

DOI: 10.5846/stxb202101180188

张艳春, 毛旭锋, 魏晓燕, 张志法, 唐文家, 周华坤, 马建海, 尹心安, 佟玲玲. 湟水国家湿地公园湿地价值及其辐射格局研究. 生态学报, 2022, 42(2): 569-580.

Zhang Y C, Mao X F, Wei X Y, Zhang Z F, Tang W J, Zhou H K, Ma J H, Yin X A, Tong L L. Wetland value and its radiation pattern of the Huangshui National Wetland Park. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(2): 569-580.

湟水国家湿地公园湿地价值及其辐射格局研究

张艳春^{1,2}, 毛旭锋^{1,2,*}, 魏晓燕^{1,3}, 张志法⁴, 唐文家⁵, 周华坤⁶, 马建海⁷, 尹心安⁸, 佟玲玲^{1,2}

1 青海师范大学地理科学学院, 高原科学与可持续发展研究院, 西宁 810008

2 青海省自然地理与环境过程重点实验室, 青藏高原地表过程与生态保育教育部重点实验室, 西宁 810008

3 青海师范大学经济与管理学院, 西宁 810008

4 湟水国家湿地公园管理服务中心, 西宁 810008

5 青海省生态环境厅, 生态环境监测中心, 西宁 810008

6 中国科学院西北高原生物研究所, 青海省寒区恢复生态学重点实验室, 西宁 810008

7 青海省林业与草原局, 西宁 810008

8 北京师范大学环境学院, 北京 100875

摘要: 评估湿地价值量并分析价值的空间分布情况, 对湿地保护管理和区域规划利用具有重要的指导意义。以青海西宁湟水湿地公园为研究区, 构建一套适合高原城市湿地的生态系统服务评价体系, 采用功能价值法和断裂点模型法, 分析公园的湿地价值及其辐射格局特征。结果表明: (1) 2020 年湟水国家湿地公园的 15 项生态系统服务的总价值为 6.18 亿元, 四大服务价值量按照价值高低排序依次为文化服务、调节服务、支持服务和供给服务; (2) 5 个评价区中, 湟水主河道的价值最高, 其次为北川湿地和海湖湿地, 最后是火烧沟公园和宁湖湿地; (3) 5 大湿地区生态系统服务的辐射范围由大到小依次为: 宁湖湿地>北川湿地>湟水主河道>海湖湿地>火烧沟公园; 对湿地服务辐射范围叠加处理后, 形成 1 个核心区和 5 个次核心区域; (4) 湟水国家湿地公园的生态系统服务存在空间溢出情况, 湟水主河道的生态系统服务向周边湿地公园溢出, 其他四个湿地区之间生态系统服务存在相互溢出和叠加的现象。

关键词: 生态系统服务; 价值分布; 辐射格局; 湟水国家湿地公园

Wetland value and its radiation pattern of the Huangshui National Wetland Park

ZHANG Yanchun^{1,2}, MAO Xufeng^{1,2,*}, WEI Xiaoyan^{1,3}, ZHANG Zhifa⁴, TANG Wenjia⁵, ZHOU Huakun⁶, MA Jianhai⁷, YIN Xinan⁸, TONG Lingling^{1,2}

1 Qinghai Normal University, Plateau Science and Sustainable Development Research Institute, Xining 810008, China

2 Qinghai Key Laboratory of Natural Geography and Environmental Processes Key Laboratory of Surface-Processes and Ecological Conservation, Ministry of Education, Xining 810008, China

3 School of Economics and Management, Qinghai Normal University, Xining 810008, China

4 Management and Service Center of Huangshui National Wetland Park, Xining 810008, China

5 Environmental Monitoring Center, Department of Ecological Environment of Qinghai Province, Xining 810008, China

6 Key Laboratory of Restoration Ecology for Cold Regions in Qinghai, Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Science, Xining 810008, China

7 Qinghai Forest and Grass Bureau, Xining 810008, China

基金项目: 国家自然科学基金(52070108); 青海省自然科学基金(2018-ZJ-712); 中国科学院西部青年学者项目(A类)

收稿日期: 2021-01-18; **网络出版日期:** 2021-09-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: maoxufeng@yeah.net

8 School of Environmental Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: Evaluation of wetland ecosystem services and its spatial distribution is of great significance for wetland conservation, management and sustainable utilization. There are characteristics of population agglomeration, sensitive and fragile ecological environment, disturbed by human activities, and great demand for wetlands in plateau cities. However, due to the constraints of climate and geographical conditions, some wetland ecosystem services are very limited. Taking the Huangshui National Wetland Park (HNWP) as a case study, the current paper constructed an ecosystem service evaluation system that is suitable for plateau city wetland. Combined field investigation data with the analysis of experimental data, we analyzed the wetland value and its radiation pattern characteristics by using function value methods and the break-point model. The results showed that: (1) the total value of the 15 ecosystem services from HNWP was 6.18×10^8 Yuan in 2020. Four types of the ecosystem services were sorted through large to small as cultural services, regulation services, support services and supply services. The value of each ecosystem service from high to low was humidification > recreation services > heritage value > existence value > surface water storage > river sediment transport > culture and education research > temperature regulation > biodiversity protection > ecological and environmental water use > air filtration > oxygen release > carbon fixation > sewage treatment > harvestable plant products. (2) In the five wetland parks of the HNWP, the value of the Huangshui River was the highest, followed by the Beichuan wetland, the Haihu wetland, the Huoshaogou wetland and the Ninghu wetland. (3) The order for radiation pattern from large to small was Ninghu Wetland, Beichuan Wetland, Huangshui River, the Haihu Wetland and the Huoshaogou Wetland. A core area and five sub-core areas of the ecosystem services were formed after the overlap of the wetland service radiation pattern. (4) There was spatial spillover of ecosystem services in the HNWP. The ecosystem services from Huangshui River overflow to the surrounding wetland parks, and there were mutual spillover and superposition of ecosystem services among Haihu Wetland, Beichuan Wetland, Ninghu Wetland and Huoshaogou wetland. Overall, the results of this study focused on the ecosystem services of urban wetlands, clarified the boundary of ecosystem services on the basis of the evaluation, and determined the spillover and superposition of ecosystem service between different wetlands in the same region. The information may support the sustainable utilization of plateau urban wetlands, which provides a reference for implementing ecological civilization construction.

