

## 1980—2015 年扎龙湿地景观动态变化分析\*

杨雨晴<sup>1)</sup> 官阿都<sup>1)†</sup> 张玉红<sup>2)</sup> 陈艳玲<sup>1)</sup>

(1)北京师范大学地理科学学部, 遥感科学国家重点实验室, 环境遥感与数字城市北京市重点实验室, 100875, 北京;

(2)哈尔滨师范大学地理科学学院, 150025, 黑龙江 哈尔滨)

**摘要** 基于扎龙湿地 1980—2015 年 7 期土地利用数据、近 35 年气象数据和统计年鉴数据, 利用数理统计、空间分析与景观格局指数等方法, 对扎龙湿地近年来景观类型时空变化、景观格局变化及驱动因素进行分析, 并对生态环境保护措施等问题进行探讨。结果表明: 1) 近 35 年来, 扎龙湿地西北、中东和西南部地区景观类型空间变化明显, 受人类干扰严重, 沼泽地面积减少最多, 耕地面积增加最多, 草地、林地、未利用地面积有不同程度的增加, 水域和建筑用地面积变化不大。2) 在 1995—2005 年扎龙湿地景观破碎度较高, 且 2000—2005 年变化显著。耕地、林地和草地面积增加, 水域、沼泽地面积减少对景观破碎化有直接影响。3) 温度增加使湿地水体的潜在蒸发量增大, 影响湿地水量平衡。大型水利设施、补水工程的修建有效缓解湿地缺水状况, 同时也打破湿地的自然生态水文模式, 加剧湿地景观破碎化。随着社会经济的快速发展和城市化进程的加快, 湿地生态系统功能与可持续发展都面临重大挑战。

**关键词** 扎龙湿地; 景观变化; 驱动因素; 生态保护**中图分类号** K903**DOI:** 10.12202/j.0476-0301.2020270

湿地是地表生态系统主要组成成分, 它是由水陆相互作用形成的能够调蓄洪水、调节径流和地下水、保持水量平衡以及保护生物多样性的自然综合体<sup>[1]</sup>。作为我国北方同纬度地区保留最完善的湿地生态系统、世界上最大的丹顶鹤繁殖地, 扎龙湿地对于区域气候调节、生态环境涵养具有重要作用。在气候变暖背景下, 随着社会经济的发展, 城市化进程加快, 扎龙湿地自然生态问题日益突出。湿地面积减少, 生物多样性下降, 景观破碎化和变干趋势日益严重, 扎龙湿地功能和可持续发展面临重大威胁。因此, 加强对湿地景观变化及驱动因素的研究, 对湿地保护和恢复意义深远。

目前, 学者们基于遥感技术已对扎龙及其他湿地景观动态变化<sup>[2-4]</sup>、土地利用/土地覆被变化<sup>[5-6]</sup>、生态系统服务价值<sup>[7-10]</sup>等开展了相关研究, 取得了丰硕的研究成果。然而, 由于扎龙湿地地理位置复杂, 处于多县交界处, 并位于扎龙自然保护区内, 其人口、建筑、经济等数据难以准确获取, 因此对扎龙湿地景观变化驱动因素定量分析较为困难。例如: 在基于 GIS 和 CA-Markov 模型的扎龙湿地景观变化研究中, 预测 2010—2020 年土地利用类型时, 主要根据 2000—2010 年湿地变化特点, 忽略了政策、建立工程设施等其他不确定因素对扎龙湿地的影响<sup>[11]</sup>; 运用景观指数

和增强回归树模型定量分析 1980—2015 年湿地格局演变特征与驱动机制时, 由于研究区受人类活动影响较大, 因此驱动因子距耕地和道路的距离只参照 1980 年数据, 将对研究结果有很大影响<sup>[12]</sup>; 以 2000、2007、2013 年 Landsat TM 影像为数据源, 进行扎龙湿地景观动态变化与丹顶鹤人为干扰分析, 但只基于 GIS 技术从遥感影像的地类面积进行动态变化分析, 对湿地景观层面变化分析不全<sup>[13]</sup>。上述关于扎龙湿地的研究大多存在影像数据少、时间序列短、景观动态变化分析不全和定量分析不准确等问题。

