

# 城市土地利用与地面热效应时空变化特征的关系 ——以成都市为例

彭文甫, 周介铭, 罗怀良, 杨存建, 赵景峰

(四川师范大学 a. 西南土地资源评价与监测教育部重点实验室, b. 地理与资源科学学院, 成都 610068)

**摘要:** 利用 2000—2008 年 TM/ETM + 数据, 基于遥感、GIS 技术与人机交互式判读解译方法获取城市土地利用数据, 运用单窗算法和空间建模方法定量反演城市地表温度; 在此基础上, 对城市土地利用与地面热效应时空变化特征的关系进行分析。结果表明: 城市土地利用时空演变以耕地、林地向建设用地、水域转移导致面积快速下降与建设用地不断侵占耕地为主要特征; 土地利用变化导致地面低温区范围减少  $25.927 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 常温区和高温区面积分别增加  $12.093 \times 10^4 \text{ hm}^2$  和  $5.834 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ; 高温区中建设用地面积比例最大, 建设用地与水域、水田的平均温度分别达最高与最低; 地表温度空间格局表现为各温度区呈不同形状的带状分布, 热源密集分布在成都市城南高新区、城西住宅区、城中心商贸区以及城东的工业基地等区域, 二环路外温度呈下降趋势; 建设用地加剧了城市热效应, 而水域则缓解了城市热效, 不透水性与地表温度的反演结果呈较强的正相关性。因此, 研究结论对于热岛效应研究、改善人居环境具有科学意义和应用价值。

**关键词:** 城市热效应; 城市土地利用; 遥感; GIS

**中图分类号:** X16; F293.2      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-3037(2011)10-1738-12

随着城市化进程加快、人口集聚以及地域延展, 中国经济的重心越来越向城市集中, 城市经济占国民经济的比重不断提高, 城市面临的资源环境问题日益迫切。城市土地利用的规模、方式、程度的改变, 导致城市热岛、大气污染、住房与就业等环境与社会问题及其管理和决策问题不断显现出来。国内外学者对城市热岛及其治理和预防进行了有效的探讨。杨英宝等<sup>[1]</sup>从城市热岛的空间分布与土地利用类型、植被覆盖关系、人为热关系以及城市热岛效应演变 4 方面对热红外遥感在城市热岛研究中的应用进行了分析; 江学顶等<sup>[2]</sup>以经济发展迅速的珠江三角洲地区城市群为对象, 借鉴景观生态学分析方法, 从数值模拟与遥感反演对热环境空间格局进行分析, 揭示热岛的形成机制、影响因子及其空间格局变化规律; 苏伟忠等<sup>[3]</sup>采用 Landsat ETM + 热红外波段反演地表温度 LST, 分析南京市热场分布规律, 构建了土地覆被指数 LCI 定量表示热场分布特征与土地利用/覆被的关系; 周红妹等<sup>[4]</sup>、丁金才等<sup>[5]</sup>、陈云浩等<sup>[6]</sup>从城市的人口密度、建成区面积、人为热、大气污染、地形等方面研究了城市热岛的范围和强度与这些因素之间的关系; Weng Qihao<sup>[7]</sup>利用 Landsat TM 图像对珠江三角洲土地利用/覆被变化对城市热场的影响进行了时空上的对比分析; 张一平等<sup>[8]</sup>利用 Landsat TM 数据只从空间上定性分析了城市面积扩大和温度分布的对应关系; 等等。总之,

收稿日期: 2011-01-01; 修订日期: 2011-05-17。

基金项目: 国家“863”计划项目(2009AA12Z140); 国家科技重大专项(2009ZX07106); 国家自然科学基金项目(40771144, 40575035); 四川省教育厅重点资助科研项目(09ZA088); 四川师范大学科研基金(09KYL04)。

第一作者简介: 彭文甫(1964-), 男, 四川省乐山市人, 副教授, 博士, 主要从事环境遥感研究。E-mail: pwfzh@126.com

对城市热岛效应的研究多限于上海、北京等城市<sup>[9]</sup>,对城市土地利用变化的热效应研究较少,没有定量评价土地利用变化对城市热岛效应的影响。成都市作为西南地区政治、经济和文化中心城市,处于经济高速发展、人口压力剧增的时期,城市化进程不断加快,人类活动对环境的扰动显得尤为突出。以成都市为例,在遥感和 GIS 技术的支持下,基于单窗算法对 TM/ETM + 热红外遥感影像进行定量反演,求算城市地表温度,得到了成都市城市地面温度的空间分布,在此基础上分析城市土地利用变化的热效应。

## 1 研究区概况

成都市位于四川省中部,成都平原中部。地理位置介于  $102^{\circ}54' \sim 104^{\circ}53' E, 30^{\circ}05' \sim 31^{\circ}26' N$  之间。东北与德阳市、东南与内江市毗邻,西南与雅安地区相接,西北与阿坝藏族羌族自治州接壤,南与眉山市相连。东西最大横距 192 km,南北最大纵距 166 km,辖区总面积  $1.24 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。成都市属亚热带湿润季风气候区,气候温和、四季分明、无霜期长、雨量充沛、日照较少。成都市地势由西北向东南倾斜。西部以深丘和山地为主;东部是成都平原的腹地地带,主要由平原、台地和部分低山丘陵组成。东、西两个部分地表海拔高度差异显著,直接造成气候要素在空间分布上的不同,形成明显的不同热量差异的垂直气候带,因而在成都市域范围内生物资源种类繁多,门类齐全,分布又相对集中,为发展农业和旅游业带来了极为有利的条件。

本文研究区为成都市部分区域(图 1),包括成华区、武侯区、青羊区、锦江区、金牛区、高新区、龙泉驿区、青白江区、新都区、温江区、双流县和郫县等 12 个区(县),面积约  $3.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。

