

城市道路防护绿地对空气微生物污染的屏障作用

任启文^{1, 2}, 徐振华^{1, 2*}, 党磊^{1, 2}, 王成³

1. 河北省林业科学研究院, 河北 石家庄 050061; 2. 河北省林木良种工程技术研究中心, 河北 石家庄 050061;
3. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091

摘要: 深入研究城市道路防护绿地对空气微生物污染的屏障作用, 对城市空气污染的控制、环境质量的改善以及城市道路绿化的科学配置具有重要指导意义。以北京市西土城路旁边 3 块不同结构防护绿地为研究对象, 在垂直道路不同距离设置取样点, 用平皿沉降法同时采样, 带回实验室培养计数。通过分析道路及其防护绿地内空气细菌、霉菌种类和所占比例, 细菌、霉菌的水平扩散特征和道路防护绿地的减菌效应, 以及基于空气细菌污染防治的城市道路防护绿地宽度。结果表明, (1) 城市道路空气微生物主要以细菌为主, 占 99.4%, 霉菌占 0.6%; 道路防护绿地中空气细菌占 96.2%, 霉菌占 3.8%, 霉菌数量比道路略高。细菌优势菌群包括 *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Bacillus*, *Microbacterium*, *Arthrobacter*; 霉菌优势菌群包括 *Alternaria*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*。(2) 道路防护绿地空气总微生物浓度和空气细菌浓度水平梯度变化一致, 表现为从道路中央到距林缘 15 m 处急剧降低, 距林缘 15~55 m 范围变化不大。(3) 3 块绿地对空气细菌污染有显著防护效果, 减菌效应都达到了 70% 以上, 以乔灌草混交结构绿地防护效益最佳, 达到 90% 以上; 但防护绿地对空气霉菌的防护效果不明显。(4) 在该研究背景下降低城市道路空气细菌污染的单侧最佳防护宽度应在 15 m 以上, 10 m 以上宽度也有一定防护效果。(5) 城市道路防护绿地树种选择应以乔木树种为主, 合理搭配灌草景观植物, 优先选择具有滞尘、杀菌、吸收 SO₂ 等特殊功能的树种。绿化空间结构配置北方城市以乔灌草复层结构为主, 南方城市以多树种混交的乔草结构为主。

关键词: 城市道路; 防护绿地; 空气微生物; 空气细菌; 屏障作用

DOI: 10.16258/j.cnki.1674-5906.2015.05.016

中图分类号: X173

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2015) 05-0825-06

引用格式: 任启文, 徐振华, 党磊, 王成. 城市道路防护绿地对空气微生物污染的屏障作用[J]. 生态环境学报, 2015, 24(5): 825-830.

REN Qiwen, XU Zhenhua, DANG Lei, WANG Cheng. Effects of Urban Road Protection Green-belt on Reducing Airborne Microbes Concentration [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2015, 24(5): 825-830.

空气微生物是指空气中细菌、霉菌和放线菌等有生命的活体, 它主要来源于自然界的土壤、水体、动植物和人类, 此外污水处理、动物饲养、发酵过程等也是空气微生物的重要来源 (Giancarlo 等, 2000; Jacek 等, 2000), 已知存在空气中的细菌及放线菌有 1 200 种, 真菌有 40 000 种 (Mahdy 和 Sehrawi, 1997)。

随着城市化进程的加快, 城市建设规模不断扩展, 大中城市机动车保有量逐年攀升, 道路车流量急剧增加。目前, 北京市机动车保有量已突破 520 万辆。道路作为线状污染源, 其机动车尾气、空气颗粒物、空气微生物对周边环境的污染越来越严重 (Nazzal 等, 2013; Tamara 等, 2008; Ofer 等, 2011)。近年来, 人们对汽车尾气和颗粒物污染的认识和重视程度逐渐提高, 而对空气微生物污染对人体健康的危害认识不够。空气中广泛分布的细菌, 真菌孢

子、放线菌、病毒等生物粒子和人体健康密切相关 (Christopher 等, 2003; Dale 等, 2001)。空气微生物浓度过高会导致各种疾病的发生 (Bruce, 2000; Mrinal 等, 2005)。空气微生物中的病原菌, 可以在空气中进行繁殖并向周围的环境中扩散, 导致人们出现哮喘、麻疹、结核、白喉、百日咳、过敏性皮炎、过敏性肺炎、传染性疾病等, 重者甚至导致死亡, 对城市人群具有严重的健康危害 (Smid 等, 1992, 1994; Von 等, 2000)。因此城市中空气微生物状况是城市环境综合因素的集中体现, 是评价城市空气质量的重要指标之一 (Zhu 等, 2003)。细菌和真菌等微生物通过孳生繁殖污染空气已经成为目前重要的公共环境卫生问题 (Jeffrey 和 Lim, 2003; Zucker 和 Muller, 2004), 在美、日、德、法等国家是人们最为关注的课题之一。1999 年在英国召开第 8 届室内空气环境国际会议的 700 篇论文

