

不同地表覆盖类型对城市地表热环境的调节

李 倩,吴 英,毛双双

(广西大学 林学院,广西 南宁 530004)

摘要:以南宁市高速环道范围内的主城区为研究对象,通过 Landsat TM 遥感影像反演地表温度(LST),提取归一化差值植被指数($NDVI$)、改进的归一化差异水体指数($MNDWI$)、改进的归一化建筑指数($NDBI$),用最大似然分类法将研究区地表覆盖类型分为水体、林地、园地和建筑用地。同时将研究区按照 $3\text{ km} \times 3\text{ km}$ 规格分为 47 个统计小区域,利用 ArcGIS 中的空间分析功能,统计每个小区域各地表覆盖类型的面积比例及其平均地表温度,并对两者进行相关分析。从而在像元($30\text{ m} \times 30\text{ m}$)和小区域($3\text{ km} \times 3\text{ km}$)两个尺度上定量研究地表覆盖类型对地表温度的影响。结果表明,在像元尺度上,地表覆盖类型的地表温度排序,从高到低依次为建筑用地、园地、林地、水体; LST 与 $NDBI$ 呈显著线性正相关, LST 与 $NDVI$ 和 $MNDWI$ 呈非线性关系; LST 与正的 $NDVI$ 和正的 $MNDWI$ 均呈显著线性负相关;在小区域尺度上,平均地表温度最高的是以建筑用地为主的 15 号小区域达 33.2°C ,平均地表温度最低的是以绿地和水体为主的 36 号小区域仅 27.8°C ,小区域的水体、林地、园地的面积比例和小区域的平均地表温度呈负相关关系,建筑用地面积比例与小区域平均地表温度呈明显正相关关系。不同地表覆盖类型对地表温度的影响不同,绿地与水体均具有降温作用,且绿地比水体降温效果好。因此,在城市规划中,通过适当设置水体和绿地可以达到调节地表热环境,缓解热岛效应的目的。

关键词:地表覆盖类型;地表温度;像元;小区域;南宁市

中图分类号:S718.51 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2017)03-0198-07

Regulation Function of Different Surface Cover Types to Urban Surface Thermal Environment

LI Qian, WU Ying, MAO Shuang-shuang

(Forestry College, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530004, China)

Abstract: Based on Landsat TM images, the main urban areas within the “High-speed Ring Road” in Nanning were used as the research objects, land surface temperature (LST) of Nanning was retrieved. Indices such as normalized difference vegetation index ($NDVI$), modified normalized difference water index ($MNDWI$), normalized difference built-up index ($NDBI$) were derived. The land cover types of the study area were divided into four types: waters, forest land, garden land, and construction land by maximum likelihood classification method. The area proportion of each land cover type in small area and average surface temperature of small area were counted by using the spatial analysis function of GIS, and the correlation analysis was investigated between area proportion of the four kinds of land cover types and average land surface temperature. Quantitative study on the relationship between the surface temperature and the type of land cover from the two scales of the pixel and the small area. The results showed that at the pixel scale, the average surface temperature was in the order of construction land > garden land > forest land > water body. The LST had significant linear relationships with $NDBI$, and had nonlinear relationships with $NDVI$.

收稿日期:2016-10-25 修回日期:2017-01-06

基金项目:广西自然科学基金(2012GXNSFAA053053)。

作者简介:李 倩,女,硕士研究生,研究方向:林业遥感应用。E-mail:1448775219@qq.com

* 通信作者:吴 英,女,副教授,研究方向:生态、林业 3S 技术应用。E-mail:wu200101@163.com

and MNDWI, but significant linear relationships with positive NDVI and positive MNDWI. In small regional scale, the average surface temperature could be as high as 33.2°C, which was mainly based on construction land, the average surface temperature was 27.8°C, which was mainly based on water body and green land. Area proportion of water body, forest land, and garden land all had negative correlation to the average surface temperature in small areas, and area proportion of construction land showed significantly positive correlation to average surface temperature in small areas. So it was concluded that different surface cover types had different effects on the surface temperature, green land and water body had the effect of cooling and the cooling effect of green land was better than that of the water body. Therefore, in order to achieve the purpose of regulating the surface thermal environment and the heat island effect could be alleviated by adding water and green land in the urban planning process.

Key words: land cover type; land surface temperature; pixel; small area; Nanning

热环境是随着城市规模扩大化,城市人口与建筑增多,绿地及水域面积的日益减少而出现的高辐射、高气温的现象。热环境会造成空气污染、空气循环污染、能源消耗增加以及连续高温会使人心情烦躁、易生病^[1]。改善热环境对于城市的可持续发展具有重要意义。绿地和水体对热岛效应具有增湿、降温、缓解的作用^[2-3],成为城市规划中不可分割的部分。伴随卫星遥感技术的快速发展,3S技术为提取植被、建筑、水体和地表温度等重要的地表参数信息提供了方便^[4]。用遥感技术探讨绿地与水体对热环境调节作用对于建设生态城市具有重要意义。

