

引用格式: Du Enyu, Chen Fang, Jia Huicong, *et al.* Irrigation Area Monitoring in Jiefangzha Irrigation District based on Landsat 8 Satellite Data[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2022, 37(3): 620–628. [杜恩宇, 陈方, 贾慧聪, 等. 基于 Landsat 8 卫星数据的解放闸灌域灌溉面积监测研究[J]. 遥感技术与应用, 2022, 37(3): 620–628.]
DOI: 10.11873/j.issn.1004-0323.2022.3.0620

基于 Landsat 8 卫星数据的解放闸灌域灌溉面积监测研究

杜恩宇^{1,2,3}, 陈方^{1,2,3,4}, 贾慧聪^{1,2}, 王雷^{1,2}, 杨阿强^{1,2}

(1. 中国科学院空天信息创新研究院, 数字地球重点实验室, 北京 100094;

2. 可持续发展大数据国际研究中心, 北京 100094;

3. 中国科学院大学, 北京 100049;

4. 海南省地球观测重点实验室, 海南 三亚 572029)

摘要: 准确监测灌区灌溉面积及其干旱情况等信息是灌区管理的基础, 设立监测站点等传统方式已经不能满足应用与研究的需要, 而遥感成为水资源管理的有力技术手段。基于 Landsat 8 数据, 以内蒙古解放闸灌域为研究区, 计算了温度植被干旱指数(Temperature Vegetation Dryness Index, TVDI)和改进的垂直干旱指数(Modified Perpendicular Drought Index, MPDI)并分析其分布和变化; 根据两干旱指数灌溉前后差异, 引入阈值法构建灌溉面积提取模型, 确定阈值以进行灌溉面积的提取。结果表明: 在2017年7月~8月, 解放闸灌域得到了较大规模的灌溉; 将利用两种干旱指数差异阈值提取的灌溉面积与实际灌溉面积进行对比, TVDI和MPDI监测面积精度分别为82.96%和74.01%; 同时选取Google Earth高分辨率数据作为真实数据对灌溉地提取结果进行混淆矩阵计算, 结果显示MPDI提取总体精度为94.17%, 优于TVDI的58.90%。两种精度验证结果表明了利用遥感技术计算干旱指数用于灌区旱情监测和灌溉面积提取的可行性, 但在受灌溉地区的空间分布上, 相比TVDI, 引入植被覆盖度的MPDI能更好地反映一个地区的干旱情况, 提取到的灌溉地空间分布更为合理。

关键词: 温度植被干旱指数; 修正的垂直干旱指数; 灌溉面积; 差异阈值; 混淆矩阵

中图分类号: TP79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2022)03-0620-09

1 引言

在全球气候变化背景下, 干旱灾害问题日益突出, 对我国农业生产和粮食安全造成了严重的危害^[1-4]。河套灌区地处我国内蒙古自治区西部, 土地总面积约 $1.16 \times 10^4 \text{ km}^2$, 其中灌溉面积约 $7.3 \times 10^3 \text{ km}^2$, 农业人口100万人^[5]。西北地区一直是我国干旱灾害最为频发的地区之一, 而河套灌区作为我国北方重要的农作物生产基地, 因其气候干燥、

光照充足, 降水量小蒸发量大, 自秦汉时期便引黄河水进行灌溉, 历史十分悠久^[6-8]。选择此区域进行及时有效地旱情和灌溉面积监测, 对相关部门合理利用并分配灌溉用水和指导农业生产具有重要的借鉴意义。

灌溉面积是获取灌区灌溉进度、灌溉效果和灌溉效率等信息的基础数据。然而传统的灌溉面积首先要从监测站点获取, 再由灌区的相关责任部门向上级单位逐级报告才能得到。因其获取方式繁

收稿日期: 2021-01-14; 修订日期: 2022-03-26

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFD1100803), 国家自然科学基金项目(42171078)。

作者简介: 杜恩宇(1998—), 男, 吉林松原人, 博士研究生, 主要从事农业旱灾遥感监测研究。E-mail: duenyu20@mails.ucas.ac.cn

通讯作者: 陈方(1981—), 男, 陕西西安人, 博士, 研究员, 主要从事灾害特征的遥感反演方法研究。E-mail: chenfang_group@radi.ac.cn

杂,站点分布较分散和更新频率低等不足,导致始终无法得到精确的监测结果^[9-11]。近年来,卫星遥感技术已经逐步应用到农业旱情和灌溉面积的动态监测中来,比如利用光谱匹配、监督分类、非监督分类和机器学习等方法,区分灌溉区与非灌溉区域的光谱差异;利用微波波段或热红外波段监测作物时序性土壤含水量的动态变化,进行灌溉区域的提取和面积监测。

