

李 晗,周艳莲,居为民,等. 植被指数对藏北高寒草甸干旱的敏感性分析[J]. 江苏农业科学,2018,46(1):219-224.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.01.057

植被指数对藏北高寒草甸干旱的敏感性分析

李 晗^{1,3}, 周艳莲^{2,3}, 居为民^{1,3}, 戴声佩^{1,3}, 宋 练^{1,3}, 包永康^{2,3}

(1. 南京大学国际地球系统科学研究所, 江苏南京 210046; 2. 南京大学地理与海洋科学学院, 江苏南京 210046;

3. 江苏省地理信息技术重点实验室, 江苏南京 210046)

摘要:近几十年来,干旱事件的频繁发生已成为全球环境问题中最为严峻的问题之一,大多数植物遭受干旱逆境后的各个生理过程都会受到不同程度的影响。通过遥感手段获取的归一化差值植被指数(NDVI)、增强型植被指数(EVI)等与植被生长有关的植被指数被广泛用于干旱的监测与评估;然而,利用植被水分指数,例如地表水分指数(LSWI)等对干旱事件发生的响应及其严重程度评估的研究目前还较少。利用中分辨率成像光谱仪(MODIS)反射率数据,提取 2004—2012 年 8 年尺度的拉萨当雄高寒草甸观测站点中心像元的 NDVI、EVI 与 LSWI,结合同相内地面观测的降水数据与土壤湿度数据,分析植被指数对藏北高寒草甸干旱的敏感性。结果表明,研究区内年尺度上 NDVI 和 EVI 对降水的敏感性基本一致,LSWI 的敏感性较 NDVI 与 EVI 略高,3 种植被指数在干旱年份(2006 年)减小幅度基本相同;月时间尺度上 LSWI 与降水的距平相关性最大, R^2 达到 0.32 ($P < 0.001$),NDVI、EVI 对降水的响应均存在滞后现象;健康植被的 LSWI 大于 0,干旱植被的 LSWI 小于 0,干旱年份植被生长季 LSWI 小于 0 的天数多于湿润年份;相比于 NDVI、EVI,利用 LSWI 对干旱进行分级更适用于高寒草甸干旱的监测与评估。

关键词:干旱监测;LSWI;EVI;NDVI;MODIS;敏感性分析

中图分类号: S812.29;S127 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)01-0219-05

当前人类活动的不断加剧会对全球大气循环的格局造成越来越严重的影响。许多大气循环模型预测未来全球气候变化的特征,结果是极端降水事件和极端干旱事件发生的频率会显著增加^[1-4]。植被生长季干旱严重会影响植被指数、地表温度、土壤湿度、反射率、蒸散等地表生物物理参数^[5]。

干旱指数是反映气候干旱程度的指标,许多学者利用气象资料、水文资料、土壤资料或卫星遥感资料等来建立不同的干旱指数,从而进行干旱监测预警。资料显示常用的干旱指数有 50 多种,例如标准化降水指数(SPI)^[6]、Palmer 干旱指数(PDSI)^[7]、Z 指数^[8]、综合气象干旱指数(CI)^[9]等。这些指数在一定程度上为全球或者地区的干旱监测提供了帮助,但都不可避免地需要降水数据的地面采集^[10-11]。

与常规地面干旱监测相比,利用遥感手段进行干旱监测具有时空分辨率相对较高、传感器覆盖面广、数据获取较为容易、消耗较少人力物力等特点。随着遥感对地观测能力的提升,大量研究者利用遥感数据不同波段组合获取植被指数,通过简化复杂的干旱现象评估干旱的严重程度。遥感数据可以获取与植物生长有关的植被指数,如归一化差值植被指数(NDVI)和增强型植被指数(EVI)等。NDVI 可以反映年尺度和季节尺度上植被生长活动的变化,由于它进行了比值和归

一化处理,在一定程度上可以消除如太阳高度角、卫星观测角、地形、云、阴影和大气条件有关的辐照度变化等的部分影响^[12]。EVI 利用蓝光波段和红光波段通过大气气溶胶时的差别,补偿了残留气溶胶对红光的吸收,综合采用抗大气植被指数和抗土壤植被指数,克服了土壤背景的影响和 NDVI 在植被高覆盖区易饱和、植被低覆盖区受土壤植被影响较大、对大气衰减去除不彻底等缺点^[13]。Song 等利用中国地区 1982—2005 年 GIMMS NDVI 数据集和降水数据分析认为,在所有气象要素中,每月 NDVI 的最大值与降水的相关性最强,尤其是在干旱与半干旱地区其相关性表现最为明显^[14]。赵伟等采用 NDVI 时间序列谐波分析法(HANTS)对中分辨率成像光谱仪 MODIS 产品的 EVI 数据进行去云处理,重构 EVI 数据并结合地面的气象数据,分析表明处理后的 EVI 时间序列数据能够较好地反映干旱对地表植被的影响^[12]。但是,NDVI、EVI 等均是比较保守的指数,在叶片受到外界环境胁迫而导致水分含量发生变化时,NDVI 与 EVI 自身不一定能及时地响应^[15-16]。因此,近年来一些与水分相关的植被指数被越来越多地用于植被水分含量的估计与干旱监测。无论是物理辐射传输模型还是试验统计均表明,植物的水分含量在很大程度上影响着叶片在短波红外波段下的反射率,由于这个区域是叶片水分光谱的吸收范围,所以植被在短波红外的反射率与它们叶片的水分含量是呈负相关的^[16]。研究表明,将短波红外波段反射率和近红外波段反射率一起组合建立如归一化差值水体指数(NDWI)和地表水分指数(LSWI)等植被指数可以对植被水分含量进行监测^[17]。一些国外学者研究发现,与植被水分有关的植被指数(如 LSWI)在植被干旱监测上的敏感性优于与植被生长状况有关的植被指数^[18-19]。Bajgain 等以美国季风区高秆草原为研究区,分析认为当干旱