Key Words: ecosystem services; value distribution; radiation pattern; Huangshui National Wetland Park

湿地是水陆相互作用形成的独特生态系统,是一切与水相关的生态系统服务的重要提供者,在营养循环、气候变化、物种多样性、旅游文化等方面均发挥着重要作用^[1-2]。在全球气候变化和快速城市化的双重影响下^[3],湿地资源面临着前所未有的压力,不合理的使用和破坏导致湿地的数量和质量下降^[4-5],迫切需要各国政府采取相应措施保护和修复湿地资源。湿地生态系统服务评价研究通过明确湿地生态系统与人类福祉之间的联系,为湿地的规划和可持续发展提供了一个科学可靠的框架。

1997年,Costanza对全球17种生态系统服务进行的经济价值评估引起了巨大的关注,此后有关生态系统服务的研究日渐丰富,有关其定义、分类、评估、规划和管理等研究不断增加,集中在森林^[6-7]、草地^[8]、流域^[9]和湿地^[10-11]等生态系统类型。生态系统服务价值评估很重要,但是仅仅提供了价值上的评估结果,对生态系统的格局和过程并不清楚;关于空间格局的研究多以土地利用数据为基础数据,在模型运算基础上分析得到研究区的服务分布及变化情况;而对小区域的生态系统服务空间分布情况研究较少,主要是因为小区域土地利用数据要求精度高,且当前生态系统服务的运算模型多适用于大、中型区域。而且国内对城市湿地这类半自然半人工的生态系统服务研究较少^[12-13],在评估基础上对空间格局展开的相关研究更是匮乏;此外,明确生态系统服务的作用边界一直是复杂难以解决的问题,同一区域内不同湿地的生态系统服务之间的空间溢出和叠加,相关研究也亟待开展。

断裂点模型主要应用于经济地理研究中,主要关于城市腹地范围、经济区划分确定和城镇吸引范围

等^[14-15];2017 年乔旭宁等^[16]将断裂点模型和场强模型用于研究确定两区域之间生态系统服务价值的相互作用关系,并确定生态系统服务的作用边界,为断裂点的应用研究扩展了全新的方向。

本文以位于西宁市的湟水国家湿地公园为例,在生态系统服务价值评价的基础上,应用断裂点理论方法,开展湿地价值和空间分布格局的研究,解决生态系统服务的作用边界和空间溢出叠加确认问题,对支持高原城市湿地生态系统的可持续利用具有重要的理论和现实意义。

1 研究区概况和数据来源

1.1 研究区概况

湟水国家湿地公园地处青海省西宁市城区段,其分布范围为 $36^{\circ}33'41''$ — $36^{\circ}44'42''$ N, $101^{\circ}37'06''$ — $101^{\circ}54'50''$ E(图 1)。属高原半干旱气候,气压低,日照长,太阳辐射强,昼夜温差大;年平均气温为 7.6°C ,降水的季节分配和年度分配不均匀,年平均降水量为 380 mm ^[17];公园内湿地可划分为 2 类 2 型,为河流湿地和人工湿地 2 类,永久性河流和洪泛平原湿地 2 个湿地型。

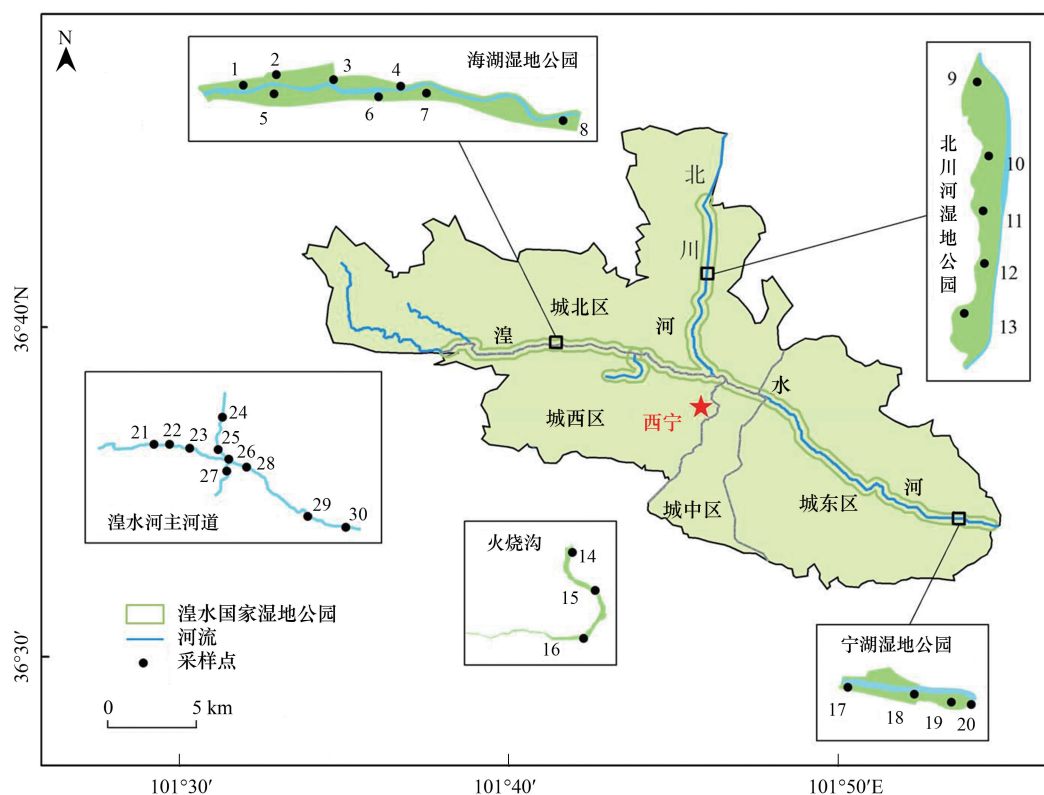


图 1 湟水国家湿地公园地理位置示意图

Fig.1 The location of Huangshui National Wetland Park

1. 海湖北岸湿地西侧;2. 海湖北岸西片泉水和东片泉水;3. 海湖北岸湿地中部;4. 海湖北岸出水口;5. 海湖南岸公园科普馆前;6. 海湖南岸瀑布景观;7. 海湖南岸湿地;8. 海湖南岸出水口;9. 北川公园 1 号湖;10. 北川公园 2 号湖;11. 北川公园 3 号湖;12. 北川公园 5 号湖;13. 北川公园 6 号湖;14. 火烧沟出水口;15. 火烧沟中段;16. 火烧沟上游;17. 宁湖进水口 1;18. 宁湖进水口 2;19. 宁湖木栈道;20. 宁湖出水口;21. 湟水主河道, 海湖进水口前;22. 湟水主河道, 海湖出水口后;23. 湟水主河道, 火烧沟出水口后;24. 北川河, 外河泄洪河道;25. 北川河, 汇入湟水河前;26. 湟水主河道, 北川河汇入后;27. 南川河, 汇入湟水河前;28. 湟水主河道, 南川河汇入后;29. 湟水主河道, 宁湖进水口前;30. 湟水主河道, 宁湖出水口后

湟水国家湿地公园依湟水河及其一级支流北川河而建,贯穿西宁城市中心,总面积 508.7 hm^2 。以西宁市人民公园 T 字形水系的河道为中心,北至北川河康家桥,南至北川河与湟水河交汇处,西至湟水河解放渠进水

闸,东至湟水河小峡口闸亭。其中包括海湖湿地公园、火烧沟公园、北川湿地公园、宁湖湿地公园和湟水河主干道公园五个主要公园。本研究以湟水国家湿地公园的五个主要公园为研究区,具体监测点分布如图 1 所示。