但相关方法主要都集中在对干旱的监测或作物需水量的研究中,随着多种干旱指数的提出和应用,例如基于地表温度和归一化植被指数二维特征空间,Sandholt等^[12]于2002年提出的温度植被干旱指数 TVDI;在垂直干旱指数 PDI 基础上,Ghulam等^[13]于2007年提出的改进型的垂直干旱指数 MPDI,因其计算方便简单,都为干旱监测、灌溉地提取和灌溉面积监测提供了一种便捷、精准的途径,并被广泛应用^[14-19]。

本研究利用Landsat 8卫星影像,基于两干旱指数时间前后差异,引入阈值构建了灌溉面积提取模型,并以河套灌区解放闸灌域为研究区进行灌溉面积的提取和模型的验证,证明其可行性。

2 数据与方法

2.1 研究区概况

解放闸灌域(106°43′~107°27′ E, 40°34′~41°14′ N)位于内蒙古河套灌区西南部,是河套灌区第二大灌域^[20]。灌域内有主水渠3条,分干渠13条,全年引黄水量约12亿m³,农业用地约占总土地面积的65%。灌域作物复杂多样,包括夏玉米和春小麦等主要粮食作物和向日葵等经济作物,同时种植少许的瓜果蔬菜等^[21]。因其地处西北内陆,年均气温9℃,降水量小蒸发量大,可有效减少和抑制降水对灌溉的影响,故选取该地区为研究区(图1)。

河套灌区分夏季灌溉和秋季浇灌^[6-8],其中夏灌是在作物3月份左右种植后进行的灌溉,包括多轮放水,7月和8月是最为重要的四轮和五轮放水,到9月初,作物开始进入收获阶段,9月底左右,作物全部收获完毕。秋浇是河套灌区灌溉工程中关系到农业生产的一个重要环节,一般是在9月中旬至11月中旬对灌区进行灌溉,用水量占全年灌溉用水的1/3,对灌区第二年开春的农田保墒和春播具有积极作用(巴彦淖尔市政府(<http://www.bynr.gov.cn/>)、河套灌区管理总局(<http://www.zghtagq.com/>))。

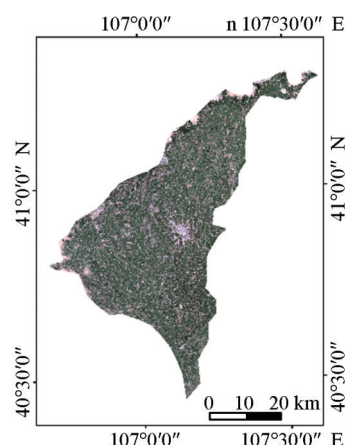


图1 解放闸灌域遥感影像

Fig.1 Landsat 8 image of Jiefangzha Irrigation district

2.2 数据来源

实验的遥感影像数据选择Landsat 8陆地卫星, (<https://earthexplorer.usgs.gov/>),行列号为129031和129032。

由于秋浇阶段灌区内并无农作物,故本实验选取2017年7月~9月即夏灌四、五轮放水期间的可用无云Landsat 8数据共4景(表1),利用ENVI软件对数据进行定标、大气订正、镶嵌裁切等操作^[22-23]。

表1 Landsat 8数据列表

Table 1 Landsat 8 data

序号	成像时间	分辨率/m
1	2017-07-04	30
2	2017-08-05	30
3	2017-09-06	30
4	2017-09-22	30

2.3 模型方法

2.3.1 温度植被干旱指数 TVDI

Sandholt等^[12]基于地面温度LST和归一化植被指数NDVI的二维分布图,提出了温度植被干旱指数(TVDI),用于估算地表土壤含水量和进行干旱监测。

$$TVDI = \frac{LST - LST_{\min}}{LST_{\max} - LST_{\min}} \quad (1)$$

$$LST_{\min} = a + b \times NDVI \quad (2)$$

$$LST_{\max} = c + d \times NDVI \quad (3)$$

$$TVDI = \frac{LST - (a + b \times NDVI)}{(c + d \times NDVI) - (a + b \times NDVI)} \quad (4)$$

其中:NDVI是归一化植被指数;LST代表像元的地面温度,反演方法选用大气校正法^[24-25];对每一个NDVI值,分别提取地表温度最小值LST_{min}和最大值LST_{max},对所有最小值和最大值分别进行干湿边

拟合,此时 TVDI 值分别为 0 和 1, a、b、c、d 为拟合方程的系数。

TVDI 值在 0 和 1 之间,与土壤湿度呈负相关关系。TVDI 值为 1 时,代表在干边上,即斜边;当 TVDI 值为 0 时,代表在湿边上,即平行于 X 轴的直角边。

