

阿拉善地区沙尘暴发生的时空变化规律探讨

董智¹, 谷雨², 李红丽^{1†}

(1. 山东农业大学林学院, 271018, 山东泰安; 2. 内蒙古环境监测中心站, 010010, 呼和浩特)

摘要 统计分析阿拉善地区 1961—2003 年 43 a 的沙尘暴发生的空间分布特征, 月际、年际和年代际的时间变化特征及其原因。结果表明: 阿拉善地区沙尘暴天气在空间分布上以拐子湖为中心向外辐射减少, 且北部、东部区域沙尘暴发生多, 西部、南部区域发生少; 在季节变化上呈现出沙尘暴春夏多发、秋冬少发的分布规律, 年际间沙尘暴发生时间(以 d 计)高于多年平均发生时间的年份少, 年代际间则以 20 世纪 70 年代沙尘暴发生时间最多, 之后表现为逐渐减少趋势; 沙尘暴出现时间是该地区特定气候、地理和生态环境等条件的反映, 沙尘暴发生时间与大风发生时间呈正相关, 与当年气温、上年降水量呈负相关, 且月均沙尘暴发生时间与月均大风发生时间呈紧密的线性正相关关系, 相关系数达 0.988 5。研究结果可为阿拉善地区沙尘暴的防治提供科学依据。

关键词 沙尘暴; 时空变化; 大风; 阿拉善地区

Spatio-temporal variation characteristics of dust-storm in Alaxan region of Inner Mongolia Autonomous region

Dong Zhi¹, Gu Yu², Li Hongli¹

(1. Forestry College of Shandong Agriculture University, 271018, Tai'an, Shandong;

2. Environmental Monitor Central Station of Inner Mongolia Autonomous Region, 010010, Huhhot: China)

Abstract Based on the observed dust-storm data of Alaxan region of Inner Mongolia from 1961 to 2003, the spatial distribution characteristics, seasonal and yearly and decadal temporal variation characteristics and the cause of dust storm were analyzed. The results showed as followed: The dust-storm-days radiation decreased from Guaizi lake as center to other area all around in spatial, and the dust storm occurred frequently in the north and east and less in the west and south of this region; the days of dust storm took on more in spring and summer, but less in autumn and winter, the years which was more than average days of dust storm occurring was few in yearly during 43 years, the dust-storm-days occurring was most in 20 century 70's, and it had trend to decline after 70's. The variation of the dust-storm-days is in response to some special climate variation, geographical situation and environment, the relationship between dust-storm-days and strong-wind-days has been positive correlation, and the intensity of dust-storm-days negatively correlated with the air temperature and precipitation of last year, further more, the linear relation was accorded with between average monthly days of dust-storm and average monthly strong-wind-days, the correlation coefficient is 0.988 5. The result can provide science gist to preventing and controlling the dust-storm for Alaxan region.

Key words dust-storm; spatio-temporal variation; strong wind; Alaxan region

沙尘暴是强风卷起大量沙尘, 使地面能见度小于 1 km 的沙尘天气, 主要出现在北非、西南亚、中

收稿日期: 2007-07-13 修回日期: 2007-11-15

项目名称: 内蒙古自治区环境保护局项目“利用激光雷达与地面测量网对内蒙古沙尘暴监测与预警研究”; 内蒙古科技厅项目“利用激光雷达与地面监测网对内蒙古沙尘暴监测分析”; 山东省中青年科学家基金(2006BS08017)

第一作者简介: 董智(1971—), 男, 博士, 副教授。主要研究方向: 荒漠化防治与道路灾害防治。E-mail: nmgdz@163.com

† 责任作者简介: 李红丽(1972—), 女, 博士, 副教授。主要研究方向: 水土保持与荒漠化防治。E-mail: lhl@sdau.edu.cn

亚、中蒙、美国西南部及澳大利亚等干旱荒漠化地区^[1-3]。我国是沙尘天气多发地区之一,沙尘暴主要发生在西北地区,但也会扩展或影响到华北、黄淮或以南地区,甚至影响到朝鲜半岛、日本及美国等地^[4]。影响中国春季沙尘天气的路径可分为西北路径、偏西路径和偏北路径,除偏北路径外,其余路径均可在内蒙古中西部形成或经由内蒙古中西部而发展,特别是西北路径,一般起源于蒙古高原中西部或内蒙古西部的阿拉善高原,主要影响我国西北和华北地区^[5-10]。我国近50多年气象台站的观测结果表明,中国沙尘天气的多发区主要集中在塔里木盆地周围,敦煌—河西走廊—宁夏平原—陕北一线,内蒙古阿拉善高原、河套平原和鄂尔多斯高原,并形成5个沙尘暴策源中心^[11-12]。由此可见,阿拉善地区是我国沙尘暴研究过程中一个重要的区域。

