

DOI: 10.5846/stxb201407151437

庞新坤, 孙然好. 城市公园景观秋冬季动态热效应. 生态学报, 2015, 35(12): 4196-4202.

Pang X K, Sun R H. Diurnal variations of landscape thermal effect in city parks from the later autumn to early winter. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(12): 4196-4202.

城市公园景观秋冬季动态热效应

庞新坤^{1,2}, 孙然好^{2,*}

1 西南大学地理科学学院, 重庆 400715

2 中国科学院生态环境研究中心, 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

摘要: 在北京市 3 个公园中选择裸地、道路、林地、草地 4 种主要景观类型, 通过 2013 年 10 月、11 月、12 月的实地监测数据, 定量揭示不同景观类型地表温度、近地表空气温度和湿度的日间变化特征, 并分析日间温湿度的均值、幅度大小、空气湿湿度的匹配程度。4 种景观类型日间地表和空气温度均呈单峰变化趋势, 裸地、道路、林地、草地的地表温度最高值分别出现在 14:00、12:00、14:00、12:00, 空气温度最高值则都在 14:00, 相对湿度最大值出现在 8:00, 最小值在 14:00。从日间均值来看, 地表温度为裸地>道路>草地、林地, 裸地的日均空气温度最高, 4 种景观的相对湿度差异不显著。从日间变化幅度来看, 所有景观类型的地表温度均明显大于空气温度, 尤其是裸地和道路的日间变化比林地和草地更加明显。通过定量分析 4 种景观类型的日间热环境动态变化, 可以为城市热环境改善、景观设计和生态规划提供科学依据。

关键词: 城市公园; 热环境; 景观格局; 景观设计

Diurnal variations of landscape thermal effect in city parks from the later autumn to early winter

PANG Xinkun^{1,2}, SUN Ranhao^{2,*}

1 College of Geography Science, Southwest University, Chongqing 400715, China

2 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

Abstract: The urban landscape pattern is increasingly changed as cities replace their natural land cover with impervious surfaces, buildings, and other infrastructure. The impacts of landscape changes have become a growing concern particularly for the ecosystem service in recent decades. It is well-known that city parks could provide multiple ecosystem services including temperature regulation services in different seasons. Some thermal characteristics of city parks may directly contribute to the degree of comforts for the mankind, such as the land surface temperature (LST), near-surface air temperature (NAT), and relative humidity (RH). Generally, landscape types and pattern in parks are responsible for the extent and degree of local thermal effects. In this study, three city parks were selected to analyze the diurnal variations of thermal effects in Beijing. We measured LST, NAT, and RH in the grassland, forest, road, and bare land for three months from the later autumn to early winter. The study aims to assess the variations of LST, NAT, and RH as well as their relationships among different landscape types. The results showed that: (1) the lowest LST and NAT are at 8:00 whereas the highest values are different according to the types of landscape. The highest values of LST and NAT are at 14:00, 12:00, 14:00, 12:00, respectively. The relative humidity reaches its lowest value at 14:00 (2) In the daytime, the decreasing orders of mean LST, NAT, and RH are bare land>road>grassland≈forest, bare land>forest≈grassland=road, grassland≈road≈forest≈bare land, respectively. The LST and NAT are increasing with the decreasing RH for all

基金项目: 国家自然科学基金项目(41471150;41230633); 城市与区域生态国家重点实验室自主项目(SKLURE2013-1-02)

收稿日期: 2014-07-15; **修订日期:** 2015-01-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: rhsun@cees.ac.cn

landscape types. (3) The maximum difference in LST, NAT, and RH decrease as: bare land (13.5°C) > road (10.0°C) > grassland (7.5°C) > forest (5.9°C), bare land (7.4°C) \approx road (7.3°C) > forest (6.3°C) > grassland (5.7°C), bare land (20.8%) = road (20.8%) \approx grassland (19.5%) \approx forest (18.8%), respectively. (4) The relationship between LST and NAT are complex due to the various solar radiations in a day. Specifically, the daily variation of LST is greater than that of NAT for all the landscapes. The daily variation of LST and NAT is low in forest compared with the high variations in temperature of the grassland, bare land, and road. (5) The combination of temperature and humidity is represented by the difference between NAT and dew-point temperature. The hydrothermal environment reaches the driest and hottest conditions at 14:00. By quantifying thermal effects of different landscape types in city parks, this study can provide useful implication on the urban management to improve the thermal environment and related ecosystem services.

