

山地城市土地覆盖变化对地表温度的影响

彭 征¹, 廖和平^{2*}, 郭月婷¹, 李 清²

(1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400716; 2. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715)

摘要: 针对山地城市复杂的城市地貌和下垫面类型, 本文使用 TM、DEM、ETM⁺ 等遥感影像资料, 提取了重庆市土地利用覆盖类型; 借助 TM、MSS 等遥感数据的红外波段, 反演出 1988 年和 2000 年的地表温度。分析了重庆市近十年的土地覆盖变化及其对地表温度的影响, 结果表明, 在 1988~2000 年间, 研究区土地覆盖变化明显, 特别是城市土地覆盖面积有显著增加。土地覆盖类型的变化会改变地表温度的空间分布, 尤其是城市土地的扩展会提高地表温度。对山地、丘陵、平坝、陡坡四种耕地的地表温度进行了深入分析与研究, 结果表明: 山地城市土地覆盖变化引起了植被覆盖度的变化, 而植被覆盖度的变化又相应地影响了地表温度的变化, 植被覆盖度每下降 10%, 地表温度上升 0.49K。

关 键 词: 山地城市; 土地覆盖变化; 地表温度; 反演

文章编号: 1000-0585(2009)03-0673-12

1 引言

近年来“城市气候和环境”问题引起人们的广泛关注, 其中针对城市土地利用/覆被变化对地表温度的影响研究, 不仅能够深入理解土地利用/覆被变化过程中城市热环境的空间特征和动态变化, 而且对大气污染、防暑降温、市政建设及土地合理规划和利用具有重要意义。近年来, 国内外学者已在此领域做了多方面的探讨^[1~4], 如张小飞等对地表温度与植被覆盖的定量关系分析^[5], 杨英宝等将热岛效应与土地利用变化结合进行的相关分析^[6], 刘宇等研究不同土地利用类型对地表温度的影响, 构建了热效应贡献度指数、热像元权重指数和区域热像元权重指数^[7], 刘朝顺等则采用 LST、ET 等指标研究了地表温度对土地利用/覆盖变化的响应^[8]。而国外的研究方向则偏重于地表温度反演方法, 精度检验等方面, 如 Jimenez Muioz 和 Sobrino 建立了一种普适性单通道算法^[9], Sobrino 对大气校正法(辐射传输方程法)、单窗算法^[10, 11]和普适性单通道算法进行了比较分析^[12]。然而, 极少发现把土地覆盖变化及城市增长与其对环境, 特别是对地表温度的影响联系起来的相关研究, 且利用陆地卫星热红外单波段, 尤其是利用 TM、ETM⁺ 热红外波段反演地表温度的研究甚少^[13]。另一方面, 针对山地城市的土地覆盖变化及城市增长对热环境的影响研究则几乎为空白。因此, 如何利用现有的遥感和地理信息系统, 摸索出一套监测山

收稿日期: 2008-09-08; 修订日期: 2009-02-16

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划“城市建设用地节约关键技术研究利用”(2006BAJ14B04), 子课题“城市功能结构与土地利用格局的关联分析研究”(2006BAJ14B04-02)

作者简介: 彭征(1978-), 男, 重庆市人, 博士生。主要从事土地空间信息技术研究。

E-mail: pzheng@swu.edu.cn

* 通讯作者: 廖和平(1964-), 女, 重庆市人, 教授。主要从事国土资源开发利用及土地利用规划研究。

E-mail: liaohp@swu.edu.cn

地城市发展对环境影响的方法, 是一个值得考虑的问题。

本文选取重庆市作为山地城市的代表。重庆是一个典型的山地城市, 依山傍水, 沟多坡陡, 城市发展很大程度上都要受到自然条件的限制, 逐步形成团块, 分片, 多中心组团式的布局结构, 其土地利用/ 覆被变化对地表温度的影响规律也明显有别于其他平原城市^[14]。因此, 本文试图通过遥感与地理信息系统技术的集成, 提取重庆地区土地利用/ 覆盖变化类型, 并根据各种土地覆盖变化地区地表温度的变化与植被覆盖度之间的相关分析来揭示土地覆盖变化对地表温度的影响程度, 为今后山地城市的生态规划决策以及环境可持续发展提供可靠的参考依据。

2 研究方法

2.1 土地覆盖变化的动态监测

通过 Landsat TM 数据 (1988 年 6 月 4 日和 2000 年 5 月 14 日, 空间分辨率为 30m), 并以 1989 年 9 月 13 日、1993 年 10 月 10 日、1999 年 12 月 22 日和 2001 年 4 月 13 日 4 景 TM 图像为参照, 得到 1988 和 2000 年两期土地利用/ 覆盖类型地图, 根据重庆市 1: 50000 地貌图和 1: 100000 土地利用数据库的数据叠加, 将土地利用/ 覆盖类型划分为: 林地、草地、园地、水域、河漫滩、裸地、建设用地、水田、旱地等 9 类, 其中水田和旱地细分为: 山地水田、丘陵水田、平坝水田、陡坡水田、山地旱地、丘陵旱地、平坝旱地和陡坡旱地 8 类。两个年段影像均以重庆市 1: 50000、Albers 投影的地形图进行几何校正, 双标准纬线为 25° 和 47°, 中央经线为 105°, 椭球体参数为 Krasovsky, 坐标系统为 Beijing1954。合成波段为 4, 3, 2 (或 5, 3, 2) 的标准假彩色影像, 再通过监督分类的最大似然比算法进行分类, 并经过在 GIS 软件 MGE 和 ARCGIS 下进行编码、编辑修改、建立拓扑关系, 形成各县级行政区的土地利用/ 覆被数据; 将各县级行政区的土地利用数据进行接边处理后拼接起来形成全市的土地利用/ 覆被数据。将获得的结果在计算所得的土地利用/ 覆盖变化数据基础上, 利用 ERDAS 软件构建土地利用类型面积变化表, 从而获取 1988 年到 2000 年每一土地利用类型面积数据和增减量。