2.3.2 修正的垂直干旱指数 MPDI

在光谱空间内,植被对红光波段有强吸收作用而对近红外波段有强反射作用。根据此规律,Ghulam 等提出垂直干旱指数 (Perpendicular Drought Index, PDI) 用来监测干旱情况。在 NIR-Red 二维空间散点图上,像元点的整体形状近似为三角形, PDI 平行于土壤线 (图 2), 表示像元含水量在 NIR-Red 二维特征空间^[26]的分布情况,其公式表示为:

$$PDI = \frac{1}{\sqrt{M^2 + 1}} (R_{\text{Red}} + MR_{\text{NIR}}) \quad (5)$$

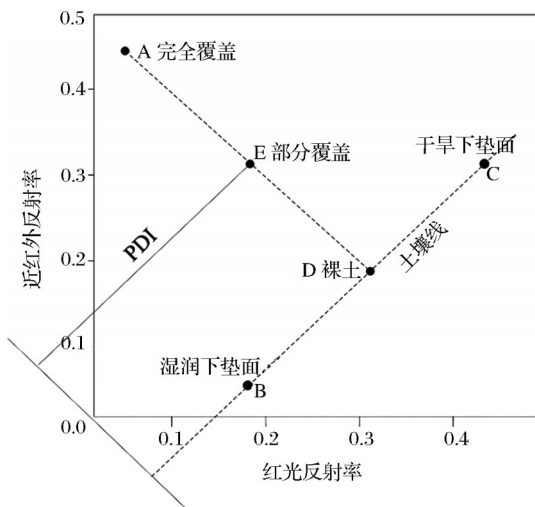


图 2 NIR-Red 特征空间和 PDI 示意图

Fig.2 Schematic diagram of PDI

为弥补 PDI 对植被覆盖较大地区监测效率低的不足,Ghulam 等又在 PDI 基础上提出了修正的垂直干旱指数 (MPDI):

$$MPDI = \frac{R_{\text{Red}} + MR_{\text{NIR}} - f_v (R_{\text{Red},v} + MR_{\text{NIR},v})}{(1 - f_v) \sqrt{M^2 + 1}} \quad (6)$$

其中: M 是土壤线的斜率,由土壤点线性回归得到; R_{Red} 和 R_{NIR} 是影像红和近红外波段的反射率; $R_{\text{Red},v}$ 和 $R_{\text{NIR},v}$ 是植被在红和近红外波段的反射率,在某种长势条件下可近似为固定参数,本文分别取值为 0.05 和 0.50^[27-28]; f_v 为植被覆盖度,采取 Carlson^[21] 提出的计算方法:

$$f_v = \frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s} \quad (7)$$

其中: $NDVI_v$ 、 $NDVI_s$ 分别为植被和裸土的 NDVI,取值为 0.65 和 0.2^[27]。基于解放闸灌域植被覆盖面积较大,本研究选取 MPDI 进行计算。

2.3.3 灌溉面积提取模型

TVDI 和 MPDI 能指示土壤的含水量, TVDI 或 MPDI 越小,土壤含水量越大,说明越湿润。利用这一点,将计算得到的前后两时相干旱指数影像进行波段相减,如新得到影像中像元值为正的,表示该像元前期的干旱指数值大于后期,土壤含水量增加,说明该像元处可能进行过灌溉,故根据两干旱指数前后时相的差异,建立灌溉面积遥感提取模型,如下:

$$I_1 = TVDI_{t_1} - TVDI_{t_2} \quad (8)$$

$$I_2 = MPDI_{t_1} - MPDI_{t_2} \quad (9)$$

其中: I 是某个像元是否受到灌溉的依据, I 越小表示该像元处受灌溉影响越小; $TVDI_{t_1}$ 和 $MPDI_{t_1}$ 是前期影像的干旱指数; $TVDI_{t_2}$ 和 $MPDI_{t_2}$ 是后期影像的干旱指数,理论上, $I > 0$ 表示像元处后期较前期湿润。

土壤含水状态的改变并不全是由灌溉行为导致的,还容易受图像解译精度和前后两景影像获取时间差异等因素的影响。为了消除这些干扰因素的影响,模型构建时还需设立一个阈值,只有干旱指数改变量大于这个阈值时,才能判断该像元处是因为经历或没经历过灌溉而导致的土壤水分变化。阈值选取需要结合研究区实际土壤、降水和灌溉情况,如果选取过大,已浇灌的区域会被认为没有发生灌溉,相反未浇灌的区域也会被认为进行灌溉。

阈值按如下方法确定:在研究区内设 30 个调查点,确定并记录调查点上的灌溉情况。30 个调查点包含了种植地、裸地及建筑物等土地利用类型。将前后时相干旱指数影像进行相减,得到 30 个调查点的干旱指数差值。通过调整阈值 I,使 30 个点的灌溉情况判断结果与实际灌溉情况一致的点数目最多,此值即作为用于提取实际灌溉面积的最终阈值。总体灌溉面积提取流程图如图 3 所示。

3 结果与分析

3.1 NDVI-LST 特征空间

利用 4 期影像的 NDVI 和地表温度 LST,提取最大地表温度 LST_{max} 和最小地表温度 LST_{min} ,并以 NDVI 为 X 轴, LST 为 Y 轴建立 LST-NDVI 二维特征空间分布图 (图 4)。不同日期的 LST-NDVI 二

