

The Temporal and Spatial Distribution of Dust Weather on the Mongolian Plateau

Cheliger Qi¹, Mei Yong^{1,*}, Shan Yin¹, Yulong Bao¹, Bilige²

¹College of Geographical Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China

² Inner Mongolia Institute of Meteorology, Hohhot, China

蒙古高原沙尘天气时空分布特征研究

齐澈力格¹, 咏梅^{1,*}, 银山¹, 包玉龙¹, 毕力格²

¹内蒙古师范大学地理科学学院, 内蒙古, 呼和浩特 010020, 中国

²内蒙古自治区气象科学研究所, 内蒙古, 呼和浩特 010051, 中国

Abstract

Dust weather refers to strong winds that blow a lot of dust and sand during dust weather, which make visibility extremely reduced, and it represents the main meteorological disaster type in arid and semi-arid areas. It is of great significance to study the movement paths and the intensity changes of the cross-border dust storms in Mongolia and China for the prevention and mitigation of the dust storms in these two countries. This study selects 146 ground observation stations on the Mongolian Plateau and analyzes the temporal and spatial distribution of the sand-dust weather features (dust storm, blowing dust, and floating dust) in this region. The results show that: (1) High frequency of the blowing dust occurs in arid areas such as Alashan, central and western Inner Mongolia, and a high frequency of the dust storms is found in Mongolia, with the highest values observed in the Gobi Desert in the southern part of this country. (2) The sand and dust weather in Inner Mongolia and Mongolia is mainly concentrated in the months of March, April, and May, with the dust weather days in Inner Mongolia and Mongolia accounting for

28% and 24% of the total days in April, respectively. (3) In general, the dust storms in Mongolia show an increasing trend. In particular, the days of dust weather recorded by the three stations of Baitag, Hovd, and Uliastai have the fastest growth rate, which increases at the rate of 1.62 d/a, 2.59 d/a, and 4.01 d/a annually. On the other hand, the dust storms in the Inner Mongolia region of China show a decreasing trend, with the dust weather days recorded by the three stations of Usti, Yabulai, and Suijing Beach having the fastest reduction rate, decreasing by 7.08 d/a, 5.22 d/a, and 3.07 d/a annually. At the same time, the number of dust weather days in the Horqin area of the Inner Mongolia region shows an increasing trend.

Keywords: Mongolian Plateau; sand-dust weather; temporal and spatial distribution

摘要

沙尘天气是蒙古高原重要的气象灾害。研究蒙古高原沙尘天气时空分布特征对两国沙尘天气防灾、抗灾、减灾有重要的意义。为了得到蒙古高原沙尘天气分布总体认识,以蒙古高原为研究区,采用 1999–2015 年蒙

*通讯作者: yongmei2012@imnu.edu.cn

古高原 146 个站点资料对中蒙两国沙尘天气（沙尘暴、扬沙、浮尘）进行了逐站逐日统计分析。结果表明：（1）扬沙天气发生频率壁沙漠区出现最高值。（2）内蒙古和蒙古国沙尘天气主要集中在 3-5 月，其中 4 月内蒙古和蒙古国沙尘天气发生日数分别占总数的 28%和 24%。4 月气温上升快、降水少、植被覆盖率低。（3）总体上蒙古国沙尘天气有增加趋势，BAITAG、HOVD 和 ULIATAI 三个站点沙尘天气发生日数增长速度最快，每年以 1.62 d/a, 2.59 d/a, 4.01 d/a 的速度增长。内蒙古沙尘天气有减少趋势，乌斯太、雅布来和李井滩三个站点沙尘天气发生日数减少速度最快，以 7.08 d/a, 5.22 d/a, 3.07 d/a 的速度减少。内蒙古科尔沁沙地区域沙尘天气发生日数有增长趋势。

关键词：内蒙古；蒙古国；沙尘天气；时空分布

1. 引言

沙尘天气是指强风吹起大量沙尘使能见度极度减少的风沙灾害性天气，是干旱、半干旱地区的主要气象灾害。沙尘天气通过沙埋、风蚀、沙割、狂风袭击、降温霜冻和污染环境等作用方式，沙埋基础设施、破坏电信设备、通过降低能见度造成交通事故^[1]。并且沙尘颗粒物在形成和长途传输过程中，发生了大量的化学和生物学污染，携带多种过敏原，引起呼吸道的疾病，对人类健康带来危害^[2,3,4]。沙尘下落形成的大气降尘也是中国很多城市发生雾霾的主要元凶^[5]。

