

# 基于 RS 和 GIS 的乌鲁木齐市地表热环境研究

余红娇<sup>1</sup>, 魏建新<sup>2\*</sup>

(1. 新疆大学资源与环境科学学院, 新疆乌鲁木齐 830046; 2. 新疆维吾尔自治区国土资源信息中心, 新疆乌鲁木齐 830002)

**摘要** [目的]研究西部大开发、“一带一路”战略推进下带来的乌鲁木齐市热环境问题。[方法]选取 1994 年 7 月 16 日、2008 年 8 月 7 日的 Landsat-5/TM 及 2015 年 7 月 17 日的 Landsat-8/OLI\_TIRS 影像数据, 利用单窗算法进行地表温度反演, 对反演结果进行空间统计分析, 提出从整体至分区角度分析乌鲁木齐市地表温度时空分布状况, 通过对地表温度反演结果归一化处理划分热环境等级, 进而研究乌鲁木齐市地表热环境时空变化特征。[结果]整体上, 1994—2015 年地表温度差异较大, 平均温度相差 15.08 °C, 最高温度和最低温度相差近 30.00 °C, 最低温度变化不大。区域上, 新市区、沙依巴克区、天山区地表温度历年来一直居高, 最低温度一般分布在水磨沟区和乌鲁木齐县。[结论]乌鲁木齐市中心城区热环境效应较为明显, 城市高温区有扩散的显著趋势。

**关键词** RS; GIS; 地表温度; 热环境; 乌鲁木齐市

中图分类号 TP79 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)11-0052-06

## Research on Surface Thermal Environment in Urumqi Based on RS and GIS

YU Hong-jiao<sup>1</sup>, WEI Jian-xin<sup>2</sup> (1. College of Resource and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046; 2. Xinjiang Land and Resources Information Center, Urumqi, Xinjiang 830002)

**Abstract** [Objective] The research aimed to study the environment problems of the constant advancing strategy of western development and Belt and Road. [Method] The paper selecting Landsat-5/TM on July 16 in 1994 and on August 7 in 2008 and Landsat-8/OLI\_TIRS three scenes image data on July 17 in 2015, using mono-window algorithm to carry out land surface temperature inversion. The inversion results were in spatial statistical analysis, and proposed an angle that from the overall to regional analysis on Urumqi surface temperature distributions of time and space. The results of land surface temperature inversion were in normalization processing to divide heat environment levels, and then the features of land surface thermal environment in Urumqi were studied. [Result] On the overall, the land surface temperature difference during 1994/2015 was big, and the average temperature difference was 15.08 °C. The maximum temperature and the minimum temperature difference was nearly 30.00 °C. The lowest temperature change was not obvious. On the area, the land surface temperature in new urban area, Sha Ebak area, Tianshan area had been high over years. The lowest temperature was commonly distributed in Shuimogou area and Urumqi County. [Conclusion] The thermal environment effect in Urumqi City is more obvious, and the city high temperature area has the significant trend of expanding and extending outward.

**Key words** RS; GIS; Land surface temperature; Thermal environment; Urumqi City

近年来, 由于城市化及工业化进程迅速发展, 导致城市下垫面性质和空气质量发生改变, 城市热环境随之变化, 与此同时也造成了一系列环境问题和生态问题。城市热环境变化作为影响环境问题的一个重要因素, 也成为国内外专家学者研究的重要课题。城市热环境是城市空间环境在热力场中的综合表现, 不同热环境格局对城市微气候、城市生态环境、人居环境等有着深远影响<sup>[1]</sup>。在全球气温变暖温室效应加剧的大环境下, 城市不透水层热辐射增多使得城市热岛效应加剧。建筑物密度及高度的不断增加会阻碍城市通风, 使得城市中心地区温度往往会高于周围地区<sup>[2]</sup>。

1833 年 Howard 首次提出“热岛效应”的概念后, 有国外学者对许多大城市的热岛效应时空变化特征与植被覆盖之间的耦合关系进行了对比分析与评价<sup>[3-4]</sup>。国内一些学者利用遥感技术手段对上海、北京、济南等中东部省会城市地表热环境进行研究, 揭示了不同地区地表温度场空间变异特征, 对常见地表类型进行热特征分析, 发现热环境效应在城市普遍存在, 但因城市规模、园林绿化、市政规划及地理位置差异程度有所不同, 并且热环境效应与人口密度、建筑用地面积、植被覆盖、景观格局有着密切的关系<sup>[5-8]</sup>。有学者利

用不同遥感数据源对乌鲁木齐市热岛效应影响机制进行研究, 发现乌鲁木齐市热岛中心主要分布在城区人口密度大及工业区聚集地区, 植被和水体具有减弱热岛效应的作用<sup>[9-11]</sup>。利用遥感技术研究城市热环境主要通过地表温度的差异性进行研究。目前, 使用遥感数据反演地表温度的方法有辐射传输法、单窗算法<sup>[12]</sup>、普适单通道法<sup>[13]</sup>、劈窗算法等, 不同方法各有其适用性<sup>[14-17]</sup>。王乐<sup>[18]</sup>在西安市地表温度反演及城市热环境研究中对关于这些算法精度的对比研究进行了总结, 得出单窗算法精度相对较高, 具有一定的优越性。

乌鲁木齐市相关的热环境研究并未从整体到分区角度对热环境特征及空间格局进行分析。笔者选取 Landsat-5/TM 和 Landsat-8/OLI\_TIRS 数据, 利用单窗算法对乌鲁木齐市中心的 6 个城区进行地表温度反演, 并从整体到各区的角度分析城市地表热环境效应时空格局, 研究其热环境现状及特征, 服务于城市规划与管理, 为城市规划区域综合整治发展至全局提供有效的学术支撑, 科学倡导绿色生态文明城市, 有利于合理进行西部大开发, 构建西北现代化文明城市, 让环境友好型城市在“一带一路”建设中发挥更大作用。

