

基于 Landsat8 城市绿地对周边热环境的影响研究——以成都市中心城区为例^{*1}

房力川^{a, b} 潘洪义^{a, b} 冯茂秋^{a, b} 朱芳^{a, b}

(四川师范大学 a. 西南土地资源评价与监测教育部重点实验室; b. 地理与资源科学学院, 四川成都 610066)

【摘要】:城市绿地是缓解城市热环境效应的重要因素之一,在调节城市气候方面发挥着重要作用。以成都市中心城区为研究区,分析了城市绿地斑块景观指数与地表温度的相关关系和绿地斑块的降温辐射范围。结果表明:①成都市其他绿地的降温效果最为显著,公园绿地次之,街旁绿地和居住区绿地的降温效果不明显;②其他绿地和公园绿地的周长、面积、植被覆盖度与其平均温度呈较强的负相关性;③不同绿地类型降温辐射范围存有差异,降温范围为:其他绿地>公园绿地>居住区绿地>街旁绿地。研究结果对城市规划建设、改善城市生态环境和减缓城市热环境效应等具有参考价值。

【关键词】:城市绿地;热环境效应;景观指数;遥感

【中图分类号】:X16 **【文献标志码】:**A **【文章编号】:**1005-8141(2017)08-0954-04

1 引言

随着我国经济发展、城市化水平不断提高,城市生态系统面临着越来越大的压力。由钢筋混凝土组成的不透水面不断扩大,加上大量的人为热量进入城市空气,造成了城市热量累积,影响了城市居民的生理和心理健康,严重降低了人们的生活质量。大量研究表明^[1-6],城市绿地能有效缓解城市热环境效应,而合理规划和增加城市绿地是缓解城市热环境效应的有效手段。目前,对城市热环境效应的研究主要有两种方法,传统方法是利用地面气象站观测的气象数据来分析城市的热环境效应。例如,何萍^[7]等利用楚雄市近五年的气象数据研究了楚雄市热岛强度的时空分布特征及其影响机理;刘伟东^[8]等利用1971—2010年的年均一体化京津冀地区的气温数据分析了北京、石家庄和天津热岛效应的多尺度时间变化特征。由于气象观测站空间分布的局限性,不利于研究城市热环境效应的空间分布特征。近年来,计算机技术和遥感技术的迅猛发展,极大地促进了城市绿地对热环境影响的研究。大气校正法、分裂窗算法、单通道算法等反演算法的提出^[9-11],有利于大范围获取地表温度,而且精度很高。例如,杨朝斌^[12]、李瑶^[13]等利用Landsat8OLI/TIRS数据反演了地表温度并分析了城市热岛的空间分布特征与下垫面之间的关系,表明基于遥感数据的反演地表温度用于城市热环境研究具有合理性和高效性。

研究表明,城市绿地所在的区域是城市建成区中的“冷岛区域”^[14-18]。国内外学者开展了一系列城市绿地改善城市热环境

¹ 收稿日期:2017-06-20; 修订日期:2017-07-19

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:41371125);四川省教育厅项目(编号:16ZB0061)。

第一作者简介:房力川(1993-),男,重庆市梁平人,硕士研究生,主要从事土地利用与评价研究。

通讯作者简介:潘洪义(1980-),男,河北省唐山人,博士,副教授,主要从事土地利用与评价研究。

的研究，从不同角度阐释了城市绿地对周边热环境的调节作用，但这些研究普遍集中于研究区中具有代表性的大型绿地斑块，宏观上研究了城市绿地斑块对周边热环境的影响^[19-22]，而从城市中不同类型、大小不同的绿地斑块分别分析其降温效果和辐射范围的研究较少。本文选取成都市绕城高速范围内作为研究区域，利用成都市高清影像人工解译出的城市绿地分布数据，基于大气校正法进行地表温度反演，选用城市绿地景观参数(斑块周长、斑块面积、形状指数和植被覆盖度)与城市绿地地表平均温度进行相关性分析，并以每个绿地斑块做缓冲区分析，分析了不同类型的绿地斑块降温辐射范围，以期成都市城市绿地建设和布局提供理论支持与数据参考。

2 研究区概况

绕城高速位于成都中心，介于 102° 54′—102° 53′E、30° 05′—31° 26′N 之间，属中亚热带湿润季风气候区，降水集中在夏秋季节，年降水量 900—1300mm，年平均温 16℃左右。成都市行政区划包括金牛区、武侯区、成华区、锦江区和青羊区的大部分，新都区、高新区、温江区、龙泉驿区、郫都区和双流区的一部分，总面积约 540. 713km²，占全市建成区面积的 53. 71%。其中，城市绿地面积 157. 45km²，占研究区总面积的 29. 12%。

