莱州湾南岸滨海湿地的景观格局变化及累积环境效应*

张绪良[1**] 张朝晖[2] 徐宗军[2] 谷东起[2] 郑 伟[2]

([1]青岛大学师范学院地理系,山东青岛 266071;[2]国家海洋局第一海洋研究所,山东青岛 266061)

摘 要 在湿地景观类型分类基础上,利用遥感技术及 GIS 技术提取了 1987 和 2002 年莱州湾南岸滨海湿地 Landsat 5、Landsat 7 卫星假彩色合成影像的空间属性数据,利用斑块动态度、斑块密度指数、景观多样性指数、斑块破碎化指数研究了湿地景观格局变化及其累积环境效应。结果表明,15 年间莱州湾南岸滨海湿地景观总面积基本不变,但自然湿地总面积减少了 49.1%,减少的自然湿地主要转化为养殖池、盐田等人工湿地。湿地景观格局的变化还表现为景观多样性指数下降、斑块破碎化指数升高。湿地景观格局变化引起自然湿地的总净初级生产量下降,环境净化功能、抗御自然灾害功能降低,陆地中生植物、旱生植物外来及有害植物侵入湿地,湿地生态系统服务价值下降等累积环境效应。

关键词 莱州湾南岸;滨海湿地;景观格局指数;累积环境效应

中图分类号 X171.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2009)12-2437-07

Landscape pattern change and its cumulative environmental effects of coastal wetlands in southern Laizhou Bay. ZHANG Xu-liang[1], ZHANG Zhao-hui[2], XU Zong-jun[2], GU Dong-qi[2], ZHENG Wei[2] ([1]*Department of Geography, Qingdao University, Qingdao* 266071, *Shandong, China*; [2]*First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao* 266061, *Shandong, China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2009, **28**(12): 2437-2443.

Abstract: Based on the classification of wetland landscape, and by using remote sensing and GIS techniques, the Landsat 5 and Landsat 7 false color TM images of coastal wetlands in southern Laizhou Bay in 1987 and 2002 were obtained, and the landscape pattern change and its cumulative environmental effects were studied with patch dynamic index, patch density index, landscape diversity index, and patch fragmental index. In 1987-2002, the total area of the wetlands in southern Laizhou Bay kept unchanged, but the natural wetland decreased by 49.1%. The disappeared natural wetland was converted into culture ponds and salt fields. The landscape diversity index decreased, while the patch fragmental index increased. Some cumulative environmental effects were induced by the landscape pattern change, e.g., the total net primary productivity of natural wetland decreased, the functions of natural wetland in purifying environment and defending marine disasters weakened, some mesophytes, xerophilous plants, and harmful plants invaded the coastal wetlands, and the ecosystem services value of the coastal wetlands declined.

Key words: the southern Laizhou Bay; coastal wetland; landscape pattern index; cumulative environmental effect.

滨海湿地是海洋与陆地相互作用形成的生态交错带,具有较高的生物多样性,同时具有吸收、净化入海污染物和 N、P 营养盐,抗御风暴潮和海岸侵蚀等环境功能。滨海湿地也是生态环境相对比较脆弱,自然灾害及人类干扰强度大、发生频繁的生态系统。目前,世界范围内很多滨海湿地面积正在迅速减小、景观格局破碎化,这种改变引起滨海湿地生态系统的生态过程变化、湿地生态系统服务价值降低、珍稀濒危物种灭绝加速、有害物种入侵等诸多问题。景观格局分析是景观生态学研究的核心内容之一。

* 中国近海海洋综合调查与评价项目(908-02-04-06)和国家自然科学基金资助项目(40606013)。

** 通讯作者 E-mail:Geo_zhang@163.com

收稿日期:2009-04-15 接受日期:2009-07-13

我国滨海湿地景观格局变化研究内容主要包括滨海盐沼及河口湿地的景观格局分析、景观格局的变化及驱动机制等(张华等,2007;丁亮等,2008;姜玲玲等,2008;扬帆等,2008),目前多种景观格局指数被广泛地应用于湿地景观格局变化分析(王宪礼等,1996,1997;汪爱华等,2003;丁圣彦和梁国付,2004;陈鹏,2005;郭笃发,2005)。景观格局变化的驱动力分析也是与湿地景观格局变化研究紧密相关的研究内容,自然驱动因子和人为驱动因子都是引起湿地景观格局变化的重要因素(白军红等,2005)。湿地景观变化还影响大气化学性质及过程、气候变化、水文变化、生物多样性等(刘红玉等,2003),湿地景观格局变化对区域乃至全球气候产生深刻影响,加快气候变化的速度(曹明奎和李克让,2000)。因此,研究滨海湿地景观格局变化及其累积环境效应可以有效地指导人类深入认识并协调滨海湿地资源、环境与人类生存、发展的相互关系。

