

# 林芝市不同生态功能区空气负离子特征研究

高 郊<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>, 姜嵩岳<sup>1</sup>

(1. 西藏农牧学院 高原生态研究所, 西藏 林芝 860000; 2. 西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)

**摘 要:**以林芝市 7 个功能区为研究对象,采用单因素方差和皮尔逊相关系数对空气负离子浓度状况进行研究,以期为市政规划提供参考,促进旅游业的发展。结果表明:1)除商业街外,其他生态功能区空气负离子浓度均为上午<下午;水体、湿地日变化均为三峰型,空旷地、游憩绿地、商业街日动态呈双峰“M”型,林地、绿地日动态表现为单峰型。2)林芝各生态功能区浓度大小为水体(1 423 个·cm<sup>-3</sup>)>绿地(1 056 个·cm<sup>-3</sup>)>空旷地(1 039 个·cm<sup>-3</sup>)>林地(973 个·cm<sup>-3</sup>)>湿地(812 个·cm<sup>-3</sup>)>游憩绿地(723 个·cm<sup>-3</sup>)>商业街(717 个·cm<sup>-3</sup>),平均浓度为 943 个·cm<sup>-3</sup>,水体旁空气负离子浓度是商业街的 1.78 倍。水体与其他 6 种生态功能区差异显著( $P<0.05$ ),绿地、空旷地与湿地、游憩绿地、商业街差异显著( $P<0.05$ ),其他功能区之间差异不显著( $P>0.05$ )。3)林芝各生态功能区空气质量指数(CI)大小为水体(1.143)>绿地(1.133)>林地(0.935)>湿地(0.921)>游憩绿地(0.891)>空旷地(0.845)>商业街(0.797)。4)空气负离子浓度与温度正相关而不显著( $P>0.05$ ),与相对湿度负相关而不显著( $P>0.05$ )。林芝市空气负离子浓度较高、空气质量较好。

**关键词:**空气负离子;空气质量;生态功能区;林芝

**中图分类号:**S718.45      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2019)04-0070-06

Characteristics of Negative Air Ions in Different Ecologica Functional Areas of Linzhi of Tibet

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>, JIANG Song-yue<sup>1</sup>

(1. Institute of Plateau Ecology, Tibet Agriculture and Animal Husbandry University, Linzhi 860000, Tibet, China;  
2. Key Laboratory of Forest Ecology in Tibet Plateau Ministry of Education, Linzhi 860000, Tibet, China;  
3. National Forest Ecosystem Observation & Research Station, Linzhi 860000, Tibet, China)

**Abstract:** Taking the seven ecological functional areas in Linzhi as the research objects, the negative air ion concentrations (NAIC) were studied by one-way variance and Pearson correlation coefficient to provide reference for municipal planning and to promote the development of local tourism. The results showed that: 1) except for the commercial area, NAICs of other ecological functional areas were all higher in the afternoon than in the morning; the daily variation of NAICs in water body and wetland presented 3-peak-pattern, and “M-tpye-pattern” in the areas of open space, recreational green space and commercial area. 2) The order of NAIC in seven ecological functional areas was water body (1 423)>green space (1 056)>open space (1 039)>forest land (973)>wetland (812)> recreational green space (723)>commercial area (717 ions · cm<sup>-1</sup>), with an average concentration of 943 ions · cm<sup>-1</sup>, and NAIC near the water was 1.78 times higher than in the commercial area. The differences between the water body and the other six ecological func-

收稿日期:2018-10-08    修回日期:2018-12-07

基金项目:西藏农牧学院研究生创新计划项目(YJS2018-12)。

作者简介:高 郊,女,硕士在读,研究方向:高原(高山)群落和种群生态。E-mail:NYgt222@163.com

\* 通信作者:卢 杰,男,博士,教授,研究方向:高山植物生态和植物保护。E-mail:tibetlj@163.com

李江荣,男,博士在读,副教授,研究方向:森林生态学。E-mail:ljrong06@126.com

tional areas were significant ( $P<0.05$ ). The differences between green space,open space and wetland,recreational green space and commercial street were significant ( $P<0.05$ ),and the differences between other ecological functional areas were not significant ( $P>0.05$ ). 3) The order of air quality index (CI) of seven ecological functional areas was water body (1.143) >green space (1.133)>forest land (0.935)>wetland (0.921)>recreational green space (0.891)>open space (0.845)> commercial area (0.797). 4) NAIC was positively correlated with temperature but not significant ( $P>0.05$ ),and negatively correlated with relative humidity but not significant ( $P>0.05$ ). It was concluded that the concentration of negative air ions in Linzhi City was higher,the air quality was better.

