

# 不同林龄马尾松林空气负离子特征及服务价值<sup>①</sup>

王轶浩<sup>1,2</sup>, 谭名照<sup>1</sup>, 曾 静<sup>1</sup>, 刘周江<sup>1</sup>

1. 重庆市林业科学研究院, 重庆 400036; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085

**摘要:** 利用便携式空气负离子测定仪(AIC1000), 对不同林龄马尾松林的空气负离子水平进行测定和研究. 结果表明: 同一马尾松林分内不同空间结构的空气负离子水平差异不具有统计学意义( $p > 0.05$ ), 而不同林龄马尾松林的空气负离子水平差异则极具有统计学意义( $p < 0.01$ ); 相比中龄林, 马尾松过熟林、幼龄林、成熟林和近熟林的空气负离子水平分别提高 90.81%, 55.48%, 43.82% 和 34.63%; 马尾松林提供负离子功能及服务价值大小排序为过熟林、成熟林、近熟林、幼龄林、中龄林. 研究结论为马尾松过熟林能有效提高空气负离子水平、具有较强的净化空气功能和服务价值, 而中龄林的净化空气功能及服务价值最差.

**关键词:** 空气负离子; 马尾松; 林龄; 生态服务价值

**中图分类号:** Q948.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2015)11-0051-06

森林作为地球三大生态系统之一, 具有保持水土、涵养水源、固碳释氧等多种生态功能, 其生态服务价值也受到国内外众多学者的关注<sup>[1-3]</sup>. 其中, 净化空气是其重要的生态服务功能之一. 空气负离子具有杀菌、降尘、清洁空气的作用<sup>[4]</sup>, 对人体有消除疲劳、疗养保健的功能, 是表征森林净化空气功能的主要指标. 近年来, 国内学者对森林空气负离子的分布特征及影响因素开展过不少研究<sup>[5-7]</sup>, 但对不同林龄森林的空气负离子特征的研究还未见报道. 林龄组是进行森林生态服务功能价值评估的基本测算单元<sup>[8]</sup>, 研究不同林龄组的空气负离子特征将有助于科学理解森林净化空气功能, 同时为评估其生态服务价值提供重要依据.

马尾松 *Pinus massoniana* 是我国主要乡土造林树种和重要的先锋树种, 它因适应能力强、耐贫瘠而广泛分布于我国南方山地丘陵区. 就三峡库区重要生态屏障区的重庆而言, 马尾松林占该市森林面积 40% 以上, 在全市森林资源中占有重要地位. 本文以重庆市黔江区国有林场不同林龄马尾松为研究对象, 通过测定其空气负离子水平, 进行空气负离子质量评价和生态服务价值评估, 以期掌握马尾松林内不同空间结构及不同林龄组的空气负离子差异, 为进一步全面评估该区域森林生态服务功能提供理论参考.

## 1 研究区概况

研究区位于重庆市黔江区国有林场, 该林场下辖八面山、邻鄂、太极、五里、马喇和仰头山等 6 个工

① 收稿日期: 2013-05-26

基金项目: 重庆市前沿与应用基础研究项目(CSTC2014jcyjA00038); 重庆市科委基本科研业务费专项(BS1002); 重庆市沙坪坝区软科学研究项目(201325).

作者简介: 王轶浩(1982-), 男, 山西沁县人, 博士, 主要从事森林生态研究.

通信作者: 王轶浩, 高级工程师.

区,管辖森林面积达 32.45 km<sup>2</sup>. 气候为亚热带湿润性季风气候,并具有典型的山地气候特征,年均气温 15.4℃,年均降雨量为 1 300 mm. 属四川盆周山地区,以低中山为主,平均海拔在 500~1 000 m. 土壤以砂岩、页岩上发育的黄壤、黄棕壤为主,厚度 50~80 cm. 森林覆盖率高达 92.4%,地带性森林植被属亚热带常绿阔叶林,但现有森林植被以马尾松 *Pinus massoniana*、杉木 *Cunninghamia lanceolata*、华山松 *Pinus armandii*、青冈 *Cyclobalanopsis glauca* 为主.

