

呼和浩特市不同植被指数与地表温度的定量遥感关系

魏宝成¹, 银山^{1,2}, 宋洁¹, 王月红¹

(1. 内蒙古师范大学 地理科学学院, 呼和浩特 010022; 2. 内蒙古师范大学 遥感与信息重点实验室, 呼和浩特 010022)

摘要:利用 Landsat 8 影像数据,提取呼和浩特市地表温度(LST)、4 种典型植被参数:归一化植被指数(NDVI)、修正土壤植被指数(MSAVI)、比值植被指数(RVI)及植被覆盖度(FV),并结合研究区土地覆被信息,探讨了 LST 与 4 种典型植被参数的定量遥感关系,不同下垫面类型对地表温度—植被参数的影响及其二者之间的空间尺度效应。结果表明:地表温度—植被参数呈现出显著负相关关系,NDVI,RVI,MSAVI,FV 每增加 0.1,对应的 LST 分别下降:0.99℃,0.83℃,1.02℃,0.64℃;不同土地覆被类型中二者相关性差异显著,其中林地 LST 与 4 种植被参数相关性最强,RVI 与 LST 相关性最稳定;在不同的空间尺度下(30~1 920 m),地表温度—植被参数空间相关性呈现出先增大后减小的趋势,NDVI,FV,MSAVI,RVI 与 LST 的空间相关性分别在 120 m,240 m,60 m,120 m 达到最高。

关键词:植被指数;地表温度;呼和浩特市;Landsat 8

中图分类号:TP79

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)05-0079-07

Quantitative Analysis on the Relationship Between Land Surface Temperature and Different Vegetation Indices Based on Remote Sensing

WEI Baocheng¹, YIN Shan^{1,2}, SONG Jie¹, WANG Yuehong¹

(1. College of Geographical Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China;

2. Remote Sensing and Information Key Laboratory, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China)

Abstract: Four kinds of typical vegetation parameters (NDVI, RVI, MSAVI and FV) were extracted, and the land surface temperature (LST) of Hohhot City was retrieved based on Landsat 8 data. Then the relationship between vegetation indices and LST, effects of different land covers were discussed by using land cover types of the study area. The results indicated that LST had the significant negative correlation with vegetation parameters. When NDVI, RVI, MSAVI and FV increased 0.1, LST would decrease by 0.99, 0.83, 1.02, and 0.64 centigrade, respectively. Forest had the strongest negative correlation with LST, while the correlation between RVI and LST was more stable. With the increase of spatial scales (30~1 920 m), the correlation between LST and vegetation parameters increased and then decreased. The correlation between NDVI, FV, MSAVI, RVI and LST reached maximum at the resolutions of 120 m, 240 m, 60 m, and 120 m, respectively.

Keywords: vegetation index; land surface temperature; Hohhot; Landsat 8

绿色植被是地球表层系统的主要组成部分,对人类生存环境具有重要的作用^[1]。在今天快速城市化的过程中,以绿色植被为主的自然景观逐步被人工建筑景观所取代,残存的少量绿色植被主要集中在公园,导致城市热岛越来越显著^[2-3],从而制约了城市的发展,降低了人们生活的环境质量。

城市植被覆盖与地表温度(Land Surface Temperature,LST)关系的研究一直是城市热岛研究的热

点之一^[4]。多年来,国内外学者已经围绕着该热点问题取得了一些有益的研究成果。李京忠等^[5]利用多期 TM 影像分析许昌市 LST 与归一化植被指数(NDVI)之间的定量关系,发现城市热岛与城市规模呈正相关,与绿地面积,绿地空间分布及构成呈现负相关。梁保平等^[3]用 TM 影像研究桂林市城市热岛,结果表明 NDVI 与 LST 呈显著负相关且与海拔高度呈现分段式特征。Ren 等^[6]在利用 TM 和

收稿日期:2015-02-23

修回日期:2015-04-09

资助项目:内蒙古自治区自然科学基金(2013ZD08);内蒙古自治区科技重大专项(2013ZDPY04)

第一作者:魏宝成(1989—),男,内蒙古阿拉善盟阿左旗人,在读硕士研究生,研究方向为自然灾害监测与评估。E-mail:nsdwbc@126.com

通信作者:银山(1963—),男,内蒙古科尔沁左翼后旗人,博士,教授,主要从事自然地理学和荒漠化及自然灾害方面的研究。E-mail:yinshan@imnu.edu.cn

SPOT 影像研究长春市城市热效应,发现不仅城市植被数量影响 LST 分布且植被的空间结构特征也对 LST 影响显著。张小飞等^[7]发现,在 1% 的间隔尺度上植被盖度(FV)与 LST 关系呈分段变化。孙鹏等^[8]利用 TM/ETM+ 影像分析银川市热岛效应时空变化,得出银川市城市热岛产生的原因主要是工业发展变化、道路建设和建成区面积增加引起。此外,地表温度—植被参数相关性对空间尺度具有很强的依赖性^[2,7,9],周媛等^[10]研究表明 LST 与 NDVI 相关性随空间尺度变化表现出先增加后减小的趋势。韩贵锋等^[2]从全局与局部出发研究得出 LST 与 NDVI 相关性在 120 m 空间尺度下达到最大。

