DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2024.02.035

宋小梅,常晓丽,丁辰.近30年根河流域湿地景观格局变化及驱动因素分析[J].水土保持学报,2024,38(2):294-303.

SONG Xiaomei, CHANG Xiaoli, DING Chen. Analysis of the changes in wetland landscape pattern and driving factors in the genhe basin over the past 30 years[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2024, 38(2): 294-303.

# 近30年根河流域湿地景观格局变化及驱动因素分析

宋小梅,常晓丽,丁辰

(湖南科技大学地球科学与空间信息工程学院,湖南 湘潭 411100)

摘 要:[目的]为了解根河流域湿地时空变化情况,明晰气候变化和土地利用变化对湿地景观格局的影响。[方法]过分析根河流域 1990-2019 年间的湿地范围变化,再结合期间的气候变化状况来探究流域内湿地景观格局变化的驱动因素。[结果] 30 年,根河流域湿地面积减少 31.89%,斑块数量增加 3.74%,景观破碎度指数增加 4.48,流域湿地面积总体退化显著,流域湿地斑块数量总体有所增多。1990-2004 年流域湿地呈现出显著退化趋势(p<0.05),湿地面积与年降水量存在显著正相关关系,景观破碎度指数与年降水量存在显著负相关,推断年降水量是导致根河流域湿地景观格局发生显著变化的主要因素;2004-2019 年流域湿地退化趋势不显著(p>0.05),年平均气温呈现出不显著上升趋势(p>0.05),景观破碎度指数与年平均气温存在显著负相关,可能是气温升高导致流域内浅层多年冻土融化而将湿地连片,降低期间湿地破碎程度。[结论] 究结果对维护根河流域湿地生态系统的多样性与稳定性、促进湿地与非湿地间的协调互融性、保障湿地资源的可持续发展等具有重要的意义。

关键词:根河流域;湿地;景观格局;气候变化

中图分类号: X321; P901

文献标识码:A

文章编号:1009-2242-(2024)02-0294-10

# Analysis of the Changes in Wetland Landscape Pattern and Driving Factors in the Genhe Basin Over the Past 30 Years

SONG Xiaomei, CHANG Xiaoli, DING Chen

(School of Earth Sciences and Spatial Information Engineering , Hunan University of Science and Technology , Xiangtan , Hunan 411100 , China)

Abstract: [Objective] In order to understand the spatiotemporal changes in the wetland of the Genhe Basin, the impacts of climate change and land use change on wetland landscape pattern was clarified. [Methods] The driving factors of changes in wetland landscape pattern in the Genhe Basin between 1990 and 2019 were investigated by analyzing the changes in wetland extent and combining them with climate change during the same period. [Results] The results showed that over the past 30 years, the area of wetlands in the Genhe Basin had decreased by 31.89%, the number of patches had increased by 3.74%, and the landscape fragmentation index had increased by 4.48. The overall degradation of wetland areas in the watershed was significant, while the overall number of wetland patches in the watershed had increased. From 1990 to 2004, wetland areas in the watershed showed a significant degradation trend (p < 0.05). There was a significant positive correlation between wetland areas and annual precipitation, while there was a significant negative correlation between landscape fragmentation index and annual precipitation. It was inferred that annual precipitation was the main factor causing significant changes in wetland landscape patterns in the Genhe Basin. From 2004 to 2019, the degradation trend of wetlands in the watershed was not significant (p > 0.05), and the average annual temperature showed a non-significant increasing trend (p > 0.05). There was a significant negative correlation between landscape fragmentation index and average annual temperature,

收稿日期:2023-09-28

修回日期:2023-11-08

录用日期:2023-12-11

网络首发日期(www.cnki.net):2024-03-06

**资助项目:**国家自然科学基金项目(41971079,41671059);湖南省教育厅优秀青年项目(22B0517)

第一作者:宋小梅(1996—),女,在读硕士研究生,主要从事冻土环境研究。E-mail: songxiaomei@mail.hnust.edu.cn

通信作者:常晓丽(1983—),女,副教授,硕士生导师,主要从事冻土资源与气候变化研究。E-mail: Changxiaoli2002@163.com

which might be due to the melting of shallow permafrost in the watershed due to rising temperatures, leading to a decrease in wetland fragmentation during this period. [Conclusion] The research results are of great significance for maintaining biodiversity and stability of wetland ecosystems in the Genhe Basin, promoting coordinated and interactive wetland-dryland relationships, and ensuring sustainable development of wetland resources.

Keywords: Genhe Basin; wetlands; landscape pattern; climate change

Received: 2023-09-28 Revised: 2023-11-08 Accepted: 2023-12-11 Online(www.cnki.net): 2024-03-06

湿地是多水的环境下由负地貌或岸边带及其与水体、土壤和生物相互作用所形成的集合体,是地球表层生态系统的重要组成部分,与森林和海洋并列为全球三大生态系统[1-2],与人类生活息息相关。湿地生态系统在维持生物多样性、调节局地气候、增加碳"汇"、净化水质等方面具有着重要的作用,拥有"地球之肾""生物超市"等美誉[2-3]。空间上大小不一、形状各异、排列不同的湿地景观斑块的分布状况称为湿地景观格局,它是多种生态过程与湿地生态系统在不同尺度上相互作用的结果[4]。湿地景观格局变化对物质迁移转化及能量的流动等生态过程有重要的影响[5]。但是近30年来,随着人类社会的迅速发展和全球气候变暖加剧,湿地面积正在大幅度减少[5-8],湿地生态系统的结构与功能发生较大的变化[5]。

