

# 基于 Landsat 影像的烟台市近 30 年来 湿地资源时空变化研究

闫潍虹<sup>1</sup>, 衣华鹏<sup>1</sup>, 冯龙<sup>1</sup>, 程振龙<sup>2</sup>, 孙晓<sup>1</sup>, 由秀萍<sup>3</sup>

(1. 鲁东大学 资源与环境工程学院, 山东 烟台 264025; 2. 浙江农林大学 环境与资源学院 浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室, 浙江 临安 311300; 3. 山东省烟台第二中学, 山东 烟台 264000)

**摘要:** [目的] 对山东省烟台市近 30 a 来湿地资源时空变化进行研究, 为该市湿地资源的合理利用与保护提供基础资料和科学依据。[方法] 在 RS 与 GIS 技术支持下, 以 1986 和 1995 年 TM, 2005 年 ETM<sup>+</sup> 以及 2015 年 OLI 遥感影像为数据源, 解译提取烟台市湿地资源信息, 对湿地资源的面积、变化速度以及各湿地类型的转换进行定量分析, 从而获取近 30 a 来烟台市湿地资源时空变化规律。[结果] 近 30 a 来烟台市湿地总面积以 5.46 km<sup>2</sup>/a 的速度呈逐年增加趋势, 湿地总面积增长了 158.47 km<sup>2</sup>; 各湿地类型中浅海水域一直处于主导地位; 沿海滩涂和河口湿地的面积呈逐年减少趋势; 养殖池和盐田的面积则以 4.59 km<sup>2</sup>/a 的速度呈逐年增加趋势; 河流湿地的面积呈现出波动变化的趋势; 水库坑塘的面积以 1.23 km<sup>2</sup>/a 的速度增长了 35.8 km<sup>2</sup>; 烟台市各湿地类型之间的转换较少, 而各湿地类型与非湿地之间转换较为强烈。[结论] 受人类活动的干扰, 近 30 a 来烟台市湿地资源时空变化十分显著, 须采取措施加强对湿地资源的合理利用与保护。

**关键词:** Landsat 影像; 烟台市; 湿地资源; 时空变化; RS 与 GIS 技术

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2017)02-0289-06

**中图分类号:** X37, TP79

**文献参数:** 闫潍虹, 衣华鹏, 冯龙, 等. 基于 Landsat 影像的烟台市近 30 年来湿地资源时空变化研究[J]. 水土保持通报, 2017, 37(2): 289-294. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.02.044; Yan Weihong, Yi Huapeng, Feng Long, et al. Temporal-Spatial Changes of Wetland Resources in Yantai City in Latest 30 Years Based on Landsat Images[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(2): 289-294. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.02.044

## Temporal-Spatial Changes of Wetland Resources in Yantai City in Latest 30 Years Based on Landsat Images

YAN Weihong<sup>1</sup>, YI Huapeng<sup>1</sup>, FENG Long<sup>1</sup>, CHENG Zhenlong<sup>2</sup>, SUN Xiao<sup>1</sup>, YOU Xiuping<sup>3</sup>

(1. School of Resource and Environment Engineering, Ludong University, Yantai, Shandong 264025, China; 2. Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration of Zhejiang Province, School of Environmental & Resource Sciences, Zhejiang A&F University, Lin'an, Zhejiang 311300, China; 3. Yantai No. 2 Middle School of Shandong Province, Yantai, Shandong 264000, China)

**Abstract:** [Objective] The temporal-spatial changes of wetland resources in Yantai City of Shandong Province in recent 30 years were studied to provide basic data and scientific basis for the rational utilization and conservation of wetland resources. [Methods] With RS and GIS, this paper took the TM images in 1986 and 1995, the ETM<sup>+</sup> image in 2005 and the OLI image in 2015 as data sources, to interpret and extract the information of wetland resources in Yantai City, and to make quantitative analysis on the area of wetland resources, the change rate or transformation between various types of wetlands. Upon which, the temporal and spatial variation of wetland resources in Yantai City in the latest 30 years were demonstrated. [Results] The total area of

收稿日期: 2016-08-29

修回日期: 2016-09-14

资助项目: 国家自然科学基金项目“异质的植物空间分布格局和生态学机制研究”(31000197), “黄河口生态恢复工程对湿地氮循环关键生物地球化学过程的影响”(41171424), “海岛植物群落构建机制研究: 以庙岛群岛为例”(31570423)

第一作者: 闫潍虹(1991—), 女(汉族), 山东省潍坊市人, 硕士研究生, 研究方向为水土资源开发与高效利用。E-mail: weihongyan1228@163.com。

