

侯贻菊,丁访军,刘延惠,等. 贵阳东郊针阔混交林内外空气颗粒物不同季节的日变化[J]. 江苏农业科学,2017,45(19):280-285.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.19.066

# 贵阳东郊针阔混交林内外空气颗粒物不同季节的日变化

侯贻菊, 丁访军, 刘延惠, 赵文君, 吴 鹏, 舒德远, 崔迎春

(贵州省林业科学研究院, 贵州贵阳 550005)

**摘要:**为探讨城市森林对空气颗粒物的调控作用,采用同步监测法对贵州省贵阳市东郊针阔混交林林内林外一年四季空气颗粒物进行连续监测(09:00—18:00)。结果发现:(1)贵阳市东郊针阔混交林 4 种粒径空气颗粒物日变化整体上近似呈“V”形,2 个峰值分别出现在 09:00 和 18:00,谷值多数出现在 13:00—15:00,个别情况出现在 17:00,不同季节之间峰谷值出现时间稍有差异。(2)冬季空气颗粒物浓度最高,春、夏、秋季空气颗粒物浓度高低因粒径大小、林内林外而异。(3)除夏季  $PM_{10}$  浓度林内高于林外外,其他情况均表现为林内低于林外,粗颗粒物浓度林内林外差异达到显著水平。(4)4 种粒径颗粒物浓度日变化趋势比较一致,最大值、最小值出现时间基本相同,粗颗粒物浓度值显著高于细颗粒物。

**关键词:**贵阳东郊;针阔混交林;空气颗粒物;日变化

**中图分类号:** S718.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)19-0280-05

近年来,空气悬浮颗粒物已经成为许多城市的首要污染物<sup>[1]</sup>,特别是空气动力学等效直径 $\leq 2.5 \mu m$ 的可吸入细颗粒物  $PM_{2.5}$  对人体健康的危害更大。2012 年国家环保部重新修订了《环境空气质量标准》(GB 3095—2012),颁布  $PM_{2.5}$  国家标准(年平均  $35 \mu g/m^3$ ,24 h 平均  $75 \mu g/m^3$ ),把  $PM_{2.5}$  纳入环境空气污染物基本项目中进行监测,并在北京首先开展了  $PM_{2.5}$  监测网络建设和数据公布等一系列工作,计划于 2016 年开始在全国范围内进行常规监测<sup>[2]</sup>。了解空气颗粒物变化规律以预防和减轻对人体健康和城市空气环境质量的影响,已经成为政府部门和社会各界关注的环境热点问题之一。城市森林是城市有生命的生态基础设施,也是居民休闲游憩的主要场所,对改善城市生态环境和满足居民生态休闲游憩需求发挥着重要作用。贵阳市东郊环城林带是贵阳重要的生态屏障,因环境优美、空气清新成为市民和游客进行徒步旅行、登高、健身、摄影等各种游憩活动的重要区域,因此该区域城市森林内空气颗粒物浓度水平不仅反映城市森林的空气净化能力,也是游客和市民关注的问题。目前有关  $PM_{2.5}$  等空气颗粒物的详细研究主要集中在来源分析<sup>[3-5]</sup>、成分解析<sup>[6-7]</sup> 和危害评价<sup>[8-9]</sup> 上,对城市森林内空气颗粒物动态变化还缺少时间尺度上连续完整的研究。本研究以贵阳市东郊的马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)针阔混交林为对象,研究了针阔混交林内外一年四季白天 09:00—18:00 空气颗粒物的动态变化规律,旨在为了解城市森林对空气颗粒物污染的调控功能,为“以人为本”的城市森林建设、森林游憩环境开发管理

提供理论依据,并为市民选择游憩时间提出合理建议。

## 1 研究地概况

观测点位于贵阳市东郊的马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)针阔混交林内,该城市森林位于 1 180 m 的海拔高度上( $106^{\circ}46'11''E$ , $26^{\circ}31'57''N$ )。林分优势树种为马尾松,林分密度为 750 株/ $hm^2$ ,林分平均树高 13.8 m,平均胸径 19.3 cm,郁闭度为 0.60,植被覆盖率达 90% 以上。林内植物包括针叶树、阔叶树以及其他野生灌丛草本植物,针叶树以马尾松为主,阔叶树有女贞(*Ligustrum lucidum* Ait.)、朴树(*Celtis sinensis* Pers.)、杨树(*Populus* L.)、油茶(*Camellia oleifera* Abel.)、盐肤木(*Rhus chinensis* Mill.)、光皮桦(*Betula luminifera* H. Winkl.)、檫木(*Sassafras tzumu* Hemsl.)、鹅耳枥(*Carpinus turczaninowii* Hance)、青冈[*Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst.]等,灌木层包括油茶(*Camellia oleifera* Abel.)、白栎(*Quercus fabri* Hance)、小果南烛[*Lyonia ovalifolia* (Wall.) Drude var. *elliptica*]、铁仔(*Myrsine africana* L.)、马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)、竹叶椒(*Zanthoxylum armatum* DC.)等植物,是贵阳城市森林的典型代表。