3 数据与方法

3. 1 数据获取与处理

本文选用 2014 年 8 月 13 日的 Landsat80LI/TIRS(轨道号 129/39)单期遥感影像，基于大气校正法，利用 TIRS 传感器波段 10 反演地表温度；利用成都市高清影像图，人工解译出绿地分布数据(图 1，见封二)，按照《城市绿地分类标准》CJJT85—2002 和成都市中心城区的实际情况，将城市绿地分为公园绿地、街旁绿地、居住区绿地和其他绿地(包括农用地、小型农家乐和特殊用地)，共获得斑块 951 个(表 1)。

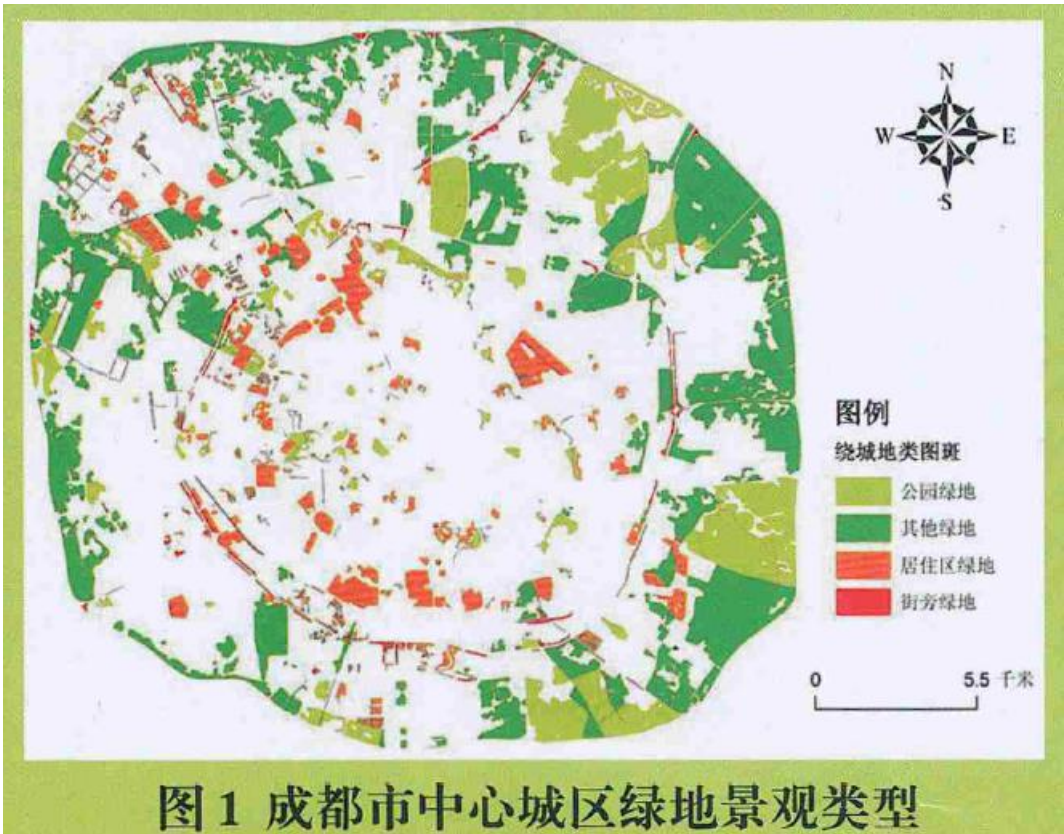


表 1 城市绿地斑块统计信息

斑块类型	斑块数量 (个)	总面积 (km ²)	面积占比 (%)	最大面积 (km ²)	最小面积 (km ²)	平均面积 (km ²)
公园绿地	99	37.35	23.72	5.3708	0.0005	0.3773
居住区绿地	298	23.68	15.04	1.7696	0.0009	0.0795
街旁绿地	292	5.18	3.29	0.1420	0.0009	0.0178
其他绿地	262	91.23	57.95	7.0728	0.0042	0.3482