通讯作者: 衣华鹏(1965—), 女(汉族), 山东省烟台市人, 教授, 主要从事土地资源开发利用方面的科研教学工作。E-mail: huapengyi@sina.com。

wetlands had an increasing trend year by year at a rate of  $5.46 \text{ km}^2/\text{a}$ ; The increment acreage attained  $158.47 \text{ km}^2$  in Yantai City for almost 30 years. In the process of wetland transformation, the shallow sea-water area still covered mostly. Other types of wetlands had different change processes. Among which, coastal tidal flat and estuarine wetland, declined year by year; Whereas, culture pond plus salt pan had been increased at yearly-averaged speed of  $4.59 \text{ km}^2$ . River wetland exhibited a fluctuating trend. The area of reservoir or pond increased  $35.8 \text{ km}^2$  at a rate of  $1.23 \text{ km}^2/\text{a}$ . The transformation between wetland types was less, but the conversion between wetlands and non-wetlands was strong in Yantai City. [Conclusion] Due to the interference of human activities, the temporal and spatial changes of wetland resources were very significant in Yantai City in recent 30 years, so we must take measures to strengthen the rational utilization and protection of wetland resources.

**Keywords:** landsat images; Yantai City; wetland resources; temporal and spatial variation; RS and GIS technology

“湿地(wetland)”不同于陆地和水域,是一种介于两者之间的过渡生态系统,它有其独特的生态价值与生态功能<sup>[1]</sup>。地球上的湿地覆盖面积仅有 6%,却为 20%的已知物种提供了生存环境,湿地蕴藏着丰富的水资源和独特的动植物资源,是自然界中最富生物多样性的生态景观;此外,湿地被认为是二氧化碳等温室气体的“汇”,具有调节区域气候的功能,在环境变化研究中有重要意义<sup>[2-3]</sup>。然而,湿地又是极其脆弱的,极易遭受破坏。湿地作为水陆过渡地带,通行条件极差,很难深入到湿地中去进行实地调查研究,这给湿地的研究带来了极大的困难<sup>[4-5]</sup>。20 世纪 70 年代,卫星遥感技术开始应用于湿地研究领域。Landsat 遥感影像包含着十分丰富的地表信息,而且具有较高的空间分辨率和时间分辨率。因此,Landsat 影像能够为大时间和空间尺度研究湿地变化提供便利,可以满足湿地资源时空变化研究的需求,快速、准确、经济地完成湿地资源调查任务<sup>[4-6]</sup>。目前,已有不少学者基于遥感影像对湿地实时监测。烟台市的湿地资源类型多、面积大,为众多动植物、昆虫和鸟类提供了繁殖与栖息的场所。但是,随着烟台市工业化和城市化进程的加快,大量工程项目由城市用地转移到湿地,致使湿地资源结构趋于不合理,甚至危及到了区域的生态安全。为了合理利用与保护烟台市的湿地资源,须加强对湿地资源的研究,及时、准确地掌握湿地资源的现状及其变化情况。本研究基于 Landsat 遥感影像,利用 RS 与 GIS 技术对 1986, 1995, 2005 和 2015 年烟台市湿地资源的面积、变化速度以及各湿地类型的转换等进行时间和空间上的定量提取和分析,从而获取近 30 a 来烟台市湿地资源的时空变化规律,以期为烟台市湿地资源的合理利用与保护提供基础资料和科学依据。

## 1 研究区概况

烟台市地处山东半岛东部,地理坐标为  $119^{\circ}34' - 121^{\circ}57' \text{ E}$ ,  $36^{\circ}16' - 38^{\circ}23' \text{ N}$ 。北部濒临渤海,南部濒

临黄海,西与青岛市、潍坊市接壤,东与威海市毗邻,北部隔海与辽东半岛的大连市相望。该市土地总面积约  $1.38 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,辖芝罘区、莱山区、福山区、牟平区 4 个市辖区及长岛县,代管龙口市、莱阳市、莱州市、蓬莱市、招远市、栖霞市、海阳市 7 个县级市和国家级经济技术开发区、高新技术产业开发区、保税港区及昆嵛山生态自然保护区 4 个功能区,海岸线长 909 km。

烟台市除少量平原分布于滨海地带和河谷两岸外,多为低山丘陵区。境内河道纵横,长度在 10 km 以上的河流有 85 条,流域面积在  $300 \text{ km}^2$  以上的河流主要有:五龙河、大沽夹河、王河、界河、黄水河、辛安河等。烟台市属暖温带大陆性季风气候,由于南北环海,受海洋的调节,具有气候温和、雨水适中、空气湿润的特点,年平均气温  $11.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,年平均降水量  $661.5 \text{ mm}$ ,主要集中在 6—8 这 3 个月,占全年降水量的 60%以上。