1 材料与方法

1.1 莱州湾南岸滨海湿地的自然环境概况及湿地分类

莱州湾南岸是指莱州湾南部湾顶岸段,包括潍坊市北部沿海的寿光市、寒亭区和昌邑市,经纬度位置为 118°32′E—119°37′E,36°25′N—37°19′N。研究区陆地面积 4588 km^2,海岸线西起淄脉沟口,东至胶莱河河口,全长 113 km。在地质构造上,莱州湾南岸位于新华夏系的第二沉降带(华北凹陷),是沂沭大断裂以西的莱州湾沿岸西部沉降区。受海洋和河流的共同作用,莱州湾南岸广泛发育了低平、宽广的冲积平原、冲海积平原和海积平原,由淤泥、泥质粉砂及粉砂组成的第四系冲积物、海积物、风积物、冲海积物、湖沼沉积物等堆积较厚,最厚处达 400 m。自西向东有小清河、堤河、弥河、白浪河、虞河、潍河、蒲河、胶莱河等 10 余条河流注入莱州湾,这些河流形成了胶莱河水系、潍河水系、白浪河水系、弥河水系、塌河水系等 5 个独流入海的水系。气候属暖温带大陆性季风气候,冬冷夏热,四季分明。多年平均气温 12.3 ℃,多年平均降水量 613.2 mm,降水多集中在夏季。

莱州湾南岸滨海湿地被划分为自然湿地和人工湿地 2 个湿地类。根据地貌部位和陆-海相互作用的相对强度将自然湿地类分为潮间带滩涂湿地、潮上带湿地、河流及河口湿地 3 个亚类。根据植被、水文、底质状况和人类对湿地资源开发利用的方式、影响和作用强度的差异等因素,全部自然湿地和人工湿地划分为潮间带光滩湿地、潮上带光滩湿地、潮上带盐地碱蓬湿地、潮上带盐地碱蓬-芦苇-柽柳湿地、潮上带盐地碱蓬-獐毛湿地、潮上带盐地碱蓬-中华补血草湿地、潮上带柽柳湿地、潮上带碱蓬湿地、潮上带茅草湿地、潮上带淡水芦苇沼泽湿地、潮上带淡水香蒲沼泽湿地、河床、河口光滩湿地、河漫滩盐地碱蓬湿地、河漫滩芦苇湿地、养殖池、盐田、人工芦苇湿地等 18 个湿地型(张绪良等,2008a)。

1.2 基础数据来源与研究方法

利用遥感(RS)和地理信息系统(GIS)技术,以 1987 年 10 月 Landsat 5 卫星和 2002 年 10 月 Landsat 7 卫星 TM4、TM3、TM2 波段的原始数据为主要量化信息源,用 EARDAS IMAGINE 8.5 软件合成了最小分辨率为 30 m 的莱州湾南岸滨海湿地假彩色合成影像(图 1)。参考 1980 年版的 1∶50000 地形图和作者 2001—2005 年的实地调查资料,用 MapInfo 6.0C 软件提取了 1987 和 2002 年莱州湾南岸滨海湿地假彩色合成影像中湿地景观类型的属性数据,图像合成、解译及数据提取过程如图 2。由于 TM 影像空间分辨率和光谱分辨率的局限,在数据处理过