1.2 数据来源

数据主要采集于 2020 年,包括野外调查与实验分析数据、社会调查,以及历史数据。在湟水国家湿地公园共布设 30 个样点,根据湿地公园与湟水河的进出水断面位置,在各公园进水口之前和出水口之后的湟水河主干道、北川河河道总共设置了 10 个样点;5 个公园的人工湿地内,沿进水口、出水口方向均匀布设样点,总计 20 个(图 1)。

每月进行一次野外监测,包括:样点的基本概况、水文参数的监测、各样点收集三个平行水样(1L);植物调查,在每个样点附近布设 3 个 50cm×50cm 样方,采用网格法和目测法确定植物盖度,盖度、植物丰富度、生物量都以 3 个样方的平均为准;鸟类样方调查记录以各样方的 50m 为半径的范围内见到和听到的鸟类种类和数量,每个样方停留不低于 10min,指标包括:物种数、个体数。实验室进行水质的 TOC、TN、TP 含量测定;其中 TOC 采用 TOC 分析仪法,TN 和 TP 分别采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法和钼酸铵分光光度法。于 2020 年 5 月—7 月的 8 点—20 点前往各公园进行调查问卷发放,共发放 1300 份问卷,剔除无效问卷和不完整问卷 40 份,有效回收率为 96.92%;访问对象选择公园内的游客,进行面对面访谈;访问结果选择分层抽样方法以使样本更具有代表性,并剔除支付意愿超出收入 5% 及以上的数据。土地利用面积情况参考《青海西宁湟水国家湿地公园总体规划(2013—2020 年)》。部分评估数据参考《中国生物多样性国情研究报告》^[18]、《青海水文手册》^[19],和中华人民共和国林业行业标准《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T1721—2008)^[20]中各产品的推荐使用价格,以及 TN、TP 和 TOC 的生活污水处理成本^[21],由于以上各评估对象的市场价格出现年份不同,通过 2020 年物价指数修正,参考以下公式^[22]:

$$P_{2020} = \frac{L_{2020}}{L_i} \times P_i \quad (1)$$

式中, P_{2020} 为评估对象修正后 2020 年价格(元); P_i 为评估对象原价格(元); L_{2020} 为 2020 年物价指数; L_i 为评估对象所在时间的物价指数。

2 研究方法

2.1 生态系统服务评价方法

(1) 湟水国家湿地公园评估指标体系

根据湟水国家湿地公园各生态系统服务类型特点,剔除不重要的指标,选取最适合的评估指标和估算方法,结合实测数据与不同的土地利用类型,进行生态系统服务价值量估算。支持服务是供给、调节和文化服务的基础与源泉,为整个湿地生态系统提供物质循环和能量流动,在计算过程中容易与其他三大服务出现重复计算^[23],本研究仅对湿地为鸟类提供栖息地的服务进行估算,与其他服务类型无明显交集。此外,文化服务中的休闲娱乐价值指游客为了自己或他人能够在湿地公园休闲放松、锻炼健身而支付的费用;存在价值指没有任何功利目的,只为了让湿地资源永续存在,游客自愿支付费用;遗产价值是游客为了将湿地资源作为遗产留给子孙后代,而自愿支付的费用。最终以千年生态系统评估(MA)的生态系统服务分类为基础,结合湟水国家湿地公园的生态系统特征,将各项服务分为 2 个层级,第一级分类分为 13 个服务项目,第二级具体评估指标对第一级进行细化区分,保证各层次指标间相互独立;最终筛选出研究区的生态系统服务具体评价指标共 15 项。具体评价体系见表 1。

(2) 城市湿地生态系统服务评估方法

根据湟水国家湿地公园的生态特点,依据《湿地生态系统服务评估规范》^[24]理论基础,以市场价值法为基础,筛选最优方法对各项服务进行价值评估,选择最适合、最易操作的计算方法,结合野外调查数据和实验

分析数据,使研究结果更贴近实际情况。具体采用市场价值法、碳税法、工业制氧价格法、费用支出法、影子工程法、成果参数法和条件价值评估法(CVM)等功能价值法对各项服务进行价值评估,综合各类方法准确评估城市湿地生态系统服务。具体计算过程见表2。

2.2 断裂点理论及方法

断裂点理论包括断裂点公式,用于确定起点城市到断裂点的距离;场强公式,即起点城市在断裂点的辐射范围;辐射半径由断裂点处场强大小决定起点城市的辐射范围。通过断裂点模型定量计算不同公园的生态系统服务的作用边界^[15-16]。具体过程如下:

(1)断裂点公式^[30]:

$$D_i = \frac{D_{ij}}{1 + \sqrt{V_j/V_i}}$$

(2)

式中, D_i 为公园*i*到断裂点的距离; D_{ij} 为公园*j*中心点与公园*i*中心点间的距离; V_i 、 V_j 分别为公园*i*和公园*j*生态系统服务价值量。

表 1 湟水国家公园生态系统服务价值评估体系
Table 1 Evaluation system of ecosystem services of the Huangshui National Wetland Park

	服务分类 Service type		服务项目 Service project		价值评估指标
	名称 Name	代码 Code	名称 Name	代码 Code	Evaluation index
湿地生态系统服务价值 评估指标体系 Evaluation system of wetland ecosystem services	供给服务价值	A	食物生产	A1	植物产品价值
			水资源供给	A2	生态环境用水价值
	调节服务价值	B	大气调节	B1	固碳价值
					释氧价值
			小气候调节	B2	温度调节
					增湿
			空气环境调节价值	B3	净化空气价值
			水资源调蓄价值	B4	地表水调蓄价值
			水质净化价值	B5	污染物降解价值
			河流输沙价值	B6	输沙价值
	文化服务价值	C	文教科研价值	C1	文教科研价值
			休闲娱乐价值	C2	休闲娱乐价值
			存在价值	C3	存在价值
			遗产价值	C4	遗产价值
	支持服务价值	D	维护生物多样性价值	D1	生物多样性保护价值

表 2 生态系统服务价值评估方法
Table 2 Value evaluation methods of ecosystem services

服务分类 Service type	价值评估指标 Evaluation index	计算公式及参数说明 Calculation formula and parameter description
供给服务 Supply services	植物产品价值	$V_{A1} = \sum_{i=1}^n Y_{A1i} \times P_{A1i}$, 式中, V_{A1} 为植物产品价值; Y_{A1i} 为第 <i>i</i> 种植物产品产量年平均 值; P_{A1i} 为第 <i>i</i> 种植物产品单价; <i>i</i> 为湿地植物产品种类。
	生态环境用水价值	$V_{A2} = \sum_{i=1}^n Y_{A2i} \times A_1 \times P_{A2i}$, 式中, V_{A2} 为淡水产品价值; Y_{A2i} 为生态用水定额; A_1 为植被 覆盖面积; P_{A2i} 为城市居民用水价格。
调节服务 Regulation services	吸收 CO ₂ 价值	$V_{B11} = 1.63 \times R_c \times Y_{B1} \times A_2 \times P_{B11}$, 式中, V_{B11} 为固定 CO ₂ 价值; R_c 为 CO ₂ 中碳的含量 27.27%; Y_{B1} 为生态系统净生产力; A_2 为评估区面积; P_{B11} 为固碳价格。
	释放 O ₂ 价值	$V_{B12} = 1.19 \times Y_{B1} \times A_2 \times P_{B12}$, 式中, V_{B12} 为释放 O ₂ 价值; Y_{B1} 为生态系统净生产力; A_2 为评估区面积; P_{B12} 为 O ₂ 价格。