目前,在地表温度—植被参数关系研究中,大多数选取某单一植被指数进行研究,而在同一研究区选取多种植被参数进行综合评价城市热效应的研究相对较少。因而,本文选取 4 种典型植被参数并结合土地覆被数据,分析呼和浩特市地表温度与 4 种植被参数的定量遥感关系、不同土地覆被类型对二者关系的影响以及它们之间的空间尺度效应,为合理规划城市植被分布,缓解城市热岛效应提供有意义的参考。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

以呼和浩特市(环城路以内)及部分郊区为研究对象,研究区位于内蒙古自治区中部大青山南侧,范围 110°31′—112°20′E, 39°35′—41°25′N,地处温带内陆地区,年均温在 8℃左右,年均降水量 430 mm,年均蒸发量 1 766.1 mm,属于典型的中温带大陆性季风气候。研究区内植被覆盖变化较大,市郊差异明显。

1.2 数据来源

本文采用的数据源为覆盖整个研究区的 Landsat 8 卫星遥感影像数据,数据采集时间 2013 年 7 月 20 日 11 时 14 分,轨道号 126—32。该星搭载两个传感器:陆地成像仪(OLI)和热红外传感器(TIRS),其中 OLI 传感器的多光谱数据的空间分辨率为 30 m×30 m,波谱范围 0.433~1.39 μm,TIRS 传感器的两个热红外波段数据空间分辨率为 100 m×100 m^[11],波谱范围 10.6~12.5 μm,扫描带宽 185 km×185 km。

1.2.1 植被参数计算 在本文中选取的是 4 种比较常用的植被参数:归一化植被指数(NDVI)、比值植被指数(RVI)、修正土壤调节植被指数(MSAVI)以及植被覆盖度(FV)。这 4 种植被参数均可由 OLI 传感器多光谱数据的相应波段计算得到,其计算公式如下所示:

归一化植被指数(NDVI):

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (1)$$

比值植被指数(RVI):

$$RVI = \frac{\rho_{nir}}{\rho_{red}} \quad (2)$$

修正土壤植被指数(MSAVI):

$$MSAVI = \rho_{nir} + 0.5 - \sqrt{(\rho_{nir} + 0.5)^2 - 2(\rho_{nir} - \rho_{red})} \quad (3)$$

植被覆盖度(FV):

$$FV = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (4)$$

式中: ρ_{nir} 、 ρ_{red} ——OLI 传感器近红外波段(第 5 波段)与红光波段(第 4 波段)的地表反射率;NDVI_{min}、NDVI_{max}——研究区 NDVI 的极值,通常取 NDVI 累计频率在 5% 与 95% 处的值作为 NDVI_{min} 与 NDVI_{max} 的取值^[12]。

1.2.2 土地覆被数据提取 土地覆被数据提取,运用比较普遍的方法包括目视解译与计算机自动分类。在本研究中,对 OLI 传感器的多光谱波段进行大气校正、图像增强等处理,依据地物的光谱特征,采用最大似然比分类法,并结合研究区实际情况,将研究区土地覆被分为 6 大类:耕地、草地、林地、建设用地、水域、裸地。通过混淆矩阵对分类结果进行精度检验,其总体分类精度为 87.99%,卡帕系数为 0.84。在 Landis and Koch^[13]的研究成果中表明,卡帕系数大于 0.8,说明该分类结果良好且有效。

1.2.3 地表温度反演 LST 是衡量地表能量平衡的一个重要参数,也是遥感反演的重要参数之一。LST 主要通过数据源的热红外波段进行提取。当前,对于 Landsat 系列卫星,LST 反演的主要算法包括:单窗算法^[14]、单通道算法^[15]、分裂窗算法^[16-17]、辐射方程传导法。

针对 Landsat TIRS 传感器的设计特点,采用覃志豪等^[17]提出的分裂窗算法获取研究区的 LST,其计算公式如下所示:

$$T_s = A_0 + A_1 T_{10} - A_2 T_{11} \quad (5)$$

式中: T_s ——地表温度(K); T_{10} 、 T_{11} ——TIRS 传感器第 10 波段与第 11 波段星上亮度温度; A_0 、 A_1 、 A_2 ——中间参数,其计算公式如下:

$$A_0 = \frac{a_{10} D_{11} (1 - C_{10} - D_{10})}{D_{11} C_{10} - D_{10} C_{11}} - \frac{a_{11} D_{10} (1 - C_{11} - D_{11})}{(D_{11} C_{10} - D_{10} C_{11})} \quad (6)$$

$$A_2 = \frac{D_{10}}{D_{11} C_{10} - D_{10} C_{11}} + \frac{b_{11} D_{10} (1 - C_{11} - D_{11})}{D_{11} C_{10} - D_{10} C_{11}} \quad (7)$$

$$A_1 = 1 + \frac{D_{10}}{D_{11}C_{10} - D_{10}C_{11}} + \frac{b_{10}D_{11}(1 - C_{10} - D_{10})}{D_{11}C_{10} - D_{10}C_{11}} \quad (8)$$