全球共有四大沙尘天气高发区：中亚、北美、中非和澳大利亚^[6]。我国沙尘天气发生区是中亚沙尘暴区的一部分^[7]。我国沙尘天气易发区面积非常广泛，主要分布在西北地区、华北地区，以及北方地区等干旱、半干旱地区，甚至南方地区也会受到沙尘气溶胶的影响。我国受沙尘暴影响较严重区域总面积 624 万 km²，占我国国土面积的 65%^[8]。内蒙古中西部是我国沙尘天气重灾区，与其接壤的蒙古国是我国沙尘天气的重要来源地，我国沙尘天气的 70%来源于蒙古国^[9]。沙尘暴是中蒙两国共同遭受的严重的自然灾害之一。

在内蒙古中西部阿拉善等干旱区出现最高值，沙尘暴天气发生频率在蒙古国南部的戈壁

蒙古国南部沙漠、戈壁广泛分布，生态环境脆弱，植被覆盖率低，地表土质疏松。该区常常发生气象灾害，尤其沙尘天气肆虐。蒙古国常年受蒙古高压、蒙古气旋的控制，处于我国上风地区，发生的自然灾害直接影响我国。例如，在 2017 年 5 月 3 日，从蒙古国一直延伸到我国内蒙古出现大风沙尘天气，沙尘从蒙古国传输到我国，传输过程中我国一部分沙源地又成为加强源地，裸露的地表贡献出一部分沙尘源，使沙尘暴强度更加加强，我国遭遇强沙尘暴天气，覆盖范围包括我国西北、华北的 10 余省（区、市），到 5 日甚至影响到南京、上海、武汉等南方省市，沙尘暴范围广，强度大。据报道，我国每年因沙尘暴天气灾害造成的经济损失达 540 亿^[10]。尤其每年春季，我国北方地区，特别是西北、华北地区严重遭受沙尘天气，由于西北地区，华北地区引发的沙尘天气对首都及周边地区造成直接危害，甚至传输到日本、韩国等东亚地区^[11,12,13]。研究蒙古高原沙尘天气时空分布特征对两国沙尘天气防灾、抗灾、减灾有重要的意义。

2. 研究区概况

蒙古高原泛指亚洲东北部高原地区，经纬度位置 87° 40' ~ 122° 15' E, 37° 46' ~ 53° 08' ^[14]。东起大兴安岭、西至阿尔泰山，北界为萨彦岭、雅布洛诺夫山脉，南界为阴山山脉，范围包括蒙古国全部和中国华北北部以及西伯利亚南部^[15]。由于没有获取到整个蒙古高原的沙尘天气观测数据，本研究所涉及的范围仅限于蒙古共和国与内蒙古自治区。研究区包括内蒙古自治区 12 个盟市及蒙古国 20 个省，如图 1 所示。内蒙古自治区位于中国北部，东西距离长，跨经度 126° 04' E~97° 12' E，跨纬度 37° 24' N~53° 23' N，内蒙古自治区占地面积 118.3 万 km²，占全国国土面积 12.3%，居全国第三位^[16]。内蒙古境线长 4221km，是京津地区上风地区。从北额尔古纳河至向南甘肃省北部边缘，有东北向西南延伸，呈狭长形^[17]。内蒙古东西直线距离为 2400km，南北直线距离为

1700km。蒙古国跨经度 $119^{\circ}56'E \sim 87^{\circ}41'E$ ，纬度 $41^{\circ}35'N \sim 51^{\circ}09'N$ ，占地面积 156.365 万 km^2 ^[17]。蒙古国位于俄罗斯与中国之间，是仅次于哈萨克斯坦的第二大内陆国。北部与俄罗斯西伯利亚地区接壤，东、南、西三面与中国接壤。西起蒙古阿尔泰山脉至东部大兴安岭东西跨越 2400km，北起大索亚山至南部戈壁的欧博阁噶顺山止南北跨越 1260km^[18]。

