

运城黄河湿地景观空间格局变化及其驱动因素

孙姝博¹, 孙虎^{1,2}, 徐峯尧¹, 高珊¹

(1. 陕西师范大学地理科学与旅游学院, 陕西 西安 710119;

2. 陕西师范大学地理国家级实验教学示范中心, 陕西 西安 710119)

摘要: 基于2007-2017年5期遥感影像, 运用遥感解译和景观指数方法, 探究运城黄河湿地景观格局变化及其驱动因素, 为黄河中游河道湿地的修复与可持续利用提供参考。结果表明: (1) 湿地面积在2007-2017年期间总体呈增长趋势, 其中2007-2015年湿地面积持续上升, 面积增加9 041.39 hm², 2015-2017年减少5 716.08 hm²。湿地与旱地之间转换最密切, 湿地景观间(水域+沼泽+草甸)也有较大幅度的转换。景观类型的分布以河津市、万荣县、永济市及垣曲县部分种类偏多, 湿地景观沿河流分布。(2) 类型水平上, 旱地是优势类型, 湿地整体处于劣势, 景观零碎。水域在湿地景观中占优势, 林地、旱地景观趋于复杂, 旱地、水域、林地景观集聚度偏大; 景观水平上, 研究区景观破碎度和复杂度都有不同程度的降低, 结构趋于稳定, 连通性变好。(3) 景观格局变化主要受人驱动影响, 其中政策对研究区有强制性的作用。近10 a 运城黄河湿地呈现增长态势, 景观格局总体逐渐优化。

关键词: 景观类型; 景观格局指数; 驱动力; 运城黄河湿地

中图分类号: P901 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2021)01-0017-09

湿地是水陆生态系统交叉延展的区域中, 含有陆地终年或季节性积水以及湿润土地, 并包括众多生物群落的独特生态系统(刘厚田, 1995; 刘红玉等, 2003), 一般泛指长期或暂时覆盖水体深度不超过2 m的低地、土壤含水量多的草甸及低潮时水深不超过6 m的沿海区域。湿地具有保持水土、改善水质、调节径流、调节局部气候、保护生物多样性等功用, 为人类提供不可或缺的生活生产原料。长期的生产建设中, 围湖(围海)造田、城镇建设、水利设施兴建、环境污染、大量开发生物资源等人类活动导致湿地生态系统急剧恶化、水质下降、生物多样性减少, 湿地面积萎缩, 景观破碎化逐渐显著, 湿地功能降低(张峰, 2004; Liang et al, 2005), 湿地保护、恢复与重建迫在眉睫。

景观空间格局是指景观成分空间中的形态、组合和排列, 强调空间异质性、生态过程和尺度之间的相互关系(Gustafson, 1998; 傅伯杰等, 2010)。将景观空间格局应用到湿地研究中, 对湿地格局的演变及其趋势研究有重要意义。湿地景观格局的研究方法有定性描述法、景观生态叠置法和景观格局数量

分析法(傅伯杰等, 2001; 白军红等, 2005), 其中, 包括景观指数与景观动态模型的景观格局数量分析法应用最为普遍。随着“3S”技术的发展, RS获取地表信息并用GIS手段进行空间分析成为主流(刘海燕, 1995)。目前运用地理空间技术和景观格局指数分析研究区景观结构及时空变化规律是国内外学者研究湿地景观格局的主要方法(Emoult et al, 2006; Ottinger et al, 2013; 蒋卫国等, 2005; 刘红玉等, 2007; 张玉红等, 2015)。而关于黄河湿地的研究主要集中于黄河三角洲湿地, 对黄河中游河道湿地的研究相对较少, 且研究年限相对较远。丁圣彦等(2004)分析1987-2002年河南沿黄湿地景观变化, 认为长期垦殖将其自然湿地景观改造为复合人工湿地景观。郭东罡等(2010)分析1990-2005年连伯滩湿地景观演变, 认为人口压力是湿地退化的根本原因。

黄河流域湿地总面积约280万hm², 湿地率约4.9%(郭云等, 2018)。因河流汛期及河流冲积、弯曲, 黄河沿岸滩涂此起彼伏, 土壤常年湿润, 在河水与旱地之间出现过渡区域, 形成了黄河河道湿地(夏热帕提·阿不来提等, 2017)。运城黄河湿地是黄河中游河道湿地的重要组成部分, 山西省唯一的黄河湿地自然保护区。本文选取2010-2017年5期遥感影像分析研究区景观格局分布与变化, 以期为黄河中游河道湿地的修复与可持续利用提供参考。