目前湿地景观格局动态变化特征及其驱动因素 已经成为湿地生态学领域研究的热点性问题[5]。有 关湿地生态系统的研究主要集中在湿地资源与保 护[9]、水文与水质研究[10]、环境影响评价与风险管 理[11]等方面。国内外众多研究[7-8,12-19]表明,社会经 济发展与农业发展是北半球温带地区湿地景观格局 变化的主要因素,其次是降水量的减少[20]。我国东 北地区的沼泽湿地是在全新世早期气候暖湿的条件 下形成的,全新世晚期气候冷湿时又进一步扩大[15], 之后湿地景观格局变化则是气候变化与人类活动的 共同作用的结果[14]。近35年来,东北地区沼泽湿地 不断退化,斑块破碎化程度明显提升[1]。遥感监测显 示 1990—2013 年东北湿地面积损失严重[17],湿地总 面积呈现下降趋势,其中人为破坏是东北地区湿地面 积下降的主要影响因子[16]。现有研究主要从宏观角 度分析湿地生态系统的变化趋势和驱动因素,缺乏对 具体流域的微观分析。

根河流域地处大兴安岭西坡北寒温带地区,区内孕育了重要的湿地资源<sup>[21-22]</sup>,属于亚洲第一湿地一额尔古纳湿地的一部分。这里拥有森林、沼泽、河流等多种生态系统,森林与湿地交错分布,均处于原始或自然状态,是天然兴安落叶松、白桦树等植物的生长地及驯鹿、猞猁等动物和众多东亚水禽的繁殖地与栖

息地<sup>[6]</sup>,是我国保持原生状态最完好、最典型的寒温带湿地生态系统之一<sup>[23]</sup>。根河流域纬度偏高,区内人口稀疏,对于湿地的研究主要集中在湿地资源与保护等方面<sup>[24]</sup>,对于根河流域湿地生态系统而言,其景观格局动态变化特征可能与整个东北地区有所不同,同时其驱动因素也有所差异。本文将着重分析根河流域 1990—2019 年的湿地范围变化特征,再结合期间的气候变化状况来探究湿地景观格局对全球气候变化的响应。这对维护根河流域湿地生态系统的多样性与稳定性、促进湿地与非湿地间的协调互融性、保障湿地资源的可持续发展以及减少碳"源"增加碳"汇"以实现碳达峰、碳中和具有重要的意义。

# 1 研究区概况与研究方法

#### 1.1 研究区概况

根河(119°—123°E,49°—51°N)属于黑龙江流域额尔古纳水系,是额尔古纳河的一级支流[11],发源于大兴安岭北段西坡伊吉奇山西南侧(图 1)。

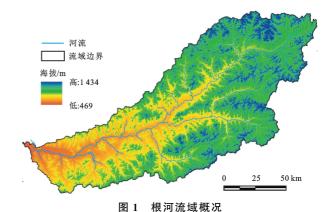


Fig. 1 Overview of the Genhe basin

根河流域全长 415 km,河宽一般在 20 m,河流 平均深 0.8 m,流域面积为 15 837 km²,海拔1 241 m,流域内地势自东北向西南逐渐降低,主要支流有 图里河、库里河、依根河、约安里河等[15],河流自东北向西南依次流经根河市、额尔古纳市与陈巴尔虎旗,最终汇入额尔古纳河。根河流域以地带性土壤棕色针叶林土为主,土壤地带性结构简单。河流两岸分布有黑钙土、草甸土等土壤。该区位于欧亚大陆多年冻

土南缘,属不连续多年冻土带<sup>[25]</sup>。根河流域属于寒温带大陆性季风气候区,大陆性气候特征明显。流域内多年平均气温为一3.04 ℃,多年平均降水量为412.75 mm,降水多集中分布在7—8月,无霜期80~90天,年平均风速2.1 m/s<sup>[14]</sup>。根河流域森林资源丰富,建群种为兴安落叶松,林下灌木及草本植物较为丰富。根河流域内湿地资源丰富,是我国重要的湿地生态功能区。

#### 1.2 数据来源

本研究所制作的根河流域范围图像基于 30 m×30 m分辨率的 DEM 高程数据,通过水文分析提取出根河流域范围,该高程数据来源于地理空间数据云(https://www.gscloud.cn)。本研究所用的土地利用分类图像基于 30 m×30 m分辨率的武汉大学全国土地覆盖逐年图像数据,数据所采用的第一标准纬线与第二标准纬线分别为 25°与 47°,采用的坐标系与投影系统为 WGS84 与 albers 投影。

本研究所利用的气象数据基于根河流域内额尔古纳河、根河、图里河 3 个国家一级气象站点 1990—2019 年平均气温与降水量的逐日观测数据,该气象数据来源于中国国家气象信息中心(http://www.nsmc.cma.gov.cn)(表 1)。但是 1990—2000 年根河站的年降水量与年平均气温数据缺失,1999 年、2016—2019 年漠河站年降水量数据缺失。

表 1 数据来源与处理方法

Table 1 Data resource and processing methods

数据类型	空间分辨率	来源	处理方法	
土地利用	20 \/20	VANC 55 [26]	水文分析、土地利	
数据	30 m×30 m	YANG 等 <sup>c</sup>	用转移矩阵	
DEM 数据	30 m×30 m	https://www.	水文分析	
		gscloud.cn	<b>小</b> 又万切	
气象数据	_	http://www.	克里金插值、均值	
		nsmc.cma.gov.cn	分析、趋势拟合	

#### 1.3 研究方法

本研究通过土地利用类型图像提取出 1990—2019 年逐年的湿地范围,根据现有研究<sup>[16]</sup>调查显示,大兴安岭地区湿地集中分布在海拔 900 m 以下的范围内。依据实地调查结果表明,在根河流域海拔 810

m以下的草地区域内分布有大量的塔头湿地,因此本研究将原分类中海拔810 m以下的草地区纳入湿地区的范畴,同时根据湿地的定义,本研究将水体区也纳入湿地区的范畴。

湿地景观破碎度指数是湿地研究中常用的指标之一,可以反映湿地景观的空间异质性,它与自然资源的保护密切相关<sup>[27-28]</sup>。斑块变化率可以定量湿地景观的动态变化,即斑块数量、大小、形状等的变化<sup>[29]</sup>。为明确根河流域湿地动态变化特征,本研究以1990—2019年根河流域湿地为研究对象,通过景观破碎度指数(公式1)、斑块变化率(公式2)分析根河流域湿地景观格局的动态变化,依据气象数据对根河流域池中降水量和年平均气温进行分析,结合相关系数检验分析根河流域湿地面积、景观破碎度指数与年降水量、年平均气温之间的相关性,最后得出根河流域湿地景观格局变化的主要影响因素。

$$C_i = \frac{N_i}{A_i} \tag{1}$$

式中: $C_i$ 为湿地景观破碎度指数(个/km²); $N_i$ 为湿地斑块数量(个); $A_i$ 为湿地景观面积(km²)。

$$\Delta N = \frac{N_i - N_j}{N_i} \times 100\%$$
 (2)

