

景高莉,张建军,程明芳,等. 城市绿色空间对周边热环境的降温规律[J]. 江苏农业科学,2017,45(22):289-294.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.22.076

# 城市绿色空间对周边热环境的降温规律

景高莉<sup>1</sup>,张建军<sup>1,2</sup>,程明芳<sup>1</sup>,韩学语<sup>1</sup>

[1. 中国地质大学(北京)土地科学技术学院,北京 100083; 2. 国土资源部土地整治重点实验室,北京 100035]

**摘要:**以北京市五环范围内的27处城市绿色空间为研究对象,利用遥感技术与地理信息技术,探究城市绿色空间的降温规律。结果表明,降温幅度与降温距离随着绿色空间面积与周长的增大而增加,随绿地形状指数的增加而减小。随着周围建设用地 NDBI 值的增大,降温幅度逐渐增加。针对影响降温幅度的各个因素,建立了多元线性回归模型。

**关键词:**周边热环境;降温距离;降温幅度;NDBI

**中图分类号:** S181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)22-0289-06

近年来,城市化的加剧已经引起了众多的生态环境问题。研究城市热环境以及影响因素对于缓解生态环境问题有着重要的理论和实际意义<sup>[1]</sup>。城市“热岛效应”是指城市气温明显高于郊区的现象<sup>[2]</sup>。随着城市化进程的加快,城市热岛问题正变得愈发突出<sup>[3]</sup>,城市土地利用导致城区范围不断扩大,人口聚集使地表热效应特征显著<sup>[4]</sup>。尤其在夏季,已经严重影响城市居民的正常生活与健康<sup>[5]</sup>。城市绿色空间作为一种稀缺资源,为城市可持续发展提供多种生态服务功能保障<sup>[6]</sup>。城市绿色空间中的绿地可以通过植被的光合作用、蒸腾与蒸散作用来降低地表温度,是缓解城市热岛效应的有效途径之一<sup>[7]</sup>。有研究表明,夏季高温植被覆盖率越高,绿地温度越低,当覆盖率达到或高于60%时,绿地具有明显的降温增湿效果<sup>[8]</sup>。城市绿色空间不仅自身可发挥“城市冷岛”的作用,对其周边地区也有明显的降温作用。绿色空间有利于增加湿度,随着城市地表湿度值的提高,区域内部以及周围环境的温度都会随之下降<sup>[9]</sup>。如何优化城市绿色空间布局,实现城市绿地降温效应的最大化,是城市布局规划与研究的热点<sup>[10]</sup>。

北京位于115.7°~117.4°E、39.4°~41.6°N,中心位于39°54′20″N、116°25′29″E,总面积1.64万km<sup>2</sup>。北京作为我国的首都和经济、文化中心,是我国城市化发展速度最快的地区之一。2015年6月,北京市常住人口达到2168.9万人。近几十年来,随着城市化快速发展,北京出现了明显的城市热岛现象<sup>[11]</sup>,其高强度的经济活动、高密度的硬化地表使城市热岛效应更加显著。2000—2006年夏季热岛强度增温率达0.326℃/年,2005年中心强度达到10.54℃,热岛影响范围也由1987年总面积的10.74%上升至2009年的26.77%<sup>[12]</sup>。北京五环内为北京市城区热岛效应较为显著的地区,城市建

筑物散发出大量热量,导致温度上升<sup>[13-14]</sup>。在北京五环内,同时分布着大量绿色区域,绿色空间不仅在内部形成低温的区域,对周边地区也有缓解城市热环境的作用。

## 1 研究内容与方法

### 1.1 数据来源

本研究数据为Landsat 8卫星遥感影像和资源三号卫星影像。Landsat 8影像的获取时间为2014年9月4日,分辨率为30 m,图像的质量良好,无云,地面特征清晰,图像干扰较少。资源三号影像中多光谱影像的分辨率为5 m,全色影像为2.1 m,过境日期为2015年6月2日。

### 1.2 数据处理

**1.2.1 地表温度反演** 地表温度反演采用遥感图像处理软件ENVI,以及地理信息系统软件ArcGIS。先对影像进行辐射定标,将影像DN值转化成辐射亮度值,然后利用辐射亮度值去推算地表温度。本研究中,TIRS与OLI分别进行辐射定标,并对OLI进行了FLAASH大气校正,各项定标参数从Landsat 8影像的头文件里获取。用Landsat 8卫星数据反演地表温度,热红外数据由于定标参数有误差,因此必须对TIRS 10波段求出的光谱辐射值减去0.29 W/(m<sup>2</sup>·sr·μm),而TIRS 11波段由于误差更大不建议使用<sup>[15]</sup>,USGS暂不鼓励用劈窗算法来反演地表温度,而是建议仍采用TM/ETM+的单波段方式来计算地表温度。故本研究采用单通道法,对Landsat 8第10波段辐射定标,利用辐射定标系数将其像元灰度值转换为对应的热辐射强度值。辐射校正公式如下:

$$L_A = M_L \times Q_{cal} + A_L - 0.29. \quad (1)$$

式中:增益 $M_L$ 和偏移 $A_L$ 参数可直接从影像元数据文件中直接获取, $Q_{cal}$ 是指像元灰度值DN。

反演地表温度参考Schneider和Mauser<sup>[16]</sup>给出的TM影像温度反演公式得到:

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{K_A} + 1\right)} - 273.15. \quad (2)$$

式中: $T$ 为地表温度, $K_1$ 、 $K_2$ 为定标常数, $L_A$ 为第10波段热红

收稿日期:2016-06-17

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金(编号:2652015174)

作者简介:景高莉(1990—),女,河北承德人,硕士研究生,主要从事城市景观生态学研究。E-mail:jjinggaoli@163.com。

通信作者:张建军,博士,副教授,主要从事资源利用与生态经济研究。E-mail:zhangjianjun\_bj@126.com。

外通道的辐射亮度。通过反演得到的地表温度如图1所示。

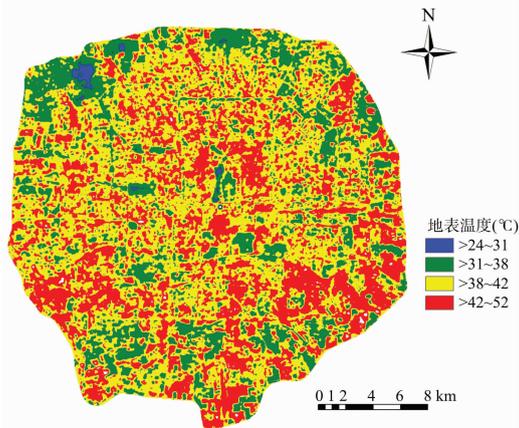


图1 五环内地表温度

1.2.2 地表温度反演精度验证 本研究采用地面实地观测的方法对遥感影像反演地表温度的数据进行精度验证,使用的仪器有手持式GPS和热红外辐射枪(用于地面温度测量)。地表温度观测的方法为,采用红外温度计获取城市区域的水泥混凝土地面温度作为地表温度,从09:00开始,每15 min测量1次地表温度,至16:00时,获得白天内的温度变化,作为其他测量点在不同时段测量结果的换算标准。实测采集了300个样点,由于各样点温度采集的时间点不同,根据标准点将所有的样点温度值换算到遥感影像过境时点的温度,将实测温度与反演得到的遥感影像相应位置的地表温度值进行比较。图2横坐标为反演温度与实测温度的比值,纵坐标为落入相应的比值区间的样点频数。从图2可以看出,反演温度与实测温度样本比值大部分落入0.7~1.2之间,由遥感影像反演得到的温度能有效地反映地表的真实温度。

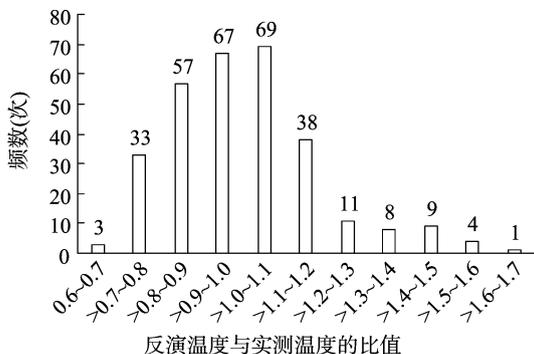


图2 反演地表温度精度验证

1.2.3 绿地信息提取 本研究将资源三号遥感影像通过正射校正、几何校正、配准、大气校正等预处理,将全色数据与多光谱数据经过影像纠正后配准、融合,得到分辨率为2.1 m的遥感影像,能够较好地解译绿地信息和分辨地物,影像处理流程如图3所示。结合对Landsat 8反演得到的地表温度,确定北京五环内温度较低的绿色空间区域,通过人工矢量化方法,得到27块绿色空间(图4)。

