

古尔班通古特沙漠南缘近 10 年 NDVI 变化趋势与气象因子的关系

唐金, 李霞, 牛婷

(新疆农业大学 草业与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 根据 2000—2009 年 MODIS 数据及相应地区的气象数据, 对古尔班通古特沙漠南缘近 10 a 的植被指数(NDVI)与气象因子之间的关系进行了分析。结果表明, 研究区近 10 a 年均温、降水量和 NDVI 总体呈上升趋势; NDVI 的月变化呈弱双峰型, 最大峰值出现在 5 月, 次峰值出现在 8 月, 最小值在 2 月; 变标度极差分析结果表明, 研究区未来全年和各季平均气温、降水及 NDVI 将继续上升, NDVI 与同期的气温、降水的变化趋势相吻合。

关键词: NDVI; 气象因子; 古尔班通古特沙漠

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)06-0171-04

中图分类号: P463, Q141

Relationship Between NDVI and Climate Factors in South of Gurbantunggut Desert in Past 10 Years

TANG Jin, LI Xia, NIU Ting

(College of Pratacultural and Environmental Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

Abstract: Relationship between normalized difference vegetation index (NDVI) and climate factors were analyzed in the south of Gurbantunggut Desert using the NASA/MODIS data (from 2000 to 2009) and meteorological data in Fukang City. The results showed that the annual average temperature, precipitation and NDVI has increased in the past 10 years. The monthly variation of NDVI showed a slight double-peak pattern, with the first maximum in May, the second maximum in August and the minimum in February. The rescaled range analysis of NDVI showed that yearly and seasonal temperature, precipitation NDVI will increase continuously in the future, and NDVI change will coincide with the change in temperature and precipitation.

Keywords: NDVI; climate factors; Gurbantunggut Desert

植被是联接土壤、大气和水分的自然“纽带”, 在全球变化研究中起到“指示器”的作用^[1-2]。归一化植被指数 NDVI 是植物生长状态和空间分布的客观表达, 在植被覆盖度较低的地区, 与植被覆盖度、叶面积指数、植被生产力等密切相关, 植被长势越好, 地表植被覆盖度越高, NDVI 值越大。因此, NDVI 是目前植被监测常用的遥感参数^[3-5]。

古尔班通古特沙漠位于我国西北干旱地区, 属典型的大陆性气候。区域植被覆盖度低、沙漠扩张严重, 生态环境十分脆弱^[6]。近年来, 许多学者^[7-9]对该区植被覆盖变化的空间、时间差异及其与气候变化间的关系进行了研究, 探讨了这种关系产生的机制机理及其生态效应。这些研究揭示了一定时间、一定地域

范围古尔班通古特沙漠植被指数的变化规律, 为相关研究和生态评价提供了依据。

水分和热量对荒漠植被生长起着重要作用。近年来, 古尔班通古特沙漠周边实施了荒漠植被封育、国家公益林等重大生态治理工程, 这些工程实施后植被变化趋势如何, 封育后荒漠植被的变化与气象因子关联度多大, 哪些气象因子是制约 NDVI 变化的关键因子, NDVI 变化趋势与同期的气温、降水是否有关联等问题的研究均鲜见报道。本研究首次利用古尔班通古特沙漠 2000—2009 年 MODIS—NDVI 产品数据并结合当地气象数据, 分析植被指数变化与气象因子之间的相互关系, 并根据变标度极差分析的 Hurst 指数预测研究区植被覆盖变化总体趋势。为

揭示和预测该地区植被覆盖变化规律以及生态监测评价提供科学依据和方法借鉴。

1 研究区概况

古尔班通古特沙漠(以下简称古漠)地处半封闭的准噶尔盆地,年降水 100~150 mm,年蒸发量 2 000~2 800 mm,8 级以上大风天数 25~77 d 不等。沙漠中几乎无地表径流,地下水埋深在沙漠边缘 ≥ 5 m,内部 >16 m。沙丘多呈垄状,也可见梁窝状和蜂窝状,高 10~50 m。调查期内研究区主要有短命植物尖喙牻牛儿苗(*Erodium hoefftianum*),角果藜(*Ceratocarpus arenarius*),琉苞菊(*Hyalea pulchella*),狭果鹤虱(*Lappula semiglabra*),荒漠庭芥(*Alyssum desertorum*),早熟禾(*Poa annua*);一年生植物早熟猪毛菜(*Salsola praecox*),白茎绢蒿(*Seriphidium terrae albae*),蛇麻黄(*Ephedra distachya*)等^[10-13]。

