

DOI: 10.5846/stxb201211271679

韩贵锋, 叶林, 孙忠伟. 山地城市坡向对地表温度的影响——以重庆市主城区为例. 生态学报, 2014, 34(14): 4017-4024.

Han G F, Ye L, Sun Z W. Influence of aspect on land surface temperature in mountainous city: a case study in central area of Chongqing City. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(14): 4017-4024.

山地城市坡向对地表温度的影响 ——以重庆市主城区为例

韩贵锋*, 叶林, 孙忠伟

(重庆大学建筑城规学院, 山地城镇建设与新技术教育部重点实验室, 重庆 400045)

摘要:为揭示坡向对山地城市地表温度的影响,以重庆市主城区为例,由 Landsat TM 影像反演地表温度,提取各坡向上的地表温度,进行方差分析。结果发现,东南和南坡向的地表温度较高,而西北和北坡向的地表温度较低,8 坡向分类时,各坡向的平均地表温度的差异具有显著性;用地类型没有坡向偏好,对于同一种用地类型,各坡向的平均地表温度没有显著差异。不同的用地类型上的城市建设强度和生产、生活活动差异是引起地表温度变化的主要因素,而坡向对城市地表温度的影响相比强烈的城市人为活动产生的环境效应而言是微弱的。

关键词:坡向;地表温度;方差分析;山地城市;重庆市

Influence of aspect on land surface temperature in mountainous city: a case study in central area of Chongqing City

HAN Guifeng*, YE Lin, SUN Zhongwei

Key Laboratory of New Technology for Construction of Cities in Mountain Area, College of Architecture and Urban Planning, Chongqing University, Chongqing 400045, China

Abstract: In mountain areas, land surface temperature (LST) is a key parameter in the surface energy budget and is an outcome of a complex interplay of topography, incoming radiation, atmospheric processes, soil moisture, land covers and vegetation types. One important factor that controls LST is topography. Slope and aspect are generally considered as important parameters in ecology as they directly influence the potential radiation and heat load in small scale. In built-up areas in mountain city, where land use/cover is completely dominated by human activities that exert a great influence on the local climate, biogeochemical circle and landscape diversity, LST is influenced not only by topology but also by human activities. In order to reveal the influence of aspect on LST, central area of Chongqing city, a typical mountain city, has been chosen as an example. Land surface temperatures (LSTs) derived from Landsat TM images were extracted by aspect using spatial analysis function in ArcGIS, and were analyzed using analysis of variance (ANOVA) in SPSS. Firstly, the scatter diagram of aspect and LST, that were extracted for each pixel, shows neither simple linear nor nonlinear relationships. Secondly, the aspect is divided into different number of classes, namely, four classes (every 90°), eight classes (every 45°), 16 classes (every 22.5°), 32 classes (every 11.25°), 64 classes (every 5.625°), 128 classes (every 2.8125°) and 360 classes (every 1°). The results show that LSTs in the southeast aspect and the south aspect are higher than other aspects, whilst LSTs in the northwest aspect and the north aspect are lower. Although aspect is an important factor influencing earth's surface energy received from the sun radiation, using finer resolution in aspect makes no

基金项目:国家自然科学基金项目(41001364);重庆市自然科学基金项目(CSTC2011jjA00025);中央高校基本科研业务费科研专项项目(CDJZR12190007)

收稿日期:2012-11-27; **网络出版日期:**2014-02-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hangf@cqu.edu.cn

significant difference from using coarser resolution. Among all class divisions, when the aspect is divided into 8 classes, the average LSTs in each aspect have the most significant differences. The average LST of each aspect is positively correlated to its area proportion in the study area. The average LSTs in each land cover/use are significantly different, however, the average LST in each aspect class is not significantly different in the same land cover/use type. This implies that the LST distribution in city is mainly caused by urban construction and human activities, roughly corresponding to different types of land cover/use. Comparing to strong environmental effects resulted from intensive and large-scale urban construction activities, the influence of aspect on LST is relatively weak. In mountain city, urban construction activities massively transform original natural topography into artificial terraces and the urban construction size is much greater than the size of hill reserved inside the city, hence it is difficult to identify aspect effect on LST. The most likely reason for this is that the differences of light condition, soil moisture, precipitation and wind velocity result from aspect are disguised or offset by intensive human activities.

