

陕西省关中地区城市绿化灌木的景观与生态服务功能调查分析

韩文跃¹, 盖帅孜¹, 刘增文^{1,2}, 徐瑞³, 王崧洧³, 张禹¹

(1.西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2.农业部西北植物营养与农业环境重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 3.西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: [目的] 以景观服务和生态服务功能相结合的综合评价筛选树种, 为城市绿化树种选择提供科学指导。[方法] 通过对树种的景观服务功能(绿量、绿叶期、美观度)和生态服务功能(涵养水分、滞尘、造氧固碳、降温增湿、降噪)2个方面选取的10个指标的调查与测定, 运用主成分分析法构建灌木树种的综合评价模型, 对陕西关中地区城市常见26种绿化灌木进行评价。[结果] ①根据景观服务功能综合评价排序结果, 小叶女贞(*Ligustrum quihoui*)、法国冬青(*Viburnum odoratissimum*)、红叶石楠(*Photinia fraseri*)、贴梗海棠(*Chaenomeles speciosa*)、大叶黄杨(*Buxus megistophylla*)、海桐(*Pittosporum tobira*)和雀舌黄杨(*Buxus bodinieri*)的综合评价分值最高(0.63~1.96), 在美化、造景等方面是优选树种。②根据生态服务功能综合评价排序结果, 小叶女贞、法国冬青、贴梗海棠、红叶石楠、海桐、火棘(*Pyracantha fortuneana*)的评价分值最高(0.7~3.04), 在改善生态方面能力较为突出。③根据景观服务与生态服务相结合的综合评价结果, 得分高的有小叶女贞(3.54)、法国冬青(2.86)、贴梗海棠(2.05)、红叶石楠(1.72)和海桐(1.38)等。[结论] 按不同需求优先选择评分高的树种, 可为城市生态园林工程建设中绿化树种的选择和应用提供依据。

关键词: 城市绿化; 灌木树种; 主成分分析; 生态系统服务

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2023)03-0061-08

中图分类号: S731.2, P901

文献参数: 韩文跃, 盖帅孜, 刘增文, 等. 陕西省关中地区城市绿化灌木的景观与生态服务功能调查分析[J]. 水土保持通报, 2023, 43(3): 61-68. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2023.03.009; Han Wenyue, Gai Shuaizi, Liu Zengwen, et al. Ecological service function evaluation of urban greening shrubs in Guanzhong region, Shaanxi Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(3): 61-68.

Ecological Service Function Evaluation of Urban Greening Shrubs in Guanzhong Region, Shaanxi Province

Han Wenyue¹, Gai Shuaizi¹, Liu Zengwen^{1,2}, Xu Rui³, Wang Songwei³, Zhang Yu¹

(1.College of Resources and Environment, Northwest A & F University,

Yangling, Shaanxi 712100, China; 2.Key Laboratory of Plant Nutrition and Agricultural

Environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3.Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: [Objective] The landscapes and ecological service functions were comprehensively evaluated in order to provide scientific guidance for the selection of urban greening shrub species. [Methods] Several indexes including landscape service functions (such as greenness quantity, leaf greening period, aesthetic degree) and ecological service functions (such as water conservation, dust retention, oxygen generation while carbon fixation, cooling while humidifying, noise reduction) were investigated and measured, and a comprehensive evaluation model was built by using principal component analysis (PCA) to evaluate 26 common urban greening shrub species in the Guanzhong region of Shaanxi Province. [Results] ① According to the ranking

收稿日期: 2022-07-08

修回日期: 2022-10-02

资助项目: 陕西省自然科学基金基础研究计划重点项目“城市绿化废弃物的农业再利用潜力研究”(2016JZ010); 西北农林科技大学大学生创新实验计划项目“北方城市绿化灌木的生态服务功能综合评价体系建立”(X202010712424)

第一作者: 韩文跃(1997—), 女(汉族), 山东省临沂市人, 硕士研究生, 研究方向为林草生态。Email: 2093526386@qq.com。

通信作者: 刘增文(1965—), 男(汉族), 陕西省横山县人, 博士, 教授, 主要从事林草生态等方面的研究。Email: zengwenliu2003@aliyun.com。

results of the comprehensive evaluation of landscape service functions, *Ligustrum quihoui*, *Viburnum odoratissimum*, *Photinia fraseri*, *Chaenomeles speciosa*, *Buxus megistophylla*, *Pittosporum tobira*, and *Buxus bodinieri* received the highest grades of comprehensive evaluation (0.63—1.96) and proved to be the preferred shrub species in landscape beautification. ② According to the ranking results of the comprehensive evaluation of ecological service functions, *L. quihoui*, *V. odoratissimum*, *C. speciosa*, *P. fraseri*, *P. tobira* and *Pyracantha fortuneana* received the highest grades of evaluation (0.70—3.04) and performed outstanding in ecological improvement. ③ According to the comprehensive evaluation of landscape services combined with ecological services, the shrubs that received higher grades were *L. quihoui* (3.54), *V. odoratissimum* (2.86), *C. speciosa* (2.05), *P. fraseri* (1.72), and *P. tobira* (1.38). [Conclusion] Shrub species with higher grades should be selected preferentially according to different needs, thus can provide a basis for the selection and cultivation of greening shrub species in urban ecological gardens.

