

黄河河口淡水湿地生态补水研究

卓俊玲¹, 葛磊², 史雪廷¹

(1. 环境保护部环境工程评估中心, 北京 100012; 2. 黄河流域水资源保护局, 河南 郑州 450004)

摘要: 在河口地区植被类型、土地利用演变分析基础上, 研究建立了黄河三角洲湿地生态补水的地表水-地下水模型, 构建了湿地补水的景观生态决策支持系统和河口湿地生态需水的生态-水文模拟系统。选择丹顶鹤 (*Grus japonensis*)、东方白鹳 (*Ciconia boyciana*) 和黑嘴鸥 (*Larus saundersi*) 为生态需水研究的指示物种, 模拟补水量分别为 2.8 亿、3.5 亿和 4.2 亿 m³。模拟补水方案下, 补水区域 200 m 范围内地下水水位抬升 1 m 以上, 补水区域 200 ~ 1 000 m 范围内地下水水位抬升 0.1 ~ 1 m; 植被类型演替, 尤其是湿生沼泽、普通草甸、灌丛等面积增加; 指示鸟类数量显著增加, 生态承载力大幅提高, 但承载水平并未随补水量持续增加而显著持续增长; 湿地生态功能基本上得到恢复, 湿地生态价值明显提高, 但当水量增加到一定程度时, 增加补水产生的生态价值差别较小。适宜的补水方案是: 一般年份补水 3.5 亿 m³, 干旱年份补水 4.2 亿 m³, 湿润年份补水 2.8 亿 m³。

关键词: 淡水湿地; 生态补水; 黄河河口
中图分类号: Q143, X820.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2013)02-0014-08

黄河三角洲是中国暖温带最完整、最广阔的新生湿地生态系统, 是东北亚内陆和环西太平洋鸟类迁徙的重要中转站、越冬栖息地和繁殖地, 被《拉姆萨尔国际湿地公约》列为国际重要湿地。黄河三角洲湿地面积 33.3 万 hm², 其中天然湿地 22.9 万 hm², 主要天然湿地类型有滨海湿地、河流湿地、沼泽湿地、草甸湿地等。地表水有黄河、小清河和支脉河, 合计多年平均径流量为 3.52 × 10¹⁰ m³。区域淡水水资源 90% 以上来自黄河。黄河三角洲地区浅层地下水普遍埋藏较浅, 多年平均深层地下水资源量为 1 19.96 万 m³。

黄河流域水资源短缺和供需失衡, 加剧了河口淡水湿地萎缩以及功能下降, 产生了生态结构逆向演替等失衡状况。实施湿地地表补水, 一是满足水生湿生植被生长期的生态需水, 二是显著改善湿地区域地下水, 满足湿地草本和灌丛植被生长的要求。以往研究报告曾对河口三角洲土地和生态演变进行了分析(樊彦国等, 2010; 陈建等, 2011; 栗云召等, 2011), 但在湿地需水、黄河水资源补给分析和补水的生态效果方面缺少针对性的研究。本文在中荷双边研究项目“黄河三角洲生态水资源配置研究”基础上, 构建了以河流水力学、地下水、环境蒸

散发及生态学模型为支撑的河口淡水湿地生态需水研究与评价系统, 重点揭示变化水资源对栖息地生态演替的干扰与支撑作用, 在研究生态需水目标与水文过程联系基础上, 对与黄河淤积、延伸和摆动直接相关的自然保护区 236 km² 范围内的核心天然湿地生态需水过程进行模拟及生态补水效果评价, 为黄河三角洲地区生态保护提供依据。

1 河口及保护区湿地状况

1.1 湿地景观结构演变

据遥感调查结果(表 1), 近年来黄河三角洲自然湿地尤其是河口滩涂核心湿地内生态斑块数量急剧增加, 破碎化指数、斑块密度显著增大, 景观破碎化程度加剧, 湿地萎缩退化趋势加快(图 1)。