基金项目: 河北省林业厅项目 (1407455)

作者简介: 任启文 (1979 年生), 男, 工程师, 硕士, 主要研究方向为城市森林生态。E-mail: blrenqiwen@126.com

*通信作者: 徐振华 (1973 年生), 男, 高级工程师, 主要研究方向为林木良种选育及城市园林绿化。E-mail: hblky303@126.com

收稿日期: 2014-09-26

中,以微生物为议题的就有126篇之多,仅次于挥发性有机物(钟格梅和陈烈贤,2005)。

随着经济的发展和生活质量的提高,人们迫切要求清洁、舒适和健康的生活环境。城市绿地在净化空气、改善城市环境方面的作用逐渐受到人们的重视,人们也开始了防控空气微生物的研究。大量研究发现空气微生物具有不同的粒径(Zaheer和Ian,2012),不同地区微生物种类和浓度不同(方治国等,2005)。公园、风景区、林区等植物茂密的地方空气微生物浓度比较低,而空旷的广场、空地则浓度比较高(黄健屏和吴楚才,2002;李伟华和陈章和,2003)。有人提出植物可以分泌杀菌素抑制空气微生物(郟光发等,2005),也有人认为空气微生物浓度与空气气溶胶污染有关(Dhia等,2012),还与温度、光照、风速等气象因子有关(Wu等,2012)。因此,深入研究城市道路防护绿地对空气微生物污染的屏障作用,对城市空气污染的控制、环境质量的改善以及城市道路绿化的科学配置具有重要指导意义。

1 研究区概况

元大都城垣遗址公园跨海淀、朝阳两区,全长9 km,宽130~160 m,总占地面积67 hm²,是北京城区内最大的带状公园。本研究在元大都城垣遗址公园(海淀段)选择了靠近西土城路附近的3块监测样地,分别为针叶乔草结构(A),乔灌草结构(B),针阔乔草结构(C)作为研究样地(见表1)。

2 材料和方法

2.1 空气微生物采样及气象因子测量

培养基配制:所有培养基都在专业实验室配制。细菌采用琼脂培养基:牛肉膏5 g,蛋白胨10 g,NaCl 5 g,琼脂20 g,蒸馏水1 000 mL;霉菌采用马丁氏培养基:葡萄糖10 g,蛋白胨5 g,KH₂PO₄ 1 g,MgSO₄·7H₂O 0.5 g,琼脂20 g,蒸馏水1 000 mL(张纪忠,1990)。

空气微生物采样:采样时间为2012年6月25日上午9:00—11:30,采用平皿沉降法采样,培养皿直径9 cm。每块样地在道路中央(M)、路肩处(S)、林缘处(G)、距离林缘5 m(G5)、10 m(G10)、

15 m(G15)、20 m(G20)、25 m(G25)、30 m(G30)、35 m(G35)、40 m(G40)、45 m(G45)、50 m(G50)、55 m(G55)处设置14个取样梯度,每个样点取3个重复;各梯度同时取样,采样高度1.5 m,接种时间10 min,采样后盖上皿盖带回实验室培养。

气象因子测量:微生物采样同时,用气温计、湿度仪、风速仪、光照测定仪分别测定路肩处及绿地内部空气温度、相对湿度、风速、光照度等指标(见表2)。

表2 监测样地部分气象因子情况

Table 2 Some meteorological measurements of monitoring green space at sampling time

样地	温度/℃	相对湿度/%	风速/(m·s ⁻¹)	光照/LUX	
A	路肩处	27.5	60	1.7	16 200
	样地内	26.0	68	0.8	3 900
B	路肩处	27.0	64	1.9	15 700
	样地内	26.0	69	0.3	2 700
C	路肩处	30.0	58	1.4	28 100
	样地内	29.5	60	0.6	3 700

2.2 培养观测和计算

培养观测:将取样后的培养皿倒置于恒温培养箱中培养。细菌培养温度37℃,48 h后检查平均菌落数;霉菌培养温度25℃,72 h后检查平均菌落数,单位CFU·dish⁻¹。总微生物为细菌和霉菌平均菌落数之和。运用微生物分类学方法,通过宏观和微观形态鉴定到属。

$$Y=(CK-N)/CK \times 100\% \quad (1)$$

公式中Y为绿地减菌率(%);CK为对照点空气微生物浓度(CFU·dish⁻¹),本次实验的对照点为路肩处;N为绿地内监测点空气微生物浓度(CFU·dish⁻¹)。