**Key words:**negative air ion; air quality; ecological functional area; Linzhi

随着生态环境的恶化,空气质量的下降,越来越多的人关注和研究空气质量。空气负离子作为空气质量的衡量指标,近年来受到了极大的关注。Luts指出, $O_2^-$ 比其他负离子更稳定,占 NAI 的 95%,NAI 又称负氧离子<sup>[1]</sup>。其主要来源于电离剂的电离、水分子的裂解及植物的生理效应(光合作用、枝叶尖端放电及芳香类物质的释放)3 种自然方式<sup>[2]</sup>。空气负离子具有杀菌、除尘除味、清洁空气、提高免疫力、调节机能平衡及治疗疾病的功能,而被誉为“空气维生素和生长素”,并成为空气质量的评价指标<sup>[3-4]</sup>。英国学者 Wilson、法国学者 Elster 和 Geitell 证实了空气正、负离子的存在,这标志着人们对空气负离子的研究正式开始。1932 年美国 CRA 公司的汉姆逊发明了世界上第一台医用空气负离子发生器。自此之后空气负离子的研究就在美日等国普及,经历了 20 世纪 30 年代、50 年代和 70 年代 3 次浪潮<sup>[5]</sup>。我国开始对空气负离子进行研究是以夏廉博关于大气负离子对人体生物学效应的研究为标志,之后空气负离子的研究在我国已经历了 20 世纪 80 年代初、90 年代初 2 个发展高潮<sup>[6]</sup>。目前,国外空气负离子的研究主要集中在生物学效应<sup>[7]</sup>、临床医学应用<sup>[8]</sup>及时空变化规律<sup>[9]</sup>等方面,我国主要集中在中东部旅游景区<sup>[10]</sup>、不同林分<sup>[11]</sup>、不同植被结

构<sup>[12]</sup>以及不同功能区<sup>[13]</sup>的时空规律、影响因素及空气质量评价等方面,而西部地区,尤其是西藏自治区研究较少<sup>[14]</sup>。林芝素有西藏小江南之称,海拔较低,植被覆盖率较高,气候适宜,每年有很多游客前来林芝旅游,因此,对林芝市各生态功能区空气负离子浓度的测定,有利于了解空气负离子浓度状况,为市政规划提供参考,促进旅游业的发展。

1 材料与方法

1.1 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,有“小江南”之称,是热带湿润和半湿润气候。海拔高度约 3 000 m,降雨集中在 6—9 月,年降雨量约 650 mm,年均温度 8.7℃,年均日照 2 022 h,无霜期 180 d<sup>[15]</sup>。研究区位于林芝巴宜区主城区,海拔约 3 000 m,秋季气候舒适,景色宜人,开阔地带易受河谷风影响。

1.2 研究方法

1.2.1 观测点选择 从生态功能区的类型、样地的典型性、下垫面状况及空间形态等方面考虑,选择尼洋河公园、市政府绿地、厦门广场、高原生态研究所、湿地公园、福建公园及香港路步行街为观测点(表 1)。

表 1 观测点概况  
Table 1 Overview of observation points

观测点	生态功能区	下垫面	主要植被	空间类型
尼洋河公园	水体	草地+乔木	柳树	开阔
市政府绿地	绿地	草地	—	开阔
厦门广场	空旷地	水泥地	—	开阔
高原生态研究所	人工林	草地+乔木	柏树、松树、杨树	非开阔
湿地公园	湿地	草地+乔木	柳树	开阔
福建公园	游憩绿地	草地+乔木	柳树+水杉	非开阔
香港路街	商业区	砖铺地	—	非开阔

1.2.2 监测方法 试验于 2017 年 9—10 月进行,每个月在晴朗、微风的天气下对各功能区进行 2 d 的监测,每天 8:00—18:00 连续同步监测空气正负

离子、温湿度指标,全部指标均采用 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,并每小时均进行东西南北 4 个方向

循环监测,2 s 记录 1 个数值,每个指标每小时有 1 800个数据,最终以平均值代表该小时的观测值。

1.3 数据处理

数据统计及处理采用 SPSS 和 Excel 软件。通过单因素方差分析(one-way ANOVA)和 Duncan 差异显著性检验 7 个功能区空气负离子浓度的差异性,采用 Pearson 简单相关系数分析空气负离子的影响因素。

