

准格尔盆地南缘不同生态功能区 夏季空气负离子浓度特征

李翔¹, 何平², 张毓涛¹, 常顺利²

(1. 新疆林业科学研究院 森林生态研究所, 新疆 乌鲁木齐市 830063;

2. 新疆大学 资源与环境科学学院绿洲生态教育部重点实验室, 新疆 乌鲁木齐市 830046)

摘要: [目的] 对准格尔盆地南缘不同生态功能区夏季空气负离子浓度进行监测和分析, 为不同地区空气质量评价提供参考依据。[方法] 分别就不同生态功能区(水体、林区、停车场、聚集区)进行空气负离子浓度监测及评价, 通过 AIC-1000 型空气离子测量仪进行数据采集并运用 SPSS 17.0 软件进行统计分析。[结果] (1) 不同区域生态功能区空气负离子浓度变化由高到低依次为: 精河>天池>哈密>巴尔鲁克, 且精河、天池与哈密、巴尔鲁克之间差异显著 ($p < 0.05$); (2) 不同生态功能区中水体和林区空气负离子浓度含量较高, 且空气负离子浓度随时间的变化出现早、晚较高, 中午较低的动态变化趋势; (3) 空气质量等级指标: 天池(A 级, $1.28 \pm 0.42 \text{ ind/cm}^3$)>精河(A 级, $1.16 \pm 0.08 \text{ ind/cm}^3$)>哈密(D 级, $0.33 \pm 0.14 \text{ ind/cm}^3$)>巴尔鲁克(D 级, $0.32 \pm 0.03 \text{ ind/cm}^3$); (4) 不同天气状况对空气负离子浓度影响较大, 主要表现为: 雨天(699 ind/cm^3)>沙尘(507 ind/cm^3)>晴天(428 ind/cm^3)>阴天(395 ind/cm^3)。[结论] 不同生态功能区空气质量变化与空气负离子浓度变化基本一致, 空气质量沿准格尔盆地南缘由东到西呈现劣—优—劣的分布规律。

关键词: 准格尔盆地; 生态功能区; 空气负离子; 空气质量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)04-0229-06

中图分类号: S716.13

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.04.042

Characteristics of Summer Air Anion Concentration in Different Ecological Functional Areas of Southern Edge of Junggar Basin

LI Xiang¹, HE Ping², ZHANG Yutao¹, CHANG Shunli²

(1. Institute of Forest Ecology, Xinjiang Academy of Forestry, Urumqi,

Xingjiang 830063, China; 2. Key Laboratory of Oasis Ecology, College of

Resource and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi, Xingjiang 830046, China)

Abstract: [Objective] Air anion concentration in different ecological functional zones in southern margin of Junggar Basin was monitored in summer in order to provide a reference for rating regional air quality. [Methods] The concentrations of negative air ion in different ecological function areas (water body, forest area, parking lot, populated districts) by AIC-1000 type instrument. SPSS 17.0 was used for statistical analysis. [Results] (1) The concentrations in different regional areas ranked as: Jinghe>Hami>Tianchi>Baerluke. And the difference between the concentrations of Jinghe and Tianchi and values of Hami and Baerluke was significant ($p < 0.05$); (2) In local ecological function areas, water body and forest area had higher concentration of negative air ions; and the daily concentration showed that it was higher in the morning and evening, and lower in the noon; (3) The rank of air quality levels(CI): Tianchi (level A, $1.28 \pm 0.42 \text{ ind/cm}^3$)>Jinghe (level A, $1.16 \pm 0.08 \text{ ind/cm}^3$)>Hami (level D, $0.33 \pm 0.14 \text{ ind/cm}^3$)>Baerluke (level D, $0.32 \pm 0.03 \text{ ind/cm}^3$); (4) Weather conditions could also influence the concentration of negative air ions, a rank was measured as: rainy(699 ind/cm^3)>dust(507 ind/cm^3)>sunny(428 ind/cm^3)>cloudy(395 ind/cm^3). [Conclusion] Changes in air quality and the concentration of negative air ions were basically synchronized in different ecological function areas. Air quality along the southern Junggar Basin showed an inferior-superior-inferior trend graphically form east to west.

