

文章编号:1000-694X(2008)01-0149-05

黄土高原地区沙尘暴高发带的跃变现象

许炯心

(中国科学院地理科学与资源研究所/中国科学院陆地水循环及地表过程重点实验室,北京100101)

摘要:对黄土高原地区沙尘暴日数与年降水量关系的分析表明,在黄土高原地区存在着一个原生沙尘暴带和一个次生沙尘暴带,后者是人类破坏植被、改变土地覆盖状况的结果。发现原生沙尘暴带与次生沙尘暴带之间存在着跃变现象,这一现象发生在年降水量为300 mm左右的地区。这表明,对于沙尘暴带的演化而言,年降水量为300 mm左右的地区是一个超常不稳定带。

关键词:沙尘暴; 跃变; 黄土高原

中图分类号:P445.4 **文献标识码:**A

沙尘暴既是一种灾害性天气现象,又是一种与风力侵蚀和输沙过程有关的动力地貌现象。沙尘暴的发生,既与大风有关,又与下垫面条件有关,后者决定了地面物质对风力作用的抗蚀力和物质供应条件。下垫面的条件受到人类活动的强烈影响,抗蚀力与物质供应条件都会因人类活动作用下土地利用、土地覆被状况的改变而改变,因而沙尘暴的发生频率和空间分布均与人类活动密切相关。对于沙尘暴的成因及其所造成的灾害,国内外已进行了大量研究^[1-6]。人类活动在我国北方干旱、半干旱地区导致了土地沙漠化^[7-10],与沙尘暴之间有密切的关系。

我国北方和西北干旱、半干旱地区,历史上随着人口的增加,农业区不断向北扩张,森林草原和部分草原植被为农耕区所取代;干旱草原地区过度放牧,草场退化,土地发生沙化,使沙漠与黄土的过渡带南移,出现了以毛乌素沙地为代表的大片沙地^[11]。在不合理的人类活动的影响下,沙尘暴多发区的空间分布范围也会发生改变。我们在最近的研究中发现,黄土高原地区沙尘暴高发带存在着跃变现象。

1 研究区概况和资料来源

本文中的黄土高原地区指黄土高原及其北部邻接地区,其北界为阴山南麓^[12]。这一地区位于干旱气候、半干旱气候向半湿润气候的过渡区,由西北向东南,由沙漠逐渐过渡为盖沙黄土、沙黄土、黄土和粘黄土,自然植被类型则由干旱荒漠、干草原逐渐过渡为森林草原和落叶阔叶林。这一地区自然条件的空

间变化梯度大,既包括作为沙尘暴物质源区的沙漠与沙地,也包括在不同程度上受到沙尘暴影响的广大地区,是研究沙尘暴与其影响因素关系的理想地区。

我们以多年平均沙尘暴发生日数作为指标来表达沙尘暴发生的频率。同时,还利用了多年平均降水量的资料,均来自区内各县气象站,以1950—1985年的资料求得其多年平均值^[13]。研究中涉及到黄土高原地区各县的潜在生物量即自然植被初级净生产力(Net Primary Productivity, NPP)资料,采用了朱志辉的方法得到数据^[14]。所用到的人口资料,来自文献[13]。

2 黄土高原地区的原生沙尘暴带、次生沙尘暴带与突变现象

在自然状况下,降水量是制约沙尘暴发生的重要因素。这是由于,年降水量的空间变化导致了植被类型的空间变化,因而决定了地表物质对风力作用的抗蚀力的差异。同时,土壤颗粒之间的薄膜水阻碍着土粒的分离,使得土壤含水量与风力侵蚀速率呈负相关。基于这一考虑,我们在图1a中点绘了年平均降水量与年平均沙尘暴日数之间的关系。应该指出,干旱并多风的气候是沙尘暴形成的必要条件,但并非充分条件。如果地表为基岩,缺乏可蚀性强的河湖相疏松物质,也不会形成沙尘暴的源区。因此,在点绘图1时,处于干旱气候而地表为基岩的地区未包括在内。

