

DOI: 10.5846/stxb201912302833

杨苗, 龚家国, 赵勇, 王浩, 赵翠平. 白洋淀区域景观格局动态变化及趋势分析. 生态学报, 2020, 40(20): 7165-7174.

Yang M, Gong J G, Zhao Y, Wang H, Zhao C P. Analysis of dynamic changes and trends in the landscape pattern of the Baiyangdian Region. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(20): 7165-7174.

白洋淀区域景观格局动态变化及趋势分析

杨 苗^{1,2}, 龚家国^{1,*}, 赵 勇¹, 王 浩¹, 赵翠平¹

1 中国水利水电科学研究院, 北京 100038

2 河海大学水文水资源学院, 南京 210098

摘要: 湿地景观格局的动态变化研究是构建区域生态安全格局的重要基础。利用 1980、1990、2000、2010、2017 年等 5 期土地利用数据, 分析了白洋淀区域景观类型的时空变化过程及其主要驱动因素, 并结合相关规划探讨了白洋淀未来景观格局变化及影响。结果表明, 白洋淀区域景观规模和结构在 1980—2000 年期间变化不显著。2000—2017 年期间, 滩地向耕地、建设用地和湖泊大面积转换, 湿地景观面积占比从 78% 下降到 60%。2017—2030 年期间, 耕地和建设用地向湖泊转换, 湿地景观面积占比将会达到 90%; 1980—2017 年期间, 滩地景观优势度最大, 分布集中, 但形状也最为复杂, 各景观连通性走势较为平稳。景观尺度的破碎度不断升高, 连通性和丰富度分别在 1990 年和 2017 年达到最大值。未来 2030 年, 湖泊会成为优势景观类型, 斑块分布集中且连通性增强, 但复杂性增大。区域景观尺度的连通性变小, 空间分布不均匀, 丰富度降低; 白洋淀景观格局历史演变主要受社会经济因素的影响, 主成分分析结果表示其解释度为 62.00%。未来气候条件下, 白洋淀湿地生态系统存在退化的风险, 但规划实施的环境治理和生态修复措施会对白洋淀的景观格局变化起主导作用。研究成果可为白洋淀湿地的规划管理和雄安新区的生态安全格局构建提供参考。

关键词: 白洋淀湿地; 雄安新区; 未来景观格局; 驱动因素

Analysis of dynamic changes and trends in the landscape pattern of the Baiyangdian Region

YANG Miao^{1,2}, GONG Jiaguo^{1,*}, ZHAO Yong¹, WANG Hao¹, ZHAO Cuiping¹

1 China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China

2 College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China

Abstract: The study of dynamic changes in the landscape pattern of wetlands is an important basis for building a regional ecological security pattern. Baiyangdian Lake, as an important ecological source of ecological security pattern construction in Xiongan New Area, has irreplaceable value. Using land use data in 1980, 1990, 2000, 2010, and 2017, this paper analyzes the temporal and spatial change process of landscape types and their main driving factors in the Baiyangdian region, and discusses the future landscape changes and their effects with the relevant planning of the Xiongan New Area. The results showed that the scale and structure of the regional landscape of the Baiyangdian region changed little during the 1980—2000. During the 2000—2017, there was a large conversion of beach land to farmland, construction land and lakes, the conversion rate of wetland to non-wetland landscape was 25.58%, and the proportion of wetland landscape area decreased from 78% to 60%. From 2017 to 2030, the conversion of cropland and construction land to lakes results in a 75.79% conversion rate of non-wetland to wetland landscapes, and the percentage of wetland landscapes would reach to 90%. From 1980 to 2017, beach land landscapes have the most advantages and the most concentrated distribution, but the most

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC0506904)

收稿日期: 2019-12-30; 网络出版日期: 2020-08-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jiaguogong@163.com

complex shapes. During this period, the fragmentation of landscape scale increased continuously, and the number and density of patches increased to 23.51 per decade and 0.07 per decade, respectively. The connectivity of various landscapes is steady. The overall fragmentation of the landscape continues to increase, with connectivity and richness reaching their maximum in 1990 and 2017, respectively. In the next 2030, lakes will become the dominant landscape type, with concentrated patch distribution and enhanced connectivity but increased complexity. The overall landscape connectivity of the region becomes smaller, the spatial distribution is uneven, and the landscape richness is reduced. The historical evolution of the landscape pattern in Baiyangdian region is mainly affected by social and economic factors, and the principal component analysis results show that the interpretation degree is 62.00%. In the future climatic conditions, Baiyangdian wetland ecosystem has the risk of degradation, but the planned implementation of environmental governance and ecological restoration measures will play a leading role in the landscape pattern change of Baiyangdian region. After the guarantee of ecological water supply, the mutual feed-back relationship between landscape pattern and driving factors will also be adjusted. The research results can provide references for the planning and management of Baiyangdian wetland and construction of the ecological security pattern in the Xiongan New Area.

Key Words: Baiyangdian wetland; Xiongan New Area; future landscape patterns; driving factors

随着景观生态学中关于格局、过程与尺度的理论和方法被引入到湿地研究当中,湿地景观格局的动态变化逐渐成为湿地生态学的研究热点^[1-7]。研究湿地景观格局的动态变化特征及演变趋势,有助于湿地景观的保护修复和规划管理,同时也是构建区域生态安全格局的重要基础。雄安新区建设过程中,城市扩张和人类活动加剧会直接改变区域地表景观的结构和功能,白洋淀作为新区生态安全格局构建的重要生态源地^[8],保障其生态安全也成为了新区建设发展的必要基础和重要任务。同时,白洋淀对于维持整个华北地区生态平衡也发挥着重要的生态安全屏障作用^[9-10]。近几十年来,由于气候变化和人类活动的影响,白洋淀天然入淀水量减少^[11-14],湿地面积萎缩和破碎化问题严重,湿地生态功能逐渐丧失。目前研究者已在白洋淀湿地景观格局方面开展了大量的研究,有学者^[15-16]直接从土地覆被变化进行分析,尝试揭示土地覆被变化和人类活动的相互作用关系;也有学者^[3,17-23]从湿地类型的景观格局动态变化和驱动力方面去分析,主要考虑气候、水文、经济、社会和政策等驱动因素。这其中有关于白洋淀芦苇湿地的针对性研究^[21-22],也有关于景观格局和水质的相关性研究^[23]。

