DOI:10.19789/j.1004-9398.2017.03.016

机载热红外相机应用于农业干旱监测的实验研究*

胡德勇[1] 乔 琨[2] 王兴玲[3] 季国华[1]

(1. 首都师范大学资源环境与旅游学院,北京 100048; 2. 北京师范大学资源学院,北京 100875;
3. 民政部信息中心,北京 100072)

摘 要

机载热红外遥感技术为农业干旱监测提供了新的技术手段,对其开展实验研究具有现实意义. 本文以红外多角度相机(multi-angular infrared camera, MAIC)获取的高分辨率热红外遥感图像为基本数据源,选取高分一号(GF-1)遥感图像为辅助数据,基于归一化差值植被指数(NDVI)-地表温度(Ts)特征空间计算实验研究区的温度-植被指数(TVDI)值,并据此得到了研究区干旱分级结果; 最后利用野外同步测定的土壤水分数据,对遥感反演结果进行验证和精度分析,探寻机载红外相机在农业干旱监测方面的应用潜力. 结果表明: (1) 利用机载 MAIC 热红外数据和 GF-1 数据可以反演地表温度、植被指数等地表参量,进而可以构建 NDVI-Ts 特征空间; 在该二维特征空间中,该研究区的图像像元集聚为三角形形态,可以较好地刻画研究区不同地表覆盖类型的干湿状况; (2) 利用该研究区 NDVI-Ts 特征空间计算得到的 TVDI 值与地表土壤水分呈显著负相关; TVDI 值与实测地表土壤水分线性回归分析结果相关性较高,R^2 约为 0.389 1; (3) 干旱等级表达了土壤水分对农作物生长状态的胁迫作用,可以较好地显示农业干旱特征. 与星载红外遥感数据相比,机载红外相机获取的数据具有较高灵活性,更利于干旱区域的机动监测. 本文研究表明机载 MAIC 数据在干旱监测方面具有较大的应用前景.

关键词: 机载,热红外相机,农业干旱,TVDI,遥感监测.
中图分类号: : P237

0 引 言

农业干旱是指因降水不足、土壤含水量过低和作物得不到适时适量的灌溉等原因,水分供给无法满足农作物生长发育的要求,造成作物缺水的状态. 监测农作物的缺水状态及其发展程度可以为灾害预警提供参考. 传统监测方法主要是站点观测,它具有局地性,因而其效率比较低下. 由于遥感能够快速、方便地获取大面积的地表信息,使用遥感技术进行农业干旱监测具有较大优势. 随着遥感技术的迅速发展,多频段、多时相遥感数据为农业干旱监测提供了新的途径.

农业干旱遥感监测的关键是反演土壤含水量,利用它可以估计干旱的强度和范围. 也有研究者提出了利用植被指数(vegetation index, VI)和地表温度(surface temperature, Ts)等参量来间接监测农业干旱[1-3]. 但是,如果单独以 VI 作为水分胁迫指标,它又存在一定的时间滞后性; 如果单独以遥感获取的 Ts 为指标,在植被覆盖不完全条件下,较高的土壤背景温度会严重干扰土壤湿度信息. 因而,综合两个参数的生理生态意义,能够有效减小植被覆盖对遥感监测的影响,同时也能提高监测的时效性[4-6]. 研究表明,由遥感反演得到的 VI 和 Ts 之间存在着负相关关系,其比值在干燥与湿润两类地表状态下有显著的变化,可以用于地表干湿状态监测. 如 Price[7], Carlson[8] 等发现归一化差值植被指数(normalized differential vegetation index, NDVI)与 Ts 之间存在负相关关系,如果研究区植被覆盖包含从裸土到全覆盖,土壤湿度从极干旱到极湿润等各种特征,则以遥感数据反演得到的 NDVI、Ts 为横、纵坐标组成的二维空间中,图像像元的散点图呈三角形. Goetz[9] 发现在该特征空间中 Ts 与 NDVI 的比值与土壤湿度之间存在一元线性关系; Sandholt[10] 等分析了该特征空间的生态机理和地表干湿特征变化的生理机制,提出了利用温度-植被干旱指数

收稿日期: 2016-06-13
* 国家自然科学基金(41671339).

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(temperature vegetation dryness index,TVDI)估算土壤表层水分状况,取得了较好的效果.