表 1 黄河三角洲湿地结构变化							km ²	
Tab.1 Wet land structure change of Yellow River Delta								
湿地类型		1993	1994	1996	1998	1999	2001	2004
		年	年	年	年	年	年	年
自然 湿地	芦苇	270	255	259	255	235	242	248
	灌丛	28	28	26	19	64	36	131
	滩涂	670	645	493	604	523	255	230
	河漫滩	245	246	276	277	378	368	292
	河流	46	47	45	44	37	42	29
	其他水域	24	25	24	24	24	28	28
小计		1 283	1 246	1 123	1 223	1 261	971	958
人	人工盐沼	80	76	71	78	96	53	208
工	水库	22	22	22	26	33	66	70
湿	水田	53	53	54	48	46	33	46
地	小计	155	151	147	152	175	152	324
湿地总面积		1 438	1 397	1 270	1 375	1 436	1 123	1 282

收稿日期: 2013-01-30
基金项目: 中荷政府双边合作项目(12793)“黄河三角洲淡水湿地需水研究”。
作者简介: 卓俊玲, 女, 1976 年生, 助理研究员, 研究方向为生态学。E-mail: zjlzy7273@163.com

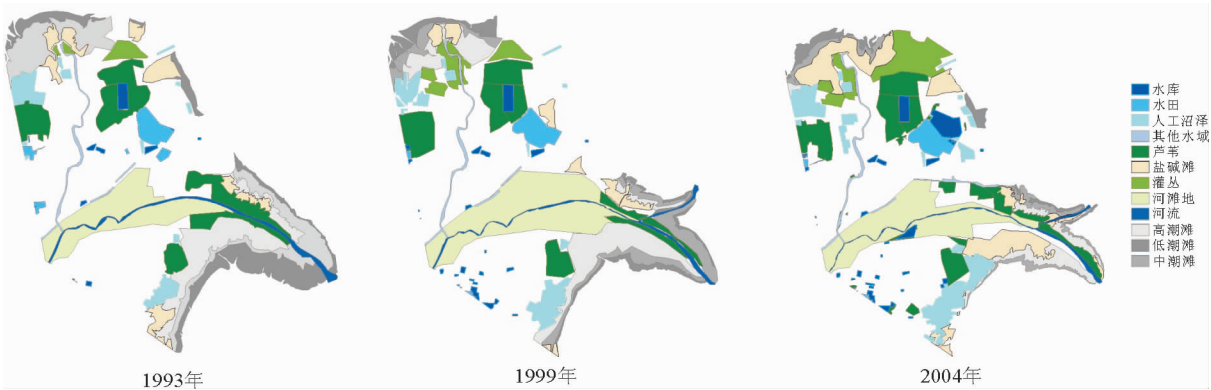


图 1 黄河三角洲湿地景观变化

Fig.1 Landscape change of Yellow River Delta wet land

1.2 自然保护区

黄河三角洲国家自然保护区由北部黄河刁口河故道和南部黄河现行流路清水沟区域组成(图 2)。保护区有野生动物 1 543 种,其中国家级保护物种 59 种(田佳怡等,1999)。

受水资源量减少因素影响,保护区湿地面积和功能退化严重,涉禽的主要栖息生境芦苇湿地,已由 1992 年的 2 万余 hm^2 下降至 2005 年的 1 万余 hm^2 (图 3),减少约 50% (刘晓燕等,2009)。

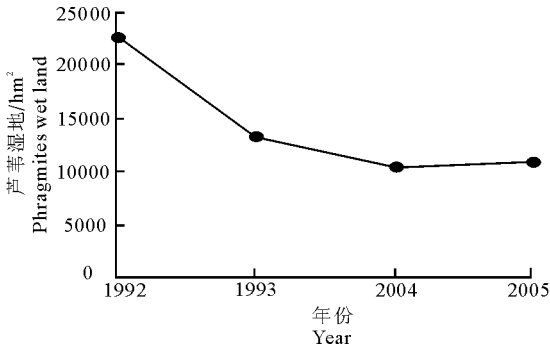


图 3 保护区芦苇湿地变化

Fig.3 Phragmites wet land change of protected areas



图 2 自然保护区功能区划

Fig. 2 Natural reserve function division

1.3 湿地恢复的水资源补给区域

根据栖息地保护要求和地形、工程及水资源条件,保护区能够实现黄河水资源人工补给的区域见图 4 (田佳怡等,1999;连煜等,2008;关元秀等,2001)。

1.4 生态基底数据

根据有关研究成果(安乐生,2012;刘庆生等,2006;关元秀等,2001)和项目现场(图 5)调查,研究区域现状湿地植被类型、地下水分布和近海区域地下水矿化度调查结果见图 6~图 8。