式中: $\Delta N$  为湿地斑块变化率(%); $N_i$  为第 i 年湿地斑块数量(个); $N_j$  为第 j 年湿地斑块数量(个),其中i 值>j 值。

# 2 根河流域湿地变化趋势与气候变化 特征

#### 2.1 根河流域湿地景观格局及其变化趋势

根据武汉大学 1990—2019 年土地利用类型分类 图像结合实地考察,提取到根河流域逐年的湿地分布,图 2 为 1990 年、2000 年、2010 年与 2019 年分布状况。从图 2 可以看出,根河流域中湿地主要分布在根河干流两侧,绝大部分湿地分布于根河中下游地区;且流域湿地动态变化较为显著,与 1990 年相比,2019 年湿地面积显著减少。根河流域湿地面积在1990—2019 年间总体减少,其中 2010 年为根河流域湿地面积特征值年份,其面积达到最小值(图 3)。

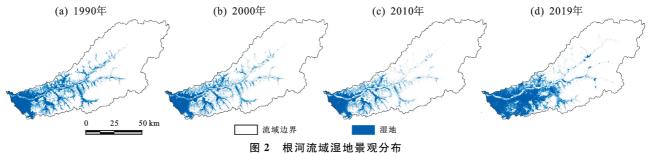


Fig. 2 Landscape distribution of wetlands in the Genhe Basin http://stbcxb.alliournal.com.cn

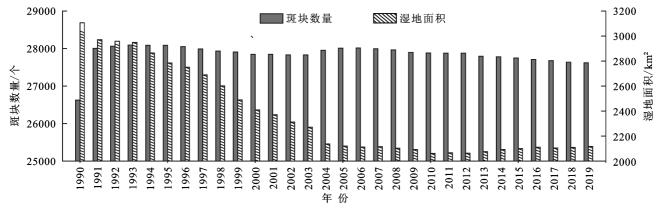


图 3 1990-2019 年根河流域湿地景观格局变化

Fig. 3 Changes in the landscape pattern of wetlands in the Genhe Basin from 1990 to 2019

通过统计 1990—2019 年未变化湿地与已退化湿地的面积得出,与 1990 年相比,2019 年时根河流域湿地景观面积由 3 107.06 km²减小为 2 116.11 km²,总计减少 990.95 km²,湿地面积退化约 31.89%(表2)。随着湿地景观的不断退化,根河流域湿地斑块数量总体呈现上升趋势。与 1990 年相比,2019 年根河流域斑块数量总计增加 3.74%。湿地景观破碎度指数也呈现出波动式上升的趋势,与 1990 年相比,2019年的湿地景观破碎度指数增加 4.48,表明根河流域湿地景观总体上呈现退化和破碎化的趋势。

#### 表 2 1990 年与 2019 年根河流域湿地景观格局布局

Table 2 The layout of the wetland landscape pattern in the Genhe Basin in 1990 and 2019

年份	湿地	1990-2019 年	改化	1990—2019 年	景观破
	面积/	湿地面积	斑块 数量/个	湿地斑块	碎度指数/
	$\mathrm{km}^2$	退化率/%	奴里/ 1	变化率/%	$(\uparrow \cdot km^{-2})$
1990	3 107.06	01.00	26 624	0.74	8.57
2019	2 116.11	31.89	27 620	3.74	13.05

#### 2.2 根河流域湿地分布区降水与气温时空变化特征

近30年根河流域年降水量总体呈现下降趋势,但年降水量不存在显著变化差异(p>0.05)(图 4)。1990—2019年根河流域年降水量多年平均值为412.8 mm,年降水量最低值发生于2007年,该年度年降水量为279 mm,年降水量峰值发生于2013年,该年度年降水量为741 mm。1990—2019年间,根河流域整体年降水量呈现出不显著的降低趋势(p>0.05),降低幅度约为10 mm/10 a,这与贺伟等[30]的研究结果相似。

总体来看,根河流域年降水量自西南向东北逐渐升高,下游地区年降水量低于根河流域上游地区。但是近30年间根河下游地区降水量呈下降趋势,约为0~20 mm/10 a;上游地区降水量却呈现略微上升的趋势,增速约为0~10 mm/10 a(图5)。

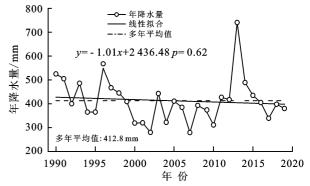


图 4 1990-2019 年根河流域年降水量时间变化趋势

Fig. 4 Temporal changes in annual precipitation in the Genhe Basin from 1990 to 2019

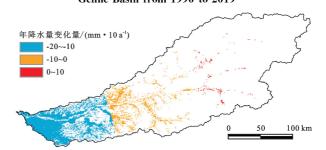


图 5 1990—2019 年根河流域年降水量空间变化

Fig. 5 Spatial changes in annual precipitation in the Genhe Basin from 1990 to 2019

近 30 年根河流域年平均气温总体呈现出上升趋势,年平均气温也不存在显著变化差异(p>0.05)(图 6)。1990—2019 年根河流域年平均气温为—3.04  $\mathbb{C}$ ,年平均气温最低值发生于 2012 年,该年度年平均气温为—4.13  $\mathbb{C}$ ,年平均气温峰值发生于 2015 年,该年度年平均气温为—1.78  $\mathbb{C}$ 。整体年平均气温呈现出不显著的增温趋势(p>0.05),增幅为 0.06  $\mathbb{C}$ /10 a,与代海燕等[ $\mathbb{S}^{1}$ ] 和吴金华等[ $\mathbb{S}^{2}$ ]的研究结果相似。