收稿日期:2016-07-28

基金项目:国家自然科学基金(编号:41371070);“全球变化及应对”重点研发专项(编号:2016YFA0600202);气候变化专项基金(编号:CCSF201412)。

作者简介:李 晗(1992—),男,江苏徐州人,硕士研究生,主要从事植被遥感研究。E-mail:njulihan@163.com。

通信作者:周艳莲,博士,副教授,主要从事植被碳循环研究。E-mail:zhouyl@nju.edu.cn。

发生时,LSWI 在年际尺度上的下降幅度优于 NDVI 与 EVI,当土壤水分含量发生变化时,LSWI 更能对变化做出及时的响应^[20]。但目前在国内,尤其是关于半干旱区高原草甸不同类型植被指数对干旱的敏感性研究尚少,不同时间尺度、不同类型植被指数对干旱追踪能力的分析也较欠缺,因此利用不同类型植被指数对半干旱区高原草甸干旱的敏感性进行系统的分析,就显得很有必要。

高寒草甸是青藏高原广泛分布的典型植被类型之一,面积约为 $1.2 \times 10^6 \text{ km}^2$,是亚洲中部高寒地区乃至世界高寒地区极具代表性的植被^[21~22]。水分作为高寒草甸这种干旱、半干旱区草原植物生长发育的限制性资源,其缺失会直接导致区域内地生物量的减少,而草原生态系统是陆地生态系统中对干旱非常敏感的系统^[1]。因此,对高寒草甸的干旱进行分析与评估是至关重要的。目前由于人类活动的加剧,藏北牧区超载放牧现象十分严重,极端天气事件时有发生,草地利用压力很大,因此对类似于当雄草原这种典型高寒草甸植被的干旱监测研究显得很有必要^[21]。本研究以高寒草甸干旱的监测与评估为目的,以 MODIS 的反射率数据为遥感数据源,计算 NDVI、EVI、LSWI 等植被指数,结合同时相内观测的降水与土壤湿度数据,分析在不同时间尺度上,不同类型植被指数对干旱的敏感性,筛选出适宜高寒草甸干旱监测与评估的最佳遥感指数。

1 数据与方法

1.1 研究地概况

西藏自治区拉萨市当雄县草原站,地理坐标为 $30^{\circ}29'50.21''\text{N}$, $91^{\circ}03'58.90''\text{E}$,地处念青唐古拉山的南缘。当雄草原植被属于典型的高寒嵩草草甸植被,建群种有高山嵩草、矮嵩草、丝颖针茅,伴生种有多种密丛生嵩草,本类草甸由于超载过牧而退化,针茅类入侵较多,常形成草原草甸,群落覆盖度约 80%。气候为高原季风气候,年平均气温 1.3°C ,最冷月 1 月最低平均气温 -10.4°C ,最热月 7 月 10.7°C 。多年平均降水量 450 mm,其中 85% 集中在 6—8 月。冰冻期较长,持续时间为 11 月至次年 1 月。年太阳总辐射 7527.6 MJ/m^2 ,光合有效辐射 3213.3 MJ/m^2 。土壤类型为高寒草甸土,土壤厚度为 30~50 cm。

1.2 降水与土壤湿度数据

采用 2 个不同深度(5、10 cm)的土壤水分含量(SWC)来表征土壤的湿润程度。同时,为了与 MODIS 地表反射率数据匹配,对站点获取的日平均降水和土壤水分含量数据分别作求和与平均处理,获得时间尺度为 8 d 的数据,进一步计算得到月平均降水、年平均降水和土壤水分含量。

1.3 遥感数据源及数据处理

MODIS 数据可以同时获得可见光至近红外的 36 个波段,常被用于植被遥感研究。本研究通过美国航空航天宇航局的戈达德航天中心数据网站(LAADS, <https://ladsweb.nascom.nasa.gov/>)下载覆盖当雄通量观测站点每 8 d 的合成地表反射率产品 MOD09A1,时间序列为 2004 年至 2012 年,空间分辨率为 500 m,该产品主要包括 MODIS 传感器 1~7 波段的地表反射率数据和各个波段的质量控制数据,同时还包括反射率数据状态质量保证数据。利用 MODIS 数据的处理

工具(MRT)将投影方式由 Sinusoidal 投影转换为 UTM/WGS 84 投影,并通过最近邻法重采样,获取站点中心单像元红光波段(620~670 nm)、近红外波段 1(841~876 nm)、蓝光波段(459~479 nm)以及短波红外波段 1(1 628~1 652 nm)反射率数据。根据公式(1~3)分别计算不同时间尺度的 NDVI、EVI 和 LSWI。