## 1 资料与方法

**1.1 研究区概况** 乌鲁木齐市位于中国西北、亚欧大陆腹地, 地处新疆维吾尔自治区中北部、天山中段北麓、准格尔盆

**作者简介** 余红娇(1993—), 女, 新疆伊犁人, 硕士研究生, 研究方向: GIS 应用、国土资源规划、激光雷达工程技术。\* 通讯作者, 教授级高级工程师, 博士, 硕士生导师, 从事 GIS 应用、国土资源规划、激光雷达工程技术研究。

**收稿日期** 2018-01-23; **修回日期** 2018-02-24

地南缘,地理坐标为  $86^{\circ}37'33'' \sim 88^{\circ}58'24''$  E、 $42^{\circ}45'32'' \sim 45^{\circ}00'00''$  N。乌鲁木齐市深居内陆,属于温带大陆性干旱气候,全年干燥少雨,春秋季节时间短,冬夏季时间长,7、8 月份最热,1 月份温度最低。由于乌鲁木齐三面环山,类似盆地的特殊地形,夏季,随着太阳高度角的增大,市区容易聚集热量而不易散发。乌鲁木齐市周围地表多戈壁分布,增温较明显,夏季天气较为燥热,容易出现极端高温。乌鲁木齐市有七区一县,市区面积  $14\ 216.3\ \text{km}^2$ 。该研究选取处于中心地带的主要 6 个城区为研究区(图 1 深色部分),分别是新市区、沙依巴克区、水磨沟区、天山区、头屯河区、北部的乌鲁木齐县。

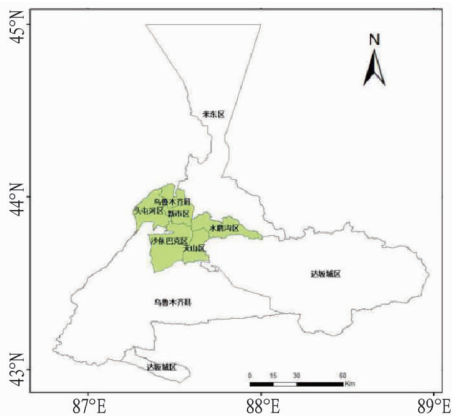


图 1 研究区示意图

Fig. 1 Sketch map of the study area

**1.2 数据来源及影像预处理** 选取 1994 年 7 月 16 日、2008 年 8 月 7 日的 Landsat5/TM 及 2015 年 7 月 17 日的 Landsat8/OLI\_TIRS 数据,数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台 (<http://www.gscloud.cn>),还包括气象、高程等一系列辅助数据。研究选取的影像数据时间间隔较小,且覆盖研究区云量较少,影像数据质量较好,能够用于反演地表温度。在进行地表温度反演前,利用 ENVI5.1 对遥感影像进行几何校正、空间配准、辐射定标、大气校正、图像裁剪、图像增强等预处理操作。

**1.3 研究方法** 利用遥感技术对城市地表热环境效应进行研究,主要是通过遥感数据反演研究区地表温度。根据地表温度的差异性和分布特点分析地表热环境效应的时空变化特征。该研究选取覃志豪等<sup>[11]</sup>提出的单窗算法,利用辐射亮温值、地表比辐射率、大气透过率和大气平均作用温度 4 个参数进行地表温度反演。其中大气透过率和大气平均作用温度根据近地面的大气湿度和平均气温估算得出。

**1.3.1 地表辐射亮温计算。**将 Landsat5/TM 的 TM6 热红外波段和 Landsat8/OLI 的 TIRS-10 热红外波段像元灰度值转换为辐射强度值,进而求出相应的辐射亮温值。公式如下:

$$L_{\lambda} = \text{gain} \times DN + \text{offset} \quad (1)$$

$$L_{\lambda} = \frac{DN(L_{\max} - L_{\min})}{255} + L_{\min} \quad (2)$$

式中, $L_{\lambda}$  为热辐射强度值,gain 为波段增益系数,DN 为热红外波段的灰度值,offset 为偏移系数。 $L_{\min}$  为传感器可探测到的最小辐射亮度, $L_{\max}$  为传感器可探测的最大辐射亮度。

从遥感数据头文件获得上述参数后可得出辐射强度值,再通过公式(3)可计算辐射亮温值。

$$T_b = K_2 / \ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right) \quad (3)$$

式中, $T_b$  代表 Landsat TM 影像 TM6 热红外波段像元辐射亮温值或 Landsat8 TIRS-10 热红外波段的像元辐射亮温值。 $L_{\lambda}$  为热辐射强度值。 $K_1$ 、 $K_2$  为常数,对于 Landsat TM6: $K_1 = 607.76\ \text{mW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$ , $K_2 = 1\ 260.56\ \text{K}$ 。对于 Landsat 8 TIRS-10: $K_1 = 774.89\ \text{mW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$ , $K_2 = 1\ 321.08\ \text{K}$ 。

**1.3.2 地表比辐射率。**遥感影像经过预处理后,首先在 ENVI5.1 中由公式(4)得到归一化植被指数 NDVI,在 NDVI 的基础上通过混合像元分解法计算植被覆盖度 PV,依照公式(5)进行计算。

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (4)$$

$$PV = (NDVI - NDVI_{\min}) / (NDVI_{\max} - NDVI_{\min}) \quad (5)$$

式中,NIR 为近红外波段;R 为红光波段; $NDVI_{\max}$ 、 $NDVI_{\min}$  分别为 NDVI 的极大值和极小值,其中 NDVI 的极大值、极小值可根据经验值进行选取,在像元统计结果中选取 NDVI 值在 95% 和 5% 的值作为极大值和极小值。

对于地表比辐射率的估算采用覃志豪等<sup>[19]</sup>的混合模型,该模型认为地表比辐射率的计算不仅要考虑自然表面,也要考虑城镇和水体 2 种地表类型,据此,通过公式(6)进行地表比辐射率估算。

$$\varepsilon = \varepsilon_v PV + (1 - PV)\varepsilon_i + d\varepsilon \quad (6)$$

