

# 土地利用变化对鄂尔多斯高原 周边地区沙尘暴的影响

许炯心

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:** 以鄂尔多斯高原周边地区为例, 研究土地利用变化对沙尘暴的影响, 建立了多年平均沙尘暴日数与沙漠化土地面积百分比之间的关系。该关系表明, 当沙漠化土地面积百分比  $R_d$  大于 30% 以后, 沙尘暴日数随  $R_d$  的增大而急剧增加。年均沙尘暴日数与耕地面积和大风日数之间的回归方程, 结果表明, 耕地面积减少和大风日数减少对沙尘暴减少的贡献率分别为 59.7% 和 40.3%。通过在干旱、半干旱脆弱生态条件下的地区进行土地利用结构调整和退耕还草, 恢复草原生态系统, 可以在一定程度上减低沙尘暴发生的频率。

**关键词:** 沙尘暴; 土地利用; 土地荒漠化; 黄河流域

**中图分类号:** F301.24; P445+.4 **文章编号:** 1000-0585(2004)04-0463-06

沙尘暴作为一种天气现象, 又是一种地貌过程。对此国内外已进行了大量研究<sup>[1~7]</sup>。沙尘暴的形成取决于 3 个基本条件, 一是大风, 这是沙尘暴形成的动力条件; 二是地面上的沙尘物质, 它是沙尘暴的物质基础; 三是不稳定的空气状况, 这是重要的局部热力条件<sup>[2]</sup>。沙尘暴的形成与大风对地表物质的强烈侵蚀有关, 侵蚀所产生的沙尘物质在大气中传输, 便会在当地和异地形成沙尘暴天气。风力侵蚀作用取决于风的侵蚀力与地表物质的抗蚀力之间的对比关系。这种关系在空间中的分布和随时间的消长, 决定着沙尘暴的时空行为。人类活动对沙尘暴的影响, 主要是通过对沙尘暴敏感区的土地利用、土地覆被状况来实现的。在存在着疏松地表物质的干旱和半干旱地区, 当人类通过耕垦或过度放牧, 改变了土地利用和土地覆被条件并导致土地退化时, 风蚀会大大加剧, 因而使沙尘暴发生的频率增大。而沙尘暴频率的加大, 又会进一步导致土地覆被条件的恶化, 从而增大土壤风蚀的强度, 并进一步增大沙尘暴的频率, 表现出一种正反馈机制。沙尘暴的发生, 既是一种加速土地荒漠化的过程, 又是土地荒漠化发展到一定程度的具体表现。揭示二者之间的内在联系, 具有重要的理论与实际意义。国内外对人类活动影响下土地荒漠化过程的机理也进行了大量研究<sup>[8~13]</sup>, 但对沙尘暴与土地利用变化和土地荒漠化关系的系统研究, 尚不多见。本文以我国鄂尔多斯高原周边地区为例, 研究土地利用变化对沙尘暴的影响。

本文所研究的鄂尔多斯高原周边地区, 既包括文献 [2] 中所界定的黄土高原北部风沙区, 又包括受其影响而沙尘暴发生较为频繁的地区。该区东南部为典型的风力—水力交互作用区, 属于黄河中游多沙粗沙区, 是窟野河、秃尾河、无定河等支流所在的地区。冬春季以沙尘暴为表征的风力侵蚀作用和夏秋季以暴雨洪水为动力的水力侵蚀作用相耦合,

收稿日期: 2003-09-20; 修订日期: 2004-05-21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40271019); 中国科学院地理科学与资源研究所知识创新工程自然科学基金延伸支持领域前沿项目

作者简介: 许炯心 (1948-), 男, 四川绵阳人, 研究员, 博士生导师。从事地貌研究工作, 共发表论文 150 余篇。

对这些支流粗泥沙的产生和输移起着很大的作用。由于人类活动的影响,这一地区土地利用发生了很大的变化。其中,既有不合理的人类活动所导致的土地荒漠化,又有耕地面积减少而导致的有利于土地荒漠化逆转的过程。1985~1990年间,有关单位在这一地区进行了大量研究,查明了这一地区土地利用的变化和土地荒漠化的分布,积累了丰富的资料<sup>[14]</sup>。我们在野外调查研究的基础上,以这些资料为基础,对土地荒漠化、土地利用变化与沙尘暴发生频率,运用经验统计方法,揭示二者之间的内在联系,以期当前正在实施的沙尘暴治理和黄河多沙粗沙区的治理,提供某些有益的借鉴。本文以年均1980~1985年沙尘暴日数来表示沙尘暴发生的频率,所涉及到的资料来自区内各县的气象站。

