16, 22-24]} \quad (5)$$

其中, $H_{\max}$: 研究区内各类景观所占比例相等时的多样性指数, 即最大多样性指数; $H_{\max} = \log_2 m$;

P_k : k 种景观类型占总面积的比, m : 景观类型总数。

$$F_N = (N_P - 1)/N_C^{[6, 15, 20-24]} \quad (6)$$

其中, N_P : 景观里各类斑块的总数; N_C : 10 hm^2 去除景观总面积所得的数据。

$$P_D = N_P/A^{[3, 6, 15, 19-24]} \quad (7)$$

其中, N_P : 景观里各类斑块的总数; A : 总景观面积。

2 结果与讨论

2.1 景观分布与景观结构

从表 1、图 1 得到 5 个时相北海市滨海湿地分布状况: 各类型中浅海水域面积最大, 其次分别为潮间砂质海滩、潮间淤泥质海滩; 湿地类型总面积在 1977 年降至最低, 约为 $1\,493.849\,9 \text{ km}^2$, 2004 年最高, 约为 $1\,578.020\,9 \text{ km}^2$, 1977~2004 年呈上升趋势; 1977~2004 年滨海湿地面积增长, 受 1977 年起潮间砂质海滩、围填养殖、浅海水域面积增加影响较大, 较大影响因素是围塘养殖面积持续连年的增长。

岩石性海滩面积变化较小, 经现场验证, 北海市岩石滩是基岩出露所致, 无人为损毁, 1988 年、1998 年时相出现的英罗港西岸的岩石滩, 在 2004 年消失, 可能是由于英罗港海滩受到冲淤变化影响, 在不同时相中呈交替显现的现象。

红树林滩在 1977 年面积最大, 约为 $38.247\,5 \text{ km}^2$, 1988 年降至最低值为 $23.421\,5 \text{ km}^2$ 。在 1955~1977 年间呈增长态势, 其中自然增长变化较大的岸段有: 西村港和铁山港西岸的白沙头港北侧岸段等, 因围垦致损失面积较大的岸段有: 竹林盐场、铁山港东岸北暮盐场榄子根分场岸段等, 因围垦多为盐田建设, 养殖极少, 规模不大, 红树林滩仍呈增长状况; 1977~1988 年间是急剧减少状态, 可能是(1)因滩涂长年围垦被破坏, (2)红树林被砍伐(作燃料)或自然消亡, (3)遥感影像数据成像时潮位较高, 一些矮小的红树林被海水淹没, 在影像图上反映不出。据调查,

破坏较大的岸段是铁山港西岸白沙头港北侧围垦区, 损失红树林面积达 149.75 hm^2 ; 在 20 世纪 80 年代初期建设盐田、养殖塘, 沙城南侧毁林 82.57 hm^2 , 红岸楼村南侧毁林 67.18 hm^2 , 白沙头村北侧毁林 11.66 hm^2 , 石头埠南 1 km 处毁林 25.62 hm^2 。变化较大的岸段有: 铁山港东岸下底村—丹兜海一带等; 1988~2004 年呈逐渐恢复态势, 从最低值 $23.421\,5 \text{ km}^2$ 逐渐恢复至 $27.597\,2 \text{ km}^2$ 。

据表 1, 1977 年、1988 年是 5 个时相时期中红树林滩动态变化的拐点, 面积由较大损失直至缓慢地恢复。1988~1998 年 10 年间北海市红树林由 $23.421\,5 \text{ km}^2$ 增至 26.251 km^2 , 可能是 20 世纪 80 年代政府部门开始重视生态保护, 建设了红树林保护区, 使其得以稳定恢复, 面积有所增加。恢复变化较大的主要是铁山港东岸下底村—丹兜海一带等岸段, 自然增长的岸段主要有南流江口、铁山港北部红石塘—螃蟹田一带。因围垦或港口建设, 遭破坏的岸段主要是: 南流江口西岸四股田村南部围垦养殖区, 破坏红树林约 90.66 hm^2 。1998~2004 年面积由 26.251 km^2 增至 $27.597\,2 \text{ km}^2$, 据调查, 是由于政府部门重视开展人工林的生态修复, 于 1998 年、2002 年对人工造林进行调整布局, 明确了沙岗、西场、党江西片一带红树林地及宜红树林地为人工造林主要选择地和保护带, 山口、沙田、白沙等东片为核心保护带, 其他区域为一般性保护可示范利用区域^[26]。由此, 自 1998 年以来, 红树林人工造林面积逐年增加。

近 50 a 间北海市围塘养殖呈持续增长趋势, 盐田面积增长至 1988 年后逐渐减少。变化原因主要是经济利益分配重整、盐田与养殖功能互换, 分为 4 个阶段: (1)1955~1977 年间计划经济为主, 盐场扩建规模较大, 增加 $10.815\,8 \text{ km}^2$, 这阶段围塘养殖很少, 仅增加 $0.515\,4 \text{ km}^2$; (2)1977~1988 年改革开放政策影响开始显现, 盐场虽然持续扩建, 但规模减小, 增加量仅为 $3.709\,8 \text{ km}^2$, 养殖围塘增长规模逐渐变大, 规模增加了 $18.058\,8 \text{ km}^2$; (3)1988~1998 年, 改革开放影响下, 市场经济占主导地位, 盐场逐渐被养殖场取代, 养殖场规模扩大, 面积增加了 64.6083 km^2 , 盐场范围萎缩, 面积减少了 $8.247\,6 \text{ km}^2$; (4)1998~2004 年, 盐场持续减少, 但变化量小, 只减少了 $4.405\,2 \text{ km}^2$, 围塘养殖持续增长, 变化幅度也变小, 只增加了 $41.443\,8 \text{ km}^2$, 说明围塘养殖扩建渐渐进入理性开发、市场的饱和期。50 a 间养殖围塘增加量远大于盐场减少量(表 1)。