2 资料和方法

2.1 数据的选取与处理

本研究采用 NASA 免费提供的古漠 MOD13Q1 级 2000—2009 年 NDVI 产品数据,数据格式为 EOS—HDF,空间分辨率/时间分辨率为 250 m/月,地图投影格式为 Sinusoidal(正弦曲线投影)。使用 NASA 提供的 MRT(MODIS reprojection tools)免费软件,将下载的数据进行格式、地图投影转换,把 HDF 格式转化为 tiff 格式,把 Sinusoidal 地图投影转换为 WGS 84 地理坐标系下的地理经纬度投影,数据都已经过几何纠正、辐射校正、大气校正等预处理,消除了太阳高度角、传感器灵敏度时间变化等的影响。根据实测 GPS 点提取研究区的 NDVI 值,将每年 23 景数据输出为 ASCII 格式的文件,经均值处理得到月 NDVI 数据。在此基础上按 3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月秋季,12 月至翌年 2 月冬季计算季 NDVI 值。研究区 2000—2009 年气象数据由阜康市气象站提供,主要有逐月逐年平均气温、降水量、蒸发量、日照等,采用与上述相同处理,得到各季气温和降水数据。

2.2 变标度极差(R/S)分析

R/S 分析是由赫斯特在总结尼罗河多年水文观测资料时提出的变标度极差分析法(rescaled range analysis,R/S 分析),其在水文学、经济学、气候学等领域有着广泛的应用^[14],仅王桂钢等人^[1,15]在植被监测中应用过。计算公式为:

考虑 NDVI 时间序列 $\{NDVI(t)\}, t=1, 2, 3, 4,$

\dots, n , 对于任意正整数 $p \geq 1$, 定义该时间序列的均值序列:

$$\langle NDVI \rangle_p = \frac{1}{p} \sum_{t=1}^p NDVI(t) \quad (p=1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

累积离差为:

$$NDVI(t, p) = \sum_{u=1}^t (NDVI(u) - \langle NDVI \rangle_p), \quad (1 \leq t \leq p) \quad (2)$$

其中 $NDVI(t, p)$ 不仅与 t 有关,而且还与 p 的取值有关。每一个 p 值对应一个 $NDVI(t, p)$ 序列,不同的 p 值有不同的 $NDVI(t, p)$ 序列,把同一个 p 值所对应的最大 $NDVI(t, p)$ 值和最小的 $NDVI(t, p)$ 值之差称为极差。其公式为:

$$R(p) = \max_{1 \leq t \leq p} NDVI(t, p) - \min_{1 \leq t \leq p} NDVI(t, p), \quad (p=1, 2, 3, \dots) \quad (3)$$

标准差为:

$$S(p) = \left[\frac{1}{p} \sum_{t=1}^p (NDVI(t) - \langle NDVI \rangle_p)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (p=1, 2, 3, \dots) \quad (4)$$

当分析 $R(p)/S(p) \propto R/S$ 的统计规律时,赫斯特发现:

$$R/S \propto \left(\frac{P}{2}\right)^H \quad (5)$$

这表明该时间序列存在赫斯特现象, H 称为赫斯特指数(Hurst)。 H 值可以根据计算出的 $(p, R/S)$ 值,在双对数坐标系 $[\ln(p/2), \ln(R/S)]$ 中用最小二乘法拟合得到。赫斯特等人还认为,如果 $NDVI(t)$ 是一个相互独立、方差有限的随机序列,则有 $H=0.5$ 。 $H(0 < H < 1)$ 与一个关联函数 $C(t)$ 有关:

$$C(t) = 2^{2H-1} - 1 \quad (6)$$

当 $H > 0.5$ 时, $C(t) > 0$, 意味着时间序列未来的趋势与过去一致,如果过去 NDVI 为增加的趋势,则在将来一定的时间段内也为增加的趋势;这个过程具有持续性;当 $H < 0.5$ 时, $C(t) < 0$, 意味着未来的总体趋势将与过去相反;过去 NDVI 为增加趋势,将来一定的时间段内将变为下降的趋势,即过程具有反持续性;当 $H = 0.5$ 时, $C(t) = 0$, 意味着时间序列各要素完全独立,没有相关性或只是短程相关。

