

# 伊犁河谷大气负氧离子时空变化与气象因子的关系

江新安, 徐 婷

伊犁哈萨克自治州气象局, 新疆 伊宁

收稿日期: 2024年10月20日; 录用日期: 2024年11月18日; 发布日期: 2024年11月27日

## 摘 要

该研究以2018~2021年度伊犁河谷地区喀拉峻、库尔德宁及其周边县大气负氧离子监测站、气象站采集的数据为基础, 研究了该地区大气负氧离子在时空中的分布特点。通过选取并分析与气象要素相关的负氧离子数据, 旨在阐明大气中负氧离子含量与气象条件、地表覆盖类型之间的内在联系。研究发现: 城市地区森林草原地区空气负氧离子浓度显著升高; 植被覆盖度是对负氧离子浓度的直接正面影响; 并且, 在季节变化的不同表层类型中, 负氧离子的分布呈现出明显的差异。进一步分析表明, 在不同的天气状况下, 负氧离子浓度都与气温呈正相关, 雨天相关性更好, 值得注意的是, 雨天相较于非雨天, 负氧离子浓度的上升趋势更为突出, 而在这两种情况下, 相对湿度均表现出与负氧离子浓度的反向关系, 这一结果与普遍认知存在较大出入。

## 关键词

负氧离子时空特征, 气象因子相关性

# Relationship between Spatial and Temporal Variation of Atmospheric Negative Oxygen Ions and Meteorological Factors in Yili Valley

Xin'an Jiang, Ting Xu

Yili Kazakh Autonomous Prefecture Meteorological Bureau, Yining Xinjiang

Received: Oct. 20<sup>th</sup>, 2024; accepted: Nov. 18<sup>th</sup>, 2024; published: Nov. 27<sup>th</sup>, 2024

文章引用: 江新安, 徐婷. 伊犁河谷大气负氧离子时空变化与气象因子的关系[J]. 气候变化研究快报, 2024, 13(6): 1668-1675. DOI: 10.12677/ccrl.2024.136179

Abstract

This study, based on the data collected by negative oxygen ion monitoring stations and meteorological stations in the Karajun, Kuerdenin and surrounding counties of the Ili Valley from 2018 to 2021, studied the distribution characteristics of negative oxygen ions in space and time in the region. By selecting and analyzing negative oxygen ion data related to meteorological elements, the study aimed to clarify the intrinsic connection between negative oxygen ion content in the atmosphere and meteorological conditions and surface cover types. The study found that the concentration of negative oxygen ions in urban and forest-grassland areas was significantly higher; Vegetation coverage had a direct positive impact on negative oxygen ion concentration; And negative oxygen ion distribution showed obvious differences in different surface types in seasonal changes. Further analysis showed that negative oxygen ion concentration was positively correlated with temperature in all weather conditions, with a better correlation in rainy days. It is worth noting that the trend of negative oxygen ion concentration was more prominent in rainy days compared to non-rainy days, while relative humidity showed an inverse relationship with negative oxygen ion concentration in both cases, which is contrary to the general perception.

Keywords

Space-Time Characteristics of Negative Oxygen Ions, Correlation of Meteorological Factors

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. 资料与方法

我们选取了具有代表性的三个观测点进行分析，分别是特克斯喀拉峻站、特克斯市区站和巩留库尔德宁站(见 图 1)。其中，喀拉峻站设置于喀拉峻景区腹地，其下垫面特性主要为草地覆盖；城区站则坐落于商业与交通高度融合的区域，能有效反映了特克斯县城大气中负氧离子的含量状况；库尔德宁站位处西天山浅山区，该地区下垫面以云杉林为主。这三个观测站点均配备了型号为易派 FLZ2-EP100 的大气负氧离子监测设备，此设备运行稳定、数据准确，已连续记录了从 2018 年至 2021 年的数据。除负氧离子数据外，这些站点还同步收集了包括温度、湿度、降水量、气压及风向风速在内的六项气象参数，旨在通过这些综合数据进行相关性分析，深化对环境因素间相互作用的理解。