所有数据和图表都通过Microsoft Office Excel 2003进行分析和制作;方差分析和LSD(Least-significant difference)多重比较通过SPSS Version 18.0进行。

3 结果与分析

3.1 城市道路及其防护绿地中空气微生物组成

城市道路空气微生物主要以细菌为主,占

表1 监测样地基本情况

Table 1 The basic information of monitoring green-belts

样地	主要植物	树高/m	冠幅/(m×m)	枝下高/m	郁闭度/%
A	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	4.5~5.0	2.0×3.0	2.5~3.0	83
	草地早熟禾(<i>Poa pratensis</i> L.)	盖度	79%		
B	刺槐(<i>Robinia pseudoacacia</i>)	8.5~10.0	4.0×5.0	6.0~8.0	87
	国槐(<i>Sophora japonica</i>)	8.5~10.0	4.0×5.0	6.0~8.0	
	金银木(<i>Lonicera maackii</i>)	2.5~3.0	—	—	
	黑麦草(<i>Lolium perenne</i>)	盖度	70%		
C	国槐(<i>Sophora japonica</i>)	9.5~12.5	4.0×5.5	7.5~9.0	70
	油松(<i>Pinus tabulaeformis</i>)	4.5~6.0	2.0×3.0	3.0~4.0	
	黑麦草(<i>Lolium perenne</i>)	盖度	75%		

99.4%，霉菌占 0.6%；道路防护绿地中空气细菌占 96.2%，霉菌占 3.8%，霉菌数量比道路略高（见图 1）。通过鉴定，城市道路及其防护绿地中，空气细菌主要有 10 属，占细菌总数的 98.8%；空气霉菌主要有 9 属，占霉菌总数的 99.6%。图 2 显示了细菌、霉菌的组成及其所占比例。细菌优势菌群主要有 *Micrococcus*、*Staphylococcus*、*Bacillus*、*Microbacterium* 和 *Arthrobacter* 五属，分别占 22.6%、19.3%、16.4%、14.0%、12.8%；霉菌优势菌群主要有 *Alternaria*、*Penicillium*、*Aspergillus* 和 *Cladosporium* 四属，分别占 30.3%、23.4%、21.3%、16.5%（见图 2）。

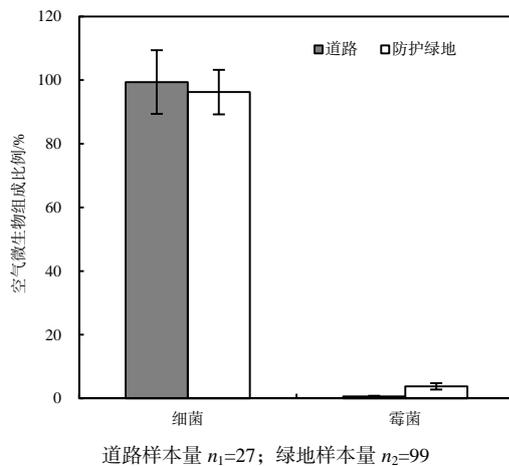


图 1 城市道路及其防护绿地空气微生物组成比例

Fig. 1 Microbial composition (as percentage of total concentration) from urban road and its protection green-belts in Beijing, China

3.2 城市道路防护绿地中空气微生物浓度水平梯度变化

从图 3 可以看出监测道路空气细菌污染非常严重。道路防护绿地中空气总微生物和空气细菌浓度水平梯度变化一致，表现为从路中央到距林缘 15 m 处的显著递减趋势，超过 15 m 后则变化趋势比较平缓。各水平梯度间空气霉菌浓度变化规律不明显，差异较小（见图 3）。

3.3 城市道路不同防护绿地减菌效应比较

以路肩处空气微生物浓度为对照，计算出各梯度的减菌效益（见图 3），通过比较发现 3 块防护绿地内距林缘超过 15 m 后，空气细菌的降低率都达到 70% 以上，刺槐、国槐、金银木混交林 (B) 达到 90%；但 3 块绿地对空气霉菌的防护作用不明显。从配置结构来看，乔灌木混交结构 (B) 对空气细菌的减菌效果最好 ($P=0.047$)；针叶乔木 (A) 和针阔乔木 (C) 次之，且二者之间差异不明显 ($P=0.532$)。

