

DOI: 10.5846/stxb201312132951

朱春阳.城市湖泊湿地温湿效应——以武汉市为例.生态学报, 2015, 35(16): 5518-5527.

Zhu C Y. Effects of urban lake wetland on temperature and humidity: a case study of Wuhan City. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(16): 5518-5527.

城市湖泊湿地温湿效应 ——以武汉市为例

朱春阳*

华中农业大学园艺林学学院 风景园林系, 武汉 430070

摘要:选择武汉城市三环内主城区 14 块湖泊湿地为研究对象,采用小尺度定量测定的方法,研究城市湖泊湿地与温湿效应间的关系。结果表明:(1)城市湿地温度值与面积指数、距离指数呈显著负相关,与景观形状指数呈显著正相关($P < 0.05$);湿度值与面积指数、距离指数、环境类型指数呈显著正相关,与景观形状指数呈显著负相关($P < 0.05$)。其中面积指数的贡献值最大。(2)14 块湖泊湿地的降温增湿效应排序为湖泊 11—14 > 湖泊 6—10 > 湖泊 1—5。当湖泊湿地面积为 9.2—12.2 hm^2 时,其降温增湿效应明显;当湖泊湿地面积为 308.4 hm^2 左右时,降温效应显著且趋于稳定,湖泊湿地面积为 67.6 hm^2 左右时,增湿效应显著且趋于稳定($P < 0.05$)。当湖泊湿地面积达到临界值之后,多斑块离散型(Dispersive)湖泊湿地布局对整个城市环境的降温增湿效应更为显著。

关键词:城市湖泊湿地; 面积; 指数; 温度; 相对湿度

Effects of urban lake wetland on temperature and humidity: a case study of Wuhan City

ZHU Chunyang*

Department of Landscape Architecture, College of Horticulture and Forest, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract: To study the effects of urban lake wetlands with different areas (WA), geometry (landscape shape index, LSI), and location with reference to a defined city center (DIST), and surrounding a non-built-up area proportion around 500 m of wetland (PB) on air temperature and relative humidity in summer, fourteen urban lake wetlands in central areas of Wuhan were selected. The temperature and relative humidity in summer were measured using small-scale quantitative measurement methods. Furthermore, the relationships between air temperature, relative humidity of urban lake wetlands, and WA, LSI, DIST, and PB were investigated to provide a scientific background for the construction of urban lake wetlands. The results showed that (1) the air temperature was negatively correlated with WA and DIST ($P < 0.05$), and positively correlated with LSI. The air relative humidity was positively correlated with WA, DIST, and PB, and negatively correlated with LSI ($P < 0.05$). The area of the lake wetland had the greatest effect on variations in temperature and relative humidity. (2) The benefits of urban lake wetland on temperature and relative humidity were associated with the areas of fourteen lake wetlands. Furthermore, the order was lake wetlands 11—14 > lakes 6—10 > lakes 1—5. The urban lake wetlands that had an area of 9.2—12.2 ha had an obvious effect on the decrease in temperature and increase in humidity. When the area of wetland was around 308.4 ha, its effect on the decrease of temperature was stable; and for the increase in humidity, the area was around 67.6 ha ($P < 0.05$). When the urban lake wetland area reached a certain critical value, it would have an obvious effect on the decrease in air temperature and increase in humidity with dispersive lake wetlands in the

基金项目:国土资源部科研专项(201411010-03); 中央高校基本科研业务费专项资金(2013QC040)

收稿日期:2013-12-13; **网络出版日期:**2014-10-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhuchunyang@mail.hzau.edu.cn

urban environment.

Key Words: urban lake wetland; area; index; temperature; relative humidity.

城市湿地是在城市环境中、受人为干扰形成的,是城市生态系统的重要组成部分,是以自然景观为主的城市公共开放空间^[1]。城市湿地具有巨大的热容量和强烈的水分蒸发^[2],是改善城市生态环境的有效途径之一,在调节城市人居环境小气候方面发挥着重要的作用^[3-4]。城市湖泊湿地是城市湿地生态系统的重要组成部分,是镶嵌于城市建成区硬质基底中的湿地斑块,具有斑块状、分散性及功能特殊性等特点,对区域环境具有巨大的调节功能和环境效益^[5]。城市湖泊湿地不仅可以改善湿地内部环境的小气候条件,而且对周围环境也有极大的改善效应^[6]。然而在众多类型的湖泊湿地中,由于其面积、形状、位置及环境类型等的不同,所发挥的生态效应也不同。

国内外针对城市湿地的相关研究集中于以下两个方面:一方面利用卫星、航拍等资料进行效应分析。研究发现城区大面积湿地或植被的区域具有相对较低的地表温度^[7-9],距离湿地 300m 范围内影响效果显著^[10]。相关研究表明水体有效减缓城市热岛的强度和效应在一定程度上受水体面积、景观形状指数、距城区中心的距离及周边建成区比例影响^[11]。另一方面利用气象观测等资料和数值模拟进行温湿效应分析。研究表明水体的面积和布局是影响小气候效应的重要因素,水体面积越大对环境影响越大,多块、密集分布的小面积水体对环境的降温增湿效果明显^[12],分散型的水体布局对城市区域微气象环境的影响更为显著^[13]。国内外采用小尺度定点定量测定方法对城市湿地生态环境效应的研究较少,小尺度观测方法更适应于数据分析的多样性与动态性,更能反映小尺度区域的环境质量,更能清晰分析同一地区不同时间、同一时间不同测试点生态指标变化的动态规律。另外,鉴于城市湖泊湿地研究对象及其周边环境的多样性与可变性,本研究将湖泊湿地的面积、形状、位置、环境类型指数进行多元回归分析,更为精确地分析城市湖泊湿地温湿效应的空间分异特征及其影响因素,探索可以显著发挥温湿效应的湖泊湿地类型,对建立城市湖泊湿地评价指标、城市湖泊湿地规划具有重要意义。

