DOI: 10.5846/stxb201708251539

杜梦洁,郑江华,任璇,蔡亚荣,穆晨,闫凯.地形对新疆昌吉州草地净初级生产力分布格局的影响.生态学报,2018,38(13): - . Du M J, Zheng J H, Ren X, Cai Y R, Mu C, Yan K.Effects of topography on the distribution pattern of net primary productivity of grassland inChangji Prefecture, Xinjiang.Acta Ecologica Sinica,2018,38(13): - .

地形对新疆昌吉州草地净初级生产力分布格局的影响

杜梦洁1,郑江华1,2,*,任 璇1,蔡亚荣1,穆 晨3, 闫 凯3

1 新疆大学资源与环境科学学院,乌鲁木齐 830046

2 绿洲生态教育部重点实验室,乌鲁木齐 830046

3 新疆维吾尔自治区草原总站,乌鲁木齐 830001

摘要:新疆草地资源丰富且地形多变,地形作为影响植被生产力最主要的环境因素之一却未被充分考虑。以 Landsat 和 DEM 为数据源,以新疆昌吉州草地为研究对象,应用 CASA 模型计算得到连年的净初级生产力,采用 AreCIS 的空间分析方法对新疆昌吉州草地 2000-2016 年的净初级生产力分布进行了分析。研究结果表明,地形对生产力的分布有着显著影响,在海拔、坡度和 坡向 3 个地形因子对整体趋势变化的影响分析中发现,坡度引起的 NPP 变化最大,坡向次之,海拔较小。在整体特征上,海拔 每升高 30 m,生产力增加 4.11 g/m²;坡度每增加 1°生产力增加 -0.225 g/m²;N 坡向生产力水平最高(23.23 g/m²),SW 坡向最 低(3.54 g/m²)。不同生产力年份生产力在地形因子作用下变化趋势相同但变化幅度不同,较高生产力年份中 3 个地形因子的 变化幅度都是最大的。

关键词:净初级生产力;CASA 模型;数值化高程

Effects of topography on the distribution pattern of net primary productivity of grassland inChangji Prefecture, Xinjiang

DU Mengjie¹, ZHENG Jianghua^{1,2,*}, REN Xuan¹, CAI Yarong¹, MU Chen³, YAN Kai³

1 Resource and Environment Science college of XinJiang University, Urumqi 830046, China

2 Key Laboratory of oasis ecology Ministry of education, Urumqi 830046, China

3 Xinjiang grassland central station, Urumqi 830001, China

Abstract: Xinjiang grassland resources are rich and varied, but as far as current research is concerned, topography has not been fully considered as one of the most important environmental factors affecting vegetation productivity. This study takes Landsat and DEM as data sources, and the object of study is a grassland in Changji Prefecture of the Xinjiang autonomous region. The annual net primary productivity is calculated with the CASA model. The ArcGIS spatial analysis method is used to analyze the distribution of the net primary productivity in Changji Prefecture for the years 2000—2016. The results show that topography plays an important role in the distribution of productivity. The analysis of the influence of elevation, slope, and aspect show that slope is the largest impact factor, followed by aspect, and elevation is the smallest. In the overall characteristics, when the elevation increases by 30 m, the productivity increases by 4.11 g/m². In the same way, when the slope increases by 1 degree, the productivity increases by -0.225 g/m^2 . The productivity of the north aspect is the highest (23.23 g/m²), and that of the southeast aspect is the lowest (3.54 g/m²). In years with different productivities, the trend of impacts is the same, but the ranges of variation are different. The three topographic factors have the largest range of

基金项目:2016年自治区研究生教育改革创新计划(XJGRI2016015);新疆维吾尔自治区青年科技创新人才培养工程(2016);新疆维吾尔自治区 草原总站横向课题(62207)

收稿日期:2017-08-25; 网络出版日期:2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: zheng_jianghua@126.com

http://www.ecologica.cn

change in high-productivity years.

