

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第7期 Vol.33 No.7 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 7 期 2013 年 4 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 线虫转型发育和寄主识别的化学通讯研究进展..... 张 宾,胡春祥,石 进,等 (2003)
- 生物物种资源监测原则与指标及抽样设计方法..... 徐海根,丁 晖,吴 军,等 (2013)

个体与基础生态

- 呼伦贝尔草原人为火空间分布格局..... 张正祥,张洪岩,李冬雪,等 (2023)
- 青藏高原草地地下生物量与环境因子的关系..... 杨秀静,黄 玫,王军邦,等 (2032)
- 1961—2010 年桂林气温和地温的变化特征 陈 超,周广胜 (2043)
- 黄泥河自然保护区狗冬季卧息地选择..... 朱洪强,葛志勇,刘 庚,等 (2054)
- 青藏高原草地植物叶解剖特征..... 李全发,王宝娟,安丽华,等 (2062)
- 青藏高原高寒草甸夏季植被特征及对模拟增温的短期响应..... 徐满厚,薛 娴 (2071)
- 高温影响番茄小孢子发育的细胞学研究..... 彭 真,程 琳,何艳军,等 (2084)
- 黄土丘陵半干旱区柠条林株高生长过程新模型..... 赵 龙,王振凤,郭忠升,等 (2093)
- 柝属 7 种植物种子的发芽抑制物质研究..... 李庆梅,刘 艳,刘广全,等 (2104)
- 水分胁迫和杀真菌剂对黄顶菊生长和抗旱性的影响..... 陈冬青,皇甫超河,刘红梅,等 (2113)
- 铜尾矿废弃地与相邻生境土壤种子库特征的比较..... 沈章军,欧祖兰,田胜尼,等 (2121)
- 云雾山典型草原火烧不同恢复年限土壤化学性质变化..... 李 媛,程积民,魏 琳,等 (2131)
- 根系分区交替灌溉条件下水肥供应对番茄果实硝酸盐含量的影响..... 周振江,牛晓丽,李 瑞,等 (2139)
- 喀斯特山区土地利用对土壤团聚体有机碳和活性有机碳特征的影响..... 李 娟,廖洪凯,龙 健,等 (2147)
- 自生固氮菌活化土壤无机磷研究..... 张 亮,杨宇虹,李 倩,等 (2157)
- 德国鳶尾对 Cd 胁迫的生理生态响应及积累特性 张呈祥,陈为峰 (2165)
- 施污土壤重金属有效态分布及生物有效性..... 铁 梅,宋琳琳,惠秀娟,等 (2173)
- 基于叶面积指数改进的直角双曲线模型在玉米农田生态系统中的应用..... 孙敬松,周广胜 (2182)
- 中稻田三种飞虱的捕食性天敌优势种及农药对天敌的影响..... 林 源,周夏芝,毕守东,等 (2189)

种群、群落和生态系统

- 珠江口超微型浮游植物时空分布及其与环境因子的关系..... 张 霞,黄小平,施 震,等 (2200)
- 输水前后塔里木河下游物种多样性与水因子的关系..... 陈永金,刘加珍,陈亚宁,等 (2212)
- 南海西北部陆架区鱼类的种类组成与群落格局..... 王雪辉,林昭进,杜飞雁,等 (2225)
- 滇西北高原碧塔湖滨沼泽植物群落分布与演替 韩大勇,杨永兴,杨 杨 (2236)
- 石羊河下游白刺灌丛演替过程中群落结构及数量特征..... 靳虎甲,马全林,何明珠,等 (2248)

资源与产业生态

- 土壤深松和补灌对小麦干物质生产及水分利用率的影响..... 郑成岩,于振文,张永丽,等 (2260)

豆科绿肥及施氮量对旱地麦田土壤主要肥力性状的影响..... 张达斌,姚鹏伟,李 婧,等 (2272)

沟壑全覆盖种植方式对旱地玉米生长及水分利用效率的影响..... 李 荣,侯贤清,贾志宽,等 (2282)

城乡与社会生态

北京北护城河河岸带的温湿度调节效应 吴芳芳,张 娜,陈晓燕 (2292)

西安太阳总辐射时空变化特征及对城市发展的响应..... 张宏利,张纳伟锐,刘敏茹,等 (2304)

研究简报

安徽琅琊山大型真菌区系多样性..... 柴新义,许雪峰,汪美英,等 (2314)

中国生态学会 2013 年学术年会征稿通知 (2320)

第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 (I)

中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 318 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-04



封面图说: 金灿灿的小麦熟了——小麦是世界上最早栽培的农作物之一,是一种在世界各地广泛种植的禾本科植物,起源于中东地区。全世界大概有 43 个国家,近 35%—40% 的人口以小麦为主要粮食。小麦是禾谷类作物中抗寒能力较强的越冬作物,具有一定的耐旱和耐盐碱能力。中国的小麦分布于全国各地,主要集中于东北平原、华北平原和长江中下游一带。小麦秋季播种、冬季生长、春季开花、夏季结实。子粒含有丰富的淀粉、较多的蛋白质、少量的脂肪,还有多种矿物质元素和维生素 B,是一种营养丰富、经济价值较高的粮食。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201201050023

吴芳芳, 张娜, 陈晓燕. 北京北护城河河岸带的温湿度调节效应. 生态学报, 2013, 33(7): 2292-2303.

Wu F F, Zhang N, Chen X Y. Effects of riparian buffers of North Mort of Beijing on air temperature and relative humidity. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(7): 2292-2303.

北京北护城河河岸带的温湿度调节效应

吴芳芳, 张 娜*, 陈晓燕

(中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049)

摘要:以北京北护城河为例,探讨具有不同结构的河岸带对温湿度的调节效应。于 2011 年 5—10 月,根据河岸带在宽度、坡度、植物种类、植被覆盖度、距路距离和距路高度等结构指标上的差异,沿南北两岸各选取 4 类河岸带,并在与河岸带垂直的道路两侧分别设置相应的紧邻不同城市土地利用类型的对照区。在每月下旬的晴天或多云天,从 8:00 到 18:00,对南北 8 类河岸带及其对照区的气温和相对湿度进行连续 10 h 的观测。 t 检验分析表明,与对照区相比,河岸带具有明显的温湿度调节效应,能有效地改善人体的舒适度。各类河岸带的气温极显著低于对照区,而相对湿度极显著高于对照区;河岸带的日气温和日相对湿度变化较对照区和缓,且存在季节差异,河岸带在春秋两季表现出更明显的温湿度日极值调节效应。各类河岸带与其对照区在温湿指数上也存在显著差异;对照区在夏季均会使人体感到很不舒适,而河岸带南岸在 6 月和 8 月可有效地提高人体的舒适度,北岸在 8 月也可改善舒适度。同时,不同类型河岸带的温湿度调节效应也存在差异:南岸对温湿度的调节效应强于北岸,北岸气温显著高于南岸,而相对湿度显著低于南岸。差异显著性的多重比较表明,南北不同类型河岸带之间在温湿度上的差异随季节而异:5 月和 10 月的差异较显著,但 6—9 月的差异不显著,这些与植被覆盖度、乔木密度、冠层结构、河岸带宽度、距路距离,以及周边土地利用方式有关。研究的结果可作为城市河岸带生态服务功能评价的一部分,并可为城市河岸带的建设、修复和管理提供依据。

关键词:城市河岸带;河岸带的结构指标;对照区;南北河岸带;气温;相对湿度;温湿指数;植被覆盖度

Effects of riparian buffers of North Mort of Beijing on air temperature and relative humidity