式中: $a_{10}, a_{11}, b_{10}, b_{11}$ ——常数, 根据文献[17]确定常量法, LST 在 $0 \sim 40^\circ\text{C}$ 时, 取 $a_{10} = -62.806\ 5, a_{11} = -67.172\ 8, b_{10} = 0.438\ 8, b_{11} = 0.469\ 4$; 参数 $C_{10}, C_{11}, D_{10}, D_{11}$ 定义如下:

$$C_i = \epsilon_i \tau_i(\theta) \quad (9)$$

$$D_i = (1 - \tau_i(\theta)) [1 + (1 - \epsilon_i) \tau_i(\theta)] \quad (10)$$

式中: $i = 10, 11$; ϵ_i ——TIRS 传感器第 i 波段地表比辐射率; $\tau_i(\theta)$ ——传感器视角为 θ 时 TIRS 传感器第 i 波段大气透过率。值得注意的是, 对于 TIRS 传感器, 其飞行高度为 $705\ \text{km}$, 最大天顶视角大约为 7.5° , 在热红外波段 θ 值对大气透过率的影响可以忽略不计^[16]。

星上亮度温度计算。首先进行辐射定标, 将 TIRS 热红外波段数据的 DN 值转化为辐射亮温, 然后利用 Planck 方程进行星上亮度温度求解。辐射定标公式如下:

$$I_i = \text{Gain}_i \times B_i + \text{Offset}_i \quad (11)$$

式中: $i = 10, 11$; I_i ——Landsat TIRS 第 i 波段辐射亮度值; B_i ——第 i 波段 DN 值; Gain_i ——第 i 波段增益值; Offset_i ——第 i 波段偏移量。增益与偏移均可由 MTL.txt 元数据文件查找。TIRS 数据第 10 与第 11 波段的增益值均为 3.342×10^{-4} , 偏移值均为 0.1 。

根据 Planck 函数将辐射亮度值转化为星上亮度温度, 计算公式如下:

$$T_i = \frac{K_{2_i}}{\ln\left(\frac{K_{1_i}}{I_i} + 1\right)} \quad (12)$$

式中: $i = 10, 11$; T_i ——Landsat TIRS 第 i 波段星上亮度温度; I_i ——第 i 波段辐射亮度值; K_{1_i}, K_{2_i} ——常数, 可由 MTL.txt 元数据文件查找, $K_{1_{10}} = 774.89, K_{1_{11}} = 480.89, K_{2_{10}} = 1\ 321.08, K_{2_{11}} = 1\ 201.14$ 。

大气透过率计算。由研究可知, 影响大气透过率变动的因素主要取决于大气中水汽含量的变动。因此, 针对 Landsat TIRS 传感器的两个热红外波段, Offer Rozenstein 等^[16]通过大气模拟程序 Modtran 4.0, 得到的中纬度夏季大气透过率与大气含水量之间的相关关系, 计算公式如下所示:

$$\tau_{10} = -0.1134\omega + 1.0335 \quad R^2 = 0.9982 \quad (13)$$

$$\tau_{11} = -0.1546\omega + 1.0078 \quad R^2 = 0.9986 \quad (14)$$

式中: τ_{10} 与 τ_{11} ——Landsat TIRS 第 10 与第 11 波段的大气透过率; ω ——大气含水量 (g/cm^2)。由上述方程可知, 对大气水汽含量的精确测定直接影响着大

气透过率的精度。在一幅影像中, 卫星过境时的大气含水量通常可由当地气象站点进行测定, 但是通过这样模拟得到的整幅影像的大气透过率仅仅为一个常数, 而大气含水量往往在时间、空间、方位存在差异^[18], 这样必然使得地表温度反演存在误差。因此, 采用与 Landsat 8 卫星过境时间相差 $1\ \text{h}$ 的 Terra 卫星搭载的 MODIS 传感器大气含水量数据产品 MOD05_L2, 以代替气象站点观测的大气含水量, 这样计算得到的大气透过率数据可以精确到每一个像元, 从而提高大气透过率估算精度。

地表比辐射率计算。地表比辐射率反映的是地表物体自身的特性, 与其自身的物理特性有关, 也是遥感反演的主要内容之一。针对具有较高空间分辨率的热红外波段数据源来说(如 TM, ETM+, ASTER 等), 地表比辐射的获取通常是先利用影像多光谱数据获取土地覆被类型, 再直接给每种地物类型赋予相应的比辐射率值。由于本研究已通过最大似然法获取了研究区土地覆被数据, 所以按表 1 给定每种地物类型比辐射率^[19], 从而得到研究区地表比辐射率值。

