

## 衢州大橘海森林公园空气负离子浓度变化

张建国<sup>1</sup>, 徐文俊<sup>2</sup>, 崔会平<sup>1</sup>, 梅阳阳<sup>1</sup>, 蔡碧凡<sup>1</sup>

(1. 浙江农林大学 旅游与健康学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江省衢州市林业技术推广站, 浙江 衢州 324002)

**摘要:** 以空气负离子为指标评价旅游环境质量, 对于景区开发建设和游客活动选择具有重要意义。2010年10月至2012年9月, 利用空气负氧离子测量仪, 对浙江省衢州大橘海省级森林公园旅游环境质量进行了监测, 并借助相应的方法对其空气质量作了评价, 分析空气负离子浓度与环境因子的关系。结果表明: 空气负离子年平均浓度大小顺序为: 石梁溪堰坝>幽静山道>农家庭院>柑橘观光园>村落广场, 空气质量评价指数( $I_{AQ}$ )值均大于1.0, 属于最清洁空气; 5个监测样地的空气负离子浓度月间变化规律基本一致, 1年之中出现2个峰值, 分别为1月和9月; 不同季节的负离子浓度变化存有明显差异, 夏、秋大于冬、春, 夏季最高, 春季最低; 除2月和3月外, 其他月份的空气质量等级均为B以上, 空气清洁度较清洁; 除2月、3月和5月外可吸入颗粒物( $PM_{10}$ )浓度均低于国家环境空气质量标准的二级标准( $150 \mu g \cdot m^{-3}$ ), 符合居住区的标准; 对空气负离子与其他气象因子的相关分析显示, 空气负离子与气温、相对湿度显著正相关( $P < 0.01$ ), 与 $PM_{10}$ 显著负相关( $P < 0.01$ )。图6表5参12

**关键词:** 森林生态学; 空气负离子; 评价; 大橘海森林公园; 衢州

中图分类号: S718.51 文献标志码: A 文章编号: 2015-0756(2016)01-0026-07

## Air anions concentration variation in Forest Park of Citrus Groves in Quzhou

ZHANG Jianguo<sup>1</sup>, XU Wenjun<sup>2</sup>, CUI Huiping<sup>1</sup>, MEI Yangyang<sup>1</sup>, CAI Bifan<sup>1</sup>

(1. School of Tourism and Health, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. Forest Extension Station of Quzhou City, Quzhou 324002, Zhejiang, China)

**Abstract:** Evaluating the tourism environmental quality on the basis of aero anion is important to the development of scene spot and helping tourists selecting activities. We measured the environmental quality of the Quzhou Provincial Forest Park of Citrus Groves in Oct.10, 2010 to Spt. 9, 2012 by aero anion measuring instrument, and analyzed the relations between aero-anion concentration and environment factors. The result shows that the aero-anion concentration of Shiliangxi Barrage is the highest and followed by Quite Mountain Road, Courtyard, Citrus Touring and Rural Square, all of which are in the clean air class with the  $I_{AQ} > 1.0$ . The monthly changing of the aero-anion concentration in the five sample plots is almost the same, with two peak value in January and September, but changing significantly in different seasons, with summer and autumn higher than spring and winter. The air quality grade is above B, except February and March. The concentration of  $PM_{10}$  is below the secondary standard NAAQS (GB 3095-1996) ( $150 \mu g \cdot m^{-3}$ ), meeting residential standard. A correlation analysis showed an significant ( $P < 0.01$ ) positive correlation between air anion concentration and temperature and relative humidity, a significant ( $P < 0.01$ ) negative correlation between air anion concentration and particulate matter( $PM_{10}$ ). [Ch, 6 fig. 5 tab. 12 ref.]

**Key words:** forest ecology; air anion; evaluation; Forest Park of Citrus Groves; Quzhou

收稿日期: 2015-05-21; 修回日期: 2015-09-05

基金项目: 浙江省科学技术面上项目(2008C32021); 浙江省自然科学基金资助项目(LQ15D010003)

