

# 深圳市居住区绿地植物冠层格局对微气候的影响<sup>\*</sup>

李英汉<sup>1</sup> 王俊坚<sup>1</sup> 陈 雪<sup>1</sup> 孙建林<sup>1</sup> 曾 辉<sup>1,2\*\*</sup>

(<sup>1</sup> 北京大学深圳研究生院循环经济重点实验室, 广东深圳 518055; <sup>2</sup> 北京大学城市与环境学院生态学系, 北京 100871)

**摘 要** 选取深圳市3个典型居住小区为研究对象,利用实地观测及景观格局分析方法,探讨居住区绿地植物冠层格局特征对微气候的影响.各小区内布设22~26个观测点,以测点周边20 m×20 m范围为一个样区,将样区划分为有植物冠层遮盖和无植物冠层遮盖两种斑块类型,计算了斑块密度和景观聚集度两种格局指数,分析了样区内绿化植物冠层格局指数与温湿度之间的关系.结果表明:深圳市绿地冠层格局显著影响其温、湿度调控效应,温度调控能力主要来自绿地植物的遮荫作用,还与绿地的植物绿量有关;裸露地表聚集度的增加对绿地温湿度调控功能有显著的负面影响;居住小区绿地的温湿度调控能力主要来自乔木树种.

**关键词** 格局指数 居住区绿地 温湿度调控 深圳市

**文章编号** 1001-9332(2011)02-0343-07 **中图分类号** X16 **文献标识码** A

**Effects of green space vegetation canopy pattern on the microclimate in residential quarters of Shenzhen City.** LI Ying-han<sup>1</sup>, WANG Jun-jian<sup>1</sup>, CHEN Xue<sup>1</sup>, SUN Jian-lin<sup>1</sup>, ZENG Hui<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>Key Laboratory of Circular Economy, Shenzhen Graduate School of Peking University, Shenzhen 518055, Guangdong, China; <sup>2</sup>Department of Ecology, College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2011, 22(2): 343–349.

**Abstract:** Based on field survey and landscape pattern analysis, this paper studied the effects of green space vegetation canopy on the microclimate in three typical residential quarters in Shenzhen City. In each of the residential quarters, 22–26 points were chosen for meteorological observation; and around each of the observation points, a 20 m×20 m quadrat was installed, with each quadrat divided into two different patches, one covered by vegetation canopy and the another no-covered. The patch density index ( $D_p$ ) and contagion index (CONTAG) in each quadrat were calculated to analyze the relationships between vegetation canopy pattern index and microclimate in each point. The results showed that the green space vegetation canopy pattern in Shenzhen had significant regulation effect on temperature and humidity. The cooling effect was mainly from the shading effect of vegetation, and also, correlated with vegetation quantity. The increase in the CONTAG of bare surface had obvious negative effects on the regulation effect of vegetation on microclimate. The regulation capability of green space vegetation on the temperature and humidity in residential quarters mainly came from tall arbor species.

**Key words:** pattern index; green space in residential quarter; regulation of temperature and humidity; Shenzhen City.

居住区绿地系统具有调节温湿度、缓解热岛效应等重要生态功能<sup>[1]</sup>,合理实施居住区绿地建设,是改善城市人居环境的有效途径<sup>[2]</sup>.探讨居住区绿地属性特征与温湿度调控效应之间的关联,以科学

指导绿地合理建设工作,逐渐成为相关学科的关注热点.笔者近期研究表明,居住区绿地温湿度调控能力受绿地植物的绿化三维量影响,且其调控效应通常是周边一定范围(20 m×20 m)内植物遮荫和蒸腾作用的综合作用结果<sup>[3]</sup>.然而,该结果未能定量反映绿地植被空间格局因素的影响,因此,指导居住区绿地建设过程中难以避免操作性障碍.

居住区绿地植物的空间特征可通过植物的冠层

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金项目(41071117,40830747)、深圳市科技局“百人计划”项目和北京大学深圳研究生院院长科研基金项目(2008016)资助.

<sup>\*\*</sup> 通讯作者. E-mail: zengh@szpku.edu.cn

2010-06-12 收稿,2010-11-23 接受.

分布特征进行表征. 本文选取深圳市 3 个居住小区为研究对象,在各居住小区内布设一定数量的样区,基于实地调查(测绘植物冠层空间投影并实时监测样区中心点温湿度),把样区分成有植物遮阴和无植物遮阴两种斑块类型,借用景观生态学的空间格局计算指数,分析绿地植被冠层斑块的格局特征,解析其对温湿度调控效应的影响,以期为居住区绿地建设规划和设计工作提供科学依据.