北海市水草滩分布于南流江三角洲,与红树林伴生,其生长主要受红树林、围塘、泥沙淤积等影响。1955~2004 年水草滩面积逐时相减少,由 11.377 9 km² 减至 1.976 5 km²。1955~1988 年水草滩变化量较小,至 1998 年水草滩减少量增加至 4.906 8 km²。这是由于 1955 年、1977 年南流江三角洲尚无围塘,从 1988 年起出现并逐渐增多,围填占用了部分水草滩,同时,养殖排出废水也造成其水质环境受到较大影响,围塘养殖是影响水草滩面积减少的主要原因。

潮间砂质海滩、淤泥质海滩的形成与冲淤平衡要依靠外海来沙、河流输沙、陆域侵蚀来沙、波浪潮流作用等因素。5 个时相中 1955 年砂质海滩面积最大,约为 389.679 5 km²,1977 年达到最低值,约为 330.639 8 km²,1988 年起增加,1998 年逐渐增至 357.115 4 km²,2004 年减至 354.812 5 km²;1955 年、1977 年潮间淤泥质海滩面积变化较小,1988 年略有增加,随后 1998 年起减少,2004 年减至 129.359 7 km²。总体上北海市潮间砂质、淤泥质海滩呈现退化态势。据许国辉等研究^[27],对海洋动力敏感的砂质及淤泥质海滩的退损主要因素是受到海平面上升变化及沿岸沙量变化的影响。从河流输沙量分析,据广西水文水资源局徐国琼等^[28]研究,1956~1979 年多年平均年输沙量为 115 万 t,1980~2000 年多年平均为 91.2 万 t,在径流减少 7.15%的情况下泥沙输送量减少 20.7%,

原有数条支流如今干枯断流;北海市海平面变化据周雄^[29]论文数据统计,1977 年平均潮位约为 256.15 cm,1988 年约为 254.69 cm,1998 年约为 258.55 cm,2004 年约为 261.20 cm,除了 1988 年下降,总体呈上升趋势。莫永杰^[30]根据 1965~1990 年北海潮位站资料统计分析,北海站也是总体呈上升趋势,年平均上升速率为 1.78 mm/a。在这两种因素影响下,加上 1988~2004 年规模增大的围塘养殖和盐场占用部分海滩,北海市砂质海滩、淤泥质海滩整体呈退损态势。

1955 年小型岛屿面积最大,为 70.362 6 km²,1988 年面积最小,仅 42.883 4 km²;1955 年小型离岛 127 个,数量最多,1977~1998 年岛屿数量增长,为 83 个、85 个、98 个,2004 年减少至 81 个。小岛数量减少的主要是由于 1977 年起人工围塘养殖、盐田增加,邻近小岛间人为围堤合并所至;1998 年、2004 年岛屿面积、数量增加的主要原因,或是沿岸淤积成岛、入海河口淤积成岛、或原有近岸数岛连围的塘围堤荒废失修受海浪冲刷崩塌,还原出原有数个海岛^[25](图 1)。

1955~1988 年北海市浅海水域面积持续上升,由 886.130 7 km² 增至 894.486 5 km²,1998 年起减少,至 2004 年减为 881.458 9 km²。浅海水域面积变化主要受潮间砂质海滩、小型岛屿、围塘用海及海平面变化等影响(图 1)。

表 1 1955 年~2004 年研究区景观结构

Tab. 1 Landscape patterns of study area from 1955 to 2004

湿地景观类型	研究区景观结构(km ²)				
	1955 年	1977 年	1988 年	1998 年	2004 年
岩石性海滩	0.7574	0.7573	0.8938	0.7593	0.6639
潮间砂质海滩	389.6795	330.6398	346.3085	357.1154	354.8125
潮间淤泥质海滩	151.9723	151.4703	152.4242	134.7050	129.3597
红树林滩	33.8488	38.2475	23.4215	26.2510	27.5972
水草滩	11.3779	10.9035	10.6153	5.7086	1.9765
围塘养殖	0.0000	0.5154	18.5741	83.1825	124.6263
盐田	12.1103	22.9261	26.6359	18.3883	13.9831
小型岛屿湿地	70.3626	48.8150	42.8834	43.0579	43.5429
浅海水域	886.1307	889.5750	894.4865	888.6748	881.4589
同一年份湿地类型总面积	1556.2396	1493.8499	1516.2432	1557.8428	1578.0209

