



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2016.02.001

王富强, 王利娇, 彭勃, 等. 水沙变异对黄河三角洲湿地面积演变的影响[J]. 2016, 14(2): 01-05, 25.

WANG Fu qiang, WANG Li jiao, PENG Bo, et al. Effect of flow and sediment variation on the Yellow River Delta wetland area evolution [J]. 2016, 14(2): 01-05, 25. (in Chinese)

水沙变异对黄河三角洲湿地面积演变的影响

王富强^{1,2}, 王利娇¹, 彭勃³, 郭文¹

(1. 华北水利水电大学, 郑州 450045; 2. 水资源高效利用与保障工程河南省协同创新中心, 郑州 450046;
3. 黄河水资源保护科学研究院, 郑州 450004)

摘要: 水沙过程是塑造湿地生态系统结构与功能的重要驱动力, 控制着湿地的形成与演化。利用 1976 年- 2014 年近 40 年黄河三角洲湿地面积变化的遥感影像数据, 系统分析湿地面积、湿地重心和南北区域湿地类型的动态变化特征。研究结果显示: 近 40 年来黄河三角洲人工湿地面积增加约 1 000 倍, 自然湿地面积呈波动下降趋势, 减少约 41.9%; 芦苇、滩涂、养殖及盐田湿地等典型湿地面积重心整体由西北向东南方向位移; 南北部区域的湿地类型的演变出现呈现较为明显的差异特征, 其中北部芦苇湿地、滩涂湿地面积呈减少趋势, 南部芦苇湿地面积整体呈增加趋势, 滩涂湿地面积先增加后减少。研究结果可为水沙变异条件下黄河三角洲湿地生态系统的保护与修复提供科学依据。

关键词: 黄河三角洲; 水沙变异; 湿地面积; 湿地重心; 湿地类型

中图分类号: X171 文献标志码: A 文章编号: 1672-1683(2016)02-0001-05

Effect of flow and sediment variation on the Yellow River Delta wetland area evolution

WANG Fu qiang^{1,2}, WANG Li jiao¹, PENG Bo³, GUO Wen¹

(1. North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450045, China; 2. The Efficient Utilization of Water Resources and the Protection Engineering of Henan Province Synergy Innovation Center, Zhengzhou 450046, China;
3. Yellow River Water Resources Protection Institute, Zhengzhou 450004, China)

Abstract: Flow and sediment process controlled the formation and evolution of wetlands. They were recognized as significant driving forces of shaping structure and function of wetland ecosystems. In this paper, the dynamic changes were studied about the area, center of gravity and wetland types of delta wetland, based on the remote sensing data of the Yellow River Delta wetland area from 1976 to 2014. The results showed that constructed wetland area had remarkably increased 1000 times. However, natural wetland area had reduced 41.9% with fluctuation during the 40 years. The gravity center of reed, beach land, culture and salt field wetlands had shifted from northwest to southeast. There were significant difference between south and north of wetland evolution. Northern reed and beach land areas had a decreasing trend. While reed wetland area showed an increasing trend, and beach land area firstly increased, then decreased in southern. The results may provide a scientific basis for protection and restoration of the Yellow River Delta wetland ecosystem under the condition of flow and sediment variation.

Key words: the Yellow River Delta; flow and sediment variation; wetland area; wetland center of gravity; wetland type

收稿日期: 2016-02-22 修回日期: 2016-03-14 网络出版时间: 2016-04-14

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20160414.1505.031.html>

基金项目: 国家自然科学基金(51579101; 51379078); 河南省高校科技创新人才支持计划(15HASTIT044)

Fund: National Natural Science Foundation of China(51579101; 51379078); Technological Innovation Talent Support Program in Colleges and Universities in Henan Province(15HASTIT044)

作者简介: 王富强(1979), 男, 河南济源人, 副教授, 博士, 主要从事水循环模拟与调控、生态水文学等方面研究。E-mail: fortunewang@163.com