根河流域年平均气温同样自西南向东北逐渐降低,下游地区年平均气温高于根河流域上游地区。 1990—2019 年间上游地区增量为  $0.06\sim0.1~C/10$  a,下游地区年平均气温变化增量为  $0\sim0.06~C/10$  a

(图 7),即下游地区年平均气温变化增量低于上游地区年平均气温变化增量。

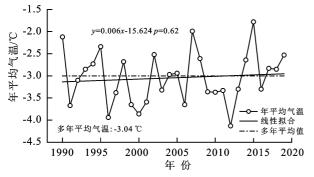


图 6 1990-2019 年根河流域年平均气温时间变化趋势

Fig. 6 Temporal changes in annual average temperature in the Genhe Basin from 1990 to 2019

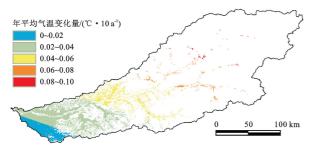


图 7 1990-2019 年根河流域年平均气温空间变化

Fig. 7 Spatial changes in annual average temperature in the Genhe Basin from 1990 to 2019

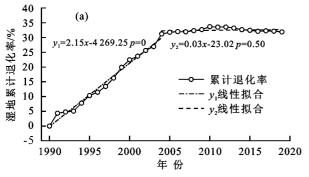


图 8 1990-2019 年根河流域累计退化率及景观破碎度指数

## Fig. 8 Cumulative degradation rate and landscape fragmentation index in the Genhe Basin from 1990 to 2019

1990—2019 年间根河流域土地利用类型的变化见表 3。从表 3 可以看出,30 年间退化的湿地主要转化为林地(70.03%)和耕地(28.84%),不透水面和裸地占极少数。也有部分耕地和林地转化为湿地,共计172.85 km²,这远小于退化为其他土地利用类型的湿地面积(1 163.8 km²)。因此,根河流域湿地面积总体呈减少退化趋势。从根河湿地及其与其他土地利用类型的转化图(图 9)来看,湿地转化为林地主要分布在根河流域北部的中上游区域,而湿地转化为耕地的部分和新增湿地均主要分布在根河流域南部的中下游区域。

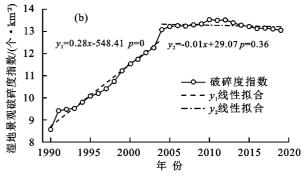
#### 3.2 根河流域湿地景观格局与气候变化的关系

由于 2004 年前后根河流域湿地面积退化速率与

## 3 根河流域湿地景观格局变化原因分析

# 3.1 根河流域湿地景观格局变化与土地利用类型转 化的关系

1990-2019 年大兴安岭西坡的根河流域湿地面 积减少 990.95 km²,退化约 31.89%,流域湿地斑块 数量增多3.74%,湿地景观破碎度指数增加4.48,表 明近 30 年根河流域湿地呈现出明显退化与斑块破碎 化的特征,这与王延吉等[1]的研究结果相近。从退化 速度(图 8)来看,1990-2004年间根河流域湿地生态 系统退化速度较快,累计退化率呈显著上升趋势 (p < 0.05)。2004—2019 年间,根河流域湿地生态系 统退化速度缓慢,累计退化率呈不显著上升趋势 (p>0.05)。根河流域湿地景观破碎度指数主要呈现 出上升趋势,1990-2004年间,根河流域湿地景观破 碎度呈上升趋势,且上升趋势显著(p < 0.05)。 2004—2019年间,根河流域湿地景观破碎程度有所 下降,但下降趋势不显著(p > 0.05)。这表明在 1990-2004年间,根河流域湿地呈现出明显的退化 及破碎化的特征,但2004-2019年间,根河流域湿地 退化趋势放缓,破碎化程度降低,表明根河流域湿地 在此期间受到的干扰影响较小。



湿地景观破碎度指数变化速率不同,为探究主要气象要素降水与气温对湿地景观格局的变化是否具有驱动作用,本研究分为1990—2004年、2004—2019年2个时间段对流域湿地面积(A)、湿地景观破碎度指数(C)、年降水量(P)与年平均气温(T)进行相关性检验(图 10)。

1990—2004 年间,流域湿地面积与流域年降水量显著正相关,即降水量减少时流域湿地面积也呈现出下降趋势;流域湿地面积与流域年平均气温不存在显著相关性,说明在此期间年平均气温对流域湿地面积的影响较小。流域湿地景观破碎度指数与流域年降水量呈显著负相关,即年降水量减少时湿地景观破碎程度增加;但与年平均气温不存在显著相关性,表

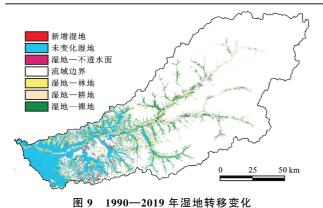
示在此期间年平均气温对湿地景观破碎程度的影响较小。2004—2019年间,流域湿地面积与年降水量、年平均气温的相关性都不显著,表明在此期间年降水量与年平均气温对流域湿地面积影响较小。流域湿

地景观破碎度指数与年平均气温呈现出较为显著的 负相关趋势,表示在此期间年平均气温升高会导致湿 地景观破碎程度降低,但湿地景观破碎度指数与年降 水量之间不存在显著相关性。