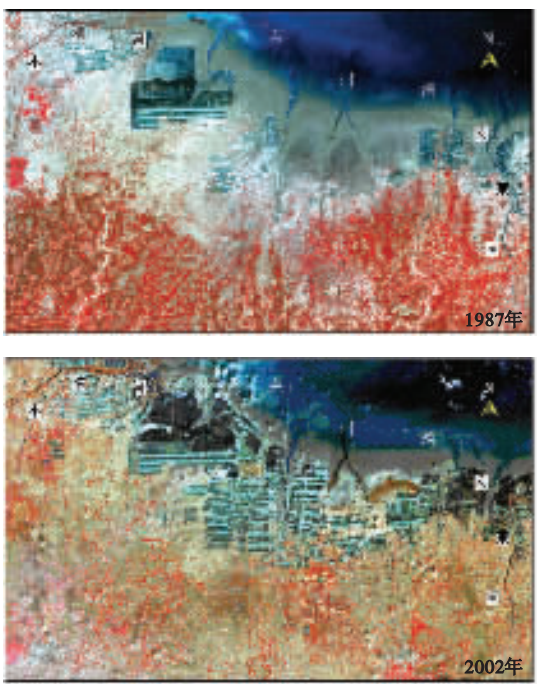


图 1 1987 年和 2002 年莱州湾南岸滨海湿地的遥感假彩色合成影像示意图

Fig. 1 Remote sense false color TM images of coastal wetlands in southern Laizhou Bay of 1987 and 2002

程中采用的假彩色合成影像不能有效区分上述各种自然湿地类型,所以将一些主要的湿地类型合并为潮间带和潮上带光滩湿地、河流与河口湿地、潮上带自然湿地、养殖池、盐田、人工芦苇沼泽湿地 6 种湿地景观类型(图 3)。

景观格局指数高度浓缩了景观的空间格局信息,反映了景观结构组成和空间配置方面的基本特征。用于分析景观格局的指数很多,但在具体研究个案中,并不是所有的指数都能说明问题。本文根据研究区域的自然环境特点及人类对自然湿地的改造、利用方式,选取如下景观格局分析指数分析了景观格局的变化。

1) 斑块动态度(WD)。景观斑块动态度是以百分比表示的各湿地景观类型面积的年平均变化速率。计算公式为:

$$WD = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{t} \times 100\%$$

式中,WD 为景观斑块动态度,U_a 为起始年某类景观斑块的总面积(hm^2),U_b 为终结年该类景观斑块的总面积(hm^2),t 为计算时段的年数。

2) 斑块密度指数(PD)。斑块密度指数是斑块个体数与斑块总面积的比值。计算公式为:

$$PD_i = N_i / A_i$$

式中,PD_i 为第 i 类景观的景观斑块密度,N_i 为第 i 类景观的景观斑块总数,A_i 为第 i 类景观的景观斑块总面积(hm^2)。景观斑块密度指数越大,表明景观破碎化程度越高。景观密度指数反映景观被分割的破碎程度,该指标与自然资源保护密切相关,许多生物物种的保护要求有大面积的自然生境,随着景观破碎化和原生自然景观斑块面积不断缩小,适于生物生存的环境在减少,这将直接影响物种的繁殖、扩散、迁移和保护。

3) 景观多样性指数(H)。景观多样性指数表示湿地景观斑块类型的多样性。H 值的大小反映景观斑块类型的多少和各景观斑块类型所占面积比例的变化。当研究区域景观整体中只有一种景观类型时,景观是均质的,H 为 0。当研究区域有 2 个以上的景观类型,并且各景观类型所占的比例相等时,其景观多样性值最高;当多种景观类型共存并且各类景观所占比例差异增大时,景观多样性水平下降。景观多样性指数的计算公式为(Shannon & Wiener, 1949):

$$H = -\sum_{k=1}^{m} (P_k) \log_2 (P_k)$$

式中,H 为景观多样性指数,P_k 为第 k 类景观所占景观总面积的比,m 为研究区域景观类型数。

4) 景观斑块破碎化指数(FN)。景观斑块破碎化指数反映整个景观或某一景观类型的破碎化程度,计算公式为:

$$FN = MPS(N_f - 1)/N_c$$

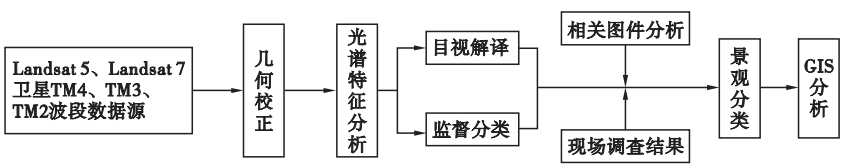


图 2 莱州湾南岸滨海湿地景观空间信息提取流程

Fig. 2 Process of extracting space information of coastal wetlands in southern Laizhou Bay

