

董帅伟,吴琳杰,余洁,等. 太行山地区典型森林类型空气细菌含量变化研究[J]. 气象与环境科学,2018,41(1):62-68.  
Dong Shuaiwei, Wu Linjie, Yu Jie, et al. Study on Airborne Bacteria Content Variation in Typical Forest Types of Taihang Mountain[J]. Meteorological and Environmental Sciences, 2018, 41(1): 62-68.  
doi:10.16765/j.cnki.1673-7148.2018.01.008

太行山地区典型森林类型空气细菌含量变化研究

董帅伟<sup>1</sup>, 吴琳杰<sup>2</sup>, 余洁<sup>2</sup>, 张志铭<sup>2</sup>, 赵勇<sup>2</sup>, 贾长荣<sup>3</sup>

(1. 河南小秦岭国家级自然保护区管理局, 河南 三门峡 472500; 2. 河南农业大学, 郑州 450002;  
3. 国有济源市大沟河林场, 河南 济源 454650)

**摘 要:** 为了解太行山森林景区空气细菌含量及其分布变化特点,选择该地区的 4 种典型森林群落,通过自然沉降法对空气细菌含量进行测定,研究了不同森林类型及不同海拔高度下各个森林类型中空气细菌含量及与影响其含量的因素之间(空气负离子、PM<sub>2.5</sub>及 PM<sub>10</sub>等指标)的相互关系。试验结果表明:1)太行山 4 种森林空气细菌含量属清洁级,不同森林之间空气细菌含量差异显著:栓皮栎林空气细菌含量<混交林的<侧柏林的<刺槐林的,乔木林的<灌木林的<草本群落的,植被地的<裸露地的。2)空气细菌含量与海拔高度呈负相关关系,随海拔高度的增加而减少,细菌含量总体分布表现为山顶的<山腰的<山脚的。3)同一采样点上,空气细菌含量近地面处含量最大,与采样垂直高度呈负相关关系,具体表现为 150 cm 的<60 cm 的<20 cm 的,采样位置离地面越高,细菌含量越少。4)空气细菌含量与空气负离子数负相关,与 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>含量正相关。空气细菌含量随着 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>含量增大而升高,随负离子浓度的增加而减少。

**关键词:** 太行山森林景区;空气细菌;环境质量

**中图分类号:** Q938.2      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1673-7148(2018)01-0062-07

引 言

森林是环境中重要的一部分,具有净化大气、防风固沙、涵养水源、滞尘、抑菌等作用,能显著改善环境质量。随着人们生活水平的提高,“生态旅游、森林氧吧”已成为新的发展趋势。目前通过采用的“人均森林面积”、“森林覆盖率”等指标已不能衡量森林环境的好坏。已有学者将空气细菌、负离子、颗粒物等因子引入到对森林环境质量的评价当中<sup>[1-3]</sup>,从而能够充分体现森林的环境效益及保健杀菌功能。

空气细菌是森林生态系统的重要生物组成部分,在能量流动、物质循环过程中起着十分重要的作用

用<sup>[4-7]</sup>。而且,它还是反映环境变化的敏感生物学指标,其数量及组成是评价森林生态环境健康与否的重要参数。空气细菌主要来源于土壤、江河湖海、动植物及人体<sup>[8]</sup>。

本文在前人的研究基础上,在太行山森林景区内选择 4 种不同树种的林地,对森林产生的空气细菌、负氧离子水平、林地内悬浮颗粒物等指标进行监测,研究太行山南麓森林景区不同森林类型空气细菌的分布状况及其与负氧离子、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>等因子的相关性。研究结果对了解太行山森林景区空气细菌污染现状、制定防治对策、改善环境质量、保障人体健康、合理利用森林资源及森林生态系统的健康发展具有实际指导意义。

收稿日期:2015-10-21;修订日期:2016-03-15  
基金项目:国家自然科学基金项目(31270750);“十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD38B00)资助  
作者简介:董帅伟(1972-),男,河南灵宝人,高级工程师,学士,从事森林资源保护与利用方面的研究. E-mail: dongshuaiwei6188@163.com  
通讯作者:张志铭(1983-),男,河南濮阳人,讲师,博士后,从事恢复生态学研究. E-mail: zhi110ming@163.com