热环境与地表性质和城市布局有密切的关系。李鵠^[5]等利用 ETM+遥感数据反演地表温度,对热场剖面图分析表明,热环境和城市布局之间的关系密切;调节城市热环境的较好手段是利用水体与植被。蒋晶^[6]等研究表明,林地和水域相对于其他用地类型具有较强的缓解地表热环境的作用。岳文泽^[7]等利用 ETM+遥感数据对城市地表温度进行反演,研究了城市水域景观对城市热环境的影响。罗智勇^[8]等运用 ETM+与 Landsat8 数据,提取武汉市江南三区的城市不透水面的信息数据,对水环境效应进行相关分析结果表明,不透水面深刻地影响了城市的水文环境。目前基于遥感数据从像元尺度上研究地表温度与植被类型关系的研究较多,而从像元和小区域 2 个尺度上的研究鲜有报道。从像元尺度上用 NDVI、NBVI、MNDWI 等指标来研究,仅能阐明两者之间的关系,而通过统计小区域内的地表类型的面积比例以及小区域的平均地表温度可以用直观具体的数字表达在同一个区域中,不同地表类型对地表温度的影响程度。因此,本研究通过利用像元和小区域 2 个空间尺度相结合的方法,研究南宁市不同地表覆盖类型对地表温度的影响,旨在为今后城市化进程的建设和推进以及科学的城市环境规划提供理论依据和参考价值。

1 研究区概况

研究区位于广西壮族自治区西南部的南宁市(108°08'50"–108°27'52"E, 22°41'47"–22°54'46"N),地处亚热带北回归线附近,坐落在南宁盆地中部邕江两岸,四季常绿,是广西壮族自治区首府及广西政治、经济、文化的发展中心。研究范围为南宁市高速环道(广昆高速、兰海高速、南北高速、南友高速),面积 76 025.3 hm²(图 1)。

2 研究方法

2.1 数据来源

选取 2009 年 10 月 6 日无云的 Landsat TM 遥感图像,轨道号是 path=125, row=44, 数据来自中国科学院遥感与数字地球研究所官方网站的对地观测数据共享计划,坐标系为 WGS_1984_UTM_Zone_49N。

2.2 DN 值提取

2.2.1 DN 值的提取 DN 值(digital number)是表示遥感影像像元亮度值以及所记录的地物的灰度值。DN 值的大小与传感器的辐射分辨率、地物发射率、大气透过率和散射率等有关。利用 ArcGIS 将裁剪后的图像里的各个通道的 DN 值分别提取出来,并生成由大小为 30 m×30 m 的像元所组成的面文件。

2.2.2 亮度温度计算 地物的亮度温度(T)计算式如下^[9]:

$$T = \frac{K_2}{\ln(K_1/L_6 + 1)} \quad (1)$$

式中, K_1 、 K_2 : TM6 波段的标定参数,其值分别为 607.76 W·m⁻²·sr⁻¹·μm⁻¹ 和 1 260.56 K(绝对温度,开尔文); L_6 : TM6 的像元在传感器处的辐射值。W:辐(射)功率(辐射能通量)。Sr:球面度(steradian, 符号: sr):立体角的国际单位。

L_6 的计算公式如下^[10]:

$$L_6 = L_{\min} + (L_{\max} - L_{\min}) DN / 255 \quad (2)$$

式中, L_{\min} : TM6 波段传感器可探测最低辐射值, 值为 $0.1238 \text{ m} \cdot \text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$; L_{\max} : TM6 波段传感器可探测最高辐射值, 取 $1.56 \text{ m} \cdot \text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$; DN 为像元灰度值。对于 Landsat-5 TM6 波段传感器而言, 式(2)可简化为式(3)^[10]:

$$L_6 = 0.005632157 DN + 0.1238 \quad (3)$$

2.3 地表温度的反演

采用覃志豪^[10]等单窗算法, 即利用 TM6 图像对研究区的温度进行反演。

2.3.1 辐射亮温的计算

由 TM6 像元值计算辐射亮温:

$$L_{(\lambda)} = L_{\min(\lambda)} + [L_{\max(\lambda)} - L_{\min(\lambda)}] Q_{DN} / Q_{\max} \quad (4)$$

式中, $L_{(\lambda)}$: 遥感器所接收到的辐射亮度; Q_{\max} : TM6 图像最大 DN 值; Q_{DN} : TM6 图像像元亮度值; $L_{\max(\lambda)}$ 和 $L_{\min(\lambda)}$: 分别表示遥感器所接收到的最大和最小辐射亮度。

2.3.2 星上亮温的计算

由辐射亮度计算星上亮温:

$$T_6 = K_2 / \ln(1 + K_1 / L_{(\lambda)}) \quad (5)$$

式中, T_6 : TM6 的像元亮度温度; K_1 和 K_2 : 发射前预设的常量。

2.3.3 地表温度的计算

因遥感图像是在晴朗无云的条件下获取的, 考虑到研究区的范围有限, 可认为大气的影响程度在空间上是一致的, 对地面温度的空间相对分布无影响^[11]。计算地表温度。

$$LST = \frac{T_6}{1 + (\lambda T / \rho) \ln \epsilon} \quad (6)$$

式中, LST : 地表温度; λ : TM/ETM+6 波段的中心波长($11.5 \mu\text{m}$); $\rho = h \times c / \sigma = 1.438 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}$ (米·开尔文)(其中, 斯特藩—波耳兹曼常数 $\sigma = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-4}$ (焦耳·开尔文⁻⁴), 普朗克常数 $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ (焦耳·秒), 光速 $c = 2.998 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$); ϵ : 地物的比辐射率。采用监督分类的方法获取各地表类型的像元比辐射率。

