

# 城市湿地公园建设的生态效应

——以济西国家湿地公园为例

杨霄<sup>1</sup>, 刘森<sup>1</sup>, 贾超<sup>1</sup>, 刘扬<sup>2</sup>, 于翠翠<sup>2</sup>, 朱恒华<sup>3</sup>

(1.山东大学 海洋研究院, 山东 青岛 266237; 2.山东省地质测绘院,  
山东 济南 250002; 3.山东省地质调查院, 山东 济南 250014)

**摘要:** [目的] 分析城市湿地形成前后的生态效应, 确定影响城市湿地形成发展的关键因素, 为城市湿地保护和生态公园的建设提供科学依据。[方法] 以黄河下游流域济南市济西国家湿地公园为研究区, 以 1990—2019 年的遥感影像和实地调查资料为数据源, 基于 GIS 平台, 通过空间分析土地利用动态度、转移矩阵和景观指数等研究城市湿地的生态效应, 利用灰色关联法研究湿地自然变化的驱动因素。[结果] ①耕地与生态用地的相互转换是济西湿地主要的土地利用变化类型, 建设用地与生态用地的相互转换是次要的土地利用变化类型。景观指数和动植物的变化则表明湿地生态多样性增加。②降水和地下水等水资源与湿地面积变化呈正相关, 温度与湿地面积变化呈负相关。[结论] 水文气象因素对湿地的自然演化起着重要的作用, 是常年性湿地形成的关键。城市规划等人干扰影响着湿地公园土地利用类型的转化, 也是主导城市湿地演变的主要因素。

**关键词:** 城市湿地; 生态效应; 演变特征; 驱动力

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1000-288X(2021)02-0162-08

**中图分类号:** X171.1, X37, TP79

**文献参数:** 杨霄, 刘森, 贾超, 等. 城市湿地公园建设的生态效应[J]. 水土保持通报, 2021, 41(2): 162-169. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2021.02.022; Yang Xiao, Liu Sen, Jia Chao, et al. Ecological effects of urban wetland park construction [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(2): 162-169.

## Ecological Effects of Urban Wetland Park Construction

— A Case Study at Jixi National Wetland Park

Yang Xiao<sup>1</sup>, Liu Sen<sup>1</sup>, Jia Chao<sup>1</sup>, Liu Yang<sup>2</sup>, Yu Cuicui<sup>2</sup>, Zhu Henghua<sup>3</sup>

(1. Institute of Marine Science and Technology, Shandong University, Qingdao, Shandong 266237, China; 2. Shandong GEO-Surveying and Mapping Institute, Ji'nan, Shandong 250002, China; 3. Shandong Institute of Geological Survey, Ji'nan, Shandong 250014, China)

**Abstract:** [Objective] The ecological effects before and after the construction of urban wetland were analyzed, and the key factors influencing the formation and development of wetland were determined in order to provide the scientific basis for urban wetland protection and ecological park construction. [Methods] Jixi National Wetland Park of Ji'nan City, Shandong Province, in the lower reaches of the Yellow River was selected as the research area. Remote sensing images and field survey data from 1990 to 2019 were the data sources. Based on the GIS platform, the ecological effects of urban wetlands were explored through spatial analysis of land use dynamics, transfer matrix, and landscape index. The driving factors of wetland change were studied by the grey correlation method. [Results] ① The mutual conversion between cultivated land and ecological land was the main type of land use change in the Jixi Wetland, and the mutual conversion between construction land and ecological land was the second type of land use change. Changes in landscape index and flora and fauna indicated an increase in wetland ecological diversity. ② The precipitation, groundwater and other water resources were positively correlated with wetland area, while the temperature was negatively correlated with wetland area. [Conclusion] Hydrological and meteorological factors played an important role

收稿日期: 2020-10-11

修回日期: 2021-01-07

资助项目: 山东大学基础科研业务专项“(人才引进与培养类)”(2019GN057); 济南市湿地资源现状调查与生态环境评价项目(2420019002); 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室“一带一路”水与可持续发展科技基金项目(201992011)

第一作者: 杨霄(1995—), 男(汉族), 江苏省宿迁市人, 硕士研究生, 研究方向为环境生态地质。Email: shawnyang@mail.sdu.edu.cn.

通讯作者: 刘森(1989—), 男(汉族), 山东省青岛市人, 博士, 助理研究员, 主要从事环境生态地质方面的研究工作。Email: sen\_liu@sdu.edu.cn.

in the natural evolution of wetlands, and were the key to the formation of perennial wetlands. Human disturbances such as urban planning affected the conversion of land use types in the wetland and were also the main factors leading to the evolution of the urban wetland.

**Keywords:** urban wetland; ecological effects; evolution characteristics; driving force

天然湿地系统作为生态系统的重要组成部分,为人类提供了持续的生态效益和经济效益,但天然湿地的数量有限,且主要分布于城市周边区域,城市湿地生态系统的建设成为建设生态城市的重要因素<sup>[1-2]</sup>。经精心规划、设计、建设和运营的城市湿地生态系统具备与自然湿地相似的生态功能,例如净水、固碳、泄洪、防止土壤流失和蓄水等<sup>[3-4]</sup>。城市湿地公园作为人工湿地或自然湿地的集合,能够为野生动物提供栖息地,同时在美化环境、旅游观光和科普教育等方面发挥了重要作用,实现了资源保护与可持续发展的平衡<sup>[5-6]</sup>。党中央、国务院高度重视生态文明建设,在《生态文明体制改革总体方案》(中发〔2015〕25号)明确提出,“树立山水林田湖是一个生命共同体的理念,统筹考虑自然生态各要素进行整体保护、系统修复、综合治理,增强生态系统循环能力,维护生态平衡”的要求。在这样的环境下,城市湿地的研究得到了进一步发展,国内外众多学者对城市湿地进行了研究,如徐焯等利用“压力—状态—响应”模型建立了雄安城市湿地生态系统的健康评价指标体系,讨论了湿地公园内生态系统的健康状况<sup>[7]</sup>;万媛媛等采用样方法和组平均法对天津临港城市湿地的植物群落进行了调查和聚类,分析了城市湿地物种的多样性格局<sup>[8]</sup>。以上研究对城市湿地公园建成后的生态情况进行了分析,肯定了湿地公园良好的生态作用。但关于城市湿地形成前后生态效应的定量化分析研究却略显不足。由于可参考借鉴的研究较少,大部分湿地公园保护工作尚未形成体系。大规模基础设施的建造、耕地的种植等强烈的人为活动,产生了一系列的生态问题<sup>[9-11]</sup>。因此,定量分析城市湿地形成前后的生态效应对于响应生态保护的部署和科学规划城市湿地公园具有重要的作用。

