

2 种外部环境对城市带状绿地温湿效益的影响比较

高玉福¹, 荣立苹¹, 李树华²

(1. 延边大学 农学院, 吉林 延吉 133002; 2. 清华大学 建筑学院, 北京 100084)

摘 要:选择宽度相同(64 m)、郁闭度(70%~75%)相似的元大都城垣遗址公园 2 种绿地类型作为试验对象,对比探讨了不同外部环境类型(道路、河流)对城市带状绿地温湿效益影响差异,综合 3 d 不同时段的数据。结果表明,河流(宽度为 15 m)对带状绿地温湿效益的影响范围为 28 m,道路(宽度为 15 m)对带状绿地温湿效益的影响范围为 20 m;在宽度相同、郁闭度相似条件下,选取影响效果明显的第 $n5$ 点(即 10 m 处)进行温湿度测定,发现外部环境为河流的带状绿地温度比对照低 1.28℃,相对湿度比对照高 4.47%,而外部环境为道路的带状绿地温度比对照高 1.14℃,相对湿度比对照低 4.63%;城市带状绿地在受河流或道路的影响范围内,外部环境为河流的带状绿地 THI 值相对较低,舒适性较好。

关键词:外部环境类型;城市带状绿地;温度;相对湿度;温湿度指数

中图分类号:S731.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2018)01-0262-07

Comparative Effects of Two External Environment Types on the Temperature and Humidity of Urban Green Belts

GAO Yu-fu¹, RONG Li-ping¹, LI Shu-hua²

(1. College of Agriculture, Yanbian University, Yanji, Jilin 133002, China;

2. School of Architecture, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: In this paper, two types of green belt: road side and river side green belts occurring in the Relics Park of the Capital City Wall of Yuan Dynasty were investigated to analyze the ecological benefits on the surrounding environment. The results showed that the influential width of the 15-meter-wide river on the temperature-humidity of urban green belts was 28 meters, and the influential width of the same width road on the temperature-humidity urban green belts was 20 meters. Under the condition of the same width and similar degree of canopy, the effects of temperature and humidity were measured at the point $n5$ (10 m), it showed that the temperature of the green belt with external environment for the river was 1.28℃ lower than the control, and the relative humidity was 4.47% higher than the control, while the temperature of the green belt with the external environment for the road was 1.14℃ higher than the control, the relative humidity was 4.63% higher than the control was lower than the control. Within the influence scope of river or road, the value of temperature-humidity index of the green belts with external environment for the river was relatively low, and the comfort was high.

Key words: external environment type; urban green belt; temperature; relative humidity; temperature-humidity index (THI)

带状绿地是城市绿地系统的重要组成部分,在 改善城市生态环境、降低城市热岛效应等方面发挥

着重要作用^[1]。在面积相同的情况下,形状为带状的城市绿地对缓解热岛效应方面效果最为显著^[2]。带状绿地的规划建设大多结合城市道路、河流展开布局,构成了城市带状绿地不同的外部环境类型^[3-4]。不同外部环境对绿地温湿效益的发挥存在较大影响,宽度相同的河流,两岸植被乔灌绿量比越大,水体和绿地的综合降温增湿能力越强^[5-7]。当城市绿地宽度为6 m时,绿地内部具有一定的增湿效应,当绿地宽度超过40 m时,绿地内部的降温增湿效果极其明显且趋于稳定^[8]。城市带状绿地降温增湿能力随着季节变化、昼夜更替而有所不同^[9-10]。目前国内外针对带状绿地的研究,主要集中于城市带状绿地的林型^[11]、内部环境类型^[12]、空间结构类型^[13]、下垫面^[14-15]、植被类型^[16]等对其降温增湿能力的影响,并未涉及不同外部环境类型对带状绿地温湿效益影响。本试验通过小尺度、量化方法对外部环境类型分别为道路或河流的带状绿地展开研究,试图探明外部环境与城市带状绿地降温增湿能力之间的关系,以期为城市绿地系统规划的合理布局提供科学依据。

1 研究区概况

1.1 自然概况

试验地位于元大都城垣遗址公园,该公园绿地是北京城区内规模最大的带状绿地,公园总长度达9 km,面积47 hm²,平均绿化覆盖率为73%。试验地位于中纬地带,39°57'N,116°21'E,属温带湿润季风气候,冬季寒冷干燥,夏季高温多雨。全年平均气温12.5℃,1月份平均气温-4.4℃,极端最低气温-21.7℃,7月份平均气温25.8℃,最高气温41.6℃。年平均降雨量628.9 mm,集中于夏季6-8月,降水量为465.1 mm,占全年降水的70%。蒸发量>降雨量,年平均蒸发量1 800~2 000 mm。

