

DOI: 10.5846/stxb201705060837

朱小强,塔西甫拉提·特依拜,丁建丽,依力亚斯江·努尔麦麦提,夏楠,杨童童,张淑霞.基于 MODIS 与 Landsat 8 的艾比湖湿地旱情时空变化及其影响因素分析.生态学报,2018,38(8): - .

ZHU X Q, TASHPOLAT · Tiyip, DING Jianli, Ilyas Nurmemet, Xia N, Yang T T, Zhang S X. Analysis of spatiotemporal changes in the drying of the Ebinur Lake Basin and its influencing factors based on MODIS and Landsat 8 satellites. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(8): - .

基于 MODIS 与 Landsat 8 的艾比湖湿地旱情时空变化及其影响因素分析

朱小强^{1,2}, 塔西甫拉提·特依拜^{1,2,*}, 丁建丽, 依力亚斯江·努尔麦麦提^{1,2},
夏楠^{1,2}, 杨童童^{1,2}, 张淑霞^{1,2}

1 新疆大学资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046

2 新疆大学绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046

摘要: 对于干旱区艾比湖湿地旱情进行多源遥感监测, 分析干旱对艾比湖湿地的生态安全与农业生产的影响, 为水资源合理配置与干旱预警提供依据。选用 2013 年 5 月到 2016 年 5 月的 MODIS 温度和植被指数产品数据反演 TVDI 指数, 并构建二维特征空间, 分析土壤水分的时空分布特征, 结果表明: TVDI 可以有效地反演土壤水分, 且精度较高; 通过分析, 艾比湖湿地土壤水分格局呈现由“极湿润-湿润-正常”面积减少, “干旱-极干旱”面积增加的趋势; 在此基础上分析了影响艾比湖干旱变化的影响因素, 近年来随着温度升高, 风速与蒸发量增加, 降水量减少, 使艾比湖湿地旱情急剧恶化。利用多源遥感能很好的实现大面积、长时间、高精度的旱情监测, 在四年间艾比湖湿地的旱情有所加剧, 湖水面积与冰川萎缩变化较为严重, 可见艾比湖湿地旱情情况较为不乐观, 需加强水资源管理, 开展艾比湖旱情监测对于干旱区湖泊生态有重要的理论与实际意义。

关键词: 温度植被干旱指数(TVDI); 土壤水分; 时空变化; 水资源

Analysis of spatiotemporal changes in the drying of the Ebinur Lake Basin and its influencing factors based on MODIS and Landsat 8 satellites

ZHU Xiaoqiang^{1,2}, TASHPOLAT · Tiyip^{1,2,*}, DING Jianli^{1,2}, Ilyas Nurmemet^{1,2}, XIA Nan^{1,2}, YANG Tongtong^{1,2}, ZHANG Shuxia^{1,2}

1 College of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

2 Key Laboratory of Oasis Ecology under Ministry of Education, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

Abstract: By using multisource remote sensing data, the drought data of Ebinur Lake wetland in an arid region was extracted and the impacts of drought on the ecological environment and agriculture were analyzed, providing the basis for reasonable management of water resources and the drought warning system. MODIS vegetation and temperature products and Landsat 8 data were used to extract the NDVI and LST in order to inverse temperature and vegetation dryness index (TVDI), and at the same time construct 2-Dimension feature space and analyze the spatiotemporal change of soil moisture. The results showed that the TVDI model has higher precision to effectively inverse regional soil moisture; from 2013 to 2016 in a 4-year span, the Ebinur Lake soil moisture has shown that the wet, normal, and light drought area is decreasing, while the drought and heavy drought area is increasing. In addition, the team analyzed the driving forces in some respects. In recent years, the increase in temperature, population, wind speed, and precipitation showed downward trends, and drought

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41130531); 2016 新疆研究生科研创新项目(XJGRI2016013); 国家自然科学基金地区项目(41561089)

收稿日期: 2017-05-06; **网络出版日期:** 2017-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tash@xju.edu.cn

has reduced sharply. It is better to use multisource remote sensing data to efficiently accomplish drought monitoring in a wide area for a long time. The drought in Ebinur Lake wetland intensified during the four years, and the lake water and glacier area are shrinking at a faster rate. The Ebinur Lake regional soil moisture distribution is not improving. In order to protect the regional ecological system, effective local water resources management should be enhanced. In conclusion, carrying out research on the spatial and temporal dynamic changes and the driving forces for drying of Ebinur Lake has important theoretical and practical significances for this arid zone.

Key Words: temperature and vegetation dryness index (TVDI); soil moisture; spatio-temporal; water resources

旱灾是我国最严重的自然灾害之一,长时间较为严重的干旱不仅直接影响农业生产、社会经济^[1]而且还会出现河水断流、绿洲缩减、土壤荒漠化、沙尘暴增多等多种衍生灾害^[2-4]。中国西北地处干旱、半干旱气候区。由于自然和人类活动等原因,西北地区已是生态极其脆弱的地区之一,也是中国荒漠化最敏感区之一^[5]。因此,对西北地区进行长期有效的旱情监测将对人类生活和生态系统的正常运转有着极其重要的意义。土壤干湿状况是监测土地状况的重要指标之一,是作物生长的决定性因素,在水文、气候等领域都有广泛的应用^[6],同时也是制约植物正常生长的重要生态因素^[7-8]。另外,在湿地生态环境中土壤水分扮演着一个重要的环境因子的角色,随着土壤水分时空格局的变化,对地-气的热量平衡、土壤温湿度和农业等都会产生影响^[9]。

当前主要运用植被指数法和热惯量法等光学遥感技术进行旱情监测,由于植被指数和地表温度是描述地表特征的两个重要地表参数,与地表土壤水分有着紧密的联系,因而他们成为了干旱监测的常用参量^[10-12]。相对于传统的土壤干湿状况监测方法,遥感技术具有监测范围广,时效性强的特点。然而利用不同分辨率的遥感影像反演得到的土壤水分是不同的,对于西北干旱区域旱情监测,时效性与精确性是首要达到的标准。目前利用不同遥感数据资料进行旱情监测已取得了研究成果,如 Price^[13], Carlson 等^[14]发现归一化植被指数(Normalized Differential Vegetation Index, NDVI)与地表温度(T_s)之间存在负相关关系,呈现二维负相关空间三角形特征;Sandholt 等^[15]更深入分析该特征空间生态特征的解释,提出了利用温度植被干旱指数 TVDI 估算土壤表层水分状况;姚春生等^[16]利用实测土壤水分与 TVDI 模型相结合并发现呈现较好的相关性;杨秀梅等^[17]研究表明利用 TVDI 模型与 MODIS 数据进行大尺度的西北地区的干旱监测是可行的。杜灵通^[18]利用 MODIS 数据产品构建温度植被指数,分析 2000—2010 年宁夏旱情与气象干旱和农业受干旱影响的关系。孙丽^[19]利用 EOS/MODIS 数据与降水量距平指数等多源数据构建 TVDI 与综合干旱监测指数(IMDI)进行干旱监测实验研究,得出 IMDI 相比 TVDI 较为稳定。李慧^[20]利用 Terra-MODIS 数据与 NOAA-AVHRR 数据构建应用条件植被指数(VTCI)对比分析两种数据源在不同时间空间尺度下 VTCI 的适应性。总的来说,本文利用不同空间分辨率,相似时间的多源遥感数据分别构建 TVDI 指数,从时间到空间、低分辨率到高分辨率、旱季到湿季较为细节的对比分析了不同数据源下 TVDI 旱情监测的适应性,并最后对产生的不同结果进行影响因素分析,利用多源数据进行旱情监测与以往研究有一定的不同。

