

黄河下游湿地演变与实测径流相关性研究

黄文海¹, 高 熠¹, 席春辉¹, 吴春辉², 黄 翀³

(1. 生态环境部黄河流域生态环境监督管理局黄河生态环境科学研究所, 河南 郑州 450004;

2. 泰安市生态环境局, 山东 泰安 271000;

3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要:探索不同类型河道湿地面积与水文站实测径流量的相关性,为黄河流域生态保护修复和管理工作提供支撑。选择黄河下游花园口-利津河段为研究对象,基于1986、1990、2000、2010和2020年5期遥感解译黄河下游湿地的类型、面积和格局,分析湿地动态变化及原因,结合黄河下游重要水文站实测径流量数据,探索黄河下游不同类型河道湿地面积变化与径流相关性。结果表明:(1)河流水面湿地为黄河下游河段湿地的主要组成部分,占湿地面积的45.9%~65.9%;(2)黄河下游河段的湿地面积从20世纪80年代至今呈现萎缩趋势,面积减少约35.6%,但萎缩速度在不断减缓,湿地面积逐渐趋于稳定;(3)黄河下游游荡型、弯曲型和顺直型河段的湿地面积与径流量的相关性存在差异。游荡型和弯曲型河段河流水面面积与流量均呈正相关关系,但变化幅度不同,顺直型河段河流水面面积受流量的影响较弱,游荡型、弯曲型和顺直型河段滩地面积随径流量增大而减少,减少幅度各有差异。

关键词:湿地;径流量;生态;黄河下游

中图分类号:X171.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2022)05-0001-07

黄河因多泥沙及摆动频繁的特点,在下游形成了特殊的河道湿地。河道湿地是黄河下游河流生态系统的重要组成部分,其形成、发展和萎缩与黄河泥沙条件、河道边界条件息息相关(Zhao et al, 2021; 郝伏勤等, 2005)。借助遥感技术可以获取大范围、多分辨率、多波段、多时相的地表信息,为分析不同时期的湿地类型、面积变化创造了条件(Sui et al, 2015; 杜懿等, 2021)。结合相关研究成果,探索不同类型河道湿地面积与水文站实测径流量的相关性,对于研究黄河下游地区人类活动对河道自然规律和生态功能干预的影响,保护黄河下游重要湿地和物种栖息地具有重要意义(黄玉芳等, 2021)。

1 数据与方法

1.1 研究区域

黄河河南花园口以下的河段为下游河段,流经河南、山东两省的15个地市。黄河下游的主河道是典型的游荡型河道,由于主河道的游荡滚动以及汛

期漫滩,河道两侧的滩地土壤常年处于过湿状态,这种状态改变了土壤通气状况,缺氧条件下土壤中矿物质的潜育化过程和有机质的泥炭化过程形成了特殊的黄河河道湿地(Zhang, 2013)。黄河下游河道湿地类型相对单一,主要包括永久性、季节性和间歇性河流,以及泛洪平原湿地(韦翠珍等, 2011)。根据下游河道湿地分布的地貌空间格局、湿地水文特点及湿地覆盖特征,将其分为河流水面、河漫滩2种类型(洪振东和丁圣彦, 2019)。

河流水面是指不同水位条件下水流覆盖区域(Yu et al, 2015)。从本质上来说,由于水电站拦截形成的人工水库湿地属于河流湿地的一部分,所形成的水面也属于河流水面的一部分,故将其归为河流水面。黄河下游共有老滩(高滩)、二滩(低滩)和嫩滩3级(Guo et al, 2011)。老滩地势较高,一般难以被洪水淹没,且通常都被农业开发或其他形式的土地利用占据,大都失去了湿地的基本特征和生态意义(Yu et al, 2021)。本研究中河漫滩湿地主要指低滩和嫩滩,嫩滩是指常水位情况下出露而高水位情况下淹没的河槽内滩地,包括心滩和边滩。低滩是分布于河道两侧的河漫滩,与河道保持一定的水力联系,只有在较大的洪水情况下才可能被淹没,其地表通常生长有湿生植被,也有可能作为农业或其他土地利用(韦翠珍等, 2011)。