Key Words: net primary productivity; Carnegie-Ames-Stanford Approach model; DEM

草地是主要的陆地生态系统之一,并且在全球碳库计算和生态系统功能评价领域中占有重要的地位^[1]。 新疆作为全国五大牧区之一,草地除具备一定的生态功能和经济效益以外,在畜牧业中的经济职能更不容忽 视^[2]。然而近年来由于人类对草地资源的不合理开发利用、资源重组,草地资源呈现出严重退化、沙化,致使 草地生态本底愈加脆弱^[3]。植被是草地生态系统中的重要组成部分,在区域尺度的气象变化中扮演重要角 色,因此植被常被视为草地生态系统探究的基础^[4]。

净初级生产力(Net Primary Productivity, NPP)是指绿色植物在单位面积单位时间所积累的有机物能量, 即去处呼吸消耗后的光和能量创造出的有机质剩余量[5],既是反映气候变化的重要参考因子,也是反映草地 健康状况的重要衡量指标^[6]。草地 NPP 的研究方法多样,其中比较传统的运算方法是站点实测法,该方法基 于站点实测数据,经过参数换算后得到该地区的生产力^[7],虽然该方法操作简单,但对人力和物力的要求比 较高,除了对研究区草地产生不同程度的破坏以外,用地上生物量计算得到的生物量,其精度存疑[8]。在各 国学者及国际生物学计划(IBP,1965—1974)推动下,目前用于 NPP 计算的模型主归为三大类:气候相关模 型、过程模型和光能利利用率模型^[9-12]。与其他两大类模型相比,光能利用率模型以其参数少且其参数与植 被生理特征相关性强等的优点,受到国内外专家学者的认可,随着以 CASA(Carnegie-Ames-Stanford Approach) 模型为代表的光能利用率模型的兴起,更多的专家学者开始使用这种方法进行针对性研究^[13],Field 在 1995 年对于 CASA 模型中的主要参数进行修订并在当地研究中得到可靠的研究成果^[14], Running 等则使用过程模 型 BIOME-BGC 估算了各种植被的最大光能力利用率,在此基础上改进 CASA 模型投入使用^[15]。相比于国外 对于 NPP 的研究,国内的研究起步比较晚,李文华于 1978 年分析了国内外森林生态系统 NPP 的研究现状,针 对我国森林资源国情,提出了基于地带特征及水热条件的数学估算模型^[16]。继朱文泉^[17-18]等运用 CASA 模 型在全国尺度上计算了国内陆地植被的净初级生产力后该方法被大范围应用于全国各地植被净初级生产力 的估算当中并取得了较为可靠的成果,其中穆少杰^[13]和杨红飞^[1]就应用 CASA 模型分别对内蒙古及新疆的 植被净初级生产力进行了估算和相关因子分析,进一步阐明了 CASA 模型对小尺度研究具有一定的可靠性, 其后成方妍^[19]等以北京市为研究区对于遥感数据尺度问题进行进一步探讨并计算对比 NPP,这一研究不仅 讨论了模型参数调整也为 NPP 小尺度研究提供了先验知识。相较于常用的 MODIS 产品数据而言,基于 Landsat 得到的 NDVI 数据在分辨率上有很明显的提升, 而 NDVI 精度提升也将对模型运算结果有助益。在已 有研究中杨会巾^[20]发现分辨率为 30 m 的 NDVI 数据计算结果比 990 m 的 NDVI 数据计算结果高出 5%,这在 模型计算时的参量优化上提供了创新的可能。

谈及净初级生产力不可避免的需要讨论 NPP 与地形引起的植被异质性之间的关系,草地植被异质性主要由群落尺度体现,而群落尺度的异质性由地形对水热条件的重新分配导致的土壤环境变化决定。因此,地形差异成为生产力格局研究中不可避免、影响深远的因素,但在现有研究中鲜少被充分重视^[21],而新疆草地资源丰富且地形多变,就目前的研究而言地形作为影响植被生产力最主要的环境因素之一却未被充分考虑,因此本研究将在 CASA 模型推算 NPP 的基础上讨论新疆昌吉州草地 NPP 与地形之间的关系,研究采用 2000—2016 年 7 月的 Landsat 数据与 CASA 模型相结合计算连续 17 年 7 月的 NPP 数值,将计算结果与昌吉州草地的 DEM 数据结合,提取海拔、坡度和坡向参数,分类讨论这三个地形参数对 NPP 分布格局的影响。