国内已有研究者利用 TVDI 在不同地域进行干旱监测,如在西北内陆植被覆盖条件较差地域的干旱监测[11-14]、内蒙古草原地区的旱情监测[15]、我国东部区域植被覆盖条件较好地域的干旱监测[16]等,这些应用显示了 TVDI 用于大区域、长期农业干旱监测是可行的. 但是,目前热红外遥感数据的农业干旱监测应用大多都是基于星载遥感数据开展的[17-20]. 机载平台的不断发展、数据质量的不断提高,为农业干旱监测提供了新的数据源. 与星载传感器获取的遥感图像相比,它具有较高的空间分辨率、获取的地面信息更丰富、信息量更大; 另外,机载红外相机可以摆脱星载遥感受时间和空间分辨率限制等不利因素,获取信息具有较大的灵活性、更加便捷. 所以,机载热红外图像的这些特性给农业干旱遥感监测带来了新的挑战,需要对先前针对星载遥感数据提出的干旱监测技术方法开展实验和验证.

本文开展了红外多角度相机(multi-angular infrared camera, MAIC)的农业干旱监测实验研究. 根据机载 MAIC 高分辨率热红外遥感数据的特性,选取高分一号(GF-1)遥感图像作为辅助数据; 基于 NDVI-Ts 特征空间理论,计算实验研究区的 TVDI 值,然后开展了研究区农作物干旱状态的遥感监测; 最后利用野外同步测定的土壤水分数据,对遥感反演结果进行验证和精度分析,从而探寻机载红外相机数据在农业干旱监测方面的应用潜力.

1　研究区和数据

1.1　研究区

实验飞行区选在河南省郑州市上街机场及其附近区域(经纬度约为 113°15′24″ ~ 113°17′33″E,34°49′56″ ~ 34°51′36″N),地势比较平坦,包含城镇居民区、农地、裸土、工业设施等典型土地覆被类型(如图 1(a)所示). 研究区的主要农作物类型为小麦(如图 1(b)所示,A 区域为小麦种植区),实验期间正值当地小麦成熟期. 该区处于中纬度暖温带,属季风型大陆性气候. 由于该区降水量的年际、季际变化较大,年内四季都可能有农业干旱发生,因而是农业干旱遥感观测较好的实验场所.

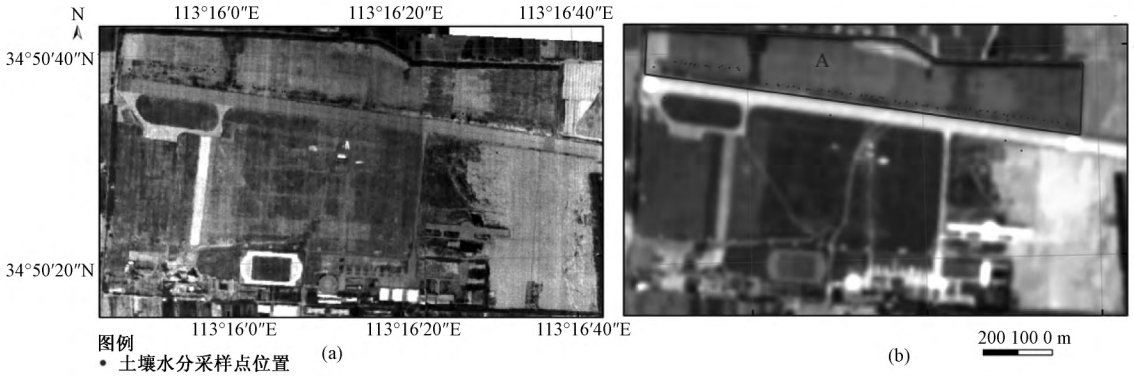


图 1　研究区位置及图像特征(a,机载 MAIC 的 B3 通道图像; b,GF-1 彩色合成图像 R(3) G(2) B(1).)

1.2　红外相机数据和地面同步观测数据

本次实验用的红外相机 MAIC 由北京空间机电研究所研制,在近红外、热红外波段设计有 4 个通道,通道波长范围分别为 B1(0.845 ~ 0.885 μm)、B2(0.915 ~ 0.965 μm)、B3(10.3 ~ 11.3 μm)和 B4(11.5 ~ 12.5 μm). B1 和 B2 的成像方式为线阵推扫式,探元数为 1 600 个; B3 和 B4 则采用阵列成像式,探元为 640 × 480 的非致冷红外焦平面阵列.

本次农业干旱监测实验所使用的数据主要为热红外通道数据,包括 B3、B4 2 个谱段,其辐射定标精度≤1K,图像量化位数为 10 bit. 图 2 显示了 B3、B4 通道的光谱响应函数及其大气透过率特征曲线(全部大气成分、水汽成分).