2.2 地表温度反演方法分析

地面温度是区域和全球表面物理过程的一个关键参量, 它综合了地气相互作用和能量交换的结果^[15], 在城市环境评价中具有重要的意义。而利用热红外遥感影像数据 (主要为 Landsat TM/ ETM⁺ 6 和 NOAA/ AVHRR 的 4、5 通道^[16~18] 进行地面温度的演算, 无论是在遥感起始阶段的 70 年代, 还是在遥感发展至今的 21 世纪, 均是十分重要的课题, 并有着极为广阔的应用前景^[19]。本文采用覃志豪等 (2001, 2003) 根据地表热辐射传导方程, 通过一系列合理假设, 推导出的一种从 Landsat TM6 中演算地表温度的单窗算法^[20]。

$$T_s = \frac{1}{C} \{ \alpha(1 - C - D) + [b(1 - C - D) + C + D] T_6 - DT_a \} \quad (1)$$

其中:

$$C = \varepsilon$$

$$D = (1 - \tau) / [1 + (1 - \varepsilon) \tau]$$

a 和 b 是根据热辐射强度和亮温的关系拟合出来的系数。当亮度温度在 10℃~ 40℃ 时, a 的取值为 - 63.1885, b 的取值为 0.4411。

$$T_6 = 1260.56 / \ln[1 + 607.76 / (1.2378 + 0.55158 \times DN_{TM6})]$$

其中， DN_{TM6} 为 $TM6$ 的像元 DN 值。 ε 是地表比辐射率， τ 为整层大气透射率。 T_6 为传感器的亮度温度， T_a 为大气的向上平均作用温度（又称大气平均作用温度），单位为 K。覃志豪根据温度随高度的变化对 4 个标准大气剖面进行拟合，得出一系列的经验公式，对于中纬度夏季，由下式计算：

$$T_a = 16.0110 + 0.92621T_0$$

其中： T_0 是近地层大气温度，单位为 K， T_0 的获取在重庆地区主要是通过研究区域内 17 个气象站点资料，主城 9 区共有 4 个站点，分别是沙坪坝（区站号：57516）、北碚（57511）、渝北（57513）和巴南（57518），其中沙坪坝站点记录起始时间为 1953 年，其他站点记录起始时间均为 1980 年。需要注意的是，由于 T_0 实测的范围小于本文分析的范围，为此我们只能用分析年限内的平均温度来表示 T_0 的数据。具体的做法是：将每年分为 36 个旬的平均值，每三个旬的数据再取平均计算出每月的平均值，再将各月的数据取平均计算出分析年限内的 T_0 值。

因此，只要知道 τ 和 ε 即可推算出像元的实际地表温度。

$$\tau = 1.031412 - 0.11536\omega$$

其中： ω 是大气水汽含量，根据杨景梅等的研究^[21]，重庆地区取值 $\omega = 1.216427$ 。对于 ε ，根据 Van de Griend A 等^[22]的经验公式，当自然地表的 NDVI 值在 0.157~0.727 之间时，

$$\varepsilon = 1.0094 + 0.047 \ln(NDVI)$$

其中

$$NDVI = (DN_{TM4} - DN_{TM3}) / (DN_{TM4} + DN_{TM3})$$

DN_{TM4} 和 DN_{TM3} 分别代表 $TM4$ 和 $TM3$ 的像元 DN 值。至此，根据公式（1），可反演地表温度。

2.3 土地覆盖变化对地表温度的影响分析

为了探求土地利用/覆盖类型和用 TS 反演的地表热量反应之间的空间关系，把 1988 年到 2000 年间分类过的土地覆盖影像与相应年份的 T_s 影像叠合。通过这种方法，可以揭示出土地利用/覆盖和 LST、植被覆盖度之间的相互作用关系。植被覆盖度是衡量区域生态环境状况和性质的主要指标之一^[23]。由于植被光合作用能够将大量光能富集转换为潜能，从而减弱太阳辐射热效应，因此植被覆盖能够有效降低地表温度。植被覆盖度与地表温度间的关系一直是城市热岛研究的热点^[24, 25]。热环境遥感研究表明，区域植被覆盖状况通过直接影响热辐射、热动力以及土壤水分等多种地表特征，导致地表温度分异^[26]，两者存在显著的负相关关系。不同的下垫面类型，由于具有不同的植被覆盖度，因而表现出不同的温度特征^[27]。使用影像差值方法，可以获得 1988 年和 2000 年之间的地表温度变化影像。将地表温度变化影像分别与土地利用/覆盖变化地图和影像相叠加，以探讨这些变化之间的相互作用关系。其中，植被覆盖度的提取^[28]，本文主要采用以下公式：

$$P_v = (I_{NDV} - I_{NDV_s}) / (I_{NDV_e} - I_{NDV_s})$$

式中： I_{NDV} 为归一化植被指数， I_{NDV_e} 为影像中 I_{NDV} 的最大值， I_{NDV_s} 为影像中 I_{NDV} 的最小值。通过每种土地覆盖类型的地表温度与植被覆盖度之间的相关分析，通过土地覆盖变化地区地表温度的变化与植被覆盖度之间的相关分析来进一步揭示土地覆盖变化对地表温度的影响。

3 结果与讨论

3.1 研究区概况

重庆位于北纬 $28^{\circ}10' \sim 32^{\circ}13'$ ，东经 $105^{\circ}11' \sim 110^{\circ}11'$ 之间，幅员面积 82403km^2 ，南北长 450km ，东西宽 470km 。具有典型的山地城市特征：一是地势起伏大。东部、南部、东南部地势高，西部地势低。二是地貌类型多样，以山地为主，有中山、低山、高丘陵、中丘陵、低丘陵、缓丘陵、台地和平坝等八大类。

