

克里雅河流域植被物候时空变化及影响因素

张文奇^{1,2}, 李丹³, 师庆东^{1,2}, 郭玉川¹, 比拉力·依明^{1,2}, 李浩^{1,2}

(1. 新疆大学 资源与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830046;

2. 绿洲生态教育部重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830046; 3. 西安石油大学 石油工程学院, 陕西 西安 710065)

摘要: [目的] 探究克里雅河流域 2000—2015 年植被物候期时空变化规律, 在气候变化背景下为该流域植被演变过程研究提供参考。[方法] 以 MODIS MOD₀₉Q₁ 产品和当地气象站点数据为数据源, 利用植被指数动态阈值法提取流域植被物候信息并进行空间趋势分析, 以偏最小二乘回归方法分析克里雅河流域植被物候期与不同月份气象因子的相关性。[结果] ① 研究期内植被生长期开始时间主要在第 60—180 d 之间, 结束时间在第 180—322 d 之间, 植被生长期长度在 70~250 d 之间。中游的人工绿洲植被生长期开始时间最早, 结束时间最晚, 植被生长时间最长。② 2000—2015 年克里雅河流域植被返青期整体呈提前趋势, 变化速率均值为 -1.3 d/10 a, 植被枯黄期呈推迟趋势, 生长期延长, 其中以中游的变化趋势最为明显。③ 春季气温和降水量的升高促进植被返青期提前, 秋季气温和降水量的升高会对植被枯黄期起到推迟作用。[结论] 克里雅河流域植被物候期在不同的海拔梯度上有明显的分布变化规律, 中游人工绿洲植被的物候变化规律远异于自然植被物候变化规律, 并且可能影响到了下游。

关键词: 克里雅河流域; 植被物候; 趋势分析; 偏最小二乘回归

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)05-0291-08

中图分类号: Q948, TP79

文献参数: 张文奇, 李丹, 师庆东, 等. 克里雅河流域植被物候时空变化及影响因素[J]. 水土保持通报, 2020, 40(5):291-298. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2020.05.042; Zhang Wenqi, Li Dan, Shi Qingdong, et al. Analysis of temporal and spatial changes in vegetation phenology and its influencing factors in Keriya River basin [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(5):291-298.

Analysis of Temporal and Spatial Changes in Vegetation Phenology and Its Influencing Factors in Keriya River Basin

Zhang Wenqi^{1,2}, Li Dan³, Shi Qingdong^{1,2}, Guo Yuchuan¹, Bi Lali·Yi Ming^{1,2}, Li Hao^{1,2}

(1. School of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang

830046, China; 2. Key Laboratory of Oasis Ecology Ministry of Education, Urumqi, Xinjiang 830046,

China; 3. School of Petroleum Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi, 710065, China)

Abstract: [Objective] The temporal and spatial variation in the phenological period of vegetation in the Keriya River basin from 2000 to 2015 was explored to provide reference for the study of vegetation evolution processes in the context of climate change. [Methods] Taking MODIS MOD₀₉Q₁ products and local meteorological station data as data sources, information on the vegetation phenology was extracted by using the vegetation index dynamic threshold method and then analyzed using a spatial trend analysis. The correlation between the phenological period of vegetation and meteorological factors in different months was analyzed by a partial least squares regression method. [Results] ① The start of the growth season (SOS) in the study area was mainly between 60—180 d, the end of growth season (EOS) was between 180—322 d, and the length of the growth season (LOS) was 70—250 d. The growth period of the artificial oasis in the middle reaches began

收稿日期: 2020-05-13

修回日期: 2020-06-02

资助项目: 国家自然科学基金项目“干旱流域下游河道地表水文过程及地下水时空响应研究”(41961003); 国家自然科学基金联合重点支持项目“地表水、浅层地下水对沙漠腹地天然绿洲植被格局影响机制研究”(U1703237)

第一作者: 张文奇(1997—), 男(汉族), 新疆维吾尔自治区玛纳斯县人, 硕士研究生, 研究方向为干旱区植被遥感分析。Email: sherlochomless@163.com。

通讯作者: 郭玉川(1982—), 男(汉族), 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市人, 博士, 讲师, 主要从事地下水资源利用与保护研究。Email: xjguoyuchuan@126.com。

the earliest, ended the latest, and was the longest vegetation growth time. ② From 2000 to 2015, the SOS in the Keriya River basin showed advancement, with an average change rate of -1.3 d every 10 years, whereas the EOS was postponed, the LOS was extended, and the most obvious variations in trends were in the middle reaches. ③ The increased temperature and precipitation in spring advanced the SOS, and the same in autumn, delayed the EOS. [Conclusion] The vegetation phenology in the Keriya River basin has obvious distribution and change rules at different elevation gradients, and the phenology change rule of the artificial oasis in the middle reaches is far different from that of the natural vegetation, and may affect the lower reaches.

Keywords: Keriya River basin; vegetation phenology; trend analysis; partial least squares regression

陆地植被通常被认为对气候有着显著的响应^[1-2],它驱动了大气和地表之间的能量和质量交换,在水文和生物地球化学循环中起着重要的作用。而植被物候经常被视为生态晴雨表,它的本质是植被生命周期事件对环境因素变化的适应状况,它为理解和测量气候变化对生态系统过程的影响提供了一种有价值的手段^[3-4]。单个植物或物种在田间水平上的生命周期事件如(芽的萌发、开花和叶的衰老)被称为植被物候学^[5],研究植被物候变化规律,可以为农作物的选种引种、农时预报以及气候情况的预测起到理论上的支持和指导价值。

传统的地面植被物候期观测方法收集工作繁重,时间空间范围有限,而遥感卫星长时间序列的连续观测具有范围广、时间跨度长、工作量小等优点,已成为一种被广泛认可的工具用以监测区域乃至全球大规模植被物候。基于遥感植被指数(VI),如归一化植被指数(NDVI)来建立长时间序列的地表物候时间序列数据,通过利用地表物质的光谱反射率特性和时间特性提取一些关键指标来描述植被生长期的开始和结束(返青期和枯黄期)。Jahan Kariyeva 等^[6]利用 AVHRR 卫星获得的 8 km, 16 d 合成最大 NDVI 数据(1981-2008),以中亚地区为研究区,对每年计算的物候响应变量与多种环境因子进行建模分析,他认为山地景观物候主要受海拔影响,草原景观物候响应受温度年际变化的影响,沙漠景观的物候响应表现出最大的时间变异性,似乎受土壤碳含量、温度变化及冬季降水模式等多方面影响。Jessica Walker 等^[7]使用 500 m 的 modis 数据与 landsat 影像分析了美国亚利桑那州黄松(*Pinus ponderosa*)森林物候模式对场地特征和气候条件的响应,认为在干旱年,海拔较低和草本植被比例较高的像素对降水条件变化的动态响应更大。玛地尼亚提·地里夏提等^[8]对 2001—2014 年博斯腾湖流域植被物候信息进行了时空变化及驱动力分析,认为物候始期自南向北逐渐推迟、而末期逐渐提前,物候的空间分布特征与该区海拔高度的分

