

城市带状绿地结构类型与温湿效应的关系*

朱春阳¹ 李树华^{2*} 纪 鹏¹

(¹ 中国农业大学农学与生物技术学院园林生态与绿地规划学研究室, 北京 100193; ² 清华大学建筑学院景观学系, 北京 100084)

摘 要 利用小尺度定量测定的方法,选择北京典型的城市带状绿地——西四环旁侧4种不同内部结构以及5种不同郁闭度带状绿地(绿地宽度42 m)作为研究对象,研究带状绿地结构类型与温湿效应的关系.结果表明:与对照相比,草坪的降温增湿效应不显著,灌-草、乔-草和乔-灌-草绿地的降温增湿效果显著.当郁闭度为10%~31%时,绿地具有一定的降温增湿效应,但效应不显著;当郁闭度超过44%时,绿地降温增湿效应显著;当郁闭度超过67%时,绿地降温增湿效应显著且趋于稳定.

关键词 带状绿地 内部结构 郁闭度 温湿效应 热岛效应

文章编号 1001-9332(2011)05-1255-06 **中图分类号** Q948.1;S731.2 **文献标识码** A

Relationships between urban green belt structure and temperature-humidity effect. ZHU Chun-yang¹, LI Shu-hua², JI Peng¹ (¹ *Laboratory of Landscape Ecology and Green Space Planning, College of Agriculture and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;* ² *Department of Landscape Architecture, School of Architecture, Tsinghua University, Beijing 100084, China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2011, 22(5): 1255–1260.

Abstract: Taking four green belts with different internal constitutions and five green belts with different canopy densities along the west fourth ring road of Beijing as test objects, and by using small-scale quantitative measurement method, this paper studied the relationships between different structure urban green belts (width 42 m) and temperature-humidity effect in Beijing. Comparing with the control, lawn had no obvious effect on the decrease of air temperature and the increase of relative humidity, while shrub-herbage, tree-shrub-herbage, and tree-herbage had significant effect. When the canopy density was 10%–31%, green belts had definite effect on the decrease of air temperature and the increase of relative humidity; when the canopy density reached 44%, the effect became significant; and when the canopy density exceeded 67%, the effect was significant and stable.

Key words: green belt; internal constitution; canopy density; temperature-humidity effect; heat island effect.

带状绿地指沿河流、道路、城垣等修建的具有一定宽度的长条形绿地,可形成纵向、横向、放射状、环状等绿带,是城市绿地系统中颇具特色的构成要素.其含义与“parkway”、“greenway”^[1-2]、“greenbelt”^[3]、“green corridor”^[4]等大致相同.

城市带状绿地对城市绿地的建设和生态环境的改善均起着重要作用.它不受城市总体形状的影响,更能适应各种类型的城市建成区,极大地增加了城区绿地比例,使城市生态环境有所改善;它将分散、

独立、规模不一的块状绿地衔接起来,有力地支持了城市物流、能流、信息流等,使之更为流畅^[5],可为城市自然资源提供更好的保护,能更有效地维护城市生态平衡^[6-8].城市带状绿地承担着城市生态廊道的功能,可将城郊的自然气流引入城市内部,阻隔和分散城市热岛效应^[9-11].

国外对带状绿地生态环境效应的研究多集中于河流两侧的绿地^[12-14],相关研究表明,河流及其两侧的植被可有效降低环境温度5℃~10℃,植被覆盖达60%~80%即可控制水体温度^[12].35 m宽的河流可以使周围气温降低1℃~1.5℃,当水体周

* 国家自然科学基金项目(30972416)资助.

* * 通讯作者. E-mail: lishuhua912@163.com

2010-10-25 收稿,2011-02-28 接受.

围有绿地存在时,可增强水体对周围区域的降温作用^[13]. 国内相关研究多集中在热岛效应与城市下垫面绿化分量的关系方面^[15-18],研究表明城市植被覆盖处的气温较低,当区域绿化覆盖率>30%时,绿地对热岛效应存在较明显的削弱作用^[19].