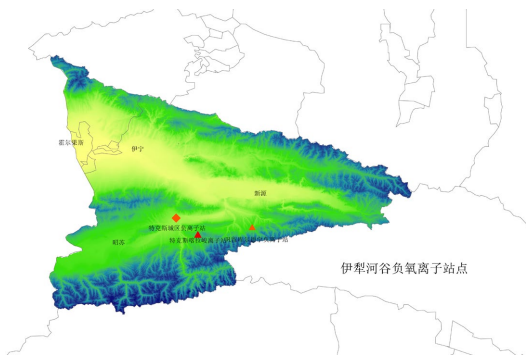


Figure 1. Map of Yili Valley negative ion monitoring stations  
图 1. 伊犁河谷负氧离子监测站分布图

2. 氧离子时空分布特征

2.1. 日变化特征

依据观测数据，喀拉峻夏季大气中负氧离子的日均浓度为 4115 个每立方厘米，夜间数值低于白天。参照负氧离子浓度评价标准，该区域空气负氧离子水平已达到郊野级别，整体空气质量被评定为有益健康[1]。值得注意的是，日间是负氧离子浓度的高峰时段，夜间则出现多个低谷区域，尤其是日落时分，离子浓度展现出急剧减少的趋势。这种日变化特征与白天太阳紫外线照射强烈、植物光合作用密切相关，在这两种作用下产生的大量自由电子[2]，使其浓度水平升高。

2.2. 月、年变化特征

喀拉峻及周边城区负氧离子浓度月波动特征显著，冬季低，夏季高。研究数据表明，夏季负氧离子浓度相比其他季节有更显著的提高，将这一现象归结为太阳辐射增强、雷暴天气频繁、雷电活动等，这些自然现象共同作用促使负氧离子浓度上升；同时，季节性降水使大气污染物总体水平有效降低，对负氧离子浓度增长起到间接促进作用。特克斯地区的两个监测站点记录的季节性变化较为突出，尤其是在 6 月至 8 月期间，平均值稳定超越 4000 个，最高值甚至突破了 10000 个。然而，依据年度变化趋势线的深入分析，不难发现，特克斯县域内这两处监测点记录的负氧离子数量正面临一个逐步减少的趋势，这一趋势与该地区人类活动的持续扩张及旅游区域的过度开发存在密切联系(见图 2)。

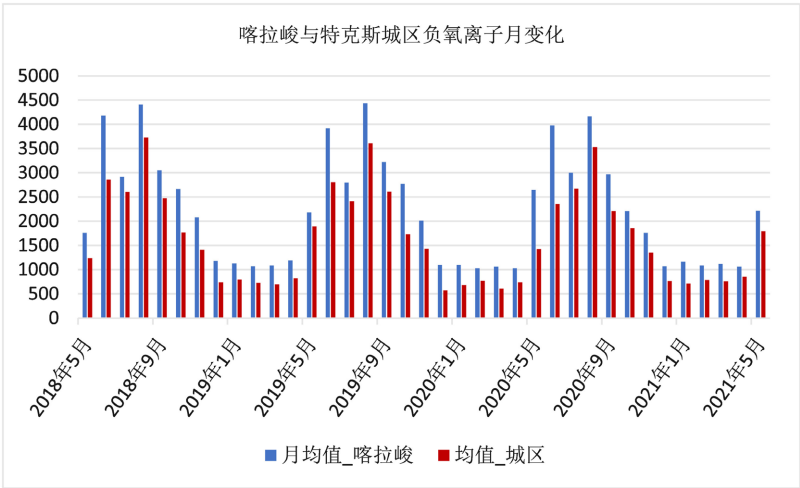


Figure 2. The monthly change of negative oxygen ions in Karajun and Tekes City  
图 2. 喀拉峻与特克斯城区负氧离子月变化