Keywords: Junggar Basin; ecological function areas; negative air ion; air quality

收稿日期: 2014-05-28

修回日期: 2014-06-29

第一作者: 李翔(1983—), 男(壮族), 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市人, 学士, 助理研究员, 主要从事新疆城市及山地森林生态研究。E-mail: 95447006@qq.com; 786648396@qq.com.

随着生态环境的日益恶化及给人们健康带来的诸多问题,环境质量受到越来越多的关注和研究,由于空气负离子对人体具有保健和镇静等功效及一些除尘、杀菌、净化空气等作用,是研究空气质量等级中重要的因素^[1-4]。而衡量空气负离子浓度的标准,世界卫生组织(WHO)将空气负离子浓度 1 000~1 500 ind/cm³ 定为清洁标准,国内学者大量的研究发现空气负离子浓度达到 1 000 ind/cm³ 为清洁,城镇居民区应达到 250 ind/cm³ 才符合最低健康标准^[5]。关于空气负离子浓度的研究国内外也有很多工作,国内主要运用空气负离子去监测环境质量及空气负离子影响因子的相关研究。如对山区不同庭院林空气负离子监测及其与小气候因子之间的相互关系的研究^[6],及对不同生态功能区空气负离子浓度研究进而评价不同类型城市的空气质量^[7-10]。国外研究空气负离子主要用于生物机体的一些生物学效应的研究和临床医学等方面^[11-15]。新疆自治区位于我国的西北地区,而准格尔盆地南缘则是新疆主要的经济和文化中心,具有独特的地缘优势,其空气质量的合格与否将直接影响到人们的身体健康及城市生态的稳定和可持续发展。本研究主要对准格尔盆地南缘的巴尔鲁克山、精河、天池和哈密 4 个区域进行空气负离子浓度监测,比较和评价各区域生态功能区空气离子浓度和空气质量等级,为干旱区盆地边缘绿洲空气质量评价、生态环境改善和城市经济旅游建设提供依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

主要沿准格尔盆地南缘天山山脉条带由西向东分别就精河(82°54'11"E,44°41'06"N)、巴尔鲁克(82°31'01"E,45°53'09"N);天池(88°07'01"E,43°53'10"N);哈密(93°40'13"E,43°20'22"N)等地区进行调查。天池为国家级旅游景区,而巴尔鲁克为天然的林场人为活动较少,精河和哈密分别位于天山的东西部的人类居住区。以上 4 个研究区有天然林场、旅游景区及人类居住区基本属于新疆地区主要的绿洲类型,对分析准格尔盆地南缘空气质量具有一定的代表性。

1.2 研究方法

从 2013 年 8 月 10 日至 9 月 10 日,每天分别在 10:00,14:00,20:00 这 3 时段对精河、巴尔鲁克、天池、哈密监测地区的水体、停车场、聚集区、林区(巴尔鲁克山观测点属于山地森林无停车场)不同的下垫面类型(表 1)分别进行空气正、负离子浓度 1 个月的连续监测,使用测量精度为±10%的 AIC-1000 型空气

离子测量仪进行测定,每监测点重复读值 3 次的均值为该点的最终测量值并统计记录。

表 1 不同研究区下垫面类型

生态功能区		下垫面类型
区域	局部	
精河	水体	灌渠
	停车场	水泥地
	聚集区	草地、水泥地
	林区	草地、灌草地、乔灌地
巴尔鲁克	水体	自然河道
	聚集区	草地、水泥地
	林区	草地、灌草地、乔灌地
	水体	自然湖泊
天池	停车场	水泥地
	聚集区	草地、水泥地
	林区	草地、灌草地、乔灌地
	水体	河道
哈密	停车场	裸地、水泥地
	聚集区	裸地、水泥地
	林区	草地、灌草地、乔灌地

在空气离子浓度评价方法上主要运用空气正、负离子之比计算空气离子评价系数,从而对空气质量等级进行评价,主要计算公式为:

$$q = n^+ / n^- \quad (1)$$

$$CI = \frac{1}{q} (n^- / 1\ 000) \quad (2)$$

式中: q ——单极系数; n^+ , n^- ——正、负离子浓度(ind/cm³); CI ——空气离子评价系数;空气质量等级标准主要采用国际广泛认可的空气质量标准(表 2)。

