

冯晓钰,张云惠,王智楷,等.金华市不同区域负氧离子浓度特征与气象环境因素相关分析[J].沙漠与绿洲气象,2024,18(3):150-157.
doi: 10.12057/j.issn.1002-0799.2024.03.018

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



金华市不同区域负氧离子浓度特征与气象环境因素相关分析

冯晓钰¹,张云惠^{2*},王智楷³,楼俊伟⁴,张鑫⁵

(1.金华市气象局,浙江 金华 321000;2.新疆气象台,新疆 乌鲁木齐 830000;3.四川省防雷中心,四川 成都 610072;4.武义县气象局,浙江 武义 321200;5.莫索湾气象站,新疆 石河子 832000)

摘要:利用2019—2021年金华市空气负氧离子浓度和气象环境资料,研究不同区域(平原城区、平原公园、水边景区、山林景区)负氧离子浓度时空分布特征,分析人类活动最多的城区负氧离子浓度与气象环境因素不同时间尺度的相关性,以及不同天空状况的差异。结果表明:负氧离子浓度呈现平原低、山区高的分布特征,植被茂密、动态水流可增加负氧离子浓度和提高浓度等级。山林景区日出和日落前后负氧离子浓度较高,水边景区在凌晨和午后出现高值,平原地区则在下午达到高峰。不同区域四季日变化趋势整体较一致,但不同季节负氧离子浓度峰值大小、日较差和出现峰值时刻存在差异。四季不同区域负氧离子浓度有所差异,主要表现为6—9月高,其中尤以8月山林景区为最。城区负氧离子浓度与气象环境因素的相关性在不同时间尺度上差异较大:逐时负氧离子浓度与气温、风速、雨量和O₃呈显著正相关,而与PM_{2.5}呈显著负相关。不同季节下,逐时负氧离子浓度春季与风速相关性最高,夏季与气温相关性高,秋季与O₃相关性高,冬季与PM_{2.5}相关性最高。日尺度上,负氧离子浓度则与相对湿度、风速、雨量呈显著正相关,与PM_{2.5}和O₃呈显著负相关,且雨天负氧离子浓度明显高于其他天空状况,差异在冬季达最大。

关键词:负氧离子;时空分布;气象环境因素;金华市

中图分类号:P402

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2024)03-0150-08

空气负离子由空气分子在电离作用下失去的电子与其他分子结合形成,因空气主要成分中只有氧和二氧化碳对电子有亲和力,而氧含量是二氧化碳含量的700倍,因此,空气中生产的负离子绝大多数为负氧离子。因空气负氧离子具有杀菌、降尘、清洁空气等功效,对人体健康有积极意义,又被称为“空气维生素”^[1]。目前,随着我国社会经济的快速发展

和生态文明建设工作的大力推进,社会公众对空气负氧离子的关注度越来越高,其浓度高低已成为评价环境空气清新程度的重要指标^[2],相关研究成果在旅游环境评价^[3]、生态康养旅游^[4-5]等方面提供了科学依据。

近年来,我国各地气象、林业、环保等部门积极开展负氧离子的监测与分析工作,主要集中在负氧离子浓度的时空分布特征及与气象、环境因素的相关性分析^[6-8]。研究表明,负氧离子浓度空间分布不均匀,平原城区向山区郊区逐渐增大,且随着海拔高度、森林茂密度的增加而增加^[9]。负氧离子浓度具有明显的日变化、月变化和季节变化,与气象、环境因素具有显著相关性,但是不同研究区域的特征规律不一致^[10-11],难以直接引用结论为本地特色生态康

收稿日期:2023-01-12;修回日期:2023-04-24

基金项目:金华公共气象服务创新团队项目;金华市气象局一般项目(2020-01)

作者简介:冯晓钰(1993—),女,工程师,主要从事生态气象研究。
E-mail: zjpjfy@163.com

通信作者:张云惠(1968—),女,正高级工程师,主要从事新疆暴雨(雪)天气及中亚低涡研究。E-mail: 715208285@qq.com

养旅游等提供科学依据和参考信息。

“三面环山夹一川,盆地错落涵三江”,金华市依山傍水,风景秀美,旅游资源丰富,但负氧离子监测工作起步晚,对旅游生态环境的研究和康养资源的关注及开发仍在初级阶段。本文选取2019—2021年观测资料,通过对金华市负氧离子浓度时空特征分析,及其与气象、环境因素相关性研究,以期为生态文明建设提供一定科学依据。

1 资料方法及等级划分

1.1 资料与方法

选取金华市国家基本气象站内监测站和7个景区内清新空气监测站的数据作为研究对象(图1),其中金华站代表平原城区站,环北公园和假日公园站代表平原公园站,湖海塘和婺州公园是水体特色公园,代表水边景区站,安地镇、九峰山和北山林场站代表山林景区站。