## 2 研究方法

在混交林林内和林外各设 1 个监测点,为了保证监测点具有相近的污染源,且避免林缘效应,林内监测点设在林分距林缘 50 m 位置,林外监测点设在林外距林缘 50 m 的位置且四周无高大乔木和建筑遮挡的空旷地。从 2014 年 6 月至 2015 年 5 月期间选择连续无雨天(至少 3 d)开展林内林外同步监测,每日 9:00—18:00 采用 Turnkey 仪器制造公司生产,且符合粉尘监测国家标准的 DustMate 粉尘检测仪(分辨率  $0.01 \mu g/m^3$ ;测量范围  $0 \sim 6\ 000 \mu g/m^3$ ;粒径范围  $0.5 \sim 15 \mu m$ )同步连续测定 2 个监测点距地面 1.5 m 处的空气颗粒物质量浓度。测定时每 15 s 读数 1 次,每 1 min 记录平均值保存于 DustMate 中,回实验室后下载到 PC 机上并进行分析处

收稿日期:2016-02-27

基金项目:贵州省林业重大项目(编号:黔林科合[2014]重大 01 号);贵州省科技厅社会发展项目(编号:黔科合 SY 字[2015]3021)。

作者简介:侯贻菊(1988—),女,贵州贵阳人,助理工程师,主要从事森林生态、森林水文研究。E-mail:792085279@qq.com。

通信作者:丁访军,博士,研究员,主要从事森林生态、森林水文研究。E-mail:ding3920034@163.com。

理。分析所用平均值为各季节不同监测日同一时刻的平均值。

所有数据应用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS 19.0 分析,采用单因素方差分析和多因素方差分析比较混交林林内和林外的差异;显著性水平设定为  $\alpha=0.05$ 。

3 结果与分析

3.1 针阔混交林林内和林外空气颗粒物不同季节的日变化

3.1.1 春季 春季混交林内外 4 种粒径空气颗粒物浓度日变化总体均呈下降趋势,林外粗颗粒物浓度变化波动较大,

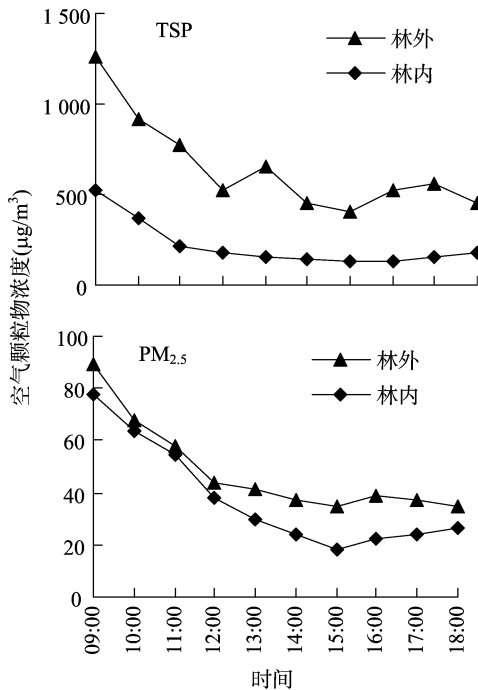


图1 春季混交林内外 4 种粒径空气颗粒物日变化

从林内林外对比来看,春季细颗粒物日变化趋势林内林外比较一致,但粗颗粒物日变化趋势林内林外有一定差异。林外 TSP 日变化中在 12:00、15:00、18:00 达到谷值,林内 TSP 只有 15:00 一个谷值。林外 PM<sub>10</sub> 日变化中的第 2 个峰值较林内有提前现象,分别在 17:00、18:00 出现。林内 TSP、PM<sub>10</sub> 显著低于林外,林内林外 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>1</sub> 差异不显著(表 1)。

3.1.2 夏季 夏季针阔混交林内外 TSP、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 3 种颗粒物日变化趋势不尽相同,而 PM<sub>1</sub> 日变化趋势非常相似,总体表现为早晚高中间低的双峰单谷型日变化曲线(TSP 呈波动变化,趋势不明显)。4 种粒径空气颗粒物林内林外最高值均在上午 09:00,林外低估值多出现在 14:00,相较于春季有所提前,林内低谷值多出现在 17:00,相较于春季有所延迟(图 2)。方差分析显示,林外 TSP、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 显著高于林内,林内外 PM<sub>1</sub> 差异不显著,且林外低于林内(表 1)。

3.1.3 秋季 秋季粗颗粒物林内林外日变化趋势各不相同,林外呈近“V”形,13:00—14:00 达到最低值,总体呈下降趋势,林内各时刻浓度值差异不显著,总体略有升高。细颗粒物林内林外变化趋势比较一致,全天呈波动升高变化,在观测结束时达到全天最大值(图 3)。方差分析显示,林外 TSP 显著高于林内,混交林内外 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>1</sub> 差异不显著(表 1)。