1 研究区与方法

1.1 研究区概况

昌吉州位于新疆维吾尔自治区天山北麓,准噶尔盆地南缘,地理位置为 85°34′—91°32′E,43°06′—45°38′N

(图1),总面积9.39万km²。该区气候属典型的大陆性干旱气候,冬冷夏热昼夜温差大。由于地形条件的影响, 由南向北气候差异较大,南部山区气候特征明显。夏季降水充沛,北部沙漠性气候特征明显,热量条件充足。



Fig.1 Location of study area

1.2 材料

遥感数据采用地理空间数据云(http://www.gscloud.cn)提供的 Landsat TM、Landsat 8oil 数据,成像时间 分别为 2000—2016 年 6—7 月,共 114 景影像,每 10 幅拼接裁剪后成为当年遥感本底数据,缺失数据年份由 相邻且两年度自然情况一致的年份补齐。7 月月均降水量、7 月月均温及月太阳总辐射数据采用中国气象数 据网(http://data.cma.cn/)的站点数据,通过整理插值形成气象本底数据。草地类型图采用分辨率为 1000 m 的 GLC2000 数据。

1.3 研究方法

1.3.1 遥感数据处理

首先对获取遥感影像的多光谱数据进行辐射校正,其次对基于辐射校正的多光谱数据进行大气校正,在此基础上提取对应年份的归一化植被指数(Normalized vegetation index, NDVI)备用。

1.3.2 气象数据处理

本研究中用到的月均降水量、月均温及月太阳总辐射数据均为站点数据,前期需要进行数据整理工作,此后在 ArcGIS 中进行插值运算,本研究选用的插值方法是协同克里格法(Co-Kriging,CK),该方法能够基于空间属性的相关联性,对一个或多个变量进行空间估值,以此达到提高估值合理性与提高估值结果精度的目的^[22]。 **1.3.3** NPP 计算

本研究应用的 NPP 计算模型是朱文泉等改进的 CASA(Carnegie-Ames-Stanford Approach)模型^[6],该模型 是光能利用率模型中最常见的模型之一,主要运用植物吸入的光和辐射(APAR)与光能利用率(ε)实现 NPP 的计算,计算公式如下:

$$NPP(x,t) = APAR(x,t) \times \varepsilon(x,t)$$
(1)

其中 APAR(x,t)表示像元x 位置处植物 t 月所吸收的光合有效辐射, $\varepsilon(x,t)$ 表示像元x 位置在 t 月植被实际 光能利用率。

已有研究表明,由于遥感数据覆盖范围广、时间分辨率高,故以遥感影像为参量之一的 CASA 模型能够实现大尺度 NPP 动态监测,且 CASA 模型相对于其他模型所需要输入的参量较少,有效规避了由于参数缺乏而造成的误差,与此同时该模型综合考虑了计算 NPP 时的两个主要驱动变量,基于植被生理过程而建立的机理计算模型在一定程度上能够比较全面的反应真实情况,是目前国际上最通用的 NPP 模型之一^[6]。

1.3.4 研究区生产力分级

根据 CASA 模型的运行原理,将准备好的参数带入 CASA 模型计算得到对应年份的生产力(图 2),其次 根据属性表中的信息计算研究区的平均生产力,根据其变化特征,将高于平均值的 2009、2011、2012、2013 和



http://www.ecologica.cn



Fig.2 Maps of productivity distribution patterns

1.4 地形因子提取

地形因子信息提取是根据 ASTER GDEM 制作的 DEM 数据为基础进行的,在 ArcGIS 10.1 的空间分析模 块中实现。其中海拔以每隔 500 m 进行划分,坡度以 8°为一个单元划分,坡向自北偏西 22.5°每隔 45°为一个 单元进行划分,其中令北偏西 22.5°到北偏东 22.5°之间为正北方向,在此基础上进行对生产力进行空间分析, 其属性表如表 1 所示。