收稿日期:2021-06-30 修回日期:2022-07-18

作者简介:黄文海,男,1983年生,高级工程师,主要从事黄河流域生态保护与修复工作。E-mail:332675108@qq.com

通信作者:高熠,女,1990年生,主要从事黄河流域生态保护与修复工作。E-mail:272182392@qq.com

1.2 数据来源

1.2.1 遥感数据 采用 1986、1990、2000、2010、2020 年 5 期黄河下游区域遥感影像数据,解译获取重点河段不同时期湿地类型、面积等数据(Mo et al, 2017)。其中前 4 期利用 Landsat 系列卫星数据,2020 年第 5 期利用欧空局 Sentinel-2 数据。

1.2.2 径流数据 采用黄河干流花园口、夹河滩、高村、艾山、冻口、利津 6 个水文站 1984–2020 年逐日实测流量数据(图 1)。



图 1 研究选取水文站位置

Fig.1 Location of the hydrological stations included in the study

1.2.3 其他数据 其他数据主要为区域基础地理信息数据,即行政区划、土壤、DEM、土地利用等参考数据。

1.3 研究方法

根据影像色调、纹理及环境背景特征,结合野外调查数据,建立土地利用、湿地遥感解译标志库(姜春玲等,2016),对图像进行分割分类并赋予属性;本研究为减少对象间平均异质性且增加对象间的同质性,采取多尺度分割(牛金星,2013);采用随机森林算法以分割对象为单位选取样本,提取样本的众多极化特征参数,并根据其重要性值进行特征集分类(Zhou et al, 2017),得到 1986–2020 年黄河下游不同湿地类型面积。

2 结果与分析

2.1 黄河下游河道湿地格局及变化分析

对 1986、1990、2000、2010、2020 年的黄河下游河道的湿地进行监测,每个研究时段分别采用了当年 2 个不同时期的影像提取湿地信息(李萌萌,2020;牛金星,2013)。

通过 5 期湿地信息分析(图 2),从 20 世纪 80 年代至今,黄河下游河道湿地面积整体呈现萎缩态势,面积减少约 35.6%,这种现象是上游来水量减少、湿地利用不当、水利设施修建等多种原因造成的。20 世纪 80–90 年代黄河下游河道湿地面积的萎缩速率较快,湿地面积减

少了 9.85%,2000 年是本研究中黄河下游河道湿地面积最小的时段;进入 21 世纪后,随着湿地保护越来越受重视,以及调水调沙等因素的共同作用,黄河下游河道湿地萎缩速度在不断减缓,湿地面积逐渐趋于稳定,尤其近 10 年是研究时段内湿地面积减少最慢的时段。

河流水面湿地为黄河下游河段湿地的主要组成部分,占湿地面积的 45.9%–65.9%,其中 1986 年由于人为控制河水流向的情况相对较少,河水在河道上肆意蔓延形成了大面积的滩地,滩地面积占比在整个研究时段中是最大的,约为 54.1%,河流水面占整个湿地面积的比例相对较少(图 2)。

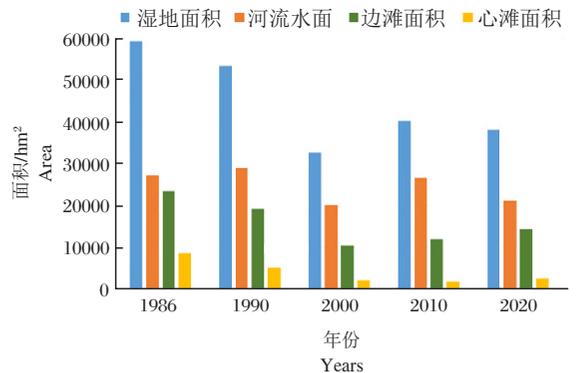


图 2 1986–2020 年黄河下游河道湿地面积统计

Fig.2 Areas of wetlands, river surface and beaches of the lower Yellow River from 1986 to 2020