湿地在提供水资源、调节气候、涵养水源、促淤造陆、降解污染物、保护生物多样性以及为人类提供生产、生活资源等方面发挥着重要作用^[1-3]，它是人类重要的环境资源之一，被誉为“地球之肾”。黄河携带泥沙不断淤积、填海造陆，加上河口摆动和河堤决口、改道，在黄河三角洲区域形成了我国面积最大且仍在动态发展的黄河三角洲湿地^[4]。在黄河独特的水沙条件和渤海弱潮的综合作用下，黄河三角洲湿地变化十分频繁，同时表现出了生态系统不稳定和生态平衡脆弱等特征。

黄河三角洲湿地是中国暖温带最年轻、保存最完整、分布最广阔的湿地生态系统^[5-6]。几十年来，黄河水沙环境一直处于变化当中^[7]，也因此促进黄河三角洲湿地的演变^[8]。2002 年进行调水调沙实验，从而改变黄河水沙条件^[9]，水沙条件变化必然引起黄河三角洲湿地的演变响应。姚前前等运用 GIS 技术定量分析调水调沙对河口冲淤的影响机制^[10-11]；陈建等基于景观生态学原理，借助遥感技术探讨了现代黄河三角洲湿地的变化特征^[12]，而未对湿地演变原因进行定量分析；张爱静等研究了黄河调水调沙对河口段生态水文情势的影响^[13]及湿地景观格局的影响^[14]，讨论湿地时空变化对水沙的反馈机制；孙晓宇等定量分析了人类活动条件下黄河三角洲湿地资源的数量、变化速度、类型转换等^[15]的特征；孙才志等定性、定量的分析了在气候因子、地下水埋深及人类活动的条件下绕阳河湿地的类型转换和重心变化的特征^[16]。而关于长时间序列的水沙变异条件下黄河三角洲湿地演变的影响研究相对较少。因此，本研究运用遥感技术与 GIS 结合的方法更全面的分析黄河三角洲湿地面积、类型和重心的演变特征，旨在摸清水沙变异情况下三角洲湿地演变特征，为黄河三角洲湿地生态系统保护与修复提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 区域概况

研究区域位于 117°31′ - 119°18′ E 与 36°55′ - 38°16′ N 之间，主要为黄河鱼洼以下现行清水沟流路附近的三角洲区域（图 1），面积约为 2 400 km²，属于暖温带半湿润大陆性季风气候，年平均气温 11.7℃~12.6℃，年平均降水量为 530~630 mm。

自 1976 年黄河改道清水沟后，由于水沙变化、海洋动力作用及人类活动影响，以刁口河自然保护区为核心的黄河三角洲北部区域与以现行流路保护区为核心的南部区域湿地环境条件发生了巨大改变。

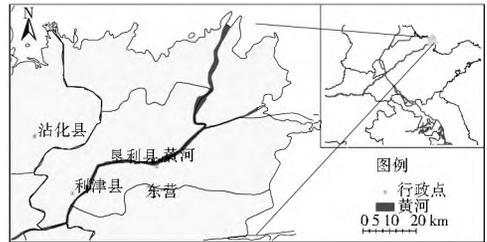


图 1 黄河三角洲湿地区域位置

Fig. 1 The regional locations of the Yellow River Delta wetland

1.2 研究资料和方法

遥感技术可以体现出湿地资源环境状况方面有效的空间信息，通过它可以获取大范围、多分辨率、多波段、多时相的地表信息，为从不同时期对湿地面积变化进行分析创造了条件^[17]。本研究选取数据资料包括：利津站 1976 年 - 2014 年近 40 年径流量和输沙量数据；9 期遥感影像数据，分别为 1976 年 Landsat MSS 影像，1984 年、1992 年、1996 年、2001 年、2004 年、2006 年、2010 年、2014 年 Landsat TM/ETM 遥感影像；1996 年 1:10000 东营市土地利用图、1:10000 航片测绘图，以及多次野外湿地考察收集的有黄河三角洲湿地的照片和数据等。

在研究方法方面，首先对 Landsat TM/ETM 遥感图像作预处理，以 TM 影像为基础采用 GIS 软件平台进行目视解译；同时，根据野外考察数据、照片和相关矢量层，辅助目视解译。对影像进行信息提取并探明土地利用状况，又以 SPOT 影像为基础，分析遥感图像数据，得到 1976 年 - 2014 年湿地面积、类型及重心位移路径。

