

文章编号:2095-6134(2016)03-0365-08

龙胜各族自治县空气负离子资源的 分布特征及开发策略^{*}

张生瑞^{1,4}, 向宝惠^{2†}, 鞠洪润^{3,4}

(1 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2 中华女子学院管理学院, 北京 100101;

3 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100101; 4 中国科学院大学, 北京 100049)

(2015 年 4 月 10 日收稿; 2016 年 1 月 5 日收修改稿)

Zhang S R, Xiang B H, Ju H R. Distribution characteristics and exploitation strategy of aero anion resources in Longsheng county[J]. Journal of University of Chinese Academy of Sciences, 2016,33(3):365-372.

摘 要 运用 AIC-1000 型空气负离子浓度仪对龙胜各族自治县(以下简称龙胜县)空气负离子资源进行实地观测,通过反距离加权插值的方法模拟县域空气负离子资源的空间分布.研究表明:1)龙胜县各监测点位的空气负离子平均浓度为 4 265 个/cm³,县域空气非常清新,适宜开展空气负离子健康旅游;2)龙胜县空气负离子浓度北部高于南部,人口稀疏区高于人口密集区,森林覆盖区域高于其他植被覆盖区域,瀑布、溪流等动态水集中的区域普遍较高.根据上述研究结果,对龙胜县空气负离子资源开发提出以下建议:1)在保护好森林和水体资源的基础上,宣传空气负离子的保健功效;2)依据空气负离子的空间分布规律合理划分功能区以充分发掘空气负离子资源的价值;3)在空气负离子低浓度区合理配置绿地面积、营造水体景观;4)定期发布空气负离子浓度,实现空气负离子资源的动态监测.

关键词 空气负离子; 分布特征; 健康旅游; 龙胜县

中图分类号:X831;F592.7 文献标志码:A doi:10.7523/j.issn.2095-6134.2016.03.013

Distribution characteristics and exploitation strategy of aero anion resources in Longsheng county

ZHANG Shengrui^{1,4}, XIANG Baohui², JU Hongrun^{3,4}

(1 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2 School of Management, China Women's University, Beijing 100101, China;

3 Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

4 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract Using the AIC-1000 air negative ion concentration tester, we made field observations of the aero anion resources in Longsheng county and simulated the spatial distribution by the inverse distance weighting interpolation method. The results show that the average of aero anion concentrations at all the monitoring sites in the county is 4 265 per cubic centimeter, and the county

^{*} 国家自然科学基金(41171435)资助

[†] 通信作者, E-mail: xbaohui@163.com

is suitable to develop aero anion healthy tourism. The aero anion resources distribute in the county as follows. The concentration of the aero anion in the north is generally higher than in the south. The concentration in sparsely populated area is much higher than in the densely populated areas. The concentration in forest area is much higher than in other vegetation covering area; and the concentration in the region with waterfalls, streams, and other dynamic water is generally high. Based on the above results, we suggest that the local government exploit the aero anion resources in Longsheng county as follows: 1) protecting the forests and the water resources and propagating the health benefits of aero anion, 2) dividing the functional areas rationally based on the spatial distribution of aero anion in order to fully exploit the aero anion resources, 3) allocating the green space rationally and constructing water landscape in the area with low concentration, and 4) establishing an announcing system of aero anion concentration to realize the dynamic monitoring of the aero anion.

Key words aero anion; distribution characteristics; health tourism; Longsheng county

空气负离子被誉为空气维生素或生长素^[1],其浓度是衡量空气质量的重要指标之一。研究表明,当空气中负离子的浓度超过 700 个/cm³ 时,人们可感受到空气新鲜,当达到 1 000 个/cm³ 时,空气有保健的作用,超过 8 000/cm³ 则能治疗疾病^[2-4]。较高浓度的空气负离子,对人体的有益作用明显,具有抗衰老、抗疲劳、镇静、改善睡眠、降低血压、增强食欲、改善肺功能、增强免疫力等康体养生的功效^[2-3],因此空气负离子也是一类重要的健康旅游资源。自 20 世纪 50 年代以来,中国学者对空气负离子的生理机制与效应^[2-10]、评价标准与方法^[1,11-16]、影响因素和分布规律^[17-33]做了不同环境背景、不同尺度的探讨。总体来说,目前的研究主要集中在森林公园、风景名胜、滨海旅游区等景区尺度^[31],以县域为单位探讨空气负

