

# 北京市 3 种配置模式绿化带降噪效果的空间变化规律

曾 旻, 郭小平<sup>①</sup>, 李雨珂, 罗 超

(北京林业大学水土保持学院, 北京 100083)

**摘要:** 为明确不同配置模式绿化带对噪声衰减效果的空间变化规律,以北京市的刺槐(*Robinia pseudoacacia* Linn.) 纯林(代表阔叶纯林)、刺槐-小花溲疏(*Deutzia parviflora* Bunge)混交林(代表阔叶混交林)和侧柏[*Platycladus orientalis* (Linn.) Franco]-圆柏[*Sabina chinensis* (Linn.) Ant.]混交林(代表针叶混交林)3类绿化带为研究对象,设置不同高度、距噪声源不同水平距离和不同噪声频率3组变量,对3类绿化带的降噪值进行比较分析。结果表明:3类绿化带的降噪效果由高至低依次为针叶混交林、阔叶混交林、阔叶纯林。在不同高度和距噪声源不同水平距离处,3类绿化带对不同频率噪声有各自的降噪优势;其中,在高度0.5和1.5m处,阔叶混交林对250~1000Hz噪声的衰减效果总体上优于阔叶纯林,而阔叶纯林对4000Hz的噪声衰减效果却优于阔叶混交林,并且,针叶混交林对250、500、1000和8000Hz噪声的衰减效果总体上优于阔叶纯林;整体上看,在距噪声源水平距离超过10m处,3类绿化带对125~1000Hz噪声的衰减效果最优。相关性分析结果表明:3类绿化带的降噪率与噪声频率呈负相关,与距噪声源水平距离和单位面积三维绿量总体上呈正相关。其中,在高度0.5、1.5和2.5m处,3类绿化带的降噪率与噪声频率和距噪声源水平距离总体上显著相关;而在高度0.5和1.5m处,3类绿化带的降噪率与单位面积三维绿量总体上显著相关。从3类绿化带的降噪规律看,在距噪声源水平距离相同的位置,高度越低,绿化带的降噪值越大,其中高度2.5m以下绿化带的降噪值均较大;在相同高度上,距噪声源水平距离10和15m处3类绿化带的降噪值总体上较大,但在距噪声源水平距离15和20m处针叶混交林的降噪值明显大于其他2类绿化带。根据上述研究结果,建议绿化带宽度应在10m以上,在配置绿化带时,应选择分枝点低、枝叶密度大的树种,且在不影响树木生长的条件下尽量密植并适度配置灌木。

**关键词:** 阔叶纯林; 针叶混交林; 阔叶混交林; 绿化带; 噪声频率; 降噪规律

中图分类号: S727.5.05; X593 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2017)02-0068-08

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2017.02.09

**Spatial variation rule of noise reduction effect of three configuration modes of greenbelts in Beijing City** ZENG Yang, GUO Xiaoping<sup>①</sup>, LI Yuke, LUO Chao (School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2017, 26(2): 68-75

**Abstract:** In order to clarify the spatial variation rule of attenuation effect of different configuration modes of greenbelts on noise, taking three types of greenbelts including *Robinia pseudoacacia* Linn. pure forest (representing broad-leaved pure forest), *R. pseudoacacia-Deutzia parviflora* Bunge mixed forest (representing broad-leaved mixed forest) and *Platycladus orientalis* (Linn.) Franco-*Sabina chinensis* (Linn.) Ant. mixed forest (representing coniferous mixed forest) in Beijing City as research objects, three groups of variables of different heights, different horizontal distances from noise source and different noise frequencies were set up to compare and analyse the noise reduction value of three types of greenbelts. The results show that the noise reduction effect of three types of greenbelts from high to low is coniferous mixed forest, broad-leaved mixed forest, broad-leaved pure forest. At different heights and different horizontal distances from noise source, there are respective noise reduction advantages for

收稿日期: 2016-10-20

基金项目: 北京市路政局生态绿化研究资助项目(20070707)

