文章编号: 1672 - 3317 (2024) 01 - 0104 - 09

# 玛纳斯河流域植被净初级生产力时空变化及驱动因素分析

赵莉蔓<sup>1</sup>, 王雪梅<sup>1,2\*</sup>

(1.新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 乌鲁木齐 830054;

2.新疆干旱区湖泊环境与资源重点实验室,乌鲁木齐 830054)

摘 要: 【目的】探明新疆玛纳斯河流域植被净初级生产力(NPP)的时空变化规律及其影响因素。【方法】基于 MODIS 遥感数据以及地形、气象因子和人类活动数据,运用 Slope 趋势分析、相关分析和地理探测器,分析玛纳 斯河流域 2001—2021 年 NPP 的时空变化特征及其驱动因素。【结果】2001—2021 年,玛纳斯河流域年平均 NPP 为 125.63 g C/(m<sup>2</sup>·a),2008 年最低,为 98.80 g C/(m<sup>2</sup>·a),2016 年最高,为 163.98 g C/(m<sup>2</sup>·a),NPP 呈年际 上升趋势。玛纳斯河流域 NPP 的空间分布格局呈北部和南部区域低而中部区域高的特征,近 63.84%的区域 NPP 呈 增加趋势,其中 26.98%的区域 NPP 显著增加(P<0.05);19.31%的区域 NPP 显著下降(P<0.05)。NPP 随着高程 和坡度的增加呈上升趋势,最高值出现在玛纳斯河流域的低山林草区;NPP 与气温和降水呈正相关。各因子对 NPP 的影响程度由高到低依次为高程>土地利用>降水>坡度>GDP>气温>人口密度>夜间灯光,其中高程与土地利用 的交互作用对 NPP 的影响最大。【结论】玛纳斯河流域 NPP 存在明显的时空分异特征,高程、土地利用以及降水 对 NPP 的时空分布格局具有重要影响。

关键词: 植被净初级生产力; 时空变化; 驱动因素; 地理探测器; 玛纳斯河流域 中图分类号: S127 文献标志码: A doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2023247



赵莉蔓,王雪梅. 玛纳斯河流域植被净初级生产力时空变化及驱动因素分析[J]. 灌溉排水学报, 2024, 43(1): 104-112. ZHAO Liman, WANG Xuemei. Analysis of spatial-temporal changes and driving factors of net primary productivity of vegetation in the Manasi River basin[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2024, 43(1): 104-112.

### 0 引 言

【研究意义】植被净初级生产力(NPP)是指植 被通过光合作用从大气中吸收 CO<sub>2</sub>,并将其固定在土 壤和植物组织中,从而使生态系统中的生物量增加的 过程,属于生态系统碳循环的重要组成部分<sup>[1]</sup>。同时, NPP 可用于表征陆地生态系统的碳汇,反映了全球 气候变化与人类活动共同作用下的植被动态变化。因 此,探究干旱区绿洲生态系统 NPP 的时空分异特征 及其影响因素,对于推进生态脆弱区的生态修复治理, 实现干旱区绿洲生态系统的碳汇具有重要意义。

【研究进展】早期的 NPP 估算主要依赖于站点 观测,随后又开发了 NPP 估算模型<sup>[2]</sup>。近年来, NPP 与碳循环、碳扰动等有关的研究迅速增长,研 究手段也逐步趋于成熟,通过统计建模以及遥感模型 等定量方法分析 NPP 的时空变化已成为研究热点<sup>[3]</sup>。

