

哈尔滨段松花江湿地景观格局演变及驱动因素分析

赵志强^{1,2,3}, 许晓龙⁴, 袁青^{1,2*}, 吴妍^{4*}

(1. 哈尔滨工业大学建筑学院, 黑龙江 哈尔滨 150006; 2. 寒地城乡人居环境科学与技术工业和信息化部重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150006; 3. 哈尔滨市城乡规划设计研究院, 黑龙江 哈尔滨 150010; 4. 东北林业大学园林学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要:【目的】松花江湿地是哈尔滨最重要的生态系统屏障。定量研究 20 年来哈尔滨段松花江湿地生态系统景观格局演变规律及其主要影响因素, 为哈尔滨松花江湿地规划提供参考。【方法】以松花江哈尔滨段流域及其周边生态区域为研究对象, 借助 GIS, 对 2000、2005、2010、2015 和 2020 年 5 期 Landsat 遥感影像进行处理; 利用 Fragstats 分析研究区域景观格局指数, 探究景观格局时空演变特征; 最后对影响景观格局的因素进行主成分分析。【结果】①2000—2020 年, 水域(含湿地)面积不断上升, 耕地面积不断下降是研究区景观格局最主要的变化特征。耕地是转入水域、草地、建设用地、林地、其他用地面积的主要贡献者, 分别转出 343.142 1、2.484 9、94.041 9、35.469 0、1.980 0 km²。其中水域、草地、林地、其他用地面积同比增长率均超过 100%, 面积扩张呈上升趋势。②从斑块类型角度来看, 各斑块破碎化程度均不同程度提高, 湿地景观类型结构趋于复杂化; 从景观水平角度来看, 整体上景观丰富度增加, 但连通性较差, 受外界干扰程度比较明显。③城市经济发展、气候与产业结构是哈尔滨段松花江湿地景观格局变化的最主要驱动因素。随着松北区的设立及旅游业的兴起, 相关基础设施挤占了沿江部分水域(包括湿地)空间, 湿地沼泽、耕地被分割成无数大小斑块, 总体景观格局趋于破碎化, 人为驱动因素逐渐成为主导因素。【结论】2000—2020 年, 哈尔滨段松花江湿地景观类型结构趋于复杂化。随着人为因素的影响不断加大, 水域斑块破碎化程度不断提高, 耕地面积流失严重, 耕地保护与生态保护矛盾仍十分突出。

关键词:松花江湿地; 景观格局; 驱动因素; 主成分分析(PCA); 哈尔滨市

中图分类号:S759; X171.1

文献标志码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号:1000-2006(2024)02-0219-08



Landscape pattern evolution and driving factors of Songhua River wetland in Harbin

ZHAO Zhiqiang^{1,2,3}, XU Xiaolong⁴, YUAN Qing^{1,2*}, WU Yan^{4*}

(1. School of Architecture, Harbin Institute of Technology, Harbin 150006, China; 2. Key Laboratory of Science and Technology of Urban and Rural Human Settlement Environment, Ministry of Industry and Information Technology, Harbin 150006, China; 3. Harbin Institute of Urban and Rural Planning and Design, Harbin 150010, China; 4. College of Landscape Architecture, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: 【Objective】The Songhua River wetland is the most important ecosystem barrier in Harbin. This paper quantitatively studied the evolution and main influencing factors of the landscape pattern of the Songhua River wetland ecosystem in Harbin over the past 20 years, and we aim to provide a reference for wetland planning. 【Method】Choosing the Harbin basin and its surrounding ecological area as the research object, Landsat remote sensing images from 2000, 2005, 2010, 2015 and 2020 were processed with the help of the GIS platform. The Fragstats software was used to analyze the regional landscape pattern index and explore the spatio-temporal evolution characteristics of the landscape pattern. Finally, SPSS was used for the statistical analysis of the factors affecting landscape pattern. 【Result】(1) From 2000 to 2020, the water area (including wetland) continuously increased, while the cultivated-land area continuously decreased, which was the primary change feature of landscape pattern in the study area. The decreasing cultivated land

收稿日期 Received: 2023-01-05

修回日期 Accepted: 2023-06-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(52278056)。

第一作者: 赵志强(abc551@126.com), 正高级工程师, 博士生。* 通信作者: 袁青(nityvanqing@hit.edu.cn), 教授, 负责选题和理论分析指导; 吴妍(wuyan@nefu.edu.cn), 副教授, 负责数据整理和分析指导。

引文格式: 赵志强, 许晓龙, 袁青, 等. 哈尔滨段松花江湿地景观格局演变及驱动因素分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2024, 48(2): 219-226. ZHAO Z Q, XU X L, YUAN Q, et al. Landscape pattern evolution and driving factors of Songhua River wetland in Harbin [J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2024, 48(2): 219-226. DOI: 10.12302/j.issn.1000-2006.202301009.

was the main contributing factor of increasing water area, grassland, construction land, forest land and other land areas at 343.142 1, 2.484 9, 94.041 9, 35.469 0 and 1.980 0 km², respectively; among them, the growth rate of water area, grassland, forest area and other land area exceeded 100%, and the area expansion showed an upward trend. (2) From the perspective of plaque types, the degree of fragmentation of each plaque increased to varying degrees during the 20 years, and the wetland landscape type structure tended to be complicated. From the landscape-level perspective, the overall landscape richness has increased, but the connectivity was poor, and the degree of external interference was relatively significant. (3) Urban economic development, climate and industrial structure were the main driving factors to stimulate the change of landscape pattern of the Songhua River wetland in Harbin. With the establishment of the Songbei District and the rise of tourism, relevant infrastructure has crowded the space of some water areas (including wetlands) along the river; wetland marshes and cultivated land have been divided into numerous patches, the overall landscape pattern tends to be fragmented, and human drivers have gradually become the dominant factors. 【Conclusion】 The landscape type of the Songhua River wetland in Harbin is a complicated structure. As human influence factors become more profound, the fragmentation degree of water patches increases, there is a serious loss of cultivated-land area, and the contradiction between cultivated-land protection and ecological protection remains prominent.