1 研究方法

1.1 样区选取

根据深圳市的地貌特征,选取位于特区中心塘朗山南麓,远离海岸线地带的 3 个居住小区,即龙辉花园、桃源村和龙溪花园作为研究区,以减小地形对微气候的影响. 基于小区物业公司提供的小区平面设计图,绘制得到小区绿地植物分布图,并据此对居住小区进行样区布设. 每个小区内均匀布设 20 m×20 m 约 25 个样区,从而综合考虑在居住区背景下绿化植物冠层格局与植物湿度调节功能之间的关系.

1.2 气象观测设计

气象观测选择台湾泰氏生产的 TES-1365 电子温湿度计,取样时间为每次 2 s,解析度为温度 0.1℃,相对湿度 0.1%,精度为温度±0.2℃,相对湿度±0.1%. 根据文献[4],测量高度选择距地表 1.5 m 处. 为了避免阳光直射产生的误差,测点选取样区中心无阳光直射处以保持相同的光照环境,另选取小区内无绿色植物覆盖的水泥铺装地样区作为对照.

除绿地以外,人工建筑物的遮阴效果也会对微气候条件产生一定的影响. 在深圳 22° N 的纬度上,8 月底至 9 月初的太阳高度仍然较高,夏季正午整个小区在太阳的直射之下,通过实地调查,确保所选样区处于建筑物阴影之外,从而排除建筑物阴影对降温作用的影响. 在晴朗微风的天气条件下,对 3 个样区分别进行连续两日,每日 3 次(12:00—13:00)的气象观测,最终每个样点的温湿度值为 6 组观测结果的平均值.

1.3 样区绿地调查

分别对 3 个居住小区的植被分布进行实地调查,主要调查小区植物的种类、分布位置、高度、冠幅和冠高等. 应用 ArcGIS 9.3 将小区内高度超过 1.5 m 的植物进行数字化,将冠幅、冠高等属性信息加入属性表中,并以植物所在位置为中心,冠幅为半径设置缓冲区,代表 1.5 m 以上有植物冠层覆盖的地区(图 1).

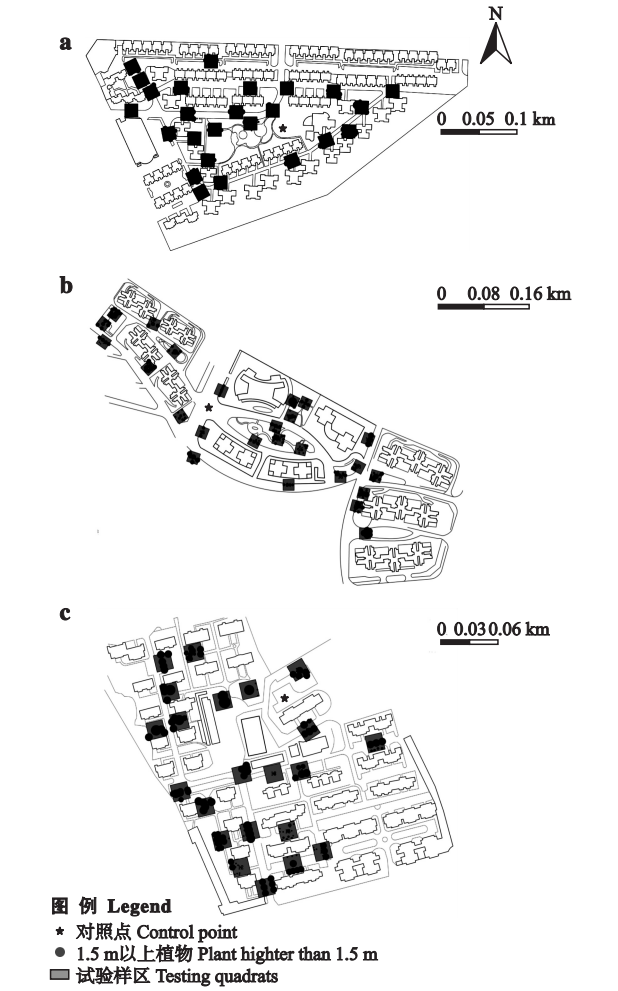


图 1 3 个居住小区内研究样区的划分  
Fig. 1 Distribution of quadrats in the three residential quarters.  
a) 龙辉花园 Longhui Huayuan; b) 桃源村 Taoyuan Village; c) 龙溪花园 Longxi Huayuan. 下同 The same below.

