#### DOI: 10.5846/stxb201401070053

孙万龙 孙志高 ,卢晓宁 ,王苗苗 ,王伟. 黄河口岸线变迁对潮滩盐沼景观格局变化的影响. 生态学报 2016 36(2):480-488. Sun W L Sun Z G Lu X N ,Wang M M ,Wang W. Relationship between coastline changes and the landscape pattern heterogeneity of the salt marshes in the Yellow River Delta , China. Acta Ecologica Sinica 2016 36(2):480-488.

## 黄河口岸线变迁对潮滩盐沼景观格局变化的影响

### 孙万龙<sup>123</sup> 孙志高<sup>12\*</sup> 卢晓宁<sup>4</sup> 汪苗苗<sup>4</sup> 汪 伟<sup>5</sup>

1 福建师范大学,地理研究所,湿润亚热带生态地理过程教育部重点实验室,福州 350007

2 中国科学院海岸带烟台海岸带研究所 烟台 264003

3 中国科学院大学 北京 100049

4 成都信息工程学院,资源环境学院,成都 610225

5 鲁东大学,地理与规划学院,烟台 264025

摘要: 基于 2001、2005 和 2010 年 3 期 TM 遥感影像 运用 GIS 技术,分析了黄河三角洲不同区域(I区,刁口段; II区,东营港及 临近岸段; III区 河口段; IV区,南部莱州湾岸段)潮滩盐沼的景观演变与海岸线变迁的动因关系。结果表明,岸线变迁直接决 定了潮滩盐沼面积的增长或缩减,但其在不同区域的影响程度差异较大。2001—2010 年,I区由于 1976 年以后刁口流路废弃、 水沙输入量锐减导致其岸线持续蚀退,潮滩面积锐减明显(减少 57.64 km<sup>2</sup>,减少率 25.94%); III区由于 1976 年以后黄河由清 水沟或清 8 汊入海,河口区域的持续淤积状态使得岸线持续增长,潮滩面积增加显著(增加 66.17 km<sup>2</sup> 增长率 17.39%); 而 II 区由于海堤修建及港口建设等人类活动影响,岸线基本处于稳定状态,潮滩面积变化不大,IV区潮滩面积持续增加。不同区域 潮滩盐沼景观格局随距海远近均呈明显带状分布,依次为芦苇盐沼、碱蓬-柽柳-芦苇盐沼、碱蓬盐沼和光滩。2001—2010 年,不 同景观类型之间存在明显转移,光滩、碱蓬盐沼和芦苇盐沼的面积持续减少(分别减少 6.02、18.39 和 99.20 km<sup>2</sup>,减少率为 4. 61%、12.86%和 50.11%) 碱蓬-柽柳-芦苇盐沼的面积整体呈增加趋势(增加 35.50 km<sup>2</sup>,增长率为 24.99%)。研究发现,不同 区域的景观类型均随岸线的淤积或蚀退而发生向海或向陆的演替,岸线变迁是影响不同区域潮滩盐沼景观格局的决定因素,而 黄河调水调沙工程的长期实施对于近年来河口段岸线的变迁以及盐沼植被景观类型的演变具有深刻影响。 关键词: 岸线变迁;黄河口;潮滩盐沼;景观格局

# Relationship between coastline changes and the landscape pattern heterogeneity of the salt marshes in the Yellow River Delta , China

SUN Wanlong<sup>1 2 3</sup> SUN Zhigao<sup>1 2 \*</sup> ,LU Xiaoning<sup>4</sup> ,WANG Miaomiao<sup>4</sup> ,WANG Wei<sup>5</sup>

- 1 Institute of Geography, Key Laboratory of Humid Subtropical Eco-geographical Process (Fujian Normal University), Ministry of Education, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China
- 2 Yantai Institute of Coastal Zone Research , Chinese Academy of Sciences , Yantai 264003 , China
- 3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China
- 4 Department of Resources and Environment, College of Information and Engineering, Chengdu 610225, China

5 Department of Geography and Planning , LuDong University , Yantai 264025 , China

Abstract: Three TM remote-sensing images (2001,2005, and 2010) were analyzed using GIS technology to identify the relationships between coastline changes and the landscape evolution of salt marshes in different sub-regions (I, Diaokou estuary sub-region; II, Dongying harbor sub-region; III, Current estuary sub-region; V, Laizhou Bay sub-region) of the

基金项目:国家自然科学基金项目(41371104 41171424 41103073);中国科学院"一三五"规划生态突破项目(Y254021031);中国科学院重点部 署项目(KZZD-EW-I4);中国科学院人才专项(Y129091041)