将 LST 转换为摄氏温度 t 计算^[11]:

$$t = LST - 273.15 \quad (7)$$

2.4 NDVI、MNWDI 和 NDBI 信息提取

2.4.1 NDVI 的提取

归一化植被指数 NDVI 是反映土地覆盖植被状况的一种遥感指标, 是植被生长状态及植被生长空间分布密度的最佳指示因子, 定义为近红外通道与可见光通道反射率之差与之和的商^[12]。

$$NDVI = (Band4 - Band3) / (Band4 + Band3) \quad (8)$$

式中, $Band4$ 、 $Band3$: 分别表示 Landsat TM 影像的红波段、近红外波段灰度值。

2.4.2 MNWDI 的提取

改进的归一化水体指数 MNWDI 可以很好反映水体信息, 适用于水体信息提取^[13]:

$$MNWDI = (Band2 - Band5) / (Band2 + Band5) \quad (9)$$

式中, $Band2$ 、 $Band5$: 分别表示 Landsat TM 影像的绿色波段、中红外波段灰度值。

2.4.3 NDBI 的提取

改进的归一化建筑指数 NDBI 是能够很好反映城镇用地信息, 精度更好^[14]:

$$NDBI = (Band5 - Band4) / (Band5 + Band4) \quad (10)$$

2.5 LST 与 NDBI、NDVI、MNWDI 相关性分析

为拟合 LST 与 $NDBI$ 、 $NDVI$ 、 $MNWDI$ 之间的关系, 按机械布点方法收集 6865 个像元的温度与植被指数、改进的归一化水体指数以及改进的归一化建筑指数的数据。对 $NDBI$ 、 $NDVI$ 、 $MNWDI$ 值以 0.01 为增量单位, 统计每增量对应的地表温度的平均值, 利用 SPSS19.0 分别对地表温度与 $NDBI$ 、 $NDVI$ 和 $MNWDI$ 进行相关分析。

2.6 图像分类

以《土地利用现状分类》为依据, 结合南宁市土地使用情况, 在 ENVI 中, 采用监督分类法中的最大似然法将研究区的土地资源划分为水体、林地(含城市乔木林地)、园地(包括果园、草地、耕地、公园草坪等绿地)、建筑用地(包括建筑物、道路、硬化场地等建筑设施用地)4 个地表覆盖类型。将其分类结果导入 ArcGIS 软件中, 与南宁市 2009 年森林资源规划设计调查成果和 TM 图像叠加, 采用人机交互方法, 纠正错分的土地覆盖类型(图 2)。为保证分类总体的准确率, 对分类结果进行抽查。根据抽查结果, 分类总体正确率达到 88.5%。

2.7 小区域的划分

在 ArcGIS 软件中, 按照大小为 $3 \text{ km} \times 3 \text{ km}$ 的标准, 将研究区分为 47 个小区域。利用 ArcGIS 软件中的空间分析功能, 统计每小区域地表覆盖类型的面积、面积比例和平均地表温度。运用 SPSS19.0 分别对 4 种地表覆盖类型(水体、林地、园地和建筑用地)的面积比例与平均地表温度进行 Pearson 相关分析。研究区的分区结果以及按小区域统计的平均地表温度分布如图 3 所示。

3 结果与分析

3.1 南宁市 4 种地表覆盖类型地表温度

根据反演的地表温度进行统计分析, 研究区的 4 种地表覆盖类型地表温度特征(表 1)表明, 南宁市



图1 研究区域位置

Fig. 1 Location map in the study area of Nanning



图2 南宁市土地覆盖类型空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of land use in Nanning

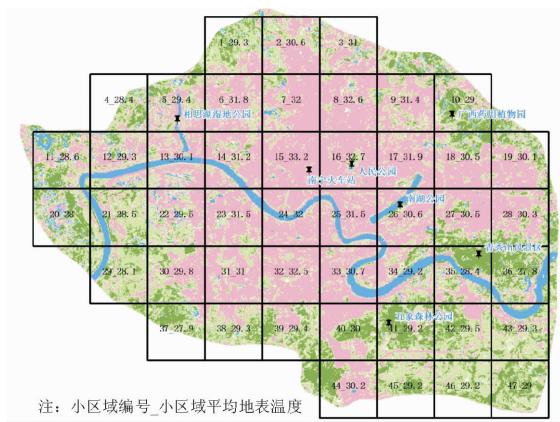


图3 小区域地表温度分布

Fig. 3 Surface temperature distribution map of small area

表1 研究区4种地表覆盖类型的地表温度特征

Table 1 Surface temperature characteristics of four types of surface cover types in the study area

用地类型	面积 /hm ²	最高地表温度/℃	最低地表温度/℃	平均地表温度/℃	标准差
水体	2 149.1	32.07	23.29	25.58	1.09
林地	6 157.7	29.63	21.44	27.65	1.11
园地	13 465.0	37.92	23.03	29.27	1.43
建筑用地	18 946.3	40.29	25.53	32.09	1.66