3.4 城市道路防护绿地防控空气细菌污染的有效宽度

由于城市道路防护绿地空气微生物污染主要表现为空气细菌污染，因此必须以空气细菌为对象来研究有效防控宽度。经方差分析，3 块绿地不同水平梯度间空气细菌浓度存在极显著差异，进一步对不同水平梯度空气细菌浓度进行 LSD 多重比较发现（见表 3）：距林缘 10 m 处空气细菌浓度比路肩处显著降低；距林缘 15 m 处油松林 (A)，国槐、油松混交林 (C) 空气细菌浓度比 10 m 处显著降低；而 15~55 m 各梯度间差异不显著。这就说明城市道路空气细菌在 229~587 CFU·dish⁻¹ 的污染水平下，3 种配置的防护绿地有效控制空气细菌污染的临界宽度为 15 m。由于研究样地宽度较大，考虑到 15 m 外绿地的协同作用，推测该研究背景下城市道路防控空气细菌污染的最佳单侧绿地宽度应在 15 m 以上；如果考虑城市用地紧张，单侧 10 m 宽的防护绿地也能显著降低城市道路空气细菌污染。

4 结论与讨论

4.1 结论

(1) 城市道路及其防护绿地空气微生物中细菌占绝对优势，霉菌相对较少；细菌优势菌群为 *Micrococcus*、*Staphylococcus*、*Bacillus*、*Microbacterium*、*Arthrobacter* 五属。霉菌优势菌群为 *Alternaria*、*Penicillium*、*Aspergillus*、*Cladosporium* 四属。

(2) 城市道路防护绿地空气总微生物和空气细菌浓度水平梯度变化一致，从路中央到绿地内距林

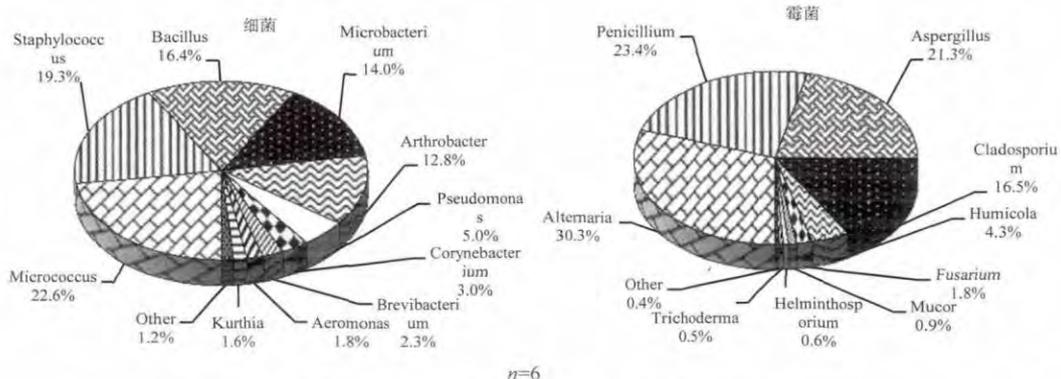


图 2 城市道路及其防护绿地空气细菌、霉菌菌属组成比例

Fig. 2 Community composition of airborne bacteria and fungi from urban road and its protection green-belt in Beijing, China