式中, $\varepsilon$  为地表比辐射率;PV 为植被覆盖度, $\varepsilon_v$  为植被比辐射率,一般取 0.985; $\varepsilon_i$  为裸露地表比辐射率,一般取 0.960; $d\varepsilon$  表示地表几何分布及内散射效应,可以根据地表类型的构成比例估计<sup>[20]</sup>;在地表相对较为平整的情况下,可取  $d\varepsilon = 0$ 。

**1.3.3 大气参数估计。**根据单窗算法公式的需求使用覃志豪等<sup>[21]</sup>模拟的算法分别对如下参数进行估算。

**1.3.3.1 大气透射率  $\tau$  的估计。**由于 1994 年缺乏相应数据不能通过 NASA 官网 (<https://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>) 大气校正参数计算器计算出大气透射率  $\tau$ ,故根据覃志豪等方法模拟大气水分含量与大气透射率变化之间的相关关系(表 1),对大气透射率进行估算,根据研究区情况选择估算方法  $\tau = 0.974\ 290 - 0.080\ 07w$ , $0.4 \leq w \leq 1.6$ 。其中,w 为大气总水分含量( $\text{g}/\text{cm}^2$ ),这里近似取平均值  $w = 1.0$ ,估算得到 1994 年大气透射率  $\tau = 0.894\ 22$ ;通过 NASA 官网大气校正参数计算器可计算出 2000 年以后的大气透射率,据此计算得到 2008 年大气透射率  $\tau = 0.86$ ,2015 年大气透射率  $\tau = 0.80$ 。

**1.3.3.2 大气平均作用温度  $T_a$  的近似估计。**在标准大气条件下,平均大气温度和表面温度存在一定的相关关系。对于研究区根据中纬度夏季平均大气作用温度表达式  $T_a = 16.011\ 0 + 0.926\ 21T_0$ 、 $T_0 = 273.15 + T$ ,取乌鲁木齐市夏季近地面平均温度  $T$  为  $28\ ^{\circ}\text{C}$  时  $T_a = 294.94\ \text{K}$ 。

表1 热红外波段中大气透过率 $\tau$ 估算方程Table 1 Estimation equation of atmospheric transmittance  $\tau$  in Thermal Infrared Band

大气剖面 Atmospheric profile	水分含量 Moisture content g/cm <sup>2</sup>	大气透过率估算方法 Atmospheric transmittance estimation method	R <sup>2</sup>	标准误差 Standard error
高温剖面 High temperature profile	0.4~1.6 1.6~3.0	$\tau = 0.972\ 429\ 0 - 0.080\ 07w$ $\tau = 1.031\ 412 - 0.115\ 36w$	0.996 11 0.998 27	0.002 368 0.002 539
低温剖面 Low temperature profile	0.4~1.6 1.6~3.0	$\tau = 0.982\ 007 - 0.096\ 11w$ $\tau = 1.053\ 710 - 0.141\ 20w$	0.994 63 0.998 99	0.003 340 0.003 750

1.3.4 地表温度计算。根据上述参数利用单窗算法通过公式(7)反演出乌鲁木齐市不同时相的真实地表温度(图2)。

$$T_s = \frac{1}{C} \{ a(1 - C - D) + [b(1 - C - D) + C + D] \times T_b - D \times T_a - 273.15 \} \quad (7)$$

式中, $T_s$ 为地表温度真实值; $T_b$ 为像元辐射亮温值(K); $T_a$

为大气平均作用温度(K); $C$ 和 $D$ 为中间变量,其中 $C = \varepsilon \times \tau$ , $D = (1 - \tau)[1 + (1 - \varepsilon)\tau]$ ;  $a$ 和 $b$ 为变量系数,可根据热辐射强度拟合出来,当温度在 $0 \sim 70\text{ }^\circ\text{C}$ 时, $a$ 、 $b$ 一般取值为 $-67.355\ 351$ 、 $0.458\ 606$ 。 $\varepsilon$ 和 $\tau$ 分别表示热红外波段的地表比辐射率值和大气透过率值。

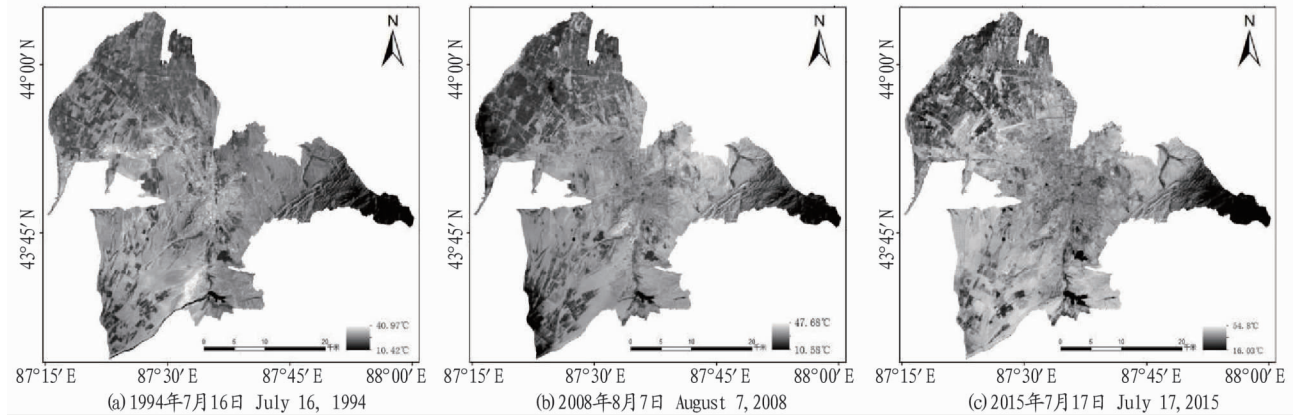


图2 地表温度反演

Fig. 2 Land surface temperature retrieval

## 2 结果与分析

### 2.1 地表温度反演分析

2.1.1 主城区整体地表温度。根据反演结果统计(表2)可以得出,地表温度平均值1994与2008年相差 $4.36\text{ }^\circ\text{C}$ ,2008与2015年相差 $10.72\text{ }^\circ\text{C}$ ;地表温度最大值在2个阶段分别相差 $6.71$ 、 $7.11\text{ }^\circ\text{C}$ ;最小值分别相差 $0.16$ 、 $5.45\text{ }^\circ\text{C}$ 。