2.2 黄河下游河道湿地与径流变化关系分析

2.2.1 主要水文站径流量分析 花园口、夹河滩、高村、艾山、冻口、利津 6 个水文站的月均实测径流量的变化趋势一致(图 3)。1 月径流值较小,2 月径流值增大,3 月、4 月径流值达到一个小高峰,5 月份径流值减小,6 月、7 月径流达到全年峰值,8–12 月逐渐减小。不同的月份径流量的差异较大,较低的月份只有 400 m³/s 左右,较高的时候可以达到 1 400 m³/s 左右,全年的平均值基本在 800 m³/s。

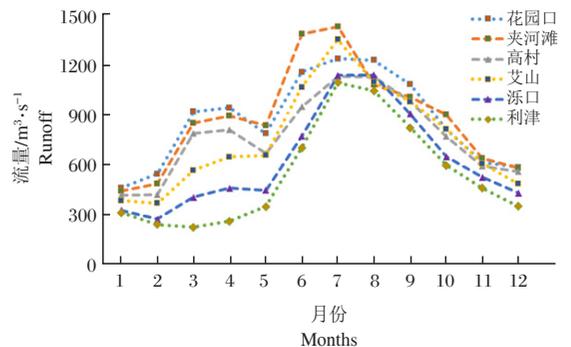


图 3 黄河下游河道水文站月均实测径流变化

Fig.3 Monthly variation of average runoff at the lower Yellow River hydrological stations

2.2.2 不同湿地类型与径流量的关系 由于遥感影像提取的信息具有较高的时效性,湿地面积、河流水面面积等均与采用的遥感影像时相有很大的关系(He et al, 2015),根据对黄河下游主要水文站径流量的分析,径流量的值在不同的时间差异也很大(Liu et al, 2010),因此,要分析径流量与各类湿地面积的关系,应该采用与遥感影像时相对应的径流量进行分析。本次研究选取2018年9月至2019年7月这一时段数据分析湿地面积、河流水面和滩地面积与径流量的关系。