## 2 数据来源及湿地矢量信息提取

### 2.1 数据来源及预处理

遥感影像数据数量庞大、种类繁多,在作研究时必须选取合适的遥感数据源。根据实际需要以及数据的可得性等问题,最后选取了 Landsat 4—5 TM, Landsat 7 ETM SLC-off 和 Landsat 8 OLI\_TRIS 卫星遥感数据作为近 30 a 烟台市湿地资源时空变化的基础数据。根据研究区存档卫星遥感数据的影像质量、云量以及成像时间等信息,本文具体采用了 1986 年 5 月和 1995 年 5 月的 TM, 2005 年 5 月的 ETM<sup>+</sup> 以及 2015 年 5 月的 OLI 四期 Landsat 影像数据<sup>[7-9]</sup>。

研究所用的 Landsat 影像数据是从地理空间数据云网站(<http://www.gscloud.cn/>)下载。此外,本文所使用的数据还有烟台市海图、烟台市第一次湿地资源调查和第二次湿地资源调查的统计数据以及烟台市第 1 次土地调查和第 2 次土地调查的统计数据。

对烟台市湿地信息进行提取时,首要任务是对获取的 Landsat 遥感影像数据进行预处理,以便能够更好地满足研究的需要。本文借助 ENVI 5.1 对 4 期 Landsat 影像数据作辐射定标、大气校正、镶嵌、裁剪等预处理,得到烟台市的遥感影像,再对其作波段组合、密度分割等图像增强处理<sup>[9-11]</sup>。

## 2.2 湿地分类系统的确定

湿地分类是湿地研究的基础,在进行湿地信息提取时需要进行湿地分类系统的确定。目前,国际上还没有一个公认的湿地分类系统。借鉴《湿地公约》和我国湿地调查的分类成果,结合 Landsat 遥感影像对湿地的识别能力以及烟台市湿地资源的实际情况,最终确定了烟台市湿地资源的分类系统,将湿地划分为滨海湿地、河流湿地和人工湿地 3 个类型<sup>[12-13]</sup>。其中,滨海湿地具体包括低潮时水深不超过 6 m 的浅海水域(包括海湾和海峡)、沿海滩涂(岩滩、沙滩、泥滩)和河口湿地(河口水域、泻湖湿地)等,河流湿地指永久性和季节性的河流湿地,人工湿地包括水库坑塘、沟渠、水田以及海水养殖池和盐田等。

## 2.3 湿地矢量信息的提取

借助 ENVI 软件预处理后的遥感影像对水和植被信息的反映更加明显,根据遥感影像的颜色、形状、纹理及其分布位置等,可以建立烟台市湿地资源的遥感解译标志<sup>[14]</sup>。在对湿地矢量信息进行提取时,利用监督分类的方法难以保证提取的精度,而利用人工目视解译的方法又费时费力<sup>[15-16]</sup>。因此,根据烟台市湿地资源的分类系统和遥感解译标志,参考 Google Earth 历史影像,利用 ENVI 5.1 和 ArcGIS 10.1 采取监督分类并辅以人工目视解译方法来提取烟台市 1986,1995,2005 和 2015 年的湿地矢量信息,从而获得烟台市湿地资源分布的空间与属性数据。为了提高解译的精度,采用野外定点调查湿地资源数据来评价并校正解译结果,分类精度高达 90%。1986,1995,2005 和 2015 年烟台市湿地资源的空间分布如图 1 所示。总的看来,浅海水域、沿海滩涂和河口湿地等滨海湿地以及养殖池和盐田主要沿海岸线分布在烟台市的南北两侧;受烟台市中间高四周低的地形影响,河流的分布主要是从中间向南北注入黄海和渤海,水库坑塘和沟渠等人工湿地的分布比较分散。

