

我国沙尘暴发生日数的空间分布格局

常生华¹, 李 广^{2*}, 侯扶江¹

(1. 兰州大学 草地农业科技学院, 农业部草地农业生态系统学重点开放实验室, 甘肃省草原生态研究所, 甘肃 兰州 730020; 2. 甘肃农业大学, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 根据全国近 30 a 的沙尘暴记录,运用分形分析得出,在不同的降水量区域,沙尘暴的发生规律明显不同。中国北方沙尘暴发生日数平均为 $4.4 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$ 。年降水量 $\leq 305 \text{ mm}$ 的地区沙尘暴发生日数最多,平均为 $9.9 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$,这是荒漠和半荒漠地区,主要是我国传统的畜牧业区; $305 \text{ mm} < \text{年降水量} < 570 \text{ mm}$ 的地区平均为 $4.0 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$,这是草原区,主要是传统的农牧交错带。年降水量 $\geq 570 \text{ mm}$ 的地区为 $0.4 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$,主要是我国的农耕区。 $305 \text{ mm} < \text{年降水量} < 570 \text{ mm}$ 的区域,沙尘暴发生的频率随降水的变化幅度最大,为 4.1,年降水量 $\leq 305 \text{ mm}$ 地区,沙尘暴随降水的变化幅度最小,为 0.3。分析认为,我国沙尘暴危害的防治需要构建牧区—农牧交错带—农区生态农业体系。

关键词: 沙尘暴发生日数; 分形分析; 空间格局; 牧区—农牧交错带—农区生态农业体系

中图分类号: P445.4 **文献标识码:** A

我国 80% 的省、市、自治区有沙尘暴记录^[1],近几十年来特大沙尘暴给人民生命、生活和生产造成巨大损失^[2]。国外 20 世纪 20 年代就已经开始对沙尘暴的成因、监测和防治对策等进行研究^[3],其中, Littmann 分析了亚洲沙尘暴的发生频率^[4], Jau-regui 系统的研究了墨西哥城的沙尘暴的时空分布^[5], Husar 和 Tratt 对 1998 年 4 月中旬发生在东亚的强沙尘暴进行了详细研究^[6,7]。我国从 20 世纪 70 年代开始对沙尘暴进行研究,王涛、王式功和丁瑞强等研究了我国沙尘暴的形成原因,发展趋势以及时空分布^[8~10]。朱震达、赵红岩、史培军等分析了北方沙尘暴的成因,并对其分布规律进行了研究,揭示了其联系,提出相应的预测方法和对策^[11~13],在沙尘暴的监测预警方面取得了较大进展^[14]。2001 年 3 月 1 日,我国的沙尘暴预警监测系统正式开始运行,2002 年加强了相关气象要素监测。2002 年 3 月 21 日发生的沙尘暴,国家气象局提前两天就做出了预测预报,预示着我国在沙尘暴的监测方面又进一步。

沙尘暴是一种自然现象,它的产生有三大因子:动力、物质基础和不稳定的空气状态。前人已经从气候学特性,成分分析,灾害预防,时空分布,遥感监测,数字模拟等方面做了大量的工作。对于空间分布,是通过强度和频度等条件以及一些物理方法来

进行划分。其主要发生区域是我国重要的畜牧业区,草地对于减少沙尘暴危害具有重要作用^[15]。降水是沙尘暴发生区域经济、社会和生态可持续发展的制约因素,因此,探讨沙尘暴的发生与降水的关系,可以提供沙尘暴预测预报和危害防治的决策依据,指导我国草地建设、畜牧业发展和农业产业化布局。

