

快速城市化地区土地利用类型对热环境的影响 ——以广东省东莞市为例^{*}

邓玉娇^{1,2}, 匡耀求², 黄宁生², 单海滨¹

(1. 广州气象卫星地面站, 广州 510640; 2. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广州 510640)

摘 要: 以快速城市化的典型地区广东省东莞市为例, 利用 Landsat/TM 资料反演地表真实温度, 将反演结果与土地利用分类数据进行叠加分析, 获取不同地类的地表温度信息。通过引入效应和权重概念、改进现有热贡献指数、建立冷贡献指数等, 形成不同土地利用类型热环境效应的定量评价体系。结果表明, 热效应的大小顺序为: 水域 < 林地 < 草地 < 耕地 < 建设用地, 热贡献指数大小顺序为: 水域 < 草地 < 林地 < 耕地 < 建设用地, 冷贡献指数大小顺序为: 草地 < 建设用地 < 耕地 < 林地 < 水域。水域具有最小的热效应 - 4.427℃、最大的冷贡献指数 35.765%, 对区域的低温效应显著; 建设用地具有最大的热效应 3.132℃、最大的热贡献指数 59.628%, 是区域内高温区最集中的地类。

关键词: 土地利用; 地表温度; 热效应; 热贡献; 冷贡献

中图分类号: F301.24; P423.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)05-0167-05

Impact of Land Use on Thermal Environment in Rapid Urbanization Region —An Example from Dongguan, Guangdong Province

DENG Yu-jiao^{1,2}, KUANG Yao-qiu², HUANG Ning-sheng², SHAN Hai-bin¹

(1. Guangzhou Meteorological Satellite Station, Guangzhou 510640, China; 2. Guangzhou Institute of Geochemistry, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Taking the typical rapid urbanization city Dongguan of Guangdong Province as an example, the paper retrieves land surface temperature from Landsat/TM data. It gets land surface temperature of different land use by doing superimposition analysis between land use data and land surface temperature data. By citing effect index and weight index, revising heat contribution index, and designing cold contribution index, it builds up a quantificationally evaluation series for the impact of land use on thermal environment. The result shows that the sort ascending of thermal effect is water area, forest land, lawn land, cultivated land and construction land. The sort ascending of heat contribution index is water area, lawn land, forest land, cultivated land and construction land. The sort ascending of cold contribution index is lawn land, construction land, cultivated land, forest land and water area. Water area has the least thermal effect of - 4.427℃, and the biggest cold contribution index of 35.765%, so water area has a typical low-temperature effect in the region. Construction land has the biggest thermal effect of 3.132℃, and the biggest heat contribution index of 59.628%, so it is the most concentrated land-type of high temperature.

Key words: land use; land surface temperature; thermal effect; heat contribution; cold contribution

热环境作为城市化过程中产生的一种环境效应, 导致其形成、影响其状态的因素是多方面的, 目

前应用遥感技术研究较多的主要有植被覆盖状况、土地利用类型、人为热释放等 3 个方面。Balling 和

^{*} 收稿日期: 2008-08-11

基金项目: 广东省科技厅攻关项目(2005B10101022); 广东省自然科学基金项目(04201163)

作者简介: 邓玉娇(1980-), 女, 湖北荆州人, 博士研究生, 主要研究方向为 RS 与 GIS 开发应用。E-mail: yujiao_d@163.com