本研究以新疆艾比湖湿地为研究区,选用 MODIS 温度与植被指数产品数据构建 TVDI 特征空间,并用 Landsat 8 遥感资料构建的 TVDI 进行对比验证,分析不同数据源所反演的特征空间的特点以及精度。最后用野外实测土壤水分数据对结果进行验证分析。新疆艾比湖湿地位于西北干旱与半干旱区的敏感性湖泊湿地,湖水量与湖水面积的变化受到人为与自然因素的不同程度的驱动而改变,加上湿地蒸发量大、降水少的因素,极大的增加了艾比湖湿地旱情的风险,因此,此研究可为艾比湖土壤水分时空分布特征以及水资源管理措施提供一定的科学依据。

1 研究区概况与数据资料

1.1 研究区概况

艾比湖流域位于 $43^{\circ}38'—45^{\circ}52'N, 79^{\circ}53'—85^{\circ}02'E$ 之间(图 1),流域东临古尔班通过特沙漠,西接哈萨

克斯坦共和国,北部相邻托里县,南部为精河县。流域面积达 $5 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是准噶尔西部的低洼地和水盐汇集中心,大风日天气较多,蒸发量大,降水稀少,年平均气温 $6.6\text{—}7.8^\circ\text{C}$, 年降水量 $116.0\text{—}169.2\text{ mm}$ 。艾比湖流域属于典型的干旱区生态环境,目前有限的水资源使艾比湖流域人类生产生活用水与生态用水间的矛盾日益突出^[21]。

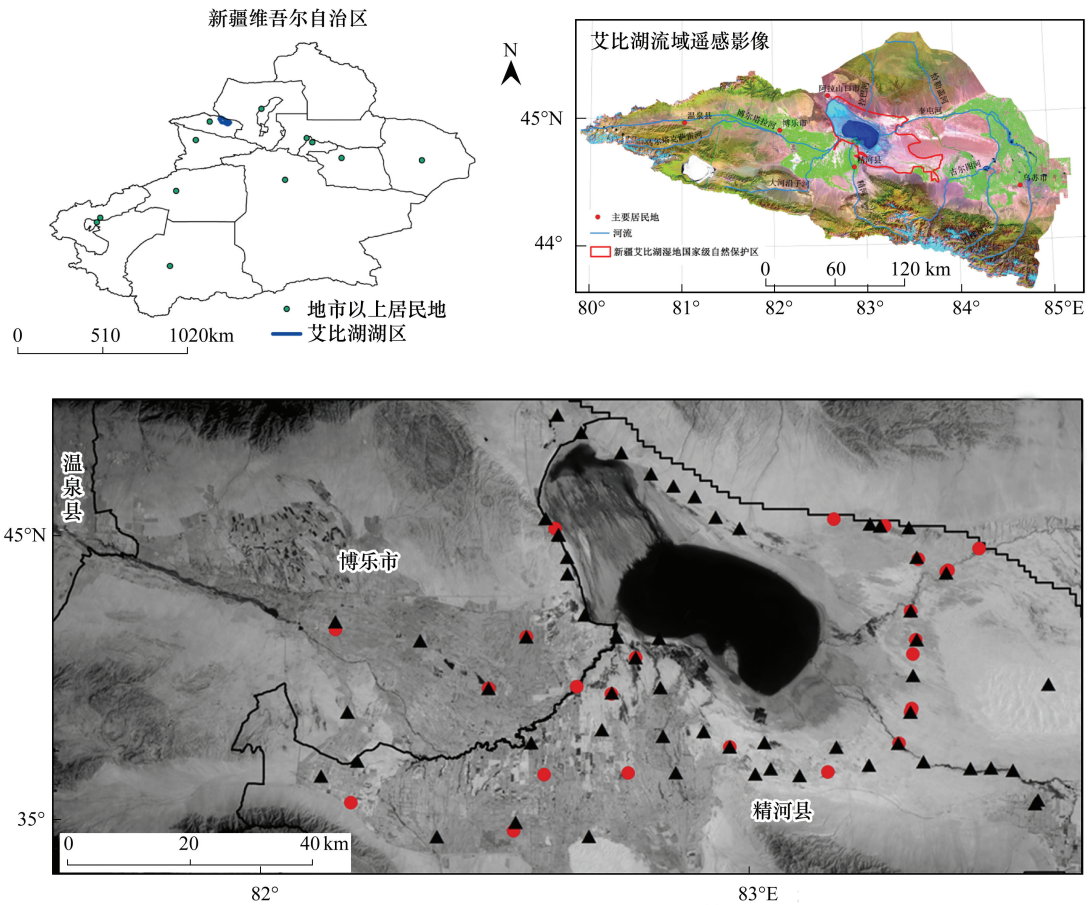


图1 研究区示意图

Fig.1 The sketch map of study area

1.2 数据源

1.2.1 遥感影像数据

通过 USGS 网站分别下载 2013 年 5 月 26 日与 2016 年 5 月 29 日过境艾比湖的 Landsat 8 数据,以及 2000—2016 年 4 月—10 月生长季的 MODIS-NDVI 数据,空间分辨率为 1 km ,2013 年 5 月 26 日与 2016 年 5 月 29 日的无云或天气状况较好的 Landsat 8 OLI 遥感影像数据,空间分辨率为 30 m 。利用 ENVI 5.1 对 MODIS 遥感资料坐标系进行转换,对 OLI 数据裁剪、辐射校正、FLAASH 大气校正等,精度符合研究标准。

