doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 03. 040

洛阳市高架桥桥阴光照特征与绿化建议

王 鑫[1],苏 维[1],卜其珍[1],张鹏发[2]
(1. 河南科技大学 园艺与植物保护学院,河南 洛阳 471000; 2. 洛阳华艺建筑规划设计有限公司,河南 洛阳 471000)

摘要:基于高架桥桥阴特殊生境条件的研究进行合理的绿化植物筛选,对桥阴环境质量改善、城市景观空间的美化具有重要实践意义。选取洛阳市东西走向、南北走向的 6 座高架桥,分四季研究标准桥段桥阴的光照分布特征,并依据植物生长光环境需求对桥阴空间进行分区,以此筛选出 30 余种适宜不同分区的绿化植物。研究表明,桥阴空间光分布基本呈现单谷变化的趋势;南北走向桥体整体光照强度优于东西走向桥体,桥体高宽比越大,桥阴空间采光越好;桥体隔离缝对其正下方狭窄区域光照有增强效果。高架桥桥阴存在植物生长“死区”和强光照区,因此,依据实测桥阴光照进行合理绿化是改善景观效果的重要途径。

关键词:高架桥;桥阴绿化;光照强度;植物;洛阳市

中图分类号:S731. 8;TU113. 19 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)03-0214-08

引文格式:王鑫,苏维,卜其珍,等. 洛阳市高架桥桥阴光照特征与绿化建议[J]. 林业调查规划,2023,48(3):214-221. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 03. 040

WANG Xin, SU Wei, BU Qizhen, et al. Light Characteristics and Greening Suggestions under Viaduct in Luoyang City [J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(3):214-221. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 03. 040

Light Characteristics and Greening Suggestions under Viaduct in Luoyang City

WANG Xin[1], SU Wei[1], BU Qizhen[1], ZHANG Pengfa[2]
(1. College of Horticulture and Plant Protection, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471000, China; 2. Luoyang Huayi Architectural Planning and Design Co., Ltd., Luoyang, Henan 471000, China)

Abstract: A reasonable selection of green plants based on the research of the special habitat conditions under the viaduct has important practical significance for the improvement of the environmental quality under the bridge and the beautification of the urban landscape space. This paper selected six viaducts in the east-west and north-south directions in Luoyang to study the characteristics of the light distribution under the bridges in four seasons. The space under the bridge was partitioned according to the light environment requirements for plant growth, and more than 30 kinds of green plants suitable for different partitions were screened out. The research results showed that the spatial light distribution under the viaduct basically presented a trend of single valley change. The overall light intensity of the north-south viaduct was better than that of the east-west bridge. The greater the height-to-width ratio of the viaduct, the better the lighting in the space under the bridge; the isolation seam of the viaduct had the effect of enhancing the light in the narrow area directly below it. There were “dead zones” for plant growth and strong

收稿日期:2021-12-27.
基金项目:国家自然科学基金项目(41801026);河南科技大学博士启动基金(13480061).
第一作者:王鑫(1997-),男,河南南阳人,硕士研究生. 研究方向为园林规划与设计. Email:wangxin9728@163. com
责任作者:苏维(1979-),男,陕西汉中人,博士,讲师. 研究方向为园林规划设计和园林工程. Email:suwei8405@163. com

light areas under the viaduct. Therefore, reasonable greening based on the measured light under the bridge was an important way to improve the landscape effect.

Key words: viaduct; shaded green space under viaduct; light intensity; plants; Luoyang City

城市高架桥的出现,很大程度上缓解了城市交通拥堵的严峻问题,但建桥负面影响日益显现,大多数桥阴空间因缺光少雨、噪声大、粉尘多等原因难以开发利用。绿化利用是当前最常见的桥阴空间利用方式之一,受桥阴空间光照不匀所限制,桥阴空间绿化在植物选择、景观营造方面较困难,合理利用桥阴空间创造优良的绿化景观,是一个具有重要实践意义的研究课题。当前国内外学者对桥阴空间合理绿化布局形式[1-3]的研究较多,对桥阴光照强度的研究通常采用计算机模拟的方式[4-6],但实地测量城市高架桥桥阴光照强度的研究较少。鉴于此,通过对洛阳市典型高架桥桥阴光照强度实地调研,总结桥阴光照规律,结合植物正常生长所需光照强度,探索桥阴不同光照区域最适的植物应用种类,旨在为洛阳市高架桥桥阴空间绿化提供科学依据和建议。

1 研究区概况

洛阳市地处河南省西部,地理坐标为 112°16′~112°37′E,34°32′~34°45′N,属暖温带大陆性季风气候[7],具有春季多风、气候干旱,夏季炎热、雨水集中,秋季晴和、日照充足,冬季干冷、雨雪稀少的显著特点。年均温 12.2~24.6℃,年降水量 528~800 mm,年日照时数为 2 200~2 300 h,年均湿度 60%~70%。本研究的高架桥皆位于洛阳市中心区(图 1)。