1.3 绿色空间的降温距离与降温幅度

利用ArcGIS的空间统计分析功能统计了27块绿色空间内部的平均温度、最大温度与最小温度(表1)。由表1可知,

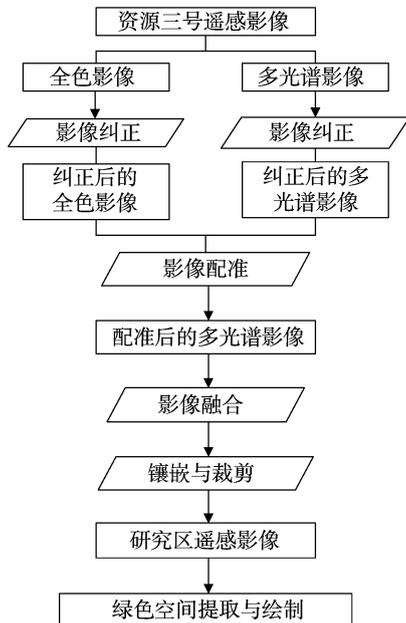


图3 资源三号遥感影像处理流程

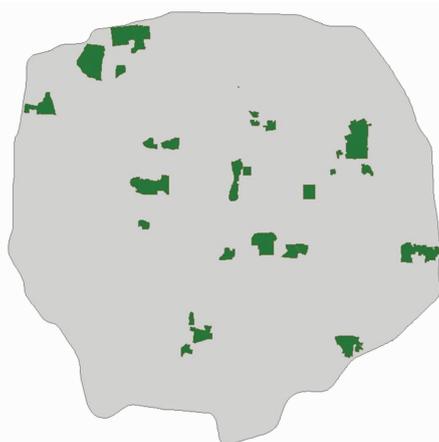


图4 研究区绿色空间分布

27处绿色空间内部的平均温度为35.69℃,比通过反演统计所得的北京五环内的平均温度40.64℃要低4.95℃,可见绿色空间具有明显的降温效应。绿色空间在对其内部产生低温效应的同时,对周边地区也存在着一一定的降温影响。根据前人的研究成果,绿地对周边热环境的降温幅度与降温距离有很大差异<sup>[17]</sup>。为方便研究绿色空间对周围热环境的影响,以反演得到的地表温度为数据,以30 m为间隔对选取的每个绿地划分多个分级缓冲区,每个绿色空间周边的缓冲区数量为10个,将反演温度场与缓冲区叠加,统计缓冲区内的平均温度,用以探索绿色空间周围300 m范围内的热环境变化。对于绿色空间相邻可能受到干扰的区域,本研究对绿色空间周边受到干扰的地区进行了剔除,保证最终提取出来的缓冲区

表1 绿色空间形态特征统计

指数	平均值	最大值	最小值
温度(℃)	35.69	47.63	27.89
面积(km <sup>2</sup> )	1.07	3.55	0.11
周长(km)	4.72	10.58	1.34
形状指数	0.006 7	0.013 7	0.002 3

内不包含大型的绿地或者水域。

对绿色空间划分缓冲区后,通过 ArcGIS 空间统计分析方法得到每个缓冲区的平均温度,以距离( $L$ )为自变量,以温度( $T$ )为因变量,随距离的增加对缓冲区内的平均温度进行拟合,建立城市绿色空间周边温度与离绿色空间边界距离的规律模型,探究绿色空间对周边环境的降温距离与降温幅度,主要的变化规律如图 5 所示。

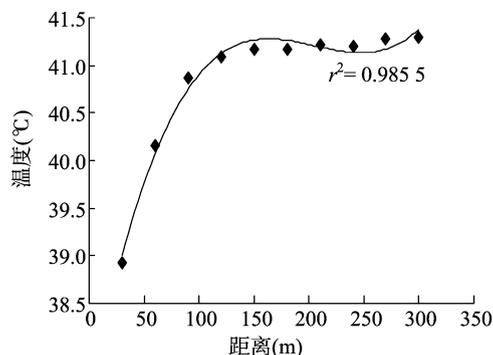


图5 绿色空间周边缓冲区温度变化规律

由图 5 可见,随着距离的增加,缓冲区内平均温度逐渐上升,当达到一定范围时,温度变化平缓,当温度变化平稳时,即认定此时的距离为绿色空间对周围环境的降温影响距离,对选取的 27 个绿色空间周边缓冲区平均温度分别进行拟合,得到各自的降温曲线,决定系数均在 0.77 以上,根据公式求取最大的降温距离与降温幅度。根据已有的研究成果,选择三次多项式对缓冲区内的温度进行拟合,通过对拟合得到的三次多项式求拐点得到影响距离的最大值,拐点的计算公式为<sup>[18]</sup>:

$$D_{\max} = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 3ac}}{3a} \quad (3)$$

式中: $a$ 、 $b$ 、 $c$  均为三次多项式的系数,得到的拐点的值即为最大降温影响距离  $D_{\max}$ ,最大降温距离处的温度  $T_{\max}$  通过将求得的最大影响距离  $D_{\max}$  代入拟合得到的公式中求出,研究区各绿地缓冲区内平均温度拟合的三次多项式如表 2 所示。