布保持了较好的一致性,且该研究区物候期受人类影响较为明显。

克里雅河流域位于新疆的塔里木盆地南缘,典型的大陆性暖温带极端气候,同时包含了山地、人工/天然绿洲、荒漠等多种景观。目前,整个地区存在有明显的资源不协调的情况,该地区的农业活动都基本聚集在中游,下游主要以畜牧业为主,在农业和畜牧业多年影响下的干旱区绿洲植被物候变化情况如何?对于该地区植被物候期的变化研究仍处于空白,缺乏干旱区内陆河流域植被在长时间遥感尺度上物候反演结果的讨论分析。为此,本研究以 MODIS 反射率影像为原材料,对克里雅河流域植被生长期始期、末期、长度等指标进行提取和时空变化分析,初步讨论该地区植被物候期时空变化规律及其与气候因子的联系,为该地区气候变化背景下流域植被的演变过程研究提供一定的参考和指导意义。

1 研究区概况

克里雅河流域地处亚欧大陆中心,塔克拉玛干沙漠南缘,主要分布在于田县境内。克里雅河流域总面积大约为 3.95×10^4 km²,南北长约 466 km,东西宽 30~120 km^[9]。该地区常年多风沙浮尘,四季分明,昼夜温差大,降水稀少,蒸发量大,流域径流补给主要依靠冰雪融水。发源于昆仑山北坡的克里雅河由经过各山川河谷的水最后在北坡普鲁村汇流而成^[10],在穿过于田绿洲后克里雅河深入塔克拉玛干沙漠,据相关文献记载历史上克里雅河曾经穿过塔克拉玛干沙漠流入塔里木河^[11],受到断流影响后在深入沙漠 250 km 处形成了达理雅博依绿洲^[12-13]。研究区土地覆盖类型为稀疏灌丛、草地、耕地、城市、冰川、裸地和低植被覆盖地。

2 数据与方法

2.1 数据来源

(1) 遥感数据。本文使用的原始遥感数据为

Terra/Aqua 卫星的 MOD₀₉ Q₁ 产品, 该数据来源于美国 NASA LP DACC (Land Process Distributed Active Archive Center)。MOD₀₉ Q₁ 提供了 MODIS 波段 1(红光), 2(近红外) 地表反射率数据, 分辨率为 250 m。它是 MOD₀₉ GQ 的三级合成产品。每个 MOD₀₉ Q₁ 像素都包含了在 8 d 内最佳的 L₂G 观测结果, 这是根据高观测覆盖范围、低视角、无云和云影、气溶胶负荷而选择的。现有关于遥感物候提取的研究中大部分采用 16 d 合成的植被指数产品, 一般而言, 越高的时间分辨率提取的物候参数越精确^[14]。由于数据只包含两个波段, 所以植被指数计算选择已被广泛使用的归一化植被指数 (NDVI), 计算公式如下:

$$NDVI = \frac{nir - red}{nir + red} \quad (1)$$

式中: nir 为近红外波段; red 为红光波段。

在美国 NASA 官网上下载了 2000—2015 年共 730 景 MOD₀₉ Q₁ 数据 (数据从 2000 年第 49 d 开始), 使用 MRT、MODIS 影像处理工具批量投影转换, NDVI 的计算、研究区裁剪以及异常值批处理通过 python 调用 Arcpy 及 GDAL 模块实现。

(2) 气象数据。气象数据来自国家气象科学数据中心 <http://data.cma.cn/site/index.html>, 选取于田县气象站点 2000—2015 年月均温度、降水量数据集。

2.2 研究方法

2.2.1 长时间序列植被指数重建方法 通过前期的数据预处理得到了研究区 2000—2015 年 NDVI 数据集, 将所有年份中图像的像元按照相同的行列号串联起来, 就得到了一条连续时间段内的 NDVI 曲线^[15]。但因为受到太阳角度、观测角度、传感器灵敏性、地物双向性反射以及气溶胶的影响^[16], 得到的曲线会是一条锯齿状且受某些不可抗力影响而导致的数据大幅度变动, 因此需要使用滤波器或曲线拟合法实现长时间序列植被数据的重建^[17]。本文基于 timesat 3.3 软件^[18] 使用 Double Logistic (DL) 曲线拟合法对 2000—2015 年计算后的 8 d 一景 NDVI 数据集进行拟合。如图 1 所示, DL 曲线具有在开始处缓慢增长, 到某一范围迅速增长, 在极限时又缓慢增长的特性, 这种特性符合大多数植被的生长情况, 在缺乏有效观测数据的情况下, 也能大致模拟出植被整个生长季的生长特征^[19]。

2.2.2 植被物候信息提取方法 根据植被指数序列数据确定植被的返青期、枯黄期常用的方法包括阈值法、曲线曲率法等。其中, 阈值法是 2002 年由学者 Jonsson 和 Eklund 提出来的, 它的关键是阈值的确

定, 根据拟合好的植被指数曲线, 当植被生长曲线上的时间早于该阈值对应的时间时, 认为植被未开始生长; 当植被的生长曲线晚于该阈值时, 则判定植被已经开始生长^[20]。动态阈值法是此方法的进一步加强的方法, 该方法采用的阈值不是某个具体的植被指数值, 而是一种动态比值形式, 以给定像元 VI 值增长、减少时期振幅的百分比为阈值, 当大于或小于该阈值时认为此像元内植被开始或结束生长。对于阈值的选择, Jonsson 和 Eklundh 在提出这一方法时建议将植被物候生长的开始期和结束期的阈值比例设置为 20%^[20], 考虑到干旱区的植被像元变化幅度小, 最终选择 30% 作为本文的动态阈值条件 (见图 1)。