在元大都城垣遗址公园西土城路北段选取同一

年种植的植被构成相似、郁闭度(70%~75%)及乔灌比(4:1)相近、足够宽度(64 m)的2处带状绿地(一处外部环境为河流,一处外部环境为道路)及不受外部环境影响的绿地中部作为试验场地。

1.2 植被现状

本试验地中的植物种类:乔木主要有刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、青扦(*Picea wilsonii*)、圆柏(*Sabina chinensis*)等;灌木主要有黄栌(*Cotinus coggygria*)、紫薇(*Lagerstroemia indica*)、金银忍冬(*Lonicera maackii*)、榆叶梅(*Amygdalus triloba*)、连翘(*Forsythia suspensa*)等;草本主要是早熟禾(*Poa annua*)。植被调查方法参照文献[17]。

2 材料与方法

2.1 时间

试验时间为绿地生态改善作用最为明显的夏季,7月下旬-8月上旬进行,每天8:00-18:00,间隔2 h测定1次。本试验要求选择晴好无风(风速<0.4 m·s⁻¹,TRM-ZSI气象生态环境监测系统)的天气下进行,挑选3 d符合试验要求的数据进行分析。

2.2 方法

每种绿地采取分段测试,选取绿地结构相似的4段进行重复测定。每段绿地从靠近道路或河流一侧开始试验,水平方向3个点,垂直方向20个点,测点间距2 m。分别测试温度及相对湿度值,每段进行3次重复测定(图1)。在不受外部环境影响的绿地处选择40个点作试验对照,在距地面1.5 m处进行连续观测。

2.3 测试仪器

采用日本扶桑理化制品株式会社生产的FU-SO-8829温湿度测量仪。温度测定范围为-40~85.0℃,精度为0.1℃;湿度测定范围为0~100.0%RH,精度为0.1%RH。

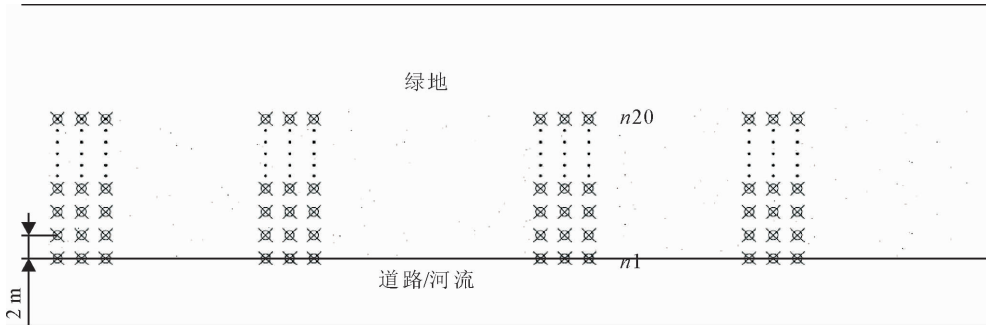


图1 温湿度水平方向上测试布点示意

Fig. 1 Schematic diagram of grid measuring points

2.4 数据分析

试验数据使用 Microsoft Excel、SPSS 分析软件进行处理。人体舒适度指数采用王远飞^[18]的温湿度指数公式(表 1):

表 1 THI 与人体舒适度

| THI | 人体舒适度 | 评价 |
|-----------|-------|-----------|
| ≥29.5 | 酷热 | 无降温措施难以工作 |
| 26.7~29.4 | 很热 | 很不舒适 |
| 23.9~26.6 | 热 | 不舒适 |
| 21.1~23.8 | 较热 | 较不舒适 |
| <21 | 凉爽 | 舒适 |

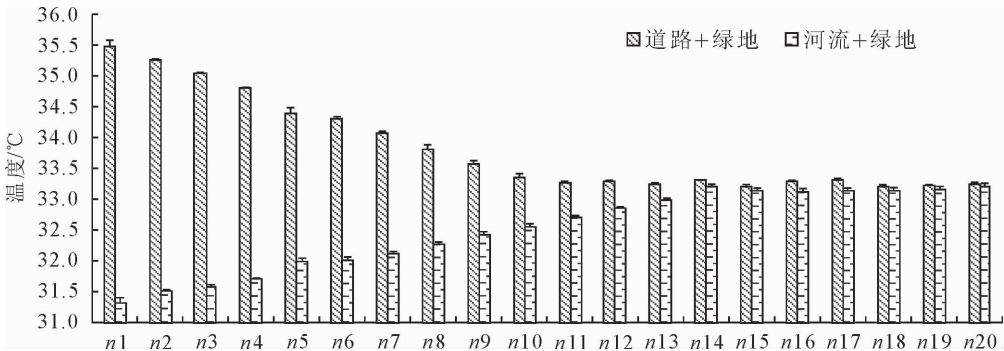


图 2 2 种外部环境带状绿地温度平均值差异

Fig. 2 Difference comparison between two external environment types of the average temperature

