

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2020.01.020

# 林芝市主城区典型生态用地空气质量评价<sup>①</sup>

高 郅<sup>1,2,3</sup>, 卢 杰<sup>1,2,3</sup>, 李江荣<sup>1,2,3</sup>, 韩晓浩<sup>1</sup>, 白玛央宗<sup>4</sup>

1. 西藏农牧学院高原生态研究所, 西藏 林芝 860000; 2. 青藏高原森林生态教育部重点实验室, 西藏 林芝 860000;  
3. 西藏林芝高山森林生态系统国家野外科学观测研究站, 西藏 林芝 860000; 4. 西藏自治区高原生物研究所, 拉萨 850000

**摘要:** 对林芝市主城区典型生态用地空气质量进行评价, 以期为其市政规划及旅游发展提供依据. 在市区选择典型生态用地, 监测其空气正负离子、温湿度及大气颗粒物, 采用单因素方差、多重比较及主成分分析等方法, 对其空气质量指标的动态变化及综合评价进行研究. 结果表明: ①不同季节空气负离子含量日变化均呈“单峰”型, 峰值出现在 14:00 左右; 不同季节温湿度指数的日变化同空气负离子的日变化一致, 夏季全天候均表现为舒适, 冬季全天候均表现为寒冷; 夏季及秋冬季节颗粒物(PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, TSP)日变化分别表现为“线性递减”和“幂函数”型曲线. 不同季节颗粒物含量达标率均在 50% 以上. ②空气负离子、温湿度指数季变化从大到小均为: 夏季、秋季、冬季, 而颗粒物含量季变化从小到大均为: 夏季、秋季、冬季; 不同季节各生态用地在空气负离子、温湿度指数、颗粒物含量中大小顺序不一. ③空气负离子、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、TSP、温湿度指数及温度在第一主成分中的载荷系数较大(0.8 以上), 其对第一主成分的影响较大; 绿地、水体空气质量优于湿地和对照点. 绿地、水体附近空气质量较好, 在市政规划时, 应尽可能多地融入绿化和动态水的设计, 夏季空气质量优于其他时间, 建议市民夏季多多出行.

**关键词:** 生态用地; 空气质量; 主成分; 主城区; 林芝市

**中图分类号:** X51

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-5471(2020)01-0130-08

空气质量是评价人类生存环境状况的一种指标, 也是旅游区域十分关心的一个问题, 空气质量的好坏与人类健康程度息息相关. 近年来, 生态环境日益恶化, 空气质量愈发降低, 空气质量越来越受到人们的关注. 目前对空气质量的研究内容多集中在以下 3 个方面: 一是以颗粒物为主的时空动态研究、影响因素分析和模型预测以及 AQI 指数的分析<sup>[1-5]</sup>, 二是以空气负离子含量为核心的空气质量评价模型<sup>[6]</sup>, 如安培空气质量评价系数、森林空气离子评价指数等, 三是以空气温度、相对湿度等气象指标为基准的舒适度分析<sup>[7-8]</sup>. 评价方法多集中在人工神经网络法、模糊聚类法、主成分分析法和空气污染指数法等<sup>[9]</sup>. 其中主成分分析法在空气质量评价等方面有着广泛的应用, 但研究内容多为颗粒物含量的影响因素<sup>[10]</sup>. 然而大气成分复杂且相互影响, 仅凭一项指标难以全面评价其空气质量, 也难以查找其影响因素及进行关联分析. 实际上, 主成分分析法是一种综合评价指数, 可以以降维的思想从多个角度出发, 全面分析空气质量及影响因素.

林芝素有蓝天白云、青山绿水, 风光旖旎, 气候适宜, 享有西藏“小江南”美誉, 每年吸引众多游客前来旅游. 但鲜有学者对林芝空气质量进行研究, 尤其是从多个角度出发, 全面评价空气质量. 本研究结合 3 个研究内容(颗粒物、空气负离子、舒适度), 采用主成分分析法研究林芝市主城区空气质量, 有利于了解其空气状况, 为市政规划提供参考, 促进旅游业的发展及西藏生态安全屏障的构建. 同时, 对于提高人们健康水平有着重要的现实意义.

① 收稿日期: 2019-05-22

基金项目: 藏东南林线微气候特征及其对天然更新的影响(XZ2018ZRG-16); 西藏农牧学院研究生创新计划项目(YJS2018-12).

作者简介: 高 郅(1993-), 女, 硕士研究生, 主要从事高原(高山)群落和种群生态研究.

通信作者: 卢 杰, 教授, 硕士研究生导师.

