

快速发展的中小城市地表热环境及 水体温度调控作用研究

——以山东省滨州市为例

王琳¹, 祝亚鹏¹, 卫宝立¹, 李永华²

(1. 中国海洋大学 环境科学与工程学院, 山东 青岛 266100; 2. 滨州市水利局, 山东 滨州 256600)

摘要: [目的] 调查研究山东省滨州市城区的地表热环境和水体对温度的调节作用及影响因素, 为城市水体布局规划提供科学依据。[方法] 利用 2009, 2014 年的 Landsat 影像, 使用单窗算法反演地表温度并进行归一化以分析不同用地类型地表温度分布特征, 通过在温度测线上布设温度点的方法和水体特征统计, 分析水体对温度的调节作用及影响因素。[结果] ①夏季地表温度表现为: 建筑用地 > 耕地 > 林地 > 水体, 冬季耕地 > 林地 > 建筑用地 > 水体, 夏冬季平均热等级表现为: 建筑用地 > 耕地 > 林地 > 水体。②水体温度调节作用与距离表现出较强的非线性关系。③大面积水体有更好的降温效果; 在面积相同的条件下, 多个小面积水体将比单一大面积水体有更大的温度调节面积。④ 水体周边非建筑用地比例增加会提高水体降温影响范围。⑤水体面积较小时, 周长面积比越小, 则水体降温影响范围越大。[结论] 滨州市城区水体的温度调节作用与距离表现出较强的非线性关系, 并受到水体面积、边界复杂性和周围用地构成的影响。

关键词: 城市热环境; 温度调控; 水体; 滨州市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)02-0102-08

中图分类号: X24

文献参数: 王琳, 祝亚鹏, 卫宝立, 等. 快速发展的中小城市地表热环境及水体温度调控作用研究[J]. 水土保持通报, 2018, 38(2): 102-109. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2018. 02. 017. Wang Lin, Zhu Yapeng, Wei Baoli, et al. Surface thermal environment and water temperature regulation of rapidly growing small and medium-sized cities[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(2): 102-109.

Surface Thermal Environment and Water Temperature Regulation of Rapidly Growing Small and Medium-sized Cities

— Exemplified by Binzhou City of Shandong Province

WANG Lin¹, ZHU Yapeng¹, WEI Baoli¹, LI Yonghua²

(1. College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao, Shandong 266100, China; 2. Binzhou Water Conservancy Bureau, Binzhou, Shandong 256600, China)

Abstract: [Objective] This study investigated the surface thermal environment and water temperature regulation of Binzhou City, and its influencing factors as well, and to provide scientific basis for urban layout planning of water. [Methods] Using Landsat image of 2009 and 2014 years, Mono-Window Algorithm was used to reverse the surface temperature and to analyze the surface temperature distribution characteristics of different land types, and to analyze the regulation effect and the influencing factors of water body temperature by laying temperature points on the temperature line and the water characteristic statistics. [Results] ① In summer and winter, building land had the highest temperature than cultivated land, woodland and water body had in terms of the average thermal grade. ② The temperature regulation effect by waterbody showed strong non-linear relation with the distance from it. ③ Large area water body was observed having better cooling effect. As water area is the same, temperature regulated area by small but many water bodies was larger than that of single large water bodies had. ④ The proportional increase of non-building land around

收稿日期: 2017-07-24

修回日期: 2017-11-17

资助项目: 山东省省级水利科研及技术推广项目“基于地理信息技术城市雨水综合利用研究”(SDSLKY201312)

第一作者: 王琳(1966—), 女(汉族), 山东省潍坊市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事水资源利用和水污染控制、环境规划与管理研究。
E-mail: lwangouc@126.com。

the water body increased the range of water cooling. ⑤ A small water body having longer circumference as compared with the large one, and the range of water cooling is proportionally greater. [Conclusion] The relationship between temperature regulation function and distance of Binzhou water body showed a strong non-linear relationship. The cool effect was affected by the proportion of water body, the complexity of boundary and the surrounding land.

Keywords: urban thermal environment; temperature regulation; water body; Binzhou City

与其他土地利用类型相比,水体具有较大的热惯性和热容量值、较低的热传导性和热辐射率,这些因素使城市水域具有较低的地表温度,成为城市热环境的“冷岛”^[1]。张小飞^[2]基于 ETM⁺影像反演深圳市地表温度,统计各土地类型地表温度,结果发现水域的温度在 7 种土地类型中最低,比建设用地的地表温度低了 3.14 ℃。Song^[3]研究了北京地表温度与地物类型的关系发现,水域温度为 39.03 ℃,与植被地表温度接近,在 6 种土地类别中最低;城市水域根据其面积大小及区位,不同程度的影响局地的环境温度。Sun^[4]研究了北京市 6 环内 197 个水体温度调节强度和温度调节效应与水体面积、水体位置、水体形状指数和水体温度影响范围内建设用地比例的关系,研究发现温度调节强度与水体面积和水体温度影响范围内建设用地比例正相关,与水体形状指数和水体与城市中心距离负相关。当城市发展到一定规模再重视城市水体的保护和恢复将大大增加成本,而且效果有限。滨州市城区城市化发展迅速,包括水体在内的土地利用类型变化显著,当前水体的建设与修复和城市发展同步进行,研究城区城市化过程中水体温度调节作用,可为城市水体布局优化提出决策建议,也可为其他城市的发展提供参考和借鉴。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