1 研究内容与方法

1.1 研究区域概况

湖北省武汉市($E113^{\circ}41'—115^{\circ}05'$, $N29^{\circ}58'—31^{\circ}22'$)位于长江中下游江汉平原东部,具有丰富的湖泊湿地资源,被称为“百湖之市”,其水域面积占全市土地面积的 1/4,构成武汉极具特色的滨江滨湖水生态环境。城市中心区共有 38 个湖泊,其中面积大于 1km^2 的湖泊达到 16 个。

研究场地位于武汉市三环内主城区($E114^{\circ}13'—114^{\circ}21'$, $N30^{\circ}29'—30^{\circ}36'$)。气候属亚热带季风性湿润气候区,夏季高温、降水集中,冬季冷凉湿润。全年 1 月平均气温最低,为 3.0°C , 7 月平均气温最高,为 29.3°C , 夏季长达 135d。梅雨季节雨量集中,年降水量 1205mm。

1.2 研究场地设计

选择武汉城市三环内主城区立地条件相似的湖泊湿地 14 块(图 1,表 1)。

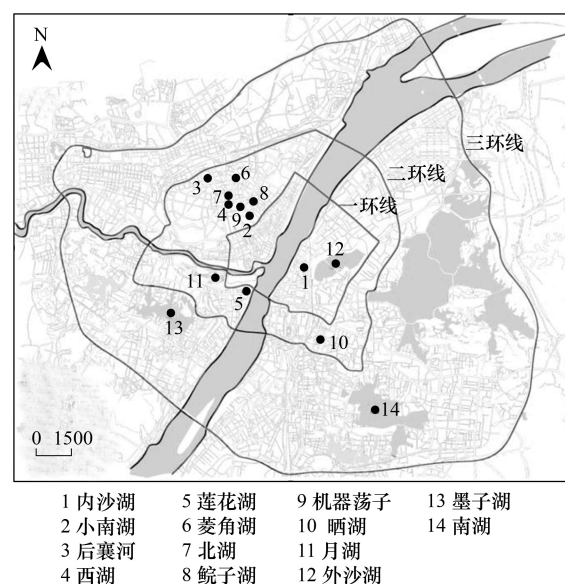


图 1 试验选点位置图

Fig.1 Location of urban lake wetlands

表 1 所选 14 块城市湖泊湿地基本资料

Table 1 Basic characteristics of urban lake wetlands

湖泊 Lakes	位置 Location	湖泊湿地 面积/km ² Area	平均水深/m Average depth of lakes	主要湿地植物 Main wetland plants
内沙湖	2 环内	0.035	1.2	莲 <i>Nelumbo nucifera</i> 、睡莲 <i>Nymphaea tetragona</i>
小南湖	2 环内	0.036	1.3	浮萍 <i>Lemna minor</i>
后襄湖	2 环内	0.043	1.7	香蒲 <i>Typha orientalis</i>
西湖	2 环内	0.051	1.4	无 None
莲花湖	2 环内	0.075	1.0	莲、睡莲
菱角湖	2 环内	0.092	1.4	香蒲、莲、西早莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>
北湖	2 环内	0.094	1.6	芦苇 <i>Phragmites communis</i> 、白茅 <i>Imperata cylindrica</i> 、菰群 丛 <i>Zizania caduciflora</i> association、凤眼莲 <i>Eichhornia</i> <i>crassipes</i> 、槐叶萍 <i>Salvinia natans</i> 、浮萍、紫萍 <i>Spirodela</i> <i>polyrhiza</i> 、满江红 <i>Azolla imbricata</i> 、西早莲子草
鲢子湖	2 环内	0.103	1.5	菖蒲 <i>Acorus calamus</i> 、莲
机器荡子	2 环内	0.104	1.7	无 None
晒湖	2 环内	0.122	1.2	无 None
月湖	2 环内	0.676	1.6	香蒲、水蓼 <i>Polygonum hydropiper</i> 、莲、凤眼莲、浮萍、双穗 雀稗 <i>Paspalum distichum</i> 、鹅观草 <i>Roegneria kamoji</i> 、葎草 <i>Humulus japonicus</i> 、西早莲子草
外沙湖	2 环内	3.084	1.0	芦苇、狭叶香蒲 <i>Typha angustifolia</i> 、水蓼、莲、浮萍、水芹 <i>Oenanthe javanica</i> 、双穗雀稗、西早莲子草
墨水湖	2—3 环	3.757	1.6	芦苇、白茅、红蓼、辣蓼 <i>Polygonum flaccidum</i> 、莲、荇菜 <i>Nymphoides peltatum</i> 、水芹、水鳖 <i>Hydrocharis dubia</i> 、西早莲 子草
南湖	2—3 环	7.640	1.5	白茅、红蓼 <i>Polygonum orientale</i> 、凤眼莲、鹅观草、西早莲 子草

1.3 测试内容与方法

温湿度的测试:每块湖泊湿地设置 4 个样地,每个样地设置 4 条样线,样线沿湖泊湿地边界设置;在湖泊湿地周边空旷裸地处选择 40 个点作试验对照;在距地面 1.5m 处进行连续观测。

测定时间选择湿地生态改善作用最为明显的 2013 年 7 月上旬进行,7:00—20:00 每 1 h 一次分别对每条样线及对照处的温度、相对湿度进行同步测定,挑选晴好无风的 3d 进行数据分析。

