季建万，沙晋明，金彪. 山东半岛东北部地区干旱遥感监测[J]. 灾害学，2018，33(2)：206 - 211. [JI Jianwan，SHA Jinming，JIN Biao. Monitoring drought of northeastern Shandong Peninsula using remote sensing[J]. Journal of Catastrophology，灾害学，2018，33(2)：206 - 211. doi：10.3969/j.issn.1000 - 811X.2018.02.036.]

山东半岛东北部地区干旱遥感监测*

季建万[1]，沙晋明[1]，金 彪[1,2]

（1. 福建师范大学 地理科学学院，福建 福州 350007；2. 福建师范大学 数学与信息学院，福建 福州 350108）

摘 要：利用2017/02/27与2017/05/18两期Landsat 8遥感影像数据，反演得到地表温度和植被指数，构建LST - VI特征空间，并对建立的温度植被干旱指数进行分级分析与差值变化监测。主要结论如下：①两期影像LST - VI特征空间整体上均近似呈现三角形，MSAVI指数拟合的干湿边方程结果均优于NDVI指数，平均R^2为0.769 9。②研究区干旱等级变化整体呈现“三增两减”的特征，其中中度干旱面积增加3 694 km^2，增幅高达225.76%，并且增加来源主要是轻度干旱等级。③研究区干旱等级差值检测以等级增加为主，增加总面积为5 435.07 km^2，但等级增加与等级降低均主要为变化一个等级。整体而言，研究区干旱等级逐渐增加，干旱不断加强。

关键词：温度植被干旱指数；干旱；遥感监测；地表温度；植被指数；山东半岛

中图分类号：X43；TP79　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1000 - 811X(2018)02 - 0206 - 06

doi：10.3969/j.issn.1000 - 811X.2018.02.036

干旱作为一种普遍的自然现象，其出现频率高、持续时间长、波及范围大，是影响人类生产生活最为严重的自然灾害之一[1-2]。在过去的50年内，全球极端干旱区域面积增加了2倍以上，干旱发生频率也显著增加[3]。山东省作为气象灾害严重的省份之一，其频繁发生的干旱灾害造成的经济损失数额巨大[4]。目前传统的监测干旱的方法主要是台站网络监测，但其花费大量人力物力、数据获取速度慢、监测范围有限、代表性差，难以对大范围的区域实现连续动态的监测[5]，而卫星遥感技术的监测范围广、观测频率高等优势已充分应用到干旱监测与损失评估之中[6-7]，国内外已有大量方法对干旱进行了成功的监测，如热惯量法、微波遥感法、植被遥感方法、温度条件指数、双层模型与基于MODIS数据的干旱监测综合模型等[8-9]，其中Sandholt等[10]提出的温度植被干旱指数(Temperature - Vegetation Dryness Index)是应用最为广泛的方法之一，如刘玉琴等[11]分别运用EVI和NDVI指数构建TVDI对福州地区土壤干湿状况进行遥感监测，结果表明前者监测精度更高；王娇等[12]利用经过DEM校正后的地表温度构建改进型温度 - 植被干旱指数，取得了良好的监测结果；朱小强等[13]在构建TVDI指数基础上对煤田温度异常区进行提取，亦取得了良好的结果；曹影等[14]基于TVDI指数对云南干旱情况进行了监测，结果表明干旱分布区域与实际情况基本吻合；伍漫春等[15]对比分析MSAVI与NDVI分别构建的TVDI指数，结果表明MSAVI植被指数构建的TVDI监测结果更好。

本文在国内外学者研究成果的基础上，以山东半岛东北部为研究区，分别构建LST - MSAVI和LST - NDVI特征空间，对比干湿边拟合方程结果，并对研究区干旱情况进行遥感监测，以期为相关部门提供一定的参考。

1 研究区及数据预处理

1.1 研究区概况

研究区位于山东半岛东北部，分别由烟台市、龙口市、栖霞市、蓬莱市、招远市、莱州市、莱阳市和莱西市组成，总面积为11 947.02 km^2，地形以低山丘陵为主，地势中部高，四周低，是典型的大陆性季风气候，具有四季分明，光照充足的特点，同时该区域春季风大、降雨稀少，也是旱灾的高发区，图1是研究区地理位置图。