由于城市带状绿地的边缘率较高,其与外界能量的交换频繁,因此带状绿地的内部结构类型严重影响其生态效应. 目前,国内外尚缺乏对城市带状绿地生态效应进行小尺度、定量化的研究. 因此,本试验分析了带状绿地的结构类型(内部结构、郁闭度)与温湿效应间的关系,并建立了城市带状绿地评价指标,旨在为合理规划城市带状绿地提供科学依据.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

试验地位于北京市海淀区的西四环北路旁侧(39°95′ N, 116°24′ E),绿地呈带状布置. 该地属暖温带半湿润大陆性季风气候,年均温 11.8℃,最冷月(1月)平均气温-7℃~-4℃,最热月(7月)平均气温 26.1℃;年均降水量 626 mm,6—8 月降水量占年降水量的 75%,年均蒸发量 1800~2000 mm.

试验地内乔木种类主要有国槐(*Sophora japonica*)、馒头柳(*Salix matsudana*)、刺槐(*Robinia pseud-*

oacacia)、圆柏(*Sabina chinensis*)、油松(*Pinus tabulaeformis*),灌木主要有紫丁香(*Syringa oblata*)、榆叶梅(*Prunus triloba*)、金银木(*Lonicera maackii*)、紫叶李(*Prunus ceraifera*)、樱花(*Prunus serrulata*),地被植物以早熟禾(*Poa annua*)为主.

植物群落的调查方法见《生态学实验与实践》^[20],植物群落现状见表 1 和表 2.

1.2 样地选择

试验所选样地均位于北京市海淀区西四环北路旁侧,绿地宽度均为 42 m(该宽度值能显著发挥绿地的降温增湿效应^[21]),绿地一侧为车行道,另一侧为硬质铺装.

内部结构测试样地选择宽度相同、郁闭度相似的带状绿地 4 块,绿化覆盖率为 70%~80%(表 1),内部结构分别为乔-灌-草、乔-草、灌-草和草坪.

郁闭度测试样地选择宽度相同、内部植物群落结构相似、郁闭度存在一定梯度的带状绿地 5 块(表 2).

所选绿地的周边环境均相似. 选择空旷的硬质铺装广场为对照.

1.3 项目测定

每种类型绿地采取分段测定,各选取绿地结构相似的 3 段进行重复测定. 每段绿地内测点间隔

表 1 不同内部结构带状绿地的基本特征

Table 1 Basic characteristics of green belts with different internal constitutions

样地 Sampling plot	内部结构类型 Internal constitution type	植物构成 Plant constitution	种植密度 Planting density (plant · m ⁻²)	郁闭度 Canopy density (%)
1	乔-灌-草 Tree-shurb-herbage	馒头柳 <i>Salix matsudana</i> 、刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i> 、丁香 <i>Syringa oblata</i> 、金银木 <i>Lonicera maackii</i> 、早熟禾 <i>Poa annua</i>	0.09	75~85
2	乔-草 Tree-herbage	馒头柳 <i>Salix matsudana</i> 、早熟禾 <i>Poa annua</i>	0.03	70~80
3	灌-草 Shurb-herbage	紫叶李 <i>Prunus ceraifera</i> 、紫叶桃 <i>Prunus persica</i> ‘Atropurpurea’、早熟禾 <i>Poa annua</i>	0.19	70~80
4	草坪 Lawn	早熟禾 <i>Poa annua</i>	0	0