## 1 研究区概况

林芝(26°52′—30°40′N, 92°09′—98°47′E)位于西藏东南部,雅鲁藏布江中下游,森林覆盖率为46.09%,是我国第三大林区,海拔3 000 m左右,冬暖夏凉,属于温带湿润和半湿润气候,有“小江南”之称<sup>[11]</sup>。降雨集中在6—9月,年降雨量650 mm左右,年均温度8.7℃,年均日照2 022 h,无霜期180 d,林芝市区位于河谷地带,周围被比日神山等山体围绕,常年受峡谷风影响。

## 2 材料与方法

### 2.1 观测点选择

依据样地选择的代表性、均匀性、全面性等原则,选择福建公园、厦门广场、湿地公园、尼洋河公园作为观测样地,每个样地选取1个监测点,观测样地概况如表1所示。

### 2.2 观测指标及方法

2018年6月至2019年2月,每个月在晴朗、微风的天气对各生态用地进行连续3天的数据采集,每天9:00—18:00连续同步监测空气正负离子、温湿度及大气颗粒物(PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、TSP)指标。以6,7,8月为夏季,9,10,11月为秋季,12月及次年1月、2月为冬季。文中数据均以均值代表。

其中空气正负离子、空气温度、相对湿度指标均采用COM3200PRO II测定,并用电脑存储,观测时仪器架在三脚架上距地面约1.5 m,每小时均进行东、西、南、北4个方向循环监测,2 s记录一个数值,每小时有1 800个数据。

大气颗粒物采用Aerocet 531S监测,其有6个通道,可监测PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、TSP等6个指标,每分钟记录一个数据,每小时有60个数据。评定标准参照《环境空气质量标准》(GB3095-2012)中国家二级颗粒物含量标准。

温湿度指数(Temperature Humidity Index, *THI*)是反映人体与环境热量交换,在一定程度上也能够体现人体的舒适度,计算公式<sup>[12-13]</sup>:

$$THI = T - 0.55 \cdot (1 - RH) \cdot (T - 14.4) \quad (1)$$

式中:*THI*为该时段的温湿指数;*T*为该时段平均气温(℃);*RH*为该时段平均相对湿度(%).舒适度等级划分如表2所示。

表 1 观测样地概况

观测样点	地理坐标	生态用地类型	空间类型	下垫面	主要植物
福建公园	94°21′57″E 29°39′08″N	绿地	非开阔	草地+乔木	水杉、垂柳
厦门广场	94°21′29″E 29°39′46″N	对照点	开阔	水泥地	—
湿地公园	94°21′55″E 29°38′44″N	湿地	开阔	草地+乔木	垂柳
尼洋河公园	94°21′21″E 29°38′39″N	水体	开阔	草地+乔木+水体	垂柳

表 2 人居环境舒适度等级划分

等级	<i>THI</i>	舒适度
I	<14.0	寒冷
II	14.0~16.9	冷
III	17.0~25.4	舒适
IV	25.5~27.5	热
V	>27.5	闷热

### 2.3 数据处理

数据统计及处理采用SPSS 17.0和Excel2013软件。通过单因素方差和多重比较检验不同季节4种生态用地各指标的差异性;从外界环境对人体健康的正效应和负效应及人体感官3个方面出发,以空气正负离子、空气温度(*T*)、相对湿度(*HR*)、颗粒物(PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、TSP)及温湿度指数(*THI*)等为指标,经过主

成分分析得到 KMO 和 Bartlett 的球形度检验结果、特征值和方差贡献率、因子载荷矩阵和因子得分系数矩阵, 最终由公式(1)和(2)得到林芝市主城区各生态用地空气质量的综合指数<sup>[14]</sup>.

$$SFQAV = \sum a_i z_i \quad (2)$$

$$z_i = \sum w_{ij} x_{ij} \quad (3)$$

式中:  $SFQAV$  为空气质量综合指数;  $a_i$  为各因子的方差贡献率;  $z_i$  为主成分因子得分;  $w_{ij}$  为第  $i$  个变量在第  $j$  个因子处的得分系数;  $x_{ij}$  为第  $i$  个变量在第  $j$  个因子处的标准化值.

## 3 结果与分析

### 3.1 不同季节空气质量指标日变化

#### 3.1.1 不同季节空气负离子含量日变化

空气负离子具有杀菌除尘、净化空气的功效, 成为评价空气质量的指标之一<sup>[15]</sup>. 林芝市主城区空气负离子含量日变化呈“单峰”型, 但不同季节峰值出现的时间不同(图 1a). 夏季空气负离子含量较高, 日变化幅度较小, 13:00 达到最大值(1 121 个/cm<sup>3</sup>), 一天之内有 70% 的时间, 空气负离子含量达到世界卫生组织规定的空气清新标准. 秋冬季节日变化幅度较大, 最大值分别出现在 14:00(1 107 个/cm<sup>3</sup>)和 15:00(1 054 个/cm<sup>3</sup>). 各时刻空气负离子含量从大到小均表现为: 夏季、秋季、冬季.