收稿日期: 2023-06-03 修回日期: 2023-09-25

©《灌溉排水学报》编辑部,开放获取 CC BY-NC-ND 协议

随着遥感技术的发展,越来越多的学者基于 MODIS 数据对区域 NPP 的时空变化特征及影响因素开展了 系统研究。陈雅如<sup>[4]</sup>利用 Biome-BGC 模型计算了 三峡库区植被 NPP, 同时将 MOD17A3HGF 数据与 模型估算值和实测值进行了对比,验证了 MOD17A3HGF 数据的准确性。石智宇等<sup>[5]</sup>基于 MOD17A3HGF 数据分析了 2001-2020 年中国植被 NPP 的时空分异特征及驱动机制,发现 2001-2020 年中国植被 NPP 呈"东南高西北低"的空间格局, 这与孙金珂等<sup>[6]</sup>和涂海洋等<sup>[7]</sup>研究结果一致。以往研 究主要基于相关分析和地理探测器等方法探讨了 NPP 与环境因子之间的相关性<sup>[8]</sup>。王丽霞等<sup>[9]</sup>研究发 现,降水是导致泾河流域 NPP 变化的主要影响因素。 陈黎鹏<sup>[10]</sup>研究表明,高程是决定玛纳斯河流域生态 环境质量的主要环境因子。杨楠等[11]研究表明,人 类活动改善了黄河流域生态环境。孙治娟等[12]和邵 嘉豪等<sup>[13]</sup>研究表明,导致云南省和山西省植被 NPP 变化的主要自然因素为降水,且人类活动的驱动作 用有所上升。【切入点】新疆玛纳斯河流域作为典 型的干旱区内陆河流域,其生态环境退化问题较为 突出。目前,对于该流域植被 NPP 的研究相对较少, 且存在研究时间尺度短、空间分辨率较低等问题;

基金项目:新疆维吾尔自治区自然科学基金资助项目(2023D01A44); 国家自然科学基金(41561051);大学生创新创业训练计划项目 (S202210762012)

作者简介:赵莉蔓(2001-),女。主要从事资源环境遥感研究。 E-mail: 2812946525@qq.com

通信作者: 王雪梅(1976-), 女。教授,主要从事干旱区资源环境遥感 技术应用研究。E-mail: wangxm\_1225@sina.com

同时,围绕自然因素与人类活动对 NPP 的耦合作用 研究也相对较少。【拟解决的关键问题】鉴于此, 本研究以新疆玛纳斯河流域为研究区,基于 2001— 2021 年的 MOD17A3HGF 数据以及地形、气候和人 类活动数据,结合线性回归分析、相关分析和地理 探测器模型,分析玛纳斯河流域植被 NPP 的时空变 化特征及其影响因素,研究结果可为玛纳斯河流域 生态环境高质量发展提供理论依据。

### 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

玛纳斯河流域位于新疆维吾尔自治区天山北麓 中段<sup>[14]</sup>。该流域覆盖了石河子市、克拉玛依区、白 碱滩区、沙湾县、玛纳斯县、和布克赛尔蒙古自治 县和静县(图1)。流域北部荒漠区与古尔班通古 特沙漠相邻,南部为天山中段山区,中部为绿洲区, 由冲积洪积扇、泉水溢出带、冲积平原、三角洲、 湖滨平原构成。该流域为新疆主要的农业区,棉花、 番茄和葡萄是流域内重要的作物类型。





Fig.1 Study area

### 1.2 数据来源与研究方法

1.2.1 遥感数据

2001—2021 年 *NPP* 数据来源于 MODIS 系列遥 感产品 MOD17A3HGF 数据,空间分辨率为 500 m, 时间分辨率为 1 a<sup>[15]</sup>。该数据集已广泛用于生态系统 碳循环研究<sup>[12-13]</sup>。

### 1.2.2 地形数据

地形数据来源于地理空间数据云平台发布的 ASTER GDEM 高程数据(https://www.gscloud.cn/ search),空间分辨率为 30 m。基于高程数据,通 过 ArcGIS 软件的坡度功能提取了坡度数据。

### 1.2.3 气象数据

气温和降水量数据来源于国家青藏高原科学数据中心(https://data.tpdc.ac.cn/)<sup>[15]</sup>。

### 1.2.4 人类活动数据

土地利用类型数据来源于 Yang 等<sup>[16]</sup>发布的全国 逐年土地覆盖数据集(https://zenodo.org/),空间分 辨率为 30 m。利用 ArcGIS 软件的重分类功能,将 该数据集重新划分为耕地、林地、草地、水体、冰 川、裸地及居住地。根据目视解译方法结合实际调 查对该数据集的分类结果进行精度检验,分类总体 精度达 91.2%, Kappa 系数>0.95。人口密度数据来 源于世界人口数据集,获取自开放空间人口数据与 研究站(https://hub.worldpop.org/),空间分辨率为 1 km。2001、2006、2011、2016、2021 年的夜间灯 光数据来自中国科学院资源环境与数据中心 (https://www.resdc.cn/) 。GDP 数据来源于 LandScan 全球人口动态数据(https://landscan. ornl.gov/),由于无法获得 2021 年的 GDP 数据,因 此本研究利用 2020 年的 GDP 数据替代 2021 年 GDP 数据。