2 水沙变化特征分析

黄河含沙量高、输沙量大，水沙关系不协调，为了形成合理的水沙过程，减缓黄河下游河道淤积，争取在较长的时期内稳定黄河的现行河道，实现河道不淤、不冲的目标，2002 年后黄河水利委员进行了黄河调水调沙试验，利津水文站控制着进入黄河三角洲湿地的水沙量。1976 年 - 2014 年间利津站年径流量和年输沙量见图 2(a) 和 2(b)。可以看出：利津站的年径流量在 1983 年达到峰值 491 亿 m³，1983 年 - 2002 年整体呈下降趋势，到 2002 年的年净流量只有 41.9 亿 m³，2002 年经调水调沙后，年径流量整体呈增加趋势；年输沙量在 1981 年达到峰值 11.5 亿 t，1981 年 - 2001 年整体呈下降趋势，到 2001 年的年输沙量仅有 0.2 亿 t，2002 年后年输沙量趋于稳定并呈小幅波动。

1976 年 - 2014 年利津站来水来沙大幅减少，且水沙关系不协调；1976 年 - 2001 年水少沙多，2002

年调水调沙后是水多沙少,二者整体上都呈明显的下降趋势。从图 2(c) 中可以看出,2002 年前水沙比

例波动剧烈,调水调沙后水沙比趋于平稳,说明调水调沙有效的改善了水沙关系。

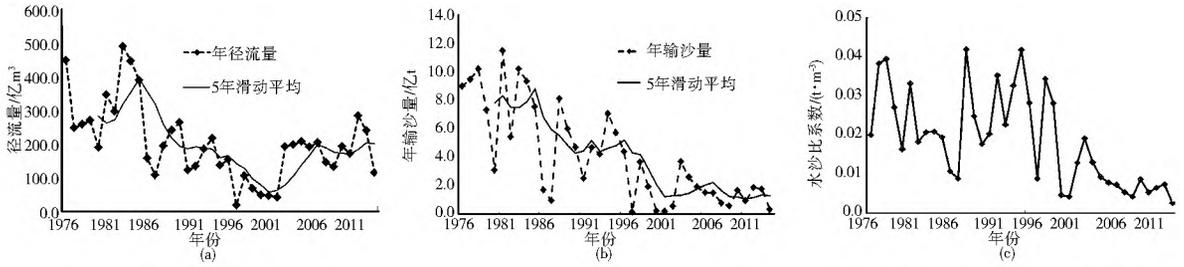


图 2 利津站径流量、输沙量及水沙比系数变化

Fig. 2 Changes of runoff, sediment discharge and water fly coefficient of Lijin station

3 湿地面积演变特征分析

3.1 湿地面积变化特征

本研究以《湿地公约》中湿地分类系统为基础,结合黄河三角洲湿地景观的自身特点及解译的标志,将黄河三角洲湿地分为天然湿地和人工湿地。不同湿地类型面积变化见图 3。

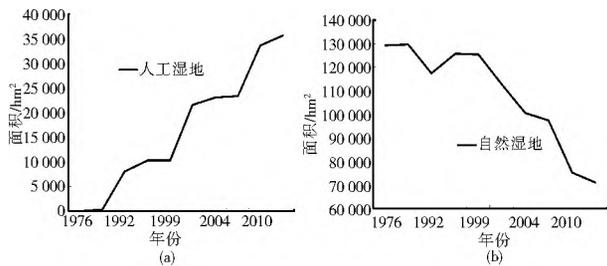


图 3 黄河三角洲湿地面积变化

Fig. 3 The change of the Yellow River Delta wetland area

由图 3 可以看出如下结果。

(1) 人工湿地面积在 1976 年-2014 年增加了约 1 000 倍。具体增长过程大致分为 3 个阶段: 1976 年-1984 年为缓慢增长阶段, 年均增幅为 33 hm^2/a ; 1984 年-1999 年为快速增长阶段, 年均增幅为 665.9 hm^2/a ; 1999 年-2014 年为飞速增长阶段, 年均增幅为 2 123 hm^2/a 。人工湿地的急剧增加是三角洲湿地受人类活动影响的结果, 人工湿地集中分布在刁口河故道西侧的滩涂养殖、神仙沟故道两侧的晒盐场、淡水海水养殖场以及大汶流保护区以南海堤内的养殖场。