1.4 样区景观格局特征分析

根据现有的研究结论,植物的大小、冠形、遮阴面积、遮阴形状和建筑物阴影等均对降温效应产生影响,其中树荫面积和测点周边的温度状况对植物的降温作用影响最大<sup>[5-8]</sup>. 另外,在 1.5 m 高度上,虽然裸地、水泥铺装路等地表类型的差异对湿度可能产生影响,但对其温度的影响较小<sup>[4]</sup>. 因此,将各样区划分为有植物冠层遮盖和无植物冠层遮盖两种类型的斑块,应用 Fragstats 3.3 计算各样区的景观格局指数,分析植物冠层格局特征对温湿度调节功能的影响.

考虑到本研究尺度较小、斑块类型单一,植物的冠层构型也比较简单,因此选取聚集度指数(CONTAG)和斑块密度( $D_p$ )两种景观格局指数分析每个样区的冠层格局特征. 其中,斑块密度用于衡量植物遮阴面积所占面积比例, $D_p$  值越高,表明植

物冠层阴影所占的面积比例越大. 聚集度指数用来表示同一斑块类型的集聚程度, 取值范围为  $0 < \text{CONTAG} \leq 100$ , 该指数反映景观中不同斑块类型的非随机性或聚集程度, CONTAG 值越大表明景观中以少数大斑块为主或同一类型斑块的连接度越高<sup>[9-13]</sup>.

1.5 数据处理

基于实测的温湿度数据, 进行样区温湿度与斑块密度的回归分析, 温度 ( $T$ ) 回归方程和相对湿度 ( $RH$ ) 回归方程如下:

$$T = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{1 + (x/x_0)^P} + T_{\min} \tag{1}$$

$$RH = \frac{RH_{\min} - RH_{\max}}{1 + (x/x_0)^P} + RH_{\max} \tag{2}$$

式中:  $T_{\max}$  为对照点温度;  $T_{\min}$  为最低温度;  $RH_{\max}$  为对照点相对湿度;  $RH_{\min}$  为最低相对湿度,  $P$ 、 $X_0$  为常量.

表 1 不同小区各样区冠层格局的景观指数  
Table 1 Landscape index of canopy pattern of each quadrat in different residential quarters

样区编号 Quadrat No.	桃源村 Taoyuan Village				龙辉花园 Longhui Huayuan				龙溪花园 Longxi Huayuan			
	温度 $T(^{\circ}\text{C})$	相对湿度 $\text{RH}(\%)$	斑块密度 $D_p$	聚集度 CONTAG	温度 $T(^{\circ}\text{C})$	相对湿度 $\text{RH}(\%)$	斑块密度 $D_p$	聚集度 CONTAG	温度 $T(^{\circ}\text{C})$	相对湿度 $\text{RH}(\%)$	斑块密度 $D_p$	聚集度 CONTAG
1	34.5	74.7	0.470	46.4	36.5	68.0	0.038	87.2	34.6	62.6	0.539	47.3
2	33.9	76.8	0.715	53.1	33.5	75.0	0.483	47.2	34.5	64.7	0.566	48.0
3	34.5	76.5	0.283	53.9	34.1	74.1	0.142	68.9	33.7	66.1	0.503	47.5
4	33.8	76.0	0.382	48.4	32.9	81.5	0.602	48.9	33.9	66.5	0.556	47.9
5	33.7	78.2	0.339	50.7	32.8	80.1	0.424	47.9	33.8	66.9	0.455	47.5
6	33.7	77.0	0.640	48.7	33.0	77.7	0.391	47.7	33.8	70.7	0.548	46.7
7	33.5	79.6	0.302	52.0	33.4	75.9	0.344	50.5	34.0	68.1	0.540	47.9
8	35.4	71.8	0.208	61.0	33.0	79.6	0.586	48.3	34.3	64.1	0.280	55.0
9	33.9	79.2	0.545	47.2	33.7	72.9	0.262	56.1	34.5	65.0	0.396	49.9
10	34.4	75.2	0.254	55.8	33.1	81.1	0.439	47.3	33.4	71.4	0.420	48.1
11	34.2	75.4	0.411	47.8	33.6	78.5	0.343	50.4	33.5	70.0	0.617	48.6
12	34.8	72.7	0.458	46.5	34.1	78.0	0.323	52.3	35.8	59.8	0.073	79.0
13	34.8	77.6	0.322	51.1	33.8	77.3	0.441	47.8	35.0	59.9	0.469	47.9
14	34.3	74.6	0.352	49.3	33.6	78.9	0.375	50.2	34.8	61.9	0.492	46.8
15	33.6	78.5	0.392	49.0	33.8	79.4	0.312	52.4	34.4	62.3	0.370	49.6
16	33.4	79.8	0.485	46.7	33.9	76.3	0.221	58.2	35.9	59.6	0.139	67.5
17	33.6	78.3	0.455	48.1	33.4	76.5	0.625	48.8	35.4	61.8	0.343	50.6
18	33.7	79.1	0.277	54.5	33.5	74.6	0.373	49.8	37.5	53.8	0.015	93.9
19	33.2	79.6	0.560	46.5	33.4	75.0	0.252	57.2	35.0	59.0	0.295	53.6
20	34.0	77.7	0.585	47.3	33.5	77.0	0.319	52.1	34.6	61.1	0.559	46.8
21	33.6	79.8	0.467	45.5	33.8	75.7	0.137	69.6	34.7	62.3	0.531	46.6
22	33.1	80.0	0.650	51.5	33.3	78.4	0.434	47.1	34.5	64.9	0.446	47.6
23	34.7	75.6	0.203	61.3	33.4	79.1	0.272	55.3	38.4	52.9	0	100
24	34.7	73.7	0.170	64.8	33.5	77.1	0.529	47.7				
25	34.3	77.9	0.203	60.7	34.0	73.9	0.224	59.6				
26	37.9	64.5	0	100	36.6	65.4	0	100				