根据公式对每一处绿地的最大降温距离进行求算,并将所得到的值代入公式中算出最大降温距离处的温度,与绿色空间内部的平均温度相减,求得最大温差,记为绿地斑块的降

表 2 三次多项式拟合

序号	绿色空间地点	三次多项式	决定系数
1	景山公园	$T=0.000\ 000\ 2\ D^3 - 0.000\ 2\ D^2 + 0.034\ D + 37.5$	0.978
2	天坛公园	$T=0.000\ 000\ 63\ D^3 - 0.000\ 4\ D^2 + 0.066\ D + 38.226$	0.989
3	陶然亭公园	$T=0.000\ 000\ 087\ D^3 - 0.000\ 4\ D^2 + 0.009\ 7\ D + 37.95$	0.999
4	玉渊潭公园	$T=0.000\ 000\ 021\ D^3 - 0.000\ 1\ D^2 + 0.031\ D + 38.097$	0.994
5	北京动物园	$T=0.000\ 000\ 41\ D^3 - 0.000\ 3\ D^2 + 0.050\ 2\ D + 39.148$	0.985
6	紫竹院公园	$T=0.000\ 000\ 27\ D^3 - 0.000\ 2\ D^2 + 0.043\ 3\ D + 38.095$	0.996
7	朝阳公园	$T=0.000\ 000\ 02\ D^3 - 0.000\ 1\ D^2 + 0.074\ 7\ D + 38.531$	0.943
8	红领巾公园	$T=0.000\ 000\ 012\ D^3 - 0.000\ 1\ D^2 + 0.058\ 9\ D + 39.421$	0.942
9	北京朝阳高尔夫俱乐部	$T=0.000\ 000\ 1\ D^3 - 0.000\ 06\ D^2 + 0.002\ 6\ D + 38.72$	0.991
10	团结湖公园	$T=0.000\ 000\ 49\ D^3 - 0.000\ 3\ D^2 + 0.019\ 8\ D + 37.474$	0.985
11	日坛公园	$T=0.000\ 000\ 14\ D^3 - 0.000\ 059\ D^2 + 0.006\ 1\ D + 40.128$	0.777
12	龙潭公园	$T=0.000\ 000\ 05\ D^3 - 0.000\ 079\ D^2 + 0.011\ 2\ D + 36.867$	0.999
13	龙潭西湖公园	$T=0.000\ 000\ 022\ D^3 - 0.000\ 038\ D^2 + 0.005\ 1\ D + 37.474$	0.982
14	北海公园	$T=0.000\ 000\ 053\ D^3 - 0.000\ 3\ D^2 + 0.064\ 6\ D + 37.11$	0.987
15	古塔公园	$T=0.000\ 000\ 79\ D^3 - 0.000\ 5\ D^2 + 0.097\ 5\ D + 39.374$	0.990
16	柳荫公园	$T=0.000\ 000\ 54\ D^3 - 0.000\ 3\ D^2 + 0.024\ 7\ D + 38.404$	0.963
17	青年湖公园	$T=0.000\ 000\ 72\ D^3 - 0.000\ 4\ D^2 + 0.056\ 1\ D + 38.574$	0.951
18	地坛公园	$T=0.000\ 000\ 078\ D^3 - 0.000\ 1\ D^2 + 0.015\ 6\ D + 38.649$	0.998
19	圆明园	$T=0.000\ 000\ 086\ D^3 - 0.000\ 11\ D^2 + 0.037\ 7\ D + 38.339$	0.984
20	海淀公园	$T=0.000\ 000\ 19\ D^3 - 0.000\ 094\ D^2 + 0.010\ 7\ D + 40.042$	0.958
21	颐和园	$T=0.000\ 000\ 018\ D^3 - 0.000\ 1\ D^2 + 0.034\ 9\ D + 34.541$	0.994
22	莲花池公园	$T=0.000\ 000\ 6\ D^3 - 0.000\ 4\ D^2 + 0.074\ 4\ D + 38.319$	0.978
23	槐新公园	$T=0.000\ 000\ 24\ D^3 - 0.000\ 2\ D^2 + 0.043\ 8\ D + 38.05$	0.997
24	世界花卉大观园	$T=0.000\ 000\ 06\ D^3 - 0.000\ 08\ D^2 + 0.027\ 9\ D + 40.097$	0.986
25	海子公园	$T=0.000\ 000\ 66\ D^3 - 0.000\ 4\ D^2 + 0.050\ 3\ D + 39.104$	0.984
26	鸿博公园	$T=0.000\ 004\ 9\ D^3 - 0.000\ 3\ D^2 + 0.048\ 5\ D + 40.137$	0.985
27	香山国际高尔夫练习场	$T=0.000\ 000\ 12\ D^3 - 0.000\ 071\ D^2 + 0.006\ D + 37.658$	0.951

温幅度(表 3)。最小的降温幅度出现在龙潭西湖公园,为 0.47 °C,最大的降温幅度出现在古塔公园,为 7.64 °C;最小的降温距离出现在北京朝阳高尔夫俱乐部,为 22.99 m,最大的降温距离出现在朝阳公园,为 256.78 m。

#### 1.4 NDBI 的提取

本研究选取的绿色空间斑块均分布在北京市五环范围

内,绿色空间周边大多分布着城市建设用地,建筑用地是城市建成区中最主要的土地利用类型,强烈地影响着城市生态环境,其分布形式直接影响城市热岛效应的强弱。城市绿色空间对周边热环境的降温效果,不仅受到绿色空间本身特征的影响,更受到缓冲区内其他因素的影响。通过对缓冲区内温度的拟合,确定了各个绿色空间的最大降温范围。通过