4种地表覆盖类型的地表温度最高为40.3℃,其地表类型为建筑用地;地表温度最低为21.4℃,其地表类型为水体,研究区地表温度均值为30.1℃。平均地表温度从高到低的排序为:建筑用地、园地、林地、水体,其中建筑用地平均温度高于研究区域的平均地表温度,园地、林地、水体平均温度低于研究区域的平均地表温度。

3.2 LST与NDBI、NDVI、MNDWI相关性分析

为了进一步研究建筑用地、绿地和水体与地表温度的关系,对LST与NDBI、NDVI、MNDWI相关性分析(图4~图6)。

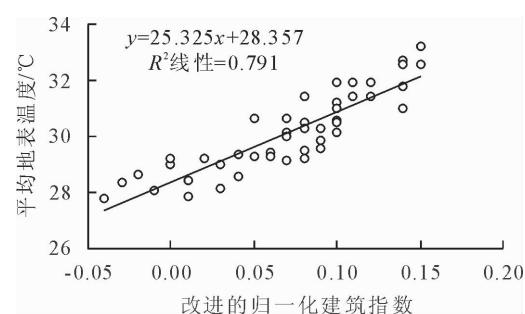


图4 地表温度与建筑指数(NDBI)的关系

Fig. 4 Relationship of LST with NDBI

LST与NDBI呈显著正相关(图4),相关系数为0.889($P<0.01$),表明建筑用地越大,地表温度越高。

由图5a可知,LST与NDVI的回归分析结果如下:

$$y = 22.553x^3 - 39.547x^2 + 7.578x + 30.390 \quad (R^2 = 0.685) \quad (11)$$

式中,y:LST;x:NDVI。

LST与NDVI之间存在非线性关系,但当使用NDVI的正值时,式(10)将转变为 $y = -10.98x + 32.569$,决定系数 R^2 为0.962(图5b),LST与NDVI之间存在明显的负相关($P<0.01$),相关系数为0.981,即植被具有降温作用。

LST与MNWDI的回归分析结果(图6a)。

$$y = 15.042w^3 - 4.083w^2 - 9.153w + 28.622 \quad (R^2 = 0.934) \quad (12)$$

式中,y:LST;w:MNWDI。LST与MNWDI之间存在明显的非线性关系,但是当使用MNWDI的正值时,式(11)将转变为 $y = -5.002x + 27.655$,决定系数 R^2 为0.768(图6b),LST与MNWDI之间存在明显的负相关($P<0.01$),相关系数为0.876,即水体具有降温作用。