试验表明:在所测试的 20 试验点中,不同外部环境类型对绿地降温作用的影响随着距离的变化而变化;在前 13 个测试点,外部为道路的绿地温度始终>外部为河流的绿地,从第 14 个测试点以后,2 种外部类型的绿地温度基本持平,说明外部环境对绿地降温作用的影响消失。

分别计算出 2 种类型绿地各测试点 3 d 所得温度的平均值,并分别将 2 种类型绿地各测试点的温度值进行两两比较(Duncan's, $P<0.05$),结果表明:外部为河流的绿地在 $n1\sim n14$ (2~28 m)范围内每隔 2 m 绿地的温度值变化均较为显著, $n14$ 以后的各测试点的温度值变化差异不显著,说明宽度为 15 m 的河流对岸边带状绿地的降温能力影响范围是 28 m;外部为道路的路地在 $n1\sim n10$ (2~20 m)范围内每隔 2 m 绿地的温度值变化均较为显著, $n10$ 以后的各测试点的温度值变化差异不显著,说明宽度为 15 m 的道路对路旁带状绿地的降温能力影响范围是 20 m。在显著性分析中发现,2 种外部环境类型的绿地在 前 5 个测试点温度值变化均极为显著,在 $n5$ 点以后显著性水平有所降低,说明外部为 15 m 宽的道路或河流的带状绿地在距绿地边缘 0~10 m 范围内对降温能力影响最为显著。

3.1.2 外部环境类型对绿地降温能力的影响 由

$$THI=T-0.55(1-RH)(T-14.5)$$
 (1)

式中: T 为气温, RH 为相对湿度, THI 为温湿度指数。

3 结果与分析

3.1 不同外部环境类型绿地温度变化

3.1.1 2 种绿地各测试点温度变化 分别将 2 种类型绿地中各观测点在 3 d 内所测各个时段的温度值加以平均,得出 2 种外部环境类型绿地相同距离不同时段温度平均值,对比 2 种类型绿地各观测点之间的温度变化(图 2)。

于河流和道路对绿地的影响范围存在一定的差异,选取两者对绿地降温能力的影响较为明显的第 $n5$ 点(即 10 m 处)作为研究对象。计算各绿地每个时段所得温度平均值(表 2),并得出该测试点不同时段 2 种绿地与对照的温度差值(图 3),进行不同外部环境对绿地降温能力影响的比较分析。

表 2 2 种外部环境带状绿地 $n5$ 点 3 d 的温度差异

| Table 2 Difference comparison between two external environment types of temperature in the $n5$ point $^{\circ}\text{C}$ | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|
| 试验日 | 河流+绿地 | 道路+绿地 | 对照 |
| 第 1 天 | 31.82 | 34.34 | 32.98 |
| 第 2 天 | 31.50 | 33.66 | 33.22 |
| 第 3 天 | 32.61 | 35.21 | 33.56 |
| 平均值 | 31.98 | 34.40 | 33.26 |

试验结果表明:外部环境类型不同的城市带状绿地降温能力存在较大差异,外部为河流的绿地在第 $n5$ 测试点的温度比对照低 1.28°C ;而外部为道路的路地在第 $n5$ 测试点的温度比对照温度高 1.14°C 。

由图 3 得知,外部为河流的绿地在第 $n5$ 测试点 1 d 中的任意时段所测温度值均低于外部为道路的绿地;与对照相比,在前 3 个时段,外部为河流的绿地降温幅度逐渐增强,8:00—10:00 绿地的降温幅

度最小,16:00—18:00 绿地的降温幅度最大,经显著性分析发现,8:00—10:00、16:00—18:00 分别与其他各时段降温幅度相比,均存在显著性差异,10:00—12:00、12:00—14:00、14:00—16:00 任意两者之间降温幅度无显著性差异,说明空气温度越高,水体对绿地降温作用越明显;而外部为道路的绿地在 5 个时段的降温幅度无明显规律,且各时段任意两两之间的降温幅度无显著性差异,说明外界气温的高低与道路对绿地降温作用的影响关系不大。

