

基于TM的城市热岛效应研究及其应用探讨 ——以许昌市为例

李京忠¹, 薛冰², 刘永涛³

(1. 许昌学院 城市与环境学院, 河南 许昌 461000;

2. 中国科学院 沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; 3. 许昌市住房公积金管理中心, 河南 许昌 461000)

摘要:通过利用多期的TM数据定量反演晴空状态下许昌市地表温度、归一化植被指数,分析了地表温度空间分布状况以及地表温度分布和归一化植被指数之间的定量关系。发现城市化规模与城市热岛成正相关,城市热岛与绿地面积、绿地空间分布、绿地的构成以及长势呈负相关;老城区植被覆盖度较低,城区建筑集中,空气流动缓慢是造成城市热岛效应的重要原因。郑许推进区由于工厂企业较多,增温现象明显,热岛效应显著。东城区在大力开发居民小区的同时,注重绿化建设,增温现象不明显,城市生态环境较好。因此,在以后的城市规划建设中,老城区和郑许推进区的规划建设应该借鉴东城区规划建设的经验,加强城市绿地建设,提高植被覆盖度,注意城市建筑的层次分布,预留城市空气流通带,提高空气流动速度,有利于缓解城市热岛效应;对于改善城市生态环境质量,提高城市宜居环境,增强许昌城市综合评价的竞争力,有着不可低估的作用。

关键词:城市热岛; 温度反演; TM; 植被覆盖度

中图分类号: P463.3; P407

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)04-0088-05

Study on Urban Hot Island Effect and Application Based on TM Data

LI Jing-zhong¹, XUE Bing², LIU Yong-tao³

(1. College of Urban Planning & Environment Science, Xuchang University, Xuchang,

Henan 461000, China; 2. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang

110016, China; 3. Housing Provident Fund Management Center in Xuchang City, Xuchang, Henan 461000, China)

Abstract: In this paper, state, surface temperature, surface reflectivity, as well as the normalized difference vegetation index were gained by quantitative data on the use of multi-inversion of the TM of Xuchang City, the relationship between the spatial distribution of surface temperature and surface temperature distribution and surface reflectivity, normalized difference vegetation index quantitative was analyzed. It is found that the scale of urbanization and urban heat island are positively related to urban heat island and green space, green space distribution, the composition of green space, as well as bloom was negatively correlated; the old town with low vegetation cover, urban structure is concentrated, the slowly moving air flow is an important reason responsible for urban heat island. The hot island effect is significant in Zhengxu due to promoting the area as factories and enterprises which cause the more significant warming phenomenon, residential area is vigorously developing in Dongcheng District, at the same time attention is paid to building green area, warming phenomenon is not obvious, urban ecological environment is better in this district. Therefore, in future urban planning and construction, the old city area, and Zhengxu development planning and construction should learn from the experience of planning and construction of Dongcheng District to strengthen the construction of urban green space, improve vegetation coverage, pay attention to the level of the distribution of urban architecture, urban air reserve circulation zone, improve the air flow velocity, and help alleviating the urban hot island effect. For the improvement of urban ecological environmental quality, the urban living environment should enhance the evaluation of Xuchang City's comprehensive competitiveness, the role can not be underestimated.

Key words: urban hot island; temperature retrieval; TM; vegetation coverage

收稿日期: 2010-11-15

修回日期: 2011-01-14

资助项目: 国家自然科学基金(40871061); 2010年许昌学院校级青年项目(2010129); 2009年许昌学院教研项目(2009035)

作者简介: 李京忠(1978-), 男, 山东临沂人, 硕士, 讲师, 主要从事GIS和遥感应用的研究。E-mail: zhong_lj@163.com

通信作者: 薛冰(1982-), 男, 江苏灌云人, 博士, 助研, 主要从事区域可持续发展和低碳城市的研究。E-mail: xuebing@iae.ac.cn

近年来,随着全球城市化进程不断加快,由城市扩展而产生的温度变化导致的城市热岛效应,已经引起了全世界的广泛关注^[1-2]。最明显变化特征是城市空气质量下降、降水分布与频率受到了影响,并且进一步威胁居民健康,严重影响了城市人居环境质量,成为城市化进程中最为突出的问题。