1.4 测试仪器

测试仪器采用德国产德图温湿度仪 testo 625 温湿度测试仪。温度测定范围为-10—60℃,分辨率为 0.1℃;湿度测定范围为 0—100%RH,分辨率为 0.1%RH。

2 结果与分析

2.1 不同景观指数对温度、相对湿度值变化的影响

分别计算 14 块湖泊湿地各测试点 3d 同一时刻的温、湿度平均值,再将 3d 所有时刻的温、湿度平均值加以平均,算得每块湖泊湿地的平均温度、湿度值(表 2)。

将 14 块湖泊湿地内 56 块样地数据进行多元线性回归分析(表 3),得出四项景观指数对湿地温湿度影响的贡献值,预测模型如下:Y=b0+b1WA+b2LSI+b3DIST+b4PB,式中,Y 代表温湿度的影响值;b0 代表常数;b1,⋯,b4 代表每个变量的系数;WA 为湿地面积;LSI 为景观形状指数,L 代表周长,A 代表面积;DIST(位置)为距中心城区的距离;PB(环境类型)为测试点外侧 500m 范围内非硬质下垫面所占比例^[10](500m 范围内气温变化值趋于稳定)。

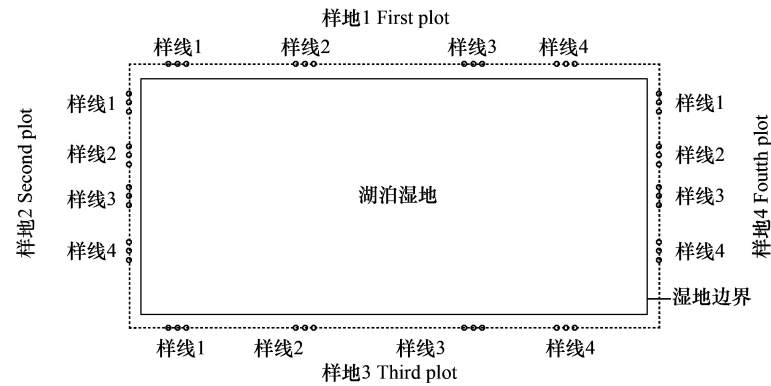


图 2 试验布点示意

Fig.2 Schematic diagram of measuring points

表 2 14 块湖泊湿地景观指数及平均温湿度资料

Table 2 Basic characteristics of urban lake wetlands with landscape index and average air temperature and relative humidity

湖泊 Lakes	面积 WA/hm ² Wetland area	景观形状指数 LSI Landscape shape index	距中心城区 距离 DIST/km Distance away from a defined city center	湿地外侧 500m 范围内非硬质下垫 面所占比例 PB Surrounding non- built-up proportion around 500m of wetland	平均温度 AT/℃ Average temperature	平均相对湿度 ARH/% Average relative humidity
内沙湖	3.5	1.10	4.59	0.30	34.0	53.7
小南湖	3.6	1.63	4.53	0.33	34.5	54.1
后襄河	4.3	1.62	6.65	0.34	34.3	54.6
西湖	5.1	1.04	5.48	0.26	34.0	54.1
莲花湖	7.5	1.54	7.30	0.53	34.3	54.9
菱角湖	9.2	1.24	5.03	0.12	34.0	55.8
北湖	9.4	1.08	5.49	0.24	33.9	56.5
鲩子湖	10.3	1.09	3.88	0.13	33.9	56.8
机器荡子	10.4	1.08	4.83	0.27	33.8	57.0
晒湖	12.2	1.07	8.56	0.11	33.9	56.8
月湖	67.6	1.69	8.05	0.76	33.7	57.5
外沙湖	308.4	1.26	4.38	0.65	33.7	57.4
墨水湖	375.7	2.32	11.33	0.70	33.2	58.2
南湖	764.0	1.83	13.12	0.63	33.5	57.9

表 3 回归分析

Table 3 Coefficients

模型 Model			未标准化系数 Unstandardized coefficients		标准化系数 Standardized coefficients	<i>t</i>	Sig.	<i>R</i> ²	<i>F</i>
			<i>B</i>	Std. Error	Beta				
温度 Temperature	1	常数	34.027	0.024		1418.189	0.000	0.393	107.505
		WA	−0.001	0.000	−0.627	−10.368	0.000		
	2	常数	33.948	0.093		363.549	0.000	0.396	54.054
		WA	−0.001	0.000	−0.664	−8.986	0.000		
		LSI	0.061	0.070	0.064	0.871	0.385		
	3	常数	33.988	0.096		355.512	0.000	0.407	37.459

续表

模型 Model		未标准化系数 Unstandardized coefficients		标准化系数 Standardized coefficients	<i>t</i>	Sig.	<i>R</i> ²	<i>F</i>	
		<i>B</i>	Std. Error	Beta					
相对湿度 Relative Humidity	4	WA	−0.001	0.000	−0.571	−6.261	0.000	0.420	29.470
		LSI	0.136	0.082	0.143	1.654	0.100		
		DIST	−0.024	0.014	−0.184	−1.725	0.086		
		常数	33.961	0.096		354.274	0.000		
		WA	−0.001	0.000	−0.496	−5.031	0.000		
		LSI	0.253	0.102	0.267	2.484	0.014		
		DIST	−0.030	0.014	−0.227	−2.096	0.038		
		PB	−0.297	0.155	−0.185	−1.916	0.057		
	1	常数	55.631	0.109		509.120	0.000	0.336	83.949
		WA	0.004	0.000	0.580	9.162	0.000		
	2	常数	55.072	0.322		170.987	0.000	0.349	44.277
		WA	0.003	0.001	0.449	4.728	0.000		
	3	DIST	0.100	0.054	0.175	1.842	0.067	0.355	30.067
		常数	55.419	0.434		127.697	0.000		
	4	WA	0.003	0.001	0.458	4.815	0.000	0.373	24.289
		DIST	0.140	0.064	0.245	2.196	0.029		
		LSI	−0.444	0.372	−0.107	−1.192	0.235		
		常数	55.559	0.434		128.120	0.000		
		WA	0.003	0.001	0.368	3.597	0.000		
		DIST	0.169	0.064	0.296	2.626	0.009		
LSI		−1.053	0.461	−0.255	−2.287	0.024			
PB		1.544	0.702	0.220	2.200	0.029			