(1)游荡型河段 花园口至夹河滩为游荡型河段(周振民,2007),湿地面积、河流水面和滩地面积与径流量的关系见图4。

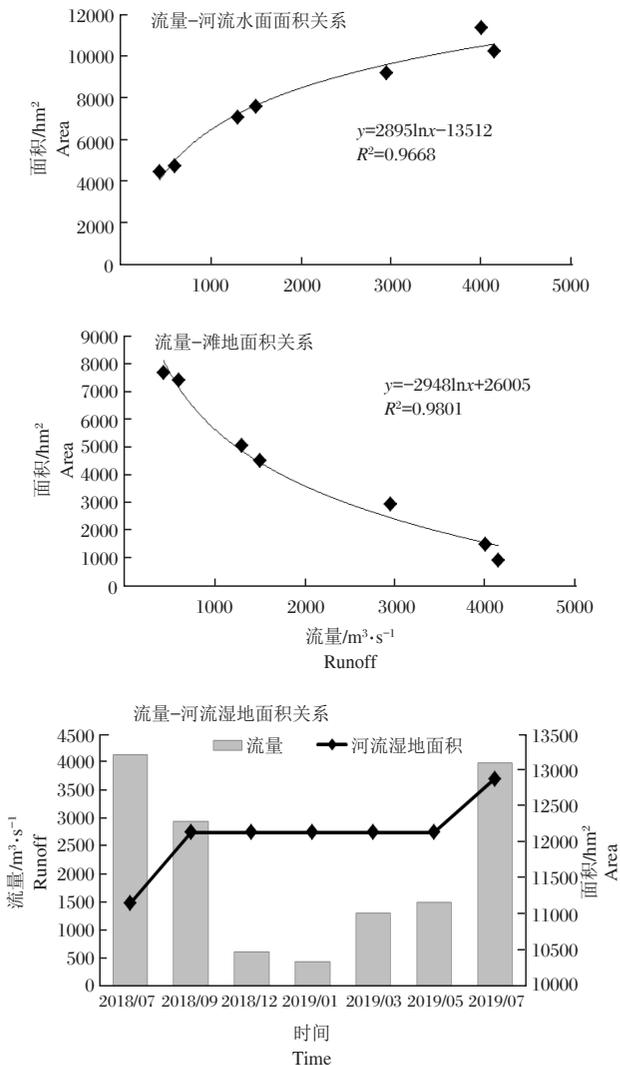


图4 游荡型河段流量-河流水面、滩地、湿地面积关系
Fig.4 Relationships between runoff and the areas of river surface, beach, and wetland of wandering reaches

河槽断面宽浅,主流位置迁徙不定,平面上水流散乱呈辫状,沙洲迅速移动和变形,常表现为流量变幅大,洪峰暴涨暴落,水面展宽迅速。河流水面面积与花园口流量呈明显正相关关系,关系式为 $y=2895\ln x-13512$, $R^2=0.9668$ 。滩地面积随径流量增大而明显减小,与流量呈现拟合良好的指数关系: $y=-2948\ln x+26005$, $R^2=0.9801$ 。在不超过某一流量下,河流湿地的面积保持稳定,而超出一定流量范围后,由于游荡型河段河床断面宽浅,横向摆动强烈的特点,使得水面展开迅速,河流水面面积增加明显,河流出汉又会形成新的大面积滩地,湿地总面积增加。

