

DOI: 10.5846/stxb202006291678

穆泳林, 梁晨, 李晓文, 白军红, 崔保山, 智烈慧, 梁芳源, 李鹏, 程维金, 肖之炎. 基于系统保护规划的海河流域湿地保护优先格局与保护空缺识别. 生态学报, 2021, 41(10): 3836-3845.

Mu Y L, Liang C, Li X W, Bai J H, Cui B S, Zhi L H, Liang F Y, Li P, Cheng W J, Xiao Z Y. Identification of wetland conservation priority areas and gaps based on systematic conservation planning in Haihe River Basin, China. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(10): 3836-3845.

基于系统保护规划的海河流域湿地保护优先格局与保护空缺识别

穆泳林¹, 梁 晨², 李晓文^{1,*}, 白军红¹, 崔保山¹, 智烈慧¹, 梁芳源¹, 李 鹏³,
程维金³, 肖之炎³

1 北京师范大学环境学院, 北京 100875

2 北京清华同衡规划设计研究院有限公司, 北京 100085

3 武汉市湿地保护中心, 武汉 430023

摘要:以海河流域为研究对象, 依托系统保护规划的理论、方法和技术手段, 建立气候-地貌-湿地生态地理综合分类单元, 并将此单元作为宏观尺度湿地生物多样性的替代单元, 同时以湿地水鸟作为物种尺度的指示物种, 综合考虑道路、居民点等社会因素, 确定了海河流域湿地保护优先格局及保护空缺。研究表明: 湿地结构上, 现有保护体系中仅滨海湿地受保护比例较高, 经系统保护规划优先后, 湿地保护比例可达 28.55%, 保护面积达 36.55 km²; 在空间分布上, 仅徒骇马颊河水系目前得到较好的保护, 建议对滦河及冀东沿海区域及海河流域南北水系通过设立保护小区和建立湿地公园等方式加强保护。研究结果可为海河流域湿地保护体系调整提供参考, 为湿地、非湿地生态系统的整合优化提供有益启示。

关键词: 湿地保护; 系统保护规划; 保护优先格局; 海河流域

Identification of wetland conservation priority areas and gaps based on systematic conservation planning in Haihe River Basin, China

MU Yonglin¹, LIANG Chen², LI Xiaowen^{1,*}, BAI Junhong¹, CUI Baoshan¹, ZHI Liehui¹, LIANG Fangyuan¹, LI Peng³, CHENG Weijin³, XIAO Zhiyan³

1 School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2 Beijing Tsinghua Tongheng Urban Planning & Design Institute Co. Ltd., Beijing 100085, China

3 Wuhan Wetland Conservation Center, Wuhan 430023, China

Abstract: Sustained high-intensity development of society and economy have leading to the degradation and destruction of the wetland in Haihe River Basin. Limited by funds, the wetland protected areas should be selected in cost-effective ways. Previous studies attempted to identify priority areas of wetland protection with only biodiversity features. As a result, the protection targets of many reserves overlap, and gaps still exist of the region. Applied with the methodology of Systematic Conservation Planning and the relevant spatial optimization software, we tried to identify wetland areas in need of protection that were more representatively and effectively, and the conservation gaps based on the existing wetland reserves. Two level of conservation objectives were used in this study, we first established a wetland classification scheme of climatic-geomorphological-wetland, which was employed as a coarse-filter for surrogates of wetland biodiversity, 24 types were

基金项目: 国家自然科学基金项目(31370535, 31770576)

收稿日期: 2020-06-29; 修订日期: 2021-03-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lixw@bnu.edu.cn

derived of the region, we also use water birds as fine-filter as a complementary, the costs for protection were considered with the factors of socio-economical, such as road, rail, etc. Currently, the coastal wetland were protected with the highest percentage of 13.03%, after the optimization, it could reach to 53.14%. Palustrine wetland was the most widely distributed, but only 2.72% were protected, it could be 36.35% with our planning. Compared with the wetland protected areas of the region, only the Tuhaimajia river has been well protected, significant gaps were in other catchments. Lacustrine wetland and palustrine wetland gaps were mainly distributed in upstream of Luan river and Yongding river, riverine wetland gaps were in the border of Tangshan and Qinhuangdao. The source of river were main gap areas, and the outside areas of the reserves also presented a significance of protection, such as the Binzhouhaian Wetland Nature Reserve and Yellow River Delta Wetland National Nature Reserve. In consideration of the prominent influences of Xiongan New Area in the future economic development of the region of Beijing, Tianjin and Hebei, our suggestions were as follows: small-reserves were suggested to established in key rivers of Luan River and coastal areas of Hebei; wetland parks were recommended in the northern Haihe river in face of the dense population and advanced economies; the reserves in the southern Haihe river and Tuhaimajia river should be enlarged and managed more efficiently, as it was the core areas for wetland protection. Our results could be served as reference for the adjustment of wetland protection system in Haihe River Basin, and be useful enlightenment for the integration and optimization of wetland and non-wetland ecosystem.