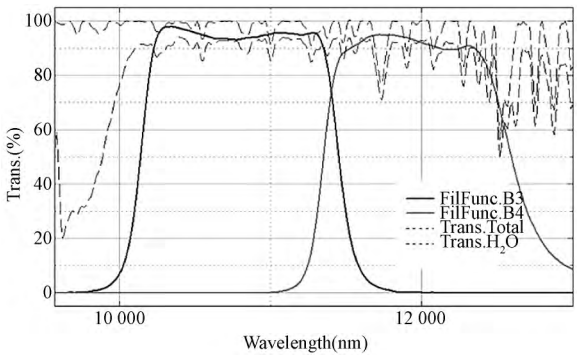


图 2　热红外通道的光谱响应函数及其大气透过率特征曲线

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

由于 B3、B4 为阵列探测器,在实验航线规划时,考虑到航向和旁向重叠需求,将其分别设置为 85%、30%. 根据相机焦距、探元数、曝光频率等参数进行飞行重叠度、航带间距的设计与计算,然后根据空域情况、飞行时间、太阳天顶角、方位角等因素进行航线规划. 最后,在 2014 年 5 月 22 日获取了实验区图像数据(如图 1(a)所示),飞行实验的飞机高度设定为 3 km,机下点 B3、B4 地面像元分辨率为 2 m,图像的刈幅宽度为 600 m.

同时,还收集了实验期间过境的 GF-1 卫星数据,主要用来辅助计算植被指数和地表发射率. GF-1 全色数据(波长范围为 0.45 ~ 0.90 μm)空间分辨率为 2 m;多光谱数据包括 4 个通道,通道波长范围分别为 B1(0.45 ~ 0.52 μm)、B2(0.52 ~ 0.59 μm)、B3(0.63 ~ 0.69 μm)、B4(0.77 ~ 0.89 μm),空间分辨率为 8 m. GF-1 数据经全色和多光谱数据融合处理,最后图像的空间分辨率为 2 m.

地面土壤湿度实测数据为 2014 年 5 月 22 日在研究区内实地测量的地表土壤体积含水量. 实测数据主要包括两部分:①利用 4 台六路"湿度仪"连续记录的裸土、小麦、稀疏草地和浓密草地等不同土地覆被类型的 10 cm 深度处的土壤体积含水量数据;②利用"三参仪"测量的地表 10 cm 深度处的土壤湿度数据. 为了保证样点具有代表性,利用"三参仪"在裸地、小麦、稀疏草地和浓密草地等不同区域多次采样,共获取 71 个土壤含水量样本数据.

另外,地面团队还进行了实验期间的大气参数的测定,通过释放探空气球来测量温度、湿度、压力等大气廓线数据,然后估算下垫面到飞机飞行高度之间的大气水汽含量,并推算了大气透过率、大气上行辐射亮度和大气下行辐射亮度等参数.

2 原理和方法

2.1 农业干旱遥感监测的基本原理

在 NDVI-Ts 特征空间中,TVDI[7] 可以作为农业干旱遥感监测指标:

$$\mathrm{TVDI} = \frac{Ts - Ts_{\min}}{Ts_{\max} - Ts_{\min}} \tag{1}$$

式(1)中,TVDI 为图像像元的温度 - 植被干旱指数值(无量纲);Ts 为该像元的地表温度值(单位:K);$Ts_{\min}$ 为该像元对应的"湿边"温度(单位:K),它是该 NDVI 条件下最小地表温度;$Ts_{\max}$ 为该像元对应的"干边"温度(单位:K),它是该 NDVI 条件下对应的最大地表温度.

式(1)中,"湿边"和"干边"可表示为:

$$Ts_{\min} = a + b \times \mathrm{NDVI} \tag{2}$$

$$Ts_{\max} = c + d \times \mathrm{NDVI} \tag{3}$$

式(2)~(3)中,NDVI 是图像像元的归一化差值植被指数(无量纲);a、b、c、d 分别是"湿边"和"干边"的线性拟合系数.

对于每个图像像元来说,根据其对应的在 NDVI-Ts 特征空间中的具体位置,可以计算该像元的 TVDI 值,即采用它作为衡量其农业干旱程度的定量指标. 在"干边"上 TVDI 等于 1,在"湿边"上 TVDI 等于 0;越接近"干边"则 TVDI 越大,表示农业干旱越严重;相反,越接近"湿边"则 TVDI 越小,表明干旱不明显.

2.2 方 法

由式(1)~式(3)可看出,计算 TVDI 值需要求算 Ts 和 NDVI 值,据此制定本文的研究方案为:Ts 由 MAIC 热红外数据反演得到,NDVI 利用同步成像的 GF-1 数据估算.