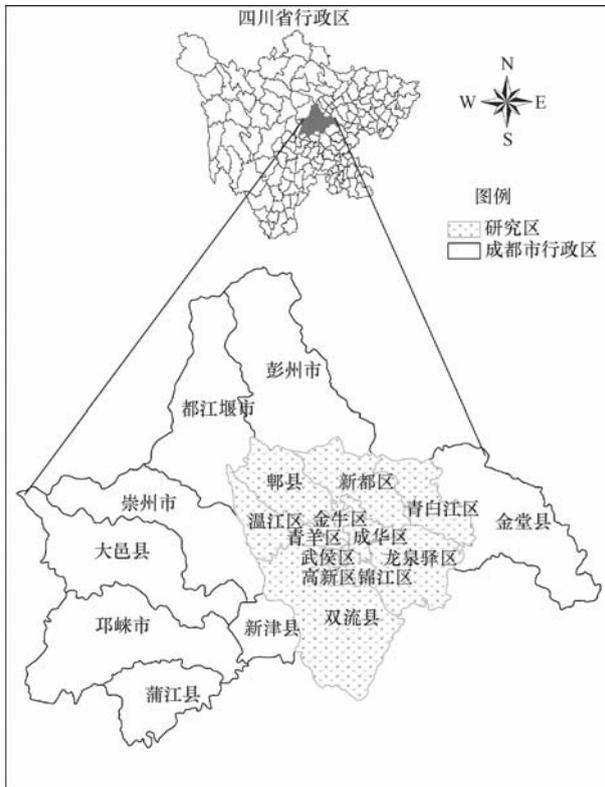


图 1 研究区位置

Fig. 1 Location of the study area

## 2 研究方法

### 2.1 城市土地利用信息提取

本文运用遥感和 GIS 技术,以 2000 和 2008 年两期 TM/ETM + 遥感影像为主要数据源,影像质量良好,轨道号为 129/039,成像时间分别为 2000 年 11 月 2 日和 2008 年 4 月 30 日。利用研究区 1:10 万地形图对 2000 年影像进行精确配准,形成以地形图为基准的分幅遥感影像,然后以此为基础,对 2008 年影像进行几何纠正,应用 ERDAS 和 GIS 软件,对影像进行人机交互式判读解译,进行土地利用/覆被分类,并利用 GPS 进行实地校正,获取并建立 2000—2008 年动态土地利用数据。土地利用分类体系标准采用 2007 年 8 月颁布的《土地利用现状分类》国家标准(GB/T21010—2007),结合研究区域实际情况,并考虑遥感影像实际可解译能力、研究区土地的用途、利用方式和覆盖特征等因素,按照区分差异性,归纳共同性的方法,将土地利用分类体系采用一、二级分类(其中一级类 12 个,二级类 57 个),调整为水田、旱地、林地(有林地、灌木林地、疏林地、其他林地、少量草地等)、水域及水利设施用地(各种水库水面、河流水面,坑塘水面、沟渠等)、城镇用地(商服用地、城镇住宅用地、公共管理与公共服务用地、特殊用地等)、工矿交通(工矿仓储用地、交通运输用地等)和农村宅基地等 7 个类型。对 2000—2008 年土地利用分类结果,采取随机抽样采样法、对比成都市土地利用图进行遥感图像分类精度分析,在 GPS 随机定位后进行野外实地验证,随机抽取 50 个样点,其中分别有 43、46、39 个建设用地、林地、耕地样点分类结果与实地情况相符,其分类总精度均达到 76.32%,Kappa 系数达到 0.68 以上。

### 2.2 城市地表温度反演算法

目前对于“城市热岛”效应的研究多采用 AVHRR 第四通道数据计算等效辐射亮温的方法,通过分析成都市白天和夜间城市热岛的动态变化规律,从宏观上形象地展示了成都平原的城市热岛现象及其特点<sup>[10]</sup>;而基于 Landsat TM/ETM + 提取的地表热信息分析迄今为止仅在少数几个试验区使用过。Landsat TM/ETM + 影像只有一个热红外通道,故采用单通道算法反演地表温度。目前,基于单通道数据反演地表温度的方法主要有大气校正法、单窗算法和普通性单通道算法等三种。由于覃志豪等<sup>[11]</sup>提出单窗算法反演过程既考虑了地表比辐射率的影响,也考虑了大气辐射的影响,因此,本文采用单窗算法(Mono-window Algorithm,简称 MW 算法)反演 2000 年和 2008 年研究区城市地表温度。计算公式如下:

$$T_s = \{a(1 - C - D) + [b(1 - C - D) \times T_b - DT_a]\} / C \quad (1)$$

式中: $T_s$  为地表温度(K); $a$  和  $b$  是参考系数,取  $a = -67.355351$ ,  $b = 0.458606$ ;  $C$  和  $D$  是中间变量,  $C = \varepsilon \times \tau$ ,  $D = (1 - \tau) \times [1 + (1 - \varepsilon) \times \tau]$ ,  $\varepsilon$  为地表比辐射率,  $\tau$  为大气透射率;  $T_a$  为大气平均作用温度(K),在标准大气状态下,本研究区位于中纬度,采用中纬度夏季平均大气近似推算,  $T_a$  与  $T_0$  (近地面气温,单位为 K,参考气象资料取  $16.7^\circ\text{C}$ <sup>[12]</sup>) 存在线性关系;  $T_a = 16.0110 + 0.92621T_0$ ;  $T_b$  是像元亮度温度(K),对 TM 数据,计算公式为  $T_b = 1282.71 / \ln(666.09 / L_\lambda + 1)$ ,其中,对于 ETM + 的低增益波段(Band61),热辐射强度  $L_\lambda = 0.0668235DN$ ,  $DN$  为原始图像的灰度值;对于大气透射率  $\tau$ ,当大气水分含量  $\omega$  在 0.4 ~ 1.6 之间时,  $\tau = 0.1982007 - 0.109611\omega$  (气温,  $18^\circ\text{C}$ );  $\omega$  为卫星过境时地面附近(大约 2 m 高度)的大气水分含量( $\text{g}/\text{cm}^2$ ),可从气象资料查得。