Keywords: urban greening; shrub species; principal component analysis; ecosystem services

城市绿化树木的服务功能不仅体现在其装饰、美化环境等的景观服务,还体现在其重要的生态服务价值,如降低区域温度、减弱噪声、造氧固碳、增加湿度、杀菌、滞尘等^[1]。如今,随着中国城市化进程的不断加快,雾霾、噪声污染和城市热岛效应等环境问题日益突出,科学地选择并配置树种以最大发挥其功能效益就显得尤为重要。然而,以往园林绿化树种的选择评价主要以其景观服务功能为依据^[2],往往忽略了其生态服务功能,结果对树木整体功能效益的把握不足。只有综合考量树木的景观服务功能和生态服务功能,才能更好地发挥其最大功能效益。

主成分分析(PCA)是一种将多个指标重新组合成少数几个互不相关的新综合指标的统计方法,即采用降维方法,在丢失少量原有信息的前提下,对原来指标进行合理简化^[3]。目前,该方法不仅在植物综合品质评价^[4-5]中广泛应用,其在树种性能评价^[6-8]中也有应用,并取得了良好的效果。因此,本文以陕西省关中地区城市常见绿化灌木树种为研究对象,选择绿量密度、美观度、绿叶期、涵养水分、降温增湿、固碳、滞尘和降噪等 10 个指标,运用主成分分析法对各灌木树种服务功能进行评价,旨在获得更加科学、全面、客观的绿化灌木树种优选排序,用于指导城市绿化建设。

1 材料与方法

1.1 研究对象

以地处陕西省关中地区的杨凌农科城为研究区域,地理坐标位于东经 107° 59′—108° 08′,北纬 34° 14′—34° 20′,属暖温带半湿润半干旱气候,年均气温 12.9 °C,无霜期 211 d,年均降水量 635.1 mm;地带性土壤为褐土。通过查阅该区域景观树种相关资料信息^[9],对该地区树种类别和生长状况开展实地调

查研究。研究对象选择了杨凌农科城内西北农林科技大学校园绿化树种中一些应用普遍、使用频率高且生长状况不错的灌木树种。具体包括大叶黄杨(*Buxus megistophylla*)、小叶女贞(*Ligustrum quihoui*)、红叶石楠(*Photinia fraseri*)、火棘(*Pyracantha fortuneana*)、海桐(*Pittosporum tobira*)、金边黄杨(*Euonymus japonicus* ‘Aureo-marginatus’)、雀舌黄杨(*Buxus bodinieri*)、法国冬青(*Viburnum odoratissimum*)、南天竹(*Nandina domestica*)、十大功劳(*Mahonia fortunei*)、郁李(*Prunus japonica*)、珍珠梅(*Sorbaria sorbifolia*)、珍珠绣线菊(*Spiraea thunbergii*)、连翘(*Forsythia suspensa*)、黄刺玫(*Rosa xanthina*)、贴梗海棠(*Chaenomeles speciosa*)、红瑞木(*Cornus alba*)、紫荆(*Cercis chinensis*)、木槿(*Hibiscus syriacus*)、棣棠(*Kerria japonica*)、溲疏(*Deutzia scabra*)、猥实(*Kolkwitzia amabilis*)、石榴(*Punica granatum*)、锦带花(*Weigela florida*)、紫叶小檗(*Berberis thunbergii* ‘Atropurpurea’)、榆叶梅(*Prunus triloba*)。

1.2 灌木景观服务功能调查

(1) 绿量密度。绿量一般以叶面积或叶生物量来反映^[10],其大小会受树龄影响,为便于比较同一树龄不同灌木之间服务功能差异,以绿量密度作为计算树木各项生态服务功能指标的基础。绿量密度:单位树冠体积(1 m³)所拥有的叶面积或叶生物量,基本不受树龄影响,可用叶面积密度或叶生物量密度来表征^[11]。于 2021 年 4 月下旬开展绿量密度调查,调查步骤:选取 3~5 株典型灌木作为标准木,采用标准枝分层法^[12]测出标准木的全株叶量,再由单叶面积(单叶生物量)与全株叶量的乘积得到单株植物的叶面积(叶生物量),进一步计算出绿量密度(g/m³),计算公式如下。

$$\text{叶面积密度}(A/CV) = \frac{\text{单株植物叶面积}(A)}{\text{冠体体积}(CV)} \quad (1)$$

$$\text{叶生物量密度}(W/CV) = \frac{\text{单株植物叶生物量}(W)}{\text{冠体体积}(CV)} \quad (2)$$

其中,冠体体积根据实际树种冠形选用不同方程^[13]计算。

(2) 绿叶期天数。参照王新^[14]采用的物候观测方法,于 2021 年 2 月初,对落叶灌木进行从树木展叶始期到落叶末期全年月动态观察,记录其叶片每年生长的天数即绿叶期(d)。

(3) 美观度。采用问卷调查法,将美观度(包括叶形、花形、树形)分为 1—5 级,分值分别为 1, 2, 3, 4, 5 分,其中 1 级最差、5 级最美,面向园林专业方面的师生及从事园林工作的职工发放调查问卷 100 份,之后根据调查结果对灌木美观度进行统计分析。

1.3 灌木生态服务功能调查

(1) 涵养水分能力测定。于 2021 年 5 月下旬,采用环刀法对各灌木根区、非根区土壤,按不同土层(0—10, 10—20 cm)取 3 组平行土样,并参照付鹏程等^[15]的测定方法测定土壤饱和持水量和田间持水量,计算得到 0—20 cm 土层根区较非根区的饱和持水量提高率和田间持水量提高率,以此评价不同树种涵养水分的能力。

(2) 滞尘潜力测定。于 2021 年 5 月,采用标准枝称重法测定。具体步骤:采集带叶标准小枝并计测其叶片数量、叶面积,然后将标准小枝悬挂(模拟野外实际姿态)在图 1 所示装置的枝条悬挂处,并将过 0.25 mm 筛的 500 g 路旁土铺放在装置底部,用功率为 250 W,转速为 2 800 r/min 的鼓风机连续送风(风速 0.5 m/s)30 min,称重标准小枝在滞尘试验前后的质量差,由此计算出树木单位冠体滞尘潜力(g/m³)。