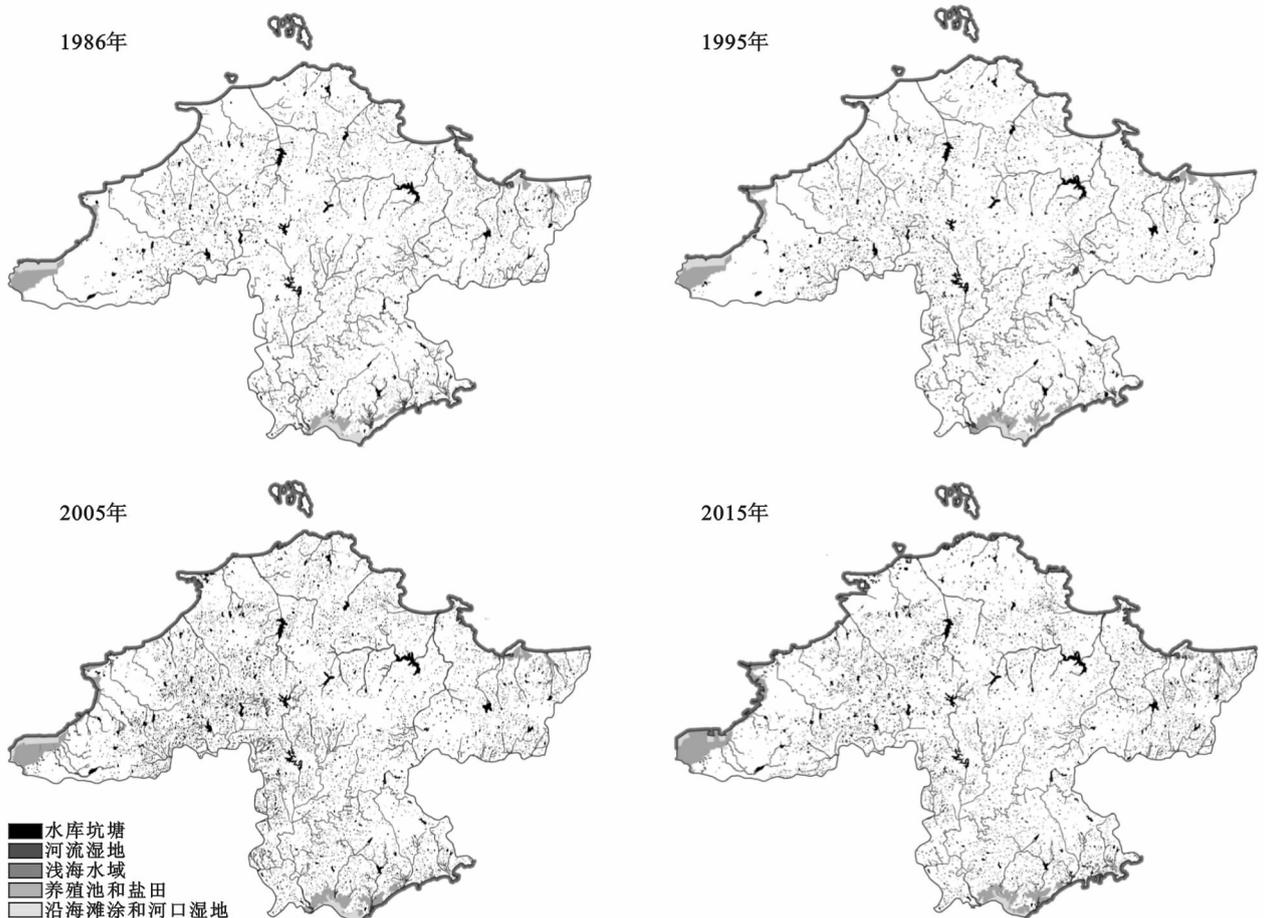


图 1 烟台市 1986,1995,2005 和 2015 年湿地资源的空间分布状况

### 3 结果分析

基于 1986, 1995, 2005 和 2015 年烟台市湿地资源的矢量数据, 从各湿地类型面积、变化速度、以及各湿地类型的转移矩阵等方面, 综合分析近 30 a 来烟台市湿地资源的时空变化规律。

#### 3.1 湿地面积的时间变化分析

利用 ArcGIS 提取烟台市湿地矢量信息, 可以获得烟台市 1986, 1995, 2005 和 2015 年的各湿地类型的属性数据<sup>[17-19]</sup>。借助 Excel 软件统计计算出烟台市浅海水域、沿海滩涂和河口湿地、河流湿地、水库坑塘以及养殖池和盐田等各湿地类型的面积以及所占的比例(表 1)。

表 1 1986, 1995, 2005 和 2015 年烟台市各湿地类型面积及百分比

类型	1986 年		1995 年		2005 年		2015 年	
	面积/km <sup>2</sup>	比例/%						
浅海水域	524.55	42.65	533.04	41.60	526.42	38.16	613.06	44.15
沿海滩涂和河口湿地	161.05	13.09	155.65	12.15	120.33	8.72	99.20	7.14
河流湿地	234.08	19.03	211.94	16.54	260.85	18.91	196.92	14.18
水库坑塘	145.15	11.80	147.82	11.54	228.04	16.53	180.95	13.03
养殖池和盐田	165.14	13.43	233.02	18.18	243.91	17.68	298.31	21.49
湿地总面积	1 229.97	100.00	1 281.47	100.00	1 379.55	100.00	1 388.44	100.00