## 1 试验地概况

试验地选择在国家林业局小浪底森林生态站,该站位于黄河小浪底库区北岸的济源市大沟河林场,属太行山南麓低山丘陵区。试验地地理坐标 112°27′—112°28′E、35°01′—35°03′N,海拔 337 ~ 342 m。地貌类型为太行山低山丘陵区。属暖温带大陆性季风气候,受季风影响显著。年均气温 14.3 ℃,平均≥5 ℃ 的活动积温 50610 ℃·d。年均日照时间 2370.5 h,年际变化在 1948.5 ~ 2602.0 h,年均日照率 54%,年际变化在 44% ~ 50%。降水季节分配不均匀,6—9 月多年平均降水量为 438.0 mm,占全年的 68.3%,年际变化较大。区域气候特点是:春季温暖多风,夏季炎热多雨,秋季天高气爽,冬季干冷少雪。

土壤类型多为褐土,土层厚度为 15 ~ 140 cm,腐殖质厚度为 5 ~ 10 cm,母岩主要是砂岩和页岩。

该区植被群落主要有乔木、灌木和草本 3 种类型。由于环境条件的限制,灌木和草本群落为该区的优势植被。但种类和结构组成相对简单,荆条、酸枣(*Zizlphus jujube*)是分布最多的灌木群,乔木群落分布最少,主要乔木树种有刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、栓皮栎(*Quercus variabilis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)及黄连木(*Pistacia chinensis*),并且多以人工林形式出现。

本试验在太行山区选取栓皮栎林、侧柏林、刺槐林、侧柏林 + 荆条林 + 刺槐林混交林,并选择灌木和草本群落作为对比。各样地基本情况见表 1。

表 1 样地基本情况

| 采样地点 | 主要树种 | 树高/m | 冠幅/m × m  | 枝下高/m | 郁闭度/% | 海拔/m   | 备注        |
|------|------|------|-----------|-------|-------|--------|-----------|
| 1    | 栓皮栎  | 12.0 | 3.0 × 3.5 | 3.0   | 90    | 300/山脚 | 有少量扁担木    |
| 2    | 栓皮栎  | 7.5  | 6.0 × 5.5 | 2.0   | 90    | 560/山腰 | 有少量扁担木、荆条 |
| 3    | 栓皮栎  | 8.5  | 4.0 × 4.5 | 2.3   | 90    | 800/山顶 | 有少量扁担木    |
| 4    | 侧柏   | 8.0  | 3.5 × 3.0 | 4.0   | 70    | 280/山脚 | 有少量扁担木、酸枣 |
| 5    | 侧柏   | 8.0  | 3.5 × 3.0 | 3.0   | 80    | 580/山腰 | 纯林,林下有覆草  |
| 6    | 侧柏   | 8.0  | 4.0 × 3.0 | 3.0   | 70    | 824/山顶 | 纯林,林下有覆草  |
| 7    | 刺槐   | 11.0 | 4.0 × 3.0 | 6.0   | 90    | 300/山脚 | 有少量扁担木、荆条 |
| 8    | 刺槐   | 9.0  | 4.0 × 5.0 | 5.0   | 70    | 680/山腰 | 有少量扁担木、荆条 |
| 9    | 刺槐   | 8.5  | 3.5 × 3.0 | 3.8   | 80    | 800/山顶 | 有少量扁担木、荆条 |
| 10   | 刺槐   | 7.0  | 3.0 × 3.5 | 2.5   | 80    | 880/山顶 | 林下有覆草     |
|      | 栓皮栎  | 9.0  | 5.0 × 4.5 | 4.0   |       |        |           |
|      | 侧柏   | 8.0  | 4.0 × 3.0 | 3.0   |       |        |           |
| 11   | 灌木林  | 1.2  |           |       |       | 340    |           |
| 12   | 草本   | 0.3  |           |       |       | 460    |           |
| 13   | 裸露地  | —    |           |       |       | 420    | 停车场       |