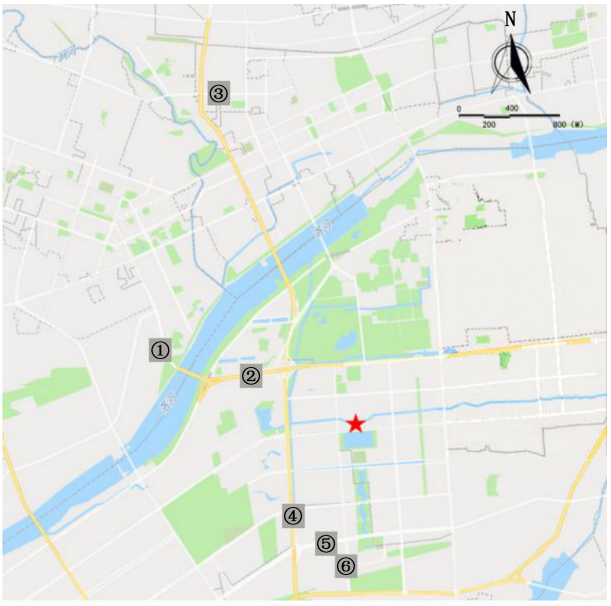

图 1　样本高架桥位置

Fig. 1　Location of sample viaducts

2 研究方法

2.1 研究对象

将洛阳市区内两种不同走向高架桥桥阴绿化空间光照强度作为研究对象,影响桥阴光照强度的主要因素有桥体走向、是否具有桥体隔离缝、桥体周边环境、桥体高宽结构等[8]。为保证研究结果更真实全面,所选高架桥样本有以下特征:桥体走向为东西走向和南北走向;桥体有无桥体隔离缝;桥体周边环境不同。

同时高架桥桥阴绿地植物长势稳定且生长时间均长于一年。通过对洛阳市高架桥实地调研,确定了 6 座高架桥样本,其基本特征如表 1 所示。

2.2 样方设置

在样本高架桥标准桥段每隔 20 m 设置一个样方,共设置前、中、后 3 个样方。每个样方长度为 20 m,宽度与桥体宽度一致,在各样方内,设置 3 条与桥体走向垂直的测量样点带,每条样点带平行且间隔为 6.5 m,作为重复测定。每条样点带上均匀分布 7 个样点,样点 1 和样点 7 位于桥阴边界向内 0.5 m 处。距地面 1.5 m 高度处对样点进行测量。南北走向高架桥样方设计示意图如图 2 所示,东西走向样方设置方式与此相同。

2.3 光照强度测定

使用 SMART SENSOR 公司 ST 8813 一体式照度计,于 2020 年 10 月至 2021 年 7 月期间,在春分、夏至、秋分、冬至 4 个节气前后挑选 3 d 晴天,自上午 8:00 至下午 18:00,测量样本桥体桥阴各样点光照强度,间隔为 2 h,各样点测量 3 次,取 3 d 测量数值计算该样点的光照强度均值。

2.4 划分桥阴光照强度强弱区域

根据桥阴各测量位点光照强度均值,采用二分法对桥阴光照强度强弱进行分区,在桥体平面图上标明各分区比例。

表1　样本高架桥基本信息

Tab. 1　Basic information of sample viaducts

样本编号	高架桥名称	走向	桥体特征			现有绿化植物	绿化情况	周围环境	周围建筑是否影响桥阴光照
			桥宽/m	桥阴净高/m	桥体隔离缝宽/m				
1	瀍涧大道高架桥	东西	40	13.8	1.5	八角金盘、洒金桃叶珊瑚、珊瑚树、红叶石楠、鸢尾、桂花	植物种类较多，但长势差	南侧有高大建筑，建筑密集，两侧无高大乔木	影响
2	古城路高架桥	东西	52	6.4	0	八角金盘、鸢尾	桥阴植物单一，长势差	南北两侧有高大建筑，建筑较密集，两侧无高大乔木	影响
3	伊洛路高架桥	东西	27	6.6	1.0	八角金盘、洒金桃叶珊瑚、大叶黄杨	植物种类单一，长势较好	两侧无高大乔木，北侧有低矮建筑	不影响
4	王城大道高架桥	南北	33	11.0	0	八角金盘、洒金桃叶珊瑚、旱地早熟禾、高羊茅、狗牙根、大叶黄杨	植物种类单一，地面覆盖率较低，长势一般	两侧无高大建筑及乔木	不影响
5	永泰街高架桥	南北	19.0	5.4	0	八角金盘、大叶黄杨	植物种类单一，长势较好	西侧有高大建筑，两侧无高大乔木	影响
6	南昌路高架桥	南北	15.8	5.0	1.0	八角金盘、洒金桃叶珊瑚	植物种类单一，长势一般	东侧有高大建筑，两侧无高大乔木	影响