收稿日期:2014-01-07; 网络出版日期:2015-06-10

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhigaosun@163.com

Yellow River Delta. The results showed that coastline change directly affected the increase or decrease of salt marshes in the coastal zone, but the influence intensities were considerably different in the four sub-regions. Between 2001 and 2010, the coastline in the I sub-region was eroding due to the significant decrease in runoff and sediment loading due to the abandonment of the Diaokou channel in 1976. In this sub-region , the area of salt marsh decreased by approximately 57.64 km<sup>2</sup>, or of 20.10%. As the Yellow River changed its exit to the sea from Qingshuigou between1976 and 1996 to Qing 8 since 1996, the coastline in the III sub-region has had a deposition and forward movement status due to the continuous runoff and sediment loading from the Yellow River. Between 2001 and 2010, the area of salt marsh increased by 66.17 km<sup>2</sup>, or 17.39%. Comparatively, the coastline and the area of salt marsh in the II sub-region has barely changed due to the great human activities, such as seawall and harbor constructions. In the IV sub-region, the coastline also had a deposition and forward movement status between 2001 and 2010 and the area of salt marsh increased by 33.52 km<sup>2</sup>, or 95. 22%. The landscape pattern showed obvious zonal distribution characteristics from the land to the sea, and the landscape types in a seaward direction were Phragmites australis salt marsh, Suaeda salsa-Tamarix chinensis-P. australis salt marsh, S. salsa salt marsh and mudflat, respectively. Between 2001 and 2010, significant changes to the different landscape types. The areas of mudflat, S. salsa salt marsh and P. australis salt marsh continuously decreased (the values decreased by 6.02 km<sup>2</sup>, 18.39 km<sup>2</sup>, and 99.20 km<sup>2</sup>, with decreasing rates of 4.61%, 12.86%, and 50.11%, respectively), while that of S. salsa-T. chinensis-P. australis salt marsh generally increased (by 35.50 km<sup>2</sup>, or 24.99%). This study indicated that, the succession of landscape types in a seaward or landward direction coincided with the deposition or erosion of the coastal zone in the different sub-regions. The changes to coastline was the determinant factor affecting the landscape patterns in the different sub-regions , and the long-term implementation of "Water and sediment regulation project of the Yellow River" has also significantly changed the coastline and the succession of vegetation landscape types over recent years.

Key Words: coastline change , Yellow River Delta , salt marsh , landscape pattern

潮滩主要分布于海陆交界的淡咸水交汇地带,是一个高度动态和复杂的生态系统,其在区域生态安全、人 类生存环境及区域经济发展方面都具有重要作用<sup>[1]</sup>。潮滩的形成与发育主要受潮流和泥沙的影响,海潮潮 位的变化和水文泥沙运移的不同决定了潮滩地貌及景观格局分布<sup>[2-3]</sup>。海岸线作为潮流和泥沙差异最直观 的体现,其变迁在一定程度上决定了潮滩土壤的水盐状况,而水盐状况是影响潮滩盐沼植被发育和演替的决 定性因子<sup>[4-6]</sup>,因而岸线变迁对潮滩盐沼植被景观格局的形成具有重要影响。

黄河口潮滩盐沼属于典型的平原型淤泥质潮滩,在自然和人为影响下其景观结构不断发生变化。目前, 关于黄河三角洲的景观演变已开展大量研究,且这些研究已涉及区域湿地景观格局动态变化<sup>[7]</sup>、河口区域冲 淤变化和滩涂演变<sup>[8-9]</sup>、自然驱动下海岸线变迁<sup>[10-12]</sup>以及人类活动对区域景观格局变化的影响<sup>[13]</sup>等。尽管 这些研究已从不同角度揭示了黄河三角洲湿地的景观演变特征,但关于岸线变迁对不同区域潮滩盐沼景观格 局异质性的研究还比较缺乏,而关于不同区域岸线变迁与潮滩植被景观格局异质性之间的动因关系研究还较 少。此外,自2002年开始实施的黄河调水调沙工程在水沙输运、防洪冲淤和改善河口生态等方面取得了明显 成效,但就调水调沙工程长期实施对于河口区域岸线变迁和潮滩景观异质性影响的研究还鲜有报道。鉴于 此,基于2001、2005和2010年3期TM遥感影像,运用GIS技术,分析了黄河三角洲不同区域(Ⅰ区,刁口段; Ⅱ区,东营港及临近岸段;Ⅲ区,河口段;Ⅳ区,南部莱州湾岸段)潮滩盐沼的景观演变与海岸线变迁的动因关 系,研究结果可为黄河口潮滩盐沼的保育与科学管理提供重要科学依据。

#### 1 研究区域和研究方法

1.1 研究区域

现代黄河三角洲 (37°40′ N—38°10′ N,118°41′ E—119°16′ E) 主要位于东营市和滨州市境内 属暖温 带季风气候区 具有明显的大陆性季风气候特点。该区年平均气温 12.1 ℃,无霜期 196 d,≥10 ℃的年积温

约4300 ℃ 年均蒸发量 1962 mm 年均降水量为 551.6 mm ,70% 的降水集中于 7、8 月 ,其独特的地理位置和 气候特征在世界范围内的湿地生态系统中具有较强的代表性。研究区土壤类型主要为隐域性潮土和盐 土<sup>[14]</sup> 植被以盐生植被为主 ,植物种群组成简单 ,主要以芦苇(*Phragmites australis*)、柽柳(*Tamarix chinensis*)、碱蓬(*Suaeda salsa*)为主。本文选取现代黄河三角洲的潮滩盐沼作为研究对象 ,通过遥感水边线确定海岸线 范围 ,以平均高潮线和低潮线作为潮滩盐沼的分界线 ,其中 3 期图像均以 2001 年的平均高潮线为陆上分界线 以保证陆上面积的一致。