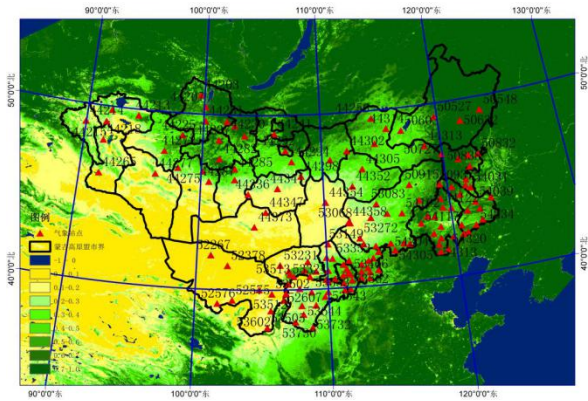


图 1 研究区与气象站点示意图

3. 数据与方法

本文所用的数据资料是由内蒙古气象局提供的内蒙古 12 个盟市 106 个地面观测站 1999-2015 年沙尘天气（沙尘暴、扬沙、浮尘）观测数据和蒙古国 20 个省市 40 个地面观测站沙尘天气（沙尘暴、扬沙、浮尘）观测数据。本研究逐站统计分析沙尘天气日数的月变化、季节变化和年际变化的时间变化规律。并对比分析了内蒙古与蒙古国沙尘天气（沙尘暴、扬沙、浮尘）分布特征及年变化趋势。将内蒙古境内及蒙古国境内所有站点进行逐站一元线性趋势分析，再进行 GIS 空间分析，得出蒙古高原沙尘天气年际变化趋势图。

4. 结果分析

4.1 空间分布特征

图 2 为研究区各站点的沙尘天气、沙尘暴、扬沙、浮尘年均发生日数的空间分布图。由图 a 可见，蒙古国沙尘天气多集中在西南部及南部的戈壁沙漠地区，西北部是沙尘天气次高发区。内蒙古 TSOGT-0V00、DALANZADGAD 等戈壁沙漠为中心的蒙古国西南部干旱地区，分别年均沙尘天气发生日为

55 天和 54 天。内蒙古西部的阿拉善乌斯太为中心的地区是沙尘天气高度集中区，年均沙尘天气发生日为 54 天。吉兰泰、雅布赖、拐子湖为中心的广大的西部地区是沙尘天气次高发区，年均沙尘天气发生日均为 40