预测因素: 常数, 环境类型指数, 距离指数, 面积指数, 景观形状指数 Predictors: (Constant), PB, DIST, WA, LSI; 因变量: 温度, 相对湿度
Dependent Variable: *T*, RH

在温度值变化模型中,从表 3 可以看出,当湖泊面积作为单一指数进行分析时, R^2 值为 39.3%;将面积、形状、距离、环境类型指数同时作为参考指数进行分析时, R^2 值为 42.0%,变化不明显。可见湖泊面积在温度的变化值中起到了决定性的作用。从表 3 中可以看出湖泊湿地面积、距离指数与温度值呈显著负相关,对温度值变化的贡献值分别为 42.2%、19.3%;形状指数与温度值呈显著正相关($P<0.05$),对温度值变化的贡献值为 22.7%;而环境类型指数与温度值的相关性不显著($P>0.05$),对温度值变化的贡献值为 15.8%。

在相对湿度值变化模型中,将面积、形状、距离、环境类型指数同时作为参考指数进行分析时, R^2 值为 37.3%。湖泊湿地面积、距离、环境类型指数与相对湿度值呈显著正相关,对相对湿度值变化的贡献值分别为 32.3%、26.0%、19.3%;形状指数与相对湿度值呈显著负相关($P<0.05$),对相对湿度值变化的贡献值为 22.4%。

综合分析温湿度值变化模型,可以看出城市湖泊湿地的面积指数对环境温湿度值贡献值最大;城市湖泊湿地的形状指数与环境温度值呈显著正相关,与相对湿度值呈显著负相关,说明相同面积时、近圆形或近方形(周长小)的湖泊湿地的环境温度值低,相对湿度值高;城市湖泊湿地的位置指数、环境类型指数与温度值呈负相关,与相对湿度值呈显著正相关,当湖泊湿地距离中心城区距离较远或非硬质下垫面所占比例较大时,城市湖泊湿地的环境温度值低、相对湿度值高。

2.2 不同面积湖泊湿地对温度、相对湿度值的影响

根据上述多元回归分析得出温湿度值受湖泊湿地面积指数的影响贡献值最大。因此,本研究将面积指数作为单一指数进行分析,分析过程考虑到其他指数的影响,数据处理中算得每块湖泊湿地与其周边对照处的

温湿度差值进行比较分析,作为湖泊湿地温湿效应的评价指标,排除其他指数对数据分析产生的干扰。

2.2.1 13 个时段温湿度变化

分别将 3d 内同一时段所测的温湿度值加以平均,算得每块湖泊湿地与对照处各时段温湿度的差值进行比较分析(图 3—图 8)。

比较 13 个时段的降温效应值,可以看出各块湖泊湿地的降温效应随着时间的推移逐渐增强,在 12:00—15:00 时间段幅度达到最大,说明湖泊湿地 12:00—15:00 时间段内对环境的调节能力最强。影响环境气温的因素主要为太阳辐射、水面及周边物体的长波辐射,在一天中空气温度最高、相对湿度最低的时段,湖泊湿地的作用更明显。从此时的平均温度来看(图 3—图 5),湖泊 1—3、5 比对照低 1.1—1.4℃,湖泊 4—6、14 比对照低 1.6—1.7℃,湖泊 7—13 比对照低 1.9—2.2℃。说明湖泊湿地面积的大小影响环境气温的变化,即降温效应随着湖泊湿地面积的增大而增强。湖泊 1—6,湖泊湿地水域面积小,对外界环境的变化缓解能力小;面积较大的湖泊 7—13 水域面积大,具有强大的蒸发量,使得湖泊湿地对周边环境的降温效应在高温时段比湖泊 1—6 明显;当湖泊湿地面积达到湖泊 10(67.6hm²)时,降温效应变化趋于稳定,未出现随面积增大、降温效应大幅增强的趋势。15:00—20:00 湿地的降温幅度有所减弱,由此可知该时段较 12:00—15:00 时间段环境气温下降,湖泊湿地的降温效应表现不明显。

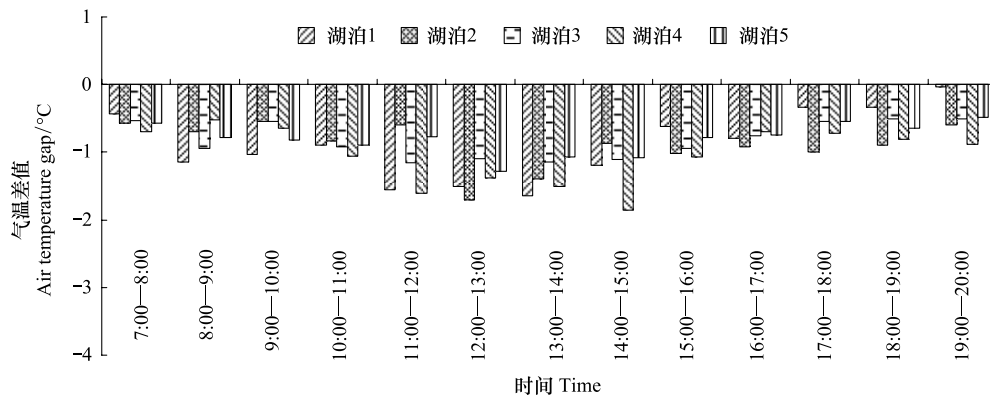


图 3 一天中不同面积湖泊湿地降温效应比较分析(湖泊 1—5)

