

于静,高亚敏,陶晨,等. 通辽市植被净初级生产力时空特征及其对气候的响应[J]. 陕西气象,2023(5):43-47.

文章编号:1006-4354(2023)05-0043-05

通辽市植被净初级生产力时空特征 及其对气候的响应

于 静,高亚敏,陶 晨,刘梦迪,王一冰

(通辽市气象局,内蒙古通辽 028000)

摘 要:基于 2000—2021 年通辽市 11 个国家气象观测站资料和相应的 MOD17A3 产品数据,采用趋势分析法、相对年际变化率等方法对通辽市植被净初级生产力(net primary productivity, NPP)的时空特征进行研究。结果表明:(1)通辽市多年平均 NPP 为 254.73 gC/(m² a),空间上呈现中部低,南北部高的分布格局;(2)2000—2021 年通辽市 NPP 呈波动增加趋势,年均增加 5.2 gC/(m² a),距平相对变化率具有明显的阶段性特征,2010 年以前以负距平为主,2011 年开始则以正距平为主;(3)通辽市 70.89% 的区域 NPP 变异程度较低,呈稳定趋势;(4)NPP 与气温呈弱正相关关系($r=0.10$),与降水量呈现显著的正相关关系($r=0.65$),通辽市植被 NPP 总体上受降水影响更大。

关键词:净初级生产力;时空特征;气候响应;通辽市

中图分类号:Q948.1

文献标识码:A

植被净初级生产力(net primary productivity, NPP)是单位面积、单位时间内绿色植物通过光合作用所获取的有机物质总量中扣除自养呼吸后的干物质总量^[1-2]。NPP 作为碳收支平衡和气候变化研究的核心内容,不仅直接反映了在自然环境条件下生态系统中植物的有机质生产能力,也是判定大范围内整个生态系统碳源、碳汇等生态过程调节的重要指标^[3-4]。近年来,随着全球变化和碳循环研究的深入,NPP 研究已成为众多学者关注的热点^[5-8]。通辽市是国家北方生态安全屏障建设的重点区域,境内拥有草原、森林、农田等不同生态区,生态环境敏感而脆弱,NPP 的变化能够反映生态系统的变化。目前,针对通辽市植被 NPP 的相关研究较少。本文基于 MOD17A3 产品数据以及气象数据,采用趋势分析以及相关分析方法,分析通辽市植被 NPP 在宏

观尺度下的时空特征及其对气候的响应,对评估该区域草地资源恢复以及碳循环研究都有重要意义。

1 研究区及数据来源

通辽市位于内蒙古自治区东南部,是内蒙古地区重要的生态屏障^[9],地形南北部高、中间低平,总体呈“马鞍形”,属中温带半干旱大陆性气候,雨热同期。年平均气温约为 6.8℃;年平均降水量为 378.1 mm,且降水量年内分配不均,6—8 月累计降水约占年降水量的 80%。

所用数据为 2000—2021 年通辽市 11 个国家气象站月平均气温及降水量数据(数据来源: <http://data.cma.cn/>)和 2000—2021 年 MOD17A3 产品数据集(空间分辨率为 1 km)。利用 ENVI、ArcGIS 对 MOD17A3 产品进行异常值、无效值剔除,并进行拼接、裁剪、投影转换等基础操作,获

收稿日期:2022-11-28

作者简介:于静(1991—),女,汉族,内蒙古通辽市人,硕士,工程师,从事气候变化、陆表蒸散以及干旱监测研究。

通信作者:高亚敏(1984—),女,汉族,河南南阳人,硕士,副研级高工,从事生态与农牧业气象研究。

基金项目:干旱气象科学研究基金项目(IAM201909);通辽市气象局科技创新项目(202101,202201);内蒙古自治区自然科学基金(2018MS04001);内蒙古自治区科技成果转化专项(201905)

得通辽市 NPP 数据集(MODIS 数据来源:https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/)。通辽市区域 NPP、平均气温及降水量为 11 站平均值。

2 研究方法

运用趋势分析法^[10-11]得到每一个栅格象元的 NPP 变化趋势,并利用 Pearson 相关系数^[12]计算 NPP 与降水、温度的单相关系数和偏相关系数。