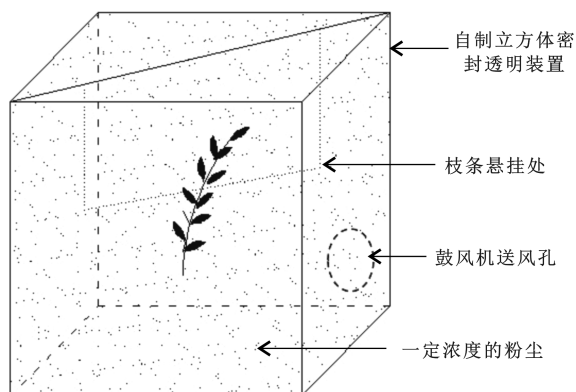


图 1 自制滞尘潜力测定装置

Fig.1 Self made apparatus for determining dust retention potential

(3) 固碳能力测定。采用生物量法,以灌木单位冠体碳储量(g/m³)表示其固碳能力^[16],即单位冠体一年生叶生物量×叶的碳含量,叶的碳含量取为方精云等^[17]所测的植物各器官碳含量值 0.5。

(4) 降温增湿能力测定。以树木蒸腾潜力来反映其降温增湿能力,于 2021 年 5 月,采用离体快速称重法测定。具体步骤:将采集的灌木标准枝插入盛水容器中,待其充分吸水后将树枝上的明水用吸水纸擦拭干净,称重后将其悬挂在 40 °C 的空气干燥的装置中,3 min 后准确称重,蒸腾潜力即两次称重差与标准枝叶子总重量的比值。蒸腾潜力与绿量密度的乘积可表示树木单位冠体降温增湿能力(g/m³)。

(5) 降噪潜力测定。影响树木降噪能力的因素有很多,如冠体的大小、形态、叶质、叶量及其空间配置等^[18]。受试验条件限制,本文仅对同一噪声环境下不同灌木单位树冠体积持有的叶量的降噪潜力进行比较。于 2021 年 5 月进行测定,具体步骤:将采集的树叶均匀平铺在见图 2 的自制立方体测定装置的纱窗上,并将恒定播放 98 dB 的声源放在装置底部的中心位置,用噪声检测仪在纱窗上方固定位置测定噪声值,98 dB 与所测噪声分贝值之差即单位冠体降噪量(dB/m³)。

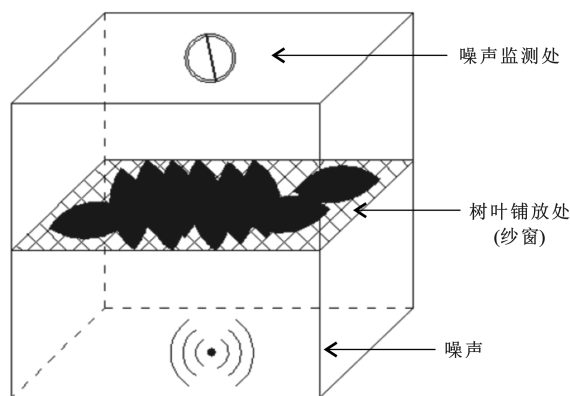


图 2 自制降噪潜力测定装置

Fig.2 Self made device for determining noise reduction potential

1.4 数据处理

采用 Excel 2010 软件,对灌木服务功能指标数据进行统计分析;运用 SPSS 18.0 软件,分别对灌木的景观服务功能、生态服务功能及景观服务与生态服务相结合的综合服务功能进行主成分分析。

2 结果与分析

2.1 灌木的景观服务功能评价

(1) 绿量密度。根据灌木树种的叶面积密度测算结果(表 1),将其划分为 3 类,即稠密型灌木、疏透

型灌木和稀疏型灌木。其中贴梗海棠、小叶女贞、郁李、法国冬青、猥实、红叶石楠和大叶黄杨的叶面积密度最大($>8.17 \text{ m}^2/\text{m}^3$),属于稠密型灌木;疏透型灌木有连翘、榆叶梅、溲疏、木槿、锦带花和火棘等,这类灌木的叶面积密度较大($4.06\sim 7.24 \text{ m}^2/\text{m}^3$);稀疏型灌木的叶面积密度较小($<3.85 \text{ m}^2/\text{m}^3$),包括南天竹、海桐、石榴、紫荆和雀舌黄杨等。

从叶生物量密度来看,贴梗海棠、小叶女贞、法国冬青和红叶石楠的值仍是较大的,它们均大于 $1.01 \text{ kg}/\text{m}^3$;而榆叶梅和木槿的叶面积密度大于 $7.0 \text{ m}^2/\text{m}^3$,其叶生物量密度却小于 $0.28 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。因此,仅用叶面积密度来反映绿量密度不够全面,还需考虑叶生物量密度。

(2) 绿叶期天数。在时间上,绿叶期会影响植物绿量的大小及观赏时间,绿叶期长,观赏时间、光合作用时间就长,其生态环境效益就高^[19]。由表 1 可知,常绿灌木的绿叶期最长(365 d),全株一年内均有绿叶存在;珍珠绣线菊、猥实、黄刺玫、棣棠、溲疏、紫叶小檗、贴梗海棠、郁李和连翘的绿叶期较长(230~255 d);而珍珠梅、锦带花、木槿、紫荆、红瑞木、石榴和榆叶梅的绿叶期较短($<230 \text{ d}$),叶的观赏时间较短。

(3) 美观度。由表 1 中灌木美观度总得分可知,连翘、榆叶梅、贴梗海棠、郁李和珍珠绣线菊等灌木的

得分最高(>9.5 分),具有较佳的观赏性;海桐、木槿、法国冬青、珍珠梅、溲疏、猥实和黄刺玫等灌木的得分较高(8.5~9.5 分),花或叶的观赏性较好;而火棘、小叶女贞、金边黄杨、雀舌黄杨、红瑞木、十大功劳的得分较低(<8.5 分),观赏效果较差。