### 1.3 研究方法

### 1.3.1 变化趋势分析

利用一元线性回归对 2001—2021 年植被 NPP 的年际变化趋势进行分析,采用最小二乘法确定斜率<sup>[17]</sup>。

1.3.2 趋势显著性检验

基于 F 检验法对 2001—2021 年植被 NPP 的年际 变化趋势进行显著性检验, F 统计量的计算式为:

$$F = \frac{U}{Q(n-2)} \sim F_{\alpha}(1, n-2) , \qquad (1)$$

式中: U是回归平方和; Q是残差平方和; n表示研 究时段的年份数; a表示显著水平。

1.3.3 相关分析

通过对每个像元对应的 NPP 与气象因子进行 Pearson 相关分析来阐明植被 NPP 与气象因子(气温、 降水)之间的相关性。

1.3.4 地理探测器

王劲峰等<sup>[18]</sup>提出的地理探测器由因子探测、交 互作用探测、风险探测和生态探测 4 个部分组成, 本研究应用因子探测和交互作用探测分析不同环境 因子对 *NPP* 的影响。

### 2 结果与分析

### 2.1 NPP 的时空变化特征

由图 2 和图 3 可知, 流域植被年 NPP 介于 98.80~163.98 g C/(m<sup>2</sup>·a), 年平均相对增长速率为 0.86%(R<sup>2</sup>=0.25, P<0.05); 年平均值为125.63 g C/ (m<sup>2</sup>·a), NPP 的极小值与极大值出现在 2008 年和 2016 年,分别为 98.80 g C/(m<sup>2</sup>·a) 和 163.98 g C/ (m<sup>2</sup>·a)。从 NPP 变化趋势来看,2001—2008 年 NPP 呈波动下降趋势。受干旱影响,NPP 在 2008 年 下降至最低值,为 98.80 g C/(m<sup>2</sup>·a)。受气温和降 水影响,2009—2016 年 NPP 呈显著上升趋势 (P<0.05),在 2016 年达到最高,为 163.98 g C/ (m<sup>2</sup>·a)。2017—2021 年,流域内的降水量呈下降 趋势, NPP由 2016年的 163.98 g C/(m<sup>2</sup>·a)下降至 2021年的 119.93 g C/(m<sup>2</sup>·a),年平均下降速率为 8.81 g C/(m<sup>2</sup>·a)。从 NPP 的空间分布格局来看, NPP 呈现出北部荒漠区和南部高山区低,中部平原 绿洲区和低山林草区高的空间分布格局。









图 3 2001—2021 年玛纳斯河流域植被 NPP 的时序变化与平均值

Fig.3 Temporal variation and mean value of NPP in Manasi River Basin from 2001 to 2021

### 2.2 NPP 的变化趋势分析

由图 4 和表 1 可知, 2001—2006 年流域植被 NPP 整体变化较小, 81.30%的区域未发生变化; 2006—2011 年 NPP 增加显著。自 2011 年开始 NPP 呈波动上升趋势,在 2016 年达到最高,随后呈波动 下降趋势。 运用趋势分析法探索玛纳斯河流域 *NPP* 的时空 变化趋势,并采用 *F* 检验法分析其变化趋势的显著 性(图 5)。植被 *NPP* 总体呈增加趋势,在石河子 市、玛纳斯县、沙湾市的北部和南部、克拉玛依市 的南部等地区植被 *NPP* 的趋势分析值均大于 0,约 占流域总面积的 63.84%,其中呈显著增加趋势的地