* 收稿日期：2017 - 08 - 16　　修回日期：2017 - 10 - 13

基金项目：国家自然科学基金青年科学基金项目(61402109)；科技部对欧合作专项(247608)；International University Cooperation on Land Protection in European - Asiatic Countries(561841 - EPP - 1 - 2015 - 1 - IT - EPPKA2 - CBHE - JP)；福建省青年基金创新项目(2015J05120)；福建省教育厅 A 类项目(JA15116)

第一作者简介：季建万(1993 -)，男，江苏淮安人，硕士研究生，主要研究方向为生态环境遥感与地理信息建模. E-mail：1058978732@qq.com

通讯作者：沙晋明(1964 -)，男，广东梅州人，博士，教授，主要研究方向生态遥感与信息地理学. E-mail：jmsha@fjnu.edu.cn

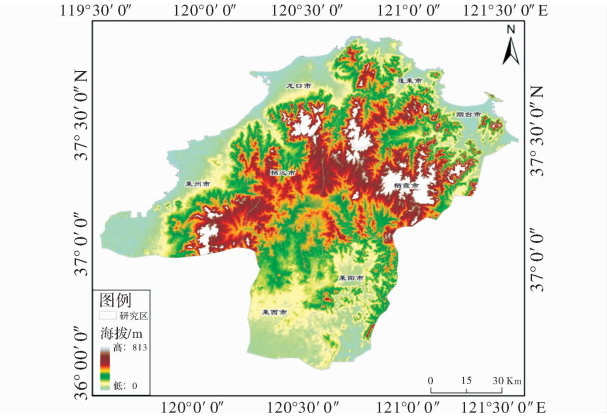


图 1　研究区地理位置图

1.2　数据预处理

Landsat 8 是 NASA 于 2013 年 2 月 11 日发射入空的一颗以 30 m 空间分辨率为主的卫星，其重访周期为 16 d。研究区所在轨道号为 120 和 34，影像获取日期为 2017 - 02 - 27 和 2017 - 05 - 18(https://glovis.usgs.gov/)。由于获取的原始影像记录的是影像的 DN 值，因此需要对其进行辐射校正，以得到地表真实反射率数据。本文采用 COST 大气校正算法对影像数据进行大气校正[16]，表达式如下：

$$\rho_{\lambda_COST} = \lfloor M_\rho (Q_{cal} - Q_h) + A_\rho \rfloor / (\cos\theta_Z \tau)。\tag{1}$$

式中：ρ_{λ_COST}为校正后波段 λ 的地表真实反射率，M_ρ 和 A_ρ 分别是波段 λ 的反射率调整因子与反射率调整参数，可以通过影像 MTL 文件获取，Q_{cal}是影像以 16 位量化的亮度值(DN)，Q_h 是大气影响的修正值，可以通过最暗像元法获得[16]，θ_Z 是影像的太阳天顶角，$\tau = \cos[(90 - \theta_Z)\pi/180]$，是基于 θ_Z 估算的大气透过率，但是该计算公式常高估 τ 值，因此在实际应用中常被省略[17-18]。

2　研究方法

2.1　地表温度反演

本文利用 Jiménez - Muñoz 等[19-20]提出的单通道算法反演地表温度：

$$LST = \gamma[(\psi_1 L_{sen} + \psi_2)/\varepsilon + \psi_3] + \delta;\tag{2}$$

$$\gamma \approx T_{sen}^2 / b_\gamma L_{sen};\tag{3}$$

$$\delta \approx T_{sen} - T_{sen}^2 / b_\gamma。\tag{4}$$

式中：L_{sen}是星上辐射亮度；ε 是比辐射率；T_{sen}是影像反演得到的亮度温度；b_γ 是计算常量，对于 TIRS 10 波段，其值为 1 324 K；Ψ_1、Ψ_2 和 Ψ_3 分别为大气水汽含量 ω 的函数，各参数计算公式如下：