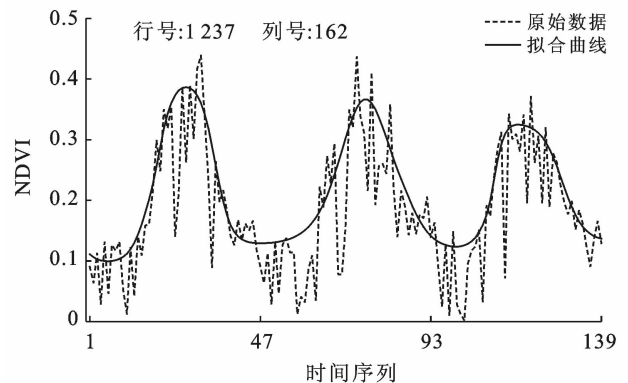


图 1 NDVI 数据集 DL 曲线拟合结果

2.2.3 趋势分析 时间上以年份为变化因子, 采用一元线性方程定量描述植被返青期、枯黄期、温度、降水量的自回归变化趋势。

空间上对 2000—2015 年克里雅河流域植被物候期逐像元采用最小二乘法线性拟合得到相应的一元线性回归方程, 方程里的斜率 (slope) 说明了植被物候期多年的变化, 公式如下:

$$\text{slope} = \frac{n \sum_{i=1}^n (i \times p_i) - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n p_i}{n \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (2)$$

式中: n 为累积年数, 本文为 16; P_i 为第 i 年的生长季始期或末期; slope 为一元线性回归方程的斜率, 是 n 年连续年份的趋势; $\text{slope} > 0$ 说明植被物候期在 n 年间的变化趋势是推迟的, 反之则是提前的。

斜率趋势分析后以 F 检验对物候期变化程度进行显著性判断, 此过程在 Matlab 2016 b 软件中编程实现。

2.2.4 偏最小二乘回归 偏最小二乘回归 (PLS) 是由 Wold S 和 Albanno C 等人在 1984 年最先提出的^[21], 作为一种新型的多元统计方法, 偏最小二乘法实现了在一个算法下, 同时做到回归建模 (多元线性

回归)、数据结构简化(主成分分析)以及两组变量之间的相关性分析(典型相关分析)。不同于传统的简单相关性分析,偏最小二乘回归特别适合变量数量多于样本数量、自变量值中有多重共线性的情况^[22]。

本文通过 SPSS 的 PLS 扩展包实现偏最小二乘回归分析,选取输出结果中的标准化回归系数(MC)以及变量重要值(VIP)进行分析讨论,其中 MC 的正负表示自变量对因变量是正面影响还是负面影响,VIP 值代表变量对因变量的解释重要性,一般认为大于 0.8 才有决定意义^[21]。气候的变化不一定立刻改变植被的物候特征,已有研究认为植被的物候期对气候变化的响应具有滞后效应^[23],因此自变量本文选择当地植被返青期前 5 个月即当年 1—5 月的月平均气温和月降水量,植被枯黄期影响因素选择当年的 7—11 月的月平均气温和月降水量。通过这种分析方法探讨近 16 a 来克里雅河流域植被物候期与气候因子的关系。

3 结果与分析

3.1 2000—2015 年克里雅河流域植被物候参数空间分布特征

由 2000—2015 年关键物候期空间分布特征(见图 2)可以看出,克里雅河流域由南向北植被生长期始期逐渐推迟,这显然与该地区的海拔的分布格局具有一致性。整个流域的植被生长季始期主要在第 60—180 d 之间,全区 16 a 的平均值为 130 d。其中上游地区昆仑山北坡植被带生长季开始时间主要在第 140—160 d 之间;中游为于田绿洲,物候始期主要在 80—140 d 之间;下游为达理雅布依绿洲,物候始期在 120—140 d 之间。上游地区的高海拔使得它的温度回升速率没有中下游快,植被的种子萌发、叶片

展叶期来的更晚;中游于田绿洲地区物候期明显分为两极,造成这种情况的原因主要是部分区域为农作物,剩下的区域为人工景观植被和自然植被,整个克里雅河流域的人口基本都集中于田绿洲,这也影响到了于田绿洲正常的物候期。

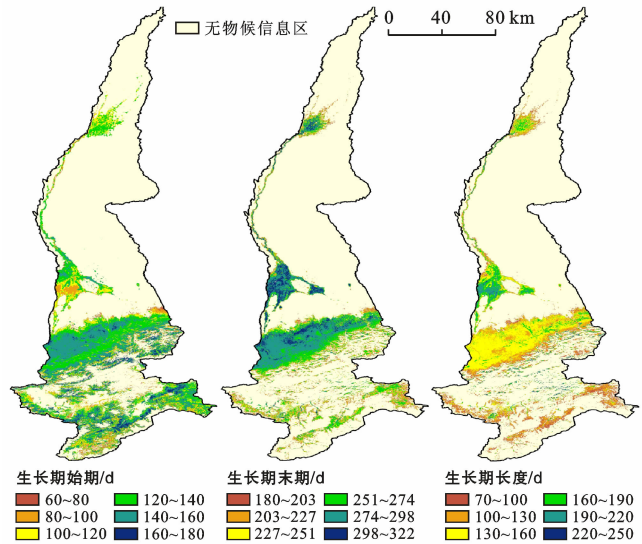


图 2 2000—2015 年克里雅河流域植被物候参数空间分布

克里雅河流域的生长期末期以及生长期长度主要在第 180—322 d 及 70—250 d 之间,16 a 平均值分别为 261 d 和 137 d。从图 2 中生长期末期和长度来看,中游于田绿洲的物候末期要比上下游来的都晚,且生长期持续时间更久。上游地区的植被生长期持续时间最短。