1 研究方法

根据全国 22 个省市的 118 个气象站近 30 a 的沙尘暴年平均发生日数和年均降水量(表 1),沙尘暴主要发生在淮河以北。

1.1 数据的分形分析和分维数的涵义

以降水量(rainfall, RF)为自变量,沙尘暴的年发生日数(d)为因变量,两个变量均取对数,然后线性回归,相关显著时直线斜率 D 为分维数,得公式

$$\ln(d) = D\ln(RF) + c(1)$$

式中: c 为回归常数。

设 d_1 和 RF_1 分别为 t_1 时的年降水量和沙尘暴年发生日数, d_2 和 RF_2 分别为 t_2 时的年降水量和沙尘暴年发生日数,则有公式

$$\ln(d_1) = D\ln(RF_1)$$

$$\ln(d_2) = D\ln(RF_2)$$

变换公式(2)得

收稿日期:2005-01-13; 改回日期:2005-05-31
基金项目:国家“973”课题(G2000018602);国家自然科学基金西部重大研究计划资助项目(90102011);国家科技攻关课题(2004BA528B-1-3)资助
作者简介:常生华(1978—),男(汉族),甘肃民勤人,草业科学研究助理。E-mail:changsh1978@163.net
通讯作者:李广(E-mail:lig@gsau.edu.cn)

表 1 各气象站年降水量与沙尘暴的年发生日数

Tab. 1 Annual rainfall and sand-dust storm occurring days recorded by 118 weather stations distributed in 22 provinces(or cities) of China

站名	沙尘暴年发生日/d	年降水/mm	站名	年均沙尘暴发生日/d	年均降水/mm
北京	22	577	承德	2	522
天津	12	560	乐亭	13	644
石家庄	20	528	沧州	9	614
怀来	20	383	大同	36	377
太原	9	457	原平	18	426
介休	10	496	化德	58	315
运城	7	551	呼和浩特	46	402
海拉尔	13	351	巴林左旗	10	374
喜桂图旗博克图	1	474	鄂托克旗	110	277
科尔沁右翼前旗阿尔山	1	445	西乌珠穆沁旗	28	330
东乌珠穆沁旗	51	248	托鲁特旗	16	380
阿拉善左旗巴彦	144	89	阿拉善左旗吉兰	168	103
达尔罕茂明安联合旗	51	256	阿巴哈纳尔旗	55	276
阿巴嘎旗	60	242	林西	23	371
苏尼特中后联合旗	84	211	乌拉特中后联合旗	63	202
大连	1	632	多伦	33	370
通辽	44	372	赤峰	35	355
前郭尔罗斯	5	435	毛道	37	513
二连浩特	96	140	朝阳	4	476
沈阳	2	684	锦州	7	567
四平	6	634	齐齐哈尔	4	420
长春	10	576	海伦	3	548
嫩江	9	481	富锦	8	510
孙吴	2	543	安达	11	421
克山	6	487	哈尔滨	14	520
尚志	1	651	通河	2	587
鸡西	3	538	蚌埠	2	904
牡丹江	1	531	南昌	1	1 521
徐州	4	832	惠民	11	585
赣榆	1	929	济南	6	674
亳县	13	802	潍坊	3	627
老河口	5	847	菏泽	13	640
同州	2	693	延安	18	561
安阳	4	570	西安	5	573
郑州	42	645	敦煌	141	39
驻马店	2	985	玉门镇	97	65
信阳	1	1 120	酒泉	126	88
甘孜	10	635	民勤	335	111
楚雄	1	829	天祝	13	389
澜沧	1	1 624	兰州	17	316
拉萨	34	426	平凉	16	521
榆林	103	400	夏河合作	1	546
都兰	36	188	达日	30	548
西宁	44	368	银川	55	194
同德	75	440	盐池	201	288
格尔木托托河	137	281	阿勒泰	10	175
曲麻莱	155	401	富蕴	6	167
玉树	17	491	和田	298	34
玛多	35	306	克拉玛依	14	101
天水	4	540	精河	57	97
和布克赛尔	17	135	若羌	151	25
尉犁铁干里克	63	37	民丰安得河	222	24
莎车	168	47	哈密	79	35
冷湖	29	17	奇台	35	173
大柴旦	21	85	伊宁	15	255
刚察	133	381	乌鲁木齐	21	276
格尔木	144	42	吐鲁番	45	15
武都	1	480	库车	100	65
巴楚	154	51	喀什	88	64

$$\frac{d_1}{d_2} = \left(\frac{RF_1}{RF_2}\right)^D$$

可见,分维数 D 的涵义,当降水量变化为 $n(n = \Delta p = \frac{RF_1}{RF_2})$ 时,沙尘暴的年发生日数将变化 $n^D[\Delta d = \frac{d_1}{d_2} = (\Delta RF)^D = n^D]$ 。即 D 值 $[D = \frac{\ln(\Delta d)}{\ln(\Delta RF)}]$ 越大,沙尘暴年发生日数的变率 (Δd) 随年降水量的变率 (ΔRF) 越大。

