

DOI: 10.5846/stxb202108042132

佟玲玲,魏晓燕,宋秀华,毛旭锋,金鑫,金彦香,季海川,唐文家.基于享乐价格-结构方程双模型的西宁城市湿地生态系统服务价值及影响因素研究.生态学报,2022,42(11):4630-4639.

Tong L L, Wei X Y, Song X H, Mao X F, Jin X, Jin Y X, Ji H C, Tang W J. A Hedonic-Price and Structural-Equation Model based value assessment and factors of ecosystem services of urban wetlands in the Xining City. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(11): 4630-4639.

基于享乐价格-结构方程双模型的西宁城市湿地生态系统服务价值及影响因素研究

佟玲玲^{1,2}, 魏晓燕³, 宋秀华⁴, 毛旭锋^{1,2,*}, 金鑫^{1,2}, 金彦香^{1,2}, 季海川⁵, 唐文家⁶

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

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

3 青海师范大学经济与管理学院, 西宁 810008

4 青海湟水国家湿地公园生态管理服务中心, 西宁 810008

5 青海省林草局, 西宁 810008

6 青海省生态环境厅, 西宁 810008

摘要:湿地为城市发展提供巨大的生态系统服务,但其被市场“认可”的经济价值难以准确评估。以青海省西宁市城市湿地为例,筛选房屋结构、可达性、环境、湿地等 10 个因子,采用享乐价格模型对 110 个湿地周边社区样点的因子数据(2020 年)进行分析,定量分析城市湿地被市场“认可”的价值量。采用断裂点理论和加权 Voronoi 图模型方法等,分析了湿地生态系统服务价值的空间影响范围;构建了湿地生态系统服务价值影响因素的结构方程模型,探究了影响湿地生态系统服务价值的主要因素。结果表明:(1)2020 年湟水城市湿地的总价值达到 3.367 亿元,约有 54.3%的生态系统服务通过房产被市场转化;(2)湟水湿地单位面积的生态系统服务价值为 151.916 元/m²,生态系统服务价值由大到小排列:火烧沟(1.632 亿元)>海湖湿地(0.710 亿元)>宁海湿地(0.629 亿元)>北川湿地(0.330 亿元);(3)湿地生态系统服务价值占房产总价值的比例达到 2.04%,位列 10 个因素中的第 7 位;线性函数模型结果显示,购买者对湿地的边际支付意愿是 0.12 元/m²,即购买者愿意为房产与湿地之间的距离每缩小 1m 而多支付 0.12 元。(4)购房者对湿地生态系统服务的支付意愿主要体现在文化服务上(47.19%)。

关键词:生态系统服务价值;享乐价格模型;城市湿地

A Hedonic-Price and Structural-Equation Model based value assessment and factors of ecosystem services of urban wetlands in the Xining City

TONG Lingling^{1,2}, WEI Xiaoyan³, SONG Xiuhua⁴, MAO Xufeng^{1,2,*}, JIN Xin^{1,2}, JIN Yanxiang^{1,2}, JI Haichuan⁵, TANG Wenjia⁶

1 Key Laboratory of Surface Process and Ecological Conservation of Qinghai-Tibet Plateau; Key Laboratory of Physical Geography and Environmental Process of Qinghai Province, Xining 810008, China

2 School of Geography Science, Qinghai Normal University, Academy of Plateau Science and Sustainable College Geography Science, Xining 810008, China

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

4 Qinghai Huangshui National Wetland Park Ecological Management Service Center, Xining 810008, China

5 Qinghai Forestry and Grassland Bureau, Xining 810008, China

6 Qinghai Provincial Department of Ecology and Environment, Xining 810008, China

基金项目:国家自然科学基金项目(51669028);中国科学院“西部青年学者”项目“青海典型城市湿地生态系统服务时空格局及其增益机制研究”资助;青海省创新平台建设专项青海省自然地理与环境过程重点实验室(2020-ZJ-Y06)

收稿日期:2021-08-04; 网络出版日期:2022-02-10

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

Abstract: Wetlands provide huge ecosystem services for urban development, but its market-realized economic value is difficult to evaluate accurately. Taking the urban wetland of the Xining City as an example, this study utilized the Hedonic Price Modeling (HPM) to analyze the data from 10 selected factors, of 110 wetland-surrounding community sample sites in 2020, and quantitatively analyzed of the “realized” value of urban wetland by the market. Based on Breakpoint model and the Weighted Voronoi Diagram model method, the spatial influence range of wetland ecosystem services were analyzed. The Structural Equation Model was constructed to explore the major factors affecting wetland ecosystem service values. The results showed that: (1) in 2020, the total value of Huangshui urban wetlands reached 336.7 million yuan, and about 54.3% of the ecosystem services were transformed by the market through real estate; (2) The ecosystem service value per unit area of Huangshui Wetland was 151.916 yuan/m². Ecosystem service value ranged from large to small as Huoshaogou Wetland (163.2 million yuan) > Haihu Wetland (71.0 million yuan) > Ninghu Wetland (62.9 million yuan) > Beichuan Wetland (33.0 million yuan); (3) The Xining urban wetland ecosystem service value accounted for 2.04% of the total value of the property, ranking 7th out of the 10 factors. Linear function model results showed that the purchaser’s marginal willingness to pay to these wetlands was \$ 0.12/m². These households were willing to pay \$ 0.12 more for every 1 m distance reduction between their property and these wetlands. (4) Homebuyers’ willingness to pay for wetland ecosystem services was mainly reflected in cultural services (47.19%).

