



松嫩平原湿地演变及其驱动因素分析

刘 强¹, 林 楠², 王长琪¹, 贾立国¹, 成 龙¹, 郭晓东¹, 张 妍³

1. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034; 2. 吉林建筑大学, 吉林 长春 130018;
3. 辽宁省地质矿产研究院有限公司, 辽宁 沈阳 110032

摘 要: 湿地是生态系统的重要组成部分, 在维系区域生态安全中扮演着重要角色. 利用 1975、2000 和 2018 年的 Landsat 遥感影像数据, 获取 3 期湿地解译数据, 采用动态度分析、差异性分析、转移矩阵等方法对近 50 年来松嫩平原地区湿地的时空变化特征进行分析, 为研究和保护松嫩平原地区湿地生态系统提供一定的理论依据. 研究表明: 湿地面积由 1975 年的 20 189.81 km² 上升至 2018 年的 29 456.79 km², 整体上呈增加的趋势, 具体表现为 1975—2000 年天然湿地的大幅度下降和 2000—2018 年人工湿地的大规模增加. 分析认为: 蓄水工程、河道防洪堤和湿地围垦是天然湿地减少的主要因素; 降水量变化、气温上升、蒸发量增加是天然湿地变化的次要因素; 受经济效益为中心理念驱动, 水田改扩建增加是人工湿地增加的主要因素.

关键词: 湿地; 动态度; 转移矩阵; 时空变化; 松嫩平原

WETLAND EVOLUTION AND ITS DRIVING FACTORS IN SONGNEN PLAIN

LIU Qiang, LIN Nan, WANG Chang-qi, JIA Li-guo, CHENG Long, GUO Xiao-dong, ZHANG Yan

1. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China; 2. Jilin Jianzhu University, Changchun 130018, China;
3. Liaoning Geological and Mineral Institute Co., Ltd., Shenyang 110032, China

Abstract: As an important part of ecosystem, wetland plays a significant role in maintaining regional ecological security. Based on the Landsat remote sensing image data in 1975, 2000 and 2018, the interpretation data of wetland during the three periods are obtained to analyze the spatiotemporal variation of wetland in Songnen Plain in nearly 50 years with the methods of dynamic degree, difference analysis and transfer matrix, which provides certain theoretical basis for the research and protection of wetland ecosystem in Songnen Plain. The results reveal that the wetland area shows an overall increasing trend from 20 189.81 km² in 1975 to 29 456.79 km² in 2018, manifested by the substantial decrease of natural wetland during 1975–2000 and large-scale increase of constructed wetland during 2000–2018. It is concluded that water storage project, floodwall and wetland reclamation are the main factors causing the decrease of natural wetlands, followed by precipitation reduction, temperature rise and evaporation increase. Driven by the economic benefit, the paddy field reconstruction and expansion mainly contributes to the increase of constructed wetlands.

Key words: wetland; dynamic degree; transfer matrix; spatiotemporal variation; Songnen Plain

0 引言

湿地是地球上单位面积生态系统服务价值最高的

生态系统类型, 在陆地生态系统和水生生态系统的过渡中占据重要地位, 不仅在维系区域生态安全中扮演

收稿日期: 2021-06-07; 修回日期: 2021-07-23. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局自然资源调查项目“松嫩平原水文地质调查”(编号 DD20190340).

作者简介: 刘强(1982—), 男, 高级工程师, 从事水文地质、地质矿产调查工作, 通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号, E-mail/lq6022@163.com

重要角色,而且具有巨大的水源涵养和气候调节等生态系统服务功能^[1-2],并因其独特的生态功能和价值,被誉为“地球之肾”^[3-4]。但人类的活动和区域发展深深地影响着生态系统和土地利用模式,20 世纪中叶以来由于社会和工业的加速发展加剧了土地资源的高度需求和有限的土地储备不可逆转性之间的冲突,天然湿地的开垦成为缓解土地资源紧张的重要途径。天然湿地特别是沼泽湿地的大幅减少,对湿地生物多样性造成破坏,严重威胁湿地生态系统的安全性^[5]。因此,及时掌握和研究湿地资源的现状和动态变化过程对湿地的保护以及合理开发有着重要意义。

自 20 世纪 80 年代以来,遥感和地理信息系统(GIS)技术在地理测绘、土地利用、生态环境保护、智慧城市等方面的应用取得了丰富的成果。近年来随着人们对生态环境保护的重视,这些技术被广泛应用于湿地信息数据的采集^[6-7]。

本研究在前人工作基础上,以松嫩平原 Landsat 遥感影像作为数据源,利用空间叠加方法研究松嫩平原 40 年来湿地的时空变化特征,分析变化的驱动因素,以期为研究和保护湿地生态系统提供一定的理论依据。