Key Words: aspect; land surface temperature; analysis of variance; mountainous city; Chongqing City

城市化使地表原有的植被、土壤、水体等自然要素逐渐演变为沙砾、砖石、沥青、混凝土、金属等人工材料,降低了土壤水分蒸发,增加了感热的存储和传递,从而降低了近地面湿度和空气流动^[1-2];笼罩在城市上空的空气污染物的长时间滞留,改变了地表与大气之间的水分和热量循环。国内外对城市热环境的时空分布、驱动因子、减缓措施,以及城市热岛对城市生态和社会经济的影响等方面已经取得了大量的研究成果^[3-7]。随着遥感技术的发展,利用热红外遥感数据反演地表温度(LST)成为城市热岛研究的重要手段。太阳辐射是地球生态系统最主要、最直接的能量来源,也是LST的主要来源^[8]。在山地区域,LST受到高程、坡度、坡向、坡长、坡位等地形要素以及地表覆盖、植被类型、土壤湿度、入射辐射、大气过程和地表风速等多种因素的综合作用^[9-10]。地形是控制地表温度的一个重要因素,在小尺度上,坡度和坡向直接影响潜在的辐射和热负荷^[11-12]。目前,针对地形因素对热岛影响的案例较少^[13]。众所周知,阳坡接受的太阳辐射多于阴坡,而山地城市阳坡的地表温度是否明显高于阴坡,坡向对城市地表温度有何影响?本文以重庆市的主城区为例,利用遥感数据反演LST来探寻坡向对山地城市地表温度的影响以及两者之间的关系。

1 数据与方法

1.1 研究区

研究区位于重庆市主城区核心,地理位置为106.43°—106.60°E,29.45°—29.63°N,最大高程702

m,最小高程109 m,平均高程280 m。长江和嘉陵江横穿而过,歌乐山和南山东西相望;以低山和丘陵为主,素有“山城”之称,受山体和河流的分割,呈多中心组团式城市形态,人口密度高,建筑密度大。为了便于制图和统计,研究区边界在南岸区南部和巴南区境内未跨越南山,与重庆市实际的内环线边界稍有差异,其余部分与重庆市实际的内环线边界一致(图1),面积约227 km²。

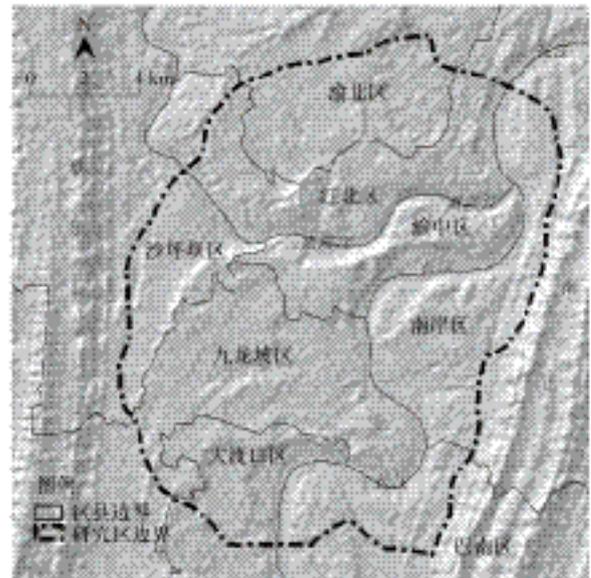


图1 研究区

Fig.1 Location of the study area

1.2 数据处理

1.2.1 遥感数据

两景 Landsat TM 影像的轨道号行号为 p128/r39、p128/r40,成像时间2009年8月24日,太阳方

位角 122° , 云量小于 10%。反演地表温度所用的第 6 波段的空间分辨率为 120 m。利用 ERDAS 进行大气校正、辐射校正、滤波除雾,以及直方图匹配,然后镶嵌拼接处理。以 1:1 万地形图为参考,均匀选取 56 个控制点进行几何校正,精度控制在一个像元内。为了消除地形对遥感成像的影响,利用高程纠正了地形阴影产生的误差。

1.2.2 高程数据

高程数据来自 Global Digital Elevation Model (GDEM) (<https://wist.echo.nasa.gov/>), 空间分辨率 30 m, WGS84 坐标系, 与 TM 影像有很好的 consistency, 在 ArcGIS 中生成坡向(图 2)。

其他的资料还包括研究区土地利用现状图、城乡规划图和建设现状图等。

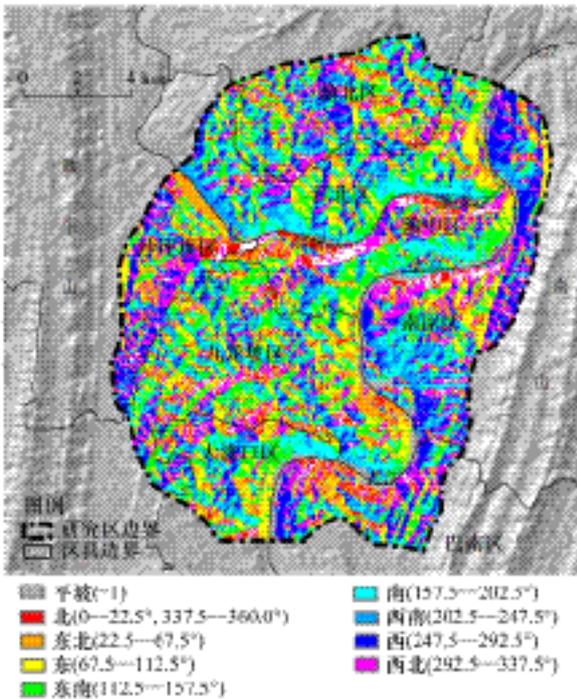


图 2 坡向
Fig.2 Aspect

1.2.3 LST 数据

利用 TM 第 6 波段定量反演地表温度主要包含 3 个步骤^[14-15]: ①将影像灰度值转化为热辐射亮度; ②将热辐射亮度转化为地表辐射亮温; ③将地表辐射亮温转化为地表温度, 将结果减去 273.15 转化为摄氏温度。LST 的反演公式和参数取值, 详见文献^[16-17], 以及 TM 头文件和说明文档。反演得到的 LST 如图 3。

