植被结构对严寒地区城市居住区冬夏微气候的影响研究

Influence of Vegetation Structures on Winter and Summer Microclimates of Urban Residential Areas in Severe Cold Regions

金虹 吕环宇 林玉洁
JIN Hong, LV Huanyu, LIN Yujie

中图分类号：TU986
文献标识码：A
文章编号：1673-1530(2018)10-0012-04
DOI：10.14085/j.fjyl.2018.10.0012.04
收稿日期：2018-04-03
修回日期：2018-07-26

金虹/1963年生/女/黑龙江人/博士/哈尔滨工业大学建筑学院副院长、建筑系教授、博士生导师、建筑技术科学学科带头人、黑龙江省寒地建筑科学重点实验室/研究方向为低碳城市、绿色建筑、建筑节能、宜居村镇（哈尔滨 150001）
JIN Hong, born in Heilongjiang Province in 1963, Ph.D., is a professor, doctoral tutor, and vice president of the School of Architecture, Harbin Institute of Technology. She works in Heilongjiang Cold Region Architectural Science Key Laboratory. Her research mainly focuses on low carbon city, green building, building energy conservation, habitable village and town (Harbin 150001).

吕环宇/1987年生/男/黑龙江人/哈尔滨工业大学建筑学院建筑系在读博士研究生、黑龙江省寒地建筑科学重点实验室/研究方向为城市微气候调节原理与设计方法（哈尔滨 150001）
LV Huanyu, born in Heilongjiang Province in 1987, is a doctoral student in the Architecture Department of the School of Architecture, Harbin Institute of Technology. He works in Heilongjiang Cold Region Architectural Science Key Laboratory. His research mainly focuses on the principles and design methods of urban microclimate regulation (Harbin 150001).

林玉洁/1991年生/女/湖北人/哈尔滨工业大学建筑学院建筑系在读博士研究生、黑龙江省寒地建筑科学重点实验室/研究方向为城市微气候调节原理与设计方法（哈尔滨 150001）
LIN Yujie, born in Hubei Province in 1991, is a doctoral student in the Architecture Department of the School of Architecture, Harbin Institute of Technology. She works in Heilongjiang Cold Region Architectural Science Key Laboratory. Her research mainly focuses on the principle and design method of urban microclimate regulation (Harbin 150001).

摘要：城市绿地对于改善城市微气候、缓解城市热岛效应有重要作用，且不同的植物配置、绿地形态以及植被结构所产生的效果不同。以严寒地区典型城市哈尔滨为例，采用现场实测的方法，针对不同植被结构的居住区绿地进行冬夏两季微气候现场实测，对不同植被结构的微气候调节性能进行深入研究，比较分析不同植被结构影响下的空气温度、相对湿度和风速。结果表明：随着植被结构趋于复杂，植被对于冬季冷风的遮挡作用和夏季的降温增湿作用均随之增强。该研究为严寒地区城市居住区景观设计提供参考依据。
关键词：风景园林；城市居住区；植被结构；实测研究；严寒地区；微气候
基金项目：国家自然科学基金重点项目“严寒地区城市微气候调节原理与设计方法研究”（编号51438005）

Abstract: Urban green space plays an important role in improving the urban microclimate and alleviating the urban heat island effect. Different plant configurations, greenbelt forms and vegetation structures will yield different results. This paper takes Harbin, a typical city in the severe cold areas, as an example, adopts the field measurement method to observe the microclimates of the green space in residential areas with different vegetation structures in winter and summer. It carries out in-depth study on the regulation performance of different vegetation structures over the microclimate, and makes comparative analysis of the air temperature, relative humidity and wind speed under the influence of different vegetation structures. The result shows that as the vegetation structure becomes more complex, the shelter effect of vegetation on winter cold wind and the cooling and humidifying effects in summer are enhanced. The study provides a reference for the landscape design of urban residential areas in severe cold regions.
Keywords: landscape architecture; urban residential area; vegetation structure; field measurement; severe cold region; microclimate
Fund Item: National Natural Science Foundation of China “Theory and Design Method for Cold Areas of City Microclimate Regulation” (No. 51438005)