### 2.3 地表温度反演的空间建模

根据上述算法,按照空间建模工具的“输入数据→公式计算→数据输出”的模式分别描

述出城市地表温度的建模过程。处理过程中,本文采用“Conditional”下的“EITHER... IF... OR... OTHERWISE”语句,有效地解决了 NDVI 值分母(即 NIR + R)出现零值、模型运算报错这一问题。具体语句为:“EITHER 0 IF ( \$ n1\_4 + \$ n2\_3 = 0.0) OR ( \$ n1\_4 - \$ n2\_3) / ( \$ n1\_4 + \$ n2\_3) OTHERWISE”。本文在采用逐步引入参数后,建立了研究区城市地表温度反演的相关模型(图 2)。

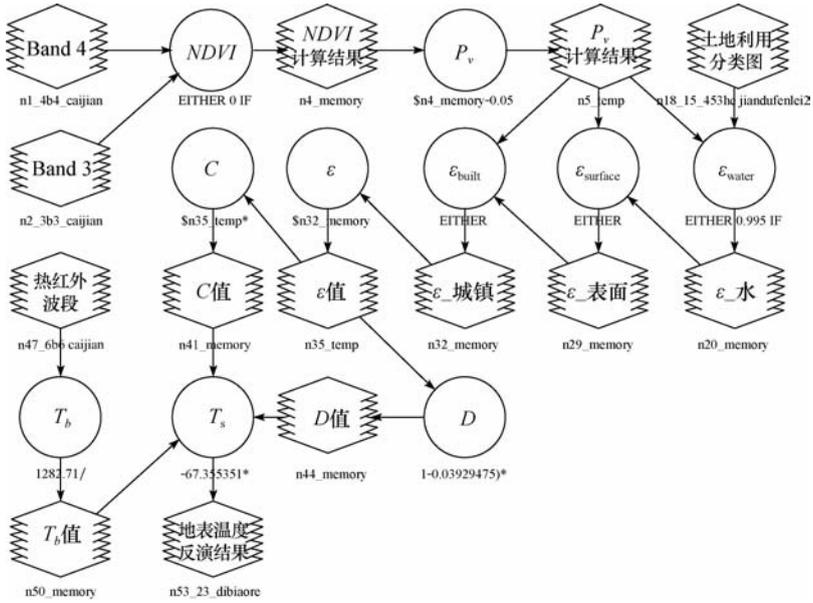


图 2 城市地表温度反演模型

Fig. 2 The retrieving model of urban surface temperature

### 2.4 城市不透水面对地表温度影响分析

针对研究区可参考数据信息的限制,植被覆盖变化与建筑、道路和其他市政设施密度导致地面透水性差异的特点,再根据不透水面与植被覆盖度在城市建成区呈负相关关系来反演城市的不透水面积与分布情况。不透水面用下式计算<sup>[11]</sup>:

$$ISA = (1 - P_v)_{dev} = \{1 - [(NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil})]^2\}_{dev} \quad (2)$$

式中:ISA 为不透水面覆盖度;P<sub>v</sub> 为植被覆盖度;下标 dev 表示该关系式只适用于被划分为城市建成区的区域;NDVI 为归一化差异植被指数,NDVI<sub>soil</sub> 为完全是裸土或无植被覆盖像元的 NDVI 值;NDVI<sub>veg</sub> 为完全被植被所覆盖的像元的 NDVI 值,即纯植被像元的 NDVI 值。

取 NDVI<sub>soil</sub> = 0.05, NDVI<sub>veg</sub> = 0.70, 且当某个像元的 NDVI > 0.70 时, P<sub>v</sub> = 1; 当 NDVI < 0.05 时, P<sub>v</sub> = 0。此外,在 P<sub>v</sub> 的基础上,可以计算地表比辐射率 ε。计算过程为:首先对研究区进行监督分类,将遥感影像分为水体、城镇和自然表面 3 种类型。

水体像元的比辐射率赋值为 0.995,自然表面的比辐射率 ε<sub>surface</sub> 估算公式为:

$$\epsilon_{surface} = 0.9625 + 0.0614P_v - 0.0461P_v^2 \quad (3)$$

城镇像元比辐射率 ε<sub>built</sub> 估算公式为:

$$\epsilon_{built} = 0.9589 + 0.086P_v - 0.0671P_v^2 \quad (4)$$

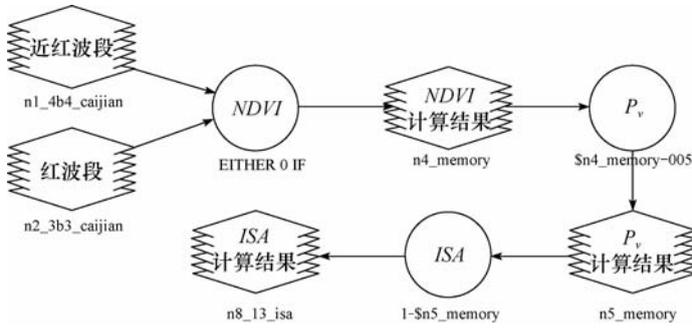


图3 城市不透水面提取模型

Fig. 3 The extraction model of urban impervious surface

### 3 计算结果与分析

#### 3.1 土地利用时空变化

2000—2008年间,林地、水田、旱地面积均呈下降趋势,8 a间面积分别减少905.821、 $3.714 \times 10^4$ 、 $1.657 \times 10^4$   $\text{hm}^2$ ,年均减少面积分别达113.228、4 642.53、2 070.91  $\text{hm}^2$ ,其中减少面积最多的是水田;建设用地(城镇用地、工矿与交通用地、农村宅基地)均呈持续增加的态势,8 a间面积分别增加 $1.788 \times 10^4$ 、 $1.194 \times 10^4$ 、2 874.796  $\text{hm}^2$ ,年均增加面积分别达2 234.470、1 492.834、359.350  $\text{hm}^2$ ,其中增加面积最多的是城镇用地;水域用地面积持续增加,达 $2.192 \times 10^4$   $\text{hm}^2$ ,但增加面积和速度较1992—2000年有所减缓。2000—2008年土地利用变化幅度与年变化率大小依次为水田、水域用地、城镇用地、旱地、工矿与交通用地、农村宅基地和林地,其中,耕地中的水田变化幅度最大,达10.05%,林地变化幅度与年变化率最小,分别为0.25%和0.03%。2000—2008年间土地利用程度表现出了较强的增长势头,这与成都市2000年以后经济迅猛发展有密切的关系,同时也加速了城市用地的扩张。

2000—2008年间城市土地利用转移成其他类型的林地面积比新增林地面积多1 139.72  $\text{hm}^2$ ,转移出去的林地绝大部分转化为了水田、农村宅基地,而新增林地主要来自于水田和旱地;新增水域面积比转移成其他类型的水域面积多 $2.197 \times 10^4$   $\text{hm}^2$ ,转移出去的水域绝大部分转化为了旱地,而新增水域主要来自于林地、水田和旱地;转移成其他类型的水田面积比新增水田面积多 $3.714 \times 10^4$   $\text{hm}^2$ ,转移出去的水田绝大部分转化为了林地和建设用地,而新增水田主要来自于林地;新增旱地面积比转移成其他类型的旱地面积少 $1.658 \times 10^4$   $\text{hm}^2$ ,转移的旱地被转化成了林地和农村宅基地,新增旱地主要来自于林地和水田;新增城镇用地面积比转移成其他类型的城镇用地面积多 $1.797 \times 10^4$   $\text{hm}^2$ ,转移出去的城镇用地绝大部分转化为了工矿与交通、农村宅基地和水域,而新增城镇用地主要来自于林地和水田的调整;新增工矿交通用地面积比转移成其他类型的城镇用地面积多 $1.193 \times 10^4$   $\text{hm}^2$ ,转移出去的工矿交通用地绝大部分转化为了城镇、农村宅基地和林地,而新增工矿交通用地主要来自于工矿交通与农村宅基地的调整和耕地的转化;新增农村宅基地面积比转移成其他类型的城镇用地面积多2 986.96  $\text{hm}^2$ ,转移出去的农村宅基地绝大部分转化为了城镇与工矿交通用地和林地,而新增农村宅基地主要来自于耕地和林地的转化。

### 3.2 地表温度时空分布特征

为了消除时间的影响,对图像进行正规化处理,然后用密度分割方法比较不同温度区间的范围变化,在一定程度上能够消除时间的影响,本文采用基于稳健统计方法<sup>[13]</sup>对两幅图像分别划分地表的温度区间即常温区范围(以地表温度平均值 $\pm 1$ 倍标准差范围)、高温区范围(以高于平均值1倍标准差范围)和低温区范围(以低于平均值1倍标准差范围),计算结果见表1。

表1 2000—2008年研究区不同地表温度区间的面积及其变化

Table 1 Area and its change of temperature zones within different surface in the study area during 2000–2008

温度区间	面积/hm <sup>2</sup>		面积变化/hm <sup>2</sup>	变化率/%
	2000年	2008年		
低温区	319 503.94	60 229.16	-259 274.78	-81.149
常温区	42 319.23	163 253.03	120 933.80	285.766
高温区	88 670.70	147 011.68	58 340.98	65.795

从表1可以见,2008年成都市低温区范围减少 $25.927 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>,与2000年相比,降幅达到81.149%;常温区的面积增加了约 $12.093 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>,比2000年增加了285.766%;高温区的面积有所增加,达 $5.834 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>,比2000年增加了65.795%。低温区面积大量减少,高温区范围快速扩大,表明随着成都市人口聚集、城市化进程加快,城区范围不断扩大,城市热岛范围也不断增大。

从城市地表温度空间分布特征来看,各温度区呈不同形状的带状分布,呈现出温度由高到低或由低到高的变化规律性。热源密集分布区包括城南高新区、城西住宅区、城中心商贸区以及城东的工业基地,其中,城中心由于人口密度大、建筑物密集以及交通繁忙等因素,成为显著的“热岛”;二环路外温度普遍呈下降趋势,这也和实际情况相吻合。究其原因,一方面由于人口密度下降,另一方面,郊区广泛分布的河流、坑塘对降低城市相对温度也有显著的作用。

可见,城市热岛的空间分布和城市建设区轮廓基本一致,并随着城市的发展有向外扩张的趋势;城市热岛空间分布格局呈现从城市中心向郊区地表温度逐渐降低的趋势。成都市城区,尤其是建筑、人口密集的城区,地面温度明显高于周边郊区。

### 3.3 城市土地利用变化对地表温度的影响

城市人口膨胀、经济高速增长引致城市扩展,导致城市区域地表的剧烈变化,使土地利用/覆被变化由农业用地向非农业用地转移,从而使自然植被、土壤表面逐步被不透水面代替,城市下垫面的热辐射性质发生显著的变化,不可避免地导致城、郊之间的太阳辐射状况出现显著差异,从而造成城、郊之间地表温度的巨大差异。因此,城市土地利用变化与地表温度之间存在一定的定量关系,现借助遥感和GIS技术的空间分析功能进行探讨。为研究城市土地利用变化对地表温度的影响,应用GIS空间分析模块,把反演地表温度与城市土地利用遥感分类结果进行叠加,然后运用地统计分析模块,得到研究区内不同土地覆盖类型的地面真实温度平均值及其在不同年份间的变化(表2)。