收稿日期: 2019-05-07

作者简介: 孙姝博, 1994年生, 女, 硕士研究生, 研究方向为区域开发与环境治理。E-mail: sssbb941203@163.com

通信作者: 孙虎, 1962年生, 男, 教授, 研究方向为自然地理水土保持。E-mail: kycjh6@snnu.edu.cn

1 研究方法

1.1 区域概况

运城黄河湿地位于黄土高原南部、晋豫陕3省交界的山西省运城市境内,黄河几字型流向南转东拐弯处,始于河津市下化乡,终于垣曲县蒲掌乡,地理位置 $110^{\circ}15' \sim 112^{\circ}05' E$ 、 $34^{\circ}36' \sim 35^{\circ}39' N$ (图1)。研究区范围以运城湿地自然保护区为主,总面积 $90\ 881.37\ \text{hm}^2$ 。边线为海拔336 m等高线和运城地区行政边界,包括河津、永济、万荣、临猗、芮城、平陆、夏县、垣曲2市6县沿黄河狭长区域,受季风活动年际影响,属大陆性暖温带季风气候,高温多雨。年均气温 13.3°C ,多年平均降水量564 mm,年际起伏大,最大年份降雨量945.8 mm,最小305 mm,分配不均匀,集中夏秋季。本区域动植物资源丰富,其中有黑鹳(*Ciconia nigra*)、大鸨(*Otis tarda*)、海雕(*Haliaeetus*)、丹顶鹤(*Grus japonensis*)等40多种国家一、二级重点保护生物,是重要的候鸟越冬地。

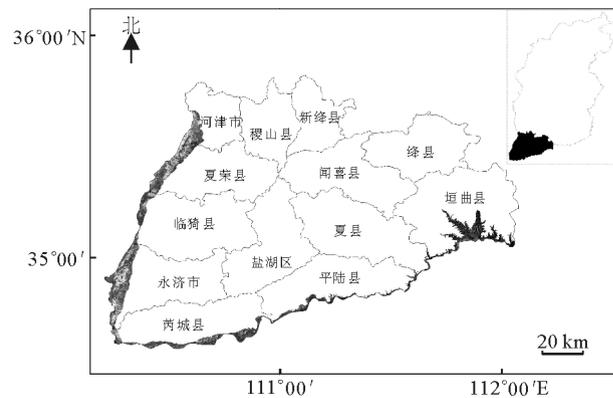


图1 运城黄河湿地的地理位置

Fig.1 Location of the Yellow River wetland in Yuncheng

1.2 数据来源及处理

主要数据源为2007、2010年Landsat TM及2013、2015、2017年Landsat 8 OLI遥感影像(表1),来源于地理空间数据云平台 www.gscloud.cn; 气候数据来自中国气象科学数据共享网 <http://data.cma.cn/>,汾河水文数据来自黄河网 www.yrcc.gov.cn 提供的河津站水情日报;社会经济数据来自《山西省统计年鉴(2007-2017)》《运城市国民经济和社会发展统计公报(2007-2017)》。

遥感影像预处理有辐射定标、大气校正、几何校正、图像拼接和裁剪,以2017年的Landsat 8 OLI影像为基准,对2007、2010年遥感影像进行几何校正,误差控制在1个像元内;利用运城黄河湿地行政

边界进行掩膜处理,得到最终研究区影像。

1.3 景观分类与信息提取

景观分类是在“国家资源与环境遥感宏观调查与动态研究”土地分类系统(袁希平和甘淑,1999)的基础上,参考黄河湿地的有关研究,并结合实际调查与影像数据特征,最终将研究区分为水域、沼泽、旱地、草甸、林地、城镇6类景观。湿地景观包括水域、沼泽和草甸,非湿地景观包括旱地、林地和城镇。其中湖泊、河渠和水库坑塘属于水域;滩涂、滩地和沼泽地属于沼泽;盐碱地、裸土地、水浇地和无水浇属于旱地;沼泽化草甸和干旱化草甸统称草甸;林地包括有林地和灌木林;城镇包括城镇用地和工矿用地。运用ENVI5.1,经过2018年7-9月实地调查并运用Google Earth软件,以上述景观类别及遥感影像目标地物的形状、纹理、结构等特征为依据,应用最大似然法进行监督分类,分类后处理包括聚类分析、统计分析等,最终得到2007-2017年5期研究区景观格局图。

表1 遥感影像参数

Tab.1 Information on the remote sensing images over the study period

年份	影像日期	传感器	行列号	分辨率/m
2007	2007-06-02	TM	p126r035	30
	2007-05-17		p126r036	30
	2007-08-14		p125r036	30
2010	2010-09-14	TM	p126r035	30
	2010-07-12		p126r036	30
	2010-05-02		p125r036	30
2013	2013-06-02	OLI	p126r035	30
	2013-06-02		p126r036	30
	2013-06-27		p125r036	30
2015	2015-05-23	OLI	p126r035	30
	2015-05-20		p126r036	30
	2015-04-14		p125r036	30
2017	2017-05-12	OLI	p126r035	30
	2017-05-28		p126r036	30
	2017-08-09		p125r036	30

1.4 景观格局指数的选取

景观格局分析多采用景观指数的方法。景观格局指数通过高度涵盖景观空间格局信息,提取出结构和空间格局特性(傅伯杰等,2008)。运用Fragstats 4.2运算得到研究区景观格局指数,选择最大斑块指数(LPI)、平均斑块面积(MPS)、面积加权平均斑块分维数(AWMPFD)和聚集度指数(COHESSION)作为类型水平的4个衡量指数。选择斑块个数(NP)、最大斑块指数(LPI)、周长面积分维数(PAFRAC)、景观形状指数(LSI)、香农多样性指数