3.1.4 冬季 冬季与秋季相似,粗颗粒物在林内林外的日变

TSP 日变化曲线呈起伏波动变化,PM<sub>10</sub> 日变化曲线呈“双峰双谷”形。林外细颗粒物和林内 4 种粒径空气颗粒物浓度变化波动平缓,林外 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>1</sub> 日变化中有 2 个峰值 2 个谷值,林内 4 种粒径空气颗粒物日变化为“双峰单谷”曲线(图 1)。具体的变化趋势是:09:00 为观测时段内的第 1 个峰值(最大值),之后开始下降,14:00—15:00 降到一天中的最低值,然后基本保持不断上升趋势,林外上升到 16:00—17:00 后达到第 2 个峰值,之后保持下降直到观测结束,林内一直保持上升趋势直到 18:00 达到第 2 个峰值。

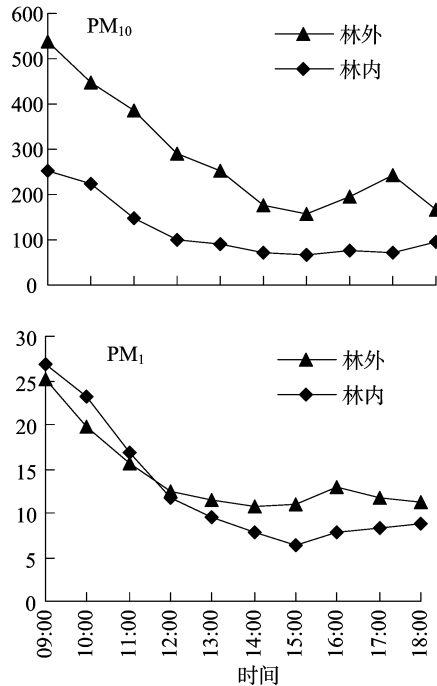


表 1 针阔混交林内外空气颗粒物日均质量浓度及方差分析

季节	项目	质量浓度(μg/m <sup>3</sup> )		林内/林外
		林内	林外	
春季	TSP	216.93A	652.37A	0.33 *
	PM <sub>10</sub>	119.69BC	285.32B	0.42 *
	PM <sub>2.5</sub>	37.95CD	48.20C	0.79
	PM <sub>1</sub>	12.71D	14.20C	0.90
夏季	TSP	197.37A	489.80A	0.40 *
	PM <sub>10</sub>	130.13B	222.32B	0.59 *
	PM <sub>2.5</sub>	23.02C	57.07C	0.40 *
	PM <sub>1</sub>	12.22C	9.42D	1.30
秋季	TSP	201.78A	306.06A	0.66 *
	PM <sub>10</sub>	107.58B	162.91B	0.66
	PM <sub>2.5</sub>	53.39C	55.81C	0.96
	PM <sub>1</sub>	16.97D	17.06C	0.99
冬季	TSP	312.39A	1 358.92A	0.23 *
	PM <sub>10</sub>	193.34AB	562.44B	0.34 *
	PM <sub>2.5</sub>	101.98BC	137.87C	0.74
	PM <sub>1</sub>	45.91CD	40.19C	1.14