表3 绿色空间的降温幅度与降温距离

序号	绿地地点	$D_{\max}$ (m)	$T_{\max}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	降温幅度 ( $^{\circ}\text{C}$ )
1	景山公园	100.00	39.10	2.34
2	天坛公园	112.29	41.49	5.45
3	陶然亭公园	93.02	38.44	2.85
4	玉渊潭公园	163.41	40.58	4.71
5	北京动物园	107.24	41.59	4.06
6	紫竹院公园	160.26	41.01	5.61
7	朝阳公园	256.78	44.45	7.37
8	红领巾公园	44.86	39.62	2.42
9	北京朝阳高尔夫俱乐部	22.99	38.75	0.49
10	团结湖公园	36.21	37.82	0.97
11	日坛公园	68.30	40.31	1.26
12	龙潭公园	76.43	37.28	2.48
13	龙潭西湖公园	71.55	37.25	0.47
14	北海公园	110.93	40.66	6.93
15	古塔公园	152.92	45.42	7.64
16	柳荫公园	47.18	38.96	2.09
17	青年湖公园	93.96	40.91	4.19
18	地坛公园	86.82	39.30	1.51
19	圆明园	237.53	42.24	6.95
20	海淀公园	73.13	40.40	2.57
21	颐和园	183.60	37.69	6.47
22	莲花池公园	132.50	42.55	6.50
23	槐新公园	150.00	40.93	4.48
24	世界花卉大观园	238.21	43.01	4.12
25	海子公园	77.89	40.91	3.52
26	鸿博公园	111.04	42.49	5.30
27	香山国际高尔夫练习场	48.13	37.80	1.16

ArcGIS 的空间统计分析方法,划分出每一个绿色空间边界到降温距离之间的区域,以此区域内的建设用地为研究对象。

对降温距离范围内的建设用地,选用建筑归一化指数 NDBI 来反映建设用地信息。目前,针对建筑指数与城市热岛效应关系的研究较少。杨山提出仿归一化植被指数<sup>[19]</sup>之后,在此基础上,查勇等在建筑用地信息提取方面提出了归一化建筑指数(NDBI),其数值越大表明建筑用地比例越高,建筑

密度越高<sup>[20]</sup>。计算公式为:

$$NDBI = \frac{MIR - NIR}{MIR + NIR} \quad (4)$$

式中: $NIR$  为近红外波段, $MIR$  为中红外波段, $NDBI$  的值可通过 ENVI 的波段运算计算得出。 $NDBI$  与归一化植被指数相似,其取值范围为  $-1 \sim 1$ 。提取了  $NDBI$  的值之后,将具有  $NDBI$  数据的栅格图像与具有绿地斑块降温距离的矢量图像叠加,通过 ArcGIS 的空间统计分析功能,统计各绿色空间降温范围内建设用地  $NDBI$  的平均值。

## 2 结果与分析

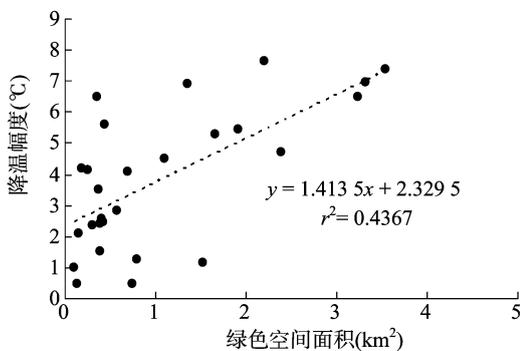
### 2.1 绿色空间的降温效果影响因素

#### 2.1.1 绿色空间形态特征对降温距离与降温幅度的影响

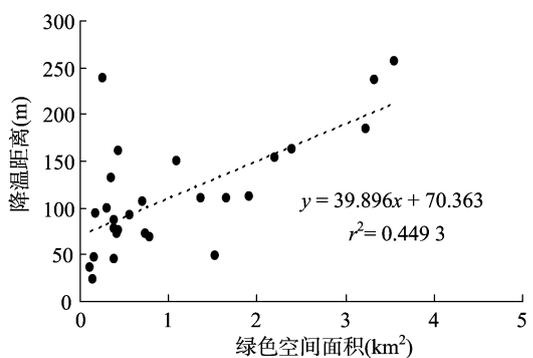
从斑块水平研究绿色空间的形态特征,通过现有的研究表明,北京市的主要绿色空间的景观斑块特征差异非常显著,面积、周长及形状指数均存在着明显的差异<sup>[21]</sup>,能够较好地表征绿色空间形态特征特点。本研究为了定量研究绿色空间对周边环境的影响,将绿地面积、绿地周长、绿地形状指数等绿地形态特征因素与降温幅度及降温距离进行相关性分析。