一方面, 扎龙湿地在 21 世纪初受到干旱、火灾等自然气候变化的影响, 且修建水利、道路等工程设施强度高, 为深入掌握这些变化规律, 需要长时间序列的遥感数据, 全面具体地分析景观动态变化过程; 另一方面, 党的十八大提出“大力推进生态文明建设”的战略决策, 对扎龙湿地的生态保护建设提出了更高要求。为此, 本研究利用 1980—2015 年 7 期土地利用数据建立长时间序列, 借助 ArcGIS、Fragstats 软件及转移矩阵、景观指数等方法, 对扎龙湿地景观从转换类型、时空变化、景观指数方面进行详细分析; 同时, 结合历年气象数据借助 SPSS 软件定量分析气温、降水对湿地景观变化的影响, 参考已有研究结果、统计年鉴、文献等, 探讨其他驱动因素及扎龙湿地生态保

\* 国家重点研发计划资助项目(2019YFE01277002); 国家自然科学基金资助项目(41671412, 41771195)

† 通信作者: 官阿都(1976—), 男, 博士, 副教授。研究方向: 灾害遥感监测、城市遥感研究。E-mail: gad@bnu.edu

收稿日期: 2020-07-12

护机制,以期为深入了解扎龙湿地景观变化特点及生态保护恢复提供支撑。

## 1 数据与方法

**1.1 研究区概况** 扎龙湿地位于黑龙江省西部松嫩平原乌裕尔河下游,齐齐哈尔市东南部、大庆市西北部,与林甸、富裕、泰来等县接壤,地理坐标为 $123^{\circ}51'30''\sim 124^{\circ}37'30''E$ , $46^{\circ}48'00''\sim 47^{\circ}31'30''N$ ,总面积约 $2\ 100\text{ km}^2$ 。扎龙湿地1987年经国务院批准晋升为国家级保护区,1992年被列入中国首批世界重要湿地名录<sup>[4]</sup>。该地区是我国北方同纬度地区保留最完善、最原始、最开阔的湿地生态系统,也是我国以鹤类等大型水禽为主的珍稀水禽分布区,是世界上最大的丹顶鹤繁殖地。

根据黑龙江省扎龙国家级自然保护区管理局提供的“扎龙国家级自然保护区功能区划图”,将扎龙研究区划分为核心区( $700\text{ km}^2$ )、缓冲区( $670\text{ km}^2$ )和试验区( $730\text{ km}^2$ ),丹顶鹤则主要栖息于核心区<sup>[15]</sup>。扎龙湿地属于北温带大陆性气候,春季比较干旱,夏季雨水丰富气温较高,秋季短暂多风,冬季漫长寒冷,年均气温为 $2\sim 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,多年平均降水量为 $419\text{ mm}$ ,多年平均蒸发量为 $1307.7\text{ mm}$ <sup>[3]</sup>。

**1.2 数据来源** 采用的土地利用数据来自中科院刘纪远团队,该数据基于Landsat遥感影像,通过人工目视解译,野外验证,建成了国家尺度 $1:10$ 万土地利用/土地覆盖专题数据库。一级类的解译精度 $\geq 85\%$ ,符合制图要求。结合扎龙湿地的土地利用现状,将本研究区用地类型分为耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地和沼泽地7大类。

气象数据由中国气象网(<http://cdc.cma.gov.cn/home.do>)下载得到,主要包括黑龙江省齐齐哈尔市气象站点1979—2015年月值数据集,包括降水量、平均气温等气象要素。其他数据还包括黑龙江省道路数据及黑龙江省齐齐哈尔市1989—2017年扎龙湿地统计年鉴数据等。

### 1.3 研究方法

**1.3.1 土地利用转移矩阵** 土地利用转移矩阵可以定量描述区域内某一土地利用类型转变为其他土地利用类型的具体数量,以及它们之间的比例关系,是马尔科夫模型在土地利用变化方面的应用。

**1.3.2 景观格局指数** 景观格局指数是根据不同的生态结构,通过把研究区划分为各种景观斑块单元,从而在数量上分析研究区空间景观格局的各项特征指数。本文选用Fragstats软件4.2版本,在类型水平上选取的指标有斑块类型面积和斑块数量,在景观水平上选取的指标有蔓延度指数、景观分割度、香农多样性指数、聚集度指数等。各指数的含义、计算方法见文献<sup>[16]</sup>。