(SHDI)和蔓延度指数(CONTAG)作为景观水平的6个衡量指数。各指数的具体含义和运算方法见参考文献(邬建国,2000)。

2 结果分析

2.1 运城黄河湿地景观时空变化分析

2.1.1 时间变化分析 研究区的湿地(即水域+沼泽+草甸)面积占研究区总面积的22.2%~32.1%,2015年以前湿地面积持续增加,2015年以后减少5716.08 hm²。旱地一直是研究区的主要景观类型,面积占到研究区面积的一半以上,最大达到60510.36 hm²,其次是水域,之后依次是林地、沼泽、草甸、城镇。湿地景观类型中,水域面积呈波动性上升趋势,2007-2017年前后增加1966.14 hm²,在2015年达到峰值17146.53 hm²;沼泽面积不断扩大,约增加2084.40 hm²;草甸呈“减少—增加—再减少”的趋势,前后相差728.23 hm²。在非湿地

类型中,旱地面积呈变小趋势,2017年略有回升;林地面积则在2010年处于波谷,此后不断上升,从5171.13 hm²到10294.74 hm²增长了近1倍;城镇面积先增加再减少。

2.1.2 空间变化分析 从景观类型分布看(图2),研究区南北延伸部分及垣曲县部分面积相对宽阔,景观种类较多;中间部分即芮城县、平陆县、夏县形状狭长,沿河延伸,景观种类较少,一般1~2种。水域由黄河及支流汾河、涑水河等及水田组成,其中水田集中在万荣县南部、临猗县大部 and 永济市中部、北部,水田数量不断增加。沼泽、草甸和旱地景观主要分布在研究区南北延伸区域,且2007-2017年期间因黄河河道偏移而导致水域、沼泽、草甸、旱地面积的互相侵蚀。林地主要集中在平陆县、夏县、垣曲县的山区并且面积不断扩大。城镇景观在研究区远水边线附近零星分布,在垣曲县部分则沿板洞河、亳清河、允西河分布。

表2 2007-2017年研究区景观类型面积变化 hm²

Tab.2 Area change (hm²) of each landscape type in the study area 2007-2017

年份	湿地	水域	沼泽	草甸	旱地	林地	城镇
2007	20172.97	10155.15	4931.88	5085.94	60510.36	8898.19	1174.97
2010	24255.81	15025.41	4872.42	4357.98	58966.02	5171.13	2488.41
2013	24578.37	14605.92	5932.53	4039.92	57407.31	7348.05	1547.64
2015	29214.36	17146.53	5906.25	6161.58	52084.17	8415.90	1170.54
2017	23498.28	12121.29	7019.28	4357.71	55362.60	10294.74	1725.75

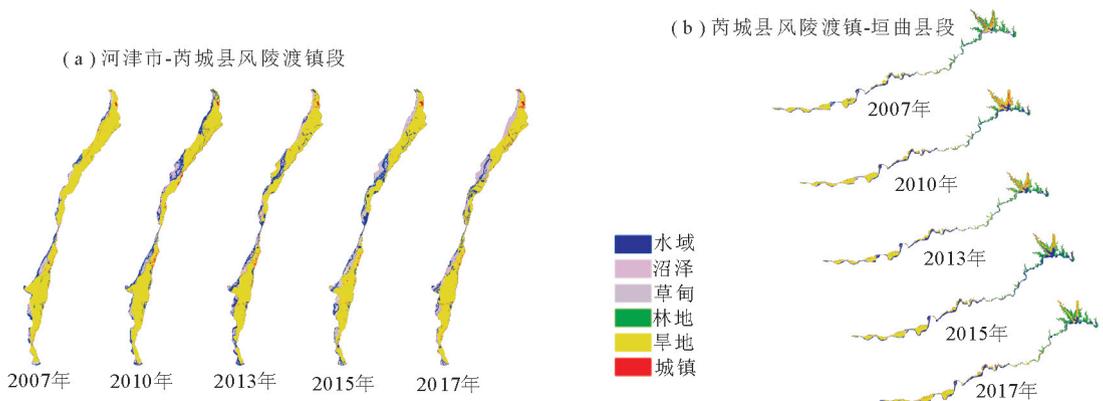


图2 2007-2017年研究区景观类型分布

Fig.2 Landscape type distribution map in the study area from 2007 to 2017

由表3可知,2007-2017年研究区湿地景观类型的缩减面积主要转换成旱地,且2013-2017年期间转换面积更大,为6242.49 hm²;而转化为湿地的景观以旱地为最,共有8985.58 hm²旱地在2007-2017年转化成湿地,且转换为水域、沼泽、草甸的部分分别占到41%、33%、26%。这说明湿地景观与旱地的转换较为密切。湿地景观内部也有大幅度

的互相转换,水域、沼泽、草甸分别向其他2种湿地景观类型转换1936.01、2033.38、2503.69 hm²,且2013-2017年期间转换面积更大。除此之外,旱地转换为林地的面积最多,为2373.64 hm²,2007-2013年和2013-2017年有大量旱地转换为林地,后者达到3533.58 hm²;林地和城镇向旱地转化最多,分别有1511.96和470.39 hm²。旱地景观与其