$$L_{sen} = M_L Q_{cal} + A_L;\tag{5}$$

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}};\tag{6}$$

$$P_v = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}};\tag{7}$$

$$\varepsilon = 0.004 P_v + 0.986;\tag{8}$$

$$T_{sen} = K_2 / \ln(K_1 / L_{sen} + 1);\tag{9}$$

$$\psi_1 = 0.04019\omega^2 + 0.02916\omega + 1.01523;\tag{10}$$

$$\psi_2 = -0.38333\omega^2 - 1.50294\omega + 0.20324;\tag{11}$$

$$\psi_3 = 0.00918\omega^2 + 1.36072\omega - 0.27514。\tag{12}$$

式中：M_L 和 A_L 分别为对应波段的调整因子和调整系数，可由 MTL 头文件中获取，Q_{cal}是影像 16 位量化的 DN 值；ρ_{NIR}与 ρ_{Red}分别是影像经过大气校正后的近红外波段和红波段，$NDVI$ 是归一化植被指数，P_v 是植被覆盖度，$NDVI_{veg}$与 $NDVI_{soil}$为对应的植被指数计算阈值，本文分别取 0.7 和 0.05，ε 是根据 Sobrino 等[21-22]提出的计算公式；K_1 与 K_2 是计算常量，对于 TIRS 10 波段，K_1 为 774.89 W/(m^2 · sr · μm)，K_2 为 1 321.08 K，大气水汽含量由美国宇航局提供的全球大气参数库(NCEP)[23]获取。本研究中两期影像平均大气水汽含量分别为 0.557 5 g/cm^2 与 2.013 2 g/cm^2，均未超过 3 g/cm^2。

2.2　植被指数的计算

归一化植被指数($NDVI$)是利用健康植被在近红外波段呈现高反射，而在红波段呈现低反射的特征反映植被生长状况的指示因子，其值范围介于 -1 ~ 1，正值越大，表明植被生长越好，反之，植被生长越差。虽然归一化植被指数应用广泛，但受土壤背景的影响较大，且对于高植被覆盖区域，易出现饱和现象[15]。因此，本文除 $NDVI$ 指数外，选择改进型土壤调整植被指数($MSAVI$)[24-25]，该指数能够有效降低土壤背景的影响，其计算公式为：

$$MSAVI = (2\rho_{NIR} + 1 - ((2\rho_{NIR} + 1)^2 - 8(\rho_{NIR} - \rho_{Red}))^{\frac{1}{2}})/2。\tag{13}$$

式中：ρ_{NIR}与 ρ_{Red}分别是影像经过大气校正后的近红外波段和红波段。

2.3　温度植被干旱指数的计算

温度植被干旱指数是依据 LST 与 VI 特征空间，获得相关的水分胁迫指标即 LST_{max}与 LST_{min}，从而实现对土壤表层水分估算的一种方法[10]，其计算公式如下：

$$TVDI = \frac{LST - LST_{min}}{LST_{max} - LST_{min}} = \frac{LST - (a_2 + b_2 VI)}{(a_1 + b_1 VI) - (a_2 + b_2 VI)}。\tag{14}$$

式中：LST_{max}与 LST_{min}分别是地表温度与植被指数拟合得到的干边和湿边方程，a_1、b_1、a_2 与 b_2 分别是干边和湿边方程拟合系数，VI 是参与拟合的植被指数。

3　结果与分析

3.1　$LST - VI$ 特征空间的建立及对比分析

在 ENVI 软件下，通过 IDL 编程语言，以 0.005 为步长值，得到相同植被指数值(VI)下，地表温度的最大值(LST_{max})和最小值(LST_{min})，并在 Excel 软件中分别得到两种植被指数对应的特征空间与所拟合的干湿边方程，结果如图 2 所示。

由图 2 可以得到，两期影像特征空间整体上均近似为三角形，这与理论描述相符[10]。对于“2017/02/27”影像干边来说，地表温度并未随着植被指数的增加而逐渐降低，而是表现为先增加后波动下降的变化趋势；对于湿边来说，地表温度随着植被指数的增加，表现为先下降后逐渐增加的变化趋势，但是无论干边还是湿边，整体变化趋势均与理论描述相符。对于“2017/05/18”影像干边来说，地表温度随着植被指数增加，呈现出