1 研究区概况

松嫩平原位于我国东北地区中部,行政区跨黑龙江省、吉林省和内蒙古自治区,北至黑龙江省的嫩江,

南至吉林省长岭县南部的松辽分水岭,西侧以大兴安岭低山丘陵区与山前倾斜平原分界线为界,东侧边界至小兴安岭-长白山山前高原东缘。总体形状呈南北长,东西窄的近椭圆形。全区包含 52 个县市,总面积 18.27×10⁴ km²。

松嫩平原降水量东部较多,西部较少,由东南向西北递减;蒸发量自西南向东北呈递减趋势。平原内主要地表水系有嫩江、松花江及其支流。松嫩平原天然湖泊星罗棋布,主要分布在嫩江中下游和松花江吉林省段沿岸低平原地带,在齐齐哈尔市、杜尔伯特蒙古族自治县、肇源县、泰来县、镇赉县、大安市、前郭尔罗斯蒙古族自治县、通榆县、乾安县境内。其中的扎龙湿地、向海湿地、莫莫格湿地均为国家级自然保护区,并且前两个湿地已被列入国际重要湿地名录。

2 数据与研究方法

2.1 数据来源与处理

本研究以 Landsat 影像数据作为湿地类型解译的数据源,通过波段组合、影像融合和几何纠正等方法进行影像预处理,采用人机交互的目视解译法,获取松嫩平原 1975 年、2000 年及 2018 年的遥感解译数据。参照《湿地公约》,湿地是指无论其为天然或人工、长久或暂时的沼泽地、泥炭地或水域地带,带有静止或流动的淡水、半咸水或咸水水体,包括低潮时水深不超过 6 m 的水域。采用两级分类将研究区内湿地类型划分为天

表 1 不同湿地类型遥感解译标志
Table 1 Remote sensing interpretation marks by wetland types

湿地类型	天然湿地			人工湿地	
	河流	湖泊	沼泽	库塘	水稻田
遥感图像特征	几何形状明显,边界清晰,呈自然弯曲或局部平直状,宽窄不一	几何形状明显,图像结构均一,边界线平滑	主要分布在河流沿岸及平原上的低洼地,常呈渐变过渡状、水浸状,与湖泊、河流的水体和陆地无明显界线	几何形状明显,图像结构均一,有明显人工塑造的痕迹	几何形状较为明显,多呈长方形,排列整齐,边界明显,附近常有水系分布
遥感解译标志					

然湿地和人工湿地两个一级分类, 河流湿地、湖泊湿地、沼泽湿地、库塘、水稻田 5 个二级分类^[8], 按照湿地分类建立松嫩平原各湿地类型遥感解译标志(表 1)。

2.2 研究方法

2.2.1 湿地变化动态度

参照前人研究成果, 应用动态度来分析湿地变化特征^[9-10]。湿地动态度是指在一定时间和范围内湿地的变化比率, 其表达式为:

$$K=(U_b-U_a)/U_a \times 1/T \times 100\% \quad (1)$$

式中, K 为研究时段内湿地面积变化动态度; U_a 、 U_b 分别为研究初期及研究末期某湿地类型的面积; T 为变化的时间间隔。本文中 T 的时间单位为 a, K 值是该研究区湿地面积的年变化率。

2.2.2 湿地变化类型差异模型

研究区内不同类型的湿地变化存在着显著差异, 利用相对变化率可以直接反映湿地变化的类型差异^[9], 湿地相对变化率 R 可表示为:

$$R=\left(\frac{U_b-U_a}{U_b}\right) \div \left(\frac{C_b-C_a}{C_b}\right) \quad (2)$$

式中, U_a 、 U_b 分别代表某一湿地类型研究初期及研究末期的面积; C_a 、 C_b 代表全研究区内研究初期及研究末期的面积。

依据湿地变化类型差异模型, 如果某一类型的湿地相对变化率 $R>0$, 则表示该类型的湿地变化与研究区湿地变化的趋势相同, 当 $R>1$ 时, 表明该类型的湿地变化强度大于整个研究区湿地变化强度; 如果某一类型的湿地相对变化率 $R<0$, 则表示其变化与研究区湿地变化的趋势相反, 当 $R<-1$, 该类型的湿地反向变化强度大于整个研究区湿地变化强度。

2.2.3 湿地类型转换矩阵

为了研究不同时期湿地类型的转换去向和来源以及了解湿地类型变化空间特征及内在演化规律, 采用转移矩阵对湿地类型间的转化情况进行定量描述, 可以更好地揭示湿地类型变化的时空演化过程^[11-12]。表达式为:

$$P=(P_{ij})=\begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \cdots & P_{nn} \end{pmatrix} \quad (3)$$