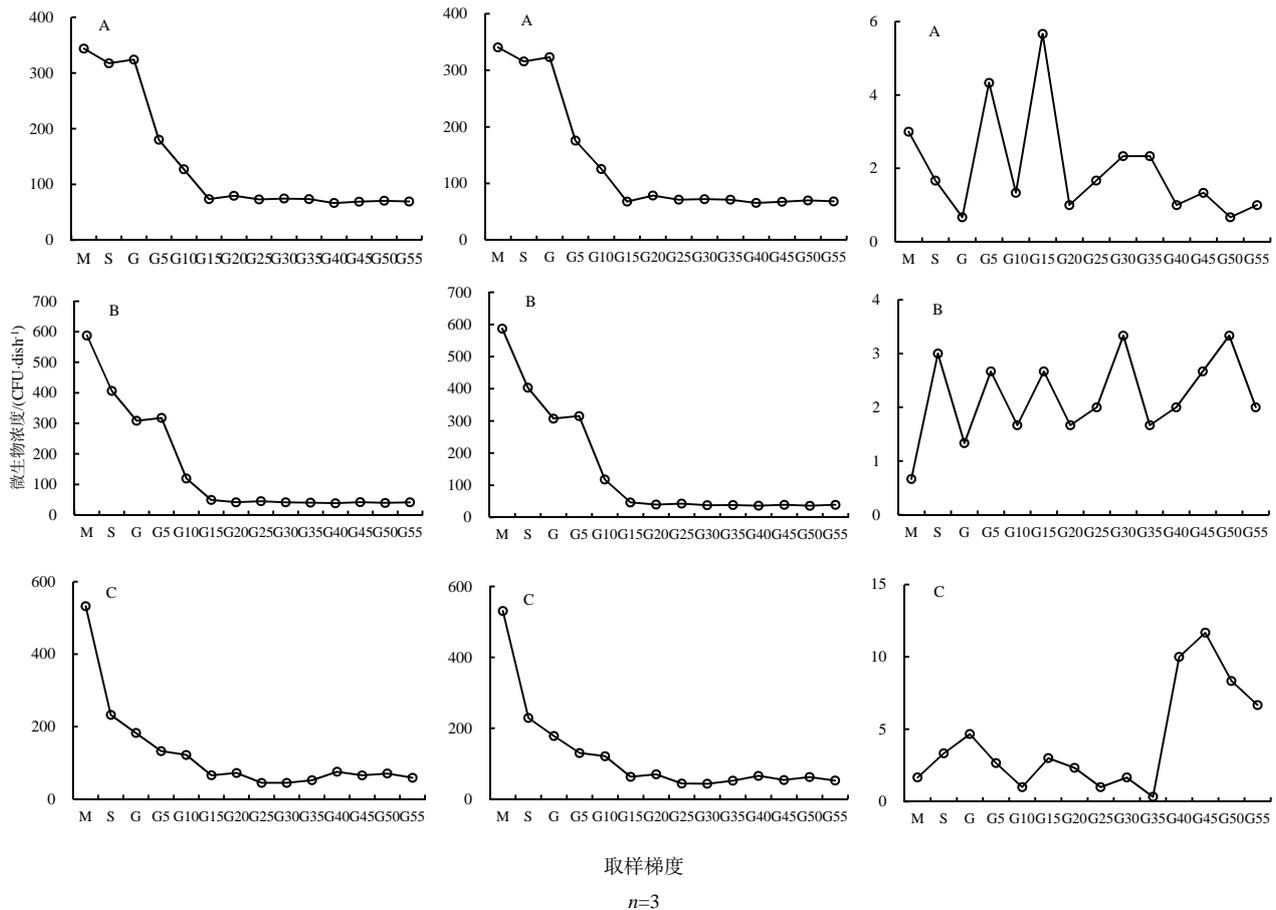


图3 城市道路防护绿地中空气微生物浓度随距离的变化

Fig. 3 The variation of airborne microbes concentration with the distance away from urban road in the protection green-belts

表3 距道路不同距离绿地内空气细菌浓度 LSD 多重比较

Table 3 LSD multiple comparisons of airborne bacteria concentration in the protection green-belts at different distance to the road

不同取样梯度	A			B			C		
	细菌/(CFU-dish ⁻¹)	α		细菌/(CFU-dish ⁻¹)	α		细菌/(CFU-dish ⁻¹)	α	
		0.05	0.01		0.05	0.01		0.05	0.01
M	340.67	a	A	587.34	a	A	531.00	a	A
S	315.67	a	A	403.67	b	AB	229.00	b	B
G	323.33	a	A	307.33	b	BC	178.00	bc	BC
G5	175.67	b	B	315.33	b	BC	130.00	cd	CD
G10	125.67	c	BC	118.00	c	CD	121.00	d	CDE
G15	68.00	d	C	46.67	c	D	63.00	e	DEF
G20	78.67	d	C	40.00	c	D	70.00	e	DEF
G25	71.33	d	C	43.00	c	D	44.00	e	F
G30	72.33	d	C	38.00	c	D	43.33	e	F
G35	71.33	d	C	38.67	c	D	52.00	e	EF
G40	65.67	d	C	36.67	c	D	65.67	e	DEF
G45	67.67	d	C	39.33	c	D	54.00	e	EF
G50	70.00	d	C	36.33	c	D	62.33	e	DF
G55	68.33	d	C	39.33	c	D	52.33	e	EF

$n=3$; 不同大写字母表示差异极显著($p<0.01$), 不同小写字母表示差异显著($p<0.05$)

