

基于环境空气质量数据的湖北省武汉市大气污染特征研究

高丹丹, 赵丽娅*, 李成, 程畅 (湖北大学资源环境学院, 湖北武汉 430062)

摘要 根据湖北省武汉市大气主要污染物的浓度数据、空气质量指数, 运用线性回归分析、主成分分析法对其大气污染特征进行系统分析。结果表明, $PM_{2.5}$ 对空气质量的贡献率最大, 为武汉市大气的首要污染物, 其浓度季节变化为冬季 > 春季 > 秋季 > 夏季。最后针对武汉市大气污染特征提出防治措施, 旨在为改善空气质量提供科学依据。

关键词 武汉市; 污染物浓度; 空气质量指数; $PM_{2.5}$

中图分类号 S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)18-058-04

Characteristics of Air Pollution Based on the Environmental Quality Data in Wuhan City

GAO Dan-dan, ZHAO Li-ya*, LI Cheng et al (School of Resource and Environmental Science, Hubei University, Wuhan, Hubei 430062)

Abstract According to concentration data of the pollutants and air quality index, we analysed the atmospheric pollution characteristics in Wuhan City by using linear regression analysis and principal component analysis. The results showed that $PM_{2.5}$ of the largest contribution rate was the primary atmosphere pollutant, its seasonal variation in concentration was in the order of winter > spring > autumn > summer. Finally, control measures were put forward according to the air pollution characteristics of Wuhan City, aiming at providing scientific theoretical basis for the improvement of air quality.

Key words Wuhan City; Pollutant concentration; Air quality index; $PM_{2.5}$

我国大气污染形势严峻, 雾霾频发, 已波及到全国 17 个省市, 超过 8 亿人口受到影响。频发的雾霾成为了人们的“心肺之患”, 导致一些呼吸系统疾病发病率上升及大气能见度下降, 给人们的生产生活带来极大困扰^[1]。 $PM_{2.5}$ (粒径 $\leq 2.5 \mu m$) 是构成雾霾的主要成分, 是空气复合污染的关键污染物^[2-4]。因此对 $PM_{2.5}$ 的研究成为人们关注的热点之一。湖北省武汉市近年雾霾频发成患, 2012 年 6 月遭遇雾霾严重侵袭; 2013 年 1 月 $PM_{2.5}$ 超标率为 96.8%, 超《环境空气质量标准》日均限值 4.52 倍, 10~12 月持续雾霾, 雾霾天数分别达到 27、22、21 d, 尤其 10 月达到自 1961 年以来同期极值, 同年武汉市曾三度启动空气污染应急响应; 2014 年 6 月再次遭遇雾霾, 11 月 23 日武汉被浓雾笼罩, 空气质量指数达到峰值 (441), 排名全国倒数第一, 空气质量面临严峻挑战^[5]。造成武汉市雾霾频发的原因主要是随着中部崛起战略的实施, 武汉市积聚了较多的产业, 燃煤、工业、建筑和交通等均成为大气污染的主要排放源。如, 武汉汽车保有量在 2013 年为 153 万台, 至 2015 年上半年却达到了 205.8 万台, 汽车尾气排放有增无减。此外, 在逆温等不利气象条件下, 周围省市雾霾、浮尘天气、秸秆燃烧等外源污染物盘踞武汉上空难以扩散。基于此, 笔者根据 2013~2015 年武汉市污染物浓度数据和环境空气质量指数对武汉市环境空气质量进行分析, 旨在为改善大气状况及减少雾霾提供科学依据。

1 数据来源

根据《环境空气质量标准》(GB3095—2012), 选取武汉市城区(国控点平均值)2013~2015 年的 6 项监测内容 (SO_2 、 NO_2 、CO、 O_3 、 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10}) 的浓度值、空气质量指数数

据进行分析。根据武汉市环境保护局提供的监测点选取 10 个国控监测点, 分别为沌口新区、吴家山、汉阳月湖、汉口花桥、汉口江滩、武昌紫阳、东湖梨园、东湖高新、青山钢花、沉湖七壕(对照点); 其余为市控点。

2 武汉市大气污染特征

2.1 污染物浓度超标比例分析 利用武汉市 2013~2015 年的大气污染物数据^[6-8], 对照国家标准空气污染项目基本浓度限值进行分析(表 1)。结果表明, 武汉市 2013~2015 年空气优良指数分别为 159、182 和 201 d, 呈现一个上升的趋势。其中, SO_2 、CO 达标, 其余均超标。由表 2 可知, $PM_{2.5}$ 的超标率最大, 其次为 PM_{10} 、 NO_2 、 O_3 。武汉市 2013~2015 年大气污染物浓度超标率呈递逐年减状态, 说明大气污染控制已取得了一定的成果。

