

深圳市 1988—2007 年间湿地景观动态变化及成因分析

曾 辉^{1,2,*}, 高启辉², 陈 雪¹, 李贵才¹

(1. 北京大学深圳研究生院人居环境科学与技术重点实验室, 深圳 518055; 2 北京大学城市与环境学院生态学系, 北京 100871)

摘要:城市湿地是城市生态安全体系构成的重要组成部分。以深圳地区为工作区, 利用多时段遥感资料和土地利用变更调查数据, 进行 1988—2007 年期间工作区内湿地景观动态变化特征分析, 探讨快速城市化背景下湿地景观动态变化的成因。结果表明, 研究时段内深圳市湿地总面积损失了 35.7%, 不同湿地类型及不同行政单元内湿地的动态变化表现出明显差异。建设用地扩张是工作区内湿地损失的主要原因并且其影响表现为一种非均匀过程; 功能差异是导致不同湿地类型之间动态变化差异的主要成因; 区域社会经济和自然环境条件差异是导致不同行政单元之间湿地动态变化差异的主要影响因素。

关键词:湿地; 景观动态; 驱动机制; 城市化; 深圳市

Changes of the wetland landscape in Shenzhen City from 1988 to 2007 and the driving force analysis

ZENG Hui^{1,2,*}, GAO Qihui², CHEN Xue¹, LI Guicai¹

1 The Key Laboratory for Environmental and Urban Sciences, Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen 518055, China

2 Department of Ecology, College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China

Abstract: Urban wetland is an important component of the urban ecological security system, and also is a hot topic of wetland study. This paper took Shenzhen City as an example, using multi-temporal remote sensing data and land-use survey data to build the multi-temporal wetland landscape maps through visual interpretation processes, analyzed the wetland landscape changes and driving forces in the context of urbanization. The present study included three aspects of analysis, i. e. the relationship between the change of wetland structure and the expansion of built-up area, spatial variation of the changes, and landscape transfer characteristics among different wetland types and between wetland types and non-wetland land-use types. This study showed that 35.7% of the total wetland area lost during the study period in Shenzhen City. The wetland changes varied with wetland type and administration units. Built-up area expansion, functional differences among wetland types, and the differences in regional socio-economic as well as natural environments were the three major driving forces of the change. The built-up area expansion was the major cause of the wetland loss in the study area, and its impact showed a non-uniform process. Functional difference was the major reason causing the differences in landscape change among wetland types. In addition, regional socio-economic and natural environmental differences possibly are among the major factors leading to the differences of wetland dynamics among different administrative units.

Key Words: wetland; landscape dynamics; driving force; urbanization; Shenzhen City

城市湿地是城市生态系统中具有多重生态服务功能的重要组成部分^[1-3]。近年来随着国内外城市化过程中各类资源和生态环境矛盾不断暴露, 湿地景观在城市生态安全体系构建中的价值日趋凸显, 极大地推动了城市湿地各项基础理论和应用研究工作^[4-5]。从已有的研究报道看, 工作内容涉及湿地景观结构与格局特

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40830747, 40871229); 深圳市“百人计划”及深圳市科技局科技计划资助项目(SZKJ-200706)

收稿日期:2009-03-11; **修订日期:**2010-03-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zengh@szpku.edu.cn

征分析^[6-7]、动态变化的驱动机制^[8-10]、生态服务功能建设^[11-12]、复合生态价值评估^[13-15]、综合生态效应分析^[16-17]、建设与管理规划^[18-19]和生物多样性保护^[20-22]等诸多方面。近年来,利用 3S 技术及各种数量分析手段,尝试建立城市湿地景观时空动态变化特征,分析其与城市化进程中的自然、经济和社会特征之间的响应关系,寻求合理的湿地管理和保护策略,逐渐成为一个热点问题^[23-26]。

受基础数据和相关研究积累的限制,典型城市化地区湿地景观较长时限时空动态变化特征及其成因方面的研究积累还比较少,并且成为推进城市湿地景观基础理论和应用研究的短板。本文以深圳市为工作区,利用跨度为 20 年的系列遥感数据和景观生态学研究方法,分析深圳市湿地景观结构、格局的时空分异特征,解析不同湿地类型之间及其与其他土地利用方式之间的动态转移关系,结合深圳市建设用地扩张和社会经济发展的特征分析,探讨研究时段内深圳市湿地景观动态变化规律及其成因,为城市湿地的基础理论总结和管理实践工作提供研究支持。