区占比为 26.98%;显著减少的区域占比约为 19.31%, 14.58%的区域保持不变(表 2)。



图 4 2001-2021 年玛纳斯河流域植被 NPP 的空间分布

Fig.4 Spatial interpolation of NPP in Manasi River Basin from 2001 to 2021

### 表 1 2001-2021 年植被 NPP 时序变化面积及其变化统计

Tab.1	Statistics on the temp	oral change area and	change of vegetation	<i>NPP</i> from 2001 to 2021
		8		

ቤት ይሁ	减少	减少		不变		增加	
可权	面积/10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>	比例/%	面积/10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>	比例/%	面积/10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>	比例/%	
2001—2006年	0.175	5.29	2.698	81.30	0.445	13.41	
2006—2011年	0.306	9.23	1.510	45.50	1.502	45.27	
2001—2011年	0.169	5.11	1.738	52.38	1.411	42.51	
2011—2016年	0.530	15.98	1.620	48.83	1.168	35.19	
2016—2021年	0.966	29.11	2.085	62.86	0.267	8.04	
2011—2021年	0.853	25.76	2.038	61.56	0.427	12.68	



Fig.5 Dynamic changes of NPP in Manasi River Basin from 2001 to 2021

#### 表 2 2001-2021 年植被 NPP 动态变化面积及其变化统计 Tab.2 Dynamic Change Area and Change Statistics of Vegetation NPP from 2001 to 2021 面积/(10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>) 变化趋势 Slope Р 比例/% 显著减少 <0 < 0.05 0.641 19.31 0.075 不显著减少 < 0>0.05 2.27 基本不变 <0或>0 >0.10.484 14.58 不显著增加 >0.05 1.223 >0 36.86 显著增加 $\geq 0$ < 0.05 0.895 26.98 □ 荒漠 ■ 丘陵 ■盆地 □山地 ■ 高原 平均值 100 2500 80 相对百分比/% 1500 60

### 2.3 NPP 与各驱动因素的相关性

### 2.3.1 地形因素

由图 6(a) 可知, 在植被 NPP 的低值区, 占 比最大的是荒漠,而在高值区,丘陵占比最大。由 图 6 (b) 可知, 植被 NPP 随着坡度的增加而迅速 上升。在植被 NPP 的高值区, 陡坡 (>25°) 与平 坡(2~6°)的占比相对较高;而在低值区,低坡 (<2°) 占比最大。



图 6 地形因素对植被 NPP 分布的影响

Fig.6 NPP distribution on elevation gradient

### 2.3.2 气温与降水量

40

20

0

由图 7 可知,降水量的变化趋势相比气温变化 更为明显, 目降水量总体呈下降趋势, 气温则呈缓 慢上升趋势,气候总体趋于暖干化。植被 NPP 随着







由图 8 可知, 植被 NPP 与气温的相关系数介于 -0.97~0.82。在流域北部及南部低山区, NPP 与气温 呈正相关,其中 44.79%为不显著正相关(P>0.05), 显著正相关占比仅为 0.03% (P<0.05)。NPP 与降 水量的相关系数介于-0.36~0.83,在流域中部的平原 绿洲区与低山林草区, 植被 NPP 与降水量呈正相关,

### 2.3.3 人为因素

在人类活动干扰下,土地利用方式发生较大变 化,从而导致植被 NPP 发生变化。在所有土地利用 类型中,林地的 NPP 最高, NPP 平均值在 2001 年 和 2021 年分别为 387.33 g C/(m<sup>2</sup>·a)和 389.64 g C/

其中 21.48%的区域呈显著正相关(P<0.05)。

(m<sup>2</sup>·a)。耕地和草地在人类活动和气候变化影响 冰川、裸地和居住地受自然和人为因素的影响,植 下,植物生长状况有所改善, NPP 有所上升。水体、 被贫瘠,年 NPP 有所降低(图 9)。



Manasi River basin from 2001 to 2021

### 2.4 因子影响力分析

基于地理探测器,选取高程(X1)、坡度 (X2)、气温(X3)、降水量(X4)、人口密度 (X5)、夜间灯光(X6)、GDP(X7)和土地利用 类型(X8),对植被 NPP 的空间集聚现象进行分析 (图 10)。各因子的解释力依次为:高程 (0.620)>土地利用(0.476)>降水量(0.451)>坡 度(0.258)>GDP(0.185)>气温(0.145)>人口密 度(0.092)>夜间灯光(0.040),高程、土地利用 和降水量是植被 NPP 变化的关键驱动因素。