Key Words: freshwater wetland; systematic conservation planning; conservation priority; Haihe River Basin

湿地作为全球三大生态系统之一,其独特的生态功能在维持区域生态系统平衡和可持续发展方面具有不可替代的作用^[1-2]。然而,近30年来社会经济的高速发展和城镇化进程的持续推进,对湿地资源的高强度开发利用导致了湿地生态系统的严重退化,湿地生态系统受到了严重的威胁和破坏^[3-5]。建立湿地保护区是对湿地进行保护的最为普遍和有效的方法之一^[6-8],截止2017年,中国已经建立了602个湿地自然保护区^[9],至2019年湿地保护率达到52.19%^[10]。然而,在保护区建设的初期阶段,保护目标主要聚焦在抢救性保护,而对部分保护区的选址并没有进行系统科学的规划,这就导致了当前的保护区体系中多个保护区的保护目标重叠、保护区选址受人为干扰较大、多种湿地及湿地生物仍处于保护空缺中等问题的存在^[11-14]。如何科学并合理的构建区域湿地自然保护区网络是当前研究的重要问题之一^[15-17]。

针对传统保护区网络规划的不足, Margules 等^[18]提出了系统保护规划(Systematic Conservation Planning, SCP)的概念,强调高效的利用有限的资源对具有代表性和持续性的区域进行保护。系统保护规划理论有两个关键原则,互补性和不可替代性,其中互补性旨在选择新的保护区时其所代表的生物多样性与当前保护区互补,不可替代性是指某片区域的缺失会在多大程度上损害整个区域的保护目标^[19]。该理论还提出保护规划不仅应当考虑自然性质和生物学范式,保护区的大小、连通性、边界长度以及建立保护区所需的社会和经济成本也应当考虑进来^[20]。近年来,系统保护规划已渐渐成为生物多样性保护的主流方法之一,并在许多地方取得了不错的成效^[21-24]。一些学者也开始将其理论和方法应用到淡水生态系统的保护规划中,综合考虑流域单元的连接性和生态过程,依据不同单元类型的生境、生物多样性、生态功能等对整片流域进行保护规划^[25-28]。

海河流域是我国社会经济发展的重心之一,湿地类型多样,生物多样性和生态系统服务价值巨大。以京津唐为主的城市群城市化发展非常迅猛,道路密度、人口密度为全国最高的区域之一。该区域还是全国重要的石油化工、盐化工基地和钢铁基地,综合港口和煤炭运输港口,以及密集的交通和物流中心,区域经济密度、海岸线利用率、建设用地扩展速度等居全国前列且不断增长,是典型的高强度开发区域,区域开发与资源环境保护矛盾非常突出^[29-30]。持续高强度的开发建设,使区域内湿地遭受城市化、农业与油田开发、水产养殖、道路与水利工程等基础设施建设的影响,表现为自然湿地被侵占、割裂,滨海湿地性质发生改变,湿地退化过程不断加剧,区域可持续发展能力以及生态安全受到威胁^[31]。故此,本研究以海河流域作为研究对象,运用系

统保护规划的理论方法,识别海河流域的保护优先格局及空缺,构建海河流域湿地保护网络,以期为海河流域湿地保护及湿地生物多样性保护提供改进建议和科学依据,并对国内其他流域的保护规划提供一定的借鉴价值。

1 研究地区概况

海河流域地理坐标位于 112° — 120° E, 35° — 43° N 之间,包括北京市和天津市的全部,河北省的大部分,山东省、河南省的北部以及内蒙古自治区和辽宁省的小部分区域,是我国北方政治、经济和文化的重心所在(图 1)。全流域总的地势是西北高东南低,大致分高原、山地及平原 3 种地貌类型,西部为山西高原和太行山区,北部为蒙古高原和燕山山区。海河流域属于半湿润半干旱的温带大陆性季风气候区,流域总面积为 318277.46 km^2 ,包括海河、滦河和徒骇马颊河三大水系、七大河系、10 条骨干河流。海河流域湿地面积 2366.41 km^2 ,占流域总面积的 0.74% ,湿地类型多样,所具有的水量条件、水质净化、气候调节和生物栖息地等生态系统服务功能显著^[32]。然而,由于近几十年来高强度水利工程的建设、地下水超采及污水排放和上游山地煤炭开采活动等,导致全流域湿地退化萎缩趋势越来越显著,大部分河流湿地处于“有河皆干有水皆污”的困境,目前海河流域诸河下游只有滦河水系常年有水。近年,南水北调一期工程的通水竣工,为海河流域湿地恢复和湿地生态建设创造了新的机遇。

2 数据来源及研究方法

2.1 数据来源及处理

本研究所采用的数据包括:90 m 空间分辨率 DEM 数据,全国水资源分区图,国家级湿地保护区分布(截止 2010 年),全国湿地类型分布(2008 年),1:3200 万中国地貌分类数据(2002 年),1:400 万中国气候带分布数据(2002 年),1:25 万数字水系图(截止 2008 年),海河流域鸟类分布数据,空间社会经济数据(包括公路、铁路、水坝、居民点和城镇分布以及全国县域行政单元分布等)。其中 DEM 数据为美国太空总署和国防部国家测绘局(NIMA)联合测量的 SRTM_DEM 数据;全国水资源分区图来源于水利部水电规划设计总院;全国湿地类型数据为中科院遥感科学国家重点实验室提供的全国湿地遥感分类数据;气候带分布和地貌数据分别取自中科院资源环境数据库(<http://www.igsnr.ac.cn>)和《中华人民共和国气候图集》^[34];鸟类分布数据则依据 IUCN 濒危等级,从中国鸟类观测中心网站(<http://www.birdreport.cn/>),共选取 124 种中国重要水鸟作为本研究的物种保护目标;数字水系图和空间社会经济数据均来源于国家基础地理信息中心(<http://ngcc.sbsm.gov.cn>)。