Keywords: Songhua River wetland; landscape pattern; driving factor; principal component analysis(PCA); Harbin City

湿地作为水陆间过渡的生态系统,在御洪蓄水、调节气候、抵御外来物种入侵、旅游资源等方面发挥着不可替代的作用^[1]。当前湿地生态问题较为严重,作为城市生态环境的屏障,国内外学者对湿地生态领域进行了大量研究,利用遥感影像解译土地利用类型,以及湿地生态破碎化、生态系统服务方面等的研究日益增加^[2-3],近年来主要聚焦于湿地生物多样性^[4]、景观格局时空动态演变^[5-6]、驱动力成因分析^[7-8]。

松花江是黑龙江省最重要的河流之一,流域湿地众多。哈尔滨是松花江重要流经区域,各类自然保护区 75 处,国家级和省级自然保护区 17 处,野生动物 450 余种^[9],被评为首届“国际湿地城市”。中国环境科学研究院曾展开关于松花江湿地生态健康研究,发现工农业生产地、人口集中地植被覆盖差且湿润水平低的湿地生态健康不容乐观^[10]。鞠琴等^[11]认为,松花江流域将呈现开发建设用地不断增加,耕地、林地面积减少趋势。梁芳源等^[12]从系统保护角度出发,认为大庆市和哈尔滨市附近的湿地生态缺乏保护。尽管近几年哈尔滨市政府在保护湿地方面建立了有效保护机制,但由于农牧业活动,如水产养殖、农业生产等,对周边流域造成严重污染;城市建设、城市生活区扩张等极大损害湿地生态健康,造成湿地斑块破碎、水体污染、生物多样性降低等问题^[13]。为此,本研究基于景观格局视角,对哈尔滨段松花江流域 2000—2020 年景观格局变化进行分析,以期后续哈尔滨段松花江湿地生态规划提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区为哈尔滨松花江湿地(125°41′~127°21′E,45°18′~46°11′N),从双城区至大顶子山航电枢纽工程,全长约 123 km,海拔-37~270 m,总面积约 3 574 km²,属于典型的温带大陆性季风气候,具有冬季漫长寒冷、夏季短促且凉爽特点。研究区地处松花江中游地段,范围涉及哈尔滨市的道里区、道外区、松北区、呼兰区、双城区、宾县以及部分肇东市地块。区域内土壤肥沃,主要土壤类型为草甸土、沼泽土、砂土、泥炭土等^[14],周边多分布漫滩和沼泽地带,湿地生物资源丰富多样,具有鲜明的湿地生态系统结构。

1.2 数据来源及处理

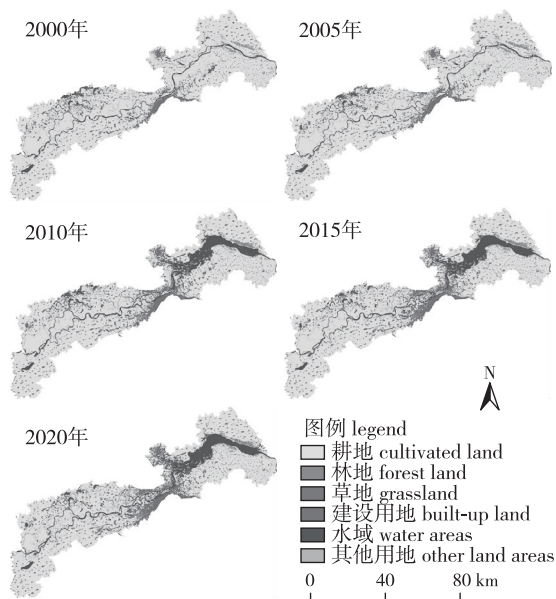
本研究使用的 Landsat 遥感数据来自中国科学院空天信息创新研究院(<http://data.casearth.cn>)。这类数据利用时序图像光谱库与监督分类的方法解译生成,一级分类验证精度为 82.5%,Kappa 系数为 0.784,分辨率为 30 m×30 m。选择 2000、2005、2010、2015 和 2020 年 5 期地表覆盖数据。根据研究范围,利用 GIS 平台,对影像数据进行裁剪、重分类等方式处理,处理后的影像依次导入 Fragstats 平台进行景观指数分析。地区生产总值(M_1)、第一产业增加值(M_2)、第二产业增加值(M_3)、第三产业增加值(M_4)、城镇化率(M_5)、人口密度(M_6)数据来自哈尔滨市统计年鉴;年平均降水量(M_7)、年平均气温(M_8)数据来自欧盟及欧洲中期天气预报中心等组织发布的 ERA5-Land 数据集。利用 SPSS,将研究区以上 8 类数据进行标

准化处理,使数据度量一致,依次进行因子分析、特征向量矩阵和主成分矩阵等计算步骤,得出主成分结果。

1.3 研究方法

1.3.1 景观类型划分

根据研究区域现状和本研究主题需要,参考中国科学院空天信息创新研究院分类体系^[14-16],将哈尔滨段松花江湿地研究区域划分为水域(湿地和水域)、耕地、林地、建设用地、草地和其他用地等6种景观类型(图1)。