作者简介: 张建国, 副教授, 博士, 从事休闲农业规划设计与生态旅游环境管理等研究。E-mail: zhangjianguo2004@163.com

空气质量直接关系着旅游环境质量。空气负离子是评价空气质量的一个重要指标<sup>[1]</sup>，其浓度的大小直接影响旅游环境的质量。空气负离子是一种无形的森林资源，又是一种客观存在的生态环境资源，具有杀菌、降尘、清洁空气、提高免疫力和调节机能平衡的功效，被誉为“空气维生素和生长素”<sup>[2-3]</sup>。空气负离子浓度越高，空气越清洁，人体感觉就越舒服<sup>[4]</sup>。因而，空气负离子浓度的研究成为相关学术界的关注热点问题，已经成为评价空气清洁度、森林沐浴、农家乐等旅游项目开发的重要依据之一<sup>[5]</sup>。衢州市大橘海森林公园景观优美，空气清新，已经成为衢州市市民观光休闲度假的重要旅游目的地。我们曾从旅游资源的吸引力侧面研究了浙江省衢州市大橘海森林公园的优美的橘海景观和古朴的乡村风情<sup>[6]</sup>，但是有关衢州市大橘海森林公园空气质量的时空变化规律尚未进行研究。研究衢州市大橘海森林公园空气负离子与空气质量的变化规律，旨在为乡村旅游资源开发和空气环境质量评价与保护提供参考，为引导人们户外活动提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地概况

浙江省衢州市大橘海森林公园地处衢州市柯城区石梁镇(28.96°N, 118.87°E)境内，核心区优质柑橘 *Citrus reticulata* 林达 66.7 hm<sup>2</sup>。除了大面积的柑橘园外，还有常绿阔叶林、马尾松 *Pinus massoniana* 针叶林、针阔叶混交林等植被类型，森林覆盖率为 90%。属亚热带季风气候区，常年平均气温为 16.3~17.3 °C，1 月平均气温 4.5~5.3 °C，极端最低气温-11.4 °C，7 月平均气温 27.6~29.2 °C，极端最高气温 41.8 °C。3~6 月为多雨期，多年平均年降水量为 1 843.0 mm。河流石梁溪穿村而过，优美的橘海景观和古朴的乡村风情是吸引游客的重要旅游资源<sup>[6]</sup>。

### 1.2 研究方法

1.2.1 监测样地 根据旅游功能不同分区，本研究在大橘海森林公园内选择了农家庭院、村落广场、柑橘观光园、石梁溪堰坝和幽静山道等 5 处具有代表性的景点作为监测点。具体情况如表 1 所示。该森林公园的主要植被是柑橘，除了村庄、道路、河流以外，95%的土地被柑橘园覆盖，因此柑橘生态系统是该森林公园的代表性景观；少量山体上部为混交林覆盖，幽静山道即为混交林山地林中。这 5 个选点为大橘海森林公园中游客的主要活动场所，其环境质量能够比较好地代表旅游环境质量。

表 1 大橘海森林公园各监测样地的描述

Table 1 Description of sample plot in Forest Park of Citrus Groves

序号	地点	监测样地描述
1	农家庭院	该农家庭院坐落在村子中心位置，面积为 45 m <sup>2</sup> ，三面混泥土结构房屋高度均为 10.0 m，一面为院门。院中搭有栝楼 <i>Trichosanthes kirilowii</i> 架，还有一个花坛栽植有梔子 <i>Gardenia jasminoides</i> ，香泡 <i>Citrus medica</i> ，桂花 <i>Osmanthus fragrans</i> 等。院门口有一条穿村而过的小水沟。
2	村落广场	该广场水泥硬化地，东北边栽有 2 株 2.7 m 高桂花，总面积有 400 m <sup>2</sup> ，东南、东北两面房屋的平均高度为 4.0 m，西南、西北两面房屋的平均高度为 7.0 m。
3	柑橘观光园	观光园为柑橘 <i>Citrus reticulata</i> 纯林，柑橘树均高为 3.5 m，枝叶繁茂，四季常青，春夏 2 季地被长有杂草，一条林区道路穿园而过。
4	石梁溪堰坝	溪中堰坝长 30.0 m，高 6.0 m，常年有水漫坝而流，水量充沛时会溅起水花。
5	幽静山道	半山腰的一段较为平整山道，石块路面，四周自然植物茂密，有青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i> ，苦槠 <i>Castanopsis scerophylla</i> 等。1 d 当中有 3 h 的太阳透光。

1.2.2 监测仪器 本研究利用日本研制的 ITC-201A 型大气离子测量仪现场测定空气负、正离子浓度，其离子浓度检测范围为 10~1.999 × 10<sup>9</sup> 个·cm<sup>-3</sup>，监测精度±10%；用中国台湾 TES-1362 数字式温湿度测量仪测定温、相对湿度；用 LD-3C 激光可吸入粉尘连续测试仪测定可吸入颗粒物(PM<sub>10</sub>)。