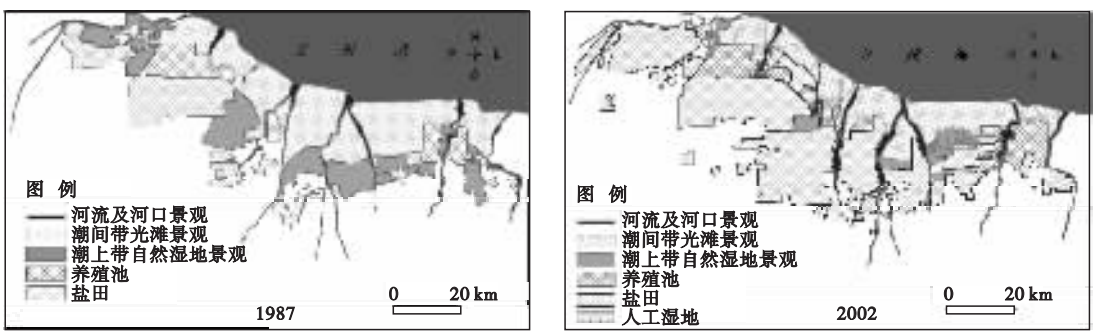


图 3 1987 年和 2002 年莱州湾南岸滨海湿地的景观类型示意图

Fig. 3 Landscape type of coastal wetlands in southern Laizhou Bay of 1987 and 2002

表1 1987、2002年莱州湾南岸湿地景观属性数据

Tab.1 Space data of coastal wetland landscape in southern Laizhou Bay of 1987 and 2002

景观类型	面积(hm²)		全部斑块周长(km)		斑块数(个)	
	1987年	2002年	1987年	2002年	1987年	2002年
潮间带和潮上带光滩湿地	36834.10	20271.02	282.60	253.42	11	15
河流与河口湿地	5626.50	7010.00	473.66	406.70	10	10
潮上带自然湿地	20181.12	4619.14	285.69	159.67	18	30
养殖池	9030.80	13868.70	117.01	221.21	11	16
盐田	19098.55	45494.94	210.75	457.68	17	24
人工芦苇沼泽湿地	0.00	266.70	0.00	9.52	0	7
景观总体	90771.07	91530.50	1369.71	1498.68	67	102

式中,FN 为景观整体和各景观类型的斑块破碎化指数,其域值为[0,1]。N_c 为景观斑块总面积,MPS 是景观中各类斑块的平均斑块面积,N_f 为景观斑块数。

2 结果与分析

2.1 湿地景观类型面积变化

利用莱州湾南岸滨海湿地的Landsat 5、Landsat 7卫星TM数据解译的假彩色合成影像、MapInfo 6.0C软件的空间分析功能,在湿地景观分类基础上提取了1987和2002年莱州湾南岸滨海湿地2个时段的湿地景观斑块空间属型数据(表1)。

对2个时段莱州湾南岸滨海湿地景观空间属性数据的分析表明,1987—2002年15年间莱州湾南岸滨海湿地景观总面积基本保持不变。但湿地景观类型间的转化很明显,1987年莱州湾南岸滨海湿地景观总体中,潮间带和潮上带光滩湿地、河流与河口湿地、潮上带自然湿地3种自然湿地景观类型的总面积为62641.72 hm²,占莱州湾南岸所有自然湿地及人工湿地景观总面积的69.01%,2002年莱州湾南岸潮间带和潮上带光滩湿地、河流与河口湿地、潮上带自然湿地3种自然湿地景观类型的总面积为31900.16 hm²,占莱州湾南岸所有自然湿地及人工湿地景观总面积的34.85%,15年间自然湿地总面积减少了30741.56 hm²,在湿地总面积基本保持不变的情况下,15年间自然湿地面积减少了49.08%。

根据2个时段湿地面积基本保持不变、湿地分布格局及变化情况分析,减少的自然湿地主要转化为养殖池、盐田等人工湿地。另外,1987—2002年莱州湾南岸滨海湿地景观总面积略有增大,增加了759.43 hm²,原因在于人工湿地建设,但人工湿地面积的增加小于上述3种自然湿地面积的减少,湿地景观总面积增大的一个另外重要原因是同期自然湿地中的河流与河口湿地景观面积增大了24.61%,即1384.5 hm²。河流与河口湿地景观面积增加的主要原因是2002年河流水位普遍比1987年提取遥感影像数据时高。