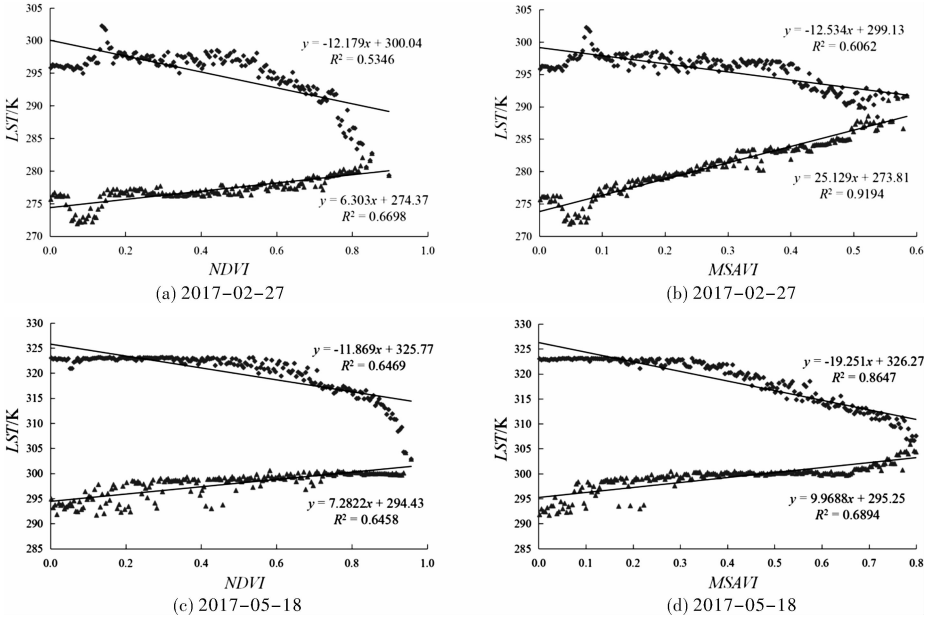


图 2 LST – VI 特征空间

先基本不变后稳步下降的趋势；对于湿边来说，地表温度随着植被指数增加，表现为缓慢增加的趋势，同样，整体变化趋势仍与理论相符合，即干边与湿边逐渐接近并且最终相交于一点。此外，对于两期影像，*NDVI* 拟合的干湿边方程 R^2 均小于对应的 *MSAVI*，表明对于本研究而言，*MSAVI* 植被指数能够更准确描述区域干旱状况，整理得到两时相的 *LST – MSAVI* 特征空间干湿边方程，结果如表 1 所示。

3.2 *TVDI* 干旱等级空间分布及变化分析

通过将两时相对应的干湿边方程带入到公式(14)，得到 *TVDI* 结果，并将其作为研究区干旱分级指标，按照分级标准划分为 5 个等级，分别为(0，0.2)为湿润，(0.2，0.4)为正常，(0.4，0.6)为轻度干旱，(0.6，0.8)为中度干旱，(0.8，1.0)为重度干旱[26]，划分结果如图 3 所示。

由图 3 可以得到，干旱分布状况发生显著改变。在“2017/02/27”，除部分水系湖泊与植被覆盖高的丘陵外，整体均为轻度干旱及以上等级，其中中度干旱主要分布在莱州市与招远市交界处、龙口市、蓬莱市以及莱阳市，并且呈现为块状分布，重度干旱则呈现零星分布；在“2017/05/18”，湿润和正常区域明显减少，尤其是研究区中部河流，已经基本上为轻度以上干旱；此外，对于整个研究区，原轻度干旱区域也大部分变为中度以上干旱，干旱等级明显加强，分布特点也由块状分布转变为片状分布，重度干旱区域由零星分布变为小部分块状分布。对比两期影像，干旱明显增强的原因，一方面与影像获取日期的气温有关，5 月 18 日的气温明显高于 2 月 27 日，导致地表水分蒸发速度加快；另一方面是研究区降水稀少，查询历史天气，研究区内各县级市从 2 月 27 日至 5 月 18 日，平均降水天数约为 7.7 d，且以阵雨和小雨为主，水分的收支严重不平衡，从而导致旱情不断加剧。

利用 ArcGIS 计算得到各干旱等级面积，统计结果如表 2 所示。

表 1 不同时相遥感影像 LST – MSAVI 干湿边方程

影像获取日期	干边方程	湿边方程
2017 – 02 – 27	$y = -12.534x + 299.13$ $R^2 = 0.6062$	$y = 25.129x + 273.81$ $R^2 = 0.9194$
2017 – 05 – 18	$y = -19.251x + 326.27$ $R^2 = 0.8647$	$y = 9.9688x + 295.25$ $R^2 = 0.6894$