为进一步分析各因子间的交互作用,选用相等 间隔(equal)、自然间断点分级法(natural)、分 位数(quantile)、几何间隔(geometric)、标准差 (SD)、手动间隔(manual)6种离散化方法,依 据 R 语言中"GD"包的 disc 函数对驱动因素进行最 优离散化处理。结果表明,不同驱动因素的离散化 方法和最优分级间隔是不同的,因此各年份所选取

的离散化方法和最优分级间隔均不一致,详见表 3。

Fig.10 *Q* of explanatory power of various factors

from 2001 to 2021

表 3 不同年份下因子的最优离散化和最优分级间隔

Tab.3 Optimal discretization and optimal grading interval of factors in different years										
因子 -	2001年		2006年		2011年		2016年		2021年	
	离散化	分级								
高程	natural	8	natural	7	natural	7	quantile	6	natural	8
坡度	quantile	8	quantile	8	SD	8	SD	8	quantile	8
气温	equal	8	quantile	5	quantile	7	quantile	8	quantile	8
降水	natural	8	quantile	8	quantile	7	natural	8	natural	8
人口	quantile	8	quantile	8	quantile	7	quantile	7	quantile	8
灯光	quantile	8	quantile	5	quantile	7	quantile	8	quantile	8
GDP	quantile	7	quantile	7	quantile	8	quantile	8	natural	8

0.6

0.7

交互作用分析结果表明,多因子交互作用高于 单因子作用。由图 11 可知,2001 年的主导性交互因 子是高程和人口密度,其他 4 个时期的最强交互因

子均为高程与土地利用。总的来说,高程和土地利用的双因子交互作用对植被 NPP 的影响最大,气温与夜间灯光对植被 NPP 的影响最小。







Fig.11 Double factor interaction results

## 3 讨 论

玛纳斯河流域植被 NPP 存在明显的时空分异特 征, NPP 整体呈上升趋势, 这与何颖等<sup>[14]</sup>研究结果 基本一致。从时间变化来看,自 2001 年推行撂荒地 复垦、农田连片整治等一系列生态恢复工程后,玛 纳斯河流域扩大了耕地面积, NPP 稳步增长至 2016 年的163.98 g C/(m<sup>2</sup>·a),这与陈春波等<sup>[19]</sup>研究结果 一致。2017—2021年,气温呈波动上升趋势,而降 水则持续下降,气候由暖湿逐渐转变为暖干化<sup>[20]</sup>。 在此期间, NPP 逐渐下降, 平均每年约减少 8.81 g C/m<sup>2</sup>。从空间分布来看, NPP 呈南北低中部高的分 布特点,且在南部的低山林草区与中部的绿洲区呈明 显的增加趋势。高程是导致玛纳斯河流域 NPP 变化 的关键因素,这一研究结论与陈黎鹏<sup>[10]</sup>、何颖等<sup>[14]</sup> 的研究结果基本一致。分析玛纳斯河流域的地形条 件发现,流域南部为天山冰川,随着气候变暖,冰 川融化产生的补给水源顺着山脉流向低海拔地区, 使低山林草区与平原绿洲区植被生长的水热条件得 以改善,因此植被 NPP 呈逐年上升趋势<sup>[10]</sup>。由于南 部天山高山区和北部古尔班通古特沙漠的生态系统 极为脆弱, 植被 NPP 在这些区域表现出较低水平与 较强的不稳定性[21-22]。

在时间尺度上,本研究仅分析了 NPP 的年际变 化特征。在后续研究中,可进一步分析植被 NPP 在 季节、月尺度上的变化规律;此外,可将 MODIS 产 品数据与 CASA 模型估算的结果进行对比,进一步 增强植被 NPP 的估算精度。在前人研究基础上,本 研究结合实际情况,选择高程、坡度、气温、降水 量这 4 个自然因素以及人口密度、夜间灯光、GDP 和土地利用类型 4 个人为因素作为玛纳斯河流域植 被 NPP 的驱动因素,后续研究中将考虑细化自变量 的分类与选取,以期进一步提高研究结果的准确性。