3.2 植被物候时间变化分析

利用 GIS 软件按流域上、中、下游分区提取 2000—2015 年植被物候始期(返青期)、末期(枯黄期)均值,用线性回归方程对其进行趋势分析,结果见图 3。

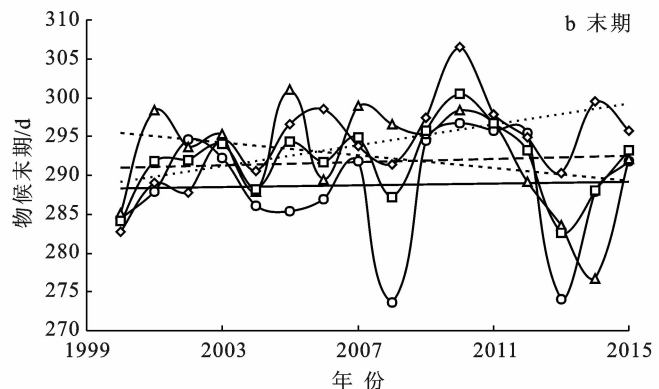
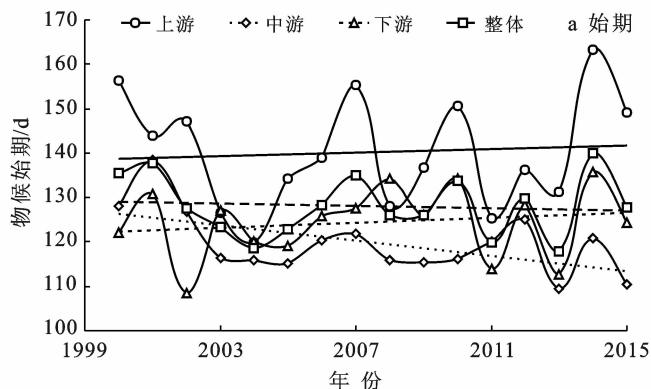


图 3 2000—2015 年克里雅河流域植被物候始期及末期时间变化

由图 3 中可以看出整个流域 16 a 来物候始期呈现提前的趋势速率为 $-1.3 \text{ d}/10 \text{ a}$,其中上游地区和

下游地区都表现为小幅度推迟趋势,中游呈现大幅度提前趋势,变化速率为 $-3.2 \text{ d}/10 \text{ a}$ 。流域物候末期

呈现出推迟趋势,变化速率为 1.1 d/10 a。上游和 中游地区为推迟趋势,其中中游变化速率最大,变化速 率为 6.7 d/10 a,上游植被枯黄期波动较为明显,2007 年后在 295 d 到 173 d 之间波动。下游的植被枯黄期 变化和上中游呈相反趋势,在 2011—2014 年逐年大幅 度提前,到 2015 年才有所回升。由图 3 中不同分区物 候末期数据点分布来看,中游植被进入枯黄期的时间

最晚,然后为上游,下游植被结束生长最早。

3.3 植被物候空间变化趋势分析

为了从整体上观测克里雅河流域植被关键物候参 数的提前和推迟动态变化趋势,利用 Matlab 2016b 软 件对研究区多年的物候信息进行逐像元的回归分析 和显著性检验得到物候其关键参数变化趋势和 *F* 检 验空间分布特征(见图 4)。

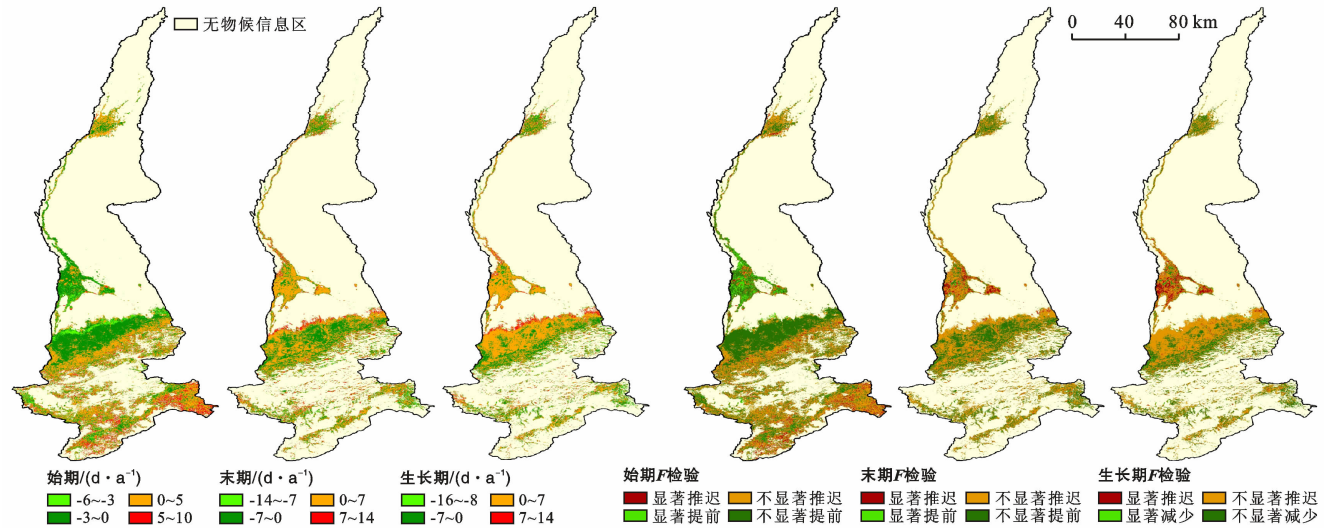


图 4 2000—2015 年克里雅河流域植被物候参数空间变化趋势及显著性检验

结果表明,整个流域 52.4% 的区域物候始期呈 现提前趋势,47.6% 的区域表现为推迟趋势。返青期 变化显著提前的区域所占面积为 11%,不显著提前 的区域占 41.4%,4.8% 和 42.8% 的区域呈现显著、 不显著推迟。提前的区域主要集中在绿洲中部,分布 较为密集,推迟的区域主要在上游和下游零星分布; 枯黄期推迟面积占 59.4% 大于提前面积(40.6%), 其中显著推迟的面积为 5.1%,不显著推迟面积 占 54.3%,显著提前区域占 1.4%,不显著提前区域 为 39.2%。

推迟区域集中在绿洲上游和中游区域,上下游部 分表现为提前趋势;克里雅河流域植被生长季长度增 加的区域(64.7%)大于减少的区域(35.3%),其中显 著增加的面积占 6.3%,不显著增加的面积占 58.4%, 2.2% 的区域植被生长季长度显著减少,33.1% 的区 域呈不显著减少。整个流域上中游都成片的呈现生 长期长度增加趋势,减少趋势区域零星分布,下游增 加和减少区域均匀分布。