**1.3.3 Pearson相关系数及线性回归方程** Pearson相关系数及线性回归方程是分析事物间统计关系的2种方法。本文利用Pearson相关系数计算景观类型变化与景观破碎化的关系,用线性回归方程描述气温和降水与时间的变化规律。

## 2 结果分析

### 2.1 扎龙湿地景观动态变化分析

**2.1.1 扎龙湿地景观时空变化分析** 1980—2015年扎龙湿地草地、林地、耕地及沼泽地空间变化明显,其他地类空间变化不大(图1)。

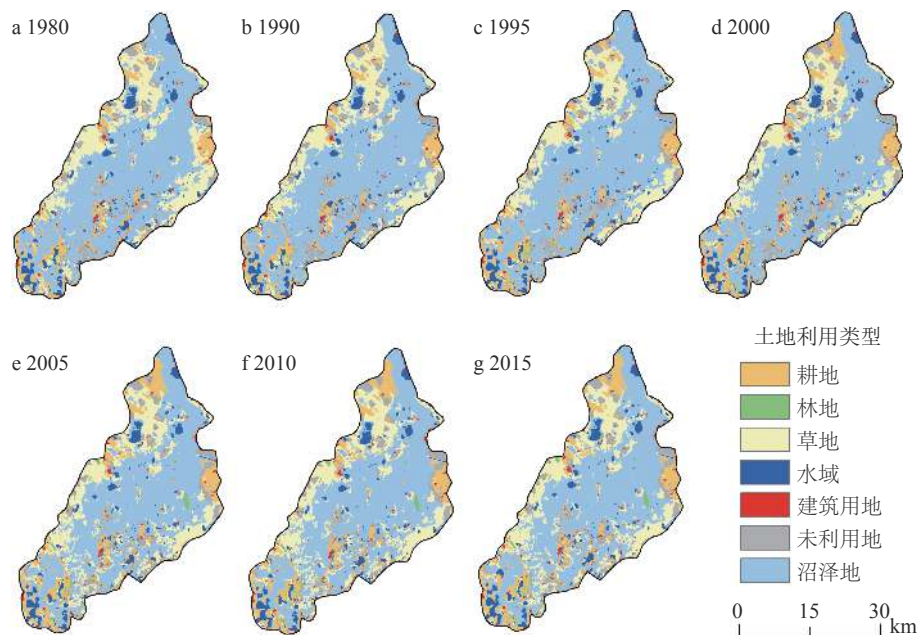


图1 扎龙湿地1980—2015年土地利用分布

1980—2015 年扎龙湿地西北和西南部沼泽地损失最严重,从土地利用空间分布来看,损失的沼泽地多转换成草地;1980—1990 年扎龙湿地西北部草地明显增多、中东部草地明显减少,草地和沼泽地相互转换.1990—2000 年西北部一些草地被开垦为耕地;2000—2005 年西南部沼泽地向草地碎片式转化,并且中东部有少量林地出现,2005 年后土地利用空间分布变化不大.

由 1980—2015 年土地利用转移差值(表 1)及转

移矩阵(表 2)可知:近 35 年沼泽地共减少 103.32 km<sup>2</sup>,约占 1980 年沼泽地总面积的 1/12;耕地面积增加最多,增加量为 52.01 km<sup>2</sup>;林地面积由原来的 7.93 km<sup>2</sup>增加到 11.04 km<sup>2</sup>,草地和未利用地面积增加量比林地大,但较 1980 年相比增幅仅为 1/30;水域和建筑用地变化不大,水域面积减少 1.07 km<sup>2</sup>,建筑用地面积增加 0.31 km<sup>2</sup>.总的来说,沼泽地减少和耕地增多是 1980—2015 年湿地景观类型的主要变化.

表 1 扎龙湿地 1980—2015 年土地利用转移差值

km<sup>2</sup>

| 年份   | 耕地     | 林地    | 草地     | 水域     | 建筑用地  | 未利用地   | 沼泽地     | 总计      |
|------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|---------|---------|
| 1980 | 210.18 | 7.93  | 451.45 | 113.98 | 23.98 | 194.93 | 1247.63 | 2250.08 |
| 2015 | 262.19 | 18.97 | 466.64 | 112.91 | 24.29 | 220.77 | 1144.31 | 2250.08 |
| 差值   | 52.01  | 11.04 | 15.19  | -1.07  | 0.31  | 25.84  | -103.32 | 0       |

