

城市绿量的遥感估算与热岛效应的相关分析 ——以北京市五环区域为例

邸苏闯, 吴文勇, 刘洪禄, 杨胜利, 潘兴瑶

(北京市水利科学研究所, 北京 100048)

摘要: 本研究以遥感分析北京城市绿地对地表温度的影响, 研究包括绿地提取、绿量估算、地表温度反演, 地表温度和绿量相关分析。并以高精度 Rapid Eye 遥感影像, 提取了五环内的绿地面积(197.3 km², 占城区总面积的29.6%), 且估算绿量总值为2450.7 km²。同时用2009年7月20日的Landsat5 TM 6波段数据进行地表温度反演, 低温区、中温区、次热岛和热岛区域所占的五环内城区面积的比例分别为12.3%, 34.7%, 40.4%和12.6%。绿量和地表温度呈负相关关系: $y = -1278.7x + 60650$, 城市绿地可以使城区平均温度降低2.6℃。

关键词: 城市绿地; 热岛; 遥感; 绿量; 归一化植被指数

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2012.00481

1 引言

城市热岛(Urban Heat Island, UHI)是一种因城市建筑及人类活动导致热量在城区空间聚集的现象, 是城市气候最显著的特征之一^[1]。造成该现象的主要原因: (1) 城市化过程中植被、水体等自然下垫面被混凝土、石块、柏油路面、建筑物屋顶替代, 其导热性能好, 热容量高, 易于吸收、积蓄太阳辐射。(2) 城市下垫面蒸发过程受阻碍, 绝大部分热量通过显热形式进入空气。(3) 城市生活生产中消耗大量能源, 产生直接加热大气的人为热, 使周围环境温度升高。城市热岛效应产生的主要危害: (1) 热岛中心区域呈上升气流, 周围的污染物、废气进入城区会加重污染, 危害居民健康, 降低生活质量。(2) 夏季城市的高温导致对电力需求的进一步增长, 增大能源消耗^[2]。

1833年Lake Howard在研究伦敦城市气候时, 首次发现并论述了城市热岛现象^[3], 从此许多学者围绕这一现象开展大量研究, 得出城市热岛效应与下垫面性质结构、植被覆盖、社会经济、地形、天气等有密切的关系^[4-14]。

城市地表能量交换过程和植被数量、长势关系密切, 植被密集区域潜热交换所占比例较高, 而植

被稀疏区域, 显热所占的比例较高。地表温度和绿地植被间的关系研究成为城市热岛研究的一个重要内容, 大量的研究表明绿地对城市热岛效应具有一定的缓解作用。已有研究多集中在地表温度与绿地植被覆盖度、植被指数的定量关系方面^[15-18], 虽然植被覆盖率和植被指数可以反映绿地系统的长势、绿色生物量等重要指标, 但是绿地中物质和能量流动数量的大小决定于植物叶片面积的大小, 以叶片面积为主要标志的绿量是决定绿地生态效益的最实质的因素^[19]。绿量和城市地表温度之间的定量关系研究还比较少, 本研究以北京市五环范围为例, 应用遥感影像进行绿量估算, 以及地表温度反演, 进而建立两者间的定量关系, 分析绿地缓解热岛的作用。

2 数据资料与处理方法

2.1 数据源与分析方法

本研究应用Rapid Eye数据, 空间分辨率为5m, 包括: 蓝、绿、红、红边、近红外5个光谱波段(成像时间为2009年6月10日); 及Landsat5 TM数据, 空间分辨率为30m(热红外波段为120m), 包括蓝、绿、红、近红外、热红外、短波红外共7个波段

收稿日期: 2011-09-23; **修回日期:** 2012-07-14.

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划课题“节水灌溉技术应用模式”(2011BAD25B02)。

作者简介: 邸苏闯(1983-), 男, 汉族, 河北深泽人, 在读博士, 工程师, 研究方向: 定量遥感、GIS技术在水文水资源领域的应用。E-mail: disuchuang@163.com

(成像时间为 2009 年 7 月 20 日)。为估算城区绿量,作者进行了典型绿地样方绿量调查,数据采自北京市颐和园等 10 个公园(小区)的 50 个样方。

本研究从城市绿地绿量估算和绿量与地表温度关系的分析两方面,评价绿地缓解城市热岛的生态效应。同时利用 Rapid Eye 数据采用层次分类方法提取绿地分布,计算出植被指数 $NDVI_R$ 。针对典型样方的绿地结构计算样方内乔木灌木草地各成分绿量,并汇总出样方总绿量。应用 Landsat5 TM 数据的 3 波段和 4 波段计算出植被指数 $NDVI_T$,应用 TM6 波段的数据反演地表亮温。建立绿量和植被指数关系模型,结合绿地面积估算城区总绿量。建立地表温度和绿量关系模型,结合城区总绿量,分析城区绿地缓解热岛的生态效应。