利用景观斑块动态度公式分析表明,1987—2002年,随着大面积的自然湿地景观转化为人工湿地景观,自然湿地景观类型中,除河流与河口湿地景观外,其他景观类型斑块数量增加,但景观斑块动态度指数减小,养殖池和盐田2种人工湿地景观斑块数量、景观斑块动态度增加,湿地景观总体斑块数量增加,但景观动态度仅为0.05%(表2)。

2.2 湿地景观格局变化

1)斑块密度指数的变化。1987—2002年莱州湾南岸自然湿地中的潮间带和潮上带光滩景观、潮上带自然湿地景观的斑块密度都显著增加,景观斑块密度指数分别由0.0003、0.0009增加到0.007和0.0065个·km⁻²(表3),这主要是由公路建设、盐业、养殖业发展、潮沟的不断发育和海岸侵蚀等原因造成的。自然湿地景观破碎化导致景观连通性水平降低。河流及河口湿地景观斑块密度有所下降,原因是2002年河流径流量较大,导致提取的河流及河口景观斑块面积较1987年大造成的。

表2 1987—2002年莱州湾南岸各湿地景观的斑块数量变化和景观斑块动态度

Tab.2 Changes of patch numbers and patch dynamic index of coastal wetlands in southern Laizhou Bay from 1987 to 2002

湿地景观类型	景观斑块数量变化(个)	景观斑块动态度(%)
潮间带和潮上带光滩湿地	4	-3.00
河流与河口湿地	0	1.64
潮上带自然湿地	12	-5.14
养殖池	5	3.57
盐田	7	9.21
人工芦苇沼泽湿地	7	-
湿地景观总体	35	0.05

1987年人工芦苇沼泽湿地景观斑块面积为0 hm²,不能计算景观斑块动态度。

表3 1987、2002年莱州湾南岸滨海湿地景观斑块密度指数(个·km^{-2})

Tab. 3 Patch density index of coastal wetland landscapes in southern Laizhou Bay in 1987 and 2002

年份	潮间带和潮上带光滩景观	潮上带自然湿地景观	河流及河口景观	养殖池	盐田	人工湿地	景观总体
1987	0.0003	0.0069	0.0018	0.0012	0.0009	–	0.0007
2002	0.0007	0.0065	0.0014	0.0012	0.0005	0.0005	0.0011

养殖池景观斑块密度指数不变、盐田景观斑块密度指数下降,这与人类活动干扰造成湿地景观格局破碎化规律不符。原因是1987—2002年间莱州湾南岸新增的虾蟹养殖池、盐田等人工湿地大都大面积集中分布,使景观斑块面积增加速率等于或超过了斑块数量增加的速率。15年间湿地景观总体的斑块密度指数也增加了,其原因是潮间带和潮上带光滩景观、潮上带自然湿地景观的斑块密度指数的增大,斑块密度指数相对极大的人工芦苇沼泽湿地的建成。

2)景观多样性指数(H)的变化。对于莱州湾南岸滨海湿地景观总体来说,1987—2002年15年间景观多样性指数也发生了变化,由1987年的2.065降至2002年的1.915。表明15年里随着对自然湿地资源的开发利用,有大面积的自然湿地转化为人工湿地,景观破碎化程度在升高,各类自然湿地景观、人工湿地景观斑块面积的大小差距在增大。2002年建成的人工芦苇湿地(即寿光市城市污水处理厂)面积为266.7 hm^2,仅占研究区湿地总面积的0.29%,但被人为地设计成7个小的景观斑块,这也是景观多样性指数发生变化的原因。

3)斑块破碎化指数的变化。计算景观斑块破碎化指数时,将研究区域划分为与景观斑块尺度相应的面积为500 hm^2方格,以方格网的格子数作为为各类景观斑块的平均斑块面积。对1987、2002年莱州湾南岸滨海湿地景观斑块破碎化指数计算的结果表明,由于受到以建设人工湿地为主的人类活动的强烈干扰,自1987年到2002年莱州湾南岸滨海湿地各类景观斑块的景观破碎化指数明显升高(图4),景观总体的景观破碎化指数也由0.244升高至0.325,景观破碎化程度明显增大。

2.3 莱州湾南岸滨海景观格局变化的累积环境效应

1)景观格局变化引起湿地生态过程、生态系统功能变化。1985—2002年由于原有自然湿地总面积的49.08%转化为养殖池、人工湿地,导致潮上带自然湿地的总面积由20182.12减小至4619.14 hm^2,