Fig.3 Comparison of the effect on temperature gap of urban lake wetlands with different areas at different periods (Wetlands 1—5)

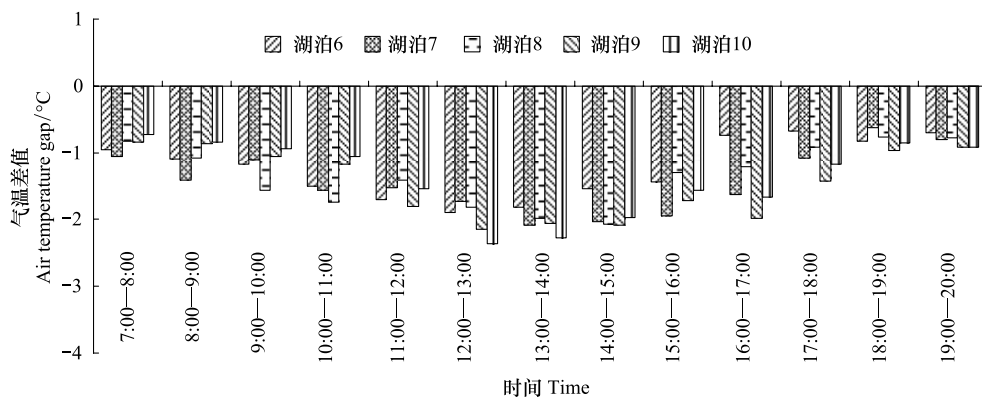


图 4 一天中不同面积湖泊湿地降温效应比较分析(湖泊 6—10)

Fig.4 Comparison of the effect on temperature gap of urban lake wetlands with different areas at different periods (Wetlands 6—10)

比较 5 个时段的增湿效应值,可以发现在 11:00—15:00(图 6—图 8)时间段内各个湖泊湿地的增湿效果比较明显。其中湖泊 6—14 的增湿幅度明显高于湖泊 1—5,平均值高约 2.3%;且当湖泊湿地面积达到湖泊 10(67.6hm²)时,增湿效应变化趋于稳定,增湿幅度为 6.2%—6.6%。从图 6—图 8 整体增湿效果来看,湖

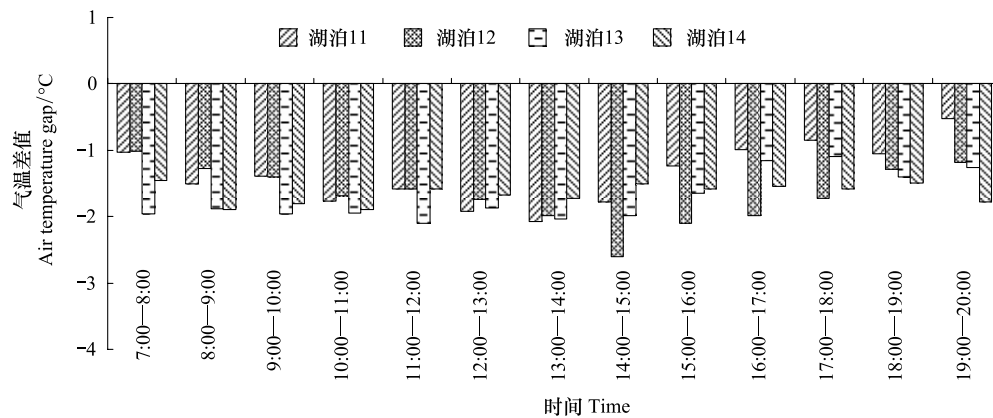


图5 一天中不同面积湖泊湿地降温效应比较分析(湖泊11—14)

Fig.5 Comparison of the effect on temperature gap of urban lake wetlands with different areas at different periods (Wetlands 11—14)

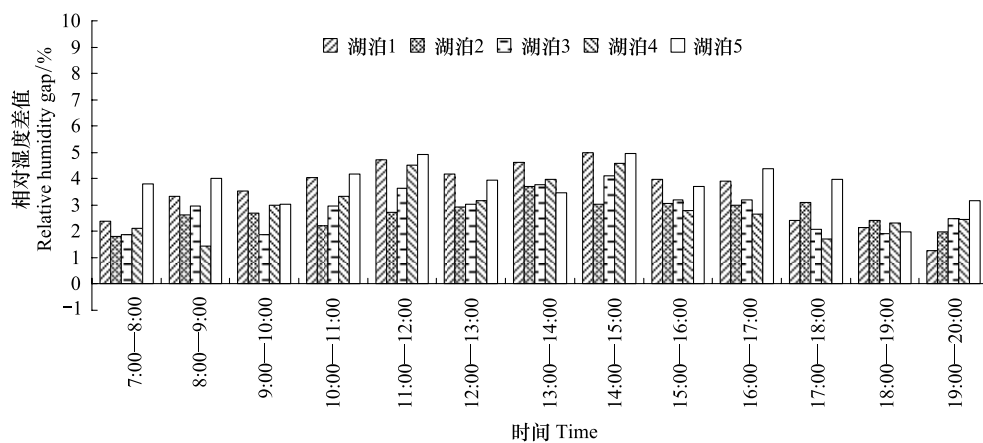


图6 一天中不同面积湖泊湿地增湿效应比较分析(湖泊1—5)