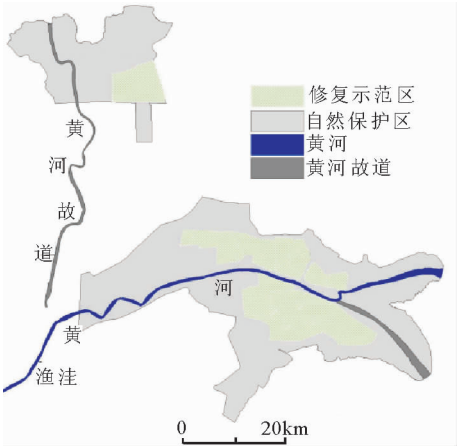


图 4 湿地补水范围示意

Fig. 4 Water recharge scope of wet land

2 模型及决策系统构建

借助生态观测和遥感、地理信息系统等技术,研究三角洲淡水湿地生态系统发育现状、群落结构,识别优势种群和指示性物种,研究优势种群和指示性物种的生态需水规律,掌握湿地指示性物种分布与湿地水位变化之间的规律;采用地表能量平衡系统模型(SEBS),估算区域的蒸散量;建立生态补水漫流水力学模型(SOBK 模型)、地下水模型(MODF

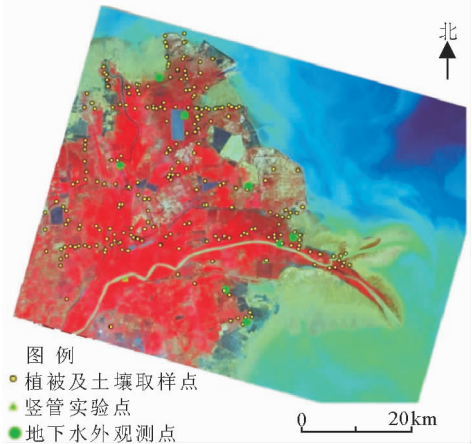


图 5 生态调查取样点

Fig. 5 Ecological investigation sampling location

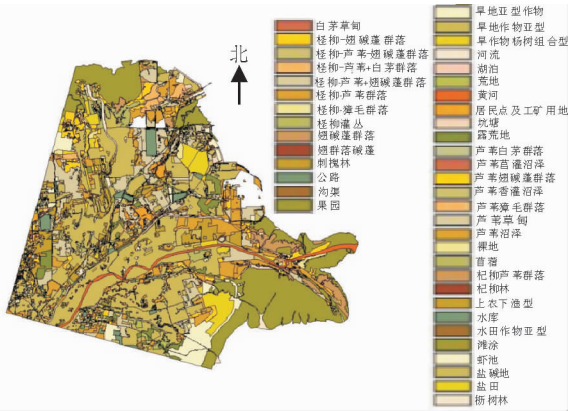


图 6 湿地植被类型空间分布

Fig. 6 Vegetation type spatial distribution of wet land

LOW 模型) 及景观生态决策与评价支持系统模型 (LEDESS 模型), 构建水量 - 水文过程 - 生态过程评价决策支持系统, 对不同生态补水方案进行“模拟 - 评价 - 调整 - 模拟 - 评价 - 再调整”的循环计算, 提出不同补水方案及其水文过程、生态效果。

2.1 模型构建

模拟黄河各预案生态补水后湿地地下水位变

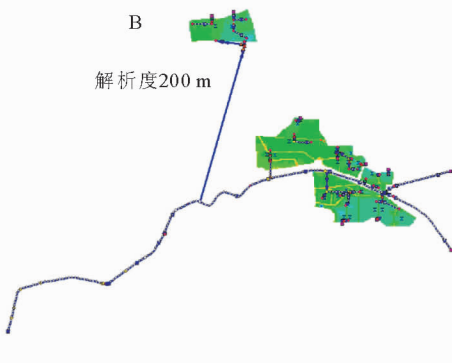
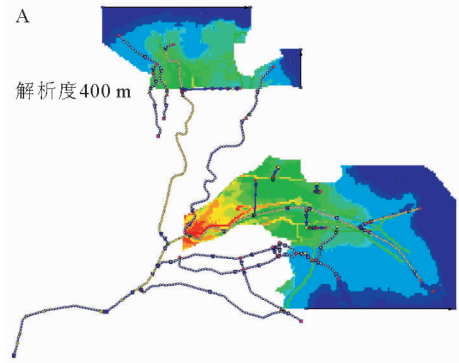