2.1 相对年际变化率

为了更准确地描述较长时间序列 NPP 的变化特征,研究中引入相对年际变化率。公式为

$$\alpha = \frac{\beta}{\bar{X}} \times 100\% \quad (1)$$

式中: α 表示 2000—2021 年通辽市植被 NPP 相对年际变化率; β 为变化趋势斜率,反映 NPP 随时间变化的速率; \bar{X} 为 NPP 多年平均值。

2.2 变异系数

变异系数表示地理数据的波动程度,在一定程度上又可指示区域生态系统的脆弱程度。其计算公式为

$$\sigma = \frac{1}{\bar{X}} \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (2)$$

式中: σ 为变异系数; X_i 为第 i 年 NPP; n 为样本数。一般变异系数较大地区,生态环境较脆弱,且受气候影响更明显。为了更直观反应通辽市植被 NPP 的变化情况,将 σ 分为 4 个级别:非常稳定($\sigma \leq 0.1$)、稳定($0.1 < \sigma \leq 0.2$)、不稳定($0.2 < \sigma \leq 0.3$)和很不稳定($\sigma > 0.3$)。

3 结果与分析

3.1 植被 NPP 时间变化特征

如图 1 所示,2000—2021 年通辽市植被 NPP 呈波动增加的趋势,年均增加 5.2 gC/(m² a),变化范围介于 160.93~331.37 gC/(m² a)之间,NPP 多年平均值为 254.73 gC/(m² a);同时,NPP 年际变化差异明显,2021 年 NPP 值最大,达 331.37 gC/(m² a),其次是 2019 年,为 297.23 gC/(m² a),2000 年 NPP 值最低,为 160.93 gC/(m² a),极差值达 170.44 gC/(m² a)。距平相对变化率较显著,并存在明显的阶段性特征,2010 年以前以负距平为主,2011 年开始则以正距平为主。整体上,通辽市在 2000—2011 年间植被

NPP 值普遍较低,多数年份的植被 NPP 均值处于多年均值之下,而随着退耕还林还草政策以及 2011 年后区域生态保护政策的实施,天然牧草不断修复,沙地综合治理能力提升,植被生长状况改善,有机质累积显著增加,通辽市植被 NPP 值明显高于多年平均。此外,将 2000—2003 年、2004—2007 年、2008—2011 年、2012—2016 年、2017—2021 年划分为 5 个连续时间段,发现 2000—2003 年的植被 NPP 均值最小,2017—2021 年的均值最大,差值达到 91.31 gC/(m² a)。植被 NPP 值呈“增加-下降-增加-下降-增加”的波动上升趋势,2004—2007 年植被 NPP 值比 2000—2003 年增加较明显,平均增加 36.73 gC/(m² a),其次是 2012—2016 年。总体来看,2004 年以后通辽市植被生长状况得到了较大的改善,且 2012 年以后相对之前改善更明显。

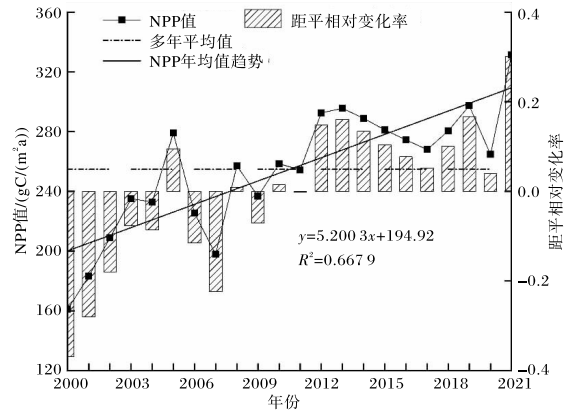


图 1 2000—2021 年通辽市 NPP 年际变化

3.2 植被 NPP 空间变化特征

2000—2021 年通辽市 NPP 多年平均值空间分布特征(图 2a),整体上呈现中部低,南北部较高的空间分布格局。扎鲁特旗北部植被 NPP 值较高,总量达 500 gC/(m² a)以上,局部超过 600 gC/(m² a),该区域植被主要以森林为主,且生长状况好,覆盖度较高;扎鲁特旗南部、奈曼旗中北部以及库伦旗中部 NPP 值较低,大部分在 200 gC/(m² a)以下,局部低于 100 gC/(m² a),这一区域地表植被稀疏,下垫面主要以沙地为主。研究区内各县级行政单元之间 NPP 差异显著,其中,扎鲁特旗值最大 278.90 gC/(m² a),最小值出