Fig.6 Comparison of the effect on relative humidity gap of urban lake wetlands with different areas at different periods (Wetlands 1—5)

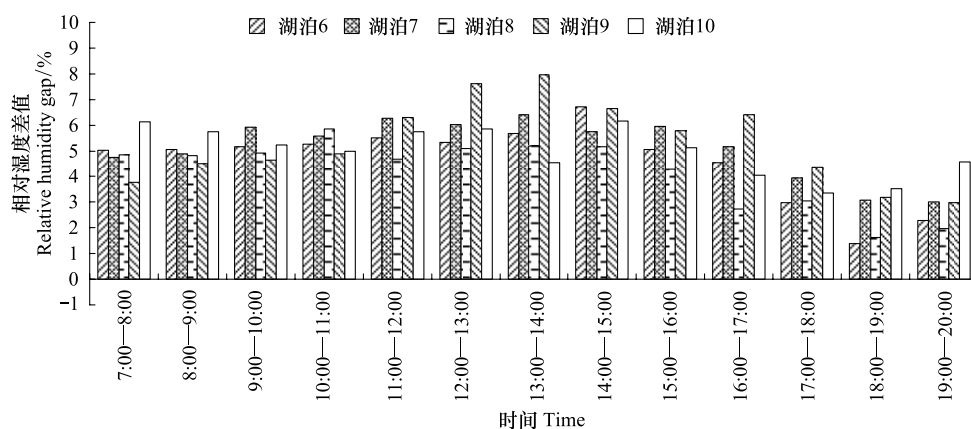


图7 一天中不同面积湖泊湿地增湿效应比较分析(湖泊6—10)

Fig.7 Comparison of the effect on relative humidity gap of urban lake wetlands with different areas at different periods (Wetlands 6—10)

泊10—14的增湿效果更趋于稳定,说明湖泊湿地的面积对于湖泊湿地的增湿效应有着显著的影响,湖泊1—5面积值比较小,空气的对流、区域性的微风等对相对湿度的影响较大。

综合3d中的所有时段分析发现,前5块湖泊湿地具有一定的降温增湿效应,但由于受周边环境的影响较

大,效应不稳定;湖泊 6—9 的降温增湿效果明显,12:00—15:00 时间段内降温增湿幅度明显高于前 5 块湖泊湿地;湖泊 10—14 降温增湿效应极其明显且稳定,在太阳辐射较为强烈的时间段内(12:00—15:00),该 5 块的湖泊湿地温湿度差幅不明显,此时湖泊湿地未表现出随湖泊湿地面积的增加降温增湿效果大幅增强的趋势。

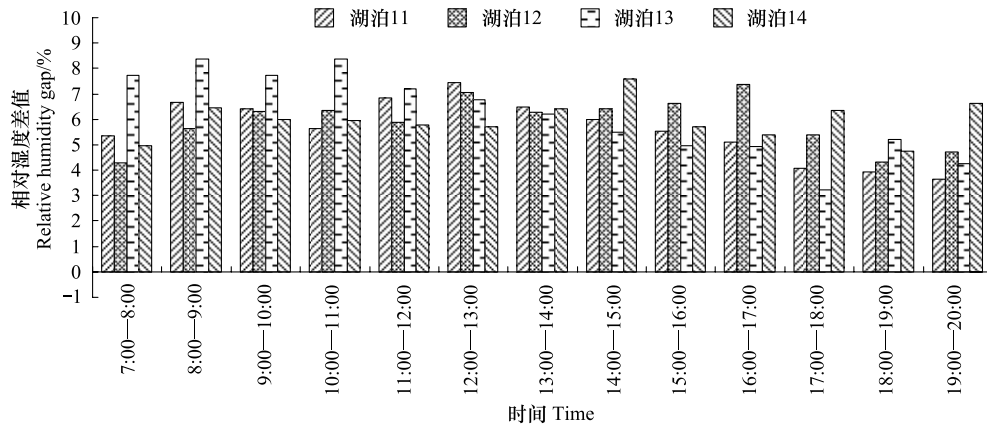


图 8 一天中不同面积湖泊湿地增湿效应比较分析(湖泊 11—14)

Fig.8 Comparison of the effect on relative humidity gap of urban lake wetlands with different areas at different periods (Wetlands 11—14)

2.2.2 3d 平均温湿度变化

计算出各测试点 3d 内同一时刻的温、湿度平均值,将 3d 所有时刻的温、湿度平均值加以平均,算得每块湖泊湿地与对照温湿度的差值进行比较分析(图 9—图 10)。

从 3d 平均降温效应值来看,排序为:湖泊 13>湖泊 12>湖泊 14>湖泊 9>湖泊 7>湖泊 10>湖泊 11>湖泊 8>湖泊 6>湖泊 4>湖泊 2>湖泊 1>湖泊 3>湖泊 5,湖泊 1—5 比对照温度低约 0.8—1.0℃,湖泊 6—11 比对照温度低约 1.2—1.5℃,湖泊 12—14 比对照低约 1.7℃。由此可知,不同面积的湖泊湿地其降温效应显著不同,主要是由于不同面积的湖泊湿地水域面积不同,蒸发量差异明显,湿地通过大量蒸发水分而消耗城市中的辐射热而产生降温效应。