1.2 研究方法

1.2.1 数据来源

本文采用黄河三角洲 2001、2005 和 2010 年空间分辨率为 30 m 的 3 期 TM 影像数据、1:5 万地形图数据 以及现场踏勘数据。以 ArcGIS 和 ENVI 为技术平台 通过目视解译对研究区域景观类型进行划分(通过野外 现场踏勘检验 遥感影像解译精度均在 85% 以上)。3 期 TM 影像所使用的坐标系均为高斯-克吕格 6 度分带 的北京 1954 坐标系。利用 ArCGIS 软件的空间分析中的叠加分析功能计算景观类型转移和变化趋势。水沙 数据来源于黄河水利委员会 2001—2010 年黄河水沙公报。

1.2.2 景观分类

景观格局演变的研究需要确定一个景观分类标准,依据此标准对目标区域进行分类,从而实现不同时期 景观格局的比较研究。本文参照国内外已有相关研究<sup>[15-18]</sup>,参照 Ramsar《湿地公约》中的湿地定义,结合研究 区域的实际情况和本研究目的,将黄河口潮滩盐沼区域的景观分类系统确定为光滩(BF)、碱蓬盐沼(JP)、碱 蓬-柽柳-芦苇盐沼(JCL)、芦苇盐沼(LW)、盐碱地(YJ)、河库沟渠(HG)、潮沟(TC)、盐田养殖池(YZ)和居民 工矿用地(JG)9种类型。根据黄河三角洲滨海区域冲淤演变规律,将研究区划分为4个区,即Ⅰ区(刁口 段),Ⅱ区(东营港及附近岸段),Ⅲ区(河口段),Ⅳ区(南部莱州湾岸段)(图1)。



图 1 2001—2010 年黄河三角洲海岸线变迁 Fig. 1 Changes of coastline in the Yellow River Delta during 2001—2010

#### 2 结果

2期

#### 2.1 岸线变迁与潮滩盐沼面积变化

2001—2010年,黄河三角洲岸线总长度增长,增长量为 22.13 km,增长率平均为 2.21 km/a(表 1)。其中 2001—2005年增长了 13.60 km,年均增长率为 2.72 km/a; 2005—2010年增长了 8.53 km,年均增长率为 1.71 km/a。就不同区域而言,Ⅲ区(河口段)岸线整体呈增长趋势,但仅其北汊沙嘴区域呈向海淤积趋势,而偏南的大沙嘴则呈持续侵蚀状态。 I 区(刁口段)岸线整体呈增长趋势,但仅其北汊沙嘴区域呈向海淤积趋势,而偏南的大沙嘴则呈持续侵蚀状态。 I 区(刁口段)岸线整体呈减少趋势,而 II 区(东营港及附近岸段)和 IV 区(南部莱州湾岸段)的岸线相对稳定,其增长或缩小均不明显。就潮滩面积而言 2001、2005和 2010年潮滩盐沼面积分别为 652.03 km<sup>2</sup> 672.17 km<sup>2</sup>和 673.75 km<sup>2</sup>,研究时期内年均增长 2.17 km<sup>2</sup>,年增长率为 0.33%(表 1)。其中 2001—2005年潮滩盐沼面积增加 20.14 km<sup>2</sup>,年均增长率为 0.62%,高于 2005—2010年潮滩面积的年均增长率(0.05%)。与岸线变迁规律一致,潮滩盐沼面积的变化主要发生在 I 区和 III 区。其中 I 区潮滩盐沼面积由 2001年的 222.18 km<sup>2</sup>缩减为 2005年的 174.06 km<sup>2</sup>,并持续缩减为 2010年的 164.54 km<sup>2</sup>,年均缩减 5.76 km<sup>2</sup>。 III 区由 2001年的 380.54 km<sup>2</sup>持续增加为 2010年446.71 km<sup>2</sup>,年均增长 6.62 km<sup>2</sup>。比较而言 2001—2005年 I 区潮滩盐沼面积略有减少(3.16 km<sup>2</sup>),处于基本稳定状态; IV 区在 2001—2010年的潮滩盐沼面积则持续增加,年平均增加 1.64 km<sup>2</sup>。

Table 1      Changes of coastline and salt marsh in the Yellow River Delta							
年份	岸线长度/km		陆地面积总计/km <sup>2</sup>				
Year	Coastline	Ι	Ш	Ш	IV	Land Area	
2001	184.52	222.18	32.14	380.54	17.17	652.03	
2005	198.12	174.06	29.22	440.92	27.97	672.17	
2010	206.65	164.54	28.98	446.71	33.52	673.75	