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR_1} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR_1} + \rho_{RED}}; \quad (1)$$

$$EVI = G \times \frac{\rho_{NIR_1} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR_1} + C_1 \times \rho_{RED} - C_2 \times \rho_{BLUE} + L}; \quad (2)$$

$$LSWI = \frac{\rho_{NIR_1} - \rho_{SWIR_1}}{\rho_{NIR_1} + \rho_{SWIR_1}}. \quad (3)$$

式中: ρX 为 MOIDS 数据 X 波段的反射率;公式(2)中 C_1 和 C_2 是气溶胶等大气影响物的校正系数, L 为背景(土壤)调整系数, G 为常量,取值分别为 $C_1 = 6$, $C_2 = 7.5$, $L = 1$, $G = 1$ 。

由于 LSWI 与天气条件有关,无法像叶面积指数(LAI)和光合作用有效辐射比率(FPAR)一样进行数据平滑处理^[21]。本研究结合质量控制数据,采用两步差补方法处理时间序列中受云影响、质量较差的植被指数数据^[22]。NDVI、EVI 和 LSWI 均未作平滑处理。

2 结果与分析

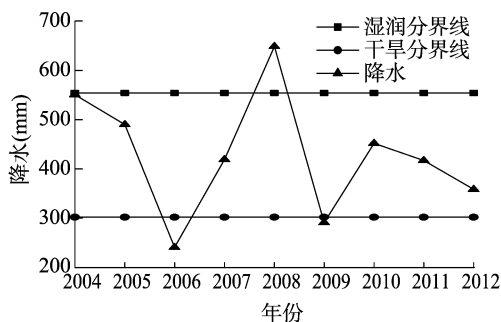
2.1 年时间尺度敏感性分析

图 1 表明,2004—2012 年,拉萨当雄高原草甸站点植被生长季的年平均降水量为 428 mm($\pm 126 \text{ mm}$)。年平均降水量大于 2004—2012 年平均降水量与标准差之和(554 mm)的年份被认为是湿润年,而年平均降水量小于 2004—2012 年平均降水量与标准差之差(302 mm)的年份被认为是干旱年。拉萨当雄高原草甸站点 2006、2009 年的降水量分别只有 241、291 mm,因此为干旱年。而 2008 年的降水量为 648 mm,因此为湿润年。干旱年份(2006、2009 年)植被生长季(5—9 月)的不同深度(5、10 cm)土壤水分含量均 $< 9\%$,而湿润年份(2008 年)土壤水分含量为 12.6%。

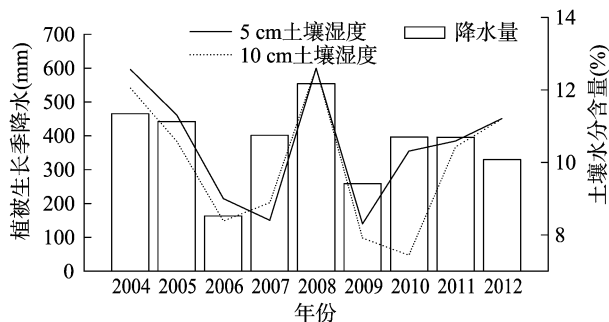
图 2 表明,干旱年份(2006、2009 年)植被生长季平均 NDVI($NDVI_{avg}$)、EVI(EVI_{avg})和 LSWI($LSWI_{avg}$)在分析的时间序列中均较低($NDVI_{avg} < 0.28$, $EVI_{avg} < 0.18$, $LSWI_{avg} < 0$),而在湿润年份(2008 年)植被生长季 NDVI、EVI 和 LSWI 均达到最大值($NDVI_{avg} = 0.41$, $EVI_{avg} = 0.28$, $LSWI_{avg} = 0.07$)。

干旱年份(2006、2009 年)植被生长季植被指数最大值 NDVI($NDVI_{max}$)、EVI(EVI_{max})和 LSWI($LSWI_{max}$)均取得最小值($NDVI_{max} < 0.44$, $EVI_{max} < 0.29$, $LSWI_{max} < 0.07$),在湿润年份(2008 年)植被生长季植被指数只有最大值 NDVI 和 LSWI 达到峰值($NDVI_{max} = 0.64$, $LSWI_{max} = 0.20$),而 EVI_{max} 仅为 0.48,远远小于 2011 年($EVI_{max} = 0.67$)。

植被指数均值和最大值的变化幅度可以用来表征植被指数对干旱的相对敏感性。变化幅度用当年植被指数的均值或最大值减去多年相应的平均值表示。变化幅度百分比用当年植被指数的均值或最大值减去多年相应的平均值后的结果再除以多年相应的平均值表示。如图 3 所示,2006 年 $LSWI_{avg}$ 与 2004—2012 年平均相比,减少了 0.052(316%),减少幅度最大。2009 年的结果与 2006 年相似, $LSWI_{avg}$ 、 EVI_{avg} 、 $NDVI_{avg}$