表 2 不同干旱等级面积统计

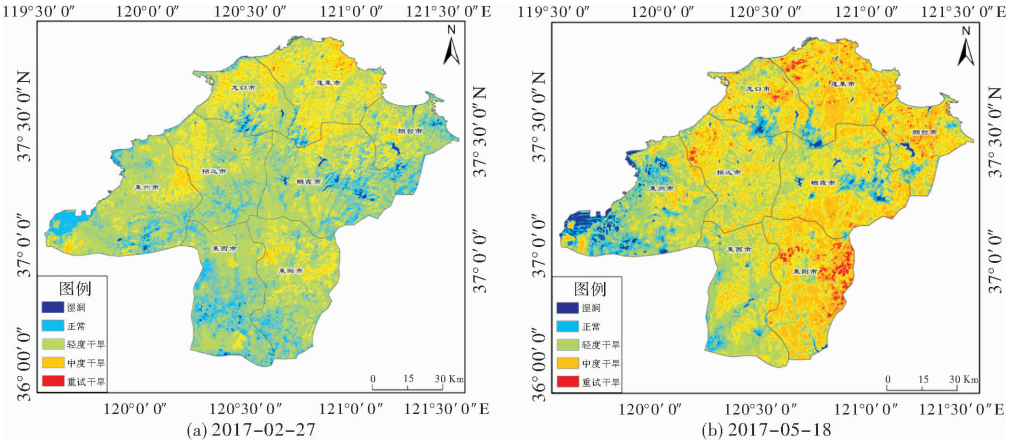
干旱等级	2017 – 02 – 27		2017 – 05 – 18	
	面积/km²	比例/%	面积/km²	比例/%
湿润	83.34	0.70	191.99	1.60
正常	2003.78	16.77	942.27	7.89
轻度干旱	8216.77	68.78	5307.23	44.42
中度干旱	1636.20	13.69	5330.20	44.62
重度干旱	6.93	0.06	175.33	1.47

根据表 2 可以得到，2 月 27 日至 5 月 18 日，正常面积下降了 1 061.51 km²，下降幅度为 52.97%；轻度干旱面积由 8 216.77 km² 减少为 5 307.23 km²，相应的比例由 68.78% 下降为 44.42%；湿润面积虽然上升幅度大，达到 130.36%，但是上升面积仅为 108.65 km²；中度干旱面积由 1 636.20 km² 增加到 5 330.20 km²，增幅高达 225.76%；重度干旱面积增加 168.40 km²。整体来看，呈现“三增两减”的总体特点，其中中度干旱与重度干旱增幅大也从侧面表明研究区干旱等级明显加强，旱情更加严重。

为了更详细地了解各干旱等级间面积转化情况，利用 ArcGIS 和 Excel 软件计算得到不同干旱等级间的面积转移矩阵。表 3 中行表示 5 月 18 日研究区内各干旱等级，列表示 2 月 27 日研究区内各干旱等级；(i，j)处数值表示 2 月 27 日第 i 干旱等级转化为 5 月 18 日第 j 干旱等级的面积；行合计表示 2 月 27 日至 5 月 18 日期间，其他干旱等级转化为该干旱等级的总面积，列合计表示 2 月 27 日至 5 月 18 日期间，该干旱等级转化为其他干旱等级的总面积。

表 3　不同时相干旱等级面积转移矩阵

干旱等级	面积转移/km²					合计
	湿润	正常	轻度干旱	中度干旱	重度干旱	
湿润	27. 16	129. 03	34. 76	1. 04	0. 00	191. 99
正常	28. 91	474. 28	417. 59	21. 44	0. 05	942. 26
轻度干旱	19. 64	1082. 30	3899. 38	305. 70	0. 21	5307. 23
中度干旱	7. 61	317. 39	3808. 33	1194. 65	2. 22	5330. 20
重度干旱	0. 01	0. 79	56. 71	113. 37	4. 45	175. 33
合计	83. 34	2003. 78	8216. 77	1636. 20	6. 93	11947. 02



(a) 2017-02-27　　(b) 2017-05-18

图 3　研究区不同时相干旱等级空间分布

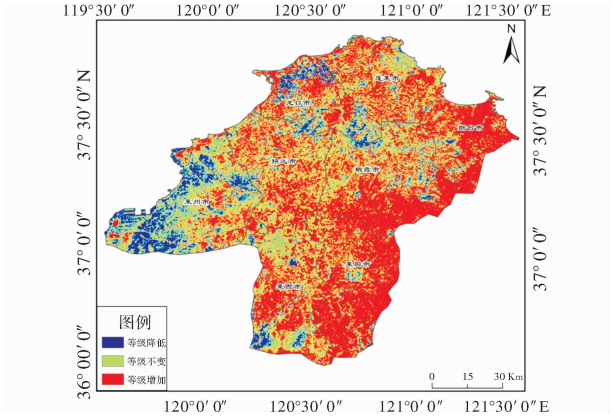


图 4　研究区不同时相干旱等级变化检测

依据表 3 可以得到，在此期间，湿润等级约有 19. 64 km² 转化为轻度干旱，正常等级约有 1 082. 30 km² 转化为轻度干旱，轻度干旱约有 3 808. 33 km² 转化为中度干旱，总体上不同干旱等级之间转化剧烈，并且向严重的趋势发展。