#### 2.1.2 绿色空间面积对降温距离与降温幅度的影响

绿地面积对降温距离与降温幅度存在着正向影响,即随着面积的增大,绿色空间对周边热环境的影响距离增大,降温幅度也增大(图6)。降温距离最大的是朝阳公园,达到 256.78 m,其面积也是选取的绿色空间中最大的,达到 3.33 km<sup>2</sup>,朝阳公园的降温幅度为 7.37  $^{\circ}\text{C}$ ,与最大的降温幅度 7.64  $^{\circ}\text{C}$  相差无几。最大的降温幅度出现在古塔公园,古塔公园的面积为 2.20 km<sup>2</sup>,是朝阳公园面积的 2/3,可见,绿色空间的降温幅度除受到面积的影响外,还受到其他因素的影响。如本研究中,有 2 块绿地为高尔夫练习场,其面积分别为 0.14、1.53 km<sup>2</sup>,相差较大,但是降温距离分别为 22.99、48.13 m,降温幅度分别为 0.49、1.16  $^{\circ}\text{C}$ ,降温距离与降温幅度并没有因为绿色空间面积的增大而出现显著变化,究其原因,这 2 块绿地绿化以草皮为主,而其他的绿色空间内部不仅分布着草地还分布着各种乔木与灌木,可见草地无论面积大小,其降温幅度与降温距离均不明显。



a. 降温幅度变化



b. 降温距离变化

图6 绿色空间面积与降温效果的关系

#### 2.1.3 绿色空间周长对降温距离与降温幅度的影响

绿色空间的周长与降温幅度与降温距离呈现显著的线性相关性(图7)。绿色空间的降温幅度与其周长线性相关性的决定系

数为 0.441,降温距离与绿地周长线性相关性的决定系数为 0.329,其中降温距离最小的是北京朝阳高尔夫俱乐部,为 22.99 m,其周长为 1.93 km。降温幅度最小的是团结湖公

园,为0.97℃,同时团结湖公园的周长也是各样本中最小的。由图7可以看出,在绿色空间的周长小于5 km的样本中,降温幅度与降温距离十分聚集,而当绿色空间的周长大于5 km

时,降温幅度与降温距离的值变化明显,且较为分散,在设计绿色空间时,在绿色空间的周长大于5 km的情况下,增加绿色空间的周长有助于有效提高绿色空间的降温效果。

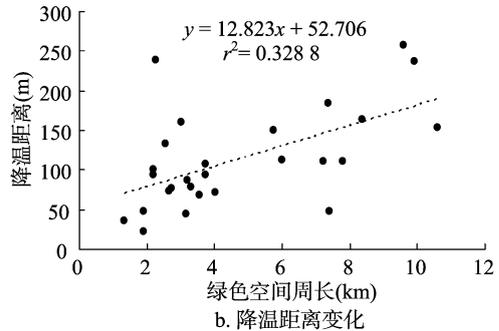
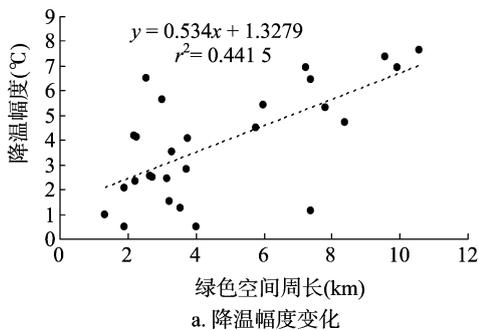


图7 绿色空间周长与降温效果的关系

#### 2.1.4 绿色空间形状指数对降温距离与降温幅度的影响

除了对绿色空间的面积与周长的分析,本研究也对绿色空间的形状指数对降温距离与降温幅度的影响进行了分析(图8),绿色空间的降温距离与降温幅度均随着形状指数的升高

而降低。绿色空间的形状指数越高,表明形状越不规则,导致绿色空间内部与外界热环境的接触越频繁,绿色空间内部的低温效果更容易影响外界环境,因此形状指数越高的绿色空间对周边热环境的降温距离与降温幅度越小。

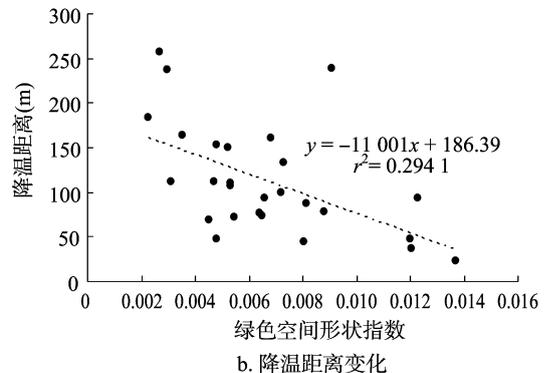
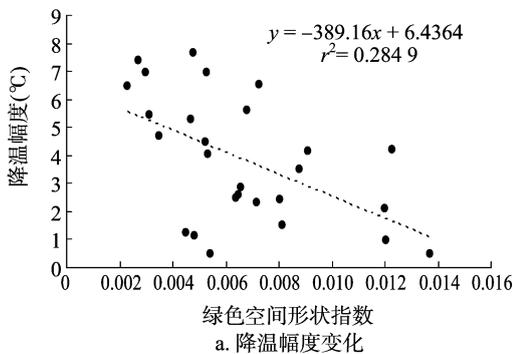