1.2.2 土壤样品数据

本研究于 2013 年 5 月到 2016 年 5 月在研究区根据道路可达性土壤布设法,按照实验室出野外计划,每年采集两次土壤数据,分别为每年的 5 月和 10 月中旬,土壤深度为 1 m ,土壤坡面层为 5 层,分别为 $0\text{—}20$ 、 $20\text{—}40$ 、 $40\text{—}60$ 、 $60\text{—}80$ 、 $80\text{—}100\text{ cm}$ 。利用铝盒采集各土壤层土样,最后在实验室内采用烘干法测定土壤重量含水量。图 1 为 2013 年 5 月(红色采样点)和 2016 年 5 月(黑色采样点)期间分别采集的土壤样点 23 个、55 个。

1.2.3 统计年鉴数据

统计年鉴数据来源于精河县统计局编著的《辉煌五十年》、《精河县统计年鉴》等统计数据,统计年鉴数据

主要用于影响因素分析等研究。其中包括自然数据与人文数据。自然数据主要有湖面面积、风速、月平均降水量、月平均相对湿度以及月平均气温距平;人文数据主要包括总人口数据、耕地面积、第一产业、第二产业、第三产业生产总值数据。

2 研究方法

2.1 地表温度

2.2.1 Offer Rozenstein 劈窗算法

Offer Rozenstein 等人和覃志豪等人^[22]根据以往的劈窗算法以及 Landsat 8 数据的特点,提出了 SW₁(Split-Window Algorithm)反演算法。其计算公式如下:

$$T_s = A_0 + A_1 T_{10} - A_2 T_{11} \quad (1)$$

式中, T_s 为地表温度, T_{10} 、 T_{11} , 分别 Landsat 8 第 10, 第 11 波段的亮温温度。 A_0 、 A_1 和 A_2 是系数。

2.2 温度植被干旱指数(TVDI)

在 NDVI 和 T_s 构成的三角形特征空间中,将不同植被指数条件对应的最高下垫面温度($T_{s_{max}}$)相连,构成了三角形的干边,表示为该区域内的干旱上限,将其干旱指数定义为 1,与之相反的将不同植被指数对应的最低下垫面温度($T_{s_{min}}$)相连构成了三角形的湿边,表示为该区域内的最湿润区,将其干旱指数定义为 0。通过温度植被干旱指数方法对两者信息进行综合处理与相应的实测数据拟合,可以得到 TVDI 模型进而得到研究区的土壤干旱状况,为科学研究该研究区干旱情况提供了重要的依据^[23]。

$$TVDI = \frac{T_s - T_{s_{min}}}{T_{s_{max}} - T_{s_{min}}} \quad (2)$$

$$T_{s_{max}} = NDVI_a + b ; T_{s_{min}} = NDVI_c + d \quad (3)$$

式中, $T_{s_{max}}$, $T_{s_{min}}$ 分别由植被指数与地表温度根据干边、湿边线性拟合获得,本研究中采用 NDVI 植被指数, a 、 b 、 c 、 d 分别是干边和湿边线性拟合方程的系数。

3 结果与分析

3.1 构建特征空间

通过构建 MODIS 数据与 OLI 数据的特征空间,并利用 TVDI 确定特征空间干湿边(3 式)并得到表 1。从中看出,干边的斜率都小于 0,此结果也表明随着 NDVI 的增加, T_s 的最大值呈减小趋势;湿边的斜率都大于 0,这也表明随着 NDVI 的减小, T_s 的最大值逐渐增大。同时由图 2 可以看出, T_s 的最大最小值在 0.01 分割的 NDVI 尺度上呈现三角形特征,两种数据源的散点分布大致相似,但是也存在较大差异。MODIS-TVDI 与 Landsat-TVDI 相比,散点图较为稀疏,且 NDVI 的最大值都略小。

表 1 不同数据源干、湿边拟合结果

Table 1 Result from different data of dry-wet edge fitness

数据源 Data sets	年份 Years	干边 Dry edge	湿边 Wet edge
MODIS Data	2013-05	$y = -38.737x + 322.454, R^2 = 0.86$	$y = 12.452x + 282.306, R^2 = 0.35$
	2013-10	$y = -11.543x + 297.533, R^2 = 0.57$	$y = 13.001x + 277.697, R^2 = 0.37$
	2014-05	$y = -26.378x + 317.412, R^2 = 0.76$	$y = 13.844x + 285.572, R^2 = 0.63$
	2014-10	$y = -18.979x + 302.613, R^2 = 0.67$	$y = 13.652x + 276.179, R^2 = 0.46$
	2015-05	$y = -39.792x + 325.497, R^2 = 0.85$	$y = 16.112x + 280.922, R^2 = 0.38$
	2015-10	$y = -18.547x + 305.949, R^2 = 0.69$	$y = 12.344x + 282.375, R^2 = 0.58$
	2016-05	$y = -29.422x + 316.300, R^2 = 0.75$	$y = 21.666x + 274.136, R^2 = 0.77$
Landsat 8	2013-05	$y = -50.956x + 321.228, R^2 = 0.81$	$y = 28.876x + 279.536, R^2 = 0.82$
	2016-05	$y = -32.437x + 314.697, R^2 = 0.89$	$y = 32.263x + 274.647, R^2 = 0.63$