1.4 空气质量评价

空气质量的评价方法众多,但没有统一的标准,本试验采用应用较广的单极系数和安培空气离子评价系数。计算公式为<sup>[16]</sup>:

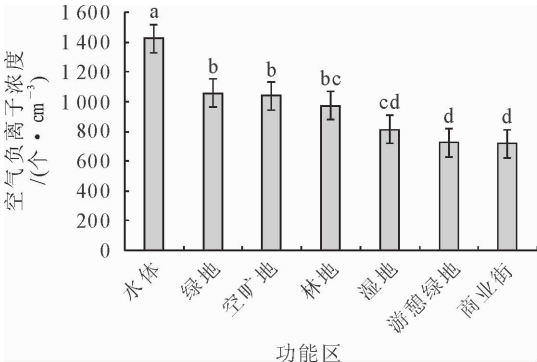
$$q=\frac{n^+}{n^-}$$
(1)

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

式中, $q$ 为单极系数, $CI$ 为安培空气离子评价系数, $n^+$ 为空气正离子浓度, $n^-$ 为空气负离子浓度,1 000 个·cm<sup>-3</sup>为满足人体生物学效应的最低负离子浓度值。安培空气离子评价系数与空气质量关系见表 2。

表 3 不同生态功能区空气负离子浓度日变化

Table 3 Diurnal variation of negative air ion concentration in different ecological functional areas								/ (个·cm <sup>-3</sup> )
时间	水体	绿地	空旷地	林地	湿地	游憩绿地	商业街	
9:00	1 252	920	721	841	382	533	948	
10:00	1 202	749	1 032	768	472	404	731	
11:00	1 308	795	1 177	948	994	757	971	
12:00	1 583	1 063	1 140	981	960	866	1 079	
13:00	1 413	1 193	1 160	1 031	829	875	1 115	
14:00	1 536	1 257	1 243	1 071	1 011	569	688	
15:00	1 589	1 221	1 282	1 173	924	590	689	
16:00	1 388	1 196	1 155	1 125	1 143	909	333	
17:00	1 603	1 092	1 096	991	1 005	844	500	
18:00	1 402	981	1 038	822	991	811	622	
19:00	1 148	913	1 020	949	829	689	213	



注:字母表示差异显著性。

图 1 不同生态功能区差异性

Fig.1 Differences in different ecological functional areas  
10:00,下午的波谷出现在 14:00—16:00;林地、绿地日动态表现为单峰型,波峰出现在 14:00—15:

表 2 CI 与空气清洁度等级关系

Table 2 CI and air cleanliness and grade relationship

等级	空气清洁度	CI
A	最清洁	>1.00
B	清洁	0.70~1.00
C	中等清洁	0.50~0.69
D	允许值	0.30~0.49
E	临界值	0.29

2 结果与分析

2.1 不同功能区空气负离子浓度日变化

不同的功能区微环境有差别,空气负离子的浓度及日动态均有差异,经分析比较(表 3),除商业街外,其他功能区空气负离子浓度均为上午<下午;水体、湿地均有 3 个波峰,峰值时间分别为 12:00、15:00、17:00 和 11:00、14:00、16:00,波谷分别为 13:00、16:00 和 10:00、13:00;空旷地、游憩绿地、商业街日动态呈双峰“M”型,上午的峰值出现在 11:00—13:00,下午的峰值除商业街出现在 18:00 外,其他出现在 15:00—16:00,上午的波谷出现在

00,波谷出现在 10:00—11:00。

2.2 不同功能区空气负离子浓度差异

林芝各功能区空气负离子的浓度范围是 213~2 004 个·cm<sup>-3</sup>(表 4、图 1),各生态功能区的空气负离子浓度大小为水体(1 423 个·cm<sup>-3</sup>)>绿地(1 056 个·cm<sup>-3</sup>)>空旷地(1 039 个·cm<sup>-3</sup>)>林地(973 个·cm<sup>-3</sup>)>湿地(812 个·cm<sup>-3</sup>)>游憩绿地(723 个·cm<sup>-3</sup>)>商业街(717 个·cm<sup>-3</sup>),平均浓度为 943 个·cm<sup>-3</sup>,水体、绿地、空旷地均在 1 000 个·cm<sup>-3</sup>以上,其他生态功能区均在 700~1 000 个·cm<sup>-3</sup>。水体旁空气负离子浓度是商业街的 1.78 倍。水体与其他 6 种生态功能区差异显著( $P<0.05$ ),绿地、空旷地与湿地、游憩绿地、商业街差异