作者简介: 曾 旻(1993—),男,贵州兴仁人,硕士研究生,主要从事工程绿化技术方面的研究。

<sup>①</sup>通信作者 E-mail: guoxp@bjfu.edu.cn

different frequency noises in three types of greenbelts. In which, at height of 0.5 and 1.5 m, the attenuation effect of broad-leaved mixed forest on noise of 250–1 000 Hz is generally better than that of broad-leaved pure forest, while that of broad-leaved pure forest on noise of 4 000 Hz is better than that of broad-leaved mixed forest, and that of coniferous mixed forest on noise of 250, 500, 1 000 and 8 000 Hz is generally better than that of broad-leaved pure forest. On the whole, at horizontal distance from noise source more than 10 m, attenuation effect of three types of greenbelts on noise of 125–1 000 Hz is the best. The correlation analysis results show that there is a negative correlation of noise reduction rate of three types of greenbelts with noise frequency, and there are generally positive correlations of noise reduction rate with horizontal distance from noise source and living vegetation volume per unit area. In which, in general, at height of 0.5, 1.5 and 2.5 m, there are significant correlations of noise reduction rate of three types of greenbelts with noise frequency and horizontal distance from noise source, while at height of 0.5 and 1.5 m, there is a significant correlation of noise reduction rate of three types of greenbelts with living vegetation volume per unit area. From view of noise reduction rule of three types of greenbelts, at the same horizontal distance from noise source, the lower the height, the larger the noise reduction value of greenbelts, in which, noise reduction value of greenbelts at height lower than 2.5 m is large. In general, at the same height, noise reduction value of three types of greenbelts at horizontal distance from noise source of 10 and 15 m is large, but that of coniferous mixed forest at horizontal distance from noise source of 15 and 20 m is obviously larger than that of other two types of greenbelts. According to above research results, it is suggested that width of greenbelt should be more than 10 m. When configuring greenbelt, it should select tree species with low branch point and large branch and leaf density, and try to close planting with suitable shrubs under the condition of not affecting growth of trees.

**Key words:** broad-leaved pure forest; coniferous mixed forests; broad-leaved mixed forest; greenbelt; noise frequency; noise reduction rule

随着社会经济的发展,国内的公路网建设日新月异,机动车数量也快速增长,由此产生的交通噪声已经成为危害人类健康、影响人们日常生活和工作的重要因素。目前,对交通噪声的防治主要包括声源防治、切断传播途径和受声点防护 3 个方面<sup>[1]</sup>,而绿化带不仅能够有效切断交通噪声的传播,并且可以改善道路周边的生态环境,是一种经济、生态和有效的降噪措施。

目前,对绿化带降噪效果的研究涉及绿化带的高度、宽度、长度、密度和排列形式等结构参数以及冠幅、叶面积指数、分枝点高度等植物形态特征参数;有关绿化带消减交通噪声的研究主要集中在绿化带结构<sup>[2-3]</sup>和林带距声源距离<sup>[4-5]</sup>对噪声衰减效果的影响等方面,但人们对不同配置模式绿化带在相同空间点降噪效果的差异尚缺乏了解,且目前研究涉及的噪声源主要以实时交通噪声为主,缺乏对不同频率噪声降噪效果的比较。

鉴于此,作者在北京市的朝阳公园和东升八家郊野公园内选取具有代表性的 3 种典型配置模式的绿化带作为研究对象,以不同频率的人工噪声为噪声源,测试绿化带内距声源不同水平距离和不同高度空间点降噪效果的差异,分析与降噪效应相关的因子,

并比较不同配置模式绿化带的降噪效应差异,以期探索绿化带对噪声的衰减规律,为交通噪声治理和绿化带的设计提供理论依据。

## 1 绿化带概况和研究方法

### 1.1 供试绿化带的筛选及概况

在全面调查现有公路绿化带的主要植物种类(品种)以及主要绿化带配置模式的基础上,在北京市平原地区已建成的大型公园、绿地及林场内远离交通噪声的地段调查和筛选绿化带配置模式,最终选择 3 种不同配置模式的绿化带为研究对象,各绿化带的宽度和长度均在 30 m 以上;其中,刺槐(*Robinia pseudoacacia* Linn.)纯林(代表阔叶纯林)和刺槐-小花溲疏(*Deutzia parviflora* Bunge)混交林(代表阔叶混交林)均位于朝阳公园,侧柏[*Platycladus orientalis* (Linn.) Franco]-圆柏[*Sabina chinensis* (Linn.) Ant.]混交林(代表针叶混交林)位于东升八家郊野公园。各绿化带的特征参数见表 1。

### 1.2 研究方法

利用 Audition 2.0 软件制作时长 100 s,频率 125、250、500、1 000、2 000、4 000 和 8 000 Hz 的单频

表1 北京市不同配置模式绿化带的特征参数

Table 1 Characteristic parameters of different configuration modes of greenbelts in Beijing City

绿化带编号 <sup>1)</sup> No. of greenbelt <sup>1)</sup>	树高/m Tree height	枝下高/m <sup>2)</sup> Under branch height <sup>2)</sup>	胸径/cm <sup>2)</sup> Diameter at breast height <sup>2)</sup>	冠幅/m Crown width	株距/m Plant spacing	行距/m Row spacing	单株三维绿量/m <sup>3</sup> Living vegetation volume per tree	单位面积三维绿量/m <sup>3</sup> Living vegetation volume per unit area
1	15.00	4.20	14.59	2.11	3.5	3.5	25.80	2.11
2-1	11.28	4.18	15.73	2.29	3.5	4.0	19.57	1.40
2-2	2.00	—	—	1.81	0.5	0.5	1.71	6.84
3	6.00	0.30	12.75	1.70	2.0	2.0	12.93	3.23

<sup>1)</sup> 1: 刺槐纯林 *Robinia pseudoacacia* Linn. pure forest; 2: 刺槐-小花溲疏混交林, 其中, 2-1 为刺槐, 2-2 为小花溲疏 *R. pseudoacacia-Deutzia parviflora* Bunge mixed forest, in which, 2-1 representing *R. pseudoacacia*, 2-2 representing *D. parviflora*; 3: 侧柏-圆柏混交林 *Platycladus orientalis* (Linn.) Franco-*Sabina chinensis* (Linn.) Ant. mixed forest.