(4) 景观服务功能综合评价。将原始数据标准化后,对叶生物量密度(X_1)、叶面积密度(X_2)、绿叶期(X_3)和美观度(X_4)进行主成分分析,并根据输出结果取前 2 个主成分,累计方差贡献率达 89.71%,满足 $>85\%$ ^[20]的条件;由主成分载荷矩阵、特征值以及特征向量构建主成分 1,2 与灌木树种景观服务功能之间的函数关系式: $Y_1=0.651 X_1+0.643 X_2+0.236 X_3+0.328 X_4$, $Y_2=0.229 X_1-0.169 X_2+0.714 X_3-0.640 X_4$,结合各自方差贡献率得景观服务功能评价模型 $Y=0.567 Y_1+0.433 Y_2$ 。

利用该模型对灌木树种进行评价。由评价结果可知(表 1),小叶女贞、法国冬青、红叶石楠、贴梗海棠和大叶黄杨等灌木的得分最高($Y>0.5$),在增添绿色、丰富颜色、提高观赏性等方面效果好,可作为美化环境的优选树种;金边黄杨、十大功劳、南天竹和猥实等灌木的得分较高($-0.6\leq Y<0.4$),景观效果较好,可作为次选树种;紫荆、石榴、红瑞木和紫叶小檗等灌木的得分较低($Y<-0.6$),作为备选树种。

表 1 26 种灌木的景观服务功能及评价得分

Table 1 Landscape service function and evaluation score of 26 shrub species

| 树种 | 叶生物量密度/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) | 叶面积密度/ ($\text{m}^2\cdot\text{m}^{-3}$) | 绿叶期/ d | 美观度 得分 | 综合评价 分值 Y | 树种 | 叶生物量密度/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) | 叶面积密度/ ($\text{m}^2\cdot\text{m}^{-3}$) | 绿叶期/ d | 美观度 得分 | 综合评价 分值 Y |
|-------|--|--|-----------|-----------|--------------|------|--|--|-----------|-----------|--------------|
| 大叶黄杨 | 0.59 | 8.18 | 365 | 8.5 | 0.99 | 连翘 | 0.48 | 7.24 | 232 | 10.9 | -0.28 |
| 小叶女贞 | 1.03 | 11.46 | 365 | 8.2 | 1.96 | 黄刺玫 | 0.11 | 1.77 | 250 | 8.8 | -1.07 |
| 红叶石楠 | 1.07 | 8.52 | 365 | 10.1 | 1.63 | 贴梗海棠 | 1.09 | 14.56 | 237 | 10.7 | 1.33 |
| 火棘 | 0.39 | 6.60 | 365 | 8.4 | 0.56 | 红瑞木 | 0.07 | 2.18 | 211 | 6.3 | -1.18 |
| 海桐 | 0.72 | 3.73 | 365 | 9.5 | 0.72 | 紫荆 | 0.12 | 3.00 | 212 | 9.8 | -1.26 |
| 金边黄杨 | 0.27 | 4.66 | 365 | 7.1 | 0.30 | 木槿 | 0.27 | 7.01 | 218 | 9.4 | -0.61 |
| 雀舌黄杨 | 0.57 | 2.94 | 365 | 6.4 | 0.63 | 棣棠 | 0.20 | 4.43 | 249 | 9.6 | -0.75 |
| 法国冬青 | 1.05 | 9.47 | 365 | 9.3 | 1.74 | 溲疏 | 0.39 | 7.11 | 247 | 9.1 | -0.21 |
| 南天竹 | 0.35 | 3.84 | 365 | 8.6 | 0.24 | 猥实 | 0.48 | 9.39 | 254 | 9.1 | 0.17 |
| 十大功劳 | 0.31 | 2.65 | 365 | 5.8 | 0.26 | 石榴 | 0.14 | 3.08 | 206 | 8.7 | -1.19 |
| 郁李 | 0.46 | 9.70 | 232 | 10.6 | -0.07 | 锦带花 | 0.30 | 6.74 | 227 | 9.9 | -0.56 |
| 珍珠梅 | 0.19 | 4.06 | 228 | 9.2 | -0.91 | 紫叶小檗 | 0.10 | 2.19 | 240 | 8.7 | -1.1 |
| 珍珠绣线菊 | 0.27 | 5.71 | 255 | 10.5 | -0.56 | 榆叶梅 | 0.26 | 7.24 | 206 | 10.8 | -0.77 |

2.2 灌木的生态服务功能评价

(1) 涵养水分能力。不同灌木 0—20 cm 土层根区的田间持水量和饱和持水量不同,与非根区相比,都有不同程度的提高(表 2)。从田间持水量来看,小叶女贞、海桐、法国冬青、火棘和黄刺玫等灌木的提高率最大($>9.5\%$),维持稳定的土壤含水量的能力强;珍珠绣线菊、锦带花、贴梗海棠和棣棠等灌木的提高率较大

(7.5%~9.5%);其他灌木的提高率则较小($<7.5\%$)。从饱和持水量来看,雀舌黄杨、海桐、法国冬青和小叶女贞的提高率相近,均大于 14.5%,其他树种的提高率小于 12.6%,表明相较于其他灌木,雀舌黄杨、海桐、法国冬青和小叶女贞根区土壤的最大持水能力强。

(2) 滞尘潜力。考虑到树木绿量对其滞尘量的影响,以单位冠体滞尘量来反映滞尘潜力。由表 2 可

知,榆叶梅、小叶女贞、法国冬青、火棘和猥实等灌木的单位冠体滞尘量较大($>202.7 \text{ g/m}^3$),滞尘潜力较大;紫荆、黄刺玫、南天竹和棣棠等灌木的单位冠体滞尘量较小($<95.1 \text{ g/m}^3$),滞尘潜力较小;其他灌木的滞尘潜力则处于中等水平,单位冠体滞尘量为 $112.5 \sim 194.6 \text{ g/m}^3$ 。