3 结果分析

3.1 研究区 2000—2009 年气温和降水变化

根据研究区 2000—2009 年气象数据得到图 1。由图 1 可以看出,研究区近 10 a 气温和降水量序列整体呈上升趋势。年平均气温持续升高,气候逐渐变暖。年降水量从 2000 年的 229.1 mm 到 2009 年的 242.7 mm,增加了 13.6 mm,各年降水量总体上也呈

波动式上升趋势。降水增加和温度升高有益于荒漠植被的生长和生境恢复。

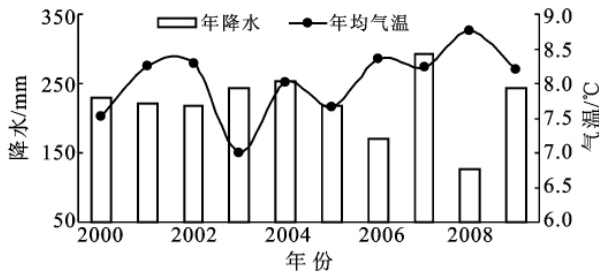


图1 研究区2000—2009年气温和降水的年变化

3.2 研究区NDVI变化

3.2.1 年最大NDVI变化 利用2000—2009年数据得到年最大植被指数绘制年最大MODIS—NDVI变化图(图2)。由图2可以看出,研究区年最大NDVI在0.1655~0.2535之间变化,年最大NDVI峰值在2008年。植被指数年线性拟趋势系数 b 为0.0042,相关系数为 $R=0.3850$,通过了0.01的线性趋势检验,说明近10a研究区植被指数呈增加趋势。

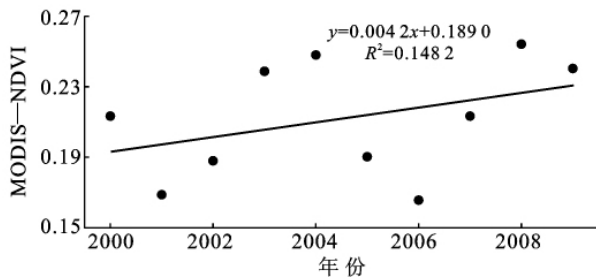


图2 研究区MODIS—NDVI年变化

3.2.2 研究区NDVI月变化 根据2000—2009年月平均MODIS—NDVI绘制古漠NDVI月平均变化图(图3)。由图3显示,一年中NDVI最小值在2月,2—4月NDVI迅速上升,5月达最大峰值。在研究区,冬春季的降水和融雪,使短命、类短命植物发育,3月底4月初短命植物迅速萌发,5月研究区内各种植物均处于生长旺盛阶段,植被平均盖度可达40%左右,在固定沙丘上植被覆盖度可达40%~50%^[16-17],NDVI达到一年中最高值。6月中旬大部分短命植物相继衰亡,7月上旬短命植物地上部分大都枯萎死亡NDVI逐渐降低。进入8月,有些短命植物(尖喙牦牛儿苗、小车前)开始秋萌,NDVI出现一个小波峰,但植被盖度明显低于春季;9月至12月,植被凋亡,NDVI急剧下降。