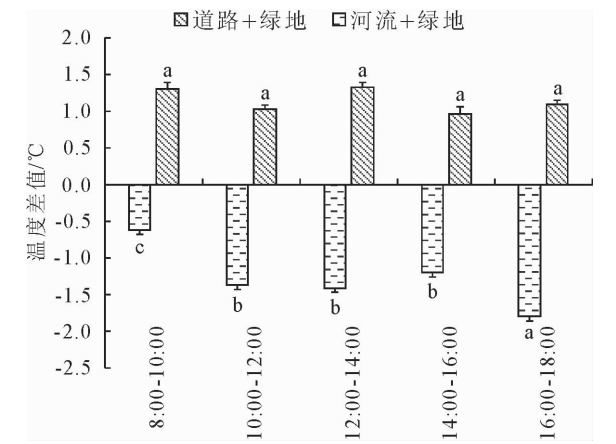


图 3 不同时段试验地 n5 点与对照的温度差值

Fig. 3 The temperature difference of the n5th point between test ground and the control in different periods

3.2 不同外部环境类型绿地相对湿度变化

3.2.1 2 种绿地各测试点相对湿度变化 分别将 2

种类型绿地中各观测点在 3 d 内所测各个时段的相对湿度值加以平均,得出 2 种外部环境类型绿地的相同距离不同时段相对湿度平均值,对比 2 种类型绿地各观测点之间的相对湿度变化(图 4)。

试验表明:在所测试的 20 试验点中,在前 13 个测试点,外部为河流的绿地湿度始终高于外部为河流的绿地湿度,从第 14 个测试点开始,2 种类型的带状绿地相对湿度基本持平,说明外部环境对带状绿地增湿效果的影响消失。

分别计算出 2 种类型绿地各测试点 3 d 所得湿度的平均值,并分别将 2 种类型绿地各测试点的湿度值进行两两比较(Duncan's, $P<0.05$),结果表明:外部为河流的绿地在 n1~n14(2~28 m)范围内每隔 2 m 绿地的湿度值变化均较为显著,n14 以后的各测试点的湿度值变化差异不显著,说明宽度为 15 m 的河流对岸边带状绿地的增湿能力影响范围是 28 m;外部为道路的绿色在 n1~n10(2~20 m)范围内每隔 2 m 绿地的湿度值变化均较为显著,n10 以后的各测试点的湿度值变化差异不显著,说明宽度为 15 m 的道路对路旁带状绿地的增湿能力影响范围是 20 m。在显著性分析中发现,2 种外部环境类型的绿地在 前 5 个测试点湿度值变化均极为显著,在 n5 点以后显著性水平有所降低,说明外部为 15 m 宽的道路或河流的带状绿地在距绿地边缘 0~10 m 范围内对增湿能力影响最为显著。

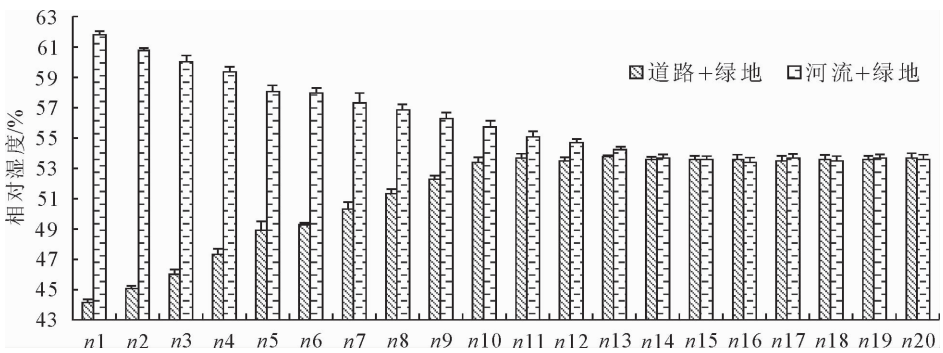


图 4 2 种外部环境下带状绿地湿度平均值差异

Fig. 4 Difference comparison between two external environment types of the average humidity

3.2.2 外部环境类型对绿地增湿能力的影响 由于河流和道路对绿地的影响范围存在一定的差异,选取两者对绿地增湿能力影响较为明显的第 n5 点(即 10 m 处)作为研究对象。计算各试验点每个时段所得相对湿度平均值(表 3),并得出该测试点不同时段 2 种绿地与对照的相对湿度差值(图 5),进行不同外部环境对绿地增湿能力影响的比较分析。

试验结果表明:不同外部环境类型的城市带状绿地增湿能力存在较大差异,外部为河流的绿地在第 n5 测试点的相对湿度值比对照相对湿度高

4.47%;而外部为道路的绿地在第 n5 测试点的相对湿度值比对照低 4.63%。

表 3 2 种外部环境下带状绿地 n5 点 3 d 的湿度差异

Table 3 Difference comparison between two external environment types of humidity in the n5 point

| 试验日 | 绿地+河流 | 绿地+道路 | 对照 |
|-------|-------|-------|-------|
| 第 1 天 | 57.03 | 48.72 | 52.53 |
| 第 2 天 | 59.73 | 49.83 | 55.21 |
| 第 3 天 | 57.37 | 48.28 | 52.98 |
| 平均值 | 58.04 | 48.94 | 53.57 |