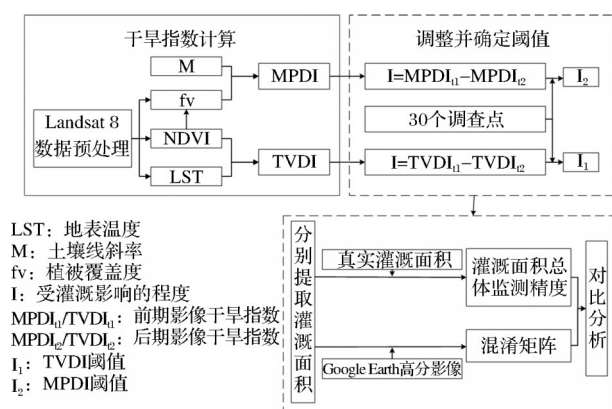


图3 灌溉面积提取流程图

Fig.3 Experimental flow chart

维特征空间存在共同点:随着NDVI的增大,LST_{min}和LST_{max}的趋势线逐渐交汇于一点,形成近似的三角形形状。

通过综合各二维特征空间可以发现,因为每一个不同的NDVI值都对应着不同数量的像元,所以不同日期的特征空间中像元点分布整体相似但不相同;而且当NDVI介于0和1之间时,LST最大值和最小值与NDVI存在相反的线性关系,并随着NDVI增大而逐渐接近交于一点,表示NDVI-LST二维特征空间的确存在三角形的关系。

3.2 TVDI与MPDI计算和分析

通过ENVI波段运算进行TVDI和MPDI的计算,得到研究区TVDI和MPDI影像,求取每期影像TVDI和MPDI的平均值并绘制成时间序列曲

线(图5)。

通过对比图5曲线,可以发现两个干旱指数趋势一致:7月4日至9月6日均呈依次递减趋势,9月6日至9月22日呈上升趋势,说明7月4日至9月6日灌区干旱程度一直在下降,可以初步说明进行了灌溉。此外,在9月6日至9月22日,两指数虽然都上升,但很明显TVDI上升幅度要大于MPDI。研究发现,9月份是灌区农作物收割的季节,9月22日时灌区作物已经基本收割完成,地表覆盖为裸土、道路和城区,此时干旱指数并不能很好地反映灌区干旱状况,尤其是MPDI受裸土影响,其值上升不会很明显,所以该均值趋势较为合理。

3.3 灌溉面积提取及分析

利用TVDI和MPDI,构建灌溉面积监测模型并根据式(8)和(9)设定差异阈值。在研究区内选取30个调查点,分别确认其灌溉情况。因7月4日至9月6日期间,三期影像的干旱指数均呈下降趋势,故在此时段内通过调整阈值使灌溉面积提取结果与30个调查点调查结果一致性最高,最终确定TVDI的阈值为0.04,MPDI的阈值为0.08。利用上述阈值对影像进行分类显示,结果如图6,其中绿色部分为大于阈值的区域,即灌溉区域,提取其面积。

据河套灌区管理总局官网中解放闸灌域分中心简介(<http://www.zghtgq.com/>),解放闸灌域现有灌溉面积为 $1.24 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。经统计,将监测灌溉面积与真实灌溉面积进行比对(表2),基于TVDI