表 2 扎龙湿地 1980—2015 年土地利用转移矩阵

km<sup>2</sup>

| 1980年 | 2015年  |       |        |        |       |        |         |         |
|-------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|---------|---------|
|       | 耕地     | 林地    | 草地     | 水域     | 建筑用地  | 未利用地   | 沼泽地     | 总计      |
| 耕地    | 199.98 | 2.73  | 1.36   | 0.01   | 0.21  | 5.47   | 0.40    | 210.18  |
| 林地    | 0.04   | 7.81  | 0.08   | 0      | 0     | 0      | 0       | 7.93    |
| 草地    | 27.53  | 2.18  | 346.75 | 1.86   | 0.05  | 22.73  | 50.35   | 451.45  |
| 水域    | 0.05   | 0.02  | 0.44   | 108.96 | 0.01  | 0.83   | 3.67    | 113.98  |
| 建筑用地  | 0.01   | 0     | 0.23   | 0      | 23.71 | 0.02   | 0.01    | 23.98   |
| 未利用地  | 1.20   | 0     | 8.79   | 0      | 0.31  | 183.13 | 1.50    | 194.93  |
| 沼泽地   | 33.36  | 6.23  | 108.99 | 2.07   | 0     | 8.59   | 1088.38 | 1247.63 |
| 总计    | 262.19 | 18.97 | 466.64 | 112.91 | 24.29 | 220.77 | 1144.31 | 2250.08 |

2.1.2 扎龙湿地景观格局变化分析 扎龙湿地各时期斑块所占景观面积的比例(图 2)是确定景观势度的依据之一.

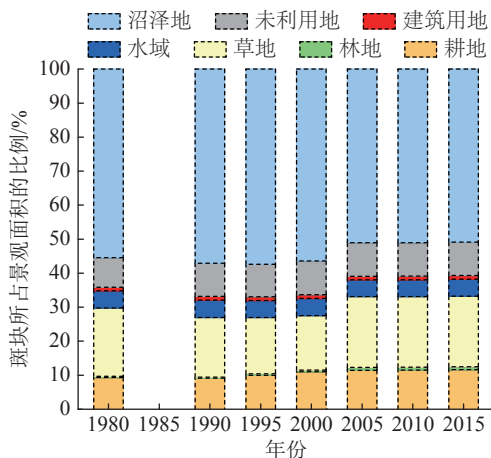


图 2 扎龙湿地 1980—2015 年斑块所占景观面积的比例

1980—2015 年扎龙湿地总体景观类型及优势景观没变,在 7 类景观中沼泽地面积占比始终  $\geq 50\%$ 。

在 2000—2005 年,景观面积占比变化明显,其中沼泽地面积占比从 56% 下降至 51%,草地面积占比从 16% 提升至 20%,林地面积占比也有小幅度提升.其他时间景观类型转换不明显,湿地生态系统趋于稳定.总的来说,1980—2015 年沼泽地面积处于减少趋势,林地、耕地和未利用地面积有所增加,草地经历了先减少、再稳定、后增加的过程,建筑用地和水域面积波动不明显.

根据聚集度指数和景观分割度结果可知(图 3),1980—2000 年扎龙湿地的聚集度指数呈缓慢上升趋势,2000 年达到最高值 97.66%,之后明显下降,2005—2015 年保持稳定.此结果可能受 20 世纪末旱灾和火灾的影响,1999—2002 年,扎龙湿地及其水源补给地乌裕尔河和双阳河流域遭到大旱,2000 年发生大火,导致湿地严重缺水.景观分割度在 2000—2005 年增幅较为明显,这是被 20 世纪末当地政府在扎龙地区大幅度修建公路铁路所影响,纵横交错的公路、村屯极大地破坏了湿地生态系统的完整性,导致景观破碎

