

环内伶仃洋河口湾湿地动态变化 (1988—2004)^{*}

王树功^{1,3}, 黎 夏², 刘 凯^{4,5}, 周永章³

(1. 中山大学环境科学研究所, 广东 广州 510275; 2. 中山大学地理科学与规划学院, 广东 广州 510275;
3. 中山大学地球环境与地球资源研究中心, 广东 广州 510275; 4. 广州地理研究所, 广东 广州 510070;
5. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640)

摘 要: 利用多时相的遥感图像和基于知识的分层分类方法对珠江口内伶仃洋湿地的时空变化进行了分析, 并结合土地利用转换矩阵分析了近 20 a 的变化。通过精度分析, 4 个时相的分类精度大于 85%, κ 系数大于 0.8, 达到较高分类精度。研究表明, 1988—2004 年间, 几类典型湿地 (河流、水库、鱼塘、滩涂和红树林) 的面积减少了 12265.68 hm², 由 1988 年湿地面积占研究区整个面积的 43.35% 下降至 2004 年的 39.98%。有 91.92% 的滩涂转为其他用地, 其中 39.18% (1760.49 hm²) 转为鱼塘, 19.45% (873.81 hm²) 转为农田, 16.53% (742.77 hm²) 转为河流, 5.14% (230.94 hm²) 转为红树林。有 80.43% 的鱼塘转为其他用地, 其中 25.67% 转为建设用地, 22.83% 转为城市用地, 21.26% 转为林地。有 62.21% 的红树林专为其他用地, 其中 26.03% (123.12 hm²) 转为鱼塘, 14.92% (70.56 hm²) 转为建设用地, 9.46% (44.73 hm²) 转为农田。

关键词: 湿地资源; 河口湿地; 遥感; 珠江口

中图分类号: P967 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2007) 02-0105-05

河口湿地是河口三角洲地区具有多功能景观的特有湿地类型, 其动态演变受到泥沙迁移的直接影响, 也受海平面上升的直接和间接影响, 此外越来越受到河口区土地利用/土地覆盖变化的强烈干扰^[1-3]。珠江河口是我国重要的、复杂的大型河口之一, 在珠江三角洲城市圈快速发展背景下, 河口湿地发生了较大变化。由于陆地卫星 TM 多光谱图像, 覆盖了从可见光、近红外、中红外、热红外等波段, 数据从 20 世纪 80 年代中期开始一直连续到现今, 是目前最有效的遥感数据, 利用遥感技术对湿地进行分类已成为湿地资源调查和相关研究的常用手段。快速和周期性地获取珠江口湿地资源的变化信息, 探讨利用多时相、多信息源遥感图像来提高对各种湿地类型进行分类的精度, 实时分析河口区典型湿地的转换, 对促进河口区土地资源集约合理利用和保护珍贵的湿地资源将提供重要依据。本文利用多时相的遥感图像和基于知识的分层分类方法对珠江口内伶仃洋湿地的时空变化进行了分析, 并结合土地利用转换矩阵分析了近 20 a 的变化。研究结果可为湿地资源合理利用和保护、退化湿地的恢复和规划提供参考依据。

1 研究区域

伶仃洋是珠江流域泥沙淤填古珠江河口湾过程中形成的二级河口湾之一, 呈喇叭形, 由湾顶至大屿山岛—澳门纵向长约 60 km, 湾口宽约 30 km, 湾的中部宽约 50 km, 湾顶宽约 4 km, 海湾面积约 2 000 km², 其中内伶仃岛和淇澳岛以北称内伶仃洋, 以南称外伶仃洋, 内、外伶仃洋面积各约占一半。伶仃洋河口湾是目前珠江口最大的河口湾, 湾顶有虎门、蕉门、洪奇门和横门四大口门汇入, 占珠江河口八大口门的一半, 汇入占珠江流域约一半以上的径流量和输沙量; 潮流作用也较强; 由于岛屿星罗棋布, 动力、沉积过程更为复杂化。河口区水流受径流和潮汐的共同影响, 水流及物质输移随时间和空间的变化明显。由于伶仃洋东西两侧水沙动力条件不同, 滩涂发育有明显的差异。东部浅滩由于受到伶仃洋东槽的冲刷作用, 加之沙源数量较少, 多年来浅滩面积基本稳定。以泥滩为主, 次为草滩和红树林滩, 历来用于养殖牡蛎, 驰名的沙井蚝就产于此区。东岸浅滩由于紧靠东航道, 是建设大中型港口的理想岸段。西部浅滩由于有蕉门、洪奇沥、横门三条珠江支流入海水道在此汇合, 沙源