用 d 值和 RF 的对数逐渐回归,在年降水量梯度上出现拐点,表明在拐点两侧,沙尘暴发生随降水的变化模式有明显差异,反映出在不同的降水范围内,沙尘暴发生有不同的较为稳定的变化趋势。

1.2 统计分析

所有数据在 Microsoft Excel 上绘图,相关显著性检验用 SPSS11.0 软件。

2 结果分析

2.1 沙尘暴的发生日数的地带性特征

结果表明,沙尘暴的年发生日数随降水的增大呈逐渐下降的趋势,在不同的降水区域,沙尘暴的发生日数下降的幅度有所不同(图 1)。通过逐渐回归, D 值在整个变化过程中出现了两个明显的拐点, $D = -0.34$, 第一个拐点,对应的 $RF = 305\text{ mm}$ 。 $D = -0.9$, 第二个拐点,相应的 $RF = 570\text{ mm}$ (图 2)。沙尘暴的发生随降水量在拐点两侧呈现不同的变化模式。

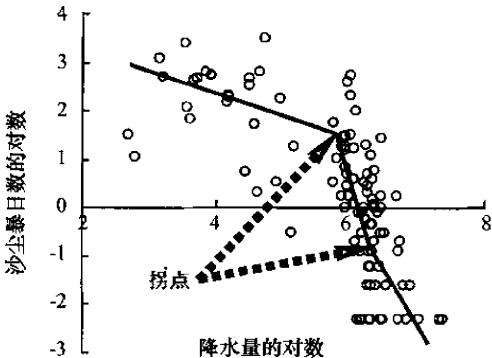


图 1 降水量对数与沙尘暴日数对数的关系

Fig. 1 Logarithm relationship between rainfall and sandstorm days

根据 D 值对应的降水量,全国可划分为三个不同的降水量区域。

$RF \leq 305\text{ mm}$, D 值变化不大(图 2)。说明,在

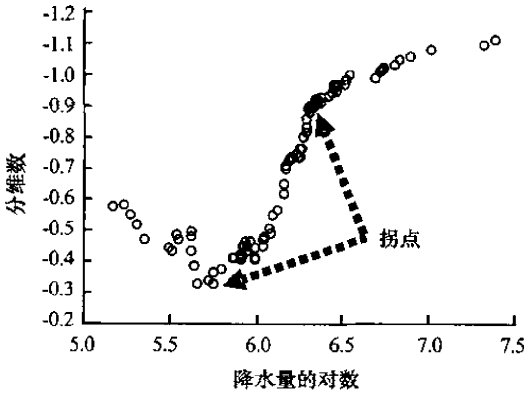


图 2 分维数值与降水量对数的关系

Fig. 2 Relationship between fractal dimension value and logarithm of rainfall

该区域内,降水量对沙尘暴发生的影响有限,沙尘暴在该区域内的发生相对稳定,可能与该区域常年降水较少有关。该区域包括哈密、敦煌、民勤、盐池等沙漠边缘县市(图 3),是我国的干旱半干旱区,除绿洲和高山地区外,一般不能从事种植业,主要是我国传统的畜牧区。