2.2 研究方法

研究考虑湿地生态系统的连接性,以集水区作为保护规划单元,以气候-地貌-湿地生态地理单元及水鸟分布作为保护对象,运用系统保护规划模型 Marxan,对海河流域保护优先格局构建及保护空缺识别。Marxan 模型要求在进行保护规划时将区域划分为多个基本单元,每个单元拥有一定数量的生物多样性特征及保护该

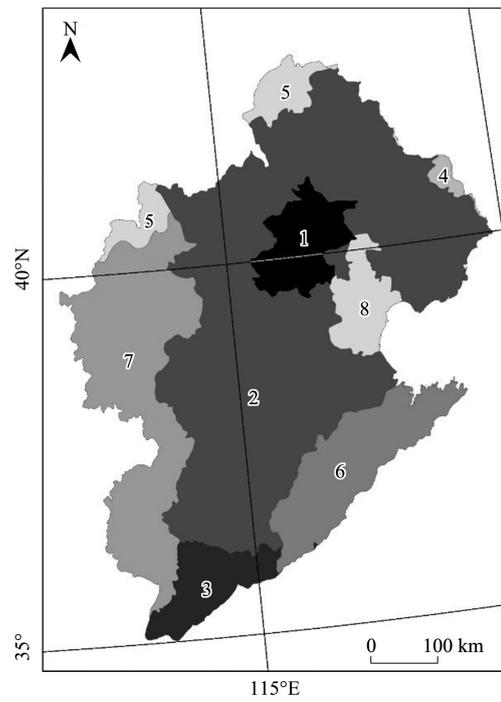


图 1 海河流域行政单元分布图

Fig.1 The map of administration units in Haihe River Basin

1:北京市;2:河北省;3:河南省;4:辽宁省;5:内蒙古;6:山东省;7:山西省;8:天津市

单元所需要的成本值,模型通过模拟退火算法、反复迭代,直至选出能够满足目标数量且成本最低的基本单元的集合。

2.2.1 确定规划单元

依据海河区域 DEM 及基本水系,采用美国德克萨斯州立大学奥斯汀分校水资源研究所联合美国环境研究所开发的 ArcHydro 工具建立的集水区单元作为规划单元,研究选取河源密度和河网密度参数来确定合理的集水面积阈值,通过敏感性分析,最终确定设置 200 km²作为流域集水区的平均面积。

2.2.2 保护对象的选取

研究的保护对象共分为两个层次,生态系统层次和物种层次(图 2)。生态系统层次是根据全国湿地遥感分类数据,综合考虑气候类型、地貌单元等决定区域湿地生态水文过程的关键因子,构建气候-地貌-湿地生态地理综合分类方案。海河流域气候区分类共两种:包括暖温带湿润及半湿润区和中温带干旱及半干旱区;地形分类共 4 种,包括高原、平原、丘陵和山地;湿地分类 4 种:滨海湿地、河流湿地、湖泊湿地和沼泽湿地,最终确定海河流域该分类方案下的气候-地貌-湿地类型共 24 种(表 1),研究将每种类型作为生态系统水平的保护对象;由于鱼类、两栖类等生物分布数据缺乏,研究将水鸟这一湿地生态系统生物多样性的重要指示物种作为海河流域物种层次保护目标。

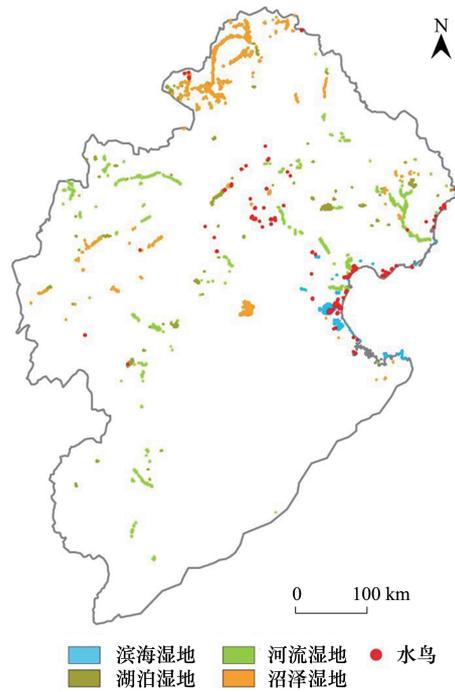


图 2 海河流域湿地及水鸟分布图

Fig.2 Distribution of wetland and water birds in Haihe River Basin

表 1 海河流域生态地理综合分类类型

Table 1 The category of climatic-geomorphological-wetland classification in Haihe River Basin