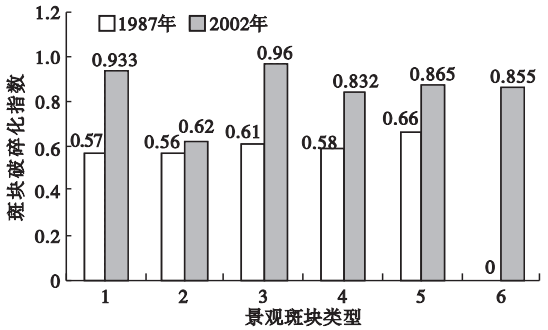


图4 1987—2002年莱州湾南岸滨海湿地景观斑块破碎化指数的变化

Fig. 4 Changes of patch fragmental index of coastal wetlands from 1987 to 2002

1 潮间带和潮上带光滩 2 河流与河口湿地 3 潮上带自然湿地 4 养殖池 5 盐田 6 人工芦苇沼泽湿地。

分布自然湿地植被的潮上带自然湿地总面积在原有面积上减小了77.11%。潮上带自然湿地面积减小和气候持续干旱、地下咸卤水入侵引起的地表盐渍化等引起湿地植被退化演替,大面积盐地碱蓬湿地已退化演替为以虎尾草(*Chloris virgata*)、狗尾草(*Setaria viridis*)为建群种的潮上带茅草群落(草甸)。这使潮上带自然湿地的净初级生产力下降(Zhang *et al.*,2006 张绪良等,2008b),按照上述主要自然湿地类型(潮上带自然湿地景观)的平均净初级生产力16.60 t·hm^{-2}·a^{-1}、人工芦苇沼泽湿地的平均净初级生产力为34.55 t·hm^{-2}·a^{-1}计算(张绪良,2006),1987年莱州湾南岸潮上带自然湿地的总净初级生产量为33.50万t,2002年莱州湾南岸潮上带自然湿地和人工芦苇沼泽湿地的总净初级生产量7.57万t,15年间莱州湾南岸滨海湿地总净初级生产量下降了77.40%。

潮上带自然湿地的初级生产力下降导致湿地的环境净化功能降低。在减少温室气体排放方面,按照湿地光合作用过程每形成1 g有机质吸收1.63 g CO_2计算,1987和2002年莱州湾南岸滨海湿地光合作用固定的CO_2总量分别为54.609万和12.34万t。向大气释放O_2方面,按照光合作用过程每形成1 g有机质产生1.19 g O_2,1987和2002年莱州湾南岸滨海湿地光合作用向大气排放的O_2总量分

别为39.87万和9.01万t。在吸收输入湿地的过量氮、净化水质方面,参考瑞典科学家的湿地氮循环研究,自然湿地的氮吸收能力约100～500 kg·hm^{-2}·a^{-1}(湿地国际-中国项目办事处,1999),按照自然湿地、人工湿地的氮吸收能力300 kg·hm^{-2}·a^{-1}计算,1987和2002年莱州湾南岸滨海湿地吸收的总氮量分别为0.61万和0.15万t。

湿地抗御自然灾害的功能下降。1987—2002年由于潮上带自然湿地景观、潮间带和潮上带光滩湿地景观面积减小,自然湿地植被退化演替等原因,莱州湾南岸滨海湿地在抗御海岸侵蚀、地下咸卤水入侵、风暴潮等海洋灾害方面的生态功能减弱,加上人工湿地面积大幅度增加,上述海洋灾害造成的海岸土地侵蚀损失、原盐生产、养殖业损失都显著增大。