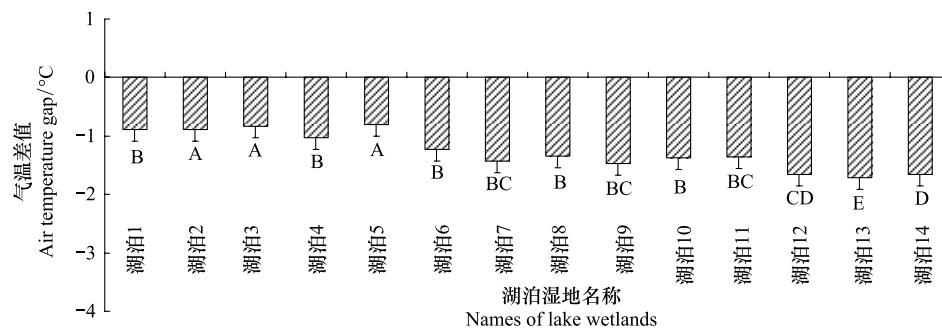


图 9 不同面积湖泊湿地 3d 平均降温效应比较

Fig.9 Comparison of the effect on daily average temperature gap of urban lake wetlands with different areas in three days

不同字母表示不同湖泊湿地类型间差异显著($P<0.05$)

以湖泊湿地 3d 平均温度进行两两比较(Duncan'S, $P<0.05$)分析,得知 14 块不同面积湖泊湿地间与对照的温度差值达显著水平(图 9)。湖泊 1—5 的面积值虽小,但其作用也不容忽视,具有一定的降温效应。综合两两比较和方差分析,说明湖泊湿地的面积达到一定值后其降温效应优于面积较小的湖泊湿地。湖泊 14 面积远高出其他湖泊湿地,但湖泊 14 与 12 之间的差异不显著,且降温效应趋势稳定;湖泊 12 与湖泊 7、9 之间没有显著性差异;湖泊 11 与湖泊 1、4、6—10 之间没有显著性差异,与湖泊 2—3、5 之间存在显著性差异。由

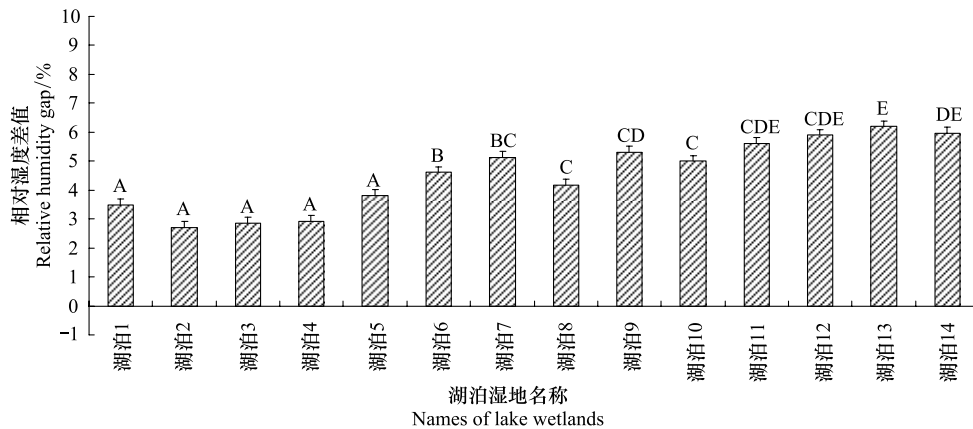


图 10 不同面积湖泊湿地 3d 平均增湿效应比较

Fig.10 Comparison of the effect on daily average relative humidity gap of urban lake wetlands with different areas in three days

以上分析可得,降温效应明显的湖泊湿地面积将为湖泊 6—7 面积($9.2—9.4\text{hm}^2$)左右,而达到显著降温效应的湖泊湿地面积值为湖泊 12 面积(308.4hm^2)左右。

从 3d 平均增湿效应值来看,各块湖泊湿地均表现出较强的增湿效应。14 块湖泊湿地的增湿效应排序为:湖泊 13>湖泊 14>湖泊 12>湖泊 11>湖泊 9>湖泊 7>湖泊 10>湖泊 6>湖泊 8>湖泊 5>湖泊 1>湖泊 4>湖泊 3>湖泊 2,湖泊 1—5 比对照相对湿度高约 2.7%—3.8%,湖泊 6—10 比对照相对湿度高约 4.2%—5.3%,湖泊 11—14 比对照高约 5.6%—6.2%。

以湖泊湿地 3 日平均相对湿度进行两两比较 (Duncan's, $P<0.05$) 分析,得知 14 块面积湖泊湿地间与对照的相对湿度差值均达显著水平 (图 10),由此可见,湖泊湿地的增湿效果十分明显;两两比较显示,湖泊 11—14 间无显著性差异,湖泊 7—12 间无显著性差异,湖泊 7 和湖泊 6 间无显著性差异,与湖泊 1—5 间存在显著性差异。由以上分析可得,湖泊湿地增湿效应明显的面积值将为湖泊 6—7 面积($9.2—9.4\text{hm}^2$)左右,而达到显著增湿效应的湖泊湿地面积值为湖泊 11 面积(67.6hm^2)左右。

综合 3d 中的平均温湿度进行分析,不同面积的湖泊湿地空间效应不同,对微环境的能量流动、物质循环的影响很大,因此所产生的生态效应也不同。其中湖泊湿地 1—5 具有一定的降温增湿效应,但效果不明显;湖泊 6—10 的降温增湿效应明显;湖泊 12—14 的降温效应、湖泊 11—14 的增湿效应显著,且趋于稳定。