^{*} 收稿日期: 2006-04-25

基金项目: “985 工程” GIS 与遥感的地质应用科技创新平台 (II 类) 基金资助项目 (105203200400006); 中山大学理工科青年教师科研启动基金资助项目

作者简介: 王树功 (1971 年生), 男, 讲师, 博士; E-mail: esswsg@mail.sysu.edu.cn

补给充分, 滩涂平均推展速度较快。滩涂以粉砂质淤泥为主, 经人工植草, 表层土壤养分可迅速得到改善。西部浅滩, 以农业围垦为主, 但由于口门淤积对港口航道有较大影响, 围垦工程须与港口出海航道的维护管理及口门的整治相协调^[3-4]。

本文研究范围为: $22^{\circ}21'17''-22^{\circ}53'35''N$
 $113^{\circ}29'11''-114^{\circ}04'23''E$

2 研究方法

2.1 数据预处理

所采用的主要数据有 4 个时相的 Landsat TM 卫星影像。成像时间为 1988 年 12 月 10 日、1995 年 12 月 30 日、2002 年 11 月 7 日和 2004 年 6 月 13 日。分辨率为 $30\text{ m}\times 30\text{ m}$ 。其它的辅助数据还有珠江口 1:25 万 DEM、珠江口附近 1:5 万的矢量水系分布图、潮汐信息、珠江口附近行政界线图以及一些文献资料等。

对所使用的 TM 卫星影像进行辐射校正、几何纠正等数据预处理。因为数据预处理后的不同时相的遥感图像中的对应像元灰度值还有一定差异, 所以还需要对不同时相遥感图像之间进行辐射度匹配与归一化处理, 以 2002 年的 TM 图像的直方图为基础, 将其它图像的直方图与之匹配, 使不同时相图像上的像元灰度值有较高的可对比性。

2.2 基于知识的分层分类方法

2.2.1 湿地分类系统的确定 根据研究目标的特点, 珠江口地区属于典型的河口型海岸湿地, 其中包含多种湿地类型。研究区覆盖范围较广, 覆盖 $60\text{ km}\times 60\text{ km}$ 的区域。

根据遥感所能达到的自动分类的精度要求, 以及野外实际调查, 对于面积非常少, 在遥感图像上基本反映不出来的个别湿地类型, 在本次分类中并没有考虑。由于现有的遥感资料有 3 个时相为冬季成像 (华南地区夏季多雨, 较难获得无云的图像), 其中 2004 年的图像为夏季成像。故在 2004 年的遥感图像上 (成像时间为夏季), 能较好的分出水稻、莲藕等人工湿地, 而其它 3 个时相的遥感图像难以确定。本研究将研究区湿地分为自然湿地和人工湿地两大类, 其中自然湿地包括河流 (含海域)、水库 (湖)、基塘、滩涂、红树林, 人工湿地主要指农田 (含莲藕、水稻等)。

2.2.2 应用的知识参数 水体具有独特光谱关系特征, 即 $(TM_2 + TM_3) > (TM_4 + TM_5)$ 。这两个波段和参数可以作为光谱关系法中的条件来提取水体, 并能取得很好的分类效果^[5]。