WU Fangfang, ZHANG Na*, CHEN Xiaoyan

College of Resources and Environment University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: The study explored the effects of urban riparian buffers (RBs) with different structures on air temperature (T) and relative humidity (RH) in the North Mort of Beijing. From May to October in 2011, four RB types were selected on both the north and south RBs based on structural differences (such as width, slope, plant species, vegetation coverage, and distance and height to road). By both sides of the roads vertical to these RBs, the corresponding control areas (CAs) were set, adjacent to surrounding different urban land cover types. From 8:00 to 18:00, 10-hour measurements for T and RH were taken in different RB types and their CAs on sunny or cloudy days of late each month. Statistical analysis was used to test significance of differences in T , RH , and Thermohygrometric Index (THI) between RBs and CAs, between north and south RB types, and among different RB types and cross sectional zones. The results demonstrated that RBs had significant adjusting effects on T and RH compared with CAs, and could effectively improve human comfort. Firstly, from May to September, T and RH for RBs were extremely significantly lower and higher than those for CAs, respectively. Secondly,

基金项目:国家自然科学基金项目(30870430);中国科学院知识创新工程重要方向项目(Y225016EA2);北京市自然科学基金资助项目(8132045)

收稿日期:2012-01-05; 修订日期:2012-07-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangna@ucas.ac.cn

most daily variations in T for CAs showed a bimodal trend, but they had a single peak for RBs; the highest T for RBs occurred between 14:00 and 15:00, which was one hour later than that for CAs; RBs could significantly reduce the highest daily T , although it changed the lowest daily T little; meanwhile it could also effectively decrease high-temperature days. Thirdly, daily variations in T and RH for RBs were less than those for CAs. These differences depended on season, that is, the adjusting effects of RBs on microclimate range were especially strong in spring and autumn, but not in summer. Finally, THI for different RB types were significantly different from those for their CAs; all the CAs made human feel uncomfortable in the summer; the south RB types could effectively enhance human comfort level in June and August, and the north RB types could also do that in August. The results also showed that differences in adjusting effects on T and RH also existed in different RB types. Firstly, south RBs had stronger adjusting effects than north RBs, that is, T and RH for the north RB types were significantly higher and lower than those for the south RB types, respectively. It was mainly due to tree density, canopy structure, and riparian width. The wider south RB with higher tree density and denser upper canopy could partly block direct solar radiation. Secondly, the differences in T and RH among different RB types changed with seasons: there were significant differences in May and October, but not from June to September, related to vegetation coverage, riparian width, distance to the road, and surrounding land cover types. When vegetation coverage was higher than a certain threshold, its increase would not obviously influence T and RH for RB. Wider RB with open surroundings and larger distance to road would lead to stronger effects on microclimate. Finally, the differences in THI among different RB types were almost the same as those in T . In addition, there were no significant differences among different cross sectional zones within each RB type because of the limited RB width. The study may play an essential role on ecosystem service assessment of urban riparian buffer, and further provide theoretical basis for the planning, restoration and management of urban riparian buffers.

Key Words: urban riparian buffer; structural index of riparian buffer; surrounding control areas; south and north riparian buffers; air temperature; relative humidity; thermohygrometric index; vegetation coverage

河岸带定义为沿河流分布的,由一定宽度(受河水影响的范围)组成的,不同于周围基质的带,包括河漫滩、护岸和植被缓冲带,有时也包括部分岸边高地^[1-3]。目前对河岸带的研究大多集中于自然河流,而城市河岸带的生态功能及其建设和管理并未得到应有的重视。相反,由于认识上的局限性,有的城市河流单纯从增加行洪和排水能力出发,使河道人工化,断面单一化^[4-5]。随着环境意识的增强和生活水平的提高,居民对退化河流生态修复的要求越来越迫切,要求城市河岸带不仅要满足防洪需求,还要同时具备美学、生态和休闲功能^[6]。

温湿度调节效应作为河岸带的一项重要生态功能,已引起很多国内外学者的关注。一些研究表明,河岸植被可形成和缓的小气候^[7-8]。同时,河岸带小气候可能受诸多因素的影响,例如河道河槽^[9],水陆交界处的地形^[10],大尺度区域的水文和大气候环境^[11]。进一步的研究表明,河岸带气温与距河流距离和距河流高度存在显著的关联性^[12]。国内在相关方面的发展也很迅速,陈吉泉^[13]认为,河岸植被的走向、宽度、高度、密度、盖度及其林冠的垂直结构等直接影响着河溪生态系统的小气候。李留振等^[14]对黄河下游不同覆盖度的河岸植被进行了小气候观测,结果发现,杨树人工林的空气相对湿度最大,裸露农田最小。刘瑛等^[15]比较了北京郊区抛石和浆砌石两种不同生态型护岸对温度和相对湿度的影响。杨凯等^[16]通过比较上海中心城区不同类型河流和水体在不同季节的温湿度,得出水体面积、水体周边的建筑物布局、“水绿”复合生态系统等均是影响其小气候效应的重要因素。然而,现阶段对城市河岸带温湿度调节效应的研究并不多。已有研究多以理论探讨为主,缺少实验数据的支撑,因此很难得到系统的结论。

本研究以北京市区北护城河为例,以实验数据为基础,探讨在不同季节河岸带是否对周围环境产生温湿度调节效应,以及不同结构类型的河岸带之间在温湿度调节效应上是否存在显著差异。该研究可为城市河岸

带的生态修复、建设和管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

北护城河是北京城区护城河的一部分,它西起西直门北三岔河口,向东流经德胜门、安定门,在东北城角与东护城河相接,全长 5.9 km,宽约 26 m。该区域属于北温带大陆性季风气候,四季分明,冬季多西北风,气候寒冷、干燥;夏季(6—8 月)多西南风,气候炎热、湿润。6—8 月为雨季,降水量较大。年平均降水量 600 mm 左右,年平均气温 12 ℃。该河段位处城市繁华地段,南临北二环主干道,北临滨河路。修复前,硬质河岸带隔绝了生物与土壤的接触,岸边植被稀少,破坏了河流生态系统的整体平衡。北京市水利规划设计研究院于 2005 年对河道和河岸带进行了一系列工程改造和生态修复,包括减少堤防硬化,尽量恢复缓坡断面,使用透水砖或生态袋等材料形成新坡面,种植水生植物、灌木和乔木,形成有层次的岸坡绿化等,在一定程度上改善了北护城河的生态环境^[17]。

1.2 样点选择

首先,选取河岸带的结构指标;第一类为随季节变化的指标,主要指乔木的覆盖度;第二类为不随季节变化的相对稳定型指标,包括河岸带的宽度、坡度、植物种类、乔木密度、距路距离和距路高度(表 1)。根据这些结构指标的差异,沿南岸和北岸各选取 4 类河岸带(北岸编号为 N1、N2、N3 和 N4,南岸编号为 S1、S2、S3 和 S4)。在各类河岸带内部分别取一个样点,各样点间距约为 1000 m。在与河岸带垂直的道路两侧分别设置相应的对照区(北岸对照区编号为 N1'、N2'、N3' 和 N4',南岸对照区编号为 S1'、S2'、S3' 和 S4'),对照区周边紧邻城市公园、高层建筑物、生活区等不同土地利用类型(图 1)。同时,对照区内均为水泥路面,且植被覆盖度基本为零。其次,在每类河岸带内部,沿垂直于河道方向,将河岸带分为坡下、坡中和坡上 3 个横断面区(图 2)。其中,坡中区多为人工铺设的石板路或经人为践踏踩实的泥土路,能较明显地分隔开坡上和坡下两个区。

北岸 4 类河岸带北临滨河路,道路狭窄,仅宽 10 m,车流量较少。其中,N1 的植被种类较多,坡上区坡度较大,只有草坪覆盖;N2 的宽度较大,但坡下和坡中区较窄,以雪松为优势种,乔木的植被覆盖度常年较大,基本无坡度变化;N3 的坡度起伏较大,植被层次结构分明,草本植被茂盛;N4 的宽度较小,植被结构与 N3 相似。南岸 4 类河岸带南临北二环主干道,宽 50 m,车流量较大。其中,S1 的坡下区为硬质小路,小乔木生长茂盛,植被盖度较大;S2 的河岸带较宽,乔木分布密集,与道路间隔较远;S3 的乔灌木层次分明,植被盖度大;S4 的河岸带较宽,距路高度较大,坡上区藤本植物生长茂盛。