注:“\*”代表同行同种颗粒物林内和林外差异显著,同列不同大写字母表示同一季节不同粒径颗粒物差异显著,显著水平  $\alpha=0.05$ 。

化趋势完全不同,林外整体呈“W”形上升趋势,2 个谷值出现在 12:00 和 15:00,林内呈向上弧形下降趋势,最小值在

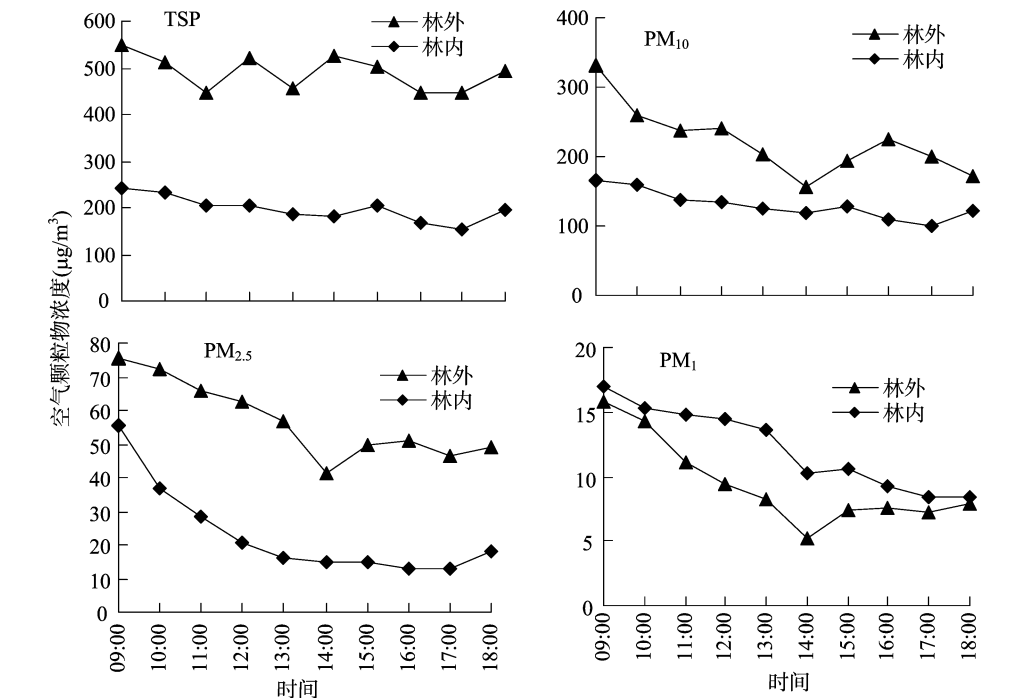


图2 夏季混交林内外 4 种粒径空气颗粒物日变化

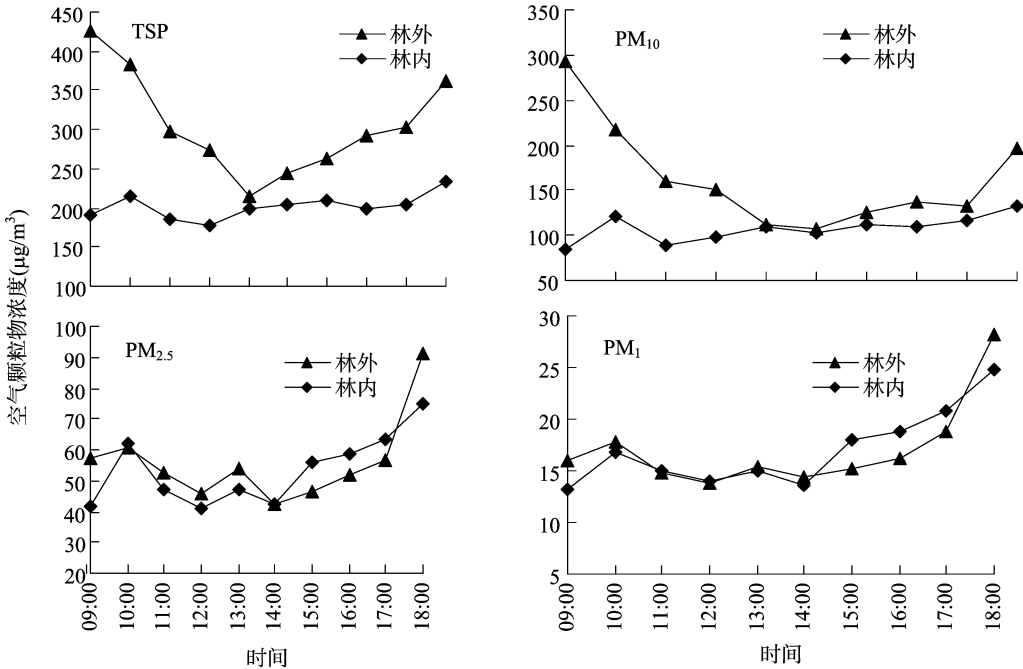


图3 秋季混交林内外 4 种粒径空气颗粒物日变化

15:00—16:00 出现。细颗粒物林内林外变化趋势相对一致,整体呈下降趋势,最小值均出现在 15:00,最大值出现在 09:00—10:00(图 4)。方差分析显示,林外 TSP、PM<sub>10</sub> 显著高于林内,PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>1</sub> 差异不显著,且林外 PM<sub>1</sub> 略低于林内(表 1)。

从以上 4 个季度混交林内外空气颗粒物浓度的日变化可以看出,林内 4 种粒径空气颗粒物浓度在 4 个季度的日变化规律有很高的相似性,春、夏、冬 3 季均表现出随着监测时间的推移逐步下降的趋势,秋季则表现为上升趋势。林内 TSP

浓度呈现冬季 > 春季 > 秋季 > 夏季的规律,PM<sub>10</sub> 浓度呈现冬季 > 夏季 > 春季 > 秋季的规律,PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>1</sub> 表现为冬季 > 秋季 > 春季 > 夏季的规律。林外 4 种粒径空气颗粒物浓度在 4 个季度的日变化规律各不相同,但仍体现为早晚高、中间低的总体变化趋势,林外除夏季颗粒物浓度时刻值变化幅度不大而外,春、秋、冬 3 季颗粒物浓度值变化幅度均较大,有明显的峰值谷值。林外 TSP、PM<sub>10</sub> 呈现冬季 > 春季 > 夏季 > 秋季的规律,PM<sub>2.5</sub> 呈现冬季 > 夏季 > 秋季 > 春季的规律,PM<sub>1</sub> 呈现冬季 > 秋季 > 春季 > 夏季的规律(表 1)。