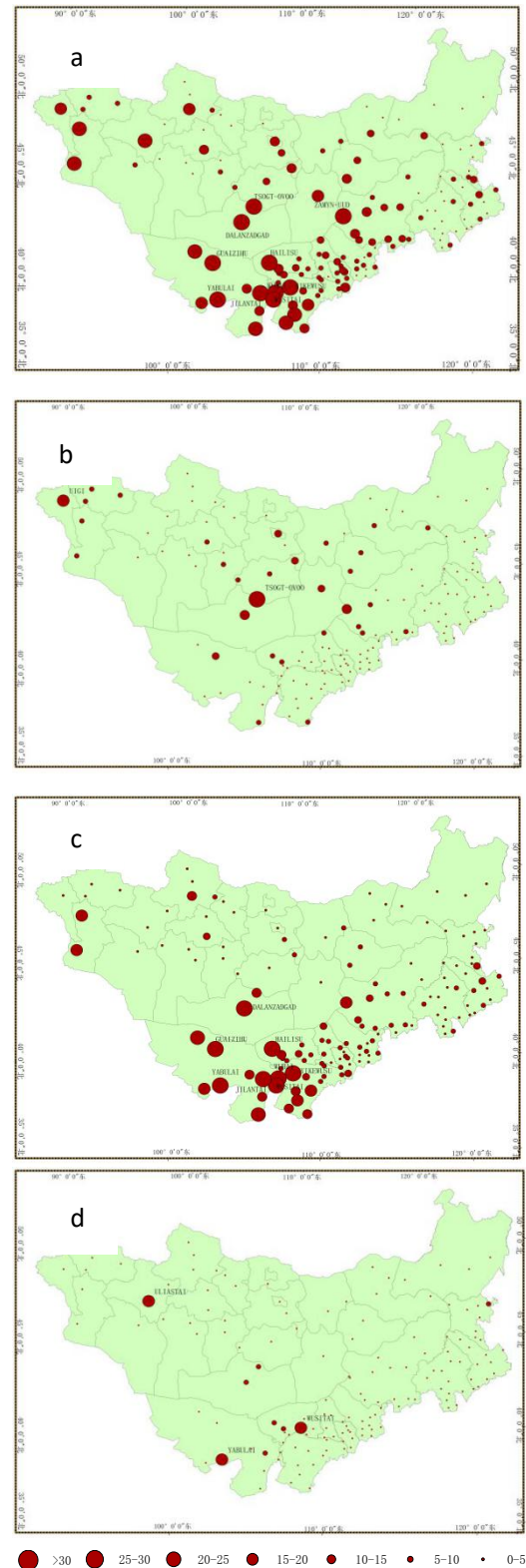


图 2. 研究区各站点沙尘天气年均发生日数空间

分布图; a 为总的沙尘天气年均发生日数空间分布图, b 为沙尘暴年均发生日数空间分布图, c 为扬沙年均发生日数空间分布图, d 为浮尘年均发生日数空间分布图

天以上。由图 b 可见, 沙尘暴频发中心在蒙古国中南部地区和西北部地区, 蒙古国的 TSOGT-OV00、UIGI、DALANZADGAD、ZAMYN-UUD、SAINSHAND、ULAAN-BAATOR、CHOIR 等观测站 17 年间年均沙尘暴的发生频率大于 10 天, 尤其 TSOGT-OV00 年均每年沙尘暴的发生频率为 37 天, UIGI 为 21 天。相比而言, 内蒙古的沙尘暴发生范围比较少, 最多的拐子湖年均发生沙尘暴频数为 13 天。由图 c 可见, 扬沙天气年均发生日数极值出现内蒙古西部, 次极值出现在蒙古国西北部区域。从扬沙日数的空间分布图上看, 以西部的吉兰泰、拐子湖、乌斯太为中心的大片区域是内蒙古扬沙的频发区域, 扬沙年平均发生均在 40 天以上, 次频发中心在阿拉善盟的其余地区、以及鄂尔多斯市、巴彦淖尔市、锡林郭勒盟等大片地区, 年平均发生频数在 5-15 日。蒙古国扬沙天气多分布在西南部和西北部地区, DALANZADGAD 是蒙古国扬沙的频发区域, 扬沙年平均发生均在 35 天以上, HOVD、ZAMYN-UUD 是次频发中心, 扬沙年平均发生日为 23 天和 21 天。由图 d 可见, 内蒙古与蒙古国浮尘发生日比扬沙和沙尘暴发生日的范围少, 广大地区浮尘年均发生日小于 5 天。浮尘的多发中心在内蒙古地区集中在阿拉善盟的乌斯太和雅布赖, 在乌斯太和雅布赖 1999-2015 年 17 年共发生浮尘天气为 382 天和 348 天, 年平均发生日分别是 23 天和 21 天; 蒙古国浮尘的多发区在西北部扎布汗省的站点 ULIATAI 和西南部的 DALANZADGAD, 在 1999-2015 年 17 年共发生浮尘天气日数分别为 365 天和 123 天, 年平均发生日是 22 天和 7 天。内蒙古浮尘多发区位于内蒙古西部巴丹吉林沙漠腹地和腾格里沙漠地区, 而在蒙古国多发生在四周被群山包围的河谷地带以及中南部的戈壁、沙漠地区。

由这四幅图可见, 内蒙古和蒙古国浮尘天气范围、出现频率都较扬沙和沙尘暴天气少, 在内蒙古和蒙古国都是零星小范围分布;

扬沙天气在内蒙古中西部出现最高值, 沙尘暴天气在蒙古国中南部出现最高值。即就强度而言, 蒙古国的沙尘天气强度比内蒙古的沙尘天气强度大。无论在内蒙古还是蒙古国, 沙尘天气均多集中在边境地区, 位于中蒙边界的阿尔泰山脉和杭爱山脉呈西北-东南走向, 西北方向和西方向寒冷气流沿着山脉间的山谷地带直赴蒙古国南部戈壁和内蒙古西部地区, 强风为沙尘暴提供动力源。加之, 沙漠、沙地及周边大面积的荒漠和戈壁, 为沙尘天气提供了丰富的物质条件, 降水量少且气温高, 植被覆盖度小, 土壤肥力低, 植被生长条件苛刻, 下垫面条件极为恶劣, 沙漠和荒漠地带补充充足的沙尘源。造成蒙古国南部和内蒙古西部地区对下游地区构成沙尘暴威胁的主要风沙源地。