表 3 1990-2019 年土地利用变化转移矩阵

Table 3 Land use change transition matrix from 1990 to 2019

年份	土地利用				2019 年			
平份	类型	不透水面	耕地	林地	裸地	湿地	合计	面积净变化/km²
1990 年	不透水面	23.16	0.01	0.09	0	0.15	23.41	25.31
	耕地	6.70	666.06	58.05	0.12	162.63	893.56	139.09
	林地	6.00	30.97	2 637.15	0	10.04	2 684.16	826.18
	裸地	0.04	0	0	0.02	0.03	0.09	0.37
	湿地	12.82	335.61	815.05	0.32	1 943.26	3 107.06	-990.95
	合计	48.72	1 032.65	3 510.34	0.46	2 116.11	6 708.28	0



2004年、2004—2019年2个时间段对年降水量与年平均气温分别分析其变化趋势(图 11)。在1990—2004年间,根河流域年降水量呈现出显著的下降趋势(p<0.05),根河流域年平均气温呈现出不显著的下降趋势(p>0.05)。在此期间,流域湿地面积、湿地景观破碎度指数与年降水量呈现出显著正相关,流域湿地面积、湿地景观破碎度指数与年平均气温不存在显著相关性。

由于 2004 年为流域湿地面积与流域湿地景观破

碎度指数变化的特征节点,因此本研究分为1990-

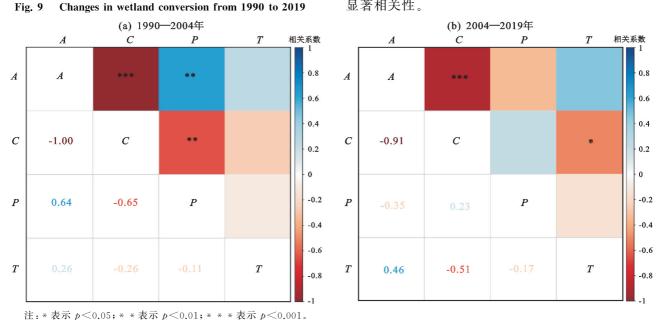


图 10 1990—2004年、2004—2019年相关系数检验

Fig. 10 Correlation coefficient tests for the years 1990—2004 and 2004—2019

从空间变化上看,根河流域上游地区湿地在 1990—2004年间退化较为严重,同期年降水量也呈 现出下降趋势,但年平均气温下降趋势不显著(图 12)。可以推断当年平均气温变化不显著时,年降水 量减少是根河流域湿地面积下降和湿地景观破碎程 度增加的重要因素。2004—2019年间根河流域湿地退化速率降低,流域湿地退化状况不明显,而此期间流域年降水量与年平均气温均呈现出不显著的上升趋势(p>0.05),景观破碎度指数与年平均气温呈现出较为显著的负相关。

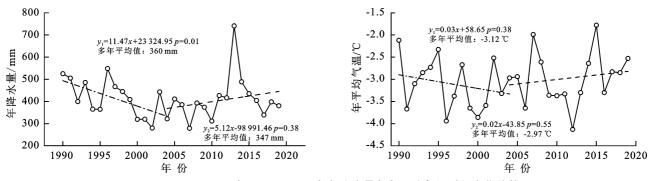


图 11 1990-2004 年、2004-2019 年年降水量与年平均气温时间变化趋势

Trends in annual precipitation and average annual temperature from 1990 to 2004 and from 2004 to 2019 (d) 2004-2019年 (a) 1990-2004年 (b) 2004-2019年 (c) 1990-2004年 年平均气温变化量/(℃·a<sup>-1</sup>) 年降水量变化量/(mm·a<sup>-1</sup>) 年降水量变化量/(mm·a<sup>-1</sup>) 年平均气温变化量/(°C·a<sup>-1</sup>) 0~0.01 0.04~0.05 -13~-12 4~5 -0.06~-0.05 0.01~0.02 0.05~0.06 -12~-11 5~6 -0.05~-0.04 0.02~0.03 -11~-10 -0.04~-0.03 0.03~0.04 -10~-9

图 12 1990-2004 年、2004-2019 年年降水量与年平均气温空间变化

Fig. 12 Spatial trends in annual precipitation and average annual temperature from 1990 to 2004 and from 2004 to 2019 3.3 根河流域湿地景观格局变化的其他因素 破碎化的湿地连片分布,流域湿地破碎程度下降。

从湿地景观格局与气候变化关系的分析看出,气象要素对根河流域湿地景观格局变化有一定的影响,但从各因子发生极值的年份来看,年降水量和年平均气温与根河流域湿地面积变化和流域湿地破碎化程度并不严格对应。如 2013 年根河流域年降水量达到最大值,但流域湿地面积与景观破碎度指数未达到最大值;2012 年根河流域年平均气温达到最小值,流域湿地面积也未达到最小值,而在 2004 年气候变化也并未表现出突变型,即除气候因素外,根河流域湿地面积和景观格局的变化还受到其他因素的影响。

根河流域位于欧亚大陆多年冻土带的南缘,在全球变暖的大背景下,下伏多年冻土一直处于退化状态,即活动层加深,多年冻土地温升高[33]。观测研究表明,根河流域内伊图里河冻土站活动层最大融化深度1997年为1.0 m,由于气候变暖2003年和2004年迅速增加到1.7 m[34],后来又慢慢回复到1.0~1.2 m[35]。活动层厚度的变化影响水文过程和上覆植被的生长。一般情况下,活动层增大,不仅加大地表水的下渗,还使植物根系深扎,有利于草本和灌木的生长,这样使湿地景观慢慢转变为灌木林地。因为根河流域中上游冻土退化严重,这些区域主要表现为湿地向林地的转变。湿地周边区域排水良好,加上气温升高,适合农作物生长,因此湿地转变为耕地的区域集中于年平均气温偏高的根河流域中下游。除此之外,如果多年冻土含冰量高,冻土融化还使流域内一部分