## 2 材料与方法

### 2.1 培养基

细菌培养采用胰蛋白大豆琼脂(*Tryptic Soy Agar, TSA*)。称取购自北京澳博星生物技术有限责任公司的胰蛋白胨大豆培养基(*TSB*)<sup>[9]</sup> 30 g 和 15 g 琼脂加入 1000 ml 蒸馏水中,加热煮沸溶解,分装在锥形瓶中,放入高压灭菌锅,121 ℃ 高压蒸汽灭菌 30 min,将灭菌后的培养基冷却至 50 ~ 60 ℃,在无菌操作台下倒入灭菌培养皿,每个培养皿约 15 ~ 20 ml。待培养基凝固后,将培养皿反转过来,在 35 ℃ 温箱内培养 24 h,选取未污染的、盖内没有冷

凝水的培养皿待用。

### 2.2 空气细菌测定方法

在每个观测地点选取 4 个采样点,每个采样点设 3 个采样高度(20 cm、60 cm、150 cm),在每个垂直高度上分别放置 1 个培养皿采样,准确打开皿盖 10 min。培养皿取样后用封口膜封口带回倒置于 30 ℃ 恒温培养箱中,培养 36 h 后记录细菌菌落数。

根据国家标准计算每立方米空气中的细菌总数<sup>[10-12]</sup>。计算公式为

$$\text{菌落数}(\text{cfu}/\text{m}^3) = 50000N/A \times T \quad (1)$$

式中, $N$  为平均菌落数( $\text{cfu}$ ), $A$  为培养皿的面积( $\text{cm}^2$ ), $T$  为培养皿暴露的时间( $\text{min}$ )。

采用中国科学院生态研究中心制定的空气细菌污染级别划分的 7 级评价标准<sup>[13]</sup>,见表 2。

表 2 空气质量评价标准

| 级别 | 污染程度  | 空气细菌浓度/(cfu/m <sup>3</sup> ) |
|----|-------|------------------------------|
| 1  | 清洁    | <1000                        |
| 2  | 较清洁   | >1000 且 ≤2500                |
| 3  | 轻微污染  | >2500 且 ≤5000                |
| 4  | 污染    | >5000 且 ≤10000               |
| 5  | 中度污染  | >10000 且 ≤20000              |
| 6  | 严重污染  | >20000 且 ≤45000              |
| 7  | 极严重污染 | >45000                       |

2.3 负氧离子的测定

在测定空气细菌的地点,同时采用 DLY 系列大气离子浓度测定仪测定空气负氧离子浓度,取平均值作为每次空气负氧离子浓度的观测值。其离子浓度检测范围为 10 ~ 1.999 × 10<sup>9</sup> 个/cm<sup>3</sup> 离子,最高分辨率为 10 个/cm<sup>3</sup> 离子。

2.4 颗粒物的测定

在测定微生物的同时,在相同采样点上用 SYD-HM 粉尘连续检测仪测定 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 的质量浓度,每点采样 6 次,每次采样时间为 5 min,在检测仪上同时读取 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 的质量浓度数值。

2.5 基本情况的测定

用皮尺、测高仪等测定绿地内树种的株高、冠幅、枝下高、绿地面积等。用目测法测定绿地内的郁闭度。环境因子的测定:用温湿度仪、光照测定仪等测定林地及对照点的空气温度、相对湿度、光照强度等指标。

2.6 数据统计分析

采用 Eexcel 2003 和 SPSS 19.0 软件对数据进行分析,分析方法为单因素方差分析和相关性分析。

3 结果与分析

3.1 森林类型对空气细菌含量的影响

采用自然沉降法对不同林地中空气细菌浓度进行了取样调查(表 3),不同林地中空气细菌含量存在着明显的差异。

3.1.1 森林类型的对比

栓皮栎林、侧柏林、刺槐林、混交林空气含菌量都处于清洁、较清洁级。由方差分析可知,4 种林地之间空气细菌浓度差异显著( $P < 0.05$ )。其中栓皮

栎林抑菌效果最好,平均值为 438.78 cfu/m<sup>3</sup>,混交林的次之,刺槐林相对其他林地而言,空气细菌较多。最大值和最小值极差较大,最好的群落(栓皮栎林)比最差的群落(刺槐林)空气细菌浓度相差 3.6 倍,反映了不同树种组成的林地类型具有不同生态效能。