表 1 环境空气主要污染物项目浓度限值

Table 1 Concentration limit of main air pollutants

污染物 Pollutant	平均时间 Mean time	浓度限值 Concentration limit	
		一级 Grade one	二级 Grade two
SO_2	1 a	20	60
	1 d	50	150
	1 h	150	500
NO_2	1 a	40	40
	1 d	80	80
	1 h	200	200
CO	1 d	4	4
	1 h	10	10
O_3	日最大 8 h	100	160
	1 h	160	200
$PM_{2.5}$	1 a	40	70
	1 d	50	150
PM_{10}	1 a	15	35
	1 d	35	75

注: CO 单位为 mg/m^3 , 其余污染项目单位均为 $\mu g/m^3$ 。

Note: Unit of Co was mg/m^3 , unit of other items was $\mu g/m^3$ 。

2.2 污染物浓度贡献率分析 利用主成分分析法对武汉市 2014 年 1 月~2015 年 12 月 6 个指标的大气质量数据进行分析, 得出主要的污染因子。主要基于 SPSS18.0 进行分析^[9-11]。

2.2.1 计算特征值及主成分贡献率。 通过协方差矩阵, 可

基金项目 湖北省教育厅重点项目(D2015003); 湖北省科技厅软科学专项(2013BDF034)。

作者简介 高丹丹(1990-), 女, 山西大同人, 硕士研究生, 研究方向: 环境地理。* 通讯作者, 副教授, 硕士生导师, 从事环境生态、环境规划、生态补偿研究。

收稿日期 2016-05-25

以求出每一个主成分所对应的特征值、解释方差以及累积方差贡献率(表3)。从表3可以看出,前2个主成分的方差累积贡献率达到91.309%,说明前2个主成分已可以反映原始数据的绝大部分信息,因此确定主成分个数为2个。

表2 2013~2015年武汉市环境质量指标超标比例

Table 2 Proportion of environmental quality index from 2013 to 2015 in Wuhan City

年份 Year	超标比例 Excessive area//%			
	NO ₂	O ₃	PM _{2.5}	PM ₁₀
2013	22.49	13.93	48.53	29.88
2014	13.26	7.13	45.57	22.58
2015	11.24	15.00	34.10	18.13

表3 特征值及主成分贡献率

Table 3 Eigenvalue and the principal component contribution rate

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	方差贡献率 Variance contribution rate//%	累积贡献率 Accumulative contribution rate//%
1	4.627	77.116	77.116
2	0.852	14.192	91.309
3	0.226	3.766	95.075
4	0.173	2.883	97.958
5	0.091	1.524	99.483
6	0.031	0.517	100.000

2.2.2 计算主成分特征向量和主成分表达式。利用SPSS软件先求出主成分载荷矩阵,然后将主成分载荷矩阵中的数据除以主成分相对应的特征值,再开平方根便可得到2个主成分中每个指标所对应的系数(表4)。

表4 2个主成分的特征向量

Table 4 Eigenvectors of the two principal components

主成分 Principal component	特征向量 Eigenvector					
	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO	O ₃
1	0.428	0.434	0.399	0.444	0.410	-0.321
2	0.102	0.193	0.503	0.126	-0.348	0.750

由表4可得,这2个主成分与各个变量的线性组合关系分别为:

$$Z_1 = 0.428Z_{SO_2} + 0.434Z_{NO_2} + 0.399Z_{PM_{10}} + 0.444Z_{PM_{2.5}} + 0.410Z_{CO} - 0.321Z_{O_3} \quad (1)$$

$$Z_2 = 0.102Z_{SO_2} + 0.193Z_{NO_2} + 0.503Z_{PM_{10}} + 0.126Z_{PM_{2.5}} - 0.348Z_{CO} + 0.750Z_{O_3} \quad (2)$$

从第一主成分的特征向量构成来看,PM_{2.5}的绝对值最大,说明其起主导作用,是影响空气质量的主要因子。

2.3 空气质量指数与主要污染物指数的关系 空气质量指数是定量描述空气质量状况的无量纲指数,当空气质量指数>50时对应的污染物即为首要污染物。该研究主要分析了2014和2015年SO₂、NO₂、PM_{2.5}、PM₁₀与空气质量指数的拟合关系^[12],结果见图1、2。