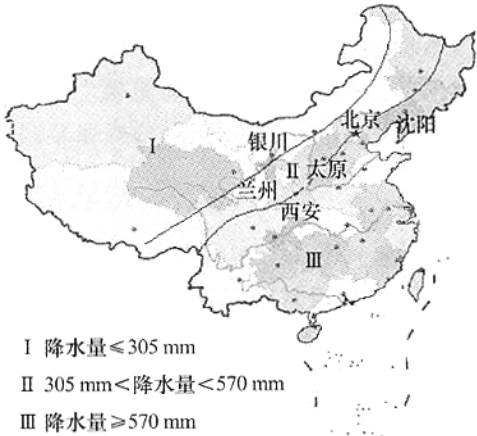


图 3 据分维数值划分的三个不同的降水区域

Fig. 3 Three regions with different rainfall based on fractal dimension values

$305\text{ mm} < RF \leq 570\text{ mm}$, D 值随降水减少急剧下降,且变幅较大(图 2)。说明,在该区域,沙尘暴的发生日数受降水量的影响比较大,这与区域降水年际间波动较大相吻合。包括赤峰、呼和浩特、承德、大同、兰州、西宁等地(图 3),多为历史上汉民族与少数民族交流的“茶马市场”。基本沿长城一线,迫于人口压力,草地开垦严重^[16],种植业缺少降水保障,历史上时农时牧,是我国传统的农牧交错带。上述两个区域是我国草地的主要分布区,也是当前中国北方退耕还林还草、生态建设和农业产业结构调整的主体区域。

$RF>570\text{ mm}$, D 值变幅较小(图 2)。说明, 该区域降水对沙尘暴的影响不大, 可能是因为区域降水较多且长期较为稳定, 主要是我国传统的种植业区(图 3)。

2.2 沙尘暴发生的区域特征

在不同降水区域内沙尘暴的年发生规律不同, 随着降水量的增加, 沙尘暴的年发生日数递减(图 4)。 $RF\leq 305\text{ mm}$ 的区域, 沙尘暴年发生日数平均 9.5 d。 $305\text{ mm}<RF\leq 570\text{ mm}$ 的区域, 沙尘暴年发生日数平均为 2.4 d。 $RF>570\text{ mm}$ 的区域, 沙尘暴的年发生日数 0.7 d。整个中国北方沙尘暴的年发生日数平均为 4.4 d。不同区域沙尘暴的发生频率依次为: 牧区(干旱半干旱区) $>$ 农牧交错带 $>$ 农区(湿润区) ($P<0.05$)。

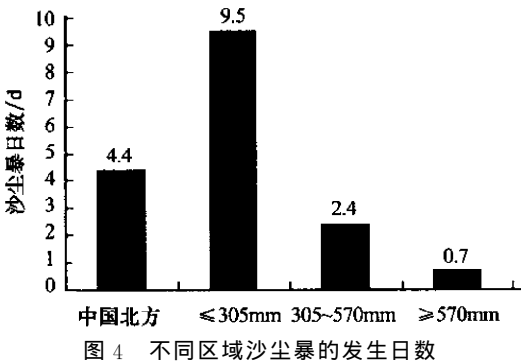


图 4 不同区域沙尘暴的发生日数

不同区域沙尘暴的发生随降水量的变化而变化幅度也不同(图 5)。在 $RF\leq 305\text{ mm}$ 的区域, 沙尘暴发生频率随降水的变化幅度为 0.3, 沙尘暴的发生长年较为稳定。 $305\text{ mm}<RF<570\text{ mm}$ 的区域, 沙尘暴发生频率随降水的变化幅度为 4.1, 年际间波动较大。在 $RF\geq 570\text{ mm}$ 的区域, 沙尘暴发生频率随降水的变化幅度为 2.3。整个中国北方沙尘暴随降水的平均变化幅度为 1.1。可见, 不同区

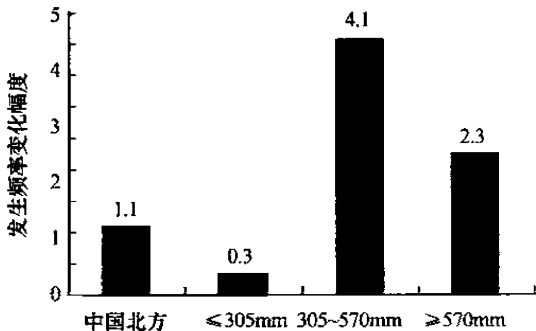


图 5 不同区域沙尘暴的发生随降水量的变化幅度

Fig. 5 Change amplitude of sandstorm frequency influenced by rainfall in different regions