底图审图号:GS(2019)3333号。

图1 研究区域土地利用类型分布图

Fig. 1 Distribution of land use types in the study area

1.3.2 景观指数选取

景观指数用于描述景观格局并建立景观结构过程或现象的联系^[15],更好地解释与理解景观功能^[16],常运用于景观破碎化、景观异质量化等领域^[17],是景观生态学用于量化空间格局的参数。为研究哈尔滨段松花江湿地时空变化特征和不同景观类型演变规律,在斑块类型及景观两个水平方向选取8个景观指数。其中:4个斑块类型水平指数包括最大斑块指数(LPI)、平均斑块面积(MPS)、斑块密度(PD)和聚集度指数(AI);4个景观水平指数包括斑块数量(NP)、景观形状指数(LSI)、蔓延度指数(CONTAG)、香农多样性指数(SHDI)。利用Fragstats 4.2计算2000—2020年5期景观指数,各景观指数计算公式见Fragstats内部注释^[15]。

1.3.3 景观格局变化驱动力分析

基于SPSS对影响哈尔滨段松花江湿地景观

变化的因素进行主成分分析^[18],进而找到主要驱动因素^[19]。结合研究区域现状,从自然和社会经济两个方面选取了以下8个指标:地区生产总值(M_1)、第一产业增加值(M_2)、第二产业增加值(M_3)、第三产业增加值(M_4)、城镇化率(M_5)、人口密度(M_6)、年平均降水量(M_7)、年平均气温(M_8)。

2 结果与分析

2.1 哈尔滨段松花江湿地景观类型转移分析

2000—2020年,哈尔滨段松花江湿地总面积呈不断上升的趋势(表1)。这20年间,水域面积平均年增长量达13.1946 km²,增长率高达103.01%。尤其在2005—2010年,水域总面积呈跳跃式增长。研究发现,因松花江大顶子大坝的建成,促使下游水域、湿地向周边区域蔓延,湿地面积呈直线增长。湿地面积增长的同时,必然侵蚀其他景观类型地块,因此在大坝建设期间,耕地、草地和其他用地面积呈缩减趋势。大坝建成后积极恢复湿地生态健康,水域面积在2010—2020年间增长达24.82 km²,湿地生态健康重要性日益显现。草地面积总体基数小,但面积成倍增长,2000—2020年由1.0854 km²增长到2.5074 km²,增长率131.01%;建设用地呈现扩张趋势,由218.6600 km²增长到315.7940 km²,增长率44.42%;林地扩张面积增长率为125.92%、其他用地呈直线增长,由0.1188 km²增长到2.5866 km²,增长率达2077.27%;耕地面积则由3072.1900 km²减少至2674.4300 km²,减少率为12.95%,总体来看,研究区域内耕地类型面积逐年减少,年减少量高达19.8880 km²,因此对耕地面积的保护刻不容缓。

利用ArcGIS 10.5,通过转移矩阵得到研究区2000—2020年土地利用转移矩阵(表2)。由表2可知:2000—2020年,哈尔滨松花江湿地的景观类型变化中,耕地向草地、建设用地、林地、其他用地和水域转化,转化面积分别为2.4849、94.0419、35.4690、1.9800、343.1421 km²。草地面积变化微乎其微,转入面积主要贡献者为耕地2.4849 km²、林地0.0108 km²和水域0.0099 km²。建设用地呈现扩张趋势,转入面积主要贡献者为草地0.0018 km²、耕地94.0419 km²、林地0.1215 km²、水域2.9682 km²;林地扩张依然主要来自耕地转入,转入面积达35.4690 km²,林地增加面积1倍有余。其他用地则有一部分是水域转化而来,为0.6066 km²;水域面积主要贡献者也是耕地,转入面积为

343.142 1 km²,其次林地转入 1.631 7 km²,其他类型对水域面积贡献则偏少。

表 1 2000—2020 年哈尔滨松花江湿地景观类型面积统计
Table 1 Landscape type area statistics of Songhua River wetland in Harbin from 2000 to 2020 单位:km²

景观类型 landscape type	面积 area					年变化量 annual variation
	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年	
耕地 cultivated land	3 072.186 0	3 038.030 0	2 772.961 2	2 719.907 1	2 674.461 6	-19.886 2
林地 forest land	26.055 9	31.134 6	35.168 4	45.280 8	58.866 3	1.640 5
草地 grassland	1.085 4	0.237 6	0.199 8	0.984 6	2.507 4	1.422 0
建设用地 built-up land	218.660 4	253.680 0	270.476 1	302.489 1	315.793 8	4.856 7
水域 water area	256.184 1	250.602 0	495.254 7	503.354 7	520.074 9	13.194 5
其他用地 other land	0.118 8	0.602 1	0.230 4	2.274 3	2.586 6	0.123 4

表 2 2000—2020 年哈尔滨松花江湿地土地利用转移矩阵
Table 2 Land use transfer matrix of Songhua River wetland in Harbin from 2000 to 2020 单位:km²

土地类型 landscape type	2020 年						总计 total
	草地 grassland	耕地 cultivated land	建设用地 built-up land	林地 forest land	其他用地 other land	水域 water area	
草地 grassland	0.001 8	0.502 2	0.001 8	0.306 0		0.273 6	1.085 4
耕地 forest land	2.484 9	2 595.068 1	94.041 9	35.469 0	1.980 0	343.142 1	3 072.186 0
建设用地 built-up land			218.660 4				218.660 4
2000 年 林地 forest land	0.010 8	2.241 9	0.121 5	22.050 0		1.631 7	26.055 9
其他用地 other land		0.017 1				0.101 7	0.118 8
水域 water area	0.009 9	76.632 3	2.968 2	1.041 3	0.606 6	174.925 8	256.184 1
总计 total	2.507 4	2 674.461 6	315.793 8	58.866 3	2.586 6	520.074 9	3 574.290 6