3.3 NDVI与气象因子的灰色关联度分析

植被NDVI的变化特征及与气象因子的关系随着气候区(气象站)、植被类型和研究时期的不同而有

所差异^[1-2,7]。气象因子是否是NDVI动态变化的主要原因,本研究对研究区降水、气温、日照、蒸发量等气象因子与NDVI进行灰色关联分析。

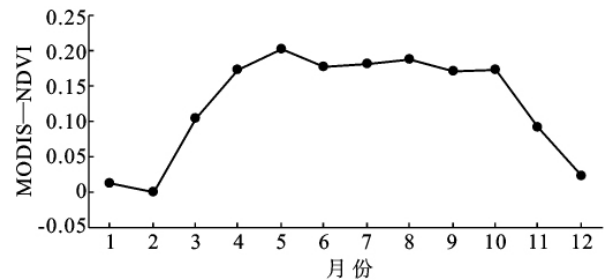


图3 研究区2000—2009年MODIS—NDVI月变化

灰色关联度分析是对一个发展变化的系统各因素间发展态势的量化比较,即变化大小、方向和速度等指标的相对性。它根据各因素间变化的相似程度来判断相关程度,关联度越大说明子因素越重要,因素间变化趋势越接近。

对研究区NDVI与气象因子关联度的分析(表1)表明,在选取的12个气象因子中,与NDVI相关程度的排序为: $x_4 > x_1 > x_8 > x_{11} > x_9 > x_5 > x_{10} > x_2 > x_{12} > x_7 > x_3 > x_6$ 。即研究区冬季降水、春季降水、冬季温度、年均日照、年降水、春季温度6个气象因子与NDVI相关程度较强,其中冬春季降水和温度是影响其NDVI的主要因素,其次,冬季温度、年均日照、年降水、春季温度也是影响NDVI变化的主要因素,因此选取四季降水和气温与对应的NDVI做变标度极差(R/S)分析。

3.4 NDVI与气温、降水的变标度极差(R/S)分析

对全年和各季平均NDVI和气温、降水进行R/S分析结果表明,年度和各季节NDVI的线性拟合效果较好,相关性显著(最小相关系数 R^2 为0.9254,最大 R^2 为0.9759)。经线性拟合后得到相应的Hurst指数(H)(表2),由表2中可见,各要素的 H 值均大于0.5,与 H 值密切联系的关联函数 $C(t)$ 也均大于0,表明年、季的NDVI与平均气温和降水均存在赫斯特现象,且具有状态持续性。也就是说研究区全年和各季的NDVI、平均气温、降水均将延续过去的趋势,未来年平均NDVI、各季平均NDVI将继续上升;其中年平均NDVI上升的趋势仅次于春季。

同样,未来年度和各季的降水、气温也将延续过去的趋势,研究区未来年降水将呈增多趋势,未来春、夏以及秋季的降水趋势也将继续增多;其中秋季的 H 值最大,预示其雨水增多的趋势将比其它季节以及全年的更为显著。研究区未来年和各季气温均成上升趋势,以上研究区NDVI的增长趋势和气温、降水变化趋势相吻合。

表 1 NDVI 变化与各气象因素之间的关联度

排名	序号	气象因子	关联系数	排名	序号	气象因子	关联系数
1	x_4	冬季降水	0.425 1	7	x_{10}	年蒸发	0.286 5
2	x_1	春季降水	0.424 1	8	x_2	夏季降水	0.280 1
3	x_8	冬季温度	0.398 5	9	x_{12}	年均温度	0.276 4
4	x_{11}	年均日照	0.336 8	10	x_7	秋季温度	0.264 3
5	x_9	年降水	0.298 1	11	x_3	秋季降水	0.230 0
6	x_5	春季温度	0.294 2	12	x_6	夏季温度	0.214 5

表 2 年度和各季的 NDVI、气温和降水的 H 指数

相关项	年度		春季		夏季		秋季		冬季	
	H 指数	关联函数	H 指数	关联函数	H 指数	关联函数	H 指数	关联函数	H 指数	关联函数
NDVI	0.612 6	0.17	0.727 8	0.37	0.580 2	0.12	0.712 3	0.34	0.771 6	0.46
气温 H	0.608 6	0.16	0.753 5	0.42	0.604 6	0.16	0.514 6	0.02	0.553 5	0.08
降水	0.506 6	0.01	0.516 6	0.02	0.543 2	0.06	0.733 1	0.38	0.502 3	0.01

4 结论

(1) 研究区近 10 a 来气温和降水量序列整体呈上升趋势。年平均气温持续升高,气候逐渐变暖。年降水量从 2000 年的 229.1 mm 到 2009 年的 242.7 mm,增加了 13.6 mm,各年降水量总体上呈波动上升趋势。