滨州市城区位于山东省滨州市,地理坐标介于东经 117°52'56"—118°4'27",北纬 37°17'27"—37°26'09",占地总面积 178.96 km²,位于暖温、半干旱季风性气候区,气候温和、四季分明,光照充分,雨热同期。2002 年滨州市委市政府实施的“六纵五横”战略中的 14 条河流以及“72 湖”中的 47 个湖泊位于城区。收集的遥感影像资料为季相一致、质量较好,少云无云,

完全覆盖滨州市的 2009 年 8 月 30 日成像的 Landsat 5 数据、2009 年 12 月 28 日成像的 Landsat 7 数据、2014 年 9 月 13 日和 2014 年 1 月 25 日成像的 Landsat 8 数据,以及 2009 和 2014 年的 Quickbird 影像(分辨率为 0.61 m)。其中 Landsat 影像用于地表温度反演,同季节间获取时间间隔为半个月,气候相似,满足进行横向对比精度的需要^[5-6],经过几何校正、辐射定标、大气校正等预处理以减少误差,提高精度;Quickbird 影像仅用于目视解译土地类型,同年份即可。

1.2 研究方法

1.2.1 单窗算法 选用反演所需参数少、精度高^[7-9]的单窗算法对地表温度进行反演^[10]。

$$T_s = \frac{1}{C} \{ a(1-C-D) + [b(1-C-D) + C+D] \times T_{\text{sensor}} - D \cdot T_a \} \quad (1)$$

式中: T_s ——地表温度(K); a, b ——根据热辐射强度和亮温拟合出来的系数,地表温度介于 0~30 ℃时, a 的取值为 -60.326 3, b 的取值为 0.434 36^[10]; T_a ——大气平均作用温度(K); C, D ——中间变量; T_{sensor} ——卫星遥感观测到的亮度温度(K),计算公式为^[11]:

$$C = \varepsilon \tau \quad (2)$$

$$D = (1 - \tau) [1 + (1 - \varepsilon) \tau] \quad (3)$$

$$T_{\text{sensor}} = K_2 / \ln(K_1 / L_\lambda + 1) \quad (4)$$

$$L_\lambda = \frac{DN \times (L_{\text{max}} - L_{\text{min}})}{255} + L_{\text{min}} \quad (5)$$

式中: ε, τ ——热红外波段地表比辐射率和大气透过率; T_a, ε 和 τ 的计算方法见参考文献^[11-12];DN——像元灰度值; $L_{\text{max}}, L_{\text{min}}$ ——最大、最小热辐射通量,从不同像幅的记录参数中查找^[11], K_1, K_2 ——常数,取值与传感器有关^[13](详见表 1)。

表 1 热辐射通量和常数 K 取值

项目	$L_{\text{max}} / (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1})$	$L_{\text{min}} / (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1})$	$K_1 / (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1})$	K_2 / K
Landsat5	15.303	1.237 8	607.76	1 260.56
Landsat7	17.04	0	666.09	1 282.71
Landsat8	22.001 8	0.100 33	774.89	1 321.08

1.2.2 水体温度测线布置 城区城市建设用地构成复杂,高大建筑阴影、公路两边绿化带、水体等都会对地表温度产生影响,如果不排除这些因素的影响,将增加水体温度调节作用研究难度,从而无法准确获得研究结果。因此研究采用沿线选取温度点的方法,以水体边界以外 1 000 m 作为研究范围,利用 TM 遥感影像和 Quikbird 影像,对中海、白鹭湖、蒲城水库、太阳湖—彩虹湖周边环境进行鉴别,以水体边界以外均质区作为主要研究区域,在研究区域内布置温度测线,测线尽量选在温度变化平缓的地带,避开如工厂等温度骤然变高的异常点,在测线上合理选择温度点,以 30 m 为间隔,并将不可避免的异常点剔除。

1.2.3 水体温度调节影响因素探究 影响水体温度调节作用的因素主要有水体面积、水体周围用地构成

和水体形状^[4,14-15]。分析影响水体温度调节作用的影响因素对于城市水体的规划设计具有实质性的指导意义。城区面积超过 $1.00 \times 10^4 \text{ m}^2$ 的水体斑块共有 61 个(编号为 1—61)以 61 个水体斑块为研究对象,统计各水体斑块对周围温度调节作用的影响范围和强度,探讨水体面积、周围用地构成和水体形状对水体温度调节作用的影响。