表 1 各土地覆被类型地表比辐射率值

土地覆被类型	建设用地	水域	裸地	植被
比辐射率设定	0.940	0.995	0.972	0.986

2 结果与分析

2.1 地表温度与不同植被参数定量遥感关系分析

不同植被参数具有不同的空间取值范围, 为了便于探讨二者的定量遥感关系, 现将 4 种植被参数依据绝对值最大和最小对每一个像元进行在 $0 \sim 1$ 区间范围的线性缩小, 同时考虑到水域温度与植被参数关系的特殊性^[20], 在进行线性变换时将水域进行掩膜处理。利用 ArcGIS 10.2 软件在研究区范围内随机生成 330 个样点(任意两个采样点的距离 $\geq 300\ \text{m}$), 提取对应点位的地表温度与 4 种植被参数值, 并生成二维散点图(如图 1 所示)。

由图 1 可以看出, LST 与 4 种植被参数的关系均呈现出较为显著的负相关关系, 回归方程均通过 0.01 显著性水平检验, R^2 排序为: $\text{NDVI} > \text{RVI} > \text{MSAVI} > \text{FV}$, 且均大于 0.4 。由 NDVI, MSAVI, RVI, FV 与 LST 的回归方程可得: 4 种植被参数值每增加 0.1 , 对应的 LST 分别下降: $0.99^\circ\text{C}, 0.83^\circ\text{C}, 1.02^\circ\text{C}, 0.64^\circ\text{C}$, 表征的植被降温程度依次为: $\text{RVI} > \text{NDVI} > \text{MSAVI} > \text{FV}$ 。由此看出, 城市绿色植被具有显著的降温效果, 但使用不同的植被参数表征的降温幅度差异明显。

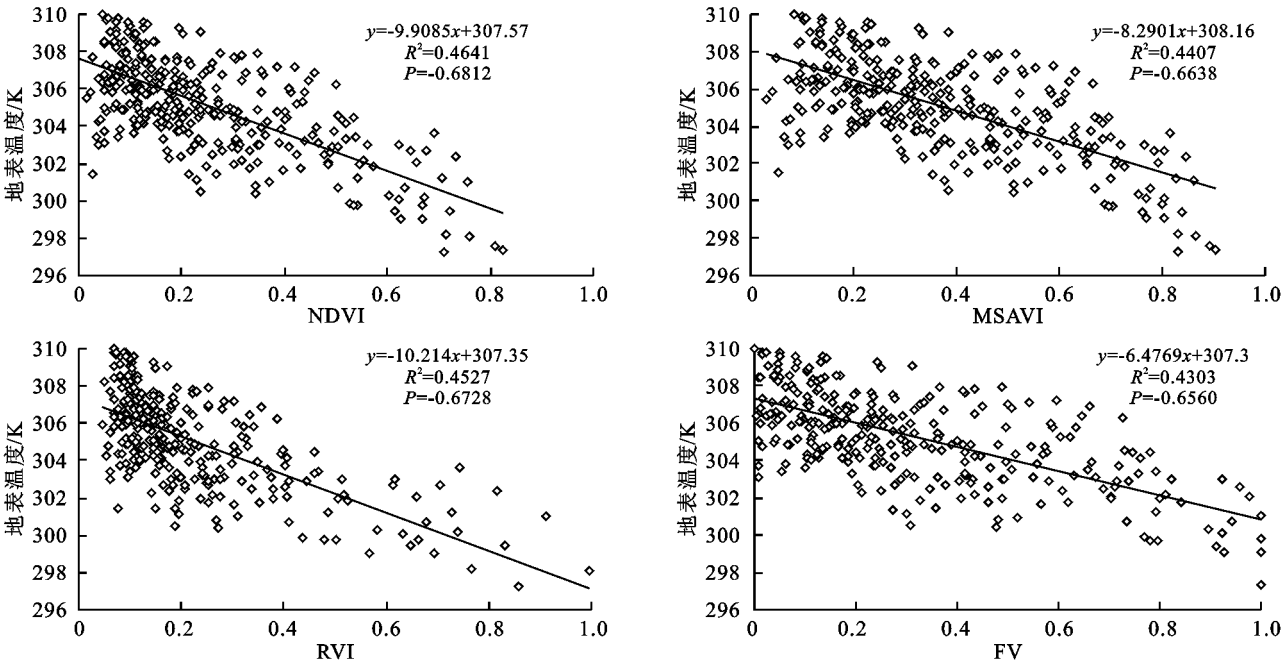


图 1 植被参数与地表温度相关关系

2.2 不同下垫面组合对地表温度—植被参数关系的影响

基于不同的土地覆被类型,利用 ArcGIS 空间分析工具分别提取每一土地覆被类型下像元的 LST 和 4 种植被参数均值,结果如表 2 所示。

表 2 不同土地覆被类型下地表温度—植被参数均值

土地覆被类型	LST/K	NDVI	FV	MSAVI	RVI
耕地	298.81	0.76	0.99	0.86	0.99
草地	301.33	0.67	0.88	0.75	0.67
林地	303.39	0.50	0.56	0.56	0.57
建设用地	306.35	0.14	0.16	0.24	0.18
水域	296.83	0.03	0.03	0.02	0.04
裸地	305.55	0.12	0.12	0.21	0.17

