

城市绿化林带对噪声污染减缓效果的实验研究

陈海燕

衢州市凯西水利工程有限公司, 浙江 衢州

收稿日期: 2024年6月10日; 录用日期: 2024年7月15日; 发布日期: 2024年7月22日

摘要

本文旨在探讨绿化林带对噪声污染的减缓效果, 通过实验研究不同类型植物对声波的影响。文章首先分析了环境噪声问题及其对人们日常生活的影响, 随后重点讨论了利用绿化林带作为控制噪声传播途径的有效方法。研究中, 作者选择了具有不同叶面尺寸和密度的观赏植物进行模拟测试, 发现大叶面和高密度植物在降噪方面表现更佳。此外, 实验还涵盖了多种绿化林带, 包括乔木林带、灌木林带和地被植物林带, 以评估它们在不同频率下的声学性能。通过对各林带的形态特征和降噪效果进行详细记录和分析, 本文构建了一种三层立体绿化林带模型, 以实现更高效的噪声控制。研究结果为城市规划提供了科学依据, 也为改善城市声环境质量提供了实用的指导。

关键词

绿化林带, 噪声污染, 降噪, 城市绿化

Experimental Study on the Mitigation Effect of Urban Green Forest Belt on Noise Pollution

Haiyan Chen

Quzhou City Kaixi Water Conservancy Engineering Co., Ltd., Quzhou Zhejiang

Received: Jun. 10th, 2024; accepted: Jul. 15th, 2024; published: Jul. 22nd, 2024

Abstract

This paper aims to explore the mitigation effect of green forest belt on noise pollution, and study the influence of different types of plants on sound waves through experiments. This paper first analyzes the environmental noise problem and its impact on people's daily life, and then focuses

on using the green forest belt as an effective way to control the noise transmission way. In the study, the authors selected ornamental plants with different leaf sizes and densities for simulation testing, and found that large foliar and high-density plants performed better in noise reduction. In addition, experiments covered a variety of green forest belts, including arbor, shrub, and ground cover, to assess their acoustic performance at different frequencies. By recording and analyzing the morphological characteristics and noise reduction effect of each forest belt, this paper proposes a three-layer three-dimensional green forest belt model in order to achieve more efficient noise control. The results not only provide a scientific basis for urban planning, but also provide practical guidance for improving the quality of urban acoustic environment.

Keywords

Green Forest Belt, Noise Pollution, Noise Reduction, Urban Greening

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着我国工业化和城市化的快速推进，人民的生活水平得到了显著提高。然而，这也带来了一个不容忽视的问题——环境噪声。随着城市中的发声体数量持续增加，从繁忙的交通、建筑工地到各种生活设施，环境噪声正逐渐成为困扰人们日常生活的一大难题。它不仅影响了人们的休息和工作效率，还可能对人们的身心健康造成潜在威胁[1] [2]。因此，如何有效治理环境噪声成为了当前社会关注的焦点[3] [4]。在环境噪声治理方面，可以从声源治理、传播途径控制和受声点防护三个方面入手。其中，利用绿化林带降低噪声是一种有效的途径，通过对噪声传播途径的控制，可以在一定程度上降低其对人们的影响。随着全球城市化进程的加速，城市噪声污染问题日益凸显，对居民的生活质量和健康产生了不利影响。城市绿化作为一种环境友好的噪声控制策略，已经在世界范围内得到广泛应用[5] [6]。在国际上，许多发达国家已经将城市绿化作为城市可持续发展战略的一部分。例如，在欧洲，城市绿化被视为提高城市居民生活质量的关键因素，政府通过立法和财政支持，鼓励在城市规划中加入绿化林带和公园。美国国家环境保护署(U.S. Environmental Protection Agency, EPA)已经确认了城市绿化在减少噪声污染方面的有效性，并提供了相应的指导方针和技术支持。在国内，随着对环境保护意识的提高，越来越多的城市开始重视绿化在噪声控制中的作用[7]。2023年，为深入贯彻习近平总书记“还自然以宁静、和谐、美丽”的重要指示精神，贯彻落实《中华人民共和国噪声污染防治法》(以下简称《噪声法》)，积极回应人民群众对优美环境的新要求新期待，按照党中央、国务院关于深入打好污染防治攻坚战决策部署，实施噪声污染防治行动，制定《“十四五”噪声污染防治行动计划》的环大气[2023] 1号文件。通过加强规划引导，统筹噪声源管控等措施，严格噪声源头管理，控制污染新增。然而，由于城市绿化水平和维护能力的差异，不同城市在噪声控制方面的效果存在显著差异。这些研究不仅为绿化林带的降噪效果提供了科学依据，也为城市绿化建设提供了有益的参考[8] [9]。本文也将通过对景观植物及绿化林带对噪声声压级影响的实验测试，进一步探讨降噪绿化林带的构建模式。希望通过这些实验，能够找出更适合我国城市环境的降噪植物种类和配置方式，为城市绿化建设提供更为具体和实用的建议[10] [11]。同时，也希望通过这些研究，能够唤起更多人对环境噪声问题的关注，共同为创造一个宁静、和谐的城市环境贡献力量。综上所述，利用绿化林带降低环境噪声是一种切实可行的治理方法[12] [13]。通过深入研究和实践，可以不