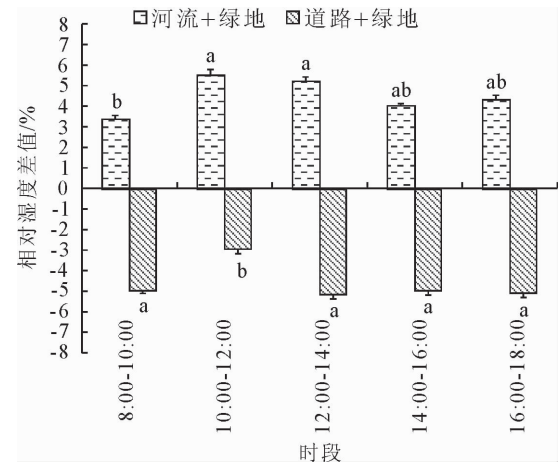


图 5 不同时段试验地 n5 点与对照的温度差值

Fig. 5 The humidity difference of the n5th point between test ground and the control in different periods

由图 5 得知,外部为河流的绿地在第 n5 测试点 1 d 中的任意时段所测相对湿度值均>外部为道路 的绿地;在测定的 5 个时段中,随着外界气温的不断 升高,与对照相比,外部为河流的绿地在 10:00— 12:00 增湿幅度达到最大值 5.49%,8:00—10:00

绿地增湿幅度最小为 3.34%,且该时段与 10:00— 12:00、12:00—14:00 绿地增湿幅度存在显著性差 异,与其他时段绿地增湿幅度无明显变化;而外部为 道路的绿地在 10:00—12:00 增湿幅度最小为 2.95%,且该时段绿地增湿幅度与其他时段相比均 存在显著性差异,除 10:00—12:00 以外的其他时段 任意两者之间绿地增湿幅度均无显著性差异。

3.3 温湿度指数分析

根据公式分别计算 2 种外部环境类型绿地各测 试点不同时段的 THI 值(表 4)。在外部为 15 m 宽 河流的城市带状绿地影响范围(28 m)内,河流+绿 地的带状绿地 THI 值低于道路+绿地的带状绿 地。随着各测试点与绿地边缘距离的不断增加,河 流+绿地的带状绿地 THI 值不断升高,而道路+ 绿地的带状绿地 THI 值不断降低。在所测试的 5 个时段中,8:00—10:00 时段的河流+绿地的带状 绿地 THI 平均值相对最低,人体舒适程度最高。 而 14:00—16:00 时段的道路+绿地的带状绿地 THI 平均值相对最高,人体舒适程度最低。

表 4 不同时段 2 种外部环境类型绿地温湿度指数 (THI) 值

Table 4 The temperature-humidity index of green belts with two external environment types in different periods