他景观之间转换频繁,这在其面积变化稳定上有所体现,2007-2013年和2013-2017年面积分别保有49 604.43和47 509.38 hm²。

2.2 景观格局变化特征分析

2.2.1 类型水平上变化特征 2007-2017年研究区域在类型尺度上的景观指数变化见图3。

表3 2007-2017年研究区景观类型面积转移矩阵 hm²

Tab.3 Transformation (hm²) matrix of landscape types in the study area (2007-2017)

时间	景观类型	水域	沼泽	草甸	旱地	林地	城镇
2007 2013年	水域	6694.46	1601.42	1756.38	4371.84	120.41	32.40
	沼泽	1061.10	1102.05	1037.79	2688.35	22.50	13.41
	草甸	648.22	611.14	761.25	1918.19	59.76	34.29
	旱地	1341.88	1541.21	1378.24	49604.43	2747.47	44.28
	林地	117.17	39.33	101.15	1168.19	5784.81	714.72
2013 2017年	城镇	271.87	36.09	50.13	759.27	93.32	334.05
	水域	8454.06	893.88	538.20	2128.14	91.62	15.39
	沼泽	2302.38	2243.61	1098.99	1368.90	2.88	2.52
	草甸	855.00	1022.22	591.03	1856.43	10.80	22.23
	旱地	2843.19	1718.10	1681.20	47509.38	813.51	797.22
2007 2017年	林地	75.96	29.79	72.54	3533.58	6411.42	171.45
	城镇	75.33	24.93	57.96	1010.88	17.82	538.83
	水域	5666.83	1179.80	1366.45	3672.33	183.58	25.65
	沼泽	1394.34	1516.55	1137.24	2938.62	8.01	17.64
	草甸	541.67	853.58	528.17	2374.63	21.6	34.83
2007 2017年	旱地	2179.35	1268.89	1749.55	48113.53	1511.96	470.39
	林地	214.54	87.11	268.72	2373.64	7014.65	229.21
	城镇	137.96	25.29	34.83	1037.52	88.46	395.43

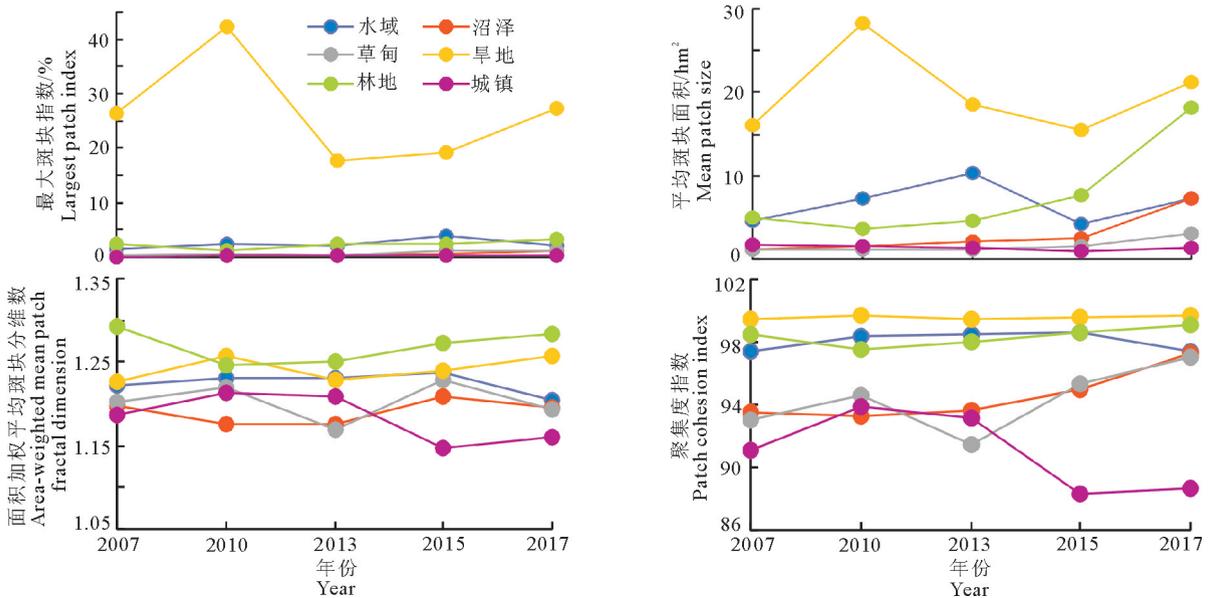


图3 2007-2017年研究区域在类型尺度上的景观指数变化

Fig.3 Variation of the landscape index in the study area at the scale of landscape type (2007-2017)

最大斑块指数(LPI)是指各个类型最大斑块占据总景观面积的比重,可衡量优势度。2007-2017年旱地景观LPI最大,2010年达到42.33%,虽然2013年降到17.55%,对景观的控制作用减少,但2017年又上升至27.26%,依旧远远高于其他景观。这说明旱地是运城黄河湿地的优势景观类型,在研究区内集中成片。湿地景观(即水域+沼泽+草甸)LPI较少,且波动不大,整体不占优势,水域是其中

比重较大的景观类型。

平均斑块面积(MPS)表征景观破碎化程度和景观异质性(陈奕彤等,2018;Gu et al,2007)。旱地MPS最大,景观斑块完整,2010年为最大值28.25 hm²,2015年下降到最低15.51 hm²,2017年又回升至21.20 hm²;水域2007-2013年期间MPS一直维持较大值,但2015年减少至4.25 hm²,景观破碎度增加;林地MPS前后增加约13.19 hm²,且

