

基于 Landsat-8 数据的地表温度反演研究

——以石家庄市为例

崔天舒 黄凤荣

DOI:10.12238/gmsm.v4i1.963

[摘要] 地表温度作为反映城市热环境的重要参数,对于研究气候变化与城市热岛效应具有重要作用。本文利用Landsat8遥感影像数据,采用单窗算法对石家庄市地表温度进行反演研究,将反演得到的地表温度利用均值标准差法进行分级处理,并对各温度等级面积比例进行统计,进而分析得出研究区具体的地表温度分布情况。采用支持向量机的分类方法对土地覆盖类型进行分类,并统计计算各土地覆盖类型地表温度及其最大值、最小值、平均值及标准差。最后通过选取随机样点,先是分析总样点地表温度与各指数的拟合关系,再将样点按照不同温度等级与不同地表温度进行分类,从而得出各温度等级样点与各土地覆盖类型样点地表温度与各指数的相关性。结果得出:总样点地表温度与建筑指数是相关的,且与BAEM的相关性比MNDBI大。水体的地表温度与NDVI、MNDBI与BAEM的相关性较高,其中与NDVI的相关性最高。

[关键词] 石家庄市;土地覆盖类型;地表温度反演;拟合关系

中图分类号: E992 文献标识码: A

Inversion of surface temperature based on Landsat 8 data

—Taking Shijiazhuang City as an example

Tianshu Cui Fengrong Huang

School of Geography, Liaoning normal University, Liaoning Dalian

[Abstract] As an important parameter reflecting urban thermal environment, land surface temperature plays an important role in the study of climate change and urban heat island effect. In this paper, Landsat 8 remote sensing image data were used to conduct inversion research on the surface temperature in Shijiazhuang city by using the single-window algorithm. The surface temperature obtained by inversion was graded by means of mean-standard deviation method, and the area ratio of each temperature level was statistically analyzed to obtain the specific land surface temperature distribution in the study area. The classification method of support vector machine was used to classify the land cover types, and the land surface temperature, maximum, minimum, mean and standard deviation of each land cover type were calculated statistically. Finally, random sample points are selected to analyze the fitting relationship between the land surface temperature of the total sample points and each index, and then the sample points are classified according to different temperature levels and different land surface temperatures, thus obtaining the correlation between the land surface temperature of each temperature level and each index of each land cover type sample points. The results show that the land surface temperature of total sample points is correlated with the build-up index, and the correlation with BAEM is greater than that with MNDBI. The land surface temperature of water has a high correlation with NDVI, MNDBI and BAEM, among which the correlation with NDVI is the highest.

[Key words] Shijiazhuang; land cover type; land surface temperature; inversion fitting relationship

引言

近些年,随着城市化进程加快,石家庄市的城市热岛强度逐年增加^[1],有文献已经对此进行了研究。杨鹏等利用地

面气象观测站数据、MODIS 1B与Landsat ETM+遥感数据多种数据源,分析了城市化进程对城市热岛效应的影响,并分析了城市热岛的时间变化规律以及空间分

布规律。李艳彬等采用Landsat-7ETM+数据,结合行政区划以及人口数据,圈出了石家庄市的热岛效应范围,并分析了其热岛效应强度。地表温度作为衡量

城市热岛效应的最佳指标^[2],通过遥感监测方法获取,反映城市热环境的空间分布及变化。现基于Landsat8遥感数据对城市热岛的研究较少。本文将借助气象数据与Landsat8遥感影像数据,通过单窗算法对地表温度进行反演,分析石家庄市热环境的具体分布情况,并对石家庄市土地覆盖类型与地表热环境关系进行定量分析,对石家庄市热岛效应防治以及缓解雾霾提供借鉴意义。并利用均值标准差法进行温度分级^[3]。通过选取随机样点,从不同温度等级和土地覆盖类型2个方面,得出地表温度与BAEM的回归决定系数高于地表温度与NDVI和MNDBI的回归决定系数;将样点按不同土地覆盖类型分类后,得出水体与各种指数的决定系数最高。