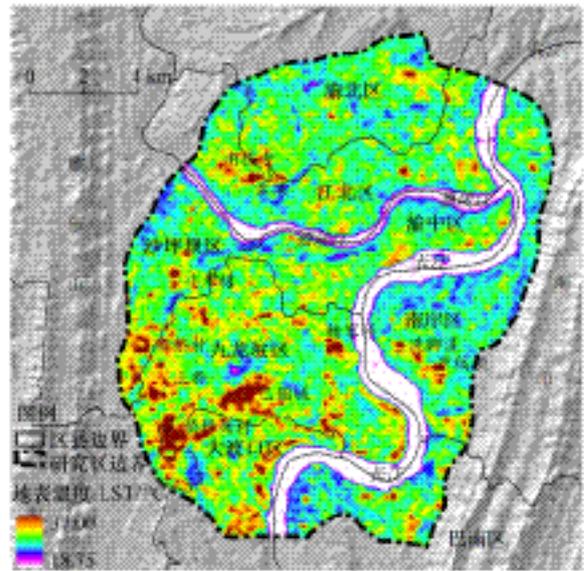


图 3 地表温度
Fig.3 Land surface temperature

1.3 研究方法

中等尺度上, 8 坡向分类最为常用, 故将坡向划分为: 东 ($67.5^\circ-112.5^\circ$)、东南 ($112.5^\circ-157.5^\circ$)、南 ($157.5^\circ-202.5^\circ$)、西南 ($202.5^\circ-247.5^\circ$)、西 ($247.5^\circ-292.5^\circ$)、西北 ($292.5^\circ-337.5^\circ$)、北 ($0^\circ-22.5^\circ, 337.5^\circ-360^\circ$) 和东北 ($22.5^\circ-67.5^\circ$), 分别对应半阴坡、半阳坡、阳坡、阳坡、半阳坡、半阴坡、阴坡和阴坡^[18], 剔除水面后提取各坡向的平均 LST, 利用 SPSS 进行方差分析, 揭示 LST 在不同坡向上的分布特征, 以及与坡向的关系。在利用 ArcGIS 计算坡向时, 出现极少量的坡向为 -1 的地区, 即平坡, 仅有 3.21 km^2 , 本文不予分析。此外, 由于城市下垫面对 LST 有直接作用, 以面积较大的居住用地、绿地、商业用地和工业用地为例, 分析同类地上坡向对 LST 的影响。

2 结果与分析

2.1 LST 在坡向上的分布

山地坡向对日照时数和太阳辐射强度有影响。通常情况下, 辐射收入南坡最多, 其次为东南坡和西南坡, 再次为东坡与西坡及东北坡和西北坡, 最少为北坡, 向光坡和背光坡之间温度差异常常是明显的。然而, 在城市区域, 统计结果显示 8 个坡向的平均 LST 接近, 相差不足 1°C ; 依据坡向度数从小到大的顺序, 8 个坡向上各自平均 LST 呈现先增大后减小的态势(图 4)。卫片成像时的太阳方位角为 122° ,

东南坡向恰好朝向太阳光线,其平均 LST 最大(26.77 °C);其次,南坡和东坡的平均 LST 次之;北、西和西北 3 个坡向的 LST 相对较小,而西北坡向的 LST 最小(26.2 °C)。对于某一特定地区,在天文参数、地理因子以及大气环流等其它条件相同的情况下,总辐射与地面温度存在相关性,接受的辐射量越多,温度越高^[19]。通常情况下,自然覆盖的地表其阳坡(向光坡) LST 应该明显高于阴坡(背光坡),然而在山地城市,以人工材料为主的下垫面在不同坡向上的 LST 相差不足 1 °C。这说明,在城市区域,坡向作为一个自然地形要素,对 LST 可能有一定影响,但是其影响远远小于人工下垫面和城市活动产生的影响。