Key Words: ecosystem services value; Pleasure Price Model; urban wetlands

湿地为周围居民提供净化空气、美化环境及净化水质等诸多生态系统服务^[1-6]。开展湿地生态系统服务价值评估^[7-10],是湿地管理和相关决策的重要基础和依据,有利于湿地保护、恢复和可持续利用^[11-12]。2007年 Constaza 对全球生态系统开展价值评估引起巨大反响,诸多国内外学者对湿地服务进行了评价。在 MA 提出生态系统分类的基础上,谢高地等学者对于生态系统服务价值时动态评估方面提出综合的评估方案,推动了当量因子法价值评估的应用与发展^[13];Kingsfor 等学者侧重于湿地生态系统服务与其结构,提出了基于 3S 技术的动态监测生态数据,降低了湿地服务的重复估算^[14-16]。上述研究促进了湿地生态系统服务评价体系和方法的进步。综合已有研究成果发现,基于现行的评价体系和方法核算出的湿地价值,通常是未被市场认可的“理想状态”,其价值往往未能完全转化为真正的市场价值。主要原因包括但不限于以下问题:(1)偏差问题:应用支付意愿小于因破坏或污染相同质量或数量的湿地资源的受偿意愿^[17];(2)全部价值和部分价值:核算出来的是湿地的全部价值,但实际使用的仅为部分价值。

为解决上述问题,学者采用不同的价值量评估法对湿地的“市场认可”的价值进行估算。有学者结合湿地分布面积,运用当量因子法对其市场价值进行评估^[18-19],有学者开展基于享乐价值的湿地生态系统服务价值研究^[20]。将湿地的价值从房产的价格中“剥离”出来,进而核算出湿地真实的“市场价值”。诸多研究结果证明人们愿为湿地周边的住宅区支付更高的价格,利用湿地附近住宅区价值可反映湿地提供多样的生态系统服务的真实市场价值。值得进一步研究的是,上述方法虽然可以核算出湿地被市场认可的价值,但价值空间存在的差异,影响湿地被市场“认可价值”的关键因素不明确,亟需适当的研究方法找出湿地生态系统服务价值的关键空间过程和因素。本研究以中国高原城市湿地为例,采用价格享乐法,将湿地诸多服务转化为市场认可的“房价”因素,计算出 2020 年湟水城市湿地生态系统服务被市场认可的价值;同时,分析湿地价值量的空间分布差异及随距离的变化,揭示城市湿地生态系统服务价值的关键空间过程和影响因素,为湿地管理和决策提供科学依据。

1 研究区概况

研究区位于青海省西宁市城区段(图 1)。其位于青海省东部、河湟谷地中部,平均海拔约 2261m;地势西北高,东南低;属于高原寒温带半干旱气候区,气压低,日照长,昼夜温差大;年平均气温为 5.8℃,年平均降水

量为 380mm。湟水是黄河上游最大的一级支流,全长 374km,流域面积 3200 多 km²。

随着湟水国家湿地公园和西宁海绵城市的建设,湟水河沿线湿地生态系统服务功能日益凸显。海湖湿地公园(36°38'57"—36°39'29"N,101°40'24"—101°43'24"E),在湟水河的南北岸两侧分布,南北两岸建满住宅区。(2)火烧沟区(36°38'15"—36°39'01"N,101°42'40"—101°43'55"E),其下游河道梯级水坝景观提升了购房者对火烧沟附近住宅区的购买意愿。(3)北川湿地公园(36°40'40"—36°43'32"N,101°45'41"—101°46'11"E),呈南北条状分布,水景和绿景占全湿地公园面积的 70%以上,改善了湿地周围住宅区的小气候。(4)宁湖湿地公园(36°34'12"—36°33'48"N,101°52'43"—101°54'27"E)是一处人工湿地,集水质净化与生物多样性维持等多重功能的湿地生态系统。