图 9 模型的空间架构

Fig. 9 Spatial structure of model

化、分布及补给状况, 并进行不同情境下淹没模拟。

构建基于 SOBEK 模型研究基础上的河道水力一维(解析度为 400 m 的中尺度模型 A)和湿地漫流二维(解析度为 200 m 的模型 B)模拟(图 9), 模拟黄河各生态补水预案下的湿地水文过程(图 10)和基于 MODFLOW 模型研究基础上的地下水模拟, 耦合进行黄河下游生态配水方案和地下水管理方案情景下的地下水分布模拟(图 11)。

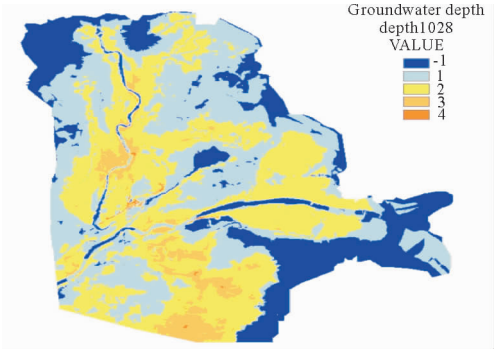


图 7 黄河三角洲地下水埋深

Fig. 7 Groundwater depth of Yellow River Delta

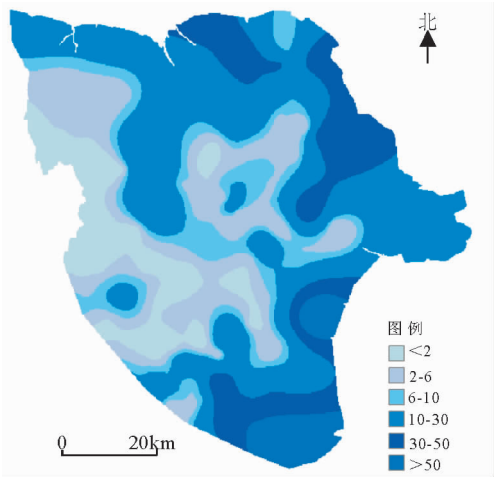


图 8 地下水矿化度空间分布

Fig. 8 Mineralization spatial distribution of groundwater



图 10 湿地补水后 SOBEK 模型输出

Fig. 10 Model export after wet land water recharge

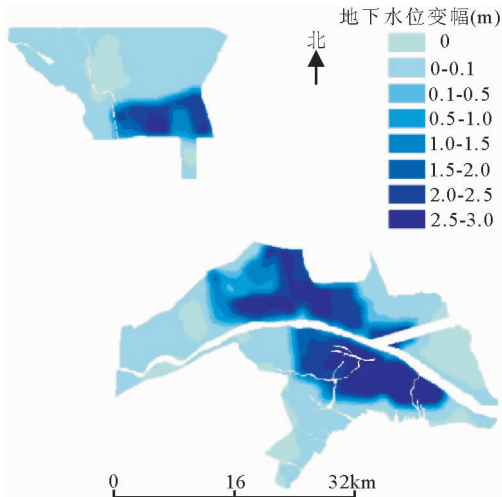


图 11 模拟湿地恢复后地下水水位变化

Fig. 11 Groundwater level variation after wet land recovery analog

运用 SEBS 模型,采用 MODIS 的反照率地表覆盖度(或者叶面积指数)和地表温度数据估算日蒸散量,计算给出黄河三角洲湿地研究范围的年蒸散量,构建景观生态决策支持模型(LEDESS 模型),模拟实施生态补水后对湿地生态系统演替趋势和鸟类栖息地质量的影响与变化情况,预测生态补水的生态效应。在此基础上,将补水生态评价结果反馈和调整补水预案,并将调整后的黄河补水预案进行水文过程、生态过程及生态效果的进一步模拟。

2.2 栖息地模型构建的数据

2.2.1 栖息地生境特征与承载能力 根据自然保护区鸟类重要性和物种代表性,选择以芦苇沼泽为主要繁殖栖息及越冬环境的丹顶鹤(*Grus japonensis*)、以淡水沼泽为主要栖息地的东方白鹳(*Ciconia boyciana*)、以翅碱蓬(*Suaeda heteroptera*)滩涂为主要觅食栖息环境的黑嘴鸥(*Larus saundersi*)3种水鸟为生态需水研究的指示物种。各指示物种栖息地适宜性特征见表2,生态承载力见表3。