在 Origin 软件支持下进行景观聚集度指数与斑块密度之间的非线性拟合分析, 并基于分析结果和实测温湿度数据, 进行温湿度与景观聚集度指数的回归分析.

2 结果与分析

2.1 植被冠层斑块密度与温湿度的关系

利用 Fragstats 软件计算了 3 个小区中所有样区的聚集度和斑块密度, 结果见表 1.

分别使用各样区温、湿度对  $D_p$  进行非线性回归分析. 回归结果均表现出显著的相关关系, 温度与  $D_p$  的拟合精度较高 ( $R^2 > 0.782$ ); 相对湿度的拟合精度略低 ( $R^2 > 0.519$ ). 其中, 龙溪花园的回归拟合精度偏低, 原因是当日背景湿度较大, 各样区内的植物调节能力未能充分发挥, 影响了拟合的精度 (图 2 和表 2).

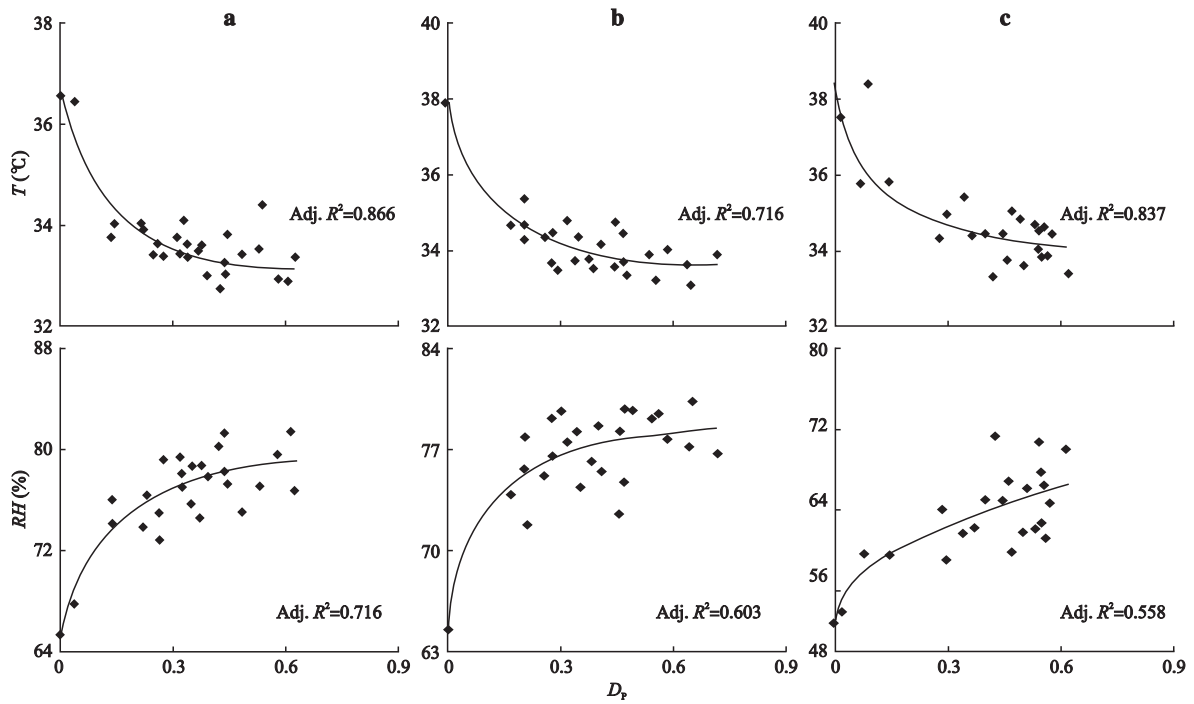


图2 斑块密度( $D_p$ )与温度( $T$ )和相对湿度( $RH$ )的非线性拟合

Fig. 2 Nonlinear correlation of  $T$  and  $RH$  against  $D_p$ .

表2 温、湿度与斑块密度拟合方程系数

Table 2 Parameters of non-linear fitting equations between  $T$  and  $D_p$ , and between  $RH$  and  $D_p$

研究区 Study quarter	温度-斑块密度 $T-D_p$				相对湿度-斑块密度 $RH-D_p$			
	$T_{max}$	$T_{min}$	$P$	$X_0$	$RH_{max}$	$RH_{min}$	$P$	$X_0$
龙辉花园 Longhui Huayuan	36.6	32.8	1.37	0.1	65.4	81.5	1.07	0.1