从表 2 可以看出, 从 1896—2005 年浅海水域虽然均有所变化, 但是变化非常小, 较为稳定; 从 2005—2015 年浅海水域面积剧增, 变化速度达到 8.66 km<sup>2</sup>/a, 主要是由于海岸工程设施建设以及填海造陆等人为因素导致海岸线向外延伸, 使得海岸线更加曲折绵长, 而海岸线的变化影响着浅海水域的面积。从 1986—2015 年沿海滩涂和河口湿地的面积呈逐年减少趋势, 其中从 1986—1995 年减少的速度仅为 0.60 km<sup>2</sup>/a, 从 1995—2005 年减少速度较大, 为 3.53 km<sup>2</sup>/a, 从 2005—2015 年减少的速度为 2.11 km<sup>2</sup>/a。受地理位置与季风气候影响, 近 30 a 来烟台市降水极不均匀, 年降水量波动较大, 总体呈下降趋势<sup>[20-21]</sup>, 因此, 以降水为主要补给来源的河流湿地的面积随之呈现出上下波动、不断减小的趋势; 此外, 随着经济发展和人口增多, 工业和生活用水增加, 也会导致河流湿地面积的减小; 在自然和人为因素的双重影响, 近 30 a 来河流湿地的面积以 1.28 km<sup>2</sup>/a 的速度减少了 37.16 km<sup>2</sup>。从 1986—2005 年水库坑塘的面积呈加速递增趋势, 尤其是从 1995—2005 年水库坑塘面积的增长速度达到 8.02 km<sup>2</sup>/a, 而同期年降水量总体呈下降趋势<sup>[20-21]</sup>, 水库坑塘面积不减反增的主要原因是 1986—2005 年各地大力兴修水利, 纷纷

据统计发现, 从 1986—2015 年湿地总面积呈逐年增长趋势, 近 30 a 间湿地总面积增长了 158.47 km<sup>2</sup>, 其中浅海水域在各湿地类型中一直处于主导地位; 1986 年湿地总面积为 1 229.97 km<sup>2</sup>, 浅海水域所占比例最大为 42.65%, 其次是河流湿地; 1995 年湿地总面积为 1 281.47 km<sup>2</sup>, 除养殖池和盐田所占比例有所上升外, 其他各湿地类型所占比例与 1986 年相比均有所下降; 2005 年湿地总面积为 1 379.55 km<sup>2</sup>, 其中沿海滩涂和河口湿地所占的比例最小, 为 8.72%; 2015 年湿地总面积为 1 388.44 km<sup>2</sup>, 其中, 养殖池和盐田所占比例为 21.49%, 仅次于浅海水域, 沿海滩涂和河口湿地所占比例降到近 30 a 来最低, 仅占 7.14%。

修建拦水坝等蓄水设施的结果; 而从 2005—2015 年水库坑塘的面积又以 4.71 km<sup>2</sup>/a 的速度在减少, 这主要是由于随着工农业生产的快速发展, 用水量增多以及近几十年来气温升高、降水减少等人为和自然因素的影响, 导致一些水库坑塘面积萎缩, 很多面积较小的坑塘水洼甚至干涸消失; 近 30 a 来水库坑塘的面积总体上是以 1.23 km<sup>2</sup>/a 的速度在增长。烟台市南北环海, 海岸线曲折绵长, 适合发展滨海养殖业, 在此地理优势下从 1986—2015 年的近 30 a 来养殖池和盐田的面积以 4.59 km<sup>2</sup>/a 的速度呈逐年增长趋势。总的看来, 30 a 来烟台市湿地总面积以 5.46 km<sup>2</sup>/a 的速度在增长, 尤其是从 1995—2005 年的 10 a 间增长的速度高达 9.81 km<sup>2</sup>/a。

#### 3.2 各湿地类型的转移矩阵分析

从空间涵义出发, 湿地动态变化可以细分出未变化部分、转移部分和新增部分, 而湿地的动态转移矩阵能明确地反映出各部分的流转去向, 对于分析湿地的动态变化具有重要价值<sup>[7, 22]</sup>。根据 4 个时期烟台市各湿地类型的矢量数据, 借助 ArcGIS 软件进行空间叠加分析, 得到 1986—1995 年, 1995—2005 年以及 2005—2015 年 3 个时间段各湿地类型的转移矩阵(表 3—5)。通过对 3 个时间段各湿地类型的转移矩

阵的分析,可以了解近 30 a 来烟台市各湿地类型之间以及各湿地类型与非湿地之间的动态变化。其中,非湿地包括其他土地利用类型和海域两部分。从 3 个转移矩阵中可以看出:烟台市湿地内部各不同类型

之间的转换较少,主要表现在浅海水域、沿海滩涂和河口湿地、养殖池和盐田三者之间;而烟台市各湿地类型与非湿地之间存在大量的转换,尤其是与其他土地利用类型之间的转换。

表 2 不同时期烟台市各湿地类型面积的变化速度

类型	面积变化速度/(km <sup>2</sup> ·a <sup>-1</sup> )			
	1986—1995 年	1995—2005 年	2005—2015 年	1986—2015 年
浅海水域	0.94	-0.66	8.66	3.05
沿海滩涂和河口湿地	-0.60	-3.53	-2.11	-2.13
河流湿地	-2.46	4.89	-6.39	-1.28
水库坑塘	0.30	8.02	-4.71	1.23
养殖池和盐田	7.54	1.09	5.44	4.59
湿地总面积	5.72	9.81	0.89	5.46