3.4 流域植被物候对气象因子的响应

图 5 为于田县气象站 2000—2015 年温度、降水 情况,研究区年平均温度、降水量呈上升趋势,年升温

幅度为 0.11 °C/10 a,年降水量增加幅度为 2.45 mm/10 a。虽然 16 a 来整体呈现上升趋势但数据分 布表现为不规则波动状态,多年平均温度均值为 12.37 °C,2012 年最低为 11.52 °C,2015 年温度达到 最高值 13.09 °C。多年平均降水量为 57.95 mm, 2010 年降水量达到最高 186.9 mm,2009 年降水量最 低仅为 23.5 mm。2000—2015 年月均温(c)7 月温度 达到 25.02 °C,此处为峰值向两侧递减。多年月降水 量 6 月降水量达到最高,然后向两极递减,在 9 月出 现降水量小幅度回升现象。

由 PLS 回归分析可知(见图 6—7),克里雅河流 域植被返青期与 2,4 月和 5 月的温度成负相关关系, 与 1,3 月温度成正相关,1—4 月的温度对其有显著 的相关关系。说明 1 月的温度上升对植被返青期有 推迟作用,4 月的温度上升对植被返青期有促进作用, 其中 4 月的温度与植被返青期 VIP 值最大,说明 植被返青期主要受 4 月温度的影响。从降水来看,除 了 3 月与植被返青期呈正相关,其他月份都为负相 关,且只有 5 月降水月植被返青期的提前有显著的 相关关系,说明 5 月的降水对植被返青期有促进作用, 返青期主要受 5 月降水的影响。

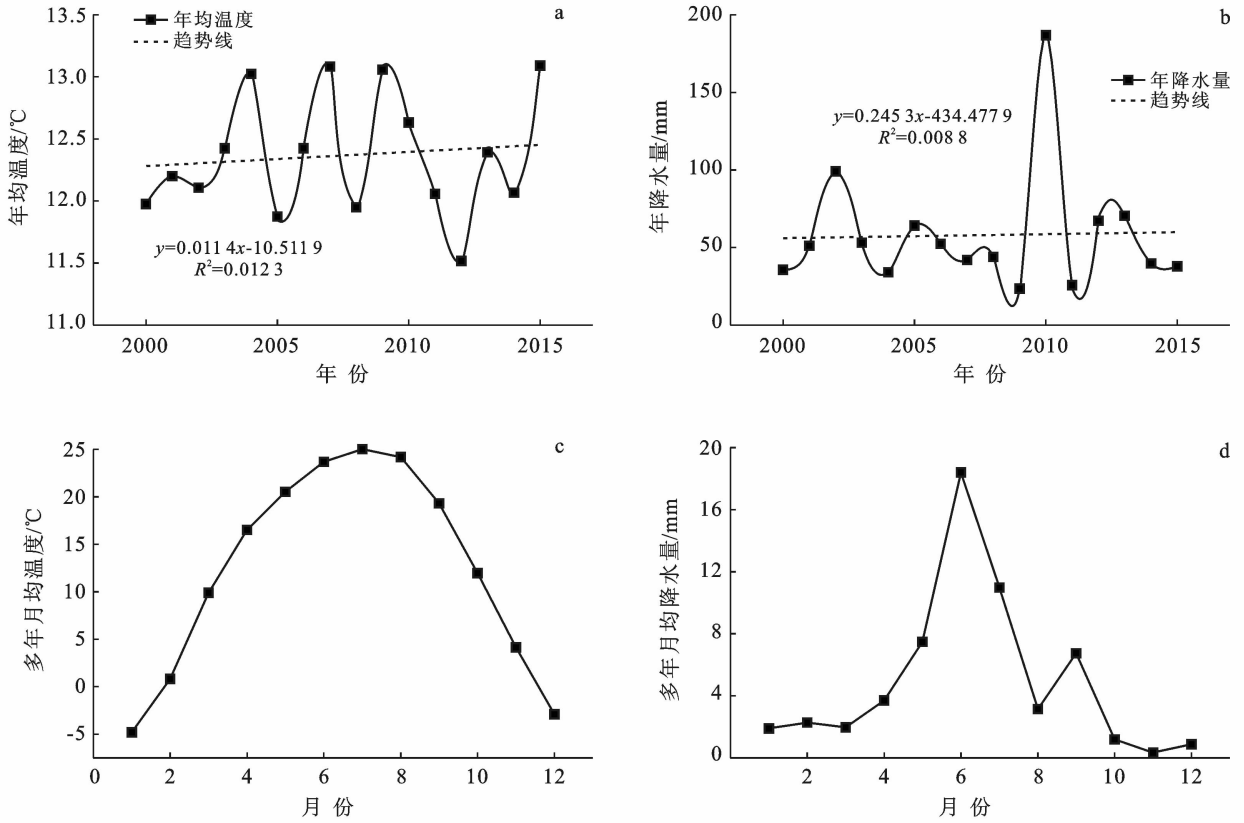


图 5 于田县年均温度(a)、降水量(b)、多年月均气温(c)及降水量(d)变化

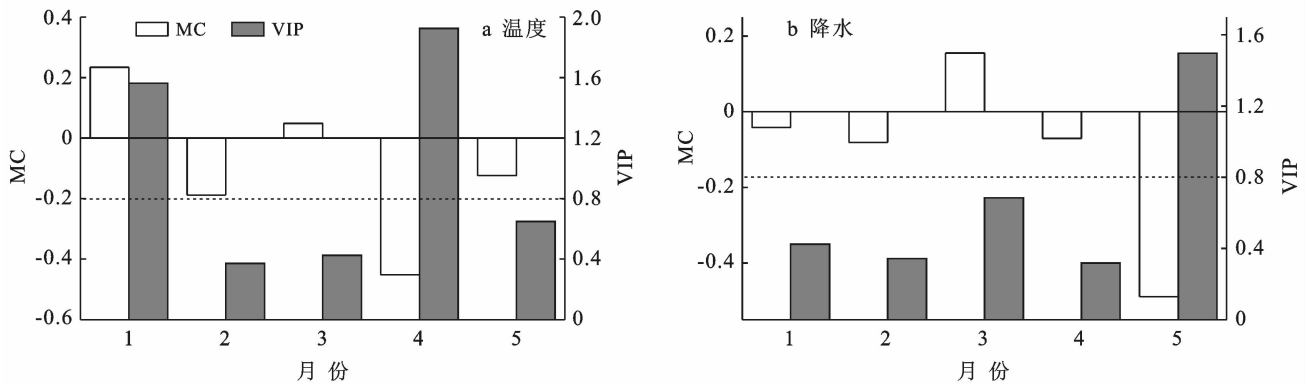


图 6 研究区植被返青期与温度及降水偏最小二乘回归系数(MC)及重要值(VIP)