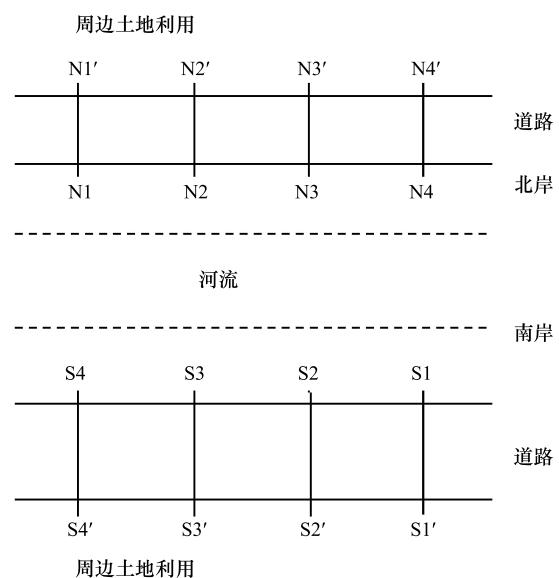


图 1 河岸带与对照区的设置示意图

Fig. 1 Set schematic diagram of riparian buffers and control areas

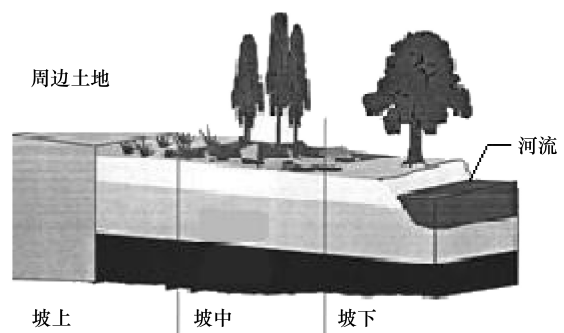


图 2 河岸带内部的横断面区域

Fig. 2 Cross sectional zones within riparian buffer

1.3 野外指标的测定方法

1.3.1 气象指标

采用便携式气象仪 Kestrel 4000 测定观测区域的空气温度(℃)和相对湿度(%),精度分别达 1.0℃和 3.0%。测定高度距地面 1.5 m。

由于实际操作中空间和时间的限制,测定分 3d 进行。于 2011 年 5—10 月的每月下旬,选择 3 个相邻的晴天或多云天,从 8:00 到 18:00,对南北各 4 类河岸带的 3 个横断面区及其对照区的气温和相对湿度进行连续 10 h 的观测(第 1 天观测北岸 4 类河岸带及其对照区,第 2 天观测 S1 和 S2 及其对照区,第 3 天观测 S3 和 S4 及其对照区)。两人分别在河岸带及其对照区同时测定。同时,为避免因测定时间的差异而造成的温湿度差异,尽量缩短同一个河岸带不同横断面区之间的测定时间。具体地,每隔 1 h,在每个横断面区测定 3 min(气象仪自动计数间隔为 10 s,因此,可获取温度和相对湿度各 18 个测定值),在每类河岸带中共测定 9 min;与同时,在对照区中连续测定 9 min。

1.3.2 植被指标

本研究的植被覆盖度均指乔木的投影盖度。在各类河岸带中,根据河岸带的总长度,选取 3—5 个样方,样方长 10 m,宽为河岸带的总宽度。为减少测定误差,由同一人在不同月份采用目估法分别测定某类河岸带中各样方的乔木盖度,对各样方的盖度求平均,获得该类河岸带的植被覆盖度。

1.4 数据分析

用统计分析软件 Minitab 15 进行数据分析。分别总和不同月份 8 类河岸带及其对照区的各气象指标值(取 3 个横断面的平均值),用“配对 t ”模块对不同月份各类河岸带的气象指标值与其相应对照区的值进行 t 检验,以反映不同月份河岸带与对照区温湿度和温湿指数的总体差异;计算不同月份各时段湿度的平均值及日极差值,用 t 检验分析不同月份河岸带及其对照区日气温和日相对湿度的极差均值之间的差异。用 t 检验分析南北河岸带之间,以及南北对照区之间湿度的总体差异;用“Fisher”模块分别对南岸和北岸 2 个组别内不同类型河岸带的湿度和温湿指数进行差异显著性的多重比较,以反映不同河岸带类型湿度调节效应的差异。另外,按月份在不同类型河岸带中分别进行坡上、坡中和坡下 3 个横断面区气温和相对湿度值的单因子方差分析,以反映河岸带内部各横断面区的湿度差异。

1.5 温湿指数

采用 Kyle^[18]提出的基于气温(T)和相对湿度(RH)的温湿指数(THI)来综合评价人体的舒适度(表 2):

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

2 结果与分析

2.1 河岸带与对照区的温湿度差异

2.1.1 河岸带与对照区湿度的总体差异

总的来说,在 5—9 月,不同类型河岸带的气温均极显著低于对照区,而相对湿度均极显著高于对照区。然而,在 10 月,个别类型的河岸带与对照区的湿度之间不存在显著差异。

河岸带区域与对照区在下垫面和植被分布上的差异以及水体的影响是造成它们之间湿度差异的主要原因。虽然对照区内大多分布有绿化带(S1 除外,表 1),同时沿路分布有行道树,但没有构成聚集的植被分布格局,无法形成典型的植被区小气候。对照区路面被硬质水泥或柏油覆盖,不利于水分储存,且随着太阳辐射的变化升降温较快。相反,河岸带区域均为非硬质下垫面,其内呈现“乔-灌-草”多层结构。沿岸以枝叶茂密的阔叶类乔木为主,且植被覆盖度较大,不仅能阻止部分阳光入射,对地面反射辐射也有一定的阻拦效果,从而可较好地稳定小气候。同时,大面积植物的蒸腾作用可有效地降低周围气温,并增加湿度;水体表面蒸发也可在一定程度上降温增湿;水域的较大比热可对气温变化起到一定的缓和作用^[13]。因此,河岸带的气温基本低于对照区,而相对湿度基本高于对照区;且河岸带的湿度变化更为和缓。

表 1 北京北护城河南北河岸带的部分相对稳定型结构指标

Table 1 Partial relatively stable structure indexes for south and north riparian buffers in North Mort of Beijing									
河岸 Riparian buffer	河岸带类型 Type of riparian buffer	横断面 Cross sectional zone	河岸带宽度 Width of riparian buffer/m	河岸带坡度 Slope of riparian buffer/(°)	乔木密度 Tree density /tree/10m	距路距离 Distance to road/m	距路高度 Height to road/m	植物种类(优势种) ^② Vegetation type (dominant species)	紧邻对照区的周边土地利用 Land use of surroundings adjacent to control areas
北岸 North	N1	坡下	3.25	18	-	-	-	旱柳、油松、紫叶李	公园,沿路分布绿化带。行道树为毛白杨,较茂盛, 高约 8 m,胸径约 80 cm
		坡中	1.58	0	-	-	-	-	
		坡上	3.32	28	-	-	-	野牛草	
		平均	8.15	-	0.98	1.60	2.00	-	
	N2	坡下	1.55	18	-	-	-	雪松、圆柏、大叶黄杨	高层办公楼,较空旷,沿路绿化较好;行道树为刺 槐,枝叶茂盛,高约 10 m,胸径约 80 cm
		坡中	2.52	0	-	-	-	-	
		坡上	5.54	0	-	-	-	-	
		平均	9.61	-	3.44	0	0	-	
	N3	坡下	2.50	18	-	-	-	旱柳、刺槐、圆柏、野牛草	低矮居民楼(待拆迁),空间较拥挤,无正规绿化带; 行道树为刺槐,高约 9 m,胸径约 60 cm
		坡中	1.35	0	-	-	-	-	
		坡上	3.91	16	-	-	-	连翘、野牛草	
		平均	7.76	-	0.71	2.20	0	-	
南岸 South	N4	坡下	1.76	16	-	-	-	旱柳、圆柏、野牛草	高层居民楼,沿路分布绿化带;行道树为刺槐, 高约 10 m,胸径约 70 cm
		坡中	1.18	0	-	-	-	-	
		坡上	2.71	19	-	-	-	小叶黄杨、黄刺玫、野牛草	
		平均	5.65	-	1.03	2.50	0.50	-	
	S1	坡下	0.60	0	-	-	-	-	高层办公楼,较为空旷,无显著绿化区域;人口流 动性较大
		坡中	8.30	19	-	-	-	旱柳、金银木、碧桃	
		坡上	0.90	0	-	-	-	臭椿、玉簪	
		平均	9.80	-	2.17	2.20	0.60	-	
	S2 ^①	坡下	6.30	30	-	-	-	旱柳、连翘	低层古建筑,沿路为滨河公园;绿化较好, 乔灌木结合
		坡中	1.30	0	-	-	-	-	
		坡上	6.10	20	-	-	-	刺槐、金银木、玉簪	
		平均	13.70	-	5.01	- ^a	0	-	
	S3	坡下	3.40	16	-	-	-	旱柳、油松、	低层古建筑,沿路为滨河公园;绿化较好,乔灌 草结合
		坡中	1.30	0	-	-	-	-	
		坡上	7.00	16	-	-	-	臭椿、金银木、紫花地丁	
		平均	11.70	-	2.45	0.45	0	-	
	S4	坡下	3.74	19	-	-	-	刺槐、油松、碧桃	中低层办公楼,沿路为滨河公园;绿化较好,乔灌 草结合
		坡中	1.49	0	-	-	-	-	
		坡上	6.00	28	-	-	-	臭椿、五叶地锦	
		平均	11.23	-	4.55	0.45	2.10	-	