1.2.3 监测方法 将大橘海森林公园按不同景观类型择取 5 个监测样地，各监测样地之间的监测工作同步进行，仪器监测高度为距离地表 1.5 m。在同一监测样地检测相互垂直的 4 个方向，在每个方向待仪器显示的数值稳定后取 5 个峰值读数，分析时取均值。研究于 2010 年 10 月至 2012 年 9 月(1 d·月<sup>-1</sup>)，选取晴朗微风或阴天的日子，测量时间为 8:00-16:00，隔 2 h 监测 1 次。同步测定气温、相对湿度、可

吸入颗粒物(PM<sub>10</sub>)指标。本研究之所以选择 8:00–16:00 时间段进行监测,是考虑游客活动一般在这个时间段,同时,同类研究一般也选此时间段进行研究。

1.2.4 评价方法 以空气负离子浓度为基础数据,采用单极系数( $q$ )和空气质量评价指数( $I_{\text{a}}$ )作为空气质量的评价指标<sup>[7]</sup>。公式为  $q = n^+/n^-$ ,  $I_{\text{a}} = n^+ / (1\ 000 \times q)$ ,  $p = n^+ / (n^+ + n^-)$ 。其中: $n^+$ 为空气正离子数, $n^-$ 为空气负离子数, $q$ 为单极系数, $I_{\text{a}}$ 为空气质量评价指数, $p$ 为空气负离子系数。单极系数 $q$ 越小,表示负离子浓度比正离子浓度高得越多,对人体健康越有益<sup>[8]</sup>。目前,国内外一般采用安培提出的空气质量分级标准,按照空气质量评价指数可以将空气质量划分为5个等级(表2)。

表2 空气质量分级标准

Table 2 Grading standard of air quality

清洁度	$I_{\text{a}}$	等级
最清洁	>1.00	A
清洁	≤1.0~0.70	B
中等清洁	≤0.69~0.50	C
容许	≤0.49~0.30	D
临界值	≤0.29	E

## 2 空气负离子时空变化规律及评价

### 2.1 空气负离子浓度空间变化规律

将大橘海森林公园各监测样地 2010 年 10 月至 2012 年 9 月所监测的空气负离子数据予以加和平均,其结果见表 3。不同监测样地空气负离子年平均浓度从大到小为石梁溪堰坝>幽静山道>农家庭院>柑橘观光园>村落广场。动态水在流动中使得水(H<sub>2</sub>O)失去电子带有正电,周围空气分子带负电荷,加之流动水的飞溅作用减少了空气中的灰尘,对空气起到了清洁作用;在清洁的空气环境中,空气负离子会不断积累,从而动态水体环境使空气中的负离子浓度增加<sup>[9-11]</sup>。因此,石梁溪堰坝空气负离子浓度最高;研究区域的农家庭院有流动的活水穿过农户庭院,而且农户庭院都进行了环境整治和绿化建设,庭院环境良好,结果高于柑橘纯林构成的柑橘观光园;柑橘观光园由于林分结构单一,而且为了追求经济效益而进行了集约栽培,土壤耕作、肥药施用等管理活动较多,致使柑橘观光园的空气负离子的浓度较低;村落广场是景区关键节点,除供村民们休憩外还有大量游客参观,且常有车辆停靠排放出大量尾气,增加了广场空气中粉尘含量,降低了村落广场空气负离子浓度。

从空气离子评价系数  $I_{\text{a}}$  来看,均大于 1.00,属于最清洁空气,说明大橘海森林公园空气质量总体优良。因此,城区居民在周末去体验橘园生态,享受农家生活,呼吸新鲜空气,赏山玩水,既丰富了精神生活,又有益于身体健康。

表3 坎底村各监测样地空气离子和空气质量的监测结果

Table 3 The monitoring results of Kandi Cun monitoring plots of aero anion and air quality

编号	监测点	$n^- / (\text{个} \cdot \text{cm}^{-3})$	$n^+ / (\text{个} \cdot \text{cm}^{-3})$	$q$	$I_{\text{a}}$	等级
1	农家庭院	1 259	1 479	1.175	1.07	A
2	村落广场	1 130	1 256	1.111	1.02	A
3	柑橘观光园	1 161	1 328	1.144	1.02	A
4	石梁溪堰坝	1 473	1 365	0.927	1.59	A
5	幽静山道	1 350	1 576	1.167	1.16	A

