

河南黄淮海平原农田防护林空气负离子变化规律

崔晶¹, 薛兴燕¹, 胡秀丽¹, 吴明作^{1*}, 付保中², 伊焕², 滕博²

(1. 河南农业大学 林学院, 河南 郑州 450002; 2. 商丘市梁园区林业局, 河南 商丘 476000)

摘要:选择河南境内黄淮海平原主体区域的商丘市民权林场的农田防护林,测定其生态系统1年内各月份的空气负离子的日进程,分析了空气负离子的变化规律及其与空气温度、相对湿度的相关关系。结果表明:空气负离子浓度在6—8月份较高,冬季较低,秋季居中,春季变化较大;日进程的变化曲线基本上近似“U”型,但在细微变化上更接近多峰型式。空气负离子浓度在不同植被类型间存在显著性差异,但冬、秋季不显著,在防护林带内各点差别也较小;描述瞬间变化较大的空气负离子浓度,若采用平均值很有可能高于实际数值,应采用更多统计特征值会更适宜些。空气负离子浓度与气象因素间的相关性随季节而不同,在秋季与冬季相关性较小,在夏季与春季相关性较大;在分析其相关性时,分要素分析比综合的效果要好些。

关键词:空气负离子;农田防护林;黄淮海平原;河南省

中图分类号:S718.56

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2014)01-0030-06

Variation Regularity of Air Anion in Agroforestry Ecosystem in Huang-Huai-Hai Plain in Henan Province

CUI Jing¹, XUE Xing-yan¹, HU Xiu-li¹, WU Ming-zuo^{1*}, FU Bao-zhong², YI Huan², TENG Bo²

(1. College of Forestry, Henan Agriculture University, Zhengzhou, Henan 450002, China;

2. Forestry Bureau of Liangyuan District of Shangqiu, Shangqiu, Henan 476000, China)

Abstract: The Minquan state forest farm in Shangqiu is the main part of Huang-Huai-Hai Plain in Henan Province. Several agroforestry ecosystems were selected to measure the daily variation patterns of air anion in different month in a year. Based on the data observed, the daily and monthly changes of air anion were analyzed, and the relationships were also analyzed among air anion and air temperature, and air humidity. The results showed that the concentrations of air anion were higher in summer (July to August), lower in winter and changed much in spring and autumn. The daily process of air anions basically showed a “U” shape pattern, but multi-peak pattern as for minute variations. There existed significant difference in different agroforestry ecosystems, but little difference in winter and autumn and in different site in the same ecosystem. To describe the instantaneous changes of air anions, more values featured with statistic significance were needed instead of the valued averaged. The correlations between air anions and air humidity or air temperature were significant in spring and summer, but not in winter and in one system. To analyze the relationship, it was better to use the single factor than to use many factors comprehensively.

Key words: air anions; agroforestry; Huang-Huai-Hai Plain; Henan Province

空气负离子来源广泛^[1],有益于人类健康而受到人们关注^[2],自被发现与可测量以来,国内外学者

对其进行了诸多研究^[3-4],提出了不同的评价与分级标准^[5-7],多数集中在不同环境条件下空气负离子的

收稿日期:2013-05-14 修回日期:2013-08-13

基金项目:国家林业局林业公益性行业科研专项“黄淮海平原生态经济型防护林持续经营技术研究”(201104068);“高效农桐、农枣复合生态系统构建技术研究”(201104049)。

作者简介:崔晶,男,硕士研究生,研究方向:农林复合生态系统。E-mail:beyon1006@163.com

* 通信作者:吴明作,男,博士,副教授,硕士生导师,研究方向:生态系统生态过程监测与功能评价。E-mail:wumingzuo@hotmail.com

分布规律及其主要影响因素,主要包括了森林^[8-11]、城市绿地^[12-14]、城市不同区域^[15-17]、室内环境^[17]、不同季节^[8,18-19]等方面;研究表明,环境条件不同,空气负离子浓度有所差异,一般森林与水体附近的高些,城市公园绿地要比交通繁忙区、工业区或人口稠密区的高些^[8-10,12-17];空气负离子与空气温度、相对湿度的相关性较显著,而 PM10、风速的相关性不显著或较复杂^[4,9,19-20],同时还受其他环境的影响^[16-17]。但对于特殊地区的防护林以及农林复合生态系统的相关研究较少^[20-21]。