显著( $P<0.05$ ),其他生态功能区之间差异不显著( $P>0.05$ )。

表 4    不同生态功能区基本描述

Table 4    Basic descriptions of different ecological functional areas				
生态功能区	均值 /(个·cm <sup>-3</sup> )	标准差	极小值	极大值
水体	1 423	249	1 148	2 004
绿地	1 056	207	626	1 432
空旷地	1 039	313	363	1 640
林地	973	150	639	1 229
湿地	812	424	256	1 600
游憩绿地	723	239	381	1 236
商业街	717	294	212	1 114

2.3    不同生态功能区空气质量评价

2.3.1    不同生态功能区空气质量等级状况    根据单极系数和安培空气离子评价指数,对林芝7个生

态功能区的空气质量进行了评价(表 5)。林芝各功能区空气质量等级为 B 级以上,即空气清洁程度为清洁级以上。其中水体、绿地的空气质量为 A 等级,其他生态功能区均处于 B 等级。不同生态功能区 CI 指数大小为水体(1.143)>绿地(1.133)>林地(0.935)>湿地(0.921)>游憩绿地(0.891)>空旷地(0.845)>商业街(0.797)。

2.3.2    不同生态功能区日空气质量占比状况    湿地和商业街均出现了 A、B、C、D 4 种空气质量等级(图 2),其中,C、D 2 种空气质量等级的日占比一样,但湿地出现 A 等级的比例(27.27%)高于商业街(0.09%);水体、空旷地、林地、游憩绿地均出现了 A、B、C 3 种空气质量等级,三者出现 C 等级的小时数一样,而水体出现 A 等级的小时数比空旷地、林地、游憩绿地多 55%;仅有绿地出现了 A 和 B 2 种等级,水体出现 A 等级的小时数比绿地多了 64%。

表 5    不同生态功能区空气质量评价

Table 5    Air quality assessment of different ecological functional areas													
生态功能区		9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	日均
水体	q	1.113	0.974	0.919	0.750	0.857	0.657	0.756	0.857	0.840	0.682	0.521	0.808
	CI	1.394	1.171	1.202	1.188	1.211	1.008	1.202	1.189	1.346	0.956	0.598	1.143
	等级	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	C	A
绿地	q	0.958	1.093	1.697	1.163	1.026	0.972	1.060	1.015	0.997	1.182	1.184	1.105
	CI	0.881	0.819	1.349	1.236	1.223	1.222	1.295	1.214	1.089	1.159	1.081	1.133
	等级	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
空旷地	q	1.318	0.912	0.783	0.722	0.722	0.796	0.904	0.990	0.922	0.945	0.705	0.868
	CI	1.109	0.700	0.742	0.708	0.744	0.852	1.060	1.114	0.914	0.777	0.669	0.845
	等级	A	B	B	B	B	B	A	A	B	B	C	B
林地	q	1.015	1.548	1.201	0.866	0.945	0.861	0.801	0.830	1.031	0.938	0.732	0.961
	CI	0.853	1.188	1.138	0.850	0.974	0.922	0.939	0.934	1.021	0.772	0.695	0.935
	等级	B	A	A	B	B	B	B	B	A	B	C	B
湿地	q	1.652	1.980	1.183	0.988	1.146	1.064	1.567	0.775	0.755	0.925	0.497	1.062
	CI	0.632	0.936	1.176	0.948	0.950	1.075	1.447	0.885	0.759	0.917	0.412	0.921
	等级	C	B	A	B	B	A	A	B	B	B	D	B
游憩绿地	q	1.712	2.385	1.346	1.321	1.244	1.965	1.626	1.464	1.534	1.611	0.930	1.501
	CI	0.913	0.963	1.018	1.144	1.089	1.118	0.960	1.332	1.294	1.307	0.640	0.891
	等级	B	B	A	A	A	A	B	A	A	A	C	B
商业街	q	0.833	1.140	0.876	1.001	0.620	1.152	1.374	2.207	1.596	1.459	1.633	0.897
	CI	0.789	0.833	0.850	1.080	0.691	0.793	0.947	0.734	0.798	0.908	0.348	0.797
	等级	B	B	B	A	C	B	B	B	B	B	D	B