1 工作区概况、基础数据准备及研究方案

1.1 工作区概况

深圳市是我国快速城市化过程的典型区域。由于此前深圳市为传统的滨海渔业和农业经营地区,加上地貌构成包括低山、丘陵、台地和滨海平原等复杂自然地理单元,深圳市的湿地几乎涵盖了我国南方地区的所有主要湿地类型。过去 20 余年来,深圳市人口、社会经济总量和城市建设用地规模高速膨胀,传统渔业和农业经营大幅萎缩,大量自然和农业用地类型转化成为建设用地,各种湿地类型也难以避免地因为城市扩张、产业结构调整、主导功能改变等原因,受到持续强烈的人为干扰和改造。

1.2 基础数据准备

本项研究工作综合运用 1988—2007 年期间间隔为 3—4a 的 6 期遥感数据(1988、1992、1996、2000 年为 TM(ETM)数据,2004 年为 SPOT 数据,2007 年为红外航空相片数据),通过前期数据预处理、机助目视解译、野外实地访谈、勘校和与不同时段工作区土地变更调查资料(1996、2000、2004、2007 年)合并分析等途径,编制研究工作所需的 6 景湿地景观图。曾有研究报道将包括近海海域在内的深圳市湿地类型按照地理学特征划分成近海及海岸湿地、河流湿地、湖泊湿地三大类共 13 个湿地类型^[27]。本研究重点考虑深圳市海岸滩涂以上陆域边界范围内的湿地分布区域,并力图把握主要湿地类型的宏观时空变化特征及其成因问题。因此,在具体制图过程中,将深圳市的主要湿地类型按照主导功能一致的原则归并为红树林、沿海滩涂、河流、水库、坑塘和养殖水面等 6 种主要湿地类型。

具体分析过程中,考虑到不同数据源分辨率差异可能带来的影响,为尽可能综合运用各类数据源提供的有价值信息,合理反映深圳市湿地景观动态变化的趋势特征,按照分辨率折中统一的原则,对于所有解译结果进行了 10m 分辨率的重采样处理。1988 年和 2007 年重采样处理的结果参见图 1。

1.3 研究方案

(1)湿地结构动态变化及其与建设用地扩张的关系 通过不同时段各类湿地面积统计结果的比较,了解工作区湿地总量及不同类型的结构动态特征;同时将不同年份湿地总面积与同时段深圳市建设用地总面积进行合并分析,了解建设用地扩张对湿地影响的细节特征。

(2)空间分异特征 首先分别统计了全市 6 个独立行政单元湿地总面积的时序变化特征,了解区域差异对湿地动态变化的影响;其次利用深圳市 1:1 万的 DEM 数据分析了不同地形高程区间湿地总面积的时序变化特征,解析地形差异对湿地动态变化的影响。

(3)湿地类型之间和湿地与其他土地利用类型之间的转移特征 将 1988 年和 2007 年湿地景观制图数据进行叠加分析,弄清不同湿地类型研究时段内的相互转移特征,同时将 1988 年的湿地景观制图数据与 2007 年的土地变更调查数据进行叠图分析,以便了解各种湿地类型与其他土地利用类型之间的相互转换关系。