2.2 哈尔滨段松花江湿地景观格局演变分析

2.2.1 斑块类型水平指数的湿地景观格局演变

研究区不同类型景观的变化特征及动态变化信息见图 2。由图 2a 可看出,水域、林地、耕地的

最大斑块指数(LPI)在 2000—2020 年总体呈上升趋势,仅 2010—2015 年表现为下降,而建设用地和其他用地呈上升趋势。经判断,这一时期由于城市的开发与扩张,导致水域湿地不断退化,其他用

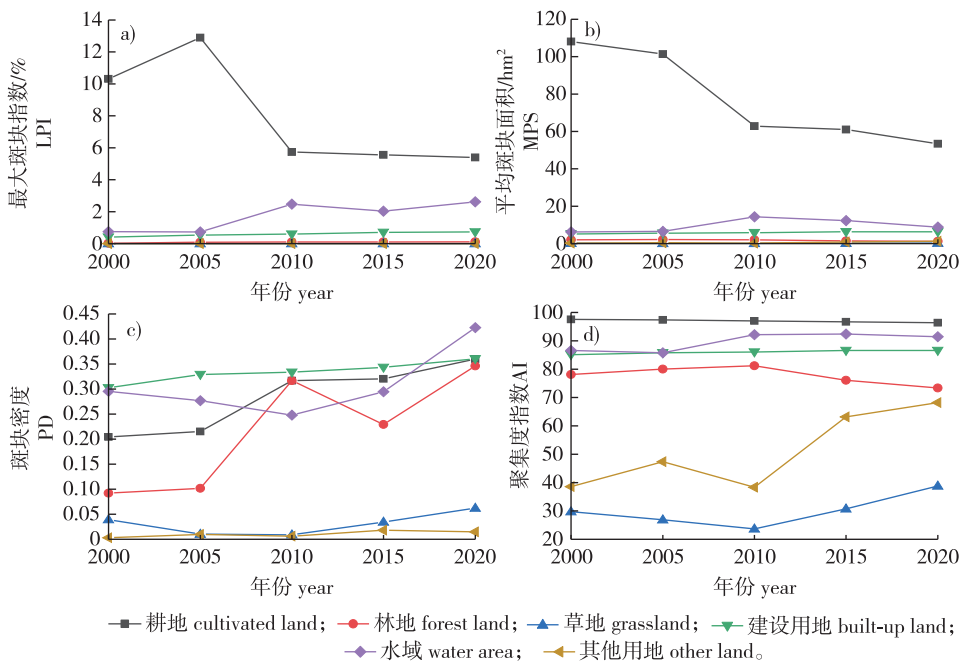


图 2 2000—2020 年哈尔滨段松花江湿地景观斑块类型水平
Fig. 2 Level of wetland landscape patch types of Songhua River wetland in Harbin from 2000 to 2020

地(裸土地)面积不断增加。2015—2020 年随着生态健康发展不断受到重视,水域的优势度越来越明显。由图 2b 看出,在 2000—2020 年水域的平均斑块面积(MPS)值整体呈下降趋势,唯 2005—2010 年有所增长,反映了 2005—2010 年因大坝的建立,景观破碎化程度有所改善,但随着城市的发展和人类活动的加剧,湿地斑块整体呈破碎化发展,分布稀疏。由图 2c 看出,耕地、建设用地的斑块密度(PD)一直呈上升趋势,说明斑块破碎化程度一直在加重。草地和水域 PD 在 2000—2010 年间下降,在 2010—2020 年上升,反映出这 10 年来破碎化风险越来越高。林地 PD 值起伏较大,近几年受干扰程度呈现逐步增加趋势。由图 2d 可知,草地、建设用地的聚集度呈持续上升趋势,而水域和耕地在 2015—2020 年呈下降趋势。意味着这 5 年水域和耕地斑块聚集度越来越差,需要对湿地和耕地

进一步整合,加强湿地建设。

2.2.2 景观水平指数的湿地景观格局演变

通过计算研究区域景观水平指数分析哈尔滨段松花江湿地景观格局演变规律,结果见图 3。由图 3 可知,2000—2020 年斑块数量(NP)与景观形状指数(LSI)急剧上升,变化趋势相近,表明哈尔滨松花江区域整体景观特点呈破碎化加剧状态,斑块边缘不规则度越来越强,与人类频繁干预湿地景观发展有关。

根据图 3 还可知:香农多样性指数(SHDI)在 2005—2010 年明显上升且迅速,表明在该时间段,研究区斑块之间景观异质性较强、连通性下降,但整体上的景观丰富度增加。2000—2015 年期间,蔓延度指数(CONTAG)急剧下降,2015—2020 年间回升,说明不同斑块连通性较差,但通过近几年的人工干预和规划,连通性趋于优化。

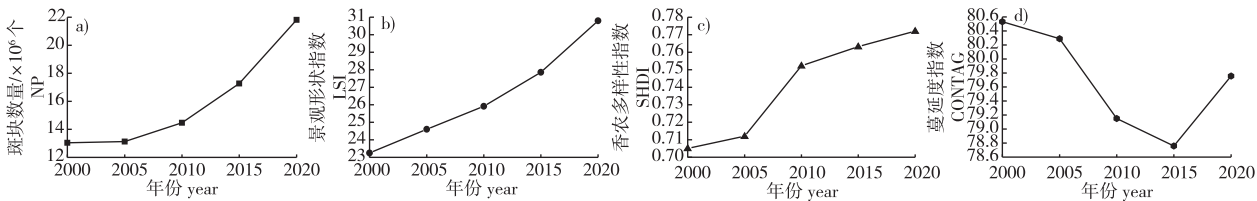


图 3 2000—2020 年哈尔滨段松花江湿地景观水平的指数变化

Fig. 3 Index changes in landscape level of Songhua River wetland in Harbin from 2000 to 2020