<sup>2)</sup> 小花溲疏为灌木, 故无枝下高和胸径数据 *D. parviflora* is shrub, so without datums of under branch height and diameter at breast height.

噪声; 以 sh-750 扬声器为发声源、爱华 AWA6218B+ 型噪声统计分析仪(杭州爱华仪器有限公司)为接收器, 采用 A 计权声压级, 所测结果记为 dB(A), 仪器量程 35~130 dB, 可测试频率范围 31.5~8 000.0 Hz; 测试过程中设定仪器的采样间隔时间为 0.1 s, 由仪器统计输出等效连续声级 (Leq) 数据; 每处绿化带重复测试 3 次, 取 3 次降噪值的平均值 ( $\Delta L_{avg}$ )。由于风力和空气相对湿度等因子对噪声衰减效果有一定影响, 在 2016 年 6 月至 8 月选择风速小于  $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的晴朗白天进行多次测试, 并全部舍弃受到汽车噪音、鸟鸣或人声等干扰的数据。

采用 3 个点状噪声发射源模拟汽车噪声流, 3 个点状噪声发射源间距 5 m 并平行于绿化带放置作为线声源, 声源距离林缘 4 m、距离地面 1.2 m。各绿化带外缘(路缘)为 0 m 检测点, 在绿化带内沿垂直方向在同一直线上分别设置 0、5、10、15 和 20 m 检测点, 在各检测点距离地面 0.5、1.5、2.5、3.5 和 4.5 m 处放置接收器, 用噪声统计分析仪分别测试。计算 0 m 检测点与 5、10、15 和 20 m 检测点的噪声值差值, 分别记为 5、10、15 和 20 m 宽度绿化带的降噪值, 并据此计算降噪率。用卷尺(精度 1 mm)、胸径尺(精度 1 mm)和布鲁莱斯测高器对各绿化带的冠幅、冠高、胸径和枝下高等参数进行测量, 并据此计算各绿化带的三维绿量。

### 1.3 数据处理和统计分析

在对比不同配置模式绿化带对噪声的衰减效果时, 为减小环境噪声差异对绿化带衰减效果的影响, 对噪声衰减数值进行极差标准化处理, 并按照公式 “ $N = [(L_1 - L_2) / (L_1 - L_0)] \times 100\%$ ” 计算各绿化带的降噪率。式中,  $N$  为降噪率(即模拟噪声的衰减程度),  $L_1$  为林缘噪声值,  $L_2$  为检测点噪声值,  $L_0$  为环

境噪声值。

三维绿量是指植物所有茎叶占据的空间体积, 与二维绿量指标相比, 三维绿量能够更确切地反映绿地植物构成的合理性及绿地系统的生态效益水平<sup>[6]</sup>, 引入三维绿量指标可以更准确地描述绿化带的结构差异。参照文献[7-8]的方法计算三维绿量, 以绿化带的冠幅( $x$ )、冠高( $y$ )、胸径( $d$ )和枝下高( $h$ )为自变量, 以绿化带的三维绿量( $z$ )为因变量, 根据树冠形状获得不同的计算公式; 其中, 卵形树冠的三维绿量方程为  $z = \pi \cdot x^2 \cdot y / 6 + \pi \cdot d^2 \cdot h / 4$ , 圆锥形树冠的三维绿量方程为  $z = \pi \cdot x^2 \cdot y / 12$ , 圆柱形树冠的三维绿量方程为  $z = \pi \cdot x^2 \cdot y / 4$ ; 单株树木的三维绿量为树冠和冠下绿量之和, 绿化带的三维绿量由单株三维绿量累加获得, 并根据树木行间距获得各绿化带的单位面积三维绿量。

为定量分析噪声衰减效果与绿化带水平距离、垂直高度和单位面积三维绿量的相关性, 使用 SPSS 20.0 统计分析软件并采用 Pearson 相关性分析法对不同高度绿化带的降噪率与噪声频率、距噪声源水平距离和单位面积三维绿量的相关性进行分析。