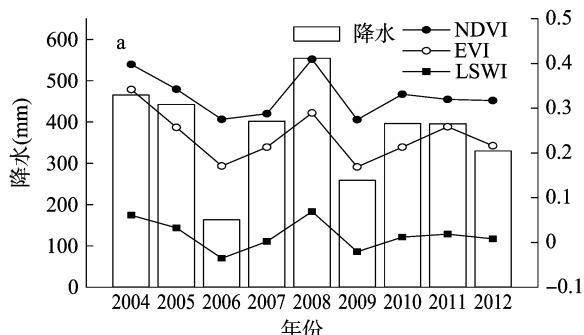


a. 降水总量年际变化

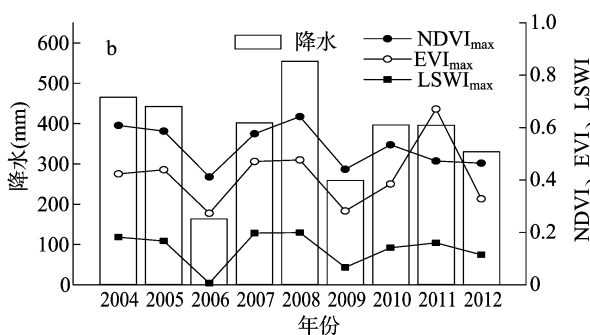


b. 植被生长季(5—9月)降水和土壤湿度变化

图1 降水总量年际变化、植被生长季(5—9月)降水和土壤湿度变化趋势

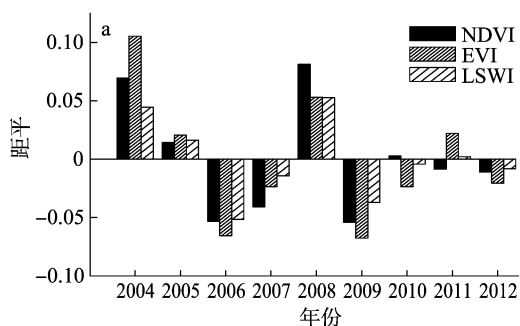


a. 植被生长季(5—9月)植被指数均值

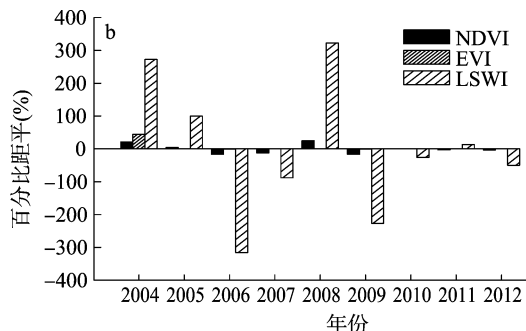


b. 植被生长季(5—9月)植被指数最大值

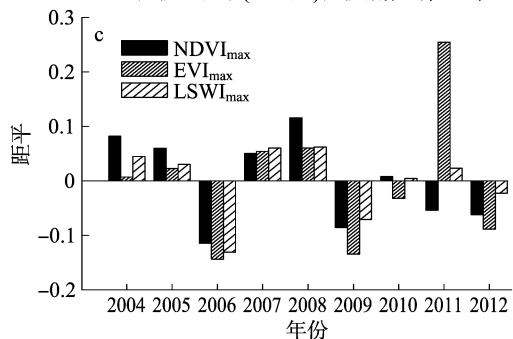
图2 植被生长季(5—9月)植被指数均值和最大值的趋势



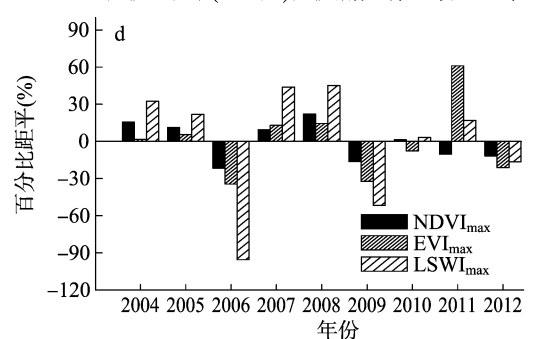
a. 植被生长季(5—9月)植被指数均值距平



b. 植被生长季(5—9月)植被指数均值百分比距平



c. 植被生长季(5—9月)植被指数最大值距平



d. 植被生长季(5—9月)植被指数最大值百分比距平

图3 植被生长季(5—9月)植被指数均值(a、b)和最大值(c、d)的相对变化

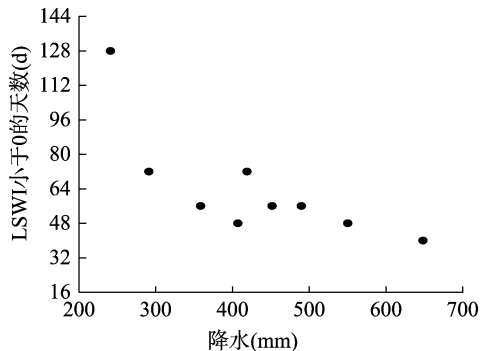
分别比 2004—2012 年平均值减少 0.037 (227%)、0.068 (16%)、0.054 (29%)。植被生长季 $LSWI_{max}$ 与 $NDVI_{max}$ 、 EVI_{max} 相比也表现出同样的敏感性,2006 年 $LSWI_{max}$ 减少 0.13 (96%),均大于 EVI_{max} 减少的 0.14 (35%) 与 $NDVI_{max}$ 减少的 0.11 (22%)。同样的,2009 年 $LSWI_{max}$ 减少 0.07 (52%),均大于 EVI_{max} 减少的 0.13 (32%) 与 $NDVI_{max}$ 减少的 0.08