阿拉善境内沙漠分布集中,东、南及中部分别分布着乌兰布和沙漠、腾格里沙漠和巴丹吉林沙漠,地表沙物质广布,为沙尘暴的发生提供了丰富沙物质。然而,在该区的研究多集中于沙漠本身及其植被恢复建设,对沙尘暴时空变化的研究却较少报道。基于此,笔者依据阿拉善境内的9个气象站40多年的沙尘暴实测资料,分析该地区沙尘暴发生的时空变化规律,以期更客观全面地认识沙尘暴,并为沙尘暴的防治提供科学依据。

1 研究区概况

阿拉善位于内蒙古自治区最西部,地理坐标E 97°10′~106°52′,N 37°24′~42°47′,东北与巴彦淖尔盟、乌海市相连,东南隔贺兰山与宁夏回族自治区相望,西南与甘肃省接壤,北与蒙古国交界,总面积27万 km²。该区属中温带大陆性季风气候,气候特点为干旱少雨,蒸发量大,夏热冬寒,风大沙多。年平均气温6~9℃,年平均降水量40~216 mm,多集中于7—9月,蒸发量高达2 328~3 934 mm。7级以上大风发生时间为16~58 d,风期长达5~6个月,沙尘暴发生时间为9~12 d^[13]。区域内除东部贺兰山麓有部分天然次生林外,主要为干旱、极干旱荒漠和植被稀疏的荒漠草场,植被组成以旱生、超旱生、盐生灌木、半灌木、小灌木和小半灌木为主,种属较少,群落结构简单。

2 统计方法

按照气象观测规范确立的沙尘暴标准统计沙尘暴发生时间,即1 d之内单站有沙尘暴记录的为1个

沙尘暴日,全盟有1个及以上站出现沙尘暴即统计为1个沙尘暴日。逐月统计阿拉善盟9个气象站点1961—2003年逐日沙尘暴发生时间、大风发生时间、气温、降水等资料,分别求其月均值、年均值、年代际均值等,利用SPSS统计软件进行相关分析,探讨其发生规律及变化趋势。额济纳、拐子湖、中泉子、上井子、吉兰泰和巴彦浩特6个站为1961—2003年43 a的资料,头道湖为1962—2003年42 a的资料,诺尔公为1965—2003年39 a的资料,锡林高勒为1964—1971及1981—2003年共计31 a的资料。

3 结果与分析

3.1 沙尘暴发生的空间变化特征

图1为阿拉善地区及其气象站点位置示意图,图2为阿拉善地区在观测时段内各测站年均沙尘暴发生时间与年均大风发生时间的分布状况。由各测站的地理位置结合图2可知,阿拉善地区沙尘暴天气的出现具有很强的空间地域差异,其基本分布特征为:位于阿拉善地区北部的额济纳和拐子湖及东部的吉兰泰和诺尔公4个测站沙尘暴出现时间多,而位于阿拉善地区西部的中泉子、上井子及南部的头道湖、锡林高勒和巴彦浩特5个测站沙尘暴出现时间少。各测站中,沙尘暴天气年均出现时间最多的为北部的拐子湖,年均23.9 d,并以拐子湖为中心向四周辐射减少,而且拐子湖也是我国5个沙尘暴发生中心之一;沙尘暴天气年均出现时间最少的为西南部的巴彦浩特,为年均6.6 d。阿拉善地区沙尘暴发生时间的空间分布特征与大风发生时间的地理分布特征是一致的。