绿地在影响城市生态环境、改善城市微气候方面发挥重要作用[1]。研究发现：不同空间布局的绿地在降温效果上表现出显著差异，绿地面积越大，空间分布越均匀，其对室外的降温效果越显著[2-3]；在乔木间隙栽植灌木可以增强防风效果[4]；增加乔木数量和乔木叶面积密度对降低城市热岛及改善人体热舒适效果显著[5]；绿化量和绿化布局对温湿度的调节有较大作用[6]，其效果随着气候的干热程度的增加而变得更加显著[7]。通过数值模拟预测可知，校园绿化面积减少3%将引起空气温度升高1℃[8]；大型公园的降温效果可以拓展至几百米甚至1.4km处，有时甚至可能造成微弱的空气流动[9-10]。目前，有关严寒地区城市微气候的研究已逐渐受到学术界的重视[11]，随着严寒地区城市的快速发展与扩张，忽视微气候的环境设计对居住区甚至城市环境产生

的负面影响正逐渐暴露出来[12]。

上述研究结果表明了绿地对于调节城市微气候的重要作用，以及进一步深入研究绿地调节微气候性能的必要性。针对居住区绿化设计，已有学者对植被种类、绿化平面形式、孔隙率、绿化色彩设计等进行了相关研究[13-15]，其中已对植被种类对防风、降温增湿、固碳释氧等作用的差异性进行了充分的研究[16-21]，常见研究方法为数值模拟和理论研究，但缺乏对植被结构影响室外物理环境的实测研究。本研究以严寒地区典型城市哈尔滨为研究区域，对不同植被结构的典型居住区空间进行冬夏两季微气候环境的现场实测，得出植被结构与城市居住区微气候的关联性，而指导严寒地区城市居住区的景观设计，以提高居住区物理环境品质，提升居民户外活动舒适性。

1 研究方法

1.1 研究对象

哈尔滨地处中国高纬度地区，四季分明，冬季严寒漫长且多为寒风冰雪天气，夏季凉爽短促；冬季最冷月平均温度 -16.9℃，夏季最高月均气温 23.8℃[22]。据统计，哈尔滨面积不超过 1hm² 的中小型绿地面积占总绿地面积的 43.7%[23]，绿地斑块数量多且分布广，多分布于居住区、道路两侧，主要呈现块状、带状和点状，这些绿地直接影响着居民日常活动的室外空间微气候环境。

根据群落形态的不同，绿地的植被结构可分为乔木、灌木、草地、乔木—灌木、乔木—草地、灌木—草地和乔木—灌木—草地 7 种形式，不同的绿化配置及组合方式不仅能够丰富绿化空间层次，而且可以不同程度地改善微气候环境[24]。根据实际调研情况，本文选取哈尔滨城市居住区常见的植被结构（草地、灌木 + 草地、乔木 + 灌木 + 草地）作为研究对象，对比研究不同植被结构对微气候的影响差异。

1.2 测点布置

选取 2 个规模相近、布局形式相同、建筑高度相近（多层住宅小区，层数均为 7 层）、位置毗邻、但植被结构不同的居住小区（锦江绿色家园以及河政花园）进行对比测试研究，如图 1。河政花园宅间绿地和中心绿地的植被结构均为乔灌草的组合，锦江绿色家园的宅间绿地绿化面积较小且以灌木 + 草地为主，中心绿地为草地。在两居住区的对应位置各布置 3 个测点，形成 3 组对比，其中 R4、R9 为中心绿地的对照点，R4 为乔灌草的组合，R9 为草地；R1、R6 与 R3、R8 为宅间绿地对照点（R1、R3 为乔灌草组合，R6、R8 为灌草组合），如表 1。