目前众多的研究结果已基本能让人们较深入的认识白洋淀生态环境的变化。但通过比较研究成果后也可以发现,由于在遥感影像选取时间、湿地分类系统、驱动因素数据的统计尺度等方面存在差异,致使当前白洋淀湿地景观格局的研究结果也具有不确定性。如关于景观格局驱动因素分析方面,白军红和闫欣等^[17-18]指出大气降水量是白洋淀天然湿地变化的主要影响因素;张敏等^[3]和庄长伟等^[19]则分别指出人口和社会经济发展以及水位变化是白洋淀景观格局变化的主要因素。此外,雄安新区建设背景下,白洋淀未来景观格局会出现较大的调整,其具体变化趋势及驱动因素也待进一步的深入研究。本研究利用白洋淀多期土地利用数据,同时结合新区相关规划^[24-25]设置未来土地利用情景,在分析景观规模、结构、格局指数的基础上,探讨新区范围内的自然、社会驱动因素对于白洋淀景观格局的影响。研究成果可为白洋淀湿地的规划管理以及雄安新区的生态安全格局构建提供参考。

1 研究区概况

白洋淀(38°44'—38°59'N, 115°46'—116°08'E)地处华中平原北部,涉及河北省安新、雄县、任丘、容城、高阳共5个县市,在2017年全部划归雄安新区(图1)。白洋淀属于浅水湖泊,是由143个淀泊和3700多条沟壕组成的水体,其中以白洋淀、烧车淀、羊角淀、池鱼淀、后塘淀等较大,总称白洋淀。入淀河流有潞龙河、孝义河、唐河、府河、漕河、萍河、瀑河和白沟引河八条河流,下游出口由枣林庄闸和赵北口溢流堰控制。白洋淀地

处暖温带大陆性季风气候区,年均气温 7—12℃,年降水量 550 mm,7—9 月占年降水量的 80%^[19]。作为大清河水系中重要蓄水枢纽,白洋淀在水产品供给、气候调节、洪水调蓄和生物多样性保护等方面都发挥了巨大的生态效益。

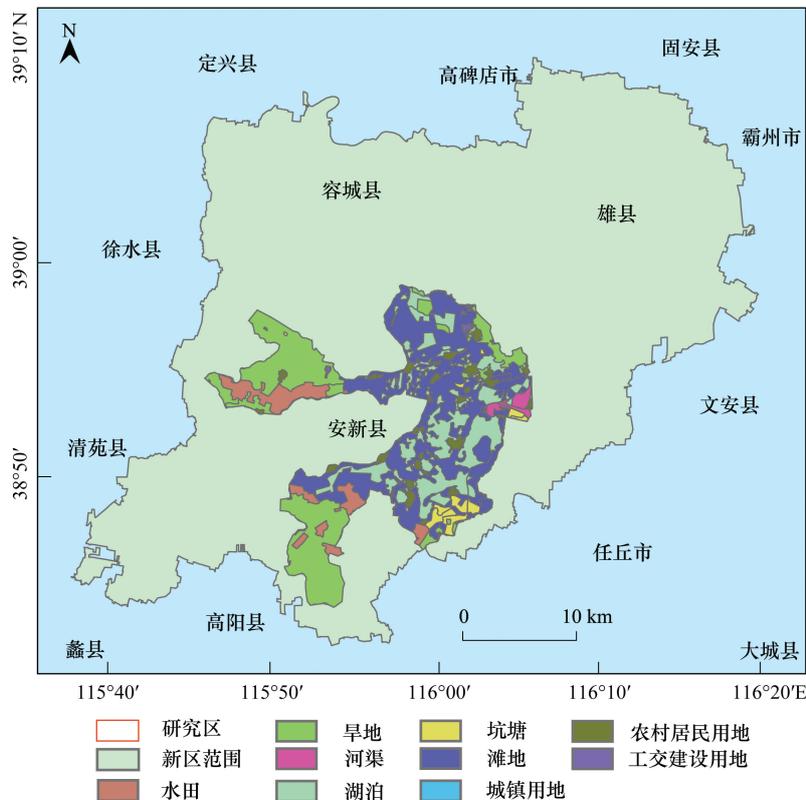


图 1 研究区位置

Fig.1 Location of study area

2 数据及研究方法

2.1 数据

景观类型采用白洋淀 1980、1990、2000、2010 和 2017 年共 5 期的土地利用数据,并进行湿地景观和非湿地景观类型划分(表 1)。土地利用数据解译于 Landsat 高精度遥感影像(<http://glovis.usgs.gov/>),精度为 30 m。经济社会数据来源于《保定市经济统计年鉴》数据,主要包括总人口、城镇人口、GDP、人均 GDP、第一产业值、第二产业值、第三产业值等,所有分析数据均按雄安新区的行政边界进行统计。气象数据和水文数据来源于中国气象科学数据共享网(<http://data.cma.cn/>)和《中华人名共和国水文年鉴》中的站点监测数据,主要包括降水、蒸发、气温、水位等。

表 1 白洋淀区域景观类型分类体系

Table 1 Classification system of landscape types of Baiyangdian region

一级分类 Primary classification	二级分类 Secondary classification	三级分类 Three-level classification
湿地景观 Wetland landscape	水域	河渠 湖泊 坑塘 滩地
非湿地景观 Non-wetland landscape	耕地	水田 旱地
	林草地	—
	建设用地	—