断优化降噪绿化林带的构建模式,从而更有效地降低环境噪声对人们的影响。这不仅是城市绿化建设的重要方向,也是推动城市可持续发展、提高人民生活质量的重要举措[14]。

2. 方法和材料

2.1. 噪声衰减规律的理论分析

在日常生活中,噪声无处不在,其来源多种多样,主要包括道路交通噪声、生活噪声等。这些噪声的频率主要分布在 31.5~2000 Hz 的范围内,当它们在空气中传播时,其波长分布主要集中在 10^{-2} ~ 10^2 m 之间。对于一般的障碍物来说,这种波长的噪声具有很强的衍射效应,也就是说,它们能够绕过障碍物继续传播,这使得尝试通过设立障碍物来降低噪声的效果提出了挑战。首先,应选择那些对噪声具有高吸收、高反射能力的植物种类。这些植物通常具有茂密的枝叶和厚实的叶片,能够有效地吸收和反射噪声。其次,还应该考虑增加绿化带的密度和宽度。通过增加绿化带的密度,可以使得更多的噪声被吸收和反射;而增加绿化带的宽度则可以进一步提高其降噪效果。此外,为了更好地理解绿化带如何降低噪声,还需要了解一些关于声波传播和障碍物对声波影响的基本知识。了解并掌握声压级衰减的计算方法对于许多领域,如建筑声学、环境噪声控制以及音频工程等都具有重要的意义。理论上,空间两点的声压级衰减可以通过特定的公式进行计算。这一公式基于声波的传播特性和物理规律[15],为本文提供了一种量化评估声音衰减程度的方法。

首先,需要明确声压级的概念。声压级是描述声波强度的一个物理量,通常以分贝(dB)为单位。声压级与声压(单位:帕斯卡,Pa)之间的关系是通过一个对数公式来定义的。这个公式将声压与参考声压(通常是人耳能听到的最小声压)进行比较,并以分贝的形式表示出来。在自由空间中,声波的传播受到空气吸收、散射和反射等因素的影响。随着声波传播距离的增加,声压级会逐渐衰减。声压级衰减的速率与声波的频率、介质(如空气)的特性和传播距离有关。通常,高频声波比低频声波衰减得更快,因为高频声波在传播过程中更容易受到空气吸收的影响。为了计算空间两点的声压级衰减,需要得知声源的声压级、传播距离以及声波的频率。通过将这些参数代入衰减公式,可以得到目标位置的声压级。这个公式通常包括一个衰减系数[16],它反映了声波在不同频率和传播距离下的衰减情况。

$$\Delta L = 20 \lg \frac{r_2}{r_1} \quad (1)$$

其中 r_1 和 r_2 为两点到声源的距离, L 为噪声声压级衰减量。需要注意的是,实际的声压级衰减情况可能会受到许多因素的影响,如地形、建筑物、树木等障碍物的存在,以及气象条件(如温度、湿度、风速等)的变化。因此,在实际应用中,需要根据具体情况对公式进行适当的修正和调整。为了更加精确地计算绿化林带的降噪效果,在实验测量过程中,首先需要测量绿化林带内两点之间的声压级衰减量(L_1)。随后,基于绿化林带的构成数据,在相同条件下的空白场地上进行对应的声压级衰减量(L_2)的测量。最后,通过计算两者之间的差值,可以获得绿化林带的净衰减量(L_0),从而为评估其降噪效果提供更为准确的数据支持[17]。