3.2 1988~2000 年重庆市土地利用/覆盖类型变化

叠加 1988 年和 2000 年两期土地利用/覆盖类型影像图（图 1a、图 1b）构建 1988~2000 年重庆市土地利用/覆盖变化转移特征（表 1），可以明显地看出：在这一时段内，重庆市总体的土地利用和覆盖变化比率并不是很高，只有 4.18% ，变化幅度最为剧烈的是建设用地，达到了该地类总体变化的 35.07% ，印证了其快速城市化的过程，而水田、草地和园地的减少，使得该特征尤为突出，同时退耕还林也取得了一定的成效，有助于城市生态环境的改善。

表 1 重庆市 1988~2000 年土地利用转移特征表（单位： km^2 ）

Tab 1 The land use / cover change characteristic from 1988 to 2000 in Chongqing (unit: km^2)										
1988 \ 2000	建设用地	园地	林地	草地	水域	河漫滩	裸岩	水田	旱地	1988 年合计
建设用地	334 1826 (0.9963)	0.0000 (0.0000)	0.7436 (0.0022)	0.0000 (0.0000)	0.0000 (0.0000)	0.0000 (0.0000)	0.0000 (0.0000)	0.0000 (0.0000)	0.4917 (0.0015)	335.4179
园地	2.7646 (0.0032)	827.7415 (0.9650)	0.0000 (0.0000)	0.2682 (0.0003)	0.2313 (0.0003)	0.2351 (0.0003)	0.0000 (0.0000)	0.7644 (0.0009)	25.7558 (0.0300)	857.7609
林地	3.7422 (0.0001)	1.0152 (0.0000)	29545.2533 (0.9719)	714.2418 (0.9719)	0.2262 (0.0235)	0.0000 (0.0000)	0.0000 (0.0000)	20.1149 (0.0007)	115.9235 (0.0038)	30400.5171
草地	7.9823 (0.0006)	0.0000 (0.0000)	1554.0256 (0.1160)	11718.5033 (0.8749)	1.7208 (0.0001)	0.0000 (0.0000)	0.2701 (0.0000)	4.9869 (0.0004)	107.2420 (0.0080)	13394.7310
水域	1.7369 (0.0023)	0.0000 (0.0000)	0.7700 (0.0010)	0.2453 (0.0003)	744.2684 (0.9930)	0.0000 (0.0000)	0.0000 (0.0000)	1.7422 (0.0023)	0.7857 (0.0010)	749.5485
河漫滩	0.0000 (0.0000)	0.0000 (0.0000)	0.0000 (0.0000)	0.0000 (0.0000)	0.0000 (0.0000)	62.7431 (1.0000)	0.0000 (0.0000)	0.0000 (0.0000)	0.0000 (0.0000)	62.7431
裸岩	0.0000 (0.0000)	0.0000 (0.0000)	0.0000 (0.0000)	0.0000 (0.0000)	0.0000 (0.0000)	0.0000 (0.0000)	5.9867 (0.9559)	0.0000 (0.0000)	0.2759 (0.0441)	6.2626
水田	76.2431 (0.0066)	0.5230 (0.0000)	16.5364 (0.0014)	8.7343 (0.0008)	1.0152 (0.0001)	0.0000 (0.0000)	0.0000 (0.0000)	10706.9929 (0.9271)	738.7619 (0.0640)	11548.8068
旱地	89.9537 (0.0036)	0.0000 (0.0000)	143.7782 (0.0058)	28.5146 (0.0011)	1.9853 (0.0001)	1.2749 (0.0001)	0.0000 (0.0000)	46.2538 (0.0019)	24652.7477 (0.9875)	24964.5082
2000 年合计	516.6054	829.2797	31261.1071	12470.5075	749.4472	64.2531	6.2568	10780.8551	25641.9842	82320.2961
变化面积	181.1875	-28.4812	860.5900	-924.2235	-0.1013	1.5100	-0.0058	-767.9517	677.4760	3441.5270
变化比率	0.3507	-0.0343	0.0275	-0.0741	0.0000	0.0235	0.0000	-0.0712	0.0264	0.0418

* () 内数据为土地利用类型转移概率 p_{ij} ，其计算公式为： $p_{ij} = n_{ij} / \sum_{i=1}^m n_{ij}$ ，其中 m —土地利用类型数， p_{ij} —转移概率， n_{ij} —土地利用类型 i 转为土地利用类型 j 的量。

通过叠加的效果图，进一步地说明了，在建设用地增加的 35.07% 中，主要来源于旱地和 水田，分别为 42.08% 和 49.65%；园地减少的 90.43% 转换成了旱地；草地减少的 90.86% 转换成了林地，其余的 8.52% 转换成了旱地；林地的增加主要来自草地和旱地，所占比例分别为 97.58% 和 3.24%；水田的减少主要为转换成了旱地和建设用地，比例分别是 90.18% 和 9.93%；旱地的增加则主要来自于林地、园地和水田。而水域和裸岩地没有太大的变化。