3. 3　TVDI 干旱等级变化检测分析

在 ArcGIS 软件中对两时相 TVDI 干旱等级结果进行栅格差值分析，即在栅格计算器中，利用后时相干旱分级影像减去前时相干旱分级影像，差值结果介于 -4 ~4。其中极差为 0 用绿色表示，代表干旱等级未发生变化；极差为负数用蓝色表示，代表干旱等级降低；极差为正数用红色表示，代表干旱等级增加，得到干旱等级变化检测空间分布图，如图 4 所示，并在此基础上计算各变化等级面积，如表 4 所示。

结合图 4 和表 4 可以得到，干旱等级增加的面积共 5 435. 07 km²，占研究区总面积的 45. 49%，并且主要以增加一个等级为主，空间上主要在研究区莱阳市大部、栖霞市东南部与烟台市东部与南部呈现面状分布，其余基本上呈现块状分布；干旱等级降低的面积共 912. 03 km²，占研究区总面积的 7. 64%，同样以降低一个等级为主，空间上主要分布在莱州市西部和北部、莱西市南部以及龙口市蓬莱市部分丘陵地带。整体来看，研究区干旱强度逐渐增加，并且由块状分布向面状分布扩展。

表 4　研究区不同时相干旱等级差值检测面积变化

类别	2017 - 02 - 27 ~ 2017 - 05 - 18			
	级差	级面积/km²	类面积/km²	比例/%
等级减少	-4	0. 00	912. 03	7. 64
	-3	1. 08		
	-2	56. 41		
	-1	854. 53		
等级不变	0	5599. 92	5599. 92	46. 87
等级增加	1	5032. 93	5435. 07	45. 49
	2	393. 74		
	3	8. 39		
	4	0. 01		

4　结论与讨论

通过反演“2017 - 02 - 27”与“2017 - 05 - 18”两期研究区遥感影像地表温度和两种植被指数，在此基础上，构建 *LST* - *VI* 特征空间；对比分析两种植被指数干湿边方程拟合效果，依据拟合方程

计算得到两期影像的温度植被干旱指数(*TVDI*),并对干旱指数进行等级划分,分析其空间变化特征,主要结论如下。

(1)两期影像 *LST – VI* 特征空间整体上均近似呈现三角形,*MSAVI* 指数拟合的干湿边方程结果优于 *NDVI* 指数,分别为 $y = -12.534x + 299.13$,$R^2 = 0.606\ 2$(2017 – 02 – 27 干边)、$y = 25.129x + 273.81$,$R^2 = 0.919\ 4$(2017 – 02 – 27 湿边)、$y = -19.251x + 326.27$,$R^2 = 0.8647$(2017 – 05 – 18 干边)、$y = 9.9688x + 295.25$,$R^2 = 0.6894$(2017 – 05 – 18 湿边)。

(2)从 2 月 27 日至 5 月 18 日,研究区中度干旱等级由块状分布变为面状分布,面积增加 3 694 km^2,增幅高达 225.76%;重度干旱等级由零星分布变为小部分块状分布,面积增加 168.40 km^2。整体来看,研究区干旱等级变化呈现"三增两减"的特征,且主要为正常等级转化为轻度干旱等级与轻度干旱等级转化为中度干旱等级,转化面积分别为 1 082.30 km^2 和 3 808.33 km^2,共占整个研究区面积比例为 40.93%。

(3)研究区干旱等级差值检测以等级增加为主,增加面积共计 5 435.07 km^2,占研究区总面积的 45.49%;等级降低面积为 912.03 km^2,仅占研究区总面积的 7.64%。无论是等级增加还是等级降低,均以变化一个等级为主。整体来看,研究区干旱等级逐渐增加,干旱不断加强。