大气环境质量指标与空气质量指数间的相关关系分析

表明:SO₂、NO₂、PM₁₀、PM_{2.5}日均浓度与空气质量指数的相关系数R²(2014年分别为0.360、0.337、0.697、0.966;2015年分别为0.318、0.385、0.687、0.880)中,PM_{2.5}与空气质量指数的相关系数最大,其次是PM₁₀。说明PM_{2.5}对空气质量指数的贡献最大,空气质量指数>50时对应的污染物为PM_{2.5},其天数最多,因此今后需采取控制以PM_{2.5}为主的大气污染防治措施。

2.4 主要污染物的季节变化 随着城市化进程的加快,我国空气污染物的状况和性质发生了显著变化,传统污染物SO₂和总悬浮颗粒物得到一定控制,但颗粒物污染仍然是我国很多城市的首要空气污染物^[13]。对PM_{2.5}、PM₁₀的日平均浓度值进行进一步分析,结果见表5。由表5可知,武汉市大气PM_{2.5}、PM₁₀浓度呈显著的季节变化规律,表现为冬季>春季>秋季>夏季,冬季明显大于夏季,春、秋季节相差不明显。这主要是由于武汉地处平原、山地交叉带,冬季大气活动减弱,大气扩散条件不佳,容易造成当地污染累积;冬季受偏北风的影响将北方污染物输入武汉;而夏季由于受降水等影响,PM_{2.5}、PM₁₀浓度相对较低^[14-16]。

表5 2014~2015年武汉市大气PM_{2.5}、PM₁₀日平均浓度值

Table 5 The daily average concentration of PM_{2.5} and PM₁₀ in Wuhan City form 2014 to 2015

年份 Year	PM _{2.5}				PM ₁₀			
	春季	夏季	秋季	冬季	春季	夏季	秋季	冬季
	Spring	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer	Autumn	Winter
2014	75.7	58.3	73.0	135.7	118.3	93.3	104.7	120.7
2015	65.7	39.3	58.7	116.3	112.0	77.0	95.7	135.0

注:春季为3~5月,夏季为6~8月,秋季为9~11月,冬季为12月~翌年2月。

Note: Spring was from March to May; summer was from June to August; Autumn was from September to October; and winter was from December to February of the next year.