监测到的数据主要采用 SPSS 17.0 软件进行单因素方差分析,并进行最小显著性检验,从而比较分析不同生态区的差异及规律。

表 2 空气质量等级标准

CI 值/(ind·cm ⁻³)	空气质量	等级
>1.0	最清洁	A
1.0~0.7	清洁	B
0.69~0.50	中等清洁	C
0.49~0.30	允许值	D
<0.29	临界值	E

2 结果与分析

2.1 准格尔盆地南缘不同生态功能区空气离子浓度差异及日动态变化

由图 1 中 4 个区域生态功能区空气离子浓度平均值分析,空气负离子浓度变化范围为:413~1 085

ind/cm³,变化规律为:精河>天池>哈密>巴尔鲁克。精河、天池与哈密、巴尔鲁克之间差异显著($p=0.000<0.05$),哈密和巴尔鲁克之间差异不显著($p>0.05$),且对4区域空气负离子浓度进行多项式线性分析发现空气负离子浓度峰值出现在天山山脉中段;而4个区域的正离子浓度变化范围为:455~1 025 ind/cm³,变化规律为:精河>哈密>天池>巴尔鲁克,与负离子浓度变化规律基本一致。整体分析来看,精河、天池空气离子浓度含量较高,而哈密、巴尔鲁克则较低。

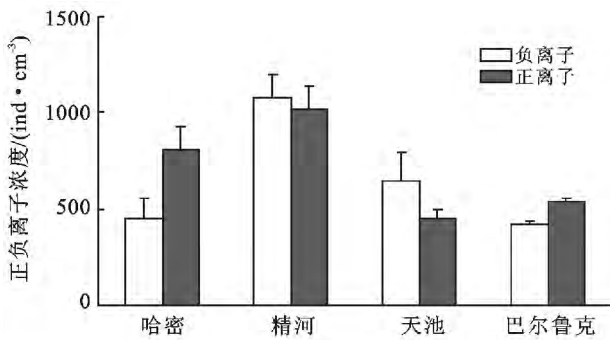


图1 不同生态功能区空气离子浓度差异

从表3分析了各区域空气离子浓度分别在水体、停车场、聚集区、林区等生态功能区的分布和差异情况。精河空气负离子浓度变化为:水体(1 123 ind/cm³)>林区(1 113 ind/cm³)>停车场(1 103 ind/cm³)>聚集区(997 ind/cm³)。从方差分析结果来看,同一功能区不同时间水体10:00的空气负离子浓度与14:00和20:00差异显著($p<0.05$),而14:00和20:00的空气负离子浓度差异不显著($p>0.05$)。同样的规律也存在于停车场和聚集区。而林区的20:00的空气负离子浓度低于10:00和14:00,且差异显著($p<0.05$);同一时间不同功能区10:00时4个功能区空气负离子浓度差异不显著($p>0.05$),14:00时林区的空气负离子浓度显著高于水体、停车场和聚集区($p<0.05$),其他3个功能区之间差异不显著。20:00时水体和聚集区空气负离子浓度差异显著($p<0.05$)。空气正离子浓度规律和负离子浓度规律基本一致,只是正离子浓度在聚集区的10:00和14:00,20:00差异显著($p<0.05$)。巴尔鲁克空气负离子浓度变化为:水体(452 ind/cm³)>林区(423 ind/cm³)>聚集区(364 ind/cm³)。同一功能区不同时间:水体在10:00,14:00和20:00间空气负离子浓度差异显著($p<0.05$),林区在10:00时空气负离子浓度显著高于14:00和20:00时空气负离子浓度差异显著($p<0.05$),14:00和20:00之间空气负离子浓度差