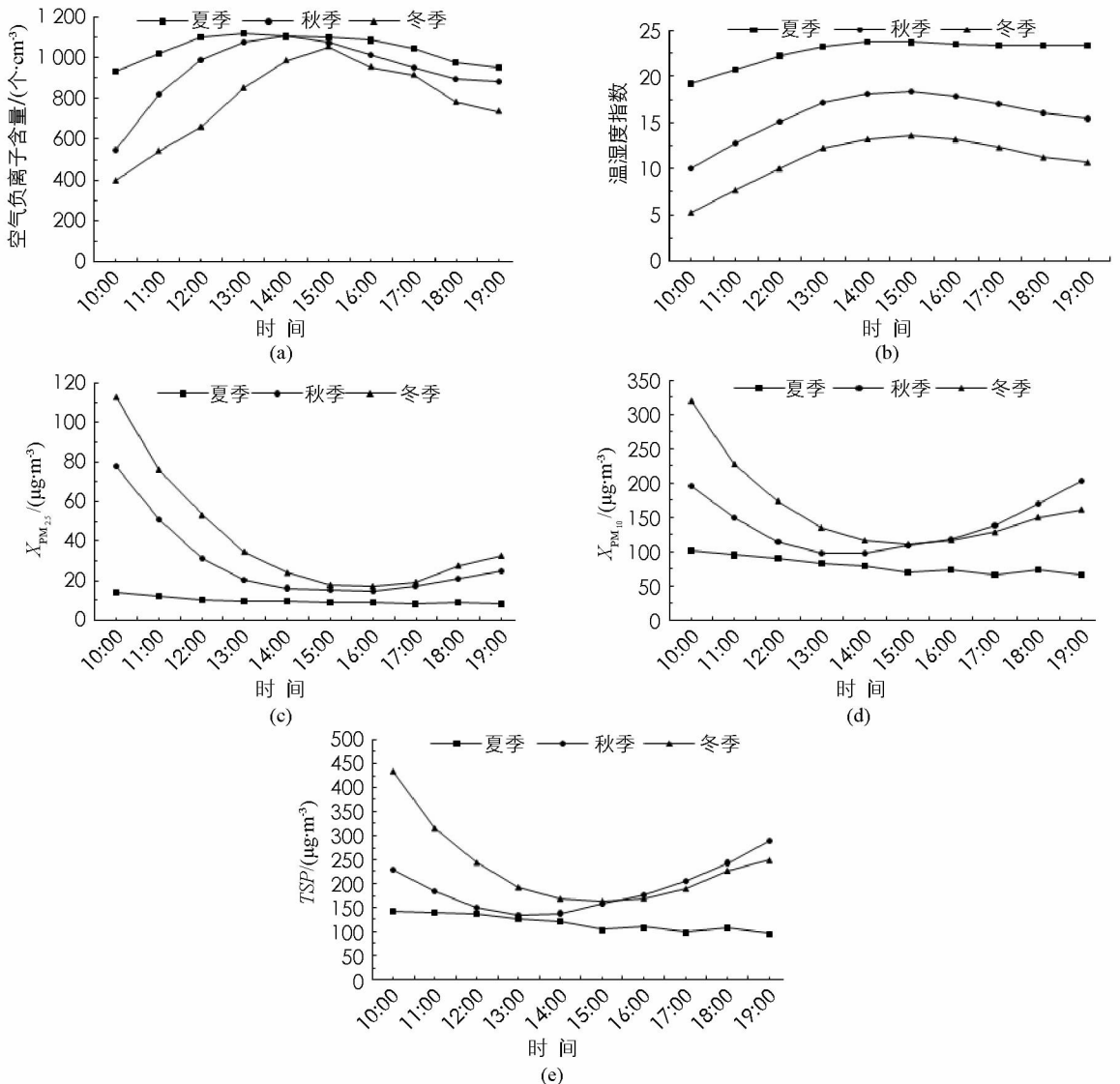


图 1 不同季节空气质量指标日变化

### 3.1.2 不同季节温湿度指数日变化

温湿度是人们对外界环境冷暖的感知, 是人体的一种舒适度表现, 同时也是环境状况的评价指标<sup>[16]</sup>. 林芝市主城区不同季节 *THI* 的日变化也呈“单峰”型(图 1b), 每一时刻温湿度指数从大到小均为: 夏季、秋季、冬季. 夏季各时刻的 *THI* 均在 17.0~25.4(Ⅲ等级)的舒适范围内. 秋季在 10:00 和 11:00 为寒冷, 其他时间舒适度均表现为冷. 冬季全天的 *THI* 均属于寒冷(<14.0).