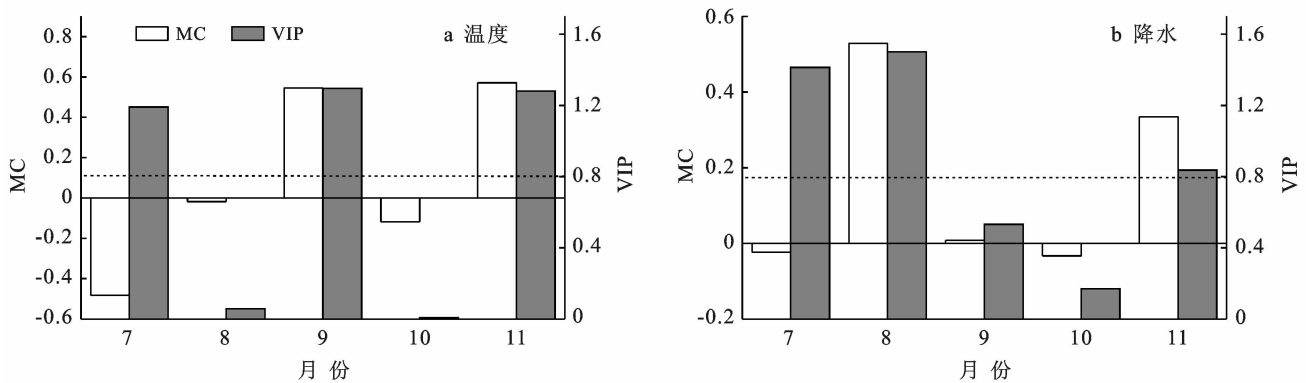


图 7 研究区植被枯黄期与温度及降水偏最小二乘回归系数(MC)及重要值(VIP)

图 7 为 2000—2015 年研究区植被枯黄期与月均温度和降水量(7—11 月)PLS 回归结果。图 7 表明,7,9 月和 11 月温度与当年植被枯黄期存在显著相关关系,其中 7 月温度上升对植被物候末期的延长存在负相关,9—10 月温度上升对物候末期延长起到正相关作用,9 月 VIP 值最大,说明植被枯黄期主要受 9 月温度的影响。就降水量而言,7,8,11 月对当年物候末期延长存在显著相关关系,7 月为负相关,相关系数较低,8,11 月为正相关,这两个月降水的增加会对当年该地区物候起到推迟的作用,其中 8 月 VIP 值最大,植被枯黄期主要受 8 月降水的影响。

4 讨论与结论

4.1 讨论

在全球变暖的大背景下,植被物候期的变化特征一直受诸多学者关注,研究植被物候在空间时间及气候驱动下的变化情况可以为气候或植被生长趋势起到预测作用。Jeong 等^[24]通过对 1982—2008 年卫星测得的归一化植被指数,分析了北半球温带植被生长季节的长期变化,发现半球尺度上物候始期呈提前趋势,物候末期呈推迟趋势,这与本文研究区结果相似。

对克里雅河流域的分析结果来看,上游、部分中游区域、下游保持了一种随海拔降低植被返青期、枯黄期提前的趋势。而中游大部分区域异常于上下游,植物生长季开始时间早于下游,生长季结束时间晚于上游,显然这是在人类活动影响下发生的。在祖拜代·木依布拉等^[9]对该地区土地利用变化的研究中,克里雅河中游地区近 20 a 以来,耕地在绿洲内占据优势,耕地面积增加了 6.44%,而草地和湿地面积减少了 16.69%和 4.38%。中游大面积农作物的种植是中游物候信息异于上下游的主要原因,农作物的生长环境区别于当地的干旱区植被,它们的生长状况除了受当地温度的影响,还看人为引水灌溉的时间、灌溉量与灌溉面积等,同时中游对克里雅河水量拦截也会给下游的植被带来负面影响,缺少相应的洪水漫灌可能让下游的植被叶片开始发育时间较晚。

气候变化对植被的影响体现在种子萌发、呼吸作用和光合作用等多个方面,他们的时间长度变化影响到大气—植被季节性碳循环格局^[25]。在 PLS 分析结果里,4 月的温度和 5 月降水量的增加会对植被返青期起到提前的作用,这符合春季温度和降水量对种子萌发、植被光合作用提前的规律。而 1 月温度对植物返青期起到推迟作用,1 月属于该地区低温月,植物

需要经历一定的休眠过程,避免霜冻对植物组织的破坏,1 月的高温会延长植物休眠期,进而延长植被返青期^[26-27]。与植被枯黄期的分析中秋季的温度和降水有利于植物生长季的延长,而 7 月的温度起到了提前结束生长季的作用。在西北干旱区 7 月植被处在生长季的峰值,如此强烈的蒸散发在水资源短缺的地方很难做到平衡。根据师庆东等人的调查,1 a 中克里雅河只有少数月份才能流入下游的达理雅博依绿洲^[12],其他月份大部分河道都处于干涸状态,受水分胁迫的植被在高温下产生强烈的蒸散发作用就会出现枯萎的情况,从而在影像上反应为植物绿度提前消失,物候末期提前。

遥感影像记录了不同地物类型的反射率,描述了像元尺度上植被信息的变化和分布特征,这也使得不同数据类型得出的物候信息也不相同,受传感器、分辨率、以及成像角度等多方面影响。目前较为常见的遥感物候分析数据主要包括 MODIS, AVHRR, SPOT 等数据。本文研究区域相对较小,在选择遥感影像数据类型时选用空间时间分辨率兼具的 MOD₀₉Q₁ 地表反射率数据,同时也发现了很多不足。克里雅河流域植被类型多为荒漠植物,存在大部分区域植被稀疏,绿度不高,遥感影像较难捕捉到植被稀疏地区的变化情况等问题,在数据拟合时忽略了这种变化不敏感地区(见图 8)。