式中, P 为湿地的转移概率矩阵, n 代表湿地类型数,

i, j 分别代表研究初期和研究末期的湿地类型, 例如, P_{12} 为状态 1 到状态 2 的转移概率。

3 结果与分析

3.1 湿地信息提取

利用 MapGIS 软件平台, 采用人机交互的目视解译法进行信息提取, 得到松嫩平原 1975、2000 和 2018 年湿地遥感解译图(表 2、图 1)。可以看出, 1975 年研究区内湿地面积 20 189.81 km², 河流湿地和沼泽湿地占据绝对优势, 面积占比分别为 37.77% 和 44.27%。盆地构造对河流湿地的空间分布产生决定性影响, 特别是嫩江和松花江吉林省段在平原中央以“对顶式”交汇形成了辐聚式网络, 成为网络汇结, 其下游呼兰河和拉林河也汇聚于松花江干流后输出区外。嫩江和松花江两岸是松嫩平原地势最低的区域, 河流泛滥带发育, 沼泽湿地广泛分布, 芦苇沼泽和羊草草甸是松嫩平原沼泽湿地的主体。松嫩平原的沼泽湿地以淡水为主, 盐碱湿地主要分布于孤立的碱泡及霍林河末端河口泛滥带。2000 年研究区内湿地面积 15 311.25 km², 河流湿地和沼泽湿地面积大幅减少, 水稻田面积增加, 面积占比分别为 25.61%、31.70% 和 21.83%。由于截水灌溉, 河、湖滩湿地受到围垦等土地过度利用, 同时部分湿地盐碱化严重, 湿地总面积趋于减少。2018 年研究区内湿地面积 29 456.79 km², 水稻田成为湿地主体, 面积为 21 729.49 km², 占比 73.76%。为促进农业增产增收, 嫩江、松花江、呼兰河、拉林河两岸大量旱田开发为水田, 是这一阶段湿地类型变化的主要驱动力。

表 2 松嫩平原 3 个时期不同湿地类型分布面积统计表
Table 2 Distribution areas of different wetland types in Songnen Plain during three periods

湿地类型	1975 年	2000 年	2018 年
湖泊湿地	2374.43	2781.43	3407.55
河流湿地	7625.58	3921.59	1253.69
沼泽湿地	8937.34	4852.98	2428.07
水稻田	942.48	3342.58	21729.49
库塘	309.98	412.67	637.99
总计	20189.81	15311.25	29456.79

面积单位: km²。

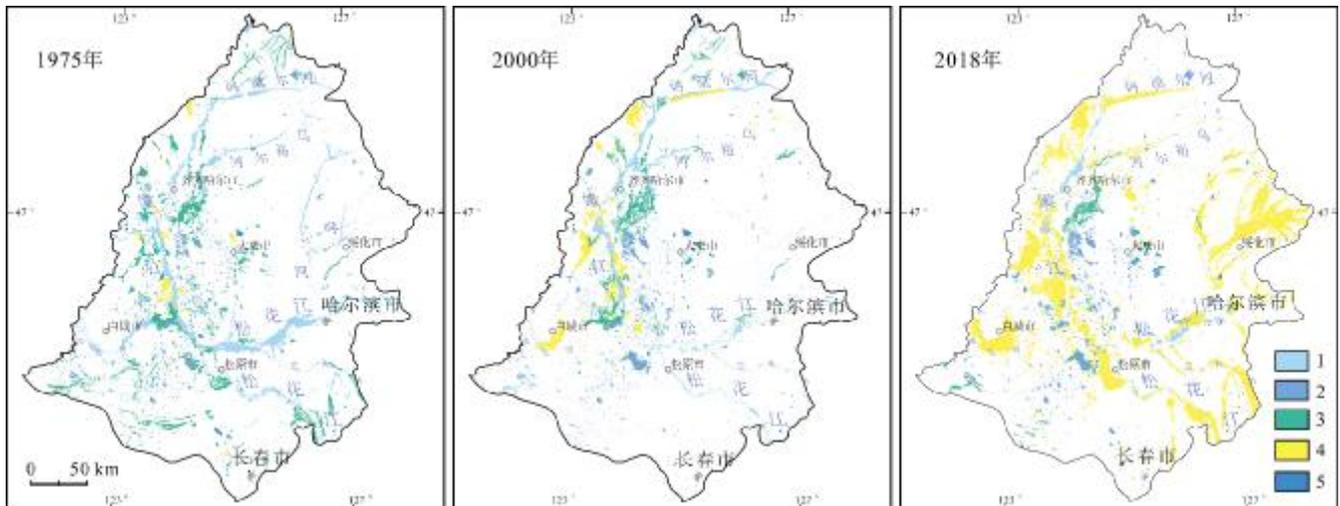


图 1 松嫩平原不同时期湿地分布

Fig. 1 Distribution map of wetlands in Songnen Plain during three periods

1—河流湿地(river wetland); 2—湖泊湿地(lake wetland); 3—沼泽湿地(marsh wetland); 4—水稻田(paddy land); 5—库塘(reservoir and pond)