从图5b和图6b线性关系的斜率表明,植被对地表温度的降温效果比水体好。

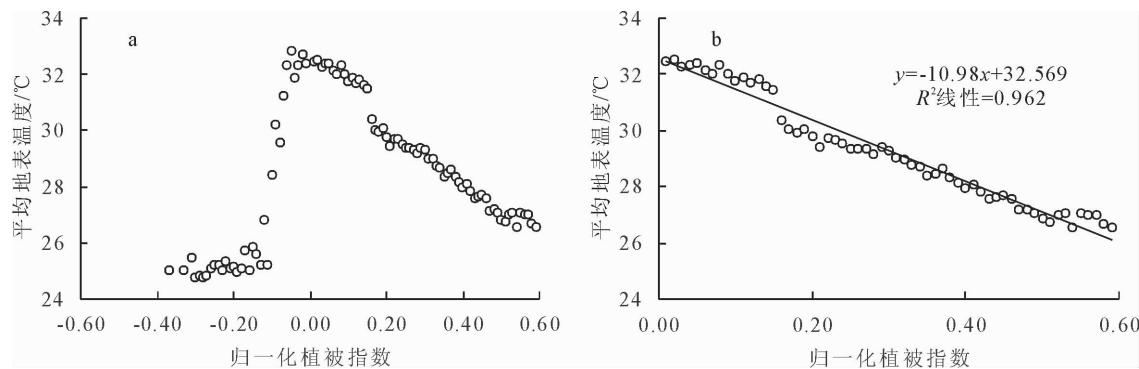


图 5 地表温度与植被指数(NDVI)的关系

Fig. 5 Relationship of LST with NDVI

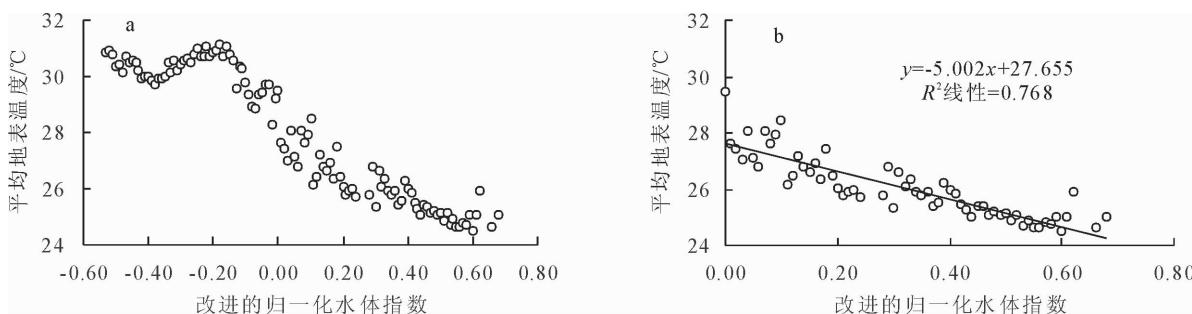


图 6 地表温度与水体指数(MNDWI)的关系

Fig. 6 Relationship of LST with MNDWI

3.3 小区域地表覆盖类型面积比例及平均地表温度

小区域地表覆盖类型和平均地表温度的统计结果(表2)。编号为15的小区域平均地表温度最高,为33.2°C(表2),位于南宁市老城区(图3),以建筑用地为主;36号小区域平均地表温度最低,为27.8°C,其以林地、园地和水体为主(图3),两者相差5.4°C。同为老城区编号为15、16、24、25的小区域,因小区域内是否有水体和绿地而不同,人民公园位于16号小区域(图3),水体和绿地的面积比例比15号小区域大,16号小区域平均地表温度比15号小区域低0.5°C。邕江跨越24号和25号小区域(图3),其小区域地表平均温度低于15号小区域。因此,同一小区域内建筑用地的面积比例越大,林地、园地和水的面积比例越小,此小区域的平均地表温度就越高;反之,小区域的平均地表温度就越低。

3.4 小区域地表覆盖类型对平均地表温度的影响

通过按小区域对水体、林地、园地和建筑用地的面积比例与其对应小区域平均地表温度进行相关性分析(图7~图10)可以看出,水体、林地、园地及建筑用地的面积比例与统计小区平均地表温度的相关系数分别为-0.317($P < 0.05$)、-0.791($P < 0.01$)、-0.765($P < 0.01$)和0.928($P < 0.01$),水体、林地、园地的面积比例与小区域的平均地表温度

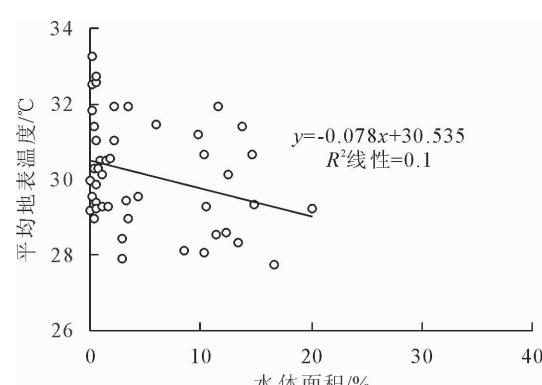


图 7 水体面积比例与地表温度的相关关系

Fig. 7 The correlation relation between land surface temperature and the proportion of water

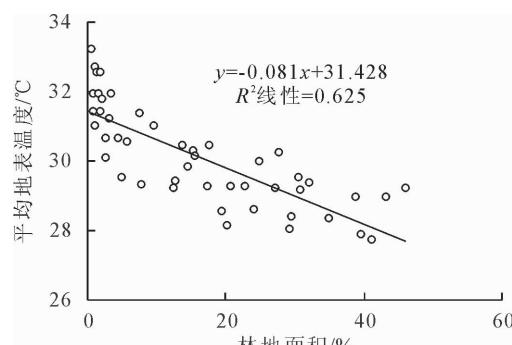


图 8 林地面积比例与地表温度的相关关系

Fig. 8 The correlation relation between land surface temperature and the proportion of forest land

表2 小区域4种地表覆盖类型的面积比例和平均地表温度

Table 2 The proportion of four types of surface cover types and the average of surface temperature in small area

编号	水体 面积 /%	林地 面积 /%	园地 面积 /%	建筑用地 面积 /%	平均地表 温度 /℃	编号	水体 面积 /%	林地 面积 /%	园地 面积 /%	建筑用地 面积 /%	平均地表 温度 /℃
1	1.68	22.84	49.61	25.86	29.3	25	13.71	0.87	13.33	72.14	31.4
2	1.88	5.72	34.48	57.92	30.6	26	10.30	4.49	19.84	65.37	30.6
3	2.22	9.62	32.87	55.30	31.0	27	0.89	17.66	21.84	59.61	30.5
4	2.96	29.53	47.64	19.87	28.4	28	0.41	15.38	25.81	58.40	30.3
5	3.31	12.74	35.97	47.99	29.4	29	8.47	20.09	56.57	14.87	28.1
6	0.21	2.06	22.68	75.05	31.8	30	0.49	14.47	37.18	47.86	29.9
7	2.19	3.38	18.81	75.62	31.9	31	0.60	0.97	22.00	76.43	31.0
8	0.48	1.70	13.80	84.02	32.6	32	0.11	1.35	15.99	82.55	32.5
9	0.41	7.41	29.12	63.06	31.4	33	14.63	2.51	15.47	67.39	30.7
10	3.49	38.67	34.58	23.26	29.0	34	20.10	12.33	29.36	38.21	29.2
11	12.36	24.05	35.47	28.12	28.6	35	13.37	35.04	26.15	25.44	28.3
12	14.92	7.72	32.77	44.59	29.3	36	16.72	41.08	30.01	12.19	27.8
13	12.46	2.67	26.07	58.80	30.1	37	2.89	39.57	43.20	14.35	27.9
14	9.83	3.19	21.06	65.92	31.2	38	1.04	17.31	51.02	30.62	29.3
15	0.25	0.43	9.03	90.29	33.2	39	0.50	31.94	40.48	27.08	29.4
16	0.60	1.04	10.16	88.20	32.7	40	0.06	24.80	24.88	50.26	30.0
17	3.40	1.64	15.61	79.35	31.9	41	0.55	46.13	34.89	18.43	29.2
18	1.45	13.76	22.21	62.58	30.5	42	0.22	30.41	47.04	22.33	29.6
19	1.12	15.44	25.35	58.09	30.2	43	10.41	20.74	49.15	19.70	29.3
20	10.38	29.11	38.76	21.75	28.0	44	0.66	27.74	20.16	51.44	30.3
21	11.40	19.29	48.68	20.63	28.5	45	0.00	30.69	53.18	16.12	29.2
22	4.33	4.91	38.07	52.69	29.5	46	0.49	27.28	64.06	8.17	29.2
23	5.96	1.75	21.21	71.08	31.5	47	0.38	43.27	49.23	7.12	29.0
24	11.52	0.88	12.60	75.00	31.9						