已有研究[20,36] 表明,流域湿地面积的变化是自 然因素与社会经济因素共同作用的结果。根河流域 内地区生产总值也在近30年呈现出上升的趋 势[37-38]。随着根河流域社会经济水平的发展,人类活 动对根河流域湿地的攫取也逐渐加深,社会经济因素 必然会对根河流域湿地景观格局的变化产生影响。 王延吉等[1]的研究发现,1980-2015年大兴安岭地 区湿地景观斑块变化率为119.51%,表明整个大兴安 岭地区湿地斑块数量呈现出显著上升趋势,远高于本 文的研究结果 3.74%。这可能与研究区域的大小以 及不同区域人类活动的强弱有关。大兴安岭东坡, 2000年以来实施大量工程项目,如漠河机场建设、中 俄原油管道铺设、防火带开辟、加漠公路修建等,这些 工程无疑对大兴安岭东坡湿地景观格局产生较为严重 的破坏,导致大兴安岭东坡湿地景观破碎化严重。根 河流域位于大兴安岭西坡,1990年以来,西坡的工程建 筑项目甚少,流域北部的伊图里河铁路局也于1998年 撤销。近30年根河人口大量迁出,1996年根河市总人 口为 17.7 万[39],2020 年的常住人口只有7.1万[40],近 30年根河流域人类活动对湿地环境的破坏远小于大 兴安岭东坡。另外,《中国退耕还林还草 20 年(1999— 2019)》自皮书[41] 指出,2003年1月20日起全国实施 《退耕还林条例》,退耕还林还草、宜林荒山荒地造林、 封山育林等达 2.2×107 hm2,政策的加持也足以延缓

2004年以后根河流域内湿地退化的速度。

100 km

37-40.

综合上述因素,根河流域虽然经济生产总值有所提高,但是上升与提高的幅度较小[42]。与由人类活动主导的土地利用方式变化引发湿地景观格局变化的区域[43]相比,根河流域内人类活动和社会经济因素对湿地景观格局变化产生的影响要小得多。可以说冻土退化是湿地景观格局变化的直接因素,但冻土退化也是气候变化的结果。因此确切地说,气候因素是大兴安岭西坡根河流域湿地景观格局发生变化的主要影响因素。不过,根河流域湿地景观格局的变化还可能与年降水量和年蒸发量的差值及年平均气温对多年冻土产生的水文过程影响有关,只是目前缺乏研究区内蒸发量的数据和有关多年冻土水文过程的研究,所以有关气候变化对流域湿地景观格局变化的影响机制也有待进一步深入探究。

### 4 结论

- (1)在根河流域湿地方面,近30年根河流域湿地总体呈现出明显的退化趋势,流域湿地面积显著减少31.89%,流域湿地斑块数量增加3.74%,流域景观破碎度指数增加4.48,呈现出斑块化与破碎化的特征。1990—2004年间,根河流域湿地呈现出显著的斑块化与破碎化的特征,而2004—2019年间,根河流域湿地斑块化与破碎化程度变化不显著。
- (2)在气候变化方面,根河流域湿地年降水量在空间分布上呈现出自西南向东北逐渐增加的规律,年平均气温总体上随海拔的升高自西南向东北逐渐降低。时间序列上看,根河流域多年平均降水量为412.80 mm,近 30 年间年降水量总体呈现出不显著的下降趋势(10 mm/10 a)。年平均气温为一3.04℃,总体呈现出不显著的增温趋势(0.06 ℃/10 a)。
- (3)根河流域湿地变化的影响因素方面,根河流域内人类活动和社会经济因素对湿地景观格局变化产生的影响要小得多。根河流域湿地景观格局变化的直接因素是冻土退化,冻土退化是气候变化的结果。因此确切地说,气候变化是该流域湿地景观格局发生变化的主要影响因素。1990—2004年间湿地面积与年降水量之间存在显著正相关,湿地破碎程度与年降水量之间存在显著负相关。2004—2019年根河流域湿地破碎程度与年平均气温呈现出显著负相关,可能是气温升高导致流域内浅层多年冻土融化而将湿地连片,降低期间湿地破碎程度。

#### 参考文献:

- [1] 王延吉,神祥金,吕宪国.1980—2015 年东北沼泽湿地景 观格局及气候变化特征[J].地球与环境,2020,48(3): 348-357.
  - WANG Y J, SHEN X J, LÜ X G. Change

- characteristics of landscape pattern and climate in marsh areas of Northeast China during 1980—2015 [J]. Earth and Environment, 2020, 48(3):348-357.
- [2] 吕宪国.地球之"肾":湿地系统的性质、功能问题[J].今 日国土,2002(增刊 2):37-40. LÜ X G. "kidney" of the earth: Nature and function of wetland system[J]. China Territory Today, 2002 (S2):
- [3] 吕宪国,黄锡畴,我国湿地研究进展:献给中国科学院长春地理研究所成立 40 周年[J].地理科学,1998,18(4):2-9. LÜ X G, HUANG X C. Research progress of wetlands in China: Dedicated to the 40th anniversary of Changchun Institute of Geography, China Academy of Sciences[J]. Scientia Geographica Sinica, 1998, 18(4): 2-9
- [4] 张丽,赵丹丹,刘吉平,等.近 30 年吉林市景观格局变化及气候效应[J].吉林大学学报(地球科学版),2015,45 (1):265-272.

  ZHANG L, ZHAO D D, LIU J P, et al. The change of landscape pattern in Jilin city and its effects on the cli-

mate during the past 30 years[J]. Journal of Jilin Univer-

[5] 徐晓龙,王新军,朱新萍,等.1996—2015 年巴音布鲁克 天鹅湖高寒湿地景观格局演变分析[J].自然资源学报, 2018,33(11):1897-1911.

sity (Earth Science Edition), 2015, 45(1): 265-272.