| 测 试 点 | 8:00—10:00 | | 10:00—12:00 | | 12:00—14:00 | | 14:00—16:00 | | 16:00—18:00 | | 平均值 | |
|-------|------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|-------------|--------|--------|--------|
| | 河流+ 绿地 | 道路+ 绿地 | 河流+ 绿地 | 道路+ 绿地 | 河流+ 绿地 | 道路+ 绿地 | 河流+ 绿地 | 道路+ 绿地 | 河流+ 绿地 | 道路+ 绿地 | 河流+ 绿地 | 道路+ 绿地 |
| n1 | 25.88 | 27.13 | 27.08 | 28.49 | 28.71 | 29.64 | 28.79 | 30.08 | 28.16 | 29.61 | 27.72 | 28.99 |
| n2 | 25.88 | 27.04 | 27.16 | 28.49 | 28.82 | 29.55 | 28.87 | 30.06 | 28.16 | 29.56 | 27.78 | 28.94 |
| n3 | 25.92 | 27.07 | 27.17 | 28.52 | 28.85 | 29.38 | 28.78 | 29.94 | 28.13 | 29.58 | 27.77 | 28.90 |
| n4 | 25.95 | 26.97 | 27.08 | 28.54 | 28.87 | 29.39 | 28.88 | 29.92 | 28.22 | 29.53 | 27.80 | 28.87 |
| n5 | 26.23 | 26.91 | 27.14 | 28.35 | 28.94 | 29.25 | 28.83 | 29.71 | 28.40 | 29.49 | 27.91 | 28.74 |
| n6 | 26.28 | 26.95 | 27.15 | 28.25 | 28.95 | 29.28 | 28.86 | 29.72 | 28.35 | 29.45 | 27.92 | 28.73 |
| n7 | 26.30 | 26.82 | 27.09 | 28.28 | 28.97 | 29.26 | 28.87 | 29.66 | 28.36 | 29.26 | 27.92 | 28.66 |
| n8 | 26.31 | 26.74 | 27.21 | 28.22 | 28.92 | 29.27 | 28.97 | 29.60 | 28.38 | 29.16 | 27.96 | 28.60 |
| n9 | 26.33 | 26.61 | 27.32 | 28.17 | 28.92 | 29.15 | 29.06 | 29.55 | 28.47 | 29.12 | 28.02 | 28.52 |
| n10 | 26.36 | 26.55 | 27.50 | 28.10 | 28.86 | 29.11 | 29.09 | 29.60 | 28.55 | 29.02 | 28.07 | 28.48 |
| n11 | 26.35 | 26.48 | 27.60 | 28.04 | 28.86 | 29.14 | 29.20 | 29.56 | 28.56 | 28.96 | 28.11 | 28.44 |
| n12 | 26.38 | 26.38 | 27.79 | 28.19 | 28.90 | 29.05 | 29.23 | 29.51 | 28.73 | 29.02 | 28.21 | 28.43 |
| n13 | 26.42 | 26.48 | 27.94 | 28.13 | 28.91 | 29.16 | 29.36 | 29.49 | 28.70 | 28.89 | 28.27 | 28.43 |
| n14 | 26.45 | 26.61 | 28.12 | 28.20 | 29.07 | 28.99 | 29.48 | 29.55 | 28.76 | 28.98 | 28.37 | 28.46 |
| n15 | 26.43 | 26.39 | 28.18 | 28.10 | 28.98 | 29.05 | 29.39 | 29.46 | 28.69 | 28.90 | 28.33 | 28.38 |
| n16 | 26.46 | 26.46 | 28.20 | 28.17 | 29.07 | 29.07 | 29.38 | 29.45 | 28.70 | 29.06 | 28.36 | 28.44 |
| n17 | 26.44 | 26.56 | 28.21 | 28.10 | 29.01 | 29.16 | 29.46 | 29.54 | 28.75 | 28.96 | 28.38 | 28.46 |
| n18 | 26.43 | 26.32 | 28.19 | 28.18 | 28.91 | 28.98 | 29.51 | 29.51 | 28.80 | 28.87 | 28.37 | 28.37 |
| n19 | 26.47 | 26.42 | 28.20 | 28.09 | 29.00 | 29.08 | 29.36 | 29.50 | 28.74 | 28.88 | 28.35 | 28.38 |
| n20 | 26.42 | 26.49 | 28.18 | 28.02 | 29.05 | 29.05 | 29.45 | 29.53 | 28.90 | 28.98 | 28.40 | 28.41 |
| 平均值 | 26.28 | 26.67 | 27.63 | 28.23 | 28.93 | 29.20 | 29.14 | 29.65 | 28.53 | 29.17 | 28.10 | 28.58 |

4 结论与讨论

通过对 2 种不同外部类型城市带状绿地及对照 温湿度测定研究表明:1)河流+绿地的绿地类型降

温能力强于道路+绿地的绿地类型,河流对岸边带 状绿地的降温能力影响范围是 28 m,而道路对路旁 带状绿地的降温能力影响范围是 20 m;第 n5 测试 点(即 10 m 处)河流+绿地的绿地类型比道路+绿

地的绿地类型平均温度低 2.42°C 。2) 河流+绿地的绿地类型增湿能力强于道路+绿地的绿地类型, 河流对岸边带状绿地的增湿能力影响范围是 28 m, 而道路对路旁带状绿地的增湿能力影响范围是 20 m; 第 n_5 测试点(即 10 m 处)河流+绿地的绿地类型比道路+绿地的绿地类型平均温度低 2.42°C 、平均相对湿度高 9.10%。综合以上研究结果可以得出, 外部环境类型在相同宽度(15 m)情况下, 河流+绿地的绿地类型降温增湿能力较强, 河流对绿地温湿效益的发挥影响范围较大。城市带状绿地在受河流或道路的影响范围内, 河流+绿地的带状绿地 THI 值低于道路+绿地的带状绿地 THI 值, 人们在河流与绿地相结合的带状绿地内活动相对较为舒适。