离子资源赋存状况及其开发利用的研究、报道还较少。本文以广西壮族自治区龙胜各族自治县(以下简称龙胜县)作为研究区域,实地测定不同季节、不同时刻、不同气象条件下县域内主要功能区的空气负离子浓度,并通过空间插值的方法模拟龙胜县空气负离子资源的分布,有针对性地提出龙胜县空气负离子资源开发建议。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

龙胜县位于广西壮族自治区东北部,桂林市西北面,介于北纬 25°29'21"~26°12'10"、东经 109°43'28"~110°21'14"之间,地处越城岭西南麓,境内群山耸立,地势东、南、北三面高而西部低(图 1)。陡坡(坡度大于 16°)占全县土地面积的

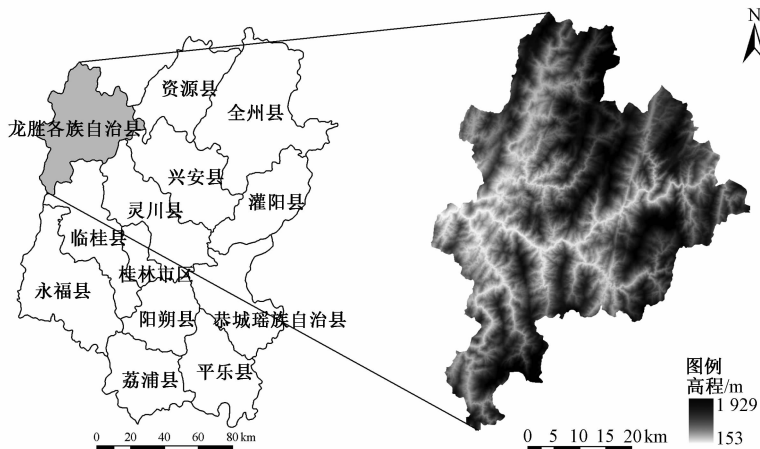


图 1 龙胜各族自治县位置及地形

Fig. 1 Location of Longsheng county and its topography

87%,而缓坡(坡度小于5°)仅占13%,1 500 m 以上的山峰有21座.县城年平均气温18.2℃,极端最高气温为38.9℃(2003年),极端最低气温-3.7℃(1999年).年无霜期平均317 d,年平均降水量1 601 mm.全县生态环境优,森林覆盖率高达78.61%,水系发达,地表年总径流量262.61亿m³.

1.2 样点选取

观测样点的选择主要遵循以下5个原则:1)依乡镇划分,生态旅游区优先;2)人口疏密结合,空间布局尽量平衡;3)不同类型的生态系统相结合,样点应具有地域代表性;4)森林旅游区内不同林分区需交叉观测;5)各样点间距离适中,尽量平均分布.据此选择龙胜县南山牧场、彭祖坪景区、西江坪景区、大寨金坑梯田景区、龙脊古壮寨、温泉国家森林公园、县城、花坪原始森林及大塘湾山寨茶麸温泉等9个区域的34个观测点位进行空气负离子浓度测定.

1.3 研究方法

1.3.1 数据获取

本文采用美国生产的AIC-1000型空气负离子浓度仪对龙胜县空气负离子浓度进行测定.AIC-1000型空气负离子浓度仪采用电气移动分级法,可实时测量空气负离子浓度,同时可根据不同的环境背景选取不同的值域范围测定.仪器的主要参数如下:测量范围:10~1 999 000 ions/cm³;空气流速:200 cm³/s;可测量正、负离子;线性速度:40 cm/s;离子显示:数字显示;反应时间:大约10 s;分3档:低、中、高离子浓度读数;最小检测量:10 离子/cm³;湿度≤99% R. H(不凝结水);工作温度:-20~60℃;电池:9 V;尺寸:150 mm×90 mm×55 mm;质量:350 g.