河南省黄淮海平原主体区域的农田防护林生态系统不仅具有保障农业高产、稳产的作用,而且处于黄河故道两岸,对于防止风沙危害的再发生具有重要意义。本研究选取其中有代表性的不同经营类型,测定其 1 a 内不同月份的空气负离子的日进程,分析其变化规律及其与空气温度、相对湿度等环境因子之间的相关关系,为其生态系统服务功能评估、资源开发利用与长时间尺度的评价等提供科学依据与参考。

1 材料与方 法

1.1 研究地概况

选择在河南省境内黄淮海平原主体所在地的商丘市民权林场。民权林场位于民权县中部的黄河故道两岸,地势比较平坦,土壤为黄河冲积形成的潮土类细沙土。年平均气温 14.1 ℃,极端最低气温-17.2 ℃,极端最高气温 43.6 ℃,平均无霜期 213 d;年平均降水量 679 mm,年蒸发量 2 036 mm,年平均相对湿度 69%;年平均风速 3.3 m·s⁻¹,最大风速 24 m·s⁻¹,平均大风日 10~15 d。根据“商丘市民权林场 2012 年度森林抚育作业设计”资料,林场经营面积 4 600 hm²,防护林面积 3 133.3 hm²,森林覆被率 66%;林木总蓄积量 1.59×10⁵ m³,年生长量 1.3×10⁴ m³。主要树种为杨树(*Populus* spp.)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*),其有林地面积占林地面积的 98%,其他尚有苦楝(*Melia azedarach*)、臭椿(*Ailanthus altissima*)、法国梧桐(*Platanus orientalis*)、葡萄(*Vitis* spp.)、梨(*Pyrus* spp.)等。林场所管护的“申甘防护林带”是豫东防护林体系的重要组成部分,东西长 24 km,南北宽 2~4 km。

1.2 样地选择

样地选取在分布面积最大的杨树、刺槐所形成的农田防护林,根据其种类组成与经营方式,分别选取杨树-牧草间作、杨树-杂草间作、杨树-刺槐混交林以及杨树、刺槐、楝树分别组成的成片纯林。在选定的生态系统类型中,间作模式分别测定乔木树冠下、1/2 行距 2 个点位,成片林分只测定分布区中心的 1

个点位。测定地点的基本情况见表 1。

表 1 测定地点的基本情况

Table 1 Outline of experimental sites

生态系统类型	株距×行距/(m×m)	乔木年龄/a	平均胸径/cm	平均树高/m	具体测定点
杨树纯林	3×5	11	25.2	17.9	林分中心
刺槐纯林	3×4	40~50	21.3	20.6	林分中心
杨树-刺槐	3×4	21	15.9	12.0	林分中心
楝树纯林	4×6	15	15.9	9.9	林分中心
杨树-牧草	3×30	26	39.0	22.2	树冠下、林带中心
杨树-杂草	3×12	7	18.6	14.0	树冠下、林带中心

1.3 方 法

1.3.1 测定方法 用日本产 Inti ITC-201A 型空气负离子浓度仪测定空气负离子浓度,该仪器动力范围为 10~1 236 000 个·cm⁻³,反应时间约 2 s。由于空气离子浓度瞬间变化很快,每次测定 4 个方位,每个方位至少读取 10 个峰值,计算时取平均值;按仪器操作说明依次测定空气负离子、正离子,同时读取相应的空气温度和相对湿度^[19]。测定时间为 2011 年 7 月—2012 年 6 月,每个月份选择风速较小的连续晴天后的某一天进行。每天观测时间为 08:00—18:00,每隔 1 h 测定 1 次数据;但因河南黄淮海平原地区在晨昏容易出现大雾使得观测不能进行,故部分观测时段没有观测值。

1.3.2 数据处理 采用 Excel 2003 软件进行简单的数据分析,采用 SPSS 16.0 软件完成多重比较与相关分析,图形绘制利用 Origin 8.0 软件完成。