### 2.2 空气负离子浓度时间变化规律

2.2.1 空气负离子浓度月变化 2010 年 10 月–2012 年 9 月,大橘海森林公园内各监测样地空气负离子浓度的月变化如图 1 所示。5 个监测样地空气负离子浓度在不同月份有着明显的变化,且每个监测样地月间变化规律基本一致。1–4 月负离子浓度表现为先下降后上升再持平的波动状态,5 月之后呈上升趋势,至 8–9 月达到最高,之后持续下降到 12 月,1 月又达到第 2 高峰,而后回落又有所上升。如此变化规律与不同月份的平均温湿度、天气情况变化、梅雨季节和人类活动频繁等相关因素有着较大关系。椪柑 *Citrus reticulata* ‘Ponkan’ 在 11 月采收后,12 月进行柑橘园的采后管理;春节一般在 2 月,农家生活和游客活动较为频繁,对环境的影响较大。在气候条件大致相近的情况下,果园管理和农民生活对环境的影响较少,可能是 1 月出现空气负离子浓度第 2 高峰的主要原因。

2.2.2 空气负离子浓度季节变化 大橘海森林公园各监测样地 2010 年 10 月至 2012 年 9 月的空气负离

子浓度按气候学进行季节统计，将每个监测样地每月监测的空气离子数据予以加和平均，统计结果如图 2 所示。各监测样地在不同季节的负离子浓度存有差异，夏、秋大于冬、春，夏季最高，春季最低。这可能是因为夏季受亚热带季风气候的影响，台风天气多，强风利于空气中污染物扩散的同时又带来丰沛的雨水，再加之夏季气温较高加速了水分蒸发和日照时间长促使了植物光合作用加强。村落的负离子浓度是监测样地中相对较低的，这主要与受人类活动影响大有关系。从均值(表 4)来看，在夏季和秋季空气负离子浓度相差不大，其中夏季平均负离子浓度高达 1 913.1 个·cm<sup>-3</sup>，而春季只有 829.4 个·cm<sup>-3</sup>。究其原因，可能是春节、元宵节及清明节假日期间，村民们燃放了大量的烟花爆竹，产生了大量的污染物，在没有东南季风和西北风的作用以及村落是个三面环山一面敞开的盆地地形，一直弥漫在空气中不能快速扩散。

表 4 大橘海森林公园空气负离子浓度季节变化

Table 4 Seasonal change of negative aero anion concentration in Forest Park of Citrus Groves

季节	$\bar{n}/(\text{个}\cdot\text{cm}^{-3})$	$n'/(\text{个}\cdot\text{cm}^{-3})$
春	829.4	1 163.5
夏	1 913.1	885.2
秋	1 659.2	2 358.3
冬	906.6	2 374.9

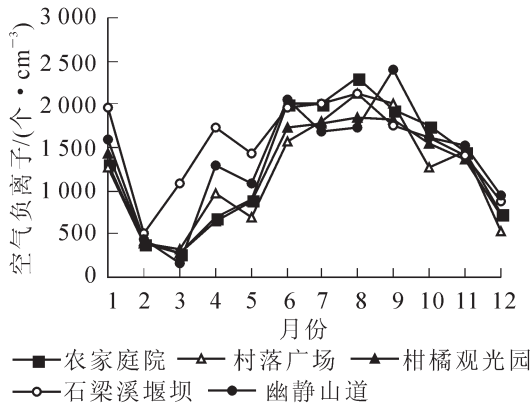


图 1 大橘海森林公园各监测样地负离子浓度月变化

Figure 1 Monthly change of negative aero anion concentration in each monitoring sample of Forest Park of Citrus Groves