桃源村 Taoyuan Village	37.9	33.1	1.11	0.1	64.5	80.0	1.03	0.1
龙溪花园 Longxi Huayuan	38.4	33.4	1.00	0.1	52.6	71.4	0.88	0.2

2.2 冠层斑块密度与景观聚集度的关系

应用 Origin 8.0 对聚集度和斑块密度进行了非线性拟合,结果表明,可以用 Shah 曲线描述二者之间的关系,拟合精度  $R^2=0.996$ (图3).

根据拟合曲线可知, $D_p=0.5$  为曲线拐点;当  $D_p<0.5$  时,样区内的景观以无植物遮挡斑块联结性最好,分布集中;当  $D_p>0.5$  时,样区内以有植物遮挡的斑块连接程度较高,分布集中.因此,下文对聚集度指数的分析中,以  $D_p=0.5$  作为分界点进行分段讨论.

2.3 景观聚集度与温湿度的关系

聚集度指数与温湿度之间相关关系均通过了显著性检验( $P<0.01$ ),即景观分布的集中程度与样点温、湿度之间存在极显著的对应关系(表3).

本文大部分样区的  $D_p$  值均 $<0.5$ ,因此仅对  $D_p<0.5$  的情况进行探讨.结果表明,当  $D_p<0.5$  时,各样区的聚集度指数与温、湿度的线性回归均有较高的拟合精度,即地表无植物遮挡区域分布的集中程度与测

点的温湿度有关,其分布越集中,测点温度越高,湿度越低(图4).当  $D_p$  处于  $0\sim0.5$  区间时,CONTAG 值为  $46\sim100$ ,回归直线的斜率与当日天气状况有关,当日气温越高、相对湿度越高,则相同聚集度指数条件下的温度和相对湿度值也越高.

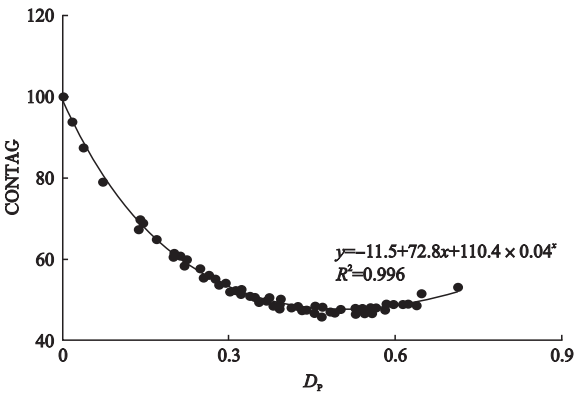


图3 冠层斑块密度与景观聚集度的关系

Fig. 3 Relationship between  $D_p$  and CONTAG.