负氧离子浓度测量采用北京东创旭新测控技术有限公司生产的IM800GL-5型号大气离子测报系统。根据浙江省负氧离子观测数据质量控制规则和数据缺测判定规则^[9],结合各观测站数据实际情况,选取2019年1月—2021年2月8个站逐小时的负氧离子观测、气象要素(温度、气压、湿度、风速和降雨量)、环境要素等资料($PM_{2.5}$ 和 O_3)以及金华气象站2019年1月—2021年2月逐日的实况气象观测资料。

本文运用平均值方法进行小时、日、月、季节值的统计,并采用SPSS统计软件进行负氧离子和气象、环境要素之间的相关性分析。

1.2 等级划分

根据浙江省关于空气负(氧)离子观测与评价技术规范的地方标准^[12],按照平均浓度从高至低划分为5个等级,见表1。

表1 空气负氧离子浓度等级评价

等级	负氧离子平均浓度 K / (个/cm ³)
S	$K \geq 2\ 100$
I	$1\ 000 \leq K < 2\ 100$
II	$500 \leq K < 1\ 000$
III	$100 \leq K < 500$
IV	$K < 100$

2 不同区域负氧离子浓度时空分布特征

2.1 负氧离子浓度空间特征及等级评价

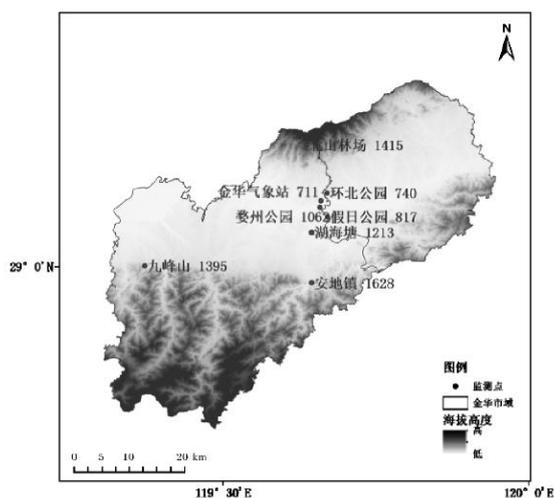


图1 2019—2021年金华负氧离子浓度空间分布

2.1.1 地域分布特征

2019—2021年金华地区负氧离子浓度平均值为1 123个/cm³,范围为711~1 628个/cm³。结合地形图(图1)可知,负氧离子浓度分布总体呈现山区高、平原低的特征。按监测站所处地理地貌分类来看,负氧离子浓度排序为山林景区站(1 479个/cm³)>水边景区站(1 138个/cm³)>平原公园站(779个/cm³)>平原城区站(711个/cm³)。

山林景区站和水边景区站的负氧离子浓度均高于1 000个/cm³,达到国际卫生组织规定的清新空气负氧离子含量标准(不低于1 000~1 500个/cm³);而平原公园站和平原城区站主要位于市中心附近,植被覆盖度相对较低,人类活动密集,大气气溶胶含量高,负氧离子易吸附于气溶胶粒子发生沉降,导致其负氧离子浓度明显小于植被覆盖率高的山林景区和大气气溶胶含量较低的水边景区。

2.1.2 负氧离子浓度等级

以2019—2021年逐小时负氧离子浓度观测值为基础数据,按照表1进行等级划分,其中Q表示资料缺测,统计负氧离子各等级浓度值占比(图2)。各站点负氧离子浓度均高于IV等级,其中山林景区站S等级的占比达到14%,水边景区站为3%,而平原公园站和平原城区站降至0.8%和0.1%。山林景区站和水边景区站负氧离子浓度达到I级占比最多,分别为58%和52%,而平原公园站和平原城区站负氧离子浓度以II级浓度为主,占比均超过60%,其次为III等级。

2.2 负氧离子浓度日变化特征及季节差异

从2019—2021年负氧离子浓度逐小时变化曲线(图3)可知,负氧离子浓度具有明显的日变化特

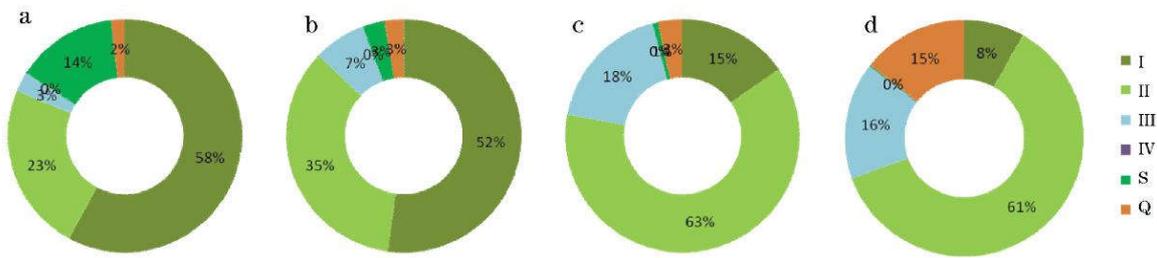


图2 2019—2021年金华市不同区域负氧离子浓度各等级占比
(a为山林景区站,b为水边景区站,c为平原公园站,d为平原城区站)