#### (1) 城市土地利用与地面热效应的关系

从表2可见,2个时期的影像中,建设用地(城市用地、工矿与交通用地及农村宅基地)

表 2 城市土地利用类型的地表温度平均值和标准差(2000—2008 年)

Table 2 The value of average land surface temperature and standard variance for different urban land use types during 2000 - 2008

(°C)

土地利用类型	2000 年		2008 年	
	均温	标准差	均温	标准差
林地	3.4	0.82	3.1	0.96
水田	3.1	0.64	2.2	0.72
旱地	3.6	0.65	2.9	0.92
城镇用地	9.5	1.20	7.2	1.50
工矿与交通用地	7.1	1.10	5.6	1.40
农村宅基地	5.6	1.01	4.6	1.34
水域用地	2.1	0.75	2.3	0.86

平均温度最高,而水域用地与水田的温度则始终最低。按平均温度由高到低的顺序排列,2000 年温度排序是城镇用地、工矿与交通用地、农村宅基地、旱地、林地、水田和水域,2008 年温度排序是城镇用地、工矿与交通用地、农村宅基地、林地、旱地、水域和水田。2 个时期各土地覆被类型的温度排序并不一致,但总体上看,城镇用地的平均温度最高,而水域与水田的温度始终排在最低。究其原因,城市区域建筑密度大,不利于空气流通,并且下垫面主要由非渗透性表面构成,地表蒸散能力较低,其热容量小,而热传导率和热扩散率大,在接受太阳辐射后导致周围的大气扩散,致使周围温度比有植被覆盖的地区要高;水域用地与水田,由于热容量大,热传导率小,导致温度上升缓慢,因而温度总是最低;与城镇用地相比,林地也表现出了较低的地表温度,主要是由于植被可以通过蒸腾作用减少土壤或地表中的热量;耕地(水田)的平均温度低于林地,说明水田对改善城市热效应具有积极的影响;虽然耕地(旱地)平均温度在 2000 年和 2008 年分别高于和低于林地,对城市热效应具有积极作用,但林地对缓解城市热岛效应方面具有稳定和显著的影响。

城镇用地、工矿与交通用地和农村宅基地的温度标准差在 2000 年和 2008 年均超过 1.0 以上,分别是当年所有用地类型中最大的,分析认为城区的下垫面主要由不透水面构成(绿地、水体除外),地表热容量小,吸收与释放热量较快,因而相对温度变化大;而水域用地与水田,由于热容量大,热传导率大,温度上升得缓慢,因而温度变化小。

## (2) 城市土地利用与城市热效应空间变化

应用 GIS 的空间分析和地统计模块,叠加地面反演温度图和城市土地利用遥感分类图,获取 2000 年和 2008 年各温度区间的不同土地利用/覆被类型的面积比例(表 3)。

表 3 各温度等级不同土地利用类型的面积比例(2000—2008 年)

Table 3 Area proportion of different land use types of each surface temperature rank

(% )

土地利用类型	2000 年			2008 年		
	低温区	正常区	高温区	低温区	正常区	高温区
林地	93.214	5.305	1.481	20.296	58.928	20.772
水田	98.084	1.697	0.219	35.569	40.285	24.146
旱地	86.487	12.328	1.185	13.198	65.330	21.472
城镇用地	67.090	30.450	1.805	0.503	10.599	88.898
工矿与交通用地	82.653	15.568	1.778	1.402	10.518	88.080
农村宅基地	68.887	29.240	1.873	0.659	25.721	73.620
水域用地	7.266	52.066	40.668	24.716	50.882	24.402

由表 3 可见,与 2000 年相比,2008 年各温度变化表现为:高温区所占面积比例除水体外,均显著提高,其中建设用地(城镇用地、工矿与交通用地和农村宅基地)的面积比例占有绝对优势,大于 73% 以上,且增加幅度达最大;而低温区所占面积比例除水体外,所占比例明显减少且减少幅度为最大;正常温度区所占面积比例增加的有林地、水田和旱地,而其余土地利用类型所占面积比例降低。导致这一情况的原因可能是因为建设用地面积的扩大和耕地面积的显著减少。

就表 3 中的低温区、正常区和高温区中不同土地利用类型和所占比例进行分析,可以发现:2000 年林地、水田和旱地在城市地表温度等级的低温区和正常区所占比例均居第 1 位,都在 98.0% 以上,在温度等级的高温区合计所占比例分别为 1.481%、0.219% 和 1.185%;2008 年林地、水田和旱地在城市地表温度等级的低温区和正常区的份额有所下降,分别达 79.224%、75.854% 和 78.528%,仍均居第 1 位,但高温区所占比例迅速增加,分别达 20.772%、24.146% 和 21.472%。数据说明林地和耕地在降低地表温度方面也有着很重要的作用。

水域用地的城市地表温度等级的低温区和正常区所占比例在 2000 年和 2008 年均占据了较大比例,面积比之和分别达 59.332% 和 75.598% 以上,且面积比例显著增加。因此,水域用地在降低城市地表温度、缓解城市热岛效应方面有巨大而独特的作用。