表1 海岸线长度与潮滩盐沼面积变化

海岸线长度为整个研究区的岸线;Ⅰ—Ⅳ:Ⅰ—Ⅳ研究区

#### 2.2 潮滩盐沼景观类型分布

不同区域潮滩盐沼主要景观类型分布均表现为随距海远近呈明显带状分布,由近及远依次为光滩、碱蓬 盐沼、碱蓬-柽柳-芦苇盐沼和芦苇盐沼(图2)。

2001、2005 和 2010 年 3 个时期不同景观类型的面积分布及所占比例基本一致,其中 2001 年面积及比例 最大的景观类型为芦苇盐沼(30.36%),其次为光滩(23.76%)、碱蓬盐沼(21.93%)和碱蓬-柽柳-芦苇盐沼 (21.75%) 2005 年面积及比例最大的景观类型为碱蓬-柽柳-芦苇盐沼(21.75%),其次为光滩(22.34%)、芦 苇盐沼(20.56%)和碱蓬盐沼(19.83%),2010 年面积及比例最大的景观类型为碱蓬-柽柳-芦苇盐沼(26. 36%),其次为光滩(21.86%)、碱蓬盐沼(18.50%)和芦苇盐沼(14.66%),4种景观类型面积占区域潮滩面 积的 80%以上。2001—2010 年,光滩、碱蓬盐沼和芦苇盐沼呈持续减少趋势,面积分别由 2001 年的 154.93、 143.02 km<sup>2</sup>和197.95 km<sup>2</sup>减少为 2010 年的 147.31、124.63 km<sup>2</sup>和98.75 km<sup>2</sup>,年均减少率为0.49%、1.29% 和 5.01%,碱蓬-柽柳-芦苇盐沼则呈波动变化,面积由 2001 年的 142.08 km<sup>2</sup>增加为 2005 年的 186.03 km<sup>2</sup>,到 2010 年略微减少为 177.58 km<sup>2</sup>。就其他景观类型而言,研究时期内的盐田养殖池、河库沟渠、盐碱地以及居 民工矿用地的面积均呈不同程度的增长,且以盐田养殖池的增长速率最快(2010 年较 2001 年增长了 23.18 倍)。河库沟渠和居民工矿用地的面积及比例亦呈明显的增长趋势(所占比例分别增长了 8.08% 和 0.78%)。

#### 2.3 潮滩盐沼景观动态变化

整体来说,光滩、碱蓬盐沼和芦苇盐沼面积在2001—2005 年间呈减少趋势(表2、图3)。



图 2 不同时期黄河口潮滩盐沼景观类型分布

Fig. 2 Landscape distribution of salt marshes in the Yellow River Delta in 2001 , 2005 and 2010

表 2	潮滩盐沼景观类型分布

Table 2 The landscape distribution of coastal marsh in the Yellow River Delta

年份 Year	研究区 Region	<mark>光滩</mark> BF/km <sup>2</sup>	潮沟 TC/km <sup>2</sup>	碱蓬盐沼 JP/km <sup>2</sup>	碱蓬-柽柳 -芦苇盐沼 JCL/km <sup>2</sup>	芦苇盐沼 LW/km <sup>2</sup>	河库沟渠 HG/km <sup>2</sup>	盐田养 殖池 YZ/km <sup>2</sup>	<b>盐碱地</b> YJ/km <sup>2</sup>	居民工矿 用地 JG/km <sup>2</sup>	总计 Total/km <sup>2</sup>
2001	Ι	51.31	13.77	47.59	66.83	39.20	_	0.59	2.49	0.4	222.18
	П	10.50	1.32	6.80	7.88	5.52	_	_	_	0.12	32.14
	Ш	64.68	8.31	82.34	63.21	151.55	8.83	1.62	_	_	380.54
	IV	4.19	0.85	6.29	4.16	1.68	_	—	—	—	17.17
	总计	130.68	24.25	143.02	142.08	197.95	8.83	2.21	2.49	0.52	652.03
2005	Ι	39.07	6.67	30.94	63.51	23.97	3.71	0.57	4.46	1.16	174.06
	П	11.57	1.52	3.38	6.23	5.86	_	_	_	0.66	29.22
	Ш	75.62	9.02	88.44	109.66	108.40	12.51	34.82	2.36	0.09	440.92
	IV	6.15	0.51	10.51	6.63	—	—	4.17	—	—	27.97
	总计	130.41	17.72	133.27	186.03	138.23	16.22	39.56	6.82	1.91	672.17
2010	Ι	31.39	9.17	25.31	60.22	16.33	4.67	11.56	4.79	1.1	164.54
	Ш	9.17	0.65	5.04	8.73	3.77	0.51	—	_	1.11	28.98
	Ш	77.24	12.53	82.04	101.57	76.77	58.24	34.58	3.04	0.7	446.71
	IV	6.86	0.30	12.24	7.06	1.88	0.10	5.08	—	—	33.52
	总计	124.66	22.65	124.63	177.58	98.75	63.52	51.22	7.83	2.91	673.75

BF: Bare Flat; TC: Tidal Creek; JP: JianPeng Salt Marsh; JCL: JianPeng-Chengliu-Luwei Salt Marsh; LW: Luwei Salt Marsh; HG: Hekugouqu; YZ: Yantian-Yangzhichi; YJ: Yanjian Field; JG: Jumingongkuangdi

比较而言,I区光滩面积的减少最为剧烈,由 51.31 km<sup>2</sup>减少为 39.07 km<sup>2</sup>,减少率为 23.85%。而 III 区的 光滩面积存在一定程度的增长 5 年间增长了 10.94 km<sup>2</sup>。与此同时,I 区的芦苇盐沼景观面积减少了 15.23 km<sup>2</sup>,III 区减少了 43.15 km<sup>2</sup>,这两个区域贡献了潮滩芦苇盐沼面积变化的 97.76%。碱蓬盐沼变化同样发生 I 区和 III 区 其中 I 区碱蓬盐沼减少 16.65 km<sup>2</sup> 而 III 区碱蓬盐沼增加 6.10 km<sup>2</sup>。相比之下,II 区和 IV 区的光 滩、碱蓬盐沼和芦苇盐沼面积的变化均不明显。在景观转化方面,因海岸蚀退造成的光滩面积减少了 35.24