1986—1995 年期间(表 3),湿地类型之间的转换表现在有 24.55 km<sup>2</sup> 的浅海水域转换成沿海滩涂和河口湿地、有 28.10 km<sup>2</sup> 的沿海滩涂和河口湿地转换成养殖池和盐田;而浅海水域与河流湿地、水库坑塘、养殖池和盐田之间以及沿海滩涂和河口湿地与水库坑塘之间转换非常微弱,甚至不存在转换。湿地的转出表现最为显著的是有 27.93 km<sup>2</sup> 的浅海水域、

41.61 km<sup>2</sup> 的河流湿地和 37.04 km<sup>2</sup> 的水库坑塘转换成其他土地利用类型;湿地的转入主要表现为有 32.00,39.32,39.02 km<sup>2</sup> 的其他土地利用类型分别转换成河流湿地、水库坑塘以及养殖池和盐田,此外,有 65.40 km<sup>2</sup> 的海域转换成浅海水域湿地。其中,1986—1995 年期间变化最为明显的是养殖池和盐田,净增加了 67.88 km<sup>2</sup>。

表 3 烟台市 1986—1995 年各湿地类型的转移矩阵

km<sup>2</sup>

项目	1995 年面积							减少
	浅海水域	沿海滩涂和河口湿地	河流湿地	水库坑塘	养殖池和盐田	其他土地利用类型	海域	
浅海水域	458.89	24.55	0.13	0.00	1.84	27.93	11.21	65.66
沿海滩涂和河口湿地	4.82	114.91	0.85	0.09	28.10	8.23	4.05	46.14
河流湿地	0.04	5.10	174.99	1.32	10.85	41.61	0.17	59.09
水库坑塘	0.00	0.00	0.98	106.82	0.31	37.04	0	38.33
养殖池和盐田	0.03	1.26	2.89	0.24	152.24	8.21	0.27	12.90
其他土地利用类型	3.86	5.07	32.00	39.32	39.02	12 967.82	—	—
海域	65.40	4.76	0.10	0.03	0.66	—	—	—
增加	74.15	40.74	36.95	41.00	80.78	—	—	—

表 4 烟台市 1995—2005 年各湿地类型的转移矩阵

km<sup>2</sup>

项目	2005 年面积							减少
	浅海水域	沿海滩涂和河口湿地	河流湿地	水库坑塘	养殖池和盐田	其他土地利用类型	海域	
浅海水域	438.29	3.96	0.21	0.00	1.31	10.40	78.87	94.75
沿海滩涂和河口湿地	37.85	85.17	8.96	0.02	11.36	6.58	5.71	70.48
河流湿地	0.31	0.13	173.46	1.61	4.61	31.74	0.08	38.48
水库坑塘	0.00	0.17	1.58	129.62	0.47	15.96	0.02	18.20
养殖池和盐田	0.72	7.02	8.19	1.30	194.72	20.89	0.18	38.30
其他土地利用类型	20.09	19.22	67.91	95.48	30.66	12 854.41	—	—
海域	29.16	4.66	0.54	0.01	0.78	—	—	—
增加	88.13	35.16	87.39	98.42	49.19	—	—	—

表 5 烟台市 2005—2015 年各湿地类型面积转移矩阵

km<sup>2</sup>

项目	2015 年面积							
	浅海水域	沿海滩涂和 河口湿地	河流湿地	水库坑塘	养殖池 和盐田	其他土地 利用类型	海域	减少
2005 年	439.49	23.27	0.41	0.05	22.69	36.70	3.81	86.93
面积	3.20	57.14	0.37	0.14	46.71	11.55	1.22	63.19
	0.05	0.14	175.4	2.19	5.18	76.96	0.93	85.45
	0.00	0.08	1.73	141.04	0.66	84.53	0.00	87.00
	0.08	2.45	1.44	1.31	198.04	38.78	1.81	45.87
	3.45	5.30	17.57	36.22	15.69	12 862.67	—	—
	166.79	10.82	0.00	0.00	9.34	—	—	—
增加	173.57	42.06	21.52	39.91	100.27	—	—	—