表 2 不同郁闭度带状绿地的基本特征

Table 2 Basic characteristics of green belts with different canopy densities

样地 Sampling plot	郁闭度 Canopy density (%)	植物构成 Plant constitution	种植密度 Planting density (plant · m ⁻²)
1	10	樱花 <i>Prunus serrulata</i> 、早熟禾 <i>Poa annua</i>	0.02
2	31	国槐 <i>Sophora japonica</i> 、圆柏 <i>Sabina chinensis</i> 、樱花 <i>Prunus serrulata</i> 、紫玉兰 <i>Magnolia liliiflora</i> 、早熟禾 <i>Poa annua</i>	0.09
3	44	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i> 、圆柏 <i>Sabina chinensis</i> 、樱花 <i>Prunus serrulata</i> 、丁香 <i>Syringa oblata</i> 、早熟禾 <i>Poa annua</i>	0.10
4	67	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i> 、油松 <i>Pinus tabulaeformis</i> 、樱花 <i>Prunus serrulata</i> 、紫叶李 <i>Prunus ceraifera</i> 、早熟禾 <i>Poa annua</i>	0.11
5	86	馒头柳 <i>Salix matsudana</i> 、刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i> 、丁香 <i>Syringa oblata</i> 、金银木 <i>Lonicera maackii</i> 、早熟禾 <i>Poa annua</i>	0.10

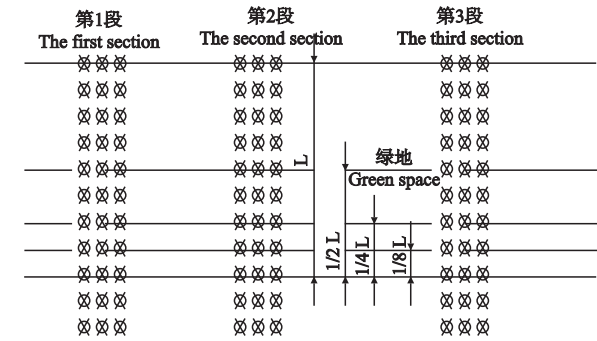


图1 测试点分布示意图

Fig.1 Sketch map of measured points.

L: 绿地宽度 Width of green belt.

1/8L(L为绿地宽度),按图1所示每段布点27个;对照采取网格布点方法设置40个测点.在距离地面1.5 m高处测定气温和相对湿度.

测定时间选择在绿地生态改善作用最明显的2009年7月中旬进行,测试时段为8:00—18:00,每2 h一次,分别对各块样地及对照处的气温、相对湿度进行同步测定,连续测定7 d,挑选晴好无风的3 d进行数据分析.

采用FUSO-8829温湿度测量仪(日本扶桑理化制品株式会社)测定气温和相对湿度.温度测定范围在-40℃~85℃,分辨率为0.1℃;相对湿度测定范围在0~100%,分辨率为0.1%.

1.4 数据处理

采用SPSS 12.0软件对各时段所测数据进行多重比较(Duncan, $\alpha=0.05$),分析各样地及对照间温湿度的差异显著性.使用Microsoft Excel软件制图.

2 结果与分析

2.1 不同内部结构带状绿地对温湿效应的影响

2.1.1 各时段不同内部结构绿地的温湿度差异 从图2可以看出,12:00—14:00,4种的部结构绿地的气温较对照的降幅开始明显增大,14:00—16:00达到最大值,说明在一天中气温最高的时段,绿地的降温效果尤其明显.从14:00—16:00的平均气温来看,乔-草绿地、乔-灌-草绿地、灌-草绿地和草坪的气温分别比对照低5.2℃、5.1℃、3.9℃和1.2℃.说明绿地的内部结构对绿地降温效果存在影响.乔-草和乔-灌-草绿地的绿量大,加之林冠阻挡光照,使到达绿地内的太阳辐射通量密度较小,加上这2块绿地具有强大的蒸腾作用,导致其在高温时段的降温效应比灌-草和草坪绿地明显.乔-草绿地和乔-灌-草绿地的降温效应相差不大,在太阳辐射较强烈的时段(12:00—16:00),这2块绿地的气温差异不显著.