表2 乌鲁木齐市地表温度反演结果统计

Table 2 Results statistical of land surface temperature retrieval in Urumqi

年份 Year	平均值 Average °C	最大值 Maximum °C	最小值 Minimum °C	标准差 Standard deviation
1994	27.30	40.97	10.42	3.52
2008	31.66	47.68	10.58	5.80
2015	42.38	54.79	16.03	6.28

1994—2015年乌鲁木齐市温度最小值上升 $5.61\text{ }^\circ\text{C}$ ,2008—2015年温度变化较大,而1994—2008年温度上升不到 $1.00\text{ }^\circ\text{C}$ 。主要原因在于,1994—2008年乌鲁木齐市在城市发展过程中,实施荒山绿化,开始努力打造园林城市,加大了绿化建设的投入,使得这一阶段乌鲁木齐市最低温度上升较少;而2008—2015年城市在加大绿地建设的同时也在不断扩张,建筑用地增多,工业化发展导致城市空气质量有所下降,温

室效应加剧,因此该阶段最低温度上升较明显。

1994—2015年地表温度最大值变化较大,主要是由于在城市建筑物增加的同时,城市中心绿地相对减少,工业发展的速度较快,人口迅速聚集增长造成的。加之乌鲁木齐市地下煤炭储量丰富,工矿区作业,地下煤火区分布,导致地表最高温度较高。为了更直观地看出地表温度不同范围分布情况,对地表温度进行密度分割,结果发现(图3),1994年最高温度主要分布在市三建沙场;2008年地表最高温度主要分布在妖魔山一带、乌鲁木齐市火车南站、水磨沟区八道湾生产队东北部的部分裸地;2015年最高温度高达 $54.79\text{ }^\circ\text{C}$ ,主要分布在乌鲁木齐市地窝堡机场、头屯河经济技术开发区的工业园区、水磨沟区八道湾生产队东北部的部分裸地、沙依巴克区南部及天山区东部的一些裸地区域。

将不同时相遥感影像地表温度范围所占百分比进行统计,结果表明(表3),乌鲁木齐市六城区1994—2015年温度范围变化较大,地表温度存在明显上升趋势。1994年乌鲁木齐市六城区地表温度在 $25 \sim 30\text{ }^\circ\text{C}$ 分布较多,所占百分比为 $55.374\%$ ;2008年乌鲁木齐市六城区地表温度在 $35 \sim 40\text{ }^\circ\text{C}$ 分布较多,所占百分比为 $31.744\%$ ;而在2015年乌鲁木齐市六城区地表温度在 $45 \sim 50\text{ }^\circ\text{C}$ 分布较多,所占百分比为 $37.193\%$ 。结合气象数据及资料显示,2015年夏季乌鲁木齐

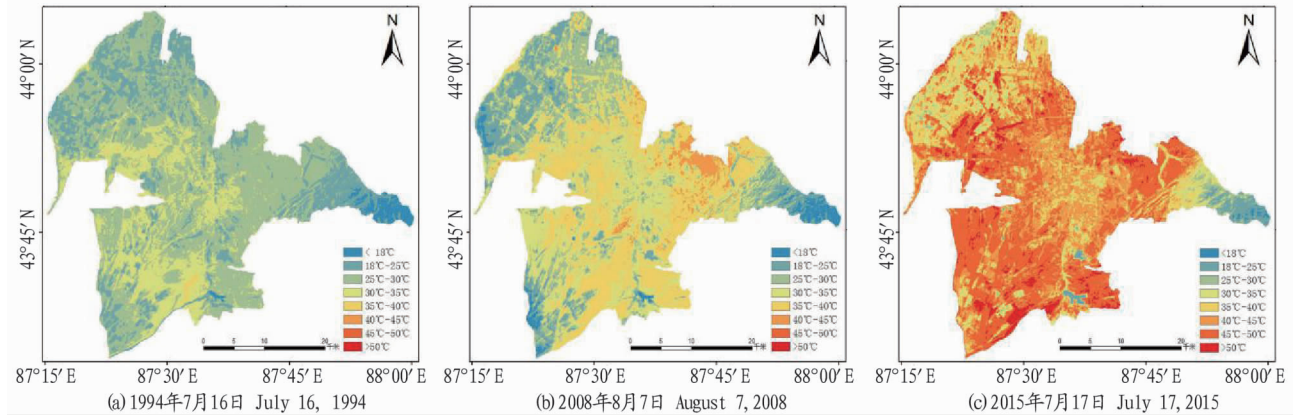


图3 地表温度密度分割

Fig.3 Land surface temperature density slicing

表3 不同温度范围所占百分比

Table 3 The percentage of different temperature range %

温度范围 Temperature range // $^{\circ}\text{C}$	1994 年	2008 年	2015 年
$\leq 18$	1.936	2.519	0.218
$> 18 \sim 25$	21.014	11.705	2.195
$> 25 \sim 30$	55.374	20.960	1.767
$> 30 \sim 35$	21.259	30.010	7.820
$> 35 \sim 40$	0.416	31.744	17.480
$> 40 \sim 45$	0	3.053	28.970
$> 45 \sim 50$	0	0	37.193
$> 50$	0	0	4.457

市出现异常高温天气,与反演结果相符。

**2.1.2 各区地表温度。**在 ArcMap 10.2 中以地表温度反演结果图为数据基础,叠加乌鲁木齐市六城区矢量图,分区统计出六城区的地表温度信息(表4)。由表4可知,1994年乌鲁木齐市新市区、沙依巴克区、天山区(位于乌鲁木齐市中心城区)平均温度较头屯河经济技术开发区、水磨沟区、乌鲁