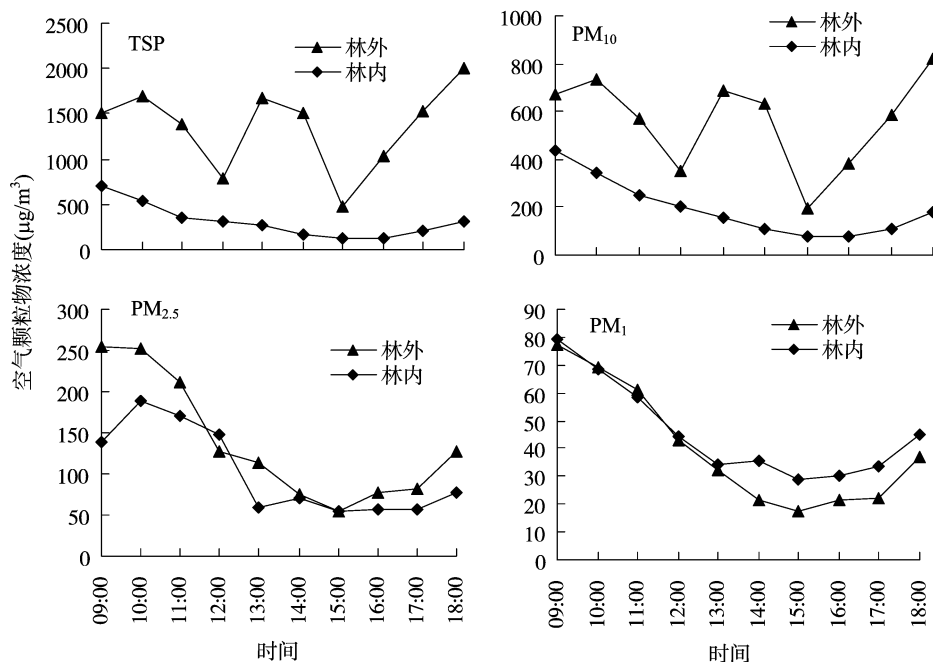


图4 冬季混交林内外4种粒径空气颗粒物日变化

### 3.2 林内林外不同粒径空气颗粒物的日变化比较

3.2.1 春季 春季针阔混交林内外, 4 种不同粒径空气颗粒物日变化趋势大体相似, 出现峰值和谷值的时间也基本一致 (峰值出现在 09:00, 谷值出现在 15:00, 林外  $PM_{10}$  谷值提前在 14:00 出现) (图 5)。方差分析显示, 林内 TSP 显著高于  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 、 $PM_1$ ,  $PM_{10}$  与  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{2.5}$  与  $PM_1$  差异不显著,  $PM_{10}$  与  $PM_1$  差异显著。林外除  $PM_{2.5}$  与  $PM_1$  差异不显著外, 其他粒径颗粒物之间差异显著。

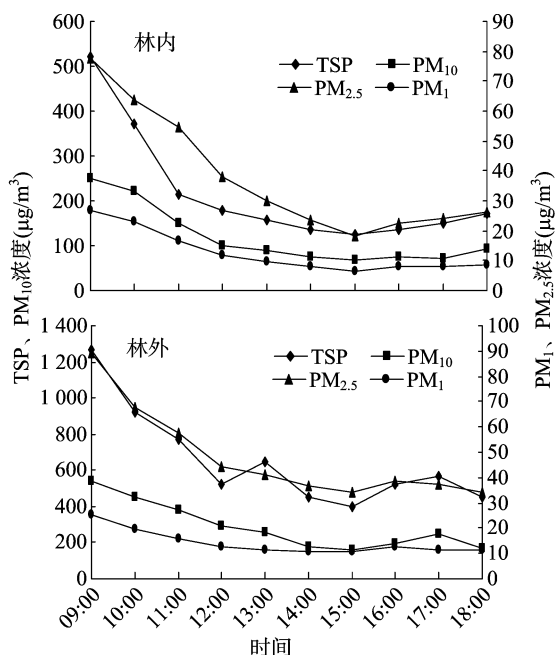


图5 春季混交林内外不同粒径空气颗粒物日变化

3.2.2 夏季 夏季混交林内 TSP、 $PM_{10}$ 、 $PM_1$  3 种颗粒物日变化趋势大致相同,  $PM_{2.5}$  日变化趋势与春季相同, 林外  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 、 $PM_1$  变化相似, TSP 呈波动变化。全天最大值均出现

在 09:00, 最小值林内大部分集中在 17:00 出现, 林外大部分集中在 14:00 出现 (图 6)。方差分析显示, 除林内  $PM_{2.5}$  与  $PM_1$  差异不显著外, 其他情况均差异显著。