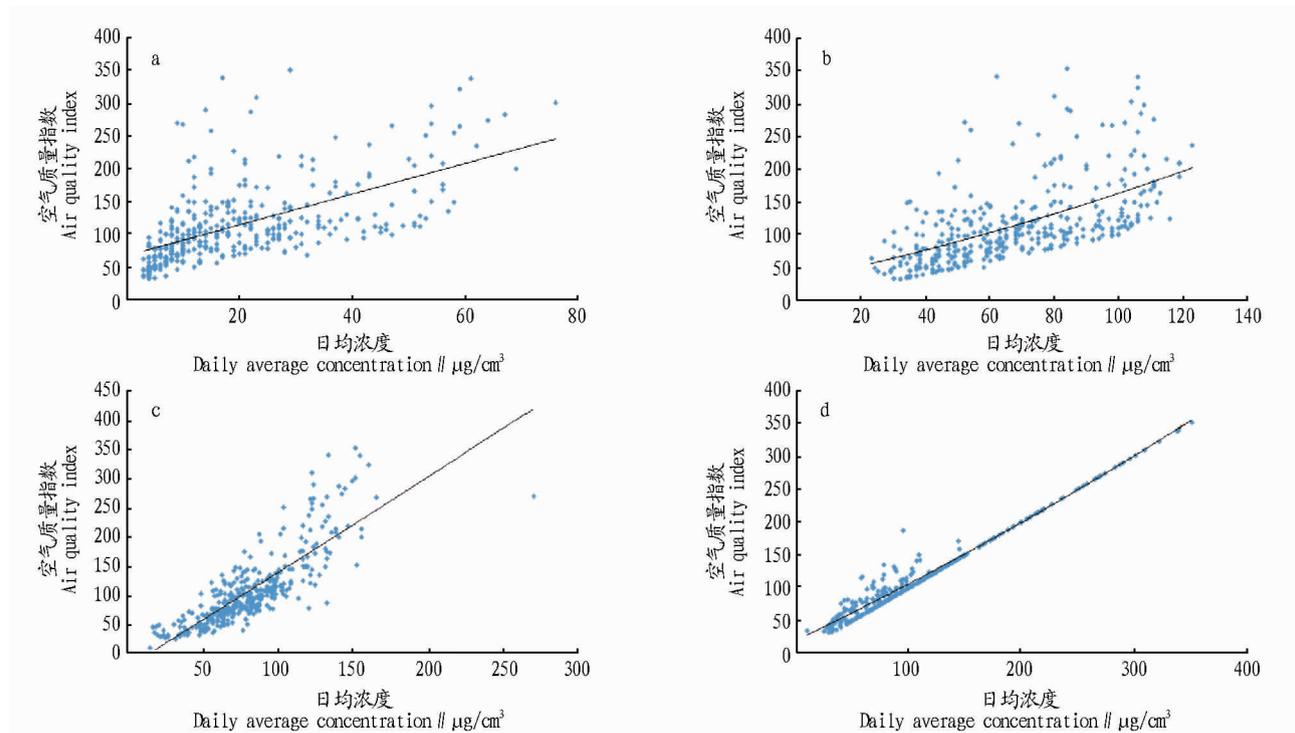
3 结论

(1)武汉市大气污染物的超标率呈逐年递减状态,说明武汉市在全国生态文明建设的大背景下,其在机动车尾气治理与城市扬尘控制、农村综合整治与城区空气质量预警及大气污染治理方面已取得了一定成效。

(2)通过对主要污染物指数与空气质量指数进行相关性分析及运用主成分分析法对污染物浓度进行分析,得出PM_{2.5}对空气质量指数的贡献率最大,其次是PM₁₀,所以PM_{2.5}为首要污染物。PM_{2.5}、PM₁₀日均浓度值均呈现有规律的时空分布,冬季最高且远远高于春、夏、秋季,春、秋季相差不大,夏季最低。针对这一情况应积极启动冬季污染天气“削峰”工作,降低污染物浓度^[17]。

(3)PM_{2.5}是构成雾霾的主要成分,也是空气复合污染的关键污染物,其污染状况、化学特征、形成机制及来源值得我们今后继续研究。面对当前严峻的大气污染形势应积极采取有效措施,坚持走低碳、环保、绿色发展之路,树立生态文明发展理念,攻坚克难以减霾、治霾^[18-19]。如严格控制煤炭消费总量,城市扬尘污染,加强社会生活及农业污染防治,强