征,但不同区域日变化特征存在一定差异。其中平原公园站和平原城区站较为相近,早晨负氧离子浓度较低,之后逐渐增加,在12—17时负氧离子浓度达到高峰,后逐渐减小,傍晚后又逐渐回升。这可能因为日出后太阳辐射增加,气温升高,光合作用增强产生更多氧气与空气负离子结合,负氧离子浓度增加^[13];傍晚后由于人类活动减少,污染物排放减少,负氧离子浓度又逐渐回升^[10];后半夜则可能随着气温降低负氧离子浓度下降至低点^[14]。水边景区站主要呈“W”型,与平原公园站和平原城区站具有相似性,主要在凌晨时段有所差异。这可能由于水体比热容大于陆地,降温不明显,且对污染物有一定清洁能

力,使得水边景区站凌晨时段还出现一定高值。山林景区站则呈现“M”型,在日出和日落前后浓度较高,而在中午时段浓度较低。中午前后,山林景区植物由于气温升高湿度降低出现“午休”现象,导致负氧离子浓度降低^[13]。

根据金华气候特征及常年平均入季时间,以3—5月、6—9月、10—11月和12月—翌年2月分别代表春夏秋冬四个季节。不同区域各季节日变化趋势整体较一致,但不同季节峰值的大小和日较差存在差异。从峰值大小来看,平原城区站冬季>夏季>春季>秋季,平原公园站冬季>秋季>夏季>春季,而山林景区站和水边景区站峰值均为夏季>秋季>

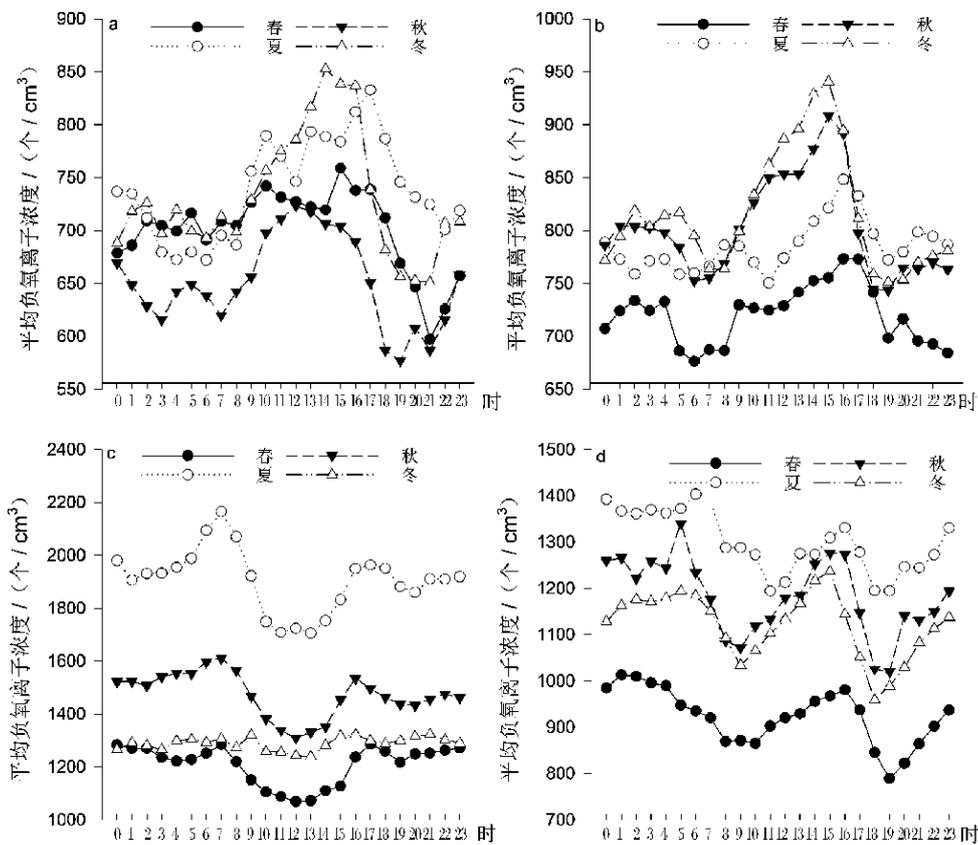


图3 2019—2021年金华市平原城区站(a)、平原公园站(b)、山林景区站(c)、水边景区站(d)不同季节负氧离子浓度日变化

冬季>春季。从负氧离子浓度日较差来看,整体以山林景区站的日变化幅度最大,平原公园站最小;平原城区站负氧离子浓度日较差冬天最大,秋天最小,平原公园站冬天最大,春天最小,山林景区站夏天最大,冬天最小,水边景区站则秋天最大,春天最小。另,午后段负氧离子浓度峰值出现时刻各地各季节不一,但整体为夏季最晚为主,可能与夏季午后到夜晚的雷阵雨有关。