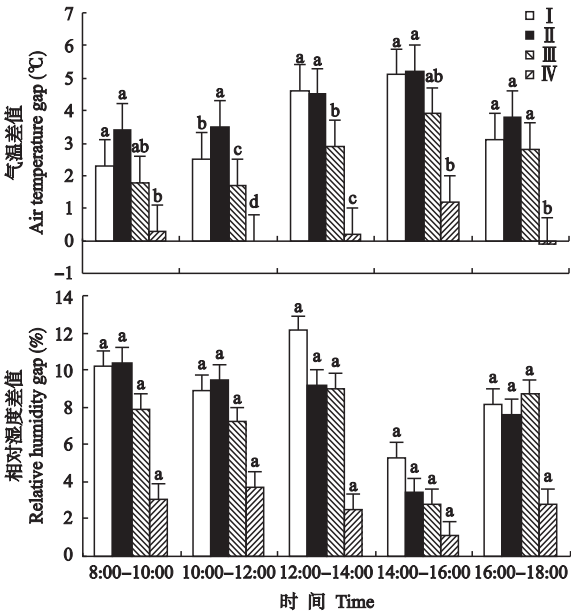


图2 不同时段不同内部结构绿地内外气温和相对湿度的差异

Fig.2 Difference of air temperature and relative humidity between internal and external green belts with different internal constitutions at different periods.

I: 乔-灌-草 Tree-shrub-herbage; II: 乔-草 Tree-herbage; III: 灌-草 Shrub-herbage; IV: 草坪 Lawn. 不同字母表示相同时段不同绿地类型间差异显著($P<0.05$) Different letters indicated significant differences among green belts with different internal constitution in the same period at 0.05 level. 下同 The same below.

在8:00—10:00和10:00—12:00,乔-草绿地的增湿值稍高于乔-灌-草绿地,高约1.0%,原因在于夜间气温低、相对湿度大,乔-灌-草绿地内部不通透,受环境大气的湿度影响较小,所以上午时段较乔-草绿地的相对湿度低.随着环境气温的逐渐升高,绿地内部保湿效果也逐渐增强,12:00—14:00、14:00—16:00和16:00—18:00,乔-灌-草绿地的相对湿度高于乔-草绿地.综合来看,与草坪相比,乔-草和乔-灌-草绿地的增湿效果明显,灌-草绿地的增湿效果较明显(图2).

4种不同内部结构的绿地均表现出一定的降温增湿效应.在一天中任何时段(图2),乔-灌-草、乔-草绿地与草坪间气温的差异均达显著水平($P<0.05$);在10:00—12:00、12:00—14:00和16:00—18:00,灌-草绿地与草坪间气温的差异达到显著水平($P<0.05$);在10:00—12:00和12:00—14:00,乔-灌-草、乔-草绿地与灌-草绿地间气温差异达到显著水平($P<0.05$);乔-灌-草与乔-草绿地之间除10:00—12:00时段外,气温差异均未达到显著水平($P>0.05$).一天所有时段的4种内部构成绿地与对照相对湿度之差均未达到显著水平($P>0.05$).综上

可见,草坪由于绿量低,受周边环境的影响较大,降温增湿效应不显著,一天中的变化不大;灌-草绿地的降温增湿效果较显著,降温增湿幅度明显高于草坪;乔-灌-草和乔-草绿地的降温增湿效应显著高于灌-草绿地和草坪。

2.1.2 不同内部结构绿地的日均温湿湿度差异 4种内部结构绿地的降温效应依次为:乔-草>乔-灌-草>灌-草>草坪。乔-草绿地比对照(33.9℃)低4.1℃,比乔-灌-草绿地低0.6℃;灌-草绿地比对照低2.6℃;草坪的降温效果不明显,比对照低0.3℃(图3)。乔-草绿地的降温效应高于乔-灌-草绿地,说明带状绿地内部的气温变化受空气对流和区域性微风等因子的影响较大。灌-草绿地的降温效应低于乔-草和乔-灌-草绿地。除草坪外,其他3种内部结构绿地气温与对照间的差异均达显著水平($P<0.05$)。乔-草、乔-灌-草、灌-草绿地与草坪间气温的差异均达显著水平;乔-草与乔-灌-草绿地间气温差异不显著,与灌-草绿地差异显著;乔-灌-草与灌-草间绿地气温的差异不显著。

4种内部结构绿地的增湿效应依次为:乔-灌-草>乔-草>灌-草>草坪。乔-灌-草绿地的相对湿度比对照(41.6%)高9%,比乔-草绿地高0.9%;灌-草绿地比对照高7.2%;草坪比对照高2.7%,其增湿效果不明显。4种内部结构绿地之间的相对湿度没有