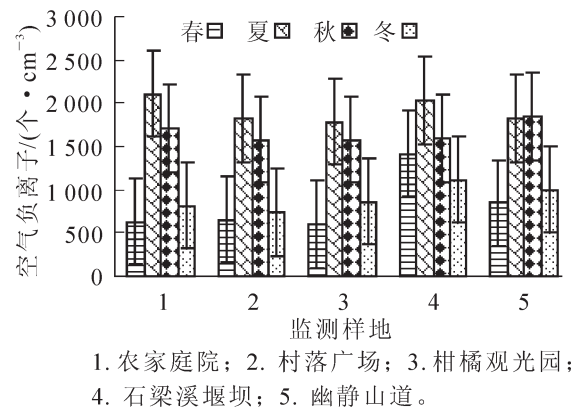


图 2 大橘海森林公园各监测样地负离子浓度季节变化

Figure 2 Seasonal change of negative aero anion concentration in each monitoring sample of Forest Park of Citrus Groves

### 2.3 空气质量评价

空气离子评价系数  $I_{\alpha}$  综合考虑了正、负离子的构成比，在国外城市空气环境质量评价中已成功应用<sup>[10]</sup>。表 5 结果显示：大橘海森林公园  $I_{\alpha}$  的最低值出现在 2 月，其值仅为 0.26 (<0.29)，低于安培空气质量分级标准的临界值，空气质量等级为 E，说明空气质量受到轻度污染。与冬季村民木材燃料消耗量大、春节前后燃放大量烟花爆竹和冬季植物光合作用弱等影响因素有关，导致空气负离子浓度和空气质量的下降。 $I_{\alpha}$  的最高值出现在 8 月，其值为 1.63 (>1.0)，高于安培空气质量分级标准的最清洁，空气质量等级为 A，表明 8 月的空气质量非常好。8 月是坎底村的旅游旺季，城区居民可以放心地在村内享受游玩的乐趣。表 5 中还可看出：除 2 月和 3 月外，其他月份的空气质量等级均为 B 以上，空气较清洁。

可吸入颗粒物(PM<sub>10</sub>)是直径小于 10 μm，在空气中能够长期悬浮而不易沉降的颗粒状物质。PM<sub>10</sub> 会诱发、引发许多疾病，尤其对于老人、儿童和呼吸道疾病、心肺病患者<sup>[12]</sup>。在 2 a 监测时间内，不同月份 PM<sub>10</sub> 浓度基本上表现为 6 月浓度最低，3 月浓度最高(图 3)。除 2 月、3 月和 5 月外大橘海森林公园内的 PM<sub>10</sub> 浓度均低于国家环境空气质量标准(GB 3095-1996)的二级标准(150 μg·m<sup>-3</sup>)，符合居住区的标准，说明大橘海森林公园的空气质量较好。其中 5 月的 PM<sub>10</sub> 浓度低于国家环境空气质量标准(GB 3095-1996)的三级标准(250 μg·m<sup>-3</sup>)，2 月和 3 月的 PM<sub>10</sub> 浓度均高于三级标准。这主要与春节前后村民们燃放了大量的烟花爆竹，再加上少雨水和风速慢，使得 2 月和 3 月的 PM<sub>10</sub> 浓度远远高于其他月份。

表5 大橘海森林公园空气离子浓度和空气质量的季节变化

Table 5 Seasonal change of negative aero anion concentration and air quality in Forest Park of Citrus Groves

月份	季节	$n^-/(\text{个}\cdot\text{cm}^{-3})$	$n^+/(\text{个}\cdot\text{cm}^{-3})$	$q$	$I_{\text{a}}$	等级
1	冬	1 521.2	2 234.0	1.47	1.04	A
2	冬	432.5	722.5	1.67	0.26	E
3	春	424.4	569.4	1.34	0.32	D
4	春	1 071.1	1 019.3	0.95	1.13	A
5	春	992.6	1 067.0	1.07	0.92	B
6	夏	1 867.0	2 281.8	1.22	1.53	A
7	夏	1 852.7	2 290.0	1.24	1.50	A
8	夏	2 019.5	2 503.1	1.34	1.63	A
9	秋	1 980.6	3 128.0	1.58	1.25	A
10	秋	1 556.2	1 945.0	1.25	1.24	A
11	秋	1 440.7	2 049.7	1.42	1.01	A
12	冬	766.3	533.9	0.70	1.10	A

### 3 结果与分析

气温、湿度与  $\text{PM}_{10}$  等环境因子是影响空气负离子浓度的重要因素。本研究根据 2010 年 10 月至 2012 年 9 月所测数据, 整理分析大橘海森林公园月平均负离子浓度与其对应的环境因子的月均值, 采用相关分析和回归分析方法, 具体分析空气负离子浓度与气温、湿度和  $\text{PM}_{10}$  之间的相关关系。