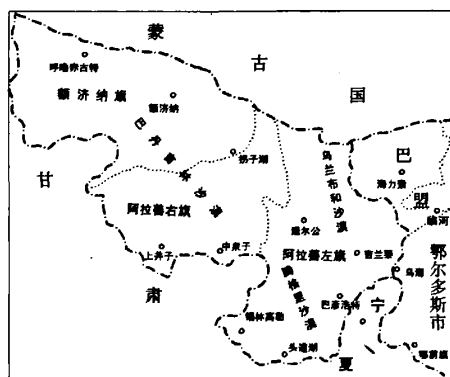


图1 阿拉善地区及其气象站点位置示意图

Fig.1 Location of Alaxan area and weather station

沙尘暴的这种空间分布特征与各测站的地形条件及下垫面特征有密切的关系。拐子湖与额济纳

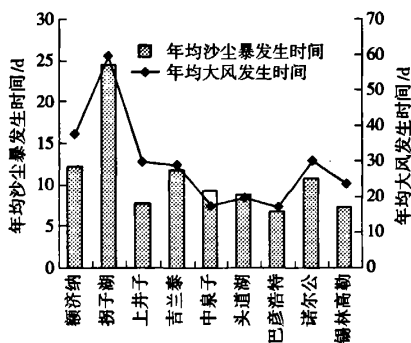


图2 阿拉善地区各测站沙尘暴及大风年均发生时间

Fig.2 Yearly mean dust-storm-days and strong wind days of all stations in Alaxan region

于巴丹吉林沙漠西北部,为沙漠浅低盆地,地形开阔平坦,其东北、东、南和西南为山地环绕,西北方向靠近中蒙边境的蒙古国戈壁,正好位于风口上,常年受大风吹蚀,年均大风发生时间分别为 59.7 和 37.6 d,为沙尘暴的发生提供了充足的动力条件。从地表沙物质来看,巴丹吉林沙漠流动沙丘占沙漠总面积的 83%,沙物质丰富,植被稀疏,受太阳辐射午后升温迅速,热力作用强烈,在风的动力作用下极易产生沙尘;因此,北部地区特别是拐子湖地区特有的地形、下垫面状况及气候特征使之成为阿拉善地区沙尘暴发生时间最多的地区。吉兰泰和诺尔公位于乌兰布和沙漠西南,地势低平,吉兰泰盆地为乌兰布和沙漠最低处,海拔 1 030 m,盆地内沉积了丰富的沙物质,年均大风发生时间分别为 28.9 和 30.3 d,沙尘暴发生时间仅次于拐子湖和额济纳。而阿拉善右旗南部分布有龙首山、雅布赖山,阿拉善左旗东南部有贺兰山,由于山体阻挡,贺兰山西侧风速有所减弱,同时 2 地地表沙物质稳定度和植被盖度优于上述地区,从而使其大风和沙尘暴发生时间相对较少,如中泉子年均大风发生时间仅 17.4 d,巴彦浩特年均大风发生时间 16.9 d,沙尘暴发生时间分别为 7.7 和 6.6 d。

3.2 沙尘暴发生的时间变化特征

3.2.1 沙尘暴的年代际变化特征 对阿拉善地区年代际的平均沙尘暴发生时间及发生频率进行统计,结果如图 3 所示。可见,阿拉善地区沙尘暴发生时间以 20 世纪 70 年代最多,年均 66.3 d,发生频率为 30.5%;其次为 60 年代,年均发生时间为 58.3 d,频率为 24.2%;90 年代发生时间最少,年均 32.7 d,发生频率为 15.1%;进入 21 世纪以来,沙尘暴发生时间年均 33.3 d,较上世纪 90 年代略有增加。从总

体趋势分析,阿拉善地区沙尘暴发生时间趋于减少,发生频率趋于降低。

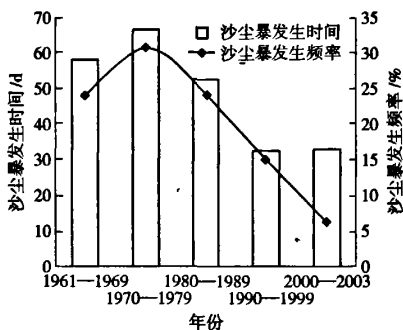


图3 阿拉善地区各年代际沙尘暴发生时间与发生频率

Fig.3 Decadal mean days and frequency of dust-storm in Alaxan region

3.2.2 沙尘暴发生的年际变化 图 4 为 1961—2003 年历年沙尘暴发生时间变化图,可以看出:阿拉善地区 20 世纪 60、70 年代沙尘暴发生时间较多,20 a 沙尘暴年均发生时间为 61.7 d,但是增减趋势不明显,最高值出现在 1966 年,全区共出现沙尘暴发生时间 98 d,最低值是 1993 年,共有沙尘暴发生时间 24 d;从 80 年代初期开始,阿拉善地区沙尘暴发生时间呈明显的波动下降趋势,但在 1993 年后,尽管沙尘暴发生时间一直低于多年平均水平,但又呈现出略微上升之势,在 2001 年达到进入 21 世纪以来的第 1 个高峰;在 1981—2003 年间,沙尘暴发生时间最多值出现在 1982 年,阿拉善地区共出现 74 个沙尘暴日,进入 90 年代以来,沙尘暴发生时间处于一个相对低发期,1990—2003 年 14 a 间,年均沙尘暴发生时间 31.5 d,远低于其他年代。