由于遥感技术的监测范围广、分辨率丰富、连续监测不受气象条件的限制等优势^[3],迅速成为城市热岛效应变化监测与分析的有效手段。如王文杰利用 ETM 研究了北京的热岛效应^[4],张勇利用 CBERS-02 热红外数据对北京、苏州、无锡做了城市热岛定量化的研究^[5],王建凯利用 MODIS 数据对北京的热冷岛效应进行了分析^[6]。纵观国内的研究都是在单一时相的遥感数据上进行的城市热岛效应研究,并且与实测数据相结合的较少。针对这种情况,本研究利用 3 个时相的 TM 数据结合实测温度数据对河南省许昌市的 urban 发展中热岛效应的发展变化情况进行了定性定量的分析研究,旨在分析城市化进程中城市空间变化与城市热岛效应变化之间的内在关系,分析城市热岛效应产生的机理,为城市化发展规划提供相关的理论和技术支持。

1 资料选取与方法介绍

1.1 研究区概况

许昌市位居河南省中部,总面积 4 996 km²,总人口 445 万。由于近几年来东城区的建设和城北郑许推进区的建设,使得许昌进入城市高速发展阶段。城市发展过程中生态环境的建设是个重要的问题。以 1988 年 5 月 14 日上午 10 点 31 分、1992 年 10 月 16 日上午 10 点 22 分、2004 年 8 月 30 日 10 点 44 分的 TM 遥感数据和 2009 年 8 月直接测量的地面温度数据,对许昌城市热岛效应发展趋势及其原因进行相关的研究分析。

1.2 研究思路和技术方法

本研究利用 3 个时间段的遥感数据对城市温度进行反演和提取植被指数,分析城市热力场的发展变化情况,并结合实测地面温度数据进行相关性分析,找出实测温度与植被指数和遥感反演温度之间的统计关系以及物理机制分析,根据分析结果汇总以及许昌市地表温度的空间分布格局图,得到近几年来许昌市城市热岛的发展趋势及其原因分析,为城市规划决策提供理论依据。

1.3 实测数据获取

对于地面温度的测量,在研究区范围内选取了

129 个样点测量分析,选用了简易室外温度计,测量时间确定在 2009 年 8 月 10-30 日,考虑到温度的敏感性,本研究特定选择在晴空午后 1:00-3:00 时间段作为温度采样的时间。样区内采样点的空间分布如图 2 所示。

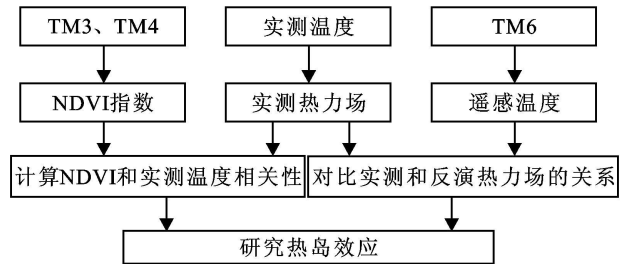


图 1 热岛效应研究流程

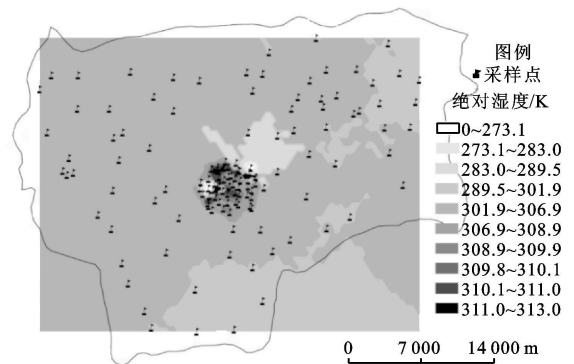


图 2 采样点空间分布及实测温度拟合分布图

采样数据是摄氏温度,为了便于和遥感反演的温度对比分析研究,将摄氏温度换算成绝对温度,然后把测量的样点温度作为样点的属性数据输入并建立地理数据库,利用克里金插值法进行地面温度拟合^[7],得到地面温度拟合分布图(图 2)。