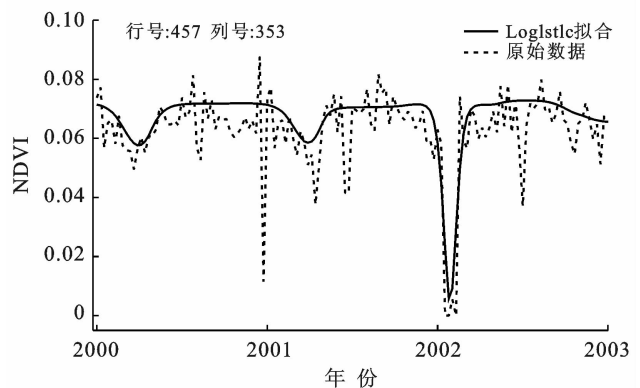


图 8 植被稀疏像元 NDVI 拟合曲线

因此植物物候信息都集中在成规模的绿洲内,越靠近绿洲边缘物候信息越混乱,容易出现今年的物候信息出现在下一年的情况。而在上游山区植被物候信息分布点较为杂乱,且差异性较大,一是这里的植被分布不集中,二是 MOD₀₉Q₁ 产品在这里存在很多的噪音点,反射率值异常于其他地区。在选择气象数据时,由于研究区位于新疆南部且多为荒漠区,公开数据的气象站点只有一个,研究区外的气象点距离远且分布不均匀,不能构成插值的必要条件。将于田县

气象站点数据作为整个流域的气象均值来进行分析,可能在代表整个地区的气象条件上较为薄弱。本文提出的结果及不足之处对该地区后续的相关研究提供了重要的参考价值,以期进一步加强和改进对干旱区植被物候变化遥感反演结果。

4.2 结论

本文基于 2000—2015 年连续 16 a 的 MOD₀₉Q₁ 地表反射率数据制作了时间分辨率为 8 d 的 NDVI 序列影像,利用 MATLAB 软件、一元线性回归方程以及偏最小二乘回归对克里雅河流域植被物候变化规律进行了分析讨论,得到如下结论:

(1) 2000—2015 年,研究区植被生长季开始时间主要在第 60—180 d 之间,平均为第 130 d;生长期结束时间在第 180—322 d,平均值在第 261 d;生长期持续时间 70~250 d,平均持续 137 d;中游于田绿洲的植被物候期开始时间最早,结束时间最晚,生长期持续时间最长。

(2) 流域物候的年际时间和空间变化上,植被生长期始期整体呈提前趋势,变化率为 -1.3 d/10 a;生长期末期呈推迟趋势,变化速率为 1.1 d/10 a;流域 52.4% 的区域物候始期呈现提前趋势,47.6% 的区域表现为推迟趋势;生长期末期推迟面积占 59.4% 大于提前面积(40.6%);64.7% 的区域生长期长度为增加趋势。

(3) 由 PLS 回归分析可知:克里雅河流域物候始期主要受 4 月温度以及 5 月降水的影响,春季气温和降水量的升高会促进植被返青期的提前,但 1 月的温度上升会对植被返青期起到推迟的作用;物候末期主要受 9 月温度以及 8 月降水的影响,秋季气温和降水量的升高会对物候末期起到推迟作用。

[参 考 文 献]

- [1] Hobbs R J, Humphries S E. An integrated approach to the ecology and management of plant invasions [J]. *Conservation Biology*, 1995, 9(4): 761-770.
- [2] White M A, Hoffman F, Hargrove W W, et al. A global framework for monitoring phenological responses to climate change [J]. *Geophysical Research Letters*, 2005, 32(4): L04705.
- [3] Lloyd D. A phenological classification of terrestrial vegetation cover using shortwave vegetation index imagery[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1990, 11(12): 2269-2279.
- [4] Reed B C, Brown J F, Vander Zee D, et al. Measuring phenological variability from satellite imagery [J]. *Journal of Vegetation Science*, 1994, 5(5): 703-714.
- [5] 邹效孟. 农业物候学[M]. 北京: 农业出版社, 1983: 1-2.
- [6] Kariyeva J, van Leeuwen W J D. Environmental drivers of NDVI-based vegetation phenology in Central Asia [J]. *Remote Sensing*, 2011, 3(2): 203-246.
- [7] Walker J J, de Beurs K M, Wynne R H. Phenological response of an Arizona dryland forest to short-term climatic extremes [J]. *Remote Sensing*, 2015, 7(8): 10832-10855.
- [8] 玛地尼亚提·地里夏提, 玉素甫江·如素力, 姜红. 2001—2014 年博斯腾湖流域植被物候时空变化及其驱动因子[J]. *生态学报*, 2018, 38(19): 6921-6931.
- [9] 祖拜代·木依布拉, 夏建新, 普拉提·莫合塔尔, 等. 克里雅河中游土地利用/覆被与景观格局变化研究[J]. *生态学报*, 2019, 39(7): 2322-2330.
- [10] 倪频融. 达里雅博依绿洲的历史、现状及其演变前景 [J]. *干旱区研究*, 1993, 10(4): 12-18.
- [11] 周兴佳, 黄小江, 陈方, 等. 克里雅河绿洲形成、演变与综合整治 [J]. *新疆环境保护*, 1994, 16(4): 30-37.
- [12] 师庆东, 郭玉川, 周小龙, 等. 塔克拉玛干沙漠克里雅河尾间达里雅博依绿洲地表水、地下水对植被格局的影响机制 [J]. *新疆大学学报(自然科学版)*, 2019, 36(3): 253-259.
- [13] 张文奇, 周小龙, 尼加提·卡斯木, 等. 沙漠腹地达里雅博依天然绿洲植物群落特征分析 [J]. *新疆大学学报(自然科学版)*, 2019, 36(3): 276-286.
- [14] 马勇刚, 张弛, 陈曦. 利用遥感数据优化物候模型时样本选择的新方法 [J]. *植物生态学报*, 2015, 39(3): 264-274.
- [15] 郭洋. 基于多空间分辨率的长江流域植被物候变化及尺度敏感性研究 [D]. 湖北 武汉: 华中师范大学, 2019.
- [16] 李党辉, 谢敏, 乔枫. 基于遥感的甘肃省庆阳市植被物候信息提取 [J]. *水土保持研究*, 2017, 24(3): 136-140.
- [17] 郭少壮, 白红英, 黄晓月, 等. 秦岭太白红杉林遥感物候提取及对气候变化的响应 [J]. *生态学杂志*, 2019, 38(4): 1123-1132.
- [18] Jönsson P, Eklundh L. TIMESAT: A program for analyzing time-series of satellite sensor data [J]. *Computers & Geosciences*, 2004, 30(8): 833-845.
- [19] 刘亚南, 肖飞, 杜耘. 基于秦岭样区的四种时序 EVI 函数拟合方法对比研究 [J]. *生态学报*, 2016, 36(15): 4672-4679.
- [20] Jonsson P, Eklundh L. Seasonality extraction by function fitting to time-series of satellite sensor data [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2002, 40(8): 1824-1832.
- [21] Wold S, Ruhe A, Wold H, et al. The collinearity problem in linear regression. the partial least squares (PLS) approach to generalized inverses [J]. *Siam Journal on Scientific and Statistical Computing*, 1984, 5(3): 735-743.