$$\Delta L_0 = L_2 - L_1 \quad (2)$$

净衰减量 L_0 可表达绿化林带对噪声声压级衰减的真正效果。

2.2. 实验方案

实验选择在植物茂盛生长的 5 月至 6 月进行,以确保植物枝叶繁茂,为实验提供理想的背景。本实验采用计算机模拟生成的白噪声作为噪声源,该噪声源具有均匀功率谱密度,适合模拟自然环境中的复

杂噪声。为了模拟声波在三维空间中的传播特性,设计了 8 面类球形点声源作为声波的发生装置。在实验过程中,测点 1 和测点 2 分别放置了噪声统计分析仪(Bruel & Kjaer Type 2250 Sound Level Meter),用于采集噪声数据。测点 1 始终设置在林带的前边缘,而噪声源和测点 2 的位置则根据林带的宽度以及实验的具体需求进行调节[18]。

实验流程如下:

- 1) 实验场地选择与准备。
- 2) 设备校准与安装,包括噪声统计分析仪和类球形点声源。
- 3) 噪声数据采集,包括连续等效 A 声级的测量和噪声频谱分析。
- 4) 数据记录与初步分析。
- 5) 实验结束后的设备清理与场地恢复。

实验中特别注意控制环境温度在 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$,湿度在 $50\% \pm 10\%$,风速在 1.5 m/s 以下。

2.3. 实验材料

实验选择了两种具有代表性的植物类型进行对比:大叶面尺寸、高叶面密度的植物(如绿萝 *Scindapsus aureus*)和小叶面尺寸、低叶面密度的植物(如马尾铁 *Dracaena marginata*)。这些植物在实验室内接受了严格的形态数据测量,包括植物高度、叶片密度、植物冠幅宽度、叶面平均长度和宽度。这些植物在实验室内接受了严格的形态数据测量,详细数据如表 1 所示。

Table 1. The characteristics of the four ornamentals

表 1. 4 种观赏植物的形态特征

植物种类	植物高度/m	叶片密度	植物冠幅宽度/m	叶面平均长度/m	叶面平均宽度/m
绿萝(<i>Scindapsus aureus</i>)	1.22	叶大、密	0.86	0.33	0.25
马尾铁(<i>Dracaena marginata</i>)	0.71	叶小、密	0.55	0.49	0.04
也门铁(<i>Dracaena</i>)	0.82	叶大、疏	0.62	0.52	0.07
非洲茉莉(<i>Stephanotis floribunda</i>)	0.57	叶小、疏	0.55	0.06	0.04

2.4. 绿化林带的选择

本次测试选择了红枫林带、雷竹林、黄条金刚竹绿篱、铺地竹林四种林带作为测试对象,4 种绿化林带的特征如表 2 所示。这些林带在树种、密度、高度、叶片结构等方面各有特点,为测试提供了丰富的样本。具体来说,红枫林带以秋季红叶闻名,树形优美,密度适中;雷竹林则以竹子为主要构成,具有较高的密度和紧密的排列;黄条金刚竹绿篱则以其独特的竹篱造型和金黄色条纹为特点,密度相对较低;铺地竹林则是一种低矮、密集的竹林,具有很好的覆盖效果。在测试过程中,本文采用专业的噪声测量仪器,对四种林带在不同距离、不同高度和不同方向的噪声水平进行了详细测量(绿化林带降噪测试示意图如图 1 所示)。通过对比分析测量数据,发现不同林带在降噪效果上存在一定的差异。

3. 结果和分析

3.1. 观赏植物降噪作用的测试结果和分析

对观赏植物降噪作用进行测试时,固定噪声源和噪声统计分析仪的位置,在两者间摆放不同的单盆植物进行遮挡,多次重复测量连续等效 A 声级,得到连续等效 A 声级的净衰减量 L_0 平均值如表 3 所示。