(3) 固碳能力。树木生物量的增加与其对空气中碳的固定有关,以单位冠体积叶的碳储量来反映固碳能力(见表2)。固碳能力较强的灌木有贴梗海棠、法国冬青、红叶石楠、小叶女贞和海桐,单位冠体固碳量大于 392.48 g/m^3 ;固碳能力一般的灌木有大叶黄杨、雀舌黄杨、猥实、连翘和郁李等,单位冠体固碳量为 $151.97 \sim 293.64 \text{ g/m}^3$;固碳能力较弱的灌木有木槿、珍珠绣线菊、榆叶梅和棣棠等,单位冠体固碳量小于 143.7 g/m^3 。

(4) 降温增湿能力。由表2中单位冠体降温增湿能力的可知,降温增湿能力较强($>107.17 \text{ g/m}^3$)的灌木有贴梗海棠、郁李、火棘和小叶女贞,其中贴梗海棠达到了 212.20 g/m^3 ;猥实、法国冬青、珍珠绣线菊、榆叶梅、红叶石楠、溲疏、木槿和锦带花的降温增湿能力为 $35.02 \sim 64.16 \text{ g/m}^3$,处于中等水平;而其他灌木的降温增湿能力则较弱($<28.67 \text{ g/m}^3$),尤其是十大功劳只有 5.87 g/m^3 。

(5) 降噪潜力。根据灌木树种降噪潜力的测定结果(表2)可知,法国冬青、红叶石楠、小叶女贞、贴梗海棠、大叶黄杨、猥实和连翘的降噪潜力最大,单位冠体降噪量大于 13.0 dB/m^3 ;海桐、木槿、溲疏、锦带花和紫荆等灌木的降噪潜力一般,单位冠体降噪量为 $11.0 \sim 12.9 \text{ dB/m}^3$;其他灌木的单位冠体降噪量较小($<11.0 \text{ dB/m}^3$),降噪潜力较小。

表2 26种灌木的生态服务功能及评价得分

Table 2 Ecological service function and evaluation score of 26 shrub species

| 树种 | 0—20 cm 土层 田间持水量 提高率/% | 0—20 cm 土层 饱和持水量 提高率/% | 单位冠体 滞尘量/ ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) | 单位冠体 固碳量/ ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) | 单位冠体 降温增湿能力/ ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) | 单位冠体 降噪量/ ($\text{dB} \cdot \text{m}^{-3}$) | 评价 分值 Z |
|-------|------------------------------|------------------------------|--|--|---|---|------------|
| 大叶黄杨 | 8.38 | 9.53 | 42.67 | 293.64 | 28.66 | 14.0 | -0.21 |
| 小叶女贞 | 17.24 | 14.54 | 586.84 | 522.47 | 107.19 | 16.4 | 3.04 |
| 红叶石楠 | 9.94 | 9.54 | 112.55 | 537.85 | 52.35 | 17.5 | 0.7 |
| 火棘 | 10.53 | 12.19 | 388.93 | 202.53 | 114.73 | 9.0 | 0.8 |
| 海桐 | 11.45 | 14.76 | 188.82 | 392.49 | 11.99 | 12.9 | 1.11 |
| 金边黄杨 | 7.82 | 10.29 | 141.12 | 151.97 | 12.25 | 11.6 | -0.46 |
| 雀舌黄杨 | 7.37 | 14.84 | 158.10 | 288.31 | 10.88 | 9.0 | 0.2 |
| 法国冬青 | 11.32 | 14.63 | 503.91 | 544.26 | 63.45 | 18.4 | 2.14 |
| 南天竹 | 5.70 | 12.24 | 56.93 | 190.97 | 15.47 | 10.8 | -0.52 |
| 十大功劳 | 3.79 | 4.71 | 21.33 | 169.71 | 5.87 | 9.0 | -2.05 |
| 郁李 | 7.27 | 11.18 | 221.55 | 239.17 | 131.40 | 10.9 | 0.26 |
| 珍珠梅 | 6.46 | 6.58 | 194.58 | 97.95 | 24.30 | 10.6 | -1.19 |
| 珍珠绣线菊 | 9.47 | 10.54 | 138.11 | 137.49 | 55.16 | 10.1 | -0.13 |
| 连翘 | 7.90 | 10.16 | 35.86 | 241.13 | 22.67 | 13.1 | -0.33 |
| 黄刺玫 | 10.23 | 9.48 | 77.70 | 56.67 | 7.33 | 8.4 | -0.65 |
| 贴梗海棠 | 9.27 | 10.84 | 202.74 | 571.55 | 212.20 | 15.9 | 1.52 |
| 红瑞木 | 6.56 | 12.59 | 8.68 | 36.03 | 8.54 | 10.4 | -0.68 |
| 紫荆 | 6.10 | 7.32 | 95.09 | 70.69 | 13.62 | 11.7 | -1.26 |
| 木槿 | 7.64 | 12.41 | 44.76 | 143.69 | 36.86 | 12.7 | -0.14 |
| 棣棠 | 9.02 | 8.81 | 55.32 | 121.53 | 21.09 | 11.0 | -0.64 |
| 溲疏 | 7.38 | 10.23 | 260.64 | 203.07 | 39.88 | 12.4 | -0.16 |
| 猥实 | 6.72 | 9.96 | 301.76 | 245.24 | 64.16 | 13.3 | -0.04 |
| 石榴 | 9.95 | 9.29 | 44.79 | 73.73 | 19.84 | 10.5 | -0.57 |
| 锦带花 | 9.37 | 11.75 | 221.33 | 159.21 | 35.02 | 12.2 | 0.18 |
| 紫叶小檗 | 8.51 | 9.46 | 161.69 | 49.54 | 22.22 | 9.7 | -0.67 |
| 榆叶梅 | 8.57 | 5.89 | 680.21 | 136.26 | 52.98 | 11.2 | -0.27 |

(6) 生态服务功能综合评价。原始数据标准化处理后,对0—20 cm 土层田间持水量提高率(X_5),0—20 cm 土层饱和持水量提高率(X_6)、单位冠体滞

尘量(X_7)、单位冠体固碳量(X_8)、单位冠体降温增湿能力(X_9)和单位冠体降噪量(X_{10})进行主成分分析,取到累计方差贡献率达 92.46 %即第4个主成分。