2 结果与分析

2.1 不同季节空气负离子的日进程

按一般的季节划分方法,选择 2011 年 7 月、2011 年 10 月、2012 年 1 月与 2012 年 4 月分别代表夏季、秋季、冬季与春季 4 个季节进行观测,绘制 1 a 内不同季节空气负离子的日进程图(图 1~图 4)。

由图 1~图 4 可知,不同季节代表性月份的空气负离子的日进程基本上表现出早晚高而近中午时低的特点,呈现出近似“U”的型式;多数曲线在不同时段均有一定程度的起伏,曲线变化似乎呈多峰型;但不同季节其曲线的具体表现不完全一致。

同时还可以看出,各植被类型中空气负离子浓度的平均水平在春季和夏季要比其他月份的高出很多,冬季的最低。因春季植物开始生长,夏季正值植物旺盛生长,而其他季节没有植物生长或生长下降,表明植被覆盖与生长对于空气质量具有良好的改善作用,增加植被覆盖可以改善空气质量。

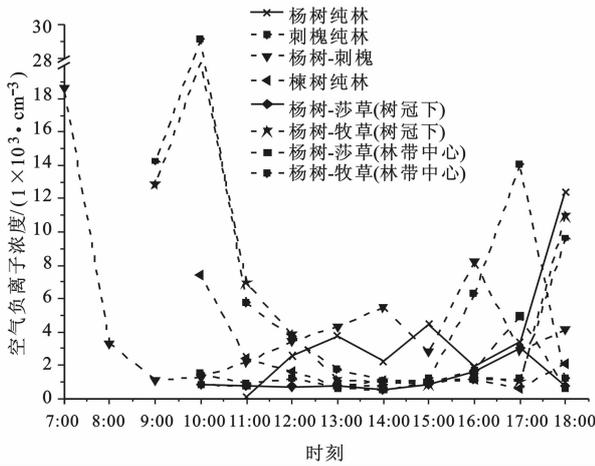


图1 夏季(2011年7月)空气负离子浓度的日进程
Fig.1 Daily process of air anion concentration in summer (2011-07)

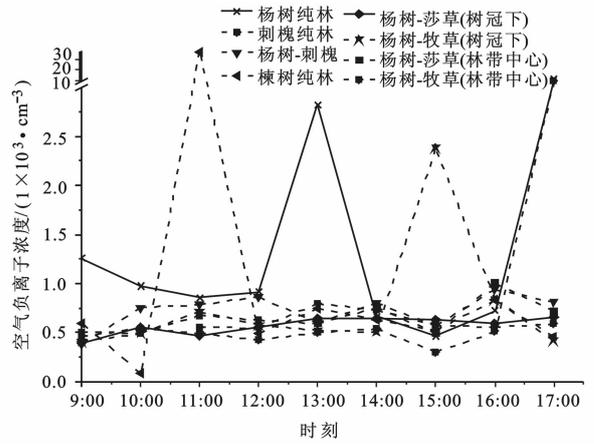


图2 秋季(2011年10月)空气负离子浓度的日进程
Fig.2 Daily process of air anion concentration in autumn (2011-10)

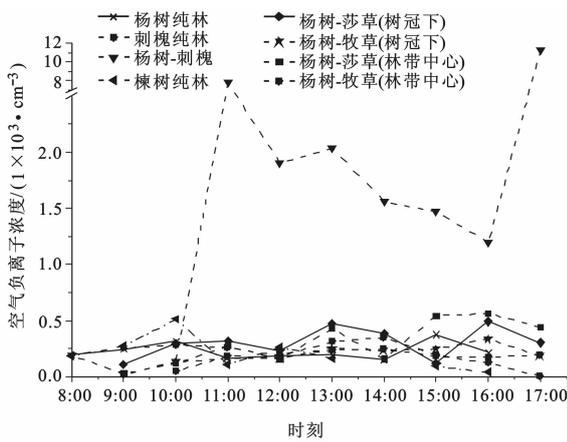


图3 冬季(2012年1月)空气负离子浓度的日进程
Fig.3 Daily process of air anion concentration in winter (2012-01)