- [8] 陈学兄, 张小军, 陈永贵, 等. 陕西省 1998—2008 年植被覆盖度的时空变化研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2013, 38(6): 674-678.
- [9] 赵丽红, 王屏, 欧阳勋志, 等. 南昌市植被覆盖度时空演变及其对非气候因素的响应[J]. 生态学报, 2016, 36(12): 3723-3733.
- [10] Jia Lu, Li Zhanbin, Xu Guoce, et al. Dynamic change of vegetation and its response to climate and topographic factors in the Xijiang River basin, China [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2020, 27(11): 11637-11648.
- [11] 谭学玲, 闫庆武, 王瑾, 等. 榆神府矿区植被覆盖的动态变化及其影响因素[J]. 生态学杂志, 2018, 37(6): 1645-1653.
- [12] 童晓伟, 王克林, 岳跃民, 等. 桂西北喀斯特区域植被变化趋势及其对气候和地形的响应[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3425-3434.
- [13] 朱林富, 谢世友, 杨华, 等. 基于 MODIS EVI 的重庆植被覆盖变化的地形效应[J]. 自然资源学报, 2017, 32(12): 2023-2033.
- [14] 熊俊楠, 张昊, 彭超, 等. 汶川地震灾区植被覆盖度变化与地形因子的关系[J]. 水土保持通报, 2018, 38(3): 24-31.
- [15] 赵文慧, 陈妮, 闫瑞, 等. 近 20 年来北洛河流域植被覆盖度随地形因子变化特征探究[J]. 水土保持研究, 2016, 23(4): 10-14.
- [16] 程东亚, 李旭东. 喀斯特地区植被覆盖度变化及地形与人口效应研究[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(8): 1227-1239.
- [17] 吴志杰, 何国金, 黄绍霖, 等. 南方丘陵区植被覆盖度遥感估算的地形效应评估[J]. 遥感学报, 2017, 21(1): 159-167.
- [18] 陆荫, 张强, 李晓红, 等. 黄河流域甘肃段植被覆盖度时空变化及对气候因子的响应[J]. 水土保持通报, 2020, 40(2): 232-238.
- [19] Shen Xiangjin, Xue Zhenshan, Jiang Ming, et al. Spatiotemporal change of vegetation coverage and its relationship with climate change in freshwater marshes of northeast China [J]. Wetlands, 2019, 39(3): 429-439.
- [20] Zhou Qian, Zhao Xiang, Wu Donghai, et al. Impact of urbanization and climate on vegetation coverage in the Beijing-Tianjin-Hebei region of China [J]. Remote Sensing, 2019, 11(20): 2452.
- [21] 孙丕苓, 许月卿, 王数. 环京津贫困带土地利用变化的地形梯度效应分析[J]. 农业工程学报, 2014, 30(14): 277-288.
- [22] 吴见, 张艳, 谭靖, 等. 安徽省土地利用地形梯度格局变化分析[J]. 遥感信息, 2016, 31(4): 108-115.
- [23] 李靖, 廖和平, 蔡进, 等. 山地城市边缘土地利用格局与变化的地形梯度分布特征分析: 以重庆市巴南区为例[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(2): 296-305.
- [24] 陈奕竹, 肖轶, 孙思琦, 等. 基于地形梯度的湘西地区生态系统服务价值时空变化[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019(4): 623-631.
- [25] 陈学兄, 常庆瑞, 郭碧云, 等. 基于 SRTM DEM 数据的中国地形起伏度分析研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2013, 21(4): 670-678.
- [26] 陈学兄, 张小军, 常庆瑞. 陕西省地形起伏度最佳统计单元研究[J]. 水土保持通报, 2016, 36(3): 265-270.
- [27] 中华人民共和国自然资源部. 中华人民共和国土地管理行业标准 TD/T 1055-2019(第三次全国国土调查技术规程)[S]. 北京: 地质出版社, 2019.
- [28] 中国科学院地理研究所. 中国 1: 1000000 地貌图制图规范: 试行[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [29] 韩鹏, 姚娟, 李天宏. 3 种不同数据源 NDVI 的比较分析及其在延河流域的应用研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2014, 22(4): 661-674.
- [30] 吴志杰, 徐涵秋. 卫星影像数据构建山地植被指数与应用分析[J]. 地球信息科学学报, 2011, 13(5): 656-664.

(上接第 298 页)

- [22] 王国华, 张虎, 魏岳嵩. 偏最小二乘回归在 SPSS 软件中的实现[J]. 统计与决策, 2017(7): 67-71.
- [23] Chen Xiaoqiu, Hu Bing, Yu Rong. Spatial and temporal variation of phenological growing season and climate change impacts in temperate Eastern China [J]. Global Change Biology, 2005, 11(7): 1118-1130.
- [24] Jeong S J, Ho C H, Gim H J, et al. Phenology shifts at start vs. end of growing season in temperate vegetation over the Northern Hemisphere for the period 1982—2008 [J]. Global Change Biology, 2011, 17(7): 2385-2399.
- [25] Cleland E E, Chiariello N R, Loarie S R, et al. Diverse responses of phenology to global changes in a grassland ecosystem [J]. PNAS, 2006, 103(37): 13740-13744.
- [26] 张仁平. 新疆地区草地 NPP 和物候对气候变化的响应研究[D]. 甘肃 兰州: 兰州大学, 2017.
- [27] Luedeling E, Zhang Minghua, McGranahan G, et al. Validation of winter chill models using historic records of walnut phenology [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2009, 149(11): 1854-1864.