济西国家湿地公园(以下简称“济西湿地”)是济南市最大的城市湿地<sup>[12]</sup>,由于2001年玉清湖水库建成后的侧渗以及周围特殊的水文和地形条件造成的区域性汇水而成为常年性湿地。本文以济西湿地为研究区,通过搜集和调查等方法获取水文地质、DEM、遥感影像等基础数据,选取1990—2019年遥感影像数据对土地利用类型进行分类;分析1990年以来湿地土地利用类型、景观指数、水文气候、动植物的演变特征;结合水文气候和建设活动资料,对其驱动机制进行探讨,系统给出济西湿地景观格局和演变

特征及其主要驱动因素。研究成果能够为类似湿地的保护和湿地公园内生态环境的发展建设提供科学依据和理论指导。

## 1 研究区概况

济西湿地位于济南市中心城区的西部,地理坐标范围为 $116^{\circ}45'—116^{\circ}50'E$ , $36^{\circ}37'—36^{\circ}41'N$ ,西部紧靠黄河干流,北面有黄河下游最大支流玉符河穿过,东侧为南水北调东线引渠,湿地内有玉清湖水库水源地,区域内水资源丰富,面积约 $33.6\text{ km}^2$ <sup>[13-14]</sup>。济西湿地地貌单元属于玉符河冲洪积扇,地貌类型单一。研究区土壤为潮土,土层深厚,土体发育完全,呈中性至微碱性。耕层质地多为中、轻壤,保水保肥易耕作。年均降水量 $698.6\text{ mm}$ ,变化范围 $312\sim 1\ 051\text{ mm}$ ;年均蒸发量 $2\ 257.6\text{ mm}$ ,变化范围 $1\ 912\sim 2\ 315\text{ mm}$ 。年均气温 $13.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,变化范围 $12.8\sim 14.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,年变化以7月最热为 $27.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,1月份最冷为 $-2.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;平均无霜期 $198\text{ d}$ ;年平均日照总时数为 $2\ 640.2\text{ h}$ 。济西湿地水资源补给包括大气降水、玉符河水、玉清湖侧渗水及引进的黄河水。地下水流总体由东南向西北径流,由于悬黄河的天然分水岭作用,近河以侧渗补给为主,远河以降水入渗为主,并辅以少量的灌溉回渗,地下水排泄以蒸发和人工开采为主。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据的选择与处理

使用的数据主要包括:①济西湿地1990,1998,2000,2004,2008,2012,2018和2019年共计8期Landsat影像,遥感影像数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台,土地利用数据由支持向量机(SVM)使用Landsat图像提取<sup>[15]</sup>。②DEM数据,DEM影像采取无人机实地勘测与影像结合校正,利用ENVI 5.4专业遥感图像处理软件,对遥感数据进行辐射定标、大气校正、镶嵌、波段组合、增强等处理,编制遥感影像图。③水文气象数据,研究资料来源于山东省地质测绘院在济西湿地附近的长期水文观测站和地下水水位观测井。选取气温和降水资料,计算出其年平均值的时间序列,采用线性倾向趋势估计统计分析方法,对自1990年来的济南气候变化趋势进行研究。

对获得的不同时期的Landsat OLI图像应用最

大似然监督分类和视觉解释技术<sup>[16-17]</sup>,配合湿地实地调查,将土地利用类型细分为 16 种(6 大类):草地、耕地、林地、沼泽林地、人工表面(坝体、工业用地、公路用地、火车站、建设用地、农村建设用地、铁路用地)、水域(水库水面、水面、河流水面、坑塘水面、养殖水面)。本次研究中,我们收集了 100 多个样本作为训练数据,这些样本已在最大似然分类器中用于执行分类,总体分类准确度大于 95%。

## 2.2 土地利用动态度

本次土地利用变化的速度采用单一土地利用类型动态度和空间动态度来定量描述。单一土地利用类型动态度是特定土地利用类型在给定时间段内的变化率,而空间动态度是不同土地利用类型转入转出的变化率<sup>[18-19]</sup>,其表达式分别为:

$$K = \frac{(S_b - S_a)}{S_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

$$K' = \frac{(S_{in} + S_{out})}{S_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中: $K, K'$ 表示研究时段内单一土地利用类型动态度和土地利用变化空间动态度; $S_a, S_b$ 分别表示研究时段始末期某一种土地利用类型的面积( $\text{km}^2$ ); $S_{in}, S_{out}$ 分别表示研究时段某一种土地利用类型转入和转出的面积( $\text{km}^2$ ); $T$ 为时间段(a)。

## 2.3 土地利用转移矩阵与景观指数

土地利用转移矩阵来源于系统分析,能够反映研究期内土地利用的结构特征和各类型之间的转化情况和方向,提供了详细的“转入”和“转出”信息,是比较不同来源地图的最常用方法<sup>[20]</sup>。使用下列公式进行计算:

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1j} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{i1} & P_{i2} & \cdots & P_{ij} \end{pmatrix} \quad (3)$$

式中: $P_{ij}$ 表示*i*类土地利用类型转化为*j*类土地利用类型的区域,并且满足 $P_{ij} \geq 0$ 和 $\sum_{j=1}^n P_{ij} = 1$ 。