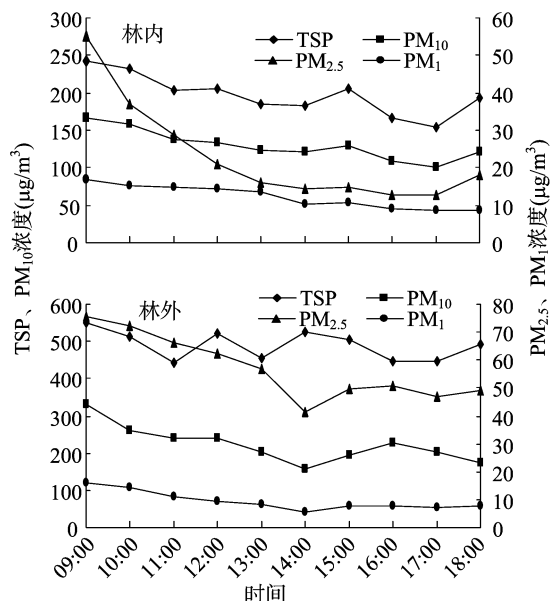


图6 夏季混交林内外不同粒径空气颗粒物日变化

3.2.3 秋季 秋季除个别时刻外, 混交林内外 4 种粒径空气颗粒物日变化曲线基本一致, 林内各粒径颗粒物浓度和林外细粒径颗粒物浓度最大值在 18:00 出现, 林外粗颗粒物浓度最大值出现在 09:00, 谷值集中在 11:00—14:00 出现 (图 7)。方差分析结果与夏季相同。

3.2.4 冬季 冬季林内 4 种粒径空气颗粒物日变化趋势基本一致, 林外粗颗粒物与细颗粒物变化趋势不尽相同, 林内全天最大值除个别时刻外均出现在 09:00, 林外粗颗粒物与细颗粒物浓度最大值出现时刻分别是 18:00 和 09:00 (TSP 除外)。混交林内外各粒径颗粒物浓度最小值在 15:00 出现 (图

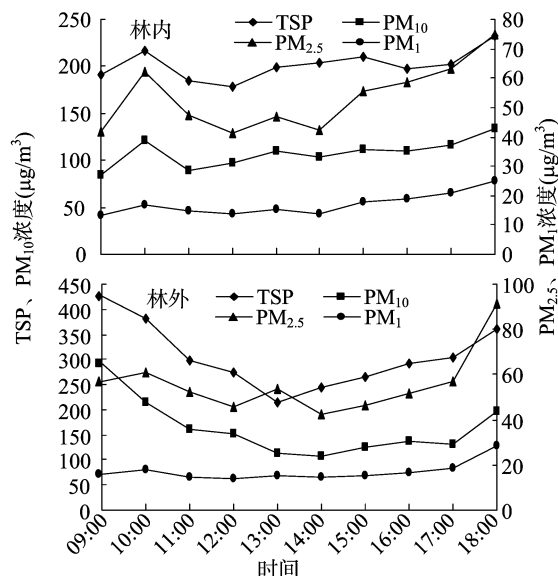


图7 秋季混交林内外不同粒径空气颗粒物日变化

8)。方差分析显示,林内、林外 TSP 显著高于  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$ 、 $PM_1$ ,林内  $PM_{10}$  与  $PM_{2.5}$  差异不显著, $PM_{2.5}$  与  $PM_1$  差异显著;林外  $PM_{10}$  显著高于  $PM_{2.5}$ 、 $PM_1$ , $PM_{2.5}$  与  $PM_1$  差异不显著。

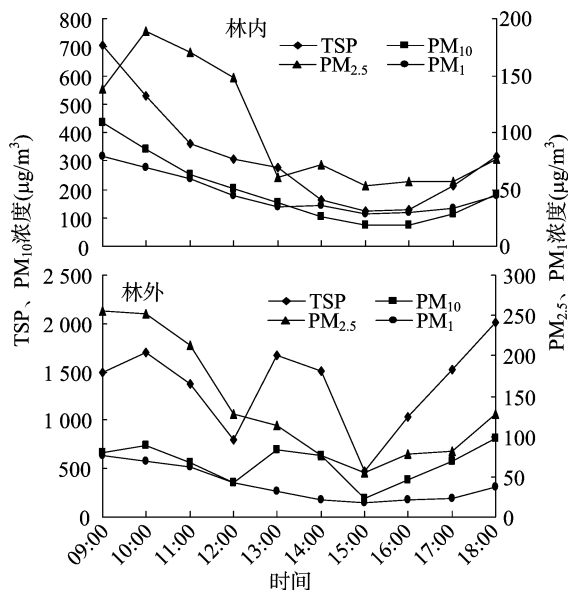


图8 冬季混交林内外不同粒径空气颗粒物日变化

#### 4 结论与讨论

贵阳东郊针阔混交林内外空气颗粒物浓度在监测时段内具有明显的变化趋势,近似呈“V”形变化 2 个峰值分别出现在 09:00 和 18:00,谷值多数出现在 13:00—15:00,个别情况出现在 17:00,这与其他学者的研究结果比较一致。郭二果等对北京西山典型游憩林空气颗粒物的 24 小时监测研究得出空气颗粒物的日变化近似呈“双峰双谷”型,2 个高峰时段分别出现在 05:00—09:00 和 19:00 之后,低谷出现时间是 15:00 左右<sup>[10]</sup>。无锡惠山  $PM_{2.5}$  的日变化最大值和最小值在 07:00—09:00 和 15:00—19:00 出现<sup>[11]</sup>。天津空气  $PM_{10}$  日变化高峰出现在 08:00 和 19:00,低谷出现在 14:00 和