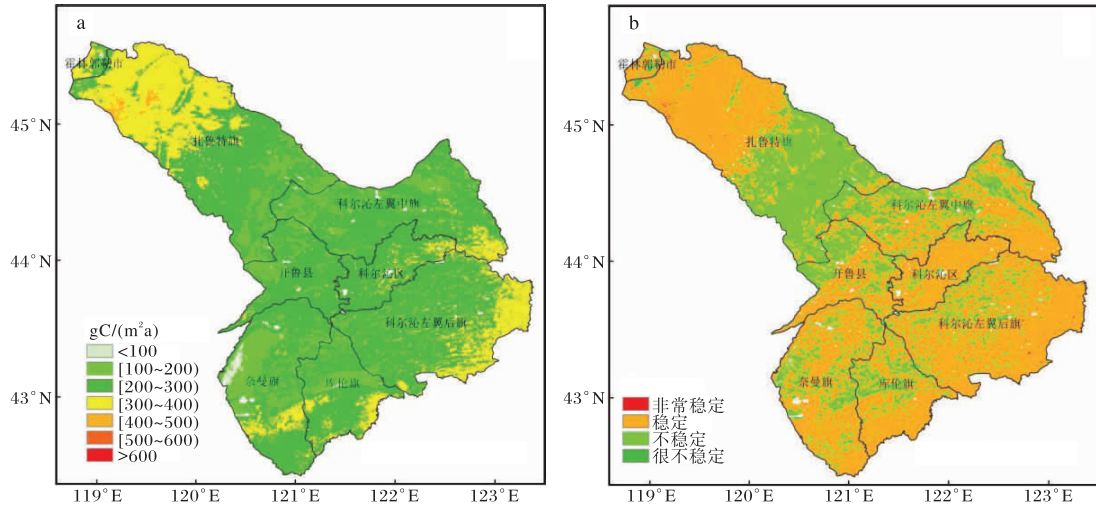


图2 2000—2021年通辽市NPP多年均值(a)和变异系数(b)空间分布图

(审图号为蒙 S(2017) 028号,下同)

现在奈曼旗,为 $225.71 \text{ gC}/(\text{m}^2 \text{ a})$,差值达到 $53.20 \text{ gC}/(\text{m}^2 \text{ a})$ 。

从NPP变异系数(图2b)可以看出,通辽市大部分地区植被NPP的变异系数在0.2以下,变异程度较低,整体趋于稳定。呈非常稳定趋势的面积较小,集中分布在NPP大值区域内;处于稳定趋势的占比最大,为70.89%,主要分布在通辽市的北部以及南部的大部分地区,下垫面以草地为主;呈不稳定趋势的占比29.11%,集中分布在扎鲁特旗南部、开鲁县北部、科左中旗大部地区。

由图3a分析可知,2000—2021年NPP相对

年际变化率在0~4%的区域占通辽市总面积的98.76%,总体而言,通辽市NPP呈现稳定增长的变化态势。对NPP相对变化率进行显著性检验,其中通过0.01显著性检验表示增加(减少)显著,未通过则表示增加(减少)不显著,结果见图3b。增加显著的面积占通辽市总面积的96.01%,分布在通辽市大部地区,一定程度上反映了研究时间序列内植被生长状况良好,有机质积累不断增加;增加不显著的面积占通辽市总面积的3.33%,零星分布在各旗县;减少区域不足通辽市总面积的0.7%,仅分布在库伦旗中部、科左中旗东北部、霍林郭勒市与扎鲁特旗交界处。