### 4 结论

 1) 玛纳斯河流域植被 NPP 年平均值为 125.63
 g C/(m<sup>2</sup>·a),整体呈年际波动上升趋势,呈南北低 而中部高的空间分布格局,26.98%的区域呈显著增 加趋势(P<0.05),19.31%的区域呈显著下降趋势 (P<0.05)。</li>

2)各因子对 NPP 的解释力由高到低依次为: 高程>土地利用>降水>坡度>GDP>气温>人口密度> 夜间灯光,高程与土地利用的交互作用最强。

(作者声明本文无实际或潜在利益冲突)

### 第1期

### 参考文献:

- [1] 蔡小青,刘凤. 三江源区植被生产力时空格局及其变化特征[J]. 灌溉 排水学报, 2021, 40(S2): 56-59, 62.
   CAI Xiaoqing, LIU Feng. Spatiotemporal pattern and change characteristics of vegetation productivity in the three river headwaters[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2021, 40(S2): 56-59, 62.
- [2] 朱文泉,陈云浩,徐丹,等. 陆地植被净初级生产力计算模型研究进展[J]. 生态学杂志, 2005, 24(3): 296-300.
  ZHU Wenquan, CHEN Yunhao, XU Dan, et al. Advances in terrestrial net primary productivity (NPP) estimation models[J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(3): 296-300.
- [3] SHANG Erping, XU Erqi, ZHANG Hongqi, et al. Analysis of spatiotemporal dynamics of the Chinese vegetation net primary productivity from the 1960s to the 2000s[J]. Remote Sensing, 2018, 10(6): 860.
- [4] 陈雅如. 三峡库区森林生产力与碳储量对景观格局变化的响应[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2017.
   CHEN Yaru. The response of forest productivity and carbon storage to

landscape pattern change in Three Gorges Reservoir area[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2017.

- [5] 石智宇, 王雅婷, 赵清, 等. 2001—2020年中国植被净初级生产力时空变化及其驱动机制分析[J]. 生态环境学报, 2022, 31(11): 2 111-2 123.
   SHI Zhiyu, WANG Yating, ZHAO Qing, et al. The spatiotemporal changes of NPP and its driving mechanisms in China from 2001 to 2020[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2022, 31(11): 2 111-2 123.
- [6] 孙金珂, 牛海鹏, 袁鸣. 中国陆地植被生态系统 NPP 空间格局变迁分 析[J]. 农业机械学报, 2020, 51(6): 162-168.
   SUN Jinke, NIU Haipeng, YUAN Ming. Spatial pattern change and analysis of NPP in terrestrial vegetation ecosystem in China[J].
   Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(6): 162-168.
- [7] 涂海洋,古丽·加帕尔,于涛,等.中国陆地生态系统净初级生产力时 空变化特征及影响因素[J].生态学报,2023,43(3):1219-1233.
   TU Haiyang, JIAPAER Guli, YU Tao, et al. Analysis of spatio-temporal variation characteristics and influencing factors of net primary productivity in terrestrial ecosystems of China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(3): 1219-1233.
- [8] 刘婧, 汤峰, 张贵军, 等. 2000—2015 年滦河流域植被净初级生产力 时空分布特征及其驱动因子分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, 29(4): 659-671.
  LIU Jing, TANG Feng, ZHANG Guijun, et al. Spatio-temporal distribution of net primary productivity and its driving factors in the Luanhe River Basin from 2000 to 2015[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2021, 29(4): 659-671.
- [9] 王丽霞, 丁慧兰, 刘招, 等. 基于 CASA 模型探究泾河流域植被 NPP 时空动态及其对气候变化的响应[J]. 水土保持研究, 2022, 29(1): 190-196.

WANG Lixia, DING Huilan, LIU Zhao, et al. Spatiotemporal change of NPP based on CASA model and its response to climate change in Jing River Basin[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022, 29(1): 190-196.