(16%)。

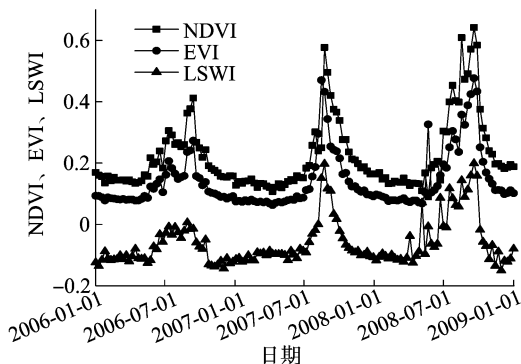
湿润年份(2008 年) $LSWI$ 持续大于 0 的时间最大,而 2006 年仅有 1 个 $LSWI$ 大于 0。由于气温低,海拔高,4 月中旬生长季才刚刚开始。经过春季生长之后,植被生长的速率很大一部分取决于土壤水分含量是否充足。若土壤水分含量不充足,植被的生长就会受到抑制。相反,干旱年份 $LSWI$ 小

于 0 的天数多于湿润年份与正常年份,而湿润年份 LSWI 大于 0.1 的时间多于干旱年份与正常年份。如图 4 所示,LSWI 小于 0 的天数随降水量的增加整体是下降的。2006 年 LSWI

小于 0 的天数为 120 d,大于 2007 年的 72 d 和 2008 年的 40 d,而 2006 年 LSWI 大于 0.1 的天数仅为 8 d,而 2008 年为 88 d,大于 2007 年的 56 d。



a. 降水对 LSWI 小于 0 天数的影响



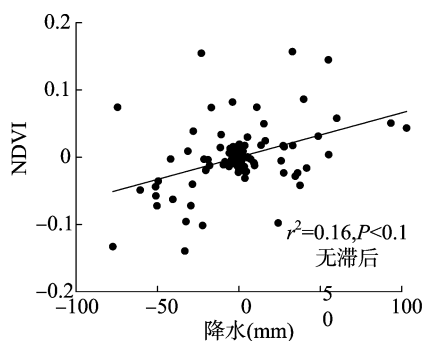
b. 2006—2008 年植被指数变化趋势

图 4 降水与 LSWI 小于 0 天数的关系(a)与 2006—2008 年植被指数变化趋势(b)

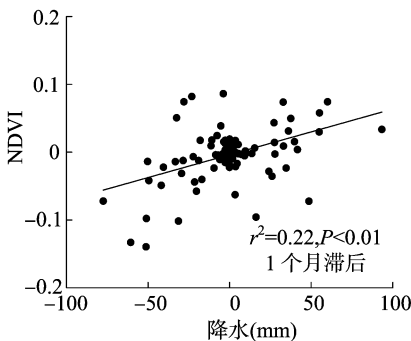
2.2 月时间尺度敏感性分析

在分析以植被指数为基础的干旱指标对降水的敏感性时,易忽略植被指数和降水的同时相季节变化,可能对其相关性产生影响。本研究为消除季节变化引起的降水与植被指数的正弦波动,对月时间尺度的降水数据和植被指数数据均作了距平处理。具体做法是用当月降水的总累积量和植被指数的平均值减去多年的月平均值。图 5 显示,当前月份 LSWI

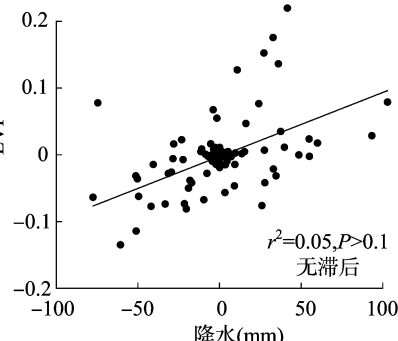
与降水距平的相关性最高, r^2 达到 0.32 ($P < 0.001$),其次是 NDVI, r^2 为 0.16 ($P < 0.1$),EVI 的 r^2 最低,仅为 0.05。而在 1 个月滞后的情况下,NDVI 与 EVI 的 r^2 分别为 0.20 ($P < 0.01$) 和 0.24 ($P < 0.01$),与当前月份降水与植被指数距平相关性相比有一定的提高,而 LSWI 和降水距平的 r^2 仅为 0.17 ($P < 0.1$),有一定的下降。