2015年超越水域后增加速度加快;沼泽 MPS 平稳,在2015年后小幅增加至 7.26 hm²;草甸、城镇 MPS 变化较小,均处于较低水平,分布零散。

分维度指数(AWMPFD)可以表示斑块空间形状复杂性并衡量景观格局总体特征。AWMPFD=1表示形状最简单如方形或圆形,AWMPFD=2表示是周长最复杂的图斑(钟德艳和常庆瑞,2012)。林地和旱地的分维度指数2013年后持续增大,尤其林地分维度指数一直处于较高水平,达到1.28,斑块形状最为复杂。湿地景观分维度指数相对平稳,但与2007年相比,2017年水域、沼泽、草甸的分维度指数都有所减少。城镇分维度指数变化最大,但趋于变小,形状变得简单。

聚集度指数(COHESION)表征不同斑块的汇集程度与扩展趋势,聚集度指数越大,景观连通度越高(张明阳等,2005)。旱地、水域和林地的聚集度指数高且起伏较小,景观聚集度较高。沼泽、草甸、城镇指数值较波动,沼泽、草甸聚集度指数趋于变大,景观更加连通;城镇聚集度指数2010年达到峰值,之后降低,最低达到所有景观最低值88.32%,延展性降低,景观破碎。

2.2.2 景观水平上景观格局变化特征 2007-2017年研究区域在景观尺度上的景观指数变化见图4。

斑块个数(NP)2007-2010年稍有减少,之后不断上升,2015年后大幅下降至最低值8591个,景观破碎度降低。反之,最大斑块指数(LPI)呈“增加-减少-再增加”趋势,前后相差不大。景观形状指数(LSI)相较2007年的61.60,2017年减少为49.25,景观形状逐渐规则,复杂度降低。周长面积分维数(PAFRAC)从2007年1.48开始变小,2015年分维数变大,但2017年又减少为1.44,说明景观形状变得简单,结构趋于稳定。香农多样性指数(SHDI)反映景观异质性,对景观斑块类型分布的不平衡现象反应灵敏。2007-2017年SHDI呈上升趋势,最大值1.27,说明各景观斑块类型的不断平衡化,景观多样性增加。蔓延度指数(CONTAG)除2015年较小外,均在60%左右,景观连通性较好。研究区旱地景观集中连片,在各市县均有分布,林地从较为破碎的片段分布到2017年已经基本实现山区的覆盖。

2.3 运城黄河湿地景观变化驱动因素

2.3.1 主成分分析结果 景观格局的演变一般受到自然驱动力和人为驱动力共同影响(黎晓亚等,

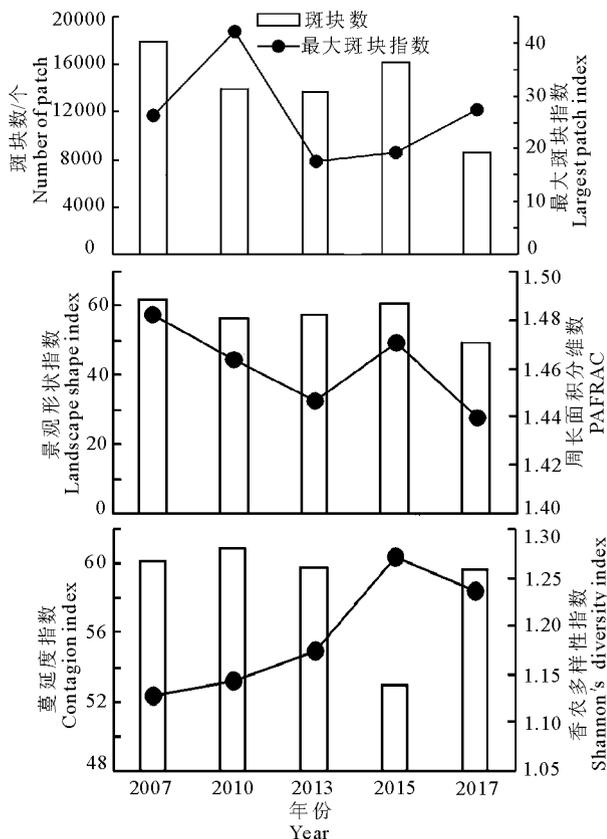


图4 2007-2017年研究区域在景观尺度上的景观指数变化
Fig.4 Variation of landscape index in the study area at the landscape scale (2007-2017)