续表

服务分类 Service type	价值评估指标 Evaluation index	计算公式及参数说明 Calculation formula and parameter description
	温度调节	$V_{B21} = 2.778 \times 10^4 \times 0.5 \times \sum_{i=1}^n \lambda_i \times A_i \times ET \times \delta^{[25]}$, 式中, V_{B21} 为湿地增湿的价值; 2.778×10^4 为能量转换系数; 0.5 为电费单价; λ_i 为湿地水面率; A_i 为湿地面积; ET 为西宁夏季水面蒸发量; δ 为水汽化热, 标准大气压下为 $2.26 \times 10^3 \text{ kJ/kg}$ 。
	增湿	$V_{B22} = Q \times t \times C^{[26]}$, 式中, V_{B22} 为湿地增湿的价值; t 为将单位体积水汽转为水蒸汽所消耗的电量; Q 为湿地蒸发的水量; C 为当地电费标准。
	净化空气价值	$V_{B31} = Y_{B31} \times A_1 \times P_{B31}$, 式中, V_{B31} 为年吸收 SO_2 价值量; Y_{B31} 为评估区单位面积植被年吸收 SO_2 量; A_1 为植被覆盖面积; P_{B31} 为 SO_2 治理费用。 $V_{B32} = Y_{B32} \times A_1 \times P_{B32}$, 式中, V_{B32} 为降低粉尘价值; Y_{B32} 为评估区单位面积植被滞尘能力; P_{B32} 为降尘清理费用。
	地表水调蓄价值	$V_{B4} = A_3 \times d \times P_{B4}$, 式中, V_{B4} 为地表水调蓄价值; A_3 为湿地面积; d 为河流湿地的洪水期平均水深; P_{B4} 为单位调蓄价格。
	污染物降解价值	$V_{B5} = \sum_{i=1}^n (T_{1i} - T_{2i}) \times P_{B5i} \times Y_{B5}^{[27]}$, 式中, V_{B5} 为污水净化价值; T_{1i} 为湿地入水口污染物 i 的浓度; T_{2i} 为湿地出水口污染物 i 的浓度; P_{B5i} 为处理污水单位成本; Y_{B5} 为湿地累积蓄水量。
	输沙价值	$V_{B6} = Q \times P_{B6}$, 式中, V_{B6} 为自然河流输沙价值; Q 为河流年均输沙量; P_{B6} 为人工清理河道成本费用。
	文教科研	$V_{C1} = Y_1 + Y_2 + Y_3 \times Y_3 = y + S \times P_k^{[28]}$, 式中, V_{C1} 为文教科研价值价值量; Y_1 为教育实习价值; Y_2 为宣教活动费用; Y_3 为科研投入价值; y 为科研设备经费; S 为已经发表的与研究区湿地相关的论文数量; P_k 为发表每篇论文的投入成本。
文化服务 Culture services	休闲娱乐、价值、存在价值、遗产价值	$V_{C1} = \sum_{i=1}^k \text{AWP}_i \times \frac{n_i}{N} \times MI = 2, 3, 4^{[29]}$, 式中, V_{C2} 、 V_{C3} 和 V_{C4} 分别为被调查地区居民和游客对休闲娱乐、存在价值和遗产价值的总支付意愿, AWP_i 为受访者第 i 水平的支付意愿; n_i 为样本人数中支付意愿为 AWP_i 的人数; N 为样本总数; M 为被调查地区相应总体人群数目。
支持服务 Support services	生物多样性保护价值	$V_{D1} = A_2 \times P_{D1}$ $H = - \sum_{i=1}^n \left(\frac{N_i}{N} \right) \log_2 \left(\frac{N_i}{N} \right)$ 式中, V_{D1} 为生物多样性保护价值; A_2 为评估区面积; P_{D1} 为单位面积生物多样性保护价值, 根据 Shannon-Weiner 指数 H 决定; N_i 为样品中第 i 种物种个体数; N 为群落中所有物种的总个体数。
总价值 Value / ($\times 10^4/a$)		$V = \sum (V_A + V_B + V_C + V_D)$

(2) 场强公式^[30]:

$$F_{ik} = \frac{V_i}{D_{ik}^2} \quad (3)$$

式中, F_{ik} 为公园 i 在断裂点 k 处的辐射能力大小 (转移能力里的强度); V_i 为公园 i 的生态系统服务价值量; D_{ik} 为公园 i 中心点到断裂点 k 的距离。

(3) 辐射半径公式^[30]:

$$D_r = \sqrt{\frac{V_i}{F}} \quad (4)$$

式中, D_r 为公园 r 生态系统服务作用半径; V_i 为公园 i 的生态系统服务价值量; F 为边界场强, 可以根据各公园的综合关系确定 F 取值。

公式 (2) 中两个公园的中心点间的距离, 采用交通距离; 结合各个公园的生态系统服务总价值量, 计算得到 5 个湿地公园彼此之间的断裂点到起点公园的距离, 找到两公园的断裂点位置; 利用公式 (3) 计算公园在

断裂点处生态系统服务的辐射强度 F , 即公园生态系统服务在转移过程中的强度。

各个公园的辐射半径, 即为该公园生态系统服务的辐射影响范围, 利用公式(4)对辐射半径的计算主要在场强的选择上。同一起点公园到其他不同公园, 在平衡点处发挥的生态系统服务辐射强度不同, 选择能发挥最大辐射强度的场强, 进行生态系统服务强辐射半径的计算, 在该半径内公园的生态系统服务能够得到高效率发挥。通过湿地公园与其他四个公园的场强平均值进行弱辐射半径的计算, 采用场强的平均值可以代表该湿地公园对其他公园的平均影响强度。计算得到各公园的强辐射半径和弱辐射半径, 利用 ArcGIS9.2 的缓冲区分析工具得到各个公园的辐射范围, 强辐射区作为公园生态系统发挥效用的核心区, 弱辐射区为公园的生态系统过渡区。

任意两公园之间的断裂点位置基本位于两公园中间位置, 采用起点公园到断裂点距离值, 在两公园总距离的占比情况, 占比总会大于或小于 50%, 以此说明不同公园受起点公园的影响情况, 即由于起点公园不同, 在任意两公园中间的断裂点位置不同, 当占比大于 50% 时, 说明该方向的公园存在生态系统服务溢出, 与另一公园的生态系统服务叠加。

3 结果与分析

3.1 生态系统服务的价值构成

结合实测数据、调查问卷数据和物价修正后物品单价等, 由表 2 的评估方法计算得到湟水国家湿地公园的各项生态系统服务价值量(图 2)。湟水国家湿地公园生态系统提供生态系统服务总价值为 6.18 亿元, 核心服务为增湿服务、休闲娱乐和遗产价值。5 大公园的生态系统服务价值量对比中, 湟水主河道的价值最高, 约占总价值的 37.92%, 达到了 23441.37 万元/a。其次为北川湿地和海湖湿地, 分别为 14008.26 万元和 8964.78 万元; 火烧沟公园和宁湖湿地差别较小, 分别为 7802.04 万元和 7600.74 万元。