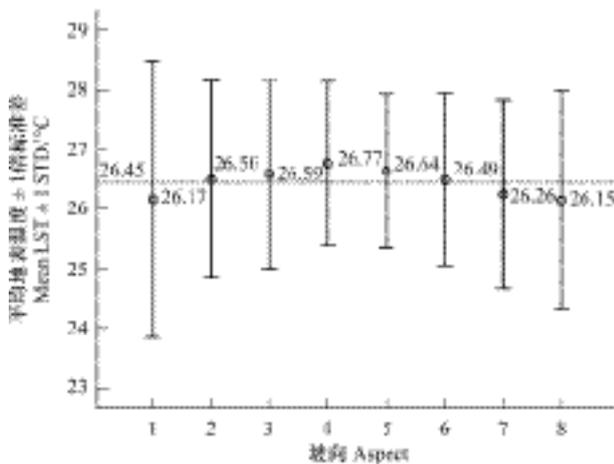


图 4 8 个坡向的 LST 统计特征

Fig.4 Statistical information of LST in eight aspects

1 北 North, 2 东北 Northeast, 3 东 East, 4 东南 Southeast, 5 南 South, 6 西南 Southwest, 7 西 West, 8 西北 Northwest; 虚线为 LST 平均值 Dashed line indicates average LST

从总体上看,虽然各坡向的平均 LST 相差很小,但是每个坡向内的 LST 最大值与最小值之差(极差)较大,均介于 11—16 °C 之间,这与地表覆盖/利用类型密切相关。例如,同一个坡向内高密度的居住和商业用地 LST 远高于绿地 LST。东、东南和南 3 个坡向分别属于半阴坡、半阳坡和阳坡,所接受到的太阳辐射相对也是比较的, LST 极差比其他坡向大。在小尺度上,因坡向不同而导致地表接受的太阳辐射能量差异是很小的,而地表覆盖/利用类型才是导致 LST 差异的主因。如果将 8 个坡向合并为 4 个坡向:阴坡(315—360°, 0—45°)、半阴坡(225—315°)、半阳坡(45—135°)和阳坡(135—225°),统计结果

类似。

2.2 坡向划分对 LST 的显著性影响

LST 在不同坡向上较小的差异是否具有显著,与坡向分类粗细是否有关?为此,选择方差分析对这些差异进行解释。方差分析的前提假设是,处理组样本是相互独立的随机样本,其总体服从正态分布。然而,坡向和 LST 均是典型的地理空间连续分布变量,时空分布、格局与过程都有尺度依赖性。在城市尺度上,基于 TM 数据的应用分析,有研究表明,450 m 的空间取样尺度即可避免大部分空间自相关性^[20]。因此,设置 450 m×450 m 取样窗口并覆盖研究区,窗口中心位置为样点,提取每个样点的坡向和 LST 值。然后,统计每个坡向的平均 LST,每一种坡向分类方案分别进行统计(4 坡向分类、8 坡向分类、16 坡向分类、32 坡向分类、64 坡向分类、128 坡向分类、360 坡向分类),再利用 SPSS 进行方差分析。

统计发现,当坡向为 8 分类和 16 分类时,平均 LST 的组间方差 F 检验具有显著性,其中 8 坡向分类的 F 检验值($F = 2.694, P = 0.009 < 0.05$)优于 16 坡向分类的 F 检验值($F = 1.947, P = 0.016 < 0.05$)。在这两种坡向分类情况下,虽然各坡向的平均 LST 数值相差都不足 1 °C,但是这种差异是有统计学意义的。对于其他 5 种坡向分类方案,各坡向的平均 LST 对应的 F 检验值均没有显著性。坡向分类越细,同一种坡向覆盖的面积小,其地表覆盖/利用类型多样性降低,地表覆盖特征趋于单一化,因坡向不同产生的 LST 差异虽然不具有显著性,但是逐渐显现出来,表现为各坡向的 LST(组间)变大,而同一坡向内 LST(组内)差异小。反之,坡向分类越粗,同一种坡向覆盖面积大,包含了多种地表覆盖/利用类型及其对应的土地开发建设活动,各坡向的地表覆盖特征越相似,各坡向的平均 LST(组间)差异小,而同一坡向内 LST(组内)差异大。

事实上,在城市尺度上,某项开发建设活动或生产、生活活动往往占据多个坡向,地表覆盖/利用特征、开发建设活动和生产、生活活动等因素主导了 LST,并在多个坡向内的作用几乎相同,过细的坡向划分难以体现地形坡向造成的 LST 分布差异。显然,8 坡向分类能有效表征 LST 差异,无论这种差异是人为活动造成的还是自然地形要是造成的,在城

市规划和开发建设中,尤其是在山地城市,城市人居环境的建设与改善在利用坡向或者避免坡向负面影响时,从 8 个坡向考虑是较合适的。

2.3 基于用地类型的坡向与 LST 的方差分析

土地覆盖/利用类型差异致使地表材质及其理化特征不同,从而引起的 LST 变化是显而易见的,是城市热岛的一个重要驱动力因子^[21]。统计发现,每个坡向内某用地的面积比例,与该类用地占研究区总面积的比例保持一致。例如,研究区内面积最大的是居住用地,那么每个坡向内面积最大的依然是居住用地;研究区内绿地总面积次之,相应地,在每个坡向内面积排第二的用地类型均是绿地。也就是说,用地类型的空间分布没有坡向差异,即各类用地没有坡向偏好。每类用地的平均 LST 显示(图 5),水面平均 LST 最低,仅有 20.79 °C;工业用地主要为水泥、沥青和金属等不透水地面,平均 LST 最高(27.89 °C);仓储和对外交通用地的平均 LST 均大于 27 °C;其他用地类型(除水域外)的平均 LST 均介于 26—27 °C 之间。组间方差检验值 $F = 5672.883$ ($P = 0.00 < 0.05$),即不同的土地利用类型,其平均