经过属性信息统计后不难发现,海拔高度中(表1),自最低高程 273—773 m 之间面积最大达 3352490 hm²,占总面积的 43.35%;坡度中,自最小坡度 0°—8°之间的面积最大达 5021760 hm²,占总面积的 77.7%;坡





Fig.3 Dynamic of vegetation productivity of grassland from 2000 to 2016

Table 1 Area distribution of Elevation, Slope and Aspect								
海拔/m Elevation	面积/hm ² Area	比例/% Ratio	坡度/° Slope	面积/hm ² Area	比例/% Ratio	坡向 Aspect	面积/hm ² Area	比例/% Ratio
773	3352490	43.35	8	5021760	77.70	Ν	835854	13.11
1273	151920	19.55	16	584407	9.04	NE	898154	14.10
1773	650758	8.41	24	324379	5.02	Е	837340	13.14
2273	316881	4.10	32	249262	3.86	SE	711573	11.16
2773	243134	3.14	40	172918	2.68	S	619487	9.59
3273	185069	2.39	48	78677.8	1.22	SW	741871	11.64
3773	1419060	18.35	56	24283.4	0.38	W	838611	13.15
4273	53363.1	0.69	64	5938.83	0.09	NW	901463	14.14
4773	1121.79	0.01	72	1226.16	0.01			
5252	425.16	0.01	85	217.53	0.01			
合计 Total	773422.05	100		6463069.72	100		6374353	100

表1 坡度、坡向、海拔面积分布

注:N:北,North;NE:东北,Northeast;E:东,East;SE:东南,Southeast;S:南,South;SW:西南,Southwest;W:西,West;NW:西北,Northwest;

向中,NW面积最大达901463 hm²,占总面积的14.14%。 根据以上属性条件,因此本研究将选择3个地形控制因 子中面积最大的区域进行代表性研究,综上,本文将以 海拔高度273—773 m、坡度0°—8°之间以及坡向为NW 方向为控制条件(图4),在此基础上综合昌吉州87个 常年观测点点位信息,对分布在该区间的生产力进行点 位信息提取并进行年间分析。在此基础上应用已有的 2010—2014年实地测算的生产力点位平均值与提取后 对应时间跨度的点位生产力平均值进行拟合分析,其结 果显示 CASA模型测算生产力与实测数据呈现波动吻 合如图5,本研究中将差异在±0.5 g/m²以内的波动定 义为基本相似,其结果显示模型测算的生产力数据与实 测数据吻合精度为85.05%,造成误差的原因主要是地 上生物量采集换算得到的生物量与通常定义的生物量 存在差异,因此经由CASA模型计算得到的该区净初级



38 卷

生产力能够很好的代表当地的生产力水平,可以有效弥补实测数据不全对于研究的限制。

2 结果分析

2.1 海拔高度对草地生产力的影响

坡度为 0—8°和坡向 NW 条件下,将逐年运用 CASA 模型计算得到的数据按照控制条件及点位信息 进行提取,将满足控制条件的 18 个观测点点位生产力 与海拔进行单因素分析发现,生产力水平与海拔高度呈 现线性相关(Sig<0.001),其中生产力与海拔高度间的 关系在生产力较低年份与生产力中等年份表现出更好 的线性相关趋势(*R*²>0.9)。从变化趋势来看(图6),不



图 5 观测点模拟值与实测值



论是从整体水平还是生产力水平差异年份上都有生产力水平随着海拔高度升高而显著增加的特征,但该增加 模式并非持续上升,而是在上升到一定程度后受到抑制而趋于平稳。这里抑制并不是不增长,而是其增长趋 势由开始的较快趋于平稳,这主要是因为随着海拔升高,光和有效辐射也随之积累,当积累触顶后其增长趋势 就逐渐缓慢下来。就整体而言当海拔达到 770 m 后生产力水平趋于稳定,涨幅不再明显。根据观测点点位信 息提取得到的生产力数据显示,整体、生产力较高年份、生产力较低年份及生产力中等年份的最高值均出现在 764 m 处,分别为 11.8、20.9、3.6 g/m² 和 10.7 g/m²,在控制条内,该地区的光和有效辐射、植被分布以及气候 条件相比同条件下的其他点位达到了最优状态,因此该点位的生产力较高。