景观指数可以描述景观格局的复杂性和变化<sup>[21]</sup>。本次研究利用 ArcGIS 平台和 Fragstats 软件,计算了土地利用转移矩阵、蔓延度指数(CONTAG)和香农多样性指数(SHDI)。其中,CONTAG 描述的是景观不同斑块的聚集性程度或延展趋势。SHDI 反映了景观元素的数量及其比例的变化,其值越大,多样性越高<sup>[22]</sup>。

## 2.4 碳汇潜力

固碳是湿地提供的重要生态系统服务功能,在地

球大气辐射平衡中起到重要的作用,也是近年来在气候情景中最受关注的湿地功能。湿地植被的碳储量是其现有生物量中存储的碳<sup>[23]</sup>,水文地貌和植被的类型以及景观位置都会影响区域的碳汇能力,在水资源丰富的湿地地区,其土壤肥沃,更有利于刺激湿地植物的生长。

碳储量计算公式为:

$$C_s = \sum_{i=1}^n A_i \cdot C_i \quad (4)$$

式中: $i$ 表示不同植被类型; $A_i$ 为不同植被类型种植面积( $\text{m}^2$ ); $C_i$ 为不同植被区域类型下的碳密度<sup>[24-26]</sup>( $\text{kg}/\text{m}^2$ )(表 1); $C_s$ 为湿地区域内总碳储量( $\text{kg}$ )。

表 1 各类型植被碳密度数据

项目	耕地	林地	草地	沼泽林地
碳密度	10.21	23.9	11.23	36.47

## 2.5 关联度分析

灰色关联分析是一种识别和确定关键因素优先级的改进方法,适用于变量独立性分析。根据灰色关联度理论分析了湿地与驱动因子之间的相关性。由于每个序列中因子的维数不同,无法对不同序列进行比较。因此,为了确保结果的可靠性,使用等式(5)对参考序列和比较序列进行了无量纲处理。无量纲处理后,计算关联系数和灰色关联度<sup>[27]</sup>。

$$x_i(k) = \frac{X_k(k) - \max X_i(k)}{\max X_i(k) - \min X_i(k)} \quad (5)$$

$$\zeta_k(k) = \frac{\min |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (6)$$

$$\gamma_i = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \zeta_i(k) \quad (7)$$

式中: $X_i(k)$ 为原始数据; $x_i(k)$ 为无量纲处理后的数据; $\zeta_i(k)$ 为灰色相关系数; $\gamma_i$ 为灰色关联度; $\rho$ 为分辨系数, $0 < \rho < 1$ ,通常取 0.5。 $i=0,1,2,\dots,n$ ; $k=1,2,\dots,m$ 。

## 3 结果与讨论

### 3.1 济西湿地的演变

#### 3.1.1 土地利用类型的演变

(1) 土地利用动态度。自 1990 年以来,在气象、水文、地质地貌、植被、土壤、地下水、人类工程活动、自然灾害等因素影响下,济西湿地土地利用结构发生很大变化(图 1)。土地利用类型的变化主要分 4 个阶段(表 2),分别为水库建设前的变化期(1990—1998 年)、水库建设期间的稳定期(1998—2000 年)、



湿地初步形成期(2000—2004 年)以及湿地快速发展期(2004—2019 年)。1990—1998 年期间,济西湿地单一土地利用类型变化速度最快的是公路用地(38.78%),其空间动态度达到 155.12%,城市化道路发展极为迅速。1998—2000 年为水库建设期,受政

府的控制和影响,在此时间段内土地利用类型保持不变。2000—2004 年,坑塘成为增加速度最快的土地利用类型(71.46%),但空间动态度最大的是建设用地(166.78%)。2004—2019 年,年变化率最快(26.33%)和空间动态度(36.12%)最大的均为草地。

表 2 单一土地利用类型动态度(K)和土地利用变化空间动态度(K')

土地利用类型	1990—1998 年		1998—2000 年		2000—2004 年		2004—2019 年	
	K	K'	K	K'	K	K'	K	K'
耕地	-1.56	6.25	0	0	-3.50	3.81	-2.87	3.10
工业用地	6.87	31.34	0	0	0	0	-0.57	10.72
公路用地	38.78	155.12	0	0	0	0	3.89	3.89
河流水面	0	0	0	0	-0.01	0.01	1.41	12.54
火车站	0	0	0	0	0	0	0	0
坑塘水面	0	0	0	0	71.46	106.33	-5.08	7.77
林地	1.01	4.05	0	0	44.83	47.55	3.92	12.59
农村建设用地	0.20	0.81	0	0	-0.53	1.96	3.07	4.77
铁路用地	0	0	0	0	0	0	0.67	0.81
养殖水面	0.82	3.27	0	0	3.10	4.74	-4.02	4.44
坝体	—	—	—	—	—	—	—	—
建设用地	—	—	0	0	-25.00	166.78	—	—
水库水面	—	—	—	—	—	—	-0.83	0.83
水面	—	—	—	—	—	—	26.33	36.12
草地	—	—	—	—	—	—	—	—
沼泽林地	—	—	—	—	—	—	—	—