4.2 时间分布特征

4.2.1 月变化

蒙古国和内蒙古沙尘天气、沙尘暴、扬沙、浮尘发生日数按月计的结果, 得出图 3 (a, b), 从图中的得知两地沙尘天气均主要集中在 3-5 月, 其次是 6 月, 内蒙古和蒙古国 4 月份的沙尘天气分别占总数的 28%和 24%。2、3 月份内蒙古的平均沙尘天气发生日数多于蒙古国, 4 月两地区的平均沙尘天气发生日数相对持平, 而 5-11 月蒙古国多于内蒙古, 内蒙古的沙尘天气更多的集中在气温上升快, 降水量少, 风速大的 2、3、4 月份, 而蒙古国的沙尘天气后半年较内蒙古多。1-4 月份蒙古国的浮尘天气发生日数比内蒙古的少两倍多, 5-9 月份内蒙古的浮尘天气发生日数少于蒙古国的浮尘天气发生日数约两倍。由于纬度位置不同, 开春时间不同, 土壤冻结情况不同, 3 月内蒙古发生沙尘天气日数远多于蒙古国发生的沙尘天气日数。内蒙古年平均发生扬沙日数为 9.6 天, 蒙古国年平均发生扬沙日数为 5.6 天, 除了 9、10 月, 其他月份内蒙古的扬沙天气日数均比蒙古国多。1-12 月, 蒙古国的沙尘暴天气发生日数均比内蒙古发生日数多, 在 1999-2015 年 17 年蒙古国年平均出现沙尘暴日数 7 天, 内蒙古年平均出现沙尘暴日数 2.3 天, 蒙古国沙尘天气的强度更强。

4.2.2 季节变化

将蒙古国境内 40 个站点和内蒙古 106 个站点 1999–2015 年沙尘天气日数按季节统计可以得出 (图 4), 蒙古国和内蒙古沙尘

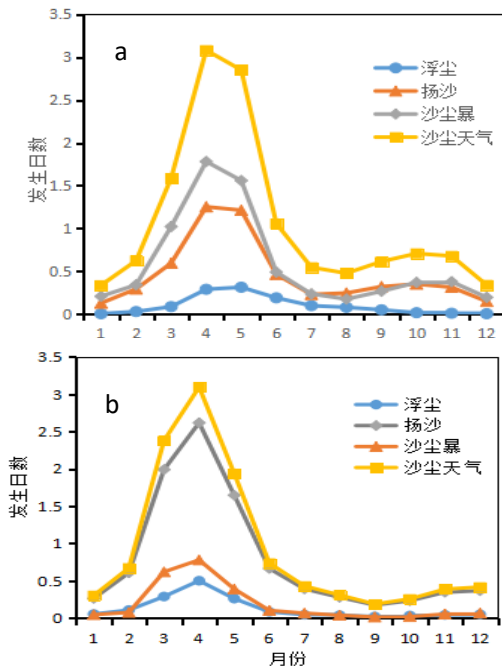


图 3. 沙尘天气平均发生日数月变化 (a. 蒙古国; b. 内蒙古)

天气 (浮尘、扬沙、沙尘暴) 均主要出现在春季 (3–5 月), 春季沙尘天气 (浮尘、扬沙、沙尘暴) 发生的次数明显比其他季节要高很多。在蒙古国 58% 的沙尘天气发生在春季。三类沙尘天气春季占的比例都比蒙古国多, 造成这一现象的原因可能是春季风力比较强劲, 内蒙古春季农业耕作活动比较多, 导致地表土层疏松。三类沙尘天气夏、秋季占的比例内蒙古都比蒙古国少, 这可能于 19 世纪末的内蒙古的三北防护林、还林还草政策、植被覆盖度的提高有关。

4.2.3 年际变化

由图 5 知, 沙尘天气年发生率蒙古国大部分站点呈现增长趋势, 内蒙古普遍有下降趋势。在 1999–2015 年间, 106 个站点中只有 12 个站点呈增长趋势, 科尔沁沙地地区有明显增长趋势。蒙古国 40 个观测站点中 30 个站点均呈沙尘天气发生频率增长趋势, 尤其位于蒙古国西北部的 BAITAG、HOVD、