2 结果

2.1 湿地景观数量变化及其与建设用地扩张的关系

深圳市湿地变化情况如表 1 所示,从中可以看出研究时段内深圳市的湿地总面积呈现持续不均匀下降状

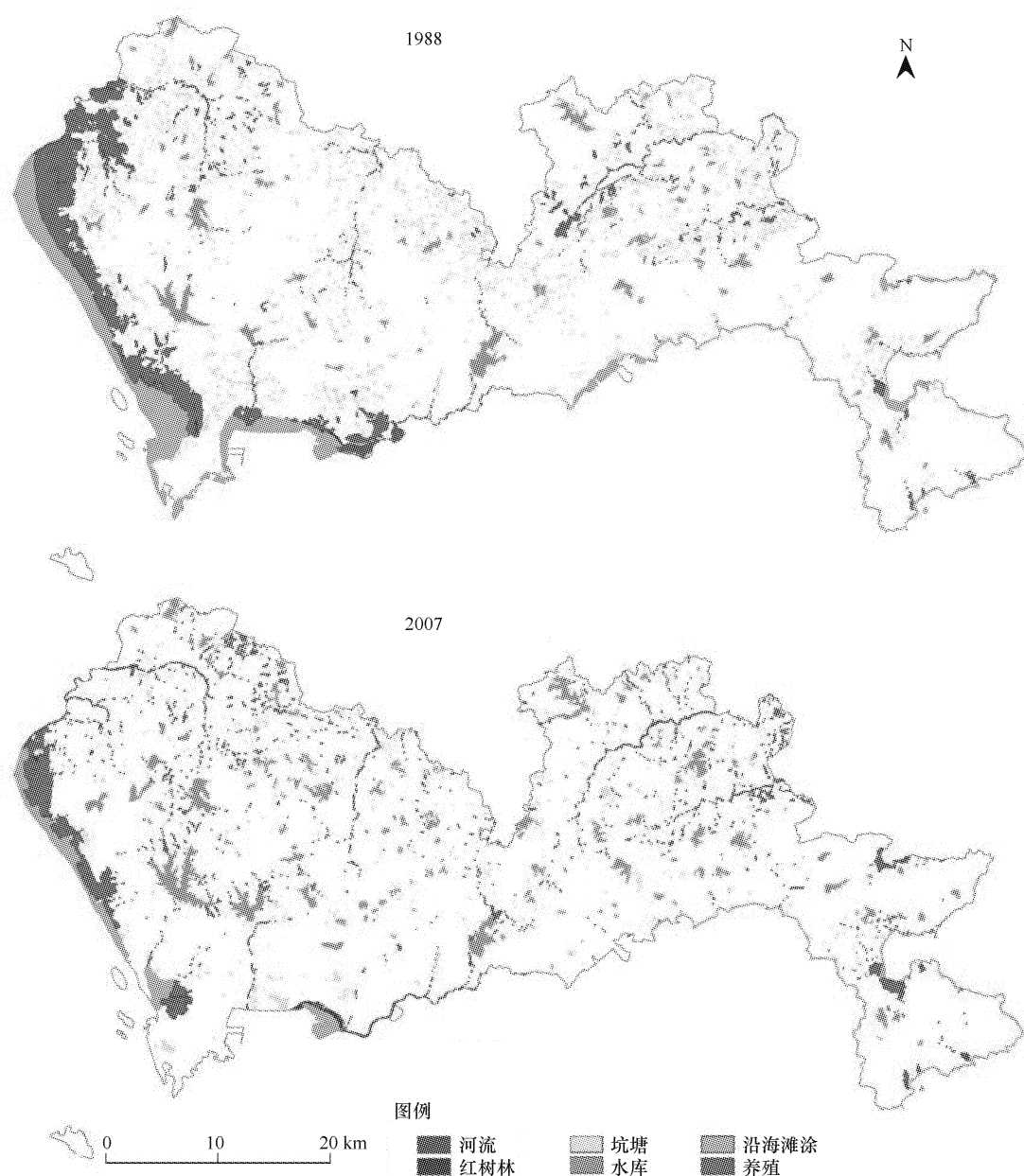


图1 1988年及2007年深圳市湿地景观遥感分类图

Fig. 1 Remotely sensed classification maps of Shenzhen wetland landscape in 1988 and 2007

态, 2000—2004 年期间呈现急剧下降, 其余时段下降幅度相对较均匀。不同湿地类型的时序变化表现出明显的差异, 水库水面一直呈缓慢上升状态; 河流和红树林表现为先下降后上升的变化格局, 其中河流面积的最低点出现在 2004 年, 红树林出现在 2000 年; 其余 3 种湿地类型表现为大致的持续下降态势, 但类型之间稍有差异, 沿海滩涂一直呈匀速下降状态, 坑塘和养殖水面 1996 年之前为缓慢下降, 1996—2000 年期间轻微上升, 2000—2004 年期间急剧下降, 2004 年以后下降速度大幅减缓。

随着湿地总面积的不断减少, 工作区内的湿地结构也呈现出明显的时序变化趋势(表 2), 河流与红树林湿地占全市湿地面积比重的变化均为先减后增, 最低值均为 2000 年, 差别是 2007 年与 1998 年相比, 河流面积比重显著增加, 而红树林面积比重基本持平; 沿海滩涂、养殖水面和坑塘的面积比重除少数时段(坑塘和养殖水面为 1996—2000 年期间, 滩涂为 2000—2004 年期间)有轻微反复外, 基本表现为持续减少的动态变化特

征,但就减小幅度的而言,坑塘和沿海滩涂大于养殖水面;水库是唯一面积比重持续上升的湿地类型,2007 年与 1988 年相比,水库水面占全区湿地的面积比重增加了近两倍。

表 1 深圳市湿地面积时序变化特征/hm²
Table 1 Temporal characteristics of wetland area changing in Shenzhen

年份 Year	河流 River	红树林 Mangrove	坑塘 Pool	水库 Reservoir	沿海滩涂 Beach	养殖水面 Aquaculture	合计 Total
1988	1832.43	297.69	3259.01	3115.91	7173.93	8712.75	24391.72
1992	1768.39	214.53	3171.26	4410.63	6610.13	8058.64	24233.58
1996	1557.34	204.98	2954.92	4988.08	5967.74	7547.46	23220.52
2000	1588.19	130.46	3489.57	5319.33	3971.29	7580.68	22079.52
2004	1405.56	156.40	1225.92	5751.40	2936.36	4464.24	15939.88
2007	1728.92	189.71	1002.08	5750.56	2429.48	4582.86	15683.61