2 遥感地表参量反演

2.1 遥感数据预处理

根据研究区的范围,对于选择的 TM 影像数据进行了裁剪处理,并利用地形图对影像进行几何精确校正,平均误差在 0.5 个像元内。根据 TM 数据的辐射强度与其 DN 值的关系对影像做了辐射定标校正。而大气校正正是采用的 6S 大气校正模型,其中对于太阳-目标物-传感器的几何关系根据数据采集地点和时间的太阳高度角、太阳方位角、卫星高度角和卫星方位角来确定;结合研究区的地理位置和数据采集时间把大气组分和气溶胶参数选择为中纬度夏季大气模式和大陆性气溶胶,BRDF 模型采用 Roujean 的模型,其中 3 个系数分别取 0.243, 0.073, 0.642。经过几何校正和辐射校正等预处理后,对遥感数据提取本研究所需要的植被指数和进行温度反演。

2.2 植被指数提取

地表温度与植被指数有很大的相关性^[8], 植被指数在城市热岛效应的研究中, 主要是从城市绿地能有效缓解城市热岛效应这个角度出发, 指导城市规划建设中合理进行城市绿地的规划建设, 以及不同树种的合理分布, 有利于降低夏季城市的温度热力场。目前研究较为成熟的植被指数主要是归一化植被指数(NDVI)。

NDVI= (ρ₊-ρ₋) / (ρ₊+ρ₋) (1)

式中: ρ₊、ρ₋ ——影像的红波段和红外波段的反射率。利用许昌地区 2004 年的 TM 遥感影像提取了的 NDVI 指数, 用于分析植被分布特征与城市热岛效应的相关性。

2.3 地表温度反演

利用 TM 遥感数据反演地表温度主要是利用 TM 6 波段的热红外波段数据, 通过模拟大气对辐射传输的影响可以为计算大气效应提供一种有效的方法。文中参考中纬度夏季标准大气剖面, 模拟得到各个大气参数, L_{λatm} ↓ 为 1. 68 W/(m² · μm · sr), L_{λatm} ↑ 为 1. 74 W/(m² · μm · sr), τ 为 0. 77。

L_λ(T_s)= (L_λ- L_{λatm} ↑) / (τε_λ) - 1/ε_λ L_{λatm} ↓ (2)

式中: T_s ——地表真实温度; L_λ(T_s) ——温度为 T_s 的黑体在热红外波段的辐射亮度; L_{λatm} ↑ ——大气向上辐射亮度; L_{λatm} ↓ ——大气向下辐射亮度; ε_λ ——地表比辐射率; τ ——大气在热红外波段的透过率。代入以上数据, 其中 Landsat TM 6 中心波长取值为 11. 457 μm, 反解普朗克(planck)函数也就是黑体辐射定律即可获取地表真实温度, 也可以采用如式(3)的简化公式:

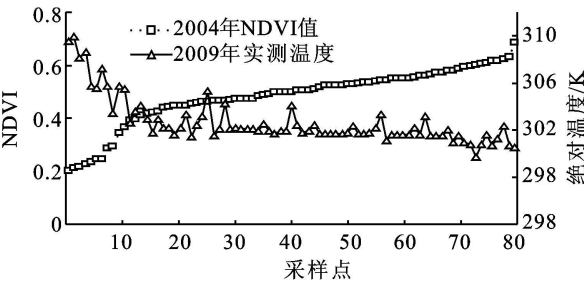


图 3 NDVI> 0.2 与地面温度相关性分析图

对实测温度和 NDVI 指数进行统计发现, NDVI 值在 0.2 以下的区间内对应的样点温度集中在 310 K 附近; NDVI 值在 0.5~ 0.7 的这个区间内对应的样点温度介于 300~ 303 K 之间。由此可见绿色植被的降温效应是非常显著的, 这反映出绿地建设对城市

T_s= 1260. 56 / ln((607. 76 / (L_λ(T_s) + 1)) (3)

通过式(2)和式(3)可获取研究区的遥感反演的地表温度, 本研究中反演了许昌地区 1988 年、1992 年、2004 年 3 个时期地表温度分布图, 利用这 3 个时期反演的地表温度分布图分析城市发展过程中, 城市热力场的形成、显著、增强的这样一个过程, 对于城市发展过程中, 城市规划布局优化, 降低城市热力场形成的主要因素, 对提高城市人居环境具有较高的实用价值和意义。