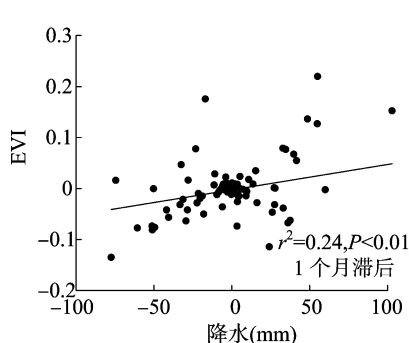
a. 无滞后降水与 NDVI 的相关性



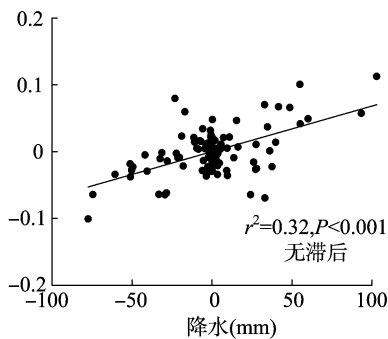
b. 1 个月滞后降水与 NDVI 的相关性



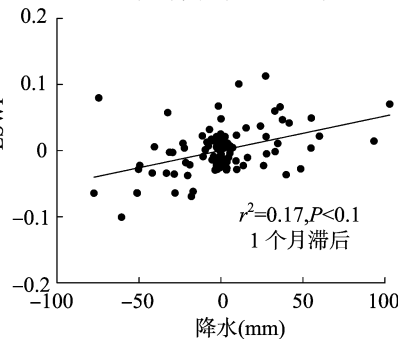
c. 无滞后降水与 EVI 的相关性



d. 1 个月滞后降水与 EVI 的相关性



e. 无滞后降水与 LSWI 的相关性



f. 1 个月滞后降水与 LSWI 的相关性

图 5 降水与植被指数的距平相关性

3 结论与讨论

相比利用气象、水文、土壤等资料建立干旱指数用于干旱监测等方法而言,以植被指数为核心的遥感干旱监测指数具有很多优势。其成本低、时空分辨率较高、对降水能够及时响应,而且它对地表植被的叶绿素含量、水分含量均比较敏感,

优势明显。植被在不同波段的光谱特征能反映指数的不同要素或者某种特征的差异,植被指数利用多个光谱波段的反射率经分析运算(线性或非线性组合方式),产生对植被长势、水分含量等有一定指示意义的数值。这是利用植被指数进行干旱监测与评估的理论基础^[20]。Chandrasekar 等以印度南岸的城市——安得拉邦为研究区,以整个地区 MODIS 反射率数

据为基础,结合气象数据分析认为,LSWI 在低降水地区与降水的相关性更好,优于 NDVI;而在高降水地区,LSWI 与降水的相关性要差于 NDVI,且都存在滞后现象^[23]。但是该研究没有考虑因季节变化引起的降水和植被指数在年内的正弦波动,这种季节特性在一定程度上影响了结果的可靠性。本研究利用 NDVI、EVI、LSWI 这 3 种指数对高寒草甸进行干旱监测,同时为消除季节变化引起的降水与植被指数的正弦波动,对降水和植被指数在月尺度上进行距平处理,结果显示月时间尺度上 LSWI 对降水的敏感性优于 NDVI 与 EVI,且 LSWI 不存在滞后现象。这与草原生态系统下垫面比较均一、受背景反射率影响较小等原因有关。2006 年夏季站点周围发生了严重的干旱现象,LSWI 在 8、9 月已经显示出明显的下降趋势,而 NDVI 和 EVI 直到 10 月才开始下降。进一步说明 LSWI 对降水的敏感性在月尺度上较 NDVI、EVI 更好,且不存在滞后现象(图 6)。

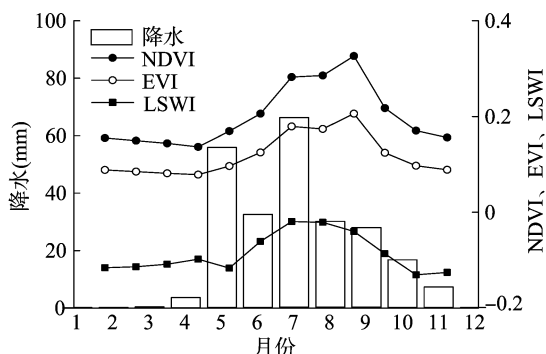


图6 2006年月时间尺度降水和植被指数变化趋势

Bajgain 以美国季风区的 2 个高杆草原站点为研究区、以遥感获取的 LSWI 为基础对干旱进行的分级($LSWI > 0.1$; $0 < LSWI \leq 0.1$; $-0.1 < LSWI \leq 0$; $LSWI \leq -0.1$)与美国干旱监测指标(united state drought monitor, 简称 USDM)监测的干旱程度(0; D1; D2; D3; D4)吻合较好^[20]。本研究中以 $LSWI \leq -0.1$ (D3 和 D4)表示极端干旱; $-0.1 < LSWI \leq 0$ (D2)表示中度干旱; $0 < LSWI \leq 0.1$ (D1),表示轻度干旱; $LSWI > 0.1$ (0)表示正常。海北高寒草甸位于半干旱区,正常年份均值处于 $0 < LSWI \leq 0.1$ (D1),属轻度干旱;当 2006、2009 年干旱发生时,处于 $-0.1 < LSWI \leq 0$,属中度干旱,与实际结果相吻合,且 $LSWI < 0$ 的天数随降水量的增加呈减少趋势(图 4)。这说明以 LSWI 为基础的干旱分级,对草原生态系统和半干旱地区也是有效的。