TM_2 即绿波段。对植物的绿反射很敏感, 可

应用在识别植被类型的研究中。

TM_5 即短波红外波段。对植物和土壤的水分含量敏感, 可以作为阈值来区分水体和陆地, 即阈值法提取水体。

TM_4-TM_7 即第 4 波段与第 7 波段的差值图像。通过对各种地物光谱特征的先验学习可知, 在 TM_4-TM_7 中, 鱼塘与水库的灰度值非常接近, 而与河流的差别较大; 城市用地的灰度值是最低的。

NDVI 即归一化植被指数, 是近红外波段与可见光红波段的数值之差和这两个波段数值之和的比值, 即 $NDVI = (TM_4 - TM_3) / (TM_4 + TM_3)$, 并归一化 (-1 ~ 1) 之间。众多研究表明, NDVI 是植被生长状态及植被覆盖度的最佳指示因子。

PCA 即主成分分析。TM 原始图像的各个波段具有较高的相关性, 且数据量较大, 应用主成分分析方法, 可生成新的互不相关的多个主成分, 一般第一主成分 (PC1)、第二主成分 (PC2)、第三主成分 (PC3) 包含了原始图像的 95% 以上的信息。

DEM 即数字高程模型。引进地面高程信息, 对于提高分类精度有着突出的作用。

纹理熵图像^[7-8]。应用研究区的 TM 图像生成纹理熵图像, 即应用 5×5 的移动窗口, 对每个像元求取其熵值, 然后将熵值赋予该像元, 替代像元的 DN 值, 组成一个新图像, 作为一个分类参数参与分类。

综合考虑, 珠江口湿地分类所采用的知识参数为: $TM_2 + TM_3$ 、 $TM_4 + TM_5$ 、 $TM_4 - TM_7$ 、 TM_2 、 TM_5 、PCA、NDVI、DEM、纹理熵图像等。

2.2.3 基于知识的分层分类 依据上述的湿地分类系统、采用的知识参数, 按照决策树流程对研究区进行基于知识的分层分类研究。

在具体分类时, 根据不同分类对象选用不同的知识参数, 采用阈值法按一定阈值范围、知识规则、设计分类树进行各个分类专题信息的分层提取^[5-12]。

分层总体思路: 采用分层分类法, 通过分析影像上各种地物的光谱特征和空间分布特征, 按照由简单到复杂, 分层依次提取各个专题信息类, 直到提取完所有的信息为止。其中每一类专题信息提取都是基于知识进行, 通过对各类专题信息在 TM 影像上光谱特征和其他知识参数图像上的先验知识的学习, 进而确定所需要的阈值范围, 并进行信息提取, 较精确识别分类系统中所有的专题类。

总体分类思路: 将水体与陆地分开; 在水体层中分河流、水库、鱼塘、滩涂; 在陆地层中分农田、林地、城市用地、建设用地、红树林, 各个专

题信息层叠合成一层, 实现了分类。

3 研究结果

根据上述方法, 研究区湿地的分类结果见表 1。
1. 最常用的精度评价方法是基于误差矩阵 (Error

Matrix) 的方法。采用分层随机采样法, 对分类影像和经过后处理的分类结果都进行了评价 (表 1), 4 个时相的分类精度大于 85%, kappa 系数大于 0.8, 达到了较高的分类精度。

表 1 珠江内伶仃洋河口 各湿地类型面积及分类精度
Tab 1 The area of all types wetland in the Pearl River Lingdingyang estuary

项 目		1988年	1995年	2002年	2004年
湿地类型 /hm²	河流	137180.3	124398.5	122249.7	121133.2
	水库	3399.57	4304.25	3747.06	2495.7
	鱼塘	12307.23	16489.62	18174.06	15521.31
	滩涂	4493.25	9065.79	7850.25	5798.25
	红树林	473.04	303.66	427.23	639.45
分类精度	总精度 / (%)	86.8	87.2	90.4	88.8
	Kappa系数	0.84	0.85	0.89	0.87

4 结果分析

4.1 面积变化

根据分类研究结果, 在 1988—2004 年期间, 几类典型湿地 (河流、水库、鱼塘、滩涂和红树林) 的面积减少了 12265.68 hm², 湿地面积的份额由 1988 年 43.35% 下降至 2004 年 39.98%; 城市用地和建设用地增加了 30634.11 hm², 由 1988 年 10.77% 上增至 2004 年 19.18%。其中, 河流面积