Key Words: urban park; thermal environment; landscape pattern; landscape design

快速的城市化进程使城市的景观格局、景观配置发生显著改变,主要表现在高大、密集建筑物取代绿色景观,不透水面取代透水性地表,这些景观类型和格局的改变使城市升温,从而作用于地表-近地表间的热力学交换过程,影响人体舒适度^[1-3],危害城市生物栖息环境^[4-5]。城市公园是重要的绿色基础设施,除了能够提供休憩娱乐、净化空气、维持生物多样性等功能外,气温调节也是其重要的生态服务功能,从而缓解城市化带来的热环境问题^[6-10]。有学者通过监测典型公园景观的小气候特征,从而比较城市热环境的动态变化^[11-13],也有学者以遥感影像为基础,从区域甚至整个城市尺度探讨公园斑块的热环境调节功能^[6,14]。现有研究多集中在夏季,对于其它季节的关注较少同时也多关注某些特殊景观类型,如林地、水体等。随着城市化快速发展,城市内部不同景观类型热环境的变化特征、演变过程以及对城市生态环境的影响也在发展变化,城市公园内部不同景观类型热环境的日间动态变化值得深入研究。

北京地区的秋末冬初,雨季之后冬季降雪之前这段时间,气温相对干燥和凉爽,是市民户外活动的最佳季节。现有研究中对北京秋冬季的热环境关注较少,它们与夏季热环境特征有何不同?现有研究定性描述多,而定量监测和研究较少,回答这些问题对于揭示城市公园气温调节功能至关重要。本文选择北京市3个典型的公园,实地监测获取林地、草地、道路、裸地4种景观类型的日间热环境数据,定量揭示地表温度、近地表温度、相对湿度的变化趋势、幅度,探讨各项指标之间的相互关系。

1 研究区域和实验方法

1.1 研究区和样点设置

研究区域选择北京市五环内的玉渊潭公园、朝阳公园、奥林匹克森林公园3个公园进行。玉渊潭公园紧邻西三环航天桥,是三环内最大的公园,院内植被覆盖率大、大型人工水体、建筑物少,周围建筑区以住宅、商业、行政为主。朝阳公园紧邻东四环,是四环内面积最大的公园,公园内植被覆盖率高,有大型人工水体,为周围居民提供休憩、游玩的场地。奥林匹克森林公园是五环内最大的公园,紧邻北五环。这3个公园位于市区,周围建筑密集,人类活动频繁,在已有城市景观热环境效应研究中受关注^[12-13,15-16]。本实验主要景观类型包括林地、草地、裸地和道路;其中裸地是公园广场、停车场,周围环境开阔;道路地表是沥青、石板,公园道路周边有乔灌木、建筑物。林地树种以杨树、栎树、银杏为主,地表材质是土地、草地或铺装地板。选取3个公园2013年10月、11月、12月3个月的3次日间测量数据进行分析。实地监测数据取值1位小数^[17]。

现场使用便携式地表红外测温仪(精度0.1°C)和Kestrel 3000手持气象仪(空气温度精度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$,分辨率0.1°C;相对湿度:精度 $\pm 3\%$)分别测量地表温度和近地表温度等。红外测温仪垂直地面10—30cm高度测量地表温度,比辐射率0.95(测量的不同类型景观比辐射率属于0.94—0.99之间,选择0.95满足要求);手持气象仪以垂直方向距地面1.5m高度测量近地表气象指标。实验30s 1次,平行重复3次,自日间8:00、10:00、12:00、14:00、16:00始依次测量各类型景观的热环境数据。