总体技术路线如图 3 所示,处理过程主要包括:①利用 GF-1 多光谱数据计算 NDVI、地表发射率;②结合 MAIC 热红外数据和地表发射率数据计算 Ts;③构建 NDVI-Ts 特征空间,计算 TVDI 值;根据 TVDI 值的高低情况,划分研究区干旱等级;④农业干旱遥感监测结果的精度验证.

主要研究方法如下:

①利用 GF-1 多光谱数据计算 NDVI、地表发射率

计算 NDVI 公式为:

$$\mathrm{NDVI} = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \tag{4}$$

式(4)中,ρ_3、ρ_4 分别为 GF-1 多光谱影像的第 3、4 波段的反射率.

采用的 Van 经验公式求取地表发射率[21]:

$$\varepsilon = 1.009\,4 + 0.047 \times \mathrm{NDVI} \tag{5}$$

式(5)中,ε 为发射率;NDVI 为归一化差值植被指数.

式(5)中 NDVI 值要求介于 0.157 ~ 0.727 之间,实际应用过程中可能存在超出该值域范围情况. 超出值域范围时,本文采用遥感图像分类法设置发射率值,如水体 NDVI 值小于 0,根据 Masuda 的研究 ε 可近似取值 0.995;城区很多建筑物像元的 NDVI 值都小于 0.157,ε 可以设置为 0.923;NDVI 大于 0.727 时,地表完全由植被覆盖,ε 取值 0.986[22].

②计算 Ts

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

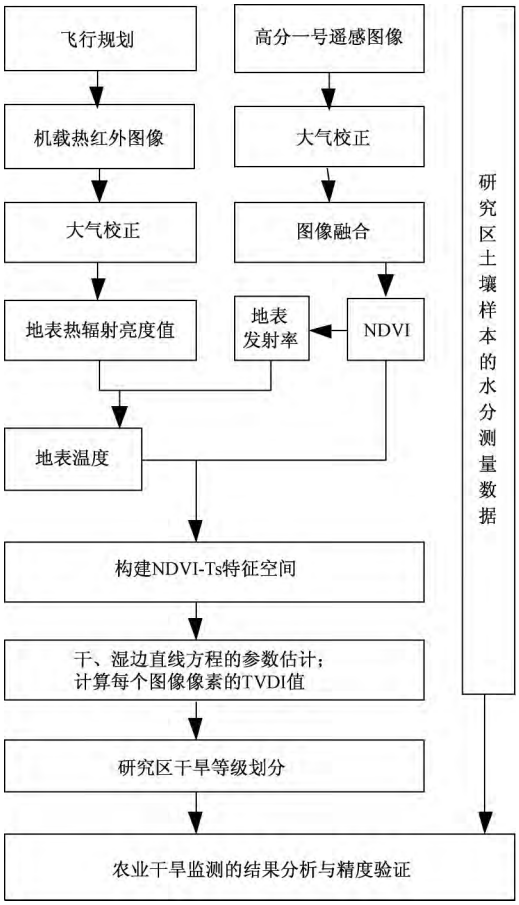


图 3　技术路线示意图

MAIC 提供了 B3、B4 2 个热红外通道，为采用劈窗算法反演 *Ts* 提供了可能. 本文为简化温度反演流程，仅采用了受水汽影响较小的 B3 通道数据，选择单通道方法反演 *Ts*. 根据 MAIC 的热红外波段的光谱范围及其光谱响应函数、普朗克黑体辐射定律等，可以推出 *Ts* 与地表辐射亮度之间的关系:

$$Ts = K_2 / \ln\left[1 + K_1 / L_{surface}\right] \quad (6)$$

式(6) 中，T_s 为地表温度(K)；$L_{surface}$ 为地表辐射亮度($wm^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$)；$K_1 = 818.610$，$K_2 = 1\,335.736$.

根据 MAIC 的热红外波段大气辐射传输过程，可以推导出 $L_{surface}$ 的计算公式:

$$L_{surface} = \frac{L_{sensor} - L_{up} - (1-\varepsilon) \times L_{down} \times \tau}{\varepsilon \times \tau} \quad (7)$$

式(7) 中: $L_{surface}$ 为地表辐射亮度($wm^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$)；$L_{sensor}$ 为传感器的接收到的辐射亮度($wm^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$)；$\varepsilon$ 为地表比辐射率(无量纲)；τ 为大气透过率(无量纲)；L_{up} 大气上行辐射($wm^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$)；$L_{down}$ 为大气下行辐射($wm^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$).

根据地面同步测量团队的估算，τ、L_{down}、L_{up} 的取值分别为 0.888、1.15、1.108.