①S2 与道路间相隔街心花园,未与道路直接相邻; ②旱柳-Salix matsudana, 油松-Pinus tabulaeformis, 雪松-Cedrus deodara, 圆柏-Sabina chinensis, 毛白杨-Populus tomentosa, 刺槐-Robinia pseudoacacia, 臭椿-Alnus altissima, 金银木-Lonicera maackii, 碧桃-Prunus persica, 大叶黄杨-Euonymus japonicus, 小叶黄杨-Buxus microphylla, 黄刺玫-Rosa xanthina, 紫叶李-Prunus cerasifera, 连翘-Forsythia suspensa, 玉簪-Hosta plantaginea, 野牛草-Buchloe dactyloides, 紫花地丁-Viola philippica, 五叶地锦-Parthenocissus quinquefoli

表2 温湿指数与人体舒适度的划分

Table 2 Classification of Thermohygrometric Index (THI) and human comfort level

温湿指数 THI	人体舒适度 Human comfort level	评价 Assessment
≥30	酷热	无降温措施难以工作
26.5—30	很热	很不舒适
20—26.5	热	不舒适
15—20	舒适	适宜环境

划分标准来源于 Unger^[19]

然而,河岸带对温湿度的调节效应仅出现在晴天或多云天,在阴天这种效应可能不明显。例如,在10月的观测中有一天为阴天,结果河岸带与对照区的温湿度差异不显著。但这仅是一种可能性,10月河岸植物枝叶开始脱落,植被覆盖度下降可能也是一个原因。由于本研究对植物生长盛期时气温和相对湿度的观测均在晴天或多云天进行,因此,在阴天河岸带对温湿度的调节效应是否仍然存在这一问题尚需用更多的实验数据来回答。

2.1.2 河岸带与对照区的温湿度日变化和季节变化差异

不论河岸带还是对照区,气温的最低值均出现于早晨8:00—9:00,这时两个区域的气温均很低,且相差不大;随着太阳高度角的增大,两者的温差逐渐显著,并在午后达到最大值;随后,两者的气温均开始降低,其中,对照区气温下降更快;在18:00左右两者的气温几乎持平。可见,河岸带可显著降低日最高气温,但对日最低气温的改变不明显,这与 Meleason 等^[20]的结论一致。对照区的最高气温多出现在13:00—15:00,而河岸带的最高气温基本出现在14:00—16:00,比对照区延迟1 h。总之,对照区气温的日变化幅度较大,变化趋势也较复杂,多呈现双峰变化趋势;而河岸带气温的日变化趋势则较为平缓,呈现单峰变化趋势。河岸带在夏季(6—8月)的最高气温达30℃以上;而对照区在5—9月的最高气温均达30℃以上,其中7月的最低气温即达30℃以上(图3),因此,河岸带可有效地减少高温的天数。

相对湿度的变化在很大程度上取决于气温的变化,河岸带较低的气温通常会使相对湿度高5%—25%^[21,22]。总的来说,河岸带和对照区相对湿度的日变化趋势均呈现“U型”,只有一个最低值,其中,河岸带的变化趋势较为平缓。不论河岸带还是对照区,相对湿度的最高值均出现在早晨8:00—9:00,最低值均出现在13:00—15:00(图3)。河岸带相对湿度的季节变化也较明显:在春季,降雨较少,气候干燥,日变化在20%左右上下浮动;在夏季,持续高温和多雨使得最高相对湿度达60%—70%,最低相对湿度为40%—50%,平均值在50%左右,极差值大;在秋季,虽然日均值仍较高,但最高相对湿度降到50%—60%,日变化幅度不大。对照区相对湿度的季节变化与河岸带相同,只是各时段的数值较河岸带平均低约10%。

研究表明,高植被冠层可有效降低白昼的气温极差;与裸地相比,1.5—2 m高的植被冠层可产生3℃或更大的极差值差异^[23-24]。本研究部分验证了此结论,并在此基础上进行了季节性分析。对河岸带和对照区不同月份日气温和日相对湿度极差的差异显著性分析表明,春季和秋季对照区的日气温极差分别显著和极显著高于河岸带,而夏季两者的差异不显著;5月和10月对照区的日相对湿度极差分别显著和极显著高于河岸带,而其它月份两者的差异不显著(表3)。在夏季,对某点温湿度变化起主导作用的是大尺度上高温高湿的大环境背景,而小尺度上结构指标(例如,是否有植被,以及下垫面状况等)的影响较弱,因此,夏季河岸带和对照区日气温和日相对湿度极差的差异不大,河岸带对温湿度日变化幅度的调节效应不明显。而在春秋季节,大尺度上的气候变化复杂,无法形成统一的温湿度影响;对某点的温湿度变化,小尺度的调节作用相对较大,此时该点土地利用类型或空间格局的变化将对其温湿度产生显著的影响,因此,春秋季节河岸带和对照区日气温和日相对湿度极差的差异较大,河岸带对温湿度日变化幅度表现出更明显的调节效应。可见,决定某点温湿度变化的主导因子具有明显的空间尺度效应,且因季节而异。