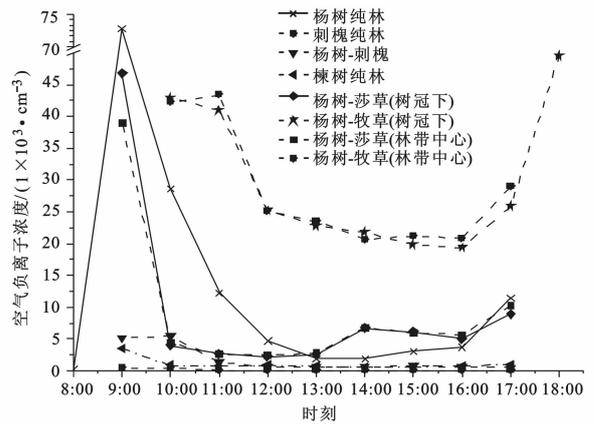


图4 春季(2012年4月)空气负离子浓度的日进程
Fig.4 Daily process of air anion concentration in spring (2012-04)

在春季(4月份)与夏季(7月份),虽然一天中不同时段会有些波动,但基本上各植被类型的日进程均表现出早晚较大而中午较低的特点,呈现出近似“U”型的变化;而且多数类型在9:00-10:00及17:00-18:00左右会有一个较高值。有些类型表现不明显,可能是因为在7:00-9:00时段里没有测定值(河南平原一般在早晨时有大雾)。在这些日进程中,波动比较大的植被类型主要是以杨树为主的杨树纯林、杨树-刺槐混交林2种间作类型,这可能与杨树本身的特性有关。

在其他季节里,不同植被类型日进程的多数曲线呈现一种较为平缓的变化,近似表现出一种平缓的稳定型式;但在不同时段均有一定程度的起伏,因此从细微变化而言,曲线变化似乎呈多峰型。这种型式的变化以冬季最为明显,此季节内,除杨树-刺槐数值及其波动较大外,其他的均较平缓。

在秋季与春季,杨树纯林、楝树纯林的波动较大,其他的植被类型变化较为平缓;而杨树-牧草树冠下

在15:00、林带中心在17:00总会会出现一个高值。

间作模式中,2种林带在夏季的测定值有一定差异,但在其他季节则差异较小;且无论哪个季节,在林带的树冠下与林带中心,空气负离子浓度的变化型式基本一致,且数值差异不是太大。说明在对空气负离子的影响中,林带中的乔木起主要作用,间作植物有一定作用,且因为林带的行距不是很大,2种植物的影响是综合交织的,所以其变化没有明显差别。

2.2 不同植被类型空气负离子浓度比较

以2011年7月、2011年10月、2012年1月与2012年4月代表夏、秋、冬、春4个不同季节,以其空气负离子浓度的均值进行比较(采用SPSS软件的缺省值)(表2)。

由表2可看出,在不同季节,不同植被类型空气负离子浓度的差异性是不一样的:在秋季与冬季,各植被类型的浓度没有显著性差异,只有冬季的杨树-刺槐林分具有显著性差异;而春、夏季节,不同植被类型的空气负离子浓度均存在显著性的差异。

表 2 不同植被类型空气负离子浓度的平均值比较

Table 2 Comparison of mean air anion concentration in different vegetations

 1×10^3 个 \cdot cm^{-3}

植被类型	杨树纯林	刺槐纯林	杨树-刺槐	楝树纯林	杨树-莎草 (树冠下)	杨树-牧草 (树冠下)	杨树-莎草 (林带中心)	杨树-牧草 (林带中心)
夏季	3.842 ^{ab}	3.075 ^{ab}	4.812 ^{ab}	2.009 ^{ab}	1.089 ^b	6.166 ^{ab}	1.350 ^b	6.840 ^a
秋季	2.253 ^a	0.621 ^a	0.724 ^a	4.565 ^a	0.570 ^a	0.762 ^a	0.652 ^a	1.421 ^a
冬季	0.226 ^b	0.218 ^b	2.753 ^a	0.203 ^b	0.303 ^b	0.214 ^b	0.301 ^b	0.180 ^b
春季	14.043 ^b	0.131 ^c	1.749 ^c	1.075 ^c	9.427 ^{bc}	27.346 ^a	8.868 ^{bc}	28.227 ^a