### 3.1.3 不同季节颗粒物日变化

颗粒物是大气的主要污染物, 对人体有不同程度的负面影响<sup>[17-18]</sup>. 林芝市主城区不同粒径的颗粒污染物( $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ , TSP)夏季日变化均表现为“线性递减”型曲线, 秋冬季节日变化均表现为“幂函数”型曲线(图 1c,d,e). 秋冬季节的  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  和 TSP 含量随时间先降低, 至 14:00 达到最低值, 之后又增加. 除秋季的 10:00 和冬季的 10:00, 11:00 外, 其他时刻  $PM_{2.5}$  含量均低于国家标准中Ⅱ类功能区的标准( $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 夏秋冬  $PM_{2.5}$  日达标率分别为 100%, 90% 和 80%. 夏季全天、秋季的 11:00—16:00 及冬季的 13:00—17:00 的  $PM_{10}$  含量均小于国家标准中Ⅱ类功能区的标准( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ),  $PM_{10}$  日达标率分别为 100%, 60% 和 50%. 除秋季 19:00 和冬季的 10:00—11:00 外, 其他时间 TSP 含量全部低于国家标准中Ⅱ类功能区的标准( $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 夏秋冬 TSP 日达标率分别为 100%, 90% 和 80%.

## 3.2 典型生态用地空气质量指标季变化

### 3.2.1 典型生态用地空气负离子含量季变化

各生态用地微环境各异, 其空气负离子含量亦有差别(图 2a). 夏冬季节各生态用地空气负离子含量从大到小顺序均为: 水体、绿地、对照点、湿地, 秋季从大到小则为: 绿地、水体、对照点、湿地. 总体上, 不同季节水体与湿地、对照点差异有统计学意义( $p < 0.05$ ), 与绿地差异无统计学意义( $p > 0.05$ ). 各生态用地 3 个季节的平均空气负离子含量从大到小顺序为: 水体( $1\,056 \text{ 个}/\text{cm}^3$ )、绿地( $982 \text{ 个}/\text{cm}^3$ )、对照点( $875 \text{ 个}/\text{cm}^3$ )、湿地( $776 \text{ 个}/\text{cm}^3$ ). 不同生态用地各季节的空气负离子含量从大到小依次为: 夏季、秋季、冬季, 绿地、对照点、湿地、水体的空气负离子含量最高的季节比最低的季节分别高出 208, 255, 215 和 323  $\text{个}/\text{cm}^3$ .

### 3.2.2 典型生态用地温湿度指数季变化

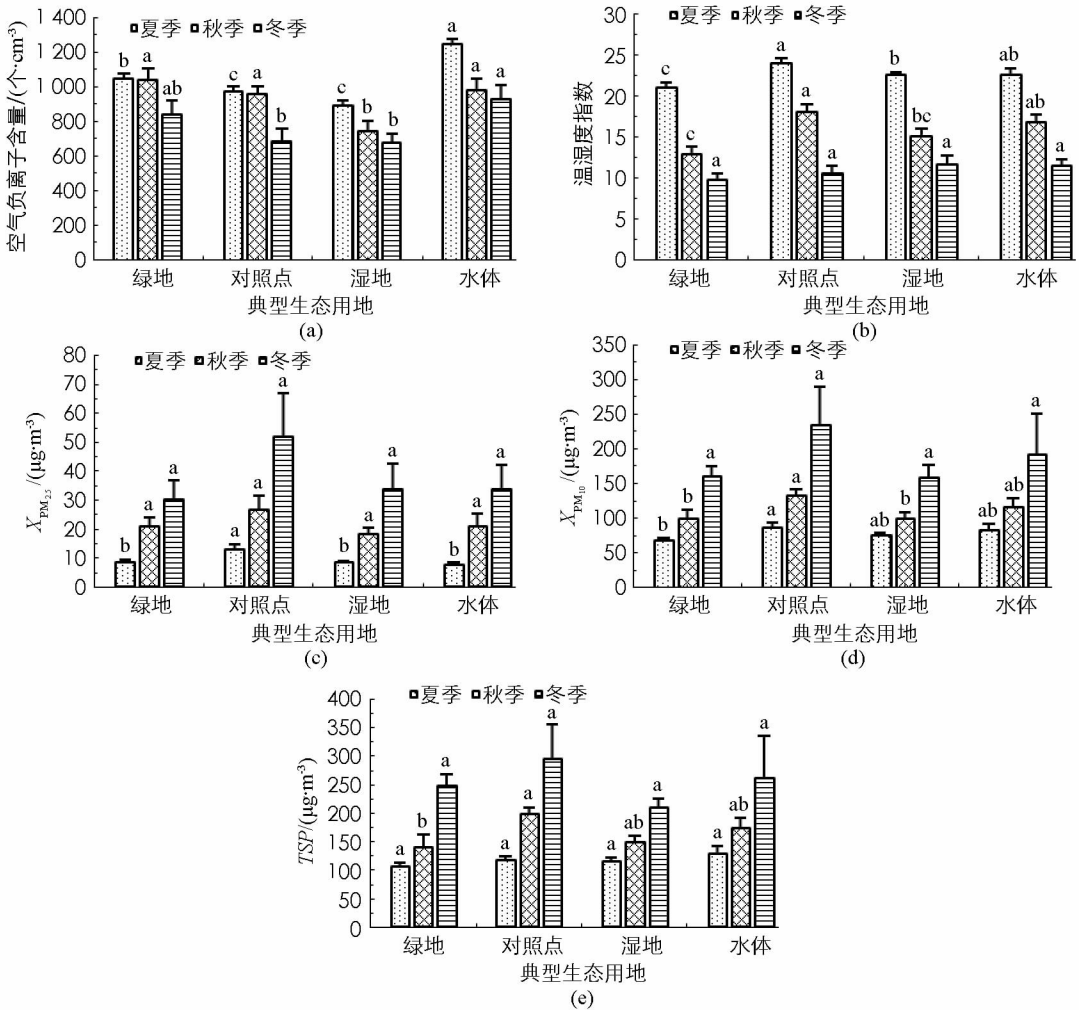
不同微环境下的生态用地, 其 *THI* 均存在差异(图 2b). 夏秋季节各生态用地的 *THI* 指数从大到小顺序均为: 对照点、水体、湿地、绿地, 冬季从大到小则为: 湿地、水体、对照点、绿地. 夏秋季节, 对照点与绿地、湿地差异有统计学意义( $p < 0.05$ ), 与水体差异无统计学意义( $p > 0.05$ ); 冬季 4 种生态用地差异均无统计学意义( $p > 0.05$ ). 夏季 4 种生态用地均表现为舒适, 秋季仅对照点和水体表现为舒适, 冬季 4 种生态用地均表现为不舒适, 甚至为寒冷. 不同生态用地各季节的 *THI* 从大到小均为: 夏季、秋季、冬季, 同空气负离子含量结果一致.