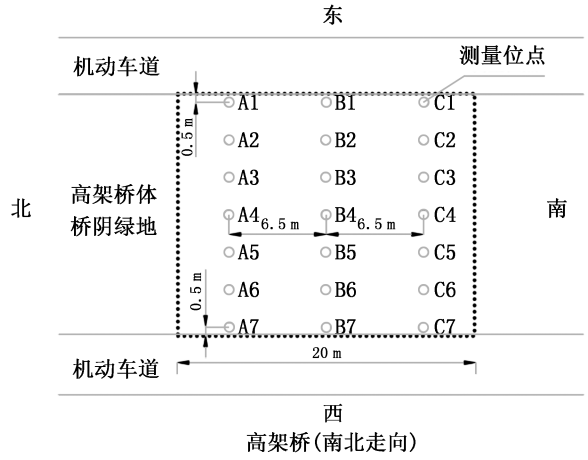

图2　南北走向高架桥样方设置方式

Fig. 2　Setting method of the viaduct in the north-south direction

2.5 数据处理

1）桥阴绿地各样方测量位点光照强度计算公式为：

$$I_i = (I_{Ai} + I_{Bi} + I_{Ci})/3 \quad (1)$$

式中：I_i 为每块样方中位点 i 平均光照强度(lx)；Ai、Bi、Ci 为各样地3条样点带中的样点；i=(1,2,…,7)。文中有关光照强度的数值描述，均为该样点最终的平均值。

2）植物光补偿点及光饱和点是进行绿化建议的重要参考依据，其单位为 μmol/(m²·s)。在本实验中直接测量高架桥桥阴太阳光光照强度(lx)，1 μmol/(m²·s)=54 lx[8]。

3）不同走向样本桥体桥阴四季光照数据使用SPSS 19.0分析处理，桥阴光照强度分区图使用CAD 2010制作，其余图、表使用Excel制作。

3 结果与分析

3.1 洛阳市高架桥桥阴光照特征

光照强度易受纬度、海拔、坡向、季节影响[9]，室外全光照下，夏季白天自8：00至16：00光照强度基本在30 000 lx以上，夏季中午时，可达到100 000 lx[10]。样本桥体各测量位点四季全晴天光照数据如表2所示。

本研究中对样本桥体桥阴各样点光照强度进行实地测量，发现高架桥桥阴与桥外全光照相比，光照强度相差甚远，桥体遮光效果十分明显。

3.1.1 东西走向样本桥体桥阴光照特征

各位点光照强度与季节变化明显相关，桥阴光照强度夏季时最大，冬季最小(图3)。

春季时平均光照强度最大值出现在位点1，为20 638 lx，最小值出现在位点5，为1 038 lx；夏季时位点1光照强度最大为35 059 lx，位点5光照强度最小，为1 569 lx；秋季时位点1光照强度最大，为21 900 lx，位点5光照强度最小为740 lx；冬季时位点1光照强度为16 029 lx，位点5光照强度最小为

表 2　样本桥体桥阴各测量位点四季光照强度均值

Tab. 2　Average value of the four-season light intensity at each measurement site of the sample viaducts and shades

样本桥体名称	季节	测量位点光照强度均值/lx						
		1	2	3	4	5	6	7
伊洛路高架桥	春季	22570	8668	3921	3635	2242	4137	9217
古城路高架桥	春季	19170	4129	1621	412	832	2410	7217
瀍涧大道高架桥	春季	20176	5628	4213	1605	852	5316	8914
永泰街高架桥	春季	19724	12376	4759	5341	4310	10731	16037
王城大道高架桥	春季	21720	15371	7966	3045	4207	11036	21037
南昌路高架桥	春季	15439	9207	3037	2017	3503	9370	16720
伊洛路高架桥	夏季	37068	6714	3029	5280	1609	6305	14889
古城路高架桥	夏季	30068	9905	2459	1301	1962	6304	10889
瀍涧大道高架桥	夏季	38042	9304	6037	2751	1138	7035	17889
永泰街高架桥	夏季	27481	19175	9216	9982	7628	17664	24675
王城大道高架桥	夏季	35481	19175	11216	7328	10583	23665	31674
南昌路高架桥	夏季	24138	11350	4541	2772	5216	13672	26512
伊洛路高架桥	秋季	23481	7825	2028	3227	1042	3329	8316
古城路高架桥	秋季	20114	6813	1317	326	570	2751	8003
瀍涧大道高架桥	秋季	22105	7014	5269	1348	609	4971	9235
永泰街高架桥	秋季	20526	11270	6061	5947	5026	9735	14872
王城大道高架桥	秋季	23418	13070	8961	4045	4919	10235	23037
南昌路高架桥	秋季	16509	9782	3234	1970	3724	10074	18229
伊洛路高架桥	冬季	18722	9650	6901	2107	908	2418	5298
古城路高架桥	冬季	15728	3407	1095	624	373	1108	3869
瀍涧大道高架桥	冬季	13637	3580	2516	891	412	3101	6206
永泰街高架桥	冬季	12708	6703	3508	4171	2749	6217	10954
王城大道高架桥	冬季	14707	9034	6702	2371	1050	7206	12014
南昌路高架桥	冬季	10714	5032	1738	1003	2198	5982	11609