(2) 自然湿地面积从 1976 年-2014 年呈波动下降趋势, 面积减少 41.9%。1993 年自然湿地面积呈现一定的增加, 2004 年-2006 年自然湿地面积呈减少趋势, 但趋势变缓。自然湿地面积减少, 主要是黄河改道、开垦农田、开采石油使自然湿地面积退化及被大量使用等原因。

2002 年开始实施湿地恢复工程及黄河调水调

沙试验, 对湿地进行人工生态补水, 径流量、输沙量与各湿地面积的相关性见表 1。调水调沙期间, 利津站进入三角洲湿地的沙量与自然湿地面积的相关系数为 0.6027; 与人工湿地面积的相关系数为 -0.8375, 说明调水调沙实验能有效改善黄河三角洲湿地面积变化趋势。

表 1 黄河三角洲各湿地面积与径流量、输沙量相关系数

Tab. 1 Coefficients of wetland area and runoff and sediment discharge of the Yellow River Delta

项目	利津径流量	利津输沙量	湿地总面积	自然湿地	人工湿地
利津径流量	1.0000				
利津输沙量	0.9002	1.0000			
湿地总面积	-0.1492	0.1457	1.0000		
自然湿地	0.2917	0.6027	0.8609	1.0000	
人工湿地	-0.5708	-0.8375	-0.5995	-0.9235	1.0000

3.2 湿地重心变化特征

为了更深入研究黄河三角洲湿地变化趋势, 从空间角度分析 1976 年-2014 年典型湿地重心的变化情况。选取芦苇、滩涂、养殖水面等典型湿地的重心变化情况进行分析, 典型湿地重心变化情况见图 4。

由图 4 可以看出如下结果。

(1) 芦苇湿地的重心由西北向东南转移。1976 年-1984 年芦苇湿地的重心向东南方向位移 10.6 km; 1984 年-1996 年, 重心继续向东南移动 11.2 km, 靠近黄河河道; 1996 年-2001 年, 重心往西北方向回移 4.1 km; 2001 年-2014 年, 芦苇湿地重心再次向东南方向移动。

(2) 滩涂湿地重心位置基本随入海流路的变化而变迁, 但总体趋势是由西北向东南方向位移。滩涂湿地重心 1976 年-1984 向东北方向移动 2.1 km; 1996 年, 湿地重心相比 1984 年向东南方向位移 12.3 km; 2010 年, 湿地重心几乎与 1992 年的重心重合。

(3) 养殖水面是黄河三角洲地区典型的人工湿地景观,其重心的转移变化能够反映人工湿地在三角洲地区的空间变化情况。1984 年- 2014 年间养殖水面湿地重心一直从西北向东南方向移动,但每

年移动的距离不同。1984 年- 1996 年,湿地重心向东南位移 7.1 km;1996 年- 1999 年,湿地重心向东南位移 5.1 km;1999 年- 2014 年,湿地重心向东南位移 11.8 km。