表 2 深圳市不同时段湿地的结构组成/%
Table 2 Wetland Structure of Shenzhen in the different year

年份 Year	河流 River	红树林 Mangrove	坑塘 Pool	水库 Reservoir	沿海滩涂 Beach	养殖水面 Aquaculture
1988	7.51	1.22	13.36	12.77	29.41	35.72
1992	7.30	0.89	13.09	18.21	27.29	33.27
1996	6.71	0.88	12.73	21.48	25.70	32.50
2000	7.19	0.59	15.80	24.09	17.99	34.33
2004	8.82	0.98	7.69	36.08	18.42	28.01
2007	11.02	1.21	6.39	36.67	15.49	29.22

对比分析工作区内湿地总面积的时序变化情况及建设用地的动态变化特征可以看出(图 2),二者之间的总量变化趋势正好相反,与湿地持续递减不同,建设用地面积呈现出递增速度远高于湿地平均递减速度的持续快速增长态势(图 2a)。然而分析二者之间的变化速率可以看出,湿地变化过程至少在节奏上与建设用地扩张呈现明显差异。建设用地扩张速度最快的时段为 1988—1996 年期间,此后保持相对稳定的次高速增长,2004 年以后增速大幅度降低;湿地递减从 1992 年开始提速,到建设用地增长速度逐步放缓 2000—2004 年期间达到最高值,此后与建设用地变化情况一样,在 2004—2007 年期间递减速度降至较低水平(图 2b)。

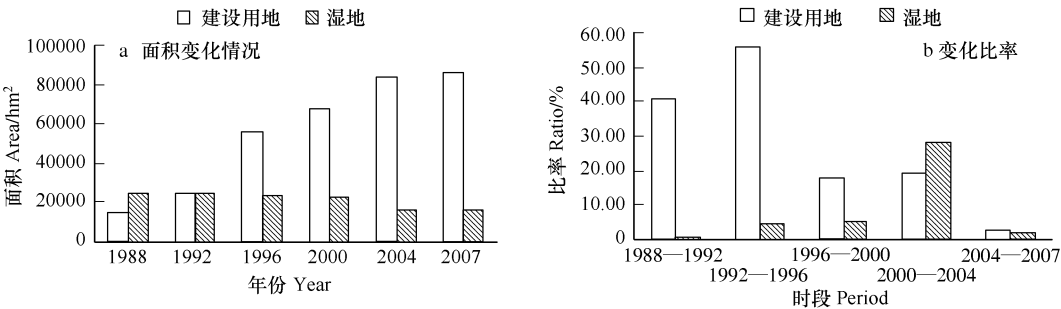


图 2 深圳市建设用地和湿地不同年份面积变化及不同时段变化比率

Fig. 2 Area changing of the different year and changing ratio of the different period between built-up area and wetland in Shenzhen

2.2 湿地变化的空间特征

工作区内不同行政单元湿地总面积的动态变化结果(表 3)显示,深圳市湿地动态变化的区际差异十分明显。从总量上看,宝安区面积缩减规模最高,占全区湿地面积损失总量的 56.93%,其次为南山区,占全区总面积的 26.87%,其余各区的湿地损失均不到全市湿地损失总量的 10%。从相对损失情况,南山、福田、盐田

三区湿地缩减总规模均超过本区湿地总面积的 50% 以上;宝安区因湿地规模较大,研究时段内湿地缩减率与全市情况基本相当,不到 40%;罗湖、龙岗两区损失规模最小,缩减率均未超过 10%。

不同年份湿地总面积的高程分异结果(图 3)显示了两个方面的主要特征:(1)大多数湿地主要分布在海拔 10m 以下的滨海平原地区,研究时段内该高程区段的湿地面积占全市湿地总面积的比重始终大于 45%,最高的 1988 年接近 70%。20—70m 区段随着高程的增加,湿地面积比重呈不规则的下降趋势,不同区段的面积比重平均在 5%—10% 之间,区段之间的差异不大。超过 70m 以上的海拔区段湿地面积数量很少,占全区湿地面积比重一般不超过 2%。(2)研究时段内的湿地损失主要发生在海拔 10m 以下高程区间,2004 年以前该区段湿地面积总量快速下降,2004 年以后下降速度大幅减缓。其余高程区段湿地面积变化幅度均很小,2007 年与 1988 年相比,部分区段面积基本维持稳定,还有部分区段面积有不同程度增加。值得注意的是,海拔超过 10m 的所有高程区段 2000 年湿地面积均高于其他各时段。