异不显著($p=0.287>0.05$),聚集区在10:00时空气负离子显著高于14:00和20:00时空气负离子浓度($p<0.05$),14:00和20:00之间空气负离子浓度差异不显著($p>0.05$)。天池空气负离子浓度变化依次为:水体(947 ind/cm³)>林区(771 ind/cm³)>停车场(719 ind/cm³)>聚集区(584 ind/cm³)。同一功能区不同时间,水体在3个时段的空气负离子浓度存在显著差异($p<0.05$),停车场20:00时的浓度显著低于10:00和14:00且差异显著($p<0.05$)。聚集区和林区在10:00的空气负离子浓度显著高于14:00和20:00时的浓度且差异显著($p<0.05$);同一时间不同功能区10:00时停车场和聚集区之间空气负离子浓度差异不显著,其他功能区之间差异显著($p<0.05$),14:00时停车场的空气负离子浓度显著高于水体、林区和聚集区($p<0.05$)。20:00时水体和聚集区空气负离子浓度差异显著($p<0.05$)。哈密空气负离子浓度变化为:林区(650 ind/cm³)>水体(403 ind/cm³)>聚集区(393 ind/cm³)>停车场(387 ind/cm³)。同一功能区不同时间,林区在14:00的空气负离子浓度显著低于10:00和20:00时的浓度($p<0.05$)。水体在14:00的空气负离子浓度显著高于10:00和20:00的空气负离子浓度($p<0.05$),停车场和聚集区也存在相同的规律。同一时间不同功能区:10:00和20:00时林区的空气负离子浓度高于其他3个功能区且差异显著($p<0.05$),其他功能区之间差异不显著($p>0.05$),14:00时停车场的空气负离子浓度分别与水体和林区存在显著差异($p<0.05$),聚集区也分别与水体和林区存在显著差异($p<0.05$)。总体分析得出不同生态功能区中水体和林区空气负离子浓度含量较高,其他次之。空气负离子浓度随时间的变化出现早、晚较高中午较低的动态变化趋势。

2.2 不同生态功能区空气质量等级评议系数

从表4可以得出,与空气负离子浓度变化规律基本一致,在区域生态功能区CI值较高的是精河和天池,较低的是哈密和巴尔鲁克,对其CI值均值化排序为:天池(1.28±0.42)>精河(1.16±0.08)>哈密(0.33±0.14)>巴尔鲁克(0.32±0.03)。天池的水体、林区、停车场CI值处于最清洁范畴,属于A级,聚集区CI值处于清洁范畴,属于B级;精河的水体、停车场、聚集区、林区CI值都处于最清洁范畴,属于A级;哈密的林区CI值处于允许范畴,属于D级,而水体、停车场、聚集区CI值都处于临界值以下,属于E级;巴尔鲁克的林区和聚集区CI值处于允许范畴,属于D级,而水体CI值在临界值以下,属于E级。

表 3 不同生态功能区相互之间差异分析 p 值

地区	时间	水体		停车场		聚集区		林区	
		负离子	正离子	负离子	正离子	负离子	正离子	负离子	正离子
精河	10:00	0.48	0.32	0.31	0.49	0.38	0.33	0.57	0.38
	14:00	0.37	0.30	0.19	0.27	0.29	0.24	0.31	0.33
	20:00	0.33	0.27	0.32	0.49	0.39	0.40	0.55	0.40
哈密	10:00	0.13	0.35	0.24	0.33	0.15	0.26	0.32	0.25
	14:00	0.27	0.32	0.16	0.33	0.16	0.38	0.15	0.21
	20:00	0.13	0.25	0.18	0.26	0.15	0.26	0.17	0.13
天池	10:00	0.65	0.13	0.28	0.14	0.10	0.07	0.51	0.49
	14:00	0.23	0.11	0.31	0.12	0.21	0.15	0.18	0.09
	20:00	0.20	0.08	0.11	0.08	0.18	0.09	0.13	0.08
巴尔鲁克	10:00	0.06	0.05	—	—	0.04	0.05	0.04	0.02
	14:00	0.06	0.07	—	—	0.03	0.04	0.04	0.04
	20:00	0.06	0.06	—	—	0.04	0.04	0.05	0.05