3 结论与讨论

3.1 结论

综合各湖泊湿地的温度、相对湿度值,城市湖泊湿地的温湿度值受城市湖泊湿地的面积、形状、位置、环境类型影响,温度值与面积指数、距离指数呈显著负相关,与景观形状指数呈显著正相关,其中面积指数的贡献值最大,为 42.2%;湿度值与面积指数、距离指数、环境类型指数呈显著正相关,与景观形状指数呈显著负相关 ($P<0.05$),其中面积指数的贡献值最大,为 32.3%。

综合 13 个时段各湖泊湿地降温和增湿两方面的共同效应,湖泊湿地在 12:00—15:00 时间段内对环境的调节能力最强;14 块湖泊的降温增湿效应排序为湖泊 11—14>湖泊 6—10>湖泊 1—5;当城市湖泊湿地面积为 $3.5—7.5\text{hm}^2$ 时,其具有一定的降温增湿效应,但效果不明显;当湖泊湿地面积为 $9.2—12.2\text{hm}^2$ 时,其降温增湿效应明显;当湖泊湿地面积为 308.4hm^2 左右时,降温效应显著且趋于稳定,湖泊湿地面积为 67.6hm^2 左右时,增湿效果显著且趋于稳定。

3.2 讨论

城市湖泊湿地减缓城市热岛的强度和效应与其内部及周边环境密切相关,本次研究中城市湖泊湿地温度值的影响指数中面积指数的贡献值最大,与 Sun Ranhao 等^[11]基于遥感技术发现的城市湖泊湿地减缓城市热

岛的强度中面积指数贡献值最大等结论趋同。

Sun Ranhao 等^[14]指出城市湿地的冷岛效应与湿地面积的相关性为非线性,当湿地面积达到一定的临界值后,湿地的冷岛效应趋于稳定。本研究受野外试验地数量、面积所限,所选 14 块湖泊湿地间面积梯度较大,其中湖泊 14(764hm²)>>湖泊 12—13(308.4—375.7hm²)>>湖泊 11(67.6hm²)>>湖泊 1—10(3.5—12.2hm²),而 3d 平均降温效应比较,湖泊 1—5 比对照温度低约 0.8—1.0℃,湖泊 6—11 比对照温度低约 1.2—1.5℃,湖泊 12—14 比对照低约 1.7℃;3d 平均增湿效应比较,湖泊 1—5 比对照相对湿度高约 2.7%—3.8%,湖泊 6—10 比对照相对湿度高约 4.2%—5.3%,湖泊 11—14 比对照高约 5.6%—6.2%。可见,当湖泊湿地达到一定面积后,其降温增湿效应表现为趋于稳定,温湿效应并未随着面积的大幅增加而显著增强,当湖泊湿地面积达到 9hm² 左右时,湖泊湿地已能够表现出明显的温湿效应。但随着湿地面积的增加,受其影响的陆地范围也明显增大,从整个城市环境来看,温湿效应依然存在,因此当湖泊湿地面积达到一定临界值、降温增湿效应趋于稳定之后,适当增加湖泊湿地的景观形状指数,增大受其影响的陆地范围,对提高城市湖泊湿地的整体环境效应具有明显的作用。同时由多块湿地温湿效应的陆地影响范围大于相同面积的单块湿地,可以得出多斑块离散型(Dispersive)湖泊湿地布局对整个城市环境的降温增湿效应更为显著。

参考文献(References):

- [1] 王海霞,孙广友,宫辉力,于少鹏.北京市可持续发展战略下的湿地建设策略.干旱区资源与环境,2006,20(1):27-32.
- [2] Liu Y B, Liu L, Wang X L. An integrated GIS-based analysis system for water environment influence on the urban system around lake areas. Procedia Engineering, 2011, 15: 4681-4686.
- [3] 杨凯,唐敏,刘源,吴阿娜,范群杰.上海中心城区河流及水体周边小气候效应分析.华东师范大学学报:自然科学版,2004,(3):105-114.
- [4] Nishimura N, Nomura T, Iyota H, Kimoto S. Novel water facilities for creation of comfortable urban micrometeorology. Solar Energy, 1998, 64(4/6):197-207.
- [5] 王建华,吕宪国.城市湿地概念和功能及中国城市湿地保护.生态学杂志,2007,26(4):555-560.
- [6] Wang C Y, Zhu W P. Analysis of the impact of urban wetland on urban temperature based on remote sensing technology. Procedia Environmental Sciences, 2011, 10(Part B):1546-1552.
- [7] 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.地球物理学报,2006,49(1):69-77.
- [8] Yohei N, Toshiya S, Miyanoshita K. Effect of green apace and water on moderating urban heat island in Koto ward, Tokyo. Hosei University Research Center Media Education Research Report, 2011, (24):86-89.
- [9] 佟华,刘辉志,李延明,桑建国,胡非.北京夏季城市热岛现状及楔形绿地规划对缓解城市热岛的作用.应用气象学报,2005,16(3):357-366.
- [10] Hou P, Chen Y H, Qiao W, Cao G C, Jiang W G, Li J. Near-surface air temperature retrieval from satellite images and influence by wetlands in urban region. Theoretical and Applied Climatology, 2013, 111(1/2):109-118.
- [11] Sun R H, Chen L D. How can urban water bodies be designed for climate adaptation? Landscape and Urban Planning, 2012, 105(1/2):27-33.
- [12] 李书严,轩春怡,李伟,陈洪滨.城市中水体的微气候效应研究.大气科学,2008,32(3):552-560.
- [13] 轩春怡,王晓云,蒋维楣,王永薇.城市中水体布局对大气环境的影响.气象,2010,36(12):94-101.
- [14] Sun R H, Chen A L, Chen L D, Lü Y H. Cooling effects of wetlands in an urban region: the case of Beijing. Ecological Indicators, 2012, 20: 57-64.