显著差异($P>0.05$)。说明42 m宽度带状绿地的相对湿度较稳定,受绿地内部结构的影响不大。

不同内部结构绿地的空间效应不同,对绿地内微环境的能量流动影响很大,因此所产生的生态效应也存在差异。其中,草坪具有一定的降温增湿效应,但效果不明显;灌-草和乔-草、乔-灌-草绿地的降温增湿效应显著,且效果依次增强。

2.2 不同郁闭度带状绿地对温湿效应的影响

2.2.1 各时段不同郁闭度带状绿地的温湿湿度差异

从图4可以看出,5种不同郁闭度绿地的降温效应在14:00—16:00时最大,此时,郁闭度10%绿地(样地1)的气温比对照低1.2℃,郁闭度31%的绿地(样地2)比对照低1.7℃,郁闭度44%的绿地(样地3)比对照低4.0℃,郁闭度67%绿地(样地4)与86%的绿地(样地5)的降温效应接近,分别比对照低5.1℃和5.2℃。

郁闭度40%~100%绿地的增湿效应明显高于郁闭度0~40%的绿地。各样地的增湿效应在12:00—14:00最强,其中样地5的增湿效果最好,比对照高12.1%。5个时段中,郁闭度40%~100%绿地(样地3、4、5)的增湿效果更显著,除8:00—10:00外,这3块样地的增湿效应接近。在12:00—14:00和16:00—18:00,样地3的增湿效应稍高于郁闭度较高的样地4,说明在空气对流和微风等影

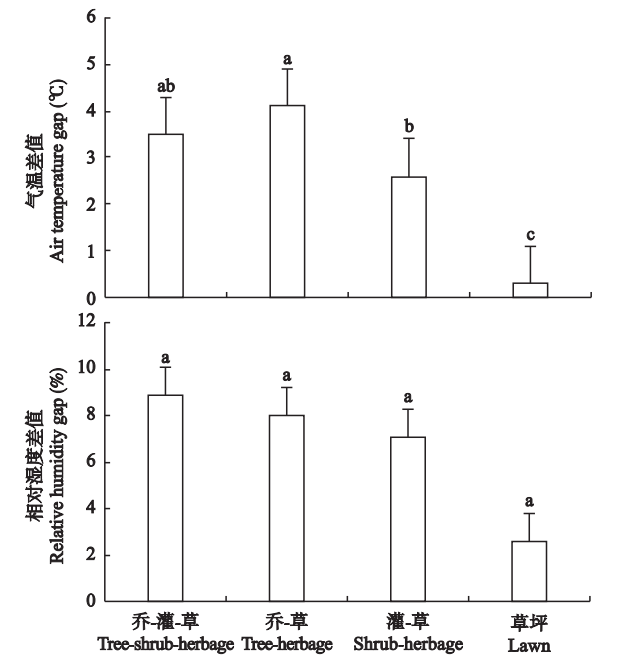


图3 不同内部结构绿地内外日均气温和相对湿度的差异
Fig.3 Difference of daily average air temperature and relative humidity between internal and external green belts with different internal constitutions.