01:00<sup>[12]</sup>。英国空气  $PM_{10}$  在 07:00—10:00 以及 19:00—22:00 有 2 个高峰,在 12:00 和 17:00 相对稳定<sup>[13]</sup>。空气颗粒物浓度呈现出这种日变化规律是由于人为活动对其影响较大,上午 07:00—09:00 和下午 17:00—20:00 是上下班高峰期,车流量不断增加,导致地面扬尘、汽车尾气排放量也不断增加,致使空气颗粒物质量浓度达到最高。另外,颗粒物的输送和积累与一天中的气象条件和大气稳定状态有很大关系,午后光照强、气温高、空气湿度小,空气对流加强,易于空气颗粒物的输送和扩散而使其达到最低,相反,早晚和夜间低温、高湿和相对静风的气象状态不利于空气颗粒物的扩散和输送,使其聚集增多。

贵阳东郊针阔混交林内外 4 种粒径空气颗粒物总体日变化趋势在 4 个季度均近似呈“V”形(夏季粗颗粒物呈波动变化,冬季林外粗颗粒物呈“W”形变化),各粒径颗粒物浓度监测时段的最大值在春、夏、冬 3 季的 09:00 出现,秋季在 18:00 出现,最小值在春、冬两季的 15:00 出现,夏季在 14:00 和 17:00 出现,秋季在 14:00 左右出现。不同季节相比,夏季日变化趋势较其他 3 季平缓,且谷值出现时间稍有提前,秋季细颗粒物和林内粗颗粒物日变化总体呈上升趋势,与其他 3 季不同,冬季空气颗粒物浓度水平最高,春、夏、秋空气颗粒物水平大小排序因粒径大小、林内林外而异。这些变化除了受不同季节的气候、监测日风速、空气湿度等因子影响外,可能与监测林山顶正处于建筑施工期有关。山顶施工造成大量建筑扬尘,建筑扬尘是空气颗粒物的主要来源之一,这可能就是导致春、夏、秋 3 季空气颗粒物浓度水平大小不一的关键原因。因此,若从空气颗粒物角度来看,市民最好选择 15:00 左右作为最佳游憩时间,而 09:00 之前到 18:00 之后外出活动应注意空气颗粒物污染情况。

林内林外相比较,各粒径空气颗粒物变化趋势基本一致,除夏季  $PM_1$  浓度林内高于林外外,其他情况均表现成林内低于林外,粗颗粒物浓度林内林外差异达到显著水平,说明城市森林对空气颗粒物具有明显的调控作用。导致以上结果的原因可能为林外监测点紧挨交通干道,路面扬尘、汽车尾气等对粗粒子 TSP、 $PM_{10}$  上升贡献较大, $PM_{2.5}$  具有滞留时间长、沉降速度慢等特点不容易被监测仪器及时准确记录。这与陈博等对北京大兴区景观生态林内外大气颗粒物质量浓度变化特征的研究结果<sup>[14]</sup>比较一致。

不同粒径空气颗粒物相比,各季节 4 种粒径颗粒物浓度日变化趋势比较一致,最大值、最小值出现时间基本相同,粗颗粒物浓度值显著高于细颗粒物,说明贵阳东郊空气颗粒物污染源主要来自 TSP、 $PM_{10}$ 。这与郭二果等的研究结果<sup>[10]</sup>有所不同,可能是由于北京风沙、雾霾等对粗颗粒物贡献很大,而贵阳几乎没有风沙和雾霾天气。参照国家环境空气质量标准(GB 3095—2012),林内外  $PM_{2.5}$  达到国家二级空气质量标准(24 h 平均  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )的天数概率分别为 65%、63%;林内外  $PM_{10}$  达到国家二级空气质量标准(24 h 平均  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )的天数概率分别为 89%、46%。可见,贵阳市东郊空气质量多处于优良级,是适合人类生活居住的城市。

#### 参考文献:

- [1] 安俊岭,张仁健,韩志伟. 北方 15 个大型城市总悬浮颗粒物的季节变化[J]. 气候与环境研究,2000,5(1):25-29.

汪雨琴,余敦,刘庆芳. 基于 TOPSIS 方法的土地生态安全评价——以神农架林区为例[J]. 江苏农业科学,2017,45(19):285-288.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.19.067

# 基于 TOPSIS 方法的土地生态安全评价 ——以神农架林区为例

汪雨琴,余敦,刘庆芳

(江西农业大学国土资源与环境学院,江西南昌 330045)