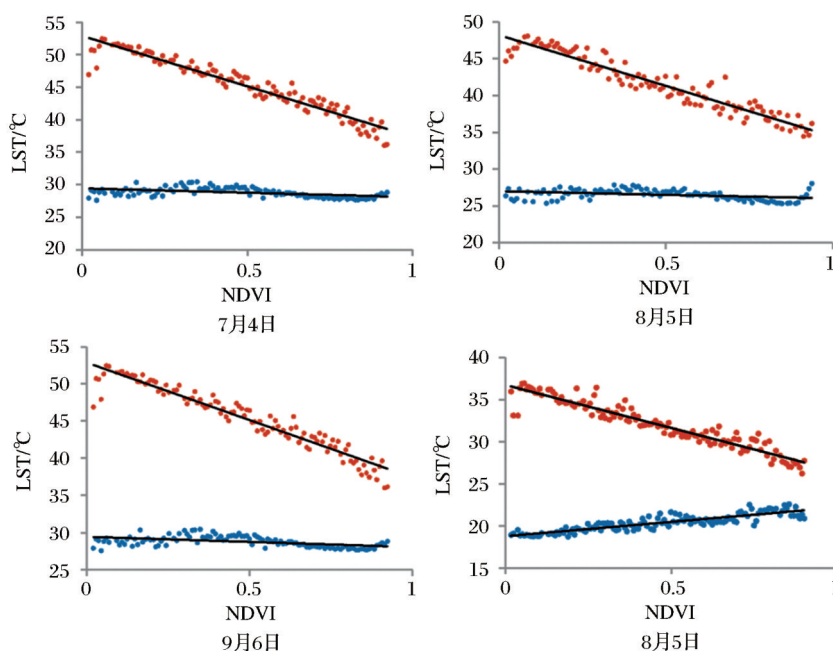


图4 不同时期的NDVI-LST特征空间干边和湿边分布

Fig.4 Dry-edge and wet-edge fitting of NDVI-LST spatial pattern

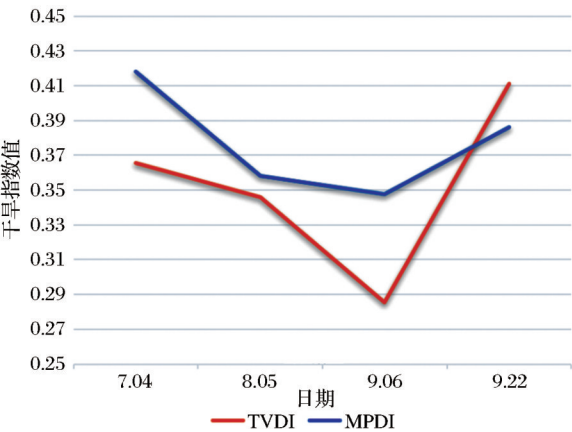


图5 TVDI与MPDI均值
Fig.5 Mean of TVDI and MPDI

的监测模型准确率为82.96%，MPDI监测模型的准确率为74.01%。其中两个模型监测面积均小于真实灌溉面积。通过调查，河套灌区每年灌溉面积的统计结果都是经实地测量并逐级上报得到，实际灌溉地区及面积受多种因素影响每年均不相同，尤其是部分地区作物缺水严重，经济价值远小于引水灌溉的价值，实际上并没有进行灌溉，故存在少许人为误差，所以监测灌溉面积小于真实灌溉面积是合理的。

从灌溉面积监测准确率来看，TVDI的准确率要大于MPDI，但通过对比图6灌溉区域的空间分布，发现两种指数提取的灌溉地空间分布相差较

大，且单一的灌溉面积精度对比不能很好地证明结果可靠性。研究进一步通过混淆矩阵及多种精度指标来评价灌溉面积提取的结果，包括总体精度（Overall Accuracy，简称OA）、用户精度（User’s Accuracy，简称UA）、制图精度（Producer’s Accuracy，简称PA）、误分率（1-OA）、错分率（1-UA）及漏分率等（1-PA）。

在灌溉地提取结果影像上随机均衡选取5个小区作为验证区，并在Google Earth上下载3 m 高分辨率影像，各小区尽可能选取夏季7~9月灌溉时间段内与研究时相最为接近的日期，如图7所示。利用目视解译的方法将在大片作物范围内且颜色较深绿、纹理清晰的像素点判识为灌溉区域；将非作物类地物和破碎田块且颜色浅绿的像素点判识为非灌溉区，最后将其重采样到30 m 分辨率，作为地面真实数据。分别将5个区域与相应重采样后的Google Earth数据叠加计算混淆矩阵，灌溉区域提取的各精度指标结果如表3所示。

表2 7月4日~9月6日监测灌溉面积与实际灌溉面积比较
Table 2 Comparison of monitoring irrigation area and real irrigation area from July 4 to September 6

阈值 I	真实灌溉面积 /km ²	监测灌溉面积 /km ²	监测准确率 /%
I _{TVDI}	1 240	1 028.66	82.96
I _{MPDI}	1 240	917.75	74.01