(2) 2000—2009 年研究区年均 NDVI 呈线性增加趋势。年内 NDVI 变化主要取决于短命、类短命植物的生长衰亡周期。3 月底 4 月初,春季降水和融雪使短命、类短命植物相继萌发,植被盖度增加;至 5 月 NDVI 达到一年中最高值。6 月中旬大部分短命植物相继衰亡,7 月上旬短命植物大都枯萎导致 NDVI 骤降,9—12 月,植物死亡,NDVI 明显下降。

(3) 研究区冬季降水,春季降水,冬季温度,年均日照,年降水,春季温度等 6 个气象因子与 NDVI 相关程度较好。研究区未来全年和各季平均气温、降水将继续上升;NDVI 的增长趋势和气温、降水变化趋势相吻合。近年来,研究区植被封育、国家公益林等重大生态建设项目的实施,是植被免遭人为干扰和破坏得以自然恢复的基础。

[参 考 文 献]

- [1] 崔林丽,史军,肖风劲,等. 中国东部 NDVI 的变化趋势及其与气候因子的相关分析[J]. 资源科学,2010,32(1):124-131.
- [2] 李明杰,侯西勇,应兰兰,等. 近十年黄河三角洲 NDVI 时空动态及其对气温和降水的响应特征[J]. 资源科学,2011,33(2):322-327.
- [3] 杜加强,舒俭民,张林波. 1982—2006 年黄南州 NDVI 年际变化及其与气候的关系[J]. 水土保持通报,2010,30(4):229-234.
- [4] 李春晖,杨志峰. 黄河流域 NDVI 时空变化及其与降水/径流关系[J]. 地理研究,2004,23(6):753-759.
- [5] 张凯,司建华,王润元,等. 气候变化对阿拉善荒漠植被的影响研究[J]. 中国沙漠,2008,28(5):879-885.
- [6] 刘新春,杨金龙,郑奕,等. 阜康绿洲环境变化的气候特征[J]. 干旱区研究,2006,23(1):167-170.
- [7] 李杨,刘艳,张璞,等. 古尔班通古特沙漠 NDVI 时空变化特征[J]. 干旱区研究,2009,26(5):686-693.
- [8] 卢丽萍,赵成义. 基于 MODIS 数据不同荒漠植被指数的空间变化研究:以新疆三工河流域为例[J]. 干旱区地理,2005,28(3):381-386.
- [9] 刘卫国,潘晓玲,高炜,等. 新疆阜康绿洲生态系统生物量遥感估算分析[J]. 资源科学,2005,27(5):134-140.
- [10] 钱亦兵,吴兆宁,张立运,等. 古尔班通古特沙漠生境对植物群落格局的影响[J]. 地理学报,2004,59(6):895-902.
- [11] 唐金,李霞,赵钊,等. 荒漠植物多样性及优势种群空间格局对环境响应分析:以古尔班通古特沙漠为例[J]. 新疆农业科学,2010,47(10):2084-2090.
- [12] 刘乾,李霞,尹业彪. 基于 CEBERS 数据的植被覆盖度估算:以古尔班通古特沙漠南缘为例[J]. 新疆农业大学学报,2009,32(5):30-35.
- [13] 赵钊,李霞,尹业彪. 荒漠植物含水量的光谱特征分析[J]. 光谱学与光谱分析,2010,30(9):2500-2503.
- [14] 赵晶,王乃昂. 近 50 年来兰州城市气候变化的 R/S 分析[J]. 干旱区地理,2002(1):90-95.
- [15] 王桂钢,周可法,孙莉,等. 近 10 a 新疆地区植被动态与 R/S 分析[J]. 遥感技术与应用,2010,25(1):84-90.
- [16] 陈志超,石兆勇,田长彦,等. 古尔班通古特沙漠南缘荒漠秋萌短命植物多样性及其空间分布特征[J]. 安徽农业科学,2008,36(5):2016-2018.
- [17] 钱亦兵,吴兆宁,张立运,等. 古尔班通古特沙漠植被与环境的 R/S 分析[J]. 生态学报,2007,27(7):2802-2810.