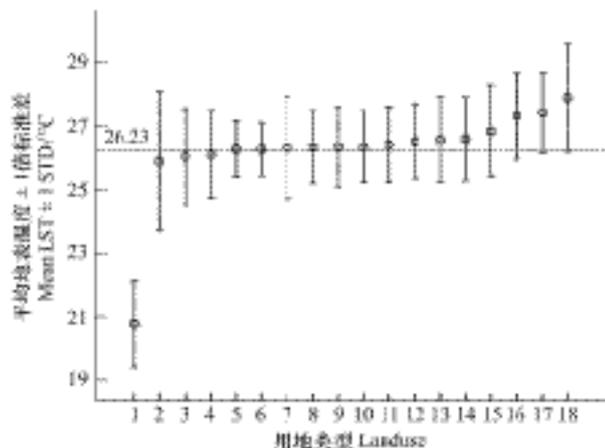


图 5 各类型用地的平均 LST

Fig.5 Average LST in various land use

1: 水域 Water, 2: 文物古迹用地 Heritage, 3: 特殊用地 Specially designated land, 4: 绿地 Green sapce, 5: 医疗卫生用地 Medical and health land, 6: 行政办公用地 Administrative land, 7: 道路广场用地 Roads and square, 8: 商业用地 Commercial land, 9: 文娱用地 Cultural and recreational land, 10: 中小学用地 School land, 11: 居住用地 Residential, 12: 教育科研用地 Education and scientific research, 13: 体育用地 Sports sites, 14: 停车场 Parking area, 15: 市政设施用地 Municipal utilities, 16: 仓储用地 Warehouse, 17: 对外交通用地 Transportation, 18: 工业用地 Industrial land; 虚线为 LST 平均值 Dashed line indicates average LST

LST 的差异是显著的。在研究区内,居住、绿地、水域、工业和商业的面积较大,其中,工业主要集中在西南部即九龙坡区,水域主要是长江和嘉陵江水面,绿地主要分布在局部海拔较高的山头或公园,居住和商业用地面积大且在空间上分布较分散。城市用地的选择并没有太多地考虑坡向这个地形要素,每一类用地在不同的坡向上都有分布。用地类型不同其开发强度不同,而相同的用地类型其开发强度是相似的,那么同一用地类型其 LST 在不同坡向上是否有差异呢?为此,选取面积较大的居住、绿地、商业和工业用地,提取每类用地上的坡向(8 坡向分类)和 LST,再次进行方差分析。

2.3.1 居住用地 LST 与坡向

正东坡向的平均 LST 最大(26.66 °C),正西坡向的平均 LST 最小(26.09 °C),两者之差仅有 0.57 °C。平均 LST 组间方差检验值 $F = 0.148$ ($P = 0.245 > 0.05$),即各坡向的平均 LST 没有显著差异。山区丘陵的居住用地通常优先考虑向阳通风坡面,那么开发建成后向阳坡面的居住用地的平均 LST 应该明显高于向阳坡面的居住用地的平均 LST。而实际上在本研究区内,居住用地是面积最大的用地类型,空间分布十分广泛,较高的开发建设强度和人为活动强度对 LST 的影响是剧烈的,坡向这个自然要素对城市 LST 作用力或影响力相对十分弱小,即不是影响城市 LST 变化的主导因子,最终导致了不同坡向的居住用地的平均 LST 差异不显著。由于重庆属于典型的组团城市,组团内居住用地建设强度大,组团之间的居住用地建设强度小,而且包含有一类、二类、三类等多样化的居住用地类型,即使在同一个坡向内,居住用地的之间的这些差异性造成了坡向内 LST 极差较大(6—8 °C)。

2.3.2 绿地 LST 与坡向

绿地是城市中最重要生态基础设施,其面积大小和数量是改善城市热力环境的重要因子^[21]。局部山体、公园和难以利用的陡坡地区是绿地集中分布区,其平均 LST 相对较小(图 5)。东南坡向的平均 LST 最大(26.56 °C),正西坡向的平均 LST 最小(25.42 °C),两者之间的差值仅有 1.14 °C。各坡向的绿地平均 LST 的组间方差检验值 $F = 1.299$ ($P = 0.255 > 0.05$),即各坡向的绿地平均 LST 差异不显著。