域沙尘暴的发生随降水的变化幅度依次为: 农牧交错带 $>$ 农区 $>$ 牧区。农牧交错带的降水量的年变率是 30% 甚至 1 倍以上^[17], 所以沙尘暴的年发生频率虽远不及干旱半干旱区, 但随降水的变化幅度较大, 是沙尘暴危害防治的重点区域。

3 结论与讨论

根据上述结论, 讨论沙尘暴发生区的生态建设策略与农业产业化布局。

3.1 沙尘暴发生的空间格局

沙尘暴发生具有明显的地带性特征。根据沙尘暴发生日数与降水量的分维关系, 可以分为 3 个区域。

在 $RF\leq 305\text{ mm}$ 降水的地区, 沙尘暴年发生日数是我国最高的区域, 高于我国北方地区平均值 5.1 d(图 4)。沙尘暴发生日数随降水的变化幅度不大(图 2, 图 4)。说明在该区域降水对沙尘暴发生日数影响不大, 降水并不能有效减少沙尘暴的发生日数, 这与长期降水稀少有关。

在 $305\text{ mm}<RF<570\text{ mm}$ 的区域, 沙尘暴的年发生日数低于我国北方地区平均值 2 d, 但随降水量的变幅最大。说明, 降水量对于减轻沙尘暴的发生危害具有重要作用。

在 $RF\geq 570\text{ mm}$ 的区域内, 沙尘暴的发生日数及其随降水量的变化幅度均最小。说明, 沙尘暴发生属“罕见”现象。

3.2 沙尘暴的防治对策

在 $RF\leq 305\text{ mm}$ 降水的地区, 沙尘暴是稳定发生的, 其治理应尽可能的从天然植被保护的角度去考虑, 以削弱起沙条件。降水是生态建设的限制因素, 人工植被只能在局地发挥作用, 对于区域沙尘暴防治的作用有限^[18]。因此, 生态建设在注重提高区域整体质量的同时, 要重点设防, 特别加强绿洲生态防护带建设^[19]。农业种植以营养体生产为主^[20], 减少不抗沙尘暴的籽实作物种植面积, 或以籽实、营养体均可的作物替代, 大力发展畜牧业, 尽可能少地种植易受沙尘暴危害高风险作物。实行山地—绿洲—荒漠系统耦合, 减轻荒漠区域的生态压力^[19]。同时, 着眼于构建牧区—农牧交错带—农区生态农业体系建设。

在 $305\text{ mm}<RF<570\text{ mm}$ 的区域, 是通过生态建设、农业产业结构调整, 实现植被有效覆盖, 防治沙尘暴危害的重点地带。农业结构调整要重视越冬作物和多年生作物的种植, 扩大天然植被面积。发挥位点优势, 同时面向农区和牧区, 以牧草种植的

家畜饲养为纽带,吸收农区的饲草资源,引牧区家畜前来育肥,实现跨区域的农牧耦合^[19],依托农业产业结构优化调整,构建跨区域的生态农业体系。

$RF\geq 570$ mm 的区域,从经济(防治的投入/产出)角度考虑,重点在防,重点做好预测预报。但是,要通过产业结构调整,促进农牧耦合,积极参与构建牧区—农牧交错带—农区生态农业体系,成为沙尘暴防治的可靠后方。

关于沙尘暴的研究工作,科技人员在近半个世纪取得了一定的成果,为沙尘暴的防治提供了一定的科学依据。但是,在世界经济一体化进程不断加速的情势下,沙尘暴危害已经不再是局部的、孤立的事件,因此,沙尘暴危害的有效防治需要各区域生态防护体系的跨区域耦合,在我国要构建牧区—农牧交错带—农区生态农业体系,本质上是一个大尺度的耦合生态系统,对于它的研究只是刚刚起步。

参考文献(References):

[1] 张晓龙,张艳芳,赵景波. 近年来中国沙尘暴发生特点、成因及其防治对策[J]. 干旱区资源与环境, 2001, 15(3):31—36.
[2] 王晓青. 西北地区沙尘暴灾害及防治对策[J]. 干旱区研究, 2001,18(2):61—64.
[3] 王式功,董光荣,陈惠忠,等. 沙尘暴研究进展[J]. 中国沙漠, 2000, 20(4):349—356.
[4] Jauregui E. The dust storms of Mexico City [J]. *International Journal of Climatology*, 1989, 9(2) :169—180.
[5] Littmann T. Dust storm frequency in Asia: climatic control and variability[J]. *International Journal of Climatology*, 1991, 11:393—412.