2.2.2 主要生境类型及指示鸟类需水规律 黄河三角洲湿地主要植被需水特征见表4,指示鸟类需水特征见表5。

2.2.3 补水预案制定 考虑黄河水资源支撑条件,根据地表水、地下水、景观模型对栖息地地表水和地下水的模拟,确定黄河三角洲湿地生态补水预案见表6。

表 2 黄河三角洲湿地指示物种栖息地适宜性特征

Tab. 2 Suitability features of indicator species habitat in Yellow River Delta

生境类型	指示物种								
	丹顶鹤			东方白鹳			黑嘴鸥		
	觅食	繁殖	停歇	觅食	繁殖	停歇	觅食	繁殖	停歇
林地	++		++						
未灌溉农田	+++		+++						
灌溉农田									
柽柳									
獐茅									
白茅									
芦苇	+++		+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
旱柳									
盐田	++		++						
滩涂	+++		+++	+++		+++	+++		+++
翅碱蓬									
鱼塘虾池	++		++	+++		++	+++		++

表3 黄河三角洲湿地各生境指示物种生态承载力

Tab.3 Indicator species ecological carrying capacity of Yellow River Delta habitats							
基于 DEM 影像的生态单元划分	丹顶鹤	黑嘴鸥	东方白鹳	基于 DEM 影像的生态单元划分	丹顶鹤	黑嘴鸥	东方白鹳
11 滩涂	1	0.75	1	93 林地 3	0.1	0	0
21 翅碱蓬	0	1	0	94 林地 4	0.1	0	0
22 翅碱蓬	0	0.75	0	111 农田	0.5	0	0
31 柽柳与翅碱蓬 1	0	0	0	121 水稻田 1	0.75	0	0
32 柽柳与翅碱蓬 2	0	0	0	122 水稻田 2	0.75	0	0
41 柽柳与芦苇 1	0	0	0.1	131 盐田	0.5	0	0
42 柽柳与芦苇 2	0	0	0.1	132 鱼池	0	0.1	0
51 柽柳-地下水	0	0	0	141 黄河	0	0	0
52 柽柳	0	0	0	142 其它河流与沟渠	0	0.1	0
61 芦苇草甸 1	0.1	0	0.5	143 海洋	0	0.5	0
62 芦苇草甸 2	0.1	0	0.5	144 水库	0	0	0
63 芦苇草甸 3	0.5	0	0.75	151 居民区	0	0	0
71 芦苇沼泽_仅地下水	0.1	0	1	152 小路	0	0	0
72 芦苇沼泽 1	0.5	0.1	1	153 主要道路	0	0	0
73 芦苇沼泽 2	0.75	0.1	1	154 油田	0	0	0
74 芦苇沼泽 3	1	0	1	161 裸地(盐碱地)	0	0	0
81 白茅	0	0	0	162 裸地(非盐碱地)	0	0	0
91 林地 1	0.1	0	0	163 洪水淹没的裸土	0	0	0
92 林地 2	0.1	0	0				

表4 黄河三角洲主要植被需水特征

Tab.4 Major vegetation water requirement features of Yellow River Delta							
需水		芦苇沼泽	芦苇草甸	杞柳	翅碱蓬	柽柳	白茅
特征		根深 0.5 ~ 1.5 m	根深 0.5 ~ 1.5 m	根深 1.0 ~ 2.0 m	根深 0.2 ~ 0.3 m	根深 0.5 ~ 2.0 m	根深 0.1 ~ 0.2 m
地下	最小	—	0.1	0.0	0.0	0.5	0.1
水位/	适宜	—	0.3 ~ 0.8	2 ~ 3	0.3 ~ 0.5	1 ~ 1.5	0.3 ~ 0.5
m · a ⁻¹	最大	—	3.0	4 ~ 5	1.0	2.0	1.0
补水	最小	0.1	0.0	0.0	0.0	—	0
水位/	适宜	0.5	0.1	0.0	0.0 ~ 0.1	—	0
m · a ⁻¹	最大	2.0	0.3	1.5	0.30	—	0.5
补水时间/	适宜	365	60	60	1	3	0
d · a ⁻¹	最大	365	90	365	2	30	10
需水时期		4 ~ 6 月(植物发芽期), 7 ~ 10 月(植物生长期)					