2 结果与分析

2.1 不同用地类型地表温度分布特征

地表温度反演结果如图 1 所示。地表温度反演结果与气象站实测数据(所用仪器为曲管地温表)在坐标 $37^{\circ}21'5.94''\text{N}$, $117^{\circ}58'40.68''\text{E}$ 的对比结果详见表 2,确保反演精度。

表 2 实测地表温度与反演温度对比

项目	20090830(10:37)	20091228(10:39)	20140913(10:48)	20140125(10:43)
实测温度/K	299.3	274.5	304.8	280.9
反演温度/K	299.8	274.9	305.5	281.4

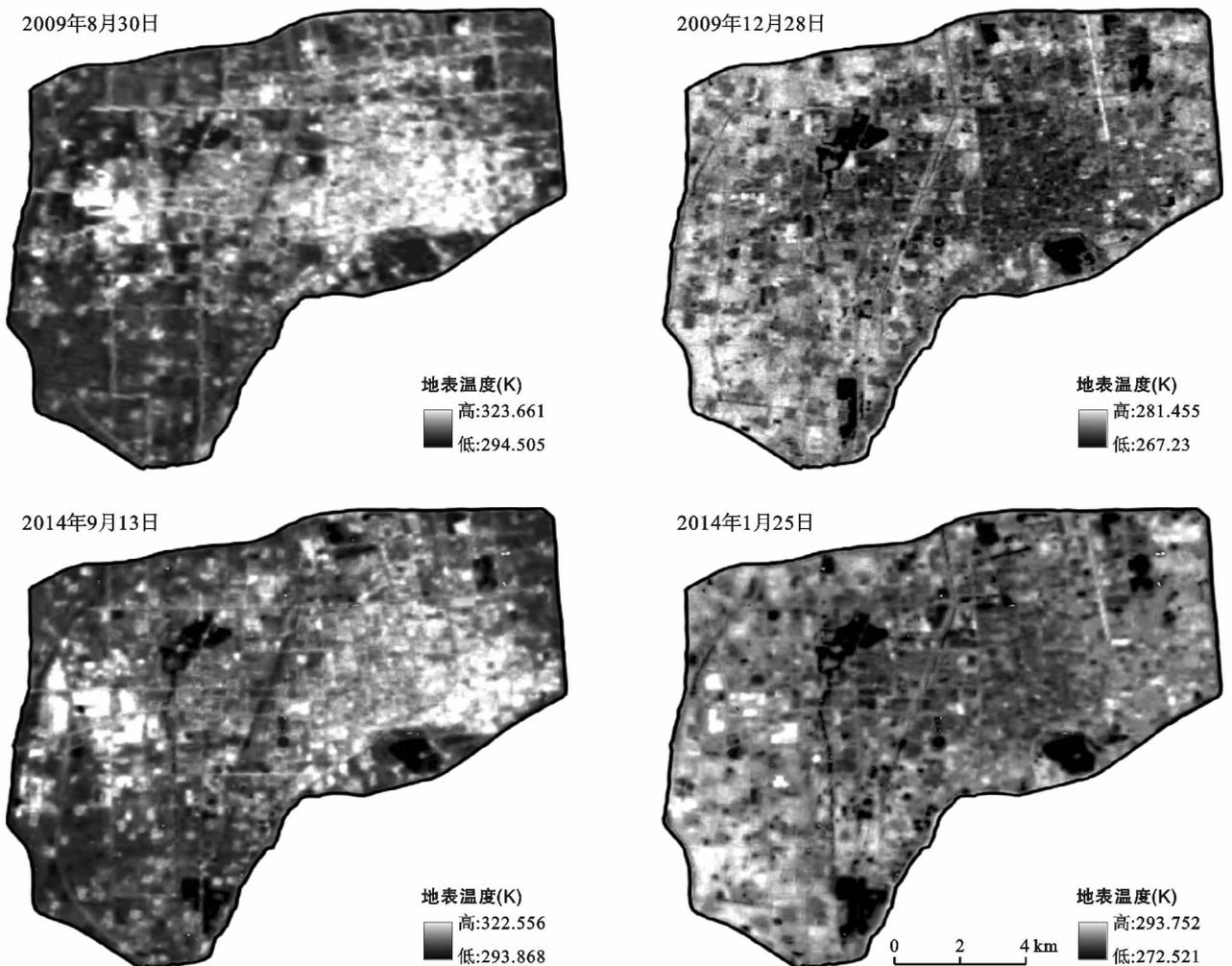


图 1 2009—2014 年研究区地表温度

图 1 中冬季有水体分布的区域温度最低,此外,城郊温度总体上反而高于市中心温度,即冬季冷岛效应。这是因为在冬季,乔灌木、灌木、草坪和铺装白昼期间具有保温作用^[16](研究中冬季卫星过境时间分别为早上 10:39 和 10:43);且郊区地面裸露土壤较为干燥,蒸发量较小,其升温速度高于城区地表;此外城区污染物对太阳辐射有散射和吸收作用,很大程度削弱了到达地表的太阳辐射^[17-18];还与中海、蒲湖、太阳湖、白鹭湖等水体对温度的调节作用有关,是水体热容量导致的^[19],后文将具体分析。不同地表物质的热辐射性质有较大差异,基于 TM 影像使用分层分类的方法^[20]获取城市下垫面的土地利用分类结果,结合反演得到