在高强度开发的主城区,绿地处于居住、商业、工业等其他高度人工化用地的包围之中,人造设施和人为活动对绿地生态系统起着重要的支配作用,绿地空间位置、面积、植被种类组成及其结构受到人工化的强烈干预,植被的生物生产力和分解能力是低下的,绿地不断被城市建设蚕食,植被的面积持续减少,大斑块面积和数量均在下降,大块植被被建筑物分隔成孤岛,斑块面积变小,破碎化程度不断加剧^[22]。城区内近自然林地荡然无存,被物种结构单一和种植结构植被单一的人工化草坪和景观林地代替,生物多样性低,绿地植被应有的调节小气候、降低温度、空气净化等自然生态功能的发挥越来越有限。这些城市生态系统高度人工化的特征,首先使得不同坡向上的植被种类组成、空间结构、生长活力、丰度、物候等生态特征趋于相同;其次,不同坡向上绿地植被的地表土壤几乎都是取土填方,其土壤质地结构高度人工化,理化性质趋同;再者,城市地表气温、大气结构以及气象特征受到城市人为活动的强烈影响,原本光照、温度、雨量、风速等因子的在坡向上的差异几乎不复存在。以上多种原因综合作用使得绿色植被在阴坡和阳坡对 LST 的调节作用几乎被掩盖,致使不同坡向上的绿地平均 LST 没有显著差异。绿地植被在长期、持续且高强度的人为干扰、影响和胁迫下,其生态过程具有高度不稳定性和脆弱性,尽管如此,绿地的平均 LST 比居住用地低 0.29 °C,比商业用地低 0.22 °C,比仓储用地低 1.17 °C,比交通用地低 1.32 °C,比工业用地低 1.78 °C(图 5);而且各坡向内绿地 LST 极差明显,这表明虽然绿地面积有限,但是其有限的气温调节的生态功能在持续发挥作用,坡向不同而引起的光、热、水、气等因子差异被城市剧烈的人为建设造成的环境效应所掩盖,但至少比坡向对居住用地 LST 的作用强,更胜于坡向对完全人工化的交通和工业用地 LST 的作用。

2.3.3 商业用地 LST 与坡向

商业用地的面积次于居住用地和绿地,面积比例为 8.35%,主要分布于各个城市组团商圈。商业用地往往选择在区位条件优越且地势相对平坦的空间上布置,坡度小,人口密集,土地开发强度非常大。整个商业用地的平均 LST 为 26.52 °C,最大 LST 为 30.66 °C,最小 LST 为 23.99 °C,极差 6.67 °C。各坡向的商业用地平均 LST 的组间方差检验值 $F=0.566$

($P=0.780>>0.05$),不具有显著性。由于商业用地坡度相对较小,坡向变化几乎不会造成商业用地的平均 LST 变化,较平坦的地势情况下,原本较小的坡向变化并不会导致接受的太阳辐射有较大的差异,同时商业用地的高强度开发形成的地表构成及人为热量排放极大地主导了 LST 的分布,坡向变化对商业用地的平均 LST 影响远远不及人为因素的影响大。例如,每个坡向内的 LST 极差均介于 1.68—5.85 °C,正北坡向的平均 LST 极差最大,而东北坡向的极差最小,这两个相邻坡向分别对应于阴坡和半阴坡,坡向十分接近,即地形坡向的影响是非常接近的,然而各自坡向内的 LST 极差不同,这直接源于商业开发建设和人为活动强度的不同。

2.3.4 工业用地 LST 与坡向

工业用地的面积仅次于商业用地,面积比例为 8.32%。在所有的用地类型中,工业用地的平均 LST 最高(27.89 °C),LST 最大为 37 °C,LST 最小为 23.56 °C,LST 极差高达 13.44 °C,LST 极差在所有的用地类型中也是最大的,这源于更为彻底的人工化金属、混凝土等地面、屋顶和墙面覆盖物,以及生产过程中会排放大量的废热。各坡向的工业用地平均 LST 的组间方差检验值 $F=0.505$ ($P=0.827>>0.05$),没有显著差异。工业用地的选择和建设对地形的更加严格,平坦的地势是最基本的条件,以便满足工业生产对场地的要求,同时节省地形改造成本。各坡向内的 LST 极差除了正北坡向最小(2.5 °C)外,其余坡向的 LST 极差介于 4.13—6.64 °C,这些差异可能源于具体的工业类型及其所用材质的不同,面对工业生产导致的强大的热环境效应,坡向对 LST 的作用则十分微弱。

3 结论与讨论

3.1 结论

不同坡向的平均 LST 相差不足 1 °C,而同一个坡向内的 LST 相差较大;坡向平均 LST 随着坡向度数的增加(0—360°)呈现出先增大后减少的趋势。坡向作为影响地表接受太阳辐射多寡的重要因素,进行 8 坡向分类时,坡向之间的 LST 差异具有显著性,过细地坡向划分很难区分这种差异。城市用地类型没有坡向偏好,不同的用地类型的平均 LST 差异显著,而主要的用地类型的平均 LST 在不同的坡

向上没有显著差异。在城市尺度上, LST 主要受控于用地类型和开发建设强度, 相比城市强大的人工建造物及其强烈的环境效应, 坡向对 LST 的影响在城市中难以体现。