由表 1 可知，成都市的其他绿地面积占绝对优势，面积占比达 57.95%；其次为公园绿地，面积占比为 23.81%，两者总面积共计占绿地总面积的 81.67%。从斑块总体来看，公园绿地相较其他三类绿地的数量最少，但面积却占较大比例，表明公园绿地的平均斑块面积最大；相反，街旁绿地斑块数多但面积占比最少。公园绿地、居住区绿地和其他绿地这三种绿地类型的面积波动存在显著差异，其中其他绿地的面积波动最大，面积极差达 7.0686km²，而街旁绿地的面积波动范围最小。

3.2 地表温度反演

本文选用大气校正法，根据电磁波的辐射传输理论，卫星传感器接收到的热红外辐射亮度值 L_λ 由三部分组成：黑体辐射亮度、大气下行辐射亮度和大气上行辐射亮度。表达式为：

$$L_\lambda = [\varepsilon B(T_s) + (1 - \varepsilon) L_\downarrow] \tau + L_\uparrow \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中， ε 为地表比辐射率； τ 为大气在热红外波段的透过率。黑体辐射亮度 $B(T_s)$ 的计算公式为：

$$B(T_s) = [L_\lambda - L_\uparrow - \tau(1 - \varepsilon) L_\downarrow] / \tau \varepsilon \quad \dots\dots\dots (2)$$

根据普朗克函数，地表真实温度 (K) T_s 的计算公式为：

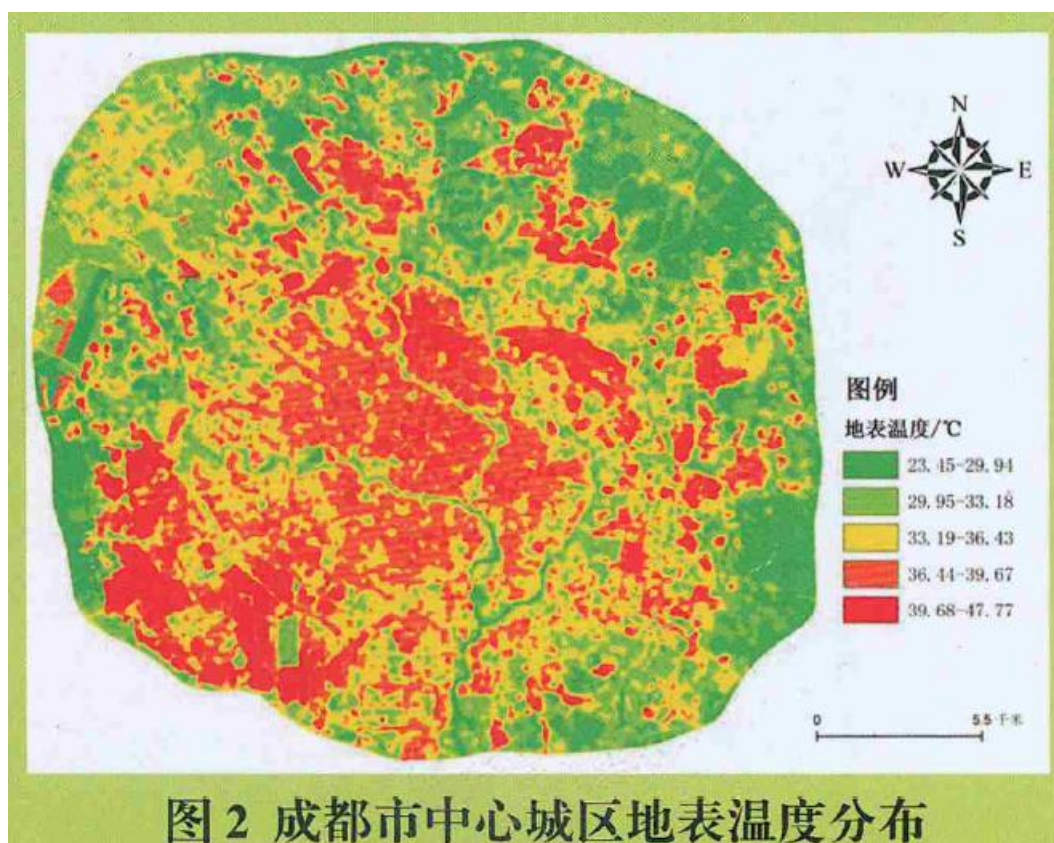
$$T_s = K_2 / \ln(K_1 / B(T_s) + 1) \quad \dots\dots\dots (3)$$