本观测中,所有测点均采用10 min时段连续监测的平均浓度为测点浓度.具体做法为:每隔1 min读数一次,测点的浓度即为10次读数的平均值.在较高浓度环境下采用“199.9×1 000”(大值域范围)模式测定,在室内、城市中等空气负离子浓度较低的环境下首先采用“19.99×1 000”(小值域范围)模式测定,若超过小值域范围则换用大值域范围.

具体工作程序如下:

- 1)野外踏勘,选取观测点;
- 2)选取适当的高度、合理的朝向安放空气负

离子浓度仪;

3)根据工作经验,选取合适的浓度范围模式,开始10 min浓度测定;

4)10 min测量过程中观测中间数据,每隔1 min记录一次;

5)10 min测量结束,记录负离子浓度的(10次读数)平均值与最大值;

6)记录环境背景条件,如时间、地点和天气情况等;

7)根据工作经验,对数据进行整理修正.

1.3.2 数据处理

采用Excel2010对数据进行简单处理,并根据监测点位的空间布局,通过反距离加权空间插值方法模拟全县空气负离子的分布情况.

反距离加权插值(inverse distance weighting, IDW)的基本原理是根据已知地理空间的属性探求未知地理空间的属性^[34].反距离加权插值的核心思想是用与插值点距离最近的已知点的变量来表示该插值点的变量值^[35],其基于“地理学第一定律”的基本假设,即距离近的区域比距离远的区域更相似^[36],2个点位间的相互作用随空间距离的增大而减小,未知点位受距离最近的已知点位的影响最大.

对于待插值点 $P(x,y,z)$ 而言,其周围区域内已有若干已知样点 $Q_i(x_i,y_i,z_i), i=1,2,\cdots,n$,其中 (x,y) 为其二维空间坐标, z 为该点的属性.由已知点属性推求 P 点属性的反距离插值计算公式如下

$$z_p = \sum_i^n z_i w_i / \sum_i^n w_i, \quad (1)$$

式中, z_p 和 z_i 分别为待求点值和样本点值; w_i 为 Q_i 点对 P 点的权重,一般取 $w_i = 1/d_i^\alpha$; d_i 为 P 点与 Q_i 点之间的距离; α 为控制参数, α 越大,权重随距离增大衰减得越快;反之, α 越小,权重随距离增大衰减得越慢.一般 α 取1~3,常取 $\alpha=2$ ^[36].

1.3.3 评价标准

本文采用世界卫生组织标准以及中国各省市所执行的等级标准对龙胜县空气负离子浓度做出评价,并结合森林环境中空气负离子浓度与健康旅游的关系对县域空气负离子资源的开发提出建议.

世界卫生组织规定:清新空气的空气负离子的标准浓度为1 000~1 500个/cm³,即每cm³含有不

低于 1 000 个空气负离子的空气为清新空气^[37].

根据中国部分省市气象部门各自公布的数据,对空气负离子浓度的等级标准有表 1 和表 2 所示 2 种,分别为空气负离子浓度与空气质量的关系和空气负离子浓度与人体健康的关系^[37].

表 1 空气质量与空气负离子浓度的对应标准

Table 1 Standards of air quality corresponding to aero anion concentrations

空气负离子浓度/(个/cm ³)	等级	空气清新程度
>2 000	1 级	非常清新
1 500~2 000	2 级	清新
1 000~1 500	3 级	较清新
500~1 000	4 级	一般
≤500	5 级	不清新

在森林空气负离子浓度与健康旅游关系方面,可按照森林环境小气候空气负离子相关研究成果,结合空气负离子的人体生物学效应,将森林环境中空气负离子浓度分为 4 个级别^[38]:A 级:3 000 个/cm³ 以上,很适宜开展空气负离子健康旅游;B 级:2 200~3 000 个/cm³,适宜开展空气负离子健康旅游;C 级:1 100~2 200 个/cm³,较适宜开展空气负离子健康旅游;D 级:1 100 个/cm³ 以

下,不适宜开展空气负离子健康旅游.