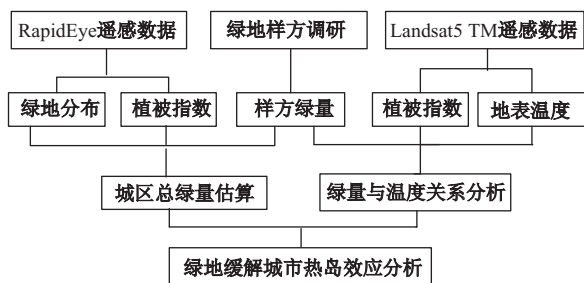


图 1 绿地缓解热岛生态效应的技术路线图

Fig. 1 Flow chart for research on relationship between green land and UHI

2.2 数据的预处理

2.2.1 TM 影像数据的预处理

TM 影像预处理包括几何校正、辐射校正、地表反射率、归一化植被指数(NDVI)、地表温度等参数计算。Landsat5 TM 影像依据北京市 1:1 万地形图进行几何精校正, TM 影像重采样为 30m, RMSE 值小于 30m, 遥感影像的投影坐标系转换为北京 54 坐标系。

在遥感参数反演之前,首先,需进行辐射校正,将 DN 值转换为光谱辐射亮度,然后,计算窄波段的表观反射率,宽波段大气上界反射率,最后,计算得出地表反射率,如式(1)-(4)。

$$L_{\lambda} = a \times DN + b \quad (1)$$

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi L_{\lambda} d_r^2}{ESUN_{\lambda} \cos(\theta)} \quad (2)$$

$$a_{\tau} = \sum c_{\lambda} \rho_{\lambda} \quad (3)$$

$$a = \frac{a_{\tau} - a_{path}}{\tau_{sw}} \quad (4)$$

其中, L_{λ} 是光谱辐射亮度, $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$; ρ_{λ} 是窄波段表观反射率; a_{τ} 是宽波段大气上界反射率; a 是地表反射率; DN 是像元灰度值; a , b 分别是波段增益量与偏移值; $ESUN_{\lambda}$ 是大气顶平均太阳光谱辐照度, $W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$; θ 是太阳天顶角; d_r 是日地距离; c_{λ} 是各波段的比重, a_{path} 是大气程辐射, τ_{sw} 是大气透射率。各参数的详细计算过程参考文献[16]。

归一化植被指数(NDVI)是一个植被生长状态及植被覆盖度的最佳指示因子,与叶绿素水平、植物生物量、光合作用强弱有密切关系,计算如式(5)。

$$NDVI_T = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad (5)$$

其中, $NDVI_T$ 是根据 TM 影像计算的 NDVI 值; ρ_4 是 TM4 波段反射率; ρ_3 是 TM3 波段反射率。

地表温度反演过程是由 TM6 波段的光谱辐射亮度先转换为辐射亮温,而后根据地表发射率,推算地表温度。

$$T_6 = \frac{K_2}{\ln(\frac{K_1}{L_6} + 1)} \quad (6)$$

$$T_s = \frac{T_6}{\epsilon^{0.25}} - 273.15 \quad (7)$$

其中, T_6 是波段辐射亮温, K; T_s 是地表温度, $^{\circ}C$; K_1 是定标常数, $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$; K_2 是定标常数, K; ϵ 是地表发射率; L_6 是 TM6 波段辐射亮度值, $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$ 。各参数值的确定见文献[20]。

2.2.2 Rapid Eye 数据的预处理

Rapid Eye 影像依据北京市 1:1 万地形图进行几何精校正, 采样为 5m, RMSE 值小于 5m, 遥感影像的投影坐标系转换为北京 54 坐标系。与 TM 影像预处理类似, 将 DN 值转换为光谱辐射亮度, 然后转化为地表反射率, 再计算 NDVI, 如式(8)-(10)。

$$RAD(i) = DN(i) \times ScaleFactor(i) \quad (8)$$

$$REF(i) = RAD(i) \times \frac{\pi \times SunDist}{EAI(i) \times \cos(SolarZenith)} \quad (9)$$

$$NDVI_R = \frac{REF(5) - REF(3)}{REF(5) + REF(3)} \quad (10)$$

其中, i 是波段代号; DN 是图像灰度值; $Scale-Factor$ 是图像拉伸系数, $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$; RAD 是光谱辐射亮度, $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$; REF 是地表反射率; $SunDist$ 是日地距离; $SolarZenith$ 是太阳天顶角, $NDVI_R$ 是根据 Rapid Eye 影像计算出的 $NDVI$ 值。

3 北京市城区绿量的遥感估算

3.1 分层分类方法提取城区的绿地

研究区域的土地覆被类型主要包括: 水域、植被、裸地、建筑物等, 在 Rapid Eye 遥感影像各波段反射率特征如图 2 所示。水域范围内红、近红波段的能量大部分被吸收, 随着波长增加反射率逐步降低。植被覆盖区域存在“红波段吸收谷”和“近红外波段反射峰”的特征, 并植被覆盖率越大, 植物长势越好, 这一特征越明显。建筑区(包含道路)反射率从蓝波段到近红外波段呈递减规律。裸地区域各波段反射率变化不大, 约为 15%~20%。