(2)弯曲型河段 高村至陶城埠段为弯曲型河段(Shi et al,2014),湿地面积、河流水面和滩地面积与径流量的关系见图5。

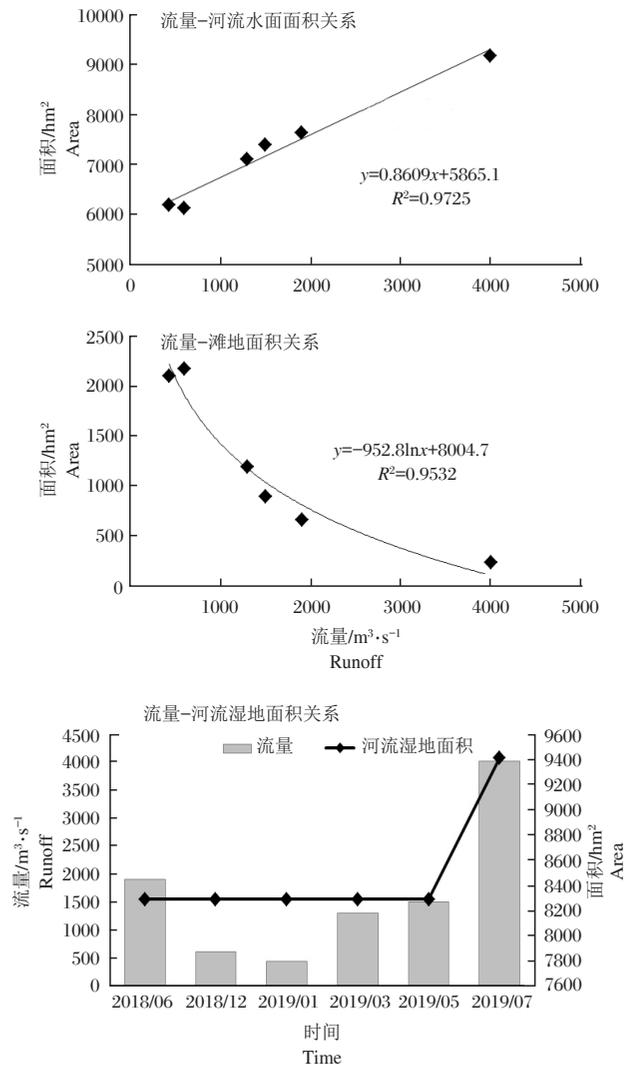


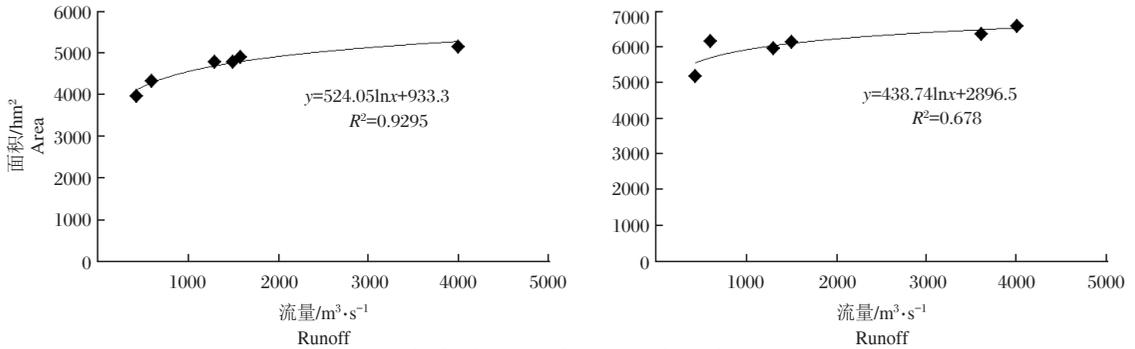
图5 弯曲型河段流量-河流水面、滩地、湿地面积关系
Fig.5 Relationships between runoff and the areas of river surface, beach, and wetland of meandering reaches

河道游荡型降低,河道弯曲,稳定性增加。河流水面面积与流量大小呈现明显的线性正相关关系,河流水面面积与随径流量增大而增大, $y=0.8609x+5865.1$, $R^2=0.9725$,但是增加幅度远不及游荡型河道。滩地面积随河道流量的增加呈明显的减小趋势, $y=-952.8\ln x+8004.7$, $R^2=0.9532$,两者呈现拟合良好的指数关系。在小于一定流量值的范围内,随着流量的增加,流量的增加对河道湿地的补水范围仅限于河道内滩地,河流湿

地总面积保持稳定,而大于某一流量值后,河道外滩地获得补水机会,河流湿地面积随之增加。

(3)顺直型河道 陶城埠至利津段为顺直型河道(张建辰和王艳慧,2013),湿地面积、河流水面和滩地面积与径流量的关系见图6、图7、图8。

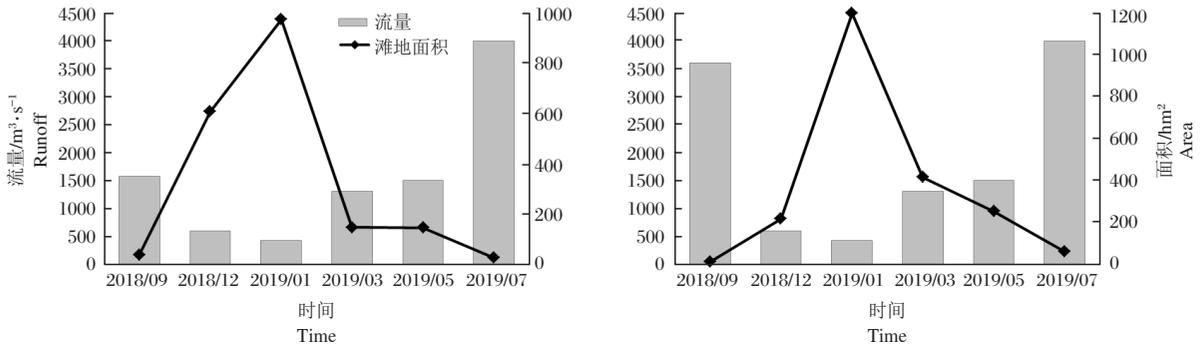
河流受河槽束缚较强,河流水面面积受流量的影响较弱,流量从 430 m³/s 增加到 4 000 m³/s,河流水面面积较为稳定。滩地面积随河道流量增大而