木齐略高,说明1994年开始乌鲁木齐市就存在微弱的城市热岛效应。为加快中西部地区发展,自1999年实施西部大开发战略以来,乌鲁木齐市经济不断发展,城市建筑物增加,下垫面性质发生大规模变化;至2008年乌鲁木齐市平均温度在各区都有所上升。1994年平均温度相对较低的头屯河经济技术开发区、乌鲁木齐县在2008年均已达 $28.00^{\circ}\text{C}$ ,水磨沟区较1994年平均温度上升较为明显,由1994年的 $24.97^{\circ}\text{C}$ 上升至2008年的 $32.24^{\circ}\text{C}$ ,在各区温度持续走高的同时,新市区、沙依巴克区、天山区平均温度仍处于前列。乌鲁木齐市各城区都存在高温分布,水磨沟区最高温度已经达 $47.68^{\circ}\text{C}$ ;2015年乌鲁木齐市六城区温度总体大幅度上升,并且呈现出异常高温现象,平均温度整体达 $40.00^{\circ}\text{C}$ 左右,沙依巴克区平均温度最高,已达 $44.67^{\circ}\text{C}$ 。乌鲁木齐县、水磨沟区因植被覆盖较多,最低温度相对其他几个城区较低。六城区最高温度大致相近。

表4 乌鲁木齐市分区统计结果

Table 4 Zonal statistics results of Urumqi

区域 Area	1994 年			2008 年			2015 年		
	平均值 Average	最大值 Maximum	最小值 Minimum	平均值 Average	最大值 Maximum	最小值 Minimum	平均值 Average	最大值 Maximum	最小值 Minimum
新市区 New urban area	28.24	37.50	21.51	33.56	43.68	14.56	43.46	54.79	28.80
头屯河区 Toutunhe District	26.93	40.65	22.39	28.53	46.30	12.08	41.32	54.79	23.32
沙依巴克区 Sha Ebak area	28.87	40.97	17.00	32.56	47.20	10.58	44.67	54.60	19.96
水磨沟区 Shuimogou area	24.97	38.07	10.42	32.24	47.68	10.58	39.86	53.80	16.03
乌鲁木齐县 Urumqi County	25.47	33.14	21.38	28.78	42.41	19.95	40.05	54.64	26.17
天山区 Tianshan area	28.31	36.76	16.41	33.96	42.62	14.48	42.90	52.74	19.91

根据上述分析,乌鲁木齐市六城区中新市区、沙依巴克区、天山区地表温度较其他区略高。乌鲁木齐市1994—2015年城区热岛效应日益加剧。尤其是在2015年随着气候变化及城市发展,地表温度呈现异常高值,各区温度存在大幅度上升。

## 2.2 地表热环境效应分析

**2.2.1 热环境效应时空格局。**为更好地对研究区热环境进行分析,比较同一地区不同时相遥感影像所反映的空间热环境特征。将研究区地表温度反演结果进行归一化处理,将城市热环境划分为6个等级(图4),分别为低温区、次中温

区、中温区、次高温区、高温区、极高温区。并在此基础上统计出不同热环境等级所占像元个数及百分比(表5)。

从不同时相遥感影像地表温度等级划分结果(图4)可以看出,地表热环境时空差异较大。空间尺度上,位于中心城区高温区和极高温区明显增多,呈现出高温区快速向外蔓延扩散且连片覆盖城区的趋势。西山地区一直以来农田分布较多,但随着近年来乌鲁木齐城市扩张,对西山地区进行开发,新增许多建筑物集群,建筑用地增多导致下垫面性质发生明显变化。1994年西山地区部分区域,作为农业用地还存在低温区,至2015年这些区域却存在高温乃至极高温

区。新市区东北部靠近米东区近年来不断发展工业也存在与西山部分区域相同的情况。通过对比研究区各年份的温度等级图(图4)与研究区 landsat TM 数据和 landsat8 OLI\_TIRS 数据假彩色合成图(图5)可以发现,红色植被覆盖区域一般多为低温区和次中温区。随着城市不断发展,新城区土

地不断开发利用,使得地表的热环境效应不断加剧。建筑群高度密集,开发力度较大,在绿化问题上相对滞后的地区,裸露的地表及不透水层面积较大,导致这一地区地表热环境状况较差。