城市带状绿地是城市绿地系统的重要组成部分, 带状绿地的外部环境类型对绿地温湿效益的发挥有着重要的影响, 同时, 不同外部环境类型对带状绿地的影响范围也存在较大差异^[5-7]。随着外界气温的不断升高, 河水不断蒸发, 水汽快速扩散到周围的绿地当中, 有效减缓由于温度过高对植物蒸腾所产生的抑制作用, 有利于带状绿地降温增湿作用的充分发挥^[19]。当河流宽度为 14~33 m 时, 岸边带状绿地降温增湿效益较为显著^[20]。道路表面空旷, 混凝土路面及来往车辆促使道路周围空气温度迅速上升, 随着温度升高, 植物失水过多, 加速了植物叶片的气孔关闭, 从而抑制了带状绿地温湿效益的发挥。此外, 夏季城市带状绿地温湿效益较为明显, 冬季城市带状绿地的昼夜温湿效益变化不大^[9-10]。城市带状绿地的林型对其温湿效益的发挥也有较大影响, 与针叶或阔叶纯林相比, 针阔混交林型的城市带状降温增湿能力最为显著^[11]。内部含河流的城市带状绿地降温增湿效益明显优于纯绿地及内部含相同宽度道路的带状绿地^[12]。不同位置的服务设施由于绿地外围环境的不同, 游人舒适度指数也存在较大差异。结合本试验研究结果, 建议城市绿地系统布局中, 在条件允许的情况下, 尽量将城市绿地系统和城市河流布局相结合, 形成“水绿复合”结构, 以最大限度发挥带状绿地的温湿效益。沿道路建设的城市带状绿地, 内部服务设施应适当远离道路一侧, 以降低道路对带状绿地内部舒适度的影响。由于场地所限, 本试验只针对外部环境类型为道路、河流宽度相同(15 m)的带状绿地展开研究, 并为涉及同一宽度外部环境的城市带状绿地的林型、结构类型等因素之间的温湿度关系, 以及其他宽度不同外部环境类型对带状绿地温湿效益的影响。因此, 在以后将会扩大试验场地的选择范围, 展开进一步研究。

参考文献:

- [1] AMATI M, YOKOHARI M. Temporal changes and local variations in the functions of London's green belt [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2006, 75: 125-142.
- [2] 雷江丽, 刘涛, 吴艳艳, 等. 深圳城市绿地空间结构对绿地降温效应的影响[J]. *西北林学院学报*, 2011, 26(4): 218-223. (in Chinese)
LEI J L, LIU T, WU Y Y, *et al.* Effects of structure characteristics of urban green land on the temperature-lowering in Shenzhen City[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2011, 26(4): 218-223. (in Chinese)
- [3] 穆博, 田国行. 一种新型绿地空间模式的探索——以郑州环城绿道网为例[J]. *华中建筑*. 2012, 30(2): 110-114.
MU B, TIAN G X. Exploring a new model of green space: a case study of forest recreation and greenway network around Zhengzhou[J]. *Huazhong Architecture*, 2012, 30(2): 110-114.
- [4] KYUSHIK O, SEUNGHYUN J. Assessing the spatial distribution of urban parks using GIS [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 82: 25-32.
- [5] DANIEL T H, CURTIS M E, ANNE C N, *et al.* A landscape ecology assessment of the Tensas river basin[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2000, 64: 41-54.
- [6] FRANCISCO G, BENJAMIN C T, TATIANA P T. Longitudinal patterns of fish assemblages in a large tropical river in southeastern Brazil: evaluating environmental influences and some concepts in river ecology [J]. *Hydrobiologia*, 2009, 618: 89-107.
- [7] ROBERT L R. Local perceptions and values for a mid-western river corridor[J]. *Landscape and Urban Planning*, 1998, 42: 225-237.
- [8] 朱春阳, 李树华, 纪鹏, 等. 城市带状绿地宽度与温湿效益的关系[J]. *生态学报*, 2011, 31(2): 383-394.
ZHU C Y, LI S H, JI P, *et al.* Effects of the different width of urban green belts on the temperature and humidity [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(2): 383-394. (in Chinese)
- [9] HAMADA S, OHTA T. Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas [J]. *Urban Forestry and Urban Greening*, 2010, 9(1): 15-24.
- [10] 刘娇妹, 李树华, 杨志峰. 北京公园绿地夏季温湿效应[J]. *生态学杂志*, 2008, 27(11): 1972-1978.
LIU J M, LI S H, YANG Z F. Temperature and humidity effect of urban green spaces in Beijing in summer[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(11): 1972-1978. (in Chinese)
- [11] 高玉福, 李树华, 朱春阳. 城市带状绿地林型与温湿效益的关系[J]. *中国园林*, 2012(1): 94-97.
GAO Y F, LI S H, ZHU C Y. Effects of the forest type of urban green belts on temperature and humidity [J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2012(1): 94-97. (in Chinese)
- [12] 高玉福, 李树华, 纪鹏. 城市带状绿地内部环境类型与温湿效益的关系[J]. *中国园林*, 2013(10): 81-85.
GAO Y F, LI S H, JI P. Effects of the internal environment type of urban green belts on temperature and humidity[J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2013(10): 81-85. (in Chi-

nese)