表 3 深圳市各区湿地总量动态变化/hm²

Table 3 Total wetland area change of different district in Shenzhen

年份 Year	宝安区 Baoan	龙岗区 Longgang	南山区 Nanshan	福田区 Futian	罗湖区 Luohu	盐田区 Yantian	总面积 Total
1988	13287.22	4433.98	3770.40	1669.27	581.10	558.44	24300.41
1992	14121.60	4337.90	3531.55	1121.55	539.58	509.58	24161.76
1996	13953.84	4149.37	3103.14	962.87	525.49	379.94	23074.65
2000	12979.35	5006.36	2333.05	839.09	561.54	299.97	22019.36
2004	8591.51	4014.87	1557.03	783.12	474.73	172.10	15593.36
2007	8347.14	4285.64	1438.21	827.48	528.83	195.19	15622.49
面积缩减 Area reduction	4940.08	148.34	2332.19	841.79	52.27	363.25	8677.92
缩减率 Reduction ratio/%	37.18	3.35	61.86	50.43	9.00	65.05	35.71

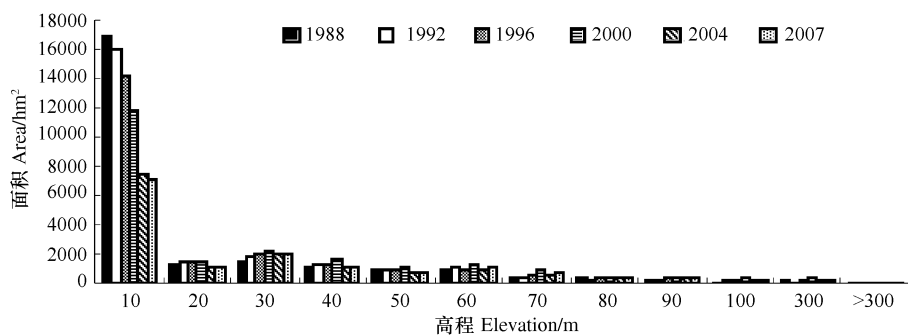


图 3 不同高程范围内湿地总面积的时序变化特征

Fig. 3 Temporal changing characteristics of the total wetland area in different elevation area

2.3 湿地类型之间及与其他土地利用类型之间的转移特征

1998 年和 2007 年两景湿地景观制图叠加分析结果(表 4)表明,伴随工作区内的快速城市化过程,各类湿地均发生了强烈的变化。水库水面是最稳定的湿地类型,研究时段内超过 3/4 得以保留下来。其次是河流及沿海滩涂两种类型,但保留面积仅为 1/3 左右。其余 3 种湿地类型的保留比例均不超过 20%,最不稳定的坑塘保留率甚至不到 5%。在不同湿地类型的相互转化中,养殖水面是所有湿地组分类型内部相互转化最为集中的“汇”组分类型,除自身约 15% 在分析时段内得以保留外,其余组分发生湿地内部转移的绝大部分也均被改造为养殖水面,其余类型之间的相互转化比重均很小。

研究时段内景观组分与非湿地的其他土地利用类型之间的转化关系则表现出显著的城市化驱动特色(表 5)。除水库以外,其他湿地类型损失的绝大部分被转化成建设用地,其中 1988 年的养殖水面、坑塘和红

树林到 2007 年被转化为建设用地的比重超过 50%,河流亦接近 50%,滩涂则接近 40%,只有水库的转移比重较小,其主要转移方向为林地和园地。除建设用地外,林地和园地是湿地向非湿地类型转移中占据第二位的景观组分类型,但其转移规模则远远小于建设用地。研究时段内,湿地向耕地、其他农用的和未利用地转移的比重均比较小,并且主要限于特定湿地类型的转入,如河流向耕地和其他农用的转移。

表 4 深圳市 1988—2007 年期间不同湿地类型之间的转移特征/%
Table 4 Transition ratio of different wetland types during 1988—2007 in Shenzhen

湿地类型 Wetland type	河流 River	红树林 Mangrove	坑塘 Pool	水库 Reservoir	沿海滩涂 Beach	养殖水面 Aquaculture
河流 River	35.56	0.29	0.65	0.27	0.84	2.53
红树林 Mangrove	2.97	19.2	1.28	0	1.24	20.21
坑塘 Pool	0.74	0.02	3.52	4.82	0	2.35
水库 Reservoir	0.12	0	0.31	76.95	0	1.1
沿海滩涂 Beach	3.28	1.05	1.2	0	31.43	22.43
养殖水面 Aquaculture	1.27	0.37	0.99	0.33	0.09	15.41

表 5 深圳市 1988—2007 年期间不同湿地类型与其他土地利用类型之间的转移特征/%
Table 5 Transition ratio between wetland types and other landuse types during 1988—2007 in Shenzhen