由分析结果构建主成分与灌木树种生态服务功能之间的线性关系： $Z_1 = 0.429 X_5 + 0.326 X_6 + 0.358 X_7 + 0.493 X_8 + 0.378 X_9 + 0.444 X_{10}$ ； $Z_2 = \dots$ ； $Z_3 = \dots$ ； $Z_4 = -0.216 X_5 + 0.397 X_6 - 0.246 X_7 - 0.048 X_8 + 0.729 X_9 - 0.451 X_{10}$ ；进而得生态服务功能评价模型 $Z: Z = 0.583 Z_1 + 0.167 Z_2 + 0.149 Z_3 + 0.101 Z_4$ 。

应用上述模型对灌木树种生态服务功能进行评价。从表 2 中评价结果可得，小叶女贞、法国冬青、贴梗海棠、海桐等灌木的得分最高 ($Z > 0.0$)，在改善生态方面能力较为突出，可作为优选树种；猥实、珍珠绣线菊、木槿和溲疏等灌木的得分较高 ($-0.5 \leq Z < 0.0$)，可作为次选树种；十大功劳、紫荆、珍珠梅和红瑞木等灌木的得分较低 ($Z < -0.5$)，生态效益综合较低，作为备选树种。

2.3 景观功能和生态功能相结合的综合评价结果

对灌木树种的景观服务与生态服务相结合的综

合服务功能 ($X_1 - X_{10}$) 进行主成分分析，根据输出结果取前 4 个主成分，能反映综合服务功能指标的大部分信息 (86.36%)。如表 3 所示，对第 1 主成分影响较大指标是 X_1, X_2, X_8, X_{10} ，主要反映了树种的美化环境、固碳、降噪功能； X_3, X_4 是对第 2 主成分有较大影响的指标，主要反映了景观功能；对第 3 主成分影响较大指标是 X_5, X_7 ，主要反映了树种的有效容水能力和净化功能；对第 4 主成分影响较大的指标是 X_6, X_7 ，主要反映了树种的最大持水能力和净化功能。

由表 3 可得，主成分与灌木树种综合服务功能之间的关系式： $P_1 = 0.418 X_1 + 0.386 X_2 + 0.168 X_3 + 0.160 X_4 + 0.299 X_5 + 0.224 X_6 + 0.259 X_7 + 0.417 X_8 + 0.319 X_9 + 0.357 X_{10}$ ； $P_2 = \dots$ ； $P_3 = \dots$ ； $P_4 = 0.002 X_1 - 0.117 X_2 - 0.285 X_3 + 0.361 X_4 + 0.202 X_5 + 0.541 X_6 - 0.581 X_7 + 0.004 X_8 - 0.243 X_9 + 0.210 X_{10}$ 。

表 3 综合服务功能各主成分的特征向量

Table 3 Eigenvector of each principal component of integrated service function

| 变量 | 主成分 1 | 主成分 2 | 主成分 3 | 主成分 4 |
|------------------------------|-------|--------|--------|--------|
| 叶生物量密度 (X_1) | 0.418 | 0.141 | -0.240 | 0.002 |
| 叶面积密度 (X_2) | 0.386 | -0.257 | -0.165 | -0.117 |
| 绿叶期 (X_3) | 0.168 | 0.591 | -0.146 | -0.285 |
| 美观度 (X_4) | 0.160 | -0.563 | 0.007 | 0.361 |
| 0—20 cm 土层田间持水量提高率 (X_5) | 0.299 | 0.087 | 0.585 | 0.202 |
| 0—20 cm 土层饱和持水量提高率 (X_6) | 0.224 | 0.347 | 0.349 | 0.541 |
| 单位冠体滞尘量 (X_7) | 0.259 | -0.119 | 0.545 | -0.581 |
| 单位冠体固碳量 (X_8) | 0.417 | 0.143 | -0.243 | 0.004 |
| 单位冠体降温增湿能力 (X_9) | 0.319 | -0.293 | -0.013 | -0.243 |
| 单位冠体降噪能力 (X_{10}) | 0.375 | -0.020 | -0.270 | 0.210 |

由主成分 1—4 及各自方差贡献得综合评价模型 $P: P = 0.583 P_1 + 0.219 P_2 + 0.113 P_3 + 0.085 P_4$ 。

应用该模型对灌木树种综合服务功能进行评价，评价结果见表 4。将 26 种灌木分为 3 类：第 1 类树种 ($P \geq 0.4$) 共 7 种，这类灌木不论是在景观服务方面亦或是生态服务方面均有很好的表现，可作为优选树种；第 2 类树种 ($-0.7 \leq P < 0.4$) 共 11 种，这类灌木综合表现也较好，可作为次选树种；第 3 类树种 ($P < -0.7$) 共 8 种，这类灌木综合表现较差，但个别方面较突出，可作为备选树种。

3 讨论

(1) 景观服务和生态服务是城市园林绿化生态系统服务功能的重要表现，相较于景观效益，灌木整体上的生态效益虽远低于乔木，但其生态价值仍是不可忽视的，城市绿化空间综合效益的提高需要灌木参

与^[21]。而且与以往多从景观服务功能的角度评价灌木树种^[22-24]相比，本文增加了生态服务功能评价，更能体现绿化树种的综合服务，这对于指导城市绿化树种的选择，提高城市绿化树种的服务功能具有重要意义。城市绿化工作者可根据本文评价结果，优先考虑综合服务功能得分较高的灌木树种，但实际应用中，适应性是树种选取的首要前提，参考本文评选出的优良灌木时，要考虑树种对城市气候、土壤等环境条件的适应性，以适宜当地环境为前提选择优良树种^[25]。