km<sup>2</sup>,占其全部转移面积的 40.03%。同时,约有 57.45 km<sup>2</sup>的光滩随植被演替转换为碱蓬盐沼、碱蓬-柽柳-盐 沼盐沼和芦苇盐沼,转换面积分别为 7.54、22.20 km<sup>2</sup>和 12.71 km<sup>2</sup>。芦苇盐沼主要转换为碱蓬-柽柳-芦苇盐 沼,转换面积为 43.27 km<sup>2</sup>,占其全部转移面积的 43.19%,另有 36.47 km<sup>2</sup>的芦苇盐沼转换为盐田养殖池,占 其全部转移面积的36.40%。碱蓬盐沼减少主要是转化为碱蓬-柽柳-芦苇盐沼(31.67 km<sup>2</sup>)和光滩(23.66 km<sup>2</sup>)的缘故。2001—2005 年,I 区碱蓬-柽柳-芦苇盐沼略有减少(3.32 km<sup>2</sup>),Ⅲ区碱蓬-柽柳-芦苇盐沼则呈 明显增加(46.45 km<sup>2</sup>),这两个区域贡献了潮滩碱蓬-柽柳-芦苇盐沼面积变化的 98.13%。Ⅲ区碱蓬-柽柳-芦 苇盐沼的增长主要取决于芦苇盐沼的转化(43.27 km<sup>2</sup>),占新增面积的 41.18%(表3)。

	Table 5	Danuscap	c conversion	matrix of coast	ai wettanu i	in the rene			001 10 201	0	
	光滩 BF/km <sup>2</sup>	潮沟 TC/km <sup>2</sup>	碱蓬盐沼 JP/km <sup>2</sup>	碱蓬-柽柳 -芦苇盐沼 JCL/km <sup>2</sup>	芦苇 盐沼 LW/km <sup>2</sup>	河库 沟渠 HG/km <sup>2</sup>	盐田 养殖池 YZ/km <sup>2</sup>	盐碱地 YJ/km <sup>2</sup>	居民 工矿地 JG/km <sup>2</sup>	减少 Decrease/ km <sup>2</sup>	总计 Total/ km <sup>2</sup>
2001—2005											
光滩 BF	50.64	2.18	7.54	22.20	12.07	0.13	0.00	0.04	0.64	35.24	130.68
潮沟 TC	6.23	8.82	0.82	2.45	0.78	0.01	0.12	0.00	0.02	5.00	24.245
碱蓬盐沼 JP	23.66	2.1	75.9	31.67	6.13	0.6	0.01	0.0	0.03	2.92	143.02
碱蓬-柽柳-芦苇 盐沼 JCL	8.74	1.51	29.78	80.31	13.82	0.75	0.7	2.09	0.39	3.99	142.08
芦苇盐沼 LW	0.95	0.69	1.52	43.27	97.76	10.95	36.47	2.69	0.00	0.65	197.95
河库沟渠 HG	0.55	0.85	0.44	0.58	1.9	3.78	0.00	0.00	0.00	1.73	8.83
盐田养殖池 YZ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.73	0.19	0.00	0.29	2.21
盐碱地 YJ	0.06	0.08	0.00	0.6	0.54	0.00	0.00	1.08	0.13	0.00	2.49
居民工矿地 JG	0.06	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.07	0.00	0.52
增加 Increase	41.52	1.49	17.24	4.46	5.23	0.00	0.53	0.37	0.84		
总计 Total	130.41	17.72	133.27	186.03	138.23	16.22	39.56	6.82	1.91		
2005—2010											
光滩 BF	51.68	3.34	25.85	9.73	5.42	1.17	0.80	0.00	0.23	34.19	132.41
潮沟 TC	2.39	8.47	0.70	1.73	0.28	1.46	0.10	0.00	0.00	2.59	17.72
碱蓬盐沼 JP	10.99	2.63	64.58	27.58	6.20	2.68	1.93	0.99	0.01	6.68	133.27
碱蓬-柽柳-芦苇 盐沼 JCL	14.51	4.01	33.64	76.65	27.13	14.31	10.47	0.61	0.00	2.70	186.03
芦苇盐沼 LW	1.26	1.01	0.83	45.04	48.74	33.87	5.76	2.63	0.26	1.83	138.23
河库沟渠 HG	0.69	0.49	0.51	2.88	1.23	5.84	0.71	0.00	0.00	3.87	16.22
盐田养殖池 YZ	0.00	0.00	0.00	7.72	1.22	0.00	30.61	0.00	0.00	0.01	39.56
盐碱地 YJ	0.00	0.00	0.00	0.00	3.28	0.00	0.00	3.10	0.19	0.25	6.82
居民工矿地 JG	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	1.16	0.51	1.91
增加 Increase	36.13	2.68	4.26	5.78	6.09	4.15	0.73	0.00	1.06		
总计 Total	117.66	22.65	124.63	177.58	98.75	63.52	51.22	7.83	2.91		

表3	2001-2005	;年潮滩景观类型面积转移矩阵
----	-----------	----------------

Table 3 Landscape conversion matrix of coastal wetland in the Yellow River Delta from 2001 to 2010

元素 A<sub>ii</sub>代表从 2001 年到 2010 年潮滩盐沼景观类型 i 转化为 j 的面积; 增加/减少为海岸淤积/侵蚀所造成的各景观类型面积的增加/减少