气候分区 Climate zone	地貌类型 Geomorphic type	湿地类型 Wetland type	数量 Quantity
暖温带湿润及半湿润区 Warm temperate wet and semi-humid zone	平原	滨海湿地	1
暖温带湿润及半湿润区 Warm temperate wet and semi-humid zone	高原	河流湿地	8
暖温带湿润及半湿润区 Warm temperate wet and semi-humid zone	平原	湖泊湿地	7
	丘陵		
	山地		
中温带干旱及半干旱区 Middle temperate dry and semi-arid zone	高原	湖泊湿地	7
	平原		
	丘陵		
暖温带湿润及半湿润区 Warm temperate wet and semi-humid zone	山地	湖泊湿地	7
	平原		
	丘陵		
中温带干旱及半干旱区 Middle temperate dry and semi-arid zone	高原	湖泊湿地	7
	平原		
	丘陵		
	山地	湖泊湿地	7
	山地		

续表

气候分区 Climate zone	地貌类型 Geomorphologic type	湿地类型 Wetland type	数量 Quantity
暖温带湿润及半湿润区 Warm temperate wet and semi-humid zone	高原	沼泽湿地	8
	平原		
	丘陵		
	山地		
中温带干旱及半干旱区 Middle temperate dry and semi-arid zone	高原		
	平原		
	丘陵		
	山地		

2.2.3 保护成本分析

由于保护成本难以直接度量,参照相关研究,选取了公路、铁路、城镇、农村居民点和水坝和保护区构建人为干扰指数,作为计算集水单元保护成本的间接因子^[22,35]。将各因子进行 0—1 标准化,并乘以权重系数并相加,即得每个集水区的保护成本指数,计算公式如下:

$$C = \sum_j^n \left(\frac{V_i - V_{i\min}}{V_{i\max} - V_{i\min}} W_i \right) \quad (1)$$

$$C' = C(1 - 0.5R) \quad (2)$$

式中, V_i 为每个集水区内因子 i 的度量值; W_i 为因子 i 的权重(表 2); j 为每个集水区内因子的个数; C 为集水区调整前的保护成本指数; C' 为集水区经过保护调整后的成本指数; R 为集水区内保护区与该集水区的面积比。

表 2 各影响因子的度量和权重

Table 2 The measurement and weights of the impact factors

因子 Factor	度量(每个集水区) Measure (Each catchment)	权重系数 Weight coefficient	因子 Factor	度量(每个集水区) Measure (Each catchment)	权重系数 Weight coefficient
公路 Road	公路长度/河流长度	1	农村居民点 Rural	农村居民点个数/集水区面积	5
铁路 Rail	铁路长度/河流长度	1	大坝 Dam	大坝个数/集水区面积	20
城镇 Town	城镇面积/集水区面积	5			

2.2.4 保护优先格局及保护空缺识别

研究利用空间优化模型 Marxan 计算海河流域湿地保护优先格局,该模型基于模拟退火算法,可以高效的对区域内有限的保护资源进行合理配置,从保护目标和保护成本两方面出发,计算出能够最大程度代表保护目标且保护成本最低的规划单元的集合。参考 CBD(Convention on Biological Diversity) 对国际生物多样性保护目标设置的 20% 基准线及当前多数系统保护规划研究,本研究选取 30% 作为海河流域生态系统层次和物种层次的保护目标。

另外,通过 Marxan 边缘长度调节模块(Boundary Length Modifier, BLM)来调节格局优化过程中保护格局的连接度和聚集度。一般认为连接度高、聚集度高的格局更有生物多样性的维持以及相对集中的保护格局也有利于湿地保护保护工作的实施和管理,但过于集中连片的保护区域会导致保护所需土地资源代价增加,为了权衡保护格局聚集度和保护代价,采用敏感性分析得到合理的 BLM 值。最后,通过对比优先保护格局的模拟结果与现有保护区分布格局,识别具有不可替代性保护价值且游离于现有保护体系之外的集水单元,即为保护空缺。

3 结果与分析

3.1 海河地区湿地保护现状评估

基于遥感分析,海河流域现状湿地面积为 2366.41 km²,所属滨海、河流、湖泊和沼泽四种主要湿地类型的面积和所占比例分别为:486.56 km² (20.56%)、570.94 km² (24.13%)、380.98 km² (39.21%) 及 927.93 km² (16.10%) (图 3)。

海河地区保护区面积共 3152.42 km²,保护区内湿地面积 192.39 km²,湿地保护率为 8.13%。其中仅滨海湿地受保护比例较高,约为 13.03%;优化后的滨海湿地保护空缺面积为 258.94 km²,保护比例提升 53.14%。分布面积最广的为沼泽湿地,但其受保护比例仅有 2.72%,经系统保护优化后保护比例可提升至 36.35%。此外,纳入保护范围的河流湿地及湖泊湿地也很少,河流湿地受保护的面积和比例均很低,经优化提升后的保护比例达到 28.55%,优先保护面积达 36.55 km² (图 4)。总体来看,经过系统保护规划后的优化保护格局(保护比例为 37.29%)可大幅扭转海河流域的湿地保护比例总体严重偏低(受保护面积比例仅 3.8%)的严峻形势,特别是可以极大强化对河流湿地的保护力度。各生态地理单元水平的湿地保护现状及优化保护保护面积详见表 3。选取的 124 种水鸟中,当前保护现状中仅有 3 种被纳入保护体系,经优化调整后可提升至 67 种水鸟。