### 3.2.3 典型生态用地颗粒物含量季变化

不同生态用地  $PM_{2.5}$  季变化夏秋冬季节  $PM_{2.5}$  含量均表现为对照点最高, 分别为 13.22, 26.97 和 52.13  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 水体  $PM_{2.5}$  含量在夏季处于最后, 在秋冬季节居于第二, 但均与绿地和湿地相差不大. 除夏季对照点与其他生态用地差异有统计学意义外( $p < 0.05$ ), 秋冬季节各生态用地间差异均无统计学意义( $p > 0.05$ ). 各生态用地  $PM_{2.5}$  含量随夏秋冬季节变化逐渐升高, 但均小于国家标准中Ⅱ类功能区的标准( $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )(图 2c,d,e).

不同生态用地  $PM_{10}$  季变化夏秋冬季节  $PM_{10}$  含量最高的生态用地亦均为对照点, 分别为 86.82, 134.21, 235.84  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 水体次之. 夏秋季对照点和水体差异无统计学意义( $p > 0.05$ ), 与绿地差异有统计学意义( $p < 0.05$ ), 冬季各生态用地差异均无统计学意义( $p > 0.05$ ). 各生态用地  $PM_{10}$  含量随夏秋冬季节变化逐渐升高, 除冬季外, 夏秋季节各生态用地的  $PM_{10}$  含量均小于国家标准中Ⅱ类功能区的标准( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )(图 2).

不同生态用地 TSP 季变化夏季 TSP 水体含量最高( $128.27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 秋冬季对照点最高( $197.76$ ,  $295.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 除秋季绿地和对照点差异有统计学意义外( $p < 0.05$ ), 其他生态用地间差异均无统计学意义( $p > 0.05$ ). 各生态用地 TSP 含量随夏秋冬季节变化逐渐升高, 但均小于国家标准中Ⅱ类功能区的标准( $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )(图 2).



同种填充上不同字母表示不同生态用地间差异有统计学意义  $p < 0.05$ , 相同字母表示差异无统计学意义  $p > 0.05$ .

图 2 典型生态用地空气质量指标季变化

### 3.3 空气质量综合分析

由主成分分析结果可知, KMO 为 0.72, Bartlett 的球形度检验  $sig = 0.00$ , 特征值的累计贡献率为 76.04%, 表明其适用于主成分分析. 根据特征值  $> 1$  的选取原则, 选取了 2 个主成分. 各主成分的特征值、贡献率如表 3 所示.

第一主成分贡献率达 59.29%, 其中空气负离子、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、TSP、THI 及 T 在第一主成分中的载荷系数较大(0.8 以上), 表明该主成分主要受其支配, 空气负离子、THI 及 T 的载荷系数为正, 表明其对该主成分影响为正; 颗粒物的载荷系数全部为负, 表明其对该主成分的贡献为负. 第二主成分贡献率为 16.75%, 空气正离子和相对湿度的载荷系数较大, 其中空气正离子的载荷系数为负, 对其发挥负向效应, 而相对湿度的载荷系数为正, 对其发挥正向效应.

由空气质量综合得分计算结果可知(表 4), 各生态用地不同季节的综合得分从大到小顺序均为: 夏季、秋季、冬季. 不同季节各生态用地的空气质量大小顺序不同, 夏季、秋季、冬季各生态用地空气质量的从大到小顺序分别为: 水体、对照点、湿地、绿地, 水体、绿地、对照点、湿地, 绿地、水体、湿地、对照点.