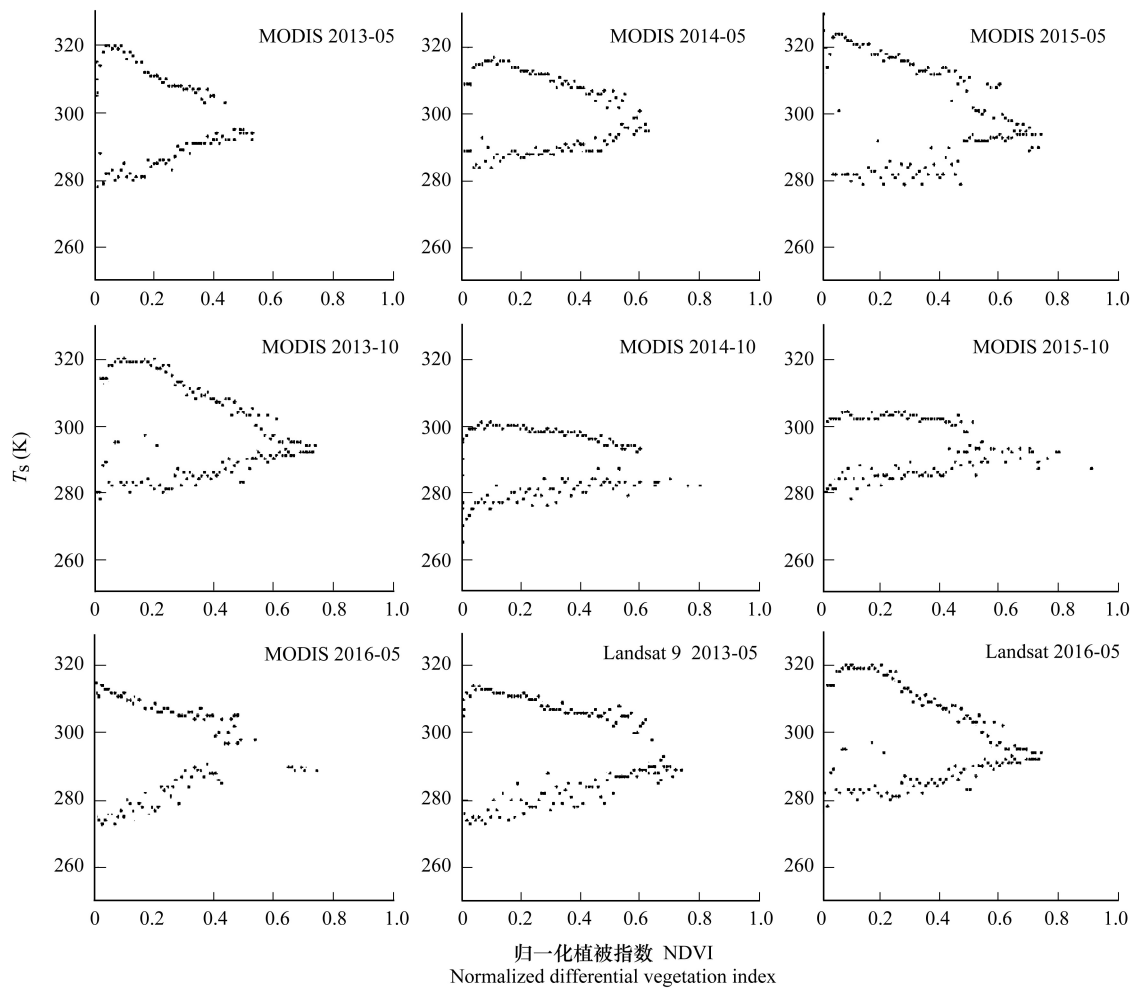


图2 二维空间特征

Fig.2 The 2-Dimension feature space

由表 1 看出,整体上 MODIS 数据拟合结果与 Landsat 8 数据拟合结果较为相似,拟合精度较好;MODIS 数据中,2103 年干边 $R^2=0.86$,湿边 $R^2=0.35$ 相差最大,2016 年的干湿边 R^2 差异略小;Landsat 8 拟合结果中,2013 年 R^2 最为接近,但 2016 年干、湿边拟合结果分别为 0.89、0.63,相差较大。

3.2 Ts-NDVI 特征空间的划分

为了从宏观上更加直接的对艾比湖湿地土壤水分的时空有很好的了解,本研究对灰度值为 0—1 的范围内进行描述,以 TVDI 值为分级指标,以便更好地观测区域的干旱情况。按照中国气象局的干旱分级指标进行旱情分级,将土壤湿度划分为 5 级,分别是:极湿润($0<TVDI<0.2$);湿润($0.2<TVDI<0.4$);正常($0.4<TVDI<0.6$);干旱($0.6<TVDI<0.8$);极干旱($0.8<TVDI<1$)。

定性分析:由图 3 干旱等级划分图可知整个研究区旱情分布特征,干旱面积最大,极湿润、湿润、正常面积次之,极干旱面积最小。但是通过 4 年的时间演变,干旱与极干旱的面积从 2013 年到 2016 年有所增加;相反艾比湖周围的湿润地带面积相对减少。同时也可看出每年 5 月份的湿度相比于 10 月份要湿润一些,从湖水面积可以看出,5 月份湖水面积大于 10 月份湖水面积,可见 5 月份处于艾比湖湿地的湿季,而 10 月份处于湿地的干季。以长时间序列的艾比湖湿地土壤变化为出发点,分析艾比湖湿地土壤水分以及干旱情况在时间和空间上的细节变化。

定量分析:对不同时间的旱情分级图进行面积提取,通过定量分析研究可以明显看出不同时间上的不同旱情等级的面积变化情况(表 2)。由表 3 可以看出,5 月份的极干旱面积均大于 10 月份的极干旱面积,并且