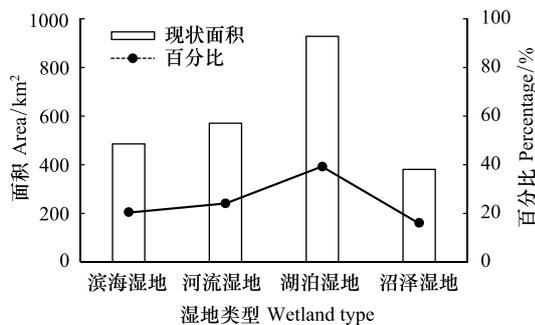


图 3 海河流域各类型湿地现状及保护比例

Fig.3 Comparing the area and percentage of area for wetland in Haihe River Basin

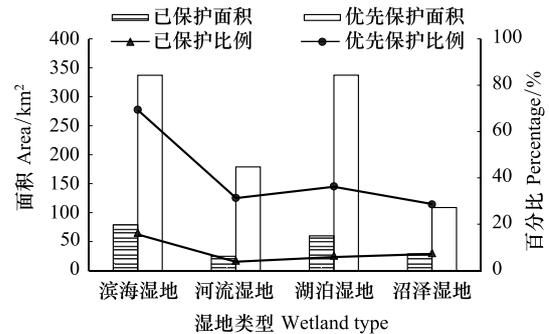


图 4 海河流域各类型湿地保护现状及优先保护对比

Fig.4 Comparing the protected area and priority area for wetland in Haihe River Basin

3.2 海河流域各子流域湿地保护优先格局空缺分析

为更明晰的对海河流域湿地保护格局进行分析,以流域单元为参照,对比现有国家级湿地保护区与优先保护格局,识别确定了海河流域及不同流域区段的湿地保护空缺(图 5)。结果表明:滦河上游及河源区流域湿地保护空缺主要集中分布在河北承德市与内蒙锡林郭勒盟交接处,且主要位于滦河上游国家级湿地自然保护区周边地带,主要保护的湿地类型为湖泊、沼泽湿地;滦河平原及冀东沿海河流域湿地保护空缺则主要集中在河北唐山与秦皇岛交界处,且主要为大面积河流湿地;北三河(蓟运河、潮白河、北运河)上游河源区保护空缺主要为张家口东北部山地湖泊湿地和北京北部山地河流湿地;永定河上游流域的主要保护空缺集中在河北、内蒙和山西三省交界处的大面积河流与湖泊湿地群,此外亦有面积相对较小的沼泽、湖泊湿地保护空缺位于张家口蔚县和怀来县等;北四河(蓟运河、潮白河、北运河、永定河)下游平原区域主要湿地保护空缺则分布在北京市海淀、顺义区以及天津市宁河县东部;大清河上游河源区主要保护空缺则主要分布在北京市房山区、保定市中部及南部区域;大清河淀西平原保护空缺重点集中于保定市雄县、安新县及容城县的白洋淀区域;大清河淀东平原保护空缺主要为廊坊市东南侧的滨海湿地群;子牙河上游河源区保护空缺分别集中于石家庄平山县及武安市,主要保护的湿地类型分别为湖泊湿地与河流湿地;徒骇马颊河水系目前已有滨州海安湿地自然保护区及黄河三角洲自然保护区,其保护空缺主要位于两处湿地保护区外围区域。

表 3 海河流域生态地理单元水平湿地保护及优化面积

Table 3 Protected area and prioritized area of Haihe River Basin for the unit of climatic-geomorphological-wetland classification

编码 Coding	现状面积/km ² Existed area	现状比例/% Percentage of existed	保护面积/km ² Protected area	保护比例/% Percentage of protected	优化后面积/km ² Prioritized area	优化后比例/% Percentage of prioritized
141	485.56	20.53	79.13	41.13	337.14	35.04
112	1.4	0.06	0	0	0.00	0.00
122	58.55	2.48	0	0	12.62	1.31
132	73.05	3.09	0	0	36.28	3.77
142	317.94	13.44	24.61	12.79	94.30	9.80
212	18.78	0.79	0	0	0.00	0.00
222	26.02	1.10	0	0	14.11	1.47
232	43.25	1.83	0	0	16.39	1.70
242	31.95	1.35	0	0	5.23	0.54
123	72.55	3.07	0	0	78.43	8.15
133	34.92	1.48	0	0	13.37	1.39
143	195.7	8.27	59.87	31.12	143.91	14.96
213	45.01	1.90	0	0	38.46	4.00
223	8.78	0.37	0	0	17.74	1.84
233	9.86	0.42	0	0	17.65	1.83
243	14.16	0.60	0	0	27.76	2.88
114	16.86	0.71	0.00	0	3.79	0.39
124	11.03	0.47	0.00	0	0.85	0.09
134	1.28	0.05	0.00	0	0.00	0.00
144	240.56	10.17	0.00	0	56.41	5.86
214	468.45	19.80	0.00	0	36.83	3.83
224	19.88	0.84	0.90	0.47	1.83	0.19
234	129.25	5.46	23.37	12.15	7.12	0.74
244	40.62	1.72	4.51	2.34	1.94	0.20
合计	2365.41	100	192.39	100	962.41	100