3.2 湿地变化特征分析

3.2.1 湿地变化面积及动态度

基于遥感解译得到的不同湿地类型分布面积,进一步量化松嫩平原 50 年来湿地动态变化特征. 根据动态度公式计算得到各种湿地类型面积变化动态度(表 3). 从表中可以看出,1975 年、2000 年和 2018 年的湿地面积呈现先减少后增加的变化特征,湿地总面积在近 50 年来增长了 45.90%,湿地面积动态度为由-0.97%变为 4.86%.

表 3 湿地 3 个时期面积变化及动态度统计表

Table 3 Area variation and dynamic degree of wetlands during 1975–2000 and 2000–2018

湿地类型	面积变化/km ²		动态度/%	
	1975—2000	2000—2018	1975—2000	2000—2018
湖泊湿地	407.00	626.12	0.69	1.18
河流湿地	-3703.99	-2667.91	-1.94	-3.58
沼泽湿地	-4084.36	-2424.91	-1.83	-2.63
水稻田	2400.10	18386.91	10.19	28.95
库塘	102.69	225.33	1.33	2.87
总计	-4878.54	14145.54	-0.97	4.86

1975—2000 年湿地总面积减少了 4 878.54 km²,占研究区总面积的 2.67%. 研究区内沼泽湿地面积大

幅度减少,减少量为 4 084.36 km²,动态度为-1.83%;其次是河流湿地,面积减少了 3 703.99 km²,动态度为-1.94%;水稻田面积大量增加,增加的面积为 2 400.11 km²,动态度为 10.19%;湖泊湿地和库塘面积少量增加. 本阶段湿地变化受人为因素控制,研究区内展开了大规模的开荒活动,将大量的天然湿地开垦为人工湿地;同时进行了大量的河道治理,以排水渠为主的水利工程建设扰乱了流域的自然格局,导致大量的天然湿地萎缩,功能退化.

2000—2018 年湿地总面积增加了 14 145.54 km²,占研究区总面积的 7.74%. 研究区内水稻田面积持续大幅增加,面积增加了 18 386.91 km²,动态度为 28.95%;河流湿地和沼泽湿地的面积较研究初期分别减少 2 667.91 km²和 2 424.91 km²,面积动态度分别为-3.58%和-2.63%;湖泊湿地和库塘面积略有增加,面积动态度分别为 1.18%和 2.87%. 本阶段湿地变化同样受人为因素控制,但变化原因已由围垦天然湿地转变为以改扩水田为主.

1975 年、2000 年和 2018 年的湖泊湿地、库塘、水稻田面积呈现加速增长趋势,河流湿地呈现加速缩减趋势,沼泽湿地缩减速度趋缓. 对此方法分析认为,动态度仅适用于单一类型湿地变化比率的比较或具有近似体量的湿地面积之间变化趋势的对比,因体量不同动态度无法衡量不同面积不同类型湿地类型之间的变化率.

3.2.2 湿地变化类型差异

利用湿地变化类型差异模型,计算出松嫩平原近50年来不同类型湿地的相对变化率(表4),得出1975—2000年间河流湿地和湖泊湿地的相对变化率分别为2.96和2.64,湖泊湿地、水稻田和库塘相对变化率均为负值,其中水稻田的变化趋势最明显,其相对变化率达到了-2.25.这说明两者的面积减少强度大于此研究期间内湿地整体面积减少强度.2000—2018年间,河流湿地、沼泽湿地的相对变化率为负值,其中河流湿地的相对变化率远大于-1,达到-4.43,说明河流湿地较全区域面积增大的态势来说有明显的反向变化趋势.湖泊湿地、水稻田和库塘的相对变化率均为正值,三者的变化趋势与此研究区期间内湿地整体的变化趋势相同,面积均有增加,其中水稻田相对变化率达到1.76,其变化强度大于研究区湿地整体的变化强度,呈持续增长的态势.

表4 松嫩平原近50年来不同类型湿地的相对变化率

Table 4 Relative change rates of wetlands in Songnen Plain in nearly 50 years

研究时段	湖泊湿地	河流湿地	沼泽湿地	水稻田	库塘
1975—2000年	-0.46	2.96	2.64	-2.25	-0.78
2000—2018年	0.38	-4.43	-2.08	1.76	0.74

通过分析不同类型湿地相对变化率,发现此方法可轻易判断研究时段内变化主体,同向显著变化的湿地类型主导全区湿地变化趋势.1975—2000年,河流湿地和沼泽湿地主导该时段的湿地变化趋势,以减少为主;2000—2018年,水稻田主导该时段的湿地变化趋势,以增加为主.