2.2 研究方法

未来情景预测 基于2017年土地利用数据,结合相关规划^[24-25]对未来白洋淀正常水位和土地调整政策进行情景设置,得到2030年白洋淀区域的景观格局分布。主要设置如下:淀区正常水位取为7.0 m(大沽高程),水位淹没区域未来视为湖泊,未淹没区域保持土地利用情况不变;淀区内部除圈头乡部分区域作为人文景观进行保留,其余淀中村均迁出,并对原区域进行改造后种植树木和草被等。

景观类型转换矩阵 利用ArcGIS对淀区景观类型的转换进行分析,分为1980—2000年,2000—2017年,2017—2030年3个时间段进行研究。

景观指数分析法 使用Fragstats 4.2计算景观格局指数,在类型水平上选择最大斑块指数(Largest Patch Index)、平均斑块面积(Mean Patch Size)、面积加权平均斑块分维数(Area-weighted Mean Patch Fractal Dimension)和聚集度指数(Patch Cohesion Index)4个指数,在景观水平上选择斑块个数(Number of Patches)、斑块密度(Patch Density)、最大斑块指数(Largest Patch Index)、周长面积分维数(Perimeter-Area Fractal Dimension)、聚集度(Contagion)和香农多样性指数(Shannon's Diversity Index)6个指数。

主成分分析法 依据SPSS软件对选取的景观格局驱动因素做主成分分析,根据方差贡献率大于85%确定主成分个数,来探索白洋淀的景观格局变化驱动力。

3 结果与分析

3.1 景观规模及结构变化

根据现有的5期土地利用数据和预测的2030年土地利用情景,给出各景观类型时空变化情况如图2、3所示。从图2可见,1980—2000年期间,各景观类型规模变化不显著,主要变化为水域面积增加了14.91 km²,耕地面积减少了15.41 km²。在2000—2017年期间,建设用地和耕地面积均出现大幅度增加,两者分别增加了7.80 km²和58.66 km²,相反水域面积减少了56.04 km²,白洋淀区域湿地面积占比从78%下降到60%。从2030年预测情景来看,未来建设用地和耕地面积分别会减少至0.90 km²和19.34 km²,而水域和林草地面积分别会增加到285.91 km²和10.23 km²,淀区内湿地面积占比会达到90%,林草地的面积占比也会达到3%。一般来说,湿地景观与非湿地景观之间存在渐变和转换两种类型的变换关系^[26-27],为弄清白洋淀区域各景观类型的转换关系引起的景观结构变化情况,以下分3个时间段对白洋淀区域进行景观转移矩阵分析,具体结果如表2、3、4所示。