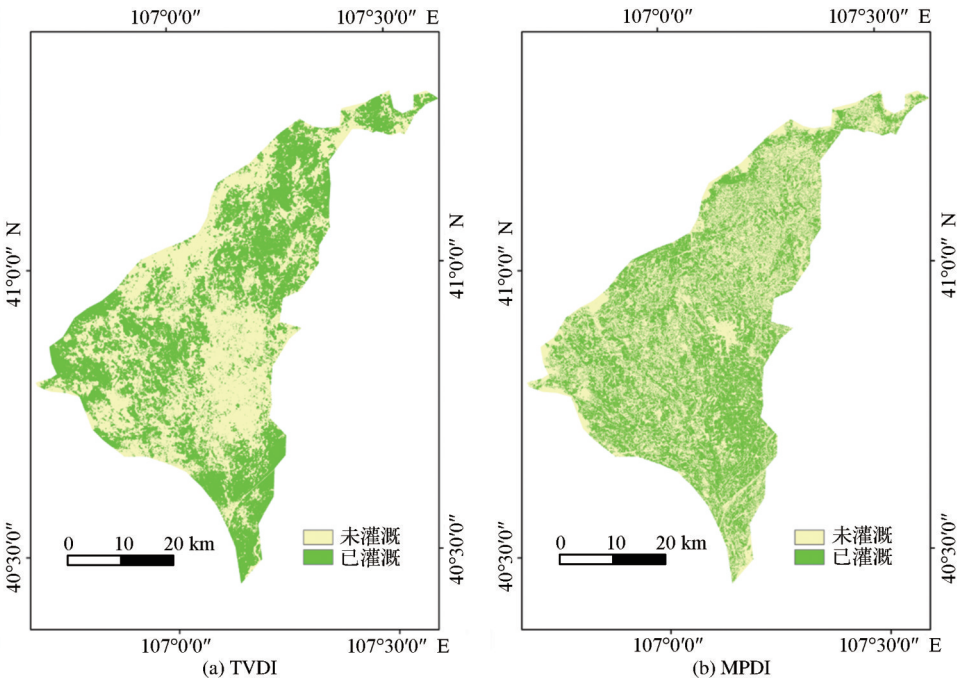


图6 灌溉面积提取结果
Fig.6 The extraction results of the irrigation area



图7 Google Earth 影像

Fig.7 Google Earth Image

表3 两种干旱指数下灌溉区域提取精度

Table 3 The monitoring accuracy of irrigation area

	总体精度 /%	用户精度 /%	制图精度 /%	误分率 /%	错分率 /%	漏分率 /%
TVDI	58.90	45.69	41.68	41.10	54.31	58.32
MPDI	94.17	95.12	89.28	5.83	4.88	10.72

对比表2、表3可以发现,从总的灌溉面积监测准确率来看,TVDI精度要大于MPDI,但从灌溉区域的空间分布来看,引入植被覆盖度的MPDI总体精度为94.17%,相比TVDI的58.90%要更高,监测的灌溉地分布也更为合理,因为它更符合实际作物的空间分布,很好地剔除掉了非作物的像元再进行监测;而TVDI的监测结果受混合像元影响绿色部分分布很不均匀,并且有更多的错分漏分情况。该结果表明引入植被覆盖度的干旱指数MPDI能更好的反映一个地区的干旱情况,相比TVDI受非作物地物尤其是裸土的影响会更小。

4 讨论

干旱灾害过程复杂、持续时间长、影响范围广且破坏性大,已经成为影响我国经济发展和农业生

产的主要问题之一。利用遥感技术进行干旱灾害的监测和灌区灌溉面积的提取,可以有效地避免或减少因干旱造成的粮食减产和灌区水资源浪费等问题。

本研究基于温度植被干旱指数TVDI和修正的垂直干旱指数MPDI的理论原理和计算方法,以内蒙古自治区河套灌区解放闸灌域作为研究区域,通过计算两干旱指数来监测2017年夏季7月~9月研究区的旱情并提取了灌区的灌溉面积。根据研究结果发现:

(1)两种干旱指数在夏季作物生长期内的计算结果合理,且变化趋势较为一致,说明两干旱指数用于灌区干旱监测的可行性。

(2)基于两干旱指数前后时相的变化建立了解放闸灌域的灌溉面积提取模型,分别计算出2017年7月~9月研究区夏灌四五轮放水的灌溉面积,并与真实的灌溉面积进行对比,监测准确率较为可靠,分别为82.96%和74.01%。

(3)以Google Earth高分辨率数据作为真值进一步在灌溉地空间分布上进行分析,结果显示相比

TVDI, MPDI的灌区提取分布更为合理,总体精度达94.17%,高于TVDI的58.90%。

综上所述,说明两种干旱指数均可用于干旱监测和灌溉面积提取,但相比TVDI,MPDI因引入植被覆盖度进行计算,受非作物的影响会更少,能更好地反映一个地区的干旱和灌溉情况。

5 结 论

基于干旱指数的变化来监测灌区干旱情况和灌溉面积,该方法方便快捷,结果较精确,能够弥补传统灌区土壤含水量及灌溉面积监测的缺陷。

灌区的干旱监测和灌溉面积的提取是一个持久的话题,该研究也存在一些不足之处,故在今后的研究中可以从以下3个方面进行:

(1)在遥感卫星数据的选择上,Landsat 8虽然空间分辨率能满足监测的需要,但是时间分辨率不高,在研究区夏季作物生长期内的可用数据较少,故下一步可增加数据源,比如高时间分辨率的MODIS数据,将其进行重采样后作为辅助数据,再结合Landsat 8数据进行分析。

(2)本研究只计算了TVDI与MPDI两种干旱指数进行对比和分析,且相比MPDI,TVDI虽然在灌溉面积监测准确率精度较高,但从灌溉地的空间分布和计算的混淆矩阵及多种精度评价指标来看,误差比较大。综合来看两指数各有优劣,故可再选取多种不同的干旱指数进行叠加分析。比如考虑土壤水分的土壤湿度亏缺指数(Soil Moisture Deficit Index, SMDI)和利用3个波段以提高对干旱反映敏感度的归一化多波段指数(Normalized Multi-band Drought Index, NMDI)等。

(3)研究虽然选取降水量较少的西北内陆地区,但仍不能完全避免降水因素导致的精度变化,故可进一步考虑气象因子或利用实际降水量,叠加降水模型以减轻其影响等。

参考文献(References):