2005—2010 年,光滩、碱蓬盐沼和芦苇盐沼面积继续减少。就不同区域而言,I区的光滩面积继续减少, 由 39.07 km<sup>2</sup>减少为 31.39 km<sup>2</sup>。Ⅲ区的光滩面积在此间增长了 1.62 km<sup>2</sup>,增加量较 2001—2005 年低 9.32 km<sup>2</sup>。与此同时,I区的芦苇盐沼面积减少了 7.64 km<sup>2</sup>,而Ⅲ区的芦苇盐沼面积减少了 31.63 km<sup>2</sup>,这两个区 域贡献了潮滩芦苇盐沼面积变化的 99.47%。碱蓬盐沼变化同样发生 I 区和Ⅲ区,其中 I 区碱蓬盐沼减少 5. 63 km<sup>2</sup>,而Ⅲ区碱蓬盐沼减少 6.40 km<sup>2</sup>。相比之下,Ⅱ区和Ⅳ区的光滩、碱蓬盐沼和芦苇盐沼面积的变化均不 明显。在景观转换方面,因海岸蚀退造成的光滩面积减少了 34.19 km<sup>2</sup>,占其全部转移面积的 42.35%。同

时 约有 46.54 km<sup>2</sup>的光滩随植被演替转化为碱蓬盐沼、碱蓬-柽柳-芦苇盐沼和芦苇盐沼 ,转化面积分别为 25.85、9.73 km<sup>2</sup>和 5.42 km<sup>2</sup>。芦苇盐沼减少的主因是转化为碱蓬-柽柳-芦苇盐沼 ,转化面积为 45.04 km<sup>2</sup> ,占 全部转移面积的 50.33% ,另外 ,芦苇盐沼中有 33.87 km<sup>2</sup>转化为河库沟渠 ,占其全部转移面积的 37.85%。碱 蓬-柽柳-芦苇盐沼在此间略减的原因主要是转化为碱蓬盐沼(33.64 km<sup>2</sup>) 和芦苇盐沼(27.13 km<sup>2</sup>)(表3)。

![](_page_6_Figure_3.jpeg)

![](_page_6_Figure_4.jpeg)

**Fig.3** Expansion/contraction trends of landscape to seaward and to landward direction in 2001, 2005, 2010 以 2001 年海岸线为基准线 计算不同时期不同景观类型距离海岸线的平均距离 其中向陆方向为负 向海方向为正

比较而言, I 区 4 种主要景观类型随岸线的变化规律基本一致 均表现为持续向陆方向变化。其中,光滩 向陆平均移动 2.58 km 碱蓬盐沼向陆平均移动距离为 1.79 km 碱蓬-柽柳-芦苇盐沼和芦苇盐沼向陆平均移 动距离分别为 1.42km 和 1.12 km 光滩受岸线变化的影响最大。在 III 区 4 种景观类型均表现为持续向海方 向变化。其中,光滩平均向海推进距离为 2.58 km 碱蓬盐沼向海平均推进距离为 1.95 km 碱蓬-柽柳-芦苇盐 沼和芦苇盐沼向海平均推进距离分别为 2.16km 和 1.32km,亦是光滩受岸线变化的影响最大。此外, III 区在 2001—2005 年的岸线淤积速率(229.55 m/a) 低于 2005—2010 年(287.25 m/a),这可能与黄河调水调沙的长 期实施有关。

#### 2.4 相关性分析

对研究年份内潮滩湿地面积与年输沙量、年输水量及岸线长度进行相关性分析,结果表明,湿地面积与黄河年输沙量( $r=0.855^*$ )和区域海岸线长度( $r=0.910^*$ )达到了极显著正相关水平(P < 0.01),而其与黄河年输水量(r=0.226)之间的相关性未达到显著水平(P > 0.05)。可见,黄河入海泥沙量和海岸线长度对潮滩湿地面积的影响程度要高于黄河年输水量对潮滩湿地面积的影响程度。

#### 3 讨论

黄河三角洲是中国乃至世界各大河三角洲中海陆变迁最活跃的地区,其面积在河流泥沙淤积和海洋动力 侵蚀的双重作用下逐年发生变化<sup>[19]</sup>。黄河三角洲各海岸段的淤积与侵蚀历史各不相同,各海岸段的底质、地 形、地貌、水动力学特征、冲淤状态等各有差别<sup>[20]</sup>,由此导致其岸线变化及潮滩盐沼面积具有明显的空间异质 性。北部刁口段(I区)属蚀退型海岸,该岸段自黄河1976年改道清水沟流路后,由于失去了泥沙来源的有 效补给,加之沉积物以粉砂为主,呈较松散状态,稳定性较差<sup>[21]</sup> 极易受到海洋动力侵蚀而导致岸线蚀退以及 潮滩盐沼面积的减少。尽管近几年的侵蚀速率已有所降低,但仍属侵蚀较强烈的岸段<sup>[5]</sup>。本研究亦得到类 似的研究结果 2001—2010 年 I 区潮滩盐沼面积持续减少,且 2001—2005 年的减少速率高于 2005—2010 年 潮滩盐沼的减少速率。研究还表明,2001—2010 年 III 区潮滩盐沼面积持续增加,且 2001—2005 年的增加速 率高于 2005—2010 年潮滩盐沼的增加速率。现行河口段(III区)的岸线变迁与潮滩盐沼面积变化取决于两 方面原因:一是清水沟流路自 1996 年改道清 8 汊后,老河口因失去水沙供应,区域海洋水动力作用使其受到 持续侵蚀。又因该区的泥沙颗粒较细,极易被波浪掀起,从而引起口门附近淤积缓慢,而老河口附近近于往复 流,流速较大,造成岸段进一步侵蚀后退<sup>[8]</sup>;二是河口段改道清 8 汊之后,黄河携带泥沙向海淤积 – 延伸 – 摆 动和侵蚀同时存在,侵蚀速率较慢,该区域总体呈淤积状态。黄河入海水沙量年际变化足III区岸线的淤积和