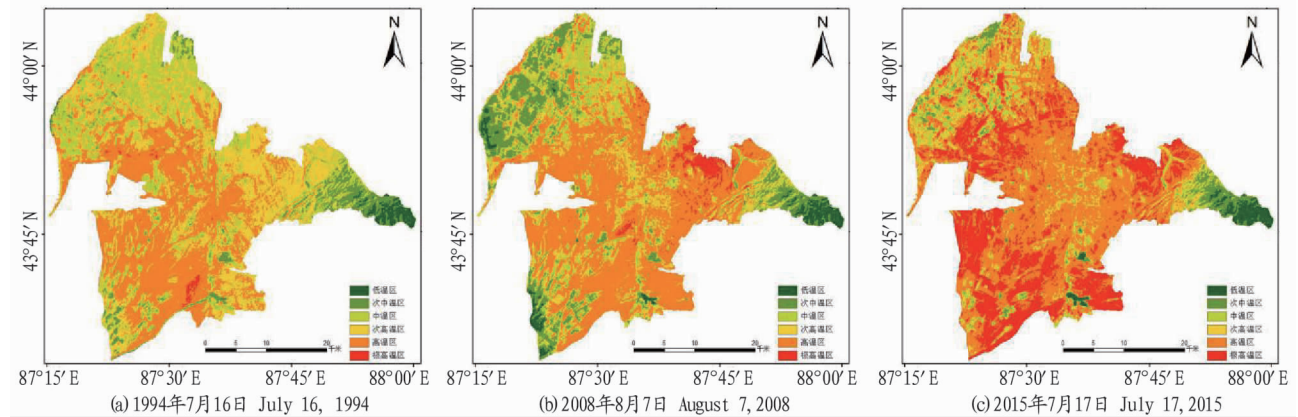


图4 地表温度等级划分

Fig. 4 The grades of the land surface temperature

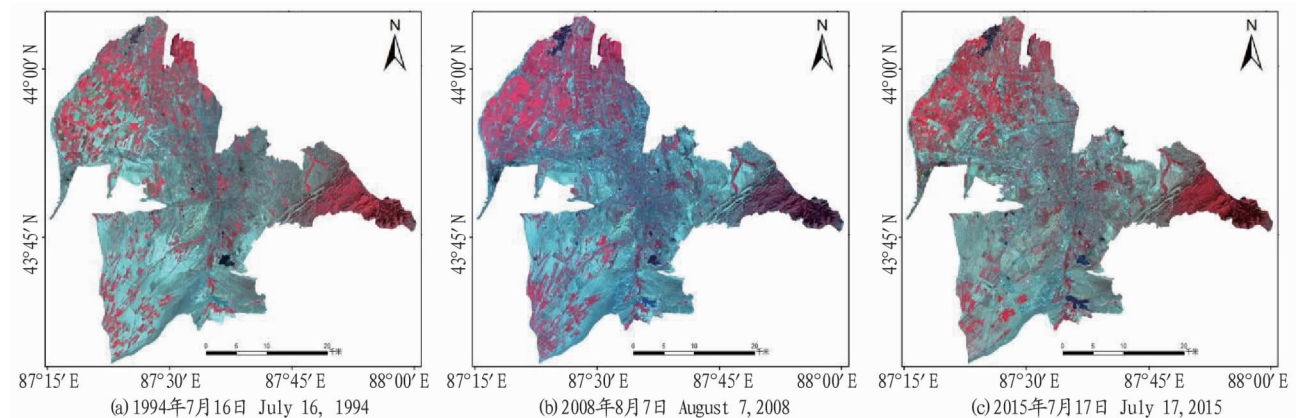


图5 标准假彩色合成

Fig. 5 The standard false color synthesis

表5 地表温度不同等级结果统计

Table 5 Results statistical of the different grades of land surface temperature

地表温度等级 Grades of land surface temperature	1994年		2008年		2015年	
	像元个数 Number of pixels	所占百分比 Percentage//%	像元个数 Number of pixels	所占百分比 Percentage//%	像元个数 Number of pixels	所占百分比 Percentage//%
低温区 Low temperature zone	26 176	1.68	41 532	2.66	31 697	2.03
次中温区 Secondary medium temperature zone	84 462	5.41	201 270	12.89	57 144	3.66
中温区 Medium temperature zone	344 398	22.05	247 149	15.82	115 630	7.40
次高温区 Secondary high temperature zone	520 671	33.33	275 706	17.65	206 455	13.21
高温区 High temperature zone	579 175	37.08	755 497	48.37	753 157	48.19
极高温区 Extremely high temperature zone	7 159	0.46	40 887	2.62	398 730	25.51

将不同时相地表温度等级划分结果进行统计分析(表5)得出,时间尺度上,1994—2008年中温区和次高温区所占比例减少,高温区所占比例增加较为明显。2008—2015年极高温区所占比例增加较为突出,其他等级区域都有所减少。1994—2015年高温区、极高温区增加较为明显,高温区从1994年的37.08%增加到2015年的48.19%,极高温区从1994年的0.46%增加到2015年的25.51%。高温区从新市

区、沙依巴克区、天山区向其他各区扩散,至2015年各区存在极高温区的散片分布状态。综上所述,1994—2015年地表热环境发生显著的变化,中心城区高温区范围扩大,地表温度大幅度上升,在2015年温度达到异常高值,整个中心城区都在高温区范围内。乌鲁木齐市属于干旱区典型的城市,周边多戈壁裸地,其热容量小会使这些地表吸收热量迅速变热,导致城市周边会出现一些异常高温区,因此乌鲁木齐市

在中心城区有时呈现冷岛效应,但在整体上主要以热岛效应为主。

**2.2.2 热环境效应与植被覆盖的相关性。**为进一步探究乌鲁木齐市植被覆盖度对热环境效应的响应特征,在研究区均匀选取 349 个样点(图 6),分别对各年份植被覆盖度与地表温度进行线性回归分析(图 7)。结果表明,植被覆盖程度和热环境效应存在线性负相关,植被覆盖度每提升 10%,地表温度平均降温约 0.74 °C。在 2015 年植被覆盖对地表温度影响相对较高,植被覆盖度每提升 10%,地表温度平均降温约 1.00 °C。拟合系数  $R^2$  在各年份也存在差异,是由于各年份气候因素、土地利用空间分布状况不同,导致植被覆盖对地表的改善程度不同,但大体上存在线性负相关,城市规划中合理规划植被与不透水层的分布对于地表热环境状况会有所改善。但是,随着社会发展城市地表类型及建筑材料日趋复杂,导致植被对于城市热环境的改善程度有所下降,这一