2.2 湿地景观指数变化

1955~2004 年,北海市滨海湿地景观多样性指数、均匀度指数、景观总面积指数呈现一致的规律:1977 年下降后,1988~2004 年缓慢上升;优势度指数

则呈相反趋势;平均斑块分形维数在 1977 年出现高值,然后逐时相下降至 1998 年出现低值,到 2004 年又出现上升;斑块密度指数、景观斑块数破碎化指数规律一致:1977 年呈最低值,之后上升至 1998 年为最高值,到 2004 年略为下降(表 2)。结合历史资料分

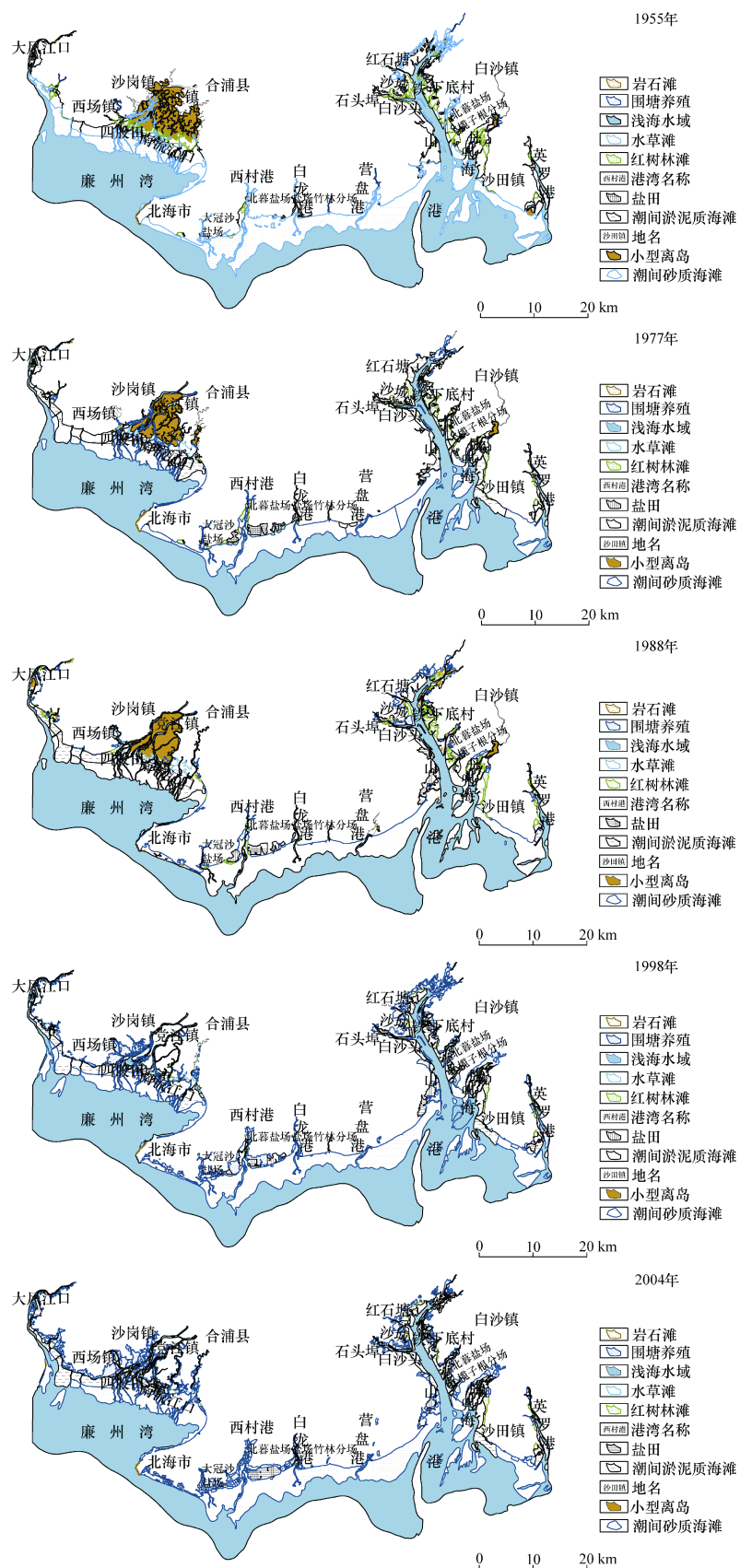


图1 1955年、1977年、1988年、1998年、2004年北海市滨海湿地景观分布图

Fig. 1 Wetland landscape distribution in 1955, 1977, 1988, 1998 and 2004 in Beihai City

析, 1955 年后至 1977 年潮间砂质海滩、潮间淤泥质海滩、红树林滩、水草滩、小型岛屿面积减少, 围塘养殖、盐田面积增加, 主要是人为占用滩涂围垦造地, 发展农业生产和盐田等^[25]。滨海湿地景观多样性指数减小, 优势度指数增加, 均匀度指数减小, 表明滨海湿地稍有退化, 1977~2004 年, 多样性指数持续上升, 优势度指数持续下降, 均匀度指数持续上升, 显示出这些时期滨海湿地状况好转, 其中 1988~1998 年好转趋势较大, 这与 1982 年起政府重视实施海洋生态保护^[31]有关联。1998~2004 年时相的景观多样性指数、均匀度指数上升变缓, 优势度下降减缓, 显示滨海湿地好转趋势变缓, 影响因素较多, 包括围塘