值得关注的是建设用地在城市热效应方面的独特作用。从表 3 可知,2000 年城镇用地、工矿与交通用地和农村宅基地在城市地表温度等级的低温区和正常区所占比例均居第 1 位,分别达 57.54%、98.221% 和 98.127%,在温度等级的高温区所占比例分别为 1.605%、1.778% 和 1.873%;2008 年城镇用地、工矿与交通用地和农村宅基地在城市地表温度等级的低温区和正常区的份额有所下降,分别达 11.102%、11.92% 和 26.38%,而高温区所占比例迅速增加,分别达 88.898%、88.08% 和 73.62%。这一绝对比例充分说明建设用地对城市热岛的巨大贡献。

### 3.4 城市不透水面对地表温度的影响

城市热效应研究的重点在于城区,通过以上所构建的空间反演模型(图 3),反演出城市不透水面对热岛效应的分布情况。现以 2000 年遥感影像为例,反演成都市三环路范围内不透水面与热岛效应的分布情况(图 4)。反演结果显示,由于市区密集分布的建筑、道路和其他市政设施的作用,透水性很低;市郊植被覆盖率高,道路交通密度降低,透水性显著增高。计算结果显示,成都市不透水面反演与地表温度反演结果的相关系数为 0.73,呈现不透水越高、地表温度也越高的空间分布特征。因此,地表不透水性大致随距市中心区距离增大而降低,地面反演温度也降低。

#### (1) 相关性分析

基于 ERDAS 空间建模方法,分别计算出 2000 年、2008 年的成都市不透水面与地表温度之间的相关系数均大于 0.70,说明成都市地表温度与不透水面之间存在着正相关关系,反演结果表明,地表不透水越高、温度也越高的空间分布态势,这与城区地表有更多的人工建筑,使得地面不易透水的情况是吻合的。鉴于不透水性与地表温度服从正态分布,在总体相关系数  $\rho=0$  的原假设下,与样本相关系数有关的  $t$  统计量服从自由度为  $(n-2)$  的  $t$  分布。取显著性水平  $\alpha=0.05$ ,查  $t$  分布表的自由度  $(n-2)$  的临界值为 2.228,计算的  $t$  统计量 15.3457 大于临界值,相关关系比较显著(图 5)。

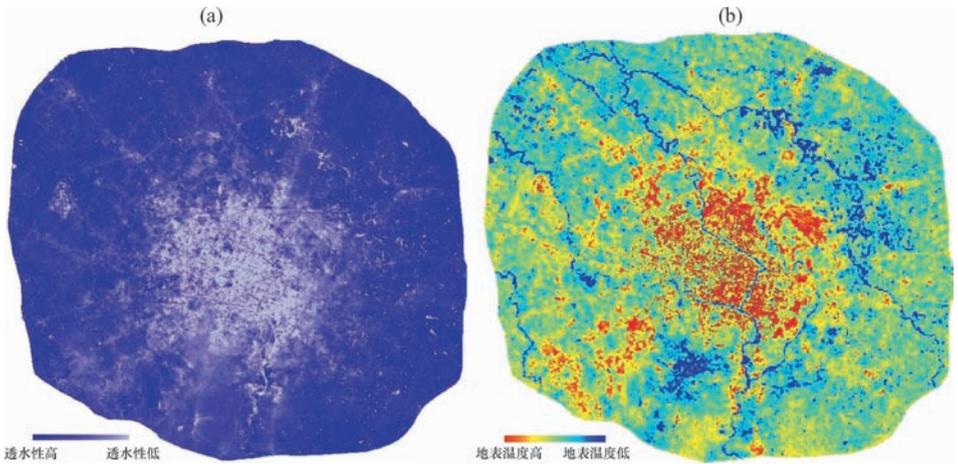


图4 城市地面不透水面(a)和地表温度(b)反演

Fig. 4 The retrieve of impervious surface (a) and surface temperature (b) in urban area

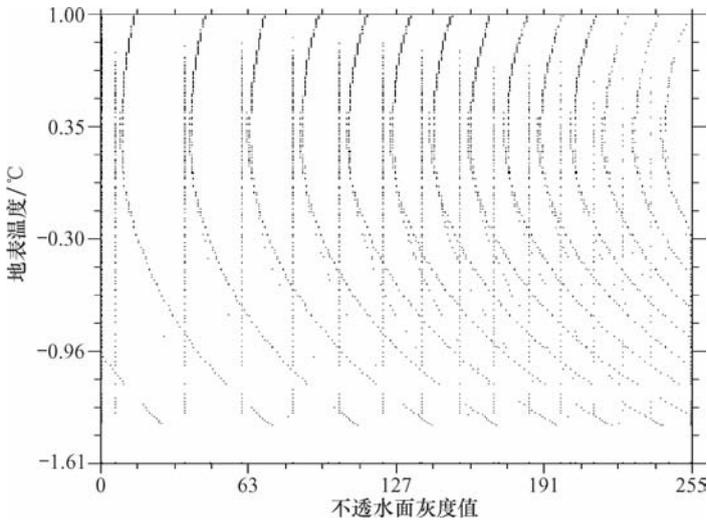


图5 城市不透水面与地表温度散点图

Fig. 5 The impervious surface and scatter of surface temperature in urban area

(2) 等温线与等透水面线叠加分析

地表的透水能力郊区远远高于市中心,导致城市中心城区容易形成“城市热岛”效应。因此,通过 GIS 技术,获取城市不透水面三维图和等透水面线图(图 6)、地表温度三维图和等温线图(图 7),可有效地佐证上述观点。研究发现,城市等透水面线图与温度呈现相反的情况:市区温度级别分布多,表现为图上市中心线分布密集,相对而言,郊区分布稀疏,说明温度较为均衡;市区透水面级别分布少,表现为图上市中心线分布稀疏,郊区则分布密集,说明透水性分布广泛;等温线图和等透水面图还能反映更加深刻的地理空间现象,例如,在人口密度大的地区,形成热岛效应,甚至小的居民聚居地,也能形成密集的等温线分布;城区普遍人工改造自然的力度更大,在等透水面图上,广泛分布的“白”区,几乎不具有自然透水能力,符合现实的情况;值得一提的是,几乎可以肯定的是,市区在等温度图上表现为“稀疏”,而在等透水面图上表现为“密集”的区域,自然生态环境更加适宜人们的生活,分析得出这