由于哈尔滨地处气候条件较为恶劣，居住区绿化植物种类的选择受到气候特征的限制，可供选择的绿化植物种类有限，常用乔木有红松（*Pinus koraiensis*）、榆树（*Ulmus pumila*）、旱柳（*Salix matsudana*）、白桦(*Betula platyphylla*)等，常用灌木有小叶丁香(*Syringa microphylla*)、连翘(*Forsythia suspensa*)、茶条槭(*Acer ginnale*)等，草地为草花地被[25]。在本研究中，为控制测点植被种类变量，在选取测点时同一对照组内各测点的草地植物种类相同，灌木均为以小叶黄杨(*Buxus sinica* var. *parvifolia*)、丁香为主的灌木群，各测点的乔木

表 1 测点植被结构特征表

Tab. 1 Characteristics of vegetation structure measurement points

对照组	中心绿地		宅间绿地	
测点	R4	R9	R1、R3	R6、R8
植被结构	乔木 + 灌木 + 草地	草地	乔木 + 灌木 + 草地	灌木 + 草地

表 2 测试日期和天气情况

Tab. 2 Measurement dates and weather conditions

测试日期	风向	风速 / (m/s)	温度 /℃	相对湿度 /%
2016-07-13	北—西北	3.25	22.16	83.00
2016-12-29	西南	3.76	-15.48	67.38

1 测点分布示意图

Field measurement points distribution

种类均为旱柳，且均为哈尔滨居住区常见植被种类。数据处理时，取 R1、R3 及 R6、R8 的平均值进行对比。

1.3 测试仪器及方法

测试日期和天气情况如表 2 所示。本研究重点关注的是人行高度处的微气候状况，故测试内容为各个测点 1.5m 高度处的空气温度、相对湿度和风速。测试选用 BES-01 温度采集记录器、BES-02 温湿度采集记录器和 Kestrel 5500 小型气象站记录上述气象参数。为减小误差，测试前对仪器进行对比与校准，并将温湿度采集记录器置于铝箔防辐射罩内，以防止太阳辐射与周边环境的长波辐射对测试结果产生影响。将仪器固定在三角支架上并布置在各个测点，如图 2 所示。后期将采集的数据处理为 30min 平均值，以便更加直观地对比各测点数据变化情况。

2 测试结果分析

2.1 不同植被结构对空气温度的影响分析

图 3 为不同植被结构在冬、夏两季的全天空气温度变化图。对比 3 组对照测点的实测数据发现，冬季各测点的温度走势较为接近，对照组的逐时温度差值变化范围为 0.01~3.79℃，全天温度平均值差值分别为 1.03℃、0.04℃（表 3），其中第一组对照组的测试结果说明复杂植被结构温度低于简单绿化结构，第二组两测点的温度数值十分接近（图 3，表 3）。夏季，两组对照点的温差较为明显，逐时温度差值变化范围为 0.02~1.84℃，全天温度平均值差值分别为 1.11℃、0.30℃（表 4），夏季各组对照均体现出植被结构复杂的测点温度较低的特征，其中第一组对照（草地、乔木 + 灌木 + 草地）的温度平均差值最大，

最大降温幅度 1.84℃（出现在 14：00）。

2.2 不同植被结构对相对湿度的影响分析

图 4 为不同植被结构在冬、夏两季的全天空气湿度变化图。对比两组对照测点的实测数据发现，冬季各测点的逐时相对湿度差值变化范围差异较大，为 0.06%~10.01%，全天相对湿度平均值差值分别为 1.46%、0.02%（表 4）。各组对照测点的相对湿度平均值大小关系分别为草地＞乔木 + 灌木 + 草地，灌木 + 草地＜乔木 + 灌木 + 草地；第二组结果显示复杂植被结构相对湿度高于简单绿化结构，第一组简单植被结构相对湿度略大于复杂植被结构温度，这是由于冬季草地积雪较多，对相对湿度数值产生了较大影响；夏季，两组对照点的逐时相对湿度差值变化区间为 0.03%~5.57%，全天相对湿度平均值差值分别为 3.95%、3.54%（表 4），均体现出植被结构复杂的测点湿度较高的特征，且绿化结构越复杂增湿效果越明显。