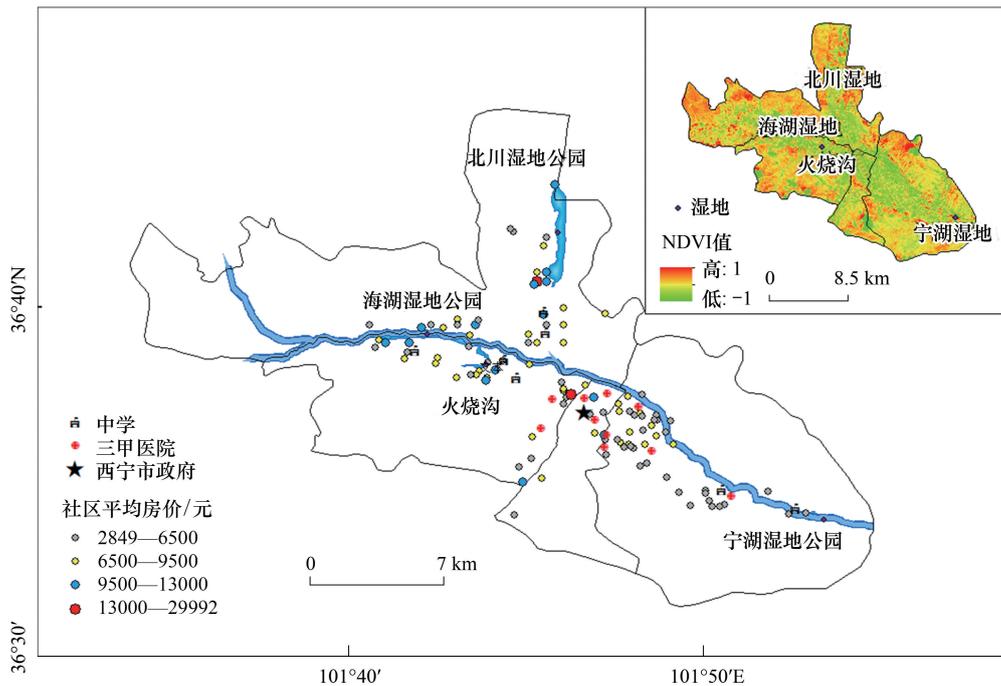


图 1 西宁市湟水国家湿地公园概况图

Fig.1 Overview Map of Xining Wetland Park

2 研究方法和数据来源

2.1 享乐价格法

享乐价格模型: $P = P(Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n)$ 式中, P 为住宅价格, Z 为住宅价格影响因子(如房屋结构、区位条件等)。它通过揭示不同的房地产价格与其不同的环境属性,采用多重回归方法来研究房地产价格与可能影响房价的许多变量的关系。本文采用线性形式和线性对数形式函数模型:

$$P_i = \beta_0 + \beta_1 S_i + \beta_2 S_i + \beta_3 Q_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

$$\ln(P_i) = \beta_0 + \beta_1 S_i + \beta_2 S_i + \beta_3 Q_i + \varepsilon_i \quad (2)$$

式中, P_i 表示第 i 个住宅社区的平均单价; S_i 表示住房结构属性特征向量矩阵,为住房的结构属性特征向量矩阵; N_i 表示住房邻里属性特征向量矩阵; Q_i 为模型引入的虚拟变量,为第 i 个社区住宅区与湿地公园间距离; β_i 为相应系数矩阵。模型通过 F 检验 ($F = 8.479, P < 0.05$)。

2.2 断裂点理论和加权 Voronoi 图模型

采用断裂点理论和加权 Voronoi 图模型研究湿地价值发挥的空间范围。1949 年,康弗斯提出断裂点理论^[21],定量计算不同湿地公园生态系统服务的作用边界^[22-23]。断裂点公式^[23]:

$$D_i = \frac{D_{ij}}{1 + \sqrt{\frac{P_j}{P_i}}} \quad (3)$$

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; P_i 、 P_j 分别为公园 i 和公园 j 生态系统价值量。采用欧氏距离,式(3)变换为:

$$\frac{D_i}{D_j} = \sqrt{\frac{P_i}{P_j}} \quad (4)$$

由式(4)可得,两个相邻湿地公园到其断裂点的距离与两公园的生态系统服务价值的平方根呈正比。设研究区有两个湿地斑块 $a(x_1, y_1)$ 和 $b(x_2, y_2)$, 其生态系统服务价值量分别为 P_a 、 P_b 。 a, b , 范围分界上的任一点的坐标点 $P(x, y)$ 。基于两点间距离公式,当 $P_a \neq P_b$ 时,可将公式(4)整理化简为:

$$\left(x - \frac{P_b x_1 - P_a x_2}{P_b - P_a}\right)^2 + \left(y - \frac{P_b y_1 - P_a y_2}{P_b - P_a}\right)^2 = \left(\frac{\sqrt{P_a P_b} D_{ab}}{P_b - P_a}\right)^2 \quad (5)$$

Voronoi 图模拟湿地价值的空间影响范围时,将湿地生态系统服务价值作为权重对 Voronoi 图进行加权^[24-25]。加权 Voronoi 图的定义:

$$V_n(P_i, \lambda_i) = \bigcap_{j \neq i} \left\{ P \mid \frac{d(P, P_i)}{\lambda_i} < \frac{d(P, P_j)}{\lambda_j} \right\} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

式中, P_i 是二维欧式空间上的 n 个点; λ_i 为给定 n 个正实数,由 $V_n(P_i, \lambda_i)$ 确定的对平面的分割称为点上加权的 Voronoi 图, λ_i 是 P_i 的权重^[26]。

2.3 结构方程模型

生态系统服务价值法仅能反映湿地整体价值,对不同服务类型的生态系统价值无法准确估算。因此,引入结构方程模型,具体分析湟水湿地不同类型生态系统服务对价值的影响。结构方程模型(structural equation model, SEM)分为测量与结构模型。测量模型公式:

$$X = \Lambda_x \xi + \delta \quad (7)$$

$$Y = \Lambda_y \eta + \varepsilon \quad (8)$$

(7)(8)式中 ξ 为外生潜变量矩阵, X 为 ξ 的测量变量矩阵, Λ_x 为测量变量 X 和外生潜变量矩阵 ξ 之间的关系的测量系数矩阵, δ 为方程残差矩阵, η 为内生潜变量矩阵, Y 为 η 的测量变量矩阵, Λ_y 为内生潜变量矩阵, η 和 Y 之间关系的测量系数矩阵, ε 为方程残差矩阵。结构模型公式:

$$\eta = B\eta + \Gamma\xi + \zeta \quad (9)$$

(9)中, ξ 为外源潜变量, η 为内生潜变量, B 为内生潜变量系数矩阵, Γ 为外生潜变量系数矩阵, ζ 为方程的残差。

本文构建湿地公园服务满意度理论模型,选取供给服务、调节服务、文化服务、支持服务四个潜变量^[27-30]。经过专家小组评论和查阅相关文献^[31]等两个步骤,设置潜变量的具体观测指标,得到较合理的观测指标 25 项。例如,研究区湿地灌丛和森林湿地较多,过去附近居民采集薪柴作燃料,虽现已禁止采集薪柴,但仍有其市场价值。故将此类指标也纳入观测变量中。问卷中每个指标分为五个评判标准,分别为“特别愿意”“愿意”“一般”“不愿意”“非常不愿意”。其含义如表 1 所列。