Brazal 应用 AVHRR 热红外数据研究了美国 Phoenix 城 AZ 地区的地表辐射温度, 研究发现城市温度特征与地表覆盖类型有直接关系, 地表温度在高度工业化区域比开旷区域可高出 5K 之多^[1]。Gallo 应用卫星遥感数据评价了 1991 年 6 月 28 日至 7 月 4 日美国 Seattle 城 WA 区的植被指数、地表辐射温度和最小空气温度之间的关系, 研究表明, 该区域归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, 简称 NDVI)与地表辐射温度呈反比关系; 城市区域主要表现为 NDVI 的低值和相对高的地表温度值, 而乡村区域恰好相反^[2]。延昊从 AVHRR 资料中提取地表反照率、地表温度、植被指数等参数, 研究上海市城市热岛效应, 指出夏季城市地表温度与植被指数和地表反照率存在显著的负相关, 相关系数分别为 - 0. 975, - 0. 712^[3]。George 利用 TM 对 Tampa Bay 流域和 Las Vegas 的热环境进行研究, 表明城市热环境的空间分布最基本的影响因素是土地利用/土地覆盖类型^[4]。陈云浩以上海市为例, 基于辐射量、初始地温资料对地表亮温遥感反演结果进行标准化处理后对热环境格局进行分析, 结果表明, 上海市热中心不在市中心, 而在能耗大、热源多的工业区, 城市能耗和下垫面性质的差异是影响城市热场分布的主导因素^[5]。

广东省东莞市, 在改革开放之初是个典型的农业县, 城市化率仅 16% 左右, 至 2005 年, 东莞市已成为一个城市化率达 87%、国际知名的制造业基地, 这一过程堪称我国快速、成功推进城市化的典型案例。然而城市化过程中带来的诸多问题, 尤其是土地利用类型的改变, 必然带来城市热环境的改变。以快速城市化的典型地区——东莞市为例, 利用 2000 年 9 月 14 日的 Landsat/TM 资料反演地表温度, 将其与土地利用专题数据进行叠加分析, 获取不同地类的地表温度信息, 引入概率论中的效应和权重指数, 在前人研究基础上改进热贡献指数、首次建立冷贡献指数, 定量分析不同土地利用类型对城市热环境的影响。

1 研究方法

1.1 分类温度信息提取

(1) 地表温度反演。采用覃志豪提出的单窗算法进行地表温度的反演, 该方法选用 Landsat/TM 的 B6 通道数据, 借助实测大气温度、大气水汽资料计算大气平均作用温度和大气透射率, 借助植被指数或地表分类计算地表比辐射率, 从而得到相对准确的地表温度。当基本参数的估计没有误差时, 演

算绝对精度 < 0. 4℃, 当参数估计存在一定误差时, 演算的平均误差约为 1. 1℃^[68]。具体计算公式如下:

$$T_s = \{ a_6(1 - C_6 - D_6) + [b_6(1 - C_6 - D_6) + C_6 + D_6] T_6 - D_6 T_a \} / C_6 \tag{1}$$

$$C_6 = \tau_6 \varepsilon_6 \tag{2}$$

$$D_6 = (1 - \tau_6) [1 + \tau_6(1 - \varepsilon_6)] \tag{3}$$

式中: T_s ——地表真实温度; T_6 ——Landsat/TM 资料反演的亮度温度, $a_6 = - 60. 3263$, $b_6 = 0. 43436$; T_a ——大气平均作用温度; τ_6 ——大气透射率; ε_6 ——地表辐射率。利用 2000 年 9 月 14 日、图幅号为 P122R044 的 Landsat/TM 资料反演东莞市地表温度时, $T_a = 292. 984$ K, $\tau_6 = 0. 565965$, ε_6 根据 NDVI 分段计算得到^[9]。

(2) 土地利用分类数据。由广东省国土部门提供的 2000 年土地利用分类数据, 共分为耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用土地等 6 个一级类, 水田、旱地、有林地、灌木林、疏林地、其他林地、高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地、河渠、湖泊、水库坑塘、永久性冰川雪地、滩涂、滩地、城镇用地、农村居民点、其他建设用地、沙地、戈壁、盐碱地、沼泽地、裸土地、裸岩石砾地、其他未利用土地等 25 个二级类。利用东莞市界对广东省土地利用分类矢量数据进行切割, 得到东莞市土地利用数据。