图8 绿色空间形状指数与降温效果的关系

#### 2.2 绿色空间周边建设用地的热环境对降温的影响

建设用地的建筑密度越高,热岛效应表现得越明显。绿色空间周边降温范围内的建设用地最大温度值与建设用地的平均NDBI具有显著的指数关系,决定系数达到0.8442,这表明,NDBI的值越大,即绿色空间周边的建筑用地比例越高,绿色空间周边环境的升温越显著(图9)。降温幅度与NDBI的拟合曲线见图10,降温幅度为通过对缓冲区温度拟合的三次多项式计算得到的最大值与绿地斑块内部平均温度的差值。所以降温幅度受到绿地形态特征与周边建设用地升温作用的多因素影响,而降温范围内建设用地的最高温度受建设用地的影响极大,绿色空间周边NDBI值越高,导致绿色空间周边升温越快。建设用地上的硬化地表与建筑物散发出大量热量,不仅是城市热岛效应产生的因素,也不利于城市绿色空间充分发挥其冷岛作用。

#### 2.3 绿色空间对周边降温幅度的综合影响

根据以上研究可知,不仅是绿色空间形态特征(面积、周长、形状指数)对降温效果有一定的影响,绿色空间周边的建设用地本身也散发出热量影响着绿色空间的降温效果。为了分析绿色空间对周边热环境的综合影响,本研究采用统计学

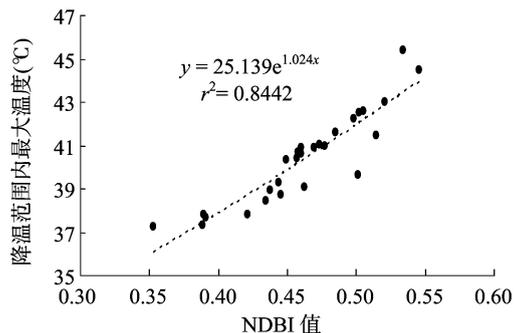


图9 NDBI对周边建设用地温度的影响

中的逐步回归分析来进一步研究绿色空间面积、周长、形状指数以及周边建设用地NDBI对降温幅度的定量关系。在逐步回归分析过程中,影响降温幅度的自变量中周长与NDBI被保留了下来,回归方程为:

$$y = 0.492x_1 + 22.594x_2 - 8.564. \quad (5)$$

式中: $y$ 为降温幅度, $x_1$ 为绿色空间的周长, $x_2$ 为周边建设用地NDBI。

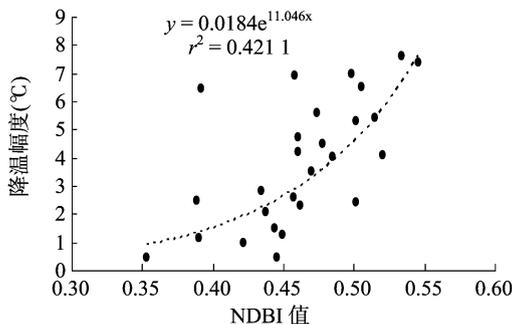


图10 NDBI对降温幅度的影响

#### 4 结论与讨论

城市绿色空间不仅在内部形成降温区域,发挥冷岛作用,对其周边热环境也具有明显的缓解作用<sup>[22-23]</sup>,通过建立城市绿色空间周边温度与离绿色空间边界距离的规律模型可得,绿地外部的温度随着距离的增加而不断升高,然后趋于平稳。此时,将趋于平缓时的温度认定为绿色空间周边的最大温度,最大温度处与绿色空间的距离为最大降温距离。温度升高的变化趋势与三次多项式有较好的拟合度,根据拟合的三次多项式更加合理地确定绿色空间的降温范围与降温幅度。经计算,本研究选取的绿色空间的降温范围不一,最小的降温范围为 22.99 m,最大的降温范围可达 256.78 m。绿地的降温幅度也有很大差距,最小的降温幅度为 0.47 ℃,最大的降温幅度为 7.64 ℃。