养殖持续增加、红树林滩增长幅度变缓, 红树林滩除了围海占用损失外, 还有 2004 年 5 月北海市山口红树林保护区病虫害造成大面积枯萎的损失^[32]。可见, 1977 年、1998 年是 5 个时相中北海市滨海湿地变化规律明显的转折点, 1977 年人工围塘养殖的出现使湿地呈明显的退化迹象, 景观总面积指数降至最低值。1998 年全球极端气候影响、海平面上升加剧, 滨海湿地显示出滞后的响应, 滨海湿地好转趋势变缓。1998 年平均斑块分形维数急剧下降, 表明斑块的几何形状愈趋向简单, 显示受人为干扰程度加大。斑块密度指数、景观斑块数破碎化指数 1998 年为最高值, 表明景观破碎化程度较高, 显示人工建设程度较高^[24]。

表 2 1955~2004 年北海市滨海湿地景观指数变化比较

Tab. 2 Comparison of changes in the coastal wetland landscape from 1955 to 2004

年份	H	D_0	E	D	P_D	F_N	T_A
1955 年	1.7244	1.4455	0.5440	1.9527	0.2943	0.0294	155623.9630
1977 年	1.7122	1.4578	0.5401	1.9535	0.2812	0.0281	149375.7233
1988 年	1.7440	1.4259	0.5502	1.9473	0.3383	0.0338	151624.3207
1998 年	1.8332	1.3367	0.5783	1.9393	0.4224	0.0422	155784.2758
2004 年	1.8607	1.3092	0.5870	1.9516	0.3796	0.0379	157802.0908

2.3 驱动力分析

北海市滨海湿地 50 a 以来的变化主要受人为因素影响, 其驱动机制主要包括以下内容。

2.3.1 滨海湿地围垦改造

北海市近 50 a 来房地产、养殖业和旅游业开发的力度逐年加大, 从分析数据可知, 围填用海面积逐年增长。沿海工程的建设对滨海湿地造成破坏性影响——占用沿岸红树林、砂质、淤泥质等滩涂; 改变了潮流和波浪活动模式; 天然岸线截弯取直造成岸线资源缺失; 小型岛屿遭到围垦开发, 相近小岛间堤坝相连, 致数量减少, 岛屿局部岸段的冲刷倒塌; 人工开挖取石等。据统计, 北海沿海 50 a 间围垦滩涂湿地 124.626 3 km², 平均每年开发 6.91 km², 红树林滩以每年 0.127 6 km² 的速度减少, 小型岛屿以每年 0.55 km² 的速度减少, 砂质海滩、淤泥质和海滩以 1.17 km²/a 的速度减少^[25, 33]。

2.3.2 生物资源的过度利用

北海市一直以来存在过度捕捞及电、炸、毒等违法现象, 资源开发强度已极大超过了渔业资源更新和恢复速度, 湿地生态系统中天然经济渔业资源的匮乏, 严重影响着沿岸湿地生物多样性平衡, 相应造成红树林、珊瑚礁和海草床等重要的湿地生态

系统的退化。涠洲岛北岸珊瑚礁碎枝遭到偷挖破坏, 用于建筑材料、烧制石灰等。为挖掘可口革囊星虫 (*Phascolosoma esculenta*)、裸体方格星虫 (*Sipunculus nudus*)、曲崎心蛤 (*Anomalocardia flexuosa*) 和文蛤 (*Meretrix meretrix*) 等经济海产, 红树林区几乎 30% 的区域遭到 20 次/a 以上的挖掘^[9, 34-35]。

2.3.3 生物入侵

1979 年, 广西合浦县引种互花米草 (*Spartina alterniflora*), 之后当地海洋生态严重受到影响, 特别是对红树林的危害日趋严重。互花米草生长速度快, 较之生长较慢的红树林更易于遍布滩涂。目前, 山口红树林保护区范围内一些宜林滩涂已被互花米草侵占, 其面积超过 100 hm² 多, 部分互花米草还迅速侵占了红树林边缘地域或林间空隙地, 与红树林争夺生存空间。红树林是保护生物多样性的重要物种, 其损失使得沿海养殖的贝类、蟹类、藻类、鱼类等多种生物资源量也相应地下降。所以, 生物侵染也是滨海湿地生态系统退化的主要原因^[9]。

2.3.4 湿地污染加剧

城市生活污水的排放, 农业化肥和农药的使用, 城市废弃物的不合理处理, 已经影响到了北海滨海湿地生态系统的物质循环, 并通过食物链的富集作用影响到滨海湿地的生物资源。沿海排污量增加, 但

是污染防治设施建设跟不上,从而导致污染物直接对沿岸滨海湿地生态系统造成影响。如北海市红坎污水处理厂排污区、侨港港口区等^[36],都会导致部分生态区域的健康每况愈下,对北海山口的红树林、涠洲岛的珊瑚礁、合浦的海草床等构成威胁。据2008年广西海洋环境质量公报报道,北海沿岸海洋污染区域主要分布在廉州湾近岸局部海域,其近岸无机氮、无机磷含量分别比2007年升高5.8%、4.5%,近海无机氮和无机磷含量升高18.5%和15.2%^[37]。这些污染均可改变原有生态环境,改变海水的化学性质,减少溶解氧,污染水体,导致鱼类死亡,甚至物种灭绝。