3.2.3 湿地类型转换特征

利用转移矩阵对松嫩平原不同湿地类型间的转换进行定量分析,分别得到1975—2000年和2000—2018年间的松嫩平原湿地类型转移矩阵统计表(表5、6).

由表5可以看出,在1975—2000年,非湿地与沼泽湿地和河流湿地之间的转化较为显著.其中,有4490.87 km²的河流湿地转化为非湿地,转化面积达到河流湿地稳定面积的2倍;沼泽湿地有5526.74 km²的面积转化为非湿地,较沼泽湿地的稳定面积大近3倍.非湿地虽然也有1954.83 km²和1460.62 km²的

表5 1975—2000年湿地类型转移矩阵统计表

Table 5 Transfer matrix of wetland types during 1975—2000

1975年/2000年	河流湿地	湖泊湿地	沼泽湿地	水稻田	库塘	非湿地
河流湿地	2236.12	40.9	534.29	318.6	4.81	4490.87
湖泊湿地	6.01	1413.04	220.69	58.54	63.51	612.63
沼泽湿地	193.43	704.94	2050.00	410.08	52.16	5526.74
水稻田	25.41	7.48	49.43	480.41	2.42	377.32
库塘	0.01	5.42	43.73	2.22	172.69	85.92
非湿地	1460.62	609.66	1954.83	2072.73	117.08	0.00

面积单位:km².

表6 2000—2018年湿地类型转移矩阵统计表

Table 6 Transfer matrix of wetland types during 2000—2018

2000年/2018年	河流湿地	湖泊湿地	沼泽湿地	水稻田	库塘	非湿地
河流湿地	668.57	29.30	297.02	539.86	2.93	2383.90
湖泊湿地	8.17	1983.64	159.72	154.67	87.93	387.29
沼泽湿地	19.10	438.01	990.10	1054.59	115.06	2236.13
水稻田	5.83	25.60	16.23	2745.41	25.99	523.51
库塘	0.00	180.49	24.33	28.03	159.08	20.73
非湿地	552.02	750.50	940.67	17206.92	247.00	0.00

面积单位:km².

面积转化为沼泽湿地和河流湿地,但这远不及沼泽湿地和河流湿地转化为非湿地的面积.这充分显示出沼泽湿地和河流湿地在此研究期间内面积下降的严峻形势.另外,非湿地转化为水稻田比较显著,转化面积为2072.73 km²,面积高达水稻田转化为非湿地面积的5倍.

在2000—2018年间(表6),大面积的转化依然在沼泽湿地、河流湿地和非湿地的转化之间.河流湿地转化为非湿地的面积最大,转化面积达2383.90 km²;沼泽湿地次之,转化面积为2236.13 km².相比于前一时期,水稻田向非湿地的转化也较为突出,转化面积达523.51 km²,而非湿地主要向沼泽湿地和水稻田转化,特别是水稻田,转化量高达17206.92 km²,是水稻田向非湿地类型转化量的33倍.

3.2.4 湿地空间变化

利用1975年、2000年和2018年湿地遥感解译图,基于GIS软件平台采取叠加分析方法对松嫩平原湿地进行空间分析,得到1975—2000年、2000—2018

年空间变化图(图2)。从图2可以看出:在1975—2000年间,湿地减少地区主要集于在松嫩平原的南部沼泽湿地和河流湿地。在此期间,以向海和莫莫格为代表的吉林省湿地大范围缩减,大面积沼泽湿地被疏干;以霍林河、洮儿河、双阳河、松花江等河流防洪堤建设加速了河道径流排泄过程,割断了与河滨湿地的水力联系,河流湿地缩减。在嫩江中上游、洮儿河、诺敏河、阿伦河等河流中上游水利工程建设进入高峰期,人们大力开发水资源,大量天然湿地、草地、盐碱地被开发为人工湿地(水田),造成人工湿地面积增加。2000—2018年,湿地减少地区主要集于在以嫩江、讷谟尔河、乌裕尔河为主的松嫩平原北部沼泽湿地和河流湿地;在呼兰河、松花江、拉林河、绰尔河等河流中上游,水田改扩进入集中爆发期,造成人工湿地面积增加。

3.3 影响因素分析

通过分析松嫩平原湿地的空间变化和类型转换,认为其变化趋势和现状是受到自然因素和人类活动的综合作用的结果。根据内陆湿地水量平衡方程:

$$P+SWI+GWI=ET+SWO+GWO+\Delta S$$

式中, P 为净降水量, SWI 为地表水流入量, SWO 为

地表水流出量, GWI 为地下水流入量, GWO 为地下水流出量, ET 为蒸发蒸腾损失量, ΔS 为湿地水体储存变化量。湿地各水量要素的变化都会影响到湿地的范围和类型。