的地表温度,研究地表温度与下垫面类型之间的相关关系,比较水体与其他类型景观温度分布差异。

根据所选数据的可解译性,将研究区下垫面类型依次分为:建筑用地(住房、公共设施用地、工业用地、交通用地等),水体,耕地和林地,得到 2009 和 2014 年不同用地类型地表温度统计结果(表 3)。为了进一步探讨地表温度分布规律,便于统计分析,将单一时相的地表温度最高值与最低值的差值 5 等分,对应低温、较低温、中温、次高温和高温,分别赋值 1,2,3,4,5 共 5 个级别。将地表温度等级赋值后与土地利用分类结果叠加,统计不同用地类型地表温度级别范围和均值,结果详见表 3。

表 3 研究区不同用地类型地表温度统计

时间	土地覆被	最低温度/K	最高温度/K	平均温度/K	标准差	平均热等级
夏季 (20090830)	建筑用地	296.00	323.66	303.03	2.75	3.09
	水体	294.51	301.98	297.46	1.23	1.20
	耕地	295.36	322.83	299.10	1.57	1.60
	林地	294.71	308.40	298.09	1.51	1.29
冬季 (20091228)	建筑用地	267.23	281.46	274.73	1.25	2.74
	水体	268.87	277.47	271.34	1.07	1.10
	耕地	268.67	280.50	276.10	1.20	3.80
	林地	271.66	279.41	275.97	0.96	3.73
夏季 (20140913)	建筑用地	295.18	322.56	303.76	2.71	2.88
	水体	293.87	309.86	297.68	1.76	1.08
	耕地	296.32	315.18	300.92	1.37	1.80
	林地	297.05	312.80	300.49	1.31	1.62
冬季 (20140125)	建筑用地	274.66	289.68	281.51	1.42	3.31
	水体	272.52	285.59	275.97	1.99	1.25
	耕地	274.95	293.75	282.39	1.41	3.87
	林地	275.80	286.34	282.32	1.33	3.84

2009 年夏季和 2014 年夏季各用地类型地表平均温度排序依次为:建筑用地>耕地>林地>水体。2009 年夏季水体与建筑用地、耕地、林地的温差分别为 5.57,1.64 和 0.63 K;建筑用地平均热等级明显高于耕地和林地,水体平均热等级在 4 种用地类型中最低。2014 年夏季水体与建筑用地、耕地、林地的温差分别为 6.08,3.24 和 2.81 K,均高于 2009 年温差;建筑用地热平均等级最高,水体最低,耕地和林地分列 2,3 位;与 2009 年相比,建筑用地和水体热平均等级均有所降低,耕地和林地热平均等级增加。2009 和 2014 年冬季各用地类型地表平均温度排序依次为:耕地>林地>建筑用地>水体。2009 年耕地和林地地表温度接近,两者相差 0.13 K,建筑用地与耕地温差为 1.37 K,水体温度与耕地相差较大,为 4.76 K;耕地和林地热平均等级接近 4,达到了次高温的等

级,建筑用地热平均等级为 2.74,处于中温水平,水体热平均等级为 1.10,属于低温区。2014 年耕地和林地地表温度仅相差 0.07 K,建筑用地地表温度与耕地温差减小为 0.88 K,水体与耕地的温差进一步增大为 6.42 K;耕地和林地热平均等级达到次高温水平,建筑用地平均热等级有所提升,超过 3,属于中温区,水体热平均等级变化不大,仍属于低温区。由此可见,不同用地类型在冬季表现出与夏季不同的地表温度分布特征,尤其是建筑用地变化明显;水体温度在夏季和冬季都是最小值;林地温度在夏季仅高于水体,在冬季略低于耕地。

2.2 水体温度调节作用分析

通过以上分析发现,夏季水体温度明显低于其他用地类型温度。此外,水体对城市局地热环境具有缓解和调节作用^[14,21]。以水体作为主要研究对象,分析

城市水体对其周边区域温度的调节作用。将城区建设用地边缘的中海、白鹭湖、蒲城水库、太阳湖—彩虹湖及各水体周边的防护带作为研究对象,分析水体对城市建设用地温度调节作用。统计各水体温度测线上温度点的数据,分析地表温度与距水体边界距离的关系,结果如图 2 所示。