由表 2 可以看出,不同土地覆被类型上 LST 均值由高到低的顺序为:建设用地>裸地>林地>草地>耕地>水域,LST 均值最高的建设用地比最低的水域高出 9.52 K;而不同土地覆被类型上 4 种植被参数均值排序一致,由高到低的顺序依次为:耕地>草地>林地>建设用地>裸地>水域,其中耕地、草地、林地的 4 种植被参数均值均大于 0.5,其次是建设用地和裸地,其植被参数均值基本维持在 0.15 左右,水域最小。由 LST 和植被参数均值排序对比分析可看出,植被覆盖越好的土地覆被类型,其 LST 越低。

为进一步研究地表温度—植被参数之间的相关性,利用 SPSS 软件计算不同土地覆被类型中二者 Pearson 相关系数。鉴于水体的特殊性^[20],在这里不对水体进行讨论,结果如表 3 所示。分析结果表明:不同土地覆被类型中的 LST 与 4 种植被参数均呈显

著的负相关关系,相关系数为-0.125~-0.623,表明植被对城市温度具有良好的调节作用。各土地覆被类型中,林地的 LST 与 4 种植被参数的相关性最强,其相关系数为-0.578~-0.623,其次依次为耕地和草地,建设用地和裸地较小,意味着在不同的土地覆被类型中植被的降温效果存在差异,其中林地对城市调温作用最明显,因此在进行城市绿地规划时应提高建设用地和裸地的植被覆盖量,尤其提高林地的覆盖量,对缓解日益严重的城市热岛效应效果将更加明显。由地表温度—植被参数平均相关系数可以看出,RVI 与 LST 的负相关性最强,相关系数均值为-0.437,同时变异系数表征的是相关系数变动的剧烈程度,RVI 变异系数最小为 0.363,说明 RVI 与 LST 相关性最为稳定。

表 3 不同土地覆被类型下地表温度—植被参数的相关系数

土地覆被类型	植被参数			
	NDVI	FV	MSAVI	RVI
耕地	-0.498	-0.472	-0.492	-0.483
草地	-0.469	-0.437	-0.464	-0.503
林地	-0.585	-0.580	-0.578	-0.623
建设用地	-0.328	-0.336	-0.330	-0.377
裸地	-0.132	-0.142	-0.125	-0.200
均值	-0.402	-0.393	-0.397	-0.437
标准差	0.177	0.165	0.176	0.158
变异系数	0.440	0.420	0.444	0.363

注:表内数据通过 0.01 显著性水平检验。下表同。

同一区域内,由于下垫面类型组合的差异,导致对 LST 的调节也有所差异。为定量分析下垫面对地

表温度—植被参数关系的影响,使用 ArcGIS 10.2 软件,获取研究区重心,以该点为圆心,生成 15 条样线,利用空间分析工具分别统计每条样线所经过的像元个数(Count),同时提取对应的地表温度—植被参数值进行相关分析,探讨在不同的下垫面组合下二者相关性变化情况,其结果如表 4 所示。

表 4 不同样线地表温度—植被参数相关系数

样线号	Count	植被参数			
		NDVI	FV	MSAVI	RVI
1	523	−0.691	−0.675	−0.689	−0.659
2	462	−0.469	−0.517	−0.440	−0.494
3	393	−0.664	−0.642	−0.645	−0.625
4	519	−0.595	−0.631	−0.591	−0.482
5	674	−0.532	−0.510	−0.515	−0.530
6	755	−0.697	−0.684	−0.702	−0.677
7	792	−0.711	−0.602	−0.695	−0.666
8	700	−0.675	−0.644	−0.698	−0.661
9	629	−0.617	−0.522	−0.596	−0.628
10	582	−0.600	−0.520	−0.591	−0.612
11	597	−0.735	−0.729	−0.726	−0.722
12	613	−0.801	−0.777	−0.797	−0.787
13	594	−0.765	−0.762	−0.767	−0.797
14	556	−0.642	−0.588	−0.637	−0.578
15	550	−0.623	−0.658	−0.629	−0.609

由表 4 可以看出,由于下垫面土地覆被类型组合不同,导致不同样线下地表温度—植被参数相关系数存在很大差异,其相关系数为−0.45~−0.81,变化较大。但是在同一样线下 LST 与 4 种植被参数的相关性变化趋势一致。通过提取每条样线经过的土地覆被类型百分比(如表 5 所示)可以看到,每条样线下超过 50%的土地覆被类型为建设用地,其次为林地,裸地和草地所占比例相当,耕地和水域较少。样线经过大面积林地和草地时,地表温度—植被参数的相关性较高(例如样线 11,12,13),相关系数达到−0.73 以上,经过建设用地与裸地所占比例较大的区域时,