表 3 林芝市主城区典型生态用地空气质量因子载荷矩阵及特征值、贡献率

指标	空气负离子	X <sub>PM<sub>2.5</sub></sub>	X <sub>PM<sub>10</sub></sub>	TSP	THI	空气正离子	T	HR	特征值	贡献率/%
主成分 1	0.82	-0.92	-0.90	-0.88	0.85	0.46	0.85	0.09	4.74	59.29
主成分 2	-0.14	0.13	-0.02	-0.06	0.22	-0.64	0.22	0.89	1.34	16.75

表 4 林芝市主城区典型生态用地空气质量综合得分

生态用地	夏季	秋季	冬季	平均
绿地	218.53	31.07	-205.22	14.80
对照点	272.33	19.39	-357.36	-21.88
湿地	230.18	-118.18	-226.24	-38.08
水体	285.15	60.39	-210.30	45.078

## 4 讨 论

### 4.1 空气负离子动态分析

不同季节空气负离子含量日变化均呈“单峰”型, 峰值出现在 14:00 左右, 夏季含量较高, 冬季含量最低, 这与部分学者的研究结果相同<sup>[19-21]</sup>, 可能与温度、紫外辐射有关, 夏季温度高、紫外辐射强, 有利于空气负离子的产生, 另外夏季尼洋河河水充沛、流速大, 能够较好地发挥水体的勒纳德效应, 有研究表明, 动态水能明显增加空气负离子的含量<sup>[22]</sup>.

不同季节绿地和水体的空气负离子含量较高, 湿地的空气负离子含量最低, 这主要与生态用地的微环境有关, 绿地下垫面为植被, 水体位于尼洋河旁边, 植被的光合作用、光电效应及水分子的勒纳德效应能够提高空气负离子含量<sup>[23]</sup>; 湿地空气负离子含量小于对照点, 主要是与空间布局有关, 对照点位于三岔口地带, 受河谷风影响较大, 在观测过程中, 有风时明显高于无风时.

### 4.2 THI 动态分析

不同季节 THI 日变化同空气负离子一样, 也为“单峰”型, 中午达到最高值, 且从大到小依次为: 夏季、秋季、冬季, 这主要是因为林芝属于温带半湿润气候, 夏季温度高, 并且处于雨季的丰沛期, 形成了夏季温湿度的 100% 舒适, 与丁焯毅等<sup>[8]</sup>对宁波市夏季的日动态变化一致, 但与其舒适程度不同, 这与研究区地理位置及气候有关. 冬季平均气温及早晚温度低, 空气干燥, 形成了冬季 100% 的寒冷, 令人感到不舒服. 不同季节各生态用地 THI 大小各异, 这主要与生态用地所处的空间格局有关. 对照点、湿地、水体均处于开阔地带, 观测期间在光照下直射; 绿地设在水杉树下, 植被发挥降温增湿的作用, 其 THI 在各季节均小于其他 3 个生态用地.

### 4.3 颗粒物动态分析

夏季颗粒物日变化为“线性递减”型曲线, 与尹延震等<sup>[24]</sup>对南阳市  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  在 10:00—19:00 的变动趋势一致. 秋冬季节均表现为“幂函数”型曲线, 随着时间的变化, 颗粒物含量先降低, 14:00 左右达到最低, 之后又增加, 这与赵晨曦等<sup>[25]</sup>对北京地区的冬季 10:00—19:00 的规律相似, 可能是早晚温度低、空气湿度大, 颗粒物不易扩散, 植被光合作用弱, 滞尘能力降低<sup>[13]</sup>, 加之人们的活动增强, 颗粒物含量较高; 中午左右温度高, 空气流动性增强, 植被光合作用较强, 颗粒物含量较低<sup>[26-27]</sup>.

各生态用地不同季节的颗粒物含量从大到小顺序均为: 夏季、秋季、冬季, 这与部分学者研究结果相同<sup>[3,28-30]</sup>, 主要与地区气候、植被的生理特性及人们的生产生活有关. 冬季为枯水期, 空气干燥, 取暖频繁, 植被处于休眠期, 滞尘能力不断减弱, 但生尘能力增强, 颗粒物含量较高. 夏秋季节为雨季, 尤其是夏季雨水充沛, 雨水对空气有淋洗作用, 可以使颗粒物沉降, 同时植被生长旺盛, 滞尘能力也较强; 秋季处于雨季末期, 植被逐渐落叶, 但仍会受到雨水和植被的影响, 滞尘能力强于冬季, 劣于夏季.

总体上, 夏秋冬季节对照点、水体的颗粒物含量较高, 绿地、湿地的颗粒物含量较低, 可能是对照点临近交通区, 受汽车尾气排放的颗粒物影响较大, 颗粒物含量较高; 水体监测点靠近尼洋河, 空气湿度大, 颗粒物不易扩散, 并且其下垫面植被稀疏, 降尘效果较差, 颗粒物含量仍较高. 绿地、湿地监测点内的植被发挥了固碳释氧、降尘效应, 颗粒物含量较低.