2.3 哈尔滨段松花江湿地变化驱动因素分析

利用 SPSS 26.0 对选取的 8 个指标因子进行主成分分析,结果发现共有 3 个主成分特征值大于 1。其中,第 1 主成分的初始特征值为 4.554 (表

3),解释总方差贡献率百分比为 56.930%,第 2 与第 3 主成分解释总方差贡献率分别为 19.526%和 12.667%,前 3 个主成分解释总指标信息的 89.123%以上,因此把前 3 项作为主成分因子。

表 3 指标特征值与方差贡献率

Table 3 Characteristic values and variance contribution rates of indicators

主成分 composition	初始特征值 initial eigenvalue			提取载荷平方和 the sum of the extracted load squares		
	总计 total	方差百分比/% percentage of variance	累积百分比/% cumulative percentage	总计 total	方差百分比/% percentage of variance	累积百分比/% cumulative percentage
PC1	4.554	56.930	56.930	4.554	56.930	56.930
PC2	1.562	19.526	76.456	1.562	19.526	76.456
PC3	1.013	12.667	89.123	1.013	12.667	89.123

2.3.1 城市经济发展因素

3 个主成分通过最大方差法进行正交旋转,得到因子载荷矩阵(表 4)。由表 4 可知,第 1 主成分上有 3 个驱动因子载荷超过了 0.8,其中 M_1 (地区生产总值)和 M_6 (人口密度)荷载超过了 0.9, M_5 (城镇化率)荷载 0.832,主要反映了城市经济发展水平,表明城市经济、建设发展与人口是影响哈尔滨松江湿地景观格局重要因素,占据主导地位。

2000—2020 年,地区生产总值从 830.1 亿元增长至 5 135.2 亿元,人口密度则从 176 人/km² 增长为 178.7 人/km²,城镇化率从 46.9%增至 55.7%,建设用地面积增长 97.1 km²。由此可以判断,随着经济发展,哈尔滨地区非农业人口逐渐增加,城镇化程度不断提高,导致城市不断向外扩张,进一步威胁周边地区湿地生态资源。因此城市经济发展是影响哈尔滨松花江景观格局的重要因素。

表4 主成分因子载荷矩阵
Table 4 Principal component factor load matrix

因素 factor	主成分 components		
	PC1	PC2	PC3
M_1	0.933	0.110	0.333
M_4	-0.927	-0.285	0.182
M_6	0.918	0.133	-0.192
M_5	0.832	-0.098	0.408
M_8	0.641	0.361	0.333
M_7	-0.347	0.857	0.041
M_2	-0.649	0.726	0.123
M_3	0.580	0.223	-0.733

2.3.2 气候因素

第2主成分中 M_7 (年平均降水量)、 M_2 (第一产业增加值)、 M_8 (年平均气温)、 M_3 (第二产业增加值)均为正值,分别为0.857、0.726、0.361、0.223,作为第2成分主要驱动因子,贡献率达19.526%。其中 M_7 与 M_8 载荷大于 M_2 与 M_3 ,可将第2主成分归纳为气候因素。根据图4a结合表1发现,相较于2000年,2005年平均降水量增长到593.7 mm,因年平均气温上升,年蒸发量高达871.4 mm,导致水域、湿地面积萎缩。整体来看,2000—2020年,研究区年降水量总体呈上升趋势,降水增多,是

偏丰水期;年平均气温表现为高一低一高的变化,总体呈平缓上升的趋势。因此,降水充足、暖湿化加剧,是影响哈尔滨段松花江湿地景观格局重要因素。

2.3.3 产业结构因素

第3主成分中, M_3 (第二产业增加值)呈负值(-0.733),说明 M_3 驱动影响较小; M_2 (第一产业增加值)与 M_4 (第三产业增加值)的驱动因子为正值,表明 M_2 与 M_4 对哈尔滨段松花江演变有一定影响。从图4b也可看出,2000—2018年,第三产业增加值呈快速上升趋势,第二产业增加值自2011年逐渐下降,缺乏增长动力。农、林、牧、渔作为第一产业的核心,一直是影响哈尔滨段松花江湿地景观格局的重要因子,但第三产业的兴起,旅游业不断兴盛,也逐渐影响到哈尔滨段松花江湿地景观格局。

3 讨论

影响哈尔滨段松花江湿地变化因素复杂多样。一般情况下,坡度、坡向、水文、气候是景观格局变化自然驱动因素^[20],气候变化因素往往能在短时间内影响景观格局变化,占据主导作用;人口、城市扩张、政策、产业等方面的因素与景观格局变化越来越密切^[21]。2005—2010年是哈尔滨段松花江湿地景观格局变化最大的时间段。这个时期,松花江大顶子山航电枢纽工程正式开工,2010年12月竣工,随着大坝的不断蓄水,水位比原来上升4~5 m,松花江两岸大面积的行洪滩地以及耕地被水面淹没,耕地面积急剧减少265.07 km²,水域湿地面积迅速增加241.65 km²。景观指数分析表明,耕地景观优势度迅速下降,生境破碎化加剧;水域斑块景观优势与之相反,景观优势上升明显,生境连通性、聚集性增强,湿地多集聚连片,“黑龙江呼兰河湿地自然保护区”便因此立项。2005—2010年间耕地与水域互相转化最为频繁,也是保护湿地与保护耕地最为矛盾的时间段。2000—2020年,除了耕地,林地、草地、建设用地、其他用地、水域均不同程度增长。自2002年起哈尔滨市开展“退耕还林还草还湿”工作^[22],林地、草地、水域面积同比增长均超过100%。2004年2月,经国务院批准,哈尔滨松北区正式设立,由原7个区,调整为8个区。哈尔滨城市化的扩张,旅游基础设施建设极大地挤占了沿江部分水域(包括湿地)空间,成片的湿地沼泽、耕地被分割成大小不一的斑块^[23-24],从20年来建设用地面积增长数据以及在主成分分析中