2.3 不同植被结构对风环境的影响分析

图 5 为不同植被结构各测点在冬夏两季的逐时风速变化图。分析对照组测点实测数据发现，由于植被结构差异带来的风速差异较为显著。冬季逐时风速差值变化范围为 0~1.29m/s，全天风速平均值差值分别为 0.47m/s、0.98 m/s（表 3），均能体现出复杂植被结构对风速的降低作用；夏季，4 组对照测点逐时风速差值变化区间为 0.03~1.00m/s，全天风速平均值差值分别为 0.31m/s、0.19m/s（表 4）；与冬季相比，夏季植被结构的复杂性对风速的影响相对较小，但各组对照测点仍然能体现出复杂植被结构对风速的降低作用。结果显示，虽然植物的生长状况在冬季和夏季有着明显的差异，但不论冬季还是夏季，不同植被结构对住区风速的影响都十分显著，植被结构越复杂对风速的降低作用越明显；根据风速曲线可知，绿化良好的区域，风速的波动区间明显减小。由此可见，复杂的植被结构可以使居住区内空气流动更加平缓，有效抵御冬季疾风，增加居住区环境的舒适度。

3 结论

本文选取哈尔滨植被结构不同的居住区进行冬季和夏季的现场实测，比较研究不同植被结构条件下的室外空间微气候。

研究发现，在夏季（表 4），植被结构的不同对居住区的微气候环境有着较为明显的影响作用。不同植被结构的两组对照点平均温度差值分别为 1.11℃、0.30℃，其中对照组 1（乔木 + 灌木 + 草地、草地）中复杂结构植被降温效果最明显，最大降温幅度 1.84℃（出现在 14：00）；对照点平均湿度差值分别为 3.95%、3.54%，其中对照组 1（乔木 + 灌地 + 草地、草地）中复杂结构植被增湿效果最明显，相对湿度最大差值为 5.57%（出现在 14：00）；两组对照点的平均风速差值分别为 0.31m/s、0.19m/s，其中对照组 1（乔木 + 灌地 + 草地、草地）中复杂结构植被降低风速的效果最明显，风速最大差值为 1.0m/s（出现在 13：30）。

在冬季（表 3），由于枝干对太阳辐射的遮挡作用，植被仍有一定的降温作用，但降温作用并不明显。不同植被结构的两组对照点冬季平均温度差值分别为 1.03℃和 0.04℃，其中对照组 1（乔木 + 灌地 + 草地、草地）中复杂结构植被降温效果最明显；两组对照点的平均湿度差值分别为 1.46%、0.02%，其中对照组 1（乔木 + 灌地 + 草地、草地）中复杂结构植被增湿效果最明显；两组对照点的平均风速差值分别为 0.47m/s、0.98 m/s，其中对照组 2（乔木 + 灌地 + 草地、灌木 + 草地）中复杂结构植被降低风速的效果最明显，风速最大差值为 1.29m/s（出现在 13：30）。

2

2 测试仪器及设备

Measurement instruments and equipment

表 3 冬季不同植被结构测点的空气温度、相对湿度、风速平均值

Tab. 3 Average temperature, relative humidity and wind speed at different vegetation structure measurement points in winter

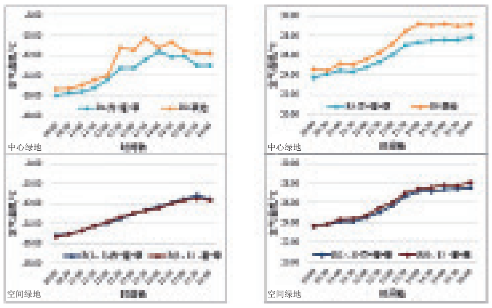
对照组	中心绿地		宅间绿地	
测点	R4	R9	R1、R3	R6、R8
植被结构	乔木 + 灌木 + 草地	草地	乔木+灌木+草地	灌木 + 草地
空气温度 /℃	−13.69	−12.65	−13.18	−13.22
相对湿度 /%	54.36	55.82	57.91	57.89
风速 /(m/s)	0.70	1.17	0.60	1.58