海水养殖存在养殖营养物和化学药物的污染问题,加剧了海水有机污染和富营养化,诱发有害藻类和病原微生物的大量繁殖^[38]。2002年~2004年间,北海市附近海域就出现过4次赤潮;2008年4月在涠洲岛海域发生夜光藻引起的小规模赤潮^[9]。还有养殖附带柴油漏油污染、花蛤螺的养殖户滥用剧毒药物,造成养殖海域及其附近海区污染等,致使滨海湿地生态系统遭到严重破坏。

2.3.5 极端气候灾害影响

1998~2004年受到全球极端气候的影响,主要是极端高温事件的影响。1997~1998年20世纪最强烈的厄尔尼诺事件之后,出现了有气象记录以来最热的1998年。这以后,发生了连续两年的强拉尼娜事件,导致1999~2001年的低温年。直到2002年的厄尔尼诺事件,才有出现了第二最热年2002年,第三最热年2003年和第四最热年2004年^[39]。1998年在全球极端高温的破坏加上北海市近年来沿岸工程、海洋过度捕捞、污染等累积影响,北海市涠洲岛珊瑚礁大面积白化死亡,鹿角珊瑚大片死亡,枝状珊瑚退出优势群落^[40-41];2004年5月的异常高温下,国家级自然保护区广西山口红树林保护区发生了40a来最严重的病虫害,一周之内40hm²白骨壤迅速变黄枯萎并扩大至106hm²^[32],有专家提出降水少、气温高适宜虫子的生长是暴发虫灾的主要原因。可见,50a间北海市滨海湿地呈现退化趋势。

3 结论

1) 利用RS、GIS技术,结合北海市滨海湿地现状、景观生态学原理,将北海市滨海湿地景观分为9种类型。通过遥感影像分析结合野外考察,发现1955~2004年50a间北海市滨海湿地呈总体退化趋势,潮

间砂质海滩、潮间淤泥质海滩、红树林滩、小型岛屿湿地减少。

2) 景观格局指数显示1977年、1998年是北海市滨海湿地出现较明显变化的拐点,1988年后至1998年、1998年后至2004年好转趋势较大。1955年后至1977年潮间砂质海滩、潮间淤泥质海滩、红树林滩、水草滩、小型岛屿湿地面积减少,围塘养殖、盐田面积增加,主要是人为占用滩涂围垦造地。人类活动逐渐增多,滨海湿地景观多样性指数减小,优势度指数增加,均匀度指数减小,滨海湿地稍有退化;1977年后至1988年政府重视实施海洋生态保护,多样性指数持续上升,优势度指数持续下降,均匀度指数持续上升,滨海湿地状况呈现好转;1998年在全球极端高温气候灾害影响下,滨海湿地好转趋势变缓;1998年平均斑块分形维数急剧下降,斑块密度指数、景观斑块数破碎化指数1998年呈最高值,均表明斑块受到的人类干扰程度加大。

3) 影响北海市滨海湿地的驱动力包括滨海湿地围垦改造,滩涂减少、岛屿消失;生物资源的过度利用,天然经济渔业资源的匮乏,湿地生物多样性平衡受损,湿地生态系统呈现退化;互花米草的生物入侵与红树林争夺生存空间;湿地受到城市污水、农药、化肥、油污污染影响,加剧了海水有机污染和富营养化,诱发赤潮灾害;全球极端气候、地区性突发极端气候事件影响造成珊瑚礁死亡退化、红树林的病虫害。总之,50a间北海市滨海湿地出现了一定程度的退化,1998年后湿地状况好转趋势减缓,滨海湿地的自然修复耗时漫长、难度极大,更需要加大保护与重建的力度。

参考文献:

- [1] 陆健健.中国滨海湿地的分类[J].环境导报,1996,1: 1-2.
Lu Jianjian. Classification of coastal wetlands of china[J]. Environment Herald, 1996, 1: 1-2.
- [2] Klemas V. Remote sensing of wetlands: case studies comparing practical techniques[J]. Journal of Coastal Research, 2011, 27(3): 418-427.
- [3] 陈鹏.厦门滨海湿地景观格局变化研究[J].生态科学, 2005, 24(4): 359-363.
Chen Peng. Study on the change of landscape pattern of coastal wetland in Xiamen City[J]. Ecologic Science, 2005, 24(4): 359-363.
- [4] 张华,苗苗,孙才志.辽宁省滨海湿地资源类型及景观格局分析[J].资源科学,2007,29(3): 139-146.
Zhang Hua, Miao Miao, Sun Caizhi. Resource types and landscape pattern of coastal wetlands in Liaoning