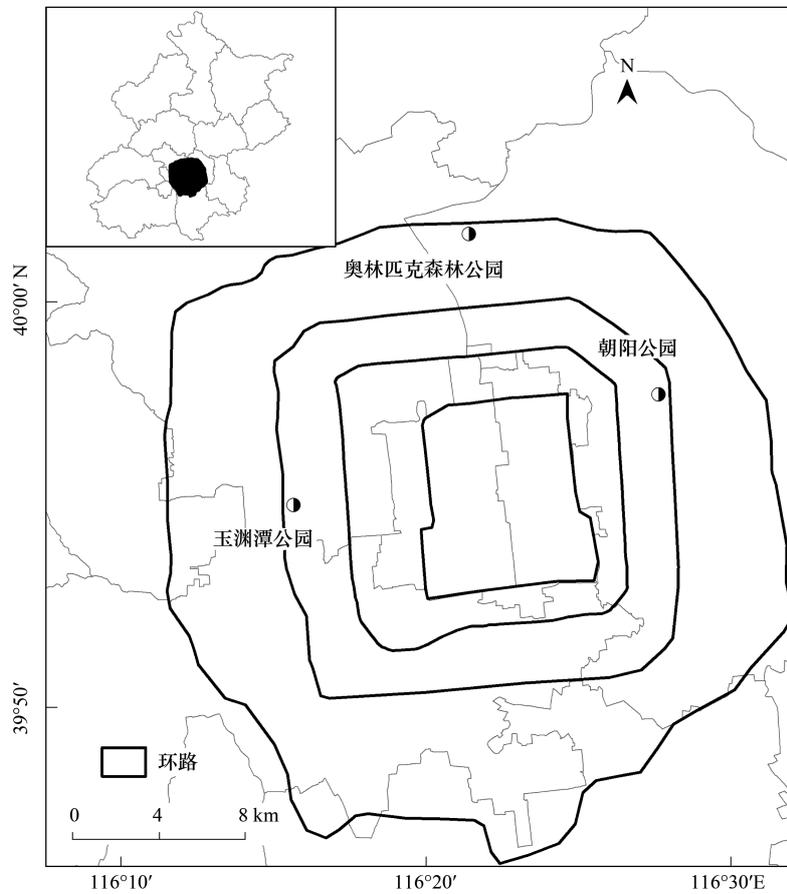


图 1 观测点位置示意图

Fig.1 Location of the observation sites in Beijing

1.2 实地监测实验的气候背景

由于不同地区的实地监测实验不能在一天内完成, 监测分成几次, 因此, 选择具有类似天气背景的时间进行野外监测。使用北京观象台的气象数据 (24 h 监测均值) 代表实验当天北京的气象条件^[18], 包括日最高气温、平均气温、最大相对湿度指标。可以看出, 尽管监测日期有差异, 但是整体的天气背景基本类似, 从而最大限度的减少不同日期监测可能造成的误差 (表 2)。

2 数据分析

2.1 不同景观类型温湿度的日间变化趋势

图 2 结果表明 8:00 的平均地表温度依次是林地 (6.0℃) > 草地 (5.6℃) > 裸地 (4.4℃) ≈ 道路 (4.3℃), 平均空气温度是裸地 (7.4℃)、草地 (7.2℃)、林地 (7.0℃)、道路 (6.1℃), 相对湿度是裸地 (48.3%)、道路 (51.4%)、林地 (48.3%)、草地 (48.3%), 4 种景观类型的空气温度大于地表温度, 相对湿度则是日间最高值, 同时发现林地、草地热环境相似, 道路、裸地温湿度状态