## 2 结果和分析

### 2.1 不同配置模式绿化带对噪声衰减效果的比较

北京地区 3 种配置模式的绿化带对模拟噪声的降噪效果分别见表 2、表 3 和表 4。

2.1.1 阔叶纯林与阔叶混交林对噪声衰减效果的比较 由表 2 和表 3 可见: 在高度 0.5 和 1.5 m (低于灌木的平均高度 2.0 m) 处, 刺槐纯林(代表阔叶纯林)与刺槐-小花溲疏混交林(代表阔叶混交林)对低频噪声的衰减效果没有明显差异, 但阔叶混交林对

表 2 北京市刺槐纯林绿化带对不同频率噪声的衰减效果

Table 2 Attenuation effect of greenbelt of *Robinia pseudoacacia* Linn. pure forest on different frequency noises in Beijing City

噪声频率/Hz Noise frequency	距噪声源 5 m 处不同高度的降噪率/% Noise reduction rate at different heights from noise source of 5 m					距噪声源 10 m 处不同高度的降噪率/% Noise reduction rate at different heights from noise source of 10 m				
	0.5 m	1.5 m	2.5 m	3.5 m	4.5 m	0.5 m	1.5 m	2.5 m	3.5 m	4.5 m
	125	71	69	72	25	38	47	55	85	76
250	32	2	28	12	15	50	36	50	57	49
500	47	57	33	68	59	60	64	52	65	45
1 000	71	35	62	49	43	88	40	71	61	58
2 000	16	8	5	2	2	20	3	27	2	10
4 000	7	9	29	22	20	39	17	25	33	30
8 000	61	52	59	66	67	42	47	37	48	53

噪声频率/Hz Noise frequency	距噪声源 15 m 处不同高度的降噪率/% Noise reduction rate at different heights from noise source of 15 m					距噪声源 20 m 处不同高度的降噪率/% Noise reduction rate at different heights from noise source of 20 m				
	0.5 m	1.5 m	2.5 m	3.5 m	4.5 m	0.5 m	1.5 m	2.5 m	3.5 m	4.5 m
	125	80	74	80	74	77	100	92	91	89
250	49	41	44	51	45	68	54	56	48	50
500	91	84	76	65	57	71	76	75	79	70
1 000	45	35	58	44	47	86	72	42	50	53
2 000	82	58	75	73	76	50	21	44	29	38
4 000	12	30	24	21	29	98	96	100	92	95
8 000	64	67	73	72	65	68	44	71	83	70

表 3 北京市刺槐-小花溲疏混交林绿化带对不同频率噪声的衰减效果

Table 3 Attenuation effect of greenbelt of *Robinia pseudoacacia* Linn.-*Deutzia parviflora* Bunge mixed forest on different frequency noises in Beijing City

噪声频率/Hz Noise frequency	距噪声源 5 m 处不同高度的降噪率/% Noise reduction rate at different heights from noise source of 5 m					距噪声源 10 m 处不同高度的降噪率/% Noise reduction rate at different heights from noise source of 10 m				
	0.5 m	1.5 m	2.5 m	3.5 m	4.5 m	0.5 m	1.5 m	2.5 m	3.5 m	4.5 m
	125	48	61	51	72	65	69	84	71	78
250	42	31	35	45	38	49	54	52	96	65
500	56	70	36	62	54	53	90	64	71	60
1 000	71	42	65	65	58	86	69	51	71	52
2 000	29	12	20	42	29	37	38	12	23	29
4 000	34	33	37	57	52	18	24	20	24	32
8 000	25	30	34	50	49	35	64	54	54	50

噪声频率/Hz Noise frequency	距噪声源 15 m 处不同高度的降噪率/% Noise reduction rate at different heights from noise source of 15 m					距噪声源 20 m 处不同高度的降噪率/% Noise reduction rate at different heights from noise source of 20 m				
	0.5 m	1.5 m	2.5 m	3.5 m	4.5 m	0.5 m	1.5 m	2.5 m	3.5 m	4.5 m
	125	69	94	58	53	47	85	61	71	73
250	57	72	73	69	57	53	58	48	44	48
500	59	48	50	40	35	64	46	72	74	66
1 000	85	76	74	70	71	48	83	74	36	50
2 000	64	41	58	80	53	52	26	49	31	51
4 000	41	54	53	57	46	39	49	45	48	39
8 000	43	59	48	47	49	62	55	52	42	37

250~1 000 Hz 噪声的衰减效果总体上优于阔叶纯林;而阔叶纯林对 4 000 Hz 噪声的衰减效果却优于阔叶混交林,但其对 8 000 Hz 噪声的衰减效果却弱于后者。在距噪声源水平距离 5、10 和 15 m 处,阔叶

混交林对高频噪声的衰减效果明显优于阔叶纯林;在距噪声源水平距离 20 m 处,2 类绿化带对 125~2 000 Hz 频率噪声的衰减效果无明显差异。在高度大于 2.5 m 时,2 类绿化带对 125~1 000 Hz 噪声的衰减效