探究了城市绿色空间对周边热环境降温作用的影响因素,绿地本身的形态特征(绿色空间面积、绿色空间周长、绿色空间的形状指数)与绿色空间的降温距离与降温幅度均呈现线性关系,其中随着绿色空间面积与绿色空间周长的增加,降温距离与降温幅度均逐渐升高;而绿色空间形状指数与绿色空间的降温距离和降温幅度则呈现负相关关系。在研究了绿地形态特征的基础上,本研究引进了建筑归一化指数 NDBI 来探究城市绿地斑块周边建设用地对绿地降温幅度的影响。通过拟合,NDBI 与降温幅度呈现显著的指数相关性,绿地周边 NDBI 值越大,降温幅度越大,NDBI 值越大,导致绿地周边升温越快且升温越高。

在分析了绿色空间的 3 个形态特征与周边建设用地 NDBI 之后,对多个因素的综合影响进行了研究,采取的方法为逐步回归分析。通过逐步分析,筛选出了对降温幅度最大的影响因素,为绿色空间周长与周边建设用地 NDBI,为城市规划提供参考意见。在本研究中影响绿色空间降温幅度的因素中,建设用地 NDBI 对降温幅度的影响最大,说明在高建筑密度区域兴建公园、绿地更有助于发挥绿色空间的降温效果,缓解城市热岛,给人提供舒适感。

采用划定缓冲区的方法来分析绿色周边的热环境变化,对于城市绿地周边地区下垫面环境的复杂程度及建筑物空间布局具有不确定性,基于缓冲区分析的方法存在一定的不足。对绿地降温效果的研究,尺度是重要的限制因素,但由于城市下垫面性质的复杂性,更深层次、更细致的小尺度研究是将来可进一步研究的重点与难点。

#### 参考文献:

- [1] 胡忠秀,周忠学. 西安市绿地生态系统服务功能测算及其空间格局研究[J]. 干旱区地理,2013,36(3):553-561.
- [2] 李延明,郭佳,冯久莹. 城市绿色空间及对城市热岛效应的影响[J]. 城市环境与城市生态,2004,17(1):1-4.
- [3] 朱焱,杨金彪,朱莲芳,等. 苏州城市化进程与城市气候变化关系研究[J]. 气象科学,2012,32(3):317-324.
- [4] 程晨,蔡喆,闫维,等. 基于 Landsat TM/ETM+ 的天津城区及滨海新区热岛效应时空变化研究[J]. 自然资源学报,2010,25(10):1727-1737.
- [5] 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.
- [6] 岳文泽. 基于遥感影像的城市景观格局及其热环境效应研究[D]. 上海:华东师范大学,2005.
- [7] 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.
- [8] 武鹏飞,王茂军,张学霞. 北京市植被绿度与城市热岛效应关系研究[J]. 北京林业大学学报,2009(5):54-60.
- [9] 刘姊妹,李树华,杨志峰. 北京公园绿地夏季温湿效应[J]. 生态学杂志,2008,27(11):1972-1978.
- [10] 张宇,陈龙乾,王雨辰,等. 基于 TM 影像的城市地表湿度对城市热岛效应的调控机理研究[J]. 自然资源学报,2015,30(4):629-640.
- [11] 孔繁花,尹海伟,刘金勇,等. 城市绿地降温效应研究进展与展望[J]. 自然资源学报,2013,28(1):171-181.
- [12] 季崇萍,刘伟东,轩春怡. 北京城市化进程对城市热岛的影响研究[J]. 地球物理学报,2006,49(1):69-77.
- [13] 王艳皎,闫峰,张培群,等. 基于植被指数和地表反照率影响的北京城市热岛变化[J]. 环境科学研究,2009,22(2):215-220.
- [14] 张玲,徐宗学,阮本清. 北京城市热岛效应对气温和降水量的影响[J]. 自然资源学报,2006,21(5):746-755.
- [15] 徐涵秋. 新型 Landsat8 卫星影像的反射率和地表温度反演[J]. 地球物理学报,2015,03(3):741-747.
- [16] Qin Z H, Karnieli A. B A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the application to the Israel-Egypt border region[J]. International Journal of Remote Sensing,2001,22(18):3719-3746.
- [17] 陈方敏. 上海市公园绿地对热岛效应影响的多尺度研究[D]. 上海:华东师范大学,2010.
- [18] 苏泳娟,黄光庆,陈修治,等. 广州市城区公园对周边环境的降温效应[J]. 生态学报,2010,30(18):4905-4918.
- [19] 杨山. 发达地区城乡聚落形态的信息提取与分形研究——以无锡市为例[J]. 地理学报,2000,55(6):671-678.
- [20] 查勇,倪绍祥,杨山. 一种利用 TM 图像自动提取城镇用地信息的有效方法[J]. 遥感学报,2003,7(1):37-40.
- [21] 孟丹,李小娟,宫辉力,等. 北京地区热力景观格局及典型城市景观的热环境效应[J]. 生态学报,2010,30(13):3491-3500.
- [22] 刘文良. 困惑与超越:走出城市绿地规划的误区[J]. 江苏农业科学,2015,43(5):4-6.
- [23] 邵大伟. 绿地对城市居住空间影响效能的多尺度范式[J]. 江苏农业科学,2015,43(12):224-227.