2.4    空气负离子影响因素

空气中的成分多而联系密切,影响因素也错综复杂。因此,本试验仅选取主要气象因素与空气负离子进行相关性分析(表 6)。空气负离子与温度正相关而不显著( $P>0.05$ ),与相对湿度负相关而不显著( $P>0.05$ ),温度与湿度极显著负相关( $P<0.01$ )。

3    讨论

3.1    不同生态功能区日变化

除商业街外,其他功能区空气负离子浓度均表现为上午<下午,可能是秋季日夜温差大,上午气温回升慢,中午至下午温度较高,有利于植物进行光合作用及尖端放电,从而促进空气负离子的释放<sup>[17]</sup>,

表 6 不同生态功能区空气负离子与主要气象因子的相关性分析

Table 6 Correlation analysis between negative air ions and major meteorological factors in different ecological functional areas

因子	负离子	温度	湿度
负离子	1	0.084	-0.137
温度		1	-0.730 **
湿度			1

注：\* \* 为极显著相关性 ( $P<0.01$ ), \* 为显著相关性 ( $P<0.05$ )。

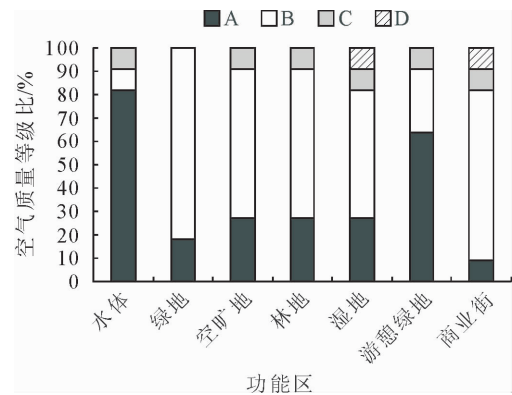


图 2 不同生态功能区日空气质量等级占比

Fig. 2 Daily air quality level of different ecological functional areas 因此,上午<下午。而商业街,下午人流量较大,缩短空气负离子的寿命,促进对空气负离子的吸收,因此,上午>下午。

水体和湿地呈三峰型,可能是植被的生理效应,与植被的光合规律联系密切,另一方面可能是 2 类生态功能区处于开阔地带,易受外界影响,尤其是风的影响,有研究表明<sup>[18]</sup>,空气负离子浓度与风速正相关,本实验在监测过程中发现有风时空气负离子浓度明显高于无风时,具体关系有待于进一步的研究。空旷地、游憩绿地、商业街日变化为双峰型,游憩绿地表现为双峰型,可能与植被的生理效应、温度、下垫面、人流量及建筑布局有关<sup>[17,19]</sup>。林地、绿地表现为单峰型,可能与植被的生理效应有关。7 个生态功能区的波峰大多出现在 11:00 和 15:00,波谷多出现在 10:00 和 13:00,这与 H. Tammet<sup>[20]</sup>等和石彦军<sup>[21]</sup>等的研究结果相似。

3.2 不同生态功能区空气负离子浓度比较

林芝不同生态功能区空气负离子浓度最小为 717 个·cm<sup>-3</sup>,明显>700 个·cm<sup>-3</sup>的标准,可以使人产生舒适感<sup>[22]</sup>,其中,水体、绿地、空旷地均在 1 000 个·cm<sup>-3</sup>以上,达到世界卫生组织规定的空气清新标准(1 000~1 500 个·cm<sup>-3</sup>),大小为水体>绿地>空旷地>林地>湿地>游憩绿地>商业街,这与陈梓茹<sup>[23]</sup>等和韦朝领<sup>[24]</sup>等研究结果一致,可能是水分子撞击石块而裂解释放电子,增加周围

空气中空气负离子浓度<sup>[18]</sup>;绿地的浓度仅次于水体,可能是盖度较大,绿地光合作用较强,也可能是绿地处于开阔地带,周围建筑密度较小;空旷地的浓度高于湿地、和林地,位居第三,可能是其处于开阔地带——三岔口地带,楼层低,易受外界因素影响,尤其是河谷风的影响,另一方面可能是空旷地的地下及地上均有电线,在地球磁场的作用下,促进自由电子的释放,空气负离子浓度的增加,也可能是与海拔有关,海拔高、紫外强,还可能是林芝人口少、车辆少,人为活动对空气的影响可忽略;商业街的浓度最低,可能是周围建筑密度大,下垫面为花砖,阻碍了与外界空气的对流交换以及来自土壤中空气负离子的释放,也可能是人流活动频繁、人流量大,缩短了空气负离子的寿命并增加了量的消耗<sup>[21,25]</sup>,因此商业街的浓度较低,空气质量较低。本研究中,水体旁的空气质量高于有植被区、高于无植被区,这与关蓓蓓<sup>[26]</sup>和张毓涛等的研究结果相似<sup>[27]</sup>。