## 2 研究方法

### 2.1 样地设置

2013 年 8 月份选择晴朗天气,在黔江区国有林场仰头山工区和太极工区,选择不同林龄组(幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林、过熟林)的马尾松林布设样地,每个林龄组设置 3 个重复,样地规格为 20 m×20 m. 然后对样地内胸径超过 5 cm 或树高超过 3 m 的乔木进行每木检尺,并进行其他植被特征和地形、土壤特征调查(表 1).

表 1 马尾松林样地的基本情况

林龄	样地号	植被特征				地形特征				土壤特征	
		密度/ (株·hm <sup>-2</sup> )	郁闭度	灌木盖度/%	草本盖度/%	海拔/ m	坡度/ °	坡向/ °	坡位	土壤类型	土层厚度/cm
幼龄林	1	3 950	0.95	20	90	1 020	15	SW70	下坡	黄棕壤	80
	2	2 025	0.75	95	15	1 070	10	NW40	中坡	黄棕壤	80
	3	1 650	0.60	98	10	1 112	15	SW75	下坡	黄棕壤	95
中龄林	4	1 800	0.92	85	35	1 122	23	SW45	中坡	黄棕壤	75
	5	1 900	0.97	80	30	1 060	25	SW20	上坡	黄棕壤	90
	6	1 225	0.80	70	40	1 098	13	E	上坡	黄棕壤	80
近熟林	7	1 650	0.90	60	30	1 115	20	E	中坡	黄棕壤	80
	8	750	0.80	85	30	1 130	8	NW65	上坡	黄棕壤	60
	9	1 100	0.75	85	40	1 115	7	NW65	中坡	黄棕壤	60
成熟林	10	1 575	0.85	60	80	1 045	18	SW37	中坡	黄棕壤	80
	11	1 025	0.85	85	10	1 059	20	NW25	下坡	棕壤	60
	12	1 100	0.75	95	15	1 056	17	NW65	下坡	棕壤	120
过熟林	13	1150	0.90	60	75	660	20	NE20	下坡	黄壤	85
	14	650	0.80	65	85	691	18	NE20	中坡	黄棕壤	75
	15	1 050	0.85	60	80	661	20	NE40	中坡	黄棕壤	90

### 2.2 空气负离子测定

在各马尾松林样地内设置草丛、灌丛、乔木层下 3 个空间结构测定区,之后采用便携式空气负离子测定仪(AIC1000)在各测定区进行空气正、负离子测定,每隔 30 s 读取一次数据,每组数据测定 20 次,最后取其平均值.

### 2.3 数据处理

采用空气负离子比率( $p$ )和森林空气负离子评价指数( $FCI$ )进行森林空气负离子质量评价<sup>[9]</sup>,采用森林年提供负离子数( $G_{\text{负离子}}$ )<sup>[10]</sup>和年提供负离子价值( $U_{\text{负离子}}$ )进行负离子生态服务功能评估. 其计算公式为

$$p = n^{-} / (n^{-} + n^{+})$$

(1)

$$FCI = n^{-} (p / 1000)$$

(2)

$$G_{\text{负离子}} = 5.256 \times 10^{15} \times Q_{\text{负离子}} AH / L$$

(3)

$$U_{\text{负离子}} = G_{\text{负离子}} K_{\text{负离子}}$$

(4)

式中： $p$  为空气负离子比率； $FCI$  为森林空气负离子评价指数； $n^{+}$  表示空气正离子(个/cm<sup>3</sup>)； $n^{-}$  表示空气负离子(个/cm<sup>3</sup>)； $G_{\text{负离子}}$  为林分年提供负离子个数(个/a)； $Q_{\text{负离子}}$  为林分负离子浓度(个/cm<sup>3</sup>)； $A$  为林分面积(hm<sup>2</sup>)； $H$  为林分高度(m)； $L$  为负离子寿命(min)； $U_{\text{负离子}}$  为林分年提供负离子价值(元/a)； $K_{\text{负离子}}$  为负离子生产费用。