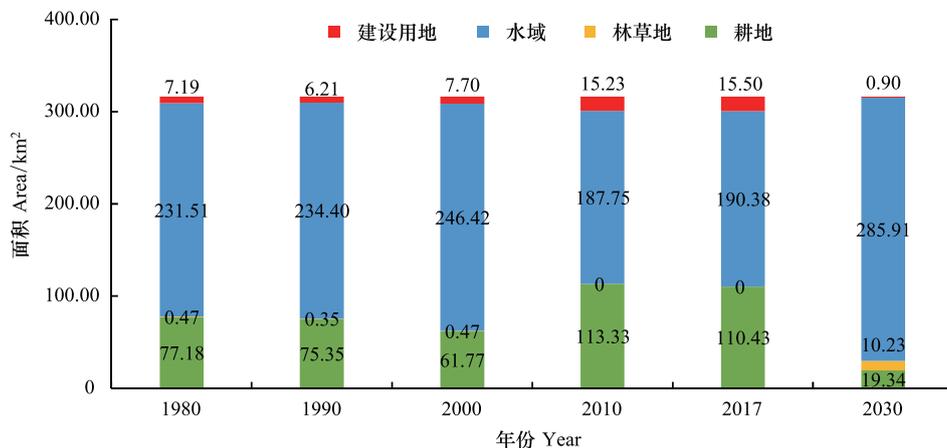


图2 白洋淀景观类型面积时间变化

Fig.2 Area change of landscape types in Baiyangdian Lake

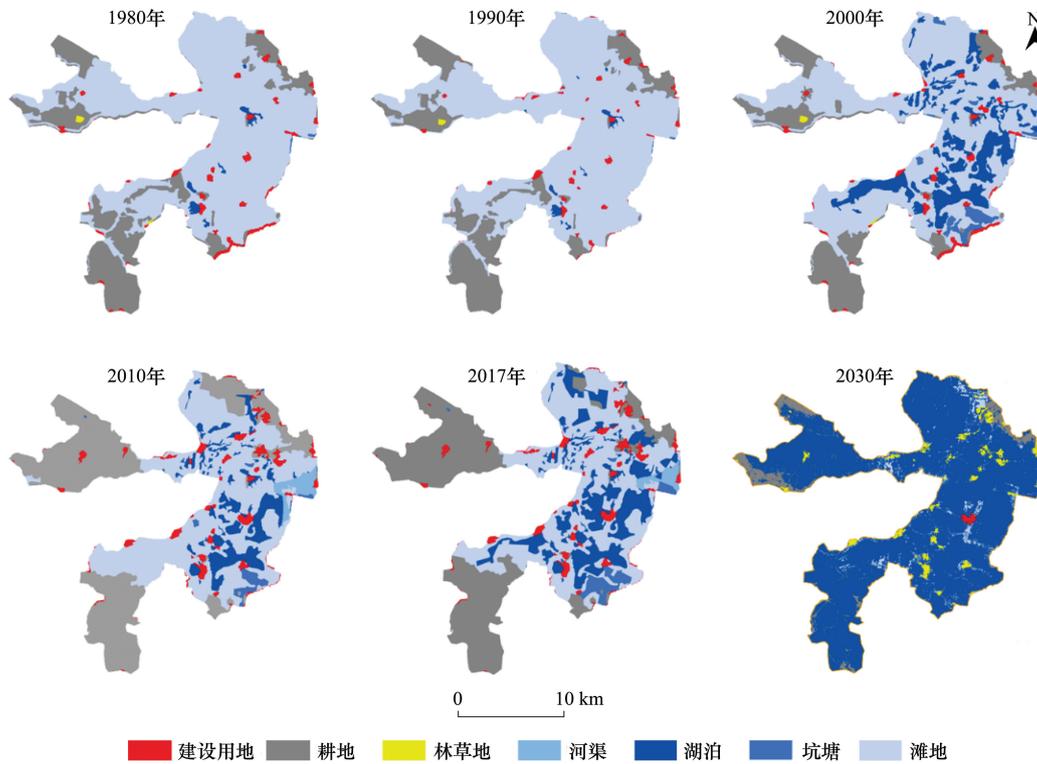


图 3 白洋淀景观类型空间变化

Fig.3 Spatial changes of landscape types in Baiyangdian region

表 2 白洋淀区域 1980—2000 年景观类型转换/km²

Table 2 Landscape type conversion in Baiyangdian region from 1980 to 2000

1980—2000 景观类型 Landscape types from 1980 to 2000	旱地 Dryland	林草地 Woodland meadow	建设用地 Land for construction	湖泊 Lakes	坑塘 Pond	滩地 Mudflat	总计 Sum
旱地 Dryland	59.94		0.10	6.71	0.02	10.41	77.18
林草地 Woodland meadow		0.47					0.47
建设用地 Land for construction			7.19				7.19
湖泊 Lakes				2.67		0.10	2.77
坑塘 Pond					0.27		0.27
滩地 Mudflat	1.83		0.41	40.28	7.02	178.94	228.47
总计 Sum	61.77	0.47	7.70	49.66	7.31	189.45	316.36

表 3 白洋淀区域 2000—2017 年景观类型转换/km²

Table 3 Landscape type conversion in Baiyangdian region from 2000 to 2017

2000—2017 景观类型 Landscape types from 2000 to 2017	水田 Paddy field	旱地 Dryland	建设用地 Land for construction	河渠 canals	湖泊 Lakes	坑塘 Pond	滩地 Mudflat	总计 Sum
旱地 Dryland	11.32	43.91	1.95	0.00	0.68	0.49	3.42	61.77
林草地 Woodland meadow	0.47		0.00					0.47
建设用地 Land for construction	0.12	1.42	3.72	0.04	0.42	0.39	1.59	7.70
湖泊 Lakes		0.20	1.62	0.96	30.34	0.00	16.54	49.66
坑塘 Pond		0.37	0.16	0.12	0.48	4.51	1.67	7.31
滩地 Mudflat	11.10	41.54	8.05	3.49	29.13	3.22	92.92	189.45
总计 Sum	23.00	87.45	15.51	4.60	61.05	8.61	116.14	316.36

表 4 白洋淀区域 2017—2030 年景观类型转换/km²

Table 4 Landscape type conversion in Baiyangdian region from 2017 to 2030

2017—2030 景观类型 Landscape types from 2017 to 2030	旱地 Dryland	林草地 Woodland meadow	建设用地 Land for construction	河渠 Canals	湖泊 Lakes	坑塘 Pond	滩地 Mudflat	总计 Sum
水田 Paddy field	2.50				20.50			23.00
旱地 Dryland	16.96				70.49			87.45
建设用地 Land for construction		10.13	0.90		4.48			15.51
河渠 canals				0.14	4.46			4.60
湖泊 Lakes					61.05			61.05
坑塘 Pond					7.19	1.42		8.61
滩地 Mudflat					104.38		11.75	116.14
总计 Sum	19.47	10.13	0.90	0.14	272.54	1.42	11.75	316.36

由表 2 可知,1980—2000 年期间,非湿地向湿地转换面积为 17.14 km²,转换率为 20.20%;湿地向非湿地的转换面积为 2.24 km²,转换率为 0.97%。主要表现为旱地向建设用地、湖泊和滩地转换,滩地向湖泊和坑塘转换。由表 3 可知,2000—2017 年期间的景观转换情况较为复杂。非湿地向湿地转换面积为 7.03 km²,转换率为 10.05%;湿地向非湿地的转换面积为 63.04 km²,转换率为 25.58%。主要表现为滩地向耕地、建设用地和湖泊转换,总计 52.64 km²转换为耕地,8.05 km²转换为建设用地,29.13 km²转换为湖泊。耕地增加的原因主要由于天然入淀水量减少,水位下降,当地居民将地势较高的滩地开垦为耕地,这些区域主要分布在淀区西北和西南区域(图 3)。建设用地的增加则是由于淀区旅游经济发展的需要,各淀中村落新建各种基础设施。湖泊面积的增加则主要是因为生态补水措施的实施,据统计^[28]在 1981—2010 年期间即对白洋淀实施了 26 次应急补水。由表 4 可知,2017—2030 年期间,不存在湿地向非湿地转换的情况,而非湿地向湿地转换面积为 95.47 km²,转换率达到了 75.79%。主要表现为耕地、坑塘以及滩地转换为湖泊,三者的转换率分别达到了 82.37%、83.51%和 89.88%。其中耕地和滩地向湖泊的大量转换也是归因于未来多水源补水机制的建立,通过统筹引黄入冀补淀、上游水库及本地非常规水资源,合理调控淀泊生态水文过程,使淀区面积得到恢复^[24]。

3.2 景观格局指数变化

景观格局指数方法是研究景观格局的基本手段,通常从类型水平尺度和景观水平尺度进行分析。由于该方法存在的不确定性会在不同分析阶段进行传递和累积,实际应用中应在了解景观格局指数实际意义的基础上,结合生态学过程慎重选择和解释^[29-30]。图 4 和图 5 分别给出了两种尺度相关指数的变化规律。从图 4 中可以看出,1980—2017 年期间,滩地的最大斑块指数和平均斑块面积均呈现下降的趋势,其中最大斑块指数从 71.53%降低到 30.75%,平均斑块面积也从 25.36 km²减少到 6.45 km²。相对于其他类型来讲,滩地的这两种指数最大,滩地一直是作为优势景观类型而且分布集中,其他景观斑块破碎且分布零散,其中湖泊的最大斑块指数在 0.28%—3.60%范围内波动。在 2030 年,湖泊的最大斑块指数和平均斑块面积分别达到了 85.38%和 15.12 km²,湖泊成为优势景观类型,斑块分布也较为集中。从面积加权维数来看,1980—2017 年各景观类型的面积加权维数有些微增加的趋势,其中滩地的面积加权维数的平均值达到了 1.21,其他景观类型的平均值为 1.10 左右,表明滩地的斑块形状最为复杂。在 2030 年,湖泊和其他类型的面积加权维数均增加到了 1.30,表明水位上升后,湖泊和其他类型景观斑块的复杂性均会增大。从聚集度指数来看,1980—2017 年期间,除了坑塘在 1990 后出现的聚集度指数增大,其他景观的聚集度指数走势平稳,变化不大。到了 2030 年,湖泊的聚集度指数增大到了 99.97,连通性提高,其他景观类型的聚集度指数均有不同程度的下降,连通性降低。