2.3 负氧离子浓度月、季变化特征

负氧离子浓度的月变化特征表现为“双峰型”或“三峰型”(图 4a):6—9 月为峰值,2 月有个小高峰,水边景区站和平原公园站在 11 月有个小高峰,其余月份浓度值相对较低。其中山林景区站的月变化最显著,5 月开始显著升高,8 月平均负氧离子浓度超过 2 200 个/cm³,达到 S 等级。这与夏季草木繁茂,雷雨天气多,日照时数增加,太阳辐射增强,光合作用增强,通过植物尖端放电和光电效应产生负氧离子浓度等有关^[1],建议 8 月份前往山林景区呼吸富含负氧离子的清新空气。水边景区站的月变化趋势与山林景区站较为相似,大部分月份负氧离子浓度在 1 000~1 400 个/cm³。平原公园站和平原城区站的月变化幅度较为相近,较为平缓,全年负氧离子浓度值都在 1 000 个/cm³ 以下。对于 2 月的小高峰,很大可能是由于 2020 年初“新冠疫情”影响下停工停产,汽车尾气、工业废气、气溶胶等大幅度降低,空气质量明显改善,使得全域无论是山林水边还是公园城市等的负氧离子浓度增加。

不同区域负氧离子浓度在四季呈现不同的特征(图 4b)。山林景区站负氧离子浓度夏季最高(1 846 个/cm³),其次是秋季、冬季,春季最低(1 186 个/cm³)。水边景区站负氧离子浓度冬季(1 272 个/cm³)>夏季(1 253 个/cm³),秋季第三高,春季最低(898 个/cm³)。平原公园站的负氧离子浓度则是春夏秋冬逐渐增高,冬季最高,为 844 个/cm³。平原城区站的负氧离

子浓度是夏季最高(740 个/cm³),其次为冬季、春季和秋季。从不同季节各区域差异来看,除春季平原公园城区站和平原城区站较为相近外,四季整体均为山林景区站>水边景区站>平原公园站>平原城区站,其中夏季不同地理地貌之间差异最大,春季最小。

3 金华城区负氧离子浓度与气象环境因素的关系

影响空气中负氧离子浓度的因素复杂,气象因素和环境因素的变化都会影响负氧离子浓度值^[15-16],不同的测点,相关性还存在一定差异^[17-18]。林区、风景区、公园绿地等区域,因其植被覆盖度较高、水源较多,且大量吸收空气中灰尘,周边的负氧离子浓度较高。而城区人类活动多,负氧离子浓度作为环境空气质量清洁度重要衡量指标之一,其变化规律和影响因素的相关研究,可为金华城区环境空气质量评价提供借鉴,为城市空气环境质量改善提供科学依据。

3.1 负氧离子浓度逐时变化与气象环境因素关系

选取金华气象站 2019—2021 年逐时的负氧离子浓度观测值和气温、气压等气象因素以及逐时 PM_{2.5}、O₃ 等环境因素开展相关性分析研究(图 5),统计上看均呈显著相关(表 2),但部分相关内在规律仍需研究。

负氧离子浓度与风速呈显著正相关。植被或者其他物体吸附的负氧离子在大气运动影响下,扩散到大气中,从而增加空气负氧离子浓度。吴志湘等^[19]通过实验得出,较大的风速使空气摩擦,产生负离子,从而增加负离子浓度。

负氧离子浓度与雨量呈显著正相关。当出现降水后,负氧离子浓度呈显著增加趋势,随着雨水渐收,负氧离子浓度逐渐下降,主要是由于水的雷纳德(Lenard)效应。雨滴在下落运动过程中,与大气分子间的摩擦使得水滴裂解形成更细小的水滴,细小水滴脱离时带负电荷,形成空气负氧离子,使空气中的负氧离子浓度增多^[20],而且降雨强度越大,从空中降