减少 16047.3 hm², 农田面积减少 16120 hm², 水库面积减少 903.87 hm², 城市用地增加 18741.69 hm², 建设用地增加 11892.42 hm², 鱼塘面积增加 3214.08 hm², 滩涂面积增加 1305 hm², 红树林面积增加 166.41 hm²。

4.2 湿地资源转换特征分析

将 1988 年和 2004 年的遥感分类结果进行比较, 统计出土地利用变化矩阵表 (表 2)^[13-14], 可以进一步分析内伶仃洋河口近 20 a 土地覆被类型的演变。

表 2 1988—2004 年研究区 土地利用变化矩阵
Tab 2 Land use conversion matrix in the Lingdingyang estuary during 1988—2004

项目	1988年									2004年
	河流	水库	鱼塘	滩涂	林地	农田	城市用地	建设用地	红树林	总面积
河流	119260.7 ¹⁾ (86.94%) ²⁾	141.75 (4.17%)	112.77 (0.92%)	742.77 (16.53%)	171.54 (0.15%)	533.34 (1.01%)	117.36 (0.84%)	41.13 (0.16%)	11.61 (2.45%)	121133
水库	0 (0%)	1542.42 (45.37%)	69.93 (0.57%)	0 (0%)	449.01 (0.39%)	36.99 (0.07%)	119.61 (0.86%)	277.74 (1.1%)	0 (0%)	2495.7
鱼塘	3184.47 (2.32%)	61.2 (1.8%)	2407.95 (19.57%)	1760.49 (39.18%)	1583.28 (1.38%)	5457.96 (10.36%)	508.59 (3.64%)	434.25 (1.72%)	123.12 (26.03%)	15521.31
滩涂	5171.04 (3.77%)	0 (0%)	12.78 (0.1%)	362.97 (8.08%)	6.75 (0.01%)	232.11 (0.44%)	10.89 (0.08%)	1.26 (0%)	0.45 (0.1%)	5798.25
林地	773.1 (0.56%)	1250.01 (36.77%)	2616.39 (21.26%)	92.16 (2.05%)	79790.85 (69.78%)	11948.94 (22.67%)	4460.49 (31.95%)	11136.69 (44.06%)	33.75 (7.13%)	112102.4
农田	5350.77 (3.9%)	63.81 (1.88%)	1099.26 (8.93%)	873.81 (19.45%)	2731.14 (2.39%)	24627.06 (46.73%)	1067.31 (7.65%)	727.2 (2.88%)	44.73 (9.46%)	36585.09
城市用地	1060.56 (0.77%)	148.5 (4.37%)	2809.8 (22.83%)	80.01 (1.78%)	11294.82 (9.88%)	4288.41 (8.14%)	6100.83 (43.71%)	6907.68 (27.33%)	10.08 (2.13%)	32700.69
建设用地	2234.52 ¹⁾ (1.63%) ²⁾	191.88 (5.64%)	3158.91 (25.67%)	350.1 (7.79%)	18295.74 (16%)	5548.32 (10.53%)	1570.59 (11.25%)	5745.87 (22.73%)	70.56 (14.92%)	37166.49
红树林	145.17 (0.11%)	0 (0%)	19.44 (0.16%)	230.94 (5.14%)	27.63 (0.02%)	31.95 (0.06%)	3.33 (0.02%)	2.25 (0.01%)	178.74 (37.79%)	639.45
1988年 总面积	137180.30 (100%)	3399.57 (100%)	12307.23 (100%)	4493.25 (100%)	114350.8 (100%)	52705.08 (100%)	13959 (100%)	25274.07 (100%)	473.04 (100%)	364143

1) 为面积, 单位: hm²; 2) 为百分数 = 1995 年某土地利用类型的面积 ÷ 原来所在类型在 1988 年的总面积。
(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