2.4 数据来源

于 2020 年 11 月—2021 年 1 月前往湿地周围住宅区调查问卷发放。共发放 460 份问卷,各湿地回收 115 份,剔除无效问卷 20 份,有效回收率 95.65%。

具体遥感数据来源于地理空间数据云网站,房价数据来源于西宁市房管局网。本文基于 Fan^[31]等相关文献及研究区社区实际情况,来控制社区的特征和位置属性,筛选出 10 种因子,通过 ArcGIS10.2 软件计算住房与其最近中学(为全市前七所中学)、医院(西宁市三甲医院)、市中心(以西宁市政府为代表)及与四个湿

地公园间距离(因各湿地斑块属性特征和影响力度不同,且需计算各湿地公园价值,所以将四块湿地公园距离各作为分析指标),如表 2。

表 1 模型观测指标

Table 1 Model observation indicators

	潜变量 Potential variables	观测变量 Observation variables	含义 Implication	
模型观测指标 Model observation indicators	文化服务	X ₁₁	您愿为就近湿地公园休闲娱乐服务付费吗?	
		X ₁₂	您愿为就近湿地公园宗教与精神美学服务付费吗?	
		X ₁₃	您愿为就近湿地公园存在价值付费吗?	
		X ₁₄	您愿为就近湿地公园提供遗产价值付费吗?	
		X ₁₅	您愿为就近湿地公园提供科研价值付费吗?	
		X ₁₆	您愿为就近湿地公园提供文教服务付费吗?	
	调节服务	X ₂₁	您愿为就近湿地公园提高空气净化付费吗?	
		X ₂₂	您愿为就近湿地公园释放更多 O ₂ 服务付费吗?	
		X ₂₃	您愿为就近湿地公园增强温度调节付费吗?	
		X ₂₄	您愿为就近湿地公园增强水质净化付费吗?	
		X ₂₅	您愿为就近湿地公园吸收更多 CO ₂ 服务付费吗?	
		X ₂₆	您愿为就近湿地公园地表水补给付费吗?	
		X ₂₇	您愿为就近湿地公园污染物降解付费吗?	
		供给服务	X ₃₁	您愿为就近湿地公园提供香蒲种子付费吗?
			X ₃₂	您愿为就近湿地公园提供观赏风景付费吗?
			X ₃₃	您愿为就近湿地公园提供鱼类水产品付费吗?
	X ₃₄		您愿为就近湿地公园提供芦苇种子付费吗?	
	X ₃₅		您愿为就近湿地公园提供淡水资源付费吗?	
	X ₃₆		您愿为就近湿地公园提供公园绿化用水服务付费吗?	
	X ₃₇		您愿为就近湿地公园提供薪柴及建筑木材付费吗?	
	支持服务		X ₄₁	您愿为就近湿地公园提供护岸防灾服务付费吗?
		X ₄₂	您愿为就近湿地公园提供植物多样性保护服务付费吗?	
		X ₄₃	您愿为就近湿地公园提供动物多样性保护服务付费吗?	
		X ₄₄	您愿为就近湿地公园提供固定营养物质服务付费吗?	
X ₄₅		您愿为就近湿地公园提供降低土壤侵蚀服务付费吗?		
X ₄₆		您愿为就近湿地公园提供生物栖息地服务付费吗?		

表 2 住宅特征变量统计

Table 2 Statistics of residential characteristic variables

	变量 Variables	均值 Mean	标准差 Standard	最大值 Maximum	最小值 Minimum	
住宅特征 Residential characteristic	区位特征	与海湖湿地公园距离/km	7.493	12096	107.003	0.154
		与北川湿地公园距离/km	8.396	12049	104.567	0.057
		与火烧沟湿地公园距离/km	6.835	12039	105.768	0.111
		与宁湖湿地公园距离/km	13.478	11343	101.076	0.057
	邻里特征	与最近医院距离/km	4.525	11533	95.819	0.090
		与市中心距离/km	6.447	11786	101.125	0.292
		与最近中学距离/km	4.101	10729	91.045	0.085
	属性特征	成交面积/km ²	0.017	39244.518	0.259	0.000
		成交均价/(元/km ²)	0.007	3773.169	0.030	0.003
		总建筑面积/km ²	0.199	227194.78	1.300	0.010
		绿化率/%	33.286	3.936	45.000	23.000
		容积率/%	3.163	1.565	7.800	0.430
		车位配比	0.641	0.438	2.830	0.000
		物业管理费/(元/m ² ×月)	0.987	0.246	3.000	0.140

3 研究结果与分析

3.1 基于享乐模型的湟水湿地生态系统服务价值

采用线性模型探索高原城市湿地对周围住宅区房价的影响,计算购买者的边际支付意愿。表 3 结果表明,(1)住房价格(元/m²)与总建筑面积、绿化率、容积率、车位配比、物业管理费呈正相关关系,与各湿地公园距离、最近中学距离、成交面积呈负相关关系。四块湿地,与海湖湿地距离负相关关系最为显著,系数值为-0.175。(2)基于多元线性回归模型,购房者对住宅区与湿地公园的最近距离边际支付意愿为 β₃,四个湿地公园平均估计结果为 0.120(元/m²)/m,即购买者愿意为住宅区与湿地公园之间的距离缩小 1m 而多支付 0.120元/m²。结合社区平均价格 7434.629 元/m²,边际支付意愿占整个房价的 2.04%。(3)湟水国家公园湿地平均生态系统服务价值为 151.916 元/m²,由大到小排列:火烧沟湿地公园>海湖湿地公园>宁海湿地公园>北川湿地公园;据房产总成交价值量,2020 年湟水湿地的总价值达到 3.367 亿元,四处湿地价值量分别为 1.632亿元、0.710 亿元、0.629 亿元和 0.330 亿元。