(3) 叠加分析。地表温度数据为 IMG 格式的栅格数据, 土地利用数据是 SHP 格式的矢量数据, 本文使用 ENVI 4. 1 对两者进行叠加分析, 获取不同地类的地表温度信息^[10]。

1.2 定量评价参数

不同的土地利用类型具有其热容量、比辐射率等性质的不同, 造成地表温度的分布存在较大的差异。本文利用热效应、权重、热贡献指数、冷贡献指数等一系列参数对这种差异性进行定量评价。

(1) 引入效应、权重指数。根据概率论中的定义, 设因素 A 有 m 个水平 A_1, A_2, \dots, A_m , 水平 A_i ($i = 1, 2, \dots, m$) 下的平均值与 m 个水平的总平均值之差, 称为水平 A_i 的效应 δ_i ^[11]。与之相对应, 设东莞市土地利用分 m 类, 各类地块的地表温度水平为 $T_{s1}, T_{s2}, \dots, T_{sm}$, 第 i 类地块的地表温度平均值 $\overline{T_{si}}$ 与所有地块温度平均值 $\overline{T_s}$ 之差, 称为第 i 类地块的热效应 δ_i 。即:

$$\delta_i = \overline{T_{si}} - \overline{T_s} \tag{4}$$

由热效应的定义可知, 其反映的是某热类的平均地表温度与区域的平均地表温度的差距, 未反映出该类地块对区域地表温度的权重。第 i 类地块的

权重 ω_i 可表示为

$$\omega_i = \frac{n_i}{n} \times 100\% \tag{5}$$

式中: n ——区域总像元数; n_i ——第 i 类地块的像元数。

(2)改进热贡献指数。刘宇年提出热贡献指数用于评价不同温度的地类对区域平均温度的影响程度^[11], 计算公式如下:

$$H_i = \frac{H'_i}{\sum_{i=1}^m H'_i} \times 100\% \tag{6}$$

$$H'_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_{i+}} (T_{ij} - \overline{T_s}) \times n_{i+}}{\overline{T_s} \times n} \tag{7}$$

式中: H_i ——热贡献指数; n_{i+} ——第 i 类地块中高于区域平均地表温度的像元数; T_{ij} ——第 i 类地块中高于区域平均地表温度的第 j 个像元地表温度, $j = 1, 2, \dots, n_{i+}$ 。本文认为, 在公式(7)中, 求和项已经考虑了 i 类地块中温度高于区域平均温度的像元数, 之后再次乘以 n_{i+} 项, 这样夸大了 i 地类的像元数(或面积)对区域热环境的影响作用, 因此, 本文将式(7)改进为

表 1 一级地类的热环境指数统计

编码	地类	平均值/℃	标准差	热效应/℃	权重/%	热贡献/%	冷贡献/%
1	耕地	30.813	3.067	0.122	26.154	20.547	19.184
2	林地	29.742	3.152	-0.949	31.569	15.933	34.642
3	草地	30.446	3.057	-0.245	3.475	2.342	2.848
4	水域	26.264	2.780	-4.427	12.362	1.550	35.765
5	建设用地	33.823	3.693	3.132	26.439	59.628	7.561

(1)标准差的大小顺序为: 水域< 草地< 耕地< 林地< 建设用地。水体是自然地表, 不均一性最小; 建设用地是人类改造自然地表最为集中的区域, 不均一性最大; 两者标准差的差值可达 0.913。水体、林地、草地三者标准差较为接近, 其中草地、耕地两者标准差非常接近, 仅差 0.01, 表明其地表不均一性接近。

(2)热效应大小顺序为: 水域< 林地< 草地< 耕地< 建设用地。其中, 水域、林地、草地为负的热效应, 耕地、建设用地为正的热效应, 水域、建设用地两者热效应差值最大, 达 7.559℃, 林地、草地、耕地热效应较小, 绝对值均小于 1℃。尤其是草地、耕地的热效应非常小, 表明其温度平均值与区域温度平均值非常接近。