2.2 坡度对草地生产力影响

当控制条件为海拔 273—773 m 和坡向 NW 时,继续对计算得到的数据按照控制条件及点位信息进行提 取,将满足条件的 42 个观测点位生产力与坡度综合分析发现,生产力水平与坡度呈现线性相关(Sig<0.001), 其中生产力较高年份表现出更好的线性相关趋势(*R*²>0.9)。不论是处于任意一个水平差异年份上,其生产 力随着坡度的增大而减小且变化趋势明显,根据数据统计情况显示(图7),整体在坡度为 2°时生产力达最大 值 23.2 g/m²,坡度为 61°时出现最小值 0.053 g/m²。生产力较高年份在坡度为 0°时达最大值 23.9 g/m²,坡度 为 61°时生产力趋于 0 g/m²。生产力较低年份在坡度为 8°时达最大值 6.3 g/m²,坡度为 55°时趋于 0 g/m²。 生产力中等年份在坡度为 5°时达最大值 10.7 g/m²,坡度为 61°时出现最小值 0.07 g/m²。



2.3 坡向对草地生产力的影响

坡向与草地生产力的关系从整体而言(图 8),其 N 与 NE 方向生产力水平较高,NW 和 E 方向次之,W、 SW、S和 SE 方向偏低。整体、生产力较高年份、生产力较低年份及生产力中等年份的最大值均出现在 N 方向 分别为 23.2、60.5、6.33 g/m² 和 10.74 g/m²,最小值均出现在 SW 方向分别为 3.54、4.36、0.23 g/m² 和 0.16 g/m²。

3 讨论

地形条件不同其地下及水热分布也不同,由此导致地表植被组织结构及空间分布格局也有所不同,研究 地形与生产力的内在联系,能够更好把握植被的空间分布特征与空间结构形态^[23]。但就目前已有的草地生 产力分布格局研究中,对地形因素的考虑还不够周全,特别是在较大的空间尺度及连续的时间尺度研究中,需 要将地形因子作为一个重要的环境因素进行考量^[21]。

从海拔高度对生产力的影响角度出发,17年间的数据分析表明不论是从整体的角度分析还是从不同生产力差异年份来看(图 6),NPP 随海拔高度升高而升高是一个普遍特征。整体水平生产力最大与最小相差 7.56 g/m²,较高年份为 13.61 g/m²,较低年份为 3.07 g/m²,中等年份为 9.72 g/m²,为了能够从数据的角度来 阐释其关系,故采用图 6 中的 4 个拟合模型与 CASA 模型运算结果提取的观测点信息进行比较分析,本文将

采用误差标准差 SDE(SDE = $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} ei^{2}}{n}}$)和平均绝对误差 MAD(MAD = $\frac{\sum_{i=1}^{n} |ei|}{n}$)进行描述(式中, n 为样本 数量,本文根据不同的控制条件选择数量不同,在海拔与生产力的研究中共有 18 个样本,在坡度与生产力的 研究中共有 42 个样本;ei 为 CASA 计算结果中提取的点值与拟合模型预测的点值之差),由表 2 可知,这 4 个 模型的预测精度均在 80%以上,其中整体的拟合模型预测精度达 92.34%,相对于其他 4 种模型其拟合效果最 佳,通过这 4 个拟合模型可得,在整体水平下海拔每升高 30 m,其生产力增加 4.11 g/m²,生产力较高年份海拔 每升高 30 m,其生产力增加 0.789 g/m²,生产力水平较低年份海拔每升高 30 m,生产力增加 0.216 g/m²,而中 等年份海拔每升高 30 m,生产力水平增加 0.669 g/m²。