点也是需要进一步研究的重要问题。

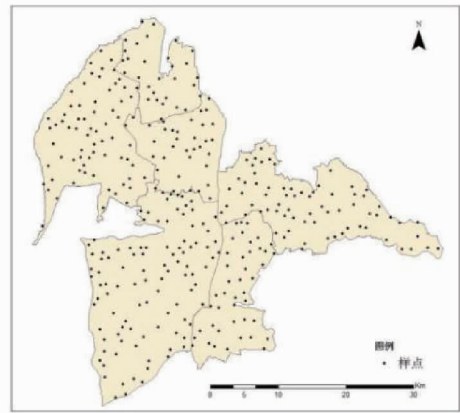


图 6 研究区样点分布

Fig. 6 Sample distribution in the study area

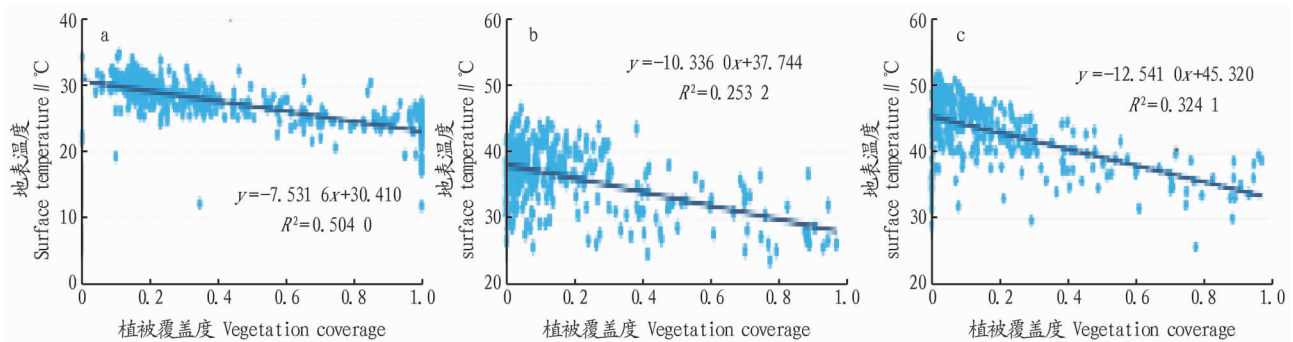


图 7 1994 年(a)、2008 年(b)和 2015 年(c)研究区植被覆盖度与地表温度相关性

Fig. 7 Correlation between vegetation coverage and surface temperature in 1994(a), 2008(b) and 2015(c)

### 3 结论与讨论

(1) 1994—2015 年乌鲁木齐市地表温度整体差异较明显,平均温度相差 15.08 °C,最高温度相差近 13.82 °C,最低温度变化幅度不大。

(2) 分区统计发现,中心城区温度普遍较高,其中新市区、沙依巴克区、天山区地表温度一直居高,最低温度一般分布在乌鲁木齐县和水磨沟区,说明乌鲁木齐市中心城区存在明显的热岛效应。

(3) 对地表温度进行归一化处理后划分为低温区、次中温区、中温区、次高温区、高温区、极高温区 6 个等级,研究区 2015 年极高温地区范围较大。地表热环境 1994—2015 年发生明显变化,高温区范围扩大并随着城市发展不断向外延伸。乌鲁木齐市属于干旱区典型城市,城市周边的裸地,戈壁易吸收热量,导致地表升温较快,呈现异常极高温区。

(4) 近 22 年来乌鲁木齐市在西部大开发战略的不断推进下城市热环境特征从 1994 年高温区散点分布发展至 2015 年连片大面积覆盖,并且伴随着异常高温区范围的增加。低温区、次中温区变化不太明显,但是普遍集中分布在天山区红雁池水库、乌拉泊水库,水磨沟区天山牧场、小东沟一带,头屯河区以及乌鲁木齐县的农业种植区域,说明水体、植被能够改善地表热环境特征。进一步探究得出乌鲁木齐市植被覆盖度与地表热环境效应呈现线性负相关关系。由于干

旱区下垫面性质的特殊性和社会发展导致的地表类型和建筑材料的复杂性,使得植被覆盖对于地表热环境改善程度有所下降。

(5) 城市化发展导致城市环境不断变化,如不采取合理的市政规划将会严重影响城市生态环境。对于乌鲁木齐市整体现状而言,城市园林规划尚有不足,园林面积达不到一定的减弱热环境效应的程度,尤其是近几年地铁、道路施工使得原有的城市绿化带受到破坏,更是加重了地表热环境效应。对于一些以工业为主的城区,如头屯河经济技术开发区、米东区而言,为减弱城市热环境效应如何解决工业发展造成的空气污染问题,以及如何合理进行土地开发亟待解决,考虑从区域合理整治发展至全局。

### 参考文献

- [1] 陈云浩,史培军,李晓兵.基于遥感和 GIS 的上海城市空间热环境研究[J].测绘学报,2002,31(2):139-144.
- [2] 李璇琼,李永树,卢正,等.兰州市热岛效应时空演化研究[J].城市发展研究,2015,22(7):18-22.
- [3] HOWARD L. The climate of London deduced from meteorological observations made in the metropolis and at various places around it[M]. London: London Harvey and Darton,1833:348.
- [4] HUNG T,UCHIHAMA D,OCHI S, et al. Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities[J]. International journal of applied earth observation and geoinformation,2006,8(1):34-48.
- [5] 戴晓燕,张利权,过仲阳,等.上海城市热岛效应形成机制及空间格局[J].生态学报,2009,29(7):3995-4004.

检测方法、提升动物源性产品质量安全,为促进动物源性产品进出口贸易、应对技术性贸易措施提供技术支撑<sup>[8]</sup>。

表 3 建议采用欧盟药物及限量标准修订

Table 3 Recommends the adoption of a revised EU drug and limit standard

序号 No.	英文名称 English name	中文名称 Chinese name	修订建议 Amendments to the proposal
1	Acetylisovaleryltylo-sin	乙酰异戊酰泰乐菌素	增加动物种类
2	Apramycin	阿普拉霉素	增加动物种类
3	Ceftiofur	头孢噻吩	扩大动物范围
4	Colistin	多粘菌素 E	扩大动物范围
5	Doramectin	多拉克丁	扩大动物范围
6	Flubendazole	氟化甲苯哒唑	建议设置限量更宽松
7	Lincomycin	林肯霉素	扩大动物范围
8	Neomycin ( including framycetin )	新霉素(包括新霉素 B)	扩大动物范围
9	Oxolinic acid	奥索利酸	扩大动物范围
10	Spectinomycin	壮观霉素	扩大动物范围
11	Thiamphenicol	甲砜氯霉素	扩大动物范围
12	Tilmicosin	替米考星	扩大动物范围
13	Toltrazuril	帕托珠利	扩大动物范围
14	Triclabendazole	三氯苯咪唑	扩大动物范围
15	Trimethoprim	三甲氧苄二氨嘧啶	扩大动物范围
16	Tylosin	泰乐霉素	扩大动物范围
17	Cefquinome	头孢喹肟母核	扩大动物范围