果随距噪声源水平距离增加而逐渐减弱;在距噪声源水平距离 15 和 20 m 处,2 类绿化带对 4 000 Hz 噪声的衰减效果明显提高。整体上看,在距噪声源水平距离 10 和 15 m 处,2 类绿化带的降噪效果均最好。

2.1.2 阔叶纯林与针叶混交林对噪声衰减效果的比较 由表 2 和表 4 可见:刺槐纯林和侧柏-圆柏混交林(代表针叶混交林)对 125 Hz 噪声的衰减效果均较好,但对 2 000 Hz 噪声的衰减效果总体较差,而在距

噪声源水平距离 20 m 处 2 类绿化带对 4 000 Hz 噪声有明显的衰减效果。在高度 0.5 和 1.5 m 处,针叶混交林对 250、500、1 000 和 8 000 Hz 噪声的衰减效果总体上优于阔叶纯林,特别是在距噪声源水平距离大于 15 m 时其对噪声的衰减效果更明显;在高度大于 2.5 m 时,在距噪声源水平距离大于 10 m 处,2 类绿化带对 125~1 000 Hz 噪声均有明显的衰减效果。

表 4 北京市侧柏-圆柏混交林绿化带对不同频率噪声的衰减效果

Table 4 Attenuation effect of greenbelt of *Platycladus orientalis* (Linn.) Franco-*Sabina chinensis* (Linn.) Ant. mixed forest on different frequency noises in Beijing City

噪声频率/Hz Noise frequency	距噪声源 5 m 处不同高度的降噪率/% Noise reduction rate at different heights from noise source of 5 m					距噪声源 10 m 处不同高度的降噪率/% Noise reduction rate at different heights from noise source of 10 m				
	0.5 m	1.5 m	2.5 m	3.5 m	4.5 m	0.5 m	1.5 m	2.5 m	3.5 m	4.5 m
	125	81	54	47	32	32	80	80	75	68
250	59	60	70	39	58	41	40	55	57	53
500	70	54	21	31	41	62	51	45	39	38
1 000	81	68	63	66	70	55	35	44	57	42
2 000	25	21	14	25	18	34	40	31	40	32
4 000	1	2	26	31	27	51	40	42	27	52
8 000	52	50	65	69	71	72	56	62	53	32

噪声频率/Hz Noise frequency	距噪声源 15 m 处不同高度的降噪率/% Noise reduction rate at different heights from noise source of 15 m					距噪声源 20 m 处不同高度的降噪率/% Noise reduction rate at different heights from noise source of 20 m				
	0.5 m	1.5 m	2.5 m	3.5 m	4.5 m	0.5 m	1.5 m	2.5 m	3.5 m	4.5 m
	125	100	93	98	62	44	100	100	100	91
250	69	60	47	77	43	64	53	77	64	63
500	100	100	76	65	46	100	100	91	79	66
1 000	74	54	58	57	36	100	88	59	87	79
2 000	47	66	45	57	38	71	80	65	62	69
4 000	58	51	44	45	37	85	88	81	72	72
8 000	77	64	56	16	42	93	98	92	90	90

## 2.2 不同配置模式绿化带对噪声衰减效果的相关因子分析

3 类绿化带不同高度的降噪率与噪声频率、距噪声源水平距离和单位面积三维绿量的相关系数见表 5。由表 5 可见:在所有高度上,3 类绿化带的降噪率与噪声频率呈负相关,说明频率越高噪声穿透绿化带的能力越强,绿化带对噪声的衰减效果越小;但高度越大,噪声频率与降噪率的相关系数的绝对值越小,特别是在高度 3.5 和 4.5 m 处,降噪率与噪声频率总体上无显著相关性,说明在高度 3.5 和 4.5 m 处绿化带的降噪效应与噪声频率无关。在所有高度上,降噪率与距噪声源水平距离均呈正相关,说明噪声在绿化带中传播的距离越远,能量消耗越多,衰减越明显;特

别是在高度 0.5~2.5 m 范围内相关性均达到显著水平,表明高度越低绿化带的降噪效应越明显。在高度 0.5 和 1.5 m 处,3 类绿化带的降噪率与单位面积三维绿量呈正相关,其在侧柏-圆柏混交林中的相关系数最大,在刺槐-小花溲疏混交林中次之,特别是在高度 0.5 和 1.5 m 处相关性总体达显著水平,说明配置小花溲疏、侧柏或圆柏可使绿化带在 2.5 m 以下的单位面积三维绿量增加,对噪声有更大的衰减效果。

## 2.3 绿化带降噪值的变化规律分析

2.3.1 垂直方向的变化规律 供试 3 类绿化带在高度 0.5~4.5 m 范围内所测降噪值的箱型图见图 1。由图 1 可见:在高度 0.5 和 1.5 m 处,绿化带的整体降噪效果较好,降噪值的平均值分别接近 15.0 和