- Province[J]. Resources Science, 2007, 29(3): 139-146.
- [5] 高义, 苏奋振, 孙晓宇, 等. 珠江口滨海湿地景观格局变化分析[J]. 热带地理, 2010, 30(3): 215-226.
Gao Yi, Su Fenzhen, Sun Xiaoyu, et al. On changes in landscape pattern of coastal wetland around the Pearl River Estuary in past two decades[J]. Tropical Geography, 2010, 30(3): 215-226.
- [6] 林立, 何东进, 王韧, 等. 闽东滨海湿地景观分类体系与格局特征[J]. 西南林业大学学报, 2012, 32(2): 62-68.
Lin Li, He Dongjin, Wang Ren, et al. Research on landscape classification and pattern feature of coastal wetland in East Fujian Province [J]. Journal of Southwest Forestry University, 2012, 32(2): 62-68.
- [7] Petrosyan A F, Karathanassi V. Review article of landscape metrics based on remote sensing data[J]. Journal of Environmental Science and Engineering, 2011, 5: 1542-1560.
- [8] 孟祥江, 朱小龙, 彭在清, 等. 广西滨海湿地生态系统服务价值评价与分析[J]. 福建林学院学报, 2012, 32(2): 156-162.
Meng Xiangjiang, Zhu Xiaolong, Peng Zaiqing, et al. Evaluation and analysis on service value of coastal wetland ecosystem in Guangxi [J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2012, 32(2): 156-162.
- [9] 吴黎黎, 李树华. 广西滨海湿地生态系统的恢复与保护措施[J]. 广西科学院学报, 2010, 26(1): 62-66.
Wu Lili, Li Shuhua. The restoration and protections of coastal wetland ecosystem in Guangxi[J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2010, 26(1): 62-66.
- [10] 曾聪. 广西滨海湿地和滨海植被的概况[C]//中国生态学会红树林学组执委会. 第四届中国红树林学术会议论文摘要集. 厦门: 中国生态学会红树林学组执委会, 2008: 44-45.
Zeng Cong. Survey of coastal wetlands and coastal vegetation in Guangxi[C]// Executive Committee of the mangrove science group, the China Institute of Ecology. Summary of the Fourth Symposium on Mangrove in China. Xiamen: Executive Committee of the mangrove science group, the China Institute of Ecology, 2008: 44-45.
- [11] 彭在清, 孟祥江, 吴良惠, 等. 广西北海市滨海湿地生态系统服务价值评价[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(9): 5507-5511.
Peng Zaiqing, Meng Xiangjiang, Wu Lianghuan, et al. Evaluation on service value of coastal wetland ecosystem in Beihai City of Guangxi[J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2012, 40(9): 5507-5511.
- [12] 北海市地方志编纂委员会. 北海年鉴(2009)[M]. 南宁: 广西人民出版社, 2009.
Beihai Local Chronicles Compilation Committee. Yearbook of Beihai(2009) [M]. Nanning: Guangxi people's Publishing House, 2009.
- [13] 左平, 李云, 赵书河, 等. 1976 年以来江苏盐城滨海湿地景观变化及驱动力分析[J]. 海洋学报, 2012, 34(1): 101-108.
Zuo Ping, Li Yun, Zhao Shuhe, et al. Landscape changes of Jiangsu Yancheng coastal wetlands and their driving forces since 1976[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2012, 34(1): 101-108.
- [14] 邱若峰, 杨燕雄, 刘松涛, 等. 唐山市滨海湿地动态演变特征及其机制分析[J]. 海洋湖沼通报, 2006, 4: 25-31.
Qiu Ruofeng, Yang Yanxiong, Liu Songtao, et al. The dynamic change and influential factors of the Tangshan coastal wetland[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2006, (4): 25-31.
- [15] 曹永强, 梁凤国, 杨俊. 辽河流域滨海湿地分类和时空变化规律研究[J]. 人民长江, 2008, 39(20): 18-20.
Cao Yongqiang, Liang Fengguo, Yang Jun. Classification and temporal and spatial variation of coastal wetlands in Liaohe River Basin[J]. Yangtze River, 2008, 39(20): 18-20.
- [16] 丁亮, 张华, 孙才志. 辽宁省滨海湿地景观格局变化研究[J]. 湿地科学, 2008, 6(1): 7-12.
Ding Liang, Zhang Hua, Sun Caizhi. Landscape pattern change of coastal wetlands in Liaoning Province[J]. Wetland Science, 2008, 6(1): 7-12.
- [17] 国家林业局. 全国湿地资源调查技术规程(试行)[M]. 北京: 国家林业局, 2008: 1-28.
State Forestry Bureau. Technical specification for wetland resources investigation in China (Trial) [M]. Beijing: State Forestry Bureau, 2008: 1-28.
- [18] 广西壮族自治区湿地资源调查队. 广西湿地资源调查报告[R]. 南宁: 广西壮族自治区林业局, 2001.
Wetland Resources Investigation Team, The Guangxi Zhuang Autonomous Region. Investigation report on wetland resources in Guangxi[R]. Nanning: The Guangxi Zhuang Autonomous Region Forestry Bureau, 2001.
- [19] 王夫强, 柯长青. 盐城海岸带湿地景观格局变化研究[J]. 海洋湖沼通报, 2008, 4: 7-12.
Wang Fuqiang, Ke Changqing. Study on the change of landscape pattern in Yancheng coastal wetland[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2008, 4: 7-12.
- [20] 张绪良, 张朝晖, 徐宗军, 等. 胶州湾滨海湿地的景观格局变化及环境效应[J]. 地质论评, 2012, 58(1): 190-200.
Zhang Xuliang, Zhang Zhaohui, Xu Zongjun, et al. Landscape pattern changes and their environmental effects of coastal wetlands in Jiaozhou Bay[J]. Geological Review, 2012, 58(1): 190-200.
- [21] 任玉环, 刘亚岚, 许华, 等. 基于环境一号小卫星 CCD 图像的滨海湿地监测研究[J]. 遥感信息, 2011, 3: 27-32, 37.
Ren Yuhuan, Liu Yalan, Xu Hua, et al. Study on coastal wetlands monitoring based on HJ-1 CCD image[J].