潮滩盐沼面积变化的重要影响因素。据利津站水沙观测数据可知(图4),自2002年开始的调水调沙工程极大的增加了黄河的水沙输运能力,其年总径流量和年输沙量分别由2001年的46.53亿m<sup>3</sup>和0.20亿t增加为2010年的195.63亿m<sup>3</sup>和1.68亿t,这显著增加了黄河河口段的淤积速率。其中2001—2005年黄河入海年平均输沙量为1.78亿t,高于2005—2010年的年平均输沙量(1.33亿t),这在一定程度上解释了现行河口段2001—2005年的增加速率高于2005—2010年的原因。在本研究中,东北部东营港及附近岸段(II区)属于基本稳定岸段,这是该区域由于防潮岸堤的构建,使海岸蚀退得到了有效控制,另外有研究表明<sup>[9]</sup>,受渤海冷流南下的影响,现行河口区域的入海水沙通过潮流和风力的作用难以输运到II区导致区域潮滩未出现淤积。本研究中,莱州湾岸段(IV区)潮滩盐沼面积在研究时期内略有增加,这种变化一方面由于防潮岸堤的构建,使海岸蚀退得到了有效控制;另一方面可能是由于清水沟区域持续蚀退,侵蚀的泥沙在水动力作用下不断输运到IV区而导致该区域面积呈增加的趋势<sup>[16]</sup>。

![](_page_7_Figure_2.jpeg)

图 4 2001—2010 年黄河入海年总径流量和年总输沙量 Fig. 4 Annual runoff and sediment discharge of the Yellow River Delta from 2001 to 2010 以 2001 年海岸线为基准线, 计算不同时期不同景观类型距离海岸线的平均距离, 其中向陆方向为负, 向海方向为正

岸线变迁直接导致了潮滩盐沼沉积物水分、盐分以及理化性质的差异,进而决定了植被分布的景观格局。 已有研究表明 黄河三角洲潮滩盐沼的盐分含量和海拔均表现出明显的空间分异 其在岸线垂直方向上的分 布代表了盐生植被的演替序列 这导致黄河口潮滩盐沼植被分布表现为随距海远近和海拔高低呈明显带状分 布<sup>[3]</sup>。这与本研究不同区域内随距海远近不同,光滩、碱蓬盐沼、碱蓬--柽柳--芦苇盐沼和芦苇盐沼呈明显带状 分布的研究结果相一致。李兴东对黄河三角洲植物群落与环境因子间对应关系的研究表明 植被的动态变化 与沉积物水盐及有机质含量的动态变化显著相关,而水盐动态是植被演替的重要制约因素[22-24]。吴志芬等 对该区盐生植被与土壤盐分的定量研究表明 盐生植被的类型、空间分布、植株所含化学成分、生物累积强度 以及演替等与土壤含盐量密切相关<sup>[25]</sup>。从高盐分的沿海光滩开始,随距海距离增加,在盐分有所降低情况 下 较先形成一年生的盐生碱蓬群落。随着碱蓬群落的生长以及滩面高程的增加 尽管地下水埋深增加 但沉 积物盐分并无太大改变。而柽柳等一些多年生盐生植物由于种子萌发后可迅速形成发达根系 因此具有更强 的适应性 使得碱蓬群落逐渐被柽柳所取代而演替为碱蓬 – 柽柳群落或柽柳群落。柽柳的生长加快了沉积物 的脱盐过程 随着沉积物盐分的进一步降低 一些耐盐能力稍低的植物表现出更明显的竞争力 使得柽柳群落 逐渐演替为柽柳--芦苇群落。反之 随着岸线蚀退,海水入侵以及沉积物盐分的增加,上述植被正向演替将发 生逆向演替代<sup>[26]</sup>。整体而言 在海岸淤积区域 随着岸线向海推进 植被类型表现出正向演替的趋势且向海 推进 而在海岸蚀退区域 植被类型表现为逆向演替且向陆推进 这与本研究不同区域中各景观类型的转移规 律相一致。本文研究还发现 在河口淤积段 2001—2005 年各植被类型向海方向演替的速率明显低于 2005— 2010年,这可能与黄河调水调沙工程的长期实施有关。前述可知,黄河自2002年调水调沙后,每年入海的水 沙量大幅增加(图4) 黄河入海的年总径流量和年输沙量由调水调沙工程之前的46.53 亿 m<sup>3</sup>和 0.20 亿 t

(2001 年) 急速增加为调水调沙之后的 192.96 亿 m<sup>3</sup>和 3.69 亿 t(2003 年) ,尽管 2003 年之后年输沙量有一定 程度的减少 ,但总体仍维持在较高的水平上(2009 年最低为 0.57 亿 t) ,而调水调沙之后黄河入海年总径流量 则一直稳定在 >100 亿 m<sup>3</sup>的水平。黄河入海水沙量的增加一方面加快了河口的淤积速率 ,导致黄河造陆速 率加快 陆地面积的增加为植被快速发育和演替提供了基础; 另一方面 ,由于黄河在调水调沙过程中携带大量 淡水入海 ,大量淡水的输入可在一定程度上降低新生潮滩的盐分含量 ,从而更易于植被的发育与演替。