#### 3.1 负离子浓度与温度的关系

2010 年 10 月至 2012 年 9 月大橘海森林公园 5 个监测样地负离子浓度的平均值与其对应的温度月均值的相关关系如图 4 所示, 通过负离子浓度与温度的曲线拟合, 发现两者之间存在显著的正相关关系, 回归方程为  $y=42.293x+385.800$ , 其中  $y$  为空气负离子浓度,  $x$  为气温。  $R^2=0.4074$ 。对模型进行检验,  $F=36.43437$ , 远大于 1.000, 说明两者均值间的差异有统计学意义; 显著性水平  $P$  值为 0.000 ( $<0.010$ ) 则表明差异具有显著性。空气负离子浓度与气温呈显著正相关, 即空气负离子浓度随着温度的升高而升高。

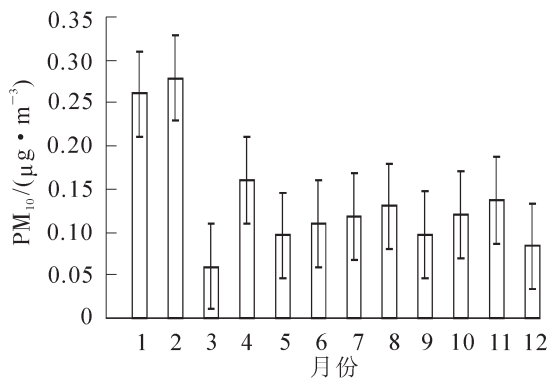


图3 大橘海森林公园可吸入颗粒物( $\text{PM}_{10}$ )浓度监测及评价

Figure 3 Monitor and evaluation of particulate matter ( $\text{PM}_{10}$ ) in Forest Park of Citrus Groves

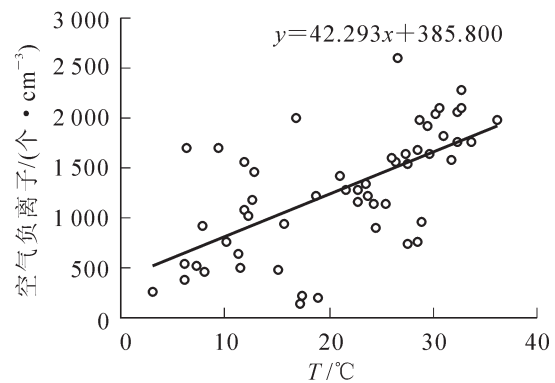


图4 空气负离子浓度与气温的关系

Figure 4 Relationship between aero anion and temperature

#### 3.2 负离子浓度与相对湿度的关系

2010 年 10 月至 2012 年 9 月大橘海森林公园 5 个监测样地负离子浓度的平均值与其对应的湿度月均值的相关关系如图 5 所示。通过负离子浓度与湿度的曲线拟合, 发现两者之间存在显著的正相关关系, 回归方程为  $y=34.314x-974.170$ , 其中  $y$  为空气负离子浓度,  $x$  为相对湿度。  $R^2=0.6034$ 。对模型进

行检验,  $F=80.623\ 76$ , 远大于 1.000, 说明两者均值间的差异有统计学意义; 显著性水平  $P$  值为 0.000 ( $<0.010$ ) 则表明差异具有显著性。空气负离子浓度与湿度呈显著正相关, 即空气负离子浓度随着湿度的升高而升高。

### 3.3 负离子浓度与 $PM_{10}$ 的关系

2010 年 10 月至 2012 年 9 月大橘海森林公园 5 个监测样地负离子浓度的平均值与其对应的  $PM_{10}$  月均值的相关关系如图 6 所示, 通过负离子浓度与  $PM_{10}$  的曲线拟合, 发现两者之间存在显著的负相关关系, 回归方程为  $y=-3\ 387.6x+1\ 689.5$ , 其中  $y$  为空气负离子浓度,  $x$  为  $PM_{10}$ 。  $R^2=0.105\ 0$ 。对模型进行检验,  $F=6.220\ 515$ , 远大于 1.000, 说明两者均值间的差异有统计学意义; 显著性水平  $P$  值为 0.000 ( $<0.010$ ) 则表明差异具有显著性。空气负离子浓度与  $PM_{10}$  呈显著负相关, 即空气负离子浓度随着  $PM_{10}$  的升高而下降。