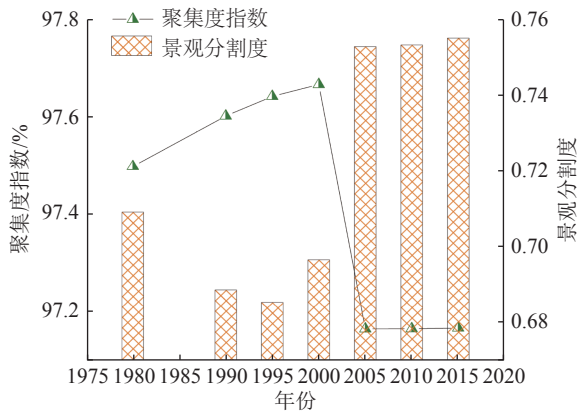


图 3 聚集度指数和景观分割度

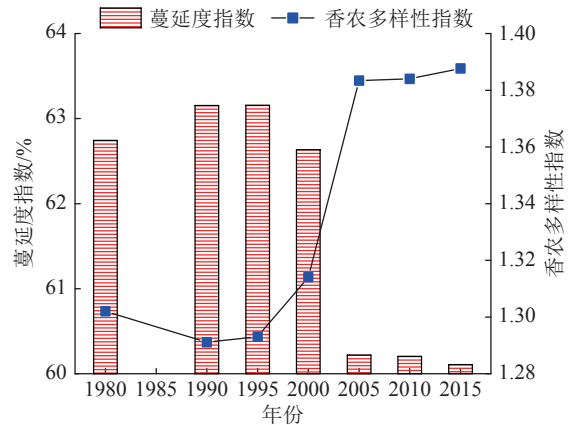


图 4 蔓延度指数和香农多样性指数

度增大, 景观分割明显。

2000—2005 年扎龙湿地蔓延度指数明显下降 (图 4), 不同斑块团聚程度降低, 香农多样性指数明显升高, 各地类转换的不定性信息增多。总体来看, 聚集度指数和香农多样性指数变化趋势相反, 但结果均为在 1980—1995 年优势斑块具有良好的连接性期间, 1995—2005 年景观破碎度较高, 并在 2000—2005 年变化明显, 2005—2015 年景观类型变化趋于稳定。

**2.1.3 景观类型变化对景观破碎化的响应** 区域景观结构的完整性很大程度上决定于该地区是否完成对土地的合理利用, 不合理的土地利用会导致生物多样性降低、斑块破碎化和生境的退化<sup>[17]</sup>。

本文基于 SPSS 软件对扎龙湿地土地利用类型与

景观指数进行相关性分析, 结果(表 3)显示: 耕地、林地、草地、水域和沼泽地 5 大类型的面积变化与大部分景观指数存在显著或极显著相关性, 而这 5 种地类都跟植被的生长环境有关。其中: 耕地、林地和草地 3 类面积与蔓延度指数呈显著/极显著负相关, 与景观分割度/香农多样性指数呈显著/极显著正相关; 水域与蔓延度指数呈显著正相关, 与香农多样性指数呈显著负相关; 沼泽地与蔓延度指数呈极显著正相关, 与景观分割度以及香农多样性指数呈极显著负相关。从分析结果看, 耕地、林地和草地面积的增加, 水域、沼泽地面积的减少是影响景观破碎化程度的重要因素。

表 3 扎龙湿地景观指数与景观类型面积变化的相关系数

| 景观指数    | 耕地      | 林地       | 草地      | 水域      | 建筑用地   | 未利用地   | 沼泽地      |
|---------|---------|----------|---------|---------|--------|--------|----------|
| 斑块个数    | -0.322  | 0.078    | 0.656   | 0.125   | -0.570 | -0.441 | -0.290   |
| 斑块平均大小  | 0.255   | -0.155   | -0.675  | -0.023  | 0.509  | 0.393  | 0.337    |
| 蔓延度指数   | -0.861* | -0.983** | -0.813* | 0.766*  | 0.075  | -0.390 | 0.992**  |
| 景观分割度   | 0.796*  | 0.945**  | 0.888** | -0.724  | -0.226 | 0.251  | -0.999** |
| 香农多样性指数 | 0.888** | 0.989**  | 0.781*  | -0.775* | -0.035 | 0.427  | -0.985** |

注: \*和\*\*分别代表双侧显著水平 0.05 和 0.01。

## 2.2 驱动因素分析

**2.2.1 自然环境分析** 扎龙湿地位于内陆地区, 地势平坦, 占地面积约 2100 km<sup>2</sup>。由扎龙湿地 1980—2015 年气象数据与时间的统计关系(表 4 和图 5)可知: 该地区气温总体呈上升趋势, 年均升温 0.025 °C; 降水随时间无明显变化, 1980—2015 年年均降水量仅有 445 mm, 最大年均降水量为 1988 年的 651 mm, 最小年均降水量为 2001 年的 251 mm, 年均降水量的 70% 来自夏季<sup>[3]</sup>。温度增加使湿地水体的潜在蒸发量增大, 在降水量不变甚至减少的情况下, 会严重影响湿

地水量平衡, 进而破坏湿地系统的稳定加速湿地景观格局转变。

表 4 气温/降水与年份的统计关系

| 气候因素       | 与年份 x 的<br>线性回归方程             | 与年份的<br>Pearson 相关性 |
|------------|-------------------------------|---------------------|
| 年平均气温 y/°C | $y=0.025x-46.069, R^2=0.125$  | 0.353*              |
| 年平均降水 z/mm | $z=0.123x+205.513, R^2<0.001$ | 0.014               |