1995—2005 年期间(表 4),烟台市各湿地类型之间转换不是十分明显,尤其是浅海水域与水库坑塘之间不存在转换;但是,由于海岸动力侵蚀,还是有 37.85 km<sup>2</sup> 的沿海滩涂和河口湿地转换成浅海水域。各湿地类型与非湿地之间转换较为强烈,主要表现为有 31.74 km<sup>2</sup> 的河流湿地和 20.89 km<sup>2</sup> 的养殖池和盐田转换成其他土地利用类型,有 78.87 km<sup>2</sup> 的浅海水域湿地转换成海域;湿地的转入主要来源于其他土地利用类型,此期间有 233.36 km<sup>2</sup> 的其他土地利用类型转换成湿地。2005—2015 年期间(表 5),湿地内部转换与 1986—1995 年期间基本类似,主要是有 23.27,22.69 km<sup>2</sup> 的浅海水域湿地分别转换成沿海滩涂和河口湿地以及养殖池和盐田,有 46.71 km<sup>2</sup> 的沿海滩涂和河口湿地转换成养殖池和盐田。2005—2015 年期间有 256.29 km<sup>2</sup> 的湿地转换成非湿地,同时也有 265.18 km<sup>2</sup> 的非湿地转换成湿地,尤其是有 166.79 km<sup>2</sup> 的海域转换成浅海水域湿地。

总得看来,近 30 a 来烟台市湿地结构逐渐趋于不合理,湿地调节环境的功能下降,主要表现在两方面:一是,沿海滩涂和河口湿地面积明显减少,而在各湿地类型中尤以沿海滩涂和河口湿地的植被覆盖度最高,对环境的调节作用最强,沿海滩涂和河口湿地面积的减少势必导致湿地调节环境的功能下降。二是,养殖池和盐田往往会对环境带来一定的破坏,所以,明显增加的养殖池和盐田将导致烟台市的湿地调节功能下降。

## 4 结论

(1) 近 30 a 来烟台市湿地总面积以 5.46 km<sup>2</sup>/a 的速度呈逐年增长趋势,湿地总面积增长了 158.47 km<sup>2</sup>,到 2015 年湿地总面积达到 1 388.44 km<sup>2</sup>。

(2) 烟台市湿地内部各湿地类型之间的转换较少,主要表现在浅海水域、沿海滩涂和河口湿地等自

然湿地与养殖池和盐田等人工湿地之间的转换;烟台市各湿地类型与非湿地之间转换十分强烈,尤其是各湿地类型与其他土地利用类型之间存在大量的转换。

(3) 各湿地类型中,浅海水域、水库坑塘以及养殖池和盐田的面积分别增加了 88.51,35.80,133.17 km<sup>2</sup>;而沿海滩涂和河口湿地的面积减少了 61.85 km<sup>2</sup>,河流湿地的面积减少了 37.16 km<sup>2</sup>。

(4) 近 30 a 来烟台市湿地资源时空变化十分显著。虽然湿地总面积有所增长,但是沿海滩涂和河口湿地等天然湿地的面积呈显著减少趋势,大量的滨海湿地和河流湿地等天然湿地被开发为养殖场和盐田等人工湿地以及其他土地利用类型。受人类活动的干扰,烟台市湿地结构逐渐趋于不合理,自然湿地面积减少,使得湿地的生态价值降低,生态功能遭到破坏,对区域生物多样性和生态环境产生较大影响。为了合理利用与保护烟台市的湿地资源,须加大对湿地资源的保护力度,减少人类活动的干扰。

(5) 在对湿地信息进行提取时,受 Landsat 遥感影像自身精度的影响,对于很多面积较小的湿地图斑不能做出准确的解译,对提取的结果有轻微的影响。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 刘清华. 洞庭湖湿地景观格局时空变化分析及预测研究[D]. 湖南长沙:中南林业科技大学,2009.
- [2] 刘红玉. 中国湿地资源特征、现状与生态安全[J]. 资源科学,2005,27(3):54-60.
- [3] 刘红玉,林振山,王文卿. 湿地资源研究进展与发展方向[J]. 自然资源学报,2009,24(12):2204-2211.
- [4] 张亚琳. 基于 3S 技术的广东省湿地变化研究[D]. 北京:中国地质大学,2010.
- [5] 黄娟琴. 杭州市区湿地资源遥感调查与监测研究[D]. 浙江杭州:浙江大学,2005.
- [6] 李璇琼. 基于 RS 和 GIS 的土地利用变化动态监测研究:以都江堰市为例[D]. 四川成都:成都理工大学,2010.

(下转第 301 页)