[6] Husar R B, Trart D M, Schichtel A, *et al.* Asian dust events of April of 1998[J]. *J. Geophys. Res.*, 2001, 106(D16): 18317—18330.
[7] Tratt D M, Frouin R J, Westphal D L. April 1998 Asian dust event: a southern California perspective [J]. *J. Geophys. Res.*, 2001, 106(D16):18331—18344.
[8] 王涛,吴薇.我国北方沙漠化土地时空演变分析[J]. 中国沙漠, 2003, 23(3): 230—235.
[9] 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[J]. 自然灾害学报, 1996, 6(2): 31—37.
[10] 丁瑞强,王式功. 近 45a 我国沙尘暴和扬沙天气变化趋势和突变分析[J],中国沙漠, 2003,23(3): 306—310.
[11] 朱震达,陈广庭. 中国土地沙质沙漠化[M]. 北京:科学出版社, 1994.
[12] 赵红岩,陈旭辉. 西北地区春季沙尘暴气候分析及预测方法研究[J]. 中国沙漠, 2004,24(5): 637—641.
[13] 史培军,严平,袁艺. 中国北方风沙活动的驱动力分析[J]. 第四纪研究, 2001, 21(1): 41—47.
[14] 郑新江,徐建凤. 利用风云—1C 气象卫星监测南疆沙尘暴研究[J]. 中国沙漠,2000,20(3):264—268.
[15] 张英杰,宋豫秦. 论我国半干旱草原地区沙漠化防治战略的转型[J]. 中国沙漠, 2004,24(1): 87—91.
[16] 赵松乔. 内蒙古东、中部半干旱区——一个危机带的环境变迁[J]. 干旱区资源与环境,1999,13(2):1—9.
[17] 陈广庭. 近 50 年北京的沙尘天气及治理对策[J]. 中国沙漠, 2001, 21 (4):402—407.
[18] 杨俊平,绉立杰. 中国荒漠化状况与防止对策研究[J]. 干旱区资源与环境,2000 ,14(3):115—23.
[19] 李广,侯扶江,黄高宝. 甘肃省“两西地区”草地农业现状与发展战略[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 184—188.
[20] 任继周,侯扶江. 我国山区发展营养体农业是持续发展和脱贫致富的重要途径[J]. 大自然探索, 1999, 18(1): 48—51.

Spatial Distribution of Sand-dust Storm Weather in China

CHANG Sheng-hua¹, LI Guang², HOU Fu-jiang¹

(1.School of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China; Key Open Laboratory of Pastoral Agriculture Ecosystem, Agriculture Administration, Lanzhou 730020, China; Gansu Grassland Ecological Research Institute, Lanzhou 730020, China; 2.Gansu Agriculture University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Based on records of sand-dust storm weather during lately 30 years and by using fractal analysis, we found out that the occurrence of sand-dust storm varied obviously along with rainfall regionalization in China. The annual average days of sand-dust storm are 4. 4 days in northern China; 9. 9 days in region with rainfall less or equal to 305 mm, where belongs to desert or semi-desert area and also the traditional pastoral area in China; 4. 0 days in region with rainfall between 305 mm and 570 mm, where belongs to steppe area and the traditional pasture-agriculture transition zone; 0. 4 days in region with rainfall more or equal to 570 mm, where mainly for crop farming zone in China. As for the amplitude of sandstorm frequency changing with rainfall, it is the largest in the area with rainfall between 305 mm and 570 mm, the value is 4. 1; the smallest in the area with rainfall less or equal to 305 mm, value is 0. 3. It was proposed that the establishment of an ecological agriculture system bestriding pasturing area- interlaced zone- farming area is needed for controlling and preventing the sandstorm disasters of China.

Key words: sand-dust storm occurring days; fractal analysis; spatial distribution; ecological agriculture system bestriding pasturing area-interlaced zone-farming area