3 城市热岛效应定量分析

3.1 植被指数与地表温度相关性分析

通过对比实测温度和 NDVI 指数曲线走势发现(图3、图4所示), 在 NDVI 值大于 0.2 的区间内, 实测温度与 NDVI 值近似成为一个反比关系; 随着实测温度(T_s)的升高, NDVI 值逐渐降低, 经过线性回归分析得到回归方程:

T_s= 37. 59- 16. 45NDVI (4)

且两者相关系数为 - 0. 868 32, 标准差为 1. 057 K。当 NDVI 每增加 0. 1, 平均地表温度降低 1. 65 K。在 NDVI 值小于 0.2 的区间内, 两者之间出现无规律性的变化, 两者相关系数仅为 - 0. 095 34。通过对比样点属性信息发现由于 NDVI 小于 0.2 所对应的像元多为混合像元, 且像元内植被所占比例较少, 没有植被覆盖或少量植被覆盖。由此可知利用 NDVI 指数作为参数研究城市热岛效应的过程中, 对于植被覆盖较高的纯像元或者近似纯像元对应的样点非常有效, 这两者近似为反比关系。

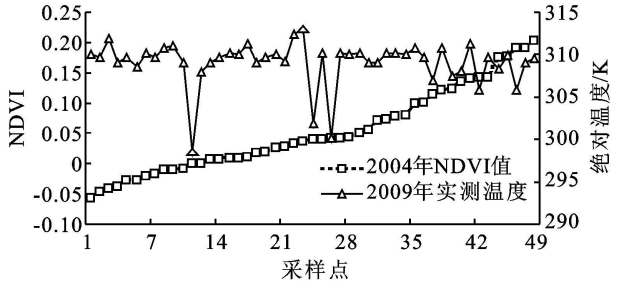


图 4 NDVI< 0.2 与地面温度相关性分析图

环境影响的重要性, 城市化进程不能忽视其绿地的规划和建设。

3.2 遥感反演温度与实测地表温度分析

对 2009 年实测温度和 2004 年影像反演温度进行分析(图 5), 两者的变化趋势基本一致。采样点大

体上分为城郊地区、市区和道路 3 个台阶,这 3 个台阶的温度依次升高。市区要比城郊地区高 3~5 K;而道路要比市区高 4~7 K,比城郊地区高 9 K 左右。这是由于道路和市区硬化度高,房屋建筑密集所致。而在城郊地区和道路发现遥感反演温度普遍的要比实测温度高 1~2 K;在市区范围内两者的差异很大,这是由于 2004~2009 年期间城市发展过程中地物属性的改变以及遥感反演温度和实测温度获取方法的差异所导致。

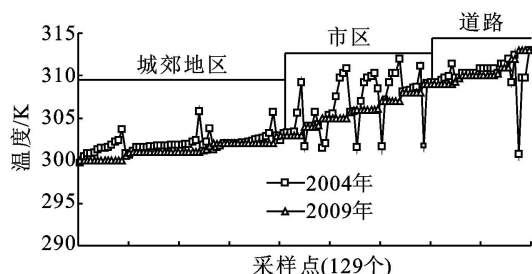


图5 实测温度和反演温度分析图

3.3 城市热力场分析

从 1988 年、1992 年和 2004 年这 3 个时相的遥感反演温度(附图 6)上来看,1988 年时,许昌城市建设较为落后,城市区面积小,而且城市建筑密度较低,城市化进程缓慢,城市热岛效应初步形成。市区的温度分布与市区周边地区的温度差别不是很大。且市区内的温度分布高低不等,在附图 6a 上表现为市区内色调较为复杂,呈花斑状分布。1992 年时,城市化发展建设进入快速通道,市区内的温度明显比周边地区的温度高,而且分布较为均匀,在城市区范围内形成了明显的热岛效应。由于 1992 年的数据是 10 月 16 号上午 10:22 时采集的,这个时节是秋收过后,田地里没有农作物覆盖,裸土温度在上午日照充分的情况下,在 TM 第六波段上表现为较高的温度,这也是在 1992 年的遥感温度反演图上表现出较多高温斑点的原因。2004 年城市化进程高速发展达到一个新阶段,城区范围扩大,城市建筑密度增大,城区由于受到热岛效应表现为强烈的高温热力场,在 2004 年城区范围内多是以较高温度的颜色——红色。从城区周边向着城区中心逐渐升高,颜色逐渐由绿变红,表现为明显的环形热力场。