表 5 北京市不同配置模式绿化带的降噪率与噪声频率、距噪声源水平距离和单位面积三维绿量的相关系数<sup>1)</sup>

Table 5 Correlation coefficient of noise reduction rate of different configuration modes of greenbelts with noise frequency, horizontal distance from noise source and living vegetation volume per unit area in Beijing City<sup>1)</sup>

因子 Factor	与刺槐纯林不同高度降噪率的相关系数 Correlation coefficient with noise reduction rate of <i>Robinia pseudoacacia</i> pure forest at different heights				
	0.5 m	1.5 m	2.5 m	3.5 m	4.5 m
噪声频率 Noise frequency	-0.266	-0.271*	-0.268*	-0.111	-0.064
距噪声源水平距离 Horizontal distance from noise source	0.497*	0.491*	0.451*	0.468*	0.510
单位面积三维绿量 Living vegetation volume per unit area	0.154	0.205*	-0.035	0.107	0.133

因子 Factor	与刺槐-小花溲疏混交林不同高度降噪率的相关系数 Correlation coefficient with noise reduction rate of <i>R. pseudoacacia-Deutzia parviflora</i> mixed forest at different heights				
	0.5 m	1.5 m	2.5 m	3.5 m	4.5 m
噪声频率 Noise frequency	-0.212*	-0.221*	-0.178*	-0.169*	-0.089
距噪声源水平距离 Horizontal distance from noise source	0.477*	0.517*	0.471*	0.510	0.479*
单位面积三维绿量 Living vegetation volume per unit area	0.154*	0.250	-0.055	0.107	0.133*

因子 Factor	与侧柏-圆柏混交林不同高度降噪率的相关系数 Correlation coefficient with noise reduction rate of <i>Platycladus orientalis-Sabina chinensis</i> mixed forest at different heights				
	0.5 m	1.5 m	2.5 m	3.5 m	4.5 m
噪声频率 Noise frequency	-0.286*	-0.249*	-0.265*	-0.150	-0.009
距噪声源水平距离 Horizontal distance from noise source	0.522*	0.559*	0.528*	0.535*	0.496
单位面积三维绿量 Living vegetation volume per unit area	0.208*	0.268*	0.097	0.110	0.023

<sup>1)</sup> \* : 表示在 0.05 水平上单侧显著相关 Indicating the unilateral significant correlation at 0.05 level.

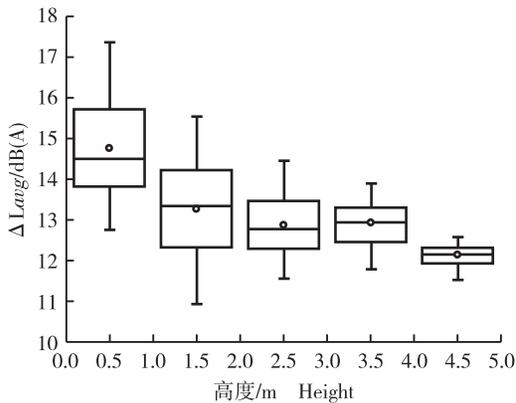


图 1 绿化带不同高度降噪值的分布情况  
Fig. 1 Distribution status of noise reduction value of greenbelts at different heights

图 1 绿化带不同高度降噪值的分布情况  
Fig. 1 Distribution status of noise reduction value of greenbelts at different heights

13.5 dB(A); 在高度 2.5 和 3.5 m 处, 降噪值减小并趋于稳定; 在高度 4.5 m 处, 降噪值较小且数据分散程度较小。说明在距噪声源水平距离相同的位置上, 越接近地面, 噪声衰减效果越佳, 但由于在高度

2.5 m 以下不同模式绿化带的空间配置形式差异较大, 因此, 降噪值的差异也较大, 数值较为分散。

2.3.2 水平方向的变化规律 在距噪声源水平距离 5~20 m 范围内绿化带降噪值的变化规律见图 2。由

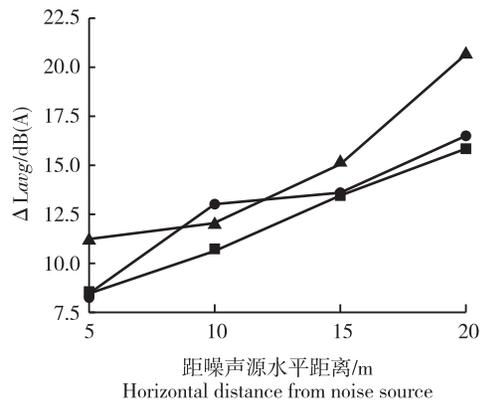


图 2 在距噪声源不同水平距离处不同配置模式绿化带对模拟噪声的平均降噪值 (ΔLavg)  
Fig. 2 Average noise reduction value (ΔLavg) of different configuration modes of greenbelts at different horizontal distances from noise source to simulated noise