本文在一定程度上揭示了研究区干旱变化的空间特征及内部特征,但是由于数据获取来源的限制,仍存在一定的不足之处。首先,仅以两期 Landsat 8 遥感影像作为研究时间点,而干旱具有持续时间长的特征,因此若能够获取连续时相的中等分辨率影像,则能够更加深入地揭示研究区干旱发生与发展的特征;其次,干旱的发生是多种因素的综合体,仅仅以地表温度与植被指数建立的干旱指标并不能完全掌握干旱发生与发展情况,在后续的工作中,应该加以考虑气象数据与地形地貌数据,以使干旱监测结果更具有说服力;最后,对于温度干旱植被指数,仅选择两种植被指数进行对比分析可能还不是干湿边方程最佳拟合结果,未来应进一步考虑与其余反映植被状况的指数,如叶面积指数(*LAI*)、增强型植被指数(*EVI*)等与地表温度构建更为准确的特征空间,以更为准确地监测区域干旱状况。

参考文献:

[1] 杨世琦,高阳华,易佳. 干旱遥感监测方法研究进展[J]. 高原山地气象研究,2010,30(2):75 – 78.

[2] 薛天翼,白建军. 基于 TVDI 和气象数据的陕西省春季旱情时空分析[J]. 水土保持研究,2017,24(4):240 – 246.

[3] 张耀宗,张勃,刘艳艳. 1960 – 2012 年宁夏强干旱时空格局及影响因素分析[J]. 灾害学,2016,31(1):120 – 127.

[4] 蒋红花. 山东省干旱灾害的变化特征及相关分析[J]. 灾害学,2000,15(3):51 – 55.

[5] 王利民,刘佳,邓辉,等. 我国农业干旱遥感监测的现状及展望[J]. 中国农业资源与区划,2008,32(6):4 – 8.

[6] 郭锟,王小平. 遥感干旱应用技术进展及面临的技术问题与发展机遇[J]. 干旱气象,2015,33(1):1 – 18.

[7] 范一大,吴玮,王薇,等. 中国灾害遥感研究进展[J]. 遥感学报,2016,20(5):1170 – 1184.

[8] 闫娜,杜继稳,李登科,等. 干旱遥感监测方法研究应用进展[J]. 灾害学,2008,23(4):117 – 121.

[9] 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 – 121.

[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): 213 – 224.

[11] 刘玉琴,沙晋明,王德生. 基于 TVDI 的福州地区土壤干湿状况遥感监测[J]. 亚热带资源与环境学报,2013,8(4):75 – 80.

[12] 王娇,丁建丽,袁泽,等. 基于 T_s – NDVI 特征空间的绿洲土壤水分监测算法改进[J]. 中国沙漠,2016,36(6):1606 – 1612.

[13] 朱小强,塔西甫拉提·特依拜,依力亚斯江·努尔麦麦提,等. 一种基于 TVDI 模型的煤田温度异常区面积提取方法研究[J]. 干旱区地理,2017,40(3):622 – 632.

[14] 曹影,胡文庆,颜培东. 基于温度植被干旱指数(TVDI)的云南干旱遥感监测[J]. 工程勘察,2016,44(1):69 – 73.

[15] 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.

[16] Chavez P S Jr. Image – based atmospheric corrections – Revisited and revised[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2006, 62(9): 1025 – 1036.

[17] 徐涵秋. 新型 Landsat 8 卫星影像的反射率和地表温度反演[J]. 地球物理学报,2015,58(3):741 – 747.

[18] Ramsey R D, Wright D L Jr, McGinty C. Evaluating the use of Landsat 30m Enhanced Thematic Mapper to monitor vegetation cover in shrub – steppe environments[J]. Geocarto International, 2004, 19(2): 39 – 47.

[19] Jiménez – Muñoz J C, Sobrino J A, Soria J A, et al. Revision of the single – channel algorithm for land surface temperature retrieval from Landsat thermal – infrared data[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2009, 47(1): 339 – 349.

[20] Jiménez – Muñoz J C, Sobrino J A, Skokovic D, et al. Land surface temperature retrieval methods from landsat – 8 thermal infrared sensor data[J]. IEEE Geoscience & Remote Sensing Letters, 2014, 11(10): 1840 – 1843.

[21] Sobrino J A, Jiménez – Muñoz J C, Paolini L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 90(4): 434 – 440.

[22] Sobrino J A, Raissouni N, Li Z L. A comparative study of land surface emissivity retrieval from NOAA data[J]. Remote Sensing of Environment, 2001, 75(2): 256 – 266.