湿地类型 Wetland type	耕地 Farmland	园地 Orchard	林地 Forest	其他农用地 Other agricultural land	建设用地 Built-up land	未利用地 Unused land
河流 River	2.19	1.23	1.75	4.07	49.01	1.63
红树林 Mangrove	0	0	1.08	0.09	53.92	0
坑塘 Pool	3.01	7.59	12.44	0.38	64.09	1.04
水库 Reservoir	0.18	4.63	10.29	0.38	5.73	0.3
沿海滩涂 Beach	0.01	0.29	2.22	0.11	37.82	0.16
养殖水面 Aquaculture	1.8	1.13	0.79	0.55	77.12	0.15

3 讨论

3.1 建设用地对湿地的占用及其过程特征

由于建设用地扩张所带来的湿地结构、格局变化特征,是湿地变化中最直观的动态特征^[10]。本研究时段内,深圳市的建设用地扩张是湿地损失的最主要原因,然而在过程上却表现出明显的时段性节奏差异。2000 年以前工作区内还存在很多开发条件优于各类湿地类型的农业和自然用地资源,建设用地扩张对湿地的占用呈现出一种缓慢增长态势;2000—2004 年期间深圳市可供开发的农田和园地几乎被消耗殆尽,利用各类湿地特别是滨海地区填海造地成为新增建设用地的主要来源,导致这一时段湿地损失规模急剧扩大。然而,将湿地大量用于城市建设毕竟存在着种种显而易见的负面效应^[5,10],深圳市政府也意识到这一点,从 2004 年以后强化湿地的保护和管理工 作,严格控制建设用地的无序扩张,使得最后一个研究时段湿地大量损失的局面得到了明显的遏制。

3.2 城市化地区湿地功能差异对湿地动态变化的影响

不同湿地类型的功能差异对本身的动态变化具有显著影响^[23-24]城市化过程中一些特定的湿地功能需求对各类湿地的影响尤为显著。深圳市的研究结果表明,水库因具备重要水源地价值而得到妥善保护,使之成为研究时段内工作区唯一保持持续增长的湿地类型。类似的还有河流,由于具备水资源集输和城市防洪等重要服务功能,尽管最初各类自然河道因后期的渠道化和裁弯取直导致保留面积数量少,但其总面积并没有发生显著变化。与上述两类湿地组分相对应的是,红树林湿地因具有重要的生态保护价值,养殖水面的渔业生产功能对工作区内农业生产结构调整具有显著的补偿作用,尽管前期受到建设用地扩张的强烈胁迫作用而损失较大,但研究时段后期其面积呈现明显的回升或维持相对稳定。相反,沿海滩涂和坑塘因没有确定的较

为重要的服务功能定位,研究时段内始终处于持续的净损失状态。

3.3 不同城市化区域社会经济和自然环境条件差异对湿地动态变化的影响

湿地空间动态特征分析结果显示,建设用地分布最为集中的低海拔地区是湿地损失比重最高的区域,不同行政单元的自然和社会经济条件差异同样对湿地景观动态变化具有显著的影响,二者的组合作用成为深圳市不同行政单元内部湿地景观动态变化差异的主要成因。福田、南山、盐田 3 区是研究时段内深圳市陆续建设的新城市中心区、高科技产业区和东部国际性大型港区,由于本身土地资源极为有限,利用滨海的有利条件大规模填海造地成为解决土地资源供给的唯一途径,从而造成这 3 个地区湿地损失比重远远高于全市平均水平。罗湖是深圳市唯一的内陆区,龙岗区则受特殊的地形和社会经济条件约束,这两区或缺乏可资利用的低平海涂资源,或少量可利用资源均分布在经济欠发达的局部区域,使得两区的湿地损失数量和比例远远低于其他四区。

3.4 城市湿地开发与保护的辩证分析

深圳市快速城市化过程中,部分湿地被用于城市建设是一个不争的事实,这显然是工作区以往社会经济发展过程中的一个无奈选择。不过,本项研究结果显示,过去 20a 来深圳市一些具有重要生态功能的湿地类型得到了较好的保护,尤其是近年来建设用地扩张占用湿地的态势已经得到严格控制。此外,在新的建成区形成过程中,一些原有的湿地区域多数被改造为具有显著景观效用的城市湿地,对于建成区内部的景观氛围及局部环境调控起到了积极的作用。今后,深圳市的城市化过程仍将继续深入,可以预见湿地保护工作还将面临较大压力。因此,新的城市发展阶段应就湿地保护或湿地占用补偿方面制定严格规划,并将严格保护具有重要生态功能的湿地类型,控制建设用地扩张对湿地的占用,以及在建成区内构建合理的城市湿地系统,作为今后湿地开发与保护工作的 3 个核心任务。

4 结论

综上所述,本研究可以得出以下主要结论:

(1) 研究时段内深圳市湿地总量损失了 35.7%,不同湿地类型占湿地总面积比重的时序变化差异明显。建设用地扩张是造成湿地损失的主要原因,但其影响节奏表现出明显的不均匀性。1996 年之前建设用地扩张速度最快的两个时段,湿地损失速率相对较小,2000—2004 年期间是全市湿地损失规模最大和速度最快的时段。