注:不同字母表示具有显著性差异,显著性水平为 0.05。

这种差异性在不同季节的表现,也表明了上述分析的结果,即在冬季里,因为没有植被的影响,秋季植物落叶时影响程度较小,空气负离子浓度主要受气候条件的影响,而在局域范围内,气候条件基本一致,因此,不同植被类型的空气负离子浓度没有显著性差异。

在春、夏两个季节里,均存在有植物生理活动的影响,不同植被类型中生长的植物种类不同,群落结构不同,其对空气负离子浓度的影响也不一样,因此,这 2 个季节里,空气负离子浓度水平均存在显著

性的差异。

表 2 还可看出,不同季节中,2 种防护林带的树冠下与林带中心的测定位置虽然不同,其空气负离子浓度平均值的差异比较小。

因实际测定时,空气负离子的瞬间浓度变化较大,用平均值指标只是说明大致平均水平,要了解其实际测定值的变化差异,可同时采用众数与 L_{90} (将各数值按大小排序后,有 10% 的数值超过该数值,表示可能达到的比较高的水平)等指标。按照与平均值相同的方法进行众数与 L_{90} 的比较分析,结果见表 3。

表 3 不同植被类型空气负离子浓度的众数与 L_{90} 的比较Table 3 Comparison of mode and L_{90} of air anion concentration in different vegetations 1×10^3 个 \cdot cm^{-3}

序号	植被类型	夏季		秋季		冬季		春季	
		众数	L_{90}	众数	L_{90}	众数	L_{90}	众数	L_{90}
1	杨树纯林	2.522	5.705	1.660	4.033	0.179	0.573	13.381	14.994
2	刺槐纯林	2.259	4.658	0.630	0.863	0.101	0.425	0.128	0.141
3	杨树-刺槐	4.400	7.004	0.746	1.011	2.709	3.326	1.818	2.100
4	楝树纯林	1.849	2.600	4.240	5.279	0.106	0.406	1.093	1.416
5	杨树-莎草(树冠下)	0.983	1.417	0.519	0.886	0.241	0.525	9.257	10.654
6	杨树-牧草(树冠下)	4.682	8.885	0.964	1.220	0.076	0.456	29.478	31.263
7	杨树-莎草(林带中心)	1.264	1.624	0.628	0.920	0.264	0.552	8.733	9.933
8	杨树-牧草(林带中心)	5.907	8.974	1.143	2.790	0.098	0.370	27.763	29.575
	显著水平(Kruskal Wallis 法)	0.007	0.001	0.682	0.015	0.010	0.217	0.000	0.000
	显著水平(中位数方法)	0.030	0.004	0.510	0.008	0.141	0.110	0.000	0.000

由表 3 可知,除少数情况外,4 个季节中各植被类型空气负离子浓度的众数基本上均小于相应的平均值, L_{90} 与众数的差异也不太大,表明使用平均值指标可能提高了实际数值。因此认为,在描述此类瞬间变化大的特征时,不应只采用平均值这一种指标,可考虑更多的统计特征值。从表 3 还可看出,众数高于平均值的情况主要出现在春季, L_{90} 与众数差异较大的情况主要出现在夏季,而且多数是有杨树组成的类型里。说明春季的空气负离子变化大,杨树对空气负离子的影响较大。

对照表 2 与表 3 可以看出,在春季与夏季,各植被类型空气负离子浓度用不同指标进行分析,均达到同样的显著水平;冬季的比较结果基本一致,秋季用众数时有差异。可以认为,因有植被影响,春季与夏季的空气负离子在不同植被类型是有差异的;冬季没有植被影响,因而空气负离子的差异较小;秋季

可能存在植被的部分影响,因而多数情况下没有差异,而在较高水平比较时仍然存在一些差异。

2.3 空气负离子与环境因素的相关性分析

不同季节不同植被类型,相关性是有差异的(表 4)。在秋季与冬季,达到显著性相关的情况较少,且相关的正负方向性较复杂;而在春季与夏季,多数情况下均达到了显著性相关,表现出与温度的负相关及与湿度的正相关。进一步进行回归与偏相关分析表明,因温度与湿度等气象因子本身的共线性问题,偏相关系数往往达不到显著水平,所建立的二元回归方程各系数均不能通过检验。