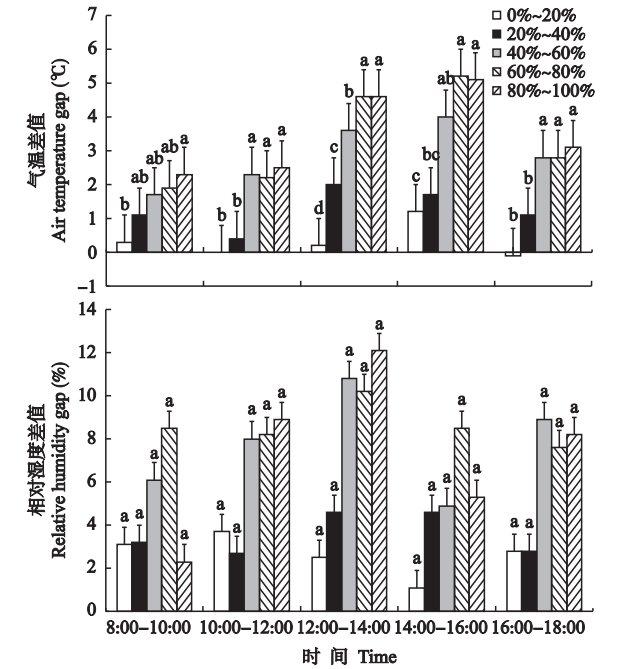


图4 各时段不同郁闭度绿地内外气温和相对湿度的差异
Fig.4 Difference of air temperature and relative humidity between internal and external green belts with different canopy densities at different periods.

响下,带状绿地相对湿度的变化存在一定差异(图4).

5 块不同郁闭度绿地均表现出一定的降温增湿效应.在一天中任何时刻,样地 4 与样地 5 间气温差异均不显著($P>0.05$);在 10:00—18:00,样地 4、5 与样地 1、2 间气温均呈显著差异,除 12:00—14:00 外,样地 4、5 与样地 3 气温的差异均不显著;在 10:00—12:00、12:00—14:00 和 16:00—18:00,样地 3 与样地 1、2 间气温的差异均达显著水平($P<0.05$);一天中所有时刻 5 种不同郁闭度绿地之间相对湿度的差异均未达到显著水平.综上可见,样地 1、2 郁闭度较低,其降温增湿效应受周边环境的影响较大;样地 3 的降温增湿效果高于样地 1、2;样地 4、5 的降温增湿效应显著且较稳定,在太阳辐射较强烈时段(12:00—16:00)的表现尤其突出,样地 4、5 的降温增湿效应高于样地 3,这 2 块绿地温湿度的差异不显著,没有表现出随绿地郁闭度增加而降温增湿效应大幅增强的趋势.

2.2.2 不同郁闭度绿地的日均温湿度差异 5 块不同郁闭度绿地的降温效应依次为:样地 5>样地 4>样地 3>样地 2>样地 1(图 5),样地 1、2、3 的日均气温分别比对照(33.9℃)低 0.4℃、1.3℃和 2.9℃,样地 4、5 比对照低 3.4℃~3.6℃.由于郁闭度较高绿地上层乔灌木的遮挡作用,使到达绿地内部

的太阳辐射显著减少,导致绿地内外的能量交换强度较少,表现为绿地内部气温的变化较稳定.

除样地 1 外,其他郁闭度样地日均气温与对照间的差异均达显著水平($P<0.05$).样地 3、4、5 与样地 1、2 间气温的差异达显著水平;样地 3、4、5 间气温差异不显著;样地 1 与样地 2 间气温的差异达显著水平.

5 块不同郁闭度绿地的增湿效应依次为:样地 5>样地 4>样地 3>样地 2>样地 1.样地 1、2 的日均相对湿度比对照(41.6%)高 2.9%和 3.6%,样地 3、4 分别比对照高 7.8%和 8.0%,样地 5 比对照高 8.9%,郁闭度值较大绿地的日均相对湿度较大(图 5).植物通过蒸腾作用增加空气中的水分含量,从而增加空气的相对湿度.郁闭度值较大绿地的绿量较大,植物蒸腾作用较强,对绿地周围的干热情况具有较好的缓解作用.

5 块郁闭度绿地之间日均相对湿度的差异不显著($P>0.05$).在 10:00—12:00 和 12:00—14:00,样地 3、4、5 的相对湿度与对照之间存在显著差异($P<0.05$),样地 1、2 与对照间的差异不显著($P>0.05$).

随着郁闭度的增加,绿地的降温增湿效应逐渐增强.样地 1、2 具有一定的降温增湿效应,但效果不显著;样地 3、4、5 的降温增湿效果显著.能够显著发挥降温增湿效应的绿地郁闭度值为 44% 左右,温湿效应显著且稳定的郁闭度关键值为 67% 左右.

3 讨 论

城市绿地系统通过各种物理、化学和生态过程对周围环境进行调节和改变^[22-23].在城市用地紧张的情况下,可以通过提高绿地植物配置的科学性、合理性来提高绿化生态效应^[24].