表 2 不同的空气负离子浓度对健康的影响

Table 2 Effects of aero anion concentration on health

级别	空气负离子浓度/(个/cm ³)	对健康的影响
1	≤600	不利
2	600~900	正常
3	900~1 200	较有利
4	1 200~1 500	有利
5	1 500~1 800	相当有利
6	1 800~2 100	很有利
7	≥2 100	极有利

这种分法为森林健康旅游规划与开发提供了科学依据,有利于合理利用空气负离子资源建设森林疗养区等旅游项目.

2 结果与评价

2.1 观测数据

对全县 9 个区域、34 个测定地点、50 组观测数据进行整理,当一个测定地点有多次观测值时,以其平均值作为该测点的浓度,观测结果整理如表 3 所示.

表 3 龙胜县空气负离子浓度观测值

Table 3 Observation of aero anion concentration in Longsheng county

区域	测定地点	测定日期	测定时刻	编号	负离子浓度/ (个/cm ³)	天气	平均浓度/(个/cm ³)		
							测点浓度	区域浓度	
县城	a	2014-04-26	16:01	1	950	阴	950	767	
	b	2014-04-26	16:42	2	870	阴	870		
	c	2014-04-27	9:15	3	750	阴	750		
	l	2014-04-28	07:45	13	430	晴	430		
	Z3	2014-09-14	16:30	43	950	阴	950		
	Z4	2014-09-15	07:50	43	650	阴	650		
温泉国家 森林公园	d	2014-04-27	10:02	4	1 990	阴	7 253	4 366	
		2014-05-26	16:50	35	12 870	小雨			
		2014-05-26	17:03	37	10 130	小雨			
		2014-09-14	19:18	47	4 020	阴			
	e	2014-04-27	10:09	5	2 600	阴	2 637		
		2014-05-26	16:46	36	2 800	小雨			
		2014-09-15	07:33	46	2 510	阴			
		Z5	2014-09-15	11:51	45	2 740	阴		2 740
	Z6	2014-09-15	15:03	48	1 920	晴	1 920		
	Z7	2014-09-15	18:17	49	2 080	晴	2 080		
	f	2014-04-27	11:16	6	1 100	阴	1 100		
g	2014-04-27	13:33	7	700	阴	700			
彭祖坪景区	h	2014-04-27	14:25	8	700	阴	1 185	17 442	
	w	2014-05-26	10:30	28	1 670	小雨	1 050		
		2014-05-26	11:10	29	1 050	小雨	1 050		
		2014-05-26	11:40	30	5 000	小雨	4 000		
	x	2014-05-26	12:00	31	3 000	小雨	4 000		
		2014-05-26	12:40	32	31 500	小雨	53 733		
		y	2014-05-26	12:46	33	76 200			小雨
		2014-05-26	12:55	34	53 500	小雨			

表 3(续)