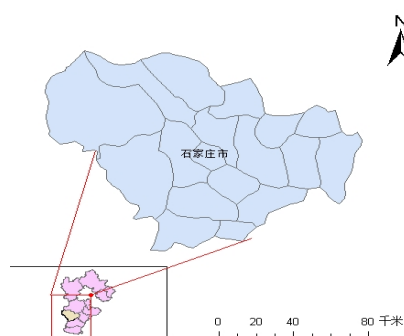


图1 研究区范围

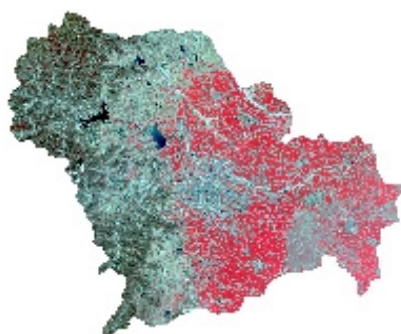


图2 研究区标准假彩色合成图

1 研究区域概况

石家庄,辖8个区、11个县、3个县级市,总面积1.4万平方公里,市区面积2220平方公里。地处太行山地和华北平原两大地貌单元,地貌复杂。石家庄市属暖温带大陆性季风气候,四季分明,寒暑分明。石家庄与北京、天津接壤,其经济发展具有区位优势。

2 数据来源及预处理

本文采用的遥感影像数据是Landsat 8数据,因为研究区包含在两景Landsat 8影像中,因此需要获取两景影像数据。该数据来源于USGS网站,获取时间为2020年3月19日,行列号分别为124/33、124/34,数据含云量小于10%,数据质量较好,该文用第10波段来对地表温度进行反演。

在反演地表温度之前首先需要预处理,进而反演得到地表温度。预处理主要包括利用ENVI软件对获取的两景Landsat8原始影像拼接、裁剪、辐射定标,将DN值转化成影像的辐射亮度值^[4],还需要对辐射定标得到的多光谱影像进行大气校正以去除水汽影响。

3 研究过程

本文选用单窗算法对预处理得到的研究区域的遥感影像进行地表温度反演,单窗算法(MW算法)是覃志豪^[5]等在2001年根据地表热辐射传输方程推导出的针对LandsatTM数据只有一个热红外波段反演地表温度的算法^[6],适用于从一个热波段遥感数据中进行地表温度反演。经过众多学者的验证,单窗算法具有很高的反演精度,且同样适用于ETM+和Landsat8数据。该算法仅需要三个参数:大气平均作用温度、大气透射率和地表比辐射率,公式如下:

$$T_{surface} = (a_{10}(1 - C_{10} - D_{10}) + (b_{10}(1 - C_{10} - D_{10}) + C_{10} + D_{10})T_{sensor} - D_{10}T_a) / C_{10} \quad (1)$$

式中, $T_{surface}$ 为地表温度(K), T_{sensor}

是传感器上的亮度温度(K), T_a 是大气平均温度(K); 参数 a_{10} 、 b_{10} 为常量,为提高估算精度,根据影像亮温区间的不同取值可以不同。当地表温度为0~30℃时, $a_{10} = -66.51672$, $b_{10} = 0.45165$; 当地表温度为10~25℃时, $a_{10} = -67.84026$, $b_{10} = 0.45604$ 。 C_{10} 、 D_{10} 为中间变量,计算公式为:

$$C_{10} = \varepsilon \times \tau \quad (2)$$

$$D_{10} = (1 - \tau) \times [1 + (1 - \varepsilon) \times \tau] \quad (3)$$

该式中, ε 为地表比辐射率, τ 为地面到传感器的大气总透射率。

所以单窗算法反演地表温度的关键是计算得到亮度温度 T_{sensor} 、地表比辐射率 ε 、大气透射率 τ 和大气平均作用温度 T_a 。辐射亮温计算根据Planck公式进行计算,地表辐射率根据覃志豪针对TM影像提出的混合像元分解法来确定。将研究区域分为水体、自然表面和建筑表面三种。大气平均温度利用覃志豪等根据Modtran所提供的标准大气推导出来的一个经验公式来进行计算。大气透射率 τ 通过在NASA官网上输入成像时间与中心经纬度等信息,得出2020年3月19日石家庄市的大气透射率为0.97。