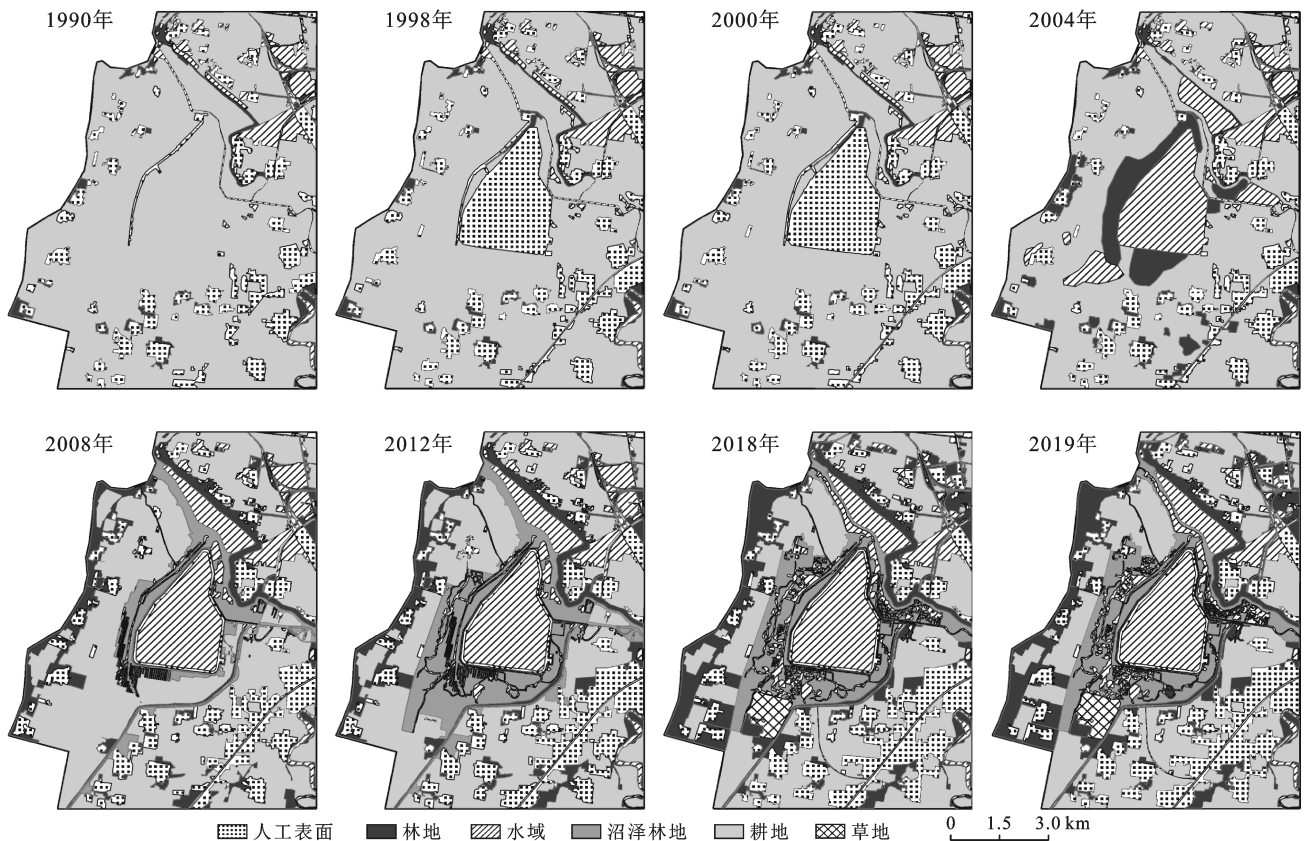


图 1 济西 1990—2019 年湿地土地利用类型

(2) 土地利用转移矩阵。在湿地的形成和发展过程中起到重要的作用的是土地利用类型是生态用地,由于耕地对于湿地内动植物生长的贡献有限,本研究将林地、草地、沼泽林地和水域视为主要的生态用地<sup>[28]</sup>同时由于 1998—2000 年的土地利用类型保持不变,重点分析了 1990—1998 年、2000—2004 年、2004—2019 年土地利用转移矩阵(表 3)。1990—1998 年,自然状态下的生态用地增加缓慢(5.58%),耕地(11.79%)主要转化为人工表面用地。2000—2004 年,

生态用地的转入比例迅速增加(66.04%),这主要得益于玉清湖的建成,此时湿地初步形成。2004—2019 年,生态用地转入的占比仍然很大(47.91%),湿地不断发展。总体来看,耕地与生态用地之间的相互转换是主要的土地利用变化类型,建设用地与生态用地之间的相互转换是次要的土地利用变化类型。焉恒琦等<sup>[29]</sup>在研究多个湿地的人为胁迫性也指明,耕地和人工表面是人工干预引起湿地内部变化的主要类型,对湿地生态系统有很大的影响。

表 3 济西湿地 1990—2019 年土地利用转移矩阵

年份	类型	耕地	工业用地	公路用地	建设用地	林地	水域	其他用地
1990—1998	耕地	4 903.245	—	—	—	—	—	—
	林地	20.612	—	—	—	254.506	—	—
	水域	19.167	—	—	—	—	418.487	—
	人工表面	660.961	77.173	6.177	670.749	—	—	50.195
2000—2004	耕地	4 187.092	—	—	1.569	—	28.728	—
	林地	454.194	0.021	—	54.041	260.166	0.025	—
	水域	246.655	—	—	566.831	11.486	408.057	—
	人工表面	15.305	119.564	25.339	647.659	3.466	0.843	50.195
2004—2019	耕地	2 323.411	—	—	11.702	34.655	33.631	—
	林地	791.560	—	—	51.903	268.946	107.863	0.185
	水域	215.680	—	—	0.187	127.665	853.989	—
	沼泽林地	466.082	—	—	8.233	254.369	105.217	—
	草地	86.538	—	—	0.205	12.656	31.359	—
	人工表面	334.112	119.564	25.339	595.043	70.149	101.113	50.010

3.1.2 植被覆盖类型及碳汇情况的演变 土地利用是人类对土地的利用方式和使用状况,而土地覆盖(植被覆盖)主要表达的是土地表层以植被为主要覆盖物的自然类型和状态。济西湿地目前植被覆盖类型主要有 4 种,分别为草地、耕地、林地、沼泽林地(图 2)。整体来看,1990—2019 年济西湿地植被覆盖类型变化主要表现为耕地减少,转变为草地、林地和沼泽林地。其中耕地减少了 45.20%,林地增加了 13.64%,