3.3.1 自然因素

降水量的变化直接影响到湿地面积的消长,是最主要的自然因素。以国家气象数据网通榆站和齐齐哈尔站降水量数据分析,通榆站1975—1998年属于丰水年,年均降水407.92 mm;1999—2007年属于枯水年,年均降水276.79 mm;2008—2018年属于平水年,年均降水392.35 mm。与此同时吉林省西部霍林河、洮儿河流域天然湿地先急速减少再趋于稳定,两者变化趋势一致。齐齐哈尔站1970—1980年属于枯水年,年均降水351.62 mm;1981—1990年属于丰水年,年均降水483.21 mm;1991—2018年降水量在枯与丰之间频繁切换,年均降水435.62 mm。在此期间嫩江流域天然湿地逐渐萎缩,两者变化趋势不同,说明降水量在嫩江流域天然湿地变化中属于次要因素。

在全球气候日益变暖的背景下,松嫩平原具有升温趋势,1981—2010年是积温升高的主要年份,1993年以来,活动积温增加较显著,2001—2017年的平均

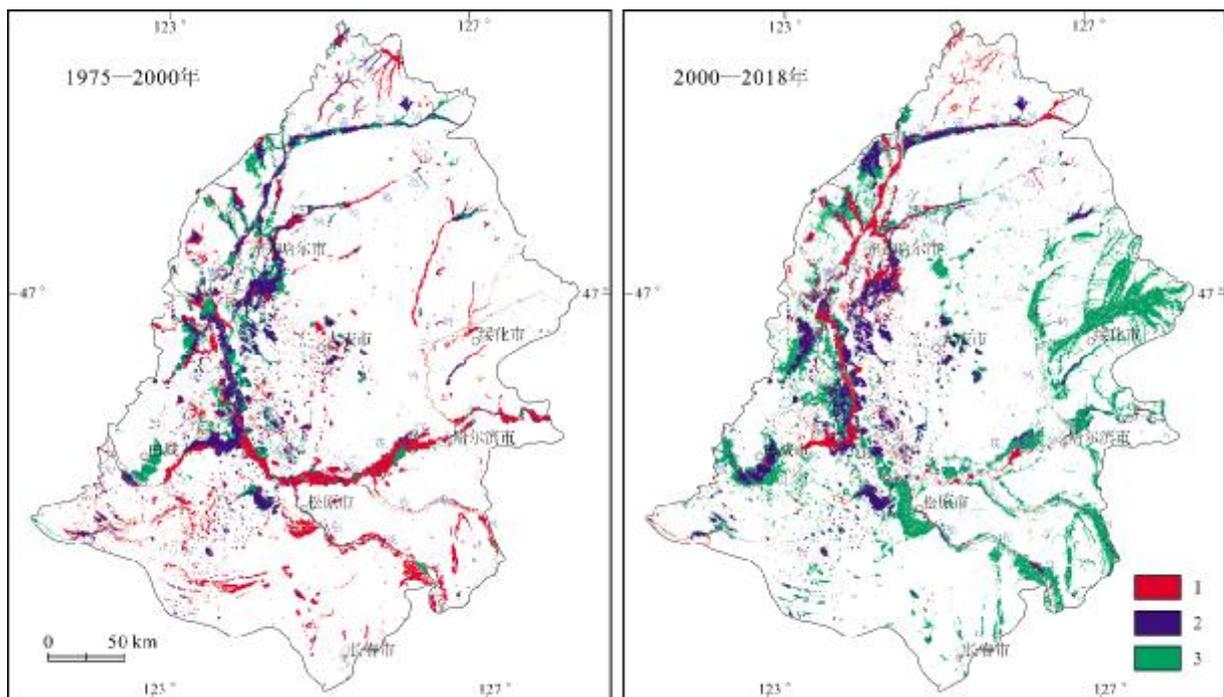


图2 1975—2000年和2000—2018年湿地空间变化

Fig. 2 Spatial variation of wetlands during 1975–2000 and 2000–2018

1—湿地减少(decreased wetland); 2—湿地稳定(stable wetland); 3—湿地增加(increased wetland)

活动积温较 1951—2000 年增加 243.6~420.3 °C^[13]。气温的升高必然加大蒸发强度,导致湿地水量减少,面积萎缩。

3.3.2 人为因素

松嫩平原是东北地区重要的交通运输枢纽、能源工业基地和农牧业基地,人为活动是导致地表水和地下水流入流出变化的主要因素,并且在近 50 年中对湿地变化的影响起到主导作用^[14-21]。