表 3 不同林地空气细菌浓度

| 林地类型   | 污染程度 | 空气细菌浓度/(cfu/m <sup>3</sup> ) |
|--------|------|------------------------------|
| 栓皮栎林   | 清洁   | 438.78 ± 28.30a              |
| 侧柏林    | 较清洁  | 1818.83 ± 120.31b            |
| 刺槐林    | 较清洁  | 2021.30 ± 99.08c             |
| 混交林    | 较清洁  | 1252.65 ± 84.93d             |
| 灌木林    | 较清洁  | 2118.12 ± 140.39c            |
| 草本     | 较清洁  | 2381.36 ± 180.26c            |
| 对照(裸地) | 轻微污染 | 4254.24 ± 180.26d            |

注:栓皮栎、侧柏、刺槐均属乔木;表中数据后标不同字母 a、b、c、d 表示不同林地空气细菌浓度差异的显著性 ( $P < 0.05$ )

3.1.2 乔、灌、草群落对比

乔木群落、灌木群落和草本群落空气含菌量都处于清洁、较清洁级。3 种群落之间空气细菌浓度差异呈梯度变化。其中,乔木群落抑菌效果最好,平均值为 1382.89 cfu/m<sup>3</sup>,灌木群落的次之,草本群落相对其他群落类型而言,空气细菌最多(图 1),反映了不同群落组成的类型具有不同生态效能。

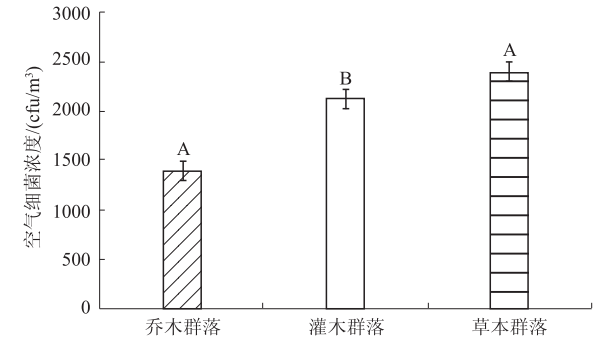


图 1 乔、灌、草群落类型空气细菌浓度

3.1.3 植被和裸地对照比较

植被群落空气含菌量都处于清洁、较清洁级,而作为对照的裸地群落空气含菌量则处于轻微污染级(图 2)。由图 2 可知,植被和裸地之间空气细菌浓度差异显著,反映了植被的存在对空气细菌含量具有显著抑制作用。

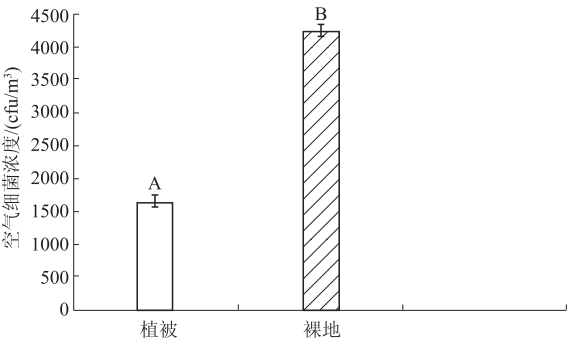


图 2 植被与裸地空气细菌浓度

3.2 坡位对空气细菌含量的影响

空气细菌浓度随着海拔垂直高度的变化而变化,同一林地类型不同海拔高度差异显著 ( $P < 0.05$ )。随着海拔高度的变化,空气细菌含量呈现出一定规律性(图 3)。由图 3 可看出,栓皮栎林和刺槐林都是山顶的空气细菌含量 < 山腰的 < 山脚的。栓皮栎林山顶的空气细菌含量最低,平均值为  $233.55\text{ cfu/m}^3$ ,侧柏林空气细菌含量是山顶的 < 山脚的 < 山腰的。总的来看,山顶的微生物含量最低。空气细菌含量一般随着海拔高度的增加而降低<sup>[1]</sup>。

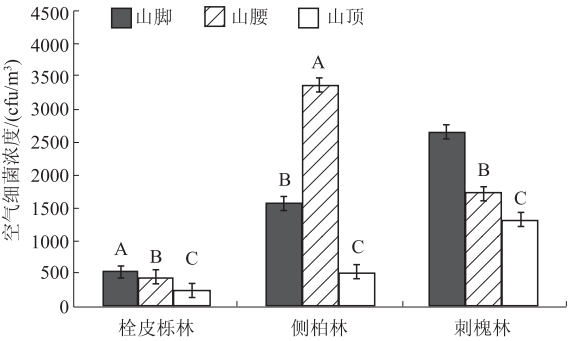


图 3 同一林地不同海拔高度空气细菌浓度

图中 A、B、C 表示不同林地空气细菌浓度差异的显著性 ( $P < 0.05$ )

