

# 2000—2014年呼伦贝尔沙地河流湿地植被 NPP时空变化及驱动力分析

郭连发<sup>1</sup>, 来全<sup>1,2</sup>, 伊博力<sup>1</sup>, 银山<sup>1</sup>

(1. 内蒙古师范大学 地理科学学院, 呼和浩特 010022;

2. 内蒙古师范大学 内蒙古自治区遥感与地理信息重点实验室, 呼和浩特 010022)

**摘要:** 植被净初级生产力(NPP)可以直接反映植被在自然环境中的生产能力, 利用遥感影像、气温降水数据结合简单差值法、趋势分析法以及线性回归分析对呼伦贝尔沙地河流湿地 NPP 进行了时空变化研究与驱动力分析。结果表明: 时间上, 呼伦贝尔沙地河流湿地 NPP 呈现波动式增长, NPP 增长面积可达整个湿地面积的 92.51%, 年增长率为  $0\sim 2\text{ gC}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ ; 空间上, 河流湿地 NPP 值呈现东高西低格局。而 15 年间 NPP 增加最快的湿地为处于西部的克鲁伦河湿地, 增长面积可达 99.5%; 气候变化与人类活动是导致 NPP 变化的两个重要因素, NPP 增长与降水量呈显著正相关( $R=0.703$ ), 与气温呈显著负相关( $R=-0.559$ )。经济产业结构的变化使得人类活动对生态环境的压力减小, 促使湿地 NPP 的增加。同时, 国家政策以及治沙工程同样影响着 NPP 的变化。

**关键词:** 植被净初级生产力; 时空变化; 驱动力分析; 河流湿地

中图分类号: TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)06-0267-06

## Spatiotemporal Changes of Net Primary Productivity of River Wetland and Its Driving Factors in Hulun Buir Sandy Land in 2000—2014

GUO Lianfa<sup>1</sup>, LAI Quan<sup>1,2</sup>, YI Boli<sup>1</sup>, YIN Shan<sup>1</sup>

(1. School of Geographical Sciences, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China; 2. Key Laboratory of Remote Sensing and Geographic Information, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China)

**Abstract:** Net primary productivity (NPP) can directly reflect the production capacity of the vegetation in the natural environment. The NPP of River Wetland in Hulun Buir sandy land on air changes and driving force were analyzed using the data of temperature and precipitation and combining with remote sensing images, simple difference method and trend analysis and linear regression. The results showed that: considering the time, the sandy land in Hulun Buir River Wetland NPP presented the fluctuant growth, NPP growth in the area of wetland accounted for up to 92.51% of area, the annual growth rate was between  $0\sim 2\text{ gC}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ ; with respect to the space, NPP presented the distribution of the east high west low; during the 15 years, the wetland with fastest growing NPP is in Western Herlen wetland with growth area of up to 99.5%; climate change and human activities are two important factors that lead to the changes of NPP, NPP is significantly correlated with the increase of precipitation ( $R=0.703$ ), negatively correlated with temperature ( $R=-0.559$ ). The change of the economic industrial structure makes the pressure of human activities on the ecological environment decrease, which leads to the increase of NPP. At the same time, the national policy and the sand control project also affect the change of NPP.

**Keywords:** net primary productivity; temporal and spatial variation; driving force analysis; river wetland

湿地作为陆地表层独特而重要的生态系统类型, 调节气候、涵养水源的功能, 还具有较高的生产力以在水分和整个物质循环中起到重要作用, 它不仅具有 丰富的物种多样性<sup>[1-2]</sup>。做好湿地保护工作有助于