斑块数量越多,斑块密度越大,意味着景观破碎度越高。由图 5 可见,1980—2017 年期间,斑块个数和斑块密度均呈现逐渐增大的趋势,其中斑块个数由 88 个增加到 167 个,增加速率达到了 23.51 个/10 a,斑块密度则从 0.28 增加到 0.53,增加速率达到了 0.07/10 a,表明这期间景观破碎度是不断升高的。而在 2030 年出

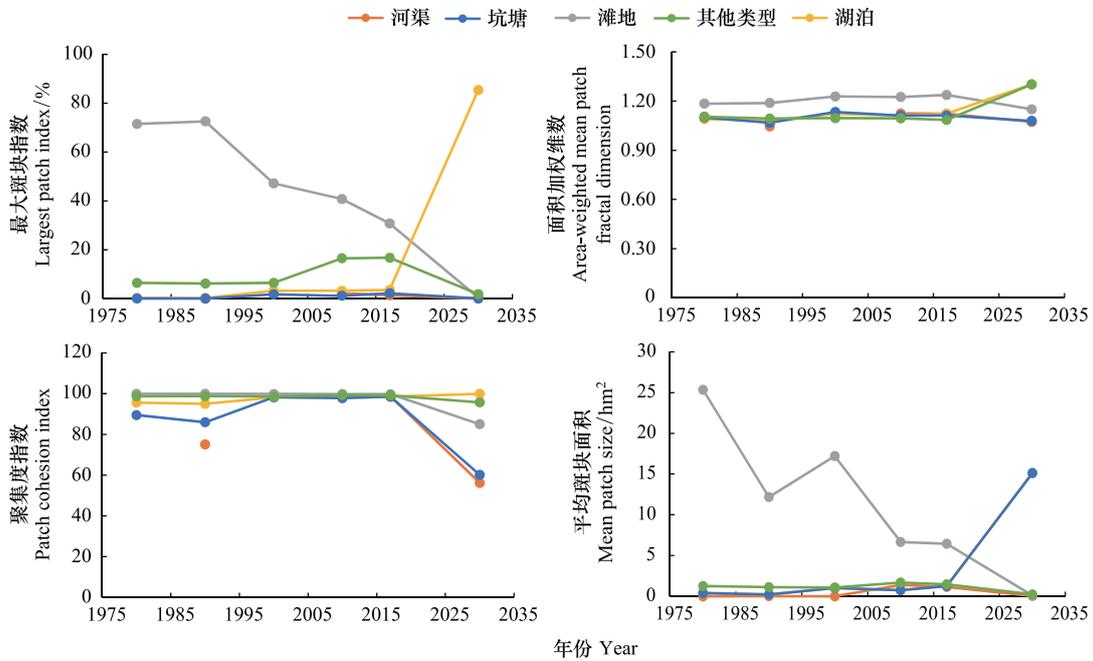


图 4 1980—2030 年白洋淀在类型尺度的景观指数变化

Fig.4 Landscape index changes of Baiyangdian at the type scale from 1980 to 2030

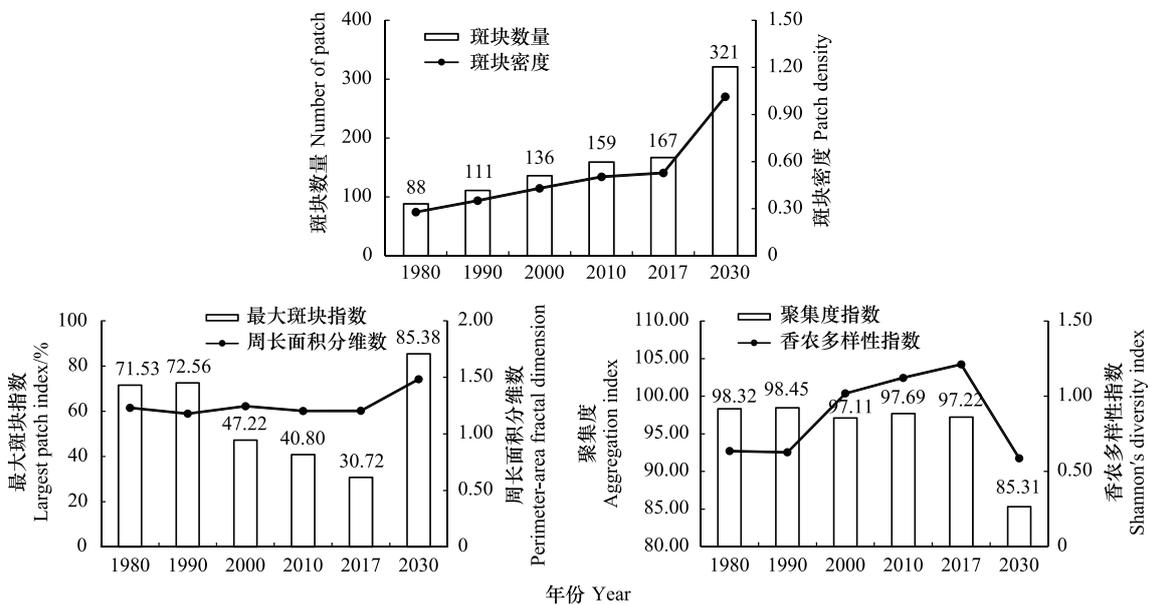


图 5 1980—2030 年白洋淀在景观尺度的景观指数变化

Fig.5 Landscape index changes of Baiyangdian at the landscape scale from 1980 to 2030