表 4 夏季不同植被结构测点的空气温度、相对湿度、风速平均值

Tab. 4 Average temperature, relative humidity and wind speed at different vegetation structure measurement points in summer

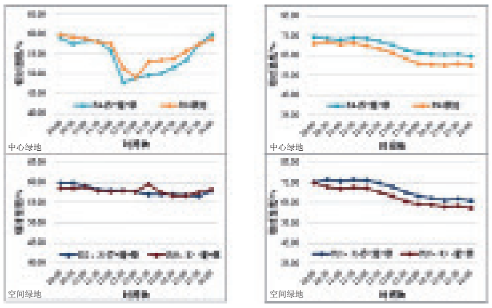
对照组	中心绿地		宅间绿地	
测点	R4	R9	R1、R3	R6、R8
植被结构	乔木 + 灌木 + 草地	草地	乔木 + 灌木 + 草地	灌木 + 草地
空气温度 /℃	25.93	27.04	25.69	25.99
相对湿度 /%	69.56	65.61	71.63	68.08
风速 / (m/s)	0.78	1.09	1.03	1.21

比较测试结果可知，冬夏两季植被都有一定减缓风速和降温增湿的作用。值得注意的是，在严寒地区冬季空气温度极低的情况下，街道行人对于空气温度和相对湿度的个体感觉并不十分敏感，但对于风速变化的敏感程度相对来讲较为明显 [26]。因此，虽然在冬季复杂植被结构有一定的降温作用，但对人体热舒适的影响很小，相比较而言，复杂植被结构对风速的降低作用，对提高人体热舒适有着积极的作用，因此对严寒地区而言，植被结构复杂的绿地在冬季仍是有利的。在本文的两组对比中，乔木在改善室外微气候方面有着不可忽视的作用，其树冠的遮荫和自身蒸腾作用对温湿度的调节作用显著，且树干、叶片导致下垫面粗糙度的改变对空气流动带来的阻碍作用远大于灌木和草地，有利于严寒地区冬季防风。因此，绿地在冬夏两季均能有效改善严寒地区居住区居民室外活动空间的微气候环境，植被结构越复杂对室外空间微气候的调节作用越显著。



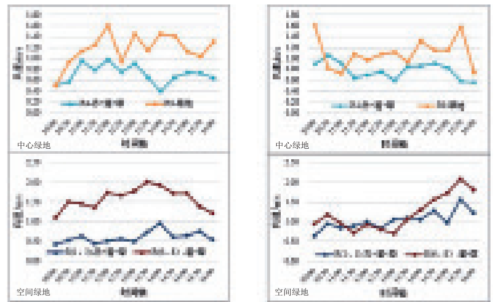
冬季各测点空气温度逐时变化　　夏季各测点空气温度逐时变化

3



冬季各测点相对湿度逐时变化　　夏季各测点相对湿度逐时变化

4



冬季各测点风速逐时变化　　夏季各测点风速逐时变化

5

3 不同植被结构测点的空气温度逐时变化

Hourly variation of air temperature at various vegetation structure measurement points

4 不同植被结构测点相对湿度逐时变化

Hourly variation of relative humidity at different vegetation structure measurement points

5 不同植被结构测点风速逐时变化

Hourly variation of wind speed at different vegetation structure measurement points

注释：

表 2 数据来源于中国气象数据网；文中其他图片、表格均为作者绘制。

参考文献 (References)：

[1] TAKACS A, KISS M, TANACS E, et al. Investigation of Tree Stands of Public Spaces in Szeged[J]. Journal of Environmental Geography, 2015, 8(3-4): 33-39.