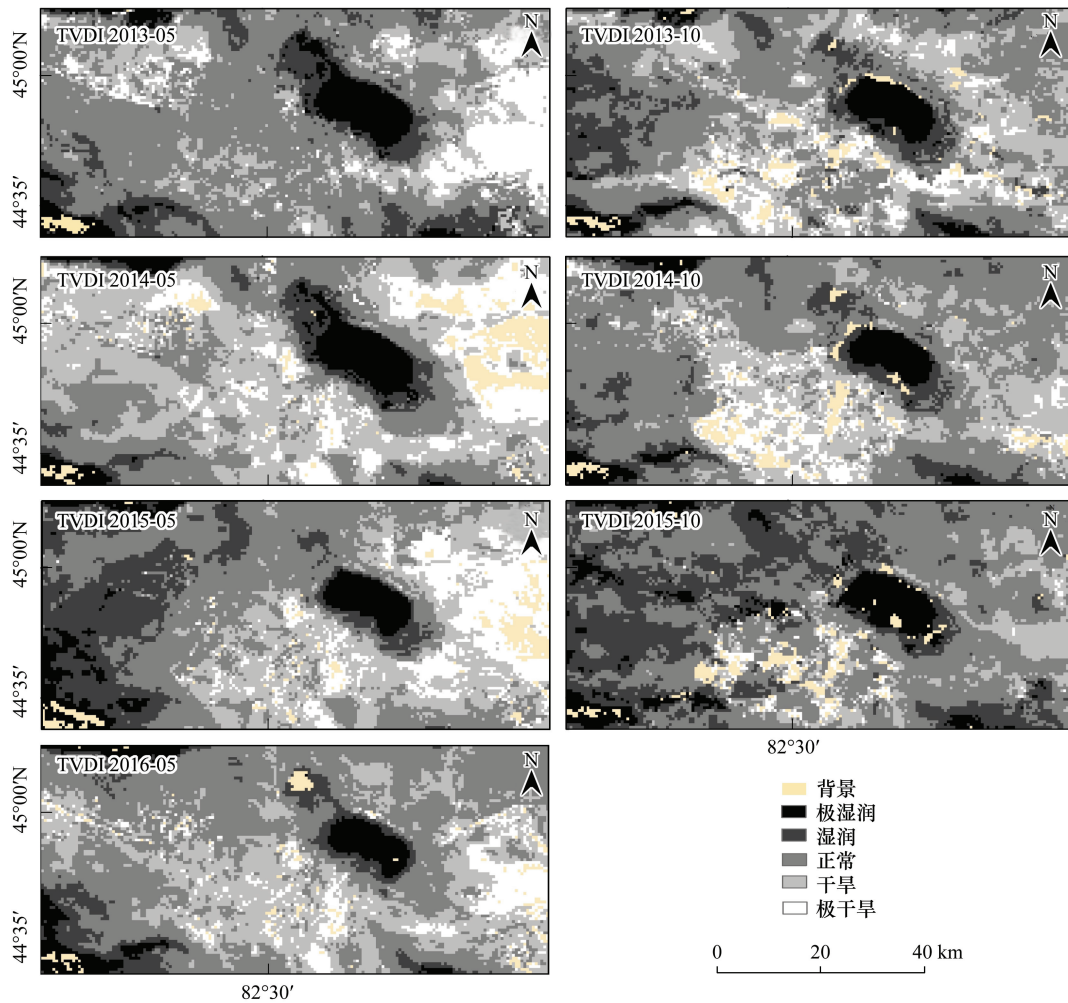


图3 MODIS 数据源旱情等级分布

Fig.3 Soil moisture maps of MODIS data

面积相差较大,其中2014年5月的极干旱面积占到研究区总面积的16.26%,说明在夏季时段干旱程度较于秋季面积较大;另外“正常”占总研究区最大的面积,其次为“干旱”的等级,“正常”与“干旱”的面积分别在时间的跨度下,在年际和月际的变化亦存在较大差异。

表2 旱情等级面积

Table 2 The area of different soil moisture level

干旱等级 Soil moisture level	不同干旱等级面积 Area of different soil moisture level/%						
	2013-05	2013-10	2014-05	2014-10	2015-05	2015-10	2016-05
背景 Background	0.43	3.01	5.21	3.51	3.16	2.88	2.01
极湿润 Extremely wet	6.71	5.28	6.51	4.87	6.51	8.04	5.88
湿润 Wet	11.39	12.22	5.90	8.82	18.10	27.54	7.44
正常 Normal	51.38	43.83	29.06	51.23	34.11	48.90	46.91
干旱 Drought	18.82	27.48	37.05	24.14	23.53	10.44	29.53
极干旱 Extremely drought	11.27	8.18	16.26	7.43	14.59	2.21	8.24

另外为了更加进一步分析土壤水分的细节变化情况,本研究利用高精度的 Landsat 8 数据对 MODIS 数据进行细节上对比分析(图4),可见两种数据源反演结果整体趋势一致,并且效果较好;充分利用 MODIS 数据在时间尺度上以及大范围监测的优势,可以更加明确的刻画旱情的动态变化;同时结合 Landsat 8 数据的高精

度的优点,将土壤水分在空间上的细节变化展现出来。对于干旱区湿地景观,以多个时间点的数据来代表多年的土壤旱情或水分状况,无论是从时效性还是精确性来说,都可以在长时间序列的数据下显得很有说服力。

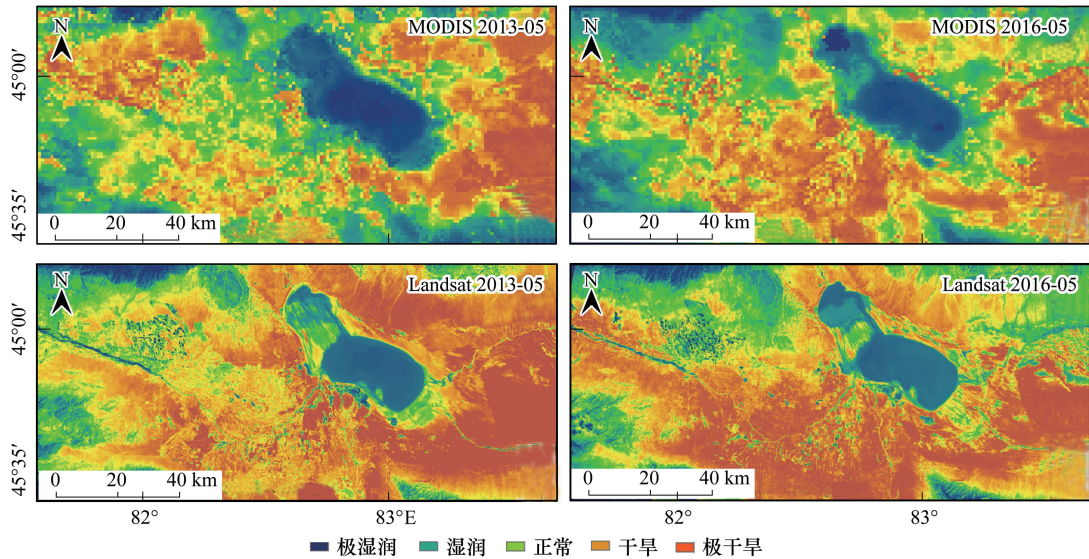


图 4 不同数据源旱情等级分布

Fig.4 Soil moisture maps of MODIS and Landsat data in a different time

3.3 精度验证

将野外实测 0—20cm 的土壤样品利用烘干法测定土壤的质量含水量,与反演的 TVDI 值做精度验证,由图 5 可以看出 TVDI 与艾比湖湿地实测土壤表层水分有很好的的负相关关系,说明利用 TVDI 对于干旱区土壤水分监测有很好的效果。但是不同数据源在不同时间上的相关性差异较大,有湿润地带向干旱地带演变的趋势。MODIS 与土壤水分的相关系数整体上较为理想,2016 年最大达到 0.72;相反 Landsat 8 相关系数略低于 MODIS 整体,在 2016 年上出现最小为 0.50。