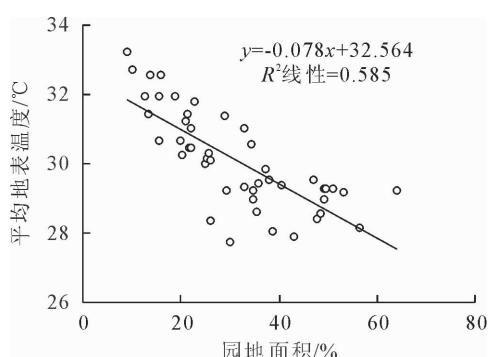


图9 园地面积比例与地表温度的相关关系

Fig. 9 The correlation relationship between land surface temperature and the proportion of gardens

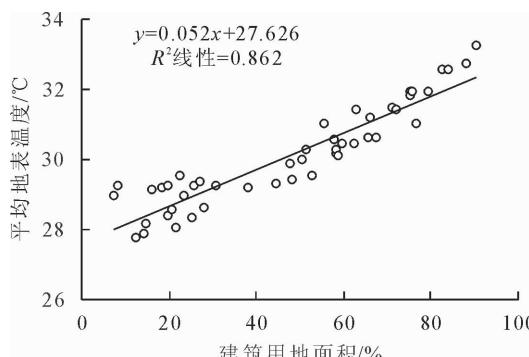


图10 建筑用地面积比例与地表温度的相关关系

Fig. 10 The correlation relationship between land surface temperature and the proportion of construction land

均具有负相关关系,建筑用地的面积比例与小区域的平均地表温度具有显著的正相关关系,且建筑用地面积比例与平均地表温度的相关性最大,水体的最小。因此,小区域平均地表温度随着水体、林地、园地面积比例的增大而降低,而随着建筑用地面积比例的增大而升高。

4 结论与讨论

城市热岛效应是城市温度高于相邻郊区温度的现象^[15],它给人们的正常生活带来了极大的危害^[16],CO₂是温度升高的来源。植被可以通过蒸腾作用以及在生长过程中吸收大量的CO₂,释放O₂,从而降低CO₂浓度,调节城市热环境。水的比热大,在升高相同的温度时,它吸收的热量比较多从而使环境的温度不会升得太高。因此,研究绿地与水体对城市热环境的调节作用具有重要的意义。本研究通过像元和小区域2个尺度对地表覆盖类型与地表温度的关系定量研究分析,旨在为指导城市绿化建设和发展,以及日常绿化工作提供参考和理论依据。在像元尺度上,以绿地与水体覆盖的地表温度较低,以建筑用地覆盖的地表温度较高,说明地表覆盖类型的不同对地表温度的影响也不同,LST与NDBI呈线性正相关,LST与NDVI和MNDWI

呈非线性关系。在小尺度上,以绿地和水体为主的区域温度较低,相反,以建筑用地为主的老城区的小区域的温度较高,说明绿地与水体有一定的降温作用,与张晓莉^[15]等的研究结论相似。此外,通过地表温度与归一化植被指数、改进的归一化水体指数的相关分析以及地表温度分别与4种地表覆盖类型的面积比例的相关分析进一步验证了绿地与水体具有降温作用,且绿地比水体的降温效果好,与曹璐^[17]等的研究结果相似,而刘东^[18]等研究表明,水体比植被降温效果好。城市的地表温度不仅与地表覆盖类型的特性有关,与这些地表覆盖类型的空间结构、均匀度、聚集度等也有关,因此,绿地和水体降温效果的对比有待从不同角度进一步研究。绿地和水体均具有降温效应对城市生态规划具有一定的指导意义,在城市中适当设置绿地与水体可以缓解热岛效应。