表 3 各小区样区的聚集度指数与温、湿度的相关系数  
Table 3 Correlation coefficients between CONTAG and  $T$ , and between CONTAG and  $RH$  in different residential quarters

聚集度指数 CONTAG	龙辉花园 Longhui Huayuan		桃源村 Taoyuan Village		龙溪花园 Longxi Huayuan	
	温度 $T$	相对湿度 $RH$	温度 $T$	相对湿度 $RH$	温度 $T$	相对湿度 $RH$
龙辉花园 Longhui Huayuan	0.915 **	-0.848 **				
桃源村 Taoyuan Cun			0.853 **	-0.767 **		
龙溪花园 Longxi Huayuan					0.904 **	-0.740 **

\* \*  $P < 0.01$ .

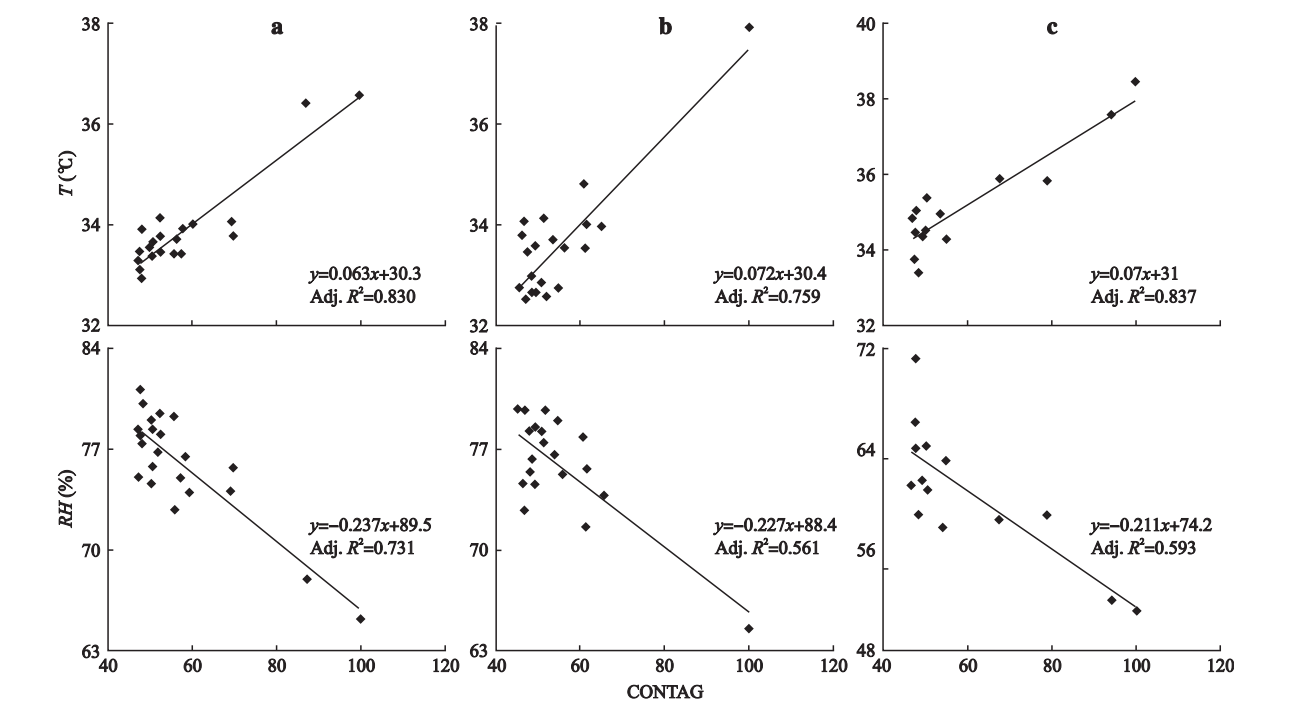


图 4 聚集度指数与温度和湿度的线性回归  
Fig. 4 Linear regression between  $T$  and CONTAG, and between  $RH$  and CONTAG.

### 3 讨 论

#### 3.1 植物的温湿度调控机制分析

本研究结果表明,样区斑块密度与其中心位置的温度之间有显著的相关性( $R^2 > 0.782$ ).植物的降温作用主要是源于其遮荫效果和蒸腾作用的吸热效果.对蒸腾作用的估算往往由于测量过程较复杂和成本较高昂,不适宜指导实际规划建设.单独使用遮荫分布可粗略地估算植物的降温效果.同时,植物的降温能力是有极限的,其降温变化速率会随着遮阴面积的增大而下降.对不同植物类型而言,乔木往往具有较大的遮荫空间,因而比同等占地面积的灌木和草本的降温效果更佳.