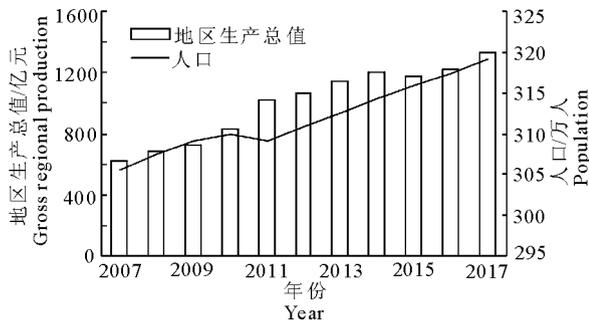


图5 地区生产总值和人口变化

Fig.5 Changes in regional gross production and population 2003)。综合考虑运城地区发展状况,选取年降水量(mm)、年平均气温(°C)、汾河入黄水量(m³/s)、地区生产总值(亿元)、人口(万人)、公路密度(km/km²)、农作物种植面积(10³ hm²)7个指标进行主成分分析,KMO值为0.603>0.6,Bartlett球形检验值的显著性概率0.000<0.05,符合因子分析要求。主成分分析结果表明,贡献率55.18%的第一主成分与地区生产总值、公路密度、人口关系较大;贡献率为16.93%的第二主成分与年降水量、汾河入黄水量关系较大,因此认为第一主成分可以表征社会经济因素,第二主成分可以表征自然因素,人为驱

动力在运城黄河湿地景观格局变化中起主要作用。

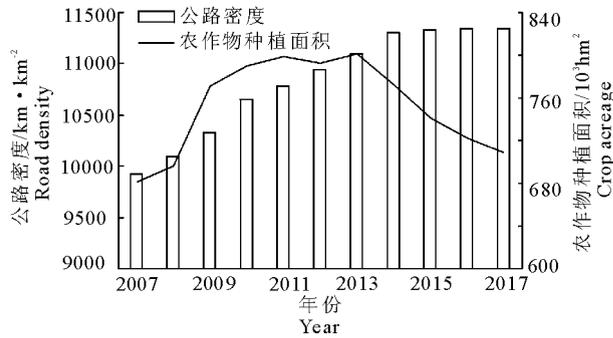


图6 公路密度和农作物种植面积变化

Fig.6 Changes in road density and crop acreage

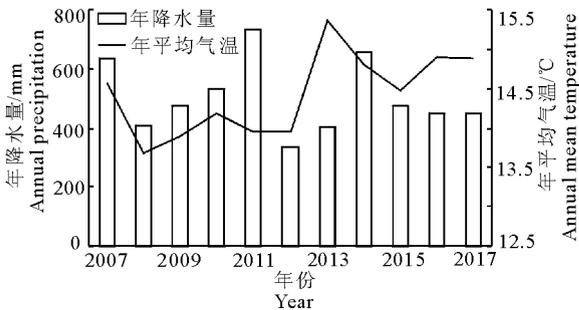


图7 年降水量与年平均温度变化

Fig.7 Variation of annual precipitation and mean temperature

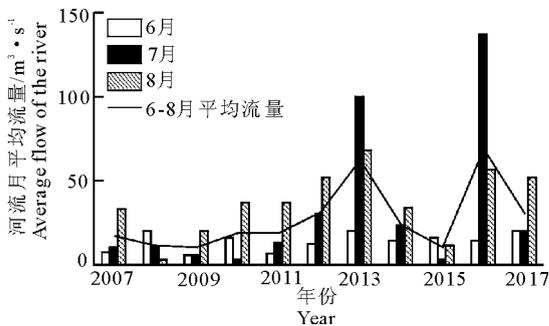


图8 汾河月平均流量变化

Fig.8 Variation of average flow in the Fenhe River

2.3.2 影响湿地景观变化的驱动因素 在自然因素方面,自然驱动力对较大的时间空间范畴影响更大,在中小时空尺度上则主要受人为驱动力作用。本文选取的研究区域属于中小尺度范围,人为驱动力占优势(张秋菊等,2003),且相关分析(表4)也表明自然驱动力影响力较小,年降水量和汾河入黄水量均未通过显著性检验,年平均气温仅与沼泽面积在0.1水平上显著相关,这是因为社会经济因素尤其是政策因素对本研究区强有力的影响力。但从土地利用变化(图2)来看,汾河入黄水量对天津市入黄口局部区域仍有影响,在进行黄河湿地保护时仍需考量。

在社会经济因素方面,运城地区生产总值、人口数、公路密度2007-2017年不断提高(图5,图6)。随着经济增长和环境保护需要,运城市节能环保公共预算支出逐年提高,截至2017年已经达到24181万元,较前一年增长3.6%,这对湿地保护有积极作用,研究区湿地面积呈上升趋势。地区生产总值、人口与公路密度与沼泽、旱地面积变化在0.05水平上显著相关,公路密度与水域面积在0.1水平上显著相关(表4),这可以解释研究区旱地面积减少,沼泽面积增加很大程度是水域面积的转移。而2013年后农作物种植面积减少,也导致旱地2013年后减少。

政府政策对景观格局变化的作用力是强制性的(张敏等,2016)。研究区自然驱动力对景观变化影响不大,经济因素对湿地面积的作用不能完全解释研究区湿地景观变化。研究区湿地景观扩张显著,主要是受到政策因素的有力作用。为保护省内湿地景观,山西省先后出台《黄河中游湿地生态区保护规划》、《关于加强湿地保护管理工作的通知》、《山西省湿地保护工程规划》、《山西省湿地保护办法》等一系列政策,近两年又颁布《山西省湿地保护修复制度方案》、《关于自然保护区和泉域重点保护区矿业权退出处置工作的通知》等,严格规范湿地使用,确保湿地总量不减少。本省范围的湿地应以严禁开采、开发区域标准管理;除国家及省重点工程外,生态保护红线内的湿地禁止占用;占用并转为其他用地类型的部分,要遵照“先补后占、占补平衡”的原则,进行恢复或者重建。