沼泽林地增加了 11.78%、草地增加了 1.85%。林地和沼泽林地的增加成为济西湿地演变的主要特征。湿地形成前,区域内耕地面积占比最大,碳储量也最多。在湿地形成和建设的过程中,由于济南市“退耕还林还湿”政策的实施,湿地区域内部分耕地改变为林地、草地和沼泽林地等具有高固碳能力的植被类型,较少的生态用地就能够提供更多的碳储量,使得济西湿地的碳汇能力在不断增强。

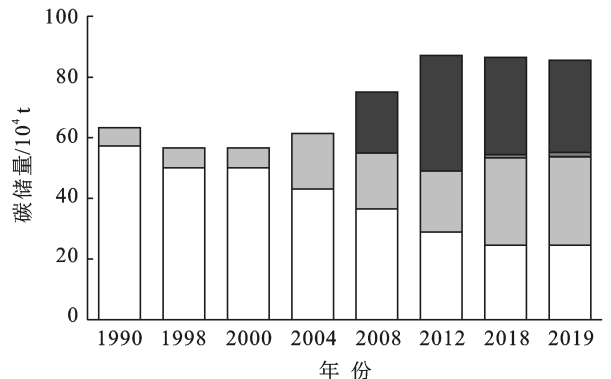
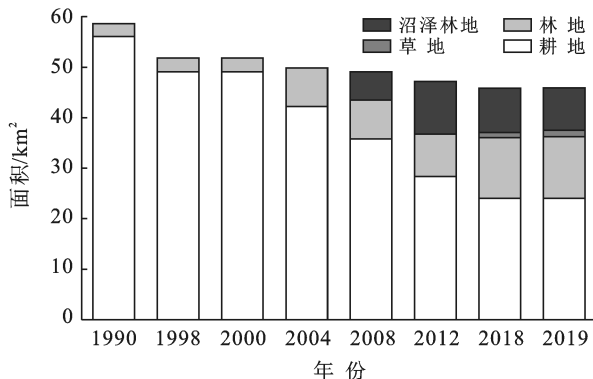


图 2 济西 1990—2019 年湿地植被类型及碳汇情况变化

3.1.3 景观指数的变化 济西湿地内的 CONTAG 呈下降趋势,景观破碎化程度变高,连通性变低(图 3)。而 SHDI 一直呈现增加的趋势,表明随着时间的推移,湿地景观类型的多样性增加,并有向不同土地利用类型发展的趋势,这是由于人类干扰的

增加。此外,CONTAG 的减少和 SHDI 的增加,说明作为主要土地利用类型的耕地逐渐减少,已变得更加零碎,在景观中的优势也越来越小,这意味着在湿地公园的建设过程中,“退耕还林还湿”政策得到有效实施。

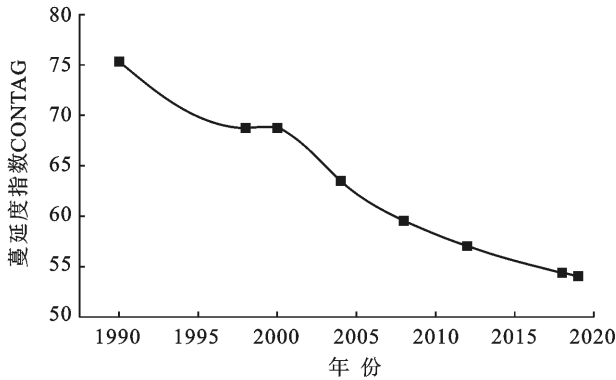


图 3 济西 1990—2019 年湿地景观指数变化

### 3.1.4 水文气候的演变特征

(1) 气温演变特征。由图 4 可知,济西湿地形成后的趋势线比形成前的趋势线明显降低,对于局部气候的调节作用明显,但由于城市社会的发展,气温仍呈现波动上升状态。年平均气温大部分为正距平,最高平均气温为  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,出现在 2019 年,相较历年平均气温高了  $0.83\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;最低气温出现在 2011 年,年均温

为  $13.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相较历年平均气温低了  $0.77\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最高值和最低值之间相差  $1.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。根据 2000 年后的气温趋势线,气温将继续呈现波动上升状态。该区域的变暖和与玉符河的季节性洪水会使湿地的地表水水源供给不稳定,导致济西湿地中蒸发量的增加,引起土壤含水量减少和地表水补给减少,不利于城市湿地的自然发展。

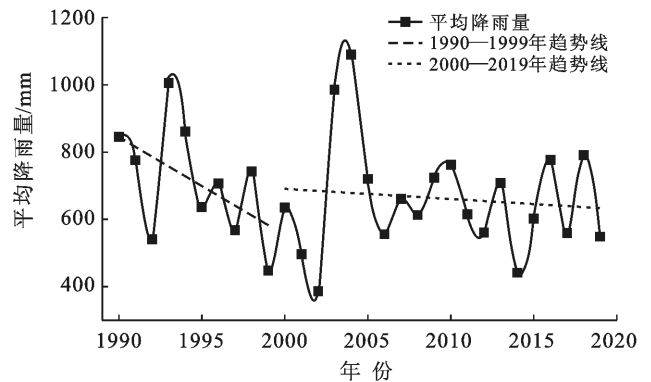
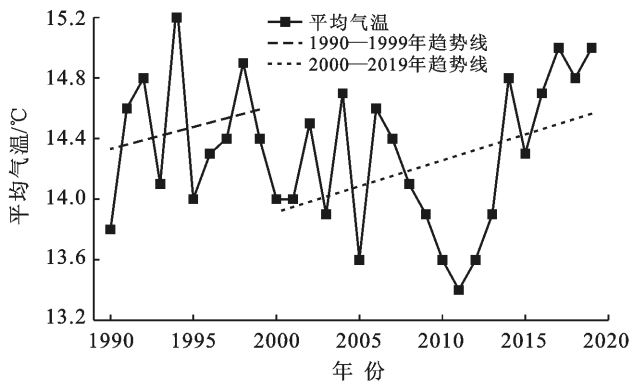