2.3. 相邻县市负氧离子分布特征和比较

特克斯县喀拉峻地区负氧离子的月均浓度为 2242 个/立方厘米，而城区的相应数值为 1675 个/立方厘米，显示出月变化含量存在显著波动，其中夏季三个月的平均值超过 4000 个/立方厘米。两个观测点每天的变化趋势呈现出一致的特点：白天时段的浓度比较平稳，而晚上则会有较大幅度的波动。与此形成对比的是巩留库尔德宁地区，负氧离子月均浓度为 2094 个/立方厘米，各月变化不大。通过综合分析各监测点数据，可以发现尽管月均浓度的整体平均水平差异不大，但季节性变化趋势呈现出明显区别——特克斯县夏季浓度达到峰值，冬季则降至最低；巩留库尔德宁的季节性变幅较小，这种年际与月际的差异性变化与地理位置及其地表覆盖特征密切相关(见图 3)。

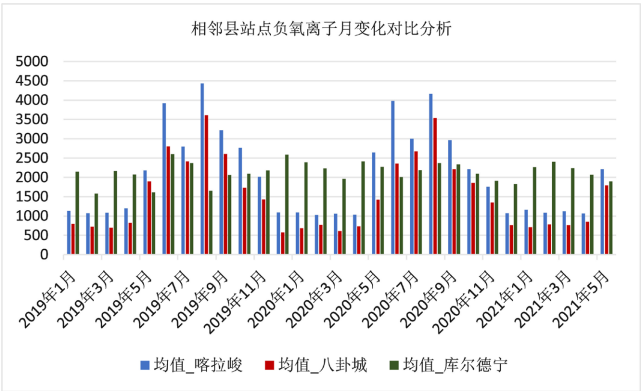


Figure 3. Contrast analysis of negative oxygen ions in adjacent county stations monthly change  
图 3. 相邻县站点负氧离子月变化对比分析

3. 气象条件对大气负氧离子浓度的影响

3.1. 负氧离子与气象因子的相关性

该研究选取降水、平均气温、最高气温、水汽压力、相对湿度 5 个关键气象要素，用相关性分析方法，对这些气象要素在雨天和非雨天条件下与大气中负氧离子浓度的相关性进行了系统探讨[3]。研究发现，气象变量与大气负氧离子之间的关联性在雨天和非雨天期间存在显著差异。具体而言，大气负氧离子浓度在雨日与平均气温、相对湿度、最高气温( $P < 0.05$ )表现出较强的正相关关系，见表 1；且在无雨条件下，其与平均气温、相对湿度及水汽压力均呈现明显的正相关关系( $P < 0.05$ )，具体可见表 2。这些结果表明在不同的天气模式下温度是影响大气负氧离子浓度的持续因素。过去的研究多集中于气象条件对降雨期间负氧离子含量变化的影响，降水有利于加速空气净化[4]，进而可能使大气微粒湿沉降过程提高负氧离子含量。另外，降水通过摩擦和碰撞作用，如与地表、建筑物等能促进电荷的分离；同时，降雨导致的交通等人类活动减慢[5]，也对负氧离子水平上升起到了推波助澜的作用。尽管如此，关于相对湿度的假设——其增高会因促进大气中离子的凝聚而增加离子浓度，从而提升负氧离子量——在本观察研究中并未得到验证。数据揭示，在无论雨天或晴天的情况下，相对湿度与负氧离子浓度均呈负相关。一个可能的解释是在伊犁河谷干旱和半干旱区域，相对湿度较低反而易于引发光电效应，促进空气中负氧离子的生成。

Table 1. Correlation analysis of atmospheric negative oxygen ions and meteorological factors (Rainy days)  
表 1. 大气负氧离子与气象因子的相关性分析(雨日)

	降水	平均温度	最高温度	水汽压	相对湿度	负氧离子
(Pearson)相关	0.076	0.331**	0.439**	0.145	-0.336**	1
显著性(双尾)	0.559	0.009	0.000	0.260	0.008	
N	62	62	62	62	62	62
偏差	0.002	-0.003	-0.008	-0.007	0.004	0