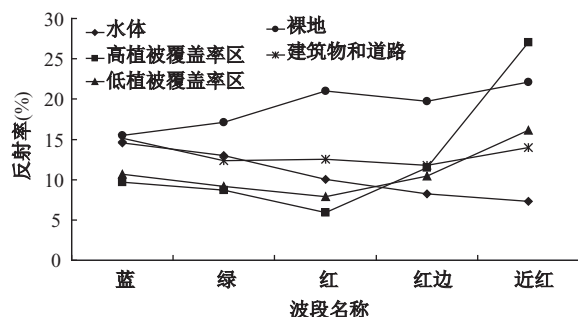


图 2 5 种地物在 Rapid Eye 影像 5 个波段反射率

Fig. 2 Reflectance for 5 land cover types in 5 bands of Rapid Eye images

根据地物的不同波段的反射率差异, 采用层次分类法, 建立地物类型的分类决策树, 如图 3 所示。

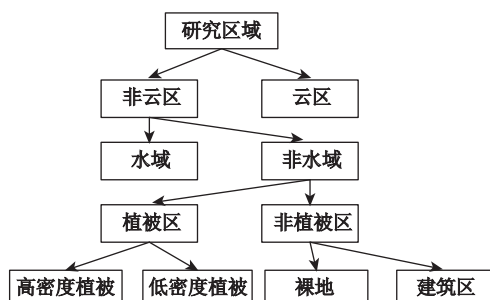


图 3 层次分类决策树

Fig. 3 Decision tree for hierarchical classification

云区与高反射率建筑物的光谱特征非常相似, 可采用目视解译对云区进行剔除。水体对近红外波段的能量吸收强烈, 故在近红外波段的反射能量要远低于其他地物。依据多次试验设定“近红外波段反射率小于 12%”提取规则, 但是有些建筑阴影区域受到遮挡, 各个波段的反射能量均很小, 为了防止把建筑物阴影区域误分为水体, 又经试验附加设定“绿波段反射率大于 7%”的提取规则。

植被和非植被的区分, 采用近红外和红波段组合的归一化植被指数 $NDVI$ 。 $NDVI$ 的计算如式 (10), 经多次试验确定阈值为 0.1, $NDVI$ 大于该阈值区域为植被区。0.1~0.26 之间区域为低植被覆盖区, 0.27~1.0 之间为高植被覆盖区。裸地和建筑区(包含道路)光谱反射率特征相差不大, 可以通过两者的空间分布来区分。裸地一般处于城市边缘, 周围被绿地包围, 建筑区主要分布于城市中心, 绿地呈斑块状分布于其中。

根据层次分类的结果, 北京城区五环内植被覆盖区域为 197.3 km², 水域面积为 8.96 km², 其余各类地物的面积和在城区所占比例如表 1。

表 1 层次分类后 6 类地物面积统计
Tab. 1 Area statistics for 6 land covers after hierarchical classification

类型	像元(个数)	面积(km ²)	比例(%)
云层	269 930	6.75	1.0
水域	357 600	8.94	1.3
高植被覆盖率区	4 042 083	101.05	15.2
低植被覆盖率区	3 850 482	96.26	14.5
裸地	288 216	7.21	1.1
建筑区和道路	17 812 320	445.30	66.9
合计	26 620 631	665.52	100.0

为了检验分类的精度, 随机生成 100 个检验样点分布(如图 4 所示)。将自动分类结果与目视解译的结果对比分析, 绿地提取精度达到 92%, 误差的主要原因是部分低植被覆盖区域与建筑物混淆。

3.2 城市绿量的遥感估算

城市绿地中物质循环和能量流动数量大小, 直接取决于植物叶片面积的大小, 以叶面积为主要标志的绿量(本研究中的绿量主要指二维绿量即叶面积)是决定绿地生态效益大小的真实性因素^[19]。目

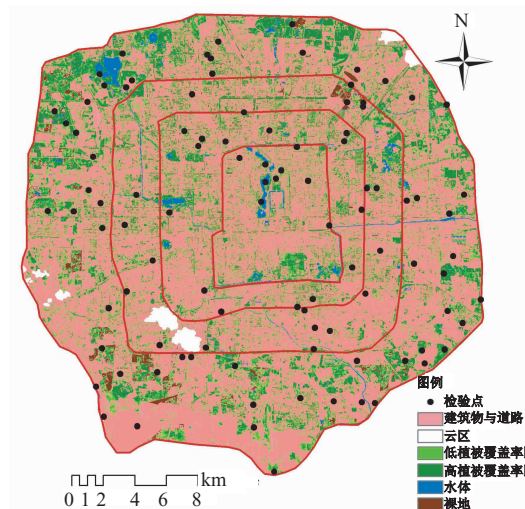


图 4 基于 RapidEye 遥感数据不同地表植被空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of different land cover types based on RapidEye RS data