[13] 牛凯,李华威,何瑞珍,等. 郑州市带状绿地不同空间结构类型温湿度效应分析[J]. 西北林学院学报,2015,30(6):237-241. NIU K,LI H W,HE R Z,*et al.* Effects of different spatial structure of urban greenbelts on air temperature and relative humidity in Zhengzhou [J]. Journal of Northwest Forestry University,2015,30(6):237-241. (in Chinese)

[14] 康博文,王得祥,刘建军,等. 城市不同绿地类型降温增湿效应的研究[J]. 西北林学院学报,2005,20(2):54-56. KANG B W,WANG D X,LIU J J,*et al.* The effects of reducing temperature and increasing humidity by different greenland in urban area [J]. Journal of Northwest Forestry University,2005,20(2):54-56. (in Chinese)

[15] 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. WU F,ZHU C Y,LI S H. Seasonal changes of temperature and humidity of six urban underlying surfaces in Beijing [J]. Journal of Northwest Forestry University,2013,28(1):207-213. (in Chinese)

[16] 朱春阳,李树华,纪鹏. 城市带状绿地结构类型与温湿效应的关系[J]. 应用生态学报,2011,22(5):1255-1260. ZHU C Y,LI S H,JI P. Relationships between urban green belt structure and temperature-humidity effect [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2011,22(5):1255-1260. (in Chinese)

[17] 杨持. 生态学实验与实习[M]. 北京:高等教育出版社,2003:160-172.

[18] 王远飞,沈愈. 上海市夏季温湿效应与人体舒适度[J]. 华东师范大学学报:自然科学版,1998(3):60-66. WANG Y F,SHEN Y. The temperature-humidity effect and human comfort in Shanghai summer[J]. Journal of East China Normal University:Natural Science,1998(3):60-66. (in Chinese)

[19] 纪鹏,朱春阳,王洪义,等. 城市中不同宽度河流对滨河绿地四季温湿度的影响[J]. 湿地科学,2013,11(2):240-245. JI P,ZHU C Y,WANG H Y,*et al.* Effect of different width of urban river on air temperature and relative humidity of riverside greenbelts in four seasons[J]. Wetland Science,2013,11(2):240-245.

[20] 纪鹏,朱春阳,李树华. 河流廊道绿带结构的温湿效应[J]. 林业科学,2012,48(3):58-65. JI P,ZHU C Y,LI S H. Effects of the different structures of green belts on the temperature and humidity in river corridors [J]. Scientia Silvae Sinicae,2012,48(3):58-65. (in Chinese)

(上接第 256 页)

[10] JIANG J X,WANG J W,ZHANG X,*et al.* Microstructure change in wood cell wall fracture from mechanical pretreatment and its influence on enzymatic hydrolysis[J]. Industrial Crops and Products,2017,97:498-508.

[11] 廖声熙,崔凯,孙庆丰,等. 云南松人工林正常木与应压木物理力学性质比较. 西北林学院学报,2013,28(6):161-164. LIAO S X,CUI K,SUN Q F,*et al.* Comparative study on physical and mechanical properties of normal and compressed woods from *Pinus yunnanensis* plantations [J]. Journal of Northwest Forestry University,2013,28(6):161-164. (in Chinese)

[12] ADYA P,SINGH,GEOFFREY DANIEL. The S2 layer in the tracheid walls of picea abies wood: inhomogeneity in lignin distribution and cell wall microstructure[J]. Holzforschung,2005,55(4):373-378.

[13] 黄腾华,符韵林,李 宁. 擎天树木材物理力学性质研究[J]. 西北林学院学报,2013,28(5):160-163. HUANG T H,FU Y L,LI N. Physical and mechanical properties of *Shorea chinensis* wood [J]. Journal of Northwest Forestry University,2013,28(5):160-163. (in Chinese)

[14] 杨春梅. 微米木纤维切削功耗计算理论及 MFHB 形成机理 [D]. 哈尔滨:东北林业大学,2007.

[15] 孙建华,熊 勋. 对伐木剪剪伐立木的力学分析及劈裂机理的研究[J]. 森林工程,2000,16(2):23-25.

[16] STANZL-TSCHEGG S E,KEUNECKE D,TSCHEGG E K. Fracture tolerance of reaction wood (yew and spruce wood in the TR crack propagation system)[J]. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials,2011,4:688-698.