表 3 享乐价格模型的回归结果
Table 3 The regression result of the hedonic price model

模型 Mode	线性模型 Linear Mode		线性对数模型 Linear Logarithmic Model	
	B	t	B	t
回归结果	1(常量)	3200.251 **	1.822	8.427 ***
Regression result	2 海湖湿地公园	-0.175 *	-0.997	-8.326×10 ⁻⁶ *
	3 北川湿地公园	-0.149 *	-1.256	-3.080×10 ⁻⁵ ***
	4 火烧沟	0.133 *	0.703	2.491×10 ⁻⁶ *
	5 宁湖湿地公园	-0.286 *	-3.477	-2.140×10 ⁻⁵ ***
	6 最近医院	0.462 *	2.651	2.460×10 ⁻⁵ **
	7 市中心	-0.153 *	-0.920	-4.347×10 ⁻⁶ **
	8 最近中学	0.132 *	0.991	3.529×10 ⁻⁵ ***
	9 成交面积	-0.006 *	-0.679	-5.703×10 ⁻⁷ **
	10 总建筑面积	0.001 *	0.703	1.558×10 ⁻⁷ **
	11 绿化率	78.888 *	3.291	0.008 ***
	12 容积率	352.034 **	1.823	0.028 **
	13 车位配比	742.082 **	1.164	0.113 **
	14 物业管理费	2965.367 **	2.495	0.243 **
	调整后的 R ₁ ² = 0.477			调整后的 R ₂ ² = 0.540
a.因变量:y *** P<0.01, * P<0.05, * P<0.1			b.因变量:y *** P<0.01, * P<0.05, * P<0.1	

3.2 湟水湿地生态系统服务价值空间及距离衰减

基于享乐价格法,得到湿地公园生态系统服务价值量(表 4)。基于断裂点理论,将湿地公园生态系统服务价值量的平方根为其权重^[32-33],得到湿地公园生态系统服务价值影响范围加权 Voronoi 图(图 2)。

表 4 湿地公园生态系统服务价值
Table 4 Ecosystem Service Value of Huangshui Wetland Park

湿地公园 Wetland park	生态系统服务价值/万元 Value of ecosystem service	权重 Weights
海湿地公园 Haihu wetland park	7100	84.262
北川湿地公园 Beichuan wetland park	3300	57.446
火烧沟湿地公园 Huoshagou wetland park	16320	127.750
宁湖湿地公园 Ninghu wetland park	6290	79.310

运用公式(5)计算出各湿地有关指标(表5)。结合表3和图2可知:(1)110个社区样点,平均社区房价随着与湿地公园可达性的减小而降低(图2),虽并非完全由湿地距离主导,也从侧面反映湿地对房价的影响。(2)以住宅平均价格和湿地距离的平均值,湿地公园边际隐含价格为173.622元。即与海湖湿地的距离每减少1km,住房价格每m²增加173.622元。由此,北川、火烧沟和宁湖湿地公园边际隐含价格为131.937元/m²、144.343元/m²、157.761元/m²。

表5 空间分布范围有关指标

Table 5 Relevant indicators of the spatial distribution range

公园 Park	弧段圆心(十进制) Center	弧段半径/m Radius	公园 Park	弧段圆心(十进制) Center	弧段半径/m Radius
海湖→火烧沟	(36.665,101.684)	3350.827	北川→火烧沟	(36.718,101.774)	4263.933
北川→宁湖	(36.853,101.628)	28645.010	宁湖→火烧沟	(36.520,101.990)	16533.216
北川→海湖	(36.612,101.818)	9719.394	宁湖→海湖	(35.883,103.332)	158684.335

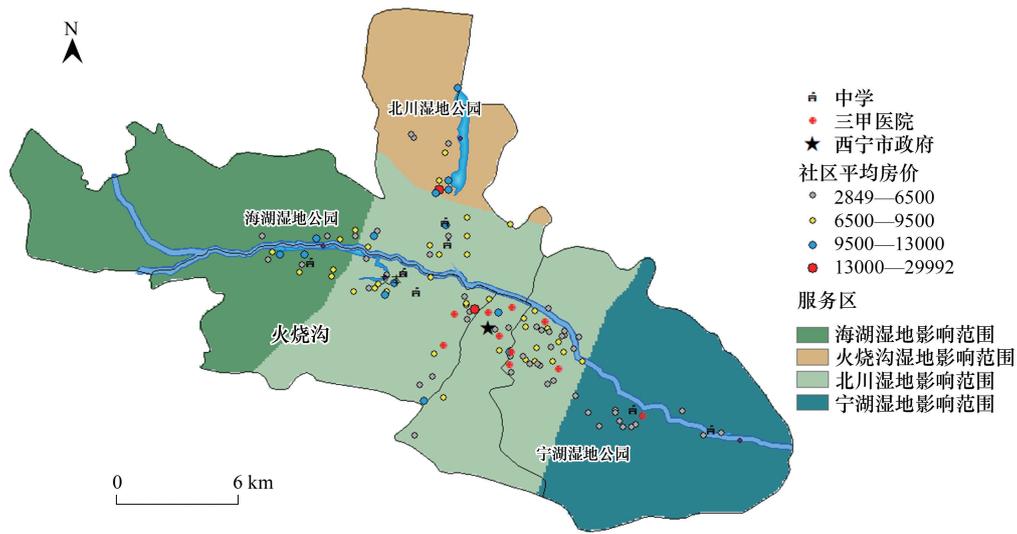


图2 湟水湿地生态系统服务价值空间分布

Fig.2 Spatial distribution of the service value in the Huangshui Wetland ecosystem