38 卷



图 8 坡向与生产力之间的关系

Fig.8 Relationship between aspect and NPP

海拔:273-733m; 坡度:0-8°; N、E、S、W 分别为北、东、南、西方向

表 2	海拔高度与生产	力拟合模型的误差	皇分析
-----	---------	----------	-----

Table 2	Analysis or	n Errors of	f the	fittedmodel	for	elevation	and	NPP

生产力 NPP	整体 Totality	较高 Higher	较低 Lower	中等 Moderate
模型 Model	y = 0.137x - 0.3075	y = 0.0263x - 0.9514	y = 0.0072x - 2.1582	y = 0.0223x - 7.3111
样本数 Sample number	18	18	18	18
最大误差 Maximum error	1.0928	2.6945	0.6447	2.2837
最小误差 Minimum error	0.0283	0.01094	0.0034	0.2596
平均误差 Average error	0.0766	0.1036	0.1543	0.1621
标准差 Standard deviation	0.7227	1.6268	0.2850	0.7598
预测精度/%Prediction accuracy	92.34	89.64	84.57	83.79

相对于海拔对生产力的影响而言,坡度对生产力的影响与其相反,根据图 7 可知,随着坡度升高,其生产力呈下降趋势。整体水平上生产力最高与最低相差 23.18 g/m²,较高年份为 23.89 g/m²,较低年份为 6.33 g/m²,中等年份为 10.37 g/m²。由表 3 可知,相较于其他 3 个拟合模型基于整体水平的拟合模型效果最好。这也意味着基于整体水平坡度每上升 1°生产力增加-0.225 g/m²,较高水平坡度每增加 1°生产力增加-0.4066 g/m²,较低水平坡度每增加 1°生产力增加-0.1892 g/m²,与

Table 3 Analysis on Errors of the fitted model forstope and NPP						
生产力 NPP	整体 Totality	较高 Higher	较低 Lower	中等 Moderate		
模型 Model	y = -0.225x + 12.586	y = -0.4066x + 23.888	y = -0.0836x + 4.3917	y = -0.1892x + 9.6929		
样本数 Sample number	42	42	42	42		
最大误差 Maximum error	2.7761	5.344	2.6109	1.9918		
最小误差 Minimum error	0.008	0.4252	0.0037	0.0775		
平均误差 Average error	0.1215	0.2032	0.2179	0.1596		
标准差 Standard deviation	0.9251	2.8492	0.5639	0.6981		
预测精度/%Prediction accuracy	87.85	79.68	78.21	84.04		

表 3 坡度与生产力拟合模型的误差分析

相对于前两个地形因素而言,坡向对生产力的影响在不同坡向之间存在差异(图8),基于整体情况的生 产力变化在 23.23 g/m²(N)到 3.51 g/m²(SW)之间,相差 19.72 g/m²;较高年份生产力变化在 60.49 g/m²(N) 到 4.36 g/m²(SW)之间,相差 56.154 g/m²;较低年份生产力变化在 6.23 g/m²(N)到 0.23 g/m²(SW)之间,相 差 6 g/m²;中等年份生产力变化在 10.74 g/m²(N)到 0.16 g/m²(SW)之间,相差 10.58 g/m²;不难发现其变化 不论是在任何差异年份主要集中在 N 方向到 SW 方向之间。比较整体生产力变化幅度在海拔、坡度和坡向的 特征可以看出,坡度导致的生产力变化最大,海拔和坡向变化较小,坡向略高于海拔。

将不同年份生产力与海拔高度、坡向、坡度这3个地形因子——对应研究分析后发现,地形对生产力格局 的分布有重要影响,在本文设定的控制条件之下,坡度对于生产力的影响最大,根据已有研究显示,一般当坡 度<15°时,土壤含水量随坡度的增加而增加,当坡度>15°时,土壤含水量随坡度增加而减少^[23-24],因此在设定 控制条件之下对 NPP 影响最大的是土壤含水量;相对于坡度而言,坡向对于 NPP 的空间分布影响次之,主要 表现在坡向不同,植被接受的太阳辐射量不同,盛行风和地面的交角也不同,从而影响了不同坡度的水热分 布,改变了 NPP 的空间分布状态^[25-26],海拔在本研究中的影响较小但也不能忽视,从图 6 中不难发现, NPP 随 着海拔高度升高呈现明显的增长趋势,当达到本研究设定的参数临界值时逐渐趋于平稳,除了水热和气候的 因素以外,根据相同研究对于该因素的研究发现,这种增长抑制现象频频发生,这主要是由于起初随着海拔升 高,太阳辐射的量也开始急剧积累,但当达到临界值时增长开始变得缓慢,换言之,这里的抑制并不是不再增 长而是增长的比较缓慢^[27-29]。通过对比研究发现,地形对于 NPP 空间分布的相关研究中表现出趋同性和差 异性,趋同性表现为地形因子作用下 NPP 变化的趋势,差异性表现为不同的研究区,三个地形因子的影响力 排序不同[21,30-32]。