编码说明:共三位编码,第一位代表气候区,1:暖温带湿润及半湿润区 Warm temperate wet and semi-humid zone;2:中温带干旱及半干旱区 Middle temperate dry and semi-arid-zone;第二位代表地貌类型,1:高原 Plateau;2:山地 Mountain;3:丘陵 Hill;4:平原 Plain;第三位代表湿地类型,1:滨海湿地 Coastal;2:河流湿地 Riverine;3:湖泊湿地 Lacustrine;4:沼泽湿地 Palustrine

4 讨论

4.1 海河流域保护格局优化建议

总体而言,海河流域保护空缺十分显著,仅徒骇马颊河水系目前得到较好的保护,现有保护体系覆盖了其大部分优先保护湿地,其余流域的优先格局基本等同于保护空缺,考虑到未来以雄安新区建设为龙头的京津冀一体化发展,对海河流域湿地进行抢救性保护,构建京津冀一体化水生态安全格局,维护修复提升京津冀区域重要湿地生态系统服务功能已迫在眉睫。在分析海河流域湿地格局优化模拟结果基础上,针对海河流域湿地保护优化格局的关键区域提出如下相关建议:

(1) 滦河及冀东沿海区域:该区域湿地以滦河上游河源区及其入海平原为关键区域,虽然该区域的人为干扰程度较低,但山地河流湿地具有生态环境的脆弱性,容易受水电站建设等人为活动干扰。针对该区域保护空缺,建议对关键河段设立保护小区,填充保护空缺;同时,在流域尺度上实施统一管理和水文水资源生态调度。

(2) 海河流域北部水系:该区域为京津冀一体化的核心地带,由于该区域经济社会的快速发展,大面积自

然湿地已遭到人为活动的干扰与破坏。针对该区域湿地保护空缺,一方面应在河北、内蒙及山西三省交界处的河流湿地设立新的湿地自然保护区;同时,针对京津等经济发达、人口密集区域的湿地保护空缺,可以结合湿地自然教育和湿地休闲体验,建立不同类型的湿地公园或湿地小区,充分发挥人口密集区湿地所具有的生态系统服务功能,在保护湿地生物多样性同时,协同推进京津冀绿色生态基础设施建设。

(3) 海河流域南部水系:该区域为京津冀一体化的生态支撑关键区域,分布有衡水湖和白洋淀等重要的湖泊湿地及滨海湿地等重要湿地类型,为京津冀地区提供了水资源储备和水生态支撑等重要生态服务功能,更是未来京津冀可持续发展及北京非首都功能疏解(雄安新区的规划建设)的重要生态储备资源。因此,在该区域应主要围绕这些重要湿地,依据保护空缺分布,适度扩大原有保护区面积,升级原有湿地保护级别(如将白洋淀省级湿地自然保护区提升至国家级保护区或调整建立国家湿地公园等),提升该区域湿地保护管理水平。

(4) 徒骇马颊河水系:该区域的保护空缺主要为滨州所属滨海湿地及黄河三角洲北部边缘部分区域,由于该区域已建立了国家级湿地保护区,湿地保护比例较高,因此其主要任务是在现有保护体系的基础上适度扩建保护区范围,调整保护区边界,使其更加契合湿地保护优先格局和保护空缺,以进一步提高湿地保护的有效性。同时,应开展针对性的滨海湿地修复工作,构建湿地保护-修复一体化优化格局,以缓解围填海和海平面上升导致对滨海湿地的双重挤压胁迫效应。

4.2 展望

(1) 建立高分辨率气候-地貌-湿地生态地理分类单元:湿地生物数据难以获取是保护规划的难点之一,本研究通过建立气候-地貌-湿地生态地理单分类体系,强调不同类型气候、地貌、湿地共同作用下对湿地生态系统结构与功能差异性的塑造,用不同的分类单元作为湿地生物多样性的表征。然而,基于气候-地貌-湿地的分类体系是一种尺度较大的分类体系,此体系下的分类单元对常见物种具有良好的指示性,却并不能够很好的代表稀有物种和地方性物种^[36-37]。在未来研究中,可考虑建立更精细尺度的气候-地貌-湿地分类单元,并将鱼类、两栖类等湿地动物与此分类单元建立联系^[38-39],从而使得湿地系统保护规划的结果更具完备性和科学性。

(2) 重视湿地生态系统与陆地生态系统的连通性:水文连通性是湿地生态系统系统保护规划的研究热点之一,即将湿地生态系统的上下游之间(纵向连通性)、河流与湖泊、河岸之间(横向连通性)、地上水与地下水之间(垂向连通性)考虑到系统保护规划中来。然而,越来越多研究开始意识到湿地生态系统与陆地生态系统之间生态过程及社会经济过程的重要性^[40-41],忽视物种、污染物等在不同生态系统之间移动、扩散都会对生物多样性保护造成负面影响,导致保护出现偏差。因此,为了更加高效的对湿地生态系统进行系统保护规