尽管点子相当分散,但仍可看出一定的负相关

收稿日期:2006-11-15; 改回日期:2007-02-12

基金项目:中国科学院地理科学与资源研究所知识创新工程领域前沿项目(CXIG-A04-08);国家自然科学基金资助项目(40671019)共同资助

作者简介:许炯心(1948—),男,四川绵阳人。研究员,博士生导师。长期从事地貌研究工作。E-mail:xujx@igsnrr.ac.cn

关系,即随着年降水量的增加,沙尘暴发生的频率降低。为了揭示沙尘暴日数与年降水量关系的地域差异,我们以不同的符号表示具有不同的沙尘暴日数

与降水量组合关系的数据点,结果表明,所有数据点大致分为3个条带,分别可以用图中的A线、B线和C线来代表。

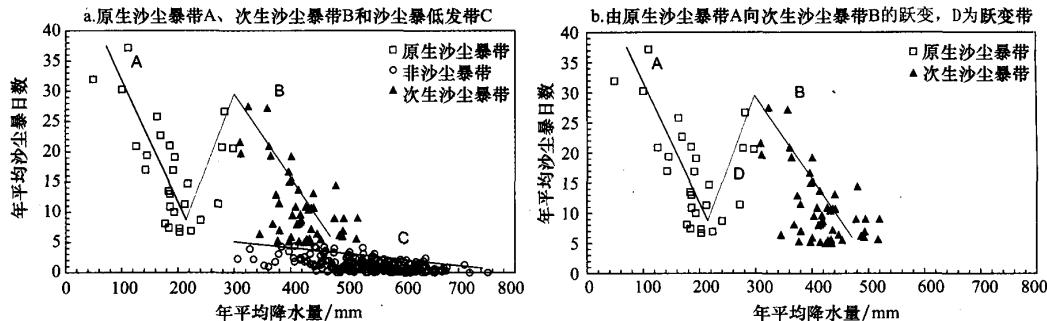


图1 年平均降水量与年平均沙尘暴日数之间的关系

Fig. 1 Relationship between mean annual number of sandstorm days and mean annual precipitation

A线为年降水量小于300 mm的干旱区,即原生沙尘暴带,其沙尘暴的出现主要取决于以干旱气候为主导的自然条件。A线显示,随着降水量的增加,沙尘暴的天数迅速减少。这是由于,在这一降水量范围内,年降水量的增大使流动沙丘逐渐变为半固定沙丘、固定沙丘和干旱草,抗风蚀的能力因而逐渐增强,故沙尘暴发生频率递减。

B线为年降水量大于300 mm且沙尘暴次数在每年5次以上的地区。按其自然条件,在未遭受人类破坏以前,这里并非沙尘暴高发带。在半干旱气候(局部为半湿润气候)的脆弱条件下,由于不合理的人类活动(滥牧、滥垦等),使原来并非沙尘暴多发区的地带变成沙尘暴带,故称之为次生沙尘暴带或人类活动造成的沙尘暴带。此带中也表现出随着年降水量的增大,沙尘暴天数迅速减少的趋势。

C线为年降水量大于300 mm且年沙尘暴日数小于5次的地区。这里的主体为半干旱、半湿润区,可称之为半干旱、半湿润气候条件下的沙尘暴低发带。

从图1a中可以看出,从A线到B线存在着某种类似于突变的现象。为了更清楚地表现这一变化,我们在图1b中略去了沙尘暴低发带(C线)的数据点,只给出了原生沙尘暴带的(A线)和次生沙尘暴带(B线)的点据。从A带到B带,存在着一条突变线D,该直线由原生沙尘暴高发带的低值端,突变式地跃升为次生沙尘暴高发带的高值端。直线D表明,年降300 mm左右的地带是一个超常不稳定带。由直线D所代表的跃变现象反映了在人类活动的影响下,地貌系统所发生的突变过程,对其形

成机理可以解释如下。

前已指出,在A线中,随着年降雨的增多,逐渐由流动沙丘、半固定沙丘、固定沙丘变为干旱草原,因而地表物质在风力作用下的可移动性逐渐减小,故沙尘暴日数递减。然而,如果位于年降水量为300 mm左右地区的干旱草原受到不合理的人类活动(如过度放牧、滥采药材或其他土特产品、开垦然后撂荒等)的破坏,地表物质失去保护,在这一地区强劲风力作用下会产生强烈侵蚀,固定沙丘会迅速活化,退化草原会迅速沙化,因而使沙尘暴突变式地增加,由A线低值端经D线跃升至B线的高值端。在B线中,随着降雨的增加,地表土壤湿度加大,植被状况也逐渐变好,地表物质抗风蚀的能力增强,因而沙尘暴的天数迅速减少。由上述可知,D线所代表的超常不稳定区对人类活动的响应极为敏感,人类干扰所导致的后果也最为严重,应该作为沙尘暴的重点治理区。