左:陶城埠-泺口河段 右:泺口-利津河段
图6 顺直型河道流量-河流水面面积关系

Left: Taochengbu-Luokou section Right: Luokou-Lijin section

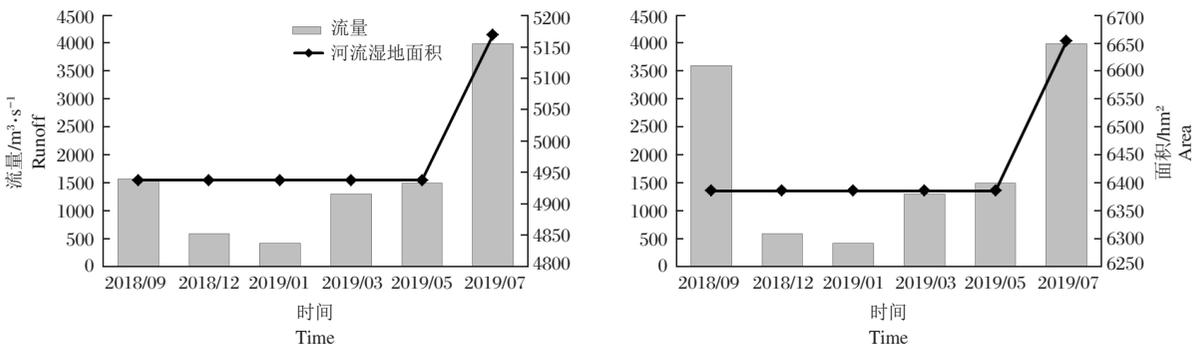
Fig.6 Relationship between runoff and river surface area of straight reaches



左:陶城埠-泺口河段 右:泺口-利津河段
图7 顺直型河道流量-滩地面积关系

Left: Taochengbu-Luokou section Right: Luokou-Lijin section

Fig.7 Relationship between runoff and beach land area of straight reaches



左:陶城埠-泺口河段 右:泺口-利津河段
图8 顺直型河道流量-湿地面积关系

Left: Taochengbu-Luokou section Right: Luokou-Lijin section

Fig.8 Relationship between runoff and wetland area of straight reaches

减小,2018年9月至2019年1月,河道流量减小,滩地增加显著,2019年3月,河道流量增加到1 500 m³/s,滩地面积急剧下降,后随着河道流量的增加,滩地进一步减小。与弯曲型河道类似,在小于一定流量值的范围内,随着流量的增加,河流湿地总面积保持稳定,补水主要限于河道范围内,在涿口-利津河段,河道径流高达3 600 m³/s时,河流湿地总面积仍然与径流430 m³/s时持平,而大于某一流量值后,河道外滩地获得补水机会,河流湿地的总面积显著增加。

3 讨论

黄河流域尤其是下游地区水资源短缺,生态环境脆弱,资源环境承载能力低。黄河下游独特的大面积河道湿地是黄河流域湿地的重要组成部分,对黄河下游乃至流域的生态保护具有重要意义。当前流域尺度的湿地监测研究中,通常是将下游与河口湿地作为一个整体(仇志强等,2021),忽视了下游河道湿地的独特性。本研究系统分析了下游河道湿地近30年来的变化趋势,研究表明,黄河下游河道湿地面积整体呈现萎缩态势,这与流域湿地变化的总体趋势相一致(仇志强等,2021)。最近10多年来,在黄河下游水量统一调控影响下,河道湿地面积趋稳,变化幅度减缓。

与流域其他类型湿地的变化不同,黄河下游河道湿地是洪水泥沙的副产品,是河道行洪的一部分,随河道变迁而变迁,其形成、发展和萎缩与黄河水沙条件密切相关,具有高度动态性(郝伏勤等,2005)。相关研究表明,下游河道水沙条件的变化是影响河道湿地动态的主要原因(丁圣彦和梁国付,2004;周振民,2007)。20世纪80年代,下游水沙条件较为充沛,河道湿地演化人为干扰较小,滩地较为发育。20世纪末,下游水量急剧减小,对河道湿地的发育和维持造成不利影响,一些高滩由于多年不过流,土壤水分条件变差,湿地质量下降。1999年10月小浪底水库投入运用后,水沙调控已成为下游生态流量调度的常规工作。汛期的调水调沙使得部分河道湿地得到一定程度的恢复,同时,人为的调控过程控制,也使得下游流量过程较为平稳,新的河道冲淤调整使河势变化减小,河道湿地面积总体趋稳。