图 2 在距噪声源不同水平距离处不同配置模式绿化带对模拟噪声的平均降噪值 (ΔLavg)  
Fig. 2 Average noise reduction value (ΔLavg) of different configuration modes of greenbelts at different horizontal distances from noise source to simulated noise

图2可见:在距噪声源水平距离10和15 m处3类绿化带的降噪效果较好,但在距噪声源水平距离15和20 m处侧柏-圆柏混交林的降噪值明显大于其他2类绿化带,其原因可能为在距噪声源水平距离15和20 m处侧柏-圆柏混交林的三维绿量远大于其他2类绿化带,因而降噪效果较强。

2.3.3 降噪值与噪声频率的关系 随噪声频率的增大,供试3类绿化带降噪值的变化见表6。结果表

明:3种配置模式的绿化带对500和1 000 Hz噪声的降噪效果均最好,平均降噪值达到15 dB(A)以上,对2 000和4 000 Hz噪声的降噪效果较差,对125和250 Hz噪声的降噪效果也较差。在3类绿化带中,侧柏-圆柏混交林对不同频率噪声的降噪效果总体较好;刺槐-小花溲疏混交林降噪值的峰值出现在高频区间(8 000 Hz),而其他2类绿化带降噪值的峰值则出现在中低频区间(500 Hz)。

表6 北京市不同配置模式绿化带对不同频率噪声的降噪值

Table 6 Noise reduction value of different configuration modes of greenbelts to different frequency noises in Beijing City

绿化带编号 <sup>1)</sup> No. of greenbelt <sup>1)</sup>	对不同频率噪声的降噪值/dB(A) Noise reduction value to different frequency noises						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 000 Hz	2 000 Hz	4 000 Hz	8 000 Hz
1	11.20	11.36	17.53	15.04	7.70	12.25	12.25
2	12.20	12.69	15.34	14.64	10.01	7.74	17.41
3	11.61	13.57	18.44	17.55	12.46	13.39	16.26

<sup>1)</sup> 1: 刺槐纯林 *Robinia pseudoacacia* Linn. pure forest; 2: 刺槐-小花溲疏混交林 *R. pseudoacacia-Deutzia parviflora* Bunge mixed forest; 3: 侧柏-圆柏混交林 *Platycladus orientalis* (Linn.) Franco-*Sabina chinensis* (Linn.) Ant. mixed forest.

### 3 讨论和结论

不同配置模式绿化带对不同频率噪声的衰减特性存在差异<sup>[4]</sup>。本研究中,供试的3种配置模式绿化带对2 000 Hz以下噪声总体上有较好的降噪效果,其中,侧柏-圆柏混交林(代表针叶混交林)对所有频率噪声的衰减效果均较好。并且,刺槐-小花溲疏混交林(代表阔叶混交林)降噪值的峰值出现在高频区(8 000 Hz),而其他2类绿化带降噪值的峰值则出现在中低频区(500 Hz)。在供试3类绿化带中,刺槐纯林(代表阔叶纯林)和针叶混交林在125~500 Hz的低频噪声区存在衰减峰值,这与Aylor<sup>[9]</sup>的研究结果相似。但本研究中,3类绿化带对不同频率噪声的衰减规律与他人的研究结果<sup>[2,4]</sup>也存在差异,其原因主要有2个方面:一是本研究中各绿化带的降噪值平均值数据来源于同一检测点5个不同高度的数据,较单一高度数据有一定差异;二是供试的绿化带配置模式不同,由于不同频率的噪声波长存在差异,随树种和配置的变化,声波在绿化带中传播方式(反射、吸收、散射)的权重也会相应发生改变,线声源播放的噪声在绿化带中叠加,存在声波的增益区与减弱区,因而出现降噪值不同的现象。有关不同频率噪声在不同配置模式绿化带中的具体分布规律还有待进一步

研究。

尽管有研究者<sup>[10-12]</sup>认为,绿化带的高度、宽度、长度、密度和排列形式等结构参数以及冠幅、叶面积指数和分枝点高度等植物形态特征参数均可影响噪声的衰减效应,但目前测试绿化带对噪声的衰减效应时主要针对单一高度绿化带<sup>[13-14]</sup>。本研究中,对供试3类绿化带设置5个不同高度的垂直检测点,结果表明:在距噪声源水平距离相同的条件下,越接近地面,绿化带对噪声的衰减效果越好,以高度2.5 m以下的降噪效果最好。其中,侧柏-圆柏混交林的降噪效果最好,因其分枝多且分枝点低,单位空间中叶片小而密集,单位面积三维绿量较大,当噪声传播时,2个树种的针叶对噪声的反射和吸收以及由此产生的振动均能够消减噪声传播的能量,加速噪声的衰减;刺槐-小花溲疏混交林也由于刺槐与小花溲疏的配置使绿化带在高度空间上形成互补,因此,该绿化带的整体降噪效果较好;而刺槐纯林的整体降噪效果较差,与其分枝点高、单位空间中叶片密度较小有关,因而,为了提高绿化带的降噪效果,应当选择叶片细小、表面粗糙、单位体积叶片数量较多的树种。针叶树种具有叶片细小、树冠中叶片分布较密、空气通透性好、孔隙率较大、孔径较小和孔管长度较大等特征,对噪声有较大的阻性吸声<sup>[15]</sup>,因此,在配置公路两侧绿化带时,应尽量选择分枝点低、叶片小而密的树种