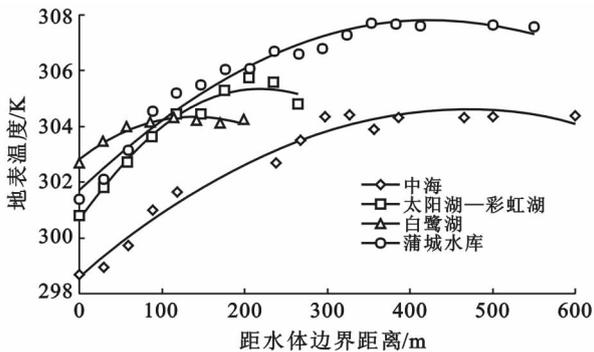


图 2 距水体边界不同距离地表温度分布特征

如图 2 所示,各水体周边建筑用地地表温度均表现出随着与水体边界距离的增加而上升的趋势,当距离达到一定值时,地表温度变化出现拐点,地表温度趋于稳定。这一现象说明城市水体对周边环境具有温度调节作用,且温度调节作用具有一定的影响范围;各水体周边环境地表温度拐点出现距离的不同说明不同水体的温度调节作用具有不同的影响距离。中海和蒲城水库周围环境地表温度变化曲线表现出相近的特征,与水体边界的距离在 0~200 m 时,地表温度增加幅度较大,200~400 m,地表温度呈现缓慢的增加趋势,400 m 之后地表温度趋于稳定。太阳湖—彩虹湖周围环境与水体边界的距离在 0~180 m,地表温度增加幅度接近,180 m 之后地表温度趋于稳定。当与白鹭湖边界的距离在 0~110 m 时,地表温度增加幅度较大,110~170 m,地表温度缓慢增加,170 m 之后地表温度趋于稳定。为进一步分析水体对其周边环境的温度调节作用,以周围环境地表温度与水体边界温度差值(ΔT)为因变量,以水体周边温

度点与水体边界距离为自变量,进行对数拟合,拟合结果详见表 4。

表 4 水体温度调节作用与远离水体距离拟合多项式

水体	对数多项式	R^2
中海	$y=2.075 \ln(x)-6.945$	0.953 3
蒲城水库	$y=2.059 \ln(x)-6.186 5$	0.972 8
太阳湖—彩虹湖	$y=1.975 \ln(x)-5.887 9$	0.972 1
白鹭湖	$y=0.506 \ln(x)-0.842 3$	0.918 9

周围环境地表温度和水体边界处的温差与距离的相关系数均大于 0.9,其中中海、蒲城水库、太阳湖—彩虹湖的相关系数超过了 0.95。由此说明,水体的温度调节作用与距离表现出较强的非线性关系。分析发现,相关系数超过 0.97 的蒲城水库和太阳湖—彩虹湖位于老城区边缘,所选温度点位于老城区内,而老城区建筑密集,绿地和水体较少,下垫面较为均质,地表温度受其他因素的干扰较少,因此水体温度调节作用与距离相关性较强。中海位于新城区边缘,新城区有大量的绿化用地、水体和高大建筑,绿化用地、水体和高大建筑的阴影都会影响地表温度分布,从而影响了水体温度调节作用与距离的相关性。白鹭湖周围建设用地分散,被耕地、林地和水体分割,这成为影响水体温度调节作用与距离相关性的因素。

2.3 水体温度调节作用影响因素

2.3.1 水体斑块特征 水体斑块的面积、周长及其边界复杂性是衡量斑块特征的重要指标。按照面积大小、周长和边界复杂性(周长面积比)统计水体斑块特征,结果详见表 5。由表 5 可知,城区水体斑块特征差异显著,无论是面积、边界长度,还是复杂性都有明显差异。面积最大的中海加上其周边的绿化用地,面积达到了 3.45 km²,最小的水体斑块面积为 10 800 m²。中海及其周边绿地构成的区域边界长度最长,达到了 9.79 km,而面积最小的水体斑块对应的边界长度最短,仅为 420 m。水体面积处于第 2 位的蒲城水库的复杂性最低,周长面积比仅为 0.002 467,复杂性最高的水体斑块周长面积比为 0.092 20。

表 5 城区水体斑块特征统计

项目	水体总数	最小值	最大值	平均值	标准偏差
斑块面积/m ²	61	10 800.00	3 498 240.00	179 001.63	602 202.10
边界长度/m	61	420.00	9 793.55	1 376.63	1 742.66
周长面积比	61	0.002 467	0.092 20	0.034 54	0.014 85