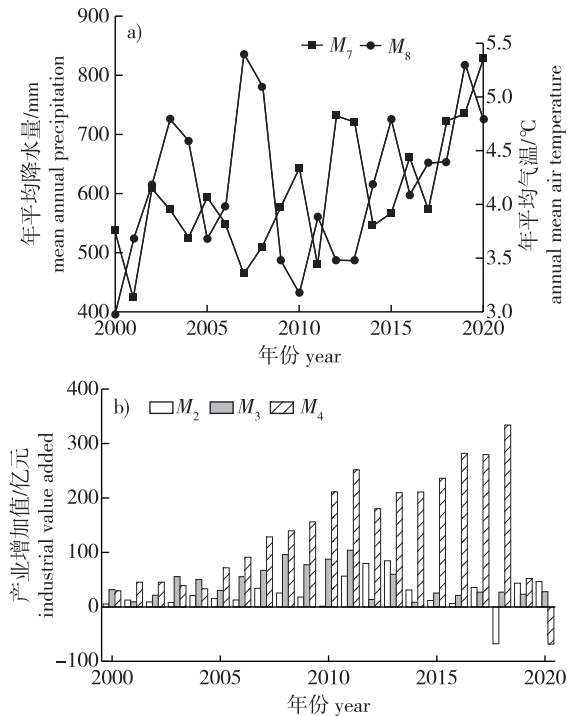


图4 2000—2020年哈尔滨松花江湿地气候与产业增加值
Fig. 4 Climate and industrial added value from of Songhua River wetland in Harbin 2000 to 2020

也印证了这一点。当前,哈尔滨市在国土空间规划中存在着基本农田红线与生态保护红线相互交叉的现象,耕地占补平衡政策实施不到位^[25],耕地面积呈一直下降状态。因此,保护耕地面积红线刻不容缓。景观指数分析表明,哈尔滨段松花江湿地景观异质性不断增强,斑块破碎化趋于严重,人类的干扰程度不断加深,各种影响因素的叠加,造成当前哈尔滨段松花江湿地生态保护与耕地保护矛盾突出的局面。基于以上分析,针对湿地保护与耕地保护提出相关建议:

1)科学合理划定湿地保护红线。首先,建立湿地生态评价指标体系是实现湿地保护和补充耕地有效管理的前提。其次,明确湿地保护和补充耕地资源的位置和功能,将自然湿地占比较高且集中连片的地区划定为湿地核心保护区与缓冲区。该区域应坚决贯彻退耕还湿政策,严禁大规模开发利用,以维持湿地生态系统的稳定性和完整性。最后,红线划定应尽量使湿地斑块集中连片,提高斑块连通性,为维护生物多样性提供生存根基。

2)加强耕地水土流失治理,完善耕地占补平衡,推进盐碱地等耕地后备资源综合利用。首先,耕地水土流失应实行“三治”结合,即将坡耕地、侵蚀沟、土壤风蚀治理相结合。对于丘陵地带和漫川漫岗区,应积极采取修筑梯田、地埂植物带、可耕地埂、等高耕作、深松等水土保持措施。同时,科学规划防护林和导排水体系,完善蓄水、导水、排水等水土保持设施。禁止开垦 15°以上的坡地种植农作物,对已经开垦种植农作物的 15°以上坡地,应当按期制定退耕还林、还草计划,并予以实施。其次,完善耕地占补平衡政策。应加强对增补耕地后期监管力度,建立监测机制,对补充耕地项目进行质量评估,并对不合格项目建立处罚机制。联合相关政府部门,做好共同责任机制,明确各部门职责,为落实耕地占补平衡提供有力支撑。还要加强农田基础设施建设,完善农田灌溉体系;推进耕地整治建设,实施旱地格田化、水田条田化,加强耕地平整;推进补充耕地道路体系建设,防止因缺乏种植条件引起的抛荒行为。第三,结合第3次全国国土调查等相关数据成果,全面摸清区域范围内盐碱地等后备耕地资源分布,通过如改良土壤、节水灌溉等技术手段,大力推进绿色生产,建设高标准农田,提高耕地利用效率。

3)进一步平衡好湿地与耕地关系。湿地保护与耕地保护的矛盾,本质上是复杂的区域农业与生态边界问题。对当前哈尔滨段松花江流域内湿地

与耕地分布应进行多种学科领域评估,如环境效益、经济效益、生态价值等,权衡好土地功能转换后的产出价值,提出新的国土空间规划方案。

4)加强跨部门合作,建立动态预警机制。通过构建耕地与湿地保护红线动态监测体系,分析耕地和湿地的量化变化趋势,可以对未来耕地和湿地的保护和管理提供更准确的预测信息。该监测体系支持不同部门之间的数据共享和交换,互通信息资源,进而提高对耕地和湿地保护、管理工作的科学性和精准性。

近几年国内对于哈尔滨段松花江流域生态规划研究较少,多以小地块、小区域^[26]为主,研究方向也常在生态修复^[27]、水质^[28]、生物^[29]方面,针对生态规划方面有一定的局限性。本研究基于实地规划项目,研究范围较广,边界较精确,也有一定的实践意义。从宏观上分析了哈尔滨段松花江湿地景观结构与演变特征,将主成分分析法与驱动因子数据变化相结合,深入探讨了哈尔滨段松花江湿地景观格局变化驱动因素。但该研究仅仅只是从景观指数角度来分析现状,有一定的局限性。对于生态敏感性、生态网络以及生态廊道方面,需进一步探索,为哈尔滨段松花江湿地保护规划提供更多的数据支撑和规划参考。