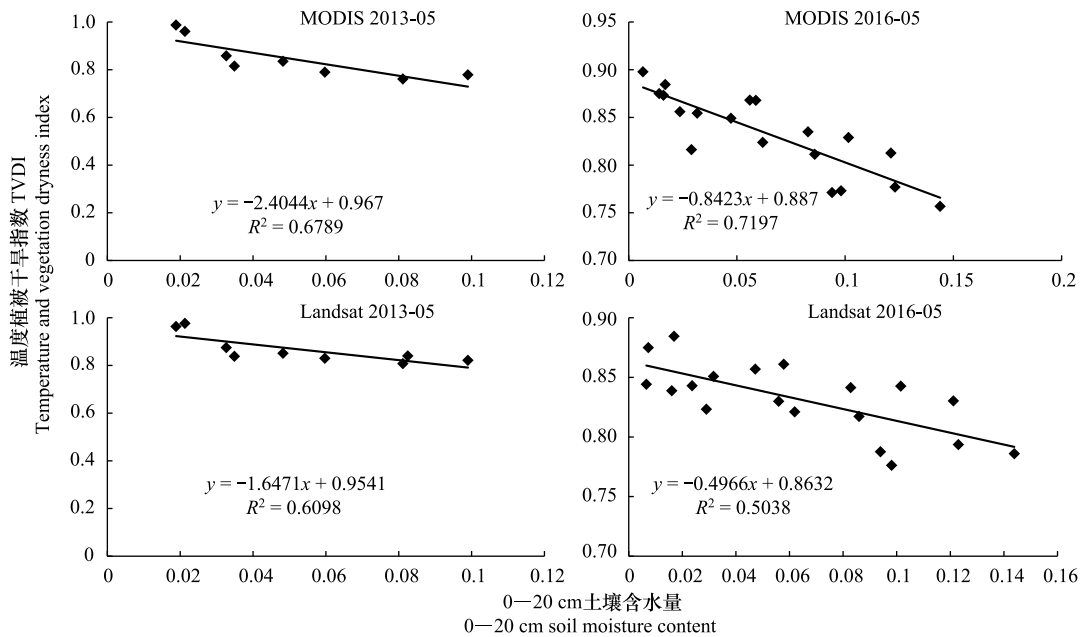


图 5 土壤水分与 TVDI 相关性

Fig.5 The relation between TVDI and soil moisture of 0-20cm

3.4 土壤水分的时空变化

根据研究区 TVDI 数据资料,采用旱情分级指标对 TVDI 进行分类,利用转移矩阵方法描述艾比湖 4 年旱情等级变化与不同旱情等级面积的变化(表 3)。艾比湖湿地土壤水分时空尺度变化效应较为明显,通过对比分析,艾比湖湿地 4 年间极湿润、湿润、正常、干旱、极干旱分别转移变化了 148、381、1191、3237、1716km²,其中由 2013 年干旱与极干旱面积变化最大,正常次之,极湿润与湿润变化最小。由 2013 年极湿润转为 2016 年的湿润,正常,干旱,极干旱的面积为 49、15、2、3km²;由湿润转变为极湿润,正常,干旱,极干旱的面积为 135、153、29、2km²;由 2013 年正常转移为极湿润,湿润,干旱,极干旱的面积为 13、248、332、24km²;由 2013 年干旱转为 2016 年的极湿润,湿润,正常,极干旱的面积为 0、62、910、1582km²;由极干旱转移为 2016 年的极湿润,湿润,正常,干旱的面积为 0、0、89、2822km²。可见艾比湖湿地在 4 年内极湿润,湿润,正常的面积减少,干旱,极干旱的面积增加。旱情的进一步加剧对于地区的生态存在较大威胁。

表 3 2013 年与 2016 年面积变化转移矩阵

Table 3 The transition matrix from 2013-05 to 2016-05 of soil moisture changes

干湿类型 The types of soil moisture		2013 年					合计 Sum
		极湿润 Extremely wet	湿润 Wet	正常 Normal	干旱 Drought	极干旱 Extremely drought	
2016 年	极湿润 Extremely wet	138	49	15	2	3	211
	湿润 Wet	135	365	153	29	2	685
	正常 Normal	13	248	461	332	24	1078
	干旱 Drought	0	62	910	4213	1582	6801
	极干旱 Extremely drought	0	0	89	2822	2213	5476
	合计 Sum	286	746	1652	7450	3929	0
	图像变化 Image change	-75	-61	-574	-649	1547	0

4 影响因素分析

4.1 自然因素

由图 6 可以看出 1998—2016 年期间,艾比湖湖面面积有一定的波动,随着风速的变化呈现显著地负相关关系;艾比湖湖面面积自 2002 年开始到 2016 年呈现急剧萎缩的态势,相比于面积突变年 2002 年,艾比湖面积减少 46.2%,线性斜率变化为-33.82,线性相关性 $R^2 = 0.71$,在 2013 年到 2016 年间,艾比湖面积略微增加,而研究区风速呈现急剧增加的态势,2013 年湖面面积为 425km²,2016 年艾比湖面积为 450km²,面积变化率仅为 5.9%;2013 年艾比湖风速为 1.9m/s,2016 年平均风速为 3.5m/s,变化率高达 84.2%。总体上随着研究区风速的增加,艾比湖湖面面积呈现减小的趋势,二者呈负相关。由此说明风速是影响艾比湖面积变化的自然影响因素之一。

气候变化对水资源的形成与变化具有重要的作用,降水和气温共同决定了区域气候的湿润和干燥程度,影响着径流的形成和地域分布^[24]。由图 7 可以看出,在 17 年间研究区月平均降水量与月平均气温呈负相关关系,月均温呈现稳定逐步上升的趋势,且温度距平逐渐向正值变化,表明温度在逐渐增加;而降水量呈现随着温度增加而减少的趋势。在此基础上分析了精河县降水量与相对湿度的关系,精河县降水量与相对湿度整

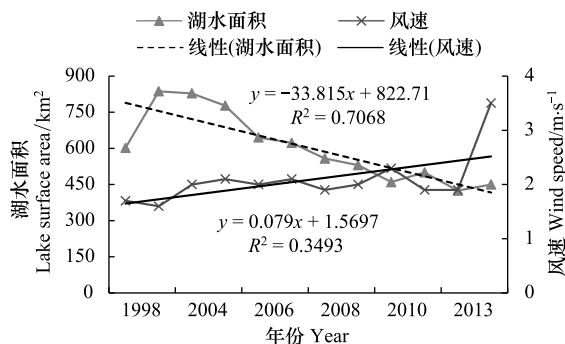


图 6 艾比湖面积与风速的关系

Fig.6 The relation between lakewater area and wind speed

体呈现协同变化态势。通过收集相关资料显示研究区年平均降水量为 102mm,年蒸发量为 1512.6mm,日照时间长,年日照达 2700 多小时,可见极大的蒸发量和日照时常与极小的降水量的直接负相关影响,导致艾比湖湿地的旱情态势急剧增加,整体生态安全不容乐观。