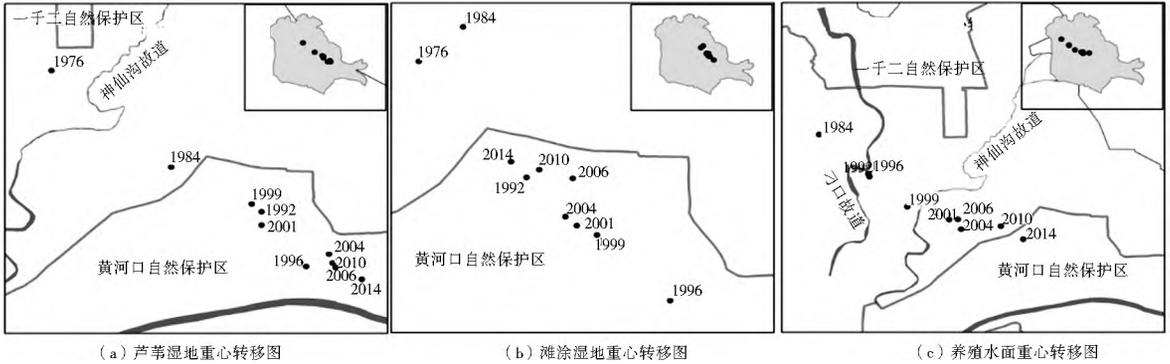


图 4 黄河三角洲湿地重心转移

Fig. 4 The center of gravity shifted diagram of the Yellow River Delta

湿地重心的变化主要是由于黄河水沙关系不协调,泥沙不断填海,加之黄河改道淤积造陆,湿地的重心不断的偏移。

3.3 湿地类型变化特征

南北部区域湿地环境的变化,其湿地类型演变出现明显差异。本研究以黄河口自然保护区北界为界,将黄河三角洲划分为南北两部分见图 5。南北部分典型湿地面积的变化见图 6。

由图 6(a)可以看出:(a) 1976 年- 2014 年芦苇湿地面积减少 76.4%。1984 年- 1996 年间,芦苇湿地面积减少 3 863.9 hm²,年均减少率为 321 hm²/a;1996 年- 2000 年,芦苇湿地面积有所回升,湿地面积增加 2 162 hm²;近年来由于人们的生态保护意识增强及对环境的要求提高,对湿地进行生态补水等保护和修复措施,减缓了芦苇湿地面积的退化,但 2001 年- 2014 年湿地面积依然减少,年均减少率为 248 hm²/a。(b) 滩涂湿地面积整体呈下降趋势,湿地面积减少约 30%。但 1976 年- 1984 年滩涂湿地面积大幅度增加,年均增加率为 585 hm²/a;1984 年后湿地面积持续下降,年均减少率为 405 hm²/a。但由于受 1982 年及 1997 年风暴潮影响,滩涂面积下降趋势减慢。(c) 养殖及盐田湿地的面积呈阶梯上升趋势。1976 年- 1984 年,开始出现养殖及盐田湿地,1984 年- 1992 年为第一次快速增长期,较 1984 年增长近 18 倍;1999 年- 2001 年为第二次快速增长期,较 1999 年湿地面积增加 1 倍;2006 年- 2014 年为养殖及盐田湿地出现第三次增长期,较 2006 年湿地面积增长了近 32%。

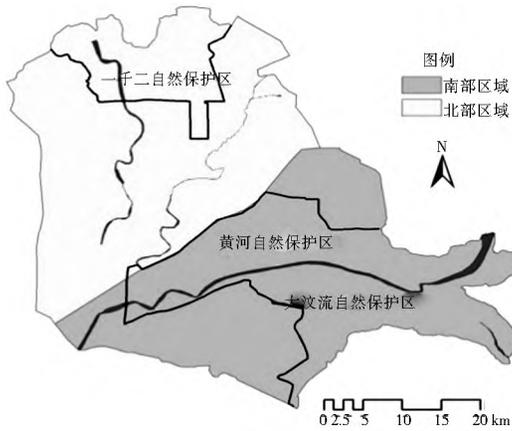


图 5 黄河三角洲南部和北部区域

Fig. 5 The southern and northern regions of the Yellow River Delta

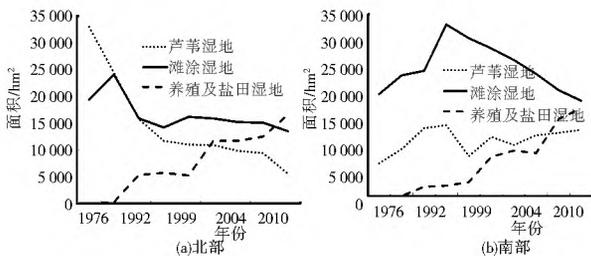


图 6 黄河三角洲地区各湿地面积变化

Fig. 6 The wetland area variation of the Yellow River Delta

(2) 南部主要湿地类型变化。

由图 6(b)可以看出:(a) 芦苇湿地面积整体呈增加趋势,整体面积增加近 1 倍。1976 年- 1996 年芦苇湿地面积快速增加,1996 年芦苇面积是 1976 年的 2.2 倍;但 1996 年- 1999 年芦苇湿地面积却快速减少,主要是由于 1996 年清水沟流路改道时芦苇沼泽湿地出现了较大面积的退化。近年来由于湿地恢复工程实施以及 2008 年后实施生态调水,芦苇湿地面积持续增加。(b) 滩涂湿地面积先增加后减少,2014 年滩涂湿地面积与 1976 年基本一致。