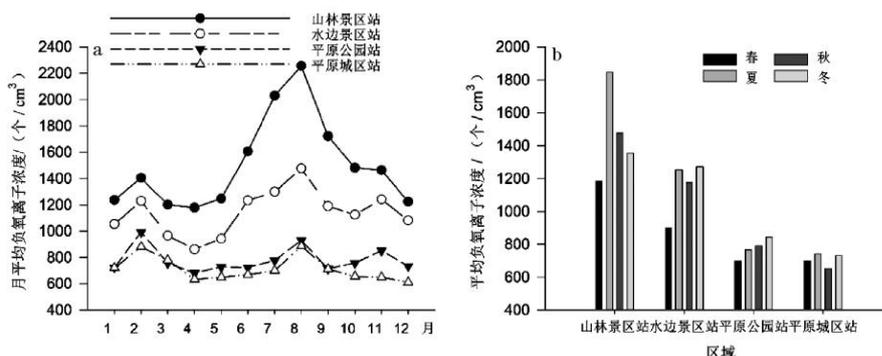


图 4 2019—2021 年金华市不同区域负氧离子浓度月(a)、季(b)变化

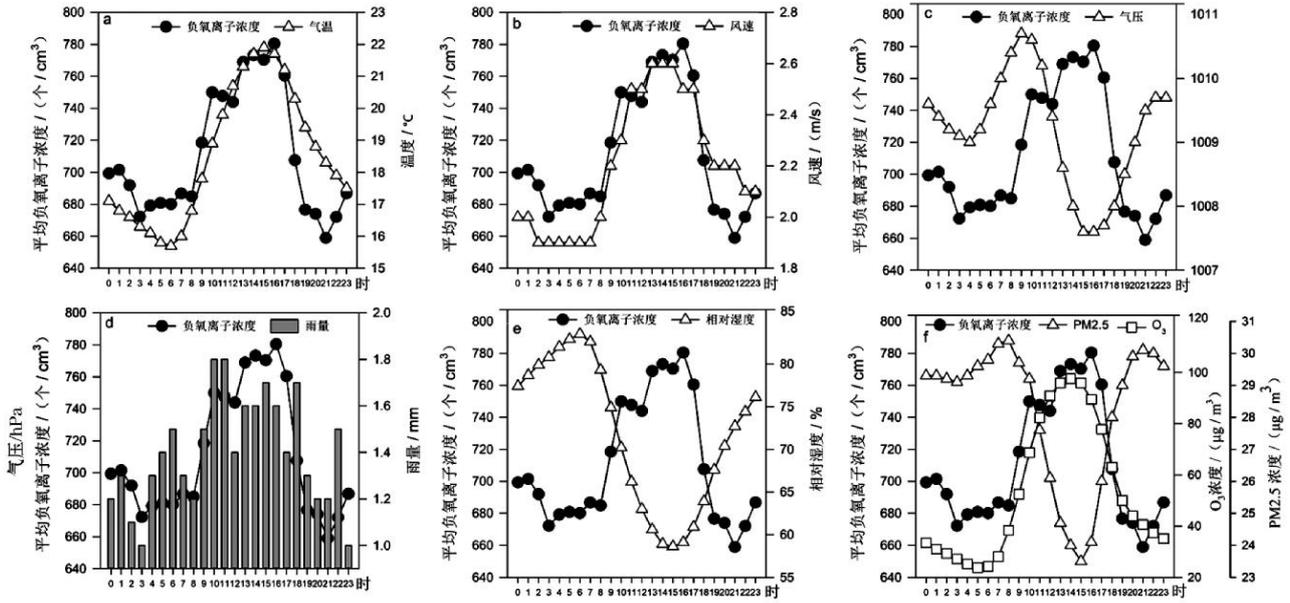


图5 逐小时负氧离子浓度与气温(a)、风速(b)、气压(c)、雨量(d)、相对湿度(e)、PM_{2.5}(f)、O₃(f)日变化

表2 全年及四季平均负氧离子浓度逐时变化与气象环境因素的相关性

相关性	气温	气压	相对湿度	风速	雨量	PM _{2.5}	O ₃
全年	0.815**	-0.422*	-0.805**	0.855**	0.684**	-0.887**	0.914**
春	0.344	-0.196	-0.380	0.633**	0.049	-0.580**	0.591**
夏	0.894**	-0.511*	-0.895**	0.888**	0.081	-0.769**	0.867**
秋	0.534**	-0.112	-0.465*	0.655**	-0.474*	-0.683**	0.714**
冬	0.667**	-0.433*	-0.670**	0.746**	-0.401	-0.879**	0.877**

注:**、* 分别表示在 0.01 和 0.05 水平(双侧)上显著相关。

落的雨滴数量越多,撞击力度也越大,产生的空气负氧离子数量也越多^[21]。

负氧离子浓度与 O₃ 呈显著正相关。午后气温高阳光猛烈,光化学反应加强,氮氧化物和碳氢化合物等臭氧前驱物更容易转化为臭氧,随着温度的升高,臭氧的浓度随之上升,由于 O₃ 稳定性极差,在常温下即可自行分解为氧。因此午后空气中的氧含量增加,负氧离子浓度增加。负氧离子浓度日变化与 PM_{2.5} 呈显著负相关,是负氧离子易吸附在 PM_{2.5} 等细颗粒物上而发生沉降,从而降低负氧离子浓度。