L_{sensor} 由 MAIC 的热红外波段图像经辐射定标后得到，公式为:

$$L_{sensor} = G \times DN + b \quad (8)$$

式(8) 中，DN 为图像的灰度值，G 为图像的增益值，b 为图像的偏移值.

根据地面同步测量团队的定标结果，G、b 取值分别为: 第一航线取 0.041 2、70.058; 第四航线取 0.034 9、49.303.

③计算 TVDI

根据①②计算得到的 NDVI 和 *Ts*，构建 NDVI–Ts 特征空间; 在特征空间，将 NDVI 的步长设置为 0.01，提取同一 NDVI 值对应 *Ts* 的最大值、最小值，得到拟合“干、湿边”的特征点; 采用最小二乘法，拟合“湿边”和“干边”的线性系数 a、b、c、d; 最后根据公式(1)，计算图像像元的 TVDI 值.

3　结果及其精度验证

3.1　NDVI–Ts 特征空间与“干、湿边”拟合

以 NDVI 为横坐标、*Ts* 为纵坐标，绘制图像像元的二维散点图，得到 NDVI–Ts 特征空间，如图 4 所示.

从图 4(a) 可以看，NDVI–Ts 特征空间基本符合三角形特征. 随着 NDVI 值的不断增大，*Ts* 的最大值

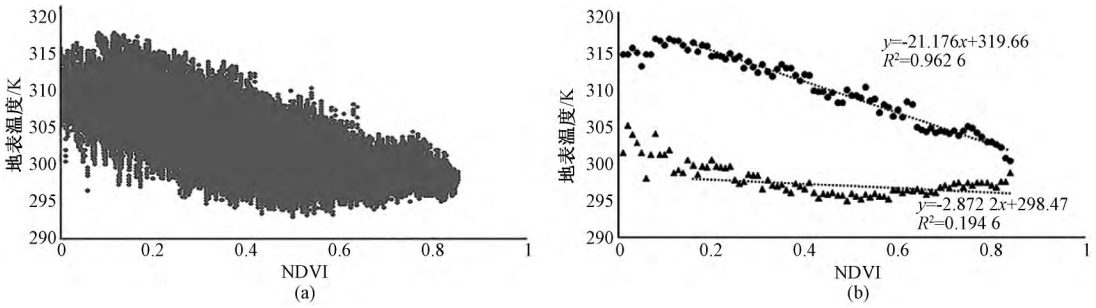


图 4　NDVI–Ts 特征空间的散点图及其干湿边拟合

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

逐渐降低,其"干边"较好地显示出线性特征;同时,随着 NDVI 值的增加,Ts 的最小值也大致呈现逐渐减小的趋势,但"湿边"的线性特征稍差. 究其线性特征不显著的原因,可能和该研究区的土壤水分值域范围有关. 研究区的土壤比较干燥、水分含量较低;尤其是低植被覆盖的裸露和半裸露区域,其土壤水分的差异性不显著,致使 NDVI-Ts 特征空间的左下角散点分布较少,但整体上不会影响三角形特征空间的"湿边"拟合.

根据 TVDI 的定义,"干、湿边"拟合的具体处理过程如下:先搜寻"干、湿边"的特征点,然后利用这些特征点来采用最小二乘法进行回归分析,求解直线方程参数,"干、湿边"直线如图 4(b) 所示. 从线性拟合的 R^2 值来看,"干边"拟合结果稍好;"干边"和"湿边"的斜率都小于 0,即随着植被指数的增加,对应的地表温度的最大值、最小值都在减小.

3.2 TVDI 结果及农业干旱等级划分

在已完成求解"干、湿边"直线方程的系数基础上,根据式(1) ~(3) 计算研究区图像像元的 TVDI 值,结果如图 5 所示.