最后,从 CASA 模型测算地面生物量的角度来看,该模型数据获取便捷,运用遥感数据获取数据并进行相 关处理能够快速得到数据,有效避免因实地采集换算而导致的生物量计算不完全的情况。

4 结论

地形对草地植被生产力有着深远影响,在3个地形因子对整体生产力变化趋势的影响中,坡度引起的 NPP 变化幅度最大,坡向次之,海拔较小,在整体水平上,海拔每升高 30 m,生产力增加 4.11 g/m²;坡度每增 加1°生产力增加-0.225 g/m²;N坡向生产力水平最高(23.23 g/m²),SW 坡向最低(3.54 g/m²)。不同生产力 年份影响趋势相同但变化幅度不同,在较高生产力年份3个地形因子的变化幅度都是最大的;通过与实测值 对比分析发现,CASA 模型在新疆小区域 NPP 测算工作中适应性较强;经过研究发现,植被生长受光和有效辐 射和土壤水分影响,而这些因素又随地形的海拔、坡度和坡向发生变化,经此得以论证地形影响着新疆昌吉州 天然草地生产力的空间分布,在进行生产力相关研究时地形因子应当被给予足够的关注和研究。

致谢:感谢新疆维吾尔自治区产学研联合培养研究生示范基地及新疆维吾尔自治区草原总站在研究过程中提

供的数据支持。

参考文献(References):