3.3 空气负离子影响因素分析

较多学者研究了空气负离子与温湿度的关系,但是没有统一的结论,多数学者<sup>[28]</sup>认为空气负离子与温度负相关,与相对湿度正相关,但也有学者研究结果为空气负离子与温度正相关,与相对湿度负相关<sup>[16,29]</sup>,与本试验的研究结果一致,可能是随着温度的升高,酶活性增强,光合作用及枝叶尖端放电能力增强,增加了空气负离子的浓度<sup>[29]</sup>,尤其是在高海拔地区,温度低于内陆地区,因此各种生物对温度较为敏感;而湿度增大,易于粘附在颗粒、胶体,并吸附负离子而沉降,因而空气负离子浓度会降低。

空气成分复杂多变,各物质间相互关联、相互影响、相互作用。因此,空气中的其他物质,如紫外辐射、颗粒物、风等均有可能对其产生及存活形成影响。在下一步的试验中,应将其考虑在内,并进行研究。

4 结论

不同生态用地空气负离子浓度的日变化差异较大,总体上,波峰大多出现在 11:00 和 15:00,波谷多出现在 10:00 和 13:00。开阔地带日变化较为复杂,波动较大。

林芝不同生态功能区浓度最小为 717 个·cm<sup>-3</sup>,空气质量均为清洁及以上。水体旁空气负离子浓度最高(1 423 个·cm<sup>-3</sup>),空气质量最好,商业街空气负离子浓度最低(717 个·cm<sup>-3</sup>),空气质量较差。水体与其他 6 种生态功能区差异显著( $P<0.05$ ),绿地、空旷地与湿地、游憩绿地、商业街差异显著( $P<0.05$ ),其他生态功能区之间差异不显著

( $P>0.05$ )。

空气负离子与温度正相关而不显著( $P>0.05$ ),与相对湿度负相关而不显著( $P>0.05$ )。

参考文献:

[1] LUTS A. Evolution of negative small ions at enhanced ionization[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 1995, 100:1487-1496.

[2] LIN H F, LIN J M. Generation and determination of negative air ions[J]. Journal of Analysis and Testing, 2017:1-6.

[3] 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]. 中国城市林业, 2004, 2(3):30-33.

NI J, XU Q, SHI D R, *et al.* The correlative study on air anions in city greenbelt; as a case of the parks in Shanghai[J]. Journal of Chinese Urban Forestry, 2004, 2(3):30-33. (in Chinese)

[4] 邵海荣,杜建军,单宏臣,等. 用空气负离子浓度对北京地区空气清洁度进行初步评价[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(4):56-59.

SHAO H R, DU J J, SHAN H C, *et al.* Assessment of air cleanness degree in Beijing using negative air ion concentration as an index[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2005, 27(4):56-59. (in Chinese)

[5] SHIHD T, BOETTIGER D, BUCK C A. Epitopes of adhesion-perturb-ing monoclonal antibodies map within a predicted alpha-helical domain of the integrin beta subunit[J]. Cells, 1997, 110(20):2619-2628.

[6] 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 L S, WU C C, XIAO D N. Aeroanion researches in evaluation of forest recreation resources[J]. Chinese Journal of Ecology, 1998, 17(6):56-60. (in Chinese)

[7] 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.

[8] 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.

[9] REITER R. Frequency distribution of positive and negative small ions concentrations, based on many years recording at two mountain stations located at 740 and 1 780 m ASL[J]. International Journal of Biometeorology, 1985, 29(3):223-225.

[10] 刘端,白志强,韩燕梁. 喀纳斯国家级森林公园景区夏秋季空气负离子浓度变化特征[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(3):253-257.

LIU D, BAI Z Q, HAN Y L. Comparison on air anion concentration at the scenic spots of Kanas National Forest Park[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(3):253-257. (in Chinese)

[11] 吴际友,程政红,龙应忠,等. 园林树种林分中空气负离子水平的变化[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2003, 27(4):78-80.