3.3 湟水湿地生态系统服务价值的影响因素

本文构建了湿地生态系统服务满意度结构方程模型,以探究湿地生态系统服务主要影响因素,分析不同类型生态系统服务对总价值的影响。本次调查中购房者普遍是中年人,受教育程度主要为高中学历。潜变量的克朗巴哈系数和KMO值均>0.6,通过信效度检验,满足结构方程建模需要(表6)。

表6 样本数据信效度统计检验

Table 6 Reliability validity of sample data

潜变量 Potential variables	个数 Measurable variables	克朗巴哈 Cronbach's α	统计量检验 KMO
文化服务 Culture services	6	0.643	0.714
调节服务 Regulation services	7	0.682	0.727
供给服务 Supply services	7	0.679	0.73
支持服务 Support services	5	0.627	0.64

本文采用绝对拟合指标: CMIN/DF、GFIA、GFI,相对拟合指标: NFI,替代性指标: CFI、RMSEA,对结构方程模型拟合效果进行判断。拟合效果如表7所示。

表 7 结构方程模型拟合效果检验

Table 7 Fitting effect test of the structural equation model

模型拟合指标 Model fitting indicators	拟合标准 Fitting Standards	结果 Result	模型拟合结构判断 Estimate
卡方自由度比值 CMIN/DF	2—5	2.926	是
近似误差均方根 RMSEA	≤0.1	0.082	是
良适性拟合指标 GFI	≥0.85	0.845	是
调整后拟合指数 AGFI	≥0.80	0.802	是
规范拟合指数 NFI	≥0.80	0.884	是
比较拟合指数 CFI	≥0.90	0.921	是

CMIN: Chi-square Maximum, DF: Degrees of freedom, RMSEA: Root-mean-square error of approximation, GFI: Goodness of Fit Index, AGFI: Adjusted Goodness of Fit Index, NFI: Normal fit index, CFI: Comparative fit index

检验结果显示,模型 CMIN/DF = 2.926; RMSEA < 0.1, GFI > 0.85; CFI > 0.90, NFI = 0.882, 模型的拟合效果较好。

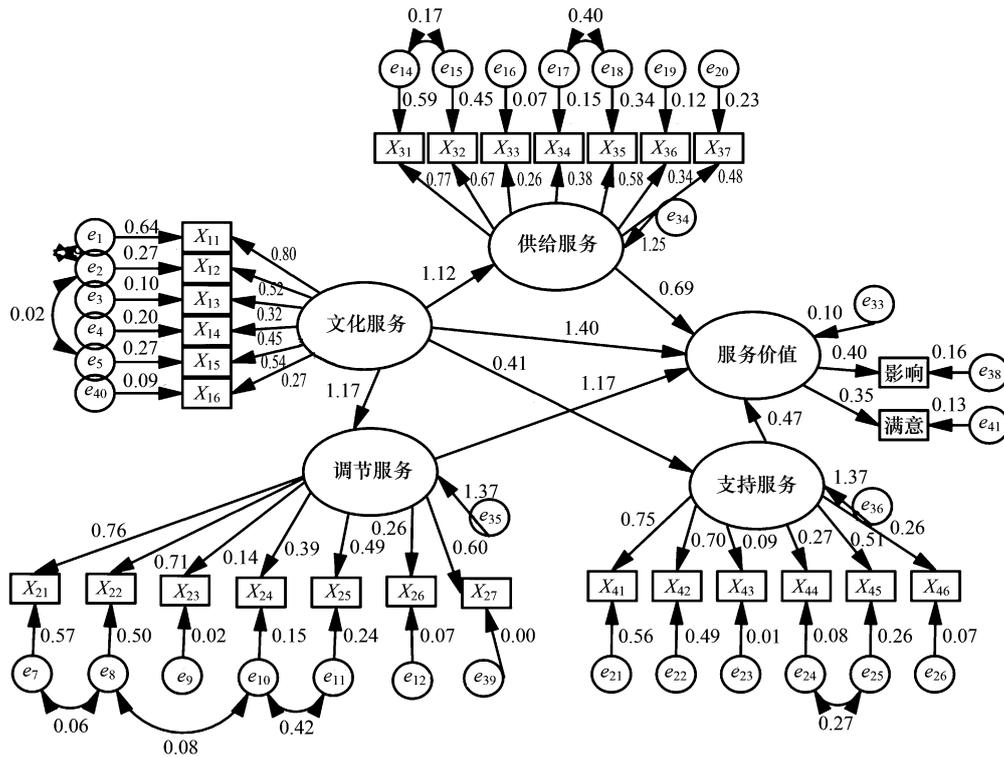


图 3 模型标准化系数路径图

Fig.3 Path Map of the Model Standardization Factor

X_{11} , 休闲娱乐; X_{12} , 宗教审美; X_{13} , 存在价值; X_{14} , 遗产价值; X_{15} , 科研价值; X_{16} , 文教价值; X_{21} , 净化空气; X_{22} , 释放氧气; X_{23} , 温度调节; X_{24} , 水质净化; X_{25} , 吸收二氧化碳; X_{26} , 地表水补给; X_{27} , 污染物降解; X_{31} , 香蒲种子; X_{32} , 观赏风景; X_{33} , 鱼类产品; X_{34} , 芦苇种子; X_{35} , 淡水资源; X_{36} , 绿化用水; X_{37} , 薪柴; X_{41} , 护岸防灾; X_{42} , 植物多样性保护; X_{43} , 动物多样性保护; X_{44} , 固定营养物质; X_{45} , 降低土壤侵蚀; X_{46} , 提供栖息地; e_1, e_2, \dots, e_n 为其误差项