表 4 不同生态功能区空气质量评价

区域	局部	空气离子评价系数 CI 值					等级
		极大值	均值	标准差	标准误	极小值	
精河	水体	1.25	0.14	0.08	1.12	1.39	A
	停车场	1.08	0.17	0.10	0.97	1.28	A
	聚集区	1.15	0.10	0.06	1.04	1.21	A
	林区	1.14	0.22	0.13	0.89	1.28	A
哈密	水体	0.21	0.20	0.11	0.08	0.43	E
	停车场	0.18	0.13	0.08	0.09	0.33	E
	聚集区	0.20	0.10	0.06	0.10	0.31	E
	林区	0.74	0.21	0.12	0.54	0.96	B
天池	水体	1.88	2.10	1.21	0.42	4.29	A
	停车场	1.00	0.30	0.17	0.66	1.21	A
	聚集区	0.83	0.32	0.19	0.52	1.16	B
	林区	1.39	0.96	0.55	0.82	2.50	A
巴尔鲁克	水体	0.29	0.01	0.01	0.28	0.31	E
	聚集区	0.35	0.02	0.01	0.33	0.36	D
	林区	0.32	0.01	0.01	0.31	0.33	D

由表 5 可以得出,哈密空气质量达到 B 级的天数占总天数的 6%,达到 D 级和 E 级天数分别占总天数的 31%和 63%,空气质量没有达到 A 级和 C 级的天数;天池空气质量达到 A 级的天数占总天数的 63%,达到 B 级和 C 级天数分别占总天数的 31%和 6%,空气质量没有达到 D 级和 E 级的天数;精河空气质量达到 A 级的天数占总天数的 69%,达到 B 级和 C 级天数分别占总天数的 25%和 6%,空气质量没有达到 D 级和 E 级的天数;巴尔鲁克空气质量达到 D 级和 E 级的天数分别占总天数的 81%和 19%,空气质量没有达到 A 级、B 级和 C 级的天数。总的体现出沿准格尔盆地南缘天山山脉由东到西 A 级空气质量先增加后减少的趋势。

2.3 空气负离子浓度在不同天气状况下的响应

通过整理 2013 年 8 月 10 日至 9 月 10 日哈密地区同步监测的天气状况(雨天、沙尘、晴天、阴天)数据,对哈密地区不同天气状况下空气离子浓度在不同生态功能区进行比较(图 2)。

由图 2 可以看出,雨天共 4 d 占总天数的 13%,沙尘天气共 4 d 占总天数的 13%,晴天共 17 d 占总天数的 53%,阴天共 7 天占总天数的 22%。对表 3 中出现相应天气状况的天数的 CI 值进行均值化得出:雨天(0.87) > 沙尘(0.86) > 晴天(0.79) > 阴天(0.76),同时不同生态功能区空气负离子浓度也基本服从这样的规律,尤其水体的空气负离子浓度在不同天气状况下出现较为明显的递减变化。

表 5 2013 年研究区各区域 CI 值及评价等级

日期	哈密		天池		精河		巴尔鲁克	
	CI 值	等级	CI 值	等级	CI 值	等级	CI 值	等级
0810	0.13	E	1.93	A	0.67	C	0.42	D
0811	0.29	E	1.75	A	1.14	A	0.34	D
812	0.78	B	1.45	A	0.99	B	0.31	D
0813	0.13	E	0.91	B	1.68	A	0.29	E
0814	0.14	E	2.05	A	1.10	A	0.33	D
0815	0.24	E	1.44	A	1.36	A	0.32	D
0816	0.23	E	0.79	B	0.91	B	0.34	D
0817	0.24	E	0.53	C	1.24	A	0.31	D
0818	0.14	E	0.56	C	1.36	A	0.29	E
0819	0.31	D	2.23	A	1.24	A	0.33	D
0820	0.36	D	2.30	A	0.80	B	0.32	D
0821	0.40	D	1.54	A	1.09	A	0.30	D
0822	0.39	D	1.56	A	1.32	A	0.26	E
0823	0.42	D	1.24	A	1.40	A	0.35	D
0824	0.25	E	0.94	B	0.97	B	0.38	D
0825	0.28	E	1.27	A	1.09	A	0.37	D
0826	0.25	E	1.44	A	1.07	A	0.34	D
0827	0.31	D	0.94	B	1.09	A	0.34	D
0828	0.43	D	1.21	A	0.97	B	0.36	D
0829	0.29	E	0.85	B	1.45	A	0.42	D
0830	0.36	D	0.82	B	1.16	A	0.34	D
0831	0.87	B	1.79	A	1.34	A	0.31	D
0901	0.18	E	1.53	A	1.42	A	0.29	E
0902	0.16	E	1.08	A	1.75	A	0.33	D
0903	0.20	E	0.88	B	1.61	A	0.32	D
0904	0.16	E	0.85	B	0.88	B	0.30	D
0905	0.23	E	0.93	B	1.34	A	0.26	E
0906	0.29	E	1.22	A	0.64	C	0.35	D
0907	0.35	D	0.94	B	0.77	B	0.38	D
0908	0.25	E	1.12	A	1.23	A	0.34	D
0909	0.36	D	1.38	A	1.03	A	0.31	D
0910	0.19	E	1.04	A	0.83	B	0.29	E