[2] 刘晓明，谢丽娟. 广东理想城市建设的策略 绿色基础设施的改善 [J]. 风景园林， 2011（6）：50-53.

LIU Xiaoming, XIE Lijuan. Ideal City Construction Strategies for Guangdong Province Green Infrastructure Improvement[J]. Landscape Architecture, 2011(6): 50-53.

[3] LIN B S, LIN C T. Preliminary Study of the Influence of the Spatial Arrangement of Urban Parks on Local Temperature Reduction[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2016, 20: 348-357.

[4] SHASHUA B L, HOFFMAN M E. 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[J]. Energy & Buildings, 2000, 31(3): 221-235.

[5] 马征.严寒地区村镇绿化对冬季风环境的影响研究 [D]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学，2015.

MA Zheng. Research on Vilage Greening's Windproof Effect in Severe Cold Regions in Winter[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2015.

[6] 杨峰，钱锋，刘少瑜. 高层居住区规划设计策略的室外热环境效应实测和数值模拟评估 [J]. 建筑科学，2013，29（12）：28-34.

YANG Feng, QIAN Feng, LIU Shaoyu. Evaluation of Measurement and Numerical Simulation of Outdoor Thermal Environmental Effect of Planning and Design Strategies of High-rise Residential Quarters[J]. Building Science, 2013, 29 (12): 28-34.

[7] NIKOLOPOULOU M, BAKER N, STEEMERS K. Thermal Comfort in Outdoor Urban Spaces: Understanding the Human Parameter[J]. Solar Energy, 1998, 70(3): 227-235.

[8] ALEXANDRI E, JONES P. Temperature Decreases in an Urban Canyon Due to Green Walls and Green Roofs in Diverse Climates[J]. Building & Environment, 2008, 43(4): 480-493.

[9] WONG N H, JUSUF S K. GIS-based Greenery Evaluation on Campus Master Plan[J]. Landscape & Urban Planning, 2008, 84(2): 166-182.

[10] ELIASSON I, UPMANIS H. Nocturnal Airflow from Urban Parks-implications for City Ventilation[J]. Theoretical & Applied Climatology, 2000, 66(1-2): 95-107.

[11] YAN H, WU F, DONG L. Influence of a Large Urban Park on the Local Urban Thermal Environment[J]. Science of the Total Environment, 2017, 622-623: 882-891.

[12] 金虹，王博. 城市微气候及热舒适性评价研究综述 [J]. 建筑科学，2017，33（8）：1-8.

JIN Hong, WANG Bo. A Review of Evaluation Studies on Urban Micro-climate and Thermal Comfort[J]. Building Science, 2017, 33(8): 1-8.

[13] 伊娜，冷红. 基于关联分析的高层住区布局模式微气候评定：以哈尔滨高层住区为例 [C]// 中国城市规划学会. 2014 中国城市规划年会，2014.

YI Na, LENG Hong. Microclimate Assessment of High-rise Residential District Layout Model Based on Association Analysis: A Case Study of Harbin High-rise Residential District[C]// China Association of City Planning. 2014 Annual Conference of China's Urban Planning, 2014.

[14] 刘维彬，郭春燕，王伟明. 寒地城市居住区中心绿地色彩设计 [J]. 风景园林，2006（2）：54-57.

LIU Weibin, GUO Chunyan, WANG Weiming. The Color Design for the Central Green Spaces of Residential Areas in Winter Cities[J]. Landscape Architecture, 2006(2): 54-57.

[15] 文远高，连之伟.居住区绿化的降温效应与建筑节能 [J]. 住宅科技，2003 （6）：46-48.

WEN Yuangao, LIAN Zhiwei. Effect of Planting on Residential Thermal Environment and Building Energy Saving[J]. Housing Science, 2003(6): 46-48.