表 1 监测的城市公园景观特征

Table 1 Monitoring sites and landscape types

公园名称 Park name	地点 Site	编号 Number	性质 Landscape	备注 Description
玉渊潭公园	YYT-1	1	林地	树高约 5m
	YYT-2	2	裸地	石板广场
	YYT-3	3	道路	石板道路
	YYT-4	4	道路	石板道路
	YYT-5	5	草地	人工草地
朝阳公园	CY-1	6	草地	人工草地
	CY-2	7	道路	沥青马路
	CY-3	8	林地	银杏树林 (树高约 6m)
奥林匹克森林公园 (南园)	CY-4	9	裸地	石板广场
	CY-5	10	草地	人工草地
	SL-1	11	裸地	停车场
	SL-2	12	道路	沥青马路
	SL-3	13	道路	沥青马路
	SL-4	14	林地	树高约 8m
	SL-5	15	草地	人工草地

近似。10:00地表温度草地升温最快,裸地、道路地表温度相近,林地地表温度最小;经历较小幅度的变化后,4种类型景观间空气温、湿度值差异变小。12:00,地表温度大小为裸地(15.1℃)>道路(14.4℃)>草地(13.1℃)>林地(11.5℃),空气温度是裸地(13.0℃)、道路(12.7℃)、林地(12.5℃)、草地(12.3℃),4种景观气温和相对湿度值保持近似相等。14:00—16:00,景观的地表和空气温度大小是裸地>道路>林地>草地。其中,14:00各景观类型的相对湿度达到最小值,16:00相对湿度是草地(41.0%)、林地(38.1%)、道路(35.7%)、裸地(33.0%)。地表温度主要取决于吸收的辐射能量,太阳辐射对地表的非均匀性照射,使不同景观类型间地表温度存在差异;气温和相对湿度则明显地受周边景观和树木阴影影响。秋冬季,经历正午较快速的温湿度变化后,16:00林地、草地表现出明显的地表温度差异和相似的近地表热环境特征。

表 2 实地监测日期的气候背景

Table 2 The climatic conditions of field observation

日期 Date	实验地点 Location	最高气温 Max temperature/ ℃	平均气温 Mean temperature/ ℃	降水量 Rainfall/ mm	最大相 对湿度 Max relative humidity/%	最小相 对湿度 Min relative humidity/%	最大风速 Max wind velocity/ (m/s)	平均风速 Mean wind velocity/ (m/s)
2013-10-17	玉渊潭公园	18.5	11.3	0	65.0	31.0	3.0	2.0
2013-10-22	朝阳公园	18.9	11.8	0	71.0	46.0	3.0	2.0
2013-10-23	奥林匹克森林公园(南园)	16.0	10.4	0	44.0	15.0	2.0	1.8
2013-11-08	玉渊潭公园	14.3	7.7	0	55.0	33.0	2.0	1.4
2013-11-14	朝阳公园	14.8	10.2	0	28.0	15.0	3.0	2.4
2013-11-15	奥林匹克森林公园(南园)	15.5	7.1	0	44.0	16.0	3.0	2.0
2013-12-08	玉渊潭公园	10.2	4.6	0	66.0	20.0	4.0	2.3
2013-12-19	朝阳公园	1.5	-4.5	0	44.0	23.0	3.8	1.5
2013-12-22	奥林匹克森林公园(南园)	2.0	-3.3	0	52.0	27.0	2.6	1.1

2.2 不同景观类型温湿度的日间均值比较

日间平均地表温度是裸地(11.9℃)>道路(10.7℃)>林地(9.5℃)≈草地(9.4℃),平均空气温度依次是裸地(11.3℃)>林地(10.7℃)≈道路(10.6℃)=草地(10.6℃),平均相对湿度则是裸地(35.7%)、道路(38.0%)、林地(37.5%)、草地(38.3%)(图3)。地表温度主要取决于太阳辐射的吸收情况,草地吸收辐射能力差,林地遮阴阻碍地表接收太阳辐射,裸地和道路吸收太阳辐射能多,地表温度最高;空气温度的变化除受制于太阳短波辐射和地表长波辐射外,还受周围环境状况的影响。公园景观中林地、草地和道路周围的乔灌木发挥着遮阴、密闭空气的作用,裸地开阔度高,受植被和建筑物影响小,空气温度最高;日间平均相对湿度大小顺序与平均空气温度顺序相反,秋冬季裸地平均空气温度高但相对干燥,是干热环境;草地温度低而空气湿润,是湿冷环境状况。