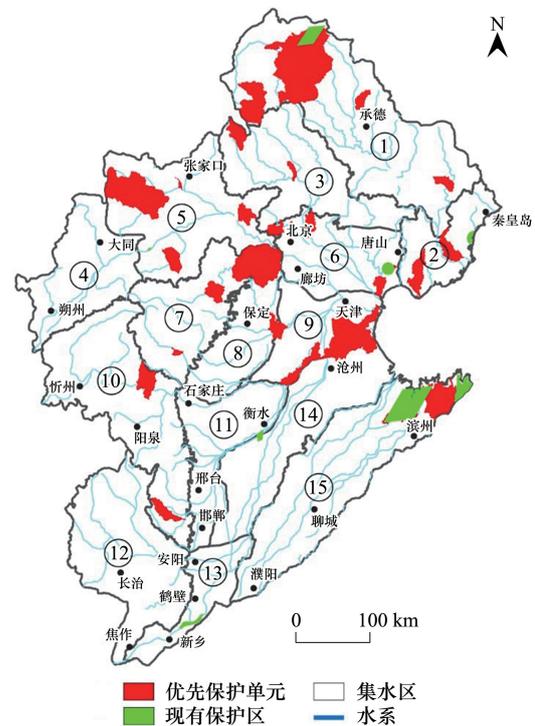


图5 海河流域湿地优先保护格局

Fig.5 The priority area for wetland in Haihe River Basin

① 滦河上游及源区;② 滦河中下游平原;③ 北三河(蓟运河、潮白河、北运河)上游及河源区;④ 永定河上游及其源区;⑤ 永定河中游河段;⑥ 北四河(蓟运河、潮白河、北运河、永定河)下游平原;⑦ 大清河上游河源区;⑧ 大清河淀西平原;⑨ 大清河淀东平原;⑩ 子牙河上游及河源区;⑪ 子牙河中下游平原;⑫ 漳卫河上游及河源区;⑬ 漳卫河中下游平原;⑭ 黑龙港及运东平原;⑮ 徒骇马颊河水系

划,还应考虑陆地生态系统对其的影响,定性或定量的表征两者之间连通性的强弱。

参考文献 (References):

- [1] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态系统健康研究进展. 生态学杂志, 2001(3):32-37.
- [2] 唐小平, 黄桂林. 中国湿地分类系统的研究. 林业科学研究, 2003, 16(05): 531-539.
- [3] 刘红玉, 吕宪国, 张世奎, 杨青. 三江平原流域湿地景观破碎化过程研究. 应用生态学报, 2005, 16(2): 289-295.
- [4] 韩大勇, 杨永兴, 杨杨, 李珂. 湿地退化研究进展. 生态学报, 2012(04):290-304.
- [5] 杨阳, 张亦. 我国湿地研究现状与进展. 环境工程, 2014, 32(07):43-48, 78.
- [6] Groves C R, Jensen D B, Valutis L L, Redford K H, Shaffer M L, Scott J M, Baumgartner J V, Higgins J V, Beck M W, Anderson M G. Planning for biodiversity conservation: putting conservation science into practice. *Bioscience*, 2002(6): 499-512.
- [7] Danielsen F, Jensen A, Alviola P A, Balette D S, Mendoza M, Tagtag A, Custodio C, Enghoff M. Does Monitoring Matter? A quantitative assessment of management decisions from locally-based monitoring of protected areas. *Biodiversity and Conservation*, 2005, 14(11): 2633-2652.
- [8] Mccune J L, Van Natto A, Macdougall A S. The efficacy of protected areas and private land for plant conservation in a fragmented landscape. *Landscape Ecology*, 2017, 32(4):871-882.
- [9] 湿地中国. (2017) [2021-02-02]. <http://www.shidien.com/manage.html>.
- [10] 2019年中国国土绿色状况公报. (2020-03-11) [2021-02-02]. <http://www.forestry.gov.cn/main/72/20200312/094240942578093.html>.
- [11] 栾晓峰, 黄维妮, 王秀磊, 刘敏超, 刘世荣, 吴波, 李迪强. 基于系统保护规划方法东北生物多样性热点地区和保护空缺分析. 生态学报, 2009, 29(1):148-154.
- [12] 曲艺, 李佳珊, 王继丰, 崔福星, 孙工棋, 栾晓峰, 倪红伟. 基于系统保护规划的三江平原湿地保护网络体系优化. 生态学报, 2015, 35(19): 6394-6404.
- [13] Zhang Y B, Liu Y L, Fu J X, Phillips N. Bridging the "gap" in systematic conservation planning. *Journal for nature conservation*, 2016, 31: 43-50.
- [14] Fonseca C R, Venticinque E M. Biodiversity conservation gaps in Brazil: A role for systematic conservation planning. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 2018:S2530064417301487.
- [15] Cui, B, S., Zhang, Z.M., Lei, X.X. Implementation of diversified ecological networks to strengthen wetland conservation. *Clean-soil Air Water*, 2012, 40(10): 1015-1026.
- [16] Verheijen B H F, Varner D M, Haukos D A. Effects of large-scale wetland loss on network connectivity of the Rainwater Basin, Nebraska. *Landscape Ecology*, 2018, 33(11): 1939-1951.
- [17] 李晓文, 郑钰, 赵振坤, 黎聪. 长江中游生态区保护空缺分析及其保护网络构建. 生态学报, 27(12), 4979-4989.
- [18] Margules C, Pressey R. Systematic conservation planning. *Nature*, 2000, 405, 243-253.
- [19] Ausseil A E, Chadderton W L, Gerbeaux P, Stephens R T T, Leathwick J R. Applying systematic conservation planning principles to palustrine and inland saline wetlands of New Zealand. *Freshwater Biology*, 2011, 56(1): 142-161.
- [20] 张路, 欧阳志云, 徐卫华. 系统保护规划的理论、方法及关键问题. 生态学报, 2013, 35(4): 1284-1295.
- [21] Cowling R M, Pressey R L, Rouget M, Lombard A T. A conservation plan for a global biodiversity hotspot—the Cape Floristic Region, South Africa. *Biological Conservation*, 2003, 112(1-2): 191-216.
- [22] 宋晓龙, 李晓文, 张明祥, 张黎娜, 李东来. 黄淮海地区湿地系统生物多样性保护格局构建. 生态学报, 2010, 30(15): 3953-3965.
- [23] Heiner M, Higgins J V, Li X, Baker B. Identifying freshwater conservation priorities in the Upper Yangtze River Basin. *Freshwater Biology*, 2011, 56(1): 89-105.
- [24] 郭云, 梁晨, 李晓文. 基于水鸟保护的长江流域湿地优先保护格局模拟. 生态学报, 2018, 38(6): 1984-1993.
- [25] Turak E, Linke S. Freshwater conservation planning: an introduction. *Freshwater Biology*, 2011, 56(1):1-5.
- [26] Hermoso V, Pantus F, Olley J, Linke S. Systematic planning for river rehabilitation: integrating multiple ecological and economic objectives in complex decisions. *Freshwater Biology*, 2012, 57(1): 1-9.
- [27] Linke S, Kennard M J, Hermoso V, Olden J D, Stein J, Pusey B J. Merging connectivity rules and large-scale condition assessment improves conservation adequacy in river systems. *Journal of Applied Ecology*, 2012, 49(5): 1036-1045.
- [28] Lemelin L, Darveau M. Coarse and fine filters, gap analysis, and systematic conservation planning. *Forestry Chronicle*, 2006, 82(6): 802-805.
- [29] 冯爱萍, 吴传庆, 王雪蕾, 王洪亮, 周亚明, 赵乾. 海河流域氮磷面源污染空间特征遥感解析. 中国环境科学, 2019, 39(7): 2999-3008.
- [30] 杨志, 牛桂敏. 流域视角下京津冀水污染协同治理路径探析. 人民长江, 2019, 50(09): 6-12.
- [31] 江波, 欧阳志云, 苗鸿, 郑华, 白杨, 庄长伟, 方瑜. 海河流域湿地生态系统服务功能价值评价. 生态学报, 2011, 31(08): 2236-2244.