ULIASTAI 三个站点的增长速度最快, 由一元线性趋势可以看出, 17a 沙尘天气发生日数分别以 1.62d/a, 2.59d/a, 4.01d/a 的速度增长。

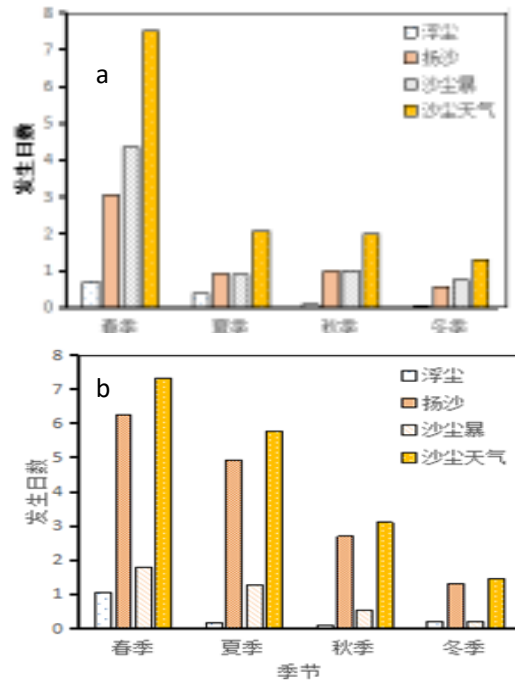


图 4. 沙尘天气平均发生日数季节变化 (a. 蒙古国; b. 内蒙古)

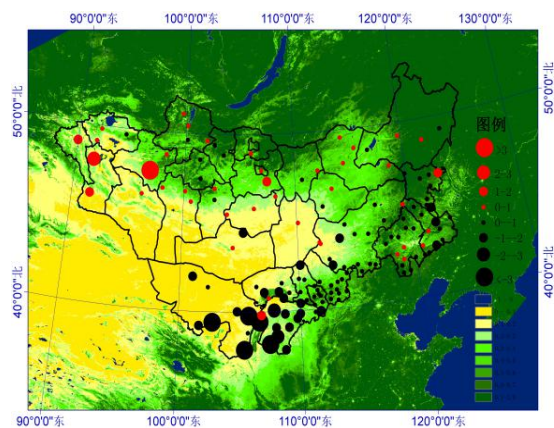


图 5. 研究区发生沙尘天气日数年际变化趋势

在过去 1999–2015 年 17 年间, 内蒙古沙尘天气 (浮尘、扬沙、沙尘暴) 发生的日数普遍呈波动中下降趋势, 但 2006、2004、2010 年沙尘天气发生日数明显增加, 2001 年为内蒙古沙尘天气频发年, 2013 年为沙尘天气发生低发年。2001 年是浮尘、扬沙、沙尘暴均最多年份, 2013 年和 2014 年是浮尘、扬沙、沙尘暴均最少年份。内蒙古地区强度和

频数都有下降趋势。。

5. 结论与讨论

5.1 结论

(1)经蒙古高原 146 个气象站点 1999–2015 年数据的分析,蒙古高原浮尘天气发生范围、年均发生日数比扬沙和沙尘暴天气少,浮尘在蒙古高原零星小范围分布;扬沙天气年平均发生日数在内蒙古中西部的阿拉善等干旱沙漠区出现最高值;沙尘暴天气年平均发生日数在蒙古国南部的戈壁沙漠地区出现最高值。

(2)经统计分析,蒙古高原沙尘天气主要集中在 3–5 月,其次是 6 月,其中 4 月沙尘天气发生日数最多,内蒙古和蒙古国 4 月发生沙尘天气发生日数分别占全年发生日数的 28%和 24%。

(3)蒙古国 40 个观测站点中 30 个站点沙尘天气发生日数年际变化呈增长趋势,位于蒙古国西北部的 BAITAG、HOVD 和 ULIATAI 三个站点增长速度最快,沙尘天气年发生日数分别以 1.62 d/a, 2.59 d/a, 4.01 d/a 的速度增长。内蒙古沙尘天气发生日数年际变化普遍有下降趋势,位于乌斯太、雅布赖和李井滩三个站点年发生日数减少速度最快,沙尘天气发生日数分别以 7.08 d/a, 5.22 d/a, 3.07 d/a 的速度减少。内蒙古 106 个站点中 12 个站点呈增长趋势,科尔沁沙地年发生日数有明显增长趋势。