参考文献(reference):

- [1] AN S Q, VERHOEVEN J T A. Wetland functions and ecosystem services: implications for wetland restoration and wise use[M]// Wetlands: Ecosystem Services, Restoration and Wise Use. Springer, Cham: Springer, 2019: 1-10. DOI: 10.1007/978-3-030-14861-4_1.
- [2] ABALO M, BADABATE D, FOUSSENI F, et al. Landscape-based analysis of wetlands patterns in the Ogou River basin in Togo (west Africa) [J]. Environ Chall, 2021, 2: 100013. DOI: 10.1016/j.envc.2020.100013.
- [3] DUKU E, DZORGBE MATTAH P A, ANGNURENG D B. Assessment of wetland ecosystem services and human wellbeing nexus in sub-Saharan Africa: empirical evidence from a socio-ecological landscape of Ghana [J]. Environ Sustain Indic, 2022, 15: 100186. DOI: 10.1016/j.indic.2022.100186.
- [4] XU X, LU X G, WANG Q, et al. Exploring conservation strategies for oriental white stork fledglings (*Ciconia boyciana*) across the breeding wetland landscape: hints from tracking movement patterns [J]. Glob Ecol Conserv, 2021, 26: e01531. DOI: 10.1016/j.gecco.2021.e01531.
- [5] CHEN X, ZHANG M L, ZHANG W C. Landscape pattern changes and its drivers inferred from salt marsh plant variations in the coastal wetlands of the Liao River estuary, China [J]. Ecol Indic, 2022, 145: 109719. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.109719.
- [6] CHEN K X, CONG P F, QU L M, et al. Annual variation of the landscape pattern in the Liao River delta wetland from 1976 to 2020 [J]. Ocean Coast Manag, 2022, 224: 106175. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2022.106175.
- [7] 易阿岚,王钧.上海市湿地景观格局时空演变与驱动机制的