3.2 讨论

(1) 坡向与 LST 之间的复杂性

LST 和坡向都是反映地表状况的重要参数, 均具有尺度依赖性, 设置 30、60、120、250、500 m 和 1 km 等 6 个尺度的取样网格, 提取网格内的 LST 和坡向数值, 两者的 Pearson 相关系数 R 均小于 0.2, 且不显著, 利用多种函数进行的拟合也是不显著的。鉴于坡向从 0° 到 360° 具有循环特征, 参考 Moisen 和 Frescino 的研究^[23], 利用公式 $(1 - \cos((\pi/180) \times (\text{aspect} - 30))) / 2$ 将坡向转换为 0—1 的变量, 再与 LST 进行线性和非线性拟合, 也不具有显著性。事实上, 坡向与 LST 之间的复杂性应该从 3 个方面考虑: 坡向与经纬度、坡度、坡长、坡度变率、坡位等密切相关, 这些自然地形要素综合作用决定了吸收太阳辐射多寡; 地表覆盖物、土地利用类型、土壤类型和土壤湿度等地表覆盖因子共同作用决定了吸收、转化和辐射的热量; 土地开发建设强度、人为活动方式和类型则决定了施加于地表的热量多少。

(2) 坡向面积与 LST

统计 8 个坡向上的面积, 东南坡向面积最大, 其次是南坡向和东坡向, 再次是东北和西南坡向; 其余 3 个坡向的面积接近。各坡向的面积分布与该坡向的平均 LST 分布(图 4)完全一致。对于其他多种坡向划分方案, 也发现了相似的规律。事实上, 假设在某一个阴坡面积占优的地区, 阴坡绿地或林地覆盖面积较大, 那么阴坡的平均 LST 应该低于那些面积较小而且以居住、商业、工业为主的阳坡的平均 LST。而本文作为一个案例研究, 还不足以说明各坡向的平均 LST 与坡向所占面积之间存在正的相关性, 还有待更多研究加以验证。

(3) 城市坡向的可识别性低

当地表是自然覆盖时, 在具有较大的坡度和坡长的山地, 光照、温度、雨量、风速、土壤质地等因子的综合效应在各坡向上是有差异的。然而, 城市建设通常需对原始地表坡度进行改造, 往往形成多级台地状地形, 而且城市建设在 2 维平面上的规模尺度远大于城市内部保留的自然山体, 导致除绿地和

水域外的大部分建设用地的坡向可识别性降低。从而导致坡向引起的光照、雨量、温度、风速等因子没有明显差异, 坡向引发的微弱的 LST 的变化被强度和广度巨大的人工建设产生的环境效应掩盖或冲抵。

(4) 加强坡向对城市规划用地选择的指引

同类用地的 LST 在各坡向无明显差异, 在一定程度上也说明了, 目前城市规划和建设很少或没有考虑坡向因素。坡向决定着地表接受太阳辐射的多少, 是影响地表和近地面水热交换的一个重要因素, 虽然这种影响在城市里被强大的人为建设的环境效应所掩盖, 但是, 如果山地城市能有效利用坡向因素, 也是实施低碳城市和生态规划的一种有效途径。例如, 在城市规划时, 进行多要素综合分析居住用地选址时, 增加考虑坡向因素, 发挥阴坡和半阳坡的接受太阳辐射少的优势, 从而达到节能减排的目的。

References:

- [1] Roth M. Review of urban climate research in (sub) tropical regions. *International Journal of Climatology*, 2007, 27 (14): 1859-1873.
- [2] Onishi A, Cao X, Ito T, Shi F, Imura H. Evaluating the potential for urban heat-island mitigation by greening parking lots. *Urban Forestry and Urban Greening*, 2010, 9(4): 323-332.
- [3] Yue W Z, Xu L H, Xu J H. Thermal environment change and its socioeconomic drivers in Shanghai City during the 1990s. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(1): 155-164.
- [4] Li J J, He L H, Chen J. A Study on urban thermal field of Nanjing based on satellite remote sensing. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2005, 14(6): 760-763.
- [5] Dai X Y, Zhang L Q, Guo Z Y, Wu J P, Li X D, Zhu Y L. Mechanism of formation of urban heat island effect and its spatial pattern in Shanghai. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(7): 3995-4004.
- [6] Han G F, Zhao K, Yan W T, Ye L. Multi-gradients of land surface temperature in mountainous cities with rapid urbanization: A case study in central area of Chongqing City. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(6): 1655-1662.
- [7] Han G F, Yan W T, Zhao K, Ye L. Spatial-temporal changes of surface heat island in the central area of chongqing over the past 20 Years. *Research of Environmental Sciences*, 2012, 25(6): 615-621.
- [8] Wang L, Qiu X F, Wang P F, Liu A L. Distributed modeling of global solar radiation of rugged terrain of the Yangtze River Basin. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(5): 543-552.