此外,黄河下游河道河防工程建设对河道湿地也产生重要影响。近年来,黄河下游河防工程建设逐年增加,在提高防洪安全的同时,也部分改变了河道边界条件(黄玉芳等,2021)。从年内尺度看,年最大径流量或洪峰过程,决定了漫滩湿地所能接受洪水直接补给的边界,影响河道湿地演变。因而,洪峰

流量大小对河道湿地的淹没和水文条件改善至关重要。河防工程建设起到稳定河床边界条件的作用。河防工程的约束降低了洪水漫滩概率,一定程度上弱化了滩地的水文恢复能力;同时,一些难以过水的滩地被农业开发侵占,进一步造成河道湿地的丧失。

因此,对于黄河下游河道湿地系统的保护与修复,总体上从强化生态空间保护和监管入手,长期开展下游退耕还湿、退养还滩,实施生态缓冲带建设;同时从维护下游河道湿地生态安全角度出发,深入探究小浪底水库调水调沙时空过程,在保证防洪安全的同时,满足下游河道湿地水沙需求,针对维持河道湿地稳定开展进一步研究。

参考文献

- 丁圣彦,梁国付,2004.近20年来河南沿黄湿地景观格局演化[J].地理学报,(5):653-661.
- 杜懿,王大洋,林冰恩,等,2021.黄河下游利津断面年径流量预测研究[J].水力发电,47(6):7-11,33.
- 郝伏勤,高传德,黄锦辉,等,2005.黄河下游河道湿地浅析[J].人民黄河,(4):5-7,63.
- 洪振东,丁圣彦,2019.河南沿黄湿地研究进展[J].河南大学学报(自然科学版),49(5):513-520.
- 黄玉芳,葛雷,单凯,等,2021.黄河下游河道湿地演变与河防工程建设时空关系分析[J].环境影响评价,43(3):13-18.
- 姜春玲,曲春风,2016.基于RS和GIS技术的新生湿地与植被覆盖度动态分析[J].安徽农业科学,44(28):77-80.
- 李萌萌,2020.水沙情势变异对黄河下游湿地植被影响研究[D].郑州:华北水利水电大学.
- 牛金星,2013.基于遥感的黄河湿地植被演变及河道横向变化影响研究[D].郑州:郑州大学.
- 仇志强,毛德华,相恒星,等,2021.5个时期黄河流域湿地格局及其变化研究[J].地科学,19(4):518-526.
- 韦翠珍,张佳宝,周凌云,2011.沿黄河下游湖泊湿地植物群落演替及其多样性研究[J].生态环境学报,20(1):30-36.
- 张建辰,王艳慧,2013.黄河下游沿岸湿地景观格局变化研究[J].地理信息世界,20(1):97-102.
- 周振民,2007.黄河小浪底工程对下游湿地生态环境影响研究[C]//2007重大水利水电科技前沿院士论坛暨首届中国水利博士论坛论文集:516-519.
- Guo H L, He X H, Chen J, et al, 2011. Research of the Distribution of Natural Vegetation Under Different Disturbances in Wetland of Lower Yellow River[C]//Procedia Environmental Sciences: 313-318.
- He X H, Hörmann G, Strehmel A, et al, 2015. Natural and Anthropogenic Causes of Vegetation Changes in Riparian Wetlands Along the Lower Reaches of the Yellow River, China[J]. Wetlands, 35:391-399.