位于年降水量200~300 mm之间的跃变带的形成,还可以用一定地域上降水、植被和人类活动的相互作用来解释。为了表示在天然状况下或受人类活动影响较弱的情况下植被条件,我们以潜在生物量即自然植被初级净生产力(NPP)作为指标,表示由当地自然条件所决定的最大可能的(即潜在的)植被生物量的年生产量,以 $t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ 为单位。NPP的研究,在黄土高原地区已有多家成果,文中采用了朱志辉的NPP计算公式,并利用了他对于黄土高原地区各县的计算结果^[14]。对人类活动的强度则以人口密度为指标来表达。图2中点绘了黄土高原地区人口密度和NPP指标随年间水量的变化,

并绘出了 NPP 的拟合直线和人口密度的上包线。从图中可以看到,当年降水量小于 200 mm 时,NPP 很低,且不随降水量的增大而增大,但当年降水量超过 200 mm 以后,NPP 迅速增大,故年降水量 200 mm 是 NPP 增大的转折点。在无人类破坏的情况下,年降水量大于 200 mm 以后,由于植被作用增强,活动沙丘会变为固定沙丘,因而使风蚀减弱,沙尘暴频率随之减弱。人口密度的上包线表明,在年降水量小于 300 mm 时人口密度较小,且基本上不随降水量而变化。当年降水量超过 300 mm 以后,人口密度迅速增大。故年降水量 300 mm 处是人口密度增加的转折点。在这里,如果人类为了获得更多的粮食而破坏植被,开垦具有固定或半固定沙丘的沙地,沙丘便会活化,风蚀会急剧加剧,导致沙尘暴频率增大。

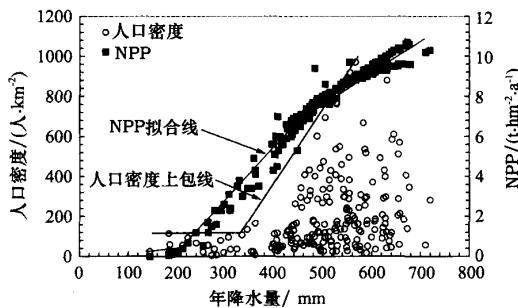


图 2 黄土高原地区人口密度和 NPP 指标
随年降水量的变化

Fig. 2 Variations in Net Primary Productivity(NPP) and Population Density with annual precipitation

为了进一步对图 1 中跃变现象的形成机理进行解释,我们还研究了人类活动所导致的土地荒漠化与沙尘暴发生的关系。中国科学院黄土高原综合科学考察队依据 1986 年 1:50 万 TM 卫星影像对鄂尔多斯及周边地区的沙漠化现状进行了研究,按照不同的标志(如风沙地貌标志、植被标志、土壤标志),并辅以地面调查、验证,对于轻度沙漠化、中度沙漠化和严重沙漠化土地进行了划分,按上述 3 个等级的图斑量出了区内各县(旗)轻度、中度、严重沙漠化土地的面积,由此可计算出土地沙漠化面积占土地总面积的百分比,以此作为衡量土地荒漠化发展程度的定量指标^[2]。我们以沙漠化土地面积占总土地面积的百分比,作为衡量相关地区人类活动改变土地利用、土地覆被状况所导致的环境变化后果的定量指标。将沙尘暴发生频率与沙漠化土地面积百分比相联系,可以定量地评价土地利用变化对沙

尘暴的影响。以文献[13]中提供的鄂尔多斯及周边地区 38 个县(旗)的资料为基础,我们在图 3 中点绘了多年平均沙尘暴日数与已沙漠化土地面积百分比之间的关系。从图中可以看到,二者之间的关系是非线性的,可以用两条斜率不同的直线来拟合。当已沙漠化土地面积百分比 R_d 小于 30% 时,年平均沙尘暴日数基本上不随 R_d 的增大而增大,拟合直线的斜率接近于 0,相关系数接近于 0,说明二者不相关。然而,当 R_d 大于 30% 以后,沙尘暴日数 D_{ss} 随 R_d 的增大而急剧增大。二者之间的关系可以用如下方程来拟合:

$$D_{ss} = 13.144 \ln R_d - 38.828 \quad (r = 0.61, n = 22) \quad (1)$$

对相关系数的检验表明,其显著性程度高于 0.01。

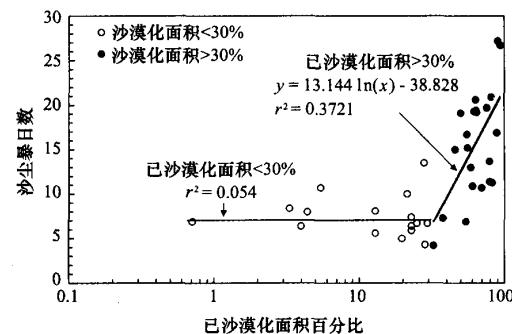


图 3 多年平均沙尘暴日数与已沙漠化土地
面积百分比之间的关系

Fig. 3 Relationship between annual number of sandstorm days and percentage of desertified land area

可以认为,同时作用于这一地区的人类活动、土地荒漠化和沙尘暴,是 3 种性质不同的过程。人类活动代表了人文过程,沙尘暴是一种自然过程,而土地荒漠化则是一种人文-自然过程。3 种过程各自包含着若干状态变量和环境变量,它们相互耦合,形成了一个复杂的系统。图 3 中的转折点是与系统状态的突变相联系的临界点,其存在体现了系统的复杂行为。这一临界点说明,当土地沙漠化的面积百分比增加到 30% 以上,沙尘暴发生频率会发生突变式的增加。这一突变过程,可以解释图 1 中沿 D 线发生的跃变现象。

3 沙尘暴高发带移动距离的估算

基于以上成果我们还可以初步估算在不合理的人类活动影响下,迄今为止沙尘暴多发带由西北向

东南移动的距离。A带主要分布在宁夏、内蒙古的沙漠地区，而B带主要分布在黄河多沙粗沙区的半干旱及半干旱、半湿润过渡区。将A带和B带的点子点绘在经纬度坐标中(图4)，可以发现，两带的中心线位置相距约4~5个经度，其距离为350~500 km。由此可以认为，在不合理的人类活动影响下，沙尘暴带已由西北向东南移动了350~500 km，这一事实是触目惊心的。

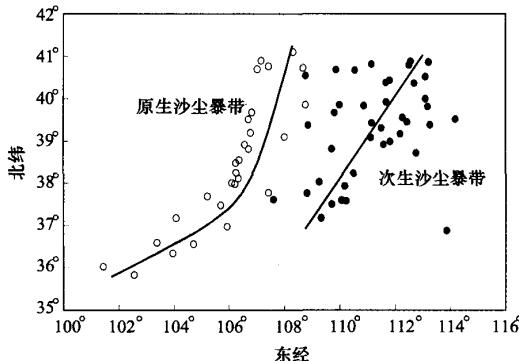


图4 黄土高原地区原生沙尘暴带和次生沙尘暴带的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of original and secondary sandstorm zones in the Loess Plateau area

应该指出，上述沙尘暴带的移动，是在较长的历史时期完成的，其形成既与毛乌素沙地的形成相联系，又与黄河中游河口镇至龙门间(即现在的多沙粗沙区)植被的破坏与坡耕地的扩张有关。全新世以来，毛乌素沙地所在的地区经历了复杂的环境变化，表现出风沙与黄土的多次交替。有证据表明，距今5 000 a左右，这里的自然环境较好，今日大面积的沙地并不存在。据研究，作为黄土高原次生沙尘暴带主体的毛乌素沙地，是在人类活动影响下逐渐形成的。目前在毛乌素沙地内部保留有不少人类活动的遗迹，其年代可以从明清一直上溯至新石器时期，这些历史遗迹在沙区内的分布有着时代顺序性，从东南而西北，汉代遗迹向沙地内延伸得最远，唐代次之，宋又次之，至明代遗迹已退至沙地东南边缘，这种变化反映了沙漠化从西北向东南扩展的时间过程^[12]。史料记载，秦汉时代毛乌素沙区是“沃野千里，仓稼殷积”、“水草丰美”、“群羊塞道”的农牧业较发达的地区^[2]，并对其周围自然环境描述为“临广泽而带清流”的风景宜人地区。唐政权建立以后，在毛乌素南部设州府进行屯垦，人类活动加剧，使植被受到破坏。唐中后期战乱频繁，战火焚烧森林，大片土地荒芜，人类的破坏叠加在气候旱化的背景下^[12]，