3.3 采样高度与空气细菌含量的关系

空气细菌含量随着采样垂直高度的不同而变化(图 4)。从图 4 中可以看出,随着离地高度的变化,空气细菌浓度呈现规律性的变化。不同林地空气细菌含量随高度大致有相同的变化规律,个别林地不同样点有着细微差异。

空气细菌含量在采样垂直高度上的变化:9 个样地中有 7 个样地的变化大致相同,从距地面 0 cm 至 150 cm 处逐渐减小,在 150 cm 处细菌含量均为最低,平均浓度为  $888.18\text{ cfu/m}^3$ 。山脚的侧柏林则

表现为在 60 cm 处的最低,20 cm 和 150 cm 处的相差不多。山顶的栓皮栎林则表现为 20 cm 处的最低,60 cm 和 150 cm 处的无明显差别(图 4)。

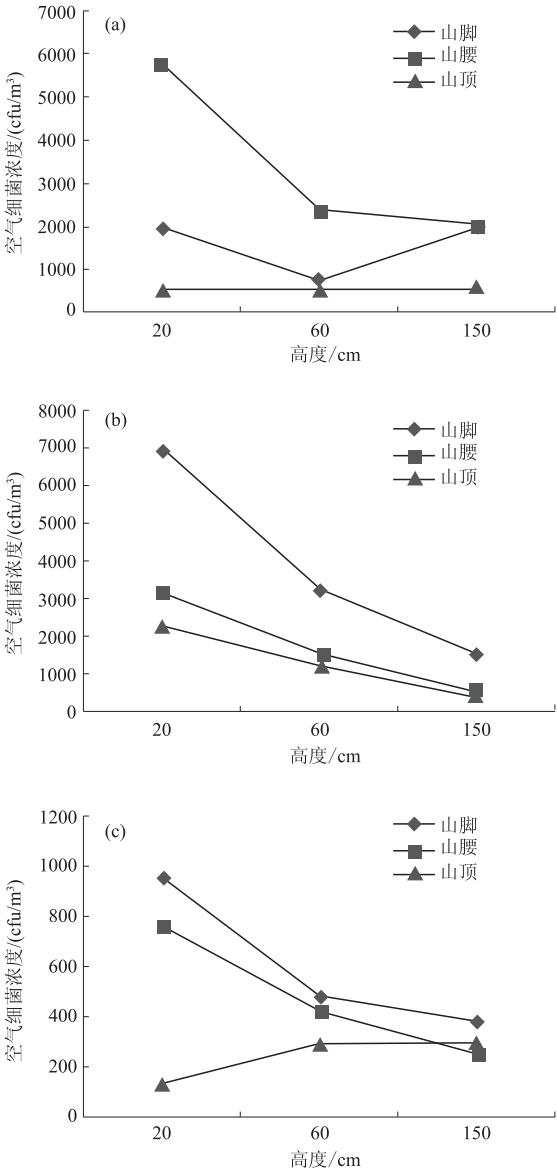


图 4 侧柏林 (a)、刺槐林 (b) 和栓皮栎林 (c) 空气细菌浓度随采样垂直高度的空间变化

地面 20 cm 处空气细菌含量较高,随着采样垂直高度的增加空气细菌含量逐渐降低,与近地面土壤颗粒的分布有关<sup>[14-15]</sup>。空气细菌的自然来源之一是土壤。据调查,土壤中含有大量微生物,可随灰尘、落叶、枯草等在空气中流动,都是空气细菌的载体。地面为灰尘的生产者,越接近地面空气中微生物的含量越高。个别样点空气细菌含量会受到周围环境如植物杀菌作用、温湿度、光照强度等因素的影响,所以随高度变化规律不尽一致。