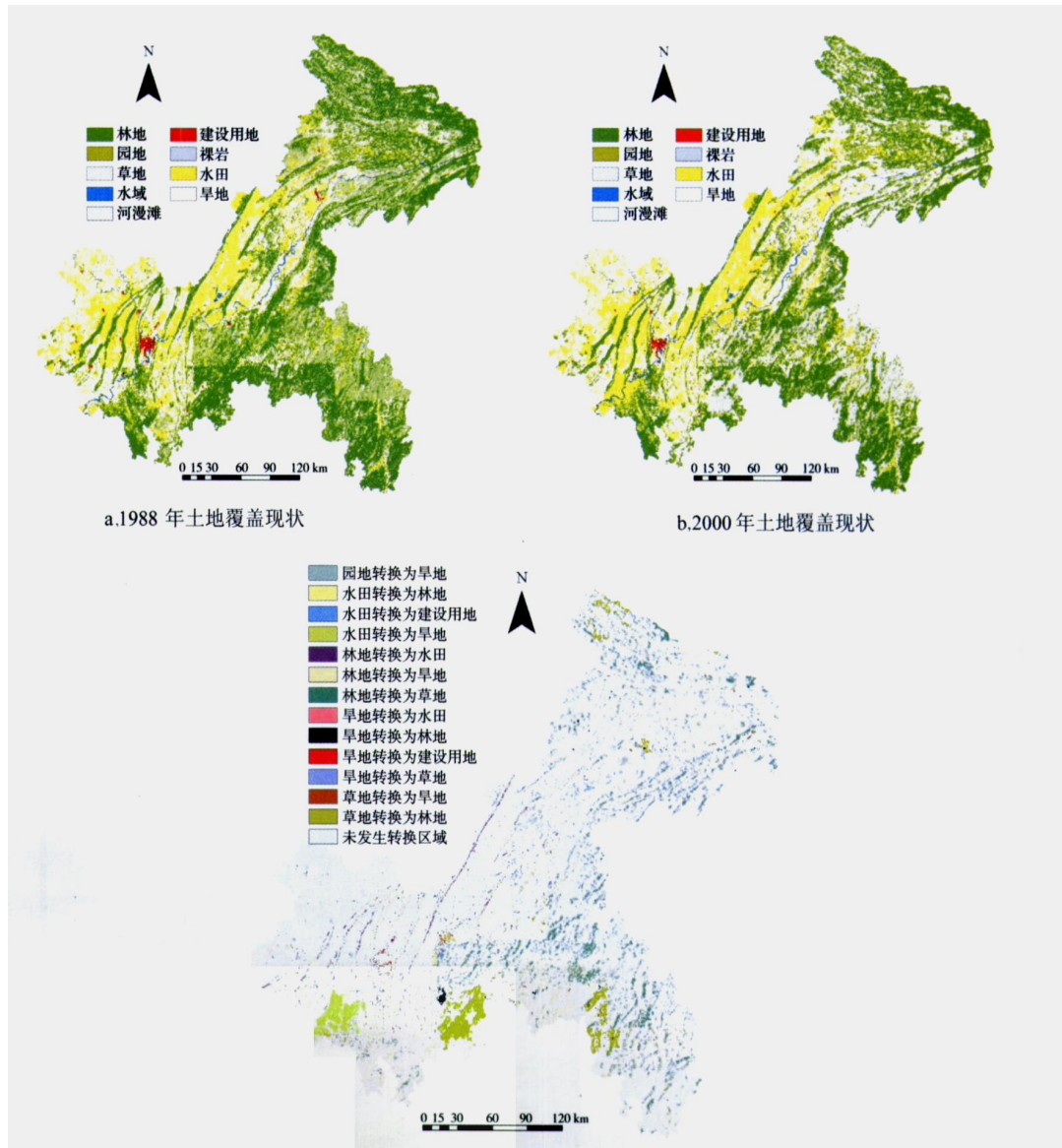


图 1 1988~ 2000 年重庆市土地利用 / 覆盖变化
Fig 1 Land use/ cover change in Chongqing, 1988~ 2000

3 3 1988~ 2000 年重庆市地表温度的反演

3 3 1 各土地覆盖类型的地表温度反演结果 为了突出山地城市的地形特征，特别将水田和旱地按照坡度进行进一步的划分，以获得更加详细的分析结果。通过统计每种土地覆

盖类型各像元的温度值, 利用 ERDAS 软件的 ao i 统计功能对地表温度的各土地覆盖类型进行分区统计, 然后与 3 月 8 日、5 月 14 日、7 月 30 日、11 月 6 日的遥感影像图反演结果做算术平均值, 得到 1988 年和 2000 年重庆市土地覆盖类型的地表温度平均值 (表 2)

从表中可以得出: 反演出的建设用地的地表温度值最高 (1988 年 305.16K, 2000 年 305.33K)。非蒸发性表面如建筑、金属和混凝土, 代替了天然植物, 这意味着城市发展确实提高了地表温度。就这种土地覆盖类型而言, 地表温度值的标准偏差小, 表明由于非蒸发性材料干燥的性质, 使城市地表温度变化范围变窄。1988 年反演出的地表温度由高到低的排序是: 建设用地、裸地、平坝旱地、陡坡旱地、水域、园地、山地水田、平坝水田、丘陵水田、丘陵旱地、山地旱地、草地、林地; 与之相对的 2000 年反演出的地表温度由高到低的排序为: 建设用地、裸地、平坝旱地、平坝水田、丘陵水田、水域、丘陵旱地、园地、陡坡旱地、山地水田、山地旱地、草地、林地。

3.3.2 反演地表温度的空间分布特征 将两年的地表温度空间分布图 (图 2a、图 2b) 进行空间叠加, 得到 1988 年~ 2000 年的地表温度变化空间分布图 (图 3, 即地表温度发生变化的区域与土地利用覆盖变化区域的空间对比图), 然后与建设用地扩展和土地利用/覆

表 2 土地覆盖类型的平均地表温度 (单位: K)

Tab 2 Av rag land urfac t mp ratur by land cov r typ (unit: K)

土地覆盖类型	1988 年	标准差 (±)	2000 年	标准差 (±)
建设用地	305.16	5.24	305.33	6.15
裸地	304.89	4.92	304.74	4.92
林地	293.85	21.95	294.67	21.98
草地	295.03	22.55	295.36	19.94
园地	298.82	13.87	299.61	5.29
平坝水田	299.18	17.73	300.49	2.53
丘陵水田	299.17	19.43	300.53	5.08
山地水田	299.54	20.81	300.65	9.29
平坝旱地	300.19	4.89	301.49	2.53
丘陵旱地	298.17	22.18	299.60	7.96
山地旱地	295.74	21.38	294.93	20.86
陡坡旱地	301.88	15.99	300.05	5.69
水域	301.18	9.48	301.32	7.15