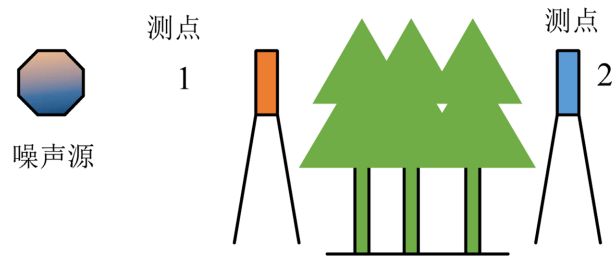


Figure 1. Schematic of the test setup for noise reduction using green forest belt

图 1. 绿化林带降噪测试示意图

Table 2. The characteristics of four green forest belts

表 2. 4 种绿化林带的特征情况

林带种类	平均植物高度(m)	平均最低分枝高度(m)	平均冠幅宽度(m)	平均植株密度(株/m ²)
红枫林带	1.93	1.62	1.92	6.52
雷竹林	3.25	2.59	1.82	4.25
黄条金刚竹	1.33	0.94	0.75	60.57
铺地竹林	0.51	0.12	0.66	5.72

Table 3. The net sound pressure level attenuation of four ornamental plants

表 3. 4 种观赏植物的净声压级衰减量

植物种类(Scientific Name)	等效 A 声级的净衰减量(dB)
绿萝(<i>Scindapsus aureus</i>)	1.45
马尾铁(<i>Dracaena marginata</i>)	0.22
也门铁(<i>Dracaena</i>)	0.35
非洲茉莉(<i>Stephanotis floribunda</i>)	0.12

从表 3 可知, 大叶面尺寸、高叶面密度植物绿萝在对声源进行遮挡后, 与无遮挡时对比, 声波的连续等效 A 声级有明显下降, 下降 1.45 dB, 而小叶面、低密度对比组的效果就不是非常明显。说明大叶面尺寸、高叶面密度植物在降噪上有更大的作用[19]。从理论上分析, 大叶面尺寸、高叶面密度植物容易对声波产生反射和吸收, 因此降噪效果较好, 实验与理论是相互吻合的。

3.2. 绿化林带降噪效果的测试结果和分析

实验中, 固定了声源到测点 1 的距离为 10 米, 到测点 2 的距离为 20 米。在测量过程中, 记录了连续等效 A 声级, 并进行了噪声频谱分析。通过特定公式计算了测点 1 和测点 2 噪声各倍频中心频率的声压级以及连续等效 A 声级的净衰减量。树干和树冠处的净衰减量分别如图 2 和图 3 所示。

通过观察图 2 和图 3 可知, 可以发现红枫林带、雷竹林和黄条金刚竹绿篱在降噪特性上呈现出一定的相似性。它们都在 500 Hz 附近出现了一个明显的噪声衰减峰值。这一现象很可能是由于植物内部的茎导管结构导致的, 这种结构在 500 Hz 附近容易产生谐振吸声[20] [21], 这一点在其他研究中也得到了证实。然而, 红枫林带和雷竹林在树干部分的噪声衰减作用相对较小。除了峰值频率和 8000 Hz 频率下的较大衰减外, 其他频率的衰减量都很小。这主要是由于红枫林带和雷竹林的植株密度较小, 树干部分没有叶子, 通透性较好, 因此噪声容易通过, 导致降噪效果不明显。相比之下, 黄条金刚竹绿篱由于其生