注: \*代表双侧显著水平 0.05。

**2.2.2 人类活动分析** 建设工程是引起湿地景观破碎化的重要因子, 工程设施会对湿地的自然水文产生

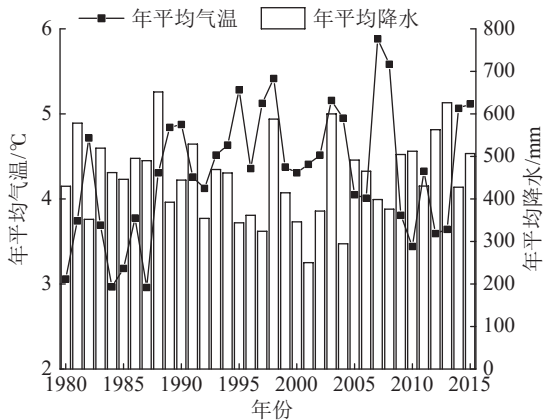


图 5 扎龙湿地 1980—2015 年年平均气温和年平均降水量

影响,也对湿地中的水生植物、珍稀鸟禽等产生明显干扰.1980年整个扎龙湿地只有301国道从北部通过;随着特乐公路大桥在1986年建成,301国道改道,贯通扎龙湿地东西方向的公路增加到3条;1990—2000年,在湿地周边和内部地区修建公路的活动达到高峰;其中滨州铁路和301国道对扎龙湿地破坏的影响最深刻<sup>[15]</sup>.与此同时,各级水利部门和地方在扎龙地区建设多种重大水利设施,湿地被分割成了条块状,湿地的破碎化程度加大,天然的水文模式被破坏,湿地的退化问题不断加剧<sup>[18]</sup>.

### 3 讨论

从景观动态变化看,1980—2015年扎龙湿地总体景观类型及优势景观没变,沼泽地面积减少但占比始终 $\geq 50\%$ ,草地、林地、耕地和未利用地面积在近35年有所增加,耕地增幅最大,建筑用地和水域面积变化不大.草地和沼泽地的相互转化是研究区主要土地利用类型的优势转移过程<sup>[19]</sup>,如1980—1990年主要是西北部沼泽地变为草地、中东部草地变为沼泽地,2000—2005年西南部沼泽地变草地.与沼泽内部相比,沼泽边缘的土地稳定性较低,更易造成土地流失<sup>[20]</sup>.

从景观生态学角度,扎龙湿地2004年景观多样性指数比1995年增加5.22%,主要由于人类活动范围的不断扩大,加速了景观破碎化<sup>[21]</sup>.景观分割度在1995—2005年增大,且2000—2005年增幅明显;蔓延度指数和景观聚集度指数在2000—2005年下降明显,往后趋于稳定.在对景观面积变化与景观指数的相关性分析中,也验证耕地、林地及草地面积增加,水域、沼泽地面积减少是景观破碎化程度加大的直接因素.

沼泽地的扩张和消失与温度和降水模式变化有密切的联系<sup>[22]</sup>.在对扎龙湿地气象变化的研究中,张

苗苗等<sup>[23]</sup>认为:在20世纪80年代末至2010年扎龙地区年均气温增加趋势显著,降水变化不显著.这与本文的结果,即扎龙地区1980—2015年年均气温增加 $0.025\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、降水随时间无明显变化基本一致.在人类活动的分析中,袁力等<sup>[21]</sup>研究表明:强烈的人为活动是影响研究区域沼泽湿地减少的主要原因.在1990—2000年间,扎龙湿地周边和内部地区修建公路的活动达到高峰,与此同时大型水利设施的建立,进一步破坏湿地天然水文模式.水文连通受阻会影响物种的生境间迁移,导致种群孤立程度增加,影响生境稳定性,造成生态系统服务功能受损<sup>[24]</sup>.

湿地的保护和恢复是可持续发展的重要组成部分<sup>[25]</sup>.随着扎龙自然保护区的建立、我国“大力推进生态文明建设”决策的提出,人们对生态环境保护的重视程度进一步提升.扎龙湿地自20世纪90年代末出现严重缺水现象,植被迅速退化,荒火频繁发生,引起了各级政府的高度重视.2002年4—9月黑龙江省水利厅引嫩工程向荒火破坏地补水 $3\text{亿 m}^3$ ,初步解决湿地缺水问题;2005年政府制止在缓冲区修建公路、在附近开采石油、挖沟、东升水库搞开发等重大工程;2009年省政府建立扎龙自然保护区补水专项经费,年均为扎龙湿地补水 $2.5\text{亿 m}^3$ ,有效缓解扎龙湿地缺水状况,是我国第一个国际重要湿地长效补水机制;2016年在该地区建立扎龙湿地博物院,并且已实施核心区搬迁工程,13批村屯分批迁出保护区<sup>[14]</sup>.因此,加强对扎龙自然保护区的治理,建立长效的补水机制,对实现扎龙湿地可持续发展起到重要作用.