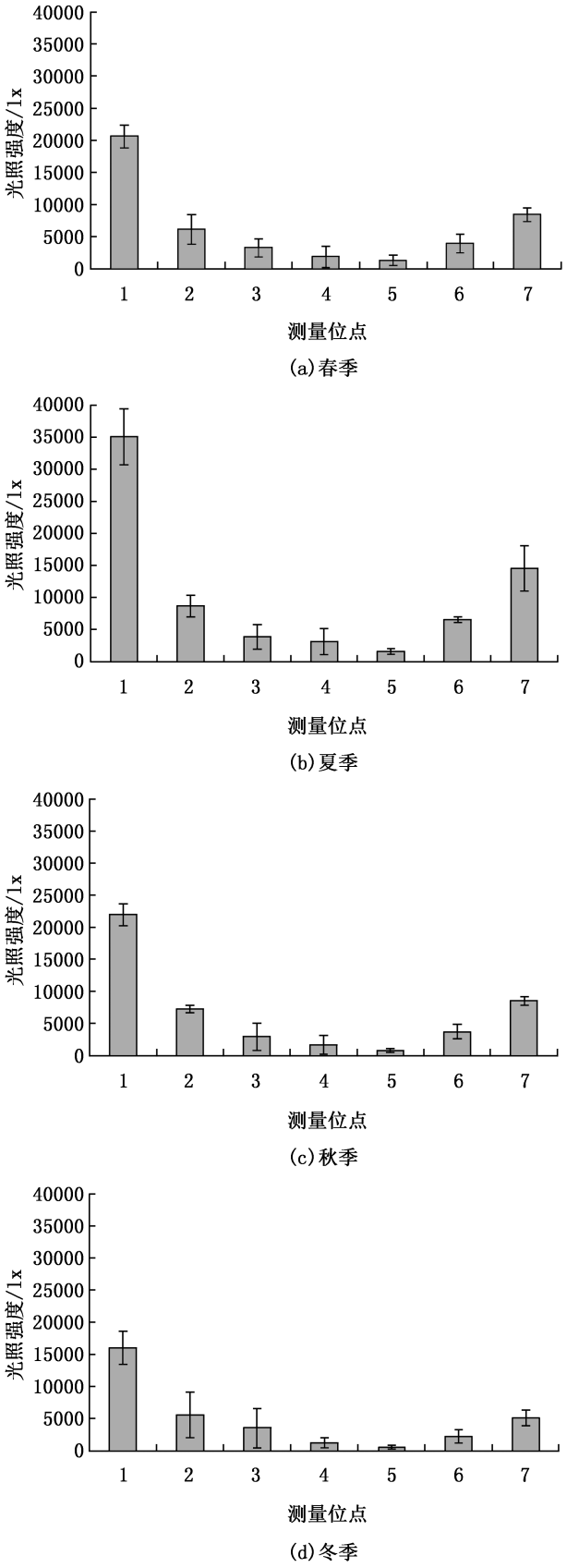

图 3　东西走向高架桥桥阴四季光照特征

Fig. 3　Four-season light characteristics under viaducts in the east-west direction

564 lx。自位点 1 至位点 7,光照强度变化趋势为先降低后升高,桥阴最南侧光照强度数值最大,桥阴中央区域光照强度较小。相同季节,桥阴外侧位点 1 光照强度优于位点 7,桥阴外侧光照强度优于桥阴中央区域。

3.1.2 南北走向样本桥体桥阴光照特征

桥阴光照强度在不同季节存在明显差异,夏季时桥阴整体光照情况优于其余 3 个季节,冬季时各位点光照强度低于其余 3 个季节(图 4)。

春季时桥阴位点 1 平均光照强度最大,为 18 961 lx,位点 4 光照强度最小,为 3 467 lx;夏季时位点 1 平均光照强度最大,为 29 033 lx,位点 4 光照强度最小,为 6 694 lx;秋季时位点 1 平均光照强度最大,为 20 151 lx,位点 4 光照强度最小,为 3 987 lx;冬季时位点 1 平均光照强度最大,为 12 709 lx,位点 5 平均光照强度最小,为 1 999 lx。自最东侧位点 1 至最西侧位点 7,光照强度变化趋势为先降低后升高,桥阴中央区域光照强度明显小于桥阴东西两侧,东西两侧测量位点光照强度关于桥阴最中央呈对称趋势,桥阴位点 1 和位点 7 的光照强度接近,但位点 1 光照强度略优于位点 7。

3.1.3 不同走向桥体桥阴空间光照强度分区

东西走向和南北走向高架桥桥阴光强分区情况如图 5 所示。

根据前期各测量位点光照强度数据,采用二分法将各样本高架桥桥阴光照强度由强到弱分为 5 个区,Ⅰ区光照强度大于 10 000 lx,Ⅱ区光照强度为 6 000~10 000 lx,Ⅲ区光照强度为 3 000~6 000 lx,Ⅳ区光照强度为 1 000~3 000 lx,Ⅴ区光照强度为 1 000 lx 以下。