- [32] 郝利霞, 孙然好, 陈利顶. 海河流域河流生态系统健康评价. 环境科学, 2014, 35(10): 3692-3701.
- [33] 崔文彦, 罗阳, 王迎, 王洪翠, 付晓亮. 2007. 海河流域湿地生态服务价值评价及对策研究. 海河水利, (6): 13-16, 29.
- [34] 中央气象局编制. 中华人民共和国气候图集. 北京: 地图出版社, 1979.
- [35] 梁晨, 李晓文, 崔保山, 马田田. 中国滨海湿地优先保护格局构建. 湿地科学, 2015, 13(06): 660-666.
- [36] Thieme M, Lehner B, Abell R, Hamilton S K, Kellendorfer J, Powell G, Riveros J C. Freshwater conservation planning in data-poor areas: An example from a remote Amazonian basin (Madre de Dios River, Peru and Bolivia). *Biological Conservation*, 2007, 135(4): 484-501.
- [37] Sieben E J. Zonal and azonal vegetation revisited: How is wetland vegetation distributed across different zonobiomes. *Austral Ecology*, 2019, 44(3): 449-460.
- [38] Gracz M, Glaser P H. Evaluation of a wetland classification system devised for management in a region with a high cover of peatlands: an example from the Cook Inlet Basin, Alaska. *Wetlands Ecology and Management*, 2017, 25(1): 87-104.
- [39] Wetzel F, Bingham H, Groom Q, Haase P, Kõljalg U, Kuhlmann M, Martin C S, Penev L, Robertson T, Saarenmaa H, Schmeller D S, Stoll S, Tonkin J D, Häusera C L. Unlocking biodiversity data: Prioritization and filling the gaps in biodiversity observation data in Europe. *Biological Conservation*, 2018: 78-85.
- [40] Amis M, Rouget M, Lotter M, Day J. Integrating freshwater and terrestrial priorities in conservation planning. *Biological Conservation*, 2009, 142(10): 2217-2226.
- [41] Álvarez-Romero J G, Adams V M, Pressey R L, Douglas M, Dale A P, Augé A A, Ball D Childs J, Digby M, Dobbs R, Gobius N, Hinchley D, Lancaster I, Maughan M, Perdrisat I. Integrated cross-realm planning: A decision-makers' perspective. *Biological Conservation*, 2015: 799-808.