3.4 空气细菌含量的影响因子

通过分析软件 SPSS19.0 对空气细菌含量进行相关性分析结果见表 4。从表 4 可看出,空气细菌含量与负离子、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 含量均呈极显著相关。空气细菌含量与负离子浓度呈现极显著负相关,与 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 浓度呈现极显著正相关,表明空气细菌含量随着 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 含量增大而升高,随负离子浓度的增加而减少。PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 浓度与负离子浓度是负相关关系。PM<sub>2.5</sub> 与 PM<sub>10</sub> 浓度是正相关关系。负离子数越高,空气细菌菌落数越少。因此,空气负离子、空气颗粒物浓度是空气细菌含量的重要影响因素。

表 4 空气细菌含量与相关因子之间的相关性

| 变量                | 空气细菌含量    | 负离子       | PM <sub>2.5</sub> | PM <sub>10</sub> |
|-------------------|-----------|-----------|-------------------|------------------|
| 空气细菌含量            | 1         |           |                   |                  |
| 负离子               | -0.884 ** | 1         |                   |                  |
| PM <sub>2.5</sub> | 0.903 **  | -0.667 *  | 1                 |                  |
| PM <sub>10</sub>  | 0.960 **  | -0.914 ** | 0.832 **          | 1                |

注:\*\* 在 0.01 水平(双侧)上显著相关,\* 在 0.05 水平(双侧)上显著相关

4 结论与讨论

(1)不同森林类型对空气细菌含量有影响。研究结果表明,不同林地中空气细菌含量存在着明显的差异,空气细菌含量具体表现为栓皮栎林的 <混交林的 <侧柏林的 <刺槐林的,乔木林的 <灌木林的 <草本群落的,植被地的 <裸露地的。栓皮栎林空气细菌含量最低,为 438.78 cfu/m<sup>3</sup>,说明栓皮栎林空气质量最好,不利于空气细菌生长,抑菌效果最明显。不同植物的细菌含量不同,表明不同植物对空气细菌的作用效果不同<sup>[16-18]</sup>。谢慧玲等<sup>[19]</sup>通过对植物挥发性分泌物对空气微生物杀灭作用的研究,发现杀菌作用较强的有侧柏树种。任启文等<sup>[20]</sup>也发现刺槐林内细菌浓度比其他树种空气细菌含量高。本研究发现刺槐林细菌含量最高,侧柏林细菌含量与刺槐林相比较低。

(2)空气细菌含量与海拔高度有关。空气细菌含量随着海拔垂直高度的变化而变化,同一林地类型不同海拔高度差异显著。空气细菌含量,随着海拔高度的不同,呈现一定规律性变化。空气细菌含

量随着海拔高度的增加而减少,大致都是山顶的 <山腰的 <山脚的。海拔低,气温高,相对湿度越大,越利于空气细菌的滋生;而海拔高处,风速大,空气细菌所能依附的颗粒物少,故空气细菌含量少<sup>[1]</sup>。

(3)采样高度影响空气细菌含量。通过对林地内不同采样结果分析可知,空气细菌含量随着采样垂直高度的变化而变化,不同林地之间空气细菌含量大致都呈现出 150 cm 的 <60 cm 的 <20 cm 的规律。20 cm 处空气细菌含量最高,是因为近地面处大量土壤灰尘所携带的微生物随风力流动,相对湿度、温度较高加速空气细菌的生长繁殖<sup>[21]</sup>。司东霞等<sup>[22]</sup>通过调查聊城大学校园空气细菌的时空分布情况发现,地面空气细菌最高,150 cm 处空气细菌较少。胡淑芳等<sup>[23]</sup>通过不同高度采样对空气微生物学监测结果影响的实验观察发现,150 cm 处空气细菌含量最低。本试验与前人的研究结果相同,目前由于采样高度无统一标准,只对 150 cm 以下的高度进行调查研究,不能全面地反映空气细菌含量在垂直高度的变化规律。