(2) 不同湿地类型的功能差异是湿地类型动态变化特征差异的主要原因。水库及河流担负着重要的生态功能,其面积得以保持稳定或持续增长;红树林及养殖水面具有相对重要的生态保护和生物生产功能,研究时段前期的显著下降趋势在后期得到遏制;坑塘和滩涂没有相对直接的服务功能定位,研究时段内其面积始终处于净损失状态。

(3) 社会经济和自然环境条件差异是不同行政单元湿地动态变化差异的主要影响因素,自然环境条件影响主要表现为地形和滨海滩涂资源可利用数量两个方面;社会经济影响则表现为各行政单元内有无重大发展需求以及开发条件是否完备两个方面。

(4) 严格保护具有重要生态功能的湿地类型,控制建设用地扩张对湿地的占用,以及在建成区内构建合理的城市湿地系统,是深圳市今后湿地开发与保护工作的 3 个核心任务。

References:

- [1] Wang H X, Sun G Y, Wan Z J, Yu S P. Relationship between Wetlands and the Sustainable Development of Metropolises. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2005, 19(3): 6-9.
- [2] Sun G Y, Wang H X, Yu S P. The Advance of urban wetland study. *Progress in Geography*, 2004, 23(5): 94-100.
- [3] Wang J H, Lu X G. Urban wetland: Its concept, ecological services and protection. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(4): 555-560.
- [4] Guntenspergen G R, Dunn C P. Introduction: long-term ecological sustainability of wetlands in urbanizing landscapes. *Urban Ecosystems*, 1998, 2(4): 187-188.

- [5] Cui B S, Yang Z F, Li Y H, Zhang K G, Zhao X S. The integrated wetland conservation and development in the context of city expansion. *Journal of Natural Resources*, 2004, 19(4): 462-471.
- [6] Liu A J, Cameron G N. Analysis of landscape patterns in coastal wetlands of Galveston Bay, Texas (USA). *Landscape Ecology*, 2001, 16(7): 581-595.
- [7] Zhou L J, You W H. Dynamic and driving forces of landscape pattern of Estuarine Wetland in the Min River. *Journal of East China Normal University (Natural Science)*, 2007(6): 77-87.
- [8] Long H L, Tang G P, Li X B, Heilig G K. Socio-economic driving forces of land-use change in Kunshan, the Yangtze River Delta economic area of China. *Journal of Environmental Management*, 2007, 83(3): 351-364.
- [9] Lussier S M, Ensler R W, Dasilva S N, Charpentier M. Effects of Habitat Disturbance from Residential Development on Breeding Bird Communities in Riparian Corridors. *Environmental Management*, 2006, 38(3): 504-521.
- [10] Chen S, Liu Y X, Peng L H. Dynamics of urban ecological space evolution and policy responses: a case study of Nanjing City. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(5): 2270-2278.
- [11] Grayson J E, Chapman M G, Underwood A J. The assessment of restoration of habitat in urban wetlands. *Landscape and Urban Planning*, 1999, 43: 227-236.
- [12] Liu P P, Yin C Q, Sun S Q. Study on the ecological process in an urban wetland creation. *Environmental Science*, 2007, 28(1): 59-64.
- [13] Boyer T, Polasky S. Valuing urban wetlands: A review of non-market valuation studies. *Wetlands*, 2004, 24(4): 744-755.
- [14] Ehrenfeld J G. Evaluating wetlands within an urban context. *Ecological Engineering*, 2000, 15: 253-265.
- [15] Zheng Y W, Qian L X, Zheng Z, Wang X J, Huang K Y, Cao L L, Yang S X. The analysis and forecast of eco-environmental quality of wetland in Panyu of Guangzhou. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatsen*, 2008, 47(5): 104-109.
- [16] Li X Z, Jongman R, Xiao D N, Harms W B, Bregt A K. The effect of spatial pattern on nutrient removal of a wetland landscape. *Landscape and Urban Planning*, 2002, 60(1): 27-41.
- [17] Zhang L, Zhu X D, Chen J, Zhu Z L, Pan T, Li Y F. A new type water supplement mode of urban wetland park and its effects in purification and ecology. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(12): 2699-2705.
- [18] Ren L Y, Wu C F, Yue W Z, Liu Y, Lu Z W. Impact of urban planning and industrial development on wetlands in Hangzhou Bay. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(10): 1055-1062.
- [19] Wu F L, Zhou D M, Hu J M. Approach on ecological planning of urban wetland landscape based on changes of landscape patterns. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2007, 16(3): 368-372.
- [20] Maheu-Giroux M, De Blois S. Landscape ecology of *Phragmites australis* invasion in networks of linear wetlands. *Landscape Ecology*, 2007, 22(2): 285-301.
- [21] Joyal L A, Mccollough M, Hunter M L. Landscape ecology approaches to wetland species conservation: a case study of two turtle species in southern Maine. *Conservation Biology*, 2001, 15(6): 1755-1762.
- [22] Zhao Z B, Zhao H F, Tian X H, Yan J P. Multiple scale protection planning of waterbird habitats in Xi'an Chanba River Wetland. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(9): 4494-4500.
- [23] Zhou X W, Gong H L, Zhao W J, Li X J, Gong Z N, Zhang Z F, Jia P. Dynamic monitoring and analysis of wetland resources in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(6): 654-662.
- [24] Cheng Q, Wu X J. Landscape pattern change and its driving forces in Xixi National Wetland Park since 1993. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(9): 1677-1682.
- [25] Wang S G, Li X, Liu K, Zhou Y Z. Dynamic analysis of the wetland resource changes in the Estuary of the Pearl River Delta Using Remote Sensing. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatsen*, 2007, 46(2): 105-109.
- [26] Gong Z N, Zhao W J, Gong H L, Li X J, Zhang S H, Li J. Study on the wetland resource changes of Beijing based on remote sensing technology. *Science in China(E)*: 2006, 36(sup): 94-103.
- [27] Li H S, Chen G Z. Protection and restoration of wetlands in Shenzhen. *Tropical Geography*, 2007, 27(2): 107-110.