表5 黄河三角洲指示鸟类需水特征

Tab.5 Indicative birds water requirement features of Yellow River Delta			
需水	平均需水	需水水深范围/	需水
时段	水深/cm	cm	原因
4 ~ 6 月	10	10 ~ 50	繁殖
7 ~ 10 月	50	20 ~ 80	生长、繁殖
		10 ~ 100 (注:个别区域水深	
11 ~ 3 月	20	应达 1m 左右,以满足东方白	越冬
		鹳、天鹅等鸟类越冬要求)	

表6 湿地补水方案

Tab.6 Wet land water recharge projects				
补水方案		典型方案 A	典型方案 B	典型方案 C
补水规模/hm ²		23 614	23 614	23 614
补水月份		3－10	3－10	3－10
平均补水水深/cm		15	30	45
补水量/ 10 ⁸ m ³	南部	2.36	2.96	3.54
	北部	0.44	0.54	0.66
	合计	2.8	3.5	4.2

3.1.2 补水生态效果 耦合水力学模型、地下水模型和基于生态知识矩阵的 LEDESS 模型,得到不同补水方案后的模拟结果(图 13)。预测补水情境下不同植被类型演替尤其是湿生沼泽、普通草甸、灌丛等面积增加,见表 7。

3.2 补水生态效果模拟

3.2.1 生境结构变化 连续补水 5 年后的湿地生境变化见图 14。

3 结果与分析

3.1 湿地补水过程与生态变化

3.1.1 补水对地下水影响 模拟地表补水后,补水区域 200 m 范围内地下水水位抬升 1 m 以上,补水区域 200 ~ 1 000 m 范围内地下水水位抬升 0.1 ~ 1 m(图 12)。