当地生态、经济的可持续发展以及生态文明建设。植被净初级生产力(Net Primary Productivity, NPP)是指植被在单位面积和单位时间上由光合作用固定的有机质总量中扣除植物自养呼吸的消耗量后的剩余部分,它会随着环境的改变而发生变化,因此它能直接反映绿色植被群落在自然环境条件下的生产能力<sup>[3-4]</sup>。同时植被净初级生产力与气候变化、土地荒漠化有着密切的关系,为全球性或者区域性的生态环境问题研究提供了重要依据<sup>[5]</sup>。目前,湿地植被 NPP 方面的研究主要侧重在利用模型对植被 NPP 进行估算以及把气候因素作为影响 NPP 变化的主要驱动因素来进行分析,而对于利用 MODIS17A3 数据进行 NPP 时空变化研究则主要以大区域研究为主<sup>[6-9]</sup>。相反,对小区域的湿地植被 NPP 时空变化研究匮乏,而且比较容易忽略人类活动对湿地植被 NPP 变化的影响。一直以来,对呼伦贝尔沙地相关研究较多,但对湿地方面的研究极少。所以,本文选取呼伦贝尔沙地河流湿地为研究对象,对湿地植被 NPP 进行时空变化研究,同时综合气候变化和人类活动两方面因素对其驱动力进行分析,从而为本地区的湿地保护提供指导依据,以促进地区生态环境的保护与改善。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

呼伦贝尔沙地位于大兴安岭的西侧内蒙古呼伦贝尔草原上(47°20′—49°50′N, 117°10′—121°12′E), 平均海拔 650~700 m。该地区温带大陆性气候显著,夏季温和,冬季寒冷,降水主要集中在夏季,多年平均降水量 325 mm。区域最低气温可达-46.6℃,最高气温达到 37.7℃,年平均气温-1.5℃;日照充足,年日照时数平均为 2 900 h,日照百分率在 61%以上<sup>[10]</sup>。研究区内水系相对密集,主要有呼伦湖、贝尔湖、伊敏河、辉河、乌尔逊河、克鲁伦河、海拉尔河和额尔古纳河。本文选取河流湿地分布情况见图 1。

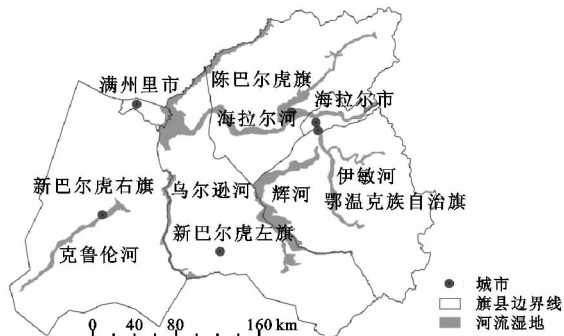


图 1 河流湿地分布

### 1.2 数据来源

1.2.1 遥感数据 本文所用遥感数据为 2000—2014 年 MODIS NPP 产品数据 MODIS17A3,空间分辨率为 1 km×1 km,数据在美国宇航局 NASA 网站(<http://ladsweb.nascom.nasa.gov/>)直接下载。该数据在全球以及区域 NPP 与碳循环研究中得到广泛的认可<sup>[11]</sup>。而且已有研究证明 MODIS17A3 数据在中国东北地区具有一定的精度<sup>[12]</sup>。为便于计算,利用 MRT(Modis Reprojection Tool)软件对 NPP 影像进行数据转换处理。河流湿地采用分辨率为 30 m 的 TM 影像(<http://glovis.usgs.gov/>)选取植被生长季(6—8 月)云量较小的影像在 ArcGIS 软件中进行目视解译获取。

1.2.2 其他数据 本文使用的气象数据为植被生长季(4—9 月份)的气温降水数据,由中国气象数据共享服务网提供(<http://cdc.cma.gov.cn/>)2000—2014 年呼伦贝尔沙地及其周边气象站点的月平均降水量(mm)以及月平均气温(℃)数据。人口经济数据经内蒙古 2000—2014 年统计年鉴获取。

## 2 结果与分析

### 2.1 河流湿地 NPP 时间变化及空间分布

由表 1 可以看出研究区内 5 个河流湿地 NPP 随着时间的推移均表现出上升趋势。多年平均 NPP 表现为伊敏河湿地>辉河湿地>海拉尔河湿地>乌尔逊河湿地>克鲁伦河湿地,伊敏河湿地多年平均 NPP 值最大[38.2 gC/(m<sup>2</sup>·a)],克鲁伦河湿地多年平均 NPP 值最小[27.6 gC/(m<sup>2</sup>·a)]。在沙漠化最严重的呼伦湖附近的两条河流湿地(克鲁伦河湿地、乌尔逊河湿地)NPP 值低于研究区平均水平。整个研究区内的河流湿地 NPP 均表现出一定程度的浮动变化,但 15 a 间本研究区内 NPP 值是增长的。