4 结果分析

4.1 地表温度反演结果及精度验证

本文选用MODIS地表温度产品对反演结果进行精度验证,由于MODIS地表温度产品与Landsat8热红外波段数据的空间分辨率不同,为使两数据保持一致,需要对地表温度反演结果(图3)进行重采样,将其空间分辨率重采样为1000m,并用研究区矢量数据对MODIS地表温度产品数据进行裁剪,然后对重采样后的结果与裁剪得到的研究区MODIS地表温度产品影像进行对比。运用ArcGIS软件对两组数据的最大值、最小值、平均值与标准差进行统计分析,并得出两者的相关系数为0.67。因为MODIS地表温度产品影像像元部分值有缺失,所以本文采用普通克里金插值方法实现对缺失部分像元值的估算,结果如图4所示。

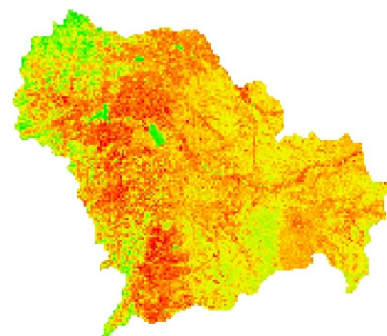


图3 反演结果

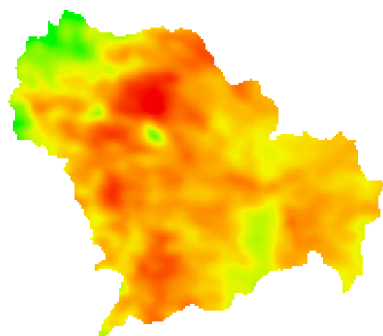


图 4 石家庄市MODIS地表温度产品影像
插值图

4.2地表温度分级处理

热岛分级方法有等间距断点法、极差标准化法、均值—标准差法^[7]等,本文利用ArcGIS软件,采用陈松林等提出的均值—标准差法对反演得到的石家庄市的地表温度结果进行分级,其划分依据以及石家庄市各温度区间范围的特征见表1:

表 1 石家庄市各温度区间的特征

等级	划分依据	温度范围 (°C)	面积所占 比例(%)
低温区	$\mu - \text{std} > T$	$20.7 > T$	10.78
次低温 区	$\mu - 0.5\text{std} > T \geq \mu - \text{std}$	$22.6 > T \geq 20.7$	10.6
中温区	$\mu + 0.5\text{std} > T \geq \mu - 0.5\text{std}$	$26.4 > T \geq 22.6$	40.77
次高温 区	$\mu + \text{std} > T \geq \mu + 0.5\text{std}$	$28.3 > T \geq 26.4$	17.93
高温区	$T \geq \mu + \text{std}$	$T \geq 28.3$	19.92