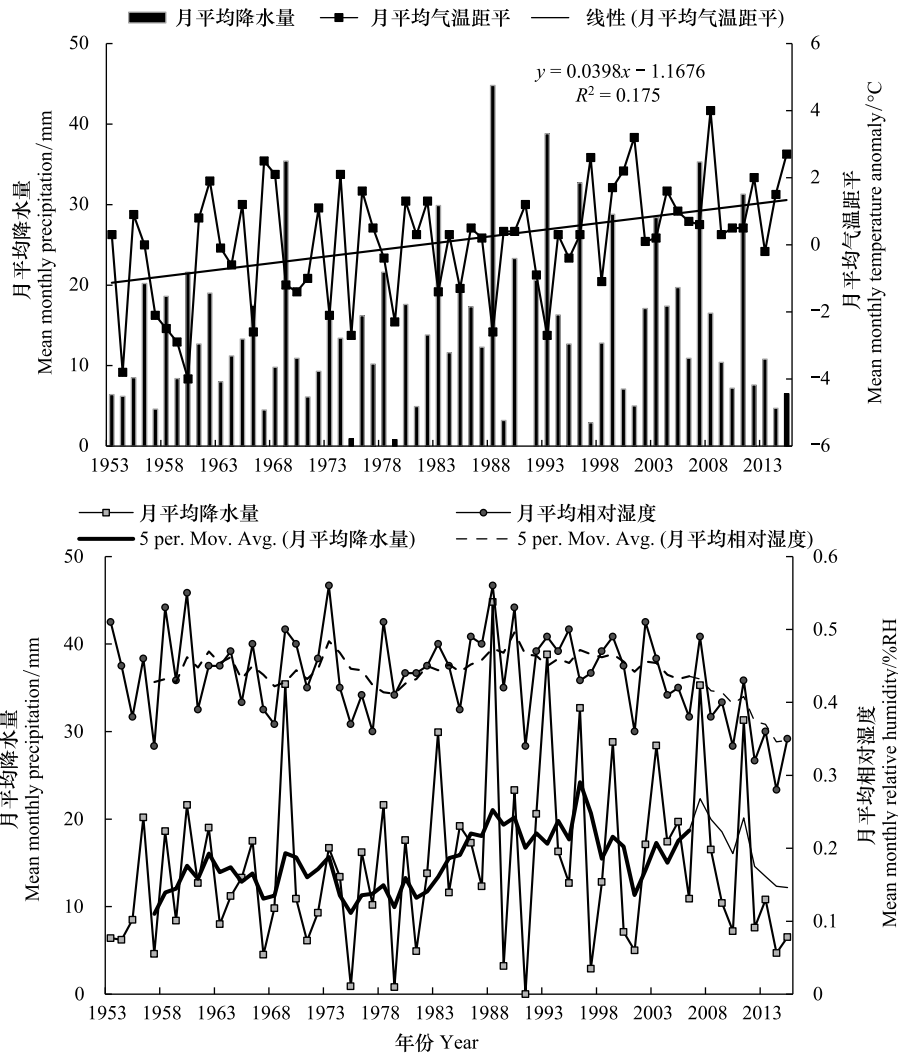


图 7 降水量与温度及相对湿度的关系

Fig.7 The relation between precipitation and temperature and relative humidity

另外,由图 8 看出艾比湖地区各旱情等级变化转移主要集中在湖泊及湖泊周边,在时间与空间的尺度上艾比湖面积急剧减少,加之全球温室效应以及艾比湖处于西北干旱区内陆,使湖水变化频率加快,干旱较为严重。近年来随着人口的增加和环境的急剧改变,使艾比湖湿地遭受重大的影响,另外周边县城农业用地面积以及规模的不断增加,使当地的农业用水消耗量大幅度增长,需要配置合理的水资源调控体系。艾比湖受阿拉山口的直接影响,每年春季时段内,阿拉山口的西北风对艾比湖水体加速蒸发起到催化作用。图中艾比湖湖体在 2013 年到 2016 年变化最为明显,呈现湖水面积减小的趋势;同时在全球温室效应的影响下,由图 8 可知,艾

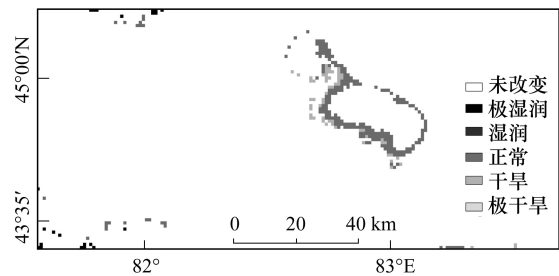


图 8 2013 年到 2016 年土壤湿度变化图

Fig.8 The maps of soil moisture changes from 2013 to 2016

比湖水体加速蒸发起到催化作用。图中艾比湖湖体在 2013 年到 2016 年变化最为明显,呈现湖水面积减小的趋势;同时在全球温室效应的影响下,由图 8 可知,艾

比湖西北与西南方向的土壤湿度也有较大的变化,因为山地区域主要为高山积雪,受温室效应影响,逐渐呈现消融趋势,可见艾比湖湿地的旱情较为严重,生态系统的正常运转将由此收到威胁。

4.2 人文因素

从 1950—1980 年,是艾比湖急剧干枯萎缩期。30 年间,由于气候和人文因素的双重叠加作用,其中主要是人文因素,加剧了艾比湖的干缩进程。艾比湖湖面从 50 年代初的 1200km²,至 70 年代是迅速萎缩到 522km²。平均每年缩小 20.3km²,是自然萎缩期的 290 多倍,储水量亦从 2 亿 hm²多减少到 0.46 亿 hm²左右^[25],由于艾比湖流域人口数量急剧增加和大兴土木,导致这一时期湖水面积急速变化,入湖水量迅速减少。艾比湖湖水急剧减少,人口与农业用地不断增加(图 9),可以看出 20 世纪 90 年代至 2007 年人口增长与各产业总产值呈现同步增长趋势,自 2007 年至今精河县各产业生产总值增长速率较快,变化较大,总人口数波动剧烈,与 2007 年相比,精河县 2008 年人口减少近 20%;另外于 2010 年人口总数急剧增加,相比于 2009 年与 2011 年,精河县 2010 年总人口数增加与减少量分别为 20%、19.4%。综上表明人口总数变化、过度开垦以及产业生产是艾比湖及周边地区旱情变化的重要人文因素。

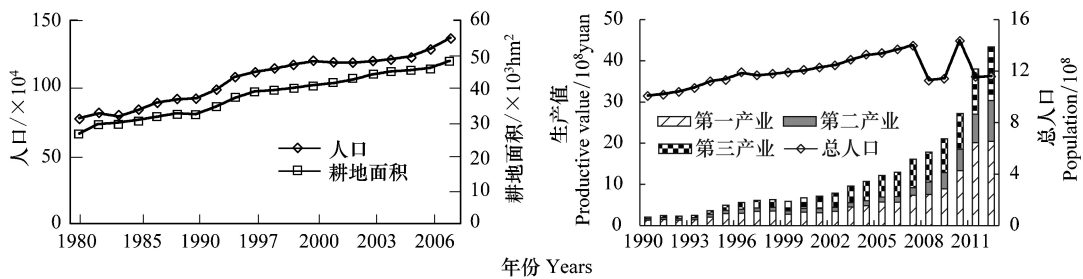


图 9 艾比湖流域人口与耕地面积及 GDP 的关系

Fig.9 The relation between population and cultivated land and GDP

(a) 艾比湖流域 1980-2007 年人口与耕地面积关系图^[26], (b) 人口与生产总值的关系图

5 结论

利用 MODIS 数据构建 TVDI 特征空间,发现 TVDI 反演土壤水分精度较好,可以实现大面积快速的旱情监测分析。同时利用相同时期的 Landsat 8 遥感影像反演 TVDI,分析两种数据源反演土壤水分精度,结果表明:

(1) 利用 MODIS 反演得到的 TVDI 特征空间反演土壤水分,有效地实现了大面积快速观测地区旱情时空的变化,选用 Landsat 8 数据构建的 TVDI 和野外实测土壤水分数据作对比验证,相关性较高,最大相关性 $R^2 = 0.72$,表明 MODIS 反演土壤水分进行旱情监测是可行的。

(2) 通过分析面积转移矩阵,可知土壤水分由湖体及河流向周边逐渐减少;农田向盐渍地逐渐减少;平原向山地逐渐减少的趋势;由干旱等级转移矩阵变化可知,呈现极湿润,湿润,正常的面积减少,干旱与极干旱面积增加的态势,其中干旱的面积增加最大,极干旱次之,可见旱情较为严重。艾比湖湿地旱情影响范围较大,无论从湖体向周边平原农耕地,还是到西边的山体区域都发生了较大变化。可见当前艾比湖湿地干旱灾情不容乐观。

(3) 进一步分析引起艾比湖湿地旱情变化的自然因素与人文因素,得知精河县年均温与湖水面积以及降水量呈负相关关系,风速与蒸发量呈现同步增长态势,而降水量与相对湿度随着温度的上升成年逐渐下降的趋势;由于艾比湖大风天气与日照天数较多且艾比湖属于干旱区内陆湖泊,自然因素对艾比湖湿地旱情影响较大;分析近年来精河县人口与农耕面积的变化情况,人文因素方面,主要是由于人口急剧增加与大规模兴建水土开发工程,导致艾比湖旱情迅速恶化。可以看出,多年来艾比湖流域内随着人口数量的增加,耕地面积不断扩张,需水量逐渐增大。因此人文因素也是艾比湖湿地旱情迅速恶化的主要原因之一。

参考文献 (References):

- [1] 张强, 张良, 崔显成, 曾剑. 干旱监测与评价技术的发展及其科学挑战. 地球科学进展, 2011, 26(7): 763-778.
- [2] 宋连春 邓振镛 董安祥. 干旱. 北京: 气象出版社, 2003.
- [3] 徐启运, 胡敬松. 我国西北地区沙尘暴天气时空分布特征. 应用气象学报, 1996, 7(4): 479-482.
- [4] 张强, 刘卫民. 论西北干旱气候的若干问题. 中国沙漠, 2000, 20(4): 357-362.
- [5] 赵庆云, 张武, 王式功, 刘新伟. 西北地区东部干旱半干旱区极端降水事件的变化. 中国沙漠, 2005, 25(6): 904-909.
- [6] Jackson T, Mansfield K, Saafi M, Colman T, Romine P. Measuring soil temperature and moisture using wireless MEMS sensors. Measurement, 2008, 41(4): 381-390.
- [7] 曹雷, 丁建丽, 牛增懿. 基于 TVDI 的艾比湖地区土壤水分时空变化分析. 水土保持研究, 2016, 23(3): 43-47.
- [8] 房世波, 齐月, 韩国军, 周广胜, Cammarano D. 1961—2010 年中国主要麦区冬春气象干旱趋势及其可能影响. 中国农业科学, 2014, 47(9): 1754-1763.
- [9] 伍漫春, 丁建丽, 王高峰. 基于地表温度-植被指数特征空间的区域土壤水分反演. 中国沙漠, 2012, 32(1): 148-154.
- [10] 闫峰, 覃志豪, 李茂松, 王艳姣. 农业旱灾监测中土壤水分遥感反演研究进展. 自然灾害学报, 2006, 15(6): 114-121.
- [11] 张清, 周可法, 赵庆展, 尹小君. 区域土壤水分遥感反演方法研究. 新疆地质, 2008, 26(1): 107-116.
- [12] 陈书林, 刘元波, 温作民. 卫星遥感反演土壤水分研究综述. 地球科学进展, 2012, 27(11): 1192-1203.
- [13] Price J C. Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1990, 28(5): 940-948.
- [14] Carlson T N, Gillies R R, Schmugge T J. An interpretation of methodologies for indirect measurement of soil water content. Agricultural and Forest Meteorology, 1995, 77(3/4): 191-205.
- [15] Sandholt I, Rasmussen K, Andersen J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. Remote Sensing of Environment, 2002, 79(2/3): 213-224.
- [16] 姚春生, 张增祥, 汪潇. 使用温度植被干旱指数法 (TVDI) 反演新疆土壤湿度. 遥感技术与应用, 2004, 19(6): 473-478.
- [17] 杨秀海, 卓嘎, 罗奄. 基于 MODIS 数据的西北地区旱情监测. 草业科学, 2011, 28(8): 1420-1426.
- [18] 杜灵通, 候静, 胡悦, 王新云, 王磊. 基于遥感温度植被干旱指数的宁夏 2000—2010 年旱情变化特征. 农业工程学报, 2015, 31(14): 209-216.
- [19] 孙丽, 王飞, 李保国, 陈曦炜. 基于多源数据的武陵山区干旱监测研究. 农业机械学报, 2014, 45(1): 246-252.
- [20] 李慧, 王鹏新. 基于 Terra-MODIS 和 NOAA-AVHRR 数据的条件植被温度指数干旱监测及其对比分析. 干旱区资源与环境, 2013, 27(3): 61-66.
- [21] 张飞, 塔西甫拉提·特依拜, 曹鑫, 丁建丽, 张严俊, 姜红涛. 干旱区内陆艾比湖流域景观格局时空变化及生态安全评价. 水土保持通报, 2015, 35(1): 249-255.
- [22] Rozenstein O, Qin Z H, Derimian Y, Karnieli A. Derivation of land surface temperature for landsat-8 TIRS using a split window algorithm. Sensors, 2014, 14(4): 5768-5780.
- [23] 刘立文, 张吴平, 段永红, 邢立新, 陈圣波, 赵敏. TVDI 模型的农业旱情时空变化遥感应用. 生态学报, 2014, 34(13): 3704-3711.
- [24] 施雅风, 沈永平, 李栋梁, 张国威, 丁永建, 胡汝骥, 康尔泗. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨. 第四纪研究, 2003, 23(2): 152-164.
- [25] 王钧, 蒙吉军. 黑河流域近 60 年来径流量变化及影响因素. 地理科学, 2008, 28(1): 83-88.
- [26] 张飞, 王娟, 塔西甫拉提·特依拜, 周梅, 王东芳, 李瑞, 李晓航. 1998—2013 年新疆艾比湖湖面时空动态变化及其驱动机制. 生态学报, 2015, 35(9): 2848-2859.