因此，对于 Landsat8 TIRS Band10， $K_1=774.89W/(m^2 \times \mu m \times sr)$ ， $K_2=1321.08k$ 。

4 结果分析

4.1 地表温度反演

根据式 (1) 一式 (3) 进行地表温度反演，得到成都市中心城区地表温度分布图 (图 2，见封二)。城市绿地对周边的热环境影响较大，结果见图 1 和图 2。根据反演结果，成都市中心城区的最高温度为 47.77℃，最低温度为 23.45℃，平均温度为 32.33℃。高温区主要分布在成都市三环路以内和西南部，这里主要为城市建成区和工业区；低温区主要分布在成都市中心城区的周围公园、湿地生态区和周边绿化较高的区域。从整体效果看，成都市的城市绿地具有明显的降温效果。



4. 2 土地覆被类型与地表温度关系分析

利用 ArcGIS10. 2 中的分区统计功能，分别统计成都市不同土地覆被类型图斑的最高温度、最低温度和平均温度(图 3)。不同土地覆被类型的地表温度存在显著的差异性。成都市其他绿地、公园绿地、街旁绿地和居住区绿地与不透水面的平均温度分别相差 3. 06℃、2. 94℃、1. 2℃和 0. 96℃，居住区绿地和街旁绿地两种下垫面类型共同的特点是植被稀疏、绿化薄弱、分布零散，因此两者对城市热环境的减缓作用不显著。

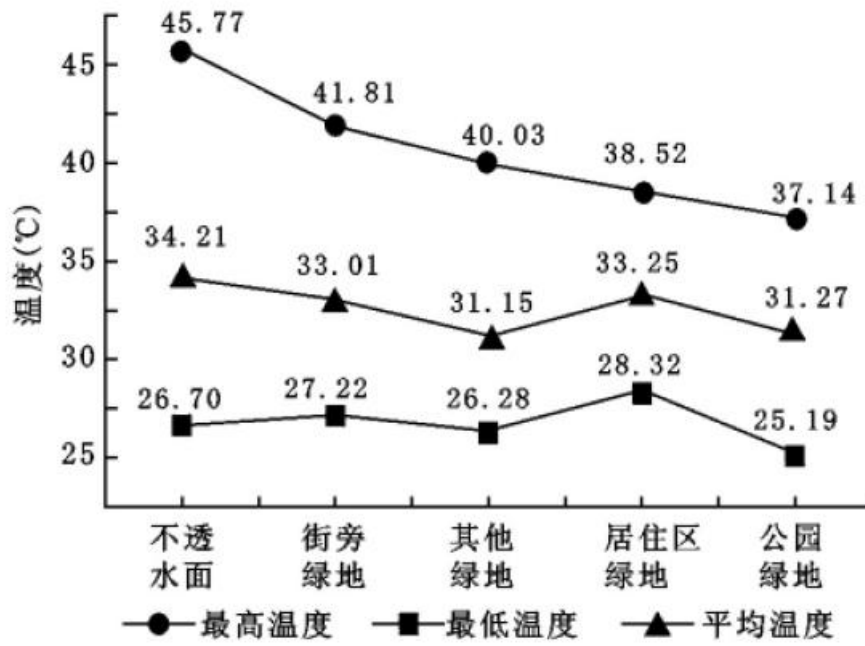


图3 研究区不同土地覆被类型的地表温度

4.3 绿地斑块与地表温度相关性分析

由于街旁绿地和居住区绿地对周边热环境的缓解效果不明显，所以本文选取降温效果相对明显的公园绿地和其他绿地进行分析，用其斑块的周长、面积、形状指数和植被覆盖度与其斑块内部的平均温度进行 Pearson 相关分析，同时进行多种函数拟合，并选择拟合效果最好的函数进行回归分析。

斑块周长与平均温度的相关性:成都市公园绿地和其他绿地的周长与其平均温度的相关系数分别为 -0.485 ($P < 0.01$)和 -0.376 ($P < 0.01$)，负相关性较大，拟合效果见图4。从图4可见，斑块周长与平均温度的相关性拟合度很高，表明绿地斑块周长越大，斑块的内部最低温度就越低。