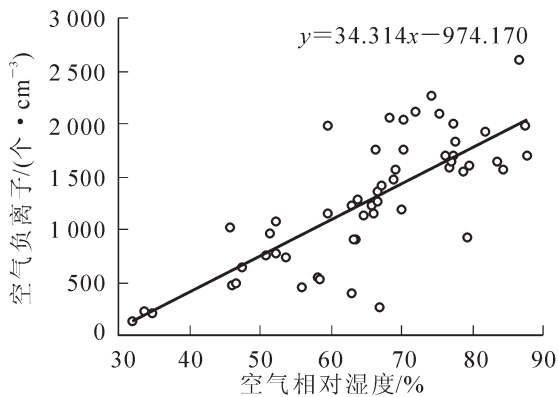


图 5 空气负离子浓度与相对湿度的关系

Figure 5 Relationship between the aero anion and humidity

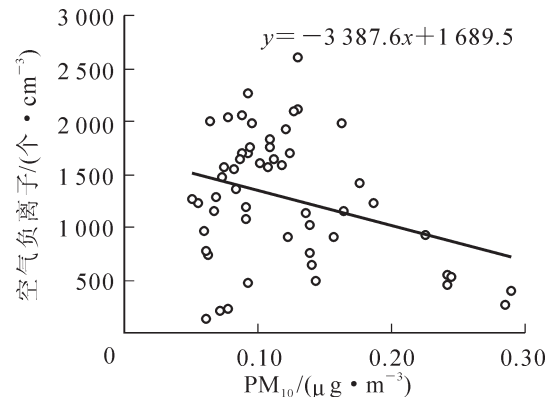


图 6 空气负离子浓度与  $PM_{10}$  的关系

Figure 6 Relationship between the aero anion and particulate matter ( $PM_{10}$ )

## 4 结论

对衢州大橘海公园 5 个监测样地空气负离子浓度的研究表明: ①大橘海森林公园 5 个监测样地空气负离子年平均浓度从大到小为石梁溪堰坝>幽静山道>农家庭院>柑橘观光园>村落广场。  $I_{a1}$  值均大于 1.0, 属于最清洁空气, 说明大橘海森林公园各监测样地的空气质量好, 终年适宜开发休闲旅游活动。②大橘海森林公园 5 个监测样地空气负离子浓度在不同月份有着明显的变化, 且每个监测样地月份间变化规律基本一致。1 a 之中出现 2 个高峰分别为 1 月和 8-9 月, 最大负氧离子浓度出现在农家庭院, 高达  $3\ 931.0$  个· $cm^{-3}$ 。③大橘海森林公园 5 个监测样地不同季节的负离子浓度存有差异, 夏、秋大于冬、春, 夏季最高, 春季最低。在夏季和秋季空气负离子浓度相差不大, 其中夏季平均负离子浓度高达  $1\ 913.1$  个· $cm^{-3}$ , 而春季只有  $829.4$  个· $cm^{-3}$ 。④大橘海森林公园除 2 月和 3 月外其他月份的空气质量等级均为 B 以上, 空气清洁度较清洁。除 2 月、3 月和 5 月外坎底村内的  $PM_{10}$  浓度均低于国家环境空气质量标准(GB 3095-1996)的二级标准( $150\ \mu g \cdot m^{-3}$ ), 符合居住区的标准, 说明坎底村的空气质量还是较好的。⑤大橘海森林公园空气负离子浓度与气温呈正相关, 即负离子浓度随着气温的升高而增加; 与相对湿度呈正相关, 即负离子浓度随着相对湿度的升高而增加; 与可吸入颗粒物( $PM_{10}$ )呈负相关, 即负离子浓度随着  $PM_{10}$  的升高而降低。

柑橘纯林的空气负离子浓度和新鲜空气构成了优越的果园旅游环境。建议运用生态学原理选择空气负离子浓度大于  $1\ 000.0$  个· $cm^{-3}$  的区域, 开发建设天然空气负离子呼吸区、游憩保健园和康健步道等生态保健旅游区。鉴于空气负离子浓度与空气湿度呈正相关, 因此, 在将来的美丽乡村建设和观光果园规划设计中应结合实际适当增加水景观, 保持水体的纯净不受污染, 尤其是动态水四周空气质量好且空气负氧离子浓度高, 是休憩、游玩的理想场所。柑橘果园采用生态栽培技术, 减少农药、化肥等有害环境的化工产品使用, 降低对环境的干扰。农家庭院要不断优化环境, 适当增加水景观、控制游客数量,