本研究中评估的 15 项生态系统服务类型价值量由高到低依次为: 增湿>休闲娱乐>遗产价值>存在价值>地表水调蓄>河流输沙量>文教科研>温度调节>生物多样性保护>生态环境用水>净化空气价值>释氧>固碳>污染物降解>植物产品价值。调节服务中的增湿服务、文化服务中休闲娱乐、存在价值和遗产价值是湟水国家湿地公园的核心功能, 价值量达 56437.47 万元, 对总价值的贡献率 91.30%。而年价值量低于 100 万元的服务类型包括净化空气价值、释氧、固碳、植物产品价值和污染物降解, 占总价值的百分比分别为 0.144%、0.081%、0.037%、0.017% 和 0.036%; 其中污染物降解的价值量最低, 但当水质污染超过自净能力时, 不仅会使水质继续恶化, 还会因水体富营养化影响休闲娱乐功能的发挥, 因此, 加强对水质的管理和净化尤为重要。

3.2 湿地公园的空间分布格局

由断裂点理论计算得到 5 个湿地公园彼此之间的断裂点到起点公园的距离和起点公园在断裂点处发挥的场强, 结果见表 3。根据表 3 计算结果选择各公园的最大场强和场强平均值计算辐射半径; 海湖湿地的强辐射半径采用海湖湿地-火烧沟公园的场强, 火烧沟公园、北川湿地、宁湖湿地和湟水主河道的强辐射半径分别采用火烧沟公园-湟水主河道、北川湿地-湟水主河道、宁湖湿地-湟水主河道, 以及湟水主河道-火烧沟公园的场强, 以上两公园的场强均大于其他公园组合。弱辐射半径通过湿地公园与其他四个公园的场强均值进行计算, 海湖湿地、火烧沟公园、湟水主河道、北川湿地和宁湖湿地的平均场强分别为 1054.97、2089.95、497.52、2030.80 和 118.42。根据以上选择和计算得到的场强值, 进一步计算各公园强辐射半径和弱辐射半径, 结果见表 4, 在此基础上缓冲得到各个公园的辐射范围(图 3)。

增湿、休闲娱乐、遗产价值是湟水国家湿地公园的三大核心服务, 根据断裂点模型, 结合各公园的核心服务价值量, 分别计算各个公园核心服务的辐射半径, 利用 ArcGIS 缓冲区分析得到三大服务各个公园的辐射范围。将其与公园总价值分布图叠加, 得到增湿、休闲娱乐、遗产价值的空间分布图, 并与总价值分布图对比, 相关结果见图 3)。

由图 3 明显看出, 宁湖湿地的生态系统服务总价值分布范围最大, 其次为北川湿地和湟水主河道, 最后是

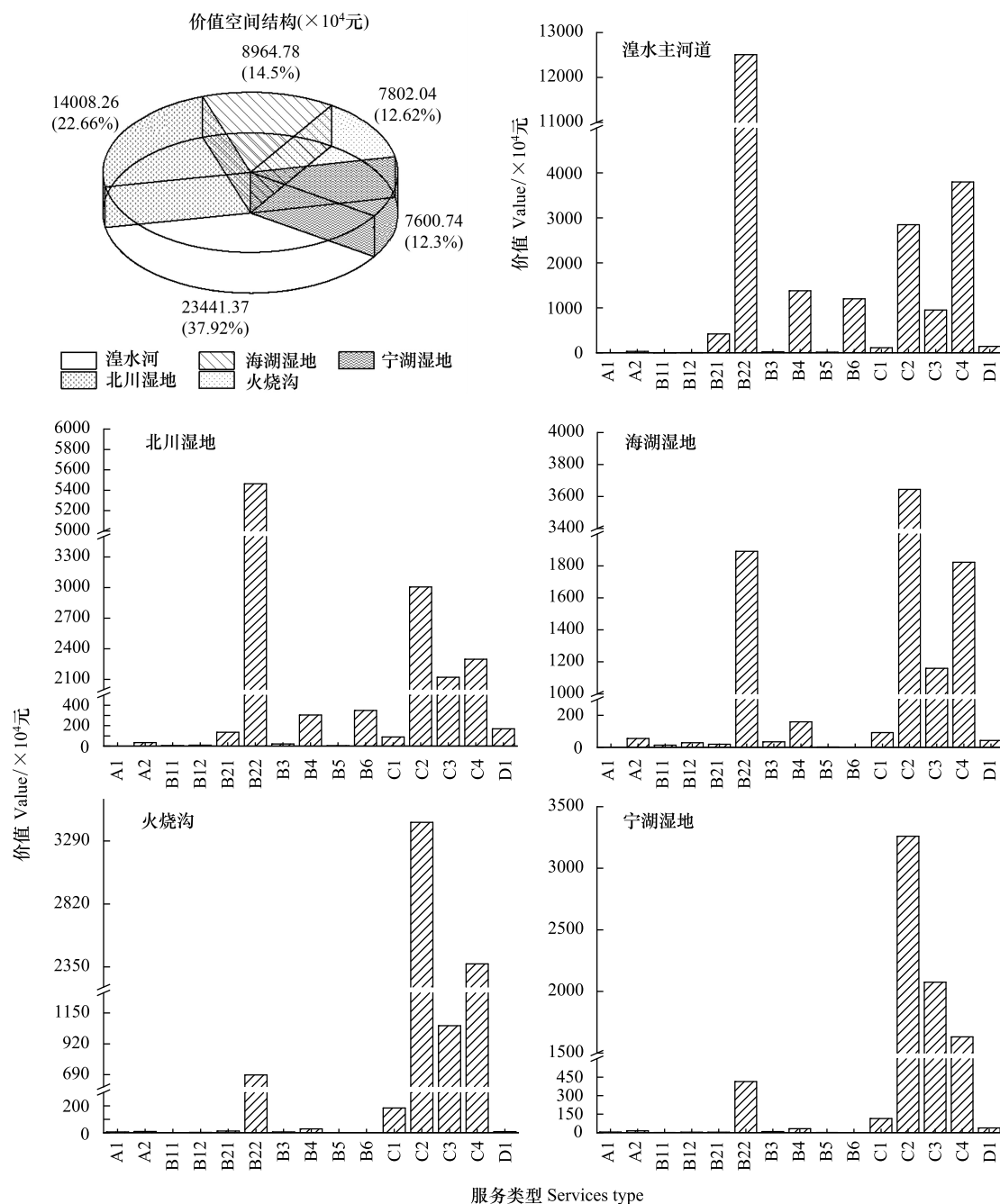


图2 湟水国家公园生态系统服务价值分布图

Fig.2 The distribution of ecosystem service value of Huangshui National Wetland Park