根据表 2 的转换矩阵, 在 1988—2004 年期间, 有 91.92% 的滩涂转为其他用地, 其中 39.18% (1760.49 hm²) 转为鱼塘, 19.45% (873.81 hm²) 转为农田, 16.53% (742.77 hm²) 转为河流, 5.14% (230.94 hm²) 转为红树林。有 80.43% 的鱼塘转为其他用地, 其中 25.67% (3158.91 hm²) 转为建设用地, 22.83% (2809.8 hm²) 转为城市用地, 21.26% (2616.39 hm²) 转为林地。有 62.21% 的红树林专为其他用地, 其中 26.03% (123.12 hm²) 转为鱼塘, 14.92% (70.56 hm²) 转为建设用地。54.63% 水库专为其 他 用 地, 其 中 36.77% (1250.01 hm²) 转为林地。有 13.06% 的河流专为其 他 用 地。

1988—2004 年研究区典型湿地类型的转化情况: 有 91.92% 的滩涂转为其他用地, 其中 39.18% (1760.49 hm²) 转为鱼塘, 19.45% (873.81 hm²) 转为农田, 16.53% (742.77 hm²) 转为河流, 5.14% (230.94 hm²) 转为红树林。有 80.43% 的鱼塘转为其他用地, 其中 25.67% 转为建设用地, 22.83% 转为城市用地, 21.26% 转为林地。有 62.21% 的红树林专为其 他 用 地, 其 中 26.03% (123.12 hm²) 转为鱼塘, 14.92% (70.56 hm²) 转为建设用地, 9.46% (44.73 hm²) 转为农田。

4.3 湿地景观格局变化分析

采用由美国俄勒冈州立大学森林科学系开发的景观指标计算软件 FRAGSTATS 的栅格版本进行珠江口湿地景观格局的计算。研究主要选用类型水平上 (Class level) 和景观水平 (landscape level) 上的景观指数对珠江三角洲的湿地景观格局指数进行定量分析。分析表明: (1) 1988—2002 年, 内伶仃洋河口景观斑块数量增加, 平均斑块面积先大幅度减小后又增加, 景观构成由比重势均的人工、自然景观变成了以建设和城市用地、水域为主的人工景观。空间格局上, 西滩的红树林湿地景观基本消失, 滩涂景观发育, 农田增加; 东滩红树林景观集中分布在深圳湾等地, 基塘、建设用地、大型海岸工程等人为景观增加。(2) 1988—1995 年多样性指数、分维数增加外, 1995—2004 年研究区域整体景观的多样性指数、分维数降低。研究区域整个景观的异质性表现出人工景观多样性增强、自然景观多样性减弱的趋势。

参考文献:

[1] HUGHES C E, BUNNING P, WILLGOOSE G R. Characterisation of the hydrology of an estuarine wetland [J]. Journal of Hydrology, 1998 (211): 34—49.

[2] 王树功, 周永章, 黎夏, 等. 干扰对河口湿地的影响 [J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2005 44(1): 107—111.

[3] 彭世银. 深圳河河口围垦对防洪和河床冲淤影响研究. 海洋工程, 2002 20(3): 103.

[4] 罗章仁, 罗宪林. 珠江口湿地演化与开发利用分析 [C] // 郎惠卿等. 中国湿地研究和保护. 上海: 华东师范大学出版社, 1998 311—315.

[5] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2003 241—249.

[6] 周成虎, 骆剑成, 杨晓梅, 等. 遥感影像地学理解与分析. 北京: 科学出版社, 2001.

[7] 孙家炳. 遥感原理、方法与应用 [M]. 北京: 测绘出版社, 1997.

[8] 刘永学, 张忍顺, 李满春. 江苏淤泥质潮滩遥感影像特征与信息提取方法研究 [J]. 遥感信息, 2004 (1): 23—26.

[9] HUANG X Q, JENSEN J R. A Machine learning Approach to Automated Knowledge Base Building for Remote Sensing Image Analysis with GIS Data [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1997, 63 (10): 1185—1194.