对于扎龙湿地景观变化的研究,除了受自然条件、人类活动等因素影响,单从研究结果来看,也受研究使用数据的时间、质量、土地利用分类方法等影响.例如,扎龙湿地位于黑龙江省,冬季可能会被积雪覆盖,因此在影像时间选择上应选取4—9月的数据,并且要考虑云、雨季、植被等影响,尽可能选取同一时相的影像.另一方面,在本文以及龚文峰等<sup>[19]</sup>、龙泽旭等<sup>[13]</sup>的研究中,沼泽地面积始终占研究区总面积的 $50\%\sim 60\%$ ,而在袁力等<sup>[21]</sup>的研究中沼泽地面积占比 $>60\%$ .区别在于袁力将沼泽地和未利用地归为一类,而本文及其他研究将二者分为2类,因此土地利用/覆被分类体系和方法的选择也会对研究结果产生影响.其余可能会对研究结果产生影响的因素,有待进一步研究探讨.

### 4 结论

近35年间扎龙湿地景观空间分布变化主要集中在

在西北、中东和西南部地区。西南部景观类型在2000—2005年变化最大,沼泽地面积减少最多,减少量为103.32 km<sup>2</sup>;耕地面积增加最多,增加了52.01 km<sup>2</sup>,是1980年的1/4;草地呈碎片式增多,草地、林地、未利用地面积有不同程度的增加,水域和建筑用地面积变化不大。扎龙地区在1995—2005年景观破碎度较高,2000—2005年变化显著,在1980—1995及2005—2015年趋于稳定。耕地、林地和草地面积增加,水域和沼泽地面积减少对景观破碎化有直接影响。

1980—2015年扎龙湿地年均气温总体呈上升趋势,年均降水无明显变化。温度增加使湿地水体的潜在蒸发量增大,影响湿地水量平衡。重大自然灾害发生,导致湿地生态系统遭到破坏,必须及时介入人工干预进行补救。建设水利工程等设施在调蓄水源功能的同时,也极大地破坏了湿地天然水文模式,增大了湿地景观破碎度。