(3)权重的大小顺序为: 草地< 水域< 耕地< 建设用地< 林地。其中, 草地权重最小, 仅 3.475%,

$$H'_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_{i+}} (T_{ij} - \overline{T_s})}{\overline{T_s} \times n} \tag{8}$$

(3)建立冷贡献指数。与热贡献指数相对应, 可建立冷贡献指数, 用以评价低温地类表面温度对区域温度的影响。冷贡献指数计算公式如下:

$$C_i = \frac{C'_i}{\sum_{i=1}^m C'_i} \times 100\% \tag{9}$$

$$C'_i = \frac{\sum_{k=1}^{n_{i-}} |T_{ik} - \overline{T_s}|}{\overline{T_s} \times n} \tag{10}$$

式中: C_i ——冷贡献指数; n_{i-} ——第 i 类地块中低于区域平均地表温度的像元数; T_{ik} ——第 i 类地块中高于区域平均地表温度的第 k 个像元地表温度, $k = 1, 2, \dots, n_{i-}$ 。

2 一级地类的热环境效应分析

采用一级地类矢量数据与地表温度数据进行叠加分析, 基于叠加统计结果可计算得到各地类地表温度的平均值、标准差、热效应、权重、热贡献指数、冷贡献指数等参数(表 1), 由表 1 可知:

林地权重最大, 达 31.569%, 建筑用地与林地权重接近, 分别为 26.439%、26.154%, 水体权重较小, 为 12.362%。

(4)热贡献指数大小顺序为: 水域< 草地< 林地< 耕地< 建设用地。其中, 水体的热贡献指数最小, 仅 1.550%, 建设用地热贡献指数最大, 达 59.628%。林地、耕地热贡献指数居中, 分别为 15.933%、20.547%。

(5)冷贡献指数大小顺序为: 草地< 建设用地< 耕地< 林地< 水域。其中, 草地的冷贡献指数最小, 为 2.848%, 其次是建设用地, 为 7.561%, 再次为耕地, 为 19.184%, 林地具有较大的冷贡献指数, 为 34.642%, 水体的冷贡献指数最大, 达 35.765%。

(6)草地的热贡献指数、冷贡献指数均很小, 分别为 2.342%、2.848%, 其热效应大于林地, 热贡献指数却远小于林地, 其热效应低于耕地, 其冷贡献指

数却远小于耕地,因此,草地对区域的热环境影响极其微弱。若不考虑“草地”这一地类,则热贡献指数大小顺序为:水域<林地<耕地<建设用地,冷贡献指数大小顺序为:建设用地<耕地<林地<水域,两者顺序正好相反。水域的冷贡献指数是热贡献指数的近 23 倍,可见水体对区域热环境而言,主要表现为低温区域。建设用地的热贡献指数达 59.628%,可见建设用地为区域内高温区最集中的地类。

表 2 二级地类的热环境指数统计

编码	地类	平均值/℃	标准差	热效应/℃	权重/%	热贡献/%	冷贡献/%
11	水田	30.295	2.939	-0.396	14.570	8.692	12.331
12	旱地	31.467	3.100	0.776	11.572	11.751	6.459
21	有林地	28.568	3.221	-2.123	14.997	4.693	24.449
22	灌木林	29.864	3.257	-0.827	0.794	0.464	0.864
23	疏林地	30.709	2.871	0.018	5.753	4.034	3.997
24	其他林地	30.930	2.486	0.239	10.071	6.730	5.344
31	高覆盖度草地	30.383	3.050	-0.308	3.338	2.158	2.798
32	中覆盖度草地	32.018	2.813	1.327	0.134	0.162	0.049
41	河渠	25.301	2.261	-5.390	6.076	0.405	20.859
42	湖泊	26.825	2.013	-3.866	0.016	0.001	0.040
43	水库坑塘	27.149	2.807	-3.542	6.109	0.998	14.493
45	滩涂	22.319	1.551	-8.372	0.041	0.001	0.209
46	滩地	31.581	4.186	0.890	0.112	0.153	0.087
51	城镇用地	34.681	3.124	3.990	14.698	38.441	1.807
52	农村居民点	32.551	4.093	1.860	9.712	17.034	5.697
53	其他建设用地	33.685	3.705	2.994	2.007	4.282	0.516