(4)空气负离子、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 浓度与空气细菌含量具有相关性。空气中细菌群落组成及浓度很不稳定,其含量随着各种环境因素和污染因子的变化而变化,空气细菌含量与空气负离子、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 浓度均呈极显著相关,与 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 浓度呈现极显著正相关,与空气负离子浓度呈极显著负相关。悬浮颗粒物能降低紫外线照射强度,从而降低紫外线的杀菌作用,增加空气中的细菌浓度。张杏辉等<sup>[24]</sup>在校园空气微生物和悬浮物污染评价及相关性分析中指出,空气细菌的含量与 TSP 浓度有关。任启文等<sup>[25]</sup>在城市绿地空气颗粒物及其与空气微生物的关系研究中发现,空气细菌与空气 TSP、PM<sub>10</sub> 具有极显著相关性。TSP 能降低紫外线照射强度,进而减少紫外线的杀菌作用<sup>[26]</sup>。空气负离子能结合空气细菌气溶胶,增强荷电气溶胶对其吸附能力,从而降低空气细菌浓度,净化空气,负离子还有直接抑制细菌的作用<sup>[1]</sup>。空气悬浮颗粒物越多,空气细菌含量越高;负氧离子越多,空气细菌含量越少。这与前人研究结果一致。

空气细菌通过悬浮在空气中的尘埃、颗粒、气溶胶飘移、传播<sup>[27]</sup>,在一定条件下还可对人类、动植物

造成伤害,导致疾病的发生与传播<sup>[28]</sup>。研究表明,不同林地细菌含量不同,栓皮栎林含量最少,抑菌效果最明显,刺槐林抑菌效果最差;距地面 150 cm 空气细菌含量最少;空气细菌含量与空气负离子浓度正相关,与 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub><sup>[29]</sup> 浓度负相关。上述研究结果能进一步明确太行山森林景区的环境效益,同时指导游人科学地进行游玩活动,而且通过系统地对不同树种林地进行较全面的环境质量定性测定,对太行山森林景区管理工作提供一定的数据依据,为合理地利用森林资源,合理栽植树木提供指导。

参考文献

[1] 蔡荟梅,杨书运,蔡敬民,等. 黄山森林景区空气微生物含量及变化规律[J]. 环境与健康杂志,2008,25(10):877-880.

[2] 贾文娟. 高校体育场馆室内空气微生物菌落数的检测与评价[J]. 体育科技,2017,38(4):27-28.

[3] 邓彩萍,张金梅,郝艳平,等. 山西农业大学校园夏初室外空气细菌污染监测与分析[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2016,36(1):31-34.

[4] Li D W, Kendrick B. A year-round comparison of fungal spores in indoor and outdoor air[J]. Mycologia,1995,87(2):190-195.

[5] Li D W, Bryce Kendrick. Functional relationships between airborne fungal spores and enviromental factors in Kitchener-Waterloo, Ontario, as detected by Canonical correspondence analysis[J]. Grana,1994,33(3):166-176.

[6] 周煜,陈梅玲,姜黎,等. 16SrRNA 序列分析法在大气微生物检测中的应用[J]. 生物技术通讯,2000,12(2):111-114.

[7] Fang Z, Ouyang Z, Hu L, et al. Culturable airborne fungi in outdoor environments in Beijing, China[J]. Microbial Ecology,2007,54(3):487-496.

[8] Calderon C, Lacey J, McCartney A, et al. Influence of urban climate upon distribution of airborne Deuteromycete spore concentrations in Mexico City[J]. International Journal of Biometeorology, 1997, 40(2):71-80.

[9] Jackson C R, Roden E E, Churchill P F. Changes in bacterial species composition in enrichment cultures with various dilutions of inoculum as monitored by denaturing gradient gel electrophoresis[J]. Appl Environ Microb,1998,64(12):5046-5047.

[10] 黄健屏,吴楚才. 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,2002,38(2):173-176.

[11] 徐蕾. 徐州市环境空气微生物监测分析及与 PM<sub>10</sub> 相关性研究

[J]. 北方环境,2013,29(1):76-78.

[12] 林霞,尹秀,王丽欣,等. 嘉兴市城区空气微生物污染状况调查[J]. 浙江预防医学,2003,15(5):6-7.

[13] 陈华春,倪兆斌,潘建听,等. 嘉兴市不同区域空气微生物污染状况调查[J]. 嘉兴学院学报,2006,18(6):78-80.

[14] 方治国,欧阳志云,胡利锋,等. 室外空气细菌群落特征研究进展[J]. 应用与环境生物学报,2005,11(1):123-128.

[15] 陈梅玲,胡庆轩,徐秀芝,等. 南京市大气微生物污染情况调查[J]. 中国公共卫生,2000,16(6):504-505.