以植被指数为核心的遥感干旱监测指数虽然具有很多优势,但在其大范围应用之前应该对不同的植被类型进行遥感干旱检测研究,以确定合适的研究指标和研究手段。本研究的目的是探讨藏北典型高寒草甸干旱检测的最佳遥感指数,以期更精确地对高寒草甸干旱事件的发生进行有效地监测与评估。当然利用植被指数进行干旱监测与评估也有诸多限制,例如遥感观测资料的时间尺度,在天时间尺度或者更长时间尺度上的实时监测目前来讲仍存在极大挑战,不过随着区域性小卫星的陆续发射升空,也为干旱的实时遥感监测提供了可能。

对干旱指数的评价应该从多方面进行,综合考虑。本研究评价干旱指数的效果时,采用被广泛使用的相关系数 r^2 和

显著性水平 P 值作为主要评价指标,也定性地分析了在干旱发生当月,最早作出反应的植被指数,并验证了以 LSWI 为基础的干旱指标在半干旱区的适应性问题,进一步说明 LSWI 对草原干旱事件的响应优于 NDVI 与 EVI。

本研究利用 MODIS 反射率数据计算 NDVI、EVI 和 LSWI,结合降水与土壤湿度数据对藏北高寒草甸干旱进行监测,干旱事件发生时植被生长受到了很大的限制,3 种植被指数在干旱年份(2006 年)减小幅度也基本相同,LSWI 略为敏感。月尺度上 LSWI 与降水距平的相关性最高, r^2 达到 0.32,其次是 NDVI 与 EVI,且 LSWI 不存在滞后现象。 $LSWI < 0$ 的天数随降水量的增加呈明显的减少趋势。利用 LSWI 对干旱进行分级($LSWI > 0.1$; $0 < LSWI \leq 0.1$; $-0.1 < LSWI \leq 0$; $LSWI \leq -0.1$)相比于 NDVI、EVI 更适用于高寒草甸干旱的监测与评估。LSWI 也为提高高寒草甸生态系统受水分胁迫时,植被总初级生产力的模拟能力提供了一个有效的指标。

参考文献:

- [1] 张彬,朱建军,刘华民,等. 极端降水和极端干旱事件对草原生态系统的影响[J]. 植物生态学报,2014,38(9):1008-1018.
- [2] International Panel on Climate Change. Climate change 2007: impacts, adaption and vulnerability [R]. New York: Cambridge University Press,2007.
- [3] Easterling D R, Meehl G A, Parmesan C, et al. Climate extremes: observations, modeling, and impacts[J]. Science,2000,289(5487):2068-2074.
- [4] Meehl G A, Tebaldi C. More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century[J]. Science,2004,305(5686):994-997.
- [5] Ghulam A, Li Z L, Qin Q, et al. Exploration of the spectral space based on vegetation index and lbedo for surface drought estimation[J]. Journal of Applied Remote Sensing,2007,1(1):13529-13529.
- [6] 王劲松,李耀辉,王润元,等. 我国气象干旱研究进展评述[J]. 干旱气象,2012,30(4):497-508.
- [7] 杨小利,杨兴国,马鹏里,等. PDSI 在甘肃中东部地区的修正和应用[J]. 地球科学进展,2005,20(9):1022-1028.
- [8] 王劲松,黄玉霞,冯建英,等. 径流量 Z 指数与 Palmer 指数对河西干旱的监测[J]. 应用气象学报,2009,20(4):471-477.
- [9] 李树岩,刘荣花,师丽魁,等. 基于 CI 指数的河南省近 40 年干旱特征分析[J]. 干旱气象,2009,27(2):97-102.
- [10] 王春林,郭晶,薛丽芳,等. 改进的综合气象干旱指数 Cnew 及其适用性分析[J]. 中国农业气象,2011,32(4):621-626.
- [11] 张红卫,陈怀亮,申双和,等. 基于表层水分含量指数(SWCI)的土壤干旱遥感监测[J]. 遥感技术与应用,2008,23(6):624-628.
- [12] 赵伟,李召良. 利用 MODIS/EVI 时间序列数据分析干旱对植被的影响[J]. 地理科学进展,2007,26(6):40-46.
- [13] 彭代亮,黄敬峰,王秀珍. 基于 MODIS-EVI 区域植被季节变化与气象因子的关系[J]. 应用生态学报,2007,18(5):983-989.
- [14] Song Y, Ma M G. A statistical analysis of the relationship between climatic factors and the normalized difference vegetation index in China[J]. International Journal of Remote Sensing,2011,32(14):3947-3965.
- [15] 刘小磊,覃志豪. NDWI 与 NDVI 指数在区域干旱监测中的比较

薛明,李玉玺,马超,等. 氮素形态配比对白浆土活性有机碳的调控影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(1):224-227.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.01.058

氮素形态配比对白浆土活性有机碳的调控影响

薛明¹,李玉玺²,马超²,李兴吉²,王语²,刘兰²,王帅²

(1. 吉林省水利水电勘测设计研究院,吉林长春 130021; 2. 吉林农业科技学院农学院,吉林吉林 132101)