2.3 不同景观类型温湿度的日间变化幅度

日间变化幅度定义为测量时间内温、湿度的最大值与最小值之差,揭示4种景观温度、湿度曲线的波动情况,反映其日间热环境的动态变化范围。地表温度变化幅度呈裸地(13.5℃)>道路(10.1℃)>草地(7.5℃)>

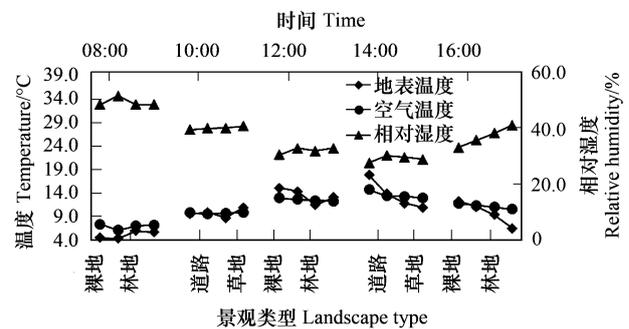


图 2 不同景观类型的温湿度日变化

Fig. 2 Diurnal changes of land surface temperature and air temperature and relative humidity at the observation sites

林地(5.9℃)(图4),公园占地面积大,环境开阔,建筑物和乔木的遮阴作用弱,景观地表温度主要受太阳辐射影响,因而地表温度变化幅度差异显著。从空气温度日间变化幅度与平均空气温度的关系看出(图3,图4),裸地、道路变化幅度相等且明显大于林地、草地;与日间均值不同,各类型景观之间相对湿度的变化幅度差异均小于3%,公园景观的相对湿度是在较小范围内波动。日间地表、空气温度的变化幅度差异明显,能更好地突出景观类型间的热环境差异;相对湿度的日间变化幅度未达到明显差异(图3,图4)。

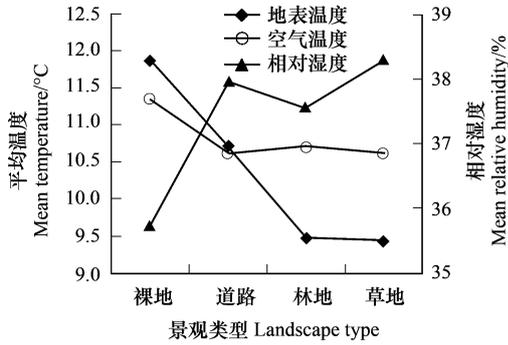


图3 不同景观类型日间温湿度均值变化

Fig. 3 Diurnal changes of the mean values of land surface temperature, air temperature and relative humidity

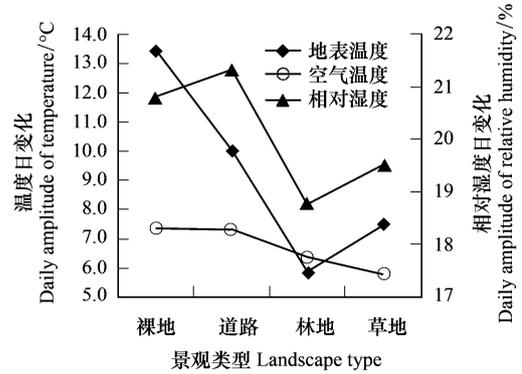


图4 不同景观类型温湿度的日较差

Fig. 4 Daily amplitude of land surface temperature, air temperature, and relative humidity