具体到各区县,天津市黄河湿地自然保护区核心区禁止任何生产设施建设,如新建居民点等;永济市将运城湿地省级自然保护区确立为禁止建设区;芮城县严格控制黄河湿地保护区建设用地规模,严格保护区内现有植被,禁止在水源湿地保护区开发、扩建与保护水域湿地无关的项目;垣曲县湿地生态保护区严禁各种与环保无关的活动,逐步退出原有生产、开发活动。2007-2017年,研究区范围内湿地、林地面积增加是退耕还湿、保护湿地的结果,受政策因子影响。

政策因素的强制性作用,是本研究区景观格局演变不能完全用气候、经济等因素解释的重要原因。运城沿黄湿地在小浪底水利枢纽建成后面积不断增加,2001年运城湿地自然保护区成立,运城市及山西省政府出台多项政策法规加以保护,从而对本研究区景观变化产生强有力影响。在后续的研究中需

探讨可以量化政策因子影响力的模型以分析其对景观格局演变的影响作用。

表4 研究区不同地类与驱动因素的相关系数

Tab.4 Correlation coefficients of different landscape types and driving forces in the study area

水域面积	沼泽面积	草甸面积	旱地面积	林地面积	城镇面积	
年降水量	-0.133	-0.385	0.130	0.079	-0.047	-0.079
年平均气温	0.167	0.654*	-0.005	-0.523	0.579	-0.199
汾河入黄水量	0.324	0.054	-0.249	-0.346	0.302	-0.018
地区生产总值	0.556	0.863**	0.014	-0.837**	0.473	-0.100
人口	0.507	0.884**	0.187	-0.886**	0.592	-0.052
公路密度	0.693*	0.783**	0.084	-0.879**	0.353	-0.026
农作物种植面积	0.555	-0.122	-0.494	0.027	-0.662*	0.478

注: *表示在0.05水平上显著相关, **表示在0.01水平上显著相关。

Note: * significant correlation ($P < 0.05$); ** highly significant correlation ($P < 0.01$).

3 结论

2007-2017年间,研究区湿地面积呈上升趋势,2015年后有所减少。其中,水域、沼泽面积波动上升;草甸面积呈“减少-增加-再减少”趋势。旱地面积占研究区面积一半以上,但呈减少趋势;林地2010年后不断扩大;城镇面积增加后略减少。湿地与旱地的相互转换密切,湿地景观间转换幅度很大。研究区景观类型分布以南北延伸部分及垣曲县部分种类偏多,湿地景观主要在河流及临岸分布。

旱地是研究区的优势景观类型,湿地景观中水域是优势类型,但湿地景观整体不占优势。湿地景观类型较破碎,旱地景观斑块最完整。林地和旱地景观复杂性变大。旱地、水域和林地的景观集中度大。2007-2017年斑块个数、景观形状指数、周长面积分维数呈“减少-增加-再减少”趋势,最大斑块指数、蔓延度指数呈“变大-减小-再变大”趋势,香农多样性指数整体上升,研究区景观破碎度减小,结构稳定简单,连通性变好。

人为驱动力是影响景观格局变化的主要因素,政策对研究区有强制性影响。为保护湿地景观,山西省及运城市政府出台一系列文件,退耕还湿,退出保护区内居民点及工业用地等,严守生态红线。

参考文献

白军红,欧阳华,杨志峰,等,2005.湿地景观格局变化研究进展[J].地理科学进展,24(4):36-45.
陈奕彤,熊康宁,肖时珍,等,2018.中国丹霞赤水世界自然遗产景观格局时空演变及驱动因素分析[J].水土保持研究,25(6):318-325.
丁圣彦,梁国付,2004.近20年来河南沿黄湿地景观格局演化[J].地理学报,59(5):653-661.
傅伯杰,陈利顶,马克明,等,2001.景观生态学原理与应用[M].北京:科学出版社.