- Remote Sensing Information, 2011, 3: 27-32, 37.
- [22] 姜玲玲, 熊德琪, 张新宇, 等. 大连滨海湿地景观格局变化及其驱动机制[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2008, 38(4): 670-675.
Jiang Lingling, Xiong Deqi, Zhang Xinyu, et al. Change of landscape pattern and its driving mechanism of the coastal wetland in Dalian City [J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2008, 38(4): 670-675.
- [23] 李婧, 王爱军, 李团结. 近 20 年来珠江三角洲滨海湿地景观的变化特征[J]. 海洋科学进展, 2011, 29(2): 170-178.
Li Jing, Wang Aijun, Li Tuanjie. Variations of coastal wetland landscapes in the Pearl River Delta in the last 20 years [J]. Advances in Marine Science, 2011, 29(2): 170-178.
- [24] 谷东起. 山东半岛潟湖湿地的发育过程及其环境退化研究——以朝阳港潟湖为例[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2003.
Gu Dongqi. The formation processes and environmental degradations of lagoonal wetlands along Shandong Peninsula: a case study of Chaoyanggang Lagoon[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2003.
- [25] 广西区遥感中心. 广西海洋海岸带遥感综合调查成果报告[R]. 南宁: 广西区遥感中心, 2001.
Guangxi Remote Sensing Center. Report on the results of remote sensing integrated survey of Guangxi marine and coastal zone[R]. Nanning: Guangxi Remote Sensing Center, 2001.
- [26] 唐永彬. 北海市红树林管理现状及对策[EB/OL]. [2013-12-17]. <http://www.forestry.gov.cn/portal/main/s/144/content-82470.html>.
Tang Yongbin. Current situation and countermeasures of mangrove forest management in Beihai City[EB/OL]. [2013-12-17]. <http://www.forestry.gov.cn/portal/main/s/144/content-82470.html>.
- [27] 许国辉, 郑建国. 砂质海岸与淤泥质平原海岸的生态型保护研究[J]. 地学前缘, 2001, 8(2): 20.
Xu Guohui, Zheng Jianguo. Study on ecological protection of sandy coast and muddy plain coast[J]. Earth Science Frontiers, 2001, 8(2): 20.
- [28] 徐国琼, 欧芳兰. 南流江泥沙运动规律及其与人类活动的关联[C]//陈五一, 何根寿, 朱鉴远. 中国水力发电工程学会水文泥沙专业委员会第七届学术讨论会论文集(上册). 成都: 四川科学技术出版社, 2007.69-75.
Xu Guoqiong, Ou Fanglan. The law of sediment movement and its relation with human activities in the Nanliu River[C]//Chen Wuyi, He Genshou, Zhu Jinyuan. Proceedings of the Seventh Symposium on hydrology and sediment Professional Committee of China Hydropower Engineering Society(vol.1). Chengdu: Sichuan Science & Technology Publishing House, 2007: 69-75.
- [29] 周雄. 北海市海平面变化及其对沿岸的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
Zhou Xiong. The sea level change of Beihai and its influence on the adjacent coast [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011.
- [30] 莫永杰, 廖思明, 葛文标, 等. 现代海平面上升对广西沿海影响的初步分析[J]. 广西科学, 1995, 2(1): 38-41, 62.
Mo Yongjie, Liao Siming, Ge Wenbiao. Primary analyses of the impacts to Guangxi coastal areas by modern sea level rise[J]. Guangxi Science, 1995, 2(1): 38-41, 62.
- [31] 全国人民代表大会常务委员会. 中华人民共和国海洋环境保护法(1982 年)[EB/OL]. [2013-04-07]. http://www.lawyee.net/Act/Act_Display.asp?ChannelID=1010100&ItemID=0&RID=28245.
Standing Committee of the National People's Congress. Marine environment protection law of the people's Republic of China(1982)[EB/OL]. [2013-04-07]. http://www.lawyee.net/Act/Act_Display.asp?ChannelID=1010100&ItemID=0&RID=28245.
- [32] 许显倩. 拯救红树林——广西山口红树林病虫害防治始末[J]. 南方国土资源, 2004, 6: 12-13.
Xu Xianqian. Save the mangrove Guangxi Shankou mangrove pest control process[J]. Land and Resources of Southern China, 2004, 6: 12-13.
- [33] 广西区遥感中心. 广西环北部湾生态环境地质调查遥感解译[R]. 南宁: 广西区遥感中心, 2004.
Guangxi Remote Sensing Center. Remote sensing interpretation of ecological environmental geological survey in the Beibu Gulf of Guangxi[R]. Nanning: Guangxi Remote Sensing Center, 2004.
- [34] 广西红树林研究中心. 中国红树林国家报告[R]. 北海: 广西红树林研究中心, 2003.
Guangxi Mangrove Research Center. National report of mangrove forests in China[R]. Beihai: Guangxi Mangrove Research Center, 2003.
- [35] 兰竹虹, 陈桂珠. 南中国海地区红树林的利用和保护[J]. 海洋环境科学, 2007, 26(4): 355-359.
Lan Zhuhong, Chen Guizhu. Utilization and conservation of mangroves in South China Sea[J]. Marine Environmental Science, 2007, 26(4): 355-359.
- [36] 李凤华, 赖春苗. 广西沿海地区环境状况及其保护对策探讨[J]. 环境科学与管理, 2007, 32(11): 59-62, 108.
Li Fenghua, Lai Chunmiao. The environment condition in Guangxi's littoral and the discuss on its environmental protection strategy [J]. Environmental Science and Management, 2007, 32(11): 59-62, 108.
- [37] 广西壮族自治区海洋局. 广西壮族自治区 2008 年海洋环境质量公报[EB/OL]. [2013-12-17]. <http://www.gxoa.gov.cn/NewsView.aspx?id=814>.
Oceanic Administration of Guangxi Zhuang Autonomous Region. Bulletin of Marine Environmental Status of Guangxi Zhuang Autonomous Region for the year of 2008