前,测算叶面积一般系通过 NDVI 来推算的,并根据植被类型建立 NDVI 和实测叶面积回归方程进行反演^[21]。

本研究中为估算北京市五环区域内绿地总绿量,在国家奥林匹克森林公园等 10 个公园内选取 50 个边长为 10m 样方进行绿地结构调查和测量,样点的空间分布如图 5(a)。样方内绿量计算方法:根据乔木种类、胸径和冠高等推算乔木的单株绿量,结合株数信息,推算乔木绿量;根据株高、冠幅、株数推算灌木绿量;根据草地面积、草地类型等推

算草地绿量,三者总和作为样方绿地的总绿量,计算公式详见参考文献[22]。

进行样方绿量测量时,应用 GPS 定位仪,记录样方中心坐标。假定绿量在样方和像元尺度上,分布均匀,由于样方边长为 10m, Rapid Eye 遥感影像空间分辨率为 5m,将样方的绿量值除以 4,作为中心点对应 Rapid Eye 像元的绿量值。同理, TM 遥感影像空间分辨率为 30m,将样方绿量乘以 9,作为中心点对应 TM 像元的绿量值。根据样方的中心坐标提取出对应像元 NDVI 值,与像元绿量值进行回归分析。根据散点趋势选择相应的数学模型来模拟绿量与 NDVI 的关系。选择模型包括:(1)逻辑斯蒂模型,如式(11);(2)线性模型,如式(12);(3)二次模型,如式(13);(4)幂函数模型,如式(14)。

$$y = 1/(1/a_0 + a_1 \times a_2^x) \quad (11)$$

$$y = a_0 + a_1 x \quad (12)$$

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 \quad (13)$$

$$y = a_0 x^{a_1} \quad (14)$$

式(11)-(14)中, x 是 NDVI 值; y 是绿量值 (m^2); a_0, a_1, a_2 是模型拟合参数值。

应用 SPSS 数据处理软件,求解各参数,根据相关系数最大的原则,选择最优模型作为本次模拟 NDVI 与绿量的关系回归模型。根据多种回归结果比较,综合考虑模型相关性及拟合效果均采用逻辑斯蒂模型。利用 Rapid Eye 遥感影像 NDVI 的绿量

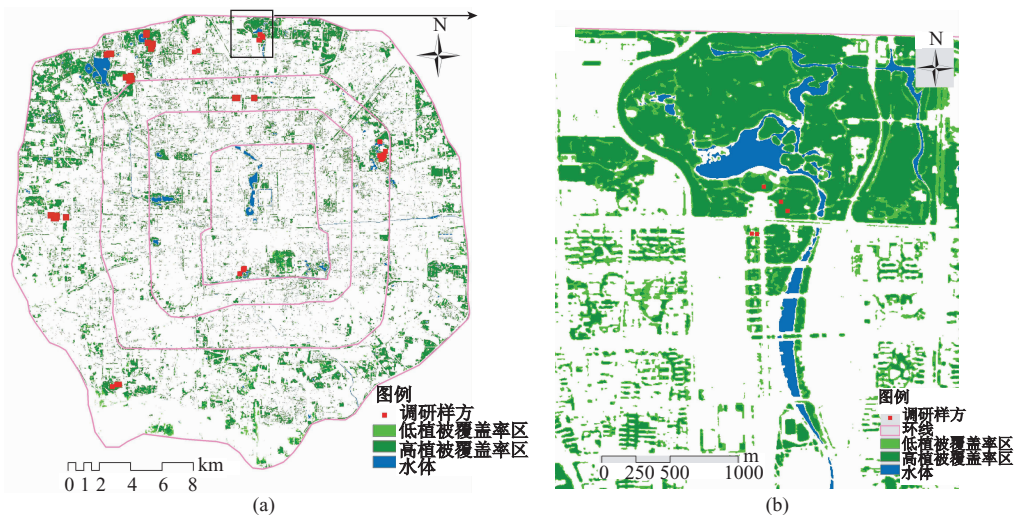


图 5 城区绿地提取结果

(a) 五环范围内; (b) 奥林匹克国家森林公园附近

Fig. 5 Green land distribution

(a) area within 5th Ring Road; (b) area near Olympic Park

计算模型如式(15),拟合结果如图 6(a),相关系数为 0.73;以 TM 遥感影像 NDVI 的绿量计算模型如式(16),拟合结果如图 6(b),相关系数为 0.6。前者的相关性优于后者,由于 Rapid Eye 的影像空间