使得沙漠化迅速发展。至公元822年，统万城“堆沙高及城堞”。明清以来，沙漠化进一步发展，沙地范围向东南进一步扩张。就毛乌素沙地内部而言，东南部年降水量为400~450 mm，较西北部优越，但流动沙丘却是东南部多于西北部，这说明人类活动是本区沙漠化的主要因素^[12]。可见，毛乌素沙地次生沙尘暴高发带的形成，从唐以来历时1 000 a左右。

在黄河中游河口镇至龙门间的一些地区，由于唐宋以来植被的强烈破坏和农业区向北扩张，土壤侵蚀加剧，形成了片状盖沙区，其范围包括陕西北部、山西北部的广大地区。这里也属于次生沙尘暴高发带，在很大程度上也是不合理人类活动的产物。

4 结论

对黄土高原地区沙尘暴日数与年降水量关系的分析表明，在黄土高原地区存在着一个原生沙尘暴带和一个次生沙尘暴带，后者是人类破坏植被、改变土地覆盖状况的结果。首次发现原生沙尘暴带与次生沙尘暴带之间，存在着跃变现象，这一现象发生在年降水量为300 mm左右的地区。这表明，对于沙尘暴带的演化而言，年降水量为300 mm左右的地区是一个超常不稳定带。近1 000 a以来，在不合理的人类活动影响下，沙尘暴带在黄土高原地区已由西北向东南移动了350~500 km。

参考文献(References)：

- [1] 方宗义,朱福康,江吉喜,等.中国沙尘暴研究[C].北京:气象出版社,1997.
- [2] 夏训诚,杨根生,等.中国西北部地区沙尘暴灾害及其防治[M].北京:中国环境科学出版社,1996.
- [3] 张德二.我国历史时期以来降尘的天气气候学初步分析[J].中国科学,1984,24(3):278~288.
- [4] 史培军,严平,高尚玉,等.我国沙尘暴灾害及其研究进展与展望[J].自然灾害学报,2000,9(3):71~77.
- [5] Pyke K. Aeolian and Dust Deposition [M]. London: Academic Press Inc. Ltd., 1987.
- [6] 常生华,李广,侯扶江.我国沙尘暴发生日数的空间分布格局[J].中国沙漠,2006,26(3):384~388.
- [7] 苏志珠,卢琦,吴波,等.气候变化和人类活动对我国荒漠化的可能影响[J].中国沙漠,2006,26(3):329~335.
- [8] 王涛,陈广庭,赵哈林,等.中国北方沙漠化过程及其防治研究的新进展[J].中国沙漠,2006,26(4):507~516.
- [9] 郝成元,吴绍洪,杨勤业.毛乌素地区沙漠化与土地利用研究[J].中国沙漠,2005,25(1):33~39.
- [10] 薛娟,王涛,吴薇,等.中国北方农牧交错区沙漠化发展过程及其成因分析[J].中国沙漠,2005,25(3):320~328

- [11] 杨勤业,袁宝印.黄土高原自然环境及其演变[M].北京:科学出版社,1991.
- [12] 中国科学院中国自然地理编辑委员会.中国自然地理(历史自然地理)[M].北京:科学出版社,1991.
- [13] 中国科学院黄土高原综合科学考察队.黄土高原地区资源环境社会经济数据集[M].北京:科学出版社,1992.
- [14] Zhu Zhihui. A model for estimating net primary productivity of natural vegetation[J]. Chinese Scientific Bulletin, 1993, 38 (22): 1913—1917.

High-Frequency Zones and Abrupt Changes of Sandstorms in Loess Plateau Region of China

XU Jiong-xin

(Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research/Key Laboratory of Terrestrial Water Cycle and Surface Process, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: Based on the data of sandstorms and precipitation, a study of sandstorms in the Loess Plateau and the neighboring areas has been made. Through analysis of relationship between mean annual number of sandstorms and mean annual precipitation, an original sandstorm zone and a secondary high-frequency zone of sandstorms have been found. The latter was formed as a result of human activities such as vegetation destruction and waste-land cultivation. The secondary sandstorm zone is 350 km to 500 km away from the original sandstorm zone, reflecting that the sandstorm zone in the Loess Plateau area has been shifted 350 km to 500 km to the southeast, as response to human impacts. Some abrupt change has been found around the belt of mean annual precipitation of 300 mm, where the original sandstorm zone suddenly shifts to the secondary high-frequency zone of sandstorms. Hence, this transition area can be regarded as an abnormally unstable area.

Keywords: sandstorm; abrupt change; Loess Plateau