- [EB/OL]. [2013-12-17].<http://www.gxoa.gov.cn/News-View.aspx?id=814>.
- [38] 舒廷飞, 罗琳, 温琰茂. 海水养殖对近岸生态环境的影响[J]. 海洋环境科学, 2002, 21(2): 74-80.
Shu Tingfei, Luo Lin, Wen Yanmao. Effects of mariculture on coastal ecological environment[J]. Marine Environmental Science, 2002, 21(2): 74-80.
- [39] 杨学祥, 杨冬红. 全球气温呈波动下降趋势: 2007 年不是最暖年[EB/OL]. [2013-12-17].http://guancha.gmw.cn/content/2007-12/07/content_707091.htm.
Yang Xuexiang, Yang Donghong. Global temperature is fluctuating downward trend: 2007 is not the warmest year[EB/OL]. [2013-12-17].http://guancha.gmw.cn/content/2007-12/07/content_707091.htm.
- [40] 梁文, 黎广钊, 张春华, 等. 20 年来涠洲岛珊瑚礁物种多样性演变特征研究[J]. 海洋科学, 2010, 34(12): 78-87.
Liang Wen, Li Guangzhao, Zhang Chunhua, et al. Long-term changes of the coral reef biodiversity at Weizhou Island, Beihai, Guangxi[J]. Marine Sciences, 2010, 34(12): 78-87.
- [41] 梁文, 黎广钊, 范航清, 等. 广西涠洲岛珊瑚礁物种生物多样性研究[J]. 海洋通报, 2010, 29(4): 412-416, 420.
Liang Wen, Li Guangzhao, Fan Hangqing, et al. Study on the species diversity of coral reef on Weizhou Island Beihai, Guangxi[J]. Marine Science Bulletin, 2010, 29(4): 412-416, 420.

Change and driving mechanism of landscape patterns in the coastal wetland of Beihai City in the last 50 years

LIANG Wen^{1, 2, 3}, HU Zi-ning⁴, LI Guang-zhao^{1, 2, 3}, SONG Yin-xian⁵, YU Ke-fu⁵, NONG Hua-qiong^{1, 2, 3}

(1. Guangxi Mangrove Research Center, Guangxi Academy of Sciences, Beihai 536000, China; 2. Guangxi Marine Environment & Coastal Wetland Research Center, Beihai 536000, China; 3. Guangxi Key Laboratory of Mangrove Protection and Utilization, Beihai 536000, China; 4. Guangxi Bureau of Geology and Mineral Exploration and Exploitation, Nanning 530023, China; 5. South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China)

Received: Dec., 18, 2013

Key words: coastal wetlands; remote sensing; landscape pattern; landscape pattern index; Beihai City

Abstract: With landscape ecology theory as a basis, we studied the landscape pattern of Beihai's coastal wetland and its dynamic changes over the past 50 years (1955—2004) using remote sensing images as the data source in addition to a field survey. The results show that over the past 50 years, Beihai's coastal wetland has experienced a degradation trend, with decreases in the inter-tidal sandy beaches, inter-tidal silt beach, mangrove beach, and small-sized island wetland. The landscape pattern indexes indicate that 1977 and 1998 witnessed obvious changes to Beihai's coastal wetland. In 1977, the impact of human activities increased, which caused a slight degradation in the coastal wetland, as indicated by the increased dominance index of the wetland landscape, decreases in the diversity and evenness indices, and a reduction in the total landscape area index to its minimum. In 1988, wetland protection efforts were enhanced, and the wetland recovered somewhat. For instance, the landscape diversity index, dominance index, and evenness index showed opposite patterns. Due to the increased levels of extreme weather and human disturbance to the wetlands in 1998, its mean patch fractal dimension decreased, while the patch density and landscape fragmentation indices reached their maxima. Changes in the wetland landscape pattern index reflected the influence of the following factors on the landscape pattern: reclamation transformation, biological invasion of *spartina alterniflora*, urban pollution, and extreme weather disasters. Of these factors, human activities were the major driving force behind the changes in the landscape pattern of the coastal wetland in Beihai.

(本文编辑: 刘珊珊)