负氧离子浓度与气温呈显著正相关。午后气温升高,光照增强,植物光合作用增强,氧气释放增加,有更多的氧气与空气中电离的负离子结合,使负氧离子浓度增加。每日的气象要素日变化中,气温升高,相对湿度减小,两者呈显著的负相关,因而统计上看,负氧离子浓度与相对湿度呈显著负相关。气压

也有其日变化规律,在统计上与负氧离子浓度呈显著负相关。本研究中负氧离子浓度与气温、相对湿度和气压的研究结果与以往研究存在一定差异性,与任晓旭等^[10]对杭州城区空气负离子与气象因素的研究结论一致,与顾小丽等^[7]对宁波地区的负氧离子浓度与温度、湿度的相关性研究结论截然相反。宁波地区的负氧离子浓度分布呈 U 型变化特征,与气温日变化呈负相关,与相对湿度呈显著正相关。还有研究显示气温和湿度与空气负离子浓度具有正相关^[14,22]。总的来说,因研究区域所处气候类型、植被类型、人类活动以及空气污染状况等不同,使负氧离子浓度与气温、相对湿度、气压的关系较为复杂^[10],部分内在规律仍需进一步研究。

全年来看,逐时负氧离子浓度与气象环境因素的相关系数(绝对值)表现为 $R(O_3) > R(PM_{2.5}) > R(\text{风速}) > R(\text{气温}) > R(\text{雨量})$ (表 2)。逐时负氧离子浓度日变化与气象、环境因素的相关性季节差异较大:除与风速、PM_{2.5} 和 O₃ 在各季节达到显著相关外,其余要素的相关性在各季节差异显著,春季逐时负氧离子浓度与风速相关性最高,夏季与气温相关性最高,秋季与 O₃ 相关度最高,冬季与 PM_{2.5} 相关性最高。相对于其他季节,春季负氧离子逐时变化与气象因素的相关性整体较差,可能与春季植物开始萌芽生长,夏、秋季节植物处于生长茂盛稳定阶段有关系,而 2019 和 2020 年冬季又是暖冬,暖冬背景下,气象因素的变化对负氧离子浓度有较明显的影响。

3.2 不同天空状况下逐日负氧离子浓度与气象环

境因素关系

金华气象站逐日的天空状况记录进行分类统计发现,不同天空状况下,平均负氧离子浓度存在较明显差异(图6),雨天的负氧离子浓度明显高于其他天空状况的。雨天全年平均为793个/cm³,而阴天最低,平均为612个/cm³,晴天和多云天分别为655、624个/cm³,排第二和第三。与姚望玲等^[23]研究结果有一定差异,其研究结论为雨天最大,其次为阴天、晴天,多云天最少。

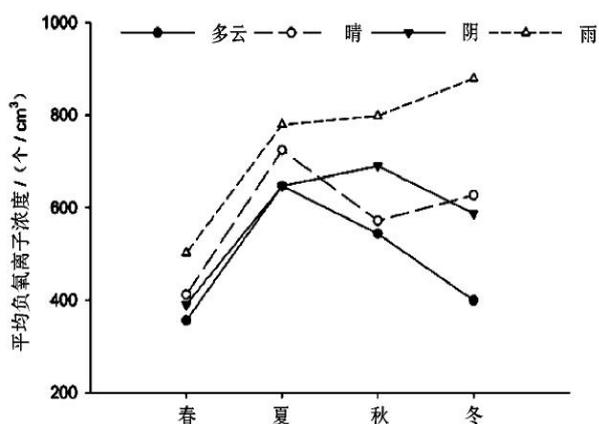


图6 2019—2021年金华市不同天空状况负氧离子浓度季节变化

从不同季节来看,春季不同天空状况下负氧离子浓度值均较小,雨天>晴天>阴天>多云。夏季不同天空状况下负氧离子浓度明显增加,雨天>晴天>阴天≈多云。秋季,雨天和阴天的负氧离子浓度仍保持高位,而多云天和晴天的负氧离子浓度呈减小趋势,雨天>阴天>晴天>多云。冬季雨天的负氧离子浓度继续升高,晴天有所回升排第二,阴天和多云天则继续下降,雨天>晴天>阴天>多云。同时发现,春季和夏季不同天空状况之间负氧离子浓度差异较小,而后差异拉开,在冬季达到最大,雨天(879个/cm³)和多云(399个/cm³)负氧离子浓度可相差一倍多。因为冬季较干燥,污染较严重,雨天出现降水,除水的雷纳德(Lenard)效应外,还可沉降污染物,减少对负氧离子的吸附,从而增加负氧离子浓度。

不同天空状况下,逐日负氧离子浓度与气象、环境因素的相关性存在差异(表3)。逐日负氧离子浓度与相对湿度、风速、雨量呈显著正相关,与PM_{2.5}、O₃呈显著负相关,与气温、气压相关性不显著,达到显著的相关系数(绝对值)表现为R(PM_{2.5})>R(雨量)>R(风速)>R(相对湿度)>R(O₃)。雨天的负氧离子浓度与气压、相对湿度、风速、雨量呈显著正相关,