图 4 济西 1990—2019 年湿地年均气温变化和降雨量变化

(2) 降水和地下水水位变化特征。根据济西湿地年均降雨量变化图(图 5)和监测孔组逐月的监测资料(图 5),济西湿地的降水量和地下水水位趋势基本一致。1993 年、1994 年连续两个丰水年后,孔隙水水位上升至近 30 a 最高水位,此后水位逐渐下降,至 2003 年枯水期,水位降至最低点。2003 年以后,济西湿地进入连续的丰水年份,降水量较多年平均值多  $100\sim 150\text{ mm}$  左右,孔隙水水位快速回升,进入相对

的高水位期。从孔隙水多年动态曲线可以看出,一场较大的降水,对孔隙水水位的影响十分明显,如 1996, 1998, 2003, 2004, 2010, 2013 和 2016 年,降水量集中,月内降水量均在  $300\text{ mm}$  以上,孔隙水水位在短期内迅速回升至当年最高水位或数年最高水位。由于济西湿地存在较厚的第四系松散沉积物,因此该区域降水量增加可有效增大地下水的补给量,使得地下水水位的变化趋势呈现出  $10\text{ a}$  左右的波动周期。

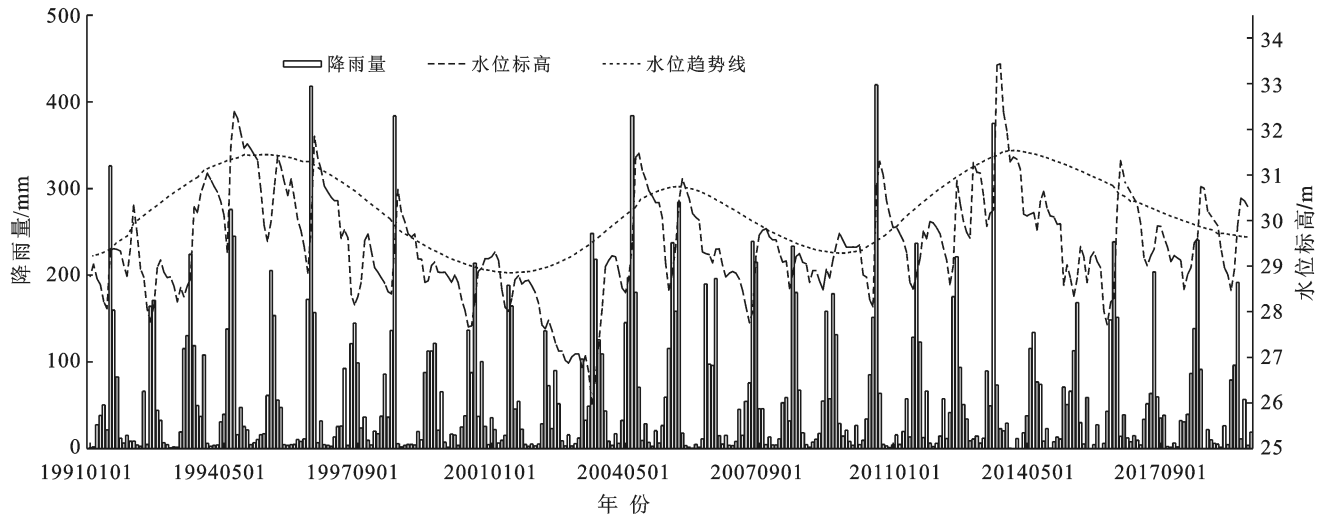


图 5 济西 1991—2019 年孔隙水动态与降水量关系曲线

(3) 相关性分析。将湿地面积作为参考序列,而长期监测的降雨、温度和地下水水位作为比较序列,分析了湿地面积变化和气象序列相关性。其中,用负值表示负相关,正值表示正相关。由表 4 可知,3 种因子中地下水水位是影响湿地面积的最主要因素。湿地面积与地下水水位、降水量呈正相关,地下水水位和降水量对城市湿地的自然发展具有重要影响。而气温与湿地面积变化之间呈负相关,即随着区域温度的升高,湿地的面积减少。由于湿地本身具有冷湿效应,区域温度升高将降低城市湿地的冷湿作用。郑慧祯等<sup>[30]</sup>在研究闽江湿地时也发现了随着湿地温度的上升,湿地面积减少,降温效果减弱。杜培军等<sup>[31]</sup>在研究滨海湿地土地利用与地表温度响应时也有是一致的结论。这表明水文气候因素对城市湿地的影响与天然湿地类似。

表 4 湿地面积与驱动因子的灰色关联度

因子	气温	降水	地下水水位
关联度	-0.621	0.666	0.761

### 3.2 演化的驱动力

湿地公园中的自然的水文气候的变化和外部的干扰是影响济西湿地演变的主要因素。

3.2.1 水文气候 基于灰色关联理论,采用长期连续监测的降水数据和气温数据分析了水文气候对济西湿地的影响。降水和地下水补给作为湿地的重要水源,与湿地面积变化呈正相关。温度与湿地变化呈负相关。这与 Wu 等<sup>[16]</sup>在红河自然湿地中的研究结论是一致的,表明在不受人影响的情况下,城市湿地的发展演化同样受水文气候因素的控制。因此,水文气象因素对城市湿地的自然演化起着重要的作用,湿

地内的水文循环是城市湿地成为常年性湿地的关键。从降水、地下水水位、温度等气象条件的演变特征趋势线分析,景区在未来的一段时间内降水量和地下水水位呈下降趋势,气温呈上升的趋势,处于偏暖阶段。温度升高将使地表水蒸发量增加,而随着蒸发过程的加速和湿地水资源量的减少,会导致湿地面积的丧失。该阶段维持时间 2~3 a 后转入降雨量增加阶段,周而复始的呈波动变化。此外,济西湿地及临近区域年均降水量、年均气温和地下水水位的特征不存在突变现象,这将对景区植被的生长发育、水分补给更为有利。