2.2 不同类型河岸带的温湿度差异

2.2.1 南北河岸带温湿度的总体差异

河岸带北岸的气温极显著高于南岸,而相对湿度极显著低于南岸;与南北两岸分别对应的对照区之间也

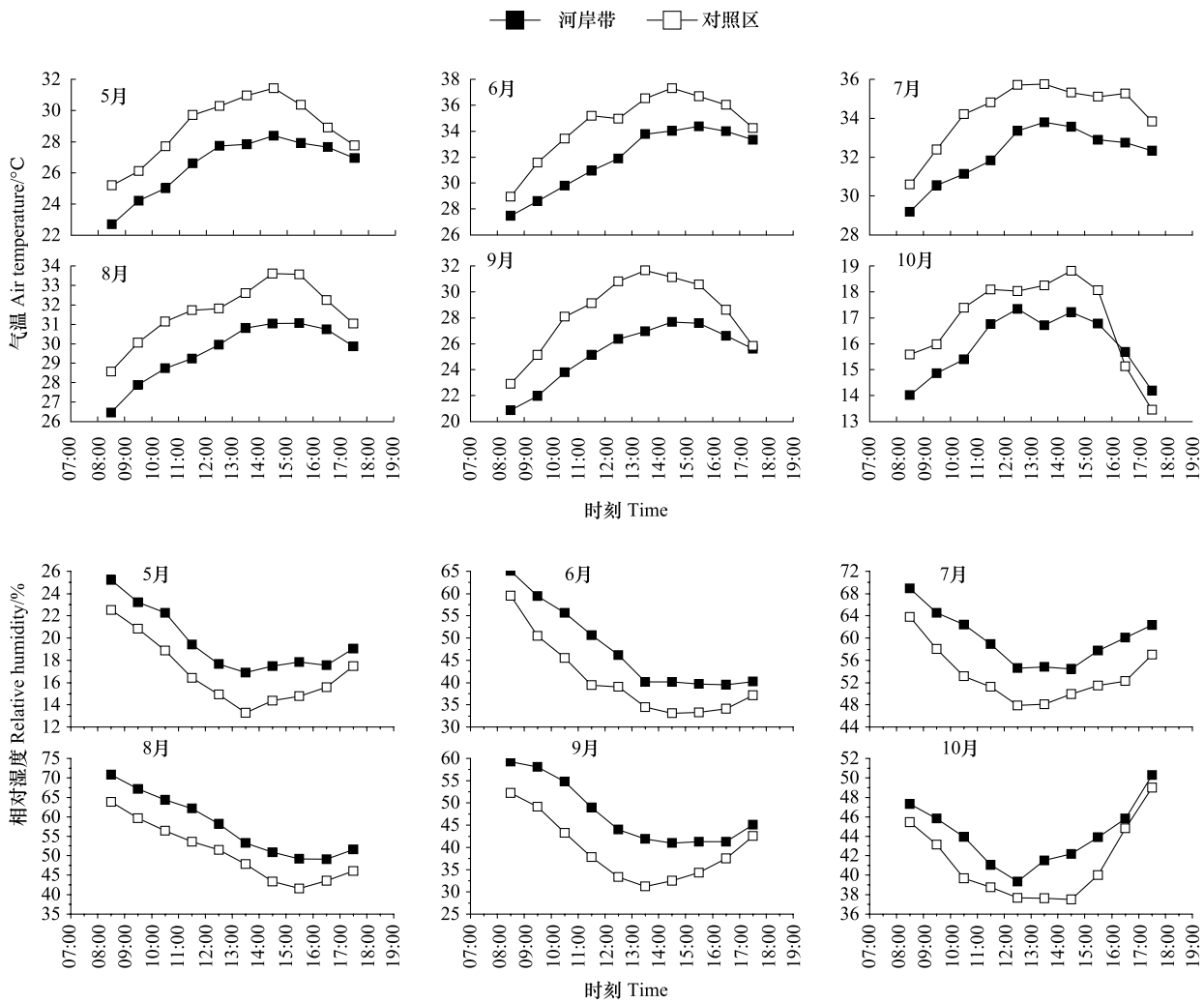


图3 北京北护城河河岸带与对照区不同季节气温和相对湿度的日变化

Fig. 3 Daily variations in air temperature and relative humidity for riparian buffers in the North Mort of Beijing and their corresponding control areas in different growing seasons

表3 北京北护城河河岸带及其对照区不同季节的日气温和日相对湿度极差均值的 *t* 检验结果

Table 3 The *t*-Test for significance of the difference in mean ranges of daily air temperature and relative humidity between riparian buffers in the North Mort of Beijing and their corresponding control areas in different growing seasons

月份 Month	日气温的平均极差 Mean range of daily air temperature /°C			日相对湿度的平均极差 Mean range of daily relative humidity/%		
			<i>P</i>			<i>P</i>
	河岸带 Riparian buffer	对照区 Control area		河岸带 Riparian buffer	对照区 Control area	
5	6.2	7.6	0.023 *	10.2	10.9	0.019 *
6	7.4	9.1	0.140	27.5	28.0	0.788
7	5.0	5.9	0.141	15.8	17.1	0.434
8	5.2	5.9	0.376	23.1	23.3	0.922
9	7.0	9.3	0.001 **	20.0	21.7	0.446
10	4.6	7.1	0.007 **	11.7	15.7	0.001 **

t 检验的样本量多为 80 (除 6 月份为 60); * 表差异达显著水平 ($P<0.05$); ** 表差异达极显著水平 ($P<0.01$)

存在类似的差异 (表 4)。南岸对温湿度有更强的调节效应。虽然北岸也分布有较多的阔叶类乔木,但在白天大部分时间内,狭窄的北岸靠河一侧边缘为南向的河岸带始终暴露在来自偏南方向的太阳的直接照射下,河岸带内气温较高,相对湿度较低;而南岸宽度普遍较大,平均乔木密度也较大,中上层浓密的乔-灌植被结构可

有效遮挡太阳的直接辐射,靠河一侧边缘为北向的河岸带能接受的直接辐射较少^[9,25],使得沿岸形成大面积的荫蔽环境。

表 4 北京北护城河南北河岸带及其对照区温湿度的统计结果

Table 4 The t-Test for significance of the difference in air temperature and relative humidity between south and north riparian buffers in North Mort (SRB and NRB) of Beijing and their corresponding control areas (SCA and NCA)

统计结果 Statistical result	气温 Air temperature /℃				相对湿度 Relative humidity/%			
	北岸 NRB	南岸 SRB	北岸对照区 NCA	南岸对照区 SCA	北岸 NRB	南岸 SRB	北岸对照区 NCA	南岸对照区 SCA
均值 Mean	27.6	25.6	29.9	27.7	39.2	53.4	33.7	47.7
标准差 Standard deviation	6.3	5.7	6.5	6.6	13.6	19.9	11.9	19.3
P	0.001 **		0.000 **		0.000 **		0.000 **	
样本数 Sample size	240		220		240		220	

2.2.2 南北不同类型河岸带的温湿度差异

总的来说,南北不同类型河岸带之间在温湿度上的差异随季节而异,可能源于植被覆盖度这一季节型指标。在 5 月,各类河岸带的植被覆盖度在整个生长季中均最低(图 4),这时覆盖度的显著差异可造成温湿度的显著差异,这使得南北岸均存在温湿度具有显著差异的河岸带类型(表 5)。植被覆盖度从 6 月开始显著增加,并于 7—8 月达到峰值。尽管各类河岸带的夏季植被覆盖度之间存在较大差异,但其温湿度之间的差异大多并不显著(除南岸 7 月的气温)。说明植被覆盖度对河岸带温湿度的影响可能是一个临界阈现象:当覆盖度小于某一阈值时,它的增大对温湿度的影响很大;但当覆盖度大于该阈值时,它的再增大对温湿度的影响不再明显。同时,夏季高温高湿的大环境背景也使温湿度调节效应不够明显。植被覆盖度在 9 月有所下降,但仍然很高;各类河岸带的温湿度之间大多仍不存在显著差异(除南岸的相对湿度)。10 月的植被覆盖度明显低于峰值,各类河岸带的温湿度之间差异显著(表 5)。

河岸带的稳定型结构指标也会影响温湿度调节效应。对于北岸,5 月 N1 和 N2 与 N3 和 N4 的气温和相对湿度之间均存在显著差异;在 10 月,N3 的气温与另外 3 类也存在显著差异。5 月 N3 和 N4 的植被覆盖度相同,且居于 N1 和 N2 之间(即 $N2 > N3 = N4 > N1$,图 4),而气温显著高于 N1 和 N2,相对湿度显著低于 N1 和 N2(表 5)。这是因为,与 N1 和 N2 相比,N3 和 N4 的河岸带较窄(表 1),形成的小气候环境不稳定,在植被覆盖度尚低的情况下,对温湿度的调节效应没有 N1 和 N2 显著。Meleason 等^[20]也发现,相对于 5 m 的河岸带,30 m 的河岸带能够更多地降低白昼的气温。10 月 N3 的植被覆盖度不低于 6 月,但气温却显著高于其它类型