[10] 陈黎鹏. 玛纳斯河流域生态环境质量评价研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2020.

CHEN Lipeng. Study on the ecological environment of Manas River Basin[D]. Shihezi: Shihezi University, 2020.

 [11] 杨楠, 王凌雨, 朱琳, 等. 黄河流域近十年 NPP 变化特征及驱动因子 分析[J]. 应用基础与工程科学学报, 2023, 31(2): 280-295.
 YANG Nan, WANG Lingyu, ZHU Lin, et al. NPP variation characteristics and driving factors of the Yellow River valley in the last decade[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2023, 31(2): 280-295.

- [12] 孙治娟,谢世友. 基于地理探测器的云南省净初级生产力时空演变及 因子探测[J]. 生态学杂志, 2021, 40(12): 3 836-3 848.
  SUN Zhijuan, XIE Shiyou. Spatiotemporal variation in net primary productivity and factor detection in Yunnan Province based on geodetector[J]. Chinese Journal of Ecology, 2021, 40(12): 3 836-3 848.
- [13] 邵嘉豪,李晶,闫星光,等. 基于地理探测器的山西省 2000—2020 年 NPP 时空变化特征及驱动力分析[J]. 环境科学, 2023, 44(1): 312-322.
  SHAO Jiahao, LI Jing, YAN Xingguang, et al. Analysis of spatiotemporal variation characteristics and driving forces of NPP in Shanxi Province from 2000 to 2020 based on geodetector[J]. Environmental Science, 2023, 44(1): 312-322.
- [14] 何颖, 马松梅, 张林, 等. 玛纳斯河流域 NPP 时空变化及其生物多样 性维护功能重要性评价[J]. 生态学报, 2023, 43(11): 4 664-4 673.
  HE Ying, MA Songmei, ZHANG Lin, et al. Spatio-temporal change of net primary productivity and the evaluatation of the importance of biodiversity maintenance functions in Manas River Basin[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(11): 4 664-4 673.
- [15] PENG Shouzhang, DING Yongxia, WEN Zhongming, et al. Spatiotemporal change and trend analysis of potential evapotranspiration over the Loess Plateau of China during 2011— 2100[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2017, 233: 183-194.
- [16] YANG Jie, HUANG Xin. The 30 m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019[J]. Earth System Science Data, 2021, 13(8): 3 907-3 925.
- [17] 姜春, 吴志峰, 程炯, 等. 广东省土地覆盖变化对植被净初级生产力的 影响分析[J]. 自然资源学报, 2016, 31(6): 961-972.
  JIANG Chun, WU Zhifeng, CHENG Jiong, et al. Analyzing the effects of land cover change on vegetation net primary productivity in Guangdong Province[J]. Journal of Natural Resources, 2016, 31(6): 961-972.
- [18] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 116-134.

WANG Jinfeng, XU Chengdong. Geodetector: Principle and prospective[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(1): 116-134.

[19] 陈春波, 李刚勇, 彭建. 近 20 a 新疆天然草地 NPP 时空分析[J]. 干旱 区地理, 2022, 45(2): 522-534.
 CHEN Chunbo, LI Gangyong, PENG Jian. Spatiotemporal analysis of net primary productivity for natural grassland in Xinjiang in the past 20

years[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(2): 522-534.
[20] 姚俊强, 毛炜峄, 陈静, 等. 新疆气候"湿干转折"的信号和影响探讨[J]. 地理学报, 2021, 76(1): 57-72.
YAO Junqiang, MAO Weiyi, CHEN Jing, et al. Signal and impact of wet-to-dry shift over Xinjiang, China[J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(1): 57-72.

[21] 张仁平, 郭靖, 张云玲. 新疆草地净初级生产力(NPP)空间分布格局及 其对气候变化的响应[J]. 生态学报, 2020, 40(15): 5 318-5 326. ZHANG Renping, GUO Jing, ZHANG Yunling. Spatial distribution pattern of NPP of Xinjiang grassland and its response to climatic changes[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(15): 5 318-5 326.