## 1 沙尘暴频率与土地荒漠化的关系

土地荒漠化和土地沙漠化是两个常用的术语,其含义既有联系又有区别。我们认为,广义的荒漠化包括沙漠化,而沙漠化是指沙质荒漠化,即在地表富含沙物质的地区发生的荒漠化。按照文献[2]中采用的定义,沙漠化是在脆弱的生态条件下,即干旱多风、地表富含沙物质的条件下,人类经济活动过度地干预自然—人为生态,使非沙漠环境发生了以风沙活动为主要特征的类似沙质荒漠的环境变化,此过程称为沙漠化;发生这一过程的土地称为沙漠化土地。因此,沙漠化土地面积占总土地面积的百分比,可以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。所研究地区不同地点沙漠化土地面积百分比的空间差异,一方面反映了自然条件如年降水量、大风状况、地面植被等的不同,另一方面也反映了人类对脆弱环境干预强度的差异。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。文献[2]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,对轻沙漠化、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,以此作为衡量土地沙漠化发展程度的定量指标。以所研究地区38个县(旗)的资料为基础,我们在图1中点绘了多年平均沙尘暴日数与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 $R_d$ 的增大而增加,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 $R_d$ 的增大而急剧增加。二者之间的关系可以用如下方程来拟合:

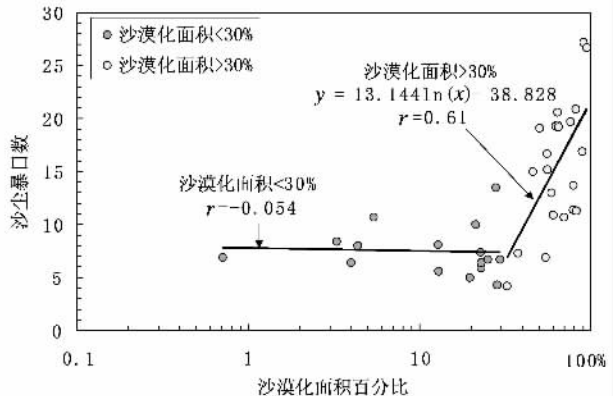


图1 多年平均沙尘暴日数与沙漠化土地面积百分比之间的关系

Fig. 1 Relationship between the number of mean annual sand-dust storm days and the percentage of the area of desertified land

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。

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 1 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。这一临界点启示我们, 当土地沙漠化的面积百分比增加到 30% 以上之后, 沙尘暴发生频率会发生突变式的增加。

## 2 土地利用的变化所导致的沙尘暴的变化

研究区的年降水量从西北向东南变化于 150mm 至 400mm 之间, 自然植被为荒漠草原和干草原, 生态条件十分脆弱。晚更新世以来的风沙、风尘和河湖相堆积物分布广泛, 结构疏松, 沙物质丰富, 与沙尘暴发生的关系最为密切。在这样的地区, 一旦地表草原植被因过度放牧或垦荒耕种而遭到破坏, 地表抗风蚀的能力便会急剧下降。在大风的作用下, 风蚀强度会迅速增大。大量的沙尘因风蚀而进入大气, 便会显著加大沙尘暴发生的频率。相反, 如果前期开垦的耕地因退耕而逐渐恢复为草地, 草根层的形成会使土壤颗粒受到有效的固结。随着土壤中有机质的积累, 有利于团粒结构的形成, 土壤结构性会增强, 使土壤抗风蚀的能力逐渐增强。因此, 土壤风蚀强度会大大减弱, 并导致当地及下风向地区沙尘暴发生频率降低。本节以伊克昭盟沙地及其东南侧地区为例, 研究耕地面积的变化和与其邻接的东南侧下风向地区沙尘暴的关系。毛乌素沙地东南侧的窟野河、秃尾河、无定河等支流, 是黄河中游大于 0.05mm 粗泥沙的主要来源区。按 1956~1995 年平均, 3 条河输送到黄河的大于 0.05mm 粗泥沙总量为 0.99 亿 t, 为河口镇~龙门区间每年入黄粗泥沙总量 2.08 亿吨的 47.7%。文献 [15] 中的研究表明, 这一地区存在着特殊的风力—水力两相侵蚀产沙过程, 这一过程对入黄粗泥沙的产生和高含沙水流的形成起着重要作用。由于沙尘暴是将风成沙输送到滩地上、河道中和沟道中的动力条件<sup>[15]</sup>, 故研究这一地区沙尘暴的演变动态对于查明入黄粗泥沙变化的原因有一定意义。这里着重研究上述支流域内的神木、靖边和绥德等代表站的沙尘暴变化与可能会对这种变化产生影响的伊克昭盟土地利用的变化之间的关系。图 2 中点绘了伊克昭盟耕地面积的变化。研究区从 1949 年以来经过了 3 次大规模的开荒, 即解放初期 (1949~1950)、1959~1960 年和 1969~1970 年; 开垦后则因土地退化而撂荒, 耕地面积又复减少, 这在图中表现为 3 个明显的峰值。但是, 从总体上说, 从 1949 年到 1980 年, 该区耕地面积是逐渐减少的。