分辨率为 5m, TM 影像的空间分辨率为 30 m,城市区域地表类型不均一性较大,TM 的绿地像元受道路、建筑物、水体干扰较强,NDVI 与绿量的相关性降低。

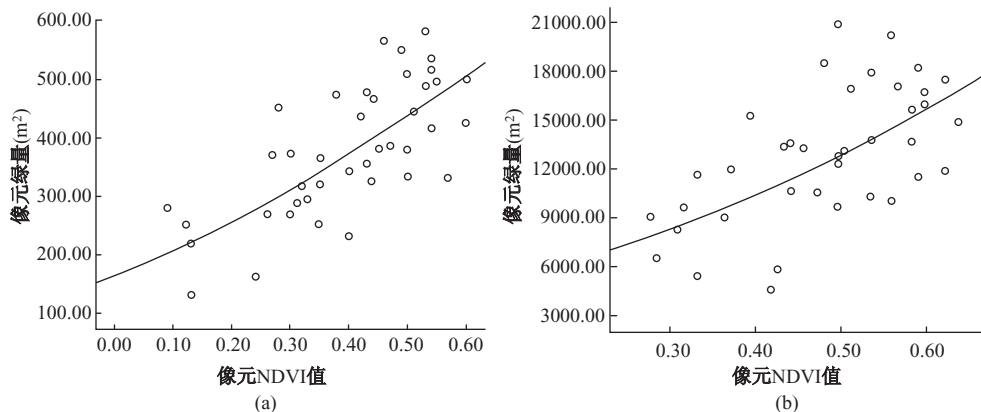


图 6 NDVI 和像元绿量拟合模型

(a) Rapid Eye 影像; (b) Land sat5 TM 影像

Fig. 6 Regression analysis between NDVI and Greenness

(a) Rapid Eye images; (b) Landsat 5 TM images

$$S = 1 / (1/1000 + 0.005 \times 0.064^{NDVI_R}) \quad (15)$$

$$S = 1 / (1/30000 + 0.0002 \times 0.03^{NDVI_T}) \quad (16)$$

式(15)-(16)中, S 是绿量值(m^2); $NDVI_R$ 是 Rapid Eye 影像计算出的 NDVI 值; $NDVI_T$ 是根据 TM 影像计算的 NDVI 值。根据式(15)推算,最终获得五环内区域绿量分布如图 7 所示,五环区域内的绿量总和为 2450.7 km^2 。

4 绿量与地表温度关系模型

4.1 地表温度反演结果

依据式(6)-(7)对 2009 年 7 月 20 日的 Land-sat5 卫星 TM6 热红外波段的数据进行反演,得出五环范围内地表温度空间分布如图 8 所示。中心

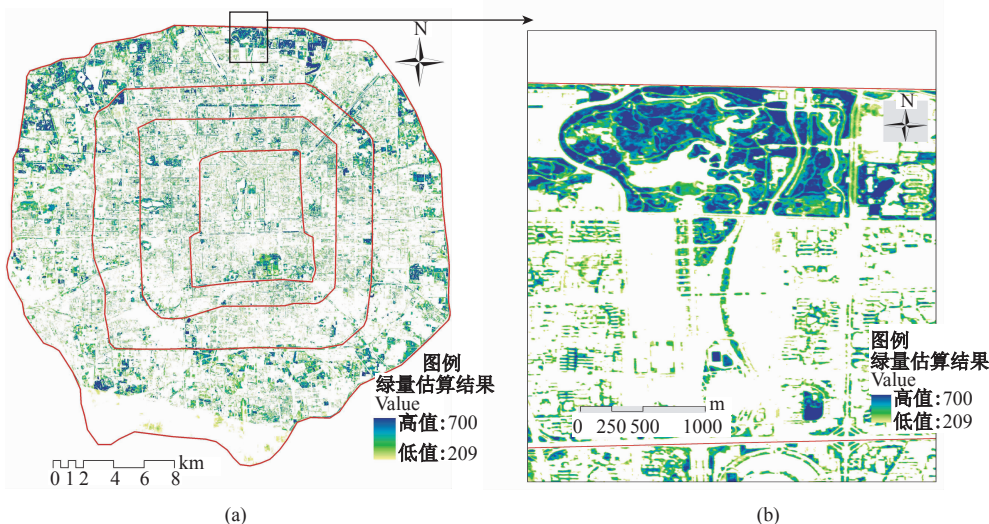


图 7 城区绿量估算结果

(a) 五环范围内; (b) 奥林匹克国家森林公园周边

Fig. 7 Greenness estimation result

(a) area within 5th Ring Road; (b) area near Olympic Park

城区以长安街为界,南部的热岛效应要明显强于北部,主要原因是北部公园绿地、水体面积相对比较大,可吸收大部分能量。中心区各个公园的地面温度明显低于周围建筑物的温度,从图 8 可发现:颐和园、圆明园、奥林匹克国家森林公园、玉渊潭、北海、中南海、天坛公园、陶然亭公园、紫竹院公园、朝阳公园等地区要明显低于周围建筑物 4~6℃。建筑物、道路等区域温度明显高于林地、草地、水体等区域。