**摘要:**在寻求经济最大化的同时,对土地、资源、生态、环境等进行保护以使社会经济处在可持续发展的状态,而对土地生态安全进行评价并为其提供基础数据和研究方向。运用专家咨询法和压力—状态—响应模型构建评价指标体系,结合层次分析法和熵权法确定指标权重,使用逼近理想点排序法对 2004—2012 年间神农架林区及其压力—状态—响应等 3 个子系统的土地生态安全状况进行研究与分析。结果显示,神农架林区的土地生态状态在 2004—2008 年呈波动下降趋势,2008—2012 年呈上升趋势。就各子系统而言,压力层于 2004—2008 年急剧下降,2008—2012 年回升,状态层呈“W”形,2007 年达到顶峰,2006 年和 2008 年为谷底;响应层波动上升。影响评价结果的指标因素主要有单位面积化肥施用量、第一产业增长速度、人均 GDP、城市生活污水处理率、工业污染治理项目投资额等。通过对神农架林区的土地生态安全进行评价和研究,可为神农架林区的平衡持续发展提供理论参考。

**关键词:**TOPSIS 方法;土地生态安全评价;压力层;层次分析法;熵权法;神农架林区;生态文明建设

**中图分类号:**X821 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2017)19-0285-04

土地生态安全评价研究是土地资源管理和区域可持续发展的一项重要研究课题,是生态安全的重要组成部分<sup>[1]</sup>。充分且集约节约的利用资源会带来经济效益,而与此同时若造

成对资源的过度利用以及对环境的过度破坏则会导致经济发展的不可持续性<sup>[2]</sup>。因此,在保证经济、资源和环境可持续发展条件下寻求资源的最大化利用以及维持环境破坏度在其自我修复限制值内具有十分重要的研究意义。通过土地生态安全评价,能够相对科学全面地评价人类活动对土地生态安全的影响,从而更好地推动生态文明建设<sup>[3]</sup>。有许多学者以不同区域为例,运用不同的模型和方法对此进行评价与研究。叶达等运用正态云模型以宁夏孙家滩国家农业科技园区为例对半干旱区农业开发进行评价<sup>[4]</sup>;毕安平运用压力—状态—响应(pressure—state—response,PSR)模型对朱溪河流域的生态经济系统进行研究<sup>[5]</sup>;刘小波等基于改进的 SPA 方

收稿日期:2016-08-10

基金项目:国家自然科学基金(编号:41561107);江西省自然科学基金(编号:20151BAB203039);江西省教育厅科技项目(编号:GJJ13263);江西农业大学科学研究基金自由申请项目。

作者简介:汪雨琴(1995—),女,江西乐平人,硕士研究生,主要从事土地资源管理研究。E-mail:1768815643@qq.com。

通信作者:余敦,博士,副教授,主要从事土地资源管理研究。E-mail:jxauyd@163.com。

[2]杨新兴,冯丽华,尉鹏. 大气颗粒物 PM<sub>2.5</sub> 及其危害[J]. 前沿科学,2012,6(1):22-31.

[3]Holmes N S,Morawska L,Mengersen K,et al. Spatial distribution of submicrometer particles and CO in an urban microscale environment[J]. Atmospheric Environment,2005,39(22):3977-3988.

[4]Yue W S,Li X L,Liu J F,et al. Characterization of PM<sub>2.5</sub> in the ambient air of Shanghai city by analyzing individual particles[J]. The Science of the Total Environment,2006,368(2/3):916-925.

[5]杨复沫,贺克斌,马永亮,等. 北京大气 PM<sub>2.5</sub> 中微量元素的浓度变化特征与来源[J]. 环境科学,2003,24(6):33-37.

[6]Chan Y C,Simpson R W,Mctainsh G H,et al. Characterization of chemical species in PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> aerosols in Brisbane, Australia[J]. Atmospheric Environment,1997,31(22):3773-3785.

[7]Rodríguez S,Querol X,Alastuey A,et al. Comparative PM<sub>10</sub>-PM<sub>2.5</sub> source contribution study at rural,urban and industrial sites during PM episodes in Eastern Spain[J]. Science of the Total Environment,2004,328(1/2/3):95-113.

[8]Schwartz J. Air pollution and daily mortality: a review and meta

analysis[J]. Environmental Research,1994,64(1):36-52.

[9]Powe N A,Willis K G. Mortality and morbidity benefits of air pollution (SO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub>) absorption attributable to woodland in Britain[J]. Journal of Environmental Management,2004,70(2):119-128.

[10]郭二果,王成,房城,等. 北京西山典型游憩林空气颗粒物不同季节的日变化[J]. 生态学报,2009,29(6):3253-3263.

[11]古琳,王成,王晓磊,等. 无锡惠山三种城市游憩林内细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)浓度变化特征[J]. 应用生态学报,2013,24(9):2485-2493.

[12]姚从容,陈魁. 城市环境空气质量变化规律及污染特征分析[J]. 干旱区资源与环境,2007,21(5):50-52.

[13]Latha K M,Highwood E J. Studies on particulate matter (PM<sub>10</sub>) and its precursors over urban environment of Reading, UK[J]. Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer,2006,101(2):367-379.

[14]陈博,王小平,刘晶岚,等. 不同天气下景观生态林内外大气颗粒物质量浓度变化特征[J]. 生态环境学报,2015,24(7):1171-1181.