- Liu Y F, Zhang J, Ma Y, et al, 2010. Change Detection of the Eastern Reserve Wetlands after the Yellow River Resumed its Normal Runoff[J]. *Key Engineering Materials*, 439/440:890–895.
- Mo D Y, Yu L J, Gao M, 2017. Collating Multisource Geospatial Data for Vegetation Detection Using Bayesian Network – a Case Study of Yellow River Delta[J]. *Int. J. of Computational Science and Engineering*, 15(3/4):277
- Shi Y Z, Li F L, Fan M Y, et al, 2014. Applications of Variable Fuzzy Set Theory and Gis for Water Resources Vulnerability Assessment of Yellow River Delta[J]. *Applied Mechanics and Materials*, 700: 501–505.
- Sui X, Chen L, Chen A, et al, 2015. Assessment of Temporal and Spatial Landscape and Avifauna Changes in the Yellow River Wetland Natural Reserves in 1990 - 2013, China[J]. *Ecological Engineering*, 84:520–531.
- Yu D H, Guang X, Wang X J, et al, 2021, The impact of runoff flux and reclamation on the spatiotemporal evolution of the Yellow River estuarine wetlands[J]. *Ocean and Coastal Management*, 212:105804.
- Yu H L, Yu C L, Jiao S S, 2015. Impacts on Herbaceous Plant Communities of the Tourism Exploitation in the Yellow River Wetland of Zhengzhou City, China[J]. *Advanced Materials Research*, 1065/1069:3059–3064.
- Zhang X J, 2013. Research on Sustainable Development Capacity of Yellow River Wetland Based on the Ecological Footprint Model – a Case of Dongying[J]. *Advanced Materials Research* 749:110–117.
- Zhao Q H, Ding S Y, Ji X Y, et al, 2021. Relative Contribution of the Xiaolangdi Dam to Runoff Changes in the Lower Yellow River[J]. *Land*, 10(5):521.
- Zhou R, Li Y Z, Wu J J, et al, 2017. Need to link river management with estuarine wetland conservation: A case study in the Yellow River Delta, China[J]. *Ocean and Coastal Management*, 146:43–49.

(责任编辑 郑金秀)

Correlation Analysis of Wetland Evolution and Measured Runoff in the Lower Yellow River

HUANG Wen-hai¹, GAO Yi¹, XI Chun-hui¹, WU Chun-hui², HUANG Chong³

(1. Yellow River Institute of Eco-Environmental Research, YRBEEA, Zhengzhou 450004, P.R. China;

2. Taian Environmental Protection Bureau, Taian 271000, P.R. China;

3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, P.R. China)

Abstract: The Huayuankou-Lijin reach of the lower Yellow River was selected for study in this research, and we explored the relationship between the wetland areas of different river channel types and the measured runoff at hydrological stations in the lower Yellow River. The objective was to provide support for ecological protection, restoration, and management in the Yellow River basin. Based on the remote sensing images of the Huayuankou-Lijin reach in 1980, 1990, 2000, 2010 and 2020, the types, areas, and distribution patterns of wetlands for the five periods were interpreted to explore the dynamic changes of wetlands and the factors driving the changes. Then, combined with the measured runoff data recorded at hydrological stations (Huayuankou, Jiahetan, Gaocun, Aishan, Luokou and Lijin) in the lower Yellow River, the correlation between wetland area changes and runoff in different types of rivers were analyzed. Results show that: (1) River surface flow wetlands were the primary type of wetland in the lower reach of the Yellow River, accounting for 45.9%–65.9% of the total wetland area. (2) Although the wetland area in the lower reach of the Yellow River has been shrinking since the 1980s, decreasing by 35.6% of the total area, the rate is decreasing and the wetland area is gradually stabilizing. (3) The correlation between river surface area and runoff differed with channel type in the lower Yellow River. In wandering and meandering sections, there was a positive correlation between the river surface area and runoff with different ranges in variation, while the river area of straight sections were weakly affected by runoff. The river beach areas of all channel types decreased with runoff, but to different degrees. The wetland areas of the three channel types remained stable up to a certain flow but increased with flow thereafter.

Key words: wetland; runoff; ecology; the lower Yellow River