(2) 主成分分析法是用一组无相关性并含大部分原有信息的新综合指标来代替原来众多的有关联的指标的一种统计方法^[20]，它不仅使原来大部分有用信息得到保留 ($> 85\%$)，还消除了原来指标间的相关性，应用该方法能全面客观地评价灌木树种的服务功能。许多关于绿化树种评价的研究^[26-27]，评价指标多通过人为赋值的方法获得，这必然会对结果的客

观性有一定的影响。而本文的评价指标中,除美观度外其他指标的值均为试验实测值,一定程度上减少了人为主观影响。此外,本研究考虑到树龄对绿量的影响,提出以绿量密度作为计算灌木树种生态服务功能指标的基础。相较于空间代时间法^[28],它解决了同一或相似树龄的不同树种数量少而无法满足试验要求的问题。

表4 26种灌木的综合评价得分

Table 4 Comprehensive evaluation scores of 26 shrub species

| 树种 | 得分 P | 排名 | 树种 | 得分 P | 排名 |
|------|-------|----|-------|-------|----|
| 小叶女贞 | 3.54 | 1 | 金边黄杨 | -0.33 | 14 |
| 法国冬青 | 2.86 | 2 | 木槿 | -0.37 | 15 |
| 贴梗海棠 | 2.05 | 3 | 南天竹 | -0.38 | 15 |
| 红叶石楠 | 1.72 | 4 | 珍珠绣线菊 | -0.43 | 17 |
| 海桐 | 1.38 | 5 | 榆叶梅 | -0.61 | 18 |
| 火棘 | 0.64 | 6 | 棣棠 | -0.89 | 19 |
| 大叶黄杨 | 0.41 | 7 | 石榴 | -1.08 | 20 |
| 雀舌黄杨 | 0.3 | 8 | 黄刺玫 | -1.17 | 21 |
| 郁李 | 0.1 | 9 | 紫叶小檗 | -1.20 | 22 |
| 猥实 | 0.08 | 10 | 红瑞木 | -1.29 | 23 |
| 锦带花 | -0.1 | 11 | 珍珠梅 | -1.45 | 24 |
| 溲疏 | -0.22 | 12 | 紫荆 | -1.61 | 25 |
| 连翘 | -0.23 | 13 | 十大功劳 | -1.73 | 26 |

(3) 树种各项生态服务功能受多种因素共同影响,某一因素变化会导致评价结果有一定偏差。如在滞尘潜力研究中,本研究结果表明单位冠体滞尘量较高的有榆叶梅、小叶女贞,而与其叶面积密度差别较小的大叶黄杨的滞尘量却较少。这与孙晓丹等^[29]的研究结果不同。这可能与叶面特征有关,榆叶梅、小叶女贞的叶表较粗糙凹凸,且附有绒毛^[29-30],吸尘能力增强,滞尘量多;而大叶黄杨叶上覆着蜡质层较光滑,无毛、褶皱少,滞尘量易受风影响而减少^[31]。也可能与树冠紧密结构破坏有关,大叶黄杨标准枝上的枝叶较稀疏,受冠形结构破坏的影响较大,滞尘能力被削弱。在固碳能力研究中,本文结果表明,红叶石楠>小叶女贞>大叶黄杨>火棘>南天竹,而白保勋等^[32]的研究表明,红叶石楠>小叶女贞>南天竹>大叶黄杨>火棘。这除了与本文仅测算了灌木一年生叶生物量有关之外,也可能与地理位置和立地条件的不同有关。因此,关于灌木树种生态服务功能的定量研究,尤其是树冠结构、枝叶密度等因素对滞尘量的综合影响,还需要进一步深入。

4 结论

(1) 针对陕西关中地区城市绿化灌木,单从景观

服务功能的角度来看,小叶女贞、法国冬青、红叶石楠、贴梗海棠、大叶黄杨、海桐和雀舌黄杨的综合评价最高,在美化、造景等方面是优选树种;单从生态功能的角度来看,在净化环境和维护生态等方面的优选树种有小叶女贞、法国冬青、贴梗海棠、红叶石楠、海桐、火棘。

(2) 针对陕西关中地区城市绿化灌木,从景观服务和生态功能相结合的综合角度,综合表现最佳的灌木有小叶女贞、法国冬青、贴梗海棠、红叶石楠、海桐、火棘和大叶黄杨等,可作为优选树种。雀舌黄杨、猥实、郁李、溲疏、金边黄杨和锦带花等灌木表现也较好,具有一定的应用潜力,可作为次选树种。备选树种包括:棣棠、石榴、紫叶小檗、十大功劳、黄刺玫、红瑞木、珍珠梅和紫荆等。

[参 考 文 献]

- [1] 桑利群,黄璐,郑璐,等.林芝地区园林植物调查及生态效应评价[J].中国林副特产,2014(5):68-72.
- [2] Kabir M E, Webb E L. Productivity and suitability analysis of social forestry woodlot species in Dhaka Forest Division, Bangladesh [J]. Forest Ecology and Management, 2005, 212(1/2/3):243-252.
- [3] 魏烈权,卢世雄,马宗桓,等.基于主成分分析法的嘉峪关10种酿酒葡萄品种品质评价[J].甘肃农业大学学报,2020,55(3):90-96.
- [4] 杨玉宁,陈松树,高尔刚,等.基于主成分分析的木通属植物果实品质评价[J].食品与发酵工业,2021,47(9):191-200.
- [5] 李刚凤,李洪艳,张绍阳,等.沙子空心李果实营养品质的主成分分析和综合评价[J].食品与发酵工业,2020,46(12):264-270.
- [6] 张致义,邱尔发,谢晓阳,等.华北地区冬季景观树种选择研究[J].北京林业大学学报,2021,43(7):111-119.
- [7] 谢春平.基于主成分分析对宁镇山脉乡土树种综合评价[J].种子,2019,38(4):148-153.
- [8] 杜甲宝,潘盼,杨芳绒.主成分分析法在郑州市行道树综合性评价研究中的应用[J].西北林学院学报,2009,24(3):190-193.
- [9] 代亚丽.杨凌示范区城市道路绿化现状调查与改造方案[J].现代农业科技,2010(4):266-268.
- [10] 周坚华.城市生存环境绿色量值群的研究(5):绿化三维量及其应用研究[J].中国园林,1998,14(5):61-63.
- [11] 杨雪岩,吴雪梅,王冰,等.基于综合服务功能评价的北方城市绿化树种筛选[J].西北林学院学报,2022,37(05):251-257.
- [12] 陈芳,周志翔,王鹏程,等.武汉钢铁公司厂区绿地绿量的定量研究[J].应用生态学报,2006,17(4):4592-4596.