随着工业经济发展和农业活动的需求增加,不断提升的蓄水量需求导致水库数量增加、水产养殖业发展带动坑塘面积逐步增加。流域中上游水利工程建设催动灌溉沟渠的增加和水田种植面积扩大,增加了中上游人工湿地面积。与此同时,以扎龙、向海和莫莫格三大湿地自然保护区为代表的流域下游面临着河流径流量减少,湿地的水源补给减少,天然湿地萎缩的处境。洮儿河、霍林河在流经区内,由于上游修建水库截流地表水,洮儿河河水流量逐年减少,霍林河仅在丰水期才有地表径流。因此蓄水工程建设使得上下游湿地呈增减两极化发展。

河道防洪堤的建设,割断了与河滨湿地的水力联系,大面积湿地被疏干、垦为耕地。1975—2000 年间,大部分湿地开发为旱田;进入 21 世纪后,受经济效益为中心理念驱动,优质的滨河旱田成为土地整治的目标,被开发为水田,其中相当数量的水田以地下水为开采水源。滨河湿地前期以地表水减少为主,后期以地表水流入量和地下水流入量增加为主,因此滨河湿地呈现先减后增的变化,最终由天然湿地转变为人工湿地。

4 结论

通过对近 50 年来松嫩平原地区的湿地时空变化特征的分析,得出如下结论。

1)湿地的时间变化特征分析显示,1975—2000 年间,湿地总面积减少了 4 878.54 km²,沼泽湿地面积减少幅度较大,面积减少的强度大于此研究期间内湿地整体面积减少强度;2000—2018 年间,湿地总面积增加了 14 145.51 km²,水稻田的面积变化在此研究期间最为剧烈,增加了 22 346.82 km²,面积增长为 2000 年水稻田面积的 8 倍,其变化强度大于研究区湿地整体的变化强度,呈持续增长态势。

2)湿地的空间变化特征分析显示,1975—2000 年间,湿地面积减少的主要原因是河流湿地和沼泽湿地向非湿地类型的转化,转化量分别为 4 490.87 km² 和 5 526.74 km²。2000—2018 年间,造成湿地面积增加的原因主要是非湿地类型向水稻田的转化,其转化量为 17 206.92 km²。

3)通过分析松嫩平原湿地的空间变化和类型转换,认为其变化趋势和现状是受到自然因素和人类活动的综合作用的结果。蓄水工程、河道防洪堤和湿地围垦是天然湿地减少的主要因素;降水量变化、气温上升、蒸发量增加是天然湿地变化的次要因素;受经济效益为中心理念驱动,水田改扩建增加是人工湿地增加的主要因素。

参考文献(References):

- [1]Keddy P A. Wetland ecology: Principles and conservation[M]. 2nd ed. New York: Cambridge University Press, 2010: 626.
- [2]Mitsch W J, Bernal B, Nahlik A M, et al. Wetlands, carbon, and climate change[J]. Landscape Ecology, 2013, 28(4): 583-597.
- [3]Brinson M M, Eckles S D. U.S. Department of agriculture conservation program and practice effects on wetland ecosystem services: A synthesis [J]. Ecological Applications, 2011, 21(sp1): S116-S127.
- [4]张军,徐佳,葛蓝溪,等.湿地遥感制图中的影像融合方法研究[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(20): 5069-5075.
Zhang J, Xu J, Ge L X, et al. Comparison of image fusion methods for wetland mapping based on remote sensing[J]. Science Technology and Engineering, 2012, 12(20): 5069-5075.
- [5]张猛,曾永年,朱永森.面向对象方法的时间序列 MODIS 数据湿地信息提取——以洞庭湖流域为例[J]. 遥感学报, 2017, 21(3): 479-492.
Zhang M, Zeng Y N, Zhu Y S. Wetland mapping of Dongting Lake Basin based on time-series MODIS data and object-oriented method [J]. Journal of Remote Sensing, 2017, 21(3): 479-492.
- [6]宁静,张树文,李颖,等.黑龙江省近 50 年来沼泽湿地退缩特征及其原因分析[J]. 自然资源学报, 2008, 23(1): 79-86.
Ning J, Zhang S W, Li Y, et al. Analysis on wetland shrinking characteristics and its cause in Heilongjiang Province for the last 50 years[J]. Journal of Natural Resources, 2008, 23(1): 79-86.
- [7]金良.基于 3S 技术的天然草原土地利用动态研究——以锡林郭勒草原国家级自然保护区为例[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(4): 121-126.
Jin L. Dynamics of land-use for natural grassland based on 3S: A case of the national natural reserve in Xilinguole grassland[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, 25(4): 121-126.