- [9] Bertoldi G, Notarnicola C, Leitinger G, Endrizzi S, Zebisch M, Della Chiesa S, Tappeiner U. Topographical and ecohydrological controls on land surface temperature in an alpine catchment. *Ecohydrology*, 2010, 3(2): 189-204.
- [10] Hais M, Kucera T. The influence of topography on the forest surface temperature retrieved from Landsat TM, ETM+ and ASTER thermal channels. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2009, 64(6): 585-591.
- [11] McCune B. Improved estimates of incident radiation and heat load using non-parametric regression against topographic variables. *Journal of Vegetation Science*, 2007, 18(5): 751-754.
- [12] Pierce K B, Lookingbill T, Urban D. A simple method for estimating potential relative radiation (PRR) for landscape-scale vegetation analysis. *Landscape Ecology*, 2005, 20(2): 137-147.
- [13] Liu Y, Zhang S R, Li Y, Zhang L. The spatial heterogeneity of brightness temperature and the relationship between it and landform in Songlinkou area. *Journal of Mountain Science*, 2006, 24(Supplement): 137-141.
- [14] Qin Z, Kanieli A, Berliner P. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, 22(18): 3719-3746.
- [15] Yuan F, Bauer M E. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 2007, 106(3): 375-386.
- [16] Duan J L, Song X, Zhang X L. Spatiotemporal variation of urban heat island in Zhengzhou City based on RS. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(1): 165-170.
- [17] Weng Q, Lu D, Schubring J. Estimation of land surface temperature: vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 89(4): 467-483.
- [18] Xu S J, Zeng B, Su X L, Lei S T, Liu J H. Spatial distribution of vegetation and carbon density in Jinyun Mountain Nature Reserve based on RS/GIS. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(7): 2174-2184.
- [19] Yang X, Tang G A, Wang C, Deng F D. Terrain-revised ground surface temperature model of mountain area based on DEM: A case study in Yaodian county of Shaanxi province. *Scientia Geographica Sinica*, 2007, 27(4): 525-530.
- [20] Han G F, Xu J H. Vegetation change trajectory and the reasons in Shanghai City. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(4): 1793-1803.
- [21] Chen X L, Zhao H M, Li P X, Yin Z Y. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 104(2): 133-146.
- [22] Han G F, Xu J H, Yuan X Z, Sun R. Spatiotemporal change of vegetation distribution in central area of Chongqing City in 1988—2001. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(9): 1412-1417.
- [23] Moisen G G, Frescino T S. Comparing five modelling techniques for predicting forest characteristics. *Ecological Modelling*, 2002, 157(2/3): 209-225.

参考文献:

- [3] 岳文泽, 徐丽华, 徐建华. 20世纪90年代上海市热环境变化及其社会经济驱动力. *生态学报*, 2010, 30(1): 155-164.
- [4] 李俊杰, 何隆华, 陈杰. 南京城市热场的卫星遥感分析. *长江流域资源与环境*, 2005, 14(6): 760-763.
- [5] 戴晓燕, 张利权, 过仲阳, 吴健平, 栗小东, 朱燕玲. 上海城市热岛效应形成机制及空间格局. *生态学报*, 2009, 29(7): 3995-4004.
- [6] 韩贵锋, 赵珂, 颜文涛, 叶林. 快速城市化山地城市地表温度的多维梯度——以重庆市主城区为例. *应用生态学报*, 2012, 23(6): 1655-1662.
- [7] 韩贵锋, 颜文涛, 赵珂, 叶林. 近20年来重庆市主城区地表热岛的时空变化. *环境科学研究*, 2012, 25(6): 615-621.
- [8] 王丽, 邱新法, 王培法, 刘爱利. 复杂地形下长江流域太阳总辐射的分布式模拟. *地理学报*, 2010, 65(5): 543-552.
- [13] 刘宇, 张世榕, 李怡, 张林. 松林口地区亮度温度的空间变化及其与地形因子关系. *山地学报*, 2006, 24(增): 137-141.
- [16] 段金龙, 宋轩, 张学雷. 基于RS的郑州市城市热岛效应时空演变. *应用生态学报*, 2011, 22(1): 165-170.
- [18] 徐少君, 曾波, 苏晓磊, 类淑桐, 刘建辉. 基于RS/GIS的重庆缙云山自然保护区植被及碳储量密度空间分布研究. *生态学报*, 2012, 32(7): 2174-2184.
- [19] 杨昕, 汤国安, 王春, 邓凤东. 基于DEM的山区气温地形修正模型——以陕西省耀县为例. *地理科学*, 2007, 27(4): 525-530.
- [20] 韩贵锋, 徐建华. 上海城市植被变化轨迹及其成因分析. *生态学报*, 2009, 29(4): 1793-1803.
- [22] 韩贵锋, 徐建华, 袁兴中, 孙荣. 1988—2001年重庆市主城区植被的时空变化. *生态学杂志*, 2007, 26(9): 1412-1417.