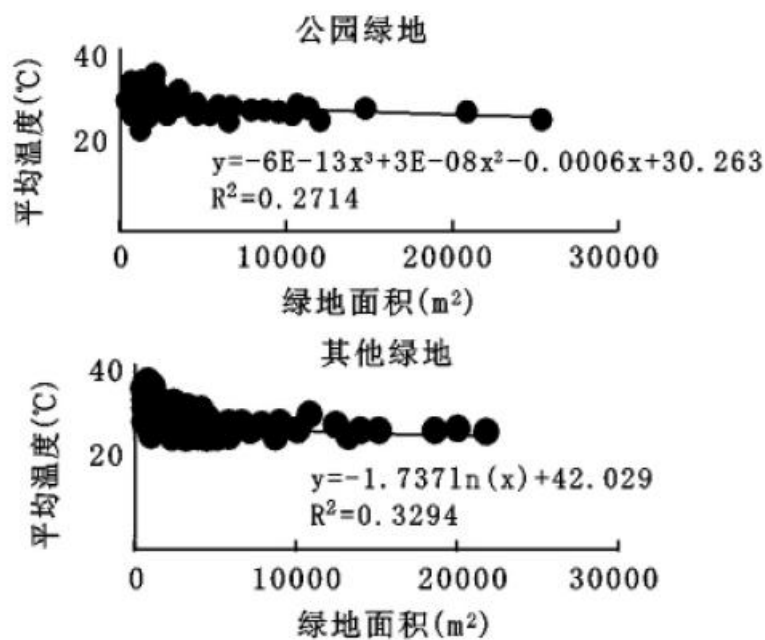


图4 城市绿地斑块周长与平均温度的回归分析

斑块面积与平均温度的相关性:公园绿地和其他绿地的面积与其平均温度的相关系数分别为 -0.444 ($P < 0.01$) 和 -0.256 ($P < 0.01$), 呈现出较强的负相关性, 拟合效果见图5, 拟合度很高, 表明绿地斑块面积越大, 斑块的内部最低温度就越低。

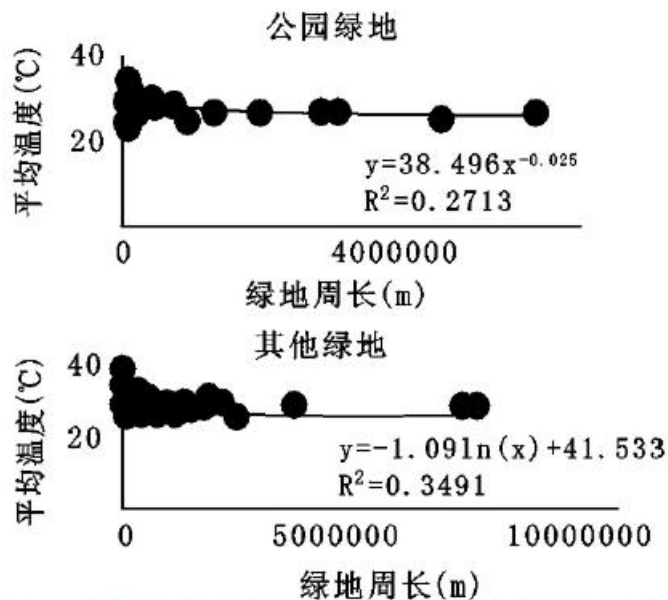


图5 城市绿地斑块面积与平均温度的回归分析

斑块形状指数与平均温度的相关性:斑块形状指数是通过计算某一斑块形状与相同面积的圆或正方形的偏离程度来测量斑块形状的复杂程度^[23]。形状指数是反映斑块形状的重要景观参数, 斑块指数越大, 表明斑块形状越复杂或越扁长, 斑块内部的能量越能与周边的环境进行交流。成都市公园绿地和其他绿地两种城市绿地类型的斑块形状指数与其平均温度的 Pearson 相关系数分别为 -0.008 ($P < 0.01$) 和 -0.128 ($P < 0.01$), 相关性都非常低, 且拟合度也很低(图6), 不具有明显的统计相关性。