参考文献:

- [1] 王海霞, 孙广友, 于少鹏, 万忠娟. 湿地与我国内陆城市的可持续发展. *干旱区资源与环境*, 2005, 19(3): 6-9.
- [2] 孙广友, 王海霞, 于少鹏. 城市湿地研究进展. *地理科学进展*, 2004, 23(5): 94-100.
- [3] 王建华, 吕宪国. 城市湿地概念和功能及中国城市湿地保护. *生态学杂志*, 2007, 26(4): 555-560.
- [5] 崔保山, 杨志峰, 李英华, 张可刚, 赵欣胜. 城市拓展中湿地的综合保护与发展. *自然资源学报*, 2004, 19(4): 462-471.
- [7] 周亮进, 由文辉. 闽江河口湿地景观格局动态及其驱动力. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 2007(6): 77-87.

- [10] 陈爽, 刘云霞, 彭立华. 城市生态空间演变规律及调控机制——以南京市为例. 生态学报, 2008, 28(5): 2270-2278.
- [12] 刘萍萍, 尹澄清, 孙淑琴. 城市地区重建湿地的生态过程研究. 环境科学, 2007, 28(1): 59-64.
- [15] 郑艳伟, 钱乐祥, 郑卓, 王晓静, 黄康有, 曹玲珑, 杨士雄. 广州番禺湿地生态环境质量时空动态分析. 中山大学学报(自然科学版), 2008, 47(5): 104-109.
- [17] 张丽, 朱晓东, 陈洁, 朱兆丽, 潘涛, 李杨帆. 城市湿地公园的生态补水模式及其净化效果与生态效益. 应用生态学报, 2008, 19(12): 2699-2705.
- [18] 任丽燕, 吴次芳, 岳文泽, 刘勇, 陆张维. 环杭州湾城市规划及产业发展对湿地保护的影响. 地理学报, 2008, 63(10): 1055-1062.
- [19] 吴丰林, 周德民, 胡金明. 基于景观格局演变的城市湿地景观生态规划途径. 长江流域资源与环境, 2007, 16(3): 368-372.
- [22] 赵振斌, 赵洪峰, 田先华, 延军平. 多尺度结合的西安市灞河湿地水鸟生境保护规划. 生态学报, 2008, 28(9): 4494-4500.
- [23] 周昕薇, 宫辉力, 赵文吉, 李小娟, 宫兆宁, 张志峰, 贾萍. 北京地区湿地资源动态监测与分析. 地理学报, 2006, 61(6): 654-662.
- [24] 程乾, 吴秀菊. 杭州西溪国家湿地公园 1993 年以来景观演变及其驱动力分析. 应用生态学报, 2006, 17(9): 1677-1682.
- [25] 王树功, 黎夏, 刘凯, 周永章. 环内伶仃洋河口湾湿地动态变化(1988—2004). 中山大学学报(自然科学版), 2007, 46(2): 105-109.
- [26] 宫兆宁, 赵文吉, 宫辉力, 李小娟, 张松梅, 李京. 基于遥感技术北京湿地资源变化研究. 中国科学(E 辑), 2006, 36(增刊): 94-103.
- [27] 李海生, 陈桂珠. 深圳市湿地的保护与修复研究. 热带地理, 2007, 27(2): 107-110.