(1) 北部主要湿地类型变化。

1976年-1996年滩涂湿地面积快速增长,在1996年达到峰值28327 hm²;1996年后滩涂面积持续减少,由黄河入海水沙减少造成的。(c)养殖及盐田湿地面积增长趋势与北部区域基本相同,湿地面积年均增长率为373 hm²/a。

4 结论

(1) 由于受黄河改道及人类活动的影响,造成自然湿地面积退化以及被大量使用,1976年-2014年黄河三角洲自然湿地面积减少了41.9%;有针对性的采取生态补水和调水调沙措施后,人工湿地面积呈增加趋势,增加了约336万hm²。

(2) 黄河三角洲典型类型湿地面积重心整体呈西北向东南方向位移,其中芦苇湿地、养殖水面中心位移最为明显,也反映出了人工湿地重心在三角洲地区的空间变化情况。

(3) 1976年-2014年,黄河三角洲南北部区域的湿地类型的演变出现呈现较为明显的差异特征,其中北部芦苇湿地面积、滩涂湿地面积呈减少趋势,养殖及盐田湿地面积呈上升趋势;南部芦苇湿地面积整体呈增加趋势,滩涂湿地面积先增加后减少,养殖及盐田湿地面积增长趋势与北部变化趋势基本相同。

(4) 黄河水沙关系变异是黄河三角洲湿地面积、重心、类型不断变化的主要原因,调水调沙能有效改善和解决水沙关系不协调和下游河道淤积等情况。

参考文献(References):

[1] 孙广友. 中国湿地科学的进展与展望[J]. 地球科学进展, 2000, 15(6): 666-672. (SUN Guangyou. Development and prospect of wetland Science in China[J]. Advance in Earth Sciences, 2000, 15(6): 666-672. (in Chinese))

[2] William J M, James G. Wetlands[M]. New York: John Wiley, 2000.

[3] 潘辉, 罗彩莲, 谭芳林. 3S技术在湿地研究中的应用[J]. 湿地科学, 2006, 04(1): 75-80. (PAN Hui, LUO Cai Lian, TAN Fang Lin. Application of 3S technology to wetland researches[J]. Wetland Science, 2006, 04(1): 75-80. (in Chinese))

[4] 洪佳, 卢晓宁, 王玲玲. 1973-2013年黄河三角洲湿地景观演变驱动力分析[J]. 生态学报, 2016, 36(4): 1-13. (HONG Jia, LU Xiaoning, WANG Lingling. Quantitative Analysis of the Factors Driving Evolution in the Yellow River Delta Wetland in the past 40 years[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(4): 1-13 (in Chinese))

[5] 张绪良, 肖滋民, 徐宗军, 等. 黄河三角洲滨海湿地的生物多样性特征及保护对策[J]. 湿地科学, 2011(2): 125-131. (ZHANG Xu Liang, XIAO Zi Min, XU Zong Jun, et al. Biodiversity characteristics and protection countermeasures of the coastal wetlands in the Yellow River Delta[J]. Wetland Science, 2011(2): 125-131. (in Chinese))

[6] 胡春宏, 吉祖稳, 王涛. 黄河口海洋动力特性与泥沙的输移扩散

[J]. 泥沙研究, 1996(4): 1-10. (HU Chunhong, JI Zhiwen, WANG Tao. Characteristics of the ocean dynamics and sediment diffusion in the Yellow River Estuary[J]. Journal of Sediment Research, 1996(4): 1-10. (in Chinese))

[7] 楚纯洁, 李亚丽. 近60年黄河干流水沙变化及其驱动因素[J]. 水土保持学报, 2013(5): 41-47, 132. (CHU Chunjie, LI Yali. Variation of runoff and sediment and their driving factors of the Yellow River mainstream in the past 60 years[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2013(5): 41-47, 132. (in Chinese))