利用 Excel 2003 软件对数据进行处理和制图；应用 SPSS13.0 统计软件进行单因素方差(one-way ANOVA)分析。

### 3 结果与分析

#### 3.1 马尾松林内不同空间结构的空气负离子差异

空气负离子受到植被配置和结构的影响<sup>[11]</sup>，然而在同一林分内，植被空间结构对空气负离子水平的影响并不显著(表 2)。由表 2 可知，马尾松幼龄林、中龄林和近熟林林内不同空间结构的空气负离子均以林内草丛最大、乔木层下最小、林内灌丛居中。经方差分析，它们间的差异均不具有统计学意义( $p>0.05$ )。同样地，马尾松林成熟林和过熟林不同空间结构间的空气负离子差异也不具有统计学意义( $p>0.05$ )。但成熟林以林内灌丛最大，为 458 个/cm<sup>3</sup>；过熟林以乔木层下最大，为 580 个/cm<sup>3</sup>。由此可见，在同一林分内，森林空气负离子维持在一个相对稳定的水平，并不因植被结构空间分布而改变，容易形成较为稳定的局部小气候。

表 2 马尾松林内不同空间结构的空气负离子差异(平均值±标准误)

空间结构	幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
林内草丛	468±32.23	304±23.56	451±28.71	399±34.52	538±30.70
林内灌丛	444±23.69	304±32.87	360±25.90	458±42.93	504±29.12
乔木层下	407±26.67	242±13.29	333±18.26	364±21.83	580±29.92
$F$ 值	1.276	2.137	6.258	1.900	1.602

#### 3.2 不同林龄马尾松林的空气负离子差异

由表 3 可知，不同林龄马尾松林的空气负离子差异极具统计学意义( $p<0.01$ )，说明马尾松林的空气负离子水平受林龄的影响显著。不同林龄马尾松林的空气负离子水平大小排序为过熟林(540 个/cm<sup>3</sup>)、幼龄林(440 个/cm<sup>3</sup>)、成熟林(407 个/cm<sup>3</sup>)、近熟林(381 个/cm<sup>3</sup>)、中龄林(283 个/cm<sup>3</sup>)。相比中龄林，马尾松过熟林、幼龄林、成熟林和近熟林的空气负离子水平分别提高 90.81%、55.48%、43.82%和 34.63%。可见，马尾松过熟林和幼龄林能有效提高空气负离子水平，具有较强的净化空气功能。而相比其他林龄组，马尾松中龄林提高空气负离子水平的能力较弱，这可能与幼龄林具有较强的光合作用有关<sup>[12]</sup>，而过熟林经过长期的自然演替，林分具有良好的复层结构特征(表 1)，其特有的生态环境有助于空气负离子的产生，王忠君<sup>[13]</sup>研究也认为乔灌草复合型植物群落能显著增加环境中的空气负离子。

表 3 不同林龄马尾松林的空气负离子差异(平均值±标准误)

项 目	幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林	$F$ 值
空气负离子/(个/cm <sup>3</sup> )	440±16.06	283±14.31	381±14.80	407±19.88	540±17.35	31.532**

注：\* \* 表示差异极具统计学意义。

#### 3.3 不同林龄马尾松林内空气负离子功能评价

空气负离子比率和空气负离子评价指数是表征空气负离子质量的 2 个重要指标，并且适合运用到森林环境的空气负离子评价中<sup>[9]</sup>，其值越大说明空气清洁度越高，对人体保健功能越强。由表 4 可知，不同林龄马尾松林的空气负离子比率和空气负离子评价指数的评价结果基本一致，均以过熟林最大，其空气负离子

比率和空气负离子评价指数分别为 0.33 和 0.18; 中龄林最小, 其空气负离子比率和空气负离子评价指数分别为 0.20 和 0.07; 幼龄林、近熟林和成熟林居中且差别不大. 这说明以马尾松过熟林的空气负离子质量最高, 而以中龄林的空气负离子质量最差.