缘 15 m 处急剧降低, 距林缘 15~55 m 处变化平缓; 空气霉菌浓度水平梯度变化规律不明显。

(3) 以乔木为主, 并具有一定宽度的绿地对城市道路空气细菌污染有显著的防护效果, 且以乔灌草混交结构绿地防护效益最佳; 而对空气霉菌防护效果不明显。

(4) 通过研究表明, 在该研究背景下降低城市

道路空气细菌污染的单侧最佳防护宽度应在 15 m 以上; 10 m 以上宽度也有一定防护效果。可供具有同等污染水平城市道路绿化配置时参考。

4.2 讨论

(1) 城市道路防护绿地树种选择。由于城市道路为线源污染, 主要污染因子有颗粒物、微生物、SO₂, 这些污染物通过向两侧扩散, 进入人类活动

频繁的商业区、居民区、单位庭院、公园、游园等场所，对城市环境和人类健康造成严重危害。空气悬浮颗粒物本身具有凝聚作用，会使微生物附着其上（Owen 等，1992），通过人为扰动和风力作用向周围扩散，有研究表明空气颗粒物浓度与空气微生物浓度呈显著正相关关系，尤其是与 TSP 和 PM₁₀（任启文等，2006），因此城市道路空气微生物污染主要表现为悬浮颗粒物携带微生物的方式。当城市道路气流裹挟带菌颗粒物通过林带时，遇到林带阻隔，气流流速会明显下降（见表 2），导致空气颗粒物大量沉降。树木可以通过枝叶粘附固定悬浮颗粒物，随着降雨冲刷到地面，完成滞尘过程；如国槐、法桐等叶表皮具沟状构造、密集纤毛且叶量稠密的树种滞尘能力强（柴一新等，2002；纪惠芳等，2008）。因此城市道路防护绿地可通过降低空气颗粒物含量，进而降低空气微生物浓度。同时，植物还可以通过释放挥发物而直接起到杀菌、抑菌效果。碧桃、云杉、珍珠梅等树种对黑曲霉、黄曲霉、绿脓杆菌、金黄色葡萄球菌等病原菌有较强的杀伤力；松科、柏科植物对结核杆菌有抑制作用，如油松、侧柏、圆柏等（谢慧玲等，1999）。植物还可以吸收 SO₂，起到防护城市道路汽车尾气污染的作用，加杨、臭椿、卫矛、旱柳等吸收 SO₂ 能力强（郟光发等，2005）。城市道路污染的特点决定了道路绿化带建设应遵循以生态防护效益为主，兼顾景观效果的原则。树种选择上应该以生态效益显著的乔木树种为主，合理搭配观叶、观花灌木和草本植物；按照因害设防的原则，优先选择具有较强滞尘，杀菌，吸收 SO₂ 等特殊功能的树种，以达到最佳的防护效益。

（2）城市道路防护绿地空间结构配置。乔灌草复层结构配置（B），具有绿量大、不透风的特点，这就决定其具有更多的叶量发挥滞尘作用；并且由于其通透性差，气流通过时流速下降明显，导致更多的悬浮颗粒物沉降，从而表现出比乔草结构（A、C）更好的防护效果。从表 2 可见乔灌草复层结构配置（B）风速从路肩处的 1.9 m·s⁻¹ 降低到林内的 0.3 m·s⁻¹，降低 84%，而针叶乔草（A）降低 53%，针阔乔草（C）降低 57%。由于道路防护绿地内温度、风速和光照度较路肩处低，而相对湿度较路肩处高（见表 2）。这就使绿地内部更容易形成阴湿的小环境，加上枯枝落叶的腐烂，霉菌具有比道路更好的繁殖和生长条件，导致绿地对空气霉菌的防护效果不明显，一些样点空气霉菌浓度高于旁边道路表现为负效应。从防护空气微生物污染考虑，在中国北方城市，由于相对湿度较低，空气霉菌污染较轻，城市道路防护绿地应优先选择具有复层空间结构，通透性低的乔灌草混交林。在中国南方城市，

由于气候温暖潮湿，霉菌具有比较好的生长繁殖条件，而乔灌草混交林形成的小环境可能加重霉菌污染，应适量配置；优先选择多树种混交的乔草结构，增加绿地通透性，在有效预防城市道路空气细菌污染的同时，避免加重空气霉菌污染。

（3）城市道路防护绿地宽度设置。城市道路绿地有效防护宽度是众多设计者和建设者都关注的问题。讨论这个问题首先要筛选出城市道路的主要污染因子，进而针对主要污染因子计算出有效防护宽度。城市道路主要污染因子包括空气颗粒物、空气细菌、SO₂ 以及重金属污染，而且各污染因子间又是相互影响的关系。空气颗粒物不仅含有 SO₂，而且也是空气微生物的载体（Dhia 等，2012）。单就城市道路空气细菌污染防护而言，有效防护宽度受树种、空间结构、污染源污染程度等因素的影响，应该结合不同道路实际情况，充分调查研究后，科学确定。但可以确定的是在城市主干道路旁边的居民区、商业区、单位庭院等人口密集、环境敏感部位应加大绿地防护宽度，以达到安全防护的目的；而公园、游园在设计或建设时应充分考虑靠路一侧的污染防治，设置宽度足够的绿化防护带，以营造健康的休闲环境。