景观斑块数量和斑块密度增大的情况,可能是因为水位上升使得原来较大的非湿地斑块被水面所分离,形成多个小斑块。从最大斑块指数和周长-面积分维数来看,1980—2030 期间均呈现先减小后增大的趋势,表明最大斑块类型的优势度也呈现同样的变化过程。在 2030 年,最大斑块指数和周长面积分维数均达到最大值,其中后者达到了 1.48,表明景观斑块的形状复杂程度会显著降低。聚集度指数在 1980—2030 年期间呈现波动的变化趋势,最大值出现在 1990 年为 98.45,表明景观连通性最大,空间分布最均匀。最小值出现在 2030 年为 85.31,说明整体景观的连通性最小,空间分布也不均匀,上文分析也表明会以湖泊景观为主。1980—

2030 期间,香农多样性指数呈现先增大后减小的趋势,在 2017 年达到最大值为 1.21,景观丰富度最大。而在 2030 年,香农多样性指数最小,表明优势景观类型对于整个景观的控制作用过强,景观丰富度会降低。由于景观分类体系的不同会造成景观格局指数结果的差异,以上分析结果仅适用于本文中的景观分类体系。

3.3 驱动因素分析

景观格局变化的驱动因素主要包括自然因素和人为因素,结合白洋淀区域的实际情况和数据的可获得性,本次研究的自然驱动因素主要选用采用年降水总量、年蒸发总量、年平均气温、淀区年平均水位共 4 个指标,人为驱动因素主要选用总人口、城镇人口、GDP、人均 GDP、第一产业值、第二产业值、第三产业值共 7 个指标。在对统计数据进行处理的基础上,采用主成分分析法对 1980—2017 年白洋淀区域的历史景观格局变化进行了归因分析。分析结果表明第 1、2 主成分对总变量的解释度分别为 62.00% 和 17.38%。其中 GDP、人均 GDP、第三产业值、第二产业值、第一产业值、城镇人口、总人口在第 1 主成分上的载荷较大,这些指标主要反映了社会经济的发展水平,因此可以认为第一主成分是社会经济的代表;年降水量和年蒸发量在第 2 主成分上的载荷较大,因此第 2 主成分被认识是气候因素的代表。图 6 和图 7 分别给出了统计的自然和人为驱动因素的基本变化情况。

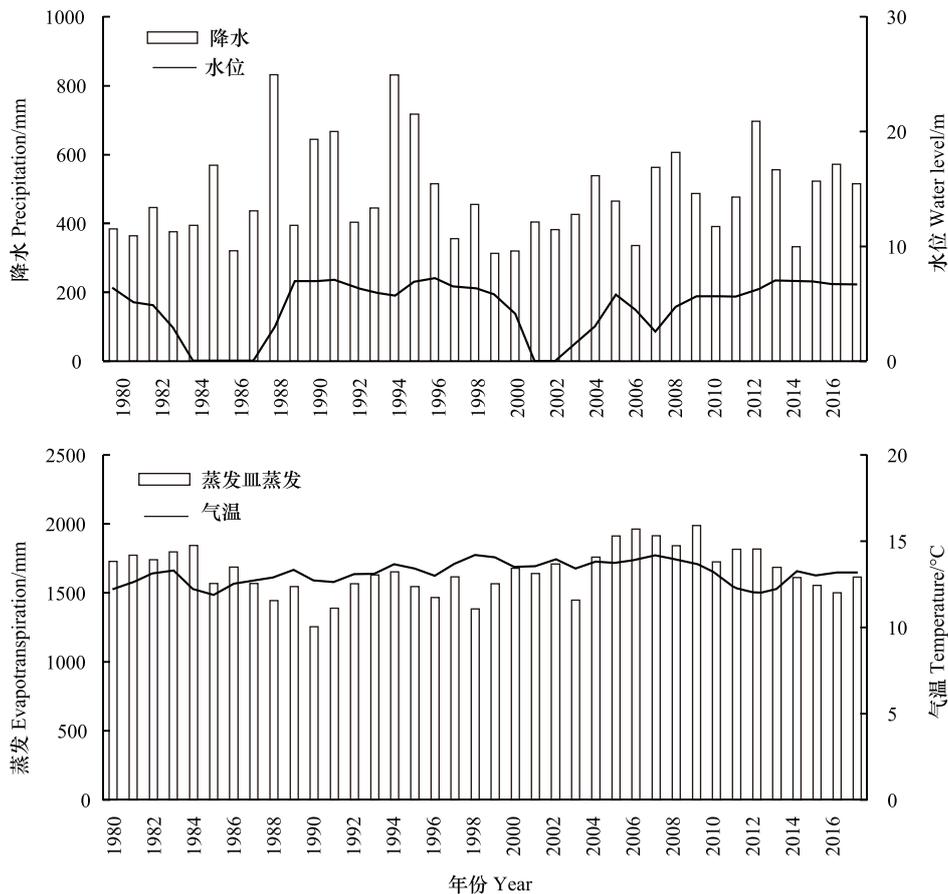


图 6 景观变化自然驱动因素

Fig.6 Natural drivers of landscape change

从未来自然驱动因素来看,已有相关研究^[31]表明未来雄安平均降水量会有所增加,但是气温升高导致的潜在蒸发量损失更多,使得区域会出现水资源相对不足的现象,这会带来白洋淀湿地景观退化的风险。而从未来人为驱动因素来看,白洋淀生态环境建设作为雄安新区高质量发展的重要组成部分,会实施较大力度的环境治理和生态修复措施^[24],这些措施会对白洋淀的景观格局变化起正向的主导作用。如建立多水源补水机制,