3.2 桥阴适生植物需光特性

外界环境因子对植物生长有十分重要的作用[11]。若植物长期处于缺光环境,可影响到植物叶片的正常形态[12],根据植物正常生长所需的光照强弱,将植物分为阳性植物、耐阴植物、阴性植物三大类[13]。阳性植物需光较多,通常最低照度在 1 000 lx,即 18.5 μmol/(m^2 · s)以上[8],当缺光寡照时,阳性植物轻则生长不良,重则死亡。阴性植物通常光补偿点约 300 lx,若光照过强,植物会出现“日灼”现象,表现为叶片卷曲,焦黄。中性植物需光度介于两者中间,适应性较强。对能适应洛阳市气候的植物进行统计,且大多数植物有在高架桥桥阴种植先例,根据其正常生长所需光照强度情况,将其归类[14],如表 3 所示。

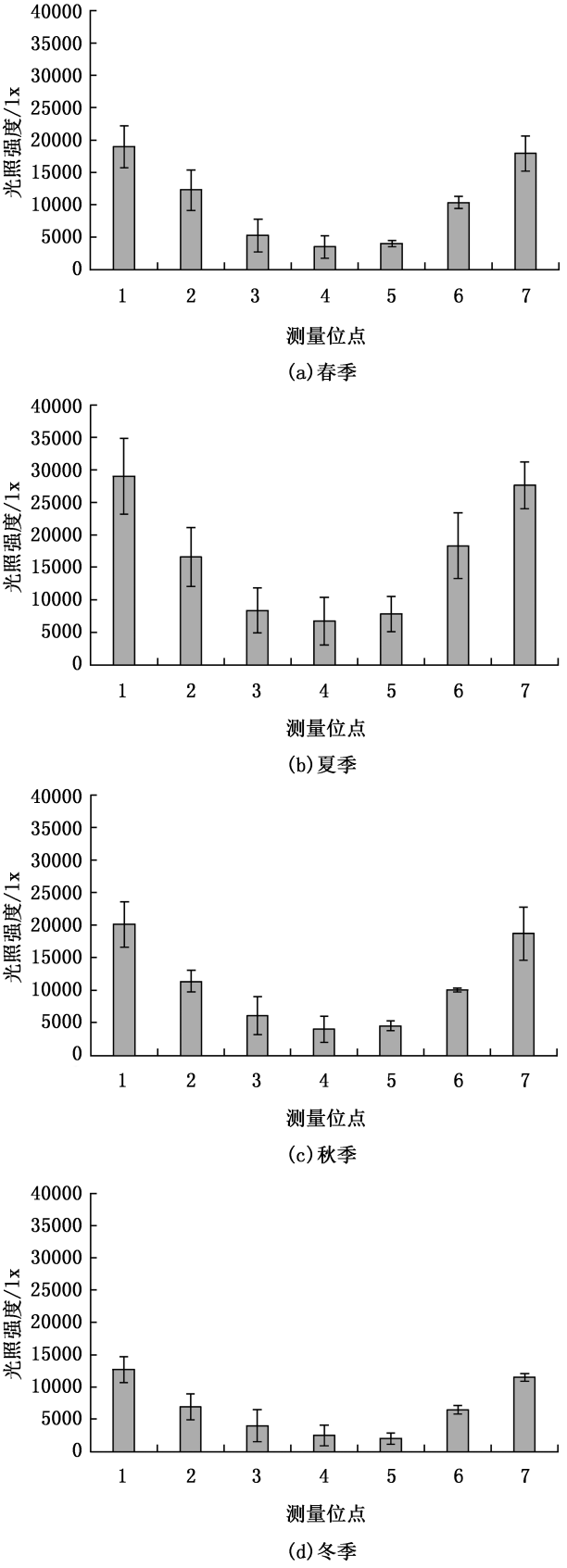

图 4 南北走向高架桥桥阴四季光照特征

Fig. 4 Four-season light characteristics under viaducts in the south-north direction