2.4 不同景观类型气象因子的关联性

地表温度和空气温度是热环境的重要内容;二者之间存在比较复杂的关系^[19],研究这一关系必须在同一时间获取地表温度和气温数据。日间地表温度和空气温度的关系可用于指示城市热环境变化^[20]。构建地表温度和空气温度的比值 ∂T (图5), $\partial T = \text{地表温度}(\text{°C}) / \text{空气温度}(\text{°C})$ 。通过分析 ∂T 曲线而更详细地探究二者间的关系。其中 ∂T 等于1时地表温度等于空气温度。分析发现:1)草地、裸地和道路的 ∂T 曲线变化相似,

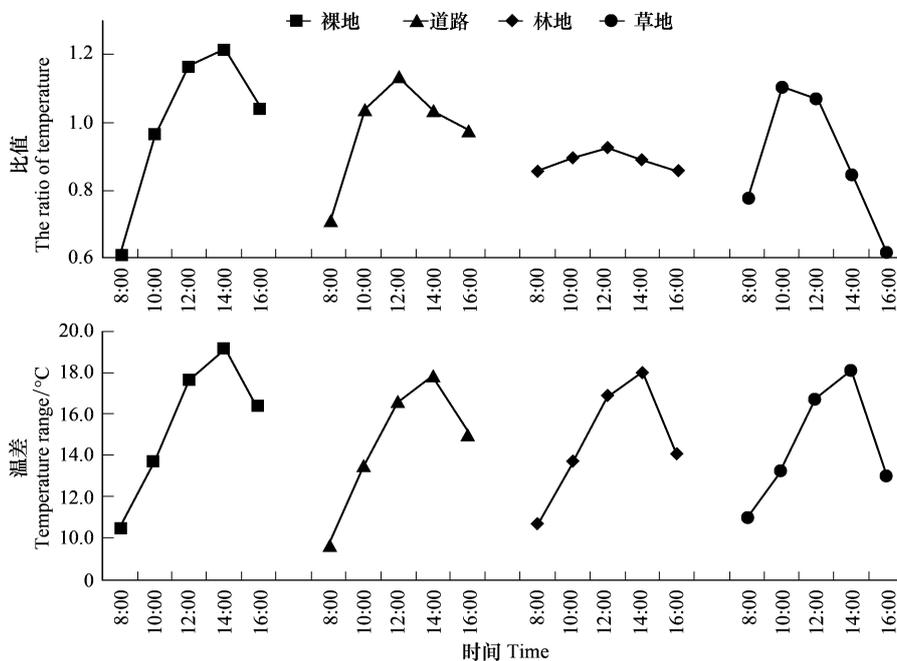


图5 不同景观类型的气象因子关系图(不同景观类型的地表温度与空气温度比值图和不同景观类型的空气温度与露点温度差异图)

Fig.5 Relationships of meteorological factors among different landscape types (the ratio of land surface and air temperature and the difference of air and dew-point temperature)

裸地的变化幅度最大,林地变化幅度最小。这主要因为林地受高大乔木的遮荫影响,减缓了地表温度和空气温度的差异性,而草地、裸地、道路周围环境相对开阔,受太阳辐射影响剧烈,因而 ∂T 变化大。2)不同景观类型 ∂T 曲线的拐点不同,说明了景观类型影响温度的升降幅度,并存在时间差异。比如,林地 ∂T 始终小于1,波动平缓;草地、道路、裸地的 ∂T 最大值依次出现在10:00、12:00、14:00。

露点温度是反映空气中水汽含量的一个重要物理量,选用空气温度和露点温度的差值(ΔT)表示不同类型景观的温湿度状况, ΔT 大表示空气干燥。发现:(1)日间4种景观类型的 ΔT 平均大小是裸地>林地>道路>草地(图5),即空气干燥程度大小依次是裸地、林地、道路、草地。温度和湿度的这种关系与景观周围环境十分相关,实验中与公园道路毗邻的大型水体增加其空气湿度,降低干燥程度。(2)5种景观类型的空气温湿度之间关系随时间变化规律相似,最高值都出现在14:00,是一天中最干热的时间点,这与地表温度、空气温度达到最高值的时间点不一致(图2)。