区域	测定地点	测定日期	测定时刻	编号	负离子浓度/ (个/cm ³)	天气	平均浓度/(个/cm ³)	
							测点浓度	区域浓度
西江坪景区	j	2014-04-27	17:55	10	910	阴	14 103	10 524
		2014-04-27	18:06	11	1 300	阴		
		2014-05-26	18:34	38	40 100	小雨		
	k	2014-04-27	18:12	12	3 200	阴	6 960	
		2014-05-26	18:49	40	10 720	小雨		
		2014-05-26	18:44	39	11 720	小雨		
大寨金坑 梯田景区	Z1	2014-05-26	18:55	41	5 720	小雨	5 720	783
	m	2014-04-28	10:36	14	1 100	晴	900	
		2014-05-24	15:44	22	700	中雨		
	n	2014-04-28	11:40	15	400	晴	400	
龙脊古壮寨	Z2	2014-09-14	15:28	42	1 050	阴	1 050	1 190
	o	2014-04-28	15:03	16	460	晴	460	
		2014-04-28	15:31	17	770	晴		
	2014-04-28	15:40	18	1 800	晴	1 900		
	2014-04-28	15:45	19	2 000	晴			
南山牧场	Z8	2014-09-14	14:57	50	920	晴	920	2 350
	r	2014-04-29	09:01	20	2 600	小雨	2 600	
	s	2014-04-29	14:39	21	2 100	小雨	2 100	
	花坪原始森林	t	2014-05-25	10:44	23	1 000	小雨	
2014-05-25			12:02	24	900	小雨		
u		2014-05-25	12:28	25	8 000	小雨	8 000	
v		2014-05-25	12:35	26	2 000	小雨	2 150	
		2014-05-25	13:14	27	2 300	小雨		
大塘湾温泉 入口处	i	2014-04-27	16:09	9	1 300	阴	1 300	1 300

2.2 结果分析

2.2.1 各监测点位空气负离子浓度分析

通过计算得出,龙胜县各测点平均浓度为4 265个/cm³,空气清新程度达到非常清新的级别,总体来看县城空气对健康有利,很适宜开展负离子健康旅游.具体而言,34 个观测点中有 14 个测点的空气负离子浓度超过 2 000 个/cm³,占观测点位总数的 44.4%,空气非常清新,对健康极

有利.有 2 个测点的空气负离子浓度在 1 500 ~ 2 000个/cm³ 之间,空气清新,对健康相当有利.有 5 个测点的空气负离子浓度在 1 000 ~1 500 个/cm³ 之间,空气较清新,对健康有利.具体情况如图 2 所示.

区域平均浓度而言,测定的 9 个区域中,彭祖坪空气负离子浓度最高,达 17 442 个/cm³,县城空气负离子浓度最低,达 767 个/cm³.

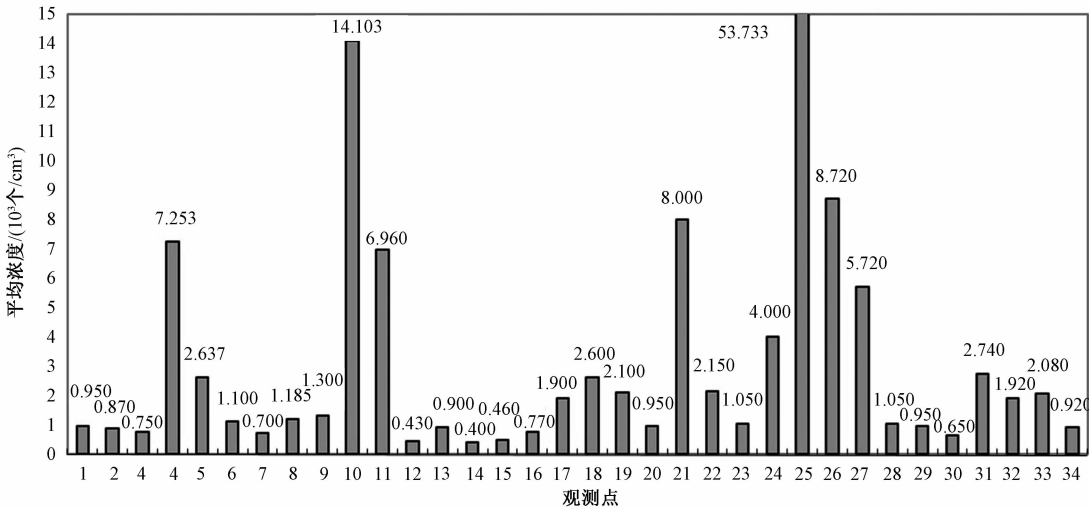


图 2 各测定地点负离子平均浓度

Fig.2 Average concentrations of aero anion at the measuring points

按照森林环境小气候空气负离子保健浓度分级评价的标准^[38],属于 A 级的测点共有 8 个;属于 B 级的测点共有 3 个;属于 C 级的测点有 8 个;低于 D 级的测点有 15 个. 34 个测点中有 21 个测点负离子平均浓度超过 1 000 个/cm³,满足进行空气负离子健康旅游开发的基本条件.