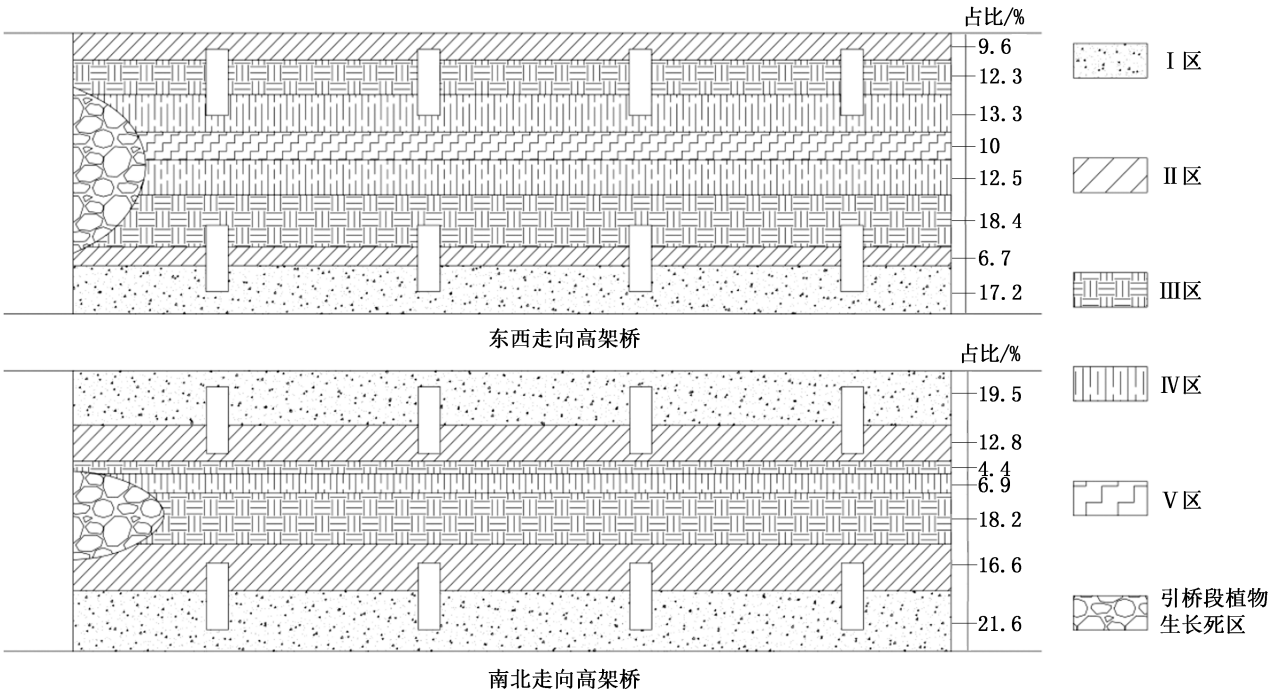

图 5　不同走向样本桥体桥阴光照强度分区情况

Fig. 5　Division of light intensity under viaducts in different directions

表 3　不同植物耐阴性分类

Tab. 3　Negative tolerance classification of different plants

植物类别	光补偿点/(μmol·m^{-2}·s^{-1})	对应光照强度/lx	光饱和点/(μmol·m^{-2}·s^{-1})	对应光照强度/lx	植物种类
Ⅰ-Ⅰ	<18.5	<1000	<370	<20000	棣棠、萱草、麦冬、八角金盘、黄馨、熊掌木
Ⅰ-Ⅱ			370~555	20000~30000	南天竹、常春藤、洒金桃叶珊瑚、小叶栀子、桂花、腊梅
Ⅰ-Ⅲ			>555	>30000	红叶石楠、丝兰、大叶黄杨、瓜子黄杨、鸡爪槭
Ⅱ-Ⅰ	18.5~55.5	1000~3000	<370	<20000	爬山虎、宽叶麦冬、鸢尾、珊瑚树
Ⅱ-Ⅱ			370~555	20000~30000	金丝桃、玉簪、金钟、木芙蓉、扶芳藤
Ⅱ-Ⅲ			>555	>30000	海桐、杜鹃、金森女贞、狭叶十大功劳、红花檵木、贴梗海棠
Ⅲ-Ⅰ	>55.5	>3000	<370	<20000	茶梅
Ⅲ-Ⅱ			370~555	20000~30000	紫藤、地锦
Ⅲ-Ⅲ			>555	>30000	红花酢浆草、夹竹桃、紫薇

高架桥引桥段桥阴,有一近三角形区域,光照强度极低,不适合植物生长,此区域称为植物生长“死区”[15]。桥阴Ⅰ区和Ⅱ区光照强度平均在 6 000 lx 以上,尽量种植阳生植物,主要考虑Ⅰ~Ⅲ、Ⅱ~Ⅲ、Ⅲ~Ⅲ类植物,如红叶石楠、杜鹃、瓜子黄杨、红花酢浆草、鸡爪槭、狭叶十大功劳等;桥阴Ⅲ区光照强度为 3 000~6 000 lx,适宜栽植Ⅰ~Ⅲ、Ⅱ~Ⅱ、Ⅲ~Ⅰ类植物,如大叶黄杨、丝兰、玉簪、金钟、茶梅等;桥阴Ⅳ区光照强度为 1 000~3 000 lx,适合栽植Ⅰ~Ⅰ、Ⅱ~Ⅰ类植物,如棣棠、萱草、黄馨、鸢尾、珊瑚树等;Ⅴ区光照强度为 1 000 lx 以下,适合栽植Ⅰ~Ⅰ类植物,如麦冬、八角金盘、熊掌木等均能在此环境生存。

4　结论与讨论

4.1　结论

洛阳市高架桥桥阴区域光照分布不均匀,总体呈现桥阴中央区域光照弱、外侧区域光照强的特征,光照强度主要受桥体结构特征和桥体周边环境影

响。洛阳市高架桥桥阴各测量样点光照强度差异性极大,总体呈现桥阴中央区域光照强度最弱、越靠近外侧区域光照强度越强,此情况归结于桥阴光照强度主要受桥体走向、桥体高宽比、是否具有桥体隔离缝、桥体周边环境的影响。