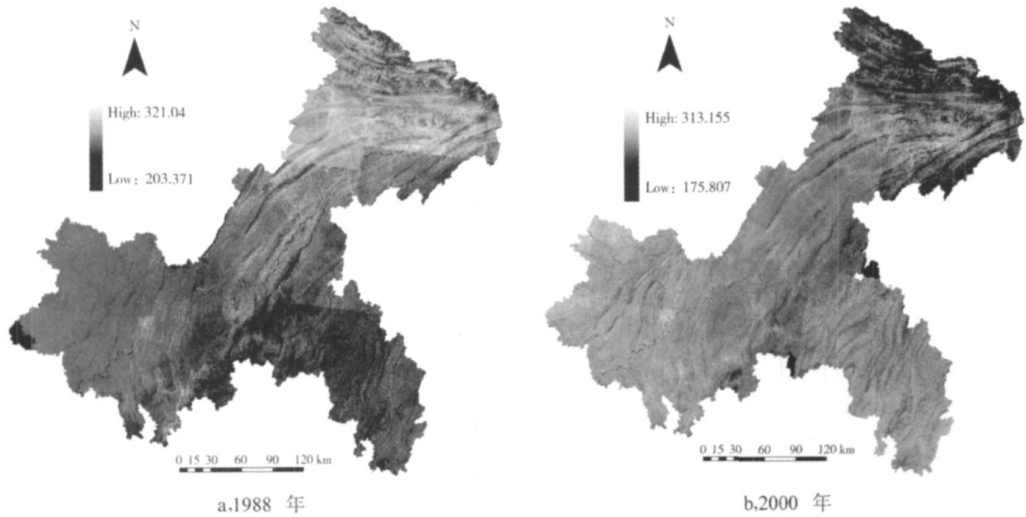


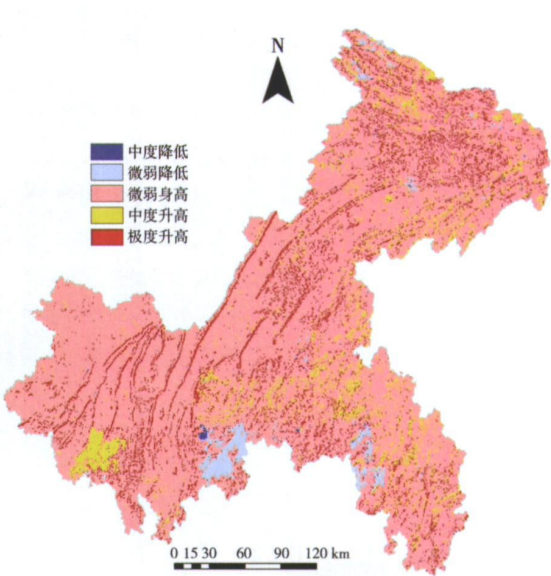
图 2 1988 年 (a) 及 2000 年 (b) 研究区地表温度反演结果

Fig 2 The LST image of Chongqing in 1988 and 2000

盖类型变化图(图1)对比分析,可以清楚的看到城市空间的扩展,使得土地利用覆盖类型发生变化的区域,尤其是转换为建设用地的区域,在该时段内的地表温度明显的上升。可以下如下结论:城市空间的扩展引起下垫面性质的改变,尤其是城市的空间面积的增加,使得该区域地表温度相应的增加。中部地区由于是重庆市的都市区,建设用地面积较大,植被覆盖度较小,温度明显大于东北和东南这两个山地较多,植被覆盖度较大地区。

3.4 地表温度、植被覆盖关系的定量分析

热环境遥感研究表明,区域植被覆盖状况通过直接影响热辐射、热动力以及土壤水分等多种地表特征,导致地表温度分异,两者存在显著的负相关关系。不同的下垫面类型,由于具有不同的植被覆盖度,因而表现出不同的温度特征。为深入分析植被覆盖与地表温度的内在关系,将下垫面类型分别与植被覆盖和地表温度进行叠加分析。比较各下垫面类型的地表温度和植被覆盖度均值、标准差,结果显示(见表3),林地具有最高的植被覆盖度(58.70%~50.95%),建设用地的植被覆盖



图中所有温度值均为该年反演的地表温度的平均值。中度降低代表温度下降的单位为1~5K,微弱降低为0~1K;微弱升高代表温度升高的单位为0~1K,中度升高为1~5K,极度升高为5~10K。

图3 1988~2000年地表温度变化

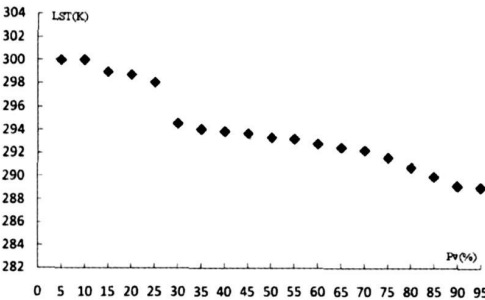
Fig. 3 The map of the land surface temperature change, 1988~2000

表3 各土地覆盖类型的植被覆盖度

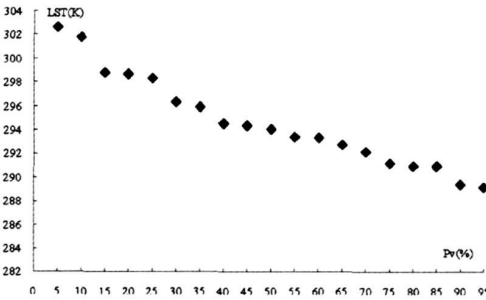
Tab 3 P_v in each land cov r typ

下垫面类型	植被覆盖度 (%)							
	1988年				2000年			
	平均值	最大值	最小值	标准差(±)	平均值	最大值	最小值	标准差(±)
建设用地	19.07	48.73	0.05	17.03	17.77	57.31	0.07	16.57
林地	58.70	93.47	10.22	22.93	50.95	94.13	9.15	24.49
草地	37.01	75.61	3.02	21.67	36.54	74.33	2.27	21.42
园地	33.51	68.63	4.16	19.65	29.15	64.07	5.56	17.31
平坝水田	33.03	68.11	0.32	19.39	24.10	53.67	0.85	14.33
丘陵水田	33.06	70.69	0.23	19.49	29.62	62.83	0.59	17.52
山地水田	35.81	93.01	0.08	21.45	32.65	71.57	0.33	19.32
平坝旱地	33.56	65.97	1.54	18.20	22.50	45.01	0.68	13.28
丘陵旱地	36.45	83.52	0.64	21.89	29.13	58.32	0.19	17.03
山地旱地	36.01	72.39	0.28	21.07	37.89	88.20	0.91	22.67
陡坡旱地	32.52	66.34	0.08	19.08	34.06	67.29	1.52	19.33
水域	3.01	63.06	0.00	2.82	2.58	68.99	0.00	1.92