利用遥感反演温度图生成许昌多期城市热岛变化图(附图 7),可以看出城市热岛效应随着城市的扩展逐渐的向外扩展,热岛效应向北和东迅速扩展,这和许昌城市这些年的发展规划相一致,北面是郑许推进区的开发建设区和魏都民营企业园的建设区,东面是东城区的建设开发区。西面和南面进程缓慢是自

然扩展的结果。纵向对比发现从 1988~2004 年这个阶段,许昌市的城市化进程加快,但在加快的过程中,忽视了地面植被的覆盖状况,致使城市热力场效应逐渐增加,从 1988 年的初显城市热岛效应到 1992 年形成城市热岛效应规模,在 2004 年达到显著的城市热岛效应,发现热岛效应的增强对许昌城区的生态环境产生了较大的影响。

通过对 2009 年实测数据拟合发现,2004~2009 年城市发展迅速,东城区的扩建,郑许推进区的扩展给许昌市区的扩大带来了直接效应,这也给城市热岛效应的显著增加提供了主导因素。从 2009 年的温度拟合图上可以看出(图 5),东城区的扩建过程中,居民小区的建设注重城市绿化建设,温度场相对与旧城区较低;但是郑许推进区由于多是工厂企业的进驻,工厂企业在运转的过程中产生大量的热量,另一个方面工厂企业的建设过程地面采用沥青硬化致使地面温度直接上升,在 2009 年温度拟合图上表现为温度较高,热岛效应显著。

4 结论和展望

4.1 结论

(1) 当 NDVI 值在 0.2~1 这个区间内,NDVI 与地面温度有着较高的负相关性,其值为 -0.868 32;且当 NDVI 值增加 0.1,地表夏季温度下降 1.65 K。所以在植被覆盖较好的地区利用 NDVI 植被指数进行城市温度热力场研究具有较高的价值,对于城市热岛效应影响研究具有较大的实际意义。

(2) 对比遥感反演温度图和实测温度拟合图发现许昌在城市化进程中,旧城区和郑许推进区热力效应显著;东城区的热力效应不明显,但其道路网络周围的热力效应较强。在今后的城市规划建设中,注意道路网络和城市绿地相应的规划建设,提高城市的植被覆盖率,有效缓解城市热岛效应。对于改善城市生态环境质量,提高城市宜居环境,增强许昌城市综合评价的竞争能力,有着不可低估的作用。

4.2 展望

本研究的数据是用 Landsat TM 5, TM 数据的分辨率对于区域范围的研究具有较高的实用价值,但是在城市热岛效应的研究中对于城区热力场细节变化提取中不具有优势,若是采用较高分辨率红外航片进行相关的研究效果会更好,对于城市温度热力场整体的变化有更好的表现。

(下转第 96 页)

鹃+ 落叶松林> 落叶松纯林> 樟子松+ 落叶松林> 杜香+ 落叶松林> 白桦+ 落叶松林, 杜鹃+ 落叶松林土壤饱和蓄水量是白桦+ 落叶松林的 1.36 倍。

(2) 土壤最大持水量、毛管持水量和田间持水量均为: 杜鹃+ 落叶松林> 落叶松纯林> 杜香+ 落叶松林> 樟子松+ 落叶松林> 白桦+ 落叶松林。杜鹃+ 落叶松林的持水能力最强, 白桦+ 落叶松林最低, 且二者差异极显著($p < 0.01$)。0–20 cm 土层饱和蓄水量杜鹃+ 落叶松林最大, 为 1 548.91 t/hm²; 白桦+ 落叶松林最差, 为 1 140.82 t/hm²。杜鹃+ 落叶松林土壤贮蓄水分和调节水分的潜在能力比白桦+ 落叶松林高 135.77%。