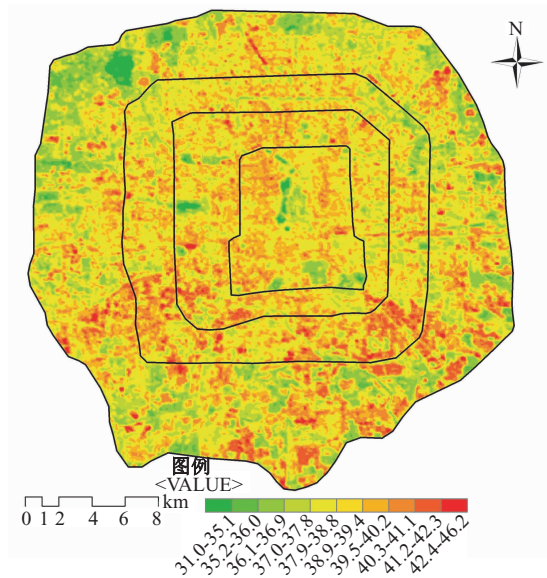


图 8 反演地表温度空间分布

Fig. 8 Land surface temperature distribution

根据反演的地表温度进行热岛和非热岛分类,需要先对温度进行极差标准化处理,经过极差标准化处理,温度变化范围在 0-1 之间,0 代表最低温度,1 代表最高温度。根据不同温度范围内像元数量以及地表覆被类型,调整分区阈值,确定 0.00-0.40 表示低温区,0.41-0.50 表示中温区,0.51-0.60 表示次热岛区,0.61-1.00 表示热岛区,温度分区的结果如图 9 所示,其中,低温区、中温区、次热岛和热岛区域所占的五环范围城区面积的比例分别为 12.3%、34.7%、40.4%和 12.6%。

4.2 绿量与地表温度相关分析

城市绿地植被在蒸散发过程中需要吸收能量,有利于缓解城市热岛效应。绿地植被覆盖度越高,生长越茂盛,缓解热岛效应越显著。低温区、中温区、次热岛区、热岛区对应的平均温度值分别为 36.4℃、38℃、39.3℃、40.9℃,对应的像元绿量平均值

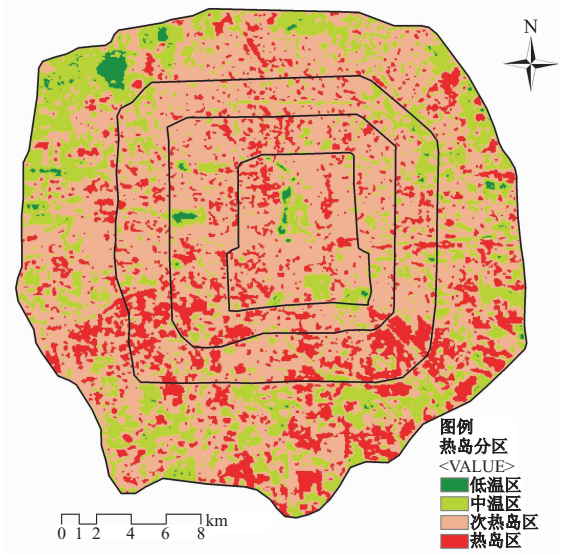


图 9 地表温度分区

Fig. 9 Classification based on temperature

为 15 860m²、11 218 m²、8878m²和 7927 m²。随着温度的逐级升高,绿量平均值随之单调减小。

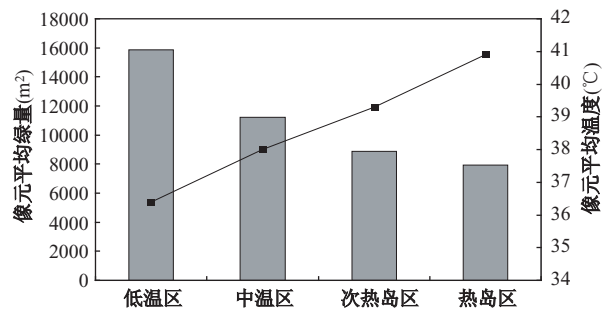


图 10 4 个温度区对应的像元绿量和温度平均值

Fig. 10 Pixel greenness and landsurface temperature within 4 zones

定量研究地表温度和绿量的关系时,由于反演的地表温度范围 31~46℃,按照 1℃的间隔将反演的地表温度从高到低分为 15 个区,统计每个区内的平均温度、平均绿量值、像元个数,结果如表 2 所示,1、2、3、4 区为水体区,14、15 区像元个数太少统计不具有代表性,在相关分析中只考虑 5-13 区的情况。对两者进行回归分析,由此可以看出绿量与地表温度具有明显的负相关的关系,回归方程为:

$$y = -1278.7x + 60650 \quad (12)$$

式中: y 是绿量(m²); x 是温度(℃),两者相关系数为-0.89。由公式(12)可知,单个像元的地面温度降低 1℃,需要增加绿量为 1278.7m²,考虑到像元面积为 900m²,单位面积的温度降低 1℃,绿量需要