4 结论

(1) 2001—2010 年黄河三角洲海岸线总长度增长,研究区总面积增加。刁口段岸线侵蚀较严重,陆地面积持续减少;河口段岸段淤积和蚀退同时存在,但海岸线和湿地面积总体均呈增长趋势。

(2)岸线变迁直接决定了潮滩盐沼面积的增长或缩减,但其在不同区域的影响程度差异较大,变化主要发生在Ⅰ区和Ⅲ区。岸线变迁明显影响潮滩景观格局的变化,植被类型的向海或向陆演替方向与岸线淤积或 蚀退相一致。

(3)黄河调水调沙工程长期实施一定程度上影响了河口段的淤积速率和植被景观类型的演替速率。

参考文献(References):

- [1] 侯明行,刘红玉,张华兵,王聪,谭清梅. 地形因子对盐城滨海湿地景观分布与演变的影响. 生态学报,2013,33(12): 3765-3773.
- [2] 李元芳,黄云麟李拴科.近代黄河三角洲海岸潮滩地貌及其沉积的初步分析.海洋学报,1991,13(5):662-671.
- [3] 邓伟, 白军红. 典型湿地系统格局演变与水生态过程 以黄淮海地区为例. 北京: 科学出版社, 2012: 105-105.
- [4] 白军红,欧阳华,杨志峰,崔保山,崔丽娟,王庆改.湿地景观格局变化研究进展.地理科学进展,2005,24(4):36-45.
- [5] 白军红,欧阳华,崔保山,王庆改,陈辉.近40年来若尔盖高原高寒湿地景观格局变化.生态学报,2008,28(5):2245-2252.
- [6] 吴大千. 黄河三角洲植被覆被分布特征及其动态变化研究[D]. 济南: 山东大学, 2007.
- [7] 宗秀影,刘高焕,乔玉良,林松.黄河三角洲湿地景观格局动态变化分析.地球信息科学学报,2009,11(1):91-97.
- [8] 杨伟. 现代黄河三角洲海岸线变迁及滩涂演化. 海洋地质前沿, 2012, 28(7): 17-23.
- [9] 赵庚星,张万清,李玉环,陈乐增.GIS支持下的黄河口近期淤、蚀动态研究.地理科学,1999,19(5):442-445.
- [10] 何庆成, 张波, 李采. 基于 RS、GIS 集成技术的黄河三角洲海岸线变迁研究. 中国地质, 2006, 33(5): 1118-1123.
- [11] 尹延鸿,周永青,丁东.现代黄河三角洲海岸演化研究.海洋通报,2004,23(2):32-40.
- [12] 崔承琦,李师汤,孙晓霞,施建堂,范德江.黄河三角洲海岸岸线和潮水沟体系发育及其分维研究──黄河三角洲潮滩海岸时空谱系研究Ⅲ.海洋通报,2001,20(6):60-70.
- [13] 陈菁,傅新,刘高焕.黄河三角洲景观变化中人为影响力的时空分异.水土保持学报,2010,24(1):134-138.
- [14] 姜欢欢, 孙志高, 王玲玲, 牟晓杰, 孙万龙, 宋红丽, 孙文广. 秋季黄河口滨岸潮滩湿地系统 CH<sub>4</sub>通量特征及影响因素研究. 环境科学, 2012, 33(2): 565-573.
- [15] 刘永学,张忍顺,李满春.江苏淤泥质潮滩地物信息遥感提取方法研究.海洋科学进展,2004,22(2):210-214.
- [16] 郭笃发. 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, 2005, 24(8): 907-912.
- [17] 邵秋玲,解小丁,李法曾.黄河三角洲国家级自然保护区植物区系研究.西北植物学报,2002,22(4):947-951.
- [18] 孙贤斌,刘红玉.土地利用变化对湿地景观连通性的影响及连通性优化效应──以江苏盐城海滨湿地为例.自然资源学报,2010,25
  (6): 892-903.
- [19] 张波,赵艳.黄河三角洲重大环境地质问题研究.北京:中国石油大学出版社,2007.
- [20] 田家怡,王民,窦洪云,蔡学军,焦玉木.黄河断流对三角洲生态环境的影响与缓解对策的研究.生态学杂志,1997,16(3):39-44.
- [21] 杨中华,王卫东,马浩录.遥感监测调水调沙对黄河河口尾闾的影响.水利水运工程学报,2006,(3):65-68.
- [22] 张治国,王仁卿,王清.黄河三角洲植被的主要类型及其群落学特征.山东大学学报:自然科学版,1993,28(增刊):29-42.
- [23] 王红,宫鹏,刘高焕.黄河三角洲多尺度土壤盐分的空间分异.地理研究,2006,25(4):649-658.
- [24] 李兴东. 典范分析法在在黄河三角洲莱州湾滨海区盐生植物群落研究中的应用. 植物生态学报, 1988, 12(4): 300-305.
- [25] 吴志芬,赵善伦,张学雷.黄河三角洲盐生植被与土壤盐分的相关性研究.植物生态学报,1994,18(2):184-193.
- [26] 叶庆华. 黄河三角洲土地利用土地覆被变化的时空复合分析 [D]. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所, 2001.