些区域多是成都市的几个主要公园(人民公园、望江公园以及浣花溪公园)。

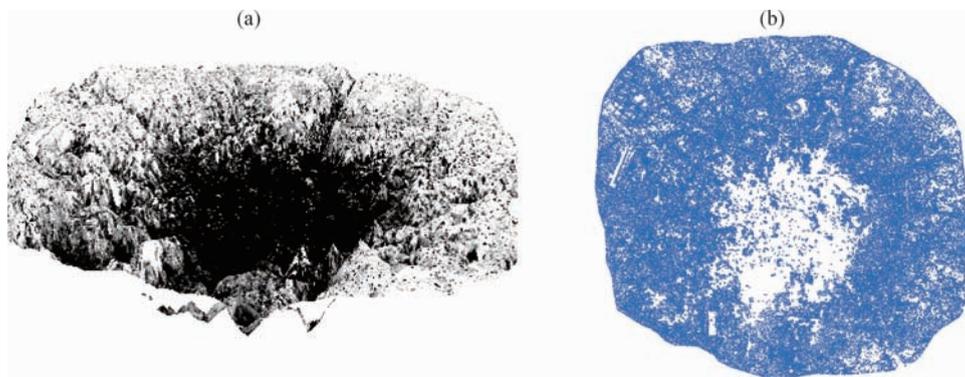


图6 城市不透水面三维图(a)和城市地面等透水面图(b)

Fig. 6 The 3D figure of urban impervious surface (a) and the equal impervious surface figure in urban area (b)

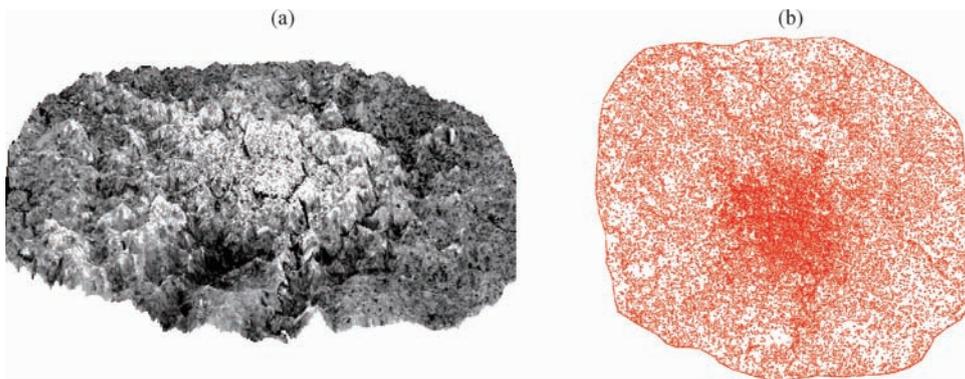


图7 城市地表温度三维图(a)和城市地面等温线图(b)

Fig. 7 The 3D map of surface temperature in urban surface (a) and the isotherm figure in urban area (b)

## 4 结论

(1) 城市土地利用时空演变以速度加快、强度显著、建设用地不断侵吞耕地为主要特征。研究期内,耕地主要转化为建设用地,导致耕地面积减少  $5.37 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 建设用地增加  $3.268 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 林地主要转化为水田和农村宅基地,引起林地面积减少  $905.821 \text{ hm}^2$ , 转入水域主要来自于林地、水田和旱地,面积增加  $2.197 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。因此,城市土地转移、流向时空差异显著。

(2) 城市土地利用导致地表热效应特征显著。城市土地利用导致城区范围的不断扩大,人口聚集与城市化进程加快,成都市低温区范围减少达  $25.927 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 常温区的面积增加了约  $12.093 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 高温区的面积增加了  $5.834 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 城市高温区和低温区所占面积比例除水体外,均分别显著提高和明显减少,其中城市建设用地的面积比例大于 73%, 占有绝对优势,正常温度区所占面积比例增加的有林地、水田和旱地,而其余土地利用类型所占面积比例降低;城市土地利用变化导致各温度区的空间格局呈不同形状的带状分布,热源密集分布区包括城南高新区、城西住宅区、城中心商贸区以及城东的工业基地,从热源密集区向外,呈现出温度由高到低变化的规律性。

(3) 城市土地利用变化对地表温度的影响效应与城市地表温度对不透水面的响应显著,地表热信息分布和强度与城市下垫面性质表现为较显著的关系。城市土地利用增加城市不透水面,造就了特殊的城市下垫面及其热场,改变城市人居环境;基于空间建模方法,并通过随机样点的相关性分析、等温线与等透水面线叠加分析等方法的研究表明,城市不透水面的热效应与距离市中心区距离的关系表现为较显著的负相关性,而与城市不透水能力的关系表现为较显著的正相关关系。研究结论对于城市热效应与建筑物密度等因素综合作用机理具有一定的启发作用,也充分说明对成都市热岛效应演变的研究,对于改善人居环境具有科学意义和应用价值。