从湿度与斑块密度的关系可以发现,二者同样具有显著的相关性,但其拟合精度明显低于斑块密

度与温度之间的拟合精度( $0.558 < R^2 < 0.782$ ).这是由于测点相对湿度的升高,一方面是由于植物的遮挡作用降低了局部温度,使其饱和水汽压降低,提高了相对湿度;另一方面,由于植物蒸腾产生了大量的水汽,增加了局部空气中的水汽含量,从而提高了相对湿度. $D_p$ 指数虽然能反映植被的遮荫降温效果,但却无法准确衡量植物的生物量,难以估测蒸腾作用的强度,也难以据此估测植物的蒸腾作用所影响的空间尺度范围,导致拟合的精度降低.由此可见,仅由平面指标衡量植物的遮荫效果无法准确评估植物的增湿能力,应考虑与三维绿量指标相结合,以期获得更为精确的评估结果.

#### 3.2 绿地格局对地表温湿度的影响

鉴于3个小区中大部分样区的 $D_p < 0.5$ ,分析CONTAG与温、湿度的关系发现,无植物遮挡斑块分

布的聚集程度对测点的温度状况有着重要影响,二者呈显著的正相关关系,拟合精度  $R^2 > 0.759$ ; 聚集度指数与湿度之间呈显著负相关关系,拟合精度为  $R^2 > 0.561$ . 在  $D_p < 0.5$  情况下,聚集程度越高,说明样区内无绿地覆盖的区域面积越大,分布越集中,形成新的热源,影响局部的小气候环流,进而影响了测点的温湿度. 因此,居住区绿地建设应尽量避免较大面积裸地的集中分布,减少局部热源对植物降温增湿效果的不良影响. 另外,由于各样区条件所限,本文仅分析了  $D_p < 0.5$  的情况. 当  $D_p > 0.5$  时,绿地的大规模集中分布是否会产生类似的集聚效果,其温湿度调控能力如何,还有待进一步探讨.

### 3.3 居住小区绿地功能的思考

植物的温度调控效应主要由冠层的遮荫作用产生,但其湿度调控效应除受植物冠层遮盖影响外,还与植物的种类、体量、生物量、结构和空间分布等特征有关<sup>[14]</sup>. 因此,为弥补传统二维绿地指标(如绿地率和绿化覆盖率)在绿地温湿度调控效应评估研究中的不足,应考虑将其与三维绿量的指标结合起来<sup>[15-17]</sup>,以期更加准确地反映绿地系统结构和格局建设与其生态服务功能之间的关系,有效地指导绿地系统规划.

在小区绿地建设中,为了充分发挥植物的气候调控效应,应重视绿地冠层的空间格局设计. 本研究结果表明,20 m×20 m 范围内无植物遮挡斑块的聚集程度将对绿地植物温湿度调控效应产生显著的负面影响. 小区绿地建设过程中尽可能避免出现较大面积无植物冠层遮挡区域集中分布.

3 个小区绿地温湿度调控效应都与高度在 1.5 m 以上植物的冠层格局特征显著相关,表明以乔木为代表的高大绿化树种温湿度调控能力最强<sup>[18-21]</sup>. 由此看来,基于温湿度调控功能的小区绿化应考虑以乔木为主的绿化方式. 在温湿度调控能力达到预期目标的基础上,再考虑结合灌木、草坪等绿化方式,以完善小区绿地的综合功能.

## 4 结 论

城市居住区绿地的植物冠层格局特征对其温湿度调控效应有显著影响,植被冠层斑块密度和聚集度的提高,有助于提升其降温增湿能力. 不过这种提升是有限度的,其降温增湿速率随绿化覆盖率的升高而降低.

小尺度范围内,裸地的空间格局特征显著影响样区测点的温湿度水平,裸地斑块的聚集度提高,将

导致测点的温度增加、湿度降低. 从降温增湿的角度看,小区建设须尽量避免较大面积集中分布的裸地.

植物的降温功能主要由其遮荫作用产生,因此与斑块密度指数和聚集度指数的拟合精度较高,而湿度调控效应与植物生物量空间格局的分异关系更为紧密,导致拟合精度偏低.

高大植物种类的温湿度调控能力较强,基于温湿度调控功能的小区绿化应考虑以乔木为主的绿化方式. 在温湿度调控能力达到预期目标的基础上,再考虑结合灌木、草坪等绿化方式,以完善小区绿地的综合功能.