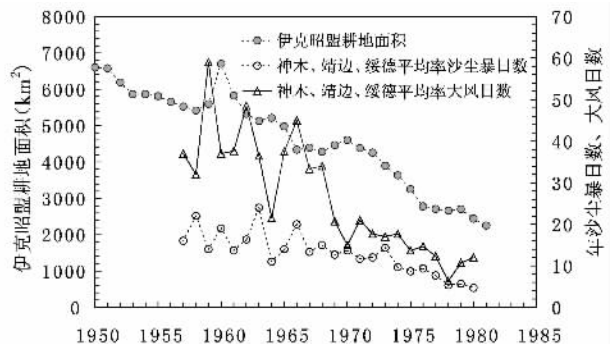


图 2 伊克昭盟耕地面积的变化与其东南侧地区大风日数与沙尘暴日数的历年变化

Fig. 2 Temporal variations in the area of cultivated land in Ih Ju League and the numbers of annual sand-dust storm days and strong wind days in the southeast neighboring areas

沙尘暴往往发生在较大的空间范围中。周自江以 1959~1998 年间共 40 年资料为基础, 研究了我国沙尘暴的地理分布, 确定了两个扬沙和沙尘暴的高频区, 即塔里木盆地及其周围和阿拉善、鄂尔多斯及河西走廊的东部和北部<sup>[5]</sup>。本区即属于后一沙尘暴高频区, 常常成为沙尘暴的沙源区。因此, 伊克昭盟的毛乌素沙地对于其东南侧地区的沙尘暴有一定的影响, 大风季节中发生于这一地区的风力侵蚀可能为其东南侧陕北地区的沙尘暴提供沙源。从这一意义上说, 伊克昭盟土地利用方式的变化, 可能会对陕北地区的沙尘暴产生影响。为了证明这一点, 我们在图 2 中还点绘了陕北与伊克昭盟东南部相邻的神木、靖边、绥德 3 站平均年沙尘暴日数的历年变化。由于沙尘暴观测自 1957 年开始, 故缺乏 1957 年以前的资料。可以看到, 与 1959~1960 年大规模开荒相对应, 在 1963 年出现了沙尘暴的高值; 与 1969~1970 年的开荒相对应, 1973 年出现了沙尘暴的高值, 均有 2~3 年的滞后。同时还可以看到, 与总体上耕地面积减少的趋势相一致, 沙尘暴发生频率也呈减少的趋势。这说明, 由于伊克昭盟耕地面积减少, 撂荒地上草原植被得以恢复, 产生强烈风蚀的面积有所减少, 故其东南侧黄河中游多沙粗沙区窟野河、秃尾河和无定河流域的沙尘暴发生频率总体上也明显减少了。

应该指出的是, 沙尘暴的发生, 除了与下垫面状况(土地利用、土地覆被、地表组成物质等)有关外, 还取决于动力条件即大风状况。我们在图 2 中还叠加了神木、靖边、绥德 3 站平均每年大风日数的变化。可以看到, 虽然大风日数的年际波动很大, 但总体上也呈减小的趋势。这说明, 动力条件的减弱与下垫面条件的改善, 共同导致了沙尘暴的减弱。