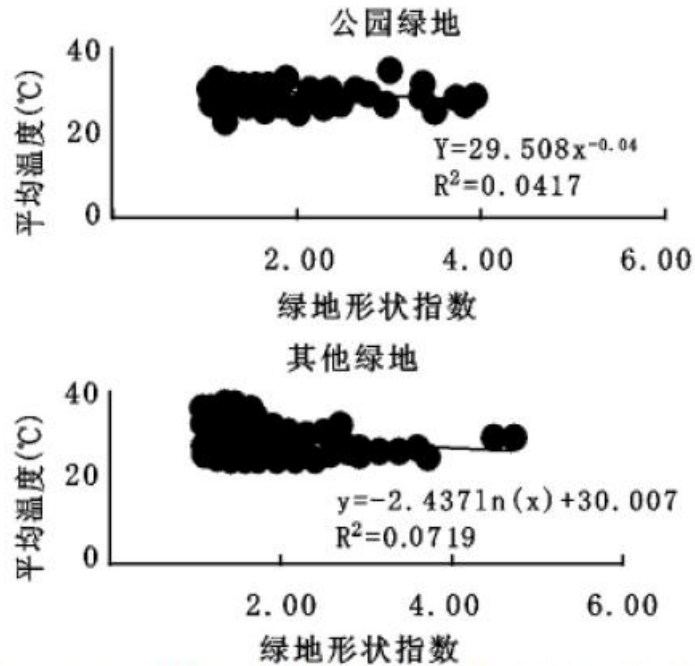


图6 城市绿地斑块形状指数与平均温度的回归分析

斑块植被覆盖度与平均温度的相关性:植被覆盖度是指单位面积内植被地上部分在地面的垂直投影面积占统计区总面积的百分比^[24]。采用 Landsat8OLI/TIRS 遥感数据,通过定量遥感技术统计成都市中心城区的植被覆盖度和热环境的空间分布规律,探讨它们的空间相关性能很好地反应城市绿地与其周围热环境之间的关系。公园绿地和其他绿地的植被覆盖度与其平均温度的相关系数分别为 -0.351 ($P<0.01$)和 -0.299 ($P<0.01$),呈现出明显的负相关性,但从图7可见,公园绿地植被覆盖度与其平均温度的拟合度较高,而其他绿地的拟合度却很低。这是因为其他绿地这种地类斑块内部下垫面成分单一且绿化度很高,而公园绿地内部的下垫面成分非常复杂,包含了大量的人工建筑物。结果表明,公园绿地的植被覆盖度越高,其内部温度越低。

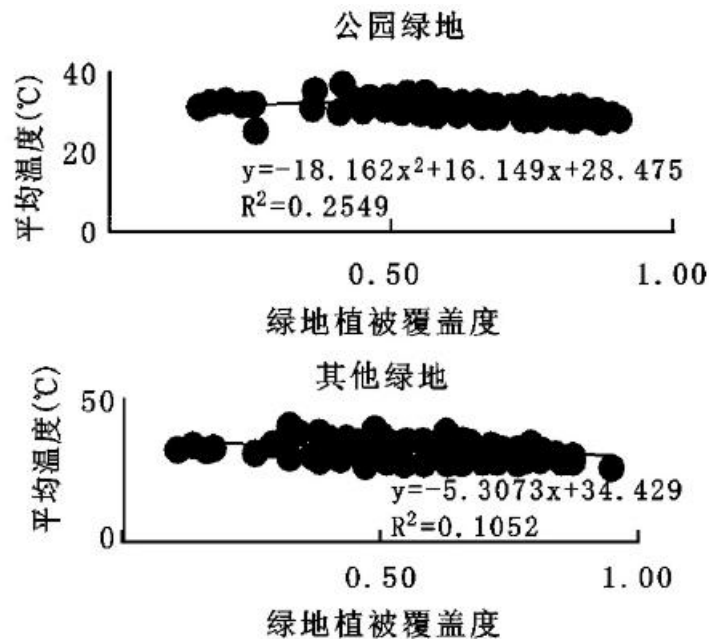


图7 城市绿地植被覆盖度与平均温度的回归分析

4. 4 绿地对周边热环境影响距离分析

栾庆祖^[19]、梁保平^[25]等在研究绿地对周边热环境影响距离时采用的是缓冲区分析方法,选择的单个缓冲区距离分别为 100m 和 60m,但研究对象均为研究区中典型的大型园林绿地,与本文的绿地类型有较大差异。经过反复试验,最终选择对各个绿地斑块以 10m 为间距进行缓冲区分析。我们将城市绿地斑块边界以外 0—10m、10—20m、20—30m、30—40m、40—50m 划分成 5 个空间范围的缓冲区,利用 ArcGIS10. 2 软件中的空间统计功能与地表温度进行空间叠置,得到所有缓冲区内的温度统计值,并将所有缓冲区内的温度统计值进行对比分析,定量分析城市绿地对周边热环境的降温效应(表 2)。