2000—2014 年呼伦贝尔沙地区河流湿地平均 NPP 分布见图 2,受到地形条件以及气候影响河流湿地 NPP 值由东向西递减,伊敏河湿地大部分地区 NPP 值处于 30~50 gC/(m<sup>2</sup>·a),海拉尔河湿地东部以及辉河湿地南部 NPP 值较高。NPP 值较低的地区主要包括乌尔逊河湿地、克鲁伦河湿地以及海拉尔河湿地西部,NPP 值范围为 20~40 gC/(m<sup>2</sup>·a),这几处河流湿地分布在沙漠化较严重的核心地带,主要土壤类型为盐土、碱土<sup>[13-14]</sup>。在呼伦贝尔草原生态评价中,鄂温克自治旗在 6 个旗县中整体评价最好,而新巴尔虎左旗、新巴尔虎右旗生态安全较差<sup>[15]</sup>,从 NPP 平均分布图中可以得到有力的数据支持。

表 1 2000—2014 年呼伦贝尔沙地年均河流湿地 NPP gC/(m<sup>2</sup>·a)

年份	海拉尔河湿地	克鲁伦河湿地	乌尔逊河湿地	辉河湿地	伊敏河湿地	研究区
2000	31.5	18.1	22.9	32.9	36.6	28.4
2001	26.8	25.2	24.4	28	31	27.1
2002	34.3	33.2	32.8	35	38.2	34.7
2003	32.6	29.1	30.3	38.1	39.8	34
2004	27.2	21	23.4	28	32.6	26.4
2005	34.6	25.3	27.6	34.4	38.7	32.1
2006	32.3	24.9	28.6	33.6	37.3	31.3
2007	29.3	22.4	26.7	29.6	32	28
2008	31.5	27.8	28.4	32.8	35.2	31.1
2009	35.6	26.7	27.5	39.4	44.8	34.8
2010	31.2	25.7	24.6	33	35.1	29.9
2011	36.1	30.6	31.7	36.4	39.8	34.9
2012	34.7	29.7	29.8	35.8	39.3	33.9
2013	31.5	35.4	35.7	40	45.2	37.6
2014	41.7	38.9	37.5	43.1	47.3	41.7
平均	32.7	27.6	28.8	34.7	38.2	32.4

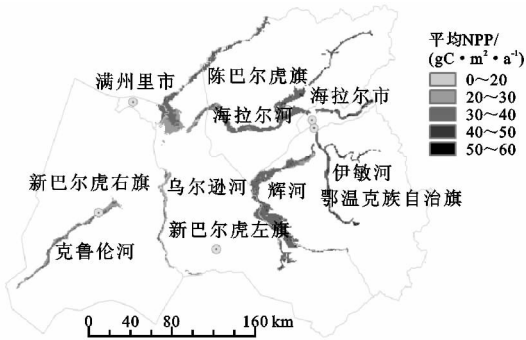


图 2 2000—2014 年河流湿地 NPP 平均分布

NPP 高值区分布在陈巴尔虎旗、海拉尔市、鄂温克族自治旗境内,共同特点为所在地海拔较高,降水多。而 NPP 低值区分布在呼伦湖周围,该地区海拔较低,降水量少,沙漠化严重。受到气候条件以及荒漠化的影响,东部研究区总体 NPP 值要比西部研究区 NPP 值高 10 gC/(m<sup>2</sup>·a)。

2.2 河流湿地 NPP 的变化特征

本研究采用简单差值法以及一元线性回归趋势分析法对比分析 15 a 来呼伦贝尔沙地地区河流湿地 NPP 的变化特征,以了解五条河流湿地 15 a 的 NPP 变化规律。