城市绿地的降温增湿效应与自然环境条件、绿地结构、绿地类型、种植形式、结构布局等有关^[25].城市带状绿地本身具有带状的特征,其边缘率较高^[26],其内部温湿效应一方面受绿量影响(植物的叶面积不同,叶片蒸腾水分而产生的温湿效应不同),另一方面受绿地的通透性、边缘性影响.本文中乔-灌-草绿地的绿量较大,其降温增湿效果显著;乔-草绿地由于其分枝点高,且无下层灌木遮挡,通透性较强,在空气对流、微风影响下其降温效果更好.

植物通过蒸腾作用释放大量水分,降低空气温度.郁闭度较大样地的绿量较大,具有较强的蒸腾作用,对绿地周围环境的降温效应显著.当城市绿化覆

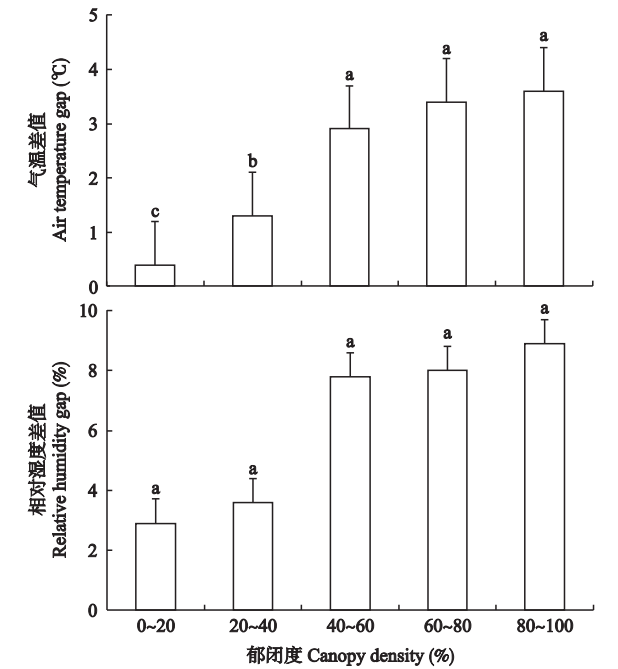


图 5 不同郁闭度绿地内外日均气温和相对湿度的差异
Fig.5 Difference of daily average air temperature and relative humidity between internal and external green belts with different canopy densities.

盖率达到 50% 时,城市夏季酷热的情况可以得到根本改善^[19]. 本文得出,当绿地郁闭度达 44% 左右时,温湿效应显著,当超过 67% 时,温湿效应显著且趋于稳定,与李延明等^[19]在大尺度上的研究结果趋同. 因此,增加绿地的郁闭度,从而增加绿地绿量,将有利于发挥绿地的降温增湿效应.

通过合理设置绿地结构,可以有效降低气温、增加湿度,调节气候,缓解城市热岛效应. 本试验通过定量分析结果表明,不同结构类型带状绿地的温湿效应不同,即绿地内部结构和郁闭度达到一定临界值后,温湿效应才会明显地表现出来. 此外,需进一步在关键宽度值方面展开深入研究,获取更精确的关键值,以期在城市绿地规划中带状绿地的建设提供科学依据.