[16] Dutkiewicz J, Krysińska-traczyk E, Skórska C, et al. Exposure of agricultural workers to airborne microorganisms and endotoxin during handling of various vegetable products [J]. Aerobiologia, 2000, 16(2):193-198.

[17] Ranalli G, Principi P, Sorlini C. Bacterial aerosol emission from wastewater treatment plants: Culture methods and bio-molecular tools [J]. Aerobiologia, 2000, 16(1):39-46.

[18] 喻道军,叶丽杰,程明,等. 校园空气微生物浓度的监测与分析[J]. 微生物学杂志,2011,31(2):102-105.

[19] 谢慧玲,李树人,袁秀云,等. 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,1999,33(2):127-133.

[20] 任启文,王成,杨颖,等. 城市绿地空气微生物浓度研究—以北京元大都公园为例[J]. 干旱区资源与环境,2007,21(4):81-83.

[21] 周单红. 四种园林植物对空气微生物的影响[D]. 浙江:浙江林学院,2009.

[22] 司东霞,司振书,徐丙荣,等. 聊城大学校园空气细菌的时空分布及空气质量评价[J]. 中国学校卫生,2007,28(5):433-434.

[23] 胡淑芳,韩雪玲,郭淑梅,等. 不同高度采样对空气微生物学监测结果影响的实验观察[J]. 实用科技杂志,2008,15(25):3346-3347.

[24] 张杏辉,罗燕群,周振明,等. 校园空气微生物和悬浮物污染评价及相关性分析[J]. 中国环境监测,2011,27(4):71-75.

[25] 任启文,王成,鄯光发,等. 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,2006,19(5):22-25.

[26] 程培青,王蕴,刘仙娜. 大气微生物污染分布研究及防治对策[J]. 中国环境管理,2003(增刊):50-52.

[27] 朱静鸿,白雪梅,王敏,等. 长春市公共场所空气微生物的监测[J]. 中国卫生工程学,2006,5(5):285-286.

[28] 张双民,曾才彬,刘龙军. 陕西师范大学雁塔校区大气微生物污染调查[J]. 环境保护科学,2005,31(5):20-22.

[29] 吴雁,陈瑞敏,王颖,等. 2013 年河北中南部 PM<sub>10</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 浓度时间变化特征及其影响气象条件分析[J]. 气象与环境科学,2015,38(4):68-75.

# Study on Airborne Bacteria Content Variation in Typical Forest Types of Taihang Mountain

Dong Shuaiwei<sup>1</sup>, Wu Linjie<sup>2</sup>, Yu Jie<sup>2</sup>, Zhang Zhiming<sup>2</sup>, Zhao Yong<sup>2</sup>, Jia Changrong<sup>3</sup>

( 1. National Nature Reserve Administration of Henan Xiaoqinling, Sanmenxia 472500, China;  
2. Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;  
3. Dagou-he National Forest Farm, Jiyuan 454650, China)

**Abstract:** To understand the content and distribution variation characteristics of airborne bacterial in forest scenic spot of Taihang mountain, 4 typical forest communities were chosed, natural sedimentation method was used to measure airborne bacteria content, and its relationship with the influencing factors ( air negative ion,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  etc. ) at different altitude in each forest in Taihang mountain were studied. The results showed as follows. 1) The air quality was at clear level in Taihang forest scenic spot, showed significant difference in different forest type: the airborne bacteria content is in ascending order as *Quercus variabilis*, mixed forest, *Platycladus orientalis*, *Robinia pseudoacacia*, in ascending order as arboreous forest, shrub forest, herb community, and in ascending order as vegetation land, bare land. 2) The airborne bacteria content was negatively correlated with altitude. The higher the altitude, the lower the bacterial content, the total bacterial distribution was in ascending order in peak, mountainside and the foot of mountain. 3) At the same sampling site, the airborne bacteria content was the highest near ground, showed negative correlation with the height of vertical sampling site, which is less at 150 cm, then 60 cm, most at 20 cm. The higher the sampling position is, the less the bacteria content is. 4) There was a significant negative correlation between the airborne bacteria and air negative ion, significant positive correlation between airborne bacteria and  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ . Airborne bacterial content increased with the increasing of  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$  content, and decreased with the increasing of negative ion concent.

**Key words:** Taihang forest scenic spot; airborne bacteria; environmental quality