2.2.1 湿地 NPP15 a 总的变化特征 简单差值法

表 2 2000—2014 年湿地 NPP 变化面积百分比

NPP 变化/ (gC·m <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	克鲁伦河 湿地/%	乌尔逊河 湿地/%	海拉尔河 湿地/%	伊敏河 湿地/%	辉河 湿地/%	研究区/ %
<0	0.50	1.94	5.84	8.89	11.62	7.49
0~10	2.24	18.21	35.28	36.11	32.41	31.42
10~20	29.42	58.53	52.75	41.12	45.96	47.31
20~30	63.60	20.93	5.03	9.44	6.24	11.35
>30	4.24	0.39	1.10	4.44	3.77	2.43
>0	99.50	98.06	94.16	91.11	88.38	92.51

将 2000 年和 2014 年 NPP 影像利用 ArcGIS 栅格计算器(Raster Calculator)进行差值计算,生成 15 a 河流湿地 NPP 变化特征空间分布图(图 3)。通过此方法可以直观的观察 15 a 的 NPP 变化情况。由图 3 可以看出湿地整体 NPP 值是增加的,增幅 10~20 gC/(m<sup>2</sup>·a)。只有一小部分地区 NPP 值减小,主要分布在陈巴尔虎旗周围、海拉尔河与额尔古纳河交汇处以及辉河湿地北部。湿地 NPP 增加最快的为克鲁伦河湿地以及乌尔逊河湿地,这两处湿地大部分地区 NPP 增幅 20~30 gC/(m<sup>2</sup>·a)。为更加清楚直观地了解湿地 NPP 的增减情况,对数据做统计得到表 2。

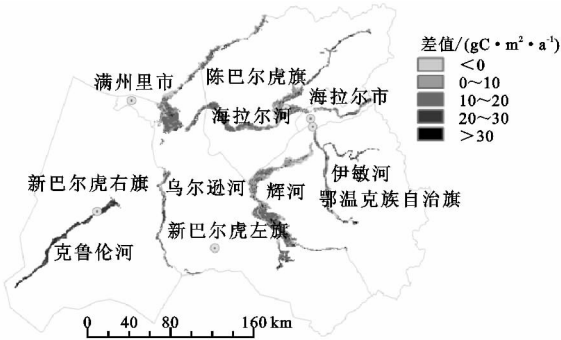


图 3 2014 年与 2000 年湿地 NPP 差值分布

由表 2 可知,研究区内河流湿地 NPP 值增加的面积占到湿地面积的 92.51%,只有伊敏河湿地和辉河湿地低于这个值,而辉河湿地增加面积不足 90%,是唯一 1 个 NPP 增加面积不足 90%的湿地,为 5 个湿地中最低。克鲁伦河湿地 NPP 增加面积可达 99.5%,在所有湿地中增加面积百分比最高,说明近些年来克鲁伦河湿地保护较好,治沙工作比较见效。

2.2.2 湿地 NPP 年际变化率 利用简单差值法进行分析,虽然可以比较直接的反映 15 a 来 NPP 值的变化,但是由于其计算利用的是研究时段端点的图像处理获得,比较容易受到研究时段端点年份极端气候的影响,而利用一元线性回归分析可以一定程度上消除这一因素的影响<sup>[11]</sup>。因此利用此方法可以更好的了解 15 a 来每年的 NPP 增长率变化情况。针对时间序列的 NPP 数据,其年际变化率( $\theta_{\text{slope}}$ )采用基于像元的一元线性回归分析方法, $\theta_{\text{slope}} > 0$  说明变化趋势是增加的,反之为减少,当  $|\theta_{\text{slope}}| \approx 0$  说明 NPP 值没有发生变化<sup>[16-18]</sup>。