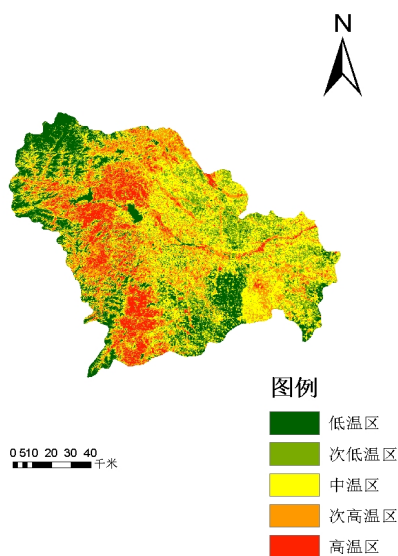


图 5 石家庄市地表温度分级图

研究区的地表温度范围在7.12~35.88之间,通过对反演结果分级统计分析得

出,低温区占研究区总面积的10.78%,次低温区占研究区总面积的10.6%,中温区占研究区总面积的40.77%,次高温区面积所占比例为17.93%,高温区面积所占比例为19.92%。由此可见,中温区与高温区所占面积较大。

由石家庄市地表温度分级图(图5)可见,石家庄市地表温度空间分布整体呈现形式为:西北部与中南部较低、中部较高。位于石家庄市西北部的平山县山林较多,因此地表温度相对较低。依据温度分级结果,对研究区市区及周边市县不同等级所占面积分别进行统计,并对不同温度等级所占面积比例(表2)进行计算。将低温区、次低温区与中温区划定为非热岛区,将次高温区与高温区划定为热岛区。可以得出在市区处于高温区的区域面积所占比例较大的有:井陘矿区、鹿泉区与长安区。处于热岛区热岛强度由高到低依此为井陘矿区>鹿泉区>长安区>新华区>裕华区>栾城区>桥西区>藁城区。处于热岛区,热岛强度最高的是井陘矿区为81.52%,井陘矿区大部分地区与鹿泉区矿产资源丰富,使其处于较高的热岛强度范围;热岛强度最低的是藁城区为21.11%。市区处于低温区域的区域面积比例总体较小,所占面积比例较大的是藁城区为8.95%。

在郊区处于高温区的区域面积所占比例较大的有:赞皇县、井陘县和元氏县。处于热岛区热岛强度由高到低依此为赞皇县>井陘县>灵寿县>行唐县>元氏县>晋州市>平山县>正定县>深泽县>新乐市>辛集市>高邑县>无极县>赵县。处于热岛区且热岛强度最高的是赞皇县为63.67%,赞皇县、井陘县与灵寿县有丰富的矿产资源,所以导致它们的热岛强度都较高。郊区部分市县热岛强度高于市区,可能与其丰富的矿产资源与工业占比较大有关。热岛强度最低的是赵县为10.27%。郊区处于低温区域的地区较多,所占面积比例较大的有平山县、赵县和灵寿县。其中平山县低温区所占面积比例最大为26.35%。低温区面积比例较低的地区有无极县、深泽市和晋州市。其中低温区所占面积最低的是晋州市为0.02%。

表 2 石家庄市各区市县不同温度等级区域所占面积比例

区域	区(县/市)	低温	次低温	中温	次高温	高温
市区	长安区	3.97	7.09	46.02	26.21	16.71
	桥西区	2.34	9.42	66.35	18.11	3.78
	新华区	1.72	6.43	54.29	26.02	11.54
	井陘矿区	2.14	1.85	14.49	29.08	52.44
	裕华区	2.64	9.39	52.19	27.03	8.75
	藁城区	8.95	15.6	54.34	14.39	6.72
	鹿泉区	4.57	4.94	41.98	27.82	20.7
	栾城区	3.79	15.6	47.42	22.35	11.1
总计		5.64	10.86	48.35	21.67	13.49
郊区	井陘县	12.65	9.04	27.31	19.69	31.31
	正定县	1.16	4.55	55.77	23.3	15.22
	行唐县	1.22	3.35	47.86	25.62	21.95
	灵寿县	15.6	6.11	30.53	22.09	25.67
	高邑县	8.82	35.21	42.41	8.98	4.57
	深泽县	0.19	3.03	67.41	17.99	11.38
	赞皇县	8.39	5.48	22.47	18.49	45.18
	无极县	0.39	19.44	69.34	6.46	4.38
	平山县	26.35	9.45	24.07	14.5	25.63
	元氏县	4.99	15.41	34.74	13.89	30.97
	赵县	19.66	28.67	41.40	9.32	0.95
	辛集市	4.93	16.85	58.16	13.86	6.19
	晋州市	0.02	2.9	56.51	29.08	11.48
	新乐市	0.45	8.55	67.25	13.09	10.67
总计		11.57	10.52	39.32	17.28	21.31