5.2 讨论

(1)沙尘天气的发生与下垫面、气象要素有必然有关。但本文并没有分析地形、植被覆盖度、风速、降水量、气温等影响因素。以后将进一步研究蒙古高原沙尘天气与其影响因素之间的关系,探讨沙尘天气发生的原因以及影响因素。

(2)由于纬度位置不同,开春时间不同,土壤冻结情况不同,3 月内蒙古发生沙尘天气日数远多于蒙古国发生的沙尘天气日数。在 1999–2015 年间,内蒙古广大地区沙尘天气发生日数年变化呈现出逐年递减的趋势,但科尔沁沙地沙尘天气发生日数年变化却呈现增加的趋势。这可能与科尔沁沙地过度

开垦、春季地表土质疏松,植被覆盖率低,年平均气温逐渐增高、年平均降水量逐年减少有极大的关系。尤其近几年,科尔沁沙地连年干旱,植被覆盖率低,成为沙尘暴沙源地。并且科尔沁沙地绝大多数为当地起沙。

致谢

本研究得到了国家自然科学基金重点项目(61631011)、地区基金(41561009)项目的资助。

参考文献

- [1] 岳高伟, 蔺海晓, 常旭, *沙尘暴科学问题研究*, 郑州出版社, 郑州, 2009.
- [2] 陈晓燕, 牛静萍, 丁国武, 王燕侠, 孟紫强, 耿红. 沙尘暴对呼吸系统疾病的影响, *环境与健康杂志*, 24(2):63-65, 2007.
- [3] 孟紫强, *环境毒理学*, 高等教育出版社, 北京, 2010.
- [4] 彭瑞玲, 潘小川, 张翼翔, 王素华, 吴延花. 包头市沙尘暴与人群急性健康效应关系的初步研究, *环境与健康杂志*, 22(4):249-251, 2005.
- [5] 张迪, 李青山, 吕文峰. 雾霾天气现状与分析. *Advances in Environmental Protection*, 03:25-28, 2013.
- [6] 傅仲君, 聚焦沙尘暴, *质量指南*, (11):8-9, 2002.
- [7] 方宗义, *中国沙尘暴研究*, 气象出版社, 北京, 1997.
- [8] 潘耀忠, 范一大, 史培军, 顾晓鹤. 近 50 年来中国沙尘暴空间分异格局及季相分布的初步研究, *自然灾害学报*, 12(1):1-8, 2003.
- [9] 高涛, 内蒙古沙尘暴的调查事实、气候预测因子分析和春季沙尘暴预测研究, *内蒙古气象*, 2:3-11, 2008.
- [10] 胡培兴, 京津风沙源成因分析与防治对策研究, *南京林业大学*, 2007.
- [11] 甲斐憲次, 高杉年且, 中村一. タクラカン沙漠を起源とする黄砂の長距離輸送について, *沙漠研究*, 7(2):107–117, 1997.
- [12] Kim. J Y, Transport routes and source regions of Asian dust observed in Korea

- during the past 40 years (1965 – 2004),
Atmospheric Environment, 42(19): 4778-4789, 2008.
- [13] Hayakawa K, Iwasaka Y, Sato T. Environmental issues from KOSA and combustion dust in East Asia, *Environmental Science*, 34(3):17-28, 2005.
- [14] 刘钟龄, 蒙古高原景观生态区域的分析, *干旱区资源与环境*, 7(3,4):256-261, 1993.
- [15] 周锡饮, 师华定, 王秀茹, 孟凡浩. 蒙古高原近 30 年来土地利用变化时空特征与动因分析, *浙江农业学报*, 24(6): 1102- 1110, 2012.
- [16] 段景春, 内蒙古土地资源的开发利用, *赤峰学院学报(自然科学版)*, (3):37-40, 2000.
- [17] 蒙古国国家统计局, *蒙古国统计年鉴 (2001-2013 年)*, 乌兰巴托, 2014.
- [18] 李鑫, 内蒙古环境灾害综合研究, 辽宁师范大学, 2014.