3.2.2 人为干扰 当“济西国家湿地公园”建立时,农业活动受到限制,导致耕地面积大幅减少,这表明农业开垦对济西湿地的形成有最直接相关性。人为开采大量地下水浇灌农田也会影响区域内水资源的补给,不利于湿地的发展。由于湿地生态系统的高脆弱性,若湿地区域内的林地遭受破坏,耕地增加,则湿地区域内的碳汇能力将极大降低。而水作为湿地的主要景观和关键要素,水量和水质对于湿地的发展极为重要。湿地公园内农田化肥和居民生活用水若未经处理直接排放,会影响着水生动植物的生存环境。并且由于玉清湖水库为直引黄河水的水库,水质情况直接受到黄河水水质的影响。未经处理排放到黄河内的城市工农业用水将加重湿地公园内水质的污染程度。于洋等<sup>[13]</sup>也在其研究中指出,济西湿地受到人为因素的强烈干扰,不合理的处置措施将导致湿地不断减少。李文清<sup>[32]</sup>和胡乃利等<sup>[33]</sup>的研究也揭示了城市湿地区域内农药化肥的使用和土地利用类型的不合理的导致湿地内较严重的水质污染和水土流失现象。水库建设前,该区域未受干扰,植被覆盖类型只



有耕地和林地。玉清湖水库建设期间,由于政府的规划和控制,植被覆盖类型并未发生变化。玉清湖水库建设后的过渡期,水库逐渐向外渗水,加上居民对于黄河水和玉符河水的引灌,湿地初步形成。从 2004—2019 年,由于城市的规划,强制性和激励性政策的实施,至 2011 年济西湿地被列为国家湿地公园的试点公园后济西湿地“退耕还林还湿”政策的有效实施,湿地进入快速发展阶段。具体表现为耕地大幅度减少,转变为林地、草地、沼泽林地等生态用地。

## 4 结论

(1) 耕地的减少、林地和沼泽林地的增加是济西湿地土地利用类型演变的主要特征。耕地与生态用地的相互转换是主要的土地利用变化类型,建设用地与生态用地的相互转换是次要的土地利用变化类型。“退耕还林还湿”政策得到有效实施,具有高固碳能力的植被类型的增加使得济西湿地的碳汇能力不断增强。景观指数和动植物的变化表明湿地生态多样性增加。

(2) 灰色关联度分析显示,地下水水位是影响湿地自然演变的主要因素,降雨的影响次之,而气温与湿地面积变化呈负相关。水文气象特征的趋势线表明现阶段呈温度升高和降水减少趋势。这些因子的变化过程主导着城市湿地的自然演变,并控制了湿地水文循环的变化,研究区内的水文循环是常年性湿地形成的关键。

(3) 土地利用的主次要转换类型以及人为对碳汇能力的增强表明了城市规划等人为干扰是城市湿地演变的主导因素,而水文气象因子则更多影响城市湿地稳定后的自然演变。气候变暖、水资源量的减少以及地下水水位的降低,都将不利于地表水的储存。济西湿地内地表水补给地下水,减少了地表水的量,增加了湿地的脆弱性。因此,为了保护湿地,必须限制耕地的扩展和人为不合理的施工建设。

### [参 考 文 献]

[1] Ghermandi A, van den Bergh J C J M, Brander L M, et al. Values of natural and human-made wetlands: A meta-analysis[J]. *Water Resources Research*, 2010, 46(12):W12516.

[2] 成水平,王月圆,吴娟.人工湿地研究现状与展望[J].*湖泊科学*, 2019, 31(6):1489-1498.

[3] 田若谷,李怀恩,刘铁龙.湿地价值评估研究综述[J].*水资源研究*, 2019, 8(3):267-273.

[4] 孟伟庆,莫训强,李洪远,等.天津地区湿地退化特征与驱动因素的多变量相关分析[J].*水土保持通报*, 2016, 36

(4):326-332.

- [5] 陈炜,张雨珂,炊雯,等.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[J].*水土保持通报*, 2019, 39(4):270-274.
- [6] 王立帅,徐诗文,林浩文,等.城市湿地公园建成后综合绩效评估:以广州大观湿地为例[J].*生态学报*, 2019, 39(16):6001-6016.
- [7] 徐焯,杨帆,颜昌宙.基于景观格局分析的雄安城市湿地生态健康评价[J].*生态学报*, 2020, 40(20):7132-7142.
- [8] 万媛媛,李洪远,莫训强,等.天津市临港城市湿地植物群落特征及多样性[J].*水土保持通报*, 2016, 36(6):326-332.
- [9] 王建华,吕宪国.城市湿地概念和功能及中国城市湿地保护[J].*生态学杂志*, 2007, 26(4):555-560.
- [10] 王华升.湿地公园建设保护中存在的问题及肥东县湿地公园建设保护对策[J].*现代农业科技*, 2019(16):137-138.
- [11] 罗建美,张学儒.基于 Logistic 模型的人类开发活动影响下河北省滨海湿地演变驱动分析[J].*中国农业资源与区划*, 2018, 39(9):169-174.
- [12] 孔亚菲.基于生态敏感性评价的济西国家湿地公园生态规划研究[D].山东 济南:山东建筑大学, 2015.
- [13] 于洋.济西湿地生物多样性及保护对策[J].*山东林业科技*, 2014, 44(1):108-110.
- [14] 鲁敏,纪园园,高业林,等.济西国家湿地公园生态规划研究[J].*山东建筑大学学报*, 2019, 34(2):1-9.
- [15] Singh P, Javed S, Shashtri S, et al. Influence of changes in watershed landuse pattern on the wetland of Sultanpur National Park, Haryana using remote sensing techniques and hydrochemical analysis [J]. *Remote Sensing Applications(Society and Environment)*, 2017, 7:84-92.
- [16] Wu Xiancang, Dong Weihong, Lin Xueyu, et al. Evolution of wetland in Honghe National Nature Reserve from the view of hydrogeology [J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 609:1370-1380.
- [17] Jiang Weiguo, Lv Jinxia, Wang Cuicui, et al. Marsh wetland degradation risk assessment and change analysis: A case study in the Zoige Plateau, China [J]. *Ecological Indicators*, 2017, 82:316-326.
- [18] Huang Boqiang, Huang Jinliang, Gilmore Pontius R, et al. Comparison of intensity analysis and the land use dynamic degrees to measure land changes outside versus inside the coastal zone of Longhai, China [J]. *Ecological Indicators*, 2018, 89:336-347.
- [19] 栗云召,于君宝,韩广轩,等.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*, 2011, 30(7):1535-1541.