参考文献

- [1] Walmsley A. Greenways: Multiplying and diversifying in the 21st century. *Landscape and Urban Planning*, 2006, **76**: 252–290
- [2] Marisa T, Frischenbruder M, Pellegrino P. Using greenways to reclaim nature in Brazilian cities. *Landscape and Urban Planning*, 2006, **76**: 67–78
- [3] Amati M, Yokohari M. Temporal changes and local variations in the functions of London's green belt. *Landscape and Urban Planning*, 2006, **75**: 125–142
- [4] Dawson D. Green Corridors in London. London: London Ecology Unit, 1991
- [5] Xiao H-S (肖化顺). Theoretical discussion on planning of urban ecological corridor. *Central South Forest Inventory and Planning* (中南林业调查规划), 2005, **24** (2): 15–18 (in Chinese)
- [6] Rohling J. Corridors of green. *Wildlife in North Carolina*, 1998, **5**: 22–27
- [7] Schiller A, Horn SP. Wildlife conservation in urban greenways of the mid-southeastern United States. *Urban Ecosystems*, 1997, **1**: 103–116
- [8] Yu K-J (俞孔坚), Li D-H (李迪华), Duan T-W (段铁武). Landscape approaches in biodiversity conservation. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), 1998, **6** (3): 205–212 (in Chinese)
- [9] Che S-Q (车生泉). Study on the green corridors in urbanized areas. *City Planning Review* (城市规划), 2001(11): 44–48 (in Chinese)
- [10] Zhang Y-C (张毅川). Discussion on types, functions and setting of urban greenways. *Protection Forest Science and Technology* (防护林科技), 2004(4): 50–52 (in Chinese)
- [11] Zhu Q (朱强). The width of ecological corridor in landscape planning. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2005, **25**(9): 2406–2412 (in Chinese)
- [12] Brazier JR, Brown GW. Buffer Strips for Stream Temperature Control. Corvallis, OR: Forest Research Laboratory, School of Forestry, Oregon State University, 1973
- [13] Adams LW, Dove LE. Wildlife Reserves and Corridors in the Urban Environment. Washington, DC: National Institute for Urban Wildlife, 1989
- [14] Giridharan R, Lau SSY, Ganesan S. Urban design factors influencing heat island intensity in high-rise high-density environments of Hong Kong. *Building and Environment*, 2007, **42**: 3669–3684
- [15] Li Y-M (李延明), Zhang J-H (张济和), Gu R-Z (古润泽). Research on the relationship between urban greening and the effect of urban heat island. *Chinese Landscape Architecture* (中国园林), 2004(1): 72–75 (in Chinese)
- [16] Du M-Y (杜明义). Influence allure structure on spatial heat environment in Beijing. *Journal of Liaoning Technical University* (辽宁工程技术大学学报), 2007, **26** (2): 194–197 (in Chinese)
- [17] Wu F (吴菲), Li S-H (李树华). Research on the relationship between urban green spaces of different areas and the temperature and humidity benefit. *Chinese Landscape Architecture* (中国园林), 2007(6): 71–74 (in Chinese)
- [18] Liu J-M (刘娇妹), Li S-H (李树华). The ecological effects between pure woodland and mixed of urban green space. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2007, **27** (2): 674–684 (in Chinese)
- [19] 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, **17**(1): 1–4 (in Chinese)
- [20] Yang C (杨持). Ecology Experiment and Practice. Beijing: Higher Education Press, 2003 (in Chinese)
- [21] Zhu C-Y (朱春阳), Li S-H (李树华), Ji P (纪鹏), et al. Effects of the different width of urban green belts on the temperature and humidity. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2011, **31**(2): 383–394 (in Chinese)
- [22] Wang S-Z (王绍增), Li M (李敏). Research on ecological mechanism of open space. *Chinese Landscape Architecture* (中国园林), 2001(4): 68–71 (in Chinese)
- [23] 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)
- [24] Chen Z-X (陈自新), Su X-H (苏雪痕), Liu S-Z (刘少宗), et al. Ecological benefit of gardens afforestation in Beijing. *Chinese Landscape Architecture* (中国园林), 1998(5): 51–54 (in Chinese)
- [25] Wang S-Z (王绍增), Liu K (刘康), Wang Y-J (王永军). Ecological functions of green land system in Xi'an. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2006, **25**(22): 135–139 (in Chinese)
- [26] Wang J (王娟), Lin Y-D (蔺银鼎). Role of green land in urban on the reduction of heat island effect. *Grassland and Turf* (草原与草坪), 2006(6): 56–59 (in Chinese)

作者简介 朱春阳,男,1983年生,博士研究生.主要从事城市园林生态与绿地规划研究,发表论文9篇. E-mail: chun82006@sina.com

责任编辑 杨弘