## 5 参考文献

- [1] MITSCH W J, HERNANDEZ M E. Landscape and climate change threats to wetlands of North and Central America[J]. *Aquatic Sciences*, 2013, 75(1): 133
- [2] 朱金峰,周艺,王世新,等. 1975—2018年白洋淀湿地变化分析[J]. *遥感学报*, 2019, 23(5): 971
- [3] 张玉红,苏立英,于万辉,等. 扎龙湿地景观动态变化特征[J]. *地理学报*, 2015, 70(1): 131
- [4] 吕金霞,蒋卫国,王文杰,等. 近30年来京津冀地区湿地景观变化及其驱动因素[J]. *生态学报*, 2018, 38(12): 4492
- [5] ZHANG D, WANG X R, QU L P, et al. Land use/cover predictions incorporating ecological security for the Yangtze River Delta region, China[J]. *Ecological Indicators*, 2020, 119: 106841
- [6] MENG L R, DONG J H. LUCC and ecosystem service value assessment for wetlands: a case study in nansi lake, China[J]. *Water*, 2019, 11(8): 1597
- [7] 朱金峰,周艺,王世新,等. 白洋淀湿地生态功能评价及分区[J]. *生态学报*, 2020, 40(2): 459
- [8] 荔琢,蒋卫国,王文杰,等. 基于生态系统服务价值的京津冀城市群湿地主导服务功能研究[J]. *自然资源学报*, 2019, 34(8): 1654
- [9] 崔丽娟,庞丙亮,李伟,等. 扎龙湿地生态系统服务价值评价[J]. *生态学报*, 2016, 36(3): 828
- [10] 裴俊,杨薇,王文燕. 淡水恢复工程对黄河三角洲湿地生态系统服务的影响[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2018, 54(1): 104
- [11] 李浩,袁力,龚文峰,等. 基于GIS和CA-Markov模型的扎龙湿地景观变化研究[J]. *野生动物学报*, 2015, 36(3): 288
- [12] 吴金华,房世峰,刘宝军,等. 乌裕尔河-双阳河流域湿地景观格局演变及其驱动机制[J]. *生态学报*, 2020, 40(13): 4279
- [13] 龙泽旭,龚文峰,袁力,等. 扎龙保护区景观动态变化与丹顶鹤人为干扰分析[J]. *野生动物学报*, 2014, 35(4): 431
- [14] 李长友,杜微,张斌,等. 黑龙江扎龙国家级自然保护区[M]//温向前. 齐齐哈尔年鉴. 北京:中国统计出版社, 2017
- [15] 佟守正,吕宪国,苏立英,等. 扎龙湿地生态系统变化过程及影响因子分析[J]. *湿地科学*, 2008, 6(2): 179
- [16] 邬建国. 景观生态学:格局、过程、尺度与等级[M]. 2版. 北京:高等教育出版社, 2007.
- [17] 吴庭天,丁山,陈宗铸,等. 基于LUCC和景观格局变化的海南东寨港红树林湿地动态研究[J]. *林业科学研究*, 2020, 33(5): 154
- [18] 李艺,王红旗,李晓珂. 公路建设中不同因素变化对湿地水系连通性的影响[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2017, 53(2): 180
- [19] 龚文峰,袁力,范文义. 基于RS和GIS扎龙湿地景观时空演变研究[J]. *水土保持研究*, 2010, 17(1): 107
- [20] ROY S, ROBESON S M, ORTIZ A C, et al. Spatial and temporal patterns of land loss in the Lower Mississippi River Delta from 1983 to 2016[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2020, 250: 112046
- [21] 袁力,赵雨森,龚文峰,等. 基于RS和GIS扎龙湿地土地利用景观格局演变的研究[J]. *水土保持研究*, 2008, 15(3): 49
- [22] GARRIS H W, MITCHELL R J, FRASER L H, et al. Forecasting climate change impacts on the distribution of wetland habitat in the Midwestern United states[J]. *Global Change Biology*, 2015, 21(2): 766
- [23] 张苗苗,牛忠清,郑凯. 扎龙湿地周边地区近50年干湿特征分析[J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(3): 261
- [24] 冯久格,李谦维,梁晨,等. 基于景观指数的黄河口湿地水文连通动态分析[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2021, 57(1): 12
- [25] BAO J L, GAO S, GE J X. Salt and wetland: traditional development landscape, land use changes and environmental adaptation on the central Jiangsu Coast, China, 1450—1900[J]. *Wetlands*, 2019, 39(5): 1089

## Dynamic changes in Zhalong Wetland landscape from 1980 to 2015

YANG Yuqing<sup>1)</sup> GONG Adu<sup>1)†</sup> ZHANG Yuhong<sup>2)</sup> CHEN Yanling<sup>1)</sup>

(1) State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Beijing Key Laboratory of Environmental Remote Sensing and Digital City, Department of Geographic Science, Beijing Normal University, 100875, Beijing, China;

2) School of Geographical Sciences, Harbin Normal University, 150025, Heilongjiang, Harbin, China)

**Abstract** Wetlands have important functions in protecting biodiversity, regulating floods and runoff. The 7th period of land use data for Zhalong Wetland from 1980 to 2015, meteorological data of the past 35 years and statistical yearbook data were used for mathematical statistics, spatial analysis and landscape pattern index, to analyze the temporal and spatial changes in landscape types and landscape patterns in Zhalong Wetland. Changes and their driving factors. Issues such as ecological environmental protection measures was discussed. The landscape types in the northwest, middle-east and southwest of Zhalong Wetland were found to have changed significantly in the past 35 years, been seriously disturbed by human activities. The total area of marshland was found to have decreased the most, total area of arable land increased the most, total area of grassland, woodland and unused land increased to varying degrees, but area of water and construction land remained unchanged. The Zhalong wetland landscape was highly fragmented from 1995 to 2005, such changes were significant from 2000 to 2005. Increases in arable land, woodland and grassland, decreases in waters and swamps were found to have direct impacts on fragmentation of landscape. Increased temperatures enhanced potential evaporation of wetland water bodies, affecting wetland water balance. The construction of large-scale water conservancy facilities and water replenishment projects effectively alleviated the lack of water in wetlands, at the same time broke the natural ecological hydrological model of wetlands, and aggravated fragmentation in wetland landscapes. It is concluded that with rapid development of social economy and acceleration in urbanization, the function and sustainable development of wetland ecosystems are facing major challenges.

**Keywords** Zhalong Wetland; landscape change; driving factors; ecological protection

【责任编辑:刘先勤】