- [1] Guan X, Zang Y, Meng Y, *et al.* Study on spatiotemporal distribution characteristics of flood and drought disaster impacts on agriculture in China[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2021, 64: 102504. DOI: 10.1016/j.ij-drr.2021.102504.
- [2] Zhao R, Wang H, Hu S, *et al.* Joint probability of drought encounter among three major grain production zones of China under nonstationary climate[J]. Journal of Hydrology, 2021, 603: 126995. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2021.126995.
- [3] Han L, Zhang Q, Zhang Z, *et al.* Drought area, intensity and frequency changes in China under climate warming, 1961 – 2014[J]. Journal of Arid Environments, 2021, 193: 104596. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2021.104596.
- [4] Qin Zhihao, Tang Huajun, Li Wenjuan. Front issues in studying the impacts of climate change on grain farming system in China[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2015, 36(1):1-8.[覃志豪,唐华俊,李文娟.气候变化对我国粮食生产系统影响的研究前沿[J].中国农业资源与区划,2015,36(1):1-8.]
- [5] Wulan Tuya, Yu Lifeng, Wu Lan. Drought analysis of HeTao irrigation district based on Landsat8 TVDI—Taking Linhe district as an example[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2017, 38(5):123-127. [乌兰吐雅,于利峰,乌兰等.基于Landsat8 TVDI的河套灌区旱情分析——以临河区为例[J].中国农业资源与区划,2017,38(5):123-127.]
- [6] Xiong L, Xu X, Engel B, *et al.* Modeling agro-hydrological processes and analyzing water use in a super-large irrigation district (Hetao) of arid upper Yellow River basin[J]. Journal of Hydrology, 2021, 603: 127014. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2021.127014.
- [7] Qu Zhongyi, Yang Xiao, Huang Yongjiang. Analysis and assessment of water-saving project of Hetao Irrigation district in Inner Mongolia[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(4):70-76, 112.[屈忠义,杨晓,黄永江.内蒙古河套灌区节水工程改造效果分析与评估[J].农业机械学报,2015,46(4):70-76,112.]
- [8] Liu Haiqi, Wang Yingchun. The comprehensively analysis of development potential in husbandry and supporting capacity of water resources in Northwest of China[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2015, 36(3):1-9.[刘海启,王迎春.我国西北旱区农牧业综合开发潜力分析及水资源支撑能力研究[J].中国农业资源与区划,2015,36(3):1-9.]
- [9] Zhang C, Dong J, Zuo L, *et al.* Tracking spatiotemporal dynamics of irrigated croplands in China from 2000 to 2019 through the synergy of remote sensing, statistics, and historical irrigation datasets[J]. Agricultural Water Management, 2022, 263: 107458. DOI: 10.1016/j.agwat.2022.107458.
- [10] Shao Qiufang, Ma Zelong, Jing Qin. Application of remote sensing technology in irrigation system information[J]. Technical Supervision in Water Resources, 2018(4):52-53, 82. [邵秋芳,麻泽龙,敬琴.遥感技术在灌区信息化中的应用