### 4.4 基于主成分分析的空气质量管理

由主成分综合得分可知, 不同季节, 各生态用地的空气质量优劣顺序不同, 夏秋季节水体空气质量最好, 冬季绿地空气质量最好. 夏秋季节恰逢林芝雨水的丰沛期, 水位上涨且流速大, 水体的勒纳德效应显著, 水体空气质量好; 冬季河水枯竭, 植被的光合效应和光电效应发挥主导地位, 绿地空气质量好. 不同季节的空气质量指数大小顺序与空气负离子及 THI 相同, 与颗粒物相反, 反映了空气质量主要受空气负离

子、*THI* 正向及颗粒物的负向影响;也同其他地区以空气负离子为空气质量评价标准的结果相同<sup>[31]</sup>,表明该方法适用于空气质量评价。

本研究对林芝市主城区典型生态用地的夏秋冬 3 季空气质量进行了初步研究,总体上对林芝市主城区的空气质量情况有一定的了解,对西藏生态旅游有一定的指导意义。春季以及长期的监测、分析会在后续工作中进行研究。

## 5 结 论

每个季节不同生态用地在空气负离子、*THI*、颗粒物含量各指标中大小顺序不一,从季节上来看,各指标优劣程度从大到小均表现为:夏季、秋季、冬季;从日变化来看,中午优于早晚;从生态用地类型来看,绿地、水体优于对照点和湿地,因此,建议市民多在每个季节的中午至下午出行,绿地、水体是首选游憩地,今后市政规划应多加入绿化、动态水的设计思想;外来游客的最佳旅游时间为夏季。空气质量的影响因素主要是空气负离子含量、温湿度指数和颗粒物含量。

## 参考文献:

- [1] HU Y T, CHANG M E, RUSSELL A G, et al. Using Synoptic Classification to Evaluate an Operational Air Quality Forecasting System in Atlanta [J]. Atmospheric Pollution Research, 2010, 1(4): 280-287.
- [2] HU J L, YING Q, CHEN J J, et al. Particulate Air Quality Model Predictions Using Prognostic Vs. Diagnostic Meteorology in Central California [J]. Atmospheric Environment, 2010, 44(2): 215-226.
- [3] 李 敏, 何红弟. 上海市大气环境中  $PM_{2.5}$  与其他污染物相关性研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(10): 127-134.
- [4] 倪 超, 李新江, 向 涛, 等. 重庆涪陵大气污染物特征及其与气象要素的关系 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2018, 43(9): 123-130.
- [5] 王棚飞. 重庆市主城区大气污染物现状评价及影响因素分析 [D]. 重庆: 西南大学, 2018.
- [6] 吴明作, 王江彦, 李小伟, 等. 郑州市公园绿地春季空气质量评价 [J]. 西南林业大学学报, 2011, 31(3): 22-26.
- [7] 李紫玉, 赵居双, 王 莹. 阜阳市近 63 年人体舒适度变化特征分析 [J]. 安徽农学通报, 2018, 24(24): 116-119.
- [8] 丁焯毅, 杨 栋, 胡 波, 等. 基于累积时数的夏季人居环境舒适度评判模型: 以宁波市为例 [J]. 中国农学通报, 2018, 34(33): 129-134.
- [9] 李毓峰, 尤翠玲, 刘金福, 等. 基于模糊综合评判和主成分分析的福州市空气质量评价 [J]. 武夷学院学报, 2018, 37(9): 39-44.
- [10] 盛永财, 孜比布拉·司马义, 李 颖. 气象因素对乌鲁木齐市城区空气质量的影响 [J]. 环境工程, 2018, 36(5): 78-83.
- [11] 卢 杰, 兰小中, 罗 建. 林芝地区珍稀濒危藏药植物资源调查与评价 [J]. 资源科学, 2011, 33(12): 2362-2369.
- [12] 中国国家标准化管理委员会. 人居环境气候舒适度评价: GB/T27963-2011 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [13] 杜万光, 王 成, 王 茜, 等. 北京香山公园主要植被类型的夏季环境效应评价 [J]. 林业科学, 2018, 54(4): 155-164.
- [14] JIN Z Z, LEI J Q, XU X W, et al. Evaluation of Soil Fertility of the Shelter-forest Land along the Tarim Desert Highway [J]. Science Bulletin, 2008, 53(S2): 125-136.
- [15] RYUSHI T, KITA I, SAKURAI T, et al. The Effect of Exposure to Negative Air Ions on the Recovery of Physiological Responses after Moderate Endurance Exercise [J]. International Journal of Biometeorology, 1998, 41(3): 132-136.
- [16] 辛学飞, 韩 琳, 黄 骏, 等. 两种人体舒适度评定方法在张家界国家森林公园的对比应用及检验 [J]. 高原山地气象研究, 2015, 35(4): 76-80.
- [17] 戴海夏, 宋伟民, 高 翔, 等. 上海市 A 城区大气  $PM_{10}$ 、 $PM_{2.5}$  污染与居民日死亡数的相关分析 [J]. 卫生研究, 2004, 33(3): 293-297.
- [18] POPE C A III. Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution [J]. JAMA, 2002, 287(9): 1132.
- [19] 邵海荣, 贺庆棠, 阎海平, 等. 北京地区空气负离子浓度时空变化特征的研究 [J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(3): 35-39.
- [20] 丰一鸣. 城市生态系统不同生境空气负氧离子浓度时空特征 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017.
- [21] 黄彦柳, 陈东辉, 陆 丹, 等. 空气负离子与城市环境 [J]. 干旱环境监测, 2004, 18(4): 208-211.
- [22] 王 薇, 余 庄, 冀凤全. 基于空气负离子浓度的城市环境空气清洁度评价 [J]. 生态环境学报, 2013, 22(2): 298-303.