(1)从热效应而言,滩涂、河渠、湖泊、水库坑塘等 4 类水域依次排在热效应最低的位置,城镇用地、其他建设用地、农村居民点等三类建设用地依次排在热效应最高的位置。一级地类耕地的两个二级地类中,水田热效应为-0.396℃,旱地热效应为 0.776℃,两者差距超过 1℃。值得一提的是,一级地类林地的热效应为-0.949℃,而从中划分出的二级地类有林地热效应为-2.123℃,灌木林为-0.827℃、疏林地 为 0.018℃,其他林地 为 0.239℃,由此可见,林地热效应明显低于灌木林,高郁闭度的林地热效应明显低于低郁闭度林地。

(2)从热贡献指数而言,城镇用地、农村居民用地具有相对最大的热贡献指数,分别为 38.441%,17.034%,其他建设用地虽然热效应指数大,但因其仅占区域面积的 2.007%,使其对区域的热贡献指数仅为 4.282%。由此可见,对建设用地划分过细后,热效应大、占地面积小的地类,对区域的高温效应被淡化了。

3 二级地类热环境效应统计

二级分类系统对土地利用类型进行了更为详细的划分。使用土地利用二级分类矢量数据与地表温度数据进行叠加分析,可以得到二级地类的热环境特征指数(表 2)。由于前文已对一级地类的各项指数逐一分析,在此为简洁起见,仅对热效应、热贡献、冷贡献三项指数进行简单分析。

(3)从冷贡献指数而言,有林地具有最大的冷贡献指数 24.449%,其次为河渠 20.859%,前者占区域面积的 14.997%,后者占 6.076%。在一级地类中水域占区域面积 12.362%,林地占 31.569%,但水域冷贡献指数 35.765%,略高于林地的 34.642%。由此可见,将二级地类有林地从一级地类林地中划分出来后,更明显地体现了有林地在区域的低温效应。

4 结论与讨论

土地利用类型作为人类与自然环境相互作用的综合表现,其时间与空间的变化直接影响到城市热环境的时空分布格局。以东莞市为例,使用 Landsat/TM 资料反演地表温度,将其与土地利用分类数据进行叠加分析,获取不同地类的地表温度信息,并建立快速城市化地区土地利用类型对热环境影响的定量评价的系列指标(包括热效应、权重、热贡献指数、冷贡献指数等),取得了较好的应用实效。全

文得到的主要结论如下:

(1) 草地的热效应绝对值、权重、热贡献、冷贡献等4个热环境指数均很小,其对区域热环境影响非常有限。

(2) 水域具有最小的热效应 -4.427°C ,最小的权重(草地除外)12.362%,最小的热贡献指数1.550%,最大的冷贡献指数35.765%,其冷贡献指数是热贡献指数的23倍,由此可见,水体对区域热环境而言,绝大部分表现为低温区域。此外,水体还具有最小的标准差,表明其结构均一性好。将水域划分为河渠、湖泊、水库坑塘、滩涂、滩地5个二级地类后,前四者依次排在热效应最小的位置,滩涂的热效应甚至低至 -8.372°C ,而滩地的热效应为 0.890°C ,甚至高于各类林地、高覆盖草地。水域的5个二级类中,河渠具有较大的冷贡献指数20.859%,仅小于有林地。