与气温、PM_{2.5}和O₃呈显著负相关;晴天的负氧离子浓度则与气温、风速呈显著正相关,与气压、相对湿度和PM_{2.5}呈显著负相关,与O₃的相关性不显著;多云天和阴天时,负氧离子浓度仅与风速、PM_{2.5}呈显著相关,其余气象环境因素均未达到显著相关。

表3 不同天空状况下逐日负氧离子浓度与气象环境因素的相关性

天空状况	气温	气压	相对湿度	风速	雨量	PM _{2.5}	O ₃
所有	-0.045	-0.061	0.270**	0.437**	0.448**	-0.528**	-0.215**
多云	0.147	-0.165	0.111	0.375*	/	-0.637**	-0.247
晴天	0.540**	-0.487**	-0.144*	0.494**	/	-0.555**	-0.094
阴天	0.120	0.052	-0.077	0.684**	-0.025	-0.546**	0.119
雨天	-0.304**	0.166*	0.256**	0.488**	0.446**	-0.490**	-0.277**

注:**、*分别表示在0.01和0.05水平(双侧)上显著相关。

4 结论与讨论

通过分析金华市不同区域负氧离子浓度特征与气象环境因素相关性,得出以下主要结论:

(1)不同区域负氧离子浓度差异明显,因植被茂密、水体分布等,山林景区平均负氧离子浓度最高,且高等级的负氧离子浓度占比最多,其次为水边景区,平原公园第三,平原城区最少。

(2)金华负氧离子浓度具有明显日变化,但不同区域存在一定差异。山区日出和日落前后负氧离子浓度较高,水边景区凌晨和午后出现高值,平原地区下午达到高峰。不同区域四季日变化趋势整体较一致,但不同季节负氧离子浓度峰值大小、日较差和出现峰值时刻存在差异。山区和水边景区峰值出现在夏季,平原地区出现在冬季;日较差山林景区站最大,平原公园站最小;日变化中峰值出现时刻整体以夏季最晚。

(3)金华不同区域的负氧离子浓度月变化趋势和季节变化趋势虽有差异,但主要呈现为6—9月高,其中山林景区月变化最显著,8月的平均负氧离子浓度超过2 200个/cm³。

(4)金华城区空气负氧离子浓度与气象环境因素的相关性在不同时间尺度上差异较大:逐时的负氧离子浓度与气温、风速、雨量和O₃呈显著正相关,与PM_{2.5}呈显著负相关,与相对湿度和气压统计上呈显著负相关但其内在规律仍需进一步研究。从不同季节相关性(绝对值)来看,春季与风速相关性最高,夏季与气温相关性最高,秋季与O₃相关性最高,冬

季与PM_{2.5}相关性最高。逐日负氧离子浓度则与相对湿度、风速、雨量呈显著正相关,与PM_{2.5}和O₃呈显著负相关,且雨天的负氧离子浓度明显高于其他天空状况的,差异在冬季达最大。

负氧离子浓度与气象环境因素的相关性研究结论不一,可能与不同学者开展的研究区域、气候类型、植被类型、人类活动以及空气污染状况有关。因此有必要进行本地化研究,揭示本地负氧离子浓度特征,为今后开展负氧离子预测模型研究奠定基础,以期更精准地开展生态康养旅游等气象服务,为政府提供决策依据,助力生态文明建设。

参考文献:

- [1] 鲁彦,朴尚宪,赵坤宇.大气环境中的空气负离子对人体健康的影响[J].黑龙江医药科学,2000(3):38.
- [2] 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(6):57-61.
- [3] 廖荣俊,颜晓捷,江波,等.灵鹫山国家森林公园空气负氧离子浓度变化特征及其影响因素研究[J].浙江林业科技,2021,41(5):36-41.
- [4] 谭静,陈正洪,罗学荣,等.湖北省旅游景区大气负氧离子浓度分布特征以及气象条件的影响[J].长江流域资源与环境,2017,26(2):314-323.
- [5] 李正泉,肖晶晶,马浩,等.丽水市生态气候休闲养生适宜性分析[J].气象与环境科学,2016,39(3):104-111.
- [6] 张灵杰.温州市负氧离子浓度分布与预测模型[J].自然科学,2020,8(6):569-580.
- [7] 顾小丽,钱燕珍,鲍岳建,等.宁波市负氧离子浓度分布与预测模型及其在旅游气象中的应用[J].气象与环境学报,2013,29(6):128-133.
- [8] 胡梦玲,庆涛,朱鑫君,等.江宁区负氧离子变化特征及其与气象因素关系[J].环境科学与技术,2021,44(S2):32-40.
- [9] 姚益平,郁珍艳,李正泉,等.浙江省空气负氧离子浓度分布特征[J].气象科技,2019,47(6):1006-1013.
- [10] 任晓旭,陈勤娟,董建华,等.杭州城区空气负氧离子特征及其与气象因子的关系[J].环境保护科学,2016,42(3):109-112,124.
- [11] 郁珍艳,李正泉,樊高峰,等.浙江省气象及环境因子对负氧离子浓度的影响[J].中国环境科学,2023,43(2):514-524.
- [12] 李正泉,罗昶,姚益平,等.DB33T 2226—2019 空气负(氧)离子观测与评价技术规范[S].浙江省:浙江省市场监督管理局,2019.
- [13] 潘瑞焱.植物生理学[M].北京:高等教育出版社,2004.
- [14] 陈绮锴,陆晓婧,邓嘉丽,等.南宁市典型森林公园空气负氧离子特征及影响因素研究[J].林业与环境科学,2022,38(3):128-134.
- [15] 方砚秋,张方敏,陈龙,等.江西省空气负氧离子浓度特征与气象因子相关分析[J].气象科学,2022,42(2):254-260.
- [16] 金琪,严婧,杨志彪,等.湖北春季大气负氧离子浓度分布特征及与环境因子的关系[J].气象科技,2015,43(4):728-733.
- [17] 韦朝领,王敬涛,蒋跃林,等.合肥市不同生态功能区空气负氧离子浓度分布特征及其与气象因子的关系[J].应用生态学报,2006(11):2158-2162.
- [18] 袁相洋,孙迎雪,田媛,等.北京市不同功能区空气负氧离子及影响因素研究[J].环境科学与技术,2014,37(6):97-102.
- [19] 吴志湘,黄翔,黄春松,等.空气负氧离子浓度的实验研究[J].西安工程大学学报,2007,21(6):803-806.
- [20] 熊丽君,韩少华,唐浩,等.空气负氧离子研究进展及影响因素分析[J].中国人口资源与环境,2011,21(3):184-187.
- [21] 司婷婷,罗艳菊,赵志忠,等.吊罗山热带雨林空气负氧离子浓度与气象要素的关系[J].资源科学,2014,36(4):788-792.
- [22] 黄世成,徐春阳,周嘉陵.城市和森林空气负氧离子浓度与气象环境关系的通径分析[J].气象,2012(11):1417-1422.
- [23] 姚望玲,童哲堂,李明,等.武汉市负氧离子浓度分布特征研究[C]//城市气象论坛(2012年)·城市与气候变化论文集,2012.

Characteristics of Negative Air Ion Concentration in Different Regions and Correlation with Meteorological Environmental Factors of Jinhua City

FENG Xiaoyu¹, ZHANG Yunhui², WANG Zhikai³, LOU Junwei⁴, ZHANG Xin⁵

(1.Jinhua Meteorological Bureau, Jinhua 321000, China;

2.Xinjiang Meteorological Observatory, Urumqi 830002, China;

3.Sichuan Lightning Protection Center, Chengdu 610072, China;

4.Wuyi Meteorological Bureau, Wuyi 321200, China;

5.Mosuowan Meteorological Station, Shihezi 832000, China)

Abstract Using the negative air ion concentration (NAIC) and meteorological and environmental data of Jinhua city from 2019 to 2021, the spatial and temporal characteristics of NAIC in different regions (plain urban area, plain park, waterside scenic spot, mountain forest scenic spot) were analyzed in this paper. Besides, focusing on the urban areas with human activities, the correlation between the NAIC and meteorological environmental factors at different time scales, as well as the differences in different weather conditions were also provided. The results showed that the distribution characteristics of NAIC were low in plain areas and high in mountain areas. Dense vegetation and dynamic water flow could increase the NAIC and improve the concentration level. The NAIC was higher before sunrise and after sunrise mountain forest scenic spots, higher in the small hours than that afternoon in waterside scenic spots, while reached its peak in the afternoon in plain areas. The diurnal variation trend of the four seasons in different regions was generally consistent, but there were differences in the peak value, daily range and peak moment of NAIC in different seasons. The seasonal difference of NAIC in different functional zones could be seen in this research, with the maximum value in the summer from June to September, especially in August in mountain forest scenic spots. The correlation between NAIC and meteorological environmental factors was quite different on different time scales. In the hour scale, it was significantly positively correlated with temperature, wind speed, rainfall and O_3 , while it was significantly negatively correlated with $PM_{2.5}$; In terms of seasons, spring had the highest correlation with wind speed, temperature in summer, O_3 in autumn and $PM_{2.5}$ in winter; On the day scale, it had a significant positive correlation with relative humidity, wind speed and rainfall, and a significant negative correlation with $PM_{2.5}$ and O_3 . In addition, the NAIC on rainy days was significantly higher than other weather conditions, with the difference reaching its maximum value in winter.

Key words negative air ion; spatial and temporal distribution; meteorological environmental factors; Jinhua city