WU J Y, CHENG Z H, LONG Y Z, *et al.* The variation of aero-anion concentration on landscape forest [J]. Journal of

Nanjing Forestry University: Natural Science Edition, 2003, 27(4):78-80. (in Chinese)

[12] 穆丹,梁英辉. 城市不同绿地结构对空气负离子水平的影响[J]. 生态学杂志, 2009, 28(5):988-991.

MU D, LIANG Y H. Effects of urban greenbelt structure on air negative ions concentration [J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(5):988-991. (in Chinese)

[13] 孙明珠,田媛,刘效兰. 北京不同功能区空气负离子差异的实验研究 [J]. 环境科学与技术, 2010, 33(增刊 2):515-519.

SUN M Z, TIAN Y, LIU X L. Experimental research of negative oxygen ion in different functional areas of Beijing [J]. Environmental Science and Technology, 2010, 33(Supp. 2):515-519. (in Chinese)

[14] 李江荣,卢杰,任毅华,等. 色季拉山急尖长苞冷杉林空气负离子分布规律初步分析 [J]. 农业开发与装备, 2016(8):83, 120.

[15] 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.

LU J, LAN X Z, LUO J. Investigation and evaluation of the rare and endangered Tibetan medicinal plants in the Linzhi region [J]. Resources Science, 2011, 33(12):2362-2369. (in Chinese)

[16] 邵海荣,贺庆棠. 森林与空气负离子 [J]. 世界林业研究, 2000, 13(5):19-23.

SHAO H R, HE Q T. Forest and air anion [J]. World Forestry Research, 2000, 13(5):19-23. (in Chinese)

[17] 蒙晋佳,张燕. 地面上的空气负离子主要来源于植物的尖端放电 [J]. 环境科学与技术, 2005, 28(1):112-113.

MENG J J, ZHANG Y. Electrical discharge of plant pointed ends-main source of air anion on ground [J]. Environmental Science and Technology, 2005, 28(1):112-113. (in Chinese)

[18] 张清杉,贺延梅,赵建民,等. 森林公园小气候空气负离子保健浓度分级评价 [J]. 西北林学院学报, 2006, 21(3):48-49.

ZHANG Q S, HE Y M, ZHAO J M, *et al.* Grading assessment of aeroanion concentration the microclimate of forest park [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2006, 21(3):48-49. (in Chinese)

[19] 王薇,张之秋. 城市住区空气负离子浓度时空变化及空气质量评价——以合肥市为例 [J]. 生态环境学报, 2014, 23(11):1783-1791.

WANG W, ZHANG Z Q. Spatio-temporal change of negative air ion concentration of urban residential area and air quality qssessment——case study of Hefei City [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2014, 23(6):979-984. (in Chinese)

[20] TAMMET H, HORRAK U, LAAKSO L. Factors of air ion balance in a coniferous forest according to measurements, Hyttiala, Finland [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2006, 6:3377-3390.

[21] 石彦军,余树全,郑庆林. 6种植物群落夏季空气负离子动态及其与气象因子的关系 [J]. 浙江林学院学报, 2010, 27(2):185-189.

SHI Y J, YU S Q, ZHENG Q L. Aero-anion ecological efficacy in six types of plant communities [J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2010, 27(2):185-189. (in Chinese)

学报,1990,5(1):82-87.

[6] 付作霖,曹秀文,朱学泰,等.白龙江中上游林区大型真菌物种多样性与区系特征[J].西北林学院学报,2017,32(5):183-188.

FU Z L,CAO X W,ZHU X T,*et al.* Species diversity and flora of macrofungi in the forests of the middle-upper reaches of Bailong River[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017,32(5):183-188. (in Chinese)

[7] 柴新义,盛硕,于士军,等.牦牛降自然保护区大型真菌资源组成及分布[J].西北林学院学报,2018,33(1):193-201.

CHAI X Y,SHENG S,YU S J,*et al.* Composition and ecological distribution of wild macrofungus resources in Guniujiang Natural Reserve[J]. Journal of Northwest Forestry University,2018,33(1):193-201. (in Chinese)

[8] 汪金萍,吴保锋.液体培养条件下温度对灵芝菌丝作用效果研究[J].北方园艺,2010(16):203-204.

WANG J P,WU B F. Effect of temperature on ganoderma lucidum mycelia in liquid culture [J]. Northern Horticulture,2010 (16):203-204. (in Chinese)

[9] 王庆武,兰玉菲.不同营养成分对泰山赤灵芝液体菌种菌丝生物量的影响[J].食用菌,2017(5):33-34,37.