A1, 植物产品; A2, 生态环境用水; B11, 固碳; B12, 释氧; B21, 温度调节; B22, 增湿; B3, 净化空气; B4, 地表水调蓄; B5, 污染物降解; B6, 河流输沙; C1, 文教科研; C2, 休闲娱乐; C3, 存在价值; C4, 遗产价值; D1, 生物多样性保护

海湖湿地和火烧沟公园,这与各个公园的总价值量情况不同。宁湖湿地的分布区最大,该湿地的生态系统服务的贡献范围最广,主要是因为该湿地位于城东区,西宁市东部地区湿地资源匮乏,居民需求大,到公园的可达距离增大;北川湿地的生态系统服务范围基本覆盖城北区,作为新修复完成的湿地,服务价值增加的潜力巨大,未来北川湿地的生态系统服务的分布区有望进一步扩大。湟水主河道选择以北川河汇入处的湟水河为中心点,服务范围以河道两侧的城北区、城中区为主。海湖湿地和火烧沟公园的核心区和过渡区分布面积较小,且重合区域大,海湖湿地和火烧沟公园的生态系统服务面积小的原因可能与两个公园距离较近,游客竞争力

大,且城西区公园数量较多,海湖湿地和火烧沟公园的生态系统服务的发挥空间较小。

湟水国家湿地公园的三大核心服务增湿、休闲娱乐、遗产价值的空间分布图与总价值分布图的对比情况,见图 3。宁湖湿地和火烧沟公园的休闲娱乐、遗产价值的空间分布面积大于总价值分布范围,而增湿服务的分布面积远小于总价值分布面积;海湖湿地的增湿服务、休闲娱乐的空间分布与总价值分布范围大体一致,而遗产价值分布面积远小于总价值分布面积;北川湿地、湟水主河道的增湿服务分布面积与总价值分布范围相差较小。此外,湟水主河道的休闲娱乐、遗产价值的分布区小于总价值服务的分布区;北川湿地的休闲娱乐空间分布面积大于总价值分布范围,遗产价值分布区与总服务的分布区大致相同。

表 3 各个公园的断裂点及场强
Table 3 The breaking points and the boundary radiation power of each park

公园 Park	距离 Distance/ km	起点公园到 断裂点距离 Distance from starting point park to breaking point / km	占比 Proportion / %	起点公园到 断裂点的场强 Boundary radiation power
海→湟 HH→HSR	6.89	2.63	38.21%	1293.75
海→北 HH→B	14.35	6.38	44.44%	220.31
海→火 HH→HSG	3.56	1.84	51.74%	2639.79
海→宁 HH→N	22.38	11.65	52.06%	66.02
火→海 HSG→HH	3.56	1.72	48.26%	2639.79
火→湟 HSG→HSR	3.33	1.22	36.59%	5266.17
火→北 HSG→B	10.79	4.61	42.74%	366.86
火→宁 HSG→N	18.82	9.47	50.33%	86.97
湟→宁 HSR→N	15.49	9.87	63.72%	240.54
湟→海 HSR→HH	6.89	4.26	61.79%	1293.75
湟→北 HSR→B	7.46	4.21	56.40%	1322.74
湟→火 HSR→HSG	3.33	2.11	63.41%	5266.17
北→湟 B→HSR	7.46	3.25	43.60%	1322.74
北→宁 B→N	22.96	13.22	57.58%	80.16
北→海 B→HH	14.35	7.97	55.56%	220.31
北→火 B→HSG	10.79	6.18	57.26%	366.86
宁→火 N→HSG	18.82	9.35	49.67%	86.97
宁→湟 N→HSR	15.49	5.62	36.28%	240.54
宁→北 NB→B	22.96	9.74	42.42%	80.16
宁→海 N→HH	22.38	10.73	47.94%	66.02

HH, 海湖湿地;HSG,火烧沟公园;HSR, 湟水主河道;B,北川湿地;N,宁湖湿地

表 4 各公园强辐射半径和弱辐射半径表
Table 4 The strong and weak radiation radius of each park

	湟水主河道 Huangshui River	北川湿地 Beichuan wetland	海湖湿地 Haihu wetland	火烧沟公园 Huoshagou	宁湖湿地 Ninghu wetland
强辐射半径 Strong radiation radius / m	2110	3254	1843	1217	5621
弱辐射半径 Weak radiation radius / m	3397	5306	2915	1932	8011

3.3 生态系统服务重叠和溢出

在湟水国家湿地公园生态系统服务总价值分布图中看到,海湖湿地、火烧沟公园、湟水主河道和北川湿地分布相对集中,各公园的空间分布重合区域较多。将图 4 各公园的最大分布范围与西宁市区的城市功能区相

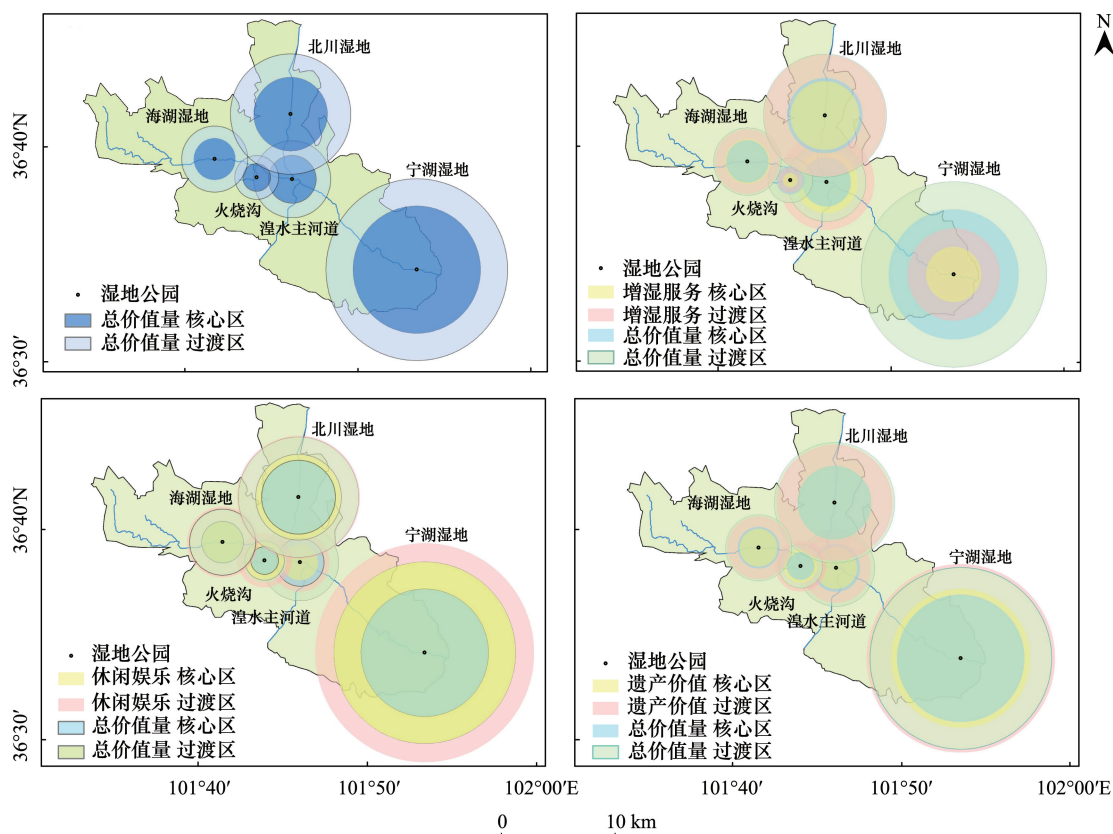


图3 湟水国家湿地公园生态系统服务总价值及核心服务的空间分布图

Fig.3 Spatial distribution of ecosystem services and core services of the Huangshui National Wetland Park