- 的耕地生态安全诊断[J].水土保持通报,2016,36(3):284-289,296.
- [11] 刘宝涛,王鑫森,刘帅,等.基于正态云模型的吉林省耕地生态安全诊断[J].地域研究与开发,2019,38(3):119-124,129.
- [12] 袁零,杨庆媛.基于PSR框架的甘肃省环县耕地生态安全评价[J].西南师范大学学报(自然科学版),2019,44(6):60-68.
- [13] 韩磊,潘玉君,高庆彦,等.基于PSR和无偏GM(1,1)模型的云南省耕地生态安全评价与预测[J].生态经济,2019,35(2):148-154.
- [14] 马年圣,支晓娟,宋雨婷.基于PSR和GM(1,1)模型的西藏耕地生态安全评价与预测[J].干旱区资源与环境,2018,32(11):81-86.
- [15] 陈先鹏,方恺,吴次芳,等.2009—2015年中国耕地资源利用时空格局变化研究:基于粮食安全与生态安全双重视角[J].水土保持通报,2019,39(3):291-296,306.
- [16] 李春华,李宁,史培军,等.基于信息熵的江苏省耕地安全系统演化分析[J].资源科学,2008,30(1):43-51.
- [17] Li Jiaxiu, Chen Yaning, Xu Changchun, et al. Evaluation and analysis of ecological security in arid areas of Central Asia based on the emergy ecological footprint (EEF) model [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 235:664-677.
- [18] Chen Zhaoya, Ma Lijun, Guo Fengyu, et al. Internet of Things Technology in Ecological Security Assessment System of Intelligent Land [J]. IEEE Access, 2020,8:99772-99782.
- [19] 范胜龙,杨玉珍,陈训争,等.基于PSR和无偏GM(1,1)模型的福建省耕地生态安全评价与预测[J].中国土地科学,2016,30(9):19-27.
- [20] 王怡然,张大红,吴宇伦.基于DPSIR模型的森林生态安全时空变化研究:以浙江省79个县区为例[J].生态学报,2020,40(8):2793-2801.
- [21] 林日彭,倪兆奎,郭舒琨,等.近25年洞庭湖水质演变趋势及下降风险[J].中国环境科学,2018,38(12):4636-4643.
- [22] 黄烈佳,杨鹏.长江经济带土地生态安全时空演化特征及影响因素[J].长江流域资源与环境,2019,28(8):1780-1790.
- [23] 郑华伟,张锐,孟展,等.基于PSR模型与集对分析的耕地生态安全诊断[J].中国土地科学,2015,29(12):42-50.
- [24] 文高辉,杨钢桥,李文静,等.基于农民视角的农地整理项目绩效评价及其障碍因子诊断:以湖北省毛嘴等3个项目为例[J].资源科学,2014,36(1):26-34.

(上接第169页)

- [20] 马小雪,卞子浩,李娜,等.秦淮河流域1980—2010年土地利用变化及驱动机制[J].水土保持通报,2015,35(6):272-276.
- [21] 卢晓宁,黄玥,洪佳,等.基于Landsat的黄河三角洲湿地景观时空格局演变[J].中国环境科学,2018,38(11):4314-4324.
- [22] 曹灿,张飞,阿依尼格尔·亚力坤,等.艾比湖区域景观格局与河流水质关系探讨[J].环境科学,2018,39(4):1568-1577.
- [23] 丛文翠,孙小银.基于GIS和InVEST模型的日照市固碳能力研究[J].水土保持通报,2018,38(5):200-205.
- [24] 张春华,居为民,王登杰,等.2004—2013年山东省森林碳储量及其碳汇经济价值[J].生态学报,2018,38(5):1739-1749.
- [25] 梁丰.我国典型农田土壤固碳效率的时空差异特征及驱动因素[D].北京:中国农业科学院,2018.
- [26] 李卉.山东半岛沿海地区土地利用/覆被变化对生态系统碳储量的影响特征分析[D].山东烟台:鲁东大学,2019.
- [27] 贾大周,赵喜鹏,刘少博,等.基于灰色关联度模型的生态敏感区贫困化成因分析:以南水北调中线河南省水源区贾营小流域为例[J].水土保持通报,2020,40(1):191-197.
- [28] 冯舒,孙然好,陈利顶.基于土地利用格局变化的北京市生境质量时空演变研究[J].生态学报,2018,38(12):4167-4179.
- [29] 焉恒琦,朱卫红,毛德华,等.长江三角洲国际重要湿地人为胁迫遥感解析[J].中国环境科学,2020,40(8):3605-3615.
- [30] 郑慧祯,陈燕红,潘文斌,等.河口湿地表面温度扰动特征及其关键影响因素[J].生态学杂志,2018,37(8):2463-2473.
- [31] 杜培军,陈宇,谭琨.江苏滨海湿地土地利用/覆盖变化与地表温度响应遥感监测[J].国土资源遥感,2014,26(2):112-120.
- [32] 李文清.基于ISO 14031的玉清湖水库环境绩效评估研究[D].山东济南:山东大学,2008.
- [33] 胡乃利.玉清湖水库水质评价及预测研究[D].山东济南:山东大学,2008.