2.3.2 水体面积对温度调节作用的影响 选择周长面积比接近且周围用地构成相似的水体斑块,分析面积大小对水体温度调节作用的影响。通过分析,选择

57,58,60,61 号水体进行水体面积对温度调节作用的影响研究,各水体的特征详见表 6。利用在温度测线上布设温度点的方法,分别统计各水体对周边建筑

用地的降温作用(结果如图 3 所示)。由图 3 可见水体降温效果随距离增加而减弱,直至温度趋于稳定。

表 6 57,58,60,61 号水体特征统计

水体编号	水体面积/ m ²	周长 面积比	周边主要 用地类型	建筑用地占水体 影响范围比
57	742 011	0.005 343	建筑用地	0.88
58	3 498 240	0.002 800	建筑用地	0.84
60	2 833 590	0.002 467	建筑用地	0.76
61	331 663	0.008 301	建筑用地	0.88

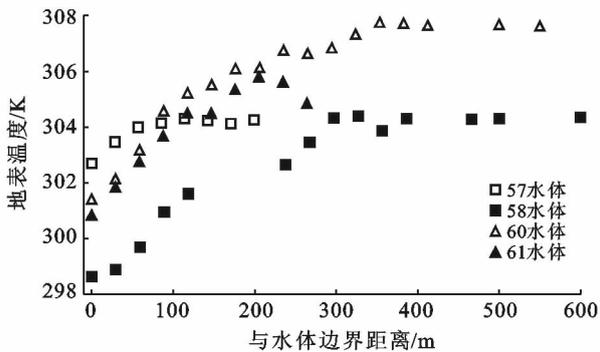


图 3 地表温度随与水体边界距离变化

降温影响范围最大的是水体 60,降温距离为 353 m,同时水体 60 降温幅度最大,最大降温为 6.33 K,而水体 60 的面积分别是水体 57,61 面积的 3.82 和 8.56 倍。降温影响范围和降温幅度排在第 2 位的是水体 58,分别为 327 m 和 5.75 K,而水体 58 面积分别是水体 57,61 面积的 4.71 和 10.53 倍。水体 57,61 的降温影响范围都较低,降温幅度水体 61 远高于 57。可见面积大小会影响水体降温影响范围和降温幅度,尤其当水体面积差距较大,这种现象更明显。对比水体 57 与水体 61,前者面积是水体 61 面积的 2.24 倍,但降温影响范围却更小。水体 58 与水体 60 面积相近,但前者降温影响范围和降温幅度均低于后者。这表明水体大小接近时,水体面积不是影响降温范围和降温幅度的决定因素。在 ArcGIS 中以水体为基准,以图 3 统计的水体降温范围向外辐射统计面积,水体 57,58,60,61 的温度调节面积分别为 615 457.05,3 415 742.18,2 415 468.25,579 762.58 m²。水体 60,61 位于老城区边缘,前者面积是后者的 8.56 倍,而温度调节面积前者仅为后者的 4.17 倍,可见分散在城区的大面积水体的温度调控效率不见得高于小面积水体。综上所述,大面积水体具有更大的降温影响范围和幅度,但降温效果与面积增长不成正比,比如水体面积增加一倍,降温影响范围和幅度的增长是达不到 1 倍的。此外降温效果还会受到其他因素影响。

2.3.3 水体周围用地构成对温度调节作用的影响
分析水体面积、水体周长面积比和周边用地构成,选择水体 8,9,10,19 和 55,分析水体周围用地构成对温度调节作用的影响。各水体特征详见表 7。

表 7 8-10,19,55 号水体特征统计

水体编号	水体面积/ m ²	周长 面积比	周边主要 用地类型	建筑用地占水体 影响范围比
8	23 999	0.031 62	建筑用地	0.946 0
9	18 156	0.041 28	建筑用地	0.721 0
10	24 402	0.036 43	建筑用地	0.468 0
19	19 439	0.031 72	建筑用地	0.840 8
55	21 286	0.036 20	建筑用地	0.602 4

所选水体周围主要用地类型为建筑用地,建筑用地比例从 0.468 0~0.946 0 不等,而各水体的面积和周长面积比接近。分别统计水体周围建筑用地与水体边界不同距离处的地表温度,结果如图 4 所示。由图 4 可见,各水体降温幅度由高到低排序为:水体 8>水体 19>水体 10>水体 9>水体 55。而水体 8 和水体 19 周边建设用地比例和降温幅度也都排在前列,可见水体周边建筑用地比例会影响水体的降温幅度,水体周边建筑用地比例越高,则水体对周围环境的降温幅度越大。水体降温影响范围由高到低排序为:水体 10>水体 9>水体 55>水体 19>水体 8。水体 10 周边建筑用地的比例仅为 0.468 0,而水体 10 的降温影响范围达到了 223 m,超过排在第 2 位的 9 号水体 43 m。降温影响范围排在后 3 位的水体 55,19,8 建筑用地占比逐步增大。由此表明,水体周边用地构成会影响水体温度调节范围,水体周围非建设用地比例增加将提高水体降温影响范围。