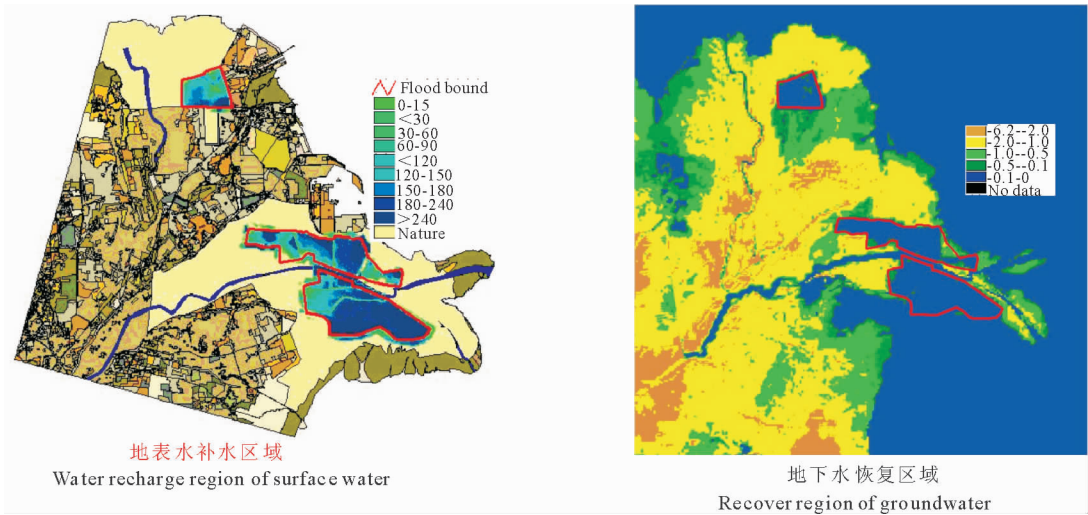


图 12 典型补水预案湿地水文过程

Fig. 12 Wet land hydrologic process of typical water recharge plan

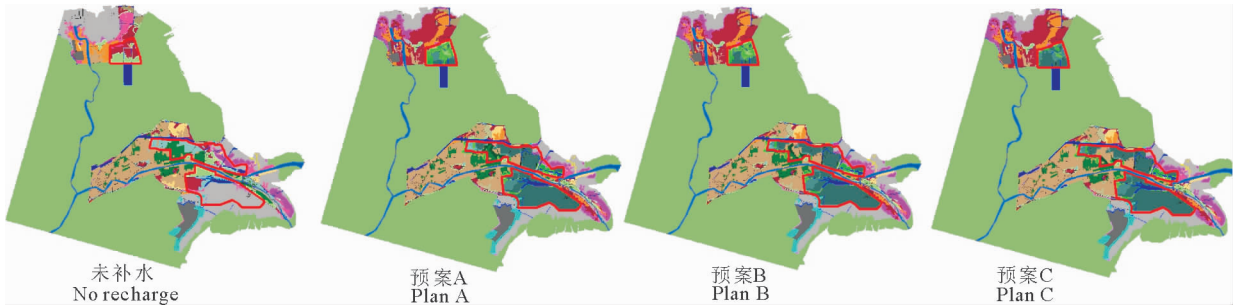


图 13 典型生态补水预案下湿地景观变化

Fig. 13 Wet land landscape change of typical ecological water recharge plan

表 7 湿地补水后植被演替情况预测 hm²

Tab. 7 Vegetation succession forecast after wet land water recharge									
植被类型	2005 年	典型预案 A	典型预案 B	典型预案 C	植被类型	2005 年	典型预案 A	典型预案 B	典型预案 C
裸滩涂	29 531	17 693	17 692	17 708	芦苇草甸	5 053	6 279	5 925	4 814
翅碱蓬	4 545	7 060	7 052	7 051	芦苇沼泽	5 604	15 949	16 397	17 717
怪柳 - 翅碱蓬	4 145	1 124	1 124	1 119	林地/杞柳	4 932	5 299	5 325	5 345
怪柳 - 芦苇	5 975	10 858	10 804	10 639	旱田	18 260	15 609	15 556	15 510
怪柳	2 759	3 814	3 814	3 793	淡水水面	8 475	8 592	8 592	8 592

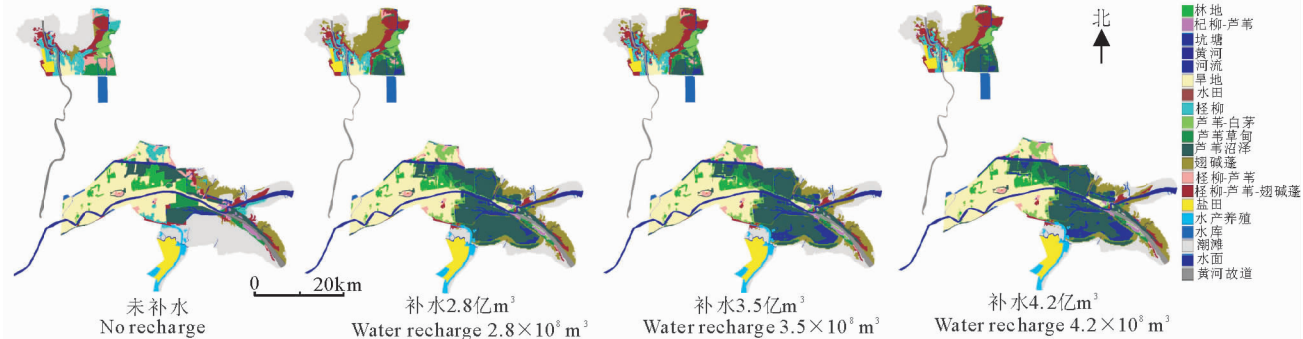


图 14 典型补水预案下的湿地 5 年后生境

Tab. 14 Wet land habitat in typical water recharge plan five years later

3种补水预案下,芦苇沼泽面积从原有的5 600 hm²分别增加到15 800、16 400、17 700 hm²,原有的芦苇草甸因淡水补给大多演化为芦苇沼泽,翅碱蓬滩涂面积显著增加。但引水量过大造成了对芦苇生长的抑制。补水3.5亿 m³的生态经济效益要优于其他方案。

3.2.2 栖息地质量变化 不同补水预案下指示物种的生态承载力见表8。

表8 各预案的生态承载力比较
Tab.8 Ecological carrying capacity comparison in different plans

补水预案	生态承载力		
	越冬期 丹顶鹤/对	繁殖期东方 白鹤/对	繁殖期黑 嘴鸥/对
现状	30	45	400
预案A	209	361	540
预案B	211	378	541
预案C	227	446	549

各预案条件下黄河三角洲指示鸟类数量显著增加,生态承载力大幅提高,但承载水平并未随补水量持续增加而显著持续增长。如补水量的增加没有显著关联到越冬期丹顶鹤数量的增加;相对黑嘴鸥适宜生境而言,过多补水反而不利于其栖息繁殖。