[10] SADER S A, AHD L I. Accuracy of Landsat TM and GIS rule-based methods for forest wetland classification in Maine [J]. Remote Sensing of Environment, 1995, 53: 133—144.

[11] SHUA B K, TULUHAN Y, COSKUN Q. Mapping and monitoring of coastal wetlands of Cukurova Delta in the Eastern Mediterranean region [J]. Biodiversity and Conservation, 2004 (13): 615—633.

[12] MAS J F. Mapping land use/cover in a tropical coastal area using satellite sensor data: GIS and artificial neural networks [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2004 59(2): 219—230.

[13] 黎夏. 珠江三角洲发展走廊 1988—1997 年土地利用变化特征的空间分析 [J]. 自然资源学报, 2004 19(3): 307—315.

[14] BENDER Q, BOEHMER H J, JENS D, et al. Analysis of land-use change in a sector of Upper Franconia (Bavaria, Germany) since 1850 using land register records. Landscape Ecology, 2005 (20): 149—163.

Dynam ic Analysis of theW etland Resource Changes in the
Estuary of the Pearl River Delta Using Remote Sensing

WANG Shu-gong³, LIX i², LIU Ka¹, ZHOU Yong-zhang²

- (1. Institute of environmental science, Sun Yat sen University, Guangzhou 510275, China;
2. School of Geography and Planning, Sun Yat sen University, Guangzhou 510275, China;
3. Center for Earth Environment& Resources, Sun Yat sen University, Guangzhou 510275, China;
4. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;
5. Guangzhou Institute of Geography, Guangzhou 510070, China)

Abstract: The Pearl River Estuary wetland in the developed region was selected as the studying object in this the-
sis. The integrated approach including the remote sensing and geography information system (GIS), the field sur-
vey and collecting history data was adopted to analyze the spatio-temporal evolution in recent twenty years. In the
wetland classification of east and west shore of inner Lingding ocean, taking ERDAS software as the flat roof, grada-
tion and classification method based on knowledge were adopted. The main conclusions were summed up as follow-
ing: (1) It is a great advantage to study the wetland landscape evolution using remote sensing and GIS in the re-
gional scale of the Pearl River Estuary. The gradation and classification method based on knowledge can overcome
the shortage of human-computer alternation translation with eyes, realize the goal of classification for great region
and the more temporal images, and also fulfill the landscape mapping. In this paper, the total classification resolu-
tion reaches 85 percent, the coefficient of kappa exceeds 0.8. (2) The results indicated that the areas of wetlands
reduced 12270 hm² during the period of 1988 to 2004. The proportion of wetland accounting for the research area
descended from 43.4 percent in 1988 to 40 percent in 2004. The land use conversion matrix analysis indicated that
91.92 percent tidal flat, 80.43 percent dike pond, 62.21 percent mangrove forest, 54.63 percent reservoir and
13.06 percent river transferred into other land utilization from 1988 to 2004.
Key words: wetland landscape; estuary wetland; remote sensing; Pearl River estuary

(上接第 104 页)

高层建筑周围行人风环境数值模拟

王宝民^{1,2}, 刘辉志², 桑建国³, 吴国昌⁴, 张伯寅⁵

- (1. 中山大学大气科学系, 广州 510275; 2. 中国科学院大气物理研究所, IAPC, 北京 100029;
3. 北京大学大气科学系, 北京 100871; 4. 北京大学环境学院, 北京 100871;
5. 北京大学湍流和复杂系统国家重点实验室, 北京 100871)

摘 要: 采用基于 $k-\epsilon$ 湍流闭合方法的数值模式对高层建筑周围行人风场进行模拟, 与风洞实验结果吻合。数值模式能
够在每一个计算格点和每一个时间段提供流场的详细信息, 因而, 在准确评价行人风环境或者其他风环境问题上比风洞实
验更具优势。随着计算技术的提高, 数值模拟已变得更为快速经济, 并成为研究城市风环境的有效手段。
关键词: 数值模式; 行人风环境; 风洞
中图分类号: P404