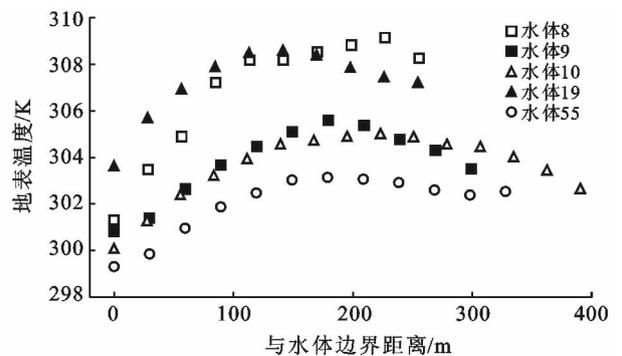


图 4 地表温度随与水体边界距离变化

2.3.4 水体形状对温度调节作用的影响
周长面积比是体现景观斑块形状的重要指标,其值越大的斑块说明形状越复杂,选择水体形状有较大差异的水体,

分析水体形状对温度调节作用的影响。所选水体为水体 28 与 38, 水体 12 和 水体 48。水体 28 与 38 面积接近, 分为 1 组; 水体 12 与 48 面积接近, 为 1 组 (表 8)。分组统计水体周围建筑用地与水体边界不同距离上的地表温度, 结果如图 5 所示。水体 28 周围环境地表温度先随着与水体边界距离的增加而升高, 到达一定距离, 地表温度趋于稳定, 之后随着距离的增加又继续升高; 水体 38 周围环境地表温度随着与水体边界距离的增加而升高, 到一定距离地表温度达到峰值, 之后地表温度随着距离增加而降低。根据这一规律确定水体 28 降温影响范围是 118 m, 水体 38 降温影响范围为 147 m。分别以 118 和 147 m 作为缓冲区边界, 建立水体降温影响范围缓冲区, 在 ArcGIS 中统计出水体 28, 38 降温影响面积分别为 150 754, 139 857 m²。水体 28 面积是水体 38 面积的 1.21 倍, 但降温影响范围仅有 1.08 倍。水体 12, 48 周围环境地表温度变化趋势相似。一定范围内, 地表

温度随着与水体边界距离的增加而升高, 达到峰值后, 地表温度随着距离增加而降低。将温度峰值作为水体降温影响范围的边界, 水体 12 和 水体 48 降温影响范围分别为 107 和 137 m。同理得出水体 12, 48 降温影响面积分别为 119 157, 139 884 m²。水体 48 面积和降温影响范围分别是水体 12 的 0.997 和 1.17 倍。水体 28, 12 都为狭长河段, 与水体 38, 48 相比, 面积大降温范围却没有增加, 同面积降温范围却更小, 可见, 水体宽度窄 (周长面积比大), 则水体降温半径和降温影响范围小。

表 8 28, 38, 12, 48 号水体特征统计

水体编号	水体面积/m ²	周长面积比	周边主要用地类型	建筑用地占水体影响范围比
28	17 462.20	0.052 05	建筑用地	0.643 7
38	14 430.80	0.033 95	建筑用地	0.613 8
12	21 790.80	0.038 78	建筑用地	0.733 8
48	21 730.00	0.027 20	建筑用地	0.797 5

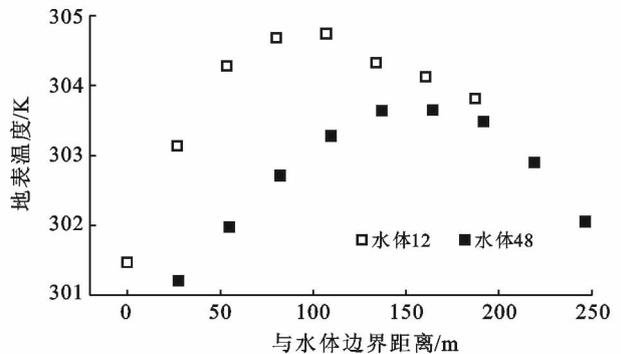
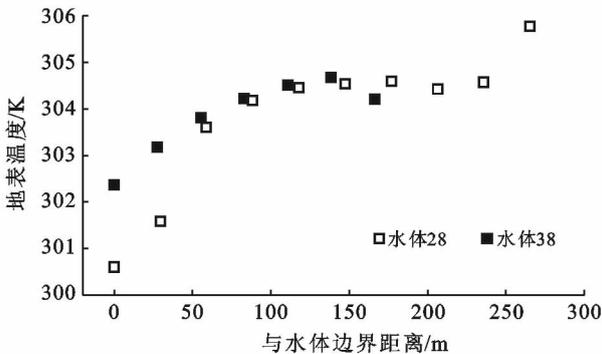