(3) 建设用地具有最大的热效应 3.693°C ,较大的权重26.439%,最大的热贡献指数59.628%,最小的冷贡献指数7.561%,由此可见,建设用地为区域内高温区最集中的地类。此外,建设用地还具有最大的标准差,表明其结构不均一性大。建设用地划分为城镇用地、农村居民地、其他建设用地三个二级类后,三者依次排在热效应最大的位置,其中,城镇用地具有最大的热贡献指数38.441%,而其他建设用地因其权重仅2.007%,使其热贡献指数仅为4.282%,甚至低于有林地的4.693%。

(4) 林地具有较小的热效应 -0.949°C ,最大的权重31.569%,仅大于水域的热贡献指数15.933%,仅小于水域的冷贡献指数34.642%。由此可见,林地对区域热环境而言,主要表现为低温区。林地被划分出4个二级地类后,有林地热效应为 -2.123°C ,灌木林为 -0.827°C ,疏林地 0.018°C ,其他林地 0.239°C ,由此可见,林地热效应明显低于灌木林,高郁闭度的林地热效应明显低于低郁闭度林地。其中,有林地具有所有二级地类中最大的冷贡献指数24.449%。

(5) 耕地与区域的平均温度最为接近,两者之差为 0.122°C ,其热效应指数与冷效应指数相当,分别为20.547%,19.184%。耕地划分为水田、旱地两个二级地类后,其热效应绝对值增大,热贡献、冷贡献指数差距增大。水田热效应为 -0.396°C ,热贡献指

数为8.692%,冷贡献指数为12.331%,旱地热效应为 0.776°C ,热贡献指数为11.751%,冷贡献指数为6.459%。

参考文献:

- [1] Bailing R C, Brazel S W. High resolution surface temperature patterns in a complex urban terrain[J]. Photogrammetric Engineering of Remote Sensing, 1988, 54, 1289-1293.
- [2] Gallo K P, McNab A L, Karl T R, et al. The use of a vegetation index for assessment of the urban heat island effect[J]. International Journal of Remote Sensing, 1993, 14, 2223-2230.
- [3] 延昊, 邓莲堂. 利用遥感地表参数分析上海市的城市热岛效应及其治理对策[J]. 热带气象学报, 2004, 20(5): 579-585.
- [4] Xian G, Crane M. An analysis of urban thermal characteristic and associated land cover in Tampa Bay and Las Vegas using Landsat satellite data[J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 104(2): 147-156.
- [5] 陈云浩, 宫阿都, 李京. 基于地表辐射亮温标准化的城市热环境遥感研究[J]. 中国矿业大学学报, 2006, 25(4): 462-467.
- [6] 覃志豪, Zhang Minghua, Amon Karniel, 等. 用陆地卫星 TM 6 数据演算地表温度的单窗算法[J]. 地理学报, 2001, 56(4): 456-466.
- [7] Qin Z, Karnieli A, Berliner P. A Mono algorithm for Retrieving Land Surface Temperature from Landsat TM Data and Its Application to the Israel-Egypt Border Region[J]. International Journal of Remote Sensing, 2001, 18: 583-594.
- [8] 覃志豪, Li Wenjuan, Zhang Minghua, 等. 单窗算法的大气参数估计方法[J]. 国土资源遥感, 2003(2): 38-43.
- [9] Zhang Jinqu, Wang Yunpeng, Li Yan. AC++ Program for Retrieving Land Surface Temperature from the Data of Landsat TM/ETM+ Band 6[J]. Computers and Geosciences, 2006, 32: 1796-1805.
- [10] 邓玉娇, 单海滨, 王捷纯, 等. 湖北房县土地利用变化与土壤侵蚀变化[J]. 水土保持研究, 2007, 14(4): 252-256.
- [11] 盛骤, 谢式干, 潘承毅. 概率论与数据统计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [12] 刘宇, 匡耀求, 吴志峰, 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[J]. 地理科学, 2006, 26(5): 597-602.