2.2.2 全县空气负离子资源分布规律

通过 ArcGIS 软件将 9 个区域的平均浓度作为已知值对全县空气负离子浓度进行空间插值,模拟的龙胜县空气负离子资源分布状况如图 3 所示. 结合分布示意图,在分析龙胜县志^[39]等相关资料的基础上,可得出龙胜县空气负离子资源具有以下分布规律:

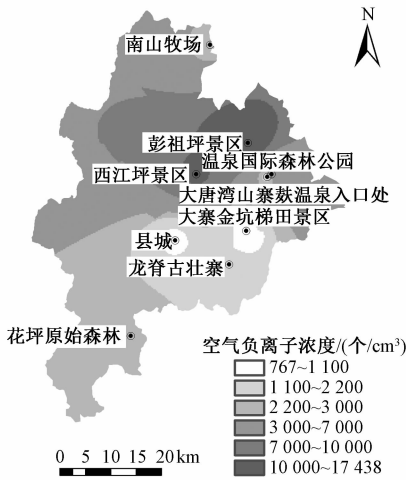


图 3 基于反距离插值的龙胜县空气负离子浓度分布
Fig. 3 Spatial distribution of aero anion concentration in Longsheng county based on IDW

1) 分布较不平衡,县城以北的各乡镇空气负离子浓度明显高于县城以南的乡镇. 这主要与北部乡镇的原始森林面积广,植被覆盖度高于南部乡镇有关.

2) 人口密集区明显低于人口稀疏区. 县城、大寨金坑梯田旅游区、龙脊古壮寨周边的空气负离子浓度最低,与三地人口密集、人类活动强度高有关.

3) 森林区域高于其他植被覆盖区域. 南山牧场的空气负离子浓度低于周边地区,主要原因是草甸对空气负离子的促发作用低于森林,同时南山牧场的人类活动强度较高;大塘湾山寨茶麸温泉入口处空气负离子浓度低于距离其较近的温泉国家森林公园,其原因即为茶麸温泉周边的植被

覆盖度低于温泉国家森林公园.

4) 瀑布、溪流等动态水集中的区域空气负离子浓度高. 彭祖坪、西江坪一带是全县空气负离子浓度最高的区域,除该区域的森林覆盖度高之外,还有一个重要的原因是该区域拥有丰富的动态水资源,如西江坪水库和彭祖坪大小瀑布等,这些都对空气负离子具有较强的促发作用.

总体来看,与大连、武汉、合肥等大城市^[40]相比,龙胜县域内空气负离子浓度高于城市室外约 10~12 倍,表明龙胜县相对于人口密度较大的各大城市有更佳的空气质量. 另外,龙胜县域内的空气负离子值比平原地区的稍高,原因是地处山区,森林覆盖率高,且降水丰沛,更有利于负离子的产生.

3 结论与建议

龙胜县空气负离子浓度总体上较高(各测点平均浓度 4 265 个/cm³),空气极为清新,具有提升人体活力的作用,对健康有利. 空间上,部分监测区域因为森林条件较好,水资源丰富,空气负离子浓度高,成为整个县域内空气负离子浓度较高的区域,有利于开展空气疗养等健康旅游活动. 时间上,同一监测点位雨过天晴时空气负离子浓度往往较高,而且同一监测点位也会由于局部小气候的不稳定而表现出空气负离子浓度多变的情况. 观测中也发现有些地点空气负离子浓度瞬时值能够达到极大的特点. 依据上述评价,建议采取如下措施科学开发空气负离子资源,开展空气负离子健康旅游活动.