3 讨论

(1)从3个公园4种景观温湿度的日间均值可以看出,4种景观的热环境特征存在一定的空间差异(表3)。城区至城郊,玉渊潭公园、朝阳公园、奥林匹克森林公园的4种景观的地表温度、空气温度和相对湿度逐渐减小,林地、草地的这一现象最突出。其中,奥林匹克森林公园的裸地是停车场,受机动车放热影响而空气升温;朝阳公园裸地是广场地面,用于体育、娱乐,奥林匹克森林公园裸地空气温度均值高于朝阳公园。

表3 3个公园不同景观的日间温湿度监测平均值

Table 3 Thermal characteristics of landscapes in 3 city parks

景观类型 Landscape	实验地点 Location	地表温度 Surface temperature/°C	空气温度 Air temperature/°C	相对湿度 Relative humidity/%
裸地 Bare land	玉渊潭公园	13.1	13.1	41
	朝阳公园	12.2	9.7	37
	奥林匹克森林公园(南园)	10.3	11.2	28
道路 Road	玉渊潭公园	13.3	12.2	44
	朝阳公园	9.0	9.9	38
	奥林匹克森林公园(南园)	9.8	9.8	32
林地 Forest	玉渊潭公园	10.7	12.5	42
	朝阳公园	10.2	10.1	37
	奥林匹克森林公园(南园)	7.6	9.5	33
草地 Grassland	玉渊潭公园	12.0	12.6	44
	朝阳公园	9.0	9.8	37
	奥林匹克森林公园(南园)	7.4	9.5	33

(2)裸地、道路的日间地表温度高于空气温度,但8:00时地表低于空气温度,与林地、草地等绿色景观不同。随着气温降低,冬季景观热环境特征应当与秋季有区别。冬季,公园景观的地表受降温影响显著,裸地、道路受季节作用明显,日间出现地表温度低于空气温度,林地、草地景观的地表温度高于裸地、道路。但是,这种现象是否显著需要后续更多监测,从而获得准确的定量揭示。

(3)相对于城市夏季较高的气温背景,秋冬季气温有其自身特点。城市热环境的遥感反演多在夏季进行,且多关注区域尺度。本研究针对小尺度气象因子的实地监测,更加灵活和有针对性,能够揭示秋冬季不同景观类型的热环境空间特征和时间动态。不足之处是,移动监测方法需要多人同时完成,后续研究中可以根据现有的研究结果,提炼更加针对性的研究对象、时段和区域,从而更加高效的完成系列研究。此外,后续还要加强对公园大型水体、景观斑块大小、景观配置等因素的研究,辨识景观热环境变化的景观格局因子,从而更直接和客观的为城市景观设计和热环境优化提供科学依据。

4 结论

通过秋冬季公园的 4 种景观类型的热环境实地监测和分析,得到以下几点结论:

(1)城市公园各景观类型的地表和空气温度在 8:00 最低,但最高值的时间点不一致。裸地、道路、林地、草地的地表温度最高值点为 14:00、12:00、14:00、12:00,空气温度最高值点都出现在 14:00。日间平均地表温度为裸地和道路高于林地、草地,空气温度是裸地最高,林地、草地、道路近似相等。随着太阳辐射增强,日间 12:00 之后不同景观的热环境变化差异减小。

(2)城市公园地表温度和空气温度的关联性在不同时间段有差异。地表温度对太阳辐射反映最快,它与空气温度的比值变化受阳光辐射影响。林地地表温度和空气温度日间变化幅度差异最小,草地、裸地和道路差异最大。

(3)城市公园各景观类型的相对湿度在 14:00 最小,8:00 最高。日间监测时间内,相对湿度的逐时、均值、变化幅度没有明显的景观类型差异。空气温度与露点温度的差值反映空气温湿组合状况,日间平均值是裸地>林地>道路>草地,4 种景观类型都在 14:00 达到干热的最高值,与单纯的温度高值点不一致。