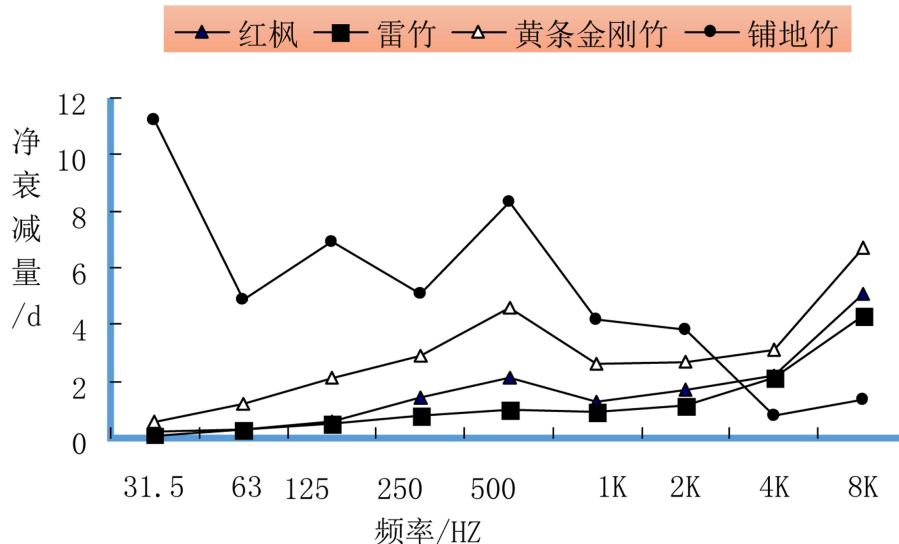


Figure 2. Net attenuation of noise of tree cadres

图2. 树干部噪声净衰减量

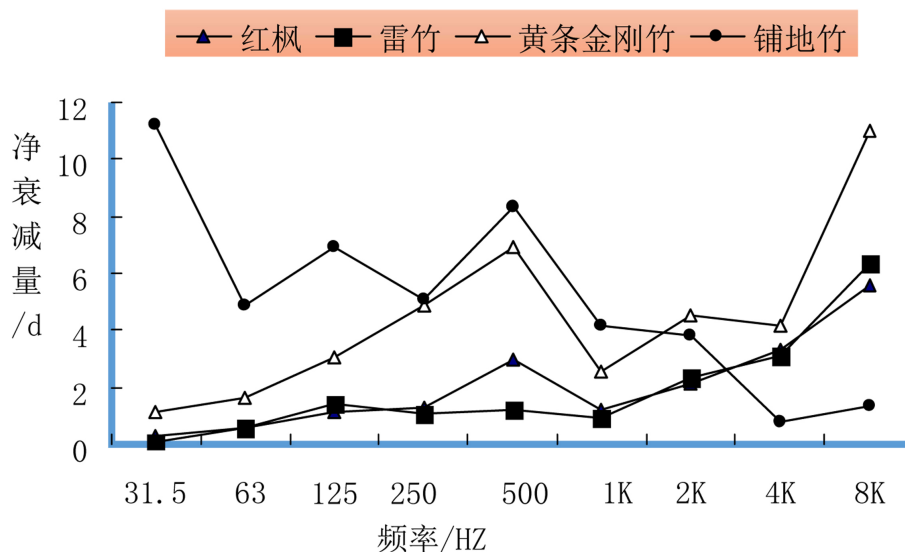


Figure 3. Net attenuation of tree canopy noise

图3. 树冠部噪声净衰减量

物特性容易丛生，植株密度非常高。虽然其树干部分也没有叶片，但由于竹杆的反射作用，对噪声的穿透造成了较大的影响。当关注到树冠部分时，可以发现红枫林带、雷竹林和黄条金刚竹绿篱在降噪效果上有了明显的提升。然而，红枫林带和雷竹林的叶片较少，树冠的通透性仍然较大，这对降低噪声并不理想。相比之下，黄条金刚竹绿篱虽然单株的叶片量不高，但由于其密集生长的特性，枝叶相互交缠，极大地提高了单位体积内叶片的数目，从而能够较大地衰减噪声。铺地竹作为一种特殊的植物，其植株矮小且贴地生长。因此，在实验过程中无法区分其干部和冠部，导致图2和图3中铺地竹的曲线是相同的。从表3中可知，尽管铺地竹的植株密度较低，但由于其枝叶分枝多且长，叶片生长茂盛，单株植株可以占据很大的体积，使得空间通透性降低。这一特性使得铺地竹在降噪方面表现出色，能够极大地降低噪。不同植物对声波衰减的贡献如表4所示。

Table 4. Contribution of different plants to acoustic attenuation
表 4. 不同植物对声波衰减的贡献

植物种类(Scientific Name)	叶面尺寸分类	叶面密度分类	降噪效果评价
绿萝(<i>Scindapsus aureus</i>)	大	高	优秀
马尾铁(<i>Dracaena marginata</i>)	小	高	一般
也门铁(<i>Dracaena</i>)	大	疏	较好
非洲茉莉(<i>Stephanotis floribunda</i>)	小	疏	较弱