3 结论与讨论

在对河南省黄淮海平原农田防护林不同植被类型空气负离子浓度各月份日进程的观测表明,空气负离子浓度在 4~8 月份较高,其他月份较低,但春

表 4 不同植被类型空气负离子浓度与温度、湿度的相关性分析(Pearson 系数)

Table 4 Correlation among air anion concentration and air temperature and relative humidity in different vegetations

序号	植被类型	夏季		秋季		冬季		春季	
		温度	湿度	温度	湿度	温度	湿度	温度	湿度
1	杨树纯林	-0.160	-0.021	-0.320	0.161	0.140	-0.030	-0.635*	0.321
2	刺槐纯林	-0.376	0.548	0.314	-0.242	0.334	-0.416	-0.958**	0.834**
3	杨树-刺槐	-0.543	0.670*	0.681*	-0.331	0.409	0.177	-0.901**	0.888**
4	楝树纯林	-0.832**	0.833**	-0.031	-0.127	-0.695	0.912**	-0.704*	0.833**
5	杨树-莎草(树冠下)	-0.370	0.625	0.568	-0.578	0.127	-0.055	-0.748*	0.443
6	杨树-牧草(树冠下)	-0.924**	0.821**	0.222	-0.298	0.418	-0.270	-0.915**	0.889**
7	杨树-莎草(林带中心)	-0.312	0.647	0.209	-0.151	0.073	0.142	-0.691*	0.566
8	杨树-牧草(林带中心)	-0.827**	0.774**	-0.588	0.448	0.730*	-0.764*	-0.946**	0.833*

注: * 表示显著($p < 0.05$), ** 表示极显著($p < 0.01$)。

季变化较大。这种变化与植被覆盖有关,说明植被具有良好的改善空气质量的作用,这与许多研究结论一致^[4,12,14,19]。

许多研究均报道了空气负离子浓度的日进程,其变化曲线也是多样的,有单峰型^[8-9,11,15]、双峰型^[8,10],或不规则型^[19]。本文对不同季节空气负离子浓度的日进程的观测表明,各季节的曲线基本上都呈现出近似“U”型的变化,夏季较为典型,而冬季更趋向平缓的稳定型式,多数曲线从细微变化而言似乎更像是多峰型式的。空气负离子的影响因素很多,不同研究得出日进程的不同变化曲线正是反映了这种认识^[4,8,19,21]。本研究认为,不同季节空气负离子受到的主要影响因素不同,因此在不同季节的日进程变化曲线也是不一样的,在夏季主要受植物生理活动的影响,表现出与其一致的变化;当冬季植物进入休眠时,空气负离子主要受气候条件影响,黄淮海平原区域的冬季主要受西北冷空气控制,因此,日进程变化较为平缓,在低水平上起伏;春季或秋季是植物生理活动开始或结束的时期,受气候条件波动等因素的影响,植物的生理活动波动性也较大,若有些植物发叶较早或落叶较迟,通常就会引起空气负离子也在较大范围内波动,且表现出某些月份变化的例外情况。

环境条件不同,空气负离子浓度通常差异显著,一般认为水域附近浓度较高,其次是有植被覆盖的区域,城区与室内的通常最低^[4,16-18],植被类型不同,其浓度也有差异^[8-15,19]。本研究的观测结果经 SPSS 检验,不同植被类型的空气负离子浓度存在显著性差异,但在无植被覆盖的冬季则没有;这进一步说明了植被覆盖对空气负离子浓度的影响,在乔木树种相同的防护林带内,不同地点的差异较小,可以认为空气负离子浓度主要受乔木树种的影响。

因空气负离子的瞬间浓度变化较大,在描述其变化特征时,使用平均值可能会提高实际数值,所以应同时考虑众数、百分比数等其他统计特征值,以更

接近实际情况。

空气负离子浓度的环境影响因素很多,有报道认为与 PM10 的相关性较小,与风速的相关性较复杂,与温度、湿度分别存在显著的负相关和正相关的关系^[8-11,19-21]。本研究结果与此基本一致,但不同季节不同植被类型,其相关性有差异,与一些研究一致^[8,14];在秋季、冬季,很少可以达到显著性相关,且相关的正负方向性较复杂,而在春季、夏季,基本上均可达到显著性相关。