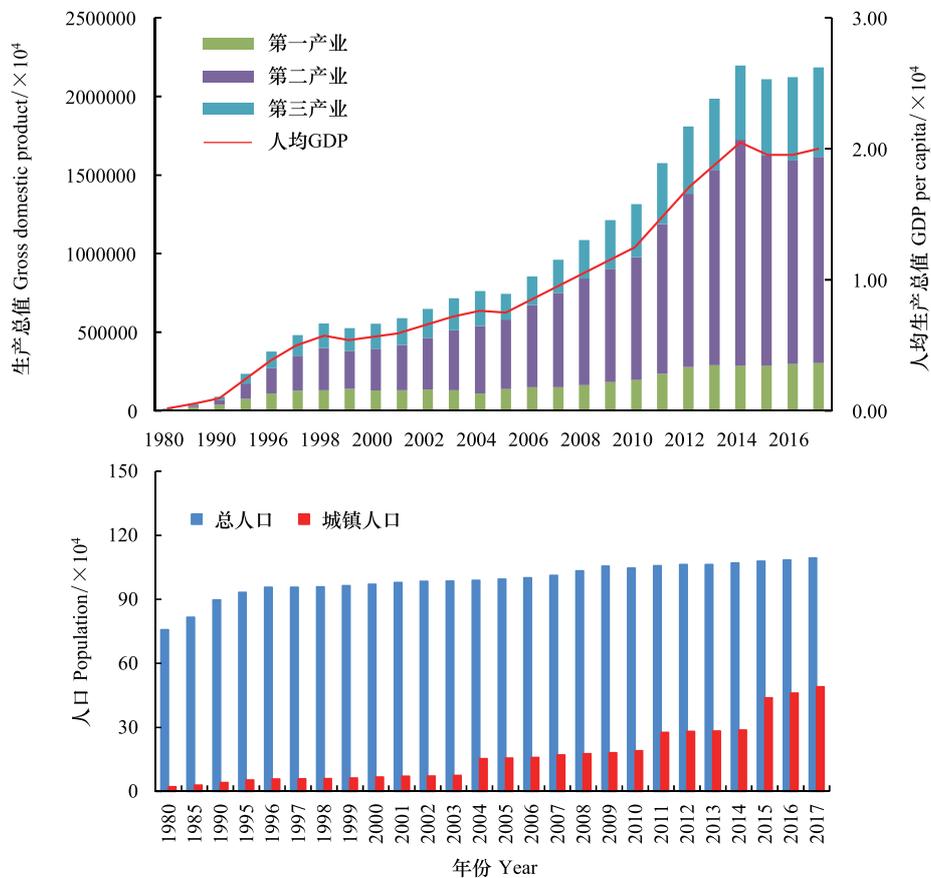


图7 景观变化人为驱动因素

Fig.7 Human drivers of landscape change

合理调控淀泊生态水文过程;开展生态修复,对现有苇田荷塘进行微地貌改造和调控,进行淀中村的搬迁等。关于环淀绿化带的建设,在优化城淀之间生态空间结构的同时也有助于白洋淀生态系统的保护。基于这些措施的实施,白洋淀景观规模结构会得到不断调整和优化,湿地、林草地景观得到改善,并朝着综合价值最大化的方向发展。未来情景下属于自然驱动因素的水位条件得到有效保障之后,社会经济因素与白洋淀景观格局的耦合驱动关系也会发生转变。过去人口增长和城市扩张会造成原生态景观格局遭到破坏,生态系统退化,而未来地区高新产业、技术的发展将会给区域的生态发展提供更好的支撑,社会经济因素也会有助于白洋淀区域景观格局的稳定健康发展。

4 结论

(1) 白洋淀区域景观规模和结构在 1980—2000 年期间变化不显著,但在 2000—2017 年期间,滩地向耕地、建设用地和湖泊大面积转换,湿地向非湿地景观转换率为 25.58%,湿地景观面积占比从 78% 下降到 60%。2017—2030 年期间,耕地和建设用地向湖泊转换,非湿地向湿地景观转换率为 75.79%,湿地景观面积占比会达到 90%。

(2) 景观格局指数分析结果显示,1980—2017 年期间,滩地景观优势度最大,分布集中,但形状也最为复杂,各个景观的连通性走势平稳。此期间景观尺度的破碎度不断升高,斑块个数和斑块密度增长速率分别达到了 23.51 个/10 a 和 0.07/10 a。景观连通性和均匀度在 1990 年达到较大,景观丰富度在 2017 年达到最大。未来 2030 年,湖泊会成为优势景观类型,连通性提高,斑块分布集中但复杂性增大。区域景观尺度连通性变小,空间分布不均匀,丰富度降低。

(3) 白洋淀景观格局历史演变主要受社会经济因素的影响,主成分分析结果表明其解释度为 62.00%。未来气候条件下,白洋淀湿地生态系统存在退化的风险,但新区建设会针对白洋淀实施大量的环境治理和生态修复措施,这些措施会对白洋淀的景观格局变化起主导作用。生态补水保障之后,景观格局和驱动因素的互馈关系也会发生调整。

本文基于现有的 5 期土地利用数据,对白洋淀区域的历史景观格局动态变化进行了分析,同时结合 2017 土地利用情景对白洋淀的未来景观格局趋势进行了预测和分析,研究结果对于白洋淀的规划管理具有一定的参考价值。但由于数据获取的限制,本文在未来情景设置和景观格局驱动分析方面还存在很多的不足。在进行未来景观格局情景设置时采用的是淀区现状的地形数据,未考虑淀区清淤、微地形改造等工程实施后对于淀区地形以及水面分布的影响。在景观格局驱动分析方面,对于景观格局特征和驱动因素的响应关系研究还有待完善。随着白洋淀湿地的生态恢复,未来关于区域景观格局优化和生态格局构建等方面有待深入研究。

参考文献 (References):