- [J].水利技术监督,2018(4):52-53,82.]
- [11] Han Zhe. Research on management system reform of rural small water infrastructures[D]. Changsha: Hunan University, 2011.[韩哲.小型农村水利工程管理体制改革研究[D].长沙:湖南大学,2011.]
- [12] Sandholt I, Rasmussen K, Andersen J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation condition index space for assessment of surface moisture status[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 78 (2) : 213-224. DOI: 10.1016/S0034-4257(01)00274-7.
- [13] Abduwasit Ghulam , Qin, Qiming, Zhiming. Modified perpendicular drought index: A real-time drought monitoring method [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2007, 62: 150-164. DOI: 10.1016/j.isprsjprs. 2007. 03.002.
- [14] Wei W, Zhang J, Zhou L, *et al.* Comparative evaluation of drought indices for monitoring drought based on remote sensing data[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2021, 28 (16) : 20408-20425. DOI: 10.1007/s11356-020-12120-0.
- [15] Javed T, Li Y, Rashid S, *et al.* Performance and relationship of four different agricultural drought indices for drought monitoring in China's mainland using remote sensing data[J]. Science of the Total Environment, 2021, 759: 143530. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143530.
- [16] Shen Jing. The application research of remote sense technology in the monitor of irrigation area[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2012.[沈静.遥感技术在灌溉面积监测上的应用研究[D].大连:大连理工大学,2012.]
- [17] Yi Zhenyan, Zhao Hongli, Jiang Yunzhong, *et al.* Application and research of remote sensing in irrigation management of Hetao District[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science and Technology, 2014, 12(5):166-169.[易珍言,赵红莉,蒋云钟,等.遥感技术在河套灌区灌溉管理中的应用研究[J].南水北调与水利科技,2014,12(5):166-169.]
- [18] Zhang Hongwei, Chen Huailiang, Liu Zhongyang, *et al.* The review of drought index in advance[C]// Proceedings of 2010 International Conference on Remote Sensing (ICRS 2010) Volume 3. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2010:556-561.[张红卫,陈怀亮,刘忠阳,等.最新干旱指数综述[C]//2010年国际遥感会议论文集第3卷,电气与电子工程师协会,2010:556-561.]
- [19] Yu B, Chen F, Xu C. Landslide detection based on contour-based deep learning framework in case of national scale of Nepal in 2015 [J]. Computers & Geosciences, 2020, 135: 104388. DOI: 10.1016/j.cageo.2019.104388.
- [20] Bai Liangliang, Cai Jiabing, Liu Yu, *et al.* Temporal and spatial variation of the evapotranspiration and the evaluation on irrigation efficiency in Jiefangzha irrigation region[J]. China Rural Water and Hydropower, 2016(9) : 68-72.[白亮亮,蔡甲冰,刘钰等.解放闸灌域农田耗水时空变化特征及灌溉效率评价[J].中国农村水利水电,2016(9):68-72.]
- [21] Chi Weiwei. Water use performance for irrigation area based on distributed hydrological model[D].Beijing: China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2013.[荘伟伟.基于分布式水文模型的灌区用水效率评价[D].北京:中国水利水电科学研究院,2013.]
- [22] Wang N, Chen F, Yu B, *et al.* Segmentation of large-scale remotely sensed images on a Spark platform: A strategy for handling massive image tiles with the MapReduce model[J]. ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing, 2020, 162: 137-147. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2020.02.012.
- [23] Yu B, Yang L, Chen F. Semantic segmentation for high spatial resolution remote sensing images based on convolution neural network and pyramid pooling module[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2018, 11 (9) : 3252-3261. DOI: 10.1109/JSTARS. 2018.2860989.
- [24] Jiang Y, Lin W. A comparative analysis of retrieval algorithms of land surface temperature from Landsat-8 data: A case study of Shanghai, China[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18(11) : 5659. DOI: 10.3390/ijerph18115659.
- [25] Wu Zhigang, Jiang Tao, Fan Yanlei, *et al.* Land surface temperature retrieval and result analysis based on Landsat 8 data in Wuhan City[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2016, 13(1) : 135-142.[吴志刚,江滔,樊艳磊等.基于Landsat 8数据的地表温度反演及分析研究:以武汉市为例[J].工程地球物理学报,2016, 13(1):135-142.]
- [26] Li Zhe, Tan Debao. The second modified perpendicular drought index: a combined drought monitoring method with soil moisture and vegetation index[J]. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2013, 41 (4) : 873-881. DOI: 10.1007/s12524-013-0264-5.
- [27] Xu Xiru. Remote sensing of physics[M].Beijing: Peking University Press, 2005:26-120.[徐希孺.遥感物理[M].北京:北京大学出版社,2005:26-120.]
- [28] Zhao Yingshi. Principles and methods of remote sensing application analysis[D].Beijing: Science Press, 2003:36-39.[赵英时.遥感应用分析原理和方法.北京:科学出版社,2003:36-39.]

Irrigation Area Monitoring in Jiefangzha Irrigation District based on Landsat 8 Satellite Data

Du Enyu^{1,2,3}, Chen Fang^{1,2,3,4}, Jia Huicong^{1,2}, Wang Lei^{1,2}, Yang Aqiang^{1,2}

(1. *Key Laboratory of Digital Earth Science, Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China;*

2. International Research Center of Big Data for Sustainable Development Goals, Beijing 100094, China;

3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

4. Hainan Key Laboratory of Earth Observation, Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Sanya 572029, China)

Abstract: The monitoring of information such as irrigation area and drought conditions in irrigation districts is the basis of irrigation districts management, while the traditional way to get the information cannot meet the research needs. Satellite remote sensing is a powerful technical means for water resources management. Taking the Jiefangzha Irrigation district in Inner Mongolia Autonomous Region as a research area, the Landsat 8 satellite data were selected to calculate and analyze the distribution and change of the Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) and the Modified Perpendicular Drought Index (MPDI). The paper built a remote sensing model of irrigation area based on drought index difference threshold to determine the threshold and extract the irrigation area. The results showed that the Jiefangzha Irrigation district received a large scale of irrigation in July to August in 2017. Through comparing the irrigation area extracted by using two drought index difference thresholds with the real irrigation area, the monitoring accuracy of TVDI and MPDI is 82.96% and 74.01%, respectively. And the high-resolution data of Google Earth is selected as the real data to calculate the confusion matrix. The results showed that the overall accuracy of MPDI extraction is 94.17%, which is higher than 58.90% of TVDI. The two results illustrate the feasibility of calculating drought index for irrigation drought monitoring and area extraction. However, in terms of spatial distribution, compared with TVDI, MPDI can better reflect the drought situation, and the spatial distribution of the irrigation district is more reasonable.

Key words: TVDI; MPDI; Irrigation area; Difference threshold; Confusion matrix