确保庭院空气质量为最清洁。

关于气象因素如风速对空气负离子或颗粒物的影响,不同植物种类以及不同植物配置降低颗粒物浓度,提高空气负离子浓度的机制问题尚需进一步研究。

## 5 参考文献

- [1] TERMAN M, TERMAN J S. Treatment of seasonal affective disorder with a high-output negative ionizer [J]. *J Altern Compl Med*, 1995, **1**(1): 87 – 92.
- [2] 倪军, 徐琼, 石登荣, 等. 城市绿地空气负离子相关研究: 以上海公园为例[J]. *城市林业*, 2004, **2**(3): 30 – 33.  
NI Jun, XU Qiong, SHI Dengrong, *et al.* The correlative study on air anions in city greenbelt: as a case of the parks in Shanghai [J]. *Chin Urban For*, 2004, **2**(3): 30 – 33.
- [3] 章志攀, 俞益武, 孟明浩, 等. 旅游环境中空气负离子的研究进展[J]. *浙江林学院学报*, 2006, **23**(1): 103 – 108.  
ZHANG Zhipan, YU Yiwu, MENG Minghao, *et al.* Progresses of aero anion in tourism environments [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2006, **23**(1): 103 – 108.
- [4] 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.  
HUANG Yanliu, CHEN Donghui, LU Dan, *et al.* Air negative ion and city environment [J]. *Arid Environ Mon*, 2004, **18**(4): 208 – 211.
- [5] 张建国, 俞益武, 章志攀, 等. 衢州七里旅游区环境质量评价研究[J]. *西北林学院学报*, 2007, **22**(4): 167 – 170.  
ZHANG Jianguo, YU Yiwu, ZHANG Zhipan, *et al.* The evaluation of environmental quality in Qili Tourism Area of Quzhou [J]. *J Northwest For Univ*, 2007, **22**(4): 167 – 170.
- [6] 张建国, 俞益武, 蔡碧凡, 等. 基于SWOT分析的衢州柑橘产业带旅游开发研究[J]. *西北林学院学报*, 2007, **22**(6): 190 – 195.  
ZHANG Jianguo, YU Yiwu, CAI Bifan, *et al.* SWOT analysis on tourism development of the orange industry belt in Quzhou [J]. *J Northwest For Univ*, 2007, **22**(6): 190 – 195.
- [7] 石强, 钟林生, 吴楚才. 森林环境中空气负离子浓度分级标准[J]. *中国环境科学*, 2002, **22**(4): 320 – 323.  
SHI Qiang, ZHONG Linsheng, WU Chucai. Grades standard of aeroanion concentration in forest surroundings [J]. *China Environ Sci*, 2002, **22**(4): 320 – 323.
- [8] 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.  
ZHONG Linsheng, WU Chucai, XIAO Duning. Aero anion researches in evaluation of forest recreation resources [J]. *Chin J Ecol*, 1998, **17**(6): 56 – 60.
- [9] 夏廉博. 人类生物气象学[M]. 北京: 气象出版社, 1986.
- [10] 吴楚材, 郑群明, 钟林生. 森林游憩区空气负离子水平的研究[J]. *林业科学*, 2001, **37**(5): 75 – 81.  
WU Chucai, ZHENG Qunming, ZHONG Linsheng. A study of the aero-anion concentration in forest recreation area [J]. *Sci Silv Sin*, 2001, **37**(5): 75 – 81.
- [11] 龚世成, 徐春阳, 周嘉陵. 城市和森林空气负离子浓度与气象环境关系的通径分析[J]. *气象*, 2012, **38**(11): 1417 – 1422.  
GONG Shicheng, XU Chunyang, ZHOU Jialing. Path analysis on negative air ion concentration and the meteorological environment in urban and forest zones [J]. *Meteorol Month*, 2012, **38**(11): 1417 – 1422.
- [12] 任丽新, 游荣高, 吕位秀. 城市大气气溶胶的物理化学特性及其对人体健康的影响[J]. *气候与环境研究*, 1999, **4**(1): 67 – 73.  
REN Lixin, YOU Ronggao, LÜ Weixiu. The physical and chemical characteristics of aerosols in the urban region and their influence on human health [J]. *Climatic Environ Res*, 1999, **4**(1): 67 – 73.