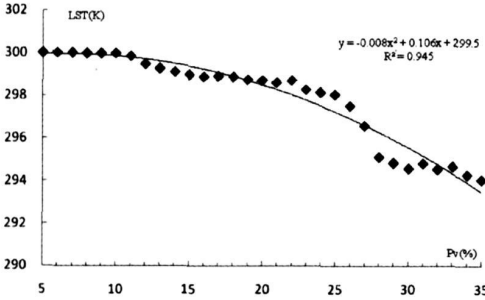
度仅高于水域 (19.07% 和 17.77%), 与之相对应的是, 林地的评价地表温度最小, 而建设用地的地表温度最大。究其原因, 林地具有较高的植被覆盖度, 相应地表温度最低, 而城市建设用地由于植被覆盖度不高, 地表温度总体上偏高。对比 1988 年和 2000 年的数据, 可以明显看出总体的植被覆盖度有所降低, 只有陡坡旱地的 P_V 值有所增加, 这是由于退耕还林等措施取得的成果, 再将表 3 的数据与表 2 的数据做一个相关分析, 得到图 4, 可以看出, 植被覆盖指数与地表温度总体上呈负相关关系, 植被覆盖度与地表温度的关系根据斜率的不同, 明显的分成了两种: 0~35% 和 35~75% (图 4-1a 和 4-2a), 前一种的斜率大于 0.2, 后一种斜率在 0.05~0.1 之间。植被覆盖度与地表温度呈现出较典型的回归特征与线性特征, 四条拟合线的都 R^2 很高, 表明植被覆盖度较大时地表温度与植被覆盖度的线性关系非常显著, 从图 4-1c 中的斜率计算出, 植被覆盖度上升 10%,



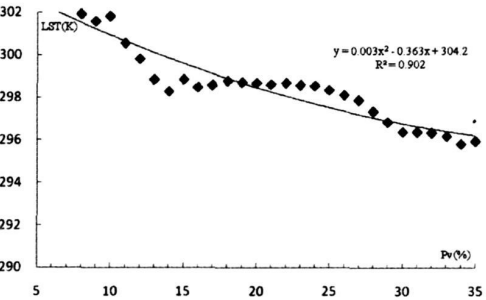
4-1a 1988 年地表温度与植被覆盖度关系



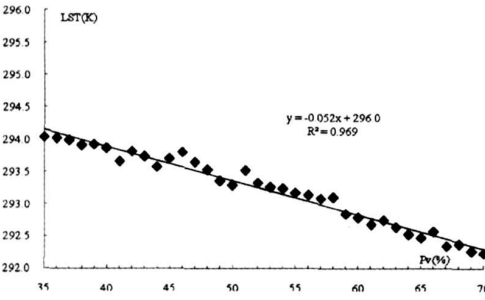
4-2a 2000 年地表温度与植被覆盖度关系



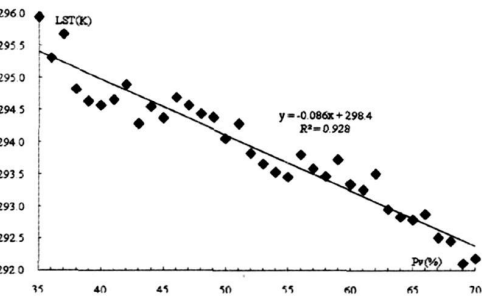
4-1b 1988 年地表温度与植被覆盖度关系 ($P_V \leq 35$)



4-2b 2000 年地表温度与植被覆盖度关系 ($P_V \leq 35$)



4-1c 1988 年地表温度与植被覆盖度关系 ($P_V > 35$)



4-2c 2000 年地表温度与植被覆盖度关系 ($P_V > 35$)

* 图中 P_V 值为各土地类型 P_V 值的平均值。

图 4 植被覆盖度与地表温度的关联分析

Fig 4 Relationship between P_V and LST

地表温度下降 0.53K, 图 4-2c 为 0.86K。植被覆盖度小于 35% 时, 其值与地表温度仍然呈较明显的函数关系, 1988 年平均植被覆盖度上升 10%, 地表温度下降 2.12K; 2000 年时该数据为 2.01K, 远大于植被覆盖度大于 35% 区域的数值。这一定量关系表面, 在较低植被覆盖水平下, 提高植被覆盖度所起到的降温效果比较高植被覆盖区域要显著。

3.5 土地覆盖变化对地表温度的影响

将表 1 中土地利用/覆盖类型发生变化的区域与表 2 和表 3 的数据叠加分析, 得到表 4 来反映土地利用/覆盖变化对地表温度和植被覆盖度的变化, 从中可以看出山地城市的土地利用的覆盖变化平坝、丘陵和山地地区, 随着土地覆盖的变化, 相应的发生植被覆盖度的变化, 进而影响到地表温度。从表 4 中可以明显的看出, 地表温度与植被覆盖度存在