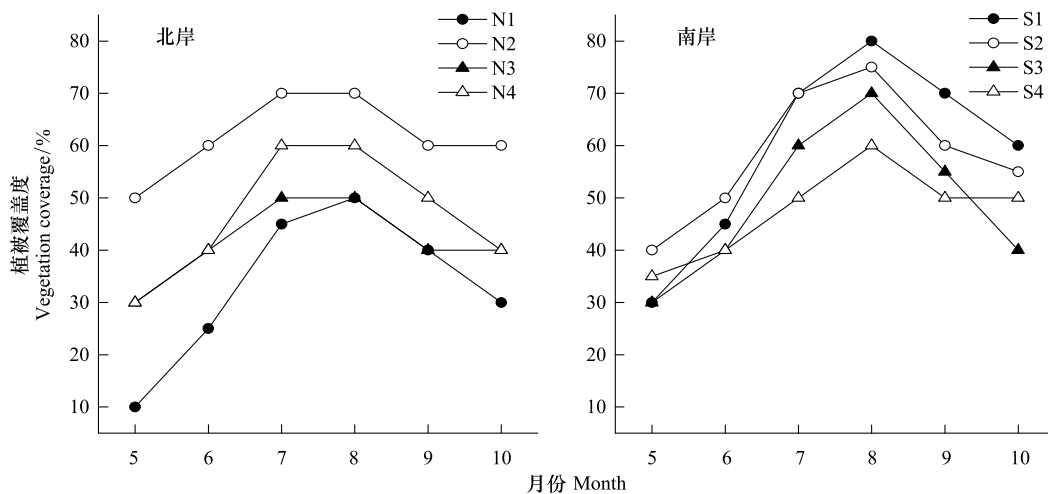


图 4 北京北护城河不同类型河岸带植被覆盖度的季节变化

Fig. 4 Seasonal variations in vegetation coverage for different types of riparian buffers in the North Mort of Beijing

(表 5)。与 N1、N2 和 N4 相比,N3 周边是低矮狭窄的建筑物(表 1),它们无法阻挡太阳辐射,狭窄的空间也不利于热量的扩散,这使得 N3 的气温显著高于其它类型。对于南岸,S3 和 S4 的气温在 5、7 和 10 月显著高于 S1 和 S2,相对湿度在 9 和 10 月显著低于 S1 和 S2(表 5)。S1 和 S2 在 7、9 和 10 月的植被覆盖度均高于 S3 和 S4(图 4),可部分解释温湿度的差异。另外,南岸直接与北二环主干道相邻,车流量较大,河岸带可能受到来自道路和车辆的人为热源的影响。S3 和 S4 与道路间基本无隔离距离,河岸带内小气候受人为热源影响较大,导致高温低湿环境的生成。而 S1 和 S2 的距路距离均比 S3 和 S4 大,特别是 S2(表 1)。据此,可以推断,即使较短的隔离距离(如 S1)也可以有效地缓解来自周边道路的人为热源的影响,使河岸带的温湿度调节效应更为明显。

表 5 北京北护城河南北不同类型河岸带气温和相对湿度差异显著性的多重比较

Table 5 Multiple comparisons of significance of difference of air temperature and relative humidity for different types of south and north riparian buffers in the North Mort of Beijing

月份 Month	气温 Air temperature /℃								相对湿度 Relative humidity/%							
	北岸 North riparian buffer				南岸 South riparian buffer				北岸 North riparian buffer				南岸 South riparian buffer			
	N1	N2	N3	N4	S1	S2	S3	S4	N1	N2	N3	N4	S1	S2	S3	S4
5	a	a	b	b	a	a	b	b	b	b	a	a	a	ab	bc	c
6	a	a	a	a	a	a	—	—	a	a	a	a	a	a	—	—
7	a	a	a	a	a	a	b	b	a	a	a	a	a	a	a	a
8	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
9	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	b	b	a	a
10	a	ab	b	a	a	a	b	b	a	a	a	a	b	b	a	a

样本量为 40; 不同的小写字母(a,b 和 c)表示不同程度的差异显著水平($P<0.05$),且 a,b 和 c 表示的气温和相对湿度的数值大小关系为 $a < b < c$; —:由于天气原因,未获得 6 月 S3 和 S4 的温湿度数据

2.3 河岸带内部各横断面区的温湿度差异

方差分析表明,各类河岸带内部 3 个横断面区(包括坡下、坡中和坡上)的温湿度之间基本无显著差异,尽管各横断面区的结构、植被类型和覆盖度不尽相同,甚至有的路面物理性质(主要指坡中区域的不可渗透性)也存在差异。这可能是由河岸带总宽度较小(10 m 左右)所致。这时,不同横断面区的植被交叉遮掩,相互影响,导致小气候效应很接近。

2.4 人体舒适度指标——温湿指数

2.4.1 河岸带与对照区的温湿指数差异

除 10 月的个别类型河岸带之外,5—9 月河岸带的 *THI* 基本极显著低于其对照区(图 5)。5 月河岸带和对照区基本使人体感到不舒适($20<THI<26.5$)。6 月河岸带北岸及对照区使人体感到很不舒适($THI>26.5$),而南岸却可有效地提高人体的舒适度($THI<26.5$)。7 月河岸带和对照区均使人体感到很不舒适($THI>26.5$)。8 月对照区的 *THI* 仍持续高于 26.5,但河岸带南北两岸的 *THI* 均低于 26.5,可有效缓解人体的不适感。9 月河岸带和对照区的 *THI* 均低于 26.5。而 10 月两者的 *THI* 均低于 20,为适宜环境。

2.4.2 南北不同类型河岸带的温湿指数差异

河岸带南北两岸的 *THI* 差异与其气温的差异情况相似。北岸的 4 个不同类型之间仅在 5 和 10 月存在显著差异,而南岸的 4 个不同类型之间在 5、7、8 和 10 月均存在显著差异(表 6)。这是由植被覆盖度、河岸带宽度、距路距离和季节性气候差异所致。

3 讨论

研究表明,与对照区相比,北护城河河岸带具有明显的温湿度调节效应,能有效改善人体的舒适度。然而,这种调节效应存在着季节性差异,其中,河岸带在春秋季节表现出更强的温湿度日极值调节效应。河岸带南岸对湿湿度的调节效应强于北岸:北岸气温显著高于南岸,而相对湿度显著低于南岸;不同类型河岸带之间在温湿度上的差异随季节而异:春秋季节差异较显著,但夏季差异不显著,这些既与季节型指标(植被覆盖度)有