由图 3 可知, (1) 文化服务对湿地生态系统服务价值影响最大, 其标准路径系数为 1.404 > 0, $P < 0.001$, 具有较高显著性, 表明文化服务越好, 越有利于提升湿地生态系统服务价值; (2) 文化服务潜变量中, X_{11} (湿地公园提供休闲娱乐) 对文化服务影响最大, 标准路径系数为 0.80。 (3) 对影响湿地价值量的显变量标准化路径系数按所占比例初步运算, 文化服务占总影响因素的 47.19%, 供给服务 23.26%、支持服务 15.85%、调节服务

13.71%, 相关结果见表 8。

表 8 路径系数估计结果
Table 8 Path coefficient estimation results

			非标准化 路径系数 Estimates	临界比 S.E.	组合信度 C.R.	显著性 P	标准化系数 Estimates	
估计结果 Estimation results	调节服务	<-	文化服务	0.874	0.043	20.559	***	1.171
	支持服务	<-	文化服务	0.862	0.044	19.786	***	1.169
	供给服务	<-	文化服务	0.815	0.034	24.122	***	1.116
	生态系统服务价值	<-	文化服务	0.628	0.324	1.941	***	1.404
	生态系统服务价值	<-	调节服务	-0.245	0.118	-2.08	**	-0.408
	生态系统服务价值	<-	支持服务	-0.286	0.119	-2.397	**	-0.471
	生态系统服务价值	<-	供给服务	-0.424	0.180	-2.354	**	-0.692
	X11	<-	文化服务	1.000				0.798
	X21	<-	调节服务	1.000				0.755
	X31	<-	供给服务	1.000				0.771
	X41	<-	支持服务	1.000				0.746

*** $P < 0.01$, ** $P < 0.05$ (双尾检验); $N = 440$

4 讨论

湿地生态系统服务评估法有直接评估法和间接评估法^[34]。与传统的评估方法比较,价格享乐法评估数据容易获取且可快速得到结果,采用真实数据模拟市场,避免了主观意识干扰。张艳春^[35]等利用中间物质转换法,计算得到湟水湿地 2020 年的生态系统服务价值为 6.18 亿元,本研究计算得到其 2020 年的生态系统服务价值为 3.36 亿元。造成计算结果大小差别的原因:(1)前者的计算是理想状态下的湿地价值,而后者是被市场承认的价值;(2)后者计算结果是基于 2020 年房产总成交量计算得到的,尚有不少房产尚未销售。上述两种方法各有优缺点:前者可以将湿地生态系统各分项的价值核算得较为清楚,但需要多源数据的支撑;后者需要的数据相对较为简单,但不能计算出各分项服务的价值。

在生态系统服务的空间份上,张艳春等^[35]人通过 ArcGIS10.2 等空间方法,基于断裂点模型研究了湿地生态系统服务价值空间分布格局。其探究辐射范围,以某湿地公园中心为圆心,湿地公园生态系统服务作用半径为辐射半径,向四周辐射,虽实现各类服务可视化,但物理情况下其辐射过程并不是均质扩散,不会出现以固定的半径,辐射成一个正圆的空间分布格局。本文将断裂点理论与加权空间 Voronoi 图模型相结合,在获得各湿地公园生态系统服务价值量后,基于城市断裂点理论确定权重,以研究区 4 个湿地公园生态系统服务价值量的平方根为权重,采用欧式距离的栅格算法,通过 ArcGIS10.2 形成各湿地公园生态系统服务价值影响范围加权 Voronoi 图。此方法因考虑了权重,使湿地服务价值扩散过程更接近实际。

论文存在不足之处包括:(1)享乐模型评估指标不完善。本文选取了其他环境因子,但未考虑湿地在住宅用地中的价值受到周围土地利用模式等因素的影响^[36];(2)忽略了房产价格存在空间自相关性。杜学军^[37]采用空间滞后模型,均来解决住宅价格的空间自相关性;由于未考虑到相邻房产间空间自相关性,模型估计存在一定的偏差。

5 结论

本文通过收集西宁市房屋特征与价格资料,基于 ArcGIS10.2、EMVI5.3 和 SPSS25.0 软件平台,采用享乐价格模型、断裂点模型和结构方程模型,定量表征了城市湿地公园的生态系统服务价值、空间影响范围及其影响因素。主要结论如下:

(1)由享乐价格模型计算得到的 2020 年湟水湿地生态系统服务价值约为 3.367 亿元,约有 54.3%的湿地生态系统服务通过房产被市场转化。

(2) 湿地生态系统服务价值占房产总价值的比例达到 2.04%, 湟水湿地的存在增加了周边房产的价值。

(3) 各湿地服务的空间影响范围大小为火烧沟>海湖湿地>宁湖湿地>北川湿地, 购买者对湿地的边际支付意愿是 0.12 元/m²。

(4) 购房者对湿地的文化服务支付意愿最大, 在总服务比例中高达 47.19%, 主要体现在湿地提供的休闲娱乐服务上。

参考文献 (References):