叠加(图4),对湿地公园的空间分布重合情况进行研究分析。三个公园生态系统服务的共同分布区重叠后形成1个优选区,两个公园生态系统服务的共同分布区重叠后形成5个次优区。

优选区为火烧沟公园、湟水主河道和北川湿地3个公园的服务分布区形成一个交叉区域,面积为139.33 hm^2 ;该区域以住宅区为主。5个次优区中北川湿地和湟水主河道的交叉区面积最大,为1145.23 hm^2 ,主要分布在城北区,以住宅区为主;火烧沟公园和湟水主河道的重叠区较大,为473.29 hm^2 ,该区域拥有丰富的文化资源和住宅基地;海湖湿地和火烧沟公园的重叠区面积为142.40 hm^2 ,该区域为当前西宁市的主要商业分布区,商业价值高;火烧沟公园和北川湿地的交叉区面积最小,为44.40 hm^2 ;海湖湿地和北川湿地的重叠区域区别于其他4个区域,该区域远离城市中心且受高速影响,居民聚集程度低,总面积74.39 hm^2 。综上,各大湿地的生态系统服务分布区不同,其重叠区也不同,但各重叠区域均为重要的西宁市区住宅、文化和商业集中分布的区域,人口聚集程度高,商业价值大,人类可利用价值得到最大发挥;而且在原各自湿地服务空间中,相比其他区域占绝对优势,对人类福祉贡献较大。

生态系统服务也存在溢出的情况。由表3的占比情况可知,湟水国家湿地公园中任意两公园之间的断裂点位置基本位于两公园中间位置;同时受各公园价值量不同影响,占比总会大于或小于50%。如海湖湿地到湟水主河道的断裂点在距海湖湿地2.63 km处,占总距离的38.21%,而从湟水主河道到海湖湿地的断裂点在距湟水主河道4.26 km处,占总距离的61.79%,说明在海湖湿地和湟水主河道的生态系统服务发挥功能时,海湖湿地受湟水主河道的影响较大。

海湖湿地、火烧沟公园和北川湿地的占比存在大于50%,影响其他公园的情况,也有小于50%,受其他公园影响的时候,类似于生态系统服务的流动“中转站”;而湟水主河道与其他4个公园的占比均大于50%,则说明湟水主河道的生态系统服务均影响其他公园,属于生态系统服务的“供给方”,是为其他公园提供生态系

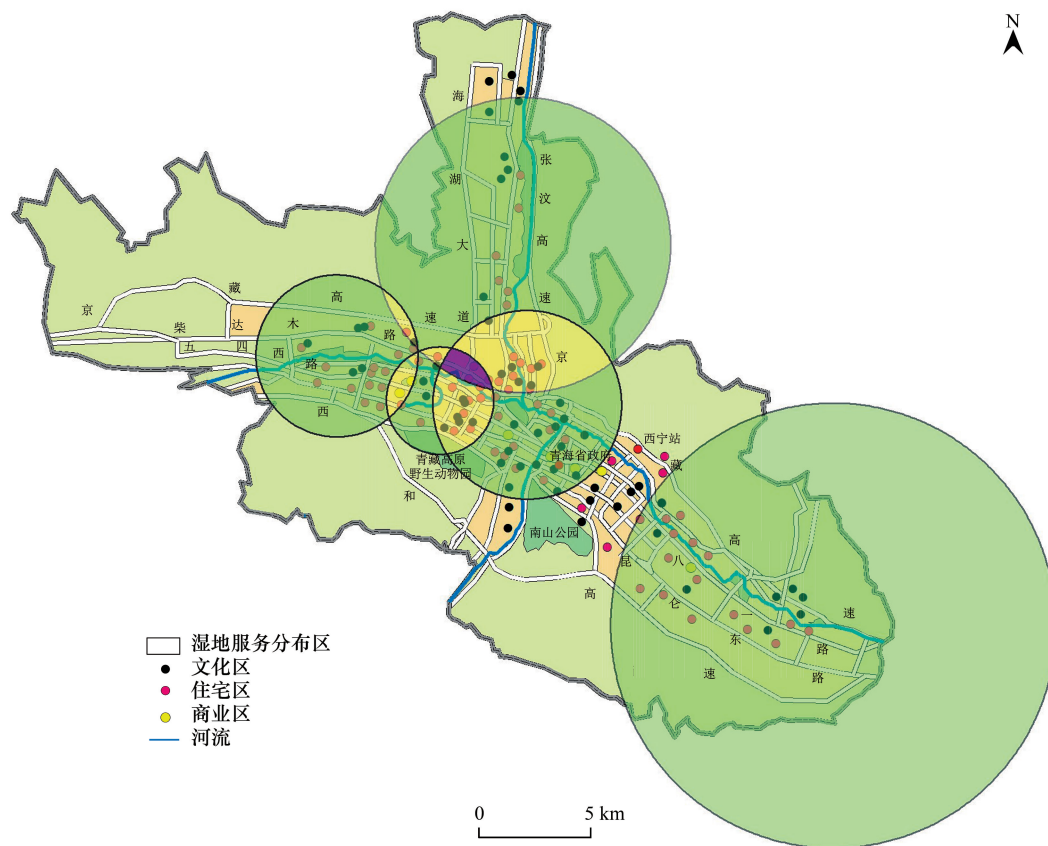


图 4 湟水国家湿地公园生态系统服务重叠区分布图

Fig.4 Ecosystem services overlapping of the Huangshui National Wetland Park

统服务的生态中心,这与实际情况一致,海湖湿地、火烧沟公园、北川湿地和宁湖湿地均是依托湟水主河道修建,并由湟水主河道将其串联。宁湖湿地与以上情况相反,与其他4个公园的占比均小于50%,表明宁湖湿地在5个湿地公园中属于“需求方”,受其他公园影响;但由于距离较远,受影响强度较小。

4 结论

本文筛选构建了一套适合湟水国家湿地公园的生态系统服务评价体系,基于野外调查数据和实验分析数据,采用功能价值法等计算方法计算生态系统服务价值,并应用断裂点模型对生态系统服务的空间分布和流转情况进行分析,主要结论如下:

(1)对2020年湟水国家湿地公园的15项生态系统服务进行评估,得到总价值为6.18亿元,四大服务价值量按照价值高低排序依次为文化服务、调节服务、支持服务和供给服务;各分项价值量对比,由高到低依次为增湿>休闲娱乐>遗产价值>存在价值>地表水调蓄>河流输沙量>文教科研>温度调节>生物多样性保护>生态环境用水>净化空气价值>释氧>固碳>污染物降解>植物产品价值。