2)生物多样性水平下降,有害物种入侵加剧。由于潮间带滩涂面积减小,大面积潮上带自然湿地被利用、转化为养殖池、盐田等人工湿地景观,使潮上带自然湿地的景观破碎化 加上超量开采地下水引起地下水水位下降、地下咸卤水入侵导致的湿地植被退化演替,现在保存下来的潮上带自然湿地植物区系中陆地中生植物物种所占的比重较大。据调查统计,莱州湾南岸滨海湿地植物维管束植物区系有197种维管束植物,包括水生植物48种、湿生植物56种、盐生植物25种、中生植物65种、旱生植物3种(张绪良等,2008a),中生植物、旱生植物在区系中占了较大的比重。陆地中生植物、旱生植物如短叶决明(*Cassia leschenaultiana*)、蒺藜(*Tribulus terreste*)、酸枣(*Ziziphus jujuba*)、鬼针草属(*Bidens* spp.)、黄花蒿(*Artemisia annua*)和苍耳(*Xanthium sibiricum*)等侵入湿地,使潮上带自然湿地植物群落内典型湿地植物的生态位不断被入侵的中生、旱生植物所取代,典型湿地植物的物种多样性水平降低(叶颋等,2006)。这对典型湿地水生植被、湿生植被及湿地盐生植被的保护造成了严重威胁,一些珍稀濒危的湿地水生植物、湿生植物、盐生植物,如芡实(*Euryale ferox*)、珊瑚菜(*Glehnia littoralis*)、天麻(*Cannabis sativa*)、小果白刺(*Nitraria sibirica*)等在湿地植被中日益稀少。这也破坏了大天鹅(*Cygnas cygnas*)、白鹳(*Ciconia ciconia*)、白鹤(*Grus leucogeranus*)、丹顶鹤(*G. japonensis*)、灰鹤(*G. grus*)和大鸨(*Otis tarda*)等珍稀、濒危水禽的栖息地和觅食地。

由于自然湿地植被的退化演替及养殖池、盐田等人工湿地建设等自然、人为因素的干扰,莱州湾南岸滨海湿地景观中潮上带自然湿地、养殖池、盐田池埂等地发生有害植物物种入侵。据2001—2005年的野外实地调查统计,莱州湾南岸滨海湿地维管束植物区系中共有杂配藜(*Chenopodium hybridum*)、反枝苋(*Amaranthus retroflexus*)、蓖麻(*Ricinus communis*)、野胡萝卜(*Daucus carota*)、豚草(*Ambrosia artemisiifolia*)和凤眼莲(*Eichhornia crassipes*)等6种有害入侵植物。这些有害入侵物种更会对莱州湾南岸滨海湿地生态系统功能的维持及湿地生物多样性保护等造成威胁(田家怡等,2004)。

3)湿地生态系统服务价值降低。湿地景观格局变化,特别是自然湿地景观面积的减小引起莱州湾南岸滨海湿地生态系统服务价值的降低。湿地生态系统的服务价值包括使用价值和非使用价值,直接使用价值是指湿地提供的可以直接消费的实物产品(如水产品、芦苇、原盐等)的价值,间接使用价值指滨海湿地具有的调节大气气体成分、涵养水源、净化水质、支持发展生态旅游等生态服务的价值,非使用价值是人类为确保湿地存在而付出的费用,包括生物多样性维持服务价值、科研文化服务价值等(吕宪国和刘红玉,2004 辛琨等,2006)。

以1987—2002年莱州湾南岸滨海湿地各景观类型面积变化数据为基础,应用市场价值法、重置成本法、支付意愿法等方法,以2002年的可比价格为准计算了1987和2002年莱州湾南岸滨海湿地生态系统服务价值。计算结果表明,由于湿地景观格局的变化,15年间,莱州湾南岸滨海湿地总的生态系统服务价值由38.953亿元降至27.743亿元,下降了28.8%,平均单位面积湿地的生态系统服务价值由4.291万元·hm^{-2}降至3.031万元·hm^{-2},下降了29.4%(张绪良等,2008b)。引起莱州湾南岸滨海湿地生态系统服务价值降低的主要原因是自然湿地景观转化为盐田和养殖池等人工湿地景观。15年间莱州湾南岸养殖池、盐田2种人工湿地面积增加了111%,自然湿地转化为人工湿地后,湿地的直接使用价值(物质产出功能价值)升高了,但间接使用价值和非使用价值却以更大的幅度降低,导致湿地总的生态系统服务价值降低。

3 结 论

1987—2002年的15年间,莱州湾南岸滨海湿地的总面积保持相对稳定,但原有自然湿地景观的

49.08%转化为养殖池、盐田等人工湿地景观。随着湿地景观类型的转换,自然湿地和景观总体斑块密度增大了,人工湿地中养殖池斑块密度指数不变、盐田斑块密度指数减小了,湿地景观总体的景观多样性指数降低了,各湿地景观类型斑块破碎化指数升高了,表明景观的破碎化程度增大了。上述景观格局的变化导致自然湿地总净初级生产量下降,湿地珍稀濒危动植物保护受到威胁,湿地减少温室气体排放、净化水质等环境净化功能、抗御自然灾害功能降低,陆地中生植物、旱生植物外来及有害植物侵入湿地,湿地生态系统服务价值下降等积累环境效应。