[10] 马红梅,陈永敢,袁学军.灵芝的椰子果皮代料栽培试验[J].江苏农业科学,2013(2):204-205.

MA H M,CHEN Y G,YUAN X J. Cultivation experiment of coconut peel substitute for ganoderma lucidum [J]. Jiangsu Agricultural Science,2013(2):204-205. (in Chinese)

[11] 吴兴亮,戴玉成,林龙河.中国灵芝科资源及其地理分布 I [J]. 贵州科学,2004,22(2):204-205.

WU X L,DAI Y C,LIN L H. China ganoderma lucidum I family resources and their geographical distribution [J]. Guizhou Science,2004,22(2):204-205. (in Chinese)

[12] 罗莹,张志军,刘连强,等.不同灵芝菌株液体菌种培养及栽培应用比较[J].食用菌,2014(6):19-20.

[13] 袁学军,李艳丽,陈永敢,等.野生灵芝菌种培养基筛选的研究[J].中国食用菌,2012(4):24-26.

[14] 柳焕章,卢月霞,郑素月.四种食药两用真菌菌种扩繁培养基筛选[J].北方园艺,2014(17):145-147.

LIU H Z,LU Y X,ZHENG S Y. Screening of four edible and medicinal fungi species for propagation medium [J]. Northern Horticulture,2014(17):145-147. (in Chinese)

[15] 蒋冬花.培养基配方与栽培方式对灵芝产量和质量的影响[J].海南大学学报:自然科学版,2001,19(1):76-79.

[16] 初洋,倪新江.灵芝培养基的筛选[J].安徽农业科学,2008 (5):1924-1925.

(上接第75页)

[22] 何平,常顺利,张毓涛,等.新疆森林游憩区空气负离子浓度时空分布特征及其影响因素 [J]. 资源科学,2015,37(3):629-635.

HE P,CHANG S L,ZHANG Y T,*et al.* Spatiotemporal distribution and influence factors of negative air ion in forest recreation areas across Xinjiang [J]. Resources Science,2015,37 (3):629-635. (in Chinese)

[23] 陈梓茹,杨小可,傅伟聪,等.龙岩国家森林公园冬季负离子浓度变化特征 [J]. 江西农业大学学报,2016,38(6):1119-1126.

CHEN Z R,YANG X K,FU W C,*et al.* The variation characteristics of anion concentrations in Longyan National Forest Park in winter [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis,2016,38(6):1119-1126. (in Chinese)

[24] 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.

WEI C L,WANG J T,JIANG Y L,*et al.* Air negative charge ion concentration and its relationships with meteorological factors in different ecological functional zones of Hefei City [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2006,17(11):2158-2162. (in Chinese)

[25] 齐冰,杜荣光,邵碧嘉.杭州市空气负离子变化特征分析 [J]. 气象与减灾研究,2011,34(4):68-71.

QI B,DU R G,SHAO B J. Characteristics of anion variation in Hangzhou [J]. Meteorology and Disaster Reduction Research,2011,34(4):68-71. (in Chinese)

[26] 关蓓蓓,郑思俊,崔心红,等.崇明岛不同生态用地空气负离子分布规律研究[J].西北林学院学报,2016,31(1):280-285.

GUAN B B,ZHENG S J,CUI X H,*et al.* Variation of negative air ions in different ecological lands in Chongming island [J]. Journal of Northwest Forestry University,2016,31(1):280-285.

[27] 张毓涛,李吉政.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,2012,12(6):865-874.

ZHANG Y T,LI J M. Characteristics of air anion concentration in different ecological functional zones in summer in main cities of Xinjiang [J]. Arid Land Geography,2012,12(6):865-874. (in Chinese)

[28] 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 C C,ZHENG Q M,ZHONG L S. A study of the aero-anion concentration in forest recreation aera [J]. Scientia Silvae Sinicae,2001,37(5):75-81. (in Chinese)

[29] 汤秋嫒,邢海莹,张冬有.北极村樟子松与落叶松林区空气负离子浓度及其与气象因子的关系[J].中国农学通报,2017,33 (13):107-111.

TANG Q Y,XING H Y,ZHANG D Y. Aero-anion concentration and its relationship with meteorological factors:scotch Pine and Larch in Arctic village [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2017,33(13):107-111. (in Chinese)