- (37):1327-1340.
- [16] Wang Hansheng, Jia Lulu, Steffen H, et al. Increased water storage in North America and Scandinavia from GRACE gravity data [J]. *Nature Geoscience*, 2013, 6(1):38-42.
- [17] Xavier L, Becker M, Cazenave A, et al. Interannual variability in water storage over 2003—2008 in the Amazon Basin from GRACE space gravimetry, in situ river level and precipitation data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2010, 114(8):1629-1637.
- [18] Wahr J, Swenson S, Zlotnicki V, et al. Time-variable gravity from GRACE: First results [J]. *Geophysical Research Letters*, 2004, 31(11):293-317.
- [19] 胡小工,陈剑利,周永宏,等. 利用 GRACE 空间重力测量监测长江流域水储量的季节性变化[J]. *中国科学(D):地球科学*, 2006, 36(3):225-232.
- [20] 赵国永,韩艳,郭雪莲,等. 1961—2013 年河南省气温要素时空变化特征[J]. *中国农学通报*, 2015, 31(13):249-257.
- [21] 杨艺,周继良,吴明作. 河南省各地区主要作物生态需水研究[J]. *河南科学*, 2008, 26(6):676-680.
- [22] 张愿章,段永康,郭春梅,等. 河南省 1951—2012 年降水量的 Morlet 小波分析[J]. *人民黄河*, 2015, 37(10):25-28.
- [23] 张红卫,吴湘婷. 河南省近 11 年水资源情势变化及可  
持续利用[J]. *人民黄河*, 2013, 35(9):55-56.
- [24] Swenson S, Chambers D, Wahr J. Estimating geocenter variations from a combination of GRACE and ocean model output [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2008, 113(B8):194-205.
- [25] Chen Jianli, Wilson C R. Low degree gravity changes from GRACE, Earth rotation, geophysical models, and satellite laser ranging [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2008, 113(6):3043-3061.
- [26] Swenson S, Wahr J. Post-processing removal of correlated errors in GRACE data [J]. *Geophysical Research Letters*, 2006, 33(8):1-4.
- [27] Zhang Zizhan, Chao Benfong, Lu Yang, et al. An effective filtering for GRACE time-variable gravity: Fan filter [J]. *Geophysical Research Letters*, 2009, 36(17):1397-1413.
- [28] 何杰. 中国区域高时空分辨率地面气象要素数据集的建立[D]. 北京:中国科学院青藏高原研究所, 2013.
- [29] Chen Yingying, Yang Kun, He Jie, et al. Improving land surface temperature modeling for dry land of China [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2011, 116(116):999-1010.
- [30] 于延胜,陈兴伟. 基于 Mann-Kendall 法的水文序列趋势成分比重研究[J]. *自然资源学报*, 2011, 26(9):1585-1591.

(上接第 294)

- [7] 朱长明,李均力,常存,等. 新疆干旱区湿地景观格局遥感动态监测与时空变异[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(15):229-238.
- [8] 李均力,姜亮亮,包安明,等. 1962—2010 年玛纳斯流域耕地景观的时空变化分析[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(4):277-285.
- [9] 牛明香. 湿地资源遥感动态监测及其对生态环境的影响研究[D]. 山东 泰安:山东农业大学, 2004.
- [10] 刘洁. 基于 TM, ETM<sup>+</sup> 影像的东平湖湿地信息提取及时空演变研究[D]. 山东 泰安:山东农业大学, 2013.
- [11] 颜凤芹,于灵雪,杨朝斌,等. 基于 Landsat8 影像的湿地信息提取最佳波段组合[J]. *地球环境学报*, 2014, 5(5):339-343.
- [12] 孙晓宇,苏奋振,吕婷婷,等. 黄河三角洲湿地资源时空变化分析[J]. *资源科学*, 2011, 33(12):2277-2284.
- [13] 牛振国,宫鹏,程晓,等. 中国湿地初步遥感制图及相关地理特征分析[J]. *中国科学*, 2009, 39(2):188-203.
- [14] 周昕薇,宫辉力,赵文吉,等. 北京地区湿地资源动态监测与分析[J]. *地理学报*, 2006, 61(6):654-662.
- [15] 曾业隆,李国庆,陈奇,等. 山东半岛东部湿地景观格局变化及驱动力分析[J]. *人民黄河*, 2015, 37(8):78-82.
- [16] 王方雄,孙佳音,侯英姿,等. 辽河三角洲滨海湿地资源时空动态变化研究[J]. *地理空间信息*, 2014, 12(2):49-52.
- [17] 高文杰,潘继亚. 大庆湿地时空变化分析[J]. *吉林水利*, 2015(2):12-17.
- [18] 恭映璧,李春华,胡曰利. 50 年来长沙市湿地时空变化及空间自相关分析[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(14):269-274.
- [19] Zhang Lei, Wu Bingfang, Yin Kai, et al. Impacts of human activities on the evolution of estuarine wetland in the Yangtze Delta from 2000 to 2010 [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2015, 73(1):435-447.
- [20] 潘仕梅,史淑一,李琳,等. 山东省烟台市近年降水资源变化对农业的影响[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(26):267-271.
- [21] 李希国,谭鼎山,王洪波,等. 近 40 年烟台地区气温与降水量变化的关系研究[J]. *山东水利*, 2006, 20(8):91-93.
- [22] 温庆可,张增祥,徐进勇,等. 环渤海滨海湿地时空格局变化遥感监测与分析[J]. *遥感学报*, 2011, 15(1):183-200.