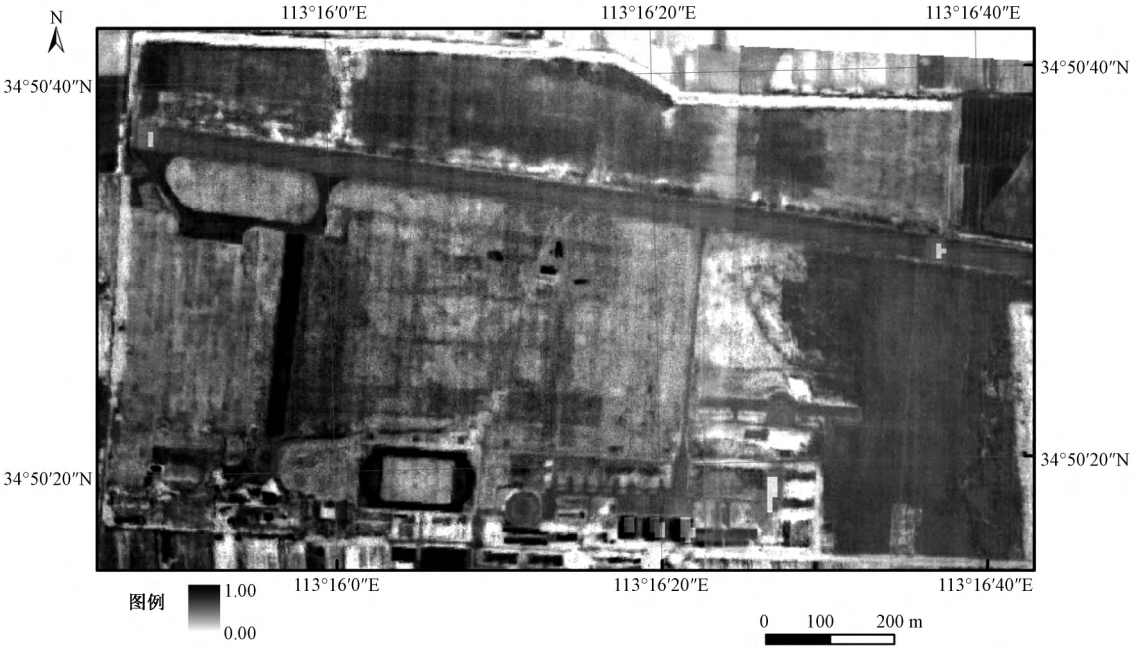


图 5 研究区 TVDI 值示意图

对比图 5 和图 1(b),可以看出城镇居民地、工业设施、农地、裸土等典型地物的 TVDI 值差异较大. 总体说来,由人工建筑材料构成的下垫面(如城镇居民地和工业设施等类型) TVDI 值比较高,裸露地表的 TVDI 值次之,植被覆盖下垫面(如农地、荒草地和树木覆盖等类型) TVDI 值较低;实验进行时,小麦正值成熟期,但由于局部土壤水分供给的差异,导致整体进度不一,TVDI 值的高低可以将该局地差异表现出来,根据该差异可以判断其农业干旱的强弱.

以 TVDI 值作为干旱等级划分指标,采用自然断点法分割,将农业干旱情况划分为 5 级:湿润($0 < TVDI \leqslant 0.16$)、正常($0.17 < TVDI \leqslant 0.31$)、轻旱($0.32 < TVDI \leqslant 0.41$)、干旱($0.42 < TVDI \leqslant 0.49$)、重旱($0.50 < TVDI \leqslant 0.72$),如图 6 所示.

从干旱等级图(图 6) 可以看出,研究区内农作物干旱较严重的区域(主要是指重旱和干旱类别)主要集中在西部;正常和轻旱状况主要分布在农作物的东部;湿润区域主要为研究区的地势低洼地段.

3.3 结果精度验证

分析同步测定的 10 cm 深度土壤体积含水量数据,中间部位的土壤水分最低,约 20.9 ~ 12.90 g/m^3;其次是西部区域,约介于 23.90 ~ 17.01 g/m^3 之间;东部区域的土壤含水量稍高,约介于 33.50 ~ 23.91 g/m^3 之间.

对比干旱等级图和同步测定土壤体积含水量数据的空间位置,可以看出,TVDI 值的高低空间特征和土壤含水量空间分布是一致的,较低的土壤含水量导致农业干旱的产生,表现为 TVDI 值较高. 在图 6 中,农业干旱监测结果的重旱、干旱和轻旱发生区域,基本上皆为土壤水分含量较低区域.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