引起莱州湾南岸滨海湿地景观格局变化的自然及人为因素有气候变暖和持续的干旱,河流径流量减小和断流,风暴潮和海岸侵蚀、围垦自然湿地、超量开采地下水、地下咸卤水入侵、道路与港口建设等。

为减轻湿地景观格局变化引起的积累环境效应,应采取建设自然保护区保护潮上带自然湿地景观、严格控制养殖池和盐田等人工湿地建设、发展工业循环经济和生态农业减少淡水资源消耗和减少向湿地排放污染物质等措施,保护莱州湾南岸的滨海湿地。

参考文献

白军红,欧阳华,杨志锋,等. 2005. 湿地景观格局变化研究进展. 地理科学进展,**24**(4):36-45.

曹明奎,李克让. 2000. 陆地生态系统与气候相互作用的研究进展. 地球科学进展,**15**(4):446-451.

陈 鹏. 2005. 厦门滨海湿地景观格局变化研究. 生态科学,**24**(4):359-363.

丁 亮,张 华,孙才志. 2008. 辽宁省滨海湿地景观格局变化研究. 湿地科学,**6**(1):7-12.

丁圣彦,梁国付. 2004. 近二十年来河南沿黄湿地景观格局演化. 地理学报,**59**(5):653-661.

郭笃发. 2005. 黄河三角洲滨海湿地土地覆被和景观格局的变化. 生态学杂志,**24**(8):907-912.

姜玲玲,熊德琪,张新宇,等. 2008. 大连滨海湿地景观格局变化及其驱动机制. 吉林大学学报(地球科学版),**38**(4):670-675.

刘红玉,吕宪国,张世奎. 2003. 湿地景观变化过程与累积环境效应研究进展. 地理科学进展,**22**(1):60-70.

吕宪国,刘红玉. 2004. 湿地生态系统保护与管理. 北京:化学工业出版社.

湿地国际-中国项目办事处. 1999. 湿地经济评价. 北京:中国林业出版社.

田家怡,刘俊展,刘庆年,等. 2004. 山东外来入侵有害生物与综合防治技术. 北京:科学出版社.

汪爱华,张树清,张 柏. 2003. 三江平原沼泽湿地景观空间格局变化. 生态学报,**23**(2):237-243.

王宪礼,胡远满,布仁仓. 1996. 辽河三角洲湿地的景观变化分析. 地理科学,**16**(3):260-265.

王宪礼,肖笃宁,布仁仓,等. 1997. 辽河三角洲湿地的景观格局分析. 生态学报,**17**(3):317-323.

辛 琨,谭凤仪,黄玉山,等. 2006. 香港米埔湿地生态功能价值估算. 生态学报,**26**(6):2020-2026.

扬 帆,赵冬至,索安宁. 2008. 双台子河口湿地景观时空变化研究. 遥感技术与应用,**23**(1):51-56.

叶 峁,李景文,尚红喜. 2006. 北京市湿地植物多样性及旱生植物入侵对生物多样性的影响. 科学技术与工程,**6**(18):2858-2864.

张 华,苗 苗,孙才志,等. 2007. 辽宁省滨海湿地资源类型及景观格局分析. 资源科学,**29**(3):139-146.

张绪良. 2006. 莱州湾南岸滨海湿地的退化及其生态恢复、重建研究(博士学位论文). 青岛:中国海洋大学.

张绪良,谷东起,陈东景,等. 2008a. 莱州湾南岸滨海湿地维管束植物的区系特征及保护. 生态环境,**17**(1):86-92.

张绪良,叶思源,印 萍,等. 2008b. 莱州湾南岸滨海湿地的生态系统服务价值及变化. 生态学杂志,**27**(12):2195-2202.

Shannon CE, Wiener W. 1949. The Mathematical Theory of Communication. Urbana: University of Illinois Press.

Zhang XL, Zhang YZ, Sun HX, *et al*. 2006. Changes of hydrological environment and their influences on coastal wetlands in the southern Laizhou bay, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, **119**: 97-106.

作者简介 张绪良,1971 年生,副教授,博士。主要从事自然地理学、生态学研究,发表论文 20 余篇。E-mail: Geo_zhang@163.com

责任编辑 魏中青