二者的相关系数相对降低(例如样线 2,4,5,6,8,14),相关系数大致为−0.44~−0.65,其他样线相关系数适中。由此可见,提高城市植被覆盖,可降低城市温度,同时引起不同下垫面温度差异的原因,很大程度上是由于植被覆盖分布差异造成的。

表 5 不同样线土地覆被类型组成百分比 %

样线号	耕地	草地	林地	建设用地	水域	裸地
1	0.00	4.78	19.12	69.02	1.72	5.36
2	0.43	1.73	17.11	70.80	0.21	9.72
3	1.52	2.04	19.84	64.88	3.05	8.67
4	0.19	1.92	16.38	70.71	5.78	5.02
5	0.14	1.33	18.24	70.02	0.89	9.38
6	0.66	5.16	16.29	72.05	0.53	5.31
7	2.77	4.67	19.31	63.63	0.88	8.74
8	2.43	4.57	19.14	69.42	1.14	3.3
9	0.95	2.86	23.37	65.18	1.27	6.37
10	0.00	2.41	23.53	66.83	0.85	6.38
11	0.33	4.69	30.48	59.29	2.51	2.7
12	1.31	12.23	29.21	50.89	2.93	3.43
13	0.16	2.35	29.12	61.95	1.34	5.08
14	0.00	4.32	21.94	68.52	1.25	3.97
15	0.54	2.72	26.91	64.54	0.91	4.38

2.3 地表温度—植被参数的空间尺度特征分析

地理学研究对象具有尺度依赖性^[21],地理事物内部的某种关系可能只在某种尺度上才表现出来^[2]。为此,本文在影像空间分辨率为 30 m 的基础之上,采用 ArcGIS 中的邻域分析法,以不同的邻域分析窗口大小,分别获取地表温度—植被参数在不同空间尺度下的相互关系。邻域分析窗口的大小为 2×2,4×4,8×8,16×16,32×32,64×64,与之对应的空间尺度为 60 m,120 m,240 m,480 m,960 m,1 920 m,使用的窗口统计类型取均值。而后利用 ArcGIS 软件提取每一个像元在不同空间尺度下对应的地表温度—植被参数值,将其结果导入 SPSS 软件进行二者相关性分析,如表 6 所示。

表 6 不同空间尺度地表温度—植被参数的相关系数

植被参数	分辨率/m						
	30	60	120	240	480	960	1920
NDVI	−0.715a	−0.738a	−0.756a	−0.731a	−0.603a	−0.343a	−0.064
FV	−0.713a	−0.749a	−0.761a	−0.801a	−0.638a	−0.404a	−0.133
RVI	−0.721a	−0.724a	−0.716a	−0.652a	−0.455a	−0.155b	−0.151
MSAVI	−0.696a	−0.719a	−0.732a	−0.689a	−0.516a	−0.216a	−0.066

注:a 通过 0.01 显著水平检验;b 通过 0.05 显著性水平检验。

结果表明:地表温度—植被参数的相关性在 30 ~1 920 m 的空间尺度变化过程中,随着空间尺度的

增大呈现出先增大后减小的趋势。其中 NDVI,FV,MSAVI,RVI 与 LST 的空间相关性分别在 120,

240, 60, 120 m 的空间尺度上达到最大值, 其相关系数为 -0.756 , -0.801 , -0.724 , -0.732 , 而之后随着空间尺度的增大, 地表温度—植被参数的相关性迅速减小, 在 1 920 m 的空间尺度上呈现出不相关的趋势, 其原因是空间尺度越大, 下垫面组成结构的复杂性越凸显, 从而影响二者的空间相关性。

为了更加直观地探讨地表温度—植被参数空间尺度的变化特性, 选取贯穿整个研究区西南—东北方向最长的 7 号样线作为剖面线, 分析从空间尺度 60 m 升至 240 m 过程中二者的空间分布格局情况。由于篇幅有限, 在这里仅选取与 LST 相关性最稳定的 RVI 进行分析, 其结果如图 2 所示。