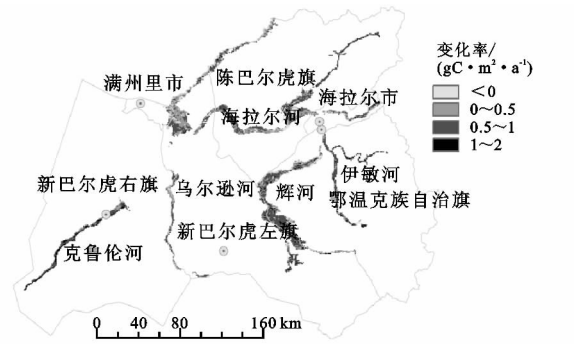


图 4 2000—2014 年河流湿地 NPP 变化斜率

由图 4 可以看出 2000—2014 年 NPP 变化斜率比较小,基本每年增幅为  $0.5 \sim 2 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ,但是整体是呈现增加趋势的。逐渐减小的地区分布在辉河湿地北部、海拉尔河湿地中部以及海拉尔河与额尔古纳河交汇处,这说明这些地方植被状况有所退化。海拉尔河湿地变化斜率比较小,变化斜率处于  $0 \sim 1 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ;变化斜率最大的为克鲁伦河湿地,可以达到  $1 \sim 2 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ,这说明克鲁伦河湿地植被状况得到改善。为便于分析,数据整理后得到 NPP 不同变化斜率所占面积百分比表。

表 3 河流湿地 NPP 不同变化斜率面积百分比

变化斜率/ ( $\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )	克鲁伦河 湿地/%	辉河 湿地/%	海拉尔河 湿地/%	伊敏河 湿地/%	乌尔逊河 湿地/%	研究区/ %
<0	0.25	8.05	8.22	3.24	1.09	6.6
0~0.5	15.75	27.05	44.45	20.95	31.64	34.1
0.5~1	56.5	54.17	43.42	61.1	66.18	50.6
1~3	27.5	10.73	3.91	14.7	1.09	8.7
>0.5	84	64.9	47.33	75.81	67.27	59.3

对表 3 分析可以得出:研究区内河流湿地 NPP 虽然都在增加,但是增加比较快的( $>0.5 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ )是克鲁伦河湿地,可达 84%。增加较缓慢的为海拉尔河湿地,仅占湿地面积的 47.33%,低于研究区平均水平,但是海拉尔河湿地增幅为  $0 \sim 0.5 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  的面积占到 44.45%,远远高于其他湿地,这说明海拉尔河湿地植被状况也在改善,只不过改善速度相比于其他湿地缓慢,湿地植被保护处于起步阶段。

### 3 驱动力分析

#### 3.1 气候变化

气候变化是湿地植被 NPP 变化的主要自然因素,是引起植被 NPP 发生变化的关键。本文从气温、降水分析了气候变化对河流湿地 NPP 变化的影响,气温、降水均采用湿地植被生长季(4—9 月份)数据,从气温、降水以及 NPP 变化趋势图(图 5)中可以发现,NPP 的变化与气温、降水变化有着密切的关系。

近 15 a 来,研究区湿地植被生长季内总的降水

量变化波动比较大,为  $128.7 \sim 406.8 \text{ mm}$ ,总体呈波动增长趋势。降水年份有 3 个明显的峰值,分别出现在 2002 年、2008 年、2013 年,对应的降水量分别为  $232.5 \text{ mm}$ , $228.6 \text{ mm}$ , $406.8 \text{ mm}$ ;气温变化为  $13.1 \sim 16^\circ\text{C}$ ,总体呈波动下降趋势。而在 2002 年、2008 年、2013 年研究区内气温正处于下降阶段,对应的温度分别为  $15.2^\circ\text{C}$ , $14.7^\circ\text{C}$ , $13.1^\circ\text{C}$ 。不难发现,湿地植被 NPP 在 2002 年、2008 年、2013 年正处于上升期,对应的 NPP 值分别为  $34.7 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , $31.1 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , $37.6 \text{ gC}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。NPP 变化与气温、降水的变化规律基本吻合,将气温、降水与 NPP 做相关性分析后发现,NPP 与降水量呈显著正相关关系( $R=0.703, 0.001 < p=0.003 < 0.01$ ),相关系数可达到 0.7,与气温变化呈显著负相关关系( $R=-0.559, p=0.03 < 0.05$ ),相关系数为  $-0.559$ 。由此可知,降水是影响 NPP 变化的主要因子,湿地植被的生长对降水要比气温更为敏感。2000—2014 年,研究区降水呈增长趋势,这也很大程度上导致了河流