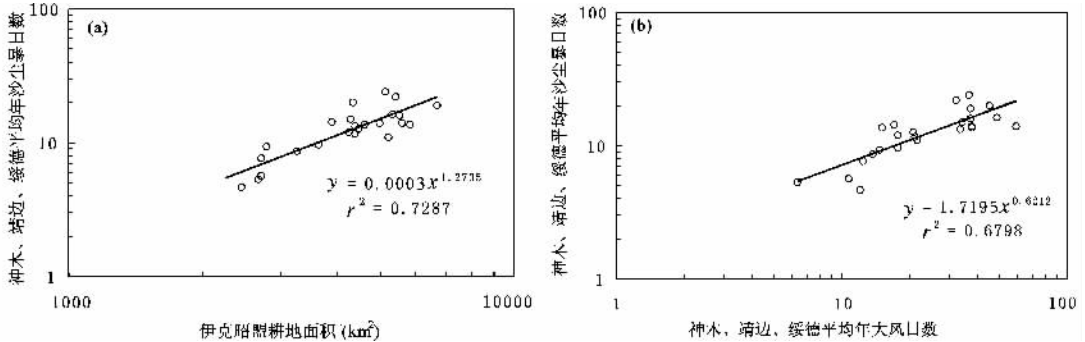


图 3 神木、靖边、绥德 3 县平均年沙尘暴日数与伊克昭盟耕地面积 (a) 和上述 3 县平均年大风日数 ( $D_{sw}$ ) (b) 的关系

Fig. 3 Number of annual sand-dust storm days as plotted against cultivated land area (a) and number of strong wind days (b)

为了对大风日数减少和耕地面积减少对于沙尘暴频率降低的贡献率进行定量区分, 我们采用多元回归分析的方法进行研究。神木、靖边、绥德 3 县平均年沙尘暴日数 ( $D_{ss}$ ) 与伊克昭盟耕地面积 ( $A_a$ ) 和上述 3 县平均年大风日数 ( $D_{sw}$ ) 的关系已分别点绘在图 3 中, 两个关系均表现出很强的正相关。前者的相关系数的平方  $r^2=0.73$ , 后者的相关系数的平方  $r^2=0.68$ , 显著性水平大大高于 0.01。以沙尘暴日数  $D_{ss}$  为因变量, 以耕地面积  $A_a$  和大风日数  $D_{sw}$  为自变量, 以 1957~1980 年共 24 年的资料为基础, 建立了如下的回归方程:

$$\ln D_{ss} = -5.173 + 0.277 \ln D_{sw} + 0.8144 \ln A_a \quad (2)$$

上式的复相关系数为 0.877,  $F$  值为 35.02, 显著性概率为 0.000000205, 剩余标准差为 0.215。计算值和实测值的比较见图 4。

由于各变量的绝对数量相差较大, 不能通过回归系数的大小来直接估算它们对因变量变化的贡献率。为此, 我们对各变量进行了标准化, 使其变化幅度在 0 和 1 之间, 然后重新建立了回归方程如下:

$$\ln D_{ss} = 0.368 \ln D_{sw} + 0.546 \ln A_a \quad (3)$$

对上式右侧两项的系数进行比较, 可以确定它们对  $D_{ss}$  的贡献率。耕地面积  $A_a$  变化的贡献率与大风日数  $D_{sw}$  变化的贡献率之比为 0.546 : 0.368。由此求得, 耕地面积减少和大风日数减少对沙尘暴减少的贡献率分别为 59.7% 和 40.3%。这一结果说明, 在所研究地区, 土地利用变化对沙尘暴变化的贡献率要高于大风状况的变化。因此, 这一地区 1954~1980 年间沙尘暴频率的变化是人类活动与自然因素变化共同作用的结果, 其中人类活动变化的影响大于自然条件变化的影响。在当前沙尘暴灾害的治理中, 通过在干旱、半干旱脆弱生态条件下的地区进行土地利用结构调整和退耕还草, 恢复草原生态系统, 可以在一定程度上减低沙尘暴发生的频率。

### 3 结论

以鄂尔多斯高原周边地区为例, 研究了土地荒漠化对沙尘暴的影响, 建立了多年平均沙尘暴日数与沙漠化土地面积百分比之间的关系。二者之间的关系是非线性的, 当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  $R_d$  的增大而增加; 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。这一临界点启示我们, 当土地沙漠化的面积百分比增加到 30% 以上之后, 沙尘暴发生频率会发生突变式的增加。

本文还研究了沙尘暴变化与耕地面积变化之间的关系。神木、靖边、绥德 3 县平均年沙尘暴日数 ( $D_{ss}$ ) 与伊克昭盟耕地面积 ( $A_a$ ) 和上述 3 县平均年大风日数 ( $D_{sw}$ ) 的关系均表现出很强的正相关。以耕地面积  $A_a$  和大风日数  $D_{sw}$  为自变量, 建立了回归方程, 并对耕地面积减少和大风日数减少对沙尘暴减少的贡献率进行了估算。结果表明, 耕地面积减少和大风日数减少对沙尘暴减少的贡献率分别为 59.7% 和 40.3%。这一结果说明, 在当前沙尘暴灾害的治理中, 通过在干旱—半干旱脆弱生态条件下的地区进行土地利用结构调整和退耕还草, 恢复草原生态系统, 可以有效地减低沙尘暴发生的频率。

### 参考文献:

- [1] 方宗义, 朱福康, 江吉喜, 等. 中国沙尘暴研究. 北京: 气象出版社, 1997. 1~158.
- [2] 夏训诚, 杨根生, 等. 中国西北部地区沙尘暴灾害及其防治. 北京: 中国环境科学出版社, 1996. 1~242.
- [3] 张德二. 我国历史时期以来降尘的天气气候学初步分析. 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. 自然灾害学报, 1997, 9(3): 71~77.
- [5] 周自江. 近 45 年中国扬沙和沙尘暴天气. 第四纪研究, 2001, 21(1): 9~17.