## 参考文献

- [1] 李婷婷. 中国与欧盟主要动物源性产品中兽药残留限量差异性研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2009.
- [2] 中国 WTO/TBT-SPS 通报咨询中心. 各国 SPS 通报查询数据库[DB/OL]. [2017-07-25]. <http://www.tbt-sps.gov.cn/tbtTbcx/getList.action?pageType=2&tbsps=2>.
- [3] 王娟. 控制兽药残留 保障食品安全[J]. 中国兽药杂志,2011,45(8):43-45.
- [4] 程坚. 我国与 CAC 动物源性产品中药物残留限量的对比分析[J]. 安徽农业科学,2015,43(9):89-91.
- [5] 田寒友,李家鹏,周彤,等. 我国与欧盟、美国、日本、CAC 畜禽兽药残留

(上接第 57 页)

- [6] 吴志丰,王业宁,孔繁花,等. 基于热红外影像数据的典型居住区常见地表类型热特征分析[J]. 生态学报,2016,36(17):5421-5431.
- [7] 尤承增,杨新源,束安,等. 基于 Landsat 数据的城市热岛效应分析与研究[J]. 环境工程,2016,34(S1):1145-1150,1158.
- [8] 晋美俊,李俊明. 太原市地表热环境时空格局分析[J]. 测绘科学,2016,41(6):70-74,152.
- [9] 孙茂存,李俊锋. 基于 TM 遥感影像数据的乌鲁木齐热岛效应分析[J]. 测绘通报,2015(5):95-98.
- [10] 吕光辉,贡璐. MODIS 热红外数据在乌鲁木齐市热岛研究中的应用[J]. 干旱区研究,2007,24(5):698-703.
- [11] 贡璐. 干旱区城市热岛效应定量研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2007.
- [12] 覃志豪,ZHANG M H,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,2001,56(4):456-466.
- [13] JIMÉNEZ-MUÑOZ J C,SOBRINO J A. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data[J]. Journal of geophysical research,2003,108(D22):2015-2023.

表 4 建议采用欧盟药物及限量标准制定

Table 4 Recommends the adoption of a European Union drug and limit standard formulation

序号 No.	英文名称 English name	中文名称 Chinese name	兽药分类 Classification of veterinary drugs
1	Altrenogest	烯丙孕素	激素类药
2	Baquiloprim	巴奎普林	磺胺药及抗菌增效剂
3	Carprofen	卡洛芬	非甾类抗炎药物
4	Cyfluthrin	氟氯氰菊酯	抗寄生虫药
5	Cyhalothrin	三氟氯氰菊酯	抗寄生虫药
6	Cypermethrin	氯氰菊酯	抗寄生虫药
7	Eprinomectin	乙酰氨基阿维菌素	抗寄生虫药
8	Febantel	非班太	抗寄生虫药
9	Kanamycin	卡那霉素	抗生素
10	Marbofloxacin	马波沙星	磺胺药及抗菌增效剂
11	Meloxicam	美洛昔康	非甾类抗炎药物
12	Norgestomet	诺孕美特	激素类药
13	Penethamate	喷沙西林	抗生素
14	Spiramycin	螺旋霉素	抗生素
15	Vedaprofen	维达洛芬	非甾类抗炎药物

限量标准对比研究[J]. 肉类研究,2012,26(2):43-46.

- [6] 中国 WTO/TBT-SPS 通报咨询中心. 各国 TBT 通报查询数据库[DB/OL]. [2017-07-25]. <http://www.tbt-sps.gov.cn/tbtTbcx/getList.action?pageType=0&tbsps=1>.
- [7] 安徽省标准化信息服务平台[DB/OL]. [2017-12-05]. <http://bzxx.ahbz.org.cn/>.
- [8] 中华人民共和国标准化法(2017年11月4日第十二届全国人民代表大会常务委员会常务委员会第三十次会议修订)[A/OL]. (2017-11-04)[2017-12-05]. [http://www.npc.gov.cn/npc/xinwen/2017-11/04/content\\_2031446.htm](http://www.npc.gov.cn/npc/xinwen/2017-11/04/content_2031446.htm).
- [14] 宋挺,段峰,刘军志,等. Landsat 8 数据地表温度反演算法对比[J]. 遥感学报,2015,19(3):451-464.
- [15] 郑文武,曾永年. 地表温度的多源遥感数据反演算法对比分析[J]. 地球信息科学学报,2011,13(6):840-847.
- [16] 朱文娟. 基于 ETM+ 热红外波段的南京地区地表温度反演算法研究[D]. 南京:南京农业大学,2008.
- [17] 黄妙芬,邢旭峰,王培娟,等. 利用 LANDSAT/TM 热红外通道反演地表温度的三种方法比较[J]. 干旱区地理,2006,29(1):132-137.
- [18] 王乐. 基于 RS 的西安市地表温度反演及城市热环境研究[D]. 西安:长安大学,2015.
- [19] 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):28-32,36,41.
- [20] SOBRINO J A,JIMÉNEZ-MUÑOZ J C,PAOLINI L. Land surface temperature retrieval from landsat TM5[J]. Remote sensing environment,2004,90(4):434-440.
- [21] 覃志豪,LI W J,ZHANG M H,等. 单窗算法的大气参数估计方法[J]. 国土资源遥感,2003,15(2):37-43.

## 科技论文写作规范——引言

扼要地概述研究工作的目的、范围、相关领域的前人工作和知识空白、理论基础和分析、研究设想、研究方法和实验设计、预期结果和意义等。一般文字不宜太长,不需做详尽的文献综述。在最后引出文章的目的及试验设计等。“引言”两字省略。