湿地 NPP 的增加,可见降水量是河流湿地 NPP 发生变化的重要原因。

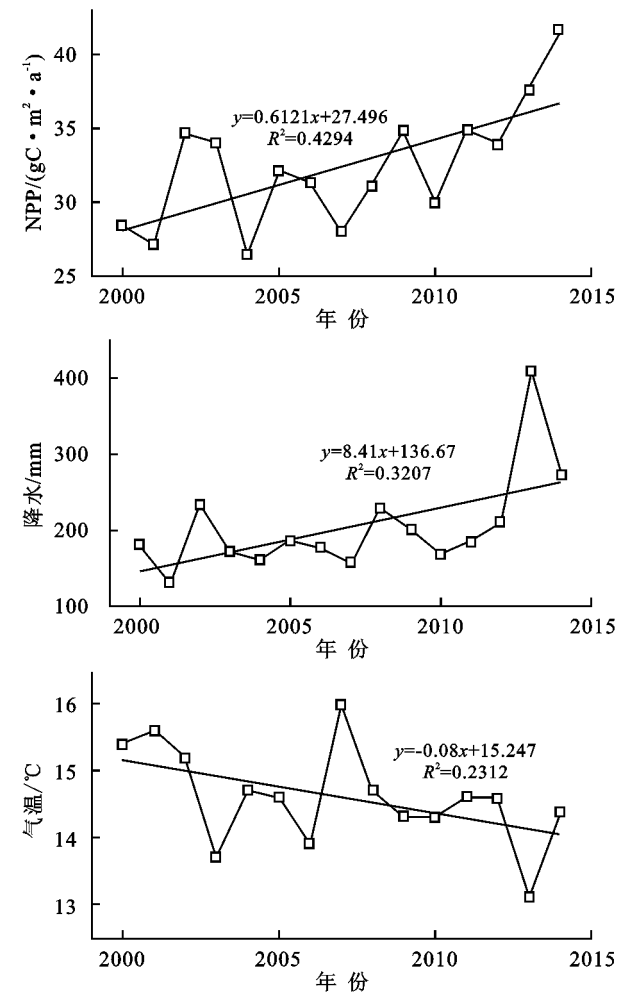


图 5 2000—2014 年湿地 NPP 变化与气候变化

3.2 人类活动

人类活动是很多自然灾害的原因之一,由于不合理的利用资源、大规模的开发等诸多因素容易对土地以及生态环境造成巨大压力,导致生态环境遭到破坏。本文主要从研究区内经济结构方面分析人类活动对河流湿地的影响,通过整理内蒙古统计年鉴得到研究区产业结构变化图(图 6)。

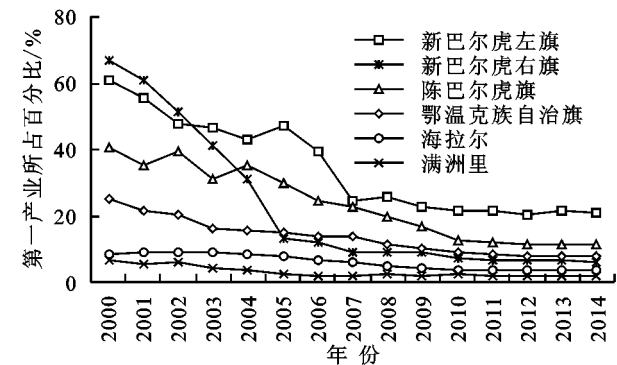


图 6 2000—2014 年各旗县第一产业占 GDP 百分比变化

2000—2014 年内蒙古统计年鉴经济资料显示研究区内各旗县第一产业占国民生产总值比重逐渐减

小,这说明以土地资源为主的农牧业不再占据经济增长的主导地位,这种现象势必会减轻人类活动对土地资源以及生态环境的破坏。由于产业调整,农牧业对草地、河流湿地的压力减小,有利于河流湿地生态环境的恢复从而使得植被生产力提高。在产业结构转变中,新巴尔虎右旗第一产业占 GDP 百分比由 2000 年的 67%降为 6.2%,下降 60.8 个百分点,在 6 个旗县中变化最为明显。其次为新巴尔虎左旗,下降 39.75%。此项数据有力的解释了克鲁伦河湿地与乌尔逊河湿地 NPP 增长最快的原因。因此,可以认为经济结构的变化与调整是河流湿地 NPP 增长的重要人类活动要素。