傅伯杰,吕一河,陈利顶,等,2008.国际景观生态学研究新进展[J].生态学报,28(2):798-804.
傅伯杰,徐延达,吕一河,2010.景观格局与水土流失的尺度特征与耦合方法[J].地球科学进展,25(7):673-681.
郭东星,上官铁梁,白中科,等,2010.黄河中游连伯滩湿地景观格局变化[J].生态学报,31(18):5192-5198.
郭云,梁晨,李晓文,2018.基于系统保护规划的黄河流域湿地优先保护格局[J].应用生态学报,29(9):230-238.
蒋卫国,李京,王文杰,等,2005.基于遥感与GIS的辽河三角洲湿地资源变化及驱动力分析[J].国土资源遥感,17(3):62-65.
刘海燕,1995.GIS在景观生态学研究中的应用[J].地理学报,(S1):105-111.
刘厚田,1995.湿地的定义和类型划分[J].生态学杂志,14(4):73-77.
刘红玉,李兆富,2007.流域土地利用/覆被变化对洪河保护区湿地景观的影响[J].地理学报,62(11):1215-1222.
刘红玉,吕宪国,张世奎,2003.湿地景观变化过程与累积环境效应研究进展[J].地理科学进展,22(1):60-70.
黎晓亚,马克明,傅伯杰,等,2003.区域生态安全格局:设计原则与方法[J].生态学报,24(5):1055-1062.
邬建国,2000.景观生态学:格局、过程、尺度与等级[M].北京:高等教育出版社.
夏热帕提·阿不来提,刘高焕,刘庆生,等,2017.近30年刘家峡以下黄河上游河道湿地演变规律与驱动力分析[J].地球信息科学学报,19(8):1116-1131.
袁希平,甘淑,1999.土地覆盖遥感监测及分类系统实例评析[J].云南工业大学学报,15(4):7-10.
钟德燕,常庆瑞,2012.黄土丘陵沟壑区不同地貌类型土地利用景观格局[J].水土保持通报,32(3):192-197.
张峰,2004.山西湿地生态环境退化特征及恢复对策.水土保持学报,18(1):151-188.
张敏,宫兆宁,赵文吉,等,2016.近30年来白洋淀湿地景观格局变化及其驱动机制[J].生态学报,36(15):4780-4791.
张明阳,王克林,刘会玉,等,2005.白洋淀流域景观空间格局

- 随高程分异研究[J].干旱区资源与环境,19(4):75-81.
- 张秋菊,傅伯杰,陈利顶,2003.关于景观格局演变研究的几个问题[J].地理科学,23(3):264-270.
- 张欣,程丽芬,赵树楷,等,2018.山西湿地资源分布特点及规律分析[J].山西林业科技,47(1):1-6.
- 张玉红,苏立英,于万辉,等,2015.扎龙湿地景观动态变化特征[J].地理学报,70(1):131-142.
- Ernault A, Tremauville Y, Cellier D, et al, 2006. Potential landscape drivers of biodiversity components in a flood plain: Past or present patterns? [J]. Biological Conservation, 127(1): 1-17.
- Gu D, Zhang Y, Fu J, et al, 2007. The landscape pattern characteristics of coastal wetlands in Jiaozhou Bay Under The Impact Of Human Activities [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 124(1-3): 361-370.
- Gustafson E J, 1998. Quantifying Landscape Spatial Pattern: What is the state of the art? [J]. Ecosystems, 1(2): 143-156.
- Liang G F, Ding S Y, Li Z H, 2005. Regional agricultural landscape pattern changes along the Yellow River in Henan Province from 1987 to 2002 [J]. Journal of Geographical Sciences, 15(4): 415-422.
- Ottinger M, Kuenzer C, Liu G H, et al, 2013. Monitoring land cover dynamics in the Yellow River Delta from 1995 to 2010 based on Landsat 5 TM [J]. Applied Geography, 44(44): 53-68.

(责任编辑 张俊友 郑金秀)

Analysis of Landscape Pattern Changes and Driving Forces in the Yellow River Wetland of Yuncheng City

SUN Shu-bo¹, SUN Hu^{1,2}, XU Yin-yao¹, GAO Shan¹

(1.School of Geography and Tourism,Shaanxi Normal University, Xi'an 710119,P.R.China

2.National Demonstration Center for Experimental Geography Education,

Shaanxi Normal University, Xi'an 710119,P.R.China)

Abstract: The Yellow River wetland in Yuncheng City is an important component of the middle Yellow River wetlands and the only Yellow River wetland natural reserve in Shanxi Province. The wetland includes two cities (Hejin and Yongji) and five counties (Wanrong, Linyi, Ruicheng, Pinglu, Xiaxian and Yuanqu). In this study, we analyzed changes in landscape patterns within the wetland and the forces driving those changes. The period of analysis was 2007 – 2017 and remote sensing images were interpreted to obtain the landscape pattern index at different times during the study period. The aim of the study was to provide a reference for the restoration and sustainable use of the middle Yellow River wetland. The data was obtained from Landsat TM images (2007 and 2010), and Landsat 8 OLI images (2013, 2015 and 2017). The study area was divided into six landscape types: water, swamp, meadow, woodland, dry land, city and town. Results were as follows: (1) The wetland area tended to increase during the research period, but decreased slightly, by 5 716.08 hm², after 2015. Wetland was frequently converted to dry land, and the conversion from water and meadow to swamp was clear. In terms of spatial patterns, landscape types were rich in Hejin, Wanrong, Yongji and Yuanqu counties, and wetland landscape were distributed along the river. (2) At the level of landscape type, dry land was the dominant type, accounting for over half of the total study area, and water was dominant among wetland landscape types, followed by woodland, swamp and meadow. There was a trend toward increasing landscape complexity in dry land and woodland areas. Dry land, water and woodland landscapes tended to be more concentrated. At the landscape pattern level, both overall fragmentation and complexity declined, and the landscape pattern tended to be stable, with increasing connectivity. (3) Changes in landscape pattern were primarily influenced by human activities, and mandatory policies. Our results indicate that the Yellow River wetland in Yuncheng city is increasing in area and the overall wetland landscape pattern gradually improved from 2007 to 2017.

Key words: landscape types; landscape pattern index; driving forces; Yuncheng Yellow River wetland