表 4 土地覆盖变化对地表温度和植被覆盖度的影响

Tab 4 Influence of land cover change on LST and P_v

土地覆盖类型变化	变化代码	1988LST (K)	2000LST (K)	LST 变化(K)	PV 变化(%)
平坝水田- 建设用地	1	299.33	304.39	5.06	-15.26
林地- 山地水田	2	294.93	299.46	4.53	-26.05
平坝旱地- 建设用地	3	300.74	304.23	3.49	-15.79
林地- 草地	4	292.19	294.12	1.93	-22.16
林地- 山地旱地	5	294.32	295.95	1.63	-20.81
平坝旱地- 平坝水田	6	299.45	301.03	1.58	-9.46
草地- 丘陵旱地	7	295.57	295.92	0.35	-3.88
园地- 丘陵旱地	8	298.15	298.34	0.19	-0.38
平坝水田- 平坝旱地	9	299.87	299.97	0.10	-0.53
丘陵旱地- 草地	10	298.89	298.62	-0.27	0.09
草地- 林地	11	295.19	292.41	-2.78	13.94
山地旱地- 林地	12	295.80	292.91	-2.89	14.94
山地水田- 林地	13	299.19	295.36	-3.83	15.14

* 其中 LST 变化和 P_v 变化中的负号表示减少, 正号表示增加。

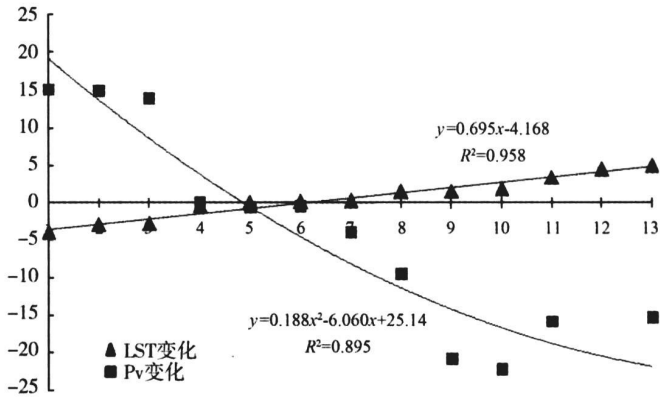


图 5 土地覆盖变化对地表温度和植被覆盖度的影响

Fig. 5 Influence of land cover change on LST and P_v

* 图中横坐标表示表示各种土地覆盖转换类型, 即: 表 4 中的土地覆盖类型变化栏; 纵坐标中三角形点值表示反演的地表温度, 矩形点值表示植被覆盖度。

明显的负相关关系。将表 4 的变化数据分别做二项式和线形的拟合, 得到图 5, 横坐标中各种土地覆盖类型转换的排序, 其本质是将转换后的植被覆盖度的变化做一个降序排列, 以期更直观地反映出不同植被覆盖度下的地表温度特征, 找出植被覆盖度与地表温度之间的关系。从中可以看出, 随着植被覆盖度的下降, 地表温度处于上升的过程。在土地覆盖类型发生变化的区域, 大体上植被覆盖度下降 10%, 地表温度增加 0.49K, 这一结论与 3.4 节中植被覆盖度大于 35% 的区域分析结果基本一致。这是由于重庆市属于典型的山地城市, 在本文分析的时间段内, 土地利用覆盖变化在扣除平坝地区转换为建设用地的区域外, 主要土地利用覆盖类型发生的变化集中于山地和丘陵地区, 占总的变化面积的 83.22%。而该地区主要覆盖类型以园地、林地、草地、丘陵耕地、山地耕地为主, 从表 3 中可以看出, 植被覆盖度大都在 33% 以上。

4 结 论

通过遥感和 GIS 的结合, 对山地城市 (重庆市为例) 的土地覆盖变化及快速城市扩展和其对地表温度的影响进行了评估。在 1988~2000 年间, 研究区土地覆盖变化明显, 特别是城市土地覆盖面积有显著增加。土地覆盖类型的变化会改变地表温度的空间分布, 尤其显著的是: 城市土地的扩展会提高地表温度。下垫面性质的改变, 是城市热岛效应增强的重要原因。城市地域绿化覆盖率的高低对城市环境改善起着主导作用, 对 1988 年和 2000 年重庆市建成区植被覆盖度与下垫面温度的研究结果表明, 植被覆盖度小于 35% 时, 植被覆盖度上升 10% 可以起到降温 2K 的效果; 植被覆盖度在 35% 至 70% 时, 相应的降温幅度下降 0.53K 和 0.86K。对山地、丘陵、平坝、陡坡四种耕地的地表温度进行了深入分析与研究。山地城市土地覆盖变化改变了城市下垫面的植被覆盖度, 而植被覆盖度的改变又引起了地表温度的改变, 被覆盖度每下降 10%, 地表温度上升 0.49K。

TM 热红外图像能够很好地揭示各土地覆盖类型地表温度的空间分布特征, 反映地表温度的变化规律, 可为城市热环境质量评价提供准确、丰富的信息。利用有效波段组合提取的各土地覆盖类型空间与反演的地表温度空间及植被覆盖度空间相叠加, 可以准确地分析植被覆盖度与反演的地表温度二者之间的关系, 揭示了重庆市地表温度的升高主要源于城市的空间扩展。

进一步利用多时期遥感数据研究土地利用/覆盖变化对山地城市地面温度的影响, 提高比辐射率大气影响确定的精度从而提高地面温度反演的精度, 提高土地利用/覆盖类型的分类精度, 以揭示土地利用/覆盖变化对山地城市地面温度的影响机制与作用规律将是作者进一步努力的方向。

参考文献:

- [1] Ehlers M, Jadcowski M A, Howard R R, *et al*. Application of a remote sensing-GIS evaluation of urban expansion 2013 SPOT data for regional growth analysis and local planning. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1990, 56(1): 175~180
- [2] Treitz P M, Howard P J, Gong P. Application of satellite and GIS technologies for land cover and land use mapping at the rural-urban fringe: a case study. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1992, 58(2): 439~448
- [3] Harris P M, Ventura S J. The integration of geographic data with remotely sensed imagery to improve classification in an urban area. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1995, 61(5): 993~998