## 参考文献 (References):

- [1] 杨英宝,苏伟忠,江南. 基于遥感的城市热岛效应研究[J]. 地理与地理信息科学,2006,22(5):36-40. [ YANG Ying-bao, SU Wei-zhong, JIANG Nan. Application of remote sensing to study urban heat island effect. *Geography and Geo-Information Science*,2006,22(5):36-40. ]
- [2] 江学顶,夏北成,珠江三角洲城市群热环境空间格局动态[J]. 生态学报,2007,27(4):1461-1470. [ JIANG Xue-ding, XIA Bei-cheng. Spatial characteristics and dynamic simulations of urban heat environment of cities in Pearl River Delta. *Acta Ecologica Sinica*,2007,27(4):1461-1470. ]
- [3] 苏伟忠,杨英宝,杨桂山. 南京市热场分布特征及其与土地利用/覆被关系研究[J]. 地理科学,2005,25(6):697-703. [ SU Wei-zhong, YANG Ying-bao, YANG Gui-shan. Distributional characteristics of urban thermal space and relations with land use/cover of Nanjing. *Scientia Geographica Sinica*,2005,25(6):697-703. ]
- [4] 周红妹,周成虎,葛伟强,等. 基于RS与GIS的城市热场分布规律研究[J]. 地理学报,2001,56(2):189-197. [ ZHOU Hong-mei, ZHOU Cheng-hu, GE Wei-qiang, et al. The surveying on thermal distribution in urban based on GIS and remote sensing. *Acta Geographica Sinica*,2001,56(2):189-197. ]
- [5] 丁金才,张志凯,奚红,等. 上海地区盛夏高温分布和热岛效应的初步研究[J]. 大气科学,2002,26(3):412-420. [ DING Jin-cai, ZHANG Zhi-kai, XI Hong, et al. A study of the high temperature distribution and the heat island effect in the summer of the Shanghai area. *Chinese Journal of Atmosphere Sciences*,2002,26(3):412-421. ]
- [6] 陈云浩,王洁,李晓兵. 夏季城市热场的卫星遥感分析[J]. 国土资源遥感,2002(4):55-59. [ CHEN Yun-hao, WANG Jie, LI Xiao-bing. A study on urban thermal field in summer based on satellite remote sensing. *Remote Sensing for Land & Resources*,2002(4):55-59. ]
- [7] Weng Q. A remote sensing - GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China [J]. *International Journal of Remote Sensing*,2001,22:1999-2014.
- [8] 张一平,李佑荣,彭贵芬,等. 昆明城市发展对室内外平均气温影响的研究[J]. 地理科学,2001,21(3):272-277. [ ZHANG Yi-ping, LI You-rong, PENG Gui-fen, et al. A study on effects of urbanization on the mean indoor and outdoors air temperature of Kunming City. *Scientia Geographica Sinica*,2001,21(3):272-277. ]
- [9] 何云玲,张一平,刘玉洪,等. 昆明城市气候水平空间分布特征[J]. 地理科学,2002,22(6):724-729. [ HE Yun-ling, ZHANG Yi-ping, LIU Yu-hong, et al. A study on the horizontal-spatial characteristics of urban climate in Kunming City. *Scientia Geographica Sinica*,2002,22(6):724-729. ]
- [10] 许辉熙,但尚铭,何政伟,等. 成都平原城市热岛效应的遥感分析[J]. 环境科学与技术,2007,30(8):21-23. [ XU Hui-xi, DAN Shang-ming, HE Zheng-wei, et al. Remote sensing analysis of urban heat island effect in Chengdu Plain. *Environmental Science and Technology*,2007,30(8):21-23. ]
- [11] 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,2001,56(4):456-466. [ QIN Zhi-hao, ZHANG Ming-hua, Arnon Karnieli, et al. Mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM 6 data. *Acta Geographica Sinica*,2001,56(4):456-466. ]
- [12] <http://baike.baidu.com/view/2585.htm> [EB/OL].
- [13] Carlson T N, Arthur S T. The impact of land use/land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: A satellite perspective [J]. *Global and Planetary Change*,2000,25(1):49-65.

# Relationship between Urban Land Use and Spatio-temporal Change Characteristics of Surface Heat Effect: A Case Study of Chengdu City

PENG Wen-fu, ZHOU Jie-ming, LUO Huai-liang, YANG Cun-jian, ZHAO Jing-feng

(a. Key Lab of Land Resources Evaluation and Monitoring in Southwest, Ministry of Education,

b. Institute Geography and Resources Science, Sichuan Normal University, Chengdu 610068, China)

**Abstract:** The data for urban land use in Chengdu city was extracted by means of image interpretation based on RS data during 2000 – 2008. Land surface temperature from TM/ETM + data was retrieved and its spatial distribution was extracted based on Mono-window Algorithm and ERDAS spatial modeling. Urban heat effect of urban land use was analyzed. The result shows that the area of cultivated land and woodland is decreasing and the area of built-up land and water body is increasing within the study period. The spatio-temporal characteristics of urban land use evolution were the speed of land use change was quick, land use intensity was notable, and the area of cultivated land was invaded due to built-up land occupation. Urban land use change led to the area of low temperature zone a decrease by about  $25.927 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , the area of normal temperature zone and high temperature zone increase by about  $12.093 \times 10^4 \text{ hm}^2$  and by about  $5.834 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , respectively. The proportion of built-up land area in high temperature zone dominates absolutely. The average temperature of built-up land is the highest while that of water land and paddy field is the lowest. The spatial distribution pattern of surface temperature of all temperature zones is presented by strip distribution with different shapes. Heat resources in urban districts were densely spotted within the high-tech zone in southern Chengdu, uptown zone in the western, business and trade zone in the central, and industrial base zone in the eastern. The surface temperature of the second ring road was decreased from the downtown region. It is proved that the surface temperature became lower with the increase of distance from the inner city and the impervious surface getting lower at the same time; there is a positive correlation between surface temperature and impervious surface in Chengdu city with a correlation coefficient of 0.73. The spatial distribution of the isotherms with the response of permeable surface is significant. Thus, the built-up land in urban area has a notable heat effect and the heat effect retrieve of water body is huge. The study result has scientific meaning and application value for the evolution study of urban heat island effect and improvement of human residence environment.

**Key words:** urban heat effect; urban land use; RS; GIS