增加 1.4m²。结合五环城区内推算的总绿量为 2450.7km²,城区面积为 665.5km²,根据绿量和温度的定量关系,城区绿地可以使城区平均地表温度降低 2.6℃。

表 2 15 个温度区内像元绿量、温度和数目汇总
Tab. 2 Pixel greenness, temperature and counts within 15 zones

序号	平均绿量(m ²)	平均温度(℃)	数目	序号	平均绿量(m ²)	平均温度(℃)	数目
1	5442.8	31.5	5	9	7996.3	39.7	149 868
2	5870.8	32.8	5	10	7272.3	40.5	65 538
3	9763.3	33.7	73	11	6925.3	41.5	23 452
4	11 508.5	34.6	552	12	7146.5	42.6	2553
5	16 905.4	35.8	19 270	13	7245.1	43.5	780
6	15 277.0	36.7	67 124	14	6871.7	44.5	116
7	11 720.9	37.6	131 005	15	5610.9	45.6	43
8	9258.9	38.7	273 883	合计	—	—	734 267

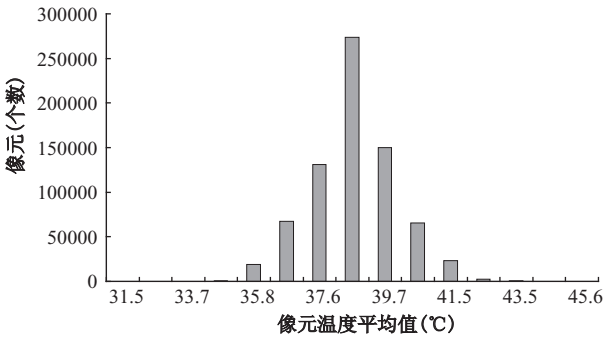


图 11 15 个温区的温度平均值和像元个数
Fig. 11 Pixel counts and mean temperatures within 15 different zones

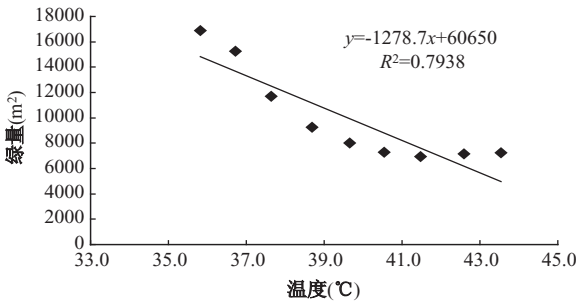


图 12 绿量与地表温度的关系
Fig. 12 Relationship between greenness and land surface temperature

5 结论

本研究利用高精度 Rapid Eye 遥感影像和地面调研数据,对北京市五环范围内的绿地区域进行提取,对绿量进行估算;同时采用 Landsat 5 TM 数据进行地表温度的反演、热岛区域划分,并建立绿量和地表温度的关系模型,定量评价城市绿地对缓解城市热岛的作用。

层次分类法提取的五环内城区绿地面积为 197.3km²占城区总面积 665.5km²的 29.6%。本研究建立样方绿量和遥感反演 NDVI 回归关系 $S=1/(1/1000+0.005\times0.064^{NDVI_R})$,估算出城区绿量为 2450.7km²。本研究应用地表温度反演模型和 2009 年 7 月 22 日的 TM6 波段数据反演城区地表温度,绿地、水体等区域温度明显低于建筑物和道路,采用归一化方法对温度区域进行划分,低温区、中温区、次热岛和热岛区域所占的五环内城区面积的比例分别为 12.3%、34.7%、40.4%和 12.6%。本研究建立的绿量和地表温度的关系模型为 $y=-1278.7x+60\ 650$,城区绿地可以使平均地表温度降低 2.6℃。

样方调查为绿量估算的基础,本研究通过调研典型绿地的结构,采用回归模型计算样方绿量。这种方法受地域,植被类型,生长状态的影响较大,今后研究中可考虑采用仪器测量样方绿量,可提高绿量估算精度。本文重点研究了绿量和城市热岛温度的关系,暂未考虑绿地空间分布对其影响,今后对此应进一步深入研究。

参考文献:

[1] 肖荣波,欧阳志云,李伟峰,等. 城市热岛的生态环境效应[J]. 生态学报,2005,25(8),2055 - 2060.
[2] 黄金海. 杭州市热岛效应与植被覆盖关系的研究[M]. 杭州:浙江大学出版社,2006:2 - 3.
[3] Howard L. Climate of London deduced from metrological observations [M]. London: Harvey and Dorton Press(3rd edition), 1833,1: 348.
[4] 王情,张广录,王晓磊,等. 基于 RS 和 GIS 的城市热岛效应分析——以石家庄市为例[J]. 世界科技研究与发展,2008,30(3):320 - 323.
[5] 易佳,田永中,高阳华,等. 基于 RS 的山地城市热岛效应及其与土地覆被变化关系研究——以重庆市主城区为例[J]. 云南师范大学学报,2008,28(6):64 - 69.