(3) 不同林型枯落物蓄积量大小为: 白桦+ 落叶松林> 樟子松+ 落叶松林> 落叶松纯林> 杜鹃+ 落叶松林> 杜香+ 落叶松林, 白桦+ 落叶松林枯落物蓄积量最高为 404.15 t/hm², 杜香+ 落叶松林最低为 222.29 t/hm², 两者相差 1.8 倍。未分解层最大持水量大小为: 杜鹃+ 落叶松林> 落叶松纯林> 樟子松+ 落叶松林> 白桦+ 落叶松林> 杜香+ 落叶松林; 半分解层最大持水量大小为: 杜鹃+ 落叶松林> 樟子松+ 落叶松林> 落叶松纯林> 杜香+ 落叶松林> 白桦+ 落叶松林。整个枯落物层的持水量大小为: 杜鹃+ 落叶松林> 落叶松纯林> 樟子松+ 落叶松林> 杜香+ 落叶松林> 白桦+ 落叶松林。最大持水量反映了林地持水能力, 可见, 杜鹃+ 落叶松林枯落物持水能力最强。

(4) 不同林分林型水源涵养能力差异较大, 杜鹃

+ 落叶松林水源涵养能力最好, 为 1 815.12 t/hm², 落叶松纯林为 1 640.00 t/hm², 樟子松+ 落叶松林为 1 557.01 t/hm², 杜香+ 落叶松林为 1 468.54 t/hm², 白桦+ 落叶松林为 1 308.94 t/hm²。

参考文献:

- [1] 黄庆丰, 高健, 吴泽民. 不同林地类型土壤肥力及水源涵养功能的研究[J]. 安徽农业大学学报, 2002, 29(1): 82–86.
- [2] 方海东, 纪中华, 杨艳鲜, 等. 金沙江干热河谷新银合欢人工林枯落物层持水特性研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(5): 52–55.
- [3] 肖洋, 满秀玲, 范金凤. 公别拉河流域主要森林类型土壤肥力与涵养水源功能[J]. 东北林业大学学报, 2006, 34(1): 28–30.
- [4] 王勤, 张宗应, 徐小牛. 安徽大别山库区不同林分类型土壤特性及水源涵养功能[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 59–62.
- [5] 关继义, 陈喜全. 森林土壤实验教程[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1992.
- [6] 孙艳红, 张洪江, 程金花, 等. 缙云山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 106–109.
- [7] 郝占庆, 王力华. 辽东山区主要森林类型林地土壤涵养水性能的研究[J]. 应用生态学报, 1998, 9(3): 237–241.
- [8] 张振明, 余新晓, 牛健植, 等. 不同林分枯落物层的水文生态功能[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 139–143.
- [9] 王贵霞, 李传荣, 许景伟, 等. 沙质海岸 5 种植被类型土壤物理性状及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 142–146.

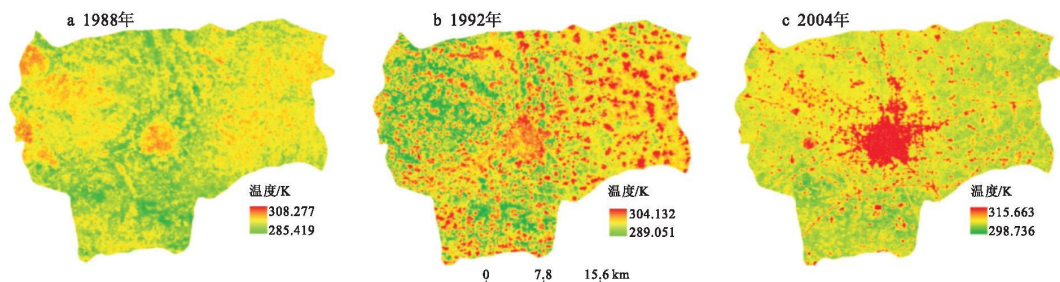
(上接第 91 页)

参考文献:

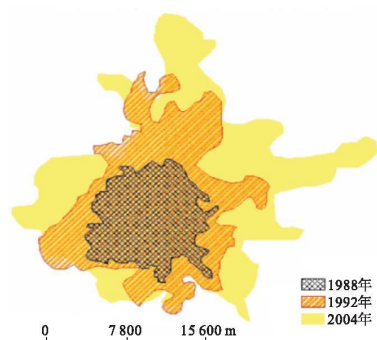
- [1] Owen T W, Carlson T N, Gillies R R. An assessment of satellite remotely sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization. International [J]. Journal of Remote Sensing, 1998, 19(9): 1663–1681.
- [2] Carlson T N, Arthur S T. The impact of land use/land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: A satellite perspective [J]. Global and Planetary Change, 2000, 25: 49–65.
- [3] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 36–39.
- [4] 王文杰, 申文明, 刘晓曼, 等. 基于遥感的北京市城市化

发展与城市热岛效应变化关系研究[J]. 环境科学研究, 2006, 19(2): 44–48.