[8] 徐美, 黄诗峰, 李小涛, 等. 黄河口近十年变化遥感监测及水沙条件分析[J]. 泥沙研究, 2007(6): 39-46. (XU Mei, HUANG Shifeng, LI Xiaotao, et al. Monitoring the change of the Yellow River Estuary with remote sensing and analysis of flow and sediment condition in the last ten years[J]. Journal of Sediment Research, 2007(6): 39-46. (in Chinese))

[9] 李国英, 盛连喜. 黄河调水调沙的模式及其效果[J]. 中国科学技术学报, 2011(6): 826-832. (LI Guoying, SHENG Lianxi. Model of water sediment regulation in Yellow River and its effect[J]. Scientia Sinica Technologica, 2011(6): 826-832. (in Chinese))

[10] 姚前前, 李新举, 于泓, 等. 小浪底调控对黄河口冲淤变化的影响机制[J]. 水土保持学报, 2013(4): 88-92, 180. (YAO Qianqian, LI Xinju, YU Hong, et al. Influence mechanism of Xiaolangdi project regulation on erosion deposition variation of the Yellow River Estuary[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2013(4): 88-92, 180. (in Chinese))

[11] 姚前前, 李新举, 王梅, 等. 小浪底运行对黄河三角洲水沙变化规律的影响机制[J]. 水土保持学报, 2012(6): 57-62. (YAO Qianqian, LI Xinju, WANG Mei, et al. Influencing mechanism of the operation of Xiaolangdi project on flow sediment variation rules in Yellow River Delta[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2012(6): 57-62. (in Chinese))

[12] 陈建, 王世岩, 毛战坡. 1976-2008年黄河三角洲湿地变化的遥感监测[J]. 地理科学进展, 2011(5): 585-592. (CHEN Jian, WANG Shiyao, MAO Zhanpo. Monitoring wetland changes in Yellow River Delta by remote sensing during 1976-2008[J]. Progress in Geography, 2011(5): 585-592. (in Chinese))

[13] 张爱静, 董哲仁, 赵进勇, 等. 黄河水量统一调度与调水调沙对河口的生态水文影响[J]. 水利学报, 2013(8): 987-993. (ZHANG Aijing, DONG Zheren, ZHAO Jinyong, et al. Effects of the integrated water regulation and water sediment regulation of the Yellow River on the ecohydrology of its estuary[J]. Journal Hydraulic Engineering, 2013(8): 987-993. (in Chinese))

[14] 张爱静, 董哲仁, 赵进勇, 等. 黄河调水调沙期河口湿地景观格局演变[J]. 人民黄河, 2013(7): 69-72. (ZHANG Aijing, DONG Zheren, ZHAO Jinyong, et al. The Evolution of wetland landscape pattern of the Yellow River Estuary during water and sediment regulation[J]. Yellow River, 2013(7): 69-72. (in Chinese))

[15] 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(12): 2277-2284. (SU Xiaoyu, SU Fen zhen, LYU Tingting, et al. Analysis of temporal spatial changes in wetlands over the Yellow River Estuary[J]. Resources Science, 2011(12): 2277-2284. (in Chinese))

(下转第25页)