参考文献：

- BRUCE LIGHTHART. 2000. Mini-review of the concentration variations found in the alfresco atmospheric bacterial populations [J]. *Aerobiologia*, 16(1): 7-16.
- CHRISTOPHER F GREEN, PASQUALE V SCARPINOL, SHAWN G GIBBS. 2003. Assessment and modeling of indoor fungal and bacterial bioaerosol concentrations [J]. *Aerobiologia*, 19(3-4): 159-169.
- DALE W GRIFFIN, VIRGINIA H GARRISON, JAY R HERMAN, et al. 2001. African desert dust in the Caribbean atmosphere: Microbiology and public health [J]. *Aerobiologia*, 17(3): 203-213.
- DHIA AL-BADER, MOHAMED ELIYAS, RIHAB RAYAN, et al. 2012. Air-dust-borne associations of phototrophic and hydrocarbon-utilizing microorganisms: promising consortia in volatile hydrocarbon bioremediation [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(9): 3997-4005.
- GIANCARLO RANALLIL, PAMELA PRINCIPI, CLAUDIA SORLINI. 2000. Bacterial aerosol emission from wastewater treatment plants: Culture methods and bio-molecular tools [J]. *Aerobiologia*, 16(1): 39-46.
- JACEK DUTKIEWICZ, EWA KRYSI NSKA-TRACZYK, CZESAWA SK ORSKAL, et al. 2000. Exposure of agricultural workers to airborne microorganisms and endotoxin during handling of various vegetable products [J]. *Aerobiologia*, 16(2): 193-198.
- JEFFREY P O, LIM S F. 2003. Airborne concentrations of bacteria in a hospital environment in Singapore [J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 144(1-4): 333-341.
- MAHDY H M, EL-SEHRAWI M H. 1997. Airborne bacteria in the atmosphere of El-Taif region, Saudi Arabia [J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 98(3-4): 317-324.
- MRINAL K GHOSE, R PAUL, R K BANERJEE. 2005. Assessment of the status of urban air pollution and its impact on human health in the city of Kolkata [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 108(1-3): 151-167.
- NAZZAL Y, MARC A ROSEN, ABDULLA M, et al. 2013. Assessment of metal pollution in urban road dusts from selected highways of the