Table 2. Correlation analysis of atmospheric negative oxygen ions and meteorological factors (No rain days)  
表 2. 大气负氧离子与气象因子的相关性分析(无雨日)

	降水	平均温度	最高温度	水汽压	相对湿度	负离子
(Pearson)相关性		0.640**	0.628**	0.675**	-0.074	1
显著性(双尾)		0.000	0.000	0.000	0.209	
N	288	288	288	288	288	288
偏差		-0.002	-0.001	-0.001	0.001	0

3.2. 不同天气条件下各个气象因子影响

根据无雨和有雨的日子分类，分别对大气中负氧离子的数据进行了汇总，探讨了在四季更迭中，大气负氧离子变化特征发挥作用的各种显著气象因素[6]。

3.2.1. 无雨日气象因子对大气负氧离子浓度影响

在无雨日的情形下，大气中的负氧离子与平均气温、日最高温及水汽压展现出显著的相关性(参见表2)。由图4(a)和图4(b)所示的证据可得，夏季由于日照时间长，温度升高，紫外线照射强烈，水汽充沛，光电效应的作用促使空气中的负离子浓度明显升高，从而使负氧离子浓度在这个季节达到全年的峰值。相比之下，冬季因气温偏低、日照时间缩短及水汽含量减少，负氧离子的浓度降至最低水平。