- [7] 杨世琦, 高旺盛. 农业生态系统协调度理论及实证研究[J]. 中国农业大学学报, 2006, 11(2): 7-12. (YANG Shi qi, GAO Wang sheng. Harmony coefficient theory and case study on agricultural ecosystem[J]. Journal of China Agricultural University, 2006, 11(2): 7-12. (in Chinese))
- [8] 童坤, 刘恒, 耿雷华, 等. 水利现代化评价指标体系研究[J]. 中国水利, 2012(11): 14-18. (TONG Kun, LIU Heng, GEN Lei hua, et al. Study on assessment indicator system of water modernization[J]. China Water, 2012(11): 14-18. (in Chinese))
- [9] 张海涛, 谢新民, 杨丽丽. 水利现代化评价指标体系与评价方法研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2010, 8(2), 107-113. (ZHANG Hai tao, XIE Xin min, YANG Li li. Study on evaluation index system and evaluation method for water modernization in China[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2010, 8(2), 107-113).
- [10] 陶长生. 水利现代化及其指标体系研究[D]. 南京: 河海大学, 2001. (TAO Chang sheng. The study on water conservancy modernization with index system and assessment methods[D]. Nanjing: Hohai University, 2001).
- [11] 白杨, 黄宇驰, 王敏, 等. 我国生态文明建设及其评估体系研究进展[J]. 生态学报, 2011, 31(20): 295-304. (BAI Yang, HUANG Yu chi, WANG Min, et al. The progress of ecological civilization construction and its indicator system[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(20): 295-304. (in Chinese))
- [12] 曹蕾. 区域生态文明建设评价指标体系及建模研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2014. (CAO Lei. Index system and modeling of regional ecological civilization construction evaluation [D]. Shanghai: East China Normal University, 2014).
- [13] 刘海娇, 黄继文, 仕玉治, 等. 黄河下游典型城市水生态文明评价[J]. 人民黄河, 2013, 35(12): 64-67. (LIU Hai jiao, HUANG Wei wen, SHI Yu zhi, et al. Water civilization ecological evaluation on the typical urban of the lower yellow river[D]. Yellow River, 2013, 35(12): 64-67).
- [14] 唐克旺. 水生态文明的内涵及评价体系探讨[J]. 水资源保护, 2013, 29(4): 1-4. (TANG Ke wang. Discussion on concept and assessment system of aquatic ecological civilization[J]. Water Resources Protection, 2013, 29(4): 1-4).
- [15] 兰继斌, 徐扬, 霍良安, 等. 模糊层次分析法权重研究[J]. 系统工程理论与实践, 2006, 26(9): 107-112. (LAN Ji bin, XU Yang, HUO Li an gan, et al. Research on the priorities of fuzzy analytical hierarchy process in China[J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2006, 26(9): 107-112 (in Chinese))
- [16] 陶余会. 如何构造模糊层次分析法中模糊一致判断矩阵[J]. 四川师范学院学报(自然科学版), 2002, 23(3): 282-285. (TAO Yu hui. How to make fuzzy consistent judgement matrix of the FAHP[J]. Journal of Sichuan Teachers college (natural science), 2002, 23(3): 282-285. (in Chinese))
- [17] 《安徽水利年鉴》编辑委员会. 安徽省水利年鉴[M]. 合肥: 合肥工业大学出版社, 2009-2014. (《Anhui water yearbook》editorial board. Anhui water yearbook[M]. Hefei: Hefei University of Technology Publisher House, 2009-2014. (in Chinese))
- [18] 马鞍山市地方志编委会编. 马鞍山年鉴[J]. 2009~2014. (Ma'an Shan local chronicles editorial board. Ma'an Shan yearbook[J]. 2009~2014. (in Chinese))
- [19] 张欢, 成金华, 冯银, 等. 特大型城市生态文明建设评价指标体系及应用研究—以武汉市为例[J]. 生态学报, 2015, 35(2): 547-556. (ZHANG Huan, CHENG Jin hua, FENG Yin, et al. An Evaluation Index System for Ecological Civilization Construction in Megacities and its Research Applications: The Case of Wuhan City[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(2): 282-285. (in Chinese))
- [20] 秦伟山, 张义丰, 袁境. 生态文明城市评价指标体系与水平测度[J]. 资源科学, 2013, 35(8): 1677-1684. (QIN Wei shan, ZHANG Yi feng, YUAN Jing. Measuring and defining ecological civilization cities in China[J]. Resources Science, 2013, 35(8): 1677-1684. (in Chinese))

(上接第5页)

- [16] 孙才志, 曾庆雨, 刘玉玉. 基于RS和GIS的绕阳河湿地时空演变及其驱动力分析[J]. 水土保持研究, 2010(2): 150-155, 159. (SUN Cai zhi, ZENG Qing yu, LIU Yu yu, et al. Spatial and temporal change and its driving forces of the Raoyanghe wetlands based on RS and GIS[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2010(2): 150-155, 159. (in Chinese))
- [17] Sophie M, Thuy L. Biomass quantification of Andean wetland forages using ERS satellite SAR data for optimizing live stock management[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 84: 477-492.