(2)5大湿地区中,湟水主河道的价值最高,其次为人工湿地,依次为北川湿地、海湖湿地、火烧沟公园和宁湖湿地。由于高原城市湿地的特殊性,湟水国家湿地公园的核心服务类型体现在存在价值、休闲娱乐和小气候调节上。

(3)湿地价值辐射范围由大到小依次为:宁湖湿地>北川湿地>湟水主河道>海湖湿地>火烧沟公园;对湿地服务辐射范围叠加后,形成1个由三个公园的服务分布区重叠的优选区和5个两两交叉的次选区。

(4)湟水国家湿地公园的生态系统服务存在空间溢出和叠加现象,湟水主河道的生态系统服务流向周边

湿地公园溢出,其他四个湿地区之间生态系统服务存在相互溢出、叠加的现象。

值得注意的是,受地形、交通、人口分布等因素的影响,生态系统服务的空间并非均衡的。受数据等条件限制,本研究对生态系统服务的辐射空间做了均衡处理,这也是本研究的不足之处,需要在后续研究中进一步改善。

参考文献 (References):

- [1] 朱伟俊,刘东焯,黄羿,常向阳,余年,冯宝莹. 基于条件价值法的广州海珠国家湿地公园开放区域的非使用价值初探. 生态科学, 2020, 39(4): 218-225.
- [2] 易阿岚,孙清,王钧. 基于 SD 模型的上海市湿地生态系统服务变化过程与情景研究. 生态学报, 2020, 40(16): 5513-5524.
- [3] 崔丽娟,雷茵茹,张曼胤,李伟. 小微湿地研究综述: 定义、类型及生态系统服务. 生态学报, 2021, 41(5): 2077-2085.
- [4] Behn K, Becker M, Burghof S, Möselers B M, Willy D K, Alvarez M. Using vegetation attributes to rapidly assess degradation of East African wetlands. *Ecological Indicators*, 2018, 89: 250-259.
- [5] Mondal B, Dolui G, Pramanik M, Maity S, Biswas S S, Pal R. Urban expansion and wetland shrinkage estimation using a GIS-based model in the East Kolkata Wetland, India. *Ecological Indicators*, 2017, 83: 62-73.
- [6] 崔亚琴,樊兰英,刘随存,孙拖焕. 山西省森林生态系统服务功能评估. 生态学报, 2019, 39(13): 4732-4740.
- [7] 赵同谦,欧阳志云,郑华,王效科,苗鸿. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价. 自然资源学报, 2004, 19(4): 480-491.
- [8] 赵同谦,欧阳志云,贾良清,郑华. 中国草地生态系统服务功能间接价值评价. 生态学报, 2004, 24(6): 1101-1110.
- [9] 常畅,王耕. 基于 InVEST 模型的碧流河流域土壤保持功能研究. 国土与自然资源研究, 2019, 4(4): 8-10.
- [10] 周文昌,史玉虎,潘磊,付甜,郑兰英. 2017 年武汉东湖湿地生态系统最终服务价值评估. 湿地科学, 2019, 17(3): 318-323.
- [11] Yang W, Chang J, Xu B, Peng C H, Ge Y. Ecosystem service value assessment for constructed wetlands: a case study in Hangzhou, China. *Ecological Economics*, 2008, 68(1/2): 116-125.
- [12] 田刚,蔡博峰. 北京地区人工景观生态服务价值估算. 环境科学, 2004, 25(5): 5-9.
- [13] 沈万斌,赵涛,刘鹏,钟宇红,张海涛. 人工湿地环境经济价值评价及实例研究. 环境科学研究, 2005, 18(2): 70-73, 83-83.
- [14] 谷景祎,周廷刚,郭丽敏. 基于断裂点理论与加权 Voronoi 图的京津冀地区城市影响范围研究. 地理与地理信息科学, 2014, 30(1): 65-69.
- [15] 南平,姚永鹏,张方明. 甘肃省城市经济辐射区及其经济协作区研究. 人文地理, 2006, 21(2): 89-92, 98-98.
- [16] 乔旭宁,张婷,杨永菊,牛海鹏,杨德刚. 渭干河流域生态系统服务的空间溢出及对居民福祉的影响. 资源科学, 2017, 39(3): 533-544.
- [17] 毛旭锋,魏晓燕,陈琼,刘峰贵,陶雅琴,张志法. 基于 E_{CPS} 模型的青海湟水国家湿地公园湿地恢复评估. 地理研究, 2019, 38(4): 760-771.
- [18] 《中国生物多样性国情研究报告》编写组. 中国生物多样性国情研究报告. 北京: 环境科学出版社, 1998.
- [19] 李其江. 青海省水文手册. 西宁: 青海人民出版社, 2018: 51-55.
- [20] 国家林业局. LY/T 1721—2008 森林生态系统服务功能评估规范. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [21] 陈炜,张雨珂,炊雯,李红兵. 黄土高原湿地生态系统服务功能价值评估——以陕西省千湖国家湿地公园为例. 水土保持通报, 2019, 39(4): 270-274, 280-280.
- [22] 孔凡靖,陈玉成,陈庆华,牟秦杰,阎建忠. 重庆市农田生态服务价值时空变化特征及其驱动因素分析. 中国生态农业学报, 2019, 27(11): 1637-1648.
- [23] 周亚萍,安树青. 生态质量与生态系统服务功能. 生态科学, 2001, 20(1): 85-90.
- [24] 国家林业局. LY/T 2899—2017 湿地生态系统服务评估规范. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [25] 张彪,史芸婷,李庆旭,谢高地. 北京湿地生态系统重要服务功能及其价值评估. 自然资源学报, 2017, 32(8): 1311-1324.
- [26] 杨艺璇,赵晓迪,邹文涛,闫钰倩,许单云,叶兵,何友均. 钱江源国家公园体制试点区湿地生态系统服务价值评估. 林业经济, 2019, 41(4): 50-57.
- [27] 赵欣胜,崔丽娟,李伟,康晓明,雷茵茹,马琼芳,孙宝娣,于菁菁. 吉林省湿地生态系统水质净化功能分析及其价值评价. 水生态学杂志, 2016, 37(1): 31-38.
- [28] Gómez-Baggethun E, Tudor M, Doroftei M, Covaliov S, Năstase A, Onăra D F, Mierlă M, Marinov M, Doroncu A C, Lupu G, Teodorof L, Tudor I M, Köhler B, Museth J, Aronsen E, Johnsen S I, Ibram O, Marin E, Crăciun A, Cioacă E. Changes in ecosystem services from wetland loss and restoration: An ecosystem assessment of the Danube Delta (1960-2010). *Ecosystem Services*, 2019, 39: 100965.
- [29] 谢金慧. 基于 CVM 的红色旅游资源非使用价值评估研究——以井冈山为例[D]. 南昌: 南昌大学, 2019.
- [30] 吴文恒,牛叔文,李国柱,刘正广. 兰州及周边部分省城影响格局的理论分析. 干旱区资源与环境, 2007, 21(1): 82-87.