摘要:以等氮量为前提,通过设置不同氮素形态配比来调控土壤活性有机碳的组分数量,使土壤活性有机碳向肥力保蓄的方向转化。以混有玉米秸秆的白浆土为供试对象,通过添加等量氮素、不同氮素形态配比[铵态氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$):硝态氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)摩尔比为 4:1、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$: $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 摩尔比为 1:1、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$: $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 摩尔比为 1:4)]来揭示其对混料活性有机碳组分数量的影响。结果表明,无论何种氮素形态配比,添加氮素均有利于秸秆白浆土混料中水溶性有机碳(water-soluble organic C,简称 WSOC)的消耗,使之占总有机碳(total organic C,简称 TOC)的份额降低;其中,铵硝等比例($\text{NH}_4^+ - \text{N}$: $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 为 1:1)供氮更利于 WSOC 成分的分解,其次是以铵态氮占优($\text{NH}_4^+ - \text{N}$: $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 为 4:1)的供氮处理,后者在降低 WSOC 在 TOC 中的含量的作用更为明显;3 种不同氮素形态配比皆有利于微生物对混料易氧化有机碳(readily oxidizable organic C,简称 ROC)的消耗,相比之下,以铵态氮为主要供氮形态时,微生物对 ROC 的消耗程度最大,其次是以硝态氮为主($\text{NH}_4^+ - \text{N}$: $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 为 1:4)的处理;通过氮素形态配比对 TOC 含量的调控可间接改善 ROC 的产出环境,两者间具有良好的正相关关系;铵态氮作为还原剂对 ROC 的形成有抑制作用,而铵硝等比例及以硝态氮为主的供氮形态更有利于提高 TOC 中 ROC 的比例,前者效果更佳;铵硝等比例供氮能够在较大程度上降低混料有机碳的稳定性,而铵态氮占优则更利于氧化稳定系数(K_{oc})的提高进而有益于养分固存。可见,调控氮素形态配比能够改善白浆土活性有机碳的含量水平,相关规律可作为氮素形态掺混肥研制的理论依据。

关键词:氮素形态;氮素配比;白浆土;活性有机碳;水溶性有机碳;混料易氧化有机碳;调控;氧化稳定系数

中图分类号: S143.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)01-0224-04

活性有机碳是指土壤中有效性高且易被微生物分解、可供植物吸收利用的那部分有机碳,水溶性有机碳(water-soluble organic C,简称 WSOC)和易氧化有机碳(readily

oxidizable organic C,简称 ROC)均属土壤总有机碳(total organic C,简称 TOC)的活性成分。水溶性有机碳是指可通过 0.45 μm 滤孔且易溶于水的有机碳成分,通常由碳水化合物、长链脂族化合物和蛋白质构成。而易氧化有机碳是指在微生物及土壤酶作用下能快速氧化分解的有机碳,氨基酸、碳水化合物和一定数量的微生物生物量碳均属该范畴。

有机碳的氧化稳定性可表征土壤中有机矿质复合体的动态趋势,其与有机质抵抗氧化的能力有关,系数越大表明其有机质越稳定^[1]。袁可能提出用氧化稳定系数(K_{oc})来表征有机碳的氧化稳定性, K_{oc} 值越大,氧化稳定性越大,反之则越小^[2]。有研究表明,长期施用化肥及配施有机肥能显著改善

收稿日期:2016-08-01

基金项目:吉林省教育厅科学技术研究项目(编号:吉教科合字[2015]第 375 号);吉林农业科技学院重点学科培育项目(编号:吉农院合字[2015]第 X004 号)。

作者简介:薛明(1979—),男,吉林集安人,高级工程师,主要从事水土保持研究。E-mail:1419476136@qq.com。

通信作者:王帅,博士,副教授,主要从事土壤生物及环境化学研究。E-mail:wangshuai419@126.com。

分析——以 2003 年江西夏季干旱为例[J]. 遥感技术与应用, 2007,22(5):608-612.

[16]刘立文,张吴平,段永红,等. TVDI 模型的农业旱情时空变化遥感应用[J]. 生态学报,2014,34(13):3704-3711.

[17]Chen D Y, Huang J F, Jackson T J. Vegetation water content estimation for corn and soybeans using spectral indices derived from MODIS near- and short-wave infrared bands[J]. Remote Sensing of Environment,2005,98(2):225-236.

[18]张友水,谢元礼. MODIS 影像的 NDVI 和 LSWI 植被水分含量估算[J]. 地理科学,2008,28(1):72-76.

[19]刘元亮,李艳,吴剑亮. 基于 LSWI 和 NDVI 时间序列的水田信息提取研究[J]. 地理与地理信息科学,2015,31(3):32-37.

[20]Bajgain R, Xiao X M, Wagle P, et al. Sensitivity analysis of

vegetation indices to drought over two tallgrass prairie sites[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,2015(108):151-160.

[21]周宇庭,付刚,沈振西,等. 藏北典型高寒草甸地上生物量的遥感估算模型[J]. 草业学报,2013,22(1):120-129.

[22]Zhang Y, Song C H, Sun G, et al. Understanding moisture stress on light use efficiency across terrestrial ecosystems based on global flux and remote sensing data[J]. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences,2015,120(10):2053-2066.

[23]Chandrasekar K, Sessa S, Roy P S, et al. Land surface water index (LSWI) response to rainfall and NDVI using the MODIS vegetation index product[J]. International Journal of Remote Sensing,2010,31(15):3987-4005.