4.1.1 桥体走向对桥阴光照强度的影响

东西走向高架桥只有桥阴最南侧与桥阴最北侧少量范围有阳光直射,桥阴中央大部分区域常年处于桥体阴影中,因此桥阴不同位点光照强度相差较大;相较而言,南北走向高架桥桥阴各位点光照强度相差较小,桥阴最东侧和最西侧受太阳光直射时间接近,越靠近中央区域光照时间就越短,但桥阴均能受阳光直射。南北走向高架桥桥阴中央区在短时间的直射光作用下,光照强度优于无阳光直射的东西向高架桥。这一结果与张辉、王可等[16-17]在其他城市关于高架桥桥阴光照强度的研究结果类似。在周边无遮挡情况下,东西向高架桥最南侧位点 1 光照情况优于南北走向高架桥桥阴任何区域。因此东西走向高架桥四季整体光照强度不如南北走向高架桥,南北走向桥体,强光照以及较强光照区面积占比大,但在相同季节,东西走向高架桥位点 1 光照强度优于南北走向高架桥,在位点 3、位点 4 和位点 5 等桥阴中央区域,南北走向高架桥整体光照强度优于东西走向高架桥。

4.1.2 桥体高宽比对桥阴光照强度的影响

本研究采用实测方法对样本桥体高宽比和桥阴光照强度逐一进行统计计算,东西走向样本桥体中,伊洛路高架桥高宽比为 0.24,桥阴强光照区(Ⅰ区、Ⅱ区)占比为 24.9%,无弱光照区(Ⅴ区),古城路高架桥高宽比为 0.12,桥阴强光照区(Ⅰ区、Ⅱ区)占比为 27.4%,弱光照区(Ⅴ区)占比为 14.2%;南北走向高架桥中,王城大道高架桥高宽比为 0.33,桥阴强光照区(Ⅰ区、Ⅱ区)占比为 58.3%,无弱光照区(Ⅴ区),南昌路高架桥高宽比为 0.31,桥阴强光照区(Ⅰ区、Ⅱ区)占比为 53.3%,弱光照区(Ⅴ区)占比为 2.5%。通过数据对比可知,桥体高宽比越大,桥阴中央区域采光越好,桥阴弱光照区域所占面积较小,此特征在东西走向高架桥和南北走向高架桥上均适用。这一结论和殷利华[14]、唐瑞敏[6]通过 Ecotect Analysis 软件对其他城市不同高宽比的高架桥桥阴光照强弱模拟规律一致。

4.1.3 桥体隔离缝对桥阴光照强度的影响

桥体隔离缝均位于桥阴测量位点 4 正上方,在一年四季,阳光均可透过桥体隔离缝直射位点 4 附近,因此桥阴位点 4 光照强度有所提升,但提升效果有限,其余位点几乎不受桥体隔离缝的影响,同时发现桥体隔离缝越宽,对桥阴中央区域光照强度改善效果越明显。

4.1.4 桥体周边环境对桥阴光照强度的影响

桥体周边建筑和乔木对桥体具有明显遮阴效果,建筑越高大稠密,距离桥体越近,遮光效果越明显,尤其是夏季,建筑及乔木遮光将大幅度降低桥阴最外侧测量位点光照强度。

4.2 洛阳市高架桥桥阴绿化建议

洛阳市高架桥桥阴空间绿化高频应用植物种类为八角金盘、大叶黄杨、洒金桃叶珊瑚,植物应用丰富度严重不足,应有生态价值及观赏效果不高,甚至连隔离视线、防晕眩等实际作用也难以发挥。应加大植物应用种类,加强养护管理,同时考虑乡土植物应用,“洛阳牡丹甲天下”,适地种植洛阳牡丹,可提升城市文化,丰富园林植物景观效果。同时应结合季相景观及乔、灌、草、藤全面配置原则全方位提升景观效果,做到四季有叶,叶色不同,三季绽花,花色相异的同时,搭配不同高低植物,营建出具有丰富层次性及观赏价值的优美桥阴环境;洛阳市高架桥尚未有桥阴空间墩柱绿化先例,而墩柱绿化是发展城市立体绿化、增加城市绿量的重要实施途径,应作为当前以及日后桥阴绿化的重点内容考虑。

光照强弱直接影响植物能否正常生长,桥阴光照强弱区域划分对挑选适生植物有重要参考价值,影响植物生长的生境因子除光照外还包括温度、湿度、土壤养分等,通过环境因子实测,在适宜的生境下合理选择植物将是日后高架桥桥阴绿化的一项具有实践意义的工作,对桥阴植物正常生长、优美环境的营造及发挥桥阴绿地生态价值具有重要作用。

参考文献:

[1] ANIBAL P, PAUL B A. Edge type defines alien plant species invasions along *Pinus contorta* burned, highway and clearcut forest edges[J]. Forest Ecology and Management, 2006,223(1/3):327-335.

[2] HOOPER V H, ENDTER-WADA J, JOHNSON C W. Theory and practice related to native plants: A case study of utah landscape professionals[J]. Landscape Journal, 2008, 27(1):127-141.