表 2 城市绿地及缓冲区内地表温度统计

绿地类型	公园绿地	居住区绿地	其他绿地	街旁绿地
M	31.27	33.25	31.15	33.01
A	31.52	33.62	31.71	33.16
A - M	0.25	0.37	0.56	0.14
B	31.51	33.84	32.13	33.23
B - A	0.22	0.22	0.42	0.08
C	31.73	34.01	32.52	33.35
C - B	0.22	0.17	0.39	0.12
D	31.88	34.13	32.84	33.44
D - C	0.15	0.12	0.32	0.09
E	32.07	34.28	33.11	33.54
E - D	0.19	0.15	0.27	0.10

注:M 为不同绿地类型斑块缓冲区内的平均温度;A 为 0—10m 缓冲区内的平均温度;B 为 10—20m 缓冲区内的平均温度;C 为 20—30m 缓冲区内的平均温度;D 为 30—40m 缓冲区内的平均温度;E 为 40—50m 缓冲区内的平均温度。

根据 HUANG^[26]等人的研究,本文将相邻缓冲区之间的温度差值 $\geq 0.3^{\circ}\text{C}$ 时定义为受绿地影响的缓冲区。但本文是基于不同大小和类型的绿地斑块做缓冲区分析,与 HUANG 的研究差距较大,因此将相邻缓冲区之间的温度 $\geq 0.2^{\circ}\text{C}$ 的缓冲区距离定义为该类型绿地的有效降温辐射范围:①在 0—10m 缓冲区内,降温幅度最大的是其他绿地,降温效果为 0.56°C ;其次为居住区绿地和公园绿地,降温效果分别为 0.37°C 和 0.25°C ,街旁绿地降温效果不明显。②在 10—20m 缓冲区内,其他绿地降温幅度最大,达 0.42°C ,公园绿地和居住区绿地的降温效果一般,降温为 0.22°C ,街旁绿地的降温效果仍不明显。③在 20—30m 缓冲区内,其他绿地的降温幅度最大,为 0.39°C ,公园绿地降温幅度其次,为 0.22°C ,街旁绿地和居住区绿地的降温效果不明显。④在 30—40m 缓冲区和 40—50m 缓冲区内,其他绿地的降温效果最明显,分别为 0.32°C 和 0.27°C ,公园绿地、居住区绿地和街旁绿地的降温效果均不明显。

5 结论与建议

5. 1 结论

根据反演结果,成都市中心城区确实存在局部热岛环境,高温区主要分布在城市中心建成区和西南部工业区,低温区主要分布在城市公园和城市周边绿化较高的区域。主要降温效果表现为:①不同城市绿地类型的降温效果存在显著差异。其他绿地和公园绿地的降温效果最佳,平均降温效果分别达到了 3.06℃和 2.94℃,街旁绿地和居住区的降温效果则不明显,平均降温效果仅分别为 1.2℃和 0.96℃。②降温效果显著的其他绿地和公园绿地两种绿地类型内部的平均温度与斑块的周长、面积和植被覆盖度具有较强的负相关性,而与形状指数的相关性较弱。其他绿地内部的平均温度与周长、面积和植被覆盖度的 Person 相关系数分别为-0.376、-0.256 和-0.299,公园绿地内部的平均温度与其周长、面积和植被覆盖度的 Person 相关系数分别为-0.485、-0.444 和-0.351。③在所有城市绿地类型中,降温辐射范围为:其他绿地>公园绿地>居住区绿地>街旁绿地。其他绿地的有效降温辐射范围为大于 50m,公园绿地为 40m,居住区绿地为 30m,街旁绿地小于 10m。

5.2 建议

为了更好地缓解城市热环境效应,应采取以下对策:①在中心城区和西南部工业区加强公园绿地建设,同时在城市扩展过程中尽量减少对其他绿地的占用。②在城市公园建设中应提高绿化建设质量,选取优势树种,以增加公园内部的植被覆盖度,同时减少人工建筑来降低不透水面的比例。③增大城市绿地斑块平均面积。整体上,成都市城市绿地景观破碎度较高,小型绿地斑块占有绝对优势,影响了城市绿地景观的降温功能。今后成都市应加强对大型绿地公园的建设力度,同时创造条件对现有绿地进行整合,使其成为城市绿地景观,对城市周边热环境起到缓解作用。

参考文献:

- [1] 高凯,秦俊,胡永红. 城市居住区景观绿化格局改善热环境变化的遥感分析[J]. 生态环境学报,2012,21(3): 464 — 469.
- [2] 张昌顺,谢高地,鲁春霞,等. 北京城市绿地对热岛效应的缓解作用[J]. 资源科学,2015,37(6): 1156 — 1165.
- [3] 邱海玲,朱清科,武鹏飞. 城市绿地对周边建设用地的降温效应分析[J]. 中国水土保持科学,2015,13(1): 111 — 117.
- [4] 陈旭,李霖,王江. 城市绿地对热岛效应的缓解作用研究——以台州市为例[J]. 生态环境学报,2015,24(4): 643 — 649.
- [5] 李京忠,薛冰,刘永涛. 基于 TM 的城市热岛效应研究及其应用探讨——以许昌市为例[J]. 水土保持研究,2011,18(4): 88 — 96.
- [6] 邸苏闯,吴文勇,刘洪禄,等. 城市绿亮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[J]. 地球信息科学学报,2012,14(4): 481 — 489.
- [7] 何萍,李矜霄,矣永正,等. 城市化对云南高原楚雄市今年来城市热岛效应影响研究[J]. 干旱区地理,2016,39(4): 687 — 694.
- [8] 刘伟东,尤焕玲,孙丹. 1971—2010 京津冀大城市热岛效应多时间尺度分析[J]. 气象,2016,42(5): 598 — 606.
- [9] McMillin L M. Estimation of Sea Surface Temperature from Two Infrared Window Measurements with Different

Absorption [J]. Journal of Geophysical research, 1975, 20: 5113 — 5117

[10] 甘甫平, 陈伟涛, 张绪教, 等. 热红外遥感反演陆地地表温度研究进展 [J]. 国土资源遥感, 2006, (67): 6 — 11.

[11] 覃志豪, Zhang Minghua, Arnon Karnieli 等. 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 — 466.

[12] 杨朝斌, 何兴元, 张树文, 等. 基于 Landsat8 的城市热岛效益与地表因子关系研究——以长春市为例 [J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(12): 110 — 115.

[13] 李瑶, 潘竟虎. 基于 Landsat8 劈窗算法与混合光谱分解的城市热岛空间格局分析——以兰州市中心城区为例 [J]. 干旱区地理, 2015, 38(1): 111 — 119.

[14] Shashua — Bar L, Hoffman M E. Vegetation as a Climatic Component in the Design of an Urban Street: An Empirical Model for Predicting the Cooling Effect of Urban Green Areas with Trees [J]. Energy and Buildings, 2000, 31(3): 221 — 235.

[15] 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.

[16] 周廷刚, 郭达志, 基于 GIS 的城市绿地景观空间结构研究——以宁波市为例 [J]. 生态学报. 2003. 23(5): 901 — 907.

[17] 陈永生, 徐小牛, 张前进. 合肥城市绿地系统的景观生态评价 [J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(12): 1536 — 1541.

[18] 杨瑞卿, 薛建辉. 城市绿地景观格局研究——以徐州市为例 [J]. 人文地理, 2006, 89(3): 14 — 18.

[19] 栾庆祖, 叶彩华, 刘勇洪, 等. 城市绿地对周边热环境影响遥感研究——以北京为例 [J]. 生态环境学报, 2014., 23(2): 252 — 261.

[20] 张宇, 陈龙乾, 王雨辰, 等. 基于 TM 影像的城市地表温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.

[21] 王宏博, 李丽光, 赵仔淇, 等. 基于 TM/ETM+ 数据的沈阳市各区城市热岛特征 [J]. 生态学杂志, 2015, 34(1): 219 — 226.

[22] 王勇, 李发斌, 李何超, 等. RS 与 GIS 支持下城市热岛效应与绿地空间相关性研究 [J]. 环境科学研究, 2008, 21(4): 81 — 87.

[23] 邬建国. 景观生态学—格局、过程、尺度与等级 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2014: 107.

[24] Gitelson A A, Kaufman Y J, Stark R, et al. Novel Algorithms for Remote Estimation of Vegetation Fraction

[J] . Remote Sensing of Environment, 2002, 80(1) : 76 — 87.

[25] 梁保平, 马艺芳, 李晖. 桂林市典型园林绿地与水体的降温效应研究 [J] . 生态环境学报, 2015, 24(2) : 278 — 285.

[26] Huang Y J, Akbari H, Taha H, et al. The Potential of Vegetation in Reducing Summer Cooling Loads in Residential Buildings [J] . Journal of Climate and Applied Meteorology, 1987, 26(9) : 1103 — 1116.