- XU X L, WANG X J, ZHU X P, et al. Landscape pattern changes in alpine wetland of Bayanbulak Swan Lake during 1996—2015 [J]. Journal of Natural Resources, 2018,33(11):1897-1911.
- [6] 郑燿忠.国家公园保护性规划的实践:以根河源国家湿地公园为例[J].旅游规划与设计,2014(4):86-97.
  ZHENG Y Z. The practice of conservative planning for national park: Case study of Genheyuan National Wetland Park[J]. Tourism Planning and Design, 2014 (4):86-97.
- [7] 吕佳南,李常斌,武磊,等.黑河和白河流域湿地变化及 其归因分析[J].水资源保护,2022,38(3):131-139,146. LYU J N, LI C B, WU L, et al. Analysis on wetland change and its attribution in Heihe River and Baihe River Basins [J]. Water Resources Protection, 2022, 38 (3):131-139,146.
- [8] 焦雯雯.东北地区重要湿地动态变化遥感监测[D].哈尔滨:哈尔滨师范大学,2020.

  JIAO W W. Remote sensing monitoring of dynamic changes of important wetlands in Northeast China[D].

  Harbin: Harbin Normal University,2020.
- [9] ZHAO Q Q, BAI J H, HUANG L B, et al. A review of methodologies and success indicators for coastal wetland restoration[J]. Ecological Indicators, 2016, 60:442-452.
- [10] 吴燕锋,章光新.流域湿地水文调蓄功能研究综述[J].水

- 科学进展,2021,32(3):458-469.
- WU Y F, ZHANG G X. A review of hydrological regulation functions of watershed wetlands[J]. Advances in Water Science, 2021, 32(3):458-469.
- [11] MANDER Ü, TOURNEBIZE J, SAUVAGE S, et al. Wetlands and buffer zones in watershed management [J]. Ecological Engineering, 2017, 103:289-295.
- [12] 李山羊,郭华明,黄诗峰,等.1973—2014 年河套平原湿地变化研究[J].资源科学,2016,38(1):19-29.

  LI S Y, GUO H M, HUANG S F, et al. Variation in Hetao Basin wetlands from 1973 to 2014[J]. Resources Science, 2016, 38(1):19-29.
- [13] 李晓东,闫守刚,宋开山.遥感监测东北地区典型湖泊湿地变化的方法研究[J].遥感技术与应用,2021,36(4):728-741.
  - LIXD, YANSG, SONGKS. Remote sensing of lake wetlands change in northeast of China using the modified detection method [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2021, 36(4):728-741.
- [14] 韩冬雪.东北地区中高纬沼泽湿地演化过程及驱动因子分析[D].北京:中国科学院大学(中国科学院东北地理与农业生态研究所),2020.
  - HAN D X. Evolution process of wetlands and its driving factors in mid-highlatitude, Northeast China[D]. University of Chinese Academy of Sciences (Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences), 2020.
- [15] 邢伟,鲍锟山,韩冬雪,等.全新世以来东北地区沼泽湿地发育过程及其对气候变化的响应[J].湖泊科学,2019,31(5):1391-1402.
  - XING W, BAO K S, HAN D X, et al. Holocene wetland developing history and its response to climate change in Northeast China[J]. Journal of Lake Sciences, 2019,31(5):1391-1402.
- [16] 李闯,刘吉平,梁晨,等.1990—2010 年东北地区湿地空间格局变化及影响因素分析[J].太原城市职业技术学院学报,2018(12);21-23.
  - LI C, LIU J P, LIANG C, et al. Spatial pattern changes and influencing factors of wetlands in Northeast China from 1990 to 2010[J]. Journal of Taiyuan Urban Vocational College, 2018(12):21-23.
- [17] 毛德华,王宗明,罗玲,等.1990—2013 年中国东北地区湿地生态系统格局演变遥感监测分析[J].自然资源学报,2016,31(8):1253-1263.
  - MAO D H, WANG Z M, LUO L, et al. Monitoring the evolution of wetland ecosystem pattern in Northeast China from 1990 to 2013 based on remote sensing [J]. Journal of Natural Resources, 2016, 31(8):1253-1263.
- [18] 王晓东,宋宇加,褚丽娟,等.挠力河流域湿地对相邻景观逐日气温调节作用的实验研究[J].科学技术与工程,

- 2022,22(13):5163-5169.
- WANG X D, SONG Y J, CHU L J, et al. Experimental study on daily temperature regulation of wetland on adjacent landscapes in Naoli river wetland [J]. Science Technology and Engineering, 2022, 22(13):5163-5169.
- [19] 王志春,张治楠,辛岩,等.近 35 年来老哈河流域湿地关键区景观格局演变及其驱动力[J].干旱区资源与环境,2021,35(11):143-148.
  - WANG Z C, ZHANG Z N, XIN Y, et al. Landscape pattern evolution of wetland critical areas in Laoha River Basin and driving forces in recent 35 years[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2021, 35 (11): 143-148.
- [20] 张敏,宫兆宁,赵文吉.近 30 年来白洋淀湿地演变驱动 因子分析[J].生态学杂志,2016,35(2):499-507. ZHANG M, GONG ZN, ZHAO W J. Analysis of driving forces of Baiyangdian wetland evolution during 1984—2013[J]. Chinese Journal of Ecology, 2016, 35 (2):499-507.
- [21] 闫敏,李增元,陈尔学,等.内蒙古大兴安岭根河森林保护 区植被覆盖度变化[J].生态学杂志,2016,35(2):508-515. YAN M, LI Z Y, CHEN E X, et al. Vegetation fractional coverage change in Daxinganling Genhe forest reserve of Inner Mongolia[J].Chinese Journal of Ecology, 2016,35(2):508-515.
- [22] 王慧博.根河源湿地公园浮游生物分布及其与水环境因子相关性研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2017. WANG H B. Distribution of plankton and the correlation between plankton and water environmental factors in Genheyuan National Wetland Park [D]. Harbin: Northeast Forestry University,2017.
- [23] 丛培娜,周媛.浅谈湿地公园自然教育的实践与发展对策探索:以根河源国家湿地公园为例[J].中国林业产业,2022(1):79-80.
  - CONG P N, ZHOU Y. Exploration of the practice and development strategies of natural education in wetland parks: A case study of the Genhe Source National Wetland Park[J]. China Forestry Industry, 2022(1):79-80.
- [24] 牟操.基于资源环境承载力的内蒙古根河市国土空间优化研究[D].郑州:河南农业大学,2019.
  MOU C. Studies on land space optimization of Genhe City in Inner Mongolia based on resource and environment carrying capacity[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University,2019.
- [25] 常晓丽,金会军,何瑞霞,等.大兴安岭北部多年冻土监测进展[J].冰川冻土,2013,35(1):93-100.
  CHANG X L, JIN H J, HE R X, et al. Review of permafrost monitoring in the northern Da Hinggan Mountains, Northeast China[J]. Journal of Glaciology and Geocryology,2013,35(1):93-100.