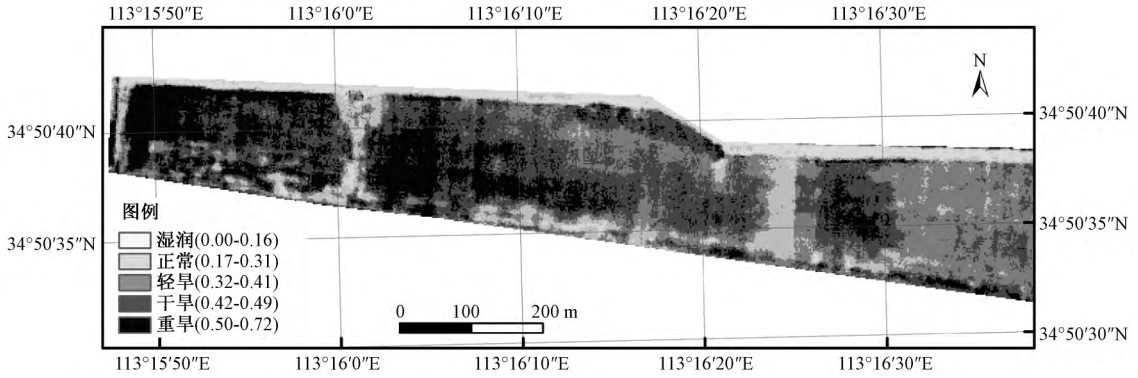


图 6　农作物的干旱等级空间分布图

同时,还绘制了 TVDI 值和土壤体积含水量值的二维散点图,并定量分析了二者之间的关系,结果如图 7 所示.

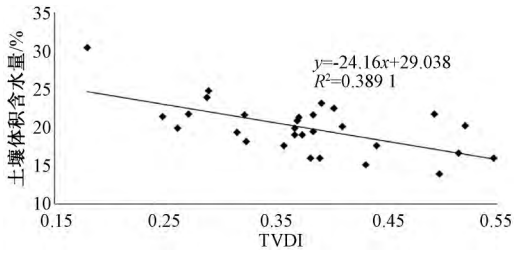


图 7　土壤含水量和 TVDI 关系图

从图 7 可以看出,TVDI 与土壤体积含水量之间呈现负相关关系,即土壤含水量越低,TVDI 值越高,旱情越严重; TVDI 值和土壤水分实测数据之间的线性拟合结果 R^2 值为 0. 389 1,通过了 0. 05 显著性检验.

可以看出,联合机载热红外相机 MAIC 数据和 GF-1 数据,以 TVDI 为监测指标,能够反映区域农业干旱的空间分布状况.

4　结　论

本文采用机载相机的高分辨率热红外数据,并结合高分辨卫星遥感数据,开展了干旱监测实验研究. 基于 NDVI-Ts 特征空间建立实验研究区的干旱监测遥感模型,并利用野外同步测定的土壤水分数据对农业干旱遥感反演的结果进行验证和分析,探寻了机载红外相机在干旱监测方面的能力,结论如下:

(1) 利用机载热红外数据和 GF-1 数据可以反演地表温度、植被指数等地表参量,进而可以构建 NDVI-Ts 特征空间; 在二维特征空间中,该研究区的图像像元集聚为三角形形态,可以较好地刻画研究区不同地表覆盖类型的干湿状况;

(2) 利用该研究区 NDVI-Ts 特征空间的"干、湿边"定义和其直线参数估计,计算了 TVDI 值,并据此开展了针对农作物的干旱等级划分. TVDI 值与地表土壤水分值呈显著负相关,即土壤含水量越低,对应的 TVDI 值越小,反之亦然; TVDI 值与实测地表土壤水分线性回归分析结果相关性较高,两者间的 R^2 约为 0. 389 1; 干旱等级可以较好地显示土壤水分对农作物生长状态的胁迫作用,可以较好地显示农业干旱特征.

与星载红外遥感数据相比,虽然机载红外相机获取的数据单景范围较小,但是它具有较高的时效性和更高的灵活性,更利于在发生干旱的区域进行机动监测,从该角度看来,它具有优于星载传感器的干旱监测能力.

参　考　文　献

[1]　闫峰,覃志豪,李茂松,等. 农业旱灾监测中土壤水分遥感反演研究进展[J]. 自然灾害学报,2006,15(6):114.
[2]　张清,周可法,赵庆展,等. 区域土壤水分遥感反演方法研究[J]. 新疆地质,2008,26(1):107-116.
[3]　陈书林,刘元波,温作民. 卫星遥感反演土壤水分研究综述[J]. 地球科学进展,2012,27(11):1192-1203.
[4]　Gao Z L, Zheng X P, Sun Y J, et al. A novel method of soil moisture content monitoring by land surface temperature and