- 化研究[J].生态学报,2021,41(7):2622-2631. YI A L, WANG J. Quantitative study on spatio-temporal evolution and mechanisms of wetland landscape patterns in Shanghai[J]. Acta Ecol Sin, 2021, 41(7): 2622-2631.
- [8] 高祖桥,白永平,周亮,等.宁夏沿黄城市带湿地景观格局演变特征及驱动力[J].应用生态学报,2020,31(10):3499-3508. GAO Z Q, BAI Y P, ZHOU L, et al. Characteristics and driving forces of wetland landscape pattern evolution of the city belt along the Yellow River in Ningxia, China[J]. Chin J Appl Ecol, 2020, 31(10): 3499-3508. DOI: 10.13287/j.1001-9332.202010.013.
- [9] 郭嵘,高野,武彤.基于三线划定的哈尔滨生态安全格局构建研究[J].低温建筑技术,2021,43(2):10-13. GUO R, GAO Y, WU T. Construction of Harbin ecological security pattern based on the three-line planning[J]. Low Temp Archit Technol, 2021, 43(2): 10-13. DOI: 10.13905/j.cnki.dwjz.2021.02.003.
- [10] 罗遵兰,赵志平,孙光,等.松花江流域湿地生态系统健康评价[J].水土保持研究,2015,22(1):105-109,114,2. LUO Z L, ZHAO Z P, SUN G, et al. Assessment of wetland ecosystem health in Songhua River basin[J]. Res Soil Water Conserv, 2015, 22(1): 105-109, 114, 2. DOI: 10.13869/j.cnki.rswc.2015.01.021.
- [11] 鞠琴,刘酌希,王哲,等.松花江流域土地利用格局演变及预测[J].水文,2022,42(6):99-104. JU Q, LIU Z X, WANG Z, et al. Evolution and prediction of land use pattern in Songhuajiang River basin[J]. J China Hydrol, 2022, 42(6): 99-104. DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20210209.
- [12] 梁芳源,梁晨,李晓文,等.基于系统保护规划的松花江流域湿地优先保护格局模拟研究[J].湿地科学,2022,20(1):56-64. LIANG F Y, LIANG C, LI X W, et al. Simulated priority protection pattern for the wetlands in Songhua River basin based on systematic conservation planning[J]. Wetl Sci, 2022, 20(1): 56-64. DOI: 10.13248/j.cnki.wetlandsci.2022.01.006.
- [13] 刘侨博,韩晓盈,李爽,等.城市湿地的生态环境保护问题探讨:以哈尔滨市为例[J].环境科学与管理,2015,40(6):147-150. LIU Q B, HAN X Y, LI S, et al. Ecological environment protection problems and suggestions of urban wetland: a case study of Harbin[J]. Environ Sci Manag, 2015, 40(6): 147-150. DOI: 10.3969/j.issn.1673-1212.2015.06.035.
- [14] 冯富娟,穆立嵩,陶雷,等.哈尔滨城市湿地植物资源的调查[J].东北林业大学学报,2010,38(5):119-121. FENG F J, MU L Q, TAO L, et al. Plant resources of urban wetlands in Harbin[J]. J Northeast For Univ, 2010, 38(5): 119-121. DOI: 10.13759/j.cnki.dlxb.2010.05.007.
- [15] 陈文波,肖笃宁,李秀珍.景观指数分类、应用及构建研究[J].应用生态学报,2002,13(1):121-125. CHEN W B, XIAO D N, LI X Z. Classification, application, and creation of landscape indices[J]. Chin J Appl Ecol, 2002, 13(1): 121-125.
- [16] 李秀珍,布仁仓,常禹,等.景观格局指标对不同景观格局的反应[J].生态学报,2004,24(1):123-134. LI X Z, BU R C, CHANG Y, et al. The response of landscape metrics against pattern scenarios[J]. Acta Ecol Sin, 2004, 24(1): 123-134.
- [17] 布仁仓,胡远满,常禹,等.景观指数之间的相关分析[J].生态学报,2005,25(10):2764-2775. BU R C, HU Y M, CHANG Y, et al. A correlation analysis on landscape metrics[J]. Acta Ecol Sin, 2005, 25(10): 2764-2775. DOI: 10.3321/j.issn:1000-0933.2005.10.044.
- [18] 王昌海,崔丽娟,毛旭峰.湿地退化的人为影响因素分析:基于时间序列数据和截面数据的实证分析[J].自然资源学报,2012,27(10):1677-1687. WANG C H, CUI L J, MAO X F. Study on human factors in wetland degradation: experimental analysis based on diachronic and synchronic data[J]. J Nat Resour, 2012, 27(10): 1677-1687. DOI: 10.11849/zrzyxb.2012.10.006.
- [19] 冯坤,颜长珍,谢家丽,等.1975—2015年鄂尔多斯市沙漠化的时空演变过程[J].中国沙漠,2018,38(2):233-242. FENG K, YAN C Z, XIE J L, et al. Spatial-temporal evolution of aeolian desertification process in Ordos City during 1975-2015[J]. J Desert Res, 2018, 38(2): 233-242. DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2018.00002.
- [20] 陈启慧,纪璐,李琼芳,等.伊犁河三角洲水资源条件变化对景观格局演变的影响[J].水资源保护,2024,40(2):90-99. CHEN Q H, JI L, LI Q F, et al. Influence of water resources condition changes on landscape pattern evolution in the Ili River Delta[J]. Water Resour Prot, 2024, 40(2): 90-99.
- [21] 傅豪,徐超伟,王凌越,等.历史视角下的湿地演变与恢复保护:以永年洼为例[J].水利学报,2018,49(5):619-627. FU H, XU C W, WANG L Y, et al. Wetland evolution and restoration from historical perspective: a case study of Yongnian Lake[J]. J Hydraul Eng, 2018, 49(5): 619-627. DOI: 10.13243/j.cnki.slxb.20170454.
- [22] 韩宇平,朱星源,穆文彬.快速城镇化地区土地利用景观格局演变及预测研究[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2023,44(4):92-101. HAN Y P, ZHU X Y, MU W B. Research on the evolution and prediction of land use landscape pattern in rapid urbanization areas[J]. J N China Univ Water Resour Electr Power (Nat Sci Ed), 2023, 44(4): 92-101. DOI: 10.19760/j.ncwu.zk.2023049.
- [23] 杨旭,李文哲,王继富,等.哈尔滨城市化进程中对城市湿地的影响研究[J].哈尔滨师范大学自然科学学报,2011,27(5):91-94. YANG X, LI W Z, WANG J F, et al. Study on urban wetland effects and strategy for urbanization process in Harbin[J]. Nat Sci J Harbin Norm Univ, 2011, 27(5): 91-94. DOI: 10.3969/j.issn.1000-5617.2011.05.027.
- [24] 桑子轩.哈尔滨松江湿地研究现状及展望[J].黑龙江水利,2017,3(2):6-10. SANG Z X. Current situation and prospect of Songjiang Wetland research in Harbin[J]. Heilongjiang Water Resour, 2017, 3(2): 6-10.
- [25] 于赢.哈尔滨市耕地占补平衡政策实施存在的问题及对策[D].哈尔滨:黑龙江大学,2021. DOI: 10.27123/d.cnki.ghlju.2021.001800. YU Y. Problems and countermeasures in the implementation of the balance policy of farmland occupation and compensation in Harbin[D]. Harbin: Heilongjiang University, 2021.
- [26] 李玲玲,刘梦莹,范兆祥.城市发展结构影响下的滨水空间优化设计策略研究:以哈尔滨市松花江滨水区为例[J].建筑与文化,2018(12):79-81. LI L L, LIU M X, FAN Z X. Study on the optimization de-sign strategy of waterfront space under the influence of urban development structure: taking the Songhua River waterfront in Harbin as an example[J]. Archit Cult, 2018(12): 79-81. DOI: 10.3969/j.issn.1672-4909.2018.12.026.
- [27] 张丽.哈尔滨松花江城区段堤岸生态修复初探[J].水利规划与设计,2015(4):1-3,44. ZHANG L. Preliminary study on ecological restoration of banks in urban section of Songhua River in Harbin[J]. Water Resour Plan Des, 2015(4): 1-3, 44. DOI: 10.3969/j.issn.1672-2469.2015.04.001.
- [28] 杨尚乐,王旭明,王伟华,等.松花江哈尔滨段及阿什河抗生素的分布规律与生态风险评估[J].环境科学,2021,42(1):136-146. YANG S L, WANG X M, WANG W H, et al. Distribution and ecological risk assessment of antibiotics in the Songhua River basin of the Harbin section and Ashe River[J]. Environ Sci, 2021, 42(1): 136-146. DOI: 10.13227/j.hjks.202005170.
- [29] 马煜,陆欣鑫,范亚文.松花江哈尔滨段浮游植物群落格局及其与环境因子的相关性[J].生态学报,2021,41(1):224-234. MA Y, LU X X, FAN Y W. Correlation between phytoplankton community patterns and environmental factors in Harbin section of the Songhua River[J]. Acta Ecol Sin, 2021, 41(1): 224-234. DOI: 10.5846/stxb201909262022.