- [23] 赵怡宁, 史常青, 许荡飞, 等. 崇礼区典型林分空气负离子浓度及影响因素 [J]. 林业科学研究, 2018, 31(3): 127-135.
- [24] 尹延震, 王 苗, 王静远, 等. 南阳市 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 污染特征及其与气象因子的关系 [J]. 干旱环境监测, 2018, 32(1): 12-18.
- [25] 赵晨曦, 王云琦, 王玉杰, 等. 北京地区冬春 PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub> 污染水平时空分布及其与气象条件的关系 [J]. 环境科学, 2014, 35(2): 418-427.
- [26] LING X, JAYARATNE R, MORAWSKA L. Air Ion Concentrations in Various Urban Outdoor Environments [J]. Atmospheric Environment, 2010, 44(18): 2186-2193.
- [27] 张福金, 陈锡林, 宋 玲, 等. 环境污染对空气负离子浓度影响的实验观察 [J]. 中国康复, 1988(4): 172-175.
- [28] HE K B, YANG F M, MA Y L, et al. The Characteristics of PM<sub>2.5</sub> in Beijing, China [J]. Atmospheric Environment, 2001, 35(29): 4959-4970.
- [29] KIM O N T, UPADHYAY N, ZHUANG Y H, et al. Particulate Air Pollution in Six Asian Cities: Spatial and Temporal Distributions, and Associated Sources [J]. Atmospheric Environment, 2006, 40(18): 3367-3380.
- [30] 那雅欣. 乌鲁木齐主城区大气颗粒物的时空分布及影响因素研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2018.
- [31] 华 超. 千岛湖不同森林群落气候舒适度和空气质量研究 [D]. 杭州: 浙江农林大学, 2011.

## Air Quality Evaluation of Typical Ecological Land in the Main Urban Area of Nyingchi City

GAO Tan<sup>1,2,3</sup>, LU Jie<sup>1,2,3</sup>,  
LI Jiang-Rong<sup>1,2,3</sup>, HAN Xiao-Hao<sup>1</sup>, BAIMA Yang-zong<sup>4</sup>

1. Res. Institute of Tibet Plateau Ecology, Tibet Agriculture & Animal Husbandry University, Nyingchi Tibet 860000, China;

2. Key Laboratory of Forest Ecology in Tibet Plateau (Tibet Agriculture & Animal Husbandry University), Ministry of Education, Nyingchi Tibet 860000, China;

3. National Key Station of Field Scientific Observation & Experiment, Nyingchi Tibet 860000, China;

4. Tibet Plateau Institute of Biology, Lhasa 850000, China

**Abstract:** The air quality of typical ecological land in the main urban area of Nyingchi City is evaluated to provide a basis for its municipal planning and tourism development. In the urban area, the typical ecological land was selected, and whose positive and negative air ions, temperature and humidity, and atmospheric particulate matter were monitored. The dynamic changes and comprehensive evaluation of air quality indicators were studied by one-way ANOVA, multiple comparative and principal component. The results show that ① The daily variation of negative air ions concentration in different seasons was “single peak” type, and the peak time appears at around 14:00. The diurnal dynamics of temperature humidity index in different seasons was consistent with the daily variation of negative air ions, which were comfortable in all weather in summer and cold in all weather in winter. The daily variation of particulate matter (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, TSP) in summer and autumn and winter was “linear decreasing” and “power function” curve, respectively. The target rate of particulate matter in different seasons was above 50%. ② The seasonal changes of negative air ion and temperature and humidity index were reducing as follows: summer, autumn, winter, while the seasonal variation of particulate matter concentration was opposite. Different ecological land in different seasons had different sizes in the above indicators. ③ Negative air ions, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, TSP, temperature humidity index and temperature had large load factors (0.8 or more) in the first principal component, which had a great influence on first principal component. The air quality of green space and water body was better than wet land and open space. The green space and water body have good air quality. In the municipal planning, as much as possible to integrate the design of green and dynamic water. Summer air quality is better than other times, it is recommended that the public travel a lot in summer.

**Key words:** ecological land; air quality; principal component; main city zone; Nyingchi City