通过利用年提供负离子数和年提供负离子价值对不同林龄马尾松空气负离子生态服务价值的评估结果表明(表 4), 不同林龄马尾松林均以中龄林的空气负离子生态服务价值最低, 其年提供负离子数为  $2.00 \times 10^{18}$  个/hm<sup>2</sup>, 年提供负离子价值为 11.63 元/hm<sup>2</sup>; 过熟林的空气负离子生态服务价值最高, 其年提供负离子数和年提供负离子价值分别为  $5.17 \times 10^{18}$  个/hm<sup>2</sup> 和 30.11 元/hm<sup>2</sup>, 相比中龄林均提高 1.59 倍. 不同林龄马尾松林的年提供负离子数和年提供负离子价值大小排序均为过熟林、成熟林、近熟林、幼龄林、中龄林.

不同林龄马尾松林提供负离子功能及服务价值均以过熟林最大, 中龄林最小, 幼龄林、近熟林和成熟林居中.

表 4 不同林龄马尾松林空气负离子评价

评 价 指 标	幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
空气负离子比率 $p$	0.26	0.20	0.29	0.29	0.33
空气负离子评价指数 $FCI$	0.12	0.07	0.12	0.13	0.18
年提供负离子数/(个 · hm <sup>-2</sup> )	$2.54 \times 10^{18}$	$2.00 \times 10^{18}$	$3.23 \times 10^{18}$	$3.84 \times 10^{18}$	$5.17 \times 10^{18}$
年提供负离子价值/(元 · hm <sup>-2</sup> )	14.81	11.63	18.80	22.37	30.11

4 结论与讨论

多数研究表明, 植被结构类型能对空气负离子产生显著影响<sup>[14-15]</sup>, 并且复层结构的空气负离子水平往往高于单层结构<sup>[16]</sup>. 然而, 本研究则表明在同一马尾松林分中, 植被的空间结构分布对空气负离子水平无显著影响, 这可能是因为空气负离子水平在特定的区域范围内(同一林分样地)具有一定的均一性, 易形成相对稳定的局部小气候. 但在不同马尾松林分中, 植被结构对空气负离子水平的影响则得到体现. 本研究表明不同林龄马尾松林对空气负离子水平的影响差异具有统计学意义, 穆丹等<sup>[6]</sup>研究认为乔灌草复层结构植被是产生高空气负离子水平的理想植被类型.

本研究中不同林龄马尾松林都具有乔灌草结构(表 1), 但研究表明以马尾松过熟林对空气负离子水平提高最为明显(表 3), 这可能还与林分乔灌草结构的合理分布比例有关. 由图 1 可知, 随着马尾松林龄增加, 马尾松林乔灌草结构分布越趋合理. 具体表现为乔木层郁闭度随林龄增加先增加后下降, 灌木层覆盖度也随林龄先增加再下降, 草本层覆盖率则随林龄先降低后增加, 最后乔木层郁闭度、灌木层覆盖度、草本层覆盖度等 3 个植被空间结构指标值相对接近, 马尾松林分由此形成合理的乔—灌—草复层结构, 这种合理的林分乔灌草结构为空气负离子产生提供了良好的生态环境条件, 是森林净化空气(表 4)、保持水土、改良土壤的理想森林结构类型<sup>[17]</sup>. 当然, 森林植被提高空气负离子水平的能力还与其光合作用的强弱有关, 吴楚材等<sup>[12]</sup>研究认为植被的光合作用、瀑布(溪流)的喷雾效应等都能有效增加空气负离子水平, 而本研究中马尾松幼龄林提供负离子能力强于中龄林可能与此有关.

与其他马尾松林空气负离子状况研究<sup>[14, 18]</sup>相比, 本文中不同林龄马尾松林的空气负离子水平均较小, 甚至比 2012 年在同区域监测的马尾松林(成熟林)年平均空气负离子水平(523 个/cm<sup>3</sup>)还低, 这可能与空气负离子监测期间正值八月持续的高温伏旱天气有关. 穆丹等<sup>[19]</sup>研究表明空气负离子水平与温度呈极显著负相关, 与相对湿度呈极显著正相关. 因此, 今后应对森林空气负离子开展长期的定位监测, 掌握其时空变化规律, 为分布式测算森林净化空气功能及服务价值提供更为翔实的数据基础.