- Greater Toronto Area in Canada [J]. *Environ Monit Assess*, 185(2): 1847-1858.
- OFER AMRAM, RECECCA ABERNETHY, MICHAEL BRAUER, et al. 2011. Proximity of public elementary schools to major roads in Canadian urban areas [J]. *International Journal of Health Geographics*, 10: 68-79.
- OWEN M K, ENSOR D S, SPARKS L E. 1992. Airborne particle sizes and sources found in indoor air [J]. *Atmospheric Environment*, 26(12): 2149-2162.
- SMID T, HEEDERIK D, HOUBA R, et al. 1994. Dust- and endotoxin-related acute lung function changes and work-related symptoms in workers in the animal feed industry [J]. *American Journal of Industrial Medicine*, 25(6): 877-888.
- SMID T, HEEDERIK D, MENSINK G, et al. 1992. Exposure to dust, endotoxins, and Fungi in the Animal Feed Industry [J]. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 53(6): 362-368.
- TAMARA SCHIKOWSKI, DOROTHEE SUGIRI, VERENA REIMANN, et al. 2008. Contribution of smoking and air pollution exposure in urban areas to social differences in respiratory health [J]. *BMC Public Health*, 179: 1471-2458.
- VON MUTIUS, BRAUN-FAHRLANDER C, SCHIERL R, et al. 2000. Exposure to endotoxin or other bacterial components might protect against the development of atopy [J]. *Clinical and Experimental Allergy*, 30(9): 1230-1234.
- WU Y H, CHAN C C, CHEW G L, et al. 2012. Meteorological factors and ambient bacterial levels in a subtropical urban environment [J]. *International Journal of Biometeorology*, 56(6):1001-1009.
- ZAEHER AHMAD NASIR, IAN COLBECK. 2012. Winter time concentrations and size distribution of bioaerosols in different residential settings in the UK [J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 223(9): 5613-5622.
- ZHU HONG, PATRICK E PHELAN, DUAN TIANHUA. 2003. Experimental study of indoor and outdoor airborne bacterial concentrations in Tempe, Arizona, USA [J]. *Aerobiologia*, 19(3-4): 201-211.
- ZUCKER B A, MULLER W. 2004. Airborne endotoxins and airborne gram-negative bacteria in a residential neighborhood [J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 158: 67-75.
- 柴一新, 祝宁, 韩焕金. 2002. 城市绿化树种的滞尘效应——以哈尔滨市为例[J]. *应用生态学报*, 13(9): 1121-1126.
- 方治国, 欧阳志云, 胡利峰, 等. 2005. 室外空气细菌群落特征研究进展[J]. *应运与环境生物学报*, 11(1): 487-495.
- 黄健屏, 吴楚才. 2002. 与城区比较的森林区微生物类群在空气中的分布状况[J]. *林业科学*, 38(2): 173-176.
- 纪惠芳, 张立娟, 阎海霞, 等. 2008. 几种我国北方绿化树种滞尘能力的研究[J]. *安徽农业科学*, 36(25): 10869-10871.
- 李伟华, 陈章和. 2003. 城镇绿地对空气质量的影响——以中山市小榄镇为例[J]. *应用与环境生物学报*, 9(4): 362-366.
- 郗光发, 王成, 彭镇华. 2005. 森林生物挥发性有机物释放速率研究进展[J]. *应用生态学报*, 16(6): 1151-1155.
- 任启文, 王成, 郗光发, 等. 2006. 城市绿地空气颗粒物及其与空气微生物的关系[J]. *城市环境与城市生态*, 19(5): 22-25.
- 谢慧玲, 李树人, 袁秀云, 等. 1999. 植物挥发性分泌物对空气微生物杀灭作用的研究[J]. *河南农业大学学报*, 33(2): 127-133.
- 张纪忠. 1990. 微生物分类学[M]. 上海: 复旦大学出版社: 158-220.
- 钟格梅, 陈烈贤. 2005. 室内空气微生物污染及抗菌技术研究进展[J]. *环境与健康杂志*, 22(1): 69-71.

Effects of Urban Road Protection Green-belt on Reducing Airborne Microbes Concentration

REN Qiwen^{1,2}, XU Zhenhua^{1,2}, DANG Lei^{1,2}, WANG Cheng³

1. Hebei Institute of Forestry Science, Shijiazhuang 050061, China; 2. Hebei Engineering and Technology Center of Forest Improved Variety, Shijiazhuang 050061, China; 3. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

Abstract: With the development of economy and improvement of living quality, people need to clean, comfortable and healthy living environment. The role of urban green space in cleaning the air, improve the urban environment has attracted more and more attention. To research thoroughly the effects of urban road protection green-belt on reducing airborne microbes concentration has significant guiding sense to the air pollution control, environmental quality improvement and scientific disposition in urban road greening. The paper take three kinds of protection green-belt with different stand structure as research object, which on the Xitucheng Road in Beijing, sampled at different distances perpendicular to the road with gravity plate method, and then taking count of microbes. By analyzing the type and proportion of air-borne bacteria and molds on the road and it's protection green-belt, the horizontal distribution characteristics and the reducing effects on airborne microbes of road protection green-belt, the results showed: 1) bacteria is dominated on the urban road with 99.4%, while molds is 0.6%; in the road protection green-belt, the proportion of bacteria is 96.2% and molds is 3.8%. Predominant microflora of air-borne bacteria include *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Bacillus*, *Microbacterium*, *Arthrobacter*; predominant microflora of molds include *Alternaria*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*. 2) Total airmicroorganism and air-borne bacteria coherently change on horizontal grads, that is the total airmicroorganism and air-borne bacteria are consistently sharp decreasing from the middle of the road to 15 m distance to the green-belt edge, little change among 15~55 m. 3) The effect of three kinds of protection green-belt to protect bacterial pollution is significant, which exceeds 70%. The optimum effect is the stand structure of arbor-bush-herb, which exceeds 90%. While the protection effects of protection green-belt is not obvious for molds. 4) To reduce the bacterial pollution, the optimum unilateral protection width of green-belt is more than 15 m, but 10 m width also has certain protective effect. 5) It is advised that the urban road protection green-belt should be trees-based, with reasonable mix of shrub and grass. As for the species, which can be dust removal, sterilization, SO₂-absorb should be preferentially selected. The structure of urban road protection green-belt should be mixed by arbor-bush-herb in northern city, and tree-based with grass in southern city.

Key words: urban road; protection green-belt; airborne microbes; airborne bacteria; pollution control