(即针叶树种),同时在不影响树木生长的情况下配置低矮灌木。

本研究结果表明:距噪声源水平距离与降噪值呈明显正相关,与 Karbalaei 等<sup>[16]</sup>的研究结果一致。随距噪声源水平距离(即绿化带宽度)的增加,绿化带的降噪值增大;超过一定水平距离后,绿化带的降噪值趋于稳定;其中,在距噪声源水平距离 10 m 处绿化带对噪声的衰减效果较明显,结合已有的研究结论<sup>[4]</sup>,可以确定绿化带宽度至少为 10 m 才有较好的降噪效果。

在城市绿地空间不足的情况下,为了更好的降低噪声,在有效降噪宽度内可以合理密植树木,而且,由于林下植物配置丰富的植物群落对噪声的衰减效果优于层次单一的植物群落<sup>[17]</sup>,因此,在分枝点高度以下可以栽植低矮树种。据此,建议在配置绿化带时,应选择分枝点低、树冠密度大的树种,而且在不影响树木生长的情况下尽量缩小树木的行间距,同时栽植灌木,必要时可以辅以工程措施,使得绿化带在分枝点高度以下空间内对噪声的衰减效果更佳。

#### 参考文献:

- [1] 丁亚超,周敬宣,李 恒,等. 绿化带对公路交通噪声衰减的效果研究[J]. 公路, 2004(12): 204-208.
- [2] 袁 玲,王选仓,武彦林,等. 夏冬季公路林带降噪效果研究[J]. 公路, 2009(7): 355-358.
- [3] 张秦英,崔海南,马 蕙,等. 不同配置模式带状绿地降噪效应研究[C]//张启翔. 中国观赏园艺研究进展 2015. 北京: 中国林业出版社, 2015: 738-741.
- [4] 孙 伟,王玮璐,郭小平,等. 不同类型绿化带对交通噪声的衰减效果比较[J]. 植物资源与环境学报, 2014, 23(2): 87-93.
- [5] ONDER S, KOCBEKER Z. Importance of the green belts to reduce noise pollution and determination of roadside noise reduction effectiveness of bushes in Konya, Turkey [J]. World Academy of Science, Engineering and Technology, 2012, 66: 639-642.
- [6] 朱晓霞. 兰州市主要绿化树种绿量的测定与评价[D]. 兰州: 甘肃农业大学林学院, 2007.
- [7] 刘常富,何兴元,陈 玮,等. 沈阳城市森林三维绿量测算[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(3): 32-37.
- [8] 周坚华,孙天纵. 三维绿色生物量的遥感模式研究与绿化环境效益估算[J]. 环境遥感, 1995, 10(3): 162-174.
- [9] AYLOR D. Sound transmission through vegetation in relation to leaf area density, leaf width, and breadth of canopy[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 1972, 51: 411-414.
- [10] PATHAK V, TRIPATHI B D, MISHRA V K. Dynamics of traffic noise in a tropical city Varanasi and its abatement through vegetation[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2008, 146: 67-75.
- [11] FANG C F, LING D L. Investigation of the noise reduction provided by tree belts[J]. Landscape Urban Planning, 2003, 63: 187-195.
- [12] 王 慧,郭晋平,张芸香,等. 公路绿化带降噪效应及其影响因素研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(6): 1403-1408.
- [13] ZHANG J, GUO X P, ZHAO C G. Nonlinear prediction model of noise reduction by greenbelts [J]. Urban Forestry and Urban Greening, 2015, 14: 282-285.
- [14] 贾 鹏,郑 洲. 高速公路绿化林带降噪效果调查与分析[J]. 现代交通技术, 2010, 7(3): 92-96.
- [15] 吴淑杰,韩喜林. 林冠降噪机理的探讨[J]. 中国林业, 2003(13): 34, 14.
- [16] KARBALAEI S S, KARIMI E, NAJI H R, et al. Investigation of the traffic noise attenuation provided by roadside green belts [J]. Fluctuation and Noise Letters, 2015, 14: 1550036.
- [17] 张明丽,胡永红,秦 俊. 城市植物群落的减噪效果分析[J]. 植物资源与环境学报, 2006, 15(2): 25-28.

(责任编辑: 惠 红, 佟金凤)