- [4] 李月臣, 何春阳. 中国北方土地利用/覆盖变化的情景模拟与预测. 科学通报, 2008, 53(6): 713.
- [5] 张小飞, 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. 地理研究, 2006, 25(3): 369.
- [6] 杨英宝, 苏伟忠, 江南, 甄峰. 南京市热岛效应变化时空特征及其与土地利用变化的关系. 地理研究, 2007, 26(7): 877~ 886.
- [7] 刘宇, 等. 不同土地利用类型对城市地表温度的影响——以广东东莞为例. 地理科学, 2006, 26(5): 597~ 602.
- [8] 刘朝顺, 高志强, 高炜. 基于遥感的蒸散发及地表温度对 LUCC 响应的研究. 农业工程学报, 2007, 23(8): 1~ 8.
- [9] Jim nez-Mu oz J C, Sobrino J A. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. Journal of Geophysical Research, 2003, 108(D22): 4688.
- [10] Qin Z H, Karnieli A, Berliner P. A mono-window algorithm for retrieval 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.
- [11] Qin Z H, Zhang M H, Arnon K, *et al.* Mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM6 data. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(4): 456~ 466.
- [12] Sobrino J A, Jim nez-Mu oz J C, Paolini L. Land Surface Temperature Retrieval from LANDSAT TM 5. Remote Sensing of Environment, 2004, 90(4): 434~ 440.
- [13] 钱乐祥, 崔海山. 归一化水汽指数与地表温度的关系. 地理研究, 2008, 27(6): 1358~ 1366.
- [14] 廖和平, 彭征, 洪惠坤, 程希. 重庆市直辖以来的城市空间扩展与机制. 地理研究, 2007, 26(6): 1137.
- [15] Sells P J, Hall E G, Arsar F. The first ISLSCP Field Experiment (FIFE). Bulletin of American Meteorology Society, 1998, 69(1): 22~ 27.
- [16] Balling R C, Brazell S W. High resolution surface temperature patterns in a complex urban terrain. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1988, 54(7): 1289~ 1293.
- [17] Roth M, Oke T R, Emery W J. Satellite derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. International Journal of Remote Sensing, 1989, 10(8): 1699~ 1720.
- [18] Gallo K P, McNab A L, Karl T R, *et al.* The use of NOAA AVHRR data for assessment of the urban heat island effect. Journal of Applied Meteorology, 1993, 32(5): 899~ 908.
- [19] 张心怡, 刘敏, 孟飞. 基于 RS 和 GIS 的地面温度和土地利用/覆盖关系研究进展. 遥感信息, 2005, (3): 67.
- [20] Qin Z, Li W, Zhang M, *et al.* Estimating of the essential atmospheric parameters of mono-window algorithm for land surface temperature retrieval from Landsat TM 6. Remote Sensing for Land and Resources, 2003, (2): 37~ 43.
- [21] 杨景梅, 邱金恒. 我国可降水量同地面水汽压关系的经验表达式. 大气科学, 1996, 20(5): 620~ 626.
- [22] Van de Griend A, Owe M. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. International Journal of Remote Sensing, 1993, 14(6): 1119~ 1131.
- [23] 朴世龙, 方精云. 最近 18 年来中国植被覆盖的动态变化. 第四纪研究, 2001, 21(4): 294~ 302.
- [24] 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: 467~ 483.
- [25] Makoto Y, Robert D, Yoshitake K, *et al.* The cooling effect of paddy fields on summertime air temperature in residential Tokyo, Japan. Landscape and Urban Planning, 2001, 53: 17~ 27.
- [26] Campbell J B. Introduction to Remote Sensing (3rd edn). New York: The Guilford Press, 2002. 331~ 342.
- [27] Sandholt I, Rasmussen K, Andersen J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. Remote Sensing of Environment, 2002, 79: 213~ 224.
- [28] 马志勇, 沈涛, 张军海, 李成名. 基于植被覆盖度的植被变化分析. 测绘通报, 2007, (3): 45~ 47.

Influence of land cover change on land surface temperature in the mountainous city

PENG Zheng¹, LIAO He-ping², GUO Yue-ting², LI Qing²

(1 School of Resource and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2 School of Geographical Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: Based on complex physiognomy of the mountainous city, as well as its underlying surface type, this paper used TM, DEM and ETM⁺ data to extract the land-use cover types of Chongqing, and retrieved the land surface temperature by using single Landsat TM/ETM6 thermal infrared data to analyze complex urban landscape of 1988 and 2000. The integration of remote sensing and GIS was further applied to examine the influence of land cover change and urban growth on land surface temperatures. The article analyzes land-cover change in Chongqing during recent 10 years and its influence on land surface temperature. The results show that the combination of various land cover types extracted by effective infrared band and retrieved land surface temperature space as well as plant-covered space, could accurately reveal the relationship of plant-covered degree and retrieved land surface temperature. And then this paper demonstrates that the rise of land surface temperature in Chongqing is mainly due to urban land development. In the period 1988–2000, the land-cover of the study area changed significantly, in particular, the urban construction land area increased significantly. The land-cover change led to spatial changes of the LST distribution. Furthermore, urban development in Chongqing raised land surface radiant temperature. We studied four types of cultivated land surface temperatures related to mountains, hills, fattened land (intermontane basins) and steep slopes. The results show that the land-cover changes in the mountainous city caused the changes of NDVI, and the change of NDVI caused the land surface temperature. As NDVI decreased by 10%, the land surface temperature rose by 0.49K. Finally the essay concludes that the increase of accuracy defined by land surface emissivity could increase the accuracy of retrieved land surface temperature. The increase of categorical accuracy in land use types could demonstrate how land use change influences land surface temperature in the mountainous city, which should be emphasized in further researches.

Key word : mountainous city; land cover change; land surface temperature; inversion