4.3研究区土地利用覆盖类型分类

及各土地覆盖类型的地表温度统计分析
根据石家庄市土地利用情况,利用ENVI软件对土地利用类型进行分类,选用监督分类法中的支持向量机分类方法将研究区域的土地资源分为水体、林地、耕地、草地、建设用地与其他用地(包括裸地、湿地、裸岩)6种地表覆盖类型。将研究区土地覆盖类型分类结果与石家庄市谷歌影像和在清华大学开放网站上提供的EULUC-China数据集中提取石家庄市土地利用分类数据进行叠加,进行目视检查,对错分的土地覆盖类型进行纠正。为确定分类精度与可靠性,本文利用混淆矩阵来对分类结果进行精度验证,在谷歌影像上选择真实的感兴趣区验证样本,然后利用ENVI分类后处理工具,得到精度报表,分别统计得出总体分类精度为87.78%和Kappa系数为0.83。

对石家庄市内的6种地表覆盖类型的地表温度分别进行统计,得出研究区内的6种地表覆盖类型地表温度特征如表3所示,结果表明,石家庄市6种地表覆

盖类型中,地表温度最高为建设用地;林地地表温度最低;研究区整体地表温度的平均值为25.15℃。对各土地覆盖类型的平均地表温度分别进行统计,其中林地与水体的平均温度低于整个研究区域平均地表温度;建设用地、耕地与其他用地的平均温度高于整个研究区的平均地表温度,耕地的平均温度较高且处于高温区的比例较大,这与成像时间的农时历有关,影像所处的农时历是2月份,石家庄市此时的耕地中的农作物早已收割完毕,还未种植新的作物,所以此时的耕地多处于裸露状态,所以会出现高温。

表3 各地表覆盖类型地表温度特征

地表覆盖类型	面积占比(%)	最高地表温度(℃)	最低地表温度(℃)	平均地表温度(℃)	标准差
耕地	55.14	38.73	10.75	25.86	3.21
水体	0.88	31.57	10.24	15.42	3.45
建设用地	11.52	40.17	7.27	25.57	1.97
其他用地	6.72	36.94	7.41	27.43	2.31
林地	22.16	38.31	7	22.62	4.52
草地	3.59	38.32	7.07	26.44	2.79

4.4 地表温度与植被指数、建筑指数的相关性分析

表4 不同温度等级样点对应土地类型的样点个数

地表覆盖类型	样点个数					平均温度(℃)
	低温	次低温	中温	次高温	高温	
耕地	7	44	113	49	75	25.8
水体	5	0	1	0	0	15.83
建设用地	2	2	32	11	7	27.28
其他用地	0	0	4	7	13	28.36
林地	35	20	37	7	12	22.56
草地	0	2	3	5	7	25.76

通过NDVI、MNDBI与BAEM这3种指数可以分析得出地表温度与植被和建设用地之间的相关性。在影像中随机选取500个样点,分别提取每个样点所在像元的地表温度值及其相对应的NDVI、MNDBI与BAEM值。对处于不同温度等级样点的土地利用类型分别进行统计^[8]。不同温度等级样点对应土地类型的样点个数如表4所示。从表4可以得出,土地利用覆盖类型处于低温和次低温的样点主要为水体,处于次高温和高温的主要为其他用

地,处于中等温度最多的是耕地,其次为建设用地。处于低温的主要为林地与水体。将不同地表覆盖类型样点按照平均地表温度从高到低排列,依次为其他用地、建设用地、耕地、草地、林地、水体。