[16] 于文洛，赵晓龙. 基于微气候的寒地居住区景观设计策略 [J]. 低温建筑技术，2013，35（8）：28-31.

YU Wenluo, ZHAO Xiaolong. Landscape Design Strategy of Cold Region Residential Area Based on Microclimate[J]. Low Temperature Architecture Technology, 2013, 35(8): 28-31.

[17] 韩庆典，谢宝东. 3 种绿化藤本植物降温增湿效应的研究 [J]. 中国农学通报，2014，30（31）：224-228.

HAN Qingdian, XIE Baodong. Effect of 3 Afforestation Vine Species on Decreasing Temperature and Increasing Humidity[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(31): 224-228.

[18] 李辉，赵卫智. 北京 5 种草坪地被植物生态效益的研究 [J]. 中国园林，1998（4）：36-38.

LI Hui, ZHAO Weizhi. Study on Ecological Benefit of Five Turf Cover Plants in Beijing[J]. Chinese Landscape Architecture, 1998(4): 36-38.

[19] 李想，李海梅，马颖，等. 居住区绿化树种固碳释氧和降温增湿效应研究 [J]. 北方园艺，2008（8）：99-102.

LI Xiang, LI Haimei, MA Yin, et al. Study on the Greening Tree Species of Residential Area's Cooling and Humidification and Carbon Fixation and Oxygen Release[J]. Northern Horticulture, 2008(8): 99-102.

[20] 赵萱，李海梅. 11 种地被植物固碳释氧与降温增湿效益研究 [J]. 江西农业学报，2009，21（1）：44-47.

ZHAO Xuan, LI Haimei. Study on Carbon-fixing, Oxygen-releasing, Temperature-reducing and Humidity-increasing Effects of 11 Ground Cover Plants[J]. Acta Agriculture Jiangxi, 2009, 21(1): 44-47.

[21] 张明丽，秦俊，胡永红. 上海市植物群落降温增湿效果的研究 [J]. 北京林业大学学报，2008，30（2）：39-43.

ZHANG Mingli, QIN Jun, HU Yonghong. Effects of Temperature Reduction and Humidity Increase of Plant Communities in Shanghai[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2008, 30(2): 39-43.

[22] 王成龙. 四种同龄植物防风作用的比较研究 [D]. 呼和浩特：内蒙古农业大学，2011.

WANG Chenglong. Comparative Study on the Resistance Effect to Wind Erosion of Four Kinds of Ven-aged plant[D]. Huhhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2011.

[23] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 中华人民共和国国家标准民用建筑热工设计规范 [M]. 北京：中国建筑工业出版社，2016.

Ministry of Housing and Urban-Rural Construction of the People's Republic of China. Code for Thermal Design of Civil Building[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2016.

[24] 王天明，王晓春，国庆喜，等. 哈尔滨市绿地景观格局与过程的连通性和完整性 [J]. 应用与环境生物学报，2004，10（4）：402-407.

WANG Tianming, WANG Xiaochun, GUO Qingxi, et al. Continuity and Integrity of Urban Greenbelt Landscape Pattern and Process[J]. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology. 2004, 10(4): 402-407.

[25] 林荫，鲁小珍，张静，等. 城市不同绿地结构夏季小气候特征研究 [J]. 浙江林业科技， 2013（5）：25-30.

LIN Yin, LU Xiaozhen, ZHANG Jing, et al. Summer Microclimatic Characteristics of the Green Space with Different Structures in Nanjing[J]. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology, 2013(5): 25-30.

[26] 宋禹辉，周蕴薇. 东北居住区道路绿化景观设计探讨：以沈阳、长春、哈尔滨小区为例 [J]. 北京园林，2008（2）：7-11.

SONG Yuhui, ZHOU Yunwei. Discussion on Landscape Design of Road Greening in Northeast Residential Areas: A Case Study of Shenyang, Changchun and Harbin Residential Areas[J]. Beijing Garden, 2008(2): 7-11.

（编辑 / 王玉蛟　刘玉霞）