[23] Barsi J A, Schott J R, Palluconi F D, et al. Validation of a web – based atmospheric correction tool for single thermal band instruments[C]. SPIE, 2005, San Diego, CA.

[24] J Qi, A Chehbouni, A R Huete, et al. A modified soil adjusted vegetation index[J]. Remote Sensing of Environment, 1994, 48(2): 119 – 126.

[25] 季国华,胡德勇,王兴玲,等. 基于 Landsat 8 数据和温度 – 植被指数的干旱监测[J]. 自然灾害学报,2016,25(2):43 – 52.

[26] 齐述华,王长耀,牛铮. 利用温度植被旱情指数(TVDI)进行全国旱情监测研究[J]. 遥感学报,2003,7(5):420 – 427.

Monitoring Drought of Northeastern Shandong Peninsula Using Remote Sensing

JI Jianwan[1], SHA Jinming[1] and JIN Biao[1,2]
(1. *College of Geographical Science*, *Fujian Normal University*, *Fuzhou* 350007, *China*;
2. *College of Mathematics and Informatics*, *Fujian Normal University*, *Fuzhou* 350108, *China*)

Abstract: Two Landsat 8 satellites remote sensing images at 2017/02/27 and 2017/05/18 were used to retrieve land surface temperature and vegetation index, then using them to construct feature space. According to the feature space, temperature vegetation drought index was established to do the grading analysis and differential change monitoring. The main conclusion was as follows: (1) In both remote sensing images, the whole LST-VI feature space was approximately triangular. The fitted dry and wet side equations based on MSAVI index were better than NDVI index, the mean R^2 was 0.7699. (2) The overall drought grade change in the study area is characterized by 'three increase and two decrease', of which moderate drought area increased by 3 694 km^2, the increase is as high as 225.76%. In addition, increased sources were mainly from mild drought levels. (3) In the study area, drought grade difference detection showed that grade increase was the main part, and the total increased area was 5 435.07 km^2. What's more, grade increase and grade decrease were mainly a grade of change. As a whole, drought level in the study area was increasing gradually and the drought was steadily strengthening.

Key words: temperature vegetation drought index; drought; remote sensing monitoring; land surface temperature; vegetation index; Shandong Peninsula

(上接第 205 页)

[11] 姚玉增，任群智，李仁峰，等. 层次分析法在山地地质灾害危险性评价中的应用——以辽宁凌源地区为例[J]. 水文地质工程地质，2010，37(02)：130－134，138.
[12] 郝立新，陈伟明，马宁. 岩质边坡坡体结构分类及其工程意义[J]. 公路工程，2014，39(3)：19－24.
[13] 赵龙. 基于改进的 AHP－模糊综合评价法的高速公路路线安全性评价研究[D]. 广州：华南理工大学，2011.
[14] 田伟平，马保成，舒淼. 山区沿河公路路基水毁灾害易损性评价[J]. 自然灾害学报，2011，20(5)：125－130.

Distribution Characteristics and Susceptibility of Talus Slopes in the Northern Piedmont of Tian-Shan Mountain

LUO Luguang, PEI Xiangjun, PEI Zuan, YANG Bo and JING Xiang
(*State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection* (*Chengdu University of Technology*), *Chengdu* 610059, *China*)

Abstract: As a kind of special disaster which is widely distributed in periglacial environment, the talus slope is characterized by poor stability, high burst and strong recurrence, thus it is prone to lose stability. Based on the field investigation to talus slopes in the northern piedmont of Tian-Shan mountain, the relationship between the spatial distribution characteristics and the influencing factors is statistically analyzed. 3 types of evaluation indexes of geological environment, internal and external force and human engineering activity are choosed and index weights are quantified based on AHP-fuzzy comprehensive evaluation method to establish susceptibility evaluation model of talus slope. The main results of this research can be summarized as follows. (1) Talus slopes are mostly distributed in periglacial environment at the altitude of 1600～2500m, hard rock like basalt and sand slate, fragment and sub-block structure, shady slope and semi-shady slope; (2) Altitude, freeze thaw weathering action and lithology are main factors which affect the susceptibility of talus slope; (3) The results of the example show that the susceptibility evaluation model of talus slope has good applicability and accuracy.

Key words: talus slope; northern piedmont of Tian-Shan mountain; distribution characteristics; AHP-fuzzy comprehensive evaluation method; susceptibility evaluation