图 5 地表温度随与水体边界距离变化

3 结论

(1) 2009 和 2014 年夏季各用地类型地表平均温度排序依次为: 建筑用地 > 耕地 > 林地 > 水体, 冬季耕地 > 林地 > 建筑用地 > 水体, 不同用地类型在冬季表现出与夏季不同的地表温度分布特征。

(2) 分析位于城区边缘的中海、蒲城水库、太阳湖—彩虹湖和白鹭湖周围环境水体温度调节作用, 结果表明水体周围环境地表温度随着与水体边界距离增加而升高, 超过一定距离, 地表温度趋于稳定; 构建环境地表温度与水体边界处地表温度温差和远离水体边界距离的对数多项式, 并计算其相关系数, 各水体相关系数均大于 0.9, 其中前 3 者均超过 0.95, 表明水体温度调节作用与距离表现出较强的非线性关系。

(3) 选择周长面积比和周围用地构成接近但面

积有较大差异的水体 57, 58, 60 和 61, 分析水体斑块大小对温度调节作用影响, 统计发现在面积相同的条件下, 多个小面积水体将比单一大面积水体有更大的温度调节面积。

(4) 选择水体面积和周边面积比接近, 而水体周围用地构成具有较大差异的水体 8, 9, 10, 19, 55 为对象, 分析水体周围用地构成对温度调节作用的影响, 发现水体周边建筑用地比例会影响水体降温幅度, 总体趋势是水体周围建筑用地比例越高, 则水体的降温幅度越大; 水体周边非建筑用地比例增加会提高水体降温影响范围。

(5) 选择水体面积和周长面积比接近, 形状具有较大差异的水体 28 与 38, 水体 12 与 48, 分为 2 组, 分析水体形状对温度调节作用的影响。结果表明, 水体面积较小时, 周长面积比越小, 则水体降温影响范围越大。

[参 考 文 献]

- [1] 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.
- [2] 张小飞,王仰麟,吴健生,等. 城市地域地表温度—植被覆盖定量关系分析:以深圳市为例[J]. 地理研究,2006,25(3):369-377.
- [3] Song Juer, Du Shihong, Feng Xin, et al. The relationships between landscape compositions and land surface temperature: Quantifying their resolution sensitivity with spatial regression models[J]. Landscape & Urban Planning. 2014,123(1):145-157.
- [4] Sun Ranhao. How can urban water bodies be designed for climate adaptation[J]. Landscape & Urban Planning. 2012,105(1/2):27-33.
- [5] 马安青,马冰然,张震,等. 1990—2010年青岛地区热环境与土地利用变化的时空关系[J]. 水土保持通报,2015,35(4):182-187.
- [6] 刘培,杜培军,赵卫常,等. 基于多时相遥感影像分析的城市土地利用/覆盖变化与热环境演变:以徐州市为例[J]. 水土保持通报,2009,29(1):45-50.
- [7] 丁凤,徐涵秋. TM热波段图像的地表温度反演算法与试验分析[J]. 地球信息科学,2006,8(3):125-130.
- [8] 蒋大林,匡鸿海,曹晓峰,等. 基于Landsat8的地表温度反演算法研究:以滇池流域为例[J]. 遥感技术与应用,2015,30(3):448-454.
- [9] 毛文婷,王旭红,祝明英,等. 城市地表温度反演及其与下垫面定量关系分析:以西安市为例[J]. 山东农业大学学报:自然科学版,2015(5):708-714.
- [10] 覃志豪, Zhang Minghua, Arnon K, 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.
- [11] 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,2003,15(2):37-43.
- [12] 张春玲,余华,宫鹏,等. 基于遥感的土地利用空间格局分布与地表温度的关系[J]. 遥感技术与应用,2008,23(4):378-384.
- [13] Schneider K, Mauser W. Processing and accuracy of Landsat Thematic Mapper data for lake surface temperature measurement[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996,17(11):2027-2041.
- [14] 苏泳娴,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.
- [15] 徐丽华,岳文泽. 城市公园景观的热环境效应[J]. 生态学报,2008,28(4):1702-1710.
- [16] 吴菲,朱春阳,李树华. 北京市6种下垫面不同季节温湿度变化特征[J]. 西北林学院学报,2013,28(1):207-213.
- [17] 徐祥德. 城市大气环境观测工程技术与原理[M]. 北京:气象出版社,2003.
- [18] 王欣,卞林根,逯昌贵. 北京市秋季城区和郊区大气边界层参数观测分析[J]. 气候与环境研究,2003,8(4):475-484.
- [19] 刘勇洪,轩春怡,权维俊. 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.
- [20] 李晓明,常庆瑞,张仁慧. 农牧交错地带土地利用分层分类方法研究:以靖边县为例[J]. 干旱地区农业研究,2010,28(5):237-240.
- [21] 冯晓刚,石辉. 基于遥感的夏季西安城市公园“冷效应”研究[J]. 生态学报,2012,32(23):7355-7363.