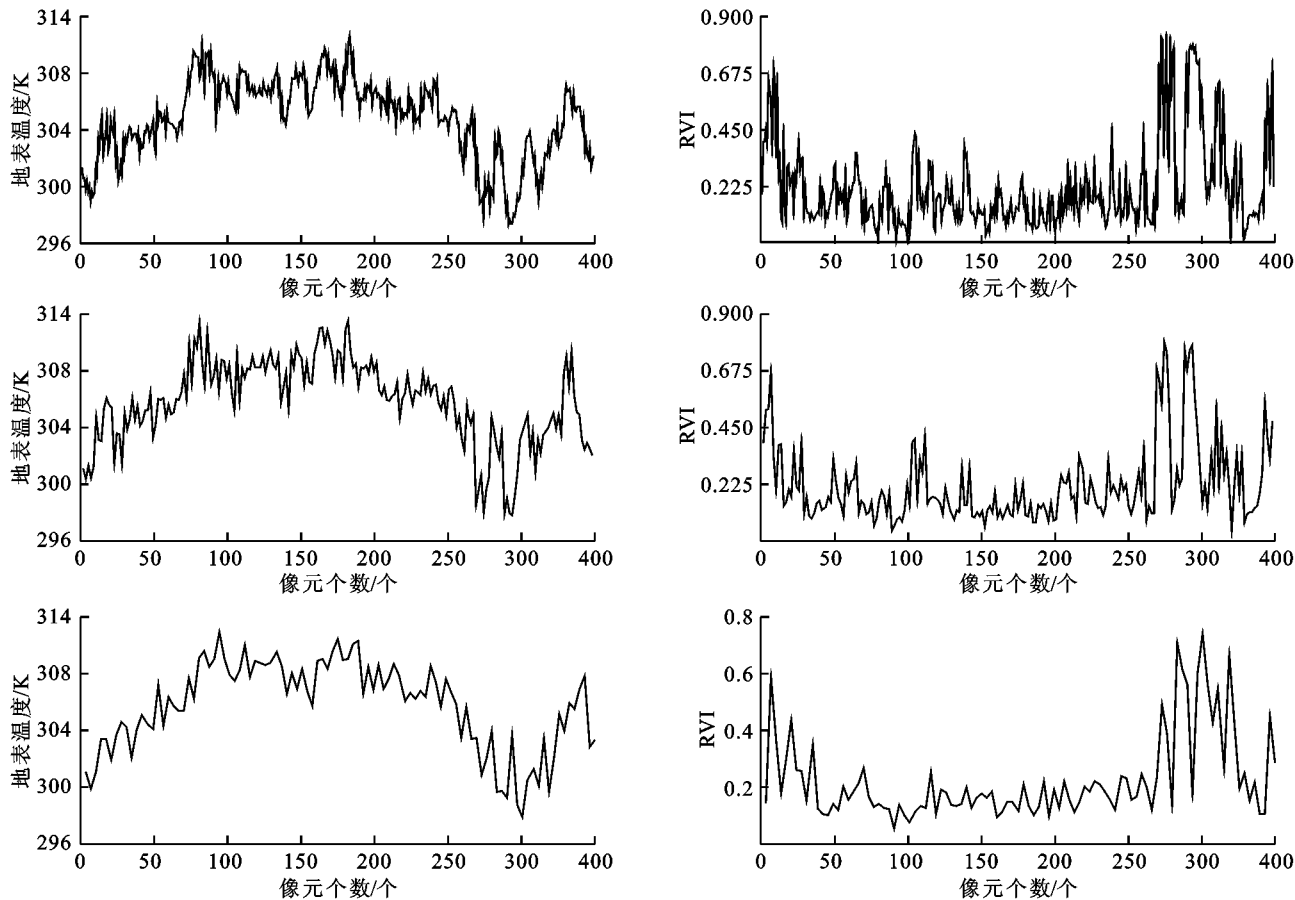


图 2 不同空间分辨率 7 号样线 LST 与 RVI 剖面线

由图 2 可以看到, 在 7 号样线上 LST—RVI 的空间尺度从 60 m 升至 240 m 的过程中, 由于相邻像元之间逐渐高度聚合, LST—RVI 表面由锯齿状分布逐渐趋于平滑。但无论在何种空间尺度下, 剖面上 LST 的波峰均与 RVI 的波谷相对应; 同时, 各空间尺度的 LST 在城市热岛的分布位置 (即城市中央) 均出现了一段连续的高值区域, 而与之对应的 RVI 值也较低。LST—RVI 的这种相关关系再次验证了植被对于城市热环境分布的显著影响, 以及植被对于改善当前日益严峻的“城市热岛”效应具有举足轻重的作用。

3 结论与讨论

本研究以 Landsat 8 卫星遥感影像为数据源, 利用遥感反演技术提取呼和浩特市 LST 以及 4 种比较典型的植被参数信息, 同时采用 GIS 的空间分析方法, 探讨了地表温度—植被参数的定量遥感关系,

以及不同下垫面类型对二者的影响和它们的空间尺度效应, 主要结论如下:

(1) 通过随机采样法看到, 研究区内 LST 与 4 种植被参数均呈现出显著的负相关关系, 其相关系数由高到低的顺序依次为: $\text{NDVI} > \text{RVI} > \text{MSAVI} > \text{FV}$ 。NDVI, RVI, MSAVI, FV 值每增加 0.1, 对应的 LST 分别下降: 0.99°C , 0.83°C , 1.02°C , 0.64°C , 表征植被降温程度由高到低的顺序依次为: $\text{RVI} > \text{NDVI} > \text{MSAVI} > \text{FV}$ 。

(2) 不同土地覆被类型中 LST 差异明显, LST 最高的建设用地比最低的水域高出 9.52 K 。林地的地表温度—植被参数相关性最强, 其相关系数为 $-0.578 \sim -0.623$ 。因此, 在进行城市绿地规划时应提高建设用地和裸地的植被覆盖量, 尤其林地的覆盖量, 对城市降温效果将更加明显。此外, 在 4 种植被参数中, RVI 与 LST 相关性最稳定, 对于 LST 的空