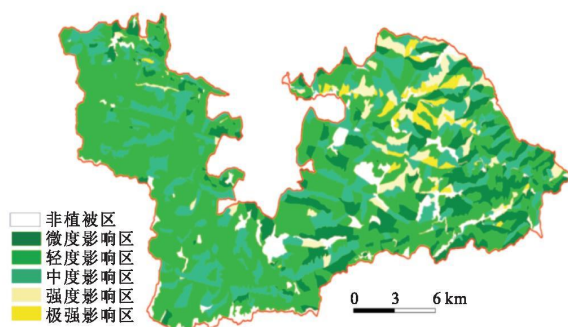
- [5] 张勇, 余涛, 顾行发, 等. CBERS-02 IRM SS 热红外数据地表温度反演及其城市热岛效应定量分析中的应用[J]. 遥感学报, 2006, 10(5): 789–797.
- [6] 王建凯, 王开存, 王晋才. 基于 MODIS 地表温度产品的北京城市热岛(冷岛)强度分析[J]. 遥感学报, 2007, 11(3): 330–337.
- [7] 田宜平, 袁艳斌, 李绍虎, 等. 建立盆地三维构造–地层格架的插值方法[J]. 中国地质大学学报, 2000, 25(2): 191–194.
- [8] Weng Q H, Lu D S, Jacquelyn S. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 89: 467–483.



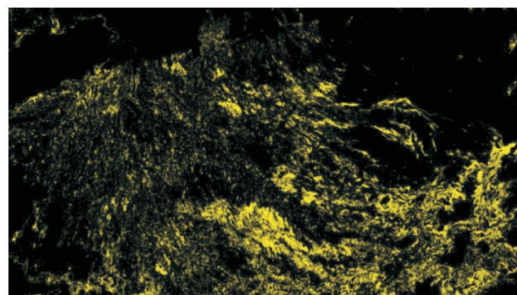
附图6 河南省许昌市不同年份地表温度反演图



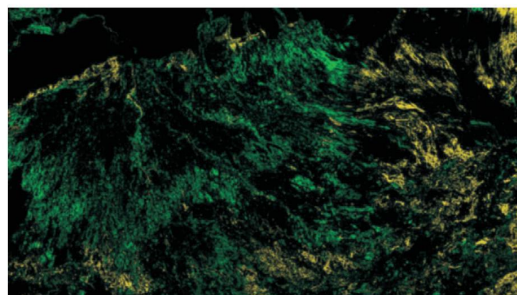
附图7 河南省许昌市不同年份城市热岛区域变化图



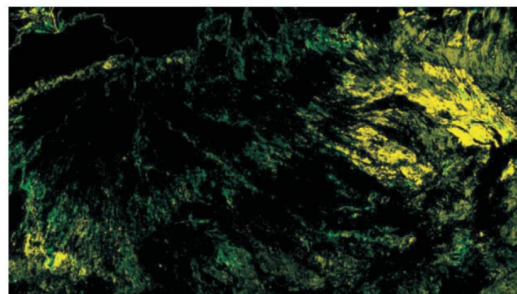
附图8 雪灾对植被NPP影响程度分布图



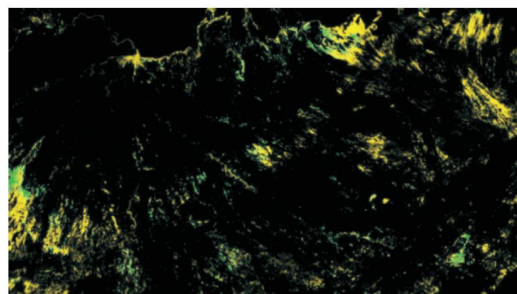
附图10 1989—2001年非盐渍地转化



附图11 1989—2001年轻、微轻盐渍地转化



附图12 1989—2001年中度盐渍地转化



附图13 1989—2001年重度盐渍地转化