曹璐^[17]等研究表明,LST与NDVI和MNDWI呈非线性关系,LST与正的NDVI和正的MNDWI呈显著线性关系,只有 $NDVI > 0$ 时才能真正表示植被,同理,只有 $MNDWI > 0$ 时才能真正表示水体,因此,在研究植被或水体对地表温度的影响时,建议使用NDVI和MNDWI的正值,与本研究结论一致;而他们仅对地表温度和NDVI、MNDWI及不透水面的关系进行定量研究。本研究在此基础上,又从小区域的尺度上通过统计4种地表覆盖类型面积比例研究其与地表温度的相关关系,对绿地与水体的降温作用进行了验证。通过区域中具体的数字可表达同一区域内不同地表覆盖类型对地表温度的影响程度。本研究只是对南宁市的Landsat TM图像的研究,有一定的局限性。今后还需对绿地和水体降温效果的大小研究、以建筑空间结构以及绿地、水体等斑块大小等建立数学模型进行进一步的验证。

参考文献:

- [1] 张逢生,王雁,闫世明,等.浅析城市“热岛效应”的危害及治理措施[J].科技情报开发与经济,2011,21(32):147-148.
- [2] 牛凯,李华威,何瑞珍,等.郑州市带状绿地不同空间结构类型温湿度效应分析[J].西北林学院学报,2015,30(6):237-241.
- [3] NIU K, LI H W, HE R Z, et al. Effects of different spatial structure of urban greenbelts on air temperature and relative humidity in Zhengzhou[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(6): 237-241. (in Chinese)
- [4] 刘勇洪,轩春怡,权俊.基于卫星资料的北京陆表水体的热环境效应分析[J].湖泊科学,2013,25(1):73-81.
- [5] LIU Y H, XUAN C Y, QUAN W J. Thermal environment effect of land surface water bodies in Beijing based on satellite data[J]. Journal of Lake Sciences, 2013, 25(1): 73-81. (in Chinese)

Chinese)

- [6] 樊亚鹏,徐涵秋,李乐,等.广州市城市扩展及其城市热岛效应分析[J].遥感信息,2014,29(1):23-29.
- [7] FAN Y P, XU H Q, LI L, et al. Analysis of urban expansion and urban heat island effect in Guangzhou City[J]. Remote Sensing Information. 2014, 29(1): 23-29. (in Chinese)
- [8] 李鹏,余庄.基于遥感技术的城市布局与热环境关系研究—以武汉市为例[J].城市规划,2008,32(5):75-82.
- [9] LI K, YU Z. Relationship between city layout and heat environment based on remote sensing technology:a case study of Wuhan city[J]. City Planning Review, 2008, 32(5): 75-82. (in Chinese)
- [10] 蒋晶,乔治.北京市土地利用变化对地表温度的影响分析[J].遥感信息,2012,27(3):105-111.
- [11] JIANG J, QIAO Z. Impact analysis of land surface temperature (LST) land use change on Beijing[J]. Remote Sensing Information, 2012, 27(3): 105-111. (in Chinese)
- [12] 岳文泽,徐丽华.城市典型水域景观的热环境效应[J].生态学报,2013,33(6):1852-1859.
- [13] YUE W Z, XU L H. Thermal environment effect of urban water landscape[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33 (6): 1852-1859. (in Chinese)
- [14] 罗智勇,王明珠,陈婉佳.城市不透水面信息提取及水环境效应分析—以武汉市江南三区为例[J].信阳师范学院学报:自然科学版,2016,29(1):148-151.
- [15] LUO Z Y, WANG M Z, CHEN W J. Urban impervious surface extraction and its effect on water environment—a case study in three districts of Wuhan City[J]. Journal of Xinyang Normal University:Natural Science Edition, 2016, 29(1): 148-151. (in Chinese)
- [16] 徐涵秋.基于城市地表参数变化的城市热岛效应分析[J].生态学报,2011,31(14):3890-3901.
- [17] XU H Q. Analysis on urban heat island effect based on the dynamics of urban surface biophysical descriptors[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(14): 3890-3901. (in Chinese)
- [18] 覃志豪.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):456-465.
- [19] QIN Z H. Mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM6 data[J]. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(4): 456-465. (in Chinese)
- [20] 刘文渊,谢亚楠,万智龙,等.不同地表参数变化的上海市热岛效应时空分析[J].遥感与技术应用,2012,27 (5):797-803.
- [21] LIU W Y, XIE Y N, WAN Z L, et al. Analysis on urban heat island effect of the different dynamics of urban surface biophysical descriptors in Shanghai City[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2012, 27 (5): 797-803. (in Chinese)
- [22] 戴晓燕,张利权,过仲阳,等.上海城市热岛效应形成机制及空间格局[J].生态学报,2009,29(7):3995-4004.
- [23] DAI X Y, ZHANG L Q, GUO Z Y, et al. Mechanism of formation of urban heat island effect and its spatial pattern in Shanghai[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29 (7): 3995-4004. (in Chinese)

(下转第 210 页)