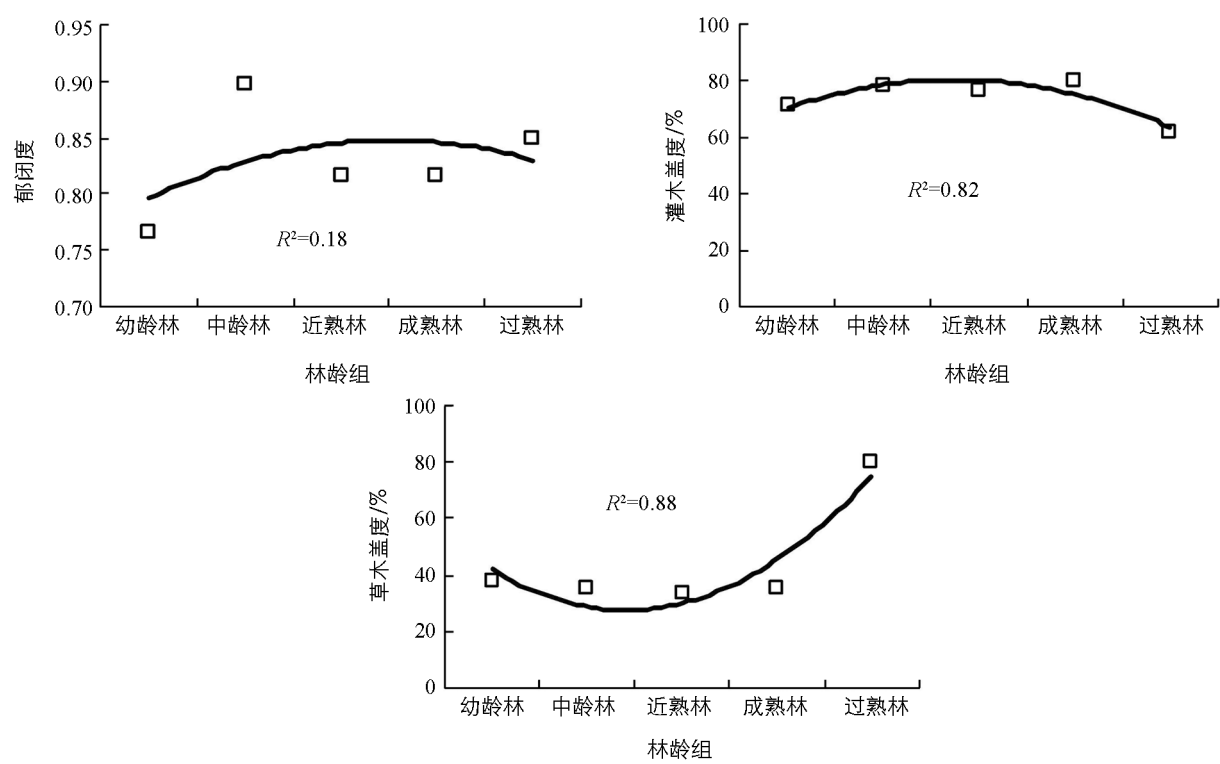


图 1 马尾松林乔灌木结构随林龄的变化

参考文献:

[1] 余新晓, 鲁绍伟, 靳芳, 等. 中国森林生态系统服务功能价值评估 [J]. 生态学报, 2005, 25(8): 2096—2102.

[2] 余坤勇, 刘健, 许章华, 等. 闽江流域生态服务功能的遥感监测研究 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2009, 31(11): 72—80.

[3] 王兵, 任晓旭, 胡文. 中国森林生态系统服务功能及其价值评估 [J]. 林业科学, 2011, 42(2): 145—153.

[4] 刘欣欣, 华超, 张明如, 等. 千岛湖姥山林场不同森林群落空气负离子浓度的比较 [J]. 浙江农林大学学报, 2012, 29(3): 366—373.