化机动车污染防治,严格控制机动车保有量等,以实现经济 社会和生态环境的可持续协调发展。

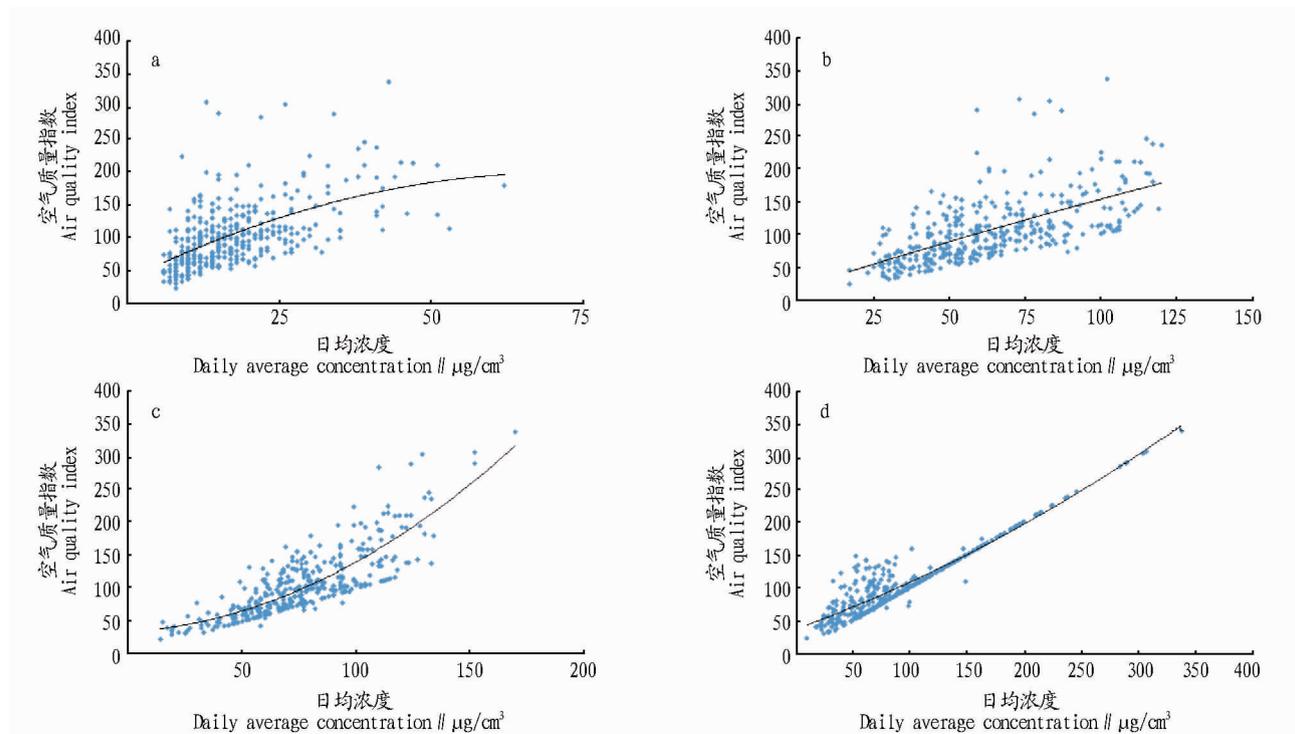


注:a、b、c、d 分别为 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 与空气质量指数拟合关系。

Note: a, b, c and d were the fitting correlation between air quality index and SO_2 , NO_2 , PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$, respectively.

图1 2014年空气质量指数与主要污染物指数的拟合曲线

Fig. 1 Fitting curve between air quality index and the main pollutant indexes in 2014



注:a、b、c、d 分别为 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 与空气质量指数拟合关系。

Note: a, b, c and d were the fitting correlation between air quality index and SO_2 , NO_2 , PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$, respectively.

图2 2015年空气质量指数与主要污染物指数的拟合曲线

Fig. 2 Fitting curve between air quality index and the main pollutant indexes in 2015

参考文献

- [1] 吕效普,成海容,王祖武,等. 中国大范围雾霾期间大气污染特征分析[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版),2013,28(3):104-110.
- [2] 马彬,陈志诚,梁鸿,等. 深圳市几种空气污染物浓度日变化特征分析[J]. 中国环境监测,2004,20(5):47-53.
- [3] INGLE S T, MAHALE N K, MAHARASHTRA Y J, et al. Identification of hot spot and safe zones of ambient air quality in North Maharashtra region, India[J]. Local environment, 2015, 20(11):1340-1362.
- [4] LIU L L, LIU D J. Study on an air quality evaluation model for Beijing City under haze-pog pollution based on new ambient air quality standards[J]. International journal of environmental research and public health, 2014, 11(9):8909-8923.
- [5] 何飞,袁业物. 武汉灰霾天气气候特征及成因讨论[J]. 绿色科技, 2015, 1(1):11-14.
- [6] 湖北省环保厅. 湖北省空气质量月报[R]. 武汉:湖北省环保厅, 2014.
- [7] 湖北省环保厅. 湖北省空气质量月报[R]. 武汉:湖北省环保厅, 2015.
- [8] 湖北省环保厅. 湖北省空气质量月报[R]. 武汉:湖北省环保厅, 2016.
- [9] 郑成德,尹德松. 主成分分析法在城市大气环境质量评价中的应用[J]. 大连铁道学院学报, 2002, 23(3):39-41.
- [10] 黄玉平,张庆国,汪水兵,等. 主成分分析在大气质量监测优化布点中的应用[J]. 安徽农业大学学报, 2011, 38(6):966-969.
- [11] 卜鹏,吕惠进,黄秋香,等. 基于主成分分析法的南通市区大气环境质量评价[J]. 科技通报, 2016, 32(2):214-217.
- [12] 刘宁微,马雁军,王扬锋,等. 丹东市大气颗粒物质量浓度变化特征及其与能见度的关系[J]. 环境科学研究, 2010, 23(5):642-646.
- [13] 刘奕尧,邢梦林,王维思,等. 2014年郑州市一次灰霾天气下空气污染特征分析[J]. 安徽农业科学, 2015(32):119-121.
- [14] 岳辉. 武汉市大气PM₁₀浓度空间分布特征及其影响因素研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2012.
- [15] 马雁军,左洪超,张云海,等. 辽宁中部城市群大气能见度变化趋势及影响因子分析[J]. 高原气象, 2005, 24(4):623-628.
- [16] PRUSTY B A K. Ambient air quality surveillance and indexing in and around mining clusters in Western Kachchh Region, Gujarat, India[J]. Open journal of air pollution, 2012, 1(2):22-30.
- [17] 张丽亚,彭文英. 首都圈雾霾天气成因及对策探讨[J]. 生态经济, 2014, 30(9):172-176.
- [18] 高健,王淑兰,柴发合. 我国大气灰霾污染特征及污染控制建议[J]. 环境与可持续发展, 2013(4):14-16.
- [19] GOUR A, SINGH S K, TYAGI S, et al. Variation in parameters of ambient air quality in national capital territory (NCT) of Delhi (India) [J]. Atmospheric and climate sciences, 2015, 5(1):13-22.