- [1] 林世伟, 马煜曦, 薛力铭, 江灿, 李秀珍. 滨海湿地消浪服务空间分布特征——以上海市崇明岛为例. 生态学报, 2021, 41(6): 2190-2200.
- [2] 崔丽娟, 雷茵茵, 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.
- [3] 康满萍, 赵成章, 白雪. 苏干湖湿地土壤全盐含量空间异质性及影响因素. 生态学报, 2021, 41(6): 2282-2291.
- [4] 王法明, 唐剑武, 叶思源, 刘纪化. 中国滨海湿地的蓝色碳汇功能及碳中和对策. 中国科学院院刊, 2021, 36(3): 241-251.
- [5] 毛旭锋, 魏晓燕, 陈琼. 人工湿地对湖泊外源污染削减过程及效率分析. 中国农村水利水电, 2015, (3): 64-67.
- [6] 孙宝娣, 崔丽娟, 李伟, 康晓明, 张曼胤. 湿地生态系统服务价值评估的空间尺度转换研究进展. 生态学报, 2018, 38(8): 2607-2615.
- [7] 李宏林, 徐当会, 杜国帆. 青藏高原高寒沼泽湿地在退化梯度上植物群落组成的改变对湿地水分状况的影响. 植物生态学报, 2012, 36(5): 403-410.
- [8] Meli P, Benayas J M R, Balvanera P, Ramos M M. Restoration enhances wetland biodiversity and ecosystem service supply, but results are context-dependent: a meta-analysis. PLoS One, 2014, 9(4): e93507.
- [9] Moreno-Mateos D, Meli P, Vara-Rodríguez M I, James A. Ecosystem response to interventions: lessons from restored and created wetland ecosystems. Journal of Applied Ecology, 2015, 52(6): 1528-1537.
- [10] Zhao Q Q, Bai J H, Huang L B, Gu B H, Lu Q Q, Gao Z Q. A review of methodologies and success indicators for coastal wetland restoration. Ecological Indicators, 2016, 60: 442-452.
- [11] Casagrande D G. The human component of urban wetland restoration. The Yale School of Forestry and Environmental Studies Bulletin, 1997, 100: 254-270.
- [12] Ehrenfeld J G. Evaluating wetlands within an urban context. Ecological Engineering, 2000, 15(3/4): 253-265.
- [13] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 陈文辉, 李士美. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1243-1254.
- [14] Kingsford R T, Basset A, Jackson L. Wetlands: conservation's poor cousins. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 2016, 26(5): 892-916.
- [15] 江波, Wong C P, 陈媛媛, 欧阳志云. 湖泊湿地生态服务监测指标与监测方法. 生态学杂志, 2015, 34(10): 2956-2964.
- [16] Malekmohammadi B, Jahanishakib F. Vulnerability assessment of wetland landscape ecosystem services using driver-pressure-state-impact-response (DPSIR) model. Ecological Indicators, 2017, 82: 293-303.
- [17] 赵军, 杨凯, 刘兰岚, 陈婷. 环境与生态系统服务价值的 WTA/WTP 不对称. 环境科学学报, 2007, 27(5): 854-860.
- [18] 欧阳志云, 金羽, 赵同谦, 郑华. 海南岛生态系统调节功能及其价值评估(英文). 资源与生态学报, 2011, 2(2): 132-140.
- [19] 张舟, 吴次芳, 谭荣. 生态系统服务价值在土地利用变化研究中的应用: 瓶颈和展望. 应用生态学报, 2013, 24(2): 556-562.
- [20] 李京梅, 许志华. 基于内涵资产定价法的青岛滨海景观价值评估. 城市问题, 2014, (1): 24-28.
- [21] 张哲, 薛惠锋. 基于加权 Voronoi 图的宝鸡地区城市影响区的划分. 计算机仿真, 2008, 25(6): 261-264.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 王新生, 李全, 郭庆胜, 毋河海, 付福英. Voronoi 图的扩展、生成及其应用于界定城市空间影响范围. 华中师范大学学报: 自然科学版, 2002, 36(1): 107-111.
- [25] 李圣权, 胡鹏, 闫卫阳. 基于加权 Voronoi 图的城市影响范围划分. 武汉大学学报: 工学版, 2004, 37(1): 94-97.
- [26] 张有会. 线段加权的 Voronoi 图. 计算机学报, 1995, 18(11): 822-829.
- [27] 方精云, 唐志尧, 张媛, 赵坤, 江子瀛. 全球生态系统功能和自然资本的价值. 世界环境, 1999, (2): 5-8.
- [28] 李伟, 崔丽娟, 庞丙亮, 马牧源, 康晓明. 湿地生态系统服务价值评价去重复性研究的思考. 生态环境学报, 2014, 23(10): 1716-1724.
- [29] 宋豫秦, 张晓蕾. 论湿地生态系统服务的多维度价值评估方法. 生态学报, 2014, 34(6): 1352-1360.
- [30] 马琼芳, 燕红, 李伟, 赵欣胜, 康晓明, 李伟东, 孙丽. 吉林省湿地生态系统服务价值评估. 水利经济, 2019, 37(3): 67-71, 77-77, 84-84, 88-88.
- [31] Fan Q, Hansz J A, Yang X M. The pricing effects of open space amenities. The Journal of Real Estate Finance and Economics, 2016, 52(3): 244-271.
- [32] 刘爱华, 谢正观. 加权 Voronoi 图在城镇经济区划分中的应用——以十堰市为例. 地理与地理信息科学, 2011, 27(4): 79-82.
- [33] 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.
- [34] 傅伯杰. 我国生态系统研究的发展趋势与优先领域. 地理研究, 2010, 29(3): 383-396.
- [35] 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): 1-12.
- [36] Geoghegan J, Wainger L A, Bockstael N E. Spatial landscape indices in a hedonic framework: an ecological economics analysis using GIS. Ecological Economics, 1997, 23(3): 251-264.
- [37] Du X J, Huang Z H. Spatial and temporal effects of urban wetlands on housing prices: evidence from Hangzhou, China. Land Use Policy, 2018, 73: 290-298.