3.1 切实保护好森林资源与水体资源

在诸多影响因素中森林和动态水对空气负离子的促发作用最为明显. 目前龙胜县森林覆盖率达 78.61%,年总径流量 262.61 亿 m³,为空气负离子健康旅游、休闲度假旅游的开展奠定了坚实的基础. 但同时也应该注意到随着人类活动强度的加大,乱砍滥伐森林、乱排污废水的现象时有发生,建议建立环境资源监测制度,定期反馈森林和水域的保护情况,以保证其生态效益不受损害. 同时在森林资源丰富的区域,应科学合理地安排旅游活动,为当地居民提供就业机会、增加收入,从而在源头上杜绝不合理的资源开发行为.

3.2 积极宣传空气负离子的保健功效

随着健康旅游的发展,空气负离子的保健功

效日益受到旅游者的青睐。龙胜县虽有较为丰富的空气负离子资源,但是由于宣传力度不够、促销手段单一等原因,目前尚未形成有效的开发利用格局。针对此情况,建议在广西壮族自治区各中心城市以及毗邻的湖南省怀化市、邵阳市,采用新闻媒介、车载广播、酒店营销等方式,大力宣传空气负离子的价值,开拓生态旅游和健康旅游市场。同时定期举办生态知识科普活动,普及空气负离子知识,提高人们对其保健功效的认识。

3.3 依据空气负离子资源的空间分布规律合理划分功能区

依据龙胜县空气负离子资源空间分布规律进行功能分区,以充分发挥空气负离子资源的价值。可建设的功能区有:1)生理呼吸区,负离子浓度介于 $700 \sim 1\,000$ 个/ cm^3 ,主要功能是呼吸新鲜空气,可以设置生理呼吸带、呼吸点等;2)康体保健区,负离子浓度介于 $1\,000 \sim 8\,000$ 个/ cm^3 ,主要功能是康体保健、健康旅游,可建设以呼吸空气负离子为主要功能的“森林氧吧”、“森林浴场”等疗养型场所;3)疾病疗养区,空气负离子浓度大于 $8\,000$ 个/ cm^3 ,主要功能是疾病疗养、休闲养生,可建设以治疗疾病为主要功能的森林疗养院、彭祖养生谷等场所。

3.4 在人口密集区合理配置绿地、营造人工水景

人口密集区主要是指县城以及各乡镇政府所在地,这些区域由于人类活动强度大,土地利用多样导致植被覆盖面积减少,从而降低了其空气负离子浓度。为实现龙胜县健康旅游的持续发展,建议在城镇发展规划以及各景区旅游发展规划中合理配置绿地面积,营造人工水体景观如瀑布、喷泉、水幕电影等,以配合空气负离子保健设施的建设。这将有助于提高居民和游客参与热情,也能促进当地生态环境的保护。