- [13] 俞慧珍,叶年山.江苏省城市绿化航空遥感调查评价研究报告[J].中国园林,1993,9(2):23-34.
- [14] 王新.紫叶稠李在乌鲁木齐地区的物候期观测和生长量调查[J].现代农业科技,2016(4):160.
- [15] 付鹏程,胡广录,巩炜,等.河西走廊沙漠—绿洲过渡带固沙植物根区土壤物理性质及持水特性[J].土壤通报,2021,52(4):811-820.
- [16] 方燕辉.上海 25 种常见灌木的固碳能力及其与叶性状的关系[D].上海:华东师范大学,2013.
- [17] 方精云,郭兆迪,朴世龙,等.1981—2000 年中国陆地植被碳汇的估算[J].中国科学(D 辑:地球科学),2007,37(6):804-812.
- [18] 梁艺馨,李卓蓉,雷珊,等.杨凌城区主要树种降噪评价及主要影响因素分析[J].陕西林业科技,2016(6):16-20.
- [19] 朱奕婕.基于层次分析法规划昆明市的园林树种[D].云南昆明:昆明理工大学,2020.
- [20] 喻华平,赵志常,高爱平,等.基于主成分分析和聚类分析的 23 份黄皮种质资源的品质评价[J].热带作物学报,2022,43(7):1357-1364.
- [21] 张卫勤,王文斗,那冬晨.临汾市主要区域绿化树种配置调查[J].现代农业科技,2018(11):169-170.
- [22] 苏晶,何云核.杭州湾滨海盐碱地主要灌木景观价值评价[J].安徽农业科学,2020,48(15):126-129.
- [23] 李佳睿,朱江龙,房晓君,等.青岛市行道树及花灌木的评价研究[J].陕西林业科技,2015(3):94-97.
- [24] 刘瑞宁,张文辉,刘新成,等.天津市 32 种常见灌木的观赏性及适应性综合评价[J].西北农业学报,2008,17(1):296-301.
- [25] Conway T M, Vander Vecht J. Growing a diverse urban forest: Species selection decisions by practitioners planting and supplying trees [J]. Landscape and Urban Planning, 2015,138:1-10.
- [26] 杨静怡,张政文,吴峰.贵阳市主要绿化树种功能评价[J].江苏农业科学,2020,48(3):156-161.
- [27] 张学星,施莹,周筑,等.云南城市行道树选择及综合评价研究[J].浙江农林大学学报,2011,28(6):922-926.
- [28] 赵青,刘爽,柳冬香,等.福州市普通公路主要园林绿化树种美学评价[J].武夷学院学报,2020,39(9):18-26.
- [29] 孙晓丹,李海梅,郭霄,等.10 种灌木树种滞留大气颗粒物的能力[J].环境工程学报,2017,11(2):1047-1054.
- [30] 陈芳,周志翔,郭尔祥,等.城市工业区园林绿地滞尘效应的研究:以武汉钢铁公司厂区绿地为例[J].生态学杂志,2006,25(1):34-38.
- [31] 张家洋,刘兴洋,邹曼,等.37 种道路绿化树木滞尘能力的比较[J].云南农业大学学报(自然科学),2013,28(6):905-912.
- [32] 白保勋,焦书道,陈东海.河南中北部 38 个常见树种的生物量与固碳特征分析[J].西部林业科学,2017,46(1):79-84.

(上接第 60 页)

- [16] Bing Hui, He Ping, Zhang Ying. Cyclic freeze-thaw as a mechanism for water and salt migration in soil [J]. Environmental Earth Sciences, 2015,74(1):675-681.
- [17] Pradhan N, Downer C, Marchenko S. Catchment hydrological modeling with soil thermal dynamics during seasonal freeze-thaw cycles [J]. Water, 2019,11(1):116.
- [18] 李子忠,王皓.冬灌对农牧交错带人工草地越冬期土壤水热状况的影响[J].干旱地区农业研究,2010,28(4):7-13.
- [19] 唐文政,王春霞,范文波,等.积雪与地表联合覆盖条件下冻融土壤水盐运移规律[J].水土保持学报,2017,31(3):337-343.
- [20] 姚宝林,李光永,王峰.冻融期灌水和覆盖对南疆棉田水热盐的影响[J].农业工程学报,2016,32(7):114-120.
- [21] 李瑞平,史海滨,赤江刚夫,等.基于水热耦合模型的干旱寒冷地区冻融土壤水热盐运移规律研究[J].水利学报,2009,40(4):403-412.
- [22] 孙贯芳,屈忠义,杜斌,等.不同灌溉制度下河套灌区玉米膜下滴灌水热盐运移规律[J].农业工程学报,2017,33(12):144-152.
- [23] 李建国,濮励杰,朱明,等.土壤盐渍化研究现状及未来研究热点[J].地理学报,2012,67(9):1233-1245.
- [24] 卢星航,史海滨,李瑞平,等.覆盖后秋浇对翌年春玉米生育期水热盐及产量的影响[J].农业工程学报,2017,33(1):148-154.
- [25] 彭振阳,黄介生,伍靖伟,等.秋浇条件下季节性冻融土壤盐分运动规律[J].农业工程学报,2012,28(6):77-81.