- [8]李玉凤,刘红玉. 湿地分类和湿地景观分类研究进展[J]. 湿地科学, 2014, 12(1): 102-108.
Li Y F, Liu H Y. Advance in wetland classification and wetland landscape classification researches [J]. Wetland Science, 2014, 12(1): 102-108.
- [9]王秀兰,包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. 地理科学进展, 1999, 18(1): 81-87.
Wang X L, Bao Y H. Study on the methods of land use dynamic change research [J]. Progress in Geography, 1999, 18(1): 81-87.
- [10]武慧智,姜琦刚,李远华,等. 松嫩流域湿地景观动态变化[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2015, 45(1): 327-334.
Wu H Z, Jiang Q G, Li Y H, et al. Dynamic change of wetland landscape pattern in Songhuajiang Nenjiang River Basin [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2015, 45(1): 327-334.
- [11]吴琳娜,杨胜天,刘晓燕,等. 1976年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 54-63.
Wu L N, Yang S T, Liu X Y, et al. Response analysis of land use change to the degree of human activities in Beiluo River Basin since 1976 [J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(1): 54-63.
- [12]毛鸿欣,贾科利,高曦文,等. 1980—2018年银川平原土地利用变化时空格局分析[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(20): 8008-8018.
Mao H X, Jia K L, Gao X W, et al. Spatiotemporal pattern of land use change in Yinchuan Plain from 1980 to 2018 [J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20(20): 8008-8018.
- [13]吕金莹,闫超,贾天宇,等. 松嫩平原活动积温变化及其对作物产量的影响[J]. 生态学杂志, 2019, 38(11): 3349-3356.
Lü J Y, Yan C, Jia T Y, et al. The variation of accumulated temperature in Songnen Plain and its impact on crop yield [J]. Chinese Journal of Ecology, 2019, 38(11): 3349-3356.
- [14]王海霞,万忠娟,于少鹏,等. 松嫩平原距今150年湿地景观结构重建[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2004, 36(2): 75-81.
Wang H X, Wan Z J, Yu S P, et al. The restoration of wetlands in Songnen Plain 150 years ago [J]. Journal of Northeast Normal University, 2004, 36(2): 75-81.
- [15]刘强,马宏伟,田辉,等. 松嫩平原湿地分布变化与影响因素分析[J]. 地质与资源, 2010, 19(1): 76-80.
Liu Q, Ma H W, Tian H, et al. Analysis on the distribution change and influencing factors of the wetlands in Songnen Plain [J]. Geology and Resources, 2010, 19(1): 76-80.
- [16]姜明,吕宪国,许林书,等. 松嫩平原湿地生态系统扰动因子及其反馈[J]. 资源科学, 2005, 27(6): 125-131.
Jiang M, Lü X G, Xu L S, et al. Perturbation factors and feedback of wetland ecosystem in the Songnen Plain [J]. Resources Science, 2005, 27(6): 125-131.
- [17]罗金明,王永洁,柏林,等. 乌裕尔河1951—2015年径流量变化对扎龙盐沼演替的影响[J]. 水资源与水工程学报, 2018, 29(4): 1-6.
Luo J M, Wang Y J, Bai L, et al. Influence of the runoff variation in Wuyur River catchment from 1951 to 2015 on the succession of the Zhalong saline marsh [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2018, 29(4): 1-6.
- [18]罗新正,朱坦,孙广友,等. 松嫩平原湿地荒漠化现状、成因和对策[J]. 中国沙漠, 2003, 23(4): 372-378.
Luo X Z, Zhu T, Sun G Y, et al. Situation, cause and countermeasure of wetland desertification in Songnen Plain [J]. Journal of Desert Research, 2003, 23(4): 372-378.
- [19]罗新正,朱坦,孙广友. 松嫩平原湿地生态环境退化机制探讨[J]. 干旱区资源与环境, 2002, 16(4): 39-43.
Luo X Z, Zhu T, Sun G Y. Studies on degradation mechanism of wetland ecological environment in Songnen Plain [J]. Journal of Arid Land Resources & Environment, 2002, 16(4): 39-43.
- [20]白军红,邓伟,王庆改,等. 松嫩平原湿地环境问题及整治方略[J]. 湿地科学, 2008, 6(1): 1-6.
Bai J H, Deng W, Wang Q G, et al. Environmental problems and protection countermeasures for the wetlands in Songnen Plain, Northeast China [J]. Wetland Science, 2008, 6(1): 1-6.
- [21]赵红艳. 近10年来松嫩平原湿地研究的回顾与展望[J]. 湿地科学, 2006, 4(3): 233-240.
Zhao H Y. Review of wetland science in the Songnen Plain in recent 10 years [J]. Wetland Science, 2006, 4(3): 233-240.