[5] TIKHONOV V P, TSVETKOV V D, LITVINOVA E G, et al. Generation of Negative Air Ions by Plants Upon Pulsed Electrical Stimulation Applied to Soil [J]. Russian Journal of Plant Physiology, 2004, 51(3): 414—419.

[6] 穆丹, 梁英辉. 城市不同绿地结构对空气负离子水平的影响 [J]. 生态学杂志, 2009, 28(5): 988—991.

[7] 蒋宣斌, 王轶浩, 周小舟, 等. 重庆主城典型地段空气负离子动态变化研究 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2011, 33(8): 14—20.

[8] 张永利, 杨峰伟, 王兵, 等. 中国森林生态系统服务功能研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2010: 31.

[9] 石强, 舒惠芳, 钟林生, 等. 森林游憩区空气负离子评价研究 [J]. 林业科学, 2004, 40(1): 36—40.

[10] 常艳, 王庆民, 张秋良, 等. 内蒙古大兴安岭森林负离子浓度变化规律及价值评估 [J]. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版, 2010, 31(1): 83—87.

[11] 王晓磊, 李传荣, 许景伟, 等. 济南市南部山区不同模式庭院林空气负离子浓度 [J]. 应用生态学报, 2013, 24(2): 373—378.

[12] 吴楚材, 黄绳纪. 桃源洞国家森林公园负离子浓度测定与评价 [J]. 中南林学院学报, 1995, 15(1): 10—15.

[13] 王忠君. 福州国家森林公园生态效益与自然环境旅游适宜性评价研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2004.

[14] 吴楚材, 钟林生, 刘晓明. 马尾松纯林林分因子对空气负离子浓度影响的研究 [J]. 中南林学院学报, 1998, 18(1): 70—73.

[15] 王洪俊. 城市森林结构对空气负离子水平的影响 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2004, 28(5): 96—98.

- [16] 范亚民, 何 平, 李建龙, 等. 城市不同植被配置类型空气负离子效应评价 [J]. 生态学杂志, 2005, 24(8): 883—886.
- [17] 王铁浩, 耿养会, 黄仲华. 三峡库区紫色土植被恢复过程的土壤团粒组成及分形特征 [J]. 生态学报, 2013, 33(18): 5493—5499.
- [18] 钟林生, 吴楚材, 肖笃宁. 森林旅游资源评价中的空气负离子研究 [J]. 生态学杂志, 1998, 17(6): 56—60.
- [19] 穆 丹, 梁英辉. 佳木斯绿地空气负离子浓度及其与气象因子的关系 [J]. 应用生态学报, 2009, 20(8): 2038—2041.

## Characteristics and Eco-Service Value of Air Anions in *Pinus massoniana* (Lamb.) Forests of Different Ages

WANG Yi-hao<sup>1,2</sup>, TAN Ming-zhao<sup>1</sup>, ZENG Jing<sup>1</sup>, LIU Zhou-jiang<sup>1</sup>

1. Chongqing Academy of Forestry Science, Chongqing 400036, China;

2. Research Center of Environment Sciences, Chinese Academy of Science, Beijing 100085, China

**Abstract:** The air anion concentration of *Pinus massoniana* forests of different ages was measured and studied, using the AIC1000 portable air anions tester. The results showed that the difference in air anion concentration was not significant among different spatial structures in the same *P. massoniana* forest stand ( $p > 0.05$ ), but highly significant among *P. massoniana* forests of different ages ( $p < 0.01$ ); The air anion concentration of the over-mature forest, the sapling forest, the mature forest and the near-mature forest for *P. massoniana* was 90.81%, 55.48%, 43.82% and 34.63% higher than that of the mid-maturation *P. massoniana* forest, respectively. The order of function and service value of supplying air anions for *P. massoniana* was over-mature forest > mature forest > near-mature forest > sapling forest > mid-maturation forest. Thus, over-mature *P. massoniana* forest can significantly improve air anion concentration and has a stronger function of air purification and higher eco-service value, and air purification function and eco-service value of mid-maturation *P. massoniana* forest are the poorest.

**Key words:** air anion; masson pine; forest age; eco-service value

责任编辑 夏 娟