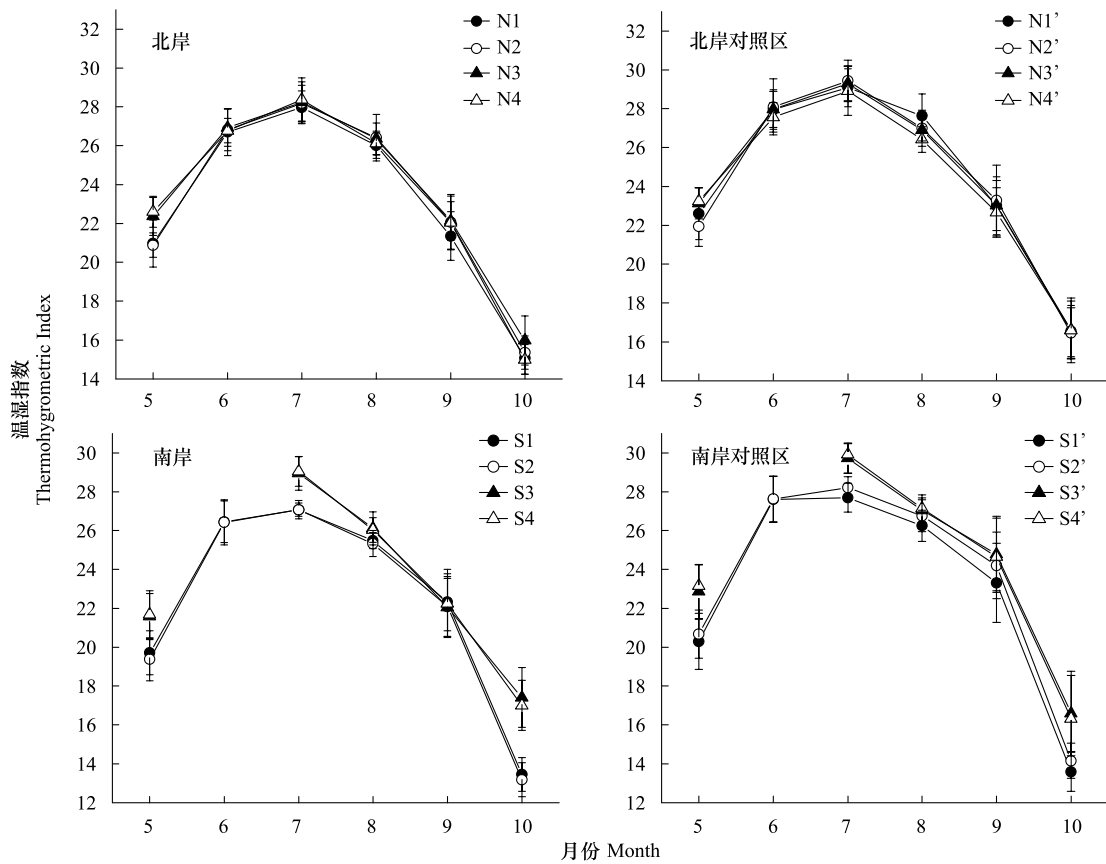


图5 北京北护城河不同类型河岸带温湿指数的季节变化

Fig. 5 Seasonal variations in Thermohygrometric Index (THI) for different types of riparian buffers in the North Mort of Beijing and corresponding control areas

关,也与相对稳定性结构指标(如河岸带宽度、距路距离、乔木密度、冠层结构,以及周边土地利用方式)有关。

表6 北京北护城河南北不同类型河岸带温湿指数差异显著性的多重比较

Table 6 Multiple comparisons of significance of difference of Thermohygrometric Index (THI) for different types of south and north riparian buffers in the North Mort of Beijing

月份 Month	北岸 North riparian buffer				南岸 South riparian buffer			
	N1	N2	N3	N4	S1	S2	S3	S4
5	a	a	b	b	a	a	b	b
6	a	a	a	a	a	a	—	—
7	a	a	a	a	a	a	b	b
8	a	a	a	a	ab	a	c	bc
9	a	a	a	a	a	a	a	a
10	b	bc	c	ab	a	a	b	b

—:由于天气原因,未获得6月S3和S4的温湿度数据

由此,可为河岸带的规划设计提供一定的理论依据和参考建议。首先,需要认识到河岸带作为城市中的特殊廊道,可有效缓解城市的热岛现象,提高人体的舒适度。因此,需要改变以往忽视河岸带生态功能的局面,加强对河岸带的维护和管理。其次,在城市河岸带的建设或修复中,须充分结合周边土地利用情况,合理设计河岸带的结构,以提高河岸带对温湿度的调节效应。例如,(1)在城市中心地带,受用地限制,河岸带往往无法被加宽,这时可通过提高河岸带植被的覆盖度来实现部分功能,但覆盖度不必过大。(2)对于周边空间较为拥挤的河岸带区域,可在坡上或其邻近高地建造主要由乔木组成的绿化带,以遮挡太阳辐射。(3)对

于邻接主路的河岸带,可适当增大河岸带与道路的距离,从而在一定程度上阻隔道路热源。(4)对于靠河一侧边缘为南向的河岸带,可通过增加宽度或者沿岸乔木密度,或者建造多层复杂的冠层结构,来提高其温湿度调节效应。

本研究仍有许多问题需要深入探讨。例如,在比较各类河岸带间的温湿度差异时,曾提到当河岸带内植被覆盖度达到某一阈值时,它的再增大将对河岸带温湿度的影响不再明显,但这一阈值的大小尚不确定。河岸带的稳定型结构指标可能会对温湿度效应产生协同影响,但哪个指标的影响更大,尚有待甄别。本文主要从城市景观生态学的角度探讨了河岸带的结构对温湿度调节效应的影响,尚有待深入解释其调节机制。

致谢:感谢中国科学院研究生院的刘程昱、北京林业大学的陆凯、北京师范大学的王志伟等在野外数据采集过程中给予的大力帮助。

References:

- [1] Gregory S V, Swanson F J, McKee W A, Cummins K W. An ecosystem perspective of riparian zones. *Bioscience*, 1991, 41(8): 540-551.
- [2] Naiman R J. *Watershed Management: Balancing Sustainability and Environmental Change*. New York: Springer Verlag, 1992: 542-542.
- [3] Deng H B, Wang Q C, Wang Q L, Wu W c, Shao G F. On riparian forest buffers and riparian management. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(6): 951-954.
- [4] Gao J R, Xiao B, Niu J Z. Model and application of near natural stream control. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(6): 84-87, 91-91.
- [5] Gao J R. Near natural control: torrent control engineering based on the landscape ecology. *Journal of Beijing Forestry University*, 1999, 21(1): 80-85.
- [6] Zhu G P, Xu W, Qi S, Yang H L, Zhou L J. The design of near-natural control of Chengdong River in Zhaoyuan City, Shandong Province. *Research of Soil and Water Conservation*, 2004, 11(1): 160-162, 181.
- [7] Ruel J C. Factors influencing windthrow in balsam fir forests: from landscape studies to individual tree studies. *Forest Ecology and Management*, 2000, 135(1/3): 169-178.
- [8] Dosskey M G, Helmers M J, Eisenhauer D E, Franti T G, Hoagland K D. Assessment of concentrated flow through riparian buffers. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 57(6): 336-343.
- [9] Moore R D, Spittlehouse D L, Story A. Riparian microclimate and stream temperature response to forest harvesting: a review. *Journal of the American Water Resources Association*, 2005, 41(4): 813-834.
- [10] Rambo T R, North M P. Spatial and temporal variability of canopy microclimate in a Sierra Nevada riparian forest. *Northwest Science*, 2008, 82(4): 259-268.
- [11] Olson D H, Anderson P D, Frissell C A, Welsh H H Jr, Bradford D F. Biodiversity management approaches for stream-riparian areas: perspectives for Pacific Northwest headwater forests, microclimates, and amphibians. *Forest Ecology and Management*, 2007, 246(1): 81-107.
- [12] Eskelson B N I, Anderson P D, Hagar J C, Temesgen H. Geostatistical modeling of riparian forest microclimate and its implications for sampling. *Canadian Journal of Forest Research*, 2011, 41(5): 974-985.
- [13] Chen J Q. Riparian vegetation characteristics and their functions in ecosystems and landscapes. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1996, 7(4): 439-448.
- [14] Li L Z, Zheng J X, Bi L H, Zhao J R. Humidity effects of different vegetation types along the old course of the River. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2010, (4): 390-392.
- [15] Liu Y, Gao J R, Chen Z S, Gao Y, Duan H X. Comparison of temperature and relative humidity effects of two ecological embankments in Beijing suburb. *Research of Soil and Water Conservation*, 2007, 12(6): 227-230.
- [16] Yang K, Tang M, Liu Y, Wu E N, Fan Q J. Analysis of microclimate effects around river and waterbody in Shanghai urban district. *Journal of East China Normal University: Natural Science*, 2004, (3): 105-114.
- [17] Deng Z Z, Feng Y. Restoration of biological conditions of Northern city moat. *Water Resources Planning and Design*, 2007, (6): 14-16, 27.
- [18] Kyle W J. The Human Bioclimate of Hong Kong. Brno: Proceedings of the Contemporary Climatology Conference, 1994: 345-350.
- [19] Unger J. Comparisons of urban and rural bioclimatological conditions in the case of a Central-European city. *International Journal of Biometeorology*, 1999, 43(3): 139-144.
- [20] Meleason M A, Quinn J M. Influence of riparian buffer width on air temperature at Whangapoua Forest, Coromandel Peninsula, New Zealand. *Forest Ecology and Management*, 2004, 191(1/3): 365-371.