- [26] YANG J, HUANG X. The 30 m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019[J]. Earth System Science Data, 2021, 13(8): 3907-3925.
- [27] 焦峰,温仲明,王飞,等.黄土丘陵县域尺度整体景观格局分析[J].水土保持学报,2005,19(2):167-170.

  JIAO F, WEN Z M, WANG F, et al. Analysis of landscape structure at county scale in Loess Hilly Region [J]. Journal of Soil Water Conservation, 2005, 19 (2): 167-170.
- [28] 刘吉平,高佳,董春月.1954—2015 年三江平原沼泽湿地变化的区域分异及影响因素[J].生态学报,2019,39 (13):4821-4831.

  LIU J P, GAO J, DONG C Y. Regional differentiation and factors influencing changes in swamps in the Sanjiang Plain from 1954 to 2015[J]. Acta Ecologica Sinica,2019,39(13):4821-4831.
- [29] WU J G. Landscape sustainability science: Ecosystem services and human well-being in Changing landscapes [J].Landscape Ecology, 2013, 28(6):999-1023.
- [30] 贺伟,布仁仓,熊在平,等.1961—2005 年东北地区气温和降水变化趋势[J].生态学报,2013,33(2):519-531. HE W, BU R C, XIONG Z P, et al. Characteristics of temperature and precipitation in Northeastern China from 1961 to 2005[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33 (2):519-531.
- [31] 代海燕,边玉明,安莉娟,等.气候变暖背景下内蒙古大兴安岭生态功能区冷暖急转气候特征[J].冰川冻土,2018,40(5):892-898.

  DAI H Y, BIAN Y M, AN L J, et al. Climatic feature of temperature sharp turn in the Greater Khingan Range ecological function areas in Inner Mongolia, on the background of climate warming[J].Journal of Glaciology and Geocryology,2018,40(5):892-898.
- [32] 吴金华,盛芝露,杜加强,等.1956—2017 年东北地区气温和降水的时空变化特征[J].水土保持研究,2021,28 (3):340-347,415.

  WU J H, SHENG Z L, DU J Q, et al. Spatiotemporal change patterns of temperature and precipitation in Northeast China from 1956 to 2017[J]. Research of Soil and Water Conservation,2021,28(3):340-347,415.
- [33] 金会军,于少鹏,吕兰芝,等.大小兴安岭多年冻土退化及其趋势初步评估[J].冰川冻土,2006,28(4):467-476. JIN H J, YU S P, LÜ L Z, et al. Degradation of permafrost in the Da and Xiao Hinggan Mountains, Northeast China, and preliminary assessment of its trend[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2006, 28 (4): 467-476.
- [34] CHANG X L, JIN H J, HE R X, et al. Permafrost

- changes in the northwestern Da Xing'anling Mountains, Northeast China, in the past decade[J]. Earth System Science Data, 2022, 14(9):3947-3959.
- [35] 王雅倩.根河流域近 40 年蒸散量时空变化研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2021.
  WANG Y Q. Temporal and spatial variation of evapotranspiration in Genhe River Basin in recent 40 years [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University,2021.
- [36] 岳永杰,乌云珠拉,李旭,等.根河流域 1980—2017 年气候和径流的变化特征分析[J].灌溉排水学报,2020,39 (4):96-105.
  - YUE Y J, WU Y Z L, LI X, et al. Analysis of climate and runoff variation characteristics in the Genhe River Basin from 1980—2017 [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(4);96-105.
- [37] TOBORE A, BAMIDELE S. Wetland change prediction of Ogun-River Basin, Nigeria: Application of cellular automata Markov and remote sensing techniques[J]. Watershed Ecology and the Environment, 2022, 4:158-168.
- [38] 根河市史志编纂委员会.根河市志(1996—2005)[M].呼伦贝尔:内蒙古文化出版社,2007.
  Editorial Committee of Genhe City Chronicles.
  Chronicles of Genhe City (1996—2005)[M]. Hulun Buir: Inner Mongolia Cultural Press,2007.
- [39] 呼伦贝尔市统计局.呼伦贝尔市第七次全国人口普查公报 (第二号)[EB/OL].(2021-06-09)[2023-09-04]. https://www.hlbe.gov.cn/OpennessContent/show/32334.html. Hulunbuir Municipal Bureau of Statistics. Bulletin of the Seventh National Population Census of HulunbuirCity (No. 2)[EB/OL].(2021-06-09)[2023-09-04]. https://www.hlbe.gov.cn/OpennessContent/show/32334.html.
- [40] 国家林业和草原局.中国退耕还林还草二十年(1999—2019) [R/OL]. (2020-10-27) [2023-09-07]. https://www.forestry.gov.cn/search/139350.

  National Forestry and Grassland Administration. Twenty years of returning farmland to forest and grassland in China (1999—2019) [R/OL]. (2020-10-27) [2023-11-07]. https://www.forestry.gov.cn/search/139350.
- [41] 李秀霞,崔永静,陈奇,等.东北地区人口收缩的经济效应与对策响应[J].人口与经济,2023(1):71-86.

  LI X X, CUI Y J, CHEN Q, et al. A study on the economic effects and countermeasure responses of population shrinkage in Northeast China[J]. Population and Economics,2023(1):71-86.
- [42] DAVIS J A, FROEND R. Loss and degradation of wetlands in southwestern Australia: Underlying causes, consequences and solutions [J]. Wetlands Ecology and Management, 1999, 7(1):13-23.