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

LAI [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2015, 35(11): 3129 - 3133.
[5] Fan L, Xiao Q, Liu J, et al. Evaluation of the airborne CASI/TASI Ts-VI space method for estimating near-surface soil moisture [J]. Remote Sensing, 2015, 7(3): 3114 - 3137.
[6] Yang Y, Guan H, Long D, et al. Estimation of surface soil moisture from thermal infrared remote sensing using an improved trapezoid method [J]. Remote Sensing, 2015, 7(7): 8250 - 8270
[7] Price J C. Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1990, 28(5): 940 - 948.
[8] Carlson T N, Gillies R R, Perry E M. A method to make use of thermal infrared temperature and NDVI measurements to infer surface soil water content and fractional vegetation cover [J]. Remote Sensing Review, 1994, 9: 161 - 173.
[9] Goetz S J. Multi-sensor analysis of NDVI, surface temperature and biophysical variables at a mixed grassland site [J]. International Journal of Remote Sensing, 1997, 18(1): 71 - 94.
[10] Sandholt I, Rasmussen K, Andersen J. A simple interpretation of the surface temperature/ vegetation index space for assessment of surface moisture status [J]. Remote Sensing of Environment. 2002, 79(2 - 3): 213 - 224.
[11] 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 [J]. 遥感技术与应用, 2004, 19(6):473 - 478.
[12] 杨秀海,卓嘎,罗布. 基于 MODIS 数据的西北地区旱情监测 [J]. 草业科学,2011,28(8):1420 - 1426.
[13] 闫娜,李登科,杜继稳,等. 基于 MODIS 产品 LST/NDVI/EVI 的陕西旱情监测 [J]. 自然灾害学报,2010,19(4):178 - 182.
[14] 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 [J]. 中国沙漠,2012,32(1):148 - 154.
[15] 陈斌,张学霞,华开,等. 温度植被干旱指数(TVDI)在草原干旱监测中的应用研究 [J]. 干旱区地理,2013,36(5):930 - 937.
[16] 范辽生,姜纪红,盛晖,等. 利用温度植被干旱指数(TVDI)方法反演杭州伏旱期土壤水分 [J]. 中国农业气象,2009,30(2):230 - 234.
[17] 王纯枝,毛留喜,何延波,等. 温度植被干旱指数法(TVDI)在黄淮海平原土壤湿度反演中的应用研究 [J]. 土壤通报,2009(5):998 - 1005.
[18] 张喆,丁建丽,鄢雪英,等. 基于温度植被干旱指数的土库曼斯坦典型绿洲干旱遥感监测 [J]. 生态学杂志,2013,32(8):2172 - 2178.
[19] 赵承华,阿拉腾图娅. 基于 MODIS 数据的多种干旱监测方法在锡林郭勒草地上的对比分析 [J]. 阴山学刊:自然科学版,2014,28(1):20 - 25.
[20] 孙芹芹,谭建军. 利用 NDVI-T 特征空间法进行广东省土壤旱情监测研究 [J]. 遥感信息,2008(4):66 - 70.
[21] Van De Griend A A, Owe M. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for nature surfaces [J]. Int J Remote Sensing, 1993, 14(6):1119 - 1131.
[22] Masuda K, Tkashima T, Takayama Y. Emissivity of pure and sea waters for the model sea surface in the infrared window region [J]. Remote Sensing of Environment, 1988, 24(2):313 - 332.

Experimental Study on Monitoring Agricultural Drought Using Airborne Thermal Infrared Camera

Hu Deyong[1] Qiao Kun[2] Wang Xingling[3] Ji Guohua[1]

(1. College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048;
2. College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875;
3. Information Center, Ministry of Civil Affairs, Beijing 100072)

Abstract

It is a new technique to monitor agricultural drought using airborne thermal infrared remote sensing data, so its

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

experiment is significant to future applications. In this paper, the high resolution thermal infrared remote sensing image acquired by multi-angular infrared camera (MAIC) is selected as the basic data, and the GF-1 remote sensing image is selected as the auxiliary data, and then the TVDI value is calculated based on the NDVI-Ts feature space. Based on the TVDI results, the grades of drought classification in the study area were obtained; finally the soil moisture data measured in field are used to verify and analyze the accuracy of retrieval result from remote sensing data. The results show: (1) some surface parameters can be retrieved such as the surface temperature, vegetation index and other by using airborne MAIC thermal infrared data and GF-1 data, and then the NDVI-Ts feature space can be constructed. In this two dimensional feature space, the imagery pixels of the study area can be used to describe the dry and wet conditions of different land-cover types. (2) The TVDI values obtained from the NDVI-Ts feature space of the study area are significantly negative correlated with the surface soil moisture, and the correlation was high between the TVDI and the measured surface soil moisture using a linear regression analysis, and R^2 was about 0.389 1. (3) Drought level can express the stress of soil moisture on the growth of crops, and can better show the characteristics of agricultural drought. Compared with satellite borne infrared remote sensing data, airborne infrared camera has higher flexibility, and is more conducive to the monitoring of the drought area. This paper shows that the airborne MAIC data has a great application prospect in drought monitoring.

Key words: airborne, thermal infrared camera, agricultural drought, TVDI, remote sensing monitoring.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net