(4)通过实地监测秋冬季不同景观类型的温湿度日间变化特征,可以定量揭示地表温度、空气温度和湿度的日间变化趋势、幅度,而且裸地与道路、林地与草地之间的热环境特征存在差异;在评价公园中不同景观类型热环境特征时,地表、空气温度比相对湿度指标更合适,景观类型间的地表温度差异最明显;公园的裸地、道路地表与空气温度相互关系强于林地、草地。

参考文献 (References):

- [1] Mahmoud A H A. Analysis of the microclimatic and human comfort conditions in an urban park in hot and arid regions. *Building and Environment*, 2011, 46(12): 2641-2656.
- [2] 王菲,李树华,刘娇妹. 林下广场、无林广场和草坪的温湿度及人体舒适度. *生态学报*, 2007, 27(7): 2964-2971.
- [3] 郑敬刚,张景光,李有. 郑州市热岛效应研究与人体舒适度评价. *应用生态学报*, 2005, 16(10): 1838-1842.
- [4] Zhu Z W, Wang M. The harms and countermeasures of urban heat island effect. *Pollution Control Technology*, 2009, 22(2): 94-96.
- [5] Buyantuyev A, Wu J G. Urban heat islands and landscape heterogeneity: linking spatiotemporal variations in surface temperatures to land-cover and socioeconomic patterns. *Landscape Ecology*, 2010, 25(1): 17-33.
- [6] 苏泳娴,黄光庆,陈修治. 广州市城区公园对周边环境的降温效应. *生态学报*, 2010, 30(18): 4905-4918.
- [7] Yu C, Hien W N. Thermal benefits of city parks. *Energy and Buildings*, 2008, 38(2): 105-120.
- [8] Feyisa G L, Dons K, Meilby H. Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 123: 87-95.
- [9] Skoulika F, Santamouris M, Kolokotsa D, Boemi N. On the thermal characteristics and the mitigation potential of a medium size urban park in Athens, Greece. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 123: 73-86.
- [10] Hamada S, Ohta T. Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2010, 9(1): 15-24.
- [11] Huang L M, Li J L, Zhao D H, Zhu J Y. A fieldwork study on the diurnal changes of urban microclimate in four types of ground cover and urban heat island of Nanjing, China. *Building and Environment*, 2008, 43(1): 7-17.
- [12] 刘娇妹,杨志峰. 北京市冬季不同景观下垫面温湿度变化特征. *生态学报*, 2009, 29(6): 3241-3252.
- [13] 王喜全,王自发,郭虎. 北京“城市热岛”效应现状及特征. *气候与环境研究*, 2006, 7(5): 627-636.
- [14] 徐丽华,岳文泽. 城市公园景观的热环境效应. *生态学报*, 2008, 28(4): 1702-1710.
- [15] 王菲,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. *西北林学院学报*, 2013, 28(1): 207-213.
- [16] Yan H, Fan S X, Guo C X, Wu F, Zhang N, Dong L. Assessing the effects of landscape design parameters on intra-urban air temperature variability: The case of Beijing, China. *Building and Environment*, 2014, 76: 44-53.
- [17] 中国气象局. 地面气象观测规范. 北京:气象出版社, 2003: 129-130.
- [18] 王佳丽,张人禾,王迎春. 北京不同区域表面气温的变化特征以及北京市观象台气温的代表性. *气候与环境研究*, 2012, 17(5): 563-573.
- [19] 张金区. 珠江三角洲地区地表热环境的遥感探测及时空演化研究[D]. 广州:中国科学院研究生院, 2006: 80-87.
- [20] Schwarz N, Schlink U, Franck U, Großmann K. Relationship of land surface and air temperatures and its implications for quantifying urban heat island indicators-An application for the city of Leipzig(Germany). *Ecological Indicators*, 2012, 18: 693-704.