### 参考文献

- [1] Li X-F (李晓锋), Zhang Z-Q (张志勤), Lin B-R (林波荣), *et al.* Experiment on the outdoor microclimate with in a residential building block with a partially enclosed yard. *Journal of Tsinghua University (Science and Technology)* (清华大学学报·自然科学版), 2003, **43**(12): 1638-1641 (in Chinese)
- [2] Xu N-X (徐乃雄), Cui X (崔 晓), Zhang L-J (张丽娟), *et al.* Urban Green Space and Environment. Beijing: China Building Material Industry Press, 2002: 20-27 (in Chinese)
- [3] Li Y-H (李英汉), Wang J-J (王俊坚), Li G-C (李贵才), *et al.* Research of the vegetation's cooling effect in city's residential quarter. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2011, **31**(3): 830-838 (in Chinese)
- [4] Wang W (王 威), Di H-F (狄洪发), Jiang Y (江 亿), *et al.* Comparison of the temperature distribution in different surface conditions. *Northern Horticulture* (北方园艺), 2001(4): 24-26 (in Chinese)
- [5] Shashua-Bar L, Hoffman ME. 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. *Energy and Buildings*, 2000, **31**: 221-235
- [6] Simpson JR, Mcpherson EG. Simulation of tree shade impacts on residential energy use for space conditioning in Sacramento. *Atmospheric Environment*, 1998, **32**: 69-74
- [7] Simpson JR. Improved estimates of tree-shade effects on residential energy use. *Energy and Buildings*, 2002, **34**: 1067-1076
- [8] Georgi NJ, Zafiriadis K. The impact of park trees on microclimate in urban areas. *Urban Ecosystems*, 2006, **9**: 195-209
- [9] Wu J-G (邬建国). Landscape Ecology: Pattern, Process and Scale. Beijing: Higher Education Press, 2001: 100-104 (in Chinese)
- [10] Chen L-D (陈利顶), Liu Y (刘 洋), Lü Y-H (吕一河), *et al.* Landscape pattern analysis in landscape ecology: Current, challenges and future. *Acta Ecologica*

*Sinica* (生态学报), 2008, **28**(11): 5521–5531 (in Chinese)

[11] Cheng H-H (程好好), Zeng H (曾 辉), Wang Z-S (汪自书), *et al.* Relationships between the types, pattern characteristics of urban green space and land surface temperature: A case study in Shenzhen Special Economic Zone. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis* (北京大学学报·自然科学版), 2009, **45**(3): 495–501 (in Chinese)

[12] Xie M-M (谢苗苗), Zhou W (周 伟), Wang Y-L (王仰麟), *et al.* Thermal environment effect of land use in urban area: A case study in Ningbo Urban Area. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis* (北京大学学报·自然科学版), 2008, **44**(5): 815–821 (in Chinese)

[13] Li Y-M (李延明), Guo J (郭 佳), Feng J-Y (冯久莹). Urban green space and its effect on urban heat island effect. *Urban Environment & Urban Ecology* (城市环境与城市生态), 2004(1): 1–4 (in Chinese)

[14] Li F (李 锋), Wang R-S (王如松). Research advance in ecosystem service of urban green space. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2004, **15**(3): 527–531 (in Chinese)

[15] Liu C-F (刘常富), He X-Y (何兴元), Chen W (陈玮), *et al.* Estimation of Shenyang urban forest green biomass. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, **18**(6): 1208–1212 (in Chinese)

[16] Liu C-F (刘常富), He X-Y (何兴元), Chen W (陈玮), *et al.* Simulation of three dimensional green biomass of urban forests in Shenyang City and the factors affecting the biomass. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2008, **19**(6): 1173–1178 (in Chinese)

[17] Xiao R-B (肖荣波), Zhou Z-X (周志翔), Wang P-C (王鹏程), *et al.* Application of 3S technologies in urban green space ecology. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2004, **23**(6): 71–76 (in Chinese)

[18] Shashua-Bar L. Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees. *Energy and Buildings*, 2003, **35**: 61–68

[19] Gulyás Á, Unger J, Matzarakis A. Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements. *Building and Environment*, 2006, **41**: 1713–1722

[20] Taha H, Akbari H, Rosenfeld A. Heat island and oasis effects of vegetative canopies: Micrometeorological field measurements. *Theoretical and Applied Climatology*, 1991, **44**: 123–138

[21] Yevgeny AG, Eric S. Influence of street obstructions on flow processes within urban canyons. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 1999, **82**: 89–103

---

**作者简介** 李英汉,男,1985 年生,硕士研究生.主要从事城市生态规划与设计研究. E-mail: happyliyinghan@ yahoo.com.cn

**责任编辑** 李凤琴

---