- [1] 白军红, 欧阳华, 杨志峰, 崔保山, 崔丽娟, 王庆改. 湿地景观格局变化研究进展. 地理科学进展, 2005, 24(4): 36-45.
- [2] Huang L B, Bai J H, Yan D H, Chen B, Xiao R, Gao H F. Changes of wetland landscape patterns in Dadu River Catchment from 1985 to 2000, China. *Frontiers of Earth Science*, 2012, 6(3): 237-249.
- [3] 张敏, 宫兆宁, 赵文吉, 阿多. 近 30 年来白洋淀湿地景观格局变化及其驱动机制. 生态学报, 2016, 36(15): 4780-4791.
- [4] Allende T C, Mendoza E, Granados E M L, Manilla L M M. Hydrogeographical regionalisation: an approach for evaluating the effects of land cover change in watersheds. A case study in the Cuitzeo Lake watershed, Central Mexico. *Water Resources Management*, 2009, 23(12): 2587-2603.
- [5] Gong Z N, Li H, Zhao W J, Gong H L. Driving forces analysis of reservoir wetland evolution in Beijing during 1984-2010. *Journal of Geographical Sciences*, 2013, 23(4): 753-768.
- [6] Wu M X, Li C W, Du J, He P, Zhong S C, Wu P L, Lu H D, Fang S B. Quantifying the dynamics and driving forces of the coastal wetland landscape of the Yangtze River Estuary since the 1960s. *Regional Studies in Marine Science*, 2019, 32: 100854.
- [7] Lin W P, Cen J W, Xu D, Du S Q, Gao J. Wetland landscape pattern changes over a period of rapid development (1985-2015) in the Zhoushan Islands of Zhejiang province, China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2018, 213: 148-159.
- [8] 吴平, 林浩曦, 田璐. 基于生态系统服务供需的雄安新区生态安全格局构建. 中国安全生产科学技术, 2018, 14(9): 5-11.
- [9] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [10] 刘春兰, 谢高地, 肖玉. 气候变化对白洋淀湿地的影响. 长江流域资源与环境, 2007, 16(2): 245-250.
- [11] 杨春霄. 白洋淀入淀水量变化及影响因素分析. 地下水, 2010, 32(2): 110-112.
- [12] 袁勇, 严登华, 王浩, 王青. 白洋淀湿地入淀水量演变归因分析. 水利水电技术, 2013, 44(12): 1-4, 23-23.
- [13] 王青, 严登华, 秦天玲, 袁勇. 人类活动对白洋淀干旱的影响. 湿地科学, 2013, 11(4): 475-481.
- [14] 张东江, 哈建强, 史洪飞. 白洋淀入淀流量变异程度分析. 水资源保护, 2014, 30(1): 43-47.
- [15] 江波, 肖洋, 马文勇, 欧阳志云. 1974—2011 年白洋淀土地覆盖时空变化特征. 湿地科学与管理, 2016, 12(1): 38-41, 42-42.
- [16] 王京, 卢善龙, 吴炳方, 闫娜娜, 裴亮. 近 40 年来白洋淀湿地土地覆被变化分析. 地球信息科学学报, 2010, 12(2): 292-300.
- [17] 白军红, 房静思, 黄来斌, 邓伟, 李爱农, 孔博. 白洋淀湖沼湿地系统景观格局演变及驱动力分析. 地理研究, 2013, 32(9): 1634-1644.
- [18] 闫欣, 牛振国. 1990—2017 年白洋淀的时空变化特征. 湿地科学, 2019, 17(4): 436-444.
- [19] 庄长伟, 欧阳志云, 徐卫华, 白杨. 近 33 年白洋淀景观动态变化. 生态学报, 2011, 31(3): 839-848.
- [20] 朱金峰, 周艺, 王世新, 王丽涛, 刘文亮, 李海涛, 梅建军. 1975—2018 年白洋淀湿地变化分析. 遥感学报, 2019, 23(5): 971-986.
- [21] 徐卫华, 欧阳志云, van Duren I, 郑华, 王效科, 苗鸿, 曹全虎. 白洋淀地区近 16 年芦苇湿地面积变化与水位的关系. 水土保持学报, 2005, 19(4): 181-184, 189-189.
- [22] 李建国, 李贵宝, 崔慧敏, 王殿武. 白洋淀芦苇湿地退化及其保护研究. 南水北调与水利科技, 2004, 2(3): 35-38.
- [23] Xia L L, Liu R Z, Zao Y W. Correlation analysis of landscape pattern and water quality in Baiyangdian watershed. *Procedia Environmental Sciences*, 2012, 13: 2188-2196.
- [24] 中共河北省委, 河北省人民政府. 河北雄安新区规划纲要. 河北日报, 2018-04-22(02).
- [25] 孙杰, 高博, 曹国厂, 齐雷杰, 许苏培, 徐步云. 《白洋淀生态环境治理和保护规划》解读. (2019-01-17) [2020-06-08]. http://www.xinhuanet.com/2019-01/17/c_1124003162.htm.
- [26] 白军红, 邓伟, 严登华, 栾兆擎. 霍林河流域湿地土地利用/土地覆被类型的转换过程. 水土保持学报, 2003, 17(3): 112-114, 158-158.
- [27] 白军红, 欧阳华, 邓伟, 王庆改, 宋新山. 霍林河流域湿地土地利用/土地覆被类型的渐变过程. 水土保持学报, 2004, 18(1): 172-174.
- [28] 张赶年, 曹学章, 毛陶金. 白洋淀湿地补水的生态效益评估. 生态与农村环境学报, 2013, 29(5): 605-611.
- [29] 刘颂, 李倩, 郭菲菲. 景观格局定量分析方法及其应用进展. 东北农业大学学报, 2009, 40(12): 114-119.
- [30] 李胜男, 王根绪, 邓伟. 湿地景观格局与水文过程研究进展. 生态学杂志, 2008, 27(6): 1012-1020.
- [31] 吴婕, 高学杰, 徐影. RegCM4 模式对雄安及周边区域气候变化的集合预估. 大气科学, 2018, 42(3): 696-705.