3.5 建立空气负离子浓度定期发布制度

空气负离子浓度是空气质量考核的重要指标之一,各景区应联合气象管理部门定期公布空气负离子浓度指数,使空气负离子浓度监测常规化,这不仅能够让景区的空气质量更有说服力,扩大景区的吸引力,更能起到自我监督的作用,促使相关部门以及当地居民持续关注景区内环境质量的变化,自觉维护良好的生态环境。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 林策良,陈斌. 充分发挥水在城市环境建设中的作用[J]. 科学中国人, 2000(7): 9-10.
- [3] Stavrovskaja I G, Sirota T V, Saakian I R, et al. Optimization of energy-dependent processes in mitochondria from rat liver and brain after inhalation of negative air ions[J]. Biofizika, 1997, 43(5): 766-771.
- [4] Kosenko E A, Kaminsky Y. The stimulatory effect of negative air ions and hydrogen peroxide on the activity of superoxide dismutase (SOD)[J]. Febs Letters, 1997, 410(2): 309-312.
- [5] 李志民. 空气离子对人体的生理作用[J]. 自然杂志, 1989, 12(7): 534-537.
- [6] 宗美娟,王仁卿,赵坤. 大气环境中的负离子与人类健康[J]. 山东林业科技, 2004(2): 32-34.
- [7] Васильев В Л, 杨鲁第. 空气离子的生理学作用机制[J]. 山西医学院学报, 1959(1): 22.
- [8] 康智遥. 空气离子的生物学效应和生理机制[J]. 自然杂志, 1982, 5(11): 843-845.
- [9] 李安伯. 空气离子生物效应的研究[J]. 中国卫生工程学, 1996, 5(2): 71-73.
- [10] 刘和俊. 安徽主要旅游景区空气负离子效应研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2013.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 石强,李崇贵. 森林旅游地空气负离子评价标准的研究[J]. 深圳职业技术学院学报, 2002, 22(4): 320-323.
- [15] 李青山,刘军,狄有波,等. 北戴河空气负离子浓度测定与负离子评价标准[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2008, 18(4): 1-3.
- [16] 李少宁,韩淑伟,商天余,等. 空气负离子监测与评价的国内外研究进展[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(8): 3736-3738.
- [17] 金梅. 合肥市不同生态环境空气离子时空分布及其影响因素的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2005.
- [18] 姚成胜. 岳麓山空气负离子分布规律及开发利用研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2005.
- [19] 黄芸茵. 杭州西进旅游地空气负离子研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2006.
- [20] 王洪俊. 城市绿地空气负离子分布规律的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2004.
- [21] 穆丹. 佳木斯城市绿地空气负离子分布规律及其影响因素的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2007.
- [22] 厉月桥. 保定市太行山三个旅游区空气负离子分布规律

的研究[D]. 秦皇岛: 河北农业大学, 2008.

[23] 胡国长. 不同林分类型空气离子的时空分布及其影响因素研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2008.

[24] 王顺利,刘贤德,金铭,等. 甘肃省森林区空气负离子分布特征研究[J]. 生态环境学报,2010,19(7):1 563-1 568.

[25] 张帅,胡海波. 不同环境中植物与空气负离子关系研究[J]. 中国城市林业, 2010, 8(4):48-50.

[26] 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.

[27] 黄向华,王健,曾宏达,等. 城市空气负离子浓度时空分布及其影响因素综述[J]. 应用生态学报, 2013, 24(6): 1 761-1 768.

[28] 张双全. 神农谷国家森林公园空气负离子旅游资源研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2011.

[29] 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.

[30] 王淑娟,王芳,郭俊刚,等. 森林空气负离子及其主要影响因子的研究进展[J]. 内蒙古农业大学学报:自然科学版, 2008,29(1):243-247.

[31] 宋增文,向宝惠,钟林生. 青海北山国家森林公园空气负离子资源生态旅游开发研究[J]. 林业经济问题, 2008, 28(3):211-214.

[32] 梁红,陈晓双,达良俊. 上海佘山国家森林公园空气负离子动态及其主要影响因子[J]. 城市环境与城市生态, 2014, 27(1):7-11.

[33] 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.

[34] 闫秀婧. 青岛市森林与湿地负离子水平时空分布研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2009.

[35] 王玉璟. 空间插值算法的研究及其在空气质量监测中的应用[D]. 开封: 河南大学, 2010.

[36] 王劲峰,廖一兰,刘鑫. 空间数据分析教程[M]. 科学出版社, 2010.

[37] 林金明,宋冠群,赵利霞,等. 环境、健康与负氧离子[M]. 北京:化学工业出版社, 2006.

[38] 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.

[39] 龙胜各族自治县志编纂委员会. 龙胜各族自治县志(1988—2005)[M]. 北京:中国时代经济出版社, 2013.

[40] 徐业林,方玲,丁文家,等. 五城市室内、外环境空气负离子浓度的调查[J]. 环境与健康, 1991, 8(5): 221-222.