空气负离子浓度在不同的植被类型、不同的植物生长发育时期是不同的,同时还受到温度、湿度、风速等环境条件的影响,因此,对其变化应进行综合分析。植物在冬季处于休眠状态时,杨树-刺槐林分的空气负离子浓度大于春季和秋季的数值,其原因就是这种综合影响特别是环境条件影响的结果。杨树-刺槐林分冬季的温度很低,湿度较大,风速较小,PM10 的数值很高,且与春季、秋季差异较大,而春季与秋季之间的差异较小,因此,即使是在植物处于休眠状态,环境条件的综合影响仍使其冬季的空气负离子比春季与秋季的要大些(表 5)。也可以认为,在进行空气负离子的比较分析时,应注意各种影响因素的一致性。

表 5 杨树-刺槐林分 3 个季节的环境条件与空气负离子浓度

Table 5 Environmental conditions and air anions in different seasons in *Populus* and *Robinia pseudoacacia* mixed stand

季节	温度 /°C	湿度 /%	风速 /(m ·s ⁻¹)	空气负离子 /(1×10 ³ 个 ·cm ⁻³)	PM10 /(mg ·cm ⁻³)
秋	17.7	39.4	0.32	0.724	1.5
冬	3.4	41.8	0.16	2.753	246.3
春	24.3	49.7	0.73	1.749	80.8
显著水平	0.000 0	0.052 0	0.000 2	0.232 7	0.000 1

参考文献:

[1] DAL M M, KULMALA M, RIIPINEN I, et al. Formation and

- growth of fresh atmospheric aerosols; eight years of aerosol size distribution data from SMEAR II, Hyytiälä, Finland[J]. *Boreal Environment Research*, 2005, 10: 323-336.
- [2] SHALNOV G A. Air ionization and its effects on the immune system of man[J]. *Bioradiocal*, 1994, 34(12): 391-397.
- [3] KULMALA M, TAMMET H. Finnish estonian air ion and aerosol workshops[J]. *Boreal Environment Research*, 2007, 12: 237-245.
- [4] 熊丽君, 韩少华, 唐浩, 等. 空气负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.
XIONG L J, HAN S H, TANG H, *et al.* The research progress and influencing factors of aero- anion[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2011, 21(3): 184-187. (in Chinese)
- [5] 石强, 钟林生, 吴楚材. 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 Q, ZHONG L S, WU C C. Grades standard of aeroanion concentration in forest surroundings[J]. *China Environmental Science*, 2002, 22(4): 320-323. (in Chinese)
- [6] 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.
SHI Q, SHU H F, ZHONG L S, *et al.* Research on evaluation of the aero- anion in forestry recreational areas[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2004, 40(1): 36-40. (in Chinese)
- [7] 潘剑彬, 董丽. 城市绿地空气负离子评价方法-以北京奥林匹克森林公园为例[J]. *生态学杂志*, 2010, 29(9): 1881-1886.
PAN J B, DONG L. Evaluation of air negative ions concentration in urban green space; a case study in Beijing Olympic Forest Park[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(9): 1881-1886. (in Chinese)
- [8] 李年麒, 苏印泉, 张楠阳, 等. 黄土高原腹地千阳不同林分空气负离子分布规律研究[J]. *西北林学院学报*, 2010, 25(5): 24-28.
LI N Q, SU Y Q, ZHANG N Y, *et al.* Distribution pattern of air anion in different stands in Loess Plateau[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2010, 25(5): 24-28. (in Chinese)
- [9] 李培学, 戴慧堂, 杨怀, 等. 鸡公山空气负离子分布规律及其与环境因子的关系[J]. *信阳师范学院学报: 自然科学版*, 2011, 24(1): 79-84.
LI P X, DAI H T, YANG H, *et al.* Variation of negative air ion and its relationship with environmental factors in Jigongshan[J]. *Journal of Xinyang Normal University: Natural Science Edition*, 2011, 24(1): 79-84. (in Chinese)
- [10] 陶宝先, 张金池. 南京地区主要森林类型空气负离子变化特征[J]. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2012, 36(2): 147-150.
TAO B X, ZHANG J C. Preliminary study of the variation of air anion in different forest stands in Nanjing city[J]. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition*, 2012, 36(2): 147-150. (in Chinese)
- [11] 张建国, 徐文俊, 崔会平, 等. 柑橘纯林空气负离子水平的研究[J]. *西北林学院学报*, 2012, 27(3): 31-34.
ZHANG J G, XU W J, CUI H P, *et al.* Aero- anion levels in Citrus plantations[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2012, 27(3): 31-34. (in Chinese)
- [12] 冯磊, 胡希军, 罗慧敏, 等. 城郊型森林公园环境评价及研究-以宜昌市夷陵森林公园为例[J]. *西北林学院学报*, 2009, 24(3): 177-180.
FENG L, HU X J, LUO H M, *et al.* Environment assessment and landscape planning of suburban forest park -a case study of Yiling Forest Park, Yichang[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2009, 24(3): 177-180. (in Chinese)
- [13] 韩明臣, 叶兵, 张德成. 北宫森林公园空气负离子浓度变化规律及其生态价值估算[J]. *西部林业科学*, 2013, 42(1): 32-37.
- [14] 朱春阳, 纪鹏, 李树华. 城市带状绿地结构类型对空气质量的影响[J]. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2013, 37(1): 18-24.
ZHU C Y, JI P, LI S H. Effects of the different structure of urban green belts on the air quality[J]. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition*, 2013, 37(1): 18-24. (in Chinese)
- [15] 胡喜生, 柳冬香, 洪伟, 等. 福州市不同类型绿地空气负离子效应评价[J]. *农学学报*, 2012, 2(10): 42-45.
HU X S, LIU D X, HONG W, *et al.* Effect evaluation of air negative ions in different types of green space in Fuzhou City[J]. *Journal of Agriculture*, 2012, 2(10): 42-45. (in Chinese)
- [16] 王薇, 余庄, 冀凤全. 基于空气负离子浓度的城市环境空气清洁度评价[J]. *生态环境学报*, 2013, 22(2): 298-303.
WANG W, YU Z, JI F Q. Evaluation of air cleanness degree of the urban environment based on negative air ion concentration[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2013, 22(2): 298-303. (in Chinese)
- [17] 王秀峰, 康文杰. 大学校园空气负离子的分布规律研究[J]. *陕西科技大学学报*, 2013, 31(1): 53-57.
WANG X F, KANG W J. On distribution regularity of air anion in the university campus[J]. *Journal of Shaanxi University of Science & Technology*, 2013, 31(1): 53-57. (in Chinese)
- [18] 张刚, 周鲁宏, 孙方婷, 等. 北方城市冬季室内环境空气中正负离子浓度分布特征[J]. *环境科学与管理*, 2012, 37(8): 9-13.
ZHANG G, ZHOU L H, SUN F T, *et al.* Distribution characteristics on urban indoor concentration of atmospheric positive and negative ion in Northeastern China in winter[J]. *Environmental Science and Management*, 2012, 37(8): 9-13. (in Chinese)
- [19] 吴明作, 王江彦, 李小伟, 等. 郑州市公园绿地春季空气质量评价[J]. *西南林业大学学报*, 2011, 31(3): 22-26.
WU M Z, WANG J Y, LI X W, *et al.* Study on air negative ions daily process and its correlation with environment in urban greenery patches in Zhengzhou City[J]. *Journal of Southwest Forestry University*, 2011, 31(3): 22-26. (in Chinese)
- [20] 李高阳, 毛彦哲. 人工杨树林空气负离子浓度时间变化规律研究[J]. *河南林业科技*, 2012, 32(4): 21-22, 40.
- [21] 张建锋, 陈光才, 王瑛, 等. 上海沿海防护林空气负离子水平测定[J]. *城市环境与城市生态*, 2012, 25(1): 11-13.
ZHANG J F, CHEN G C, WANG Y, *et al.* Measurement on air negative ions of coastal shelter forest in Shanghai[J]. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2012, 25(1): 11-13. (in Chinese)