4 结论

(1)黄河三角洲湿地生态补水湿地规模约23 600 hm²,生态需水量2.8亿~4.2亿 m³。在现实水资源管理中,一般年份补水3.5亿 m³、干旱年份补水4.2亿 m³、湿润年份补水2.8亿 m³。

(2)通过湿地补水,作为珍稀鸟类重要栖息地芦苇湿地面积从现状的1万 hm²增加至2.2万 hm²,翅碱蓬滩涂生境从现状的4 500 hm²增加至7 000 hm²。指示性物种丹顶鹤、白鹤、黑嘴鸥

适宜生境面积增加明显。湿地补水并不能使所有鸟类生境都得到最大的改善,过多补水对于黑嘴鸥栖息地质量有不利生态干扰。

(3)修复河口受损生态系统和实施人工补水,需要统筹考虑保护对象生境和景观多样性,科学修复与谨慎重建不同功能的湿地格局,协调好不同保护种群的栖息生境。

参考文献

安乐生. 2012. 黄河三角洲地下水水盐特征及其生态效应 [D]. 青岛:中国海洋大学.

陈建,王世岩,毛战坡. 2011. 1976-2008年黄河三角洲湿地变化的遥感监测[J]. 地理科学进展, 30(5):585-592.

樊彦国,张磊,孙元芳,等. 2010. 基于RS的黄河三角洲地区土地利用分类监测研究[J]. 遥感技术与应用, 25(1):45-49.

关元秀,刘高焕,王劲峰. 2001. 基于GIS的黄河三角洲盐碱地改良分区[J],地理学报, (56)2:198-202.

栗云召,于君宝,韩广轩,等. 2011. 黄河三角洲自然湿地动态演变及其驱动因子[J]. 生态学杂志, 30(7):1535-1541.

连煜,王新功,黄翀,等. 2008. 基于生态水文学的黄河口湿地生态需水评价[J]. 地理学报, 63(5):451-461.

刘庆生,刘高焕,薛凯,等. 2006. 近代及现代黄河三角洲不同尺度地貌单元土壤盐渍化特征浅析[J]. 中国农学通报, 22(11):353-359.

刘晓燕,连煜,可素娟. 2009. 黄河河口生态需水分析[J]. 水利学报, 40(8):956-962.

田佳怡,等. 1999. 黄河三角洲生物多样性研究[M]. 青岛:青岛出版社.

(责任编辑 张俊友)

Study on Eco-water Supplement for Freshwater Wetlands in the Yellow River Estuary

ZHUO Jun-ling¹, GE Lei², SHI Xue-ting¹

(1. Environmental Engineering Assessment Centre, Ministry of Environment
Protection, Beijing 100012, P. R. China;

2. Yellow River Basin Water Resources Protection Bureau, Zhengzhou 450004, P. R. China)

Abstract: On the basis of vegetation forms and evolution analysis of land utilization in estuary district, the study set up the surface and underground water model of eco-water supplement in Yellow river delta. The landscape ecological decision support system of wetlands water supplement is formed. And it also built the eco-hydrology simulation system of ecological water compensation in the wetland of Yellow river estuary. Selecting *Grus japonensis*, *Ciconia boyciana* and *Larus saundersi* as the indicator species of eco-water requirement, the volume of simulation water supplement respectively is $2.8 \times 10^8 \text{ m}^3$, $3.5 \times 10^8 \text{ m}^3$, $4.2 \times 10^8 \text{ m}^3$. Under the plan of simulation water supplement, if the water supplement area is within 200 meters, the water level of underground would raise above 1 meter; if the area range from 200 to 1 000 meters, it would raise from 0.1 to 1 meter. The vegetation form succession exists, and the area of wet marshes, common meadow, brushwood and so on will increase; the indicator number of birds increase significantly, and the ecological bearing capacity improve drastically, but it can't improve with the increasing volume of water supplement; the ecological function of wetland will be recovered basically, and the ecological value of wetland improve obviously. When the water increase to a certain degree, the difference of ecological value would be smaller. It is suggested that the best plan for water supplement is to supply water $3.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ in the common years, to supply water $4.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ in the drought years and to supply water $2.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ in the wetter years.

Key words: freshwater wetland;eco-water supplement; Yellow River estuary