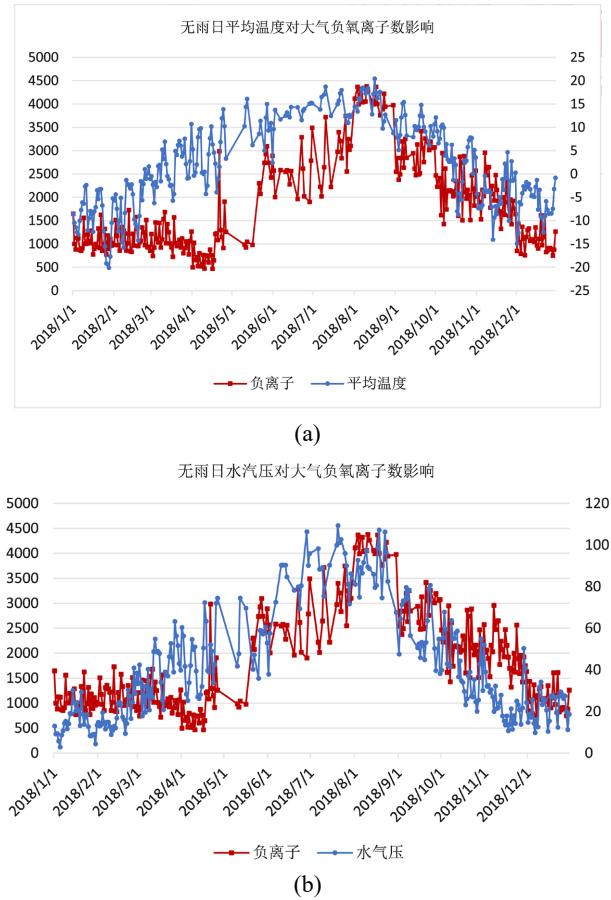


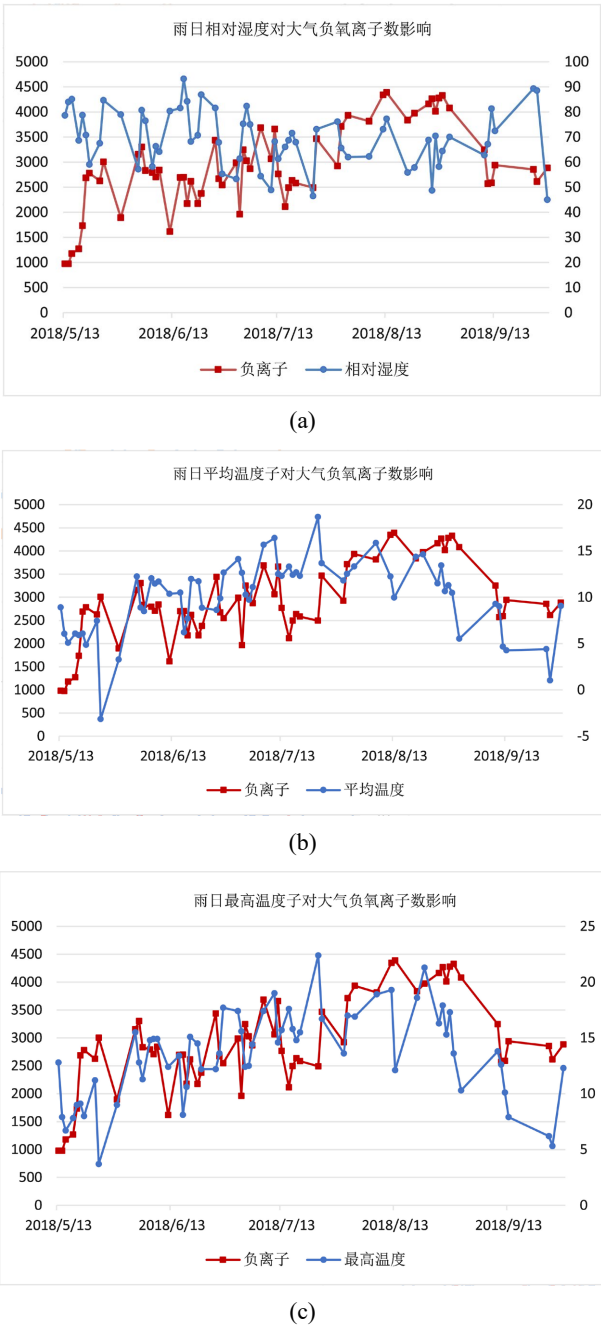
Figure 4. (a) Effect of average temperature in days without rain on the number of negative oxygen ions in atmosphere; (b) Effect of water vapor pressure on the number of negative oxygen ions in the atmosphere on days without rain

图 4. (a) 无雨日平均温度对大气负氧离子数影响；(b) 无雨日水汽压对大气负氧离子数影响

3.2.2. 雨日对大气负氧离子浓度影响

根据图5(a)至图5(c)，大气中的负氧离子浓度水平随着水汽压力的升高，在降雨过程中会趋于升高。研究指出，大气负氧离子浓度与水汽压之间存在着明确的正相关关系[7]。特别是在雨季，大气负氧离子浓度与平均气温成正比，考虑到夏季因高温更易促成光电效应，进而推高大气中负氧离子的浓度。此外，降水与地表、建筑物等障碍物的摩擦及碰撞加速了正负电荷的分离过程，促使负氧离子数量增加，此效应应在雷雨条件下尤为突出。具体而言，夏季降雨期间，负氧离子浓度峰值伴随的是高强度降水时段；而

到了冬天，由于温度低，负氧离子浓度就比较低了。



**Figure 5.** (a) Effect of relative humidity on the number of negative oxygen ions in atmosphere on days rain; (b) Effect of average temperature on the number of negative oxygen ions in the atmosphere; (c) Effect of the maximum temperature on the number of negative oxygen ions in the atmosphere

**图 5.** (a) 雨日相对湿度对大气负氧离子数影响; (b) 雨日平均温度对大气负氧离子数影响; (c) 雨日最高温度对大气负氧离子数影响

4. 结论

依据 2018 年至 2021 年间在特克斯城区、喀拉峻及巩留库尔德宁所记录的负氧离子浓度与气象数据



的分析结论:

(1) 特克斯地区的空气中负氧离子浓度在日间相较于夜间呈现出更高的水平, 并且不同季节之间的浓度差异显著。城区年平均浓度为每立方厘米 1642 个, 而 6~8 个月平均数值跃升至每立方厘米 2952 个。喀拉峻景区年平均浓度为 2100 个/立方厘米, 平均同期达到 3756 个/立方厘米; 这一数值在雷暴天气后甚至可以突破 20000 个/立方厘米。库尔德宁年平均浓度为每立方厘米 2115 个, 夏季(6~8 月)平均浓度为 2717 个。上述两地空气中的负氧离子含量远远超出了 WHO (1000~1500 个/立方厘米)所设定的清新空气标准范围。因此, 这样的居住环境被认定为对增强人体免疫力、抗菌能力及促进康复治疗方面具有积极作用。

(2) 特克斯与巩留两地区的年均负氧离子浓度均超越 2000 个/立方厘米, 其中特克斯的夏季数值显著高于其冬季水平。尤其是在喀拉峻景区, 6 月至 8 月期间的平均值近乎达到 4000 个/立方厘米, 日间更可攀升至超过 5000 个/立方厘米, 这一现象与该地繁茂的植被覆盖相关, 草原的季节性变化直接影响了负氧离子的浓度波动。相比之下, 巩留的库尔德宁区域年均负氧离子浓度在季节上变化不大, 这从地理位置考量上得到解释: 库尔德宁坐落于浅山区, 终年被云杉林所覆盖, 因此, 该地负氧离子的浓度主要受制于森林环境, 植被因素则居次要地位。

(3) 调节大气中负氧离子浓度的各种因素, 如气象条件、植被分布状况和人类活动影响等。巩留与特克斯两个监测站点坐落于风景名胜区内, 其下垫面特征为茂密的森林与广阔的草原覆盖, 这一地理环境有利于维持较高的水汽饱和度、空气净化度及适宜的紫外线辐射水平, 进而促进了负氧离子的富集。观察两站点记录的负氧离子时间序列变化, 显示出明显的趋势: 喀拉峻区域因近年来人类活动强度的上升, 导致负氧离子含量呈现下降态势; 相比之下, 库尔德宁区域在过去三年里人类活动较少, 其负氧离子水平几乎保持稳定, 未见显著变化。

(4) 95%的置信水平下, 大气负氧离子浓度与气象因素的相关性研究表明, 在不同的天气状况下, 负氧离子浓度都与气温和水汽压呈正相关, 雨天相关性更好, 值得注意的是, 雨天相较于非雨天, 负氧离子浓度的上升趋势更为突出, 而在这两种情况下, 相对湿度均表现出与负相关关系, 这一结果与普遍认知存在较大出入。

(5) 降水强度与负氧离子浓度之间呈现高度正相关(相关系数达 0.76), 表明在夏季喀拉峻高山草原雷雨频发的季节, 伴随强降水的雷暴活动可有效促使空气电离, 新释放的电子迅速与中性气体分子结合, 生成负氧离子, 进而导致暴雨后空气中负氧离子含量明显增加。此外, 该地区丰富的植被覆盖不仅是负氧离子产生的有利条件, 也进一步促进了大气中负氧离子浓度的增加。

## 基金项目

伊犁哈萨克自治州科技计划基础研究项目“基于遥感气象卫星伊犁河谷火情识别监测技术”课题(YJC2023A06)。

## 参考文献

- [1] 廖荣俊, 颜晓捷, 江波, 等. 灵鹫山国家森林公园康养基地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.
- [2] 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.
- [3] 周林明, 刘卫荣, 张辉, 等. 景宁县森林空气湿度与负氧离子浓度关系分析[J]. 华东森林经理, 2015(3): 31-33.
- [4] 谢雪宇, 胡希军, 朱炫霓. 赛场山森林公园空气负氧离子浓度的时空变化特征[J]. 西北林学院学报, 2014, 30(5): 37-41.

- 
- [5] 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, 2018, 43(4): 728-733.
  - [6] 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.
  - [7] 方砚秋, 张方敏, 陈龙, 等. 江西省空气负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.