对总样点的地表温度与各指数进行拟合,并对比不同的拟合模型(线性、二次曲线、三次曲线、复合函数、对数曲线、指数曲线、幂函数模型)的决定系数 R^2 ,结果得出地表温度与建筑指数是相关的,且与BAEM的相关性比MNDBI大。按照不同地表覆盖类型对总样点进行分类,并对各土地覆盖类型的地表温度与各指数同样按照以上各模型进行拟合分析,结果得出,水体的地表温度与NDVI、MNDBI与BAEM的相关性较高,其中与NDVI的相关性最高。

5 结论

本文利用Landsat8遥感影像数据,首先采用单窗算法对石家庄市地表温度进行反演研究,为验证反演精度,采用同期的MODIS数据,得出两者的相关系数为0.67。将反演得到的地表温度利用均值标准差法进行分级处理,并对各温度等级所占面积比例进行统计,进而分析得出研究区具体的地表温度分布情况。然后用支持向量机的分类方法对土地覆盖类型进行分类,分为水体、林地、耕地、草地、建设用地与其他用地(包括裸地、湿地、裸岩)6类。分别对各土地覆盖类型地表温度及其最大值、最小值、平均值及标准差进行统计。最后选取随机样点,来分析总样点地表温度与各指数的拟合关系,并总将样点分别按照不同温度等级与不同地表温度进行分类,从而分别得出各温度等级样点与各指数的相关性以及各土地覆盖类型样点地表温度与各指数的相关性。结果得出:(1)处于低温和次低温的样点的土地覆盖类型主要为水体,处于次高温和高温的样点的土地覆盖类型主要为其他用地,处于中等温度的样点最多的是耕地,其次为建设用地。处于低温的样点土地覆盖类型主要为林地与水体。样点的平均温度从高到低依

次为其他用地、建设用地、耕地、草地、林地、水体。(2)总样点的地表温度与建筑指数是相关的,且与BAEM的 R^2 比MNDBI大。水体的地表温度与NDVI、MNDBI与BAEM的 R^2 较高,其中与NDVI的 R^2 最高。以上结论表明,城市改善热环境的关键是林地与水体,所以应在城市规划过程中,要通过合理设置林地与水体的空间布局,来改善城市地表热环境。

参考文献

- [1]杨鹏,陈静,侯晓玮,等.基于多源数据的城市热岛效应研究—以石家庄地区为例[C].中国气象学会.创新驱动发展 提高气象灾害防御能力——S16第二届城市气象论坛——灾害·环境·影响·应对.中国气象学会:中国气象学会,2013:332-346.
- [2]谢苗苗,王仰麟,付梅臣.城市地表温度热岛影响因素研究进展[J].地理科学进展,2011,30(01):35-41.
- [3]薛万蓉,王静,但尚铭,等.内江市城市热岛效应时空演变特征遥感分析[J].四川林业科技,2012,33(02):54-59.
- [4]孙彤彤,杨可明,王晓峰,等.劈窗和单窗算法对泰安市热岛效应分析的适宜性研究[J].测绘与空间地理信息,2017,40(10):60-63+69.
- [5]覃志豪,李文娟,徐斌,等.陆地卫星TM6波段范围内地表比辐射率的估计[J].国土资源遥感,2004,(3):28-32.
- [6]邓书斌,陈秋锦,社会建.ENVI遥感图像处理方法[M].第2版北京:高等教育出版社,2014:10
- [7]徐涵秋,陈本清.不同时相的遥感热红外图像在研究城市热岛变化中的处理方法[J].遥感技术与应用,2003,(03):129-133+185.
- [8]付盈,国巧真,吴晓旭.基于Landsat8遥感数据的天津市地表温度反演[J].中国环境监测,2018,34(05):165-172.

作者简介:

崔天舒(1996--),女,汉族,河北省泊头市人,硕士研究生,辽宁师范大学地理科学学院,研究方向:GIS应用。