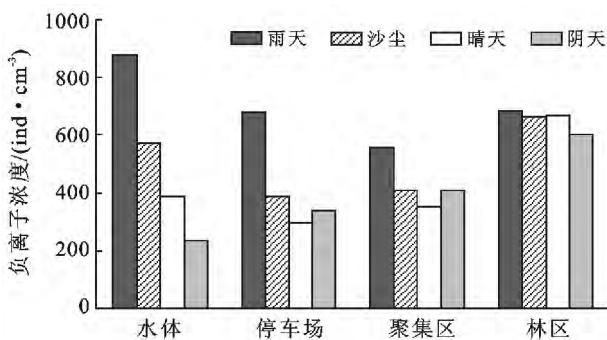


图 2 不同天气状况下空气负离子浓度变化

3 讨论

本研究空气负离子浓度日动态变化在早 10:00 和晚 20:00 出现峰值,且与中午 14:00 的空气负离子浓度差异显著,而国内相关研究分别得出在 3:00—4:00,15:00—16:00 和 9:00—10:00,13:00—14:00

处空气负离子浓度最大^[16-17]。但本研究结论与吴楚材等^[18]的研究结果相符。由于空气负离子浓度在时间上的变化规律及其峰值出现的具体时间直至今日尚无定论^[19],所以出现以上结论差异的主要原因可能与研究区域不同和不同的立地类型有关。在空气负离子浓度的空间变化方面,基本上沿准格尔盆地南缘天山山脉一带由东到西呈现先增后减的一个正态分布特征,由于所选的研究区空气离子浓度空间变化的相关研究及结论较为少见,所以此结论可为后续新疆天山地区空气离子浓度研究提供参考。

不同区域空气负离子浓度变化由高到低依次为:精河>天池>哈密>巴尔鲁克,且精河、天池与哈密、巴尔鲁克两两之间差异显著($p < 0.05$),造成这一规律的主要原因可能是与地理位置有关,精河位于新疆西部较位于东部的哈密风沙较少;而巴尔鲁克位于天山和阿尔泰山交汇处,地形复杂,植被郁闭度较低,这

可能是造成其空气负离子浓度较低的原因。

天气状况对空气负离子浓度具有重要的影响作用,本研究结果表明不同生态功能区空气负离子浓度变化依次为:雨天>沙尘>晴天>阴天,且雨天空气负离子浓度比阴天高近 77%,这一结论与张毓涛等^[12]在新疆地区的研究结论(雨天>晴天>阴天>沙尘、浮尘)基本一致,而在沙尘天气出现差异可能与研究区及下垫面类型的不同有关。

在空气负离子浓度的相关影响因子方面,如雨量、风速、温度、相对湿度、植被类型等都会对空气负离子浓度产生影响,在热带雨林空气负离子浓度变化量与降雨强度发生变化时的雨量变化量呈显著正相关^[20]。但由于研究区环境的复杂性及一些监测仪器的不规范,目前空气负离子与气象因子的相关性很难得出统一定论^[18]。空气负离子与影响因子之间的相关关系及作用机理有待今后进一步深入研究。