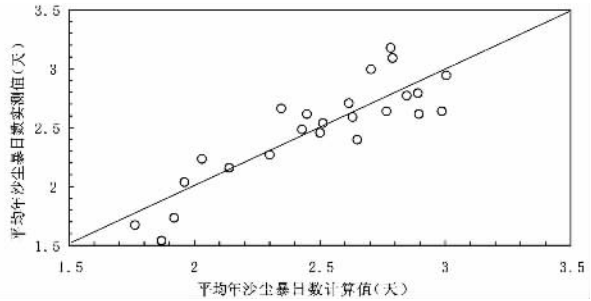


图 4 沙尘暴日数计算值和实测值的比较

Fig. 4 Comparison between the measured and calculated values in sand-dust storm days

- [ 6 ] 王式功,董光荣,杨德保,等. 中国北方地区沙尘暴变化趋势初探. 自然灾害学报,1996,5(2):86~94.
- [ 7 ] Pyke K. *Aeolian and Dust Deposition*, London: Academic Press Inc. Ltd., 1987.
- [ 8 ] Reynolds J F, Smith D M. (Eds.). *Global Desertification; Do Humans Cause Deserts? Dahlem Workshop Report 88*, Berlin: Dahlem University Press, 2002. 1~437.
- [ 9 ] Abahussain A A, Abdu A S, Al-Zubari WK, *et al.* Desertification in the Arab Region: analysis of current status and trends. *Journal of Arid Environments*, 2002, 51(4): 521~545.
- [10] Wu B, Ci L J. Landscape change and desertification development in the Mu Us Sandland, Northern China. *Journal of Arid Environments*, 2001, 50(3): 429~444.
- [11] 朱震达. 土地荒漠化问题研究现状与展望. 地理研究, 1994, 13(1): 104~113.
- [12] 孙武. 近 40 年坝上后山地区沙漠化因子主分量的耦合波动. 地理研究, 2002, 21(3): 391~397.
- [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. 北京: 中国经济出版社, 1992. 1~575.
- [14] 许炯心. 黄河中游多沙粗沙区的风水两相侵蚀产沙过程. 中国科学, D 辑, 2000, (5): 540~548.
- [15] 姚华荣. 首都圈防沙治沙典型区水土资源优化配置. 地理研究, 2002, 21(5): 531~542.

## Sand-dust storms in the Erdos Plateau and neighboring areas as influenced by land desertification

XU Jion-gxin

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;)

**Abstract:** Occurrence of sand-dust storms is a process that accelerates land desertification, and can also be considered as an indicator of land desertification at a certain stage. Thus, it is of significance both in theory and practice to reveal the interaction between these two phenomena. Based on the data from the Erdos Plateau and its surrounding areas, a study has been made of the effect of land desertification on sand-dust storms. A non-linear relationship has been established between sand-dust storm frequency and the index of land desertification ( $I_{ld}$ ), which is defined as the percentage of the area of desertified land of the total. This relationship indicates a threshold at  $I_{ld} = 30\%$ . When  $I_{ld} < 30\%$ , the sand-dust storm frequency did not change with an increasing  $I_{ld}$ ; however, when  $I_{ld} > 30\%$ , the sand-dust storm frequency increased rapidly. This threshold means that the sand-dust storm frequency would increase abruptly when the man-induced  $I_{ld}$  exceeds 30%. This study also deals with sand-dust storm frequency in response to the change in the area of cultivated land. The time series of annual number of sand-dust storm days in the neighboring area has been related with the time series in the annual number of strong wind days and the time series in the area of cultivated land. As a result, a multi-regression equation has been established, based on which the relative contributions of the changes in land use and in number of strong wind have been estimated as 59.7% and 40.3%, respectively. This result indicates that the frequency of sand-dust storm may be effectively decreased by reducing the area of cultivated land and restoring steppe ecosystem in the ecologically fragile areas in arid and semi-arid climates.

**Key words:** sand-dust storm; land use; land desertification; Yellow River basin