- ning, 2007, 79(1): 96-109.
- [9] 顾朝林, 陈田, 丁金宏, 等. 中国大城市边缘区特性研究[J]. 地理学报, 1993, 48(4): 317-328.
- GU C L, CHEN T, DING J H, et al. The study of the urban fringes in Chinese megalopolises[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1993, 48(4): 317-328. (in Chinese)
- [10] ARNOLD C L, GIBBONS C J. Impervious surface coverage: emergence of a key environmental factor[J]. *Journal of the American Planning Association*, 1996, 62(2): 243-258.
- [11] 刘珍环, 王仰麟, 彭建. 不透水表面遥感监测及其应用研究进展[J]. 地理科学进展, 2010, 29(9): 1143-1152.
- LIU Z H, WANG Y L, PENG J. Remote sensing of impervious surface and its applications: a review[J]. *Progress in Geography*, 2010, 29(9): 1143-1152. (in Chinese)
- [12] GBJ 137-90. 城市用地分类与规划建设用地标准[S]. 北京, 1992.
- [13] 邹春城, 张友水, 黄欢欢. 福州市城市不透水面景观指数与城市热环境关系分析[J]. 地理信息科学学报, 2014, 16(3): 490-498.
- ZOU C C, ZHANG Y S, HUANG H H. Impacts of impervious surface area and landscape metrics on urban heat environment in Fuzhou City, China[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2014, 16(3): 490-498. (in Chinese)
- [14] 郭添, 夏北成, 刘蔚秋, 等. 城市化进程中广州市景观格局的时空变化与梯度分异[J]. 应用生态学报, 2006, 17(9): 1671-1676.
- GUO L, XIA B C, LIU W Q, et al. Spatiotemporal change and gradient differentiation of landscape pattern in Guangzhou City during its urbanization[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(9): 1671-1676. (in Chinese)
- [15] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [16] 周亚东, 周兆德. 基于 GIS 与 Fragstats 的海南岛森林景观格局研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(5): 78-83.
- ZHOU Y D, ZHOU Z D. Study on forest landscape patterns based on GIS and FRATSTATS in Hainan Province[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2015, 35(5): 78-83. (in Chinese)
- [17] 田光进, 张增祥, 张国平, 等. 基于遥感与 GIS 的海口市景观格局动态演化[J]. 生态学报, 2002, 22(7): 1028-1034.
- TIAN G J, ZHANG Z X, ZHANG G P, et al. Landscape dynamic change pattern of Haikou City by TM imagery and GIS[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(7): 1028-1034. (in Chinese)
- [18] 余宇晨, 陈彩虹, 贺丹, 等. 基于 MCR 模型和 Kriging 的海口市景观格局优化分析[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(3): 233-238.
- SHE Y C, CHEN C H, HE D, et al. Landscape pattern optimization analysis based on MCR model and Kriging in Haikou [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2016, 31(3): 233-238. (in Chinese)
- [19] CONNELL J H. Diversity in tropical rain forest and coral reefs[J]. *Science*, 1978, 199: 1302-1310.
- [20] 毛齐正, 马克明, 邬建国, 等. 城市生物多样性分布格局研究进展[J]. 生态学报, 2013, 33(4): 1051-1064.
- MAO Q Z, MA K M, WU J G, et al. An overview of advances in distributional pattern of urban biodiversity[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(4): 1051-1064. (in Chinese)
- [21] 徐芮, 谢跟踪, 邱彭华. 海口市土地利用格局变化图谱分析[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(8): 379-383.
- [22] 付晖, 方纪华, 许先升, 等. 海口市中心城区公共绿地景观格局分析[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(6): 260-265.
- FU H, FANG J H, XU X S, et al. Evaluation on landscape pattern of Haikou urban public spaces[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2014, 29(6): 260-265. (in Chinese)

(上接第 204 页)

- [13] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J]. 遥感学报, 2005, 9(5): 589-595.
- XU H Q. A study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index (MNDWI) [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2005, 9(5): 589-595. (in Chinese)
- [14] 杨智翔, 何秀凤. 基于改进的 NDBI 指数法的遥感影像城镇用地信息自动提取[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2010, 38(2): 181-183.
- YANG Z X, HE X F. Automatic extraction of urban land-use information from remote sensing images based on improved NDBI method [J]. *Journal of Hohai University: Natural Sciences*, 2010, 38(2): 181-183. (in Chinese)
- [15] 张晓莉, 赵鹏祥, 高凌寒, 等. 基于 Landsat 影像的西宁市主城区热岛效应分析[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(3): 183-190.
- ZHANG X L, ZHAO P X, GAO L H, et al. Analysis of heat island effect based on landsat images in Xining City[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2016, 31(3): 183-190. (in Chinese)
- [16] 陈爱莲, 孙然好, 陈利顶. 绿地格局对城市地表热环境的调节功能[J]. 生态学报, 2013, 33(8): 2372-2380.
- CHEN A L, SUN R H, CHEN L D. Effects of urban green pattern on urban surface thermal environment [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(8): 2372-2380. (in Chinese)
- [17] 曹璐, 胡瀚文, 孟宪磊, 等. 城市地表温度与关键景观要素的关系[J]. 生态学杂志, 2011, 30(10): 2329-2334.
- CAO L, HU H W, MENG X L, et al. Relationships between land surface temperature and key landscape elements in urban area [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(10): 2329-2334. (in Chinese)
- [18] 刘东, 李艳, 孔繁花. 中心城区地表温度空间分布及地物降温效应—以南京市为例[J]. 国土资源遥感, 2013, 25(1): 117-122.
- LIU D, LI Y, KONG F H. Spatial distribution of land surface temperature in central city proper and the cooling of objects effect: a case study of Nanjing[J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2013, 25(1): 117-122. (in Chinese)