此外,2000 年中央制定颁发了退耕还林(草)的明确政策,中央 2 号文件将“退耕还林(草)”列入西部大开发的重要内容<sup>[19]</sup>。近些年来呼伦贝尔沙地特有的治沙模式取得明显的效果<sup>[20]</sup>。部分湿地保护区的建立有利于湿地生态环境的保护以及当地的生态恢复。因此,人类活动也是湿地 NPP 变化的重要因素。

4 结论

(1) 从时间角度分析,15 a 以来呼伦贝尔沙地地区河流湿地 NPP 呈现波动式增长。NPP 增长面积可以达到整个湿地面积的 92.51%,年增长率大部分地区处于 0~2 gC/(m<sup>2</sup>·a),只有一小部分地区呈现负增长。

(2) 从空间角度分析,湿地 NPP 值呈现东高西低的格局。伊敏河湿地、辉河湿地以及海拉尔河湿地东部 NPP 值最高,克鲁伦河湿地与乌尔逊河湿地 NPP 值最低。2000—2014 年,湿地 NPP 增加最快的为克鲁伦河湿地,增长率处于 0.5~2 gC/(m<sup>2</sup>·a),增长面积可达 99.5%,东部河流湿地 NPP 增长相对较缓。

(3) 气候变化与人类活动是 NPP 变动的重要因素。NPP 与降水量呈现出显著正相关,相关系数为  $R=0.703$ ,与温度呈现显著负相关,相关系数为  $R=-0.559$ 。人类活动中,随着经济产业结构的转移,第一产业在国民生产总值的比重减小,表明农牧业对生态环境的压力减小,同样是 NPP 增长的又一重要因素。此外,国家政策以及出色的治沙工程取得显著效果也使得研究区内河流湿地 NPP 增加。

参考文献:

[1] Desta H, Lemma B, Fetene A. Aspects of climate change and its associated impacts on wetland ecosystem functions: A review[J]. Journal of American Science, 2012,8(10): 582-596.

[2] 白林波,白明生,贾科利.银川市景观格局动态变化研究[J].水土保持研究,2011,18(2):265-267.