4 结论

(1) 不同区域生态功能区空气负离子浓度变化依次为:精河>天池>哈密>巴尔鲁克,且精河、天池与哈密、巴尔鲁克两两之间差异显著($p < 0.05$)。

(2) 不同生态功能区中水体和林区空气负离子浓度含量较高,而停车场和聚集区含量较低,且空气负离子浓度随时间的变化出现早、晚较高中午较低的动态变化趋势。

(3) 空气质量等级:天池(A级, $1.28 \pm 0.42 \text{ ind/cm}^3$)>精河(A级, $1.16 \pm 0.08 \text{ ind/cm}^3$)>哈密(D级, $0.33 \pm 0.14 \text{ ind/cm}^3$)>巴尔鲁克(D级, $0.32 \pm 0.03 \text{ ind/cm}^3$);

(4) 不同生态功能区空气质量变化与空气负离子浓度变化基本一致,空气质量沿准格尔盆地南缘由东到西呈现劣—优—劣的分布规律;

(5) 不同天气状况对空气负离子浓度影响较大,依次表现为:雨天(699 ind/cm^3)>沙尘(507 ind/cm^3)>晴天(428 ind/cm^3)>阴天(395 ind/cm^3)。

[参 考 文 献]

- [1] 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.
- [2] 张璐,杨加志,曾曙才,等. 车八岭国家级自然保护区空气负离子水平研究[J]. 华南农业大学学报, 2004, 25(3): 26-28.
- [3] 王洪俊,孟庆繁. 城市绿地中空气负离子水平的初步研究[J]. 北华大学学报:自然科学版, 2005, 6(3): 264-268.
- [4] 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.
- [5] 尹俊光. 上海市公园空气负离子浓度的时空格局及其影响因素[D]. 上海:华东师范大学, 2010.
- [6] 王晓磊,李传荣,许景伟,等. 济南市南部山区不同模式庭院林空气负离子浓度[J]. 应用生态学报, 2013, 24(2): 373-378.
- [7] Nakane H, Asami O, Yamada Y, et al. Effect of negative air ions on computer operation, anxiety and salivary chromogranin A-like immunoreactivity[J]. International Journal of Psychophysiology, 2002, 46(1): 85-89.
- [8] Goel N, Terman M, Terman J S, et al. Controlled trial of bright light and negative air ions for chronic depression[J]. Psychological Medicine, 2005, 35(7): 945-955.
- [9] Suzuki S, Yanagita S, Amemiya S, et al. Effects of negative air ions on activity of neural substrates involved in autonomic regulation in rats[J]. International Journal of Biometeorology, 2008, 52(6): 481-489.
- [10] Sirota T V, Safronova V G, Amelina A G, et al. The effect of negative air ions on respiratory organs and blood[J]. Biophysics, 2008, 53(5): 886-893.
- [11] 石强,舒惠芳,钟林生,等. 森林游憩区空气负离子评价研究[J]. 林业科学, 2004, 40(1): 36-40.
- [12] 张毓涛,李吉玫. 新疆主要城市不同生态功能区夏季空气负离子特征[J]. 干旱区地理, 2012, 35(6): 864-874.
- [13] 刘新,吴林豪,张浩,等. 城市绿地植物群落空气负离子浓度及影响要素研究[J]. 复旦大学学报:自然科学版, 2011, 50(2): 206-212.
- [14] 范亚民,何平,李建龙,等. 城市不同植被配置类型空气负离子效应评价[J]. 生态学杂志, 2005, 24(8): 883-886.
- [15] 韦朝领,王敬涛,蒋跃林,等. 合肥市不同生态功能区空气负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, 17(11): 2158-2162.
- [16] 倪军. 城市不同功能区典型下垫面空气离子与环境因子的相关研究:以上海徐汇为例[J]. 上海师范大学学报, 2005, 5(1): 20-21.
- [17] 高铭聪,蒋文伟,金竹秀,等. 西径山森林公园夏季空气负离子日变化[J]. 浙江林学院学报, 2011, 28(4): 667-673.
- [18] 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.
- [19] 韦朝领,王敬涛,蒋跃林,等. 合肥市不同生态功能区空气负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, 17(11): 2158-2162.
- [20] 司婷婷,罗艳菊,赵志忠,等. 吊罗山热带雨林空气负离子浓度与气象要素的关系[J]. 资源科学, 2014, 36(4): 788-792.