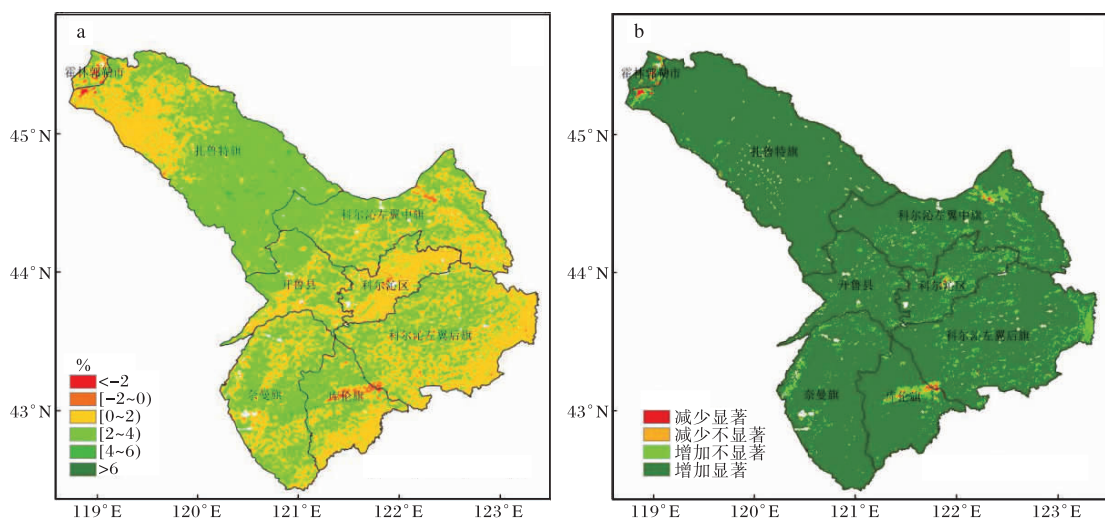


图3 2000—2021年通辽市NPP变化率(a)及其显著性检验(b)

3.3 植被净初级生产力与气候因子响应关系

植被 NPP 的积累代表了区域内植被对光、温、水、土等自然条件的利用能力,其中气候变化对 NPP 变化规律有重要影响,它主要通过气温和降水量变化对 NPP 产生作用。由图 4 可知,通辽市植被近 22 a 间的平均气温在 5.3~7.4 °C,总体上呈波动上升趋势,年均升高 0.004 °C,降水量也呈上升趋势,年均增多 7.3 mm;其中气温未通过 0.05 的显著性检验。

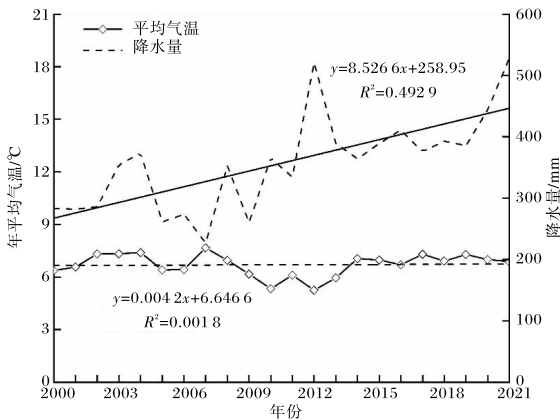


图 4 2000—2021 年通辽市平均气温及降水量变化趋势

对植被 NPP 与同期平均气温和降水量进行 pearson 相关分析,得到单相关系数分别是 0.10 和 0.65, NPP 与气温的相关性较弱,表现为不显著的相关关系,一定程度上说明气温不是制约通辽市植被 NPP 变化的主要因素。通辽市植被处于典型的干旱半干旱地区,水分条件限制了植被

的生长,通常降水会增加土壤湿度,进而改善土壤对植被的水分供应,增强植物光合作用速率,进而有利于有机质积累。

进一步对生长季 NPP 与平均气温和降水量进行偏相关分析发现,通辽市植被 NPP 与气温的偏相关系数介于 -0.667~0.737 之间,平均为 0.013。呈正相关的区域分布在扎鲁特旗中南部,科左中旗、科左后旗和开鲁县大部,约占通辽市总面积的 57.8%;负相关区域主要分布在霍林郭勒市大部、扎鲁特旗北部、科尔沁区西南部、库伦旗中南部、以及奈曼旗大部地区,约占通辽市总面积的 42.2%。对 NPP 与气温的偏相关系数进行显著性检验,其中只有 0.42% 的区域通过了 0.01 的显著性检验。NPP 与降水量的偏相关系数介于 -0.468~0.930 之间,平均为 0.652。统计发现,正相关的面积约占通辽市总面积的 99.89%,其余为负相关面积,仅为 0.11%,零星分布在霍林郭勒市及其与扎鲁特旗交界处。对 NPP 与降水量的偏相关系数进行显著性检验,其中有 78.26% 的区域通过了 0.01 的显著性检验。综合来看,通辽市植被 NPP 与降水量的相关性明显强于气温,表明降水量对通辽市植被 NPP 的影响更显著。

由表 1 可知,通辽市各旗县(区)中,大部分地区 NPP 与气温呈弱正相关和偏相关关系,与前文总体趋势一致;NPP 与降水量均呈现显著的正相关关系,且大部分通过了 0.01 的显著性检验,这从较小空间尺度上说明了植被 NPP 与降水关系密切。