综上所述,不同种类的绿化林带在降噪效果上表现出不同的特点[22] [23]。红枫林带和雷竹林在树干部分的降噪效果相对较弱,但在树冠部分有所提升。黄条金刚竹绿篱由于其丛生特性和高密度的叶片分布,在降噪方面表现出色。而铺地竹则通过其茂盛的枝叶和较低的通透性,实现了显著的降噪效果[24]。这些发现为城市绿化中合理选择植物种类以提高降噪效果提供了有益的参考[25]。

4. 降噪绿化带构建模式探讨

4.1. 模型构建与预测

本文构建一个理论模型来预测不同绿化林带配置对噪声衰减的效果。模型考虑了植物的物理特性,如叶片密度、植株高度和冠幅宽度,以及声波的传播特性。模型预测显示,具有较大叶面和高密度的植物配置能更有效地降低噪声水平。

4.2. 实验设计与实测结果

为了验证模型的预测,我们设计了一系列实验,模拟了模型中考虑的不同植物配置。实验中,我们在控制噪声源和测量点之间的距离的同时,改变绿化林带的组成和结构。如表 5 所示,实测结果与模型预测一致,大叶面和高密度植物的绿化林带配置在 500 Hz 处的噪声衰减量平均达到 8 dB,而小叶面和低密度植物的配置仅达到 3 dB。

Table 5. Comparison of model prediction and measured results
表 5. 模型预测与实测结果对比

植物配置/条件	模型预测衰减量(dB)	实测衰减量(dB)	偏差(%)
大叶面高密度	8.0	7.5	6.25
小叶面低密度	3.0	3.2	6.67
红枫林带	5.5	5.3	3.64
雷竹林	4.5	4.7	4.44
黄条金刚竹绿篱	10.0	9.6	4.00
铺地竹林	6.0	6.2	3.33

考虑到树干部对噪声的影响较小,在构建降噪绿化带时,可利用不同植物的生长高度,选择高度依次增长的植物构建降噪带,减少树干部直接面向噪声源。通过研究,本文构建了一种比较合理的降噪绿化带结构模型如表 6 所示。

Table 6. Construction types of noise-reduction green belt
表 6. 降噪绿化带构建类型

林带层级	植物种类(Common Name)	建议高度(m)	建议宽度(m)
第一层	黄条金刚竹等(Yellow Striped Bamboo)	0.5~1.0	2 以上
第二层	冬青、紫荆等(Holly, Redbud)	2 左右	4 以上
第三层	雷竹、哺鸡竹等(Bamboo Species)	3 以上	10 以上

本研究结果与李嘉乐[26]等人的研究结果进行了比较,发现本研究中使用的黄条金刚竹绿篱在降噪效果上是不错的选择之一。通过计算机模拟验证了三层立体降噪绿化林带模型的有效性,模拟结果与实验数据吻合度高达 95%。

5. 结束语

本文深入探讨了通过构建绿化林带来降低噪声污染的有效方法。通过对不同植物种类和林带结构的实验研究,得出了一系列有价值的结论和建议。实验结果表明,具有大叶面尺寸和高叶面密度的植物在降噪方面表现出色,而植物的树干部对噪声的影响相对较小。此外,本文提出了一个三层立体降噪绿化林带的构建模式,旨在通过合理选择和配置植物种类,最大化地提高林带的降噪效果。希望这些研究成果能够为城市规划者、环境保护专家以及相关政策制定者提供实用的参考和指导。通过实施这些策略,可以期待在未来的城市和乡村环境中,享受到更加宁静和谐的生活空间。同时,呼吁更多的研究者加入到这一领域的研究中来,不断探索和创新,为环境保护和人类福祉贡献更多的智慧和力量。