间分布特征具有最佳的指示能力。

(3) 地表温度—植被参数相关关系对空间尺度表现出较强的依赖性。其中 NDVI, FV, MSAVI, RVI 与 LST 的空间相关性分别在 120, 240, 60, 120 m 达到最高, 随后伴随着空间尺度的增加二者相关性迅速减小, 其原因是空间尺度的增大使得地表物质构成的复杂性凸显, 对 LST 产生较大影响。

本研究对地表温度—植被参数的定量遥感关系探讨只基于某一时间点, 而在某个时间序列上二者是否还具有这样的遥感关系有待进一步研究, 与此同时, 地表温度—植被参数最佳的空间尺度范围为 120~240 m, 即 1.44~5.76 hm² 间, 在进行城市绿地规划以缓解“城市热岛”效应的过程中, 这个尺度是否合理还需要通过使用更高空间分辨率的遥感影像进行验证。

参考文献:

- [1] 李双成, 刘逢媛, 高江波. 基于 L-Z 算法的 NDVI 变化复杂性的空间格局及其成因: 以北京周边为例[J]. 自然科学进展, 2008, 18(1): 68-74.
- [2] 韩贵锋, 梁保平. 地表温度与植被指数相关性的空间尺度特征: 以重庆市为例[J]. 园林生态, 2010(1): 68-72.
- [3] 梁保平, 李艺, 陈可宙. 桂林市 NDVI、地表温度的地物特征及相关性研究[J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(3): 429-435.
- [4] 王伟, 申双和, 赵小燕, 等. 两种植被指数与地表温度定量关系的比较研究: 以南京市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(4): 439-444.
- [5] 李京忠, 薛冰, 刘永涛. 基于 TM 的城市热岛效应研究及其应用探讨: 以许昌市为例[J]. 水土保持研究, 2011, 18(4): 88-97.
- [6] Ren Zhibin, Zheng Haifeng, He Xingyuan, et al. Estimation of the relationship between urban vegetation configuration and land surface temperature with remote sensing[J]. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2015, 43(1): 1-12.
- [7] 张小飞, 王仰麟, 吴建生, 等. 城市地域地表温度_植被覆盖定量关系分析: 以深圳市为例[J]. 地理研究, 2006, 25(3): 369-378.
- [8] 孙鹏, 韩沐汶, 白林波, 等. 基于 Landsat TM/ETM 的银川市热岛效应时空变化研究[J]. 水土保持研究, 2014, 21(1): 290-293.
- [9] 高江波, 吴绍洪, 蔡云龙. 区域植被覆盖的多尺度空间变异性: 以贵州喀斯特高原为例[J]. 地理研究, 2013, 32(12): 2179-2188.
- [10] 周媛, 石铁矛, 胡远满, 等. 基于城市土地利用类型的地表温度与植被指数的关系[J]. 生态学杂志, 2011, 30(7): 1504-1512.
- [11] Jiang Gao-zhen, HAN Bing, Gao Ying-bo. Review of 40-years Each Observation with Land Series and Prospects of LDCM[J]. Journal of Remote Sensing, 2013, 17(5): 1033-1039.
- [12] 陈涛, 李平湘, 张良培. 武汉地区 1988—2002 年植被覆盖度变化动态分析[J]. 遥感技术与应用, 2008, 23(5): 511-516.
- [13] Landis J R, Koch G G. The measurement of observer agreement for categorical data[J]. Biometrics, 1977, 33(1): 159-174.
- [14] 覃志豪, Zhang Ming-hua, Arnon Karnieli, 等. 用陆地卫星 TM6 数据演算地表温度的单窗算法[J]. 地理学报, 2001, 54(4): 456-466.
- [15] Sobrino, Jimenez-Munoz J. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data [J]. Journal of Geophysical Research, 2003, 108(22): 2-8.
- [16] Rozenstein O, Qin Zhi-hao, Yevgeny D. Derivation of land surface temperature for Landsat-8 TIRS using a split window algorithm [J]. Sensors, 2014, 14(4): 5768-5780.
- [17] Qin Z, Dall'olmo G, Karnieli A. Derivation of split window algorithm and its sensitivity analysis for retrieving land surface temperature from NOAA-advanced very high resolution radiometer data[J]. Journal of Geophysical Research, 2001, 106(19): 22267-22655.
- [18] 陈锋, 熊永柱. 大气水分含量的空间异质性及其对地表温度反演的影响[J]. 国土资源遥感, 2010, 84(2): 36-40.
- [19] 张成才, 陈东河, 董洪涛. 基于 Landsat-5 TM 数据的河南省白沙灌区地表温度反演研究[J]. 遥感技术与应用, 2013, 28(6): 964-968.
- [20] 贾海峰, 刘雪华. 环境遥感原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [21] 李双成, 蔡运龙. 地理尺度转换若干问题的初步探讨[J]. 地理研究, 2005, 24(1): 11-18.