- [6] 林学椿,于淑秋. 北京地区气温的年代际变化和热岛效应[J]. 地球物理学报,2005,48(1):39-45.
- [7] 于淑秋,卞林根,林学椿. 北京城市热岛尺度变化与城市发展[J]. 中国科学 D 辑地球科学,2005,35(增刊 I):97-106.
- [8] 李延明,张济和,古润泽. 北京城市绿化与热岛效应的关系研究[J]. 中国园林,2004(1):72-75.
- [9] 陈松林,王天星. 等间距法和均值标准差法界定城市热岛的对比研究[J]. 地球信息科学,2009,11(2):145-150.
- [10] 肖胜,廖福霖,倪志荣,等. 应用遥感技术研究厦门市热岛效应与植被覆盖的关系[J]. 东北林业大学学报,2002,30(3):141-143.
- [11] Nichol J. Remote sensing of urban heat islands by day and night[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing,2005(5):613-621.
- [12] Amiri R, Weng Q H, Abbas A, *et al.* Spatial-temporal dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in the Tabriz urban area, Iran[J]. Remote Sensing of Environment,2009,(113):2606-2617.
- [13] 宋巍巍. 基于遥感的城市热岛效应研究——以广水地区、武汉市为例[M]. 武汉:武汉大学出版社,2005:58-60.
- [14] 吴可军,王兴荣,王善型,等. 利用 NOAA 卫星资料分析气温的城市热岛效应[J]. 气象学报,1993,51(2):204-208.
- [15] Cao L Q, Li P X, Zhang L, *et al.* Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and vegetation fraction[C]. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and spatial Information Sciences, Beijing, 2008(37):1379-1384.
- [16] 韩贵锋,梁保平. 地表温度与植被指数相关性的空间尺度特征——以重庆市为例[J]. 中国园林,2011(1):68-72.
- [17] 张兆明,何国金. 北京市 TM 图像城市扩张与热环境演变分析[J]. 地球信息科学,2007,9(5):83-88.
- [18] 罗小波,陈丹,刘明皓,等. 基于 HJ1B/IRS 的重庆市热岛效应监测应用[J]. 地球信息科学学报,2011,13(6):833-839.
- [19] 陈自新. 合理增加绿量是提高城市流程四生态效益的重要出路[J]. 北京园林,2001,55(17):2-4.
- [20] 曾丽红,宋开山,张柏,等. 应用 Landsat 数据和 SEBAL 模型反演区域蒸散发及其参数估算[J]. 遥感技术与应用,2008,23(3):255-263.
- [21] 胡鸿瑞,吴泽民,吴文友. 应用遥感技术估测合肥市植被叶面积绿量[J]. 安徽农业大学学报,2010,37(2):306-311.
- [22] 陈自新,苏雪痕,刘少宗,等. 北京城市园林绿化生态效益的研究(2)[J]. 中国园林,1998,14(56):51-54.

The Correlationship between Urban Greenness and Heat Island Effect with RS Technology: A Case Study within 5th Ring Road in Beijing

DI Suchuang, WU Wenyong, LIU Honglu, YANG Shengli and PAN Xingyao

(Beijing Hydraulic Research Institute, Beijing 100048, China)

Abstract: Remote sensing technology was used to estimate the interrelationship between urban green land development and land surface temperature in Beijing. The processes involved green land identification, greenness evaluation, land surface temperature retrieval, and analysis of relationship between land surface temperature and greenness. The decision tree for hierarchical classification was built up to identify the green vegetation area according to reflectance value in different bands for land covers in urban area: water, built-ups, bare soil, high-density vegetation and low density vegetation. NDVI value was used to specify the vegetation area, for high-density vegetation area it was between 0.27 and 1.0, and for low-density area it was between 0.1 and 0.26. With the help of Rapid Eye remote sensing image and on site investigation, the green land area was evaluated and it was 197.3 km² accounting for 29.6% of total urban area. 50 investigated quadrates were distributed in 10 parks, such as Summer Palace, Olympic Park, and so on. The correlation coefficient for greenness and NDVI is 0.73 based on Rapid Eye images, while it is

0.60 based on Landsat 5 TM images. The estimated greenness is 2450.7 km² within 5th ring road of Beijing. The land surface temperature was retrieved from the Landsat 5 TM 6 remote sensing image, and it was between 31°C to 46.2°C. The land surface temperature for water body and vegetation area was 4—6°C lower than nearby built-ups. The proportion for low temperature region, middle temperature region, sub heat island region, and heat island region were 12.3%, 34.7%, 40.4%, and 12.6%, respectively. It shown a negative correlation between land surface temperature and greenness as $y = -1278.7x + 60650$ (x represented land surface temperature(°C); y represented greenness(m²)). The green land declined the land surface temperature by 2.6°C in Beijing.

Key words: urban greenland; urban heat island; remote sensing; greenness; NDVI