[22] 乔鹏, 孙从建, 李亚新, 等. 典型"高山-绿洲-荒漠"生态区植被净初级 生产力时空变化特征分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2022, 42(8): 2 595-2 602.

QIAO Peng, SUN Congjian, LI Yaxin, et al. Analysis on temporal and spatial changes of vegetation net primary productivity in typical "alpine-oasis-desert" ecological region[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2022, 42(8): 2 595-2 602.

# Analysis of spatial-temporal changes and driving factors of net primary productivity of vegetation in the Manasi River basin

ZHAO Liman<sup>1</sup>, WANG Xuemei<sup>1,2\*</sup>

(1. College of Geographic Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China;

2. Xinjiang Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Zone, Urumqi 830054, China)

Abstract: [Objective] To investigate the spatial and temporal variation patterns of net primary productivity (NPP) of vegetation and its influencing factors in the Manas River Basin, Xinjiang. [Method] Based on MODIS remote sensing data as well as topography, meteorological factors and human activity data, the spatial and temporal change characteristics of NPP in the Manas River Basin and its driving factors from 2001 to 2021 were analyzed by using slope trend analysis, correlation analysis and geoprobe. [Result] From 2001 to 2021, the multi-year average NPP in the Manas River Basin was 125.63 g C/( $m^2 \cdot a$ ), with a minimum of 98.80 g C/( $m^2 \cdot a$ ) in 2008 and a maximum of 163.98 g C/(m<sup>2</sup>·a) in 2016, and the NPP generally showed an inter-annual increasing trend. The spatial distribution pattern of NPP in the Manas River Basin was characterized by low in the Northern and Southern regions and high in the central region, with nearly 63.84% of the regions showing an increasing trend in NPP, of which 26.98% of the regions showed a significant increase in NPP (P < 0.05); and 19.31% of the regions showed a significant decrease in NPP (P < 0.05). The NPP showed an increasing trend with the increase of elevation and slope, with the highest values occurring in the low mountain forest and grassland areas of the Manas River basin; NPP was positively correlated with air temperature and precipitation. The degree of influence of each factor on NPP in descending order was elevation > land use > precipitation > slope > GDP > temperature > population density > nighttime light, among which the interaction between elevation and land use had the greatest influence on NPP. [Conclusion] The NPP in Manas River Basin has obvious spatial and temporal differentiation characteristics, and elevation, land use and precipitation have important effects on the spatial and temporal distribution pattern of NPP.

**Key words:** net primary productivity of vegetation; spatial-temporal variation; driving factors; geographic detector; Manasi River Basin

# 责任编辑:韩洋

# Numerical simulation research on the impact of surface water replacement on groundwater level in the overexploited area of Songgu

NIU Qi, REN Chunping<sup>\*</sup>, WU Jianhua, GAO Hongwei

(College of Water Resource Science and Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

**Abstract:** [Objective] Explore the impact of surface water replacement on groundwater level in the Songgu overexploited area of Jiexiu city after the implementation of the Dongshan water supply project. [Method] Using the SWAT-MODFLOW coupling model, the surface hydrological processes and groundwater dynamics in the Songgu overexploited area were established, and groundwater level simulation predictions were made for different guaranteed rates of the Dongshan water supply project's pressure mining plan. [Result] After implementing the pressure mining measures, the groundwater level in the Songgu overexploited area rebounded significantly and the overall underground water balance shifted from negative to positive equilibrium. Under the minimum water supply guarantee rate, the groundwater level in the study area also showed a significant rebound, with a groundwater level rebound rate of about 0.73 m/a at the center of the funnel, which gradually moved from Songgu to Jiexiu urban area. The area of groundwater level recovery under 90% water supply guarantee rate for groundwater level below 670, 680, and 690 m increased by 1.78 times, 1.8 times, and 2 times, respectively, compared to that under 50% water supply guarantee rate. [Conclusion] The replacement of surface water with groundwater has a significant effect on the rebound of groundwater level in the Songgu overexploited area. In situations where water resources are abundant, surface water replacement can appropriately promote groundwater recovery.

Key words: Songgu; surface water replaces groundwater; water supply guarantee rate; SWAT-MODFLOW; Dongshan water supply

(上接第103页)