- [21] Davies-Colley R J, Payne G W, van Elswijk M. Microclimate gradients across a forest edge. *New Zealand Journal of Ecology*, 2000, 24(2): 111-121.
- [22] Spittlehouse D L, Adams R S, Winkler R D. Forest, Edge, and Opening Microclimate at Sicamous Creek- Research Report. British Columbia: Ministry of Forests, 2004: 28-28.
- [23] Brosnoks K D, Chen J Q, Naiman R J, Franklin J F. Harvesting effects on microclimatic gradients from small streams to uplands in western Washington. *Ecological Applications*, 1997, 7(4): 1188-1200.
- [24] Cadenasso M L, Traynor M M, Pickett S T A. Functional location of forest edges: gradients of multiple physical factors. *Canadian Journal of Forest Research*, 1997, 27(5): 774-782.
- [25] Dignan P, Bren L. Modelling light penetration edge effects for stream buffer design in mountain ash forest in Southeastern Australia. *Forest Ecology and Management*, 2003, 179(1/3): 95-106.

参考文献:

- [3] 邓红兵, 王青春, 王庆礼, 吴文春, 邵国凡. 河岸植被缓冲带与河岸带管理. *应用生态学报*, 2001, 12(6): 951-954.
- [4] 高甲荣, 肖斌, 牛建植. 河溪近自然治理的基本模式与应用界限. *水土保持学报*, 2002, 16(6): 84-87, 91-91.
- [5] 高甲荣. 近自然治理——以景观生态学为基础的荒溪治理工程. *北京林业大学学报*, 1999, 21(1): 80-85.
- [6] 朱国平, 徐伟, 齐实, 杨海龙, 周利军. 山东省招远市城东河河道近自然治理设计初探. *水土保持研究*, 2004, 11(1): 160-162, 181-181.
- [13] 陈吉泉. 河岸植被特征及其在生态系统和景观中的作用. *应用生态学报*, 1996, 7(4): 439-448.
- [14] 李留振, 郑俊霞, 毕丽华, 赵景荣. 黄河故道滩地不同植被的湿度效应分析. *江苏农业科学*, 2010, (4): 390-392.
- [15] 刘瑛, 高甲荣, 陈子珊, 高阳, 段红祥. 北京郊区两种生态护岸方式温湿度效应对比. *水土保持研究*, 2007, 12(6): 227-230.
- [16] 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.
- [17] 邓卓智, 冯雁. 北护城河的生态修复. *水利规划与设计*, 2007, (6): 14-16, 27-27.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 7 April, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Research progress on chemical communication of development and host-finding of nematodes ZHANG Bin, HU Chunxiang, SHI Jin, et al (2003)
- Principles, indicators and sampling methods for species monitoring XU Haigen, DING Hui, WU Jun, et al (2013)

Autecology & Fundamentals

- Spatial distribution pattern of human-caused fires in Hulunbeir grassland ZHANG Zhengxiang, ZHANG Hongyan, LI Dongxue, et al (2023)
- Belowground biomass in Tibetan grasslands and its environmental control factors YANG Xiuqing, HUANG Mei, WANG Junbang, et al (2032)
- Analysis on variation characteristics of air temperature and ground temperature in Guilin from 1961 to 2010 CHEN Chao, ZHOU Guangsheng (2043)
- Winter bed-site selection by roe deer (*Capreolus capreolus*) in Huangnihe Nature Reserve ZHU Hongqiang, GE Zhiyong, LIU Geng, et al (2054)
- Leaf anatomical characteristics of the plants of grasslands in the Tibetan Plateau LI Quanfa, WANG Baojuan, AN Lihua, et al (2062)
- A research on summer vegetation characteristics & short-time responses to experimental warming of alpine meadow in the Qinghai-Tibetan Plateau XU Manhou, XUE Xian (2071)
- Cytological study on microsporogenesis of *Solanum lycopersicum* var. Micro-Tom under high temperature stress PENG Zhen, CHENG Lin, HE Yanjun, et al (2084)
- A new plant height growth process model of *Caragana* forest in semi-arid loess hilly region ZHAO Long, WANG Zhenfeng, GUO Zhongsheng, et al (2093)
- Germination inhibitory substances extracted from the seed of seven species of *Quercus* LI Qingmei, LIU Yan, LIU Guangquan, et al (2104)
- Effects of water stress and fungicide on the growth and drought resistance of *Flaveria bidentis* CHEN Dongqing, HUANGFU Chaohe, LIU Hongmei, et al (2113)
- Characters of soil seed bank in copper tailings and its adjacent habitat ... SHEN Zhangjun, OU Zulan, TIAN Shengni, et al (2121)
- Changes of soil chemical properties after different burning years in typical steppe of Yunwun Mountains LI Yuan, CHENG Jimin, WEI Lin, et al (2131)
- Effects of water and fertilizers on nitrate content in tomato fruits under alternate partial root-zone irrigation ZHOU Zhenjiang, NIU Xiaoli, LI Rui, et al (2139)
- Effect of land use on the characteristics of organic carbon and labile organic carbon in soil aggregates in Karst mountain areas LI Juan, LIAO Hongkai, LONG Jian, et al (2147)
- Mobilization of inorganic phosphorus from soils by five azotobacters ZHANG Liang, YANG Yuhong, LI Qian, et al (2157)
- Physiological-ecological responses of *Iris germanica* L. to Cd stress and its accumulation of Cd ZHANG Chengxiang, CHEN Weifeng (2165)
- The available forms and bioavailability of heavy metals in soil amended with sewage sludge TIE Mei, SONG Linlin, HUI Xiujuan, et al (2173)
- LAI-based photosynthetic light response model and its application in a rainfed maize ecosystem SUN Jingsong, ZHOU Guangsheng (2182)
- The dominant species of predatory natural enemies of three kinds of planthoppers and impact of pesticides on natural enemies in paddy field LIN Yuan, ZHOU Xiazhi, BI Shoudong, et al (2189)

Population, Community and Ecosystem

- Spatial and temporal variation of picophytoplankton in the Pearl River Estuary ZHANG Xia, HUANG Xiaoping, SHI Zhen, et al (2200)

Analysis of the relationship between species diversity and hydrologic factors during an interval of intermittent water delivery at the Lower Reaches of Tarim River, China	CHEN Yongjin, LIU Jiazhen, CHEN Yaning, et al (2212)
Fish species composition and community pattern in the continental shelf of northwestern South China Sea	WANG Xuehui, LIN Zhaojin, DU Feiyan, et al (2225)
Distribution and succession of plant communities in Lake Bita coastal swamp on the plateau region, northwestern Yunnan	HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang (2236)
Analysis on community structure and quantitative characteristics of <i>Nitraria tangutorum</i> nebkhas at different succession stage in lower reaches of Shiyang River	JIN Hujia, MA Quanlin, HE Mingzhu, et al (2248)
Resource and Industrial Ecology	
Effects of subsoiling and supplemental irrigation on dry matter production and water use efficiency in wheat	ZHENG Chengyan, YU Zhenwen, ZHANG Yongli, et al (2260)
Effects of two years' incorporation of leguminous green manure on soil properties of a wheat field in dryland conditions	ZHANG Dabin, YAO Pengwei, LI Jing, et al (2272)
Effects of planting with ridge and furrow mulching on maize growth, yield and water use efficiency in dryland farming	LI Rong, HOU Xianqing, JIA Zhikuan, et al (2282)
Urban, Rural and Social Ecology	
Effects of riparian buffers of North Mort of Beijing on air temperature and relative humidity	WU Fangfang, ZHANG Na, CHEN Xiaoyan (2292)
Characteristics of spatial and temporal variations of global solar radiation in Xi'an and relevant response in urban development	ZHANG Hongli, ZHANG Naweirui, LIU Minru, et al (2304)
Research Notes	
A analysis of macrofungal flora diversity in Langyashan Nature Reserve, Anhui Province, China	CHAI Xinyi, XU Xuefeng, WANG Meiyang, et al (2314)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 陈利顶

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 7 期 (2013 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 7 (April, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元