- [1] 杨红飞,刚成诚,穆少杰,章超斌,周伟,李建龙.近10年新疆草地生态系统净初级生产力及其时空格局变化研究.草业学报,2014,23
 (3): 39-50.
- [2] 鞠强,努尔巴衣·阿不都沙勒克,潘晓玲.新疆草地退化及其治理.新疆环境保护,2004,26(3):43-46.
- [3] 毛德华, 王宗明, 韩佶兴, 任春颖. 1982—2010 年中国东北地区植被 NPP 时空格局及驱动因子分析. 地理科学, 2012, 32(9): 1106-1111.
- [4] Eisfelder C, Klein I, Bekkuliyeva A, Kuenzer C, Buchroithner M F, Dech S. Above-ground biomass estimation based on NPP time-series-a novel approach for biomass estimation in semi-arid Kazakhstan. Ecological Indicators, 2017, 72: 13-22.
- [5] 李伟, 张国明, 李兆君. 东亚地区陆地生态系统净第一性生产力时空格局. 生态学报, 2008, 28(9): 4173-4183.
- [6] 朱文泉,潘耀忠,何浩,于德永, 扈海波. 中国典型植被最大光利用率模拟. 科学通报, 2006, 51(6): 700-706.
- [7] Yang Y, Wang Z Q, Li J L, Gang C C, Zhang Y Z, Odeh I, Qi J G. Comparative assessment of grassland degradation dynamics in response to climate variation and human activities in China, Mongolia, Pakistan and Uzbekistan from 2000 to 2013. Journal of Arid Environments, 2016, 135: 164-172.
- [8] Niedertscheider M, Kastner T, Fetzel T, Haberl H, Kroisleitner C. Mapping and analysing cropland use intensity from a NPP perspective. Environmental Research Letters, 2016, 11(1):014008.
- [9] 孙睿,朱启疆. 陆地植被净第一性生产力的研究. 应用生态学报, 1999, 10(6): 757-760.
- [10] 孙睿,朱启疆.中国陆地植被净第一性生产力及季节变化研究.地理学报,2000,55(1):36-45.
- [11] Liu C Y, Dong X F, Liu Y Y. Changes of NPP and their relationship to climate factors based on the transformation of different scales in Gansu, China.CATENA, 2015, 125: 190-199.
- [12] 王桂钢,周可法,孙莉,李雪梅,秦艳.天山山区草地变化与气候要素的时滞效应分析.干旱区地理,2011,34(2):317-324.
- [13] 穆少杰,李建龙,周伟,杨红飞,章超斌,居为民. 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. 生态学报, 2013, 33(12): 3752-3764.
- [14] Field C B, Randerson J T, Malmström C M. Global net primary production: combining ecology and remote sensing. Remote Sensing of Environment, 1995, 51(1): 74-88.
- [15] Running S W, Thornton P E, Nemani R, Glassy J M. Global terrestrial gross and net primary productivity from the earth observing system//Sala O E, Jackson R B, Mooney H A, Howarth R W, eds. Methods in Ecosystem Science. New York, NY: Springer, 2000: 44-57.
- [16] 李文华.森林生物生产量的概念及其研究的基本途径.资源科学, 1978, (1): 71-92.
- [17] 朱文泉. 中国陆地生态系统植被净初级生产力遥感估算及其与气候变化关系的研究[D]. 北京: 北京师范大学, 2005.
- [18] 朱文泉,潘耀忠,张锦水.中国陆地植被净初级生产力遥感估算.植物生态学报,2007,31(3):413-424.
- [19] 成方妍,刘世梁,张月秋,尹艺洁,侯笑云.基于 MODIS 序列的北京市土地利用变化对净初级生产力的影响.生态学报,2017,37(18): 5924-5934.
- [20] 杨会巾,刘丽娟,马金龙,王进,李小玉.基于 Landsat 8 遥感影像反演干旱区净初级生产力的尺度效应.生态学杂志,2016,35(5): 1294-1300.
- [21] 常学礼,吕世海,冯朝阳,叶生星.地形对草甸草原植被生产力分布格局的影响.生态学报,2015,35(10):3339-3348.
- [22] 任璇,郑江华,穆晨,闫凯,徐廷豹.不同气象插值方法在新疆草地 NPP 估算中的可靠性评价. 草业科学, 2017, 34(3): 439-448.
- [23] 崔夺,李玉霖,王新源,赵学勇,张铜会.北方荒漠及荒漠化地区草地地上生物量空间分布特征.中国沙漠,2011,31(4):868-872.
- [24] 陈宝瑞,李海山,朱玉霞,李刚,辛晓平,张宏斌,周磊. 呼伦贝尔草原植物群落空间格局及其环境解释. 生态学报, 2010, 30(5): 1265-1271.
- [25] 姚永慧,张百平,韩芳,庞宇.横断山区垂直带谱的分布模式与坡向效应.山地学报,2010,28(1):11-20.
- [26] 程曼, 王让会, 薛红喜, 李琪. 干旱对我国西北地区生态系统净初级生产力的影响. 干旱区资源与环境, 2012, 26(6): 1-7.
- [27] 陈福军, 沈彦俊, 李倩, 郭英, 徐丽梅. 中国陆地生态系统近 30 年 NPP 时空变化研究. 地理科学, 2011, 31(11): 1409-1414.
- [28] 李国亮, 赵军. 黑河流域上游草地 NPP 分布及其与地形因子的关系分析. 甘肃科技, 2013, 29(21): 30-32.
- [29] 卞鸿雁, 庞奖励, 任志远, 文雯. 干旱区内陆流域净初级生产力时空分异模拟及自然因素分析——以泾河流域为例. 资源科学, 2012, 34 (9): 1790-1797.
- [30] 赵颖慧,李思琪,甄贞,李凤日,魏庆彬. 黑龙江省黑河地区森林地上生物量和 NPP 估测及时空格局. 应用生态学报, 2016, 27(10): 3070-3080.
- [31] 刘玉安,黄波,易成功,程涛,余健,曲乐安.基于地形校正的植被净初级生产力遥感模拟及分析.农业工程学报,2013,19(13): 130-141.
- [32] 牛钰杰,周建伟,杨思维,王贵珍,刘丽,杜国祯,花立民.基于地形因素的高寒草甸土壤温湿度和物种多样性与初级生产力关系研究. 生态学报,2017,37(24):8314-8325