表 1 通辽市各旗县(区)年均气温、年均降水量与 NPP 的单相关系数和偏相关系数

旗县(区)	单相关系数		偏相关系数	
	平均气温与 NPP	降水量与 NPP	平均气温与 NPP	降水量与 NPP
科左后旗	0.10	0.68*	0.11	0.67*
霍林郭勒	-0.14	0.56*	-0.16	0.58*
开鲁县	0.18	0.68*	0.03	0.68*
科尔沁区	0.12	0.62*	-0.002	0.61*
库伦旗	-0.01	0.66*	-0.07	0.67*
奈曼旗	0.09	0.64*	-0.03	0.64*
扎鲁特旗	0.19	0.64*	-0.03	0.64*
科左中旗	0.09	0.66*	0.05	0.66*

注: * 代表通过 0.01 的显著性检验。

4 结论

利用 2000—2021 年通辽市 MOD17A3 以及气象数据,分析植被 NPP 的时空变化及气候响应关系,得出以下结论。

(1)2000—2021 年通辽市 NPP 呈波动增加趋势,年均增加 $5.2 \text{ gC}/(\text{m}^2 \text{ a})$,多年平均值为 $254.73 \text{ gC}/(\text{m}^2 \text{ a})$,年际 NPP 变化差异明显,2021 年与 2000 年 NPP 极差值达 $170.44 \text{ gC}/(\text{m}^2 \text{ a})$ 。此外,距平相对变化率存在明显的阶段性特征,2010 年以前以负距平为主,2011 年开始则以正距平为主。

(2)通辽市 NPP 多年平均值整体上呈现中部较低,南北部相对较高的空间分布格局,通辽市大部地区植被 NPP 的变异系数在 0.2 以下,变异程度较低,其中 70.89% 的区域处于稳定状态。

(3)通辽市植被 NPP 与同期平均气温和降水量单相关系数分别是 0.10 和 0.65,偏相关系数值为 0.013 和 0.655;经显著性检验发现,与气温仅有 0.42% 的区域通过了 0.01 的显著性检验,与降水量则有 78.26% 的区域通过了 0.01 的显著性检验,进一步说明了降水是影响通辽市植被 NPP 显著增加的主要气候因子。

参考文献:

- [1] 周广胜,张新时. 自然植被净第一性生产力模型初探:植物[J]. 生态学报,1995,19(3):193-200.
- [2] 方精云,柯金虎,唐志尧,等. 生物生产力的“4P”概念、估算及其相互关系[J]. 植物生态学报,2001,25(4):414-419.
- [3] YANG Y,WANG Z,LI J,et al. Comparative assessment of grassland degradation dynamics in response to climate variation and human activities in China, Mongolia, Pakistan and Uzbekistan from 2000 to 2013[J]. Journal of Arid Environments,2016,135(12):164-172.
- [4] FIELD CB, BEHRENFELD M J, RANDERSON J T, et al. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components [J]. Science, 1998, 281(5374): 237-240.
- [5] 赵鹏,陈桃,王茜,等. 气候变化和人类活动对新疆草地生态系统 NPP 影响的定量分析[J]. 中国科学院大学学报,2020,37(1):51-62.
- [6] 滑永春,萨如拉,王冰. 内蒙古草原 NPP 时空变化及驱动力[J]. 中国沙漠,2021,41(5):139-148.
- [7] 康振山,张莎,白雲,等. 内蒙古草地净初级生产力时空变化及其对干旱的响应[J]. 草地学报,2021,29(1):156-165.
- [8] 李辉,红英,邓国荣,等. 1982—2015 年气候变化和人类活动对内蒙古草地净初级生产力的影响[J]. 应用生态学报,2021,32(2):415-424.
- [9] 周广胜,王玉辉,蒋延玲. 全球变化与中国东北样带(NECT)[J]. 地学前缘,2002,9(1):198-216.
- [10] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,2007:36-65.
- [11] 王娟,何慧娟. 吴起县 2000—2013 年植被 NPP 变化特征[J]. 陕西气象,2015(6):6-9.
- [12] 林隆超,王晓飞,刘延平,等. 退耕还林工程背景下延安植被覆盖时空变化及其对气候的响应[J]. 陕西气象,2022(4):1-6.