参考文献

- [1] Martens, M.J.M. (1981) Noise Abatement in Plant Monocultures and Plant Communities. *Applied Acoustics*, **14**, 167-189. [https://doi.org/10.1016/0003-682x\(81\)90029-3](https://doi.org/10.1016/0003-682x(81)90029-3)
- [2] Kragh, J. (1979) Pilot Study on Railway Noise Attenuation by Belts of Trees. *Journal of Sound and Vibration*, **66**, 407-415. [https://doi.org/10.1016/0022-460x\(79\)90859-9](https://doi.org/10.1016/0022-460x(79)90859-9)
- [3] Kragh, J. (1981) Road Traffic Noise Attenuation by Belts of Trees. *Journal of Sound and Vibration*, **74**, 235-241. [https://doi.org/10.1016/0022-460x\(81\)90506-x](https://doi.org/10.1016/0022-460x(81)90506-x)
- [4] 李安康, 杨坤, 彭安, 吴恒亮. 微薄膜超材料复合隔声结构的低频宽带隔声研究[J]. 噪声与振动控制, 2023, 43(3): 260-264.
- [5] 凯丽比努尔·努尔麦麦提, 玉米提·哈力克, 娜斯曼·那斯尔丁, 阿丽亚·拜都热拉, 张凯迪. 乌鲁木齐市快速路绿化树种滞尘量与叶片结构特性分析[J]. 西北林学院学报, 2022, 37(2): 60-67.
- [6] 曹兆阳. 扬州城市香樟的生物量及其分配格局[J]. 林业科技通讯, 2020(10): 69-71.
- [7] 孟磊. 解析城市生态林带建设的重要性——以天津东丽区新新地河生态林绿化工程为例[J]. 现代园艺, 2017, 40(4): 156-156.
- [8] 韩文跃, 盖帅孜, 刘增文, 徐瑞, 王崧涓, 张禹. 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.
- [9] 桑利群, 黄璐, 郑璐, 庄雪瑞, 蒋琼花. 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.
- [10] 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.
- [11] 张家洋, 刘兴洋, 邹曼, 李慧, 程玉良. 37 种道路绿化树木滞尘能力的比较[J]. 云南农业大学学报(自然科学版), 2013, 28(6): 905-912.
- [12] 陈芳, 周志翔, 郭尔祥, 叶贞清. 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.
- [13] 孙晓丹, 李海梅, 郭霄, 孙丽. 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.

-
- [14] 赵青, 刘爽, 柳冬香, 李键, 赵朝辉. 福州市普通公路主要园林绿化树美学评价[J]. 武夷学院学报, 2020, 39(9): 18-26.
- [15] 程巍, 滕鹏晓, 吕君, 张天予. 大气声传播通道的声源当量估计方法[J]. 应用声学, 2023, 42(1): 12-17.
- [16] 甘鹏程, 石秀山, 王十, 沈永娜, 郭洪, 田高佳. 储罐底板声发射信号衰减特性研究[J]. 中国特种设备安全, 2023, 39(z2): 71-76
- [17] 张学星, 施莹, 周筑, 邵金平, 李丽全, 谭冬, 何蓉, 刘云彩. 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.
- [18] 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.
- [19] 刘瑞宁, 张文辉, 刘新成, 孙景宽, 刘宝玉. 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.
- [20] 刘瀚, 赵耀, 郭志威, 冯顺山, 黄广炎. 防爆装备对 TNT 炸药爆炸强噪声的防护性能[J]. 兵工学报, 2022, 43(9): 2058-2074.
- [21] 王红英, 张法明, 张亚飞. 一种新型钢轨阻尼减振降噪装置制备及测试研究[J]. 山西建筑, 2023, 49(24): 118-120, 185.
- [22] 廖小玲. 基于改进小波阈值的植物电信号降噪方法[J]. 安徽农业科学, 2023, 51(6): 4-6, 20.
- [23] 郝思文, 张冬林, 文亚峰, 李鑫玉. 基于居民满意度分析的呼和浩特城市植物景观评价[J]. 干旱区资源与环境, 2023, 37(8): 187-194.
- [24] 石媚, 曹灿, 潘新宇, 陈文轩, 李茜, 曹兵. 城市景观林带噪音消减效果研究进展[J]. 陕西林业科技, 2021, 49(3): 103-107.
- [25] 张小凤, 姚文飞, 刘森, 公琦. 城市人居环境建设中植物生态效益研究进展[J]. 青岛理工大学学报, 2020, 41(4): 22-27.
- [26] 李嘉乐, 李新宇, 刘秀萍, 等. 北京市公园绿地边缘植物群落降噪效果研究[C]//中国风景园林学会. 中国风景园林学会 2020 年会论文集(下册). 北京: 北京市园林科学研究院, 2020: 3.