- [3] 刘征,赵旭阳,米林迪. 基于 3S 技术的河北省山区植被净初级生产力估算及空间格局研究[J]. 水土保持研究, 2014, 21(4): 143-147.
- [4] 彭少麟,郭志华,王伯荪. RS 和 GIS 在植被生态学中的应用及其前景[J]. 生态学杂志, 1999, 18(5): 52-64.
- [5] 朴世龙,方精云,郭庆华. 利用 CASA 模型估算我国植被净第一性生产力[J]. 植物生态学报, 2001, 25(5): 603-608.
- [6] 毛德华. 定量评价人类活动对东北地区沼泽湿地植被 NPP 的影响[D]. 北京:中国科学院研究生院(东北地理与农业生态研究所), 2014.
- [7] 王新闯,王世东,张合兵. 基于 MOD17A3 的河南省 NPP 时空格局[J]. 生态学杂志, 2013, 32(10): 2797-2805.
- [8] 穆少杰,李建龙,周伟,等. 2001—2010 年内蒙古植被净初级生产力的时空格局及其与气候的关系[J]. 生态学报, 2013, 33(12): 3752-3764.
- [9] 周爱萍,向悟生,姚月锋,等. 广西植被净初级生产力(NPP)时空演变及主要影响因素分析[J]. 广西植物, 2014, 34(5): 008.
- [10] 潘学平. 呼伦贝尔草原植被覆盖度与地上生物量时空格局研究[D]. 石家庄:河北师范大学, 2015.
- [11] 李登科,范建忠,王娟. 基于 MOD17A3 的陕西省植被 NPP 变化特征[J]. 生态学杂志, 2011, 30(12): 2776-2782.
- [12] 国志兴,王宗明,张柏,等. 2000—2006 年东北地区植被 NPP 的时空特征及影响因素分析[J]. 资源科学, 2008, 30(8): 1226-1235.
- [13] 邹继峰,徐永民,刘伟杰,等. 呼伦贝尔沙地现状及变化分析[J]. 内蒙古林业调查设计, 2011, 34(6): 35-38.
- [14] 刘晶,白殿奎,宋卫士,等. 呼伦贝尔沙地治理的对策与建议[J]. 畜牧与饲料科学, 2010, 31(9): 33-34.
- [15] 高军靖. 呼伦贝尔草原生态安全评价研究[D]. 北京:中国环境科学研究院, 2013.
- [16] 王强,张廷斌,易桂花,等. 横断山区 2004—2014 年植被 NPP 时空变化及其驱动因子分析[J]. 生态学报, 2017, 37(9): 1-13.
- [17] 孙庆龄,冯险峰,肖潇. 武陵山区植被净第一性生产力的时空格局及其与地形因子的关系[J]. 地球信息科学学报, 2014, 16(6): 915-924.
- [18] 孟丹,李小娟,宫辉力,等. 京津冀地区 NDVI 变化及气候因子驱动分析[J]. 地球信息科学学报, 2015, 17(8): 1001-1007.
- [19] 国务院. 国务院关于进一步做好退耕还林还草试点工作的若干意见[J]. 湖北政报, 2000(10): 13-15.
- [20] 张宝珠,金维林,葛士林,等. 呼伦贝尔沙地治理布局及治理模式[J]. 中国沙漠, 2013, 33(5): 005.

(上接第 266 页)

- [8] 赵昕奕,林振耀. 青藏高原地区 50 年代至 90 年代初期气温降水变化特征研究[C]// 青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究学术论文年刊, 1996.
- [9] 罗燕,田永丽,戴敏,等. 云南近 50 年极端气温及降水事件变化特征与区域气候变暖的关系[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2015, 37(6): 870-877.
- [10] 王遵娅. 近 50 年中国气候变化性的再分析[J]. 气象学报, 2004, 62(2): 228-236.
- [11] Hansen J, Lebedeff S. Global surface air temperatures: Update through 1987 [J]. Geophysical Research Letters, 1988, 15(4): 323-326.
- [12] Vinnikov K Y, Groisman P Y, Lugina K M. Empirical data on contemporary global climate changes (temperature and precipitation) [J]. Journal of Climate, 1990, 3(6): 662-677.
- [13] 阮能,游庆龙,陈脩昉,等. ECC 方法在中国夏季气温预测研究中的应用[J]. 气候与环境研究, 2016, 21(2): 221-235.
- [14] 姚慧茹,李栋梁. 1971—2012 年青藏高原春季风速的年际变化及对气候变暖的响应[J]. 气象学报, 2016, 74(1): 60-75.
- [15] 廖要明,王凌,王遵娅,等. 2015 年中国气候主要特征及主要天气气候事件[J]. 气象, 2016, 42(4): 472-480.
- [16] 卢杰,赵艺. 近 40 年重庆夏季气温变化的特征分析[J]. 青海气象, 2016(1): 44-48.
- [17] 任国玉,徐铭志,初子莹,等. 近 54 年中国地面气温变化[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 718-727.
- [18] 丁一汇,任国玉,石广玉,等. 气候变化国家评估报告(I)中国气候变化的历史和未来趋势[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 3-8.
- [19] 卢杰,赵艺. 近 40 年重庆夏季气温变化的特征分析[J]. 青海气象, 2016(1): 44-48.
- [20] 李斐斐,姚素香. 基于 EOF 分析的江苏省沿江 7 市梅雨量变化特征[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2015, 37(2): 250-258.