(上接第15页)

6 结论

笔者根据2013年11月(秋)和2014年2月(冬)、5月(春)、8月(夏)4个季节在南麂列岛海洋自然保护区潮间带调查所获得的大型底栖藻类数据,结合ArcGIS软件对南麂列岛海洋自然保护区潮间带大型底栖藻类的种类组成、数量分布、优势种以及多样性进行了研究,得出以下结论:

(1)生物量总体上呈现出南麂列岛自然保护区东部藻类生物量>西部藻类生物量>中部生物量的趋势,各季节平均生物量从高到低依次为春季、冬季、秋季、夏季。

(2)Shannon-Winner指数(H')春季最高,冬季次之,夏季略低于冬季,秋季最低;Margalef丰富度指数(D)的季节变化与Shannon-Winner指数(H')相同;各季节Pielou均匀度指数(J')从大到小依次为春季、夏季、冬季、秋季。

(3)调查断面与南麂岛之间的距离和调查断面春季生物量之间存在弱相关关系,与生物多样性指数之间不存在相关关系。

(4)除在10°~20°坡度范围内调查断面的生物量异常外,生物量随着坡度的增加而减少,并且藻类的群落结构随着坡度的改变而发生变化;就全年潮间带大型底栖藻类生物

量而言,阴坡坡向藻类生物量>阳坡坡向藻类生物量>半阳坡坡向藻类生物量>半阴坡坡向藻类生物量,并且不同坡向的大型底栖藻类生物量随季节的变化程度存在明显差异。

参考文献

- [1] 马克平. 生物群落多样性的测度方法I α 多样性的测度方法(上)[J]. 生物多样性, 1994, 2(3):162-168.
- [2] 马克平,刘玉明. 生物群落多样性的测度方法I α 多样性的测度方法(下)[J]. 生物多样性, 1994, 2(4):131-139.
- [3] 沈国英,施并章. 海洋生态学[M]. 北京:科学出版社, 2006:162.
- [4] PIELOU E C. Mathematical ecology[M]. New York:Wiley, 1977.
- [5] MARGALEF D R. Information theory in ecology [J]. General system, 1957, 3:36-71.
- [6] 孙逸敏. 利用SPSS软件分析变量间的相关性[J]. 新疆教育学院学报, 2007, 23(2):120-123.
- [7] 张旭,国庆喜. 地形对天然次生林空间格局的影响[J]. 东北林业大学学报, 2007, 35(1):68-75.
- [8] 马旭东,张苏峻,苏志尧,等. 车八岭山地常绿阔叶林群落结构特征与微地形条件的关系[J]. 生态学报, 2010, 30(19):5151-5160.
- [9] 马建梅,刘金福,郑世群. 戴云山自然保护区不同地形植物群落的物种 α 多样性研究[J]. 武夷科学, 2013, 29(00):49-55.
- [10] 侯兆疆,赵成章,李钰,等. 高寒退化草地狼毒种群地上生物量空间格局对地形的响应[J]. 生态学杂志, 2013, 32(2):253-258.
- [11] 刘海丰,薛达元,桑卫国. 地形因子对暖温带森林群落物种丰富度-地上生物量关系的影响[J]. 生态环境学报, 2012, 21(8):1403-1407.
- [12] 方楷,宋乃平,魏乐,等. 荒漠草原不同地形条件下土壤水分和地上生物量的时空分异[J]. 干旱区研究, 2012, 29(4):641-647.
- [13] 栾忠平,吴湘菊. 森林在不同坡度上分布特征的研究[J]. 吉林林业科技, 2012, 41(1):23-26.
- [14] 刘金根,薛建辉. 坡度对香根草护坡植物群落早期特征的影响[J]. 草原与草坪, 2010, 30(2):56-61.