[3] 李鹏,李娜,包满珠. 武汉、上海、重庆三市中心城区高架桥绿化比较研究[J]. 中国园林,2015,31(10):96-99.

[4] 龚建平. 基于光环境的成都市主城区高架桥桥阴绿化

植物适生性研究[D]. 成都:四川农业大学,2014.
[5] 周平平,李鹏,李旦,等. 武汉市高架桥走向和两边建筑高度对桥下日照的影响[J]. 城市环境与城市生态,2016,29(6):13-17,21.
[6] 唐瑞敏,朱可卉,卢佳莹,等. 成都三环高架桥下弱光环境特征及植物配置策略[J]. 现代园艺,2019(3):25-29.
[7] 田国行. 城市绿地景观规划的理论与方法[D]. 北京:中国农业大学,2004.
[8] 殷利华,万敏. 武汉城区高架桥桥阴绿地光环境特征及绿化建议[J]. 中国园林,2014,30(9):79-83.
[9] 黄泰康,赵海保,刘道荣. 天然药物地理学[M]. 北京:中国医药科技出版社,1993:297.
[10] 王瑞. 福州高架桥阴地生态环境及绿化研究[D]. 福州:福建农林大学,2014.
[11] 严昌荣,韩兴国,陈灵芝. 六种木本植物水分利用效率和其小生境关系研究[J]. 生态学报,2001,21(11):1952-1957.
[12] 陈敏,傅徽楠. 高架桥阴地绿化的环境及对植物生长的影响[J]. 中国园林,2006(9):68-72.
[13] 姜汉侨,段昌辉,杨树华,等. 植物生态学[M]. 北京:高等教育出版社,2010:252-260.
[14] 殷利华. 基于光环境的城市高架桥下桥阴绿地景观研究——以武汉城区高架桥为例[D]. 武汉:华中科技大学,2012.
[15] 王雪莹,辛雅芬,宋坤,等. 城市高架桥荫光照特性与绿化的合理布局[J]. 生态学杂志,2006,25(8):938-943.
[16] 张辉,魏胜林,徐梦莹. 苏州市主城区城市高架桥地面道路绿化探讨[J]. 南方农业,2011,5(5):38-42.
[17] 王可. 桥阴立地环境及绿化策略研究[D]. 武汉:华中科技大学,2017.

责任编辑:陈旭

(上接第 100 页)

[9] 王瑞,李青森,李长安. 山西省核桃害虫及防治对策[J]. 山西大学学报(自然科学版),1993(1):107-111.
[10] 党英侨,王小艺,杨忠岐. 天敌昆虫在我国林业害虫生物防治上的研究进展[J]. 环境昆虫学报,2018,40(2):242-255.
[11] 魏建荣,王传珍,曲花荣,等. 天敌昆虫对美国白蛾的生物控制研究[J]. 林业科学,2004,40(2):90-95.
[12] 刘芹. 白蛾周氏啮小蜂大规模人工繁育技术与应用研究[D]. 泰安:山东农业大学,2015
[13] 程量. 云南昆虫资源概况[J]. 云南大学学报(自然科版),1984(2):109-115.
[14] 郑润兰,杨红明. 昆明市森林害虫防治的回顾与展望[J]. 云南林业科技,1992(1):50-53.
[15] 谷星慧,杨硕媛,余砚碧,等. 云南省烟蚜茧蜂防治桃蚜技术应用[J]. 中国生物防治学报,2015(1):1-7.
[16] 李贵平. 南华县首次引进管氏肿腿蜂进行云南松蛀干害虫防治试验[J]. 云南林业,2008(6):35.
[17] 毕正能. 云南省云南松主要虫害及其防治[J]. 陕西林业科技,2014(3):111-114.
[18] 胡青,肖良俊,杨嫱,等. 我国漾濞泡核桃研究进展[J]. 西部林业科学,2019(3):141-147
[19] 陈鹏,袁瑞玲,王艺璇,等. 云南陆良县核桃病虫害绿色防控技术应用示范[J]. 西部林业科学,2018,47(5):9-18.
[20] 陈鹏,袁瑞玲,王艺璇,等. 云南大姚县核桃病虫害绿色防控技术应用示范[J]. 中国南方果树,2018,47(6):74-80.
[21] 李密,何振. 湖南油茶林天敌资源调查及其优势种评价[J]. 湖南林业科技,2015,42(2):43-49.
[22] 刘思琪,王强,高桂珍. 异色瓢虫和七星瓢虫对核桃黑斑蚜捕食能力比较[J]. 中国农学通报,2020,560(17):124-128.
[23] 任志勇,王明霞,吕瑞娥,等. 甘肃陇南核桃病虫害及其天敌昆虫的调查初报[J]. 中国植保导刊,2020,40(9):56-62.
[24] 康斌,任志勇,李林. 陇南市核桃病虫害发生概况及综合防治策略[J]. 山西果树,2011(2):35-36.

责任编辑:刘平书