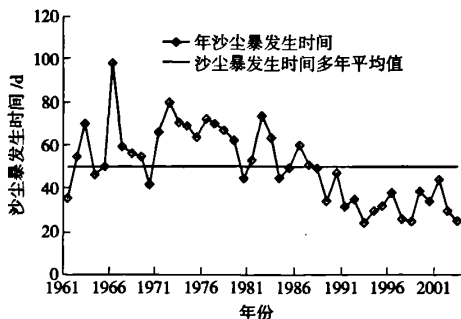


图4 1961—2003 年间阿拉善地区历年沙尘暴发生时间变化

Fig.4 Yearly variation of dust-storm-days from 1961 to 2003 in Alaxan region

对 1961—2003 年 43 a 的沙尘暴发生时间进行统计,年均沙尘暴发生时间为 50.5 d,43 a 中高于平

均水平的年份有 20 a, 占 46.5%, 低于此数值的年份为 23 a, 占 53.5%。若以多年沙尘暴发生时间为标准, 以沙尘暴发生时间变率的绝对值 $\leq 20\%$ 、 $20\% \sim 40\%$ 、 $\geq 40\%$ 为标准, 将各年份分别划分为沙尘暴正常年、偏多(少)年、极多(少)年, 其统计结果如表 1 所示。可以看出: 正常沙尘暴发生时间为正常年份的年代所占比例最大, 共 16 年, 占 37.2%; 极多年小于极少年, 二者出现的频率分别为 9.3% 和 14.0%; 偏多年略多于偏少年, 二者出现的频率分别为 20.9% 和 18.6%。从各类型出现的年份来看, 70 年代该区的沙尘暴发生时间频繁, 整个 70 年代为沙尘暴偏多年和极多年, 除 1963 年(偏多)、1966、1982 年(极多)和 1961、1989 年(极少)外, 60 年代与 80 年代基本上处于沙尘暴发生正常年水平。进入 90 年代和 21 世纪后, 沙尘暴发生时间绝大多数为偏少年和极少年, 尽管 2001 年沙尘暴发生时间较高, 但仍处于正常年水平, 属于年代际总体呈现降低水平状态下的年际波动。可见, 阿拉善地区沙尘暴在 70 年代表现为偏多或极多, 60 年代和 80 年代则表现为正常, 90 年代以来, 一直保持偏少或极少的势头, 因而, 阿拉善地区的沙尘暴变化总趋势表现为逐渐下降, 与年代际沙尘暴发生的变化趋势一致。

表 1 阿拉善地区 43 a 沙尘暴发生时间
类型划分与年份分布

Tab.1 Types and years distribution of dust-storm-days
during 43 years in Alaxan region

类型	年 份	频数	频率/%
极多年	1966、1972、1973、1982	4	9.3
偏多年	1963、1971、1974、1975、1976、1977、 1978、1979、1983	9	20.9
正常年	1962、1964—1965、1967—1970、 1980—1981、1984—1988、1990、2001	16	37.2
偏少年	1961、1989、1991、1992、1995、1996、 1999、2000	8	18.6
极少年	1993、1994、1997、1998、2002、2003	6	14.0

3.2.3 沙尘暴发生的季节变化 图 5 为阿拉善地区全年各月沙尘暴平均发生时间与月均发生频率图, 可知, 阿拉善地区一年四季均有沙尘暴发生。3—5 月(春季)沙尘暴发生时间最多, 多年平均值分别为 5.0 d/月、8.0 d/月和 8.6 d/月, 春季共计发生 21.6 d, 其发生频率为 42.8%; 6—8 月(夏季)发生时间次之, 月均 6.0 d, 发生频率为 35.8%; 秋季发生时间最少, 月均 1.6 d, 发生频率最低, 共计 9.5%; 冬季发生时间和发生频率较少, 多年平均值分别为 2.0

d/月和 11.9%。

从沙尘暴月均发生时间和发生频率来看, 存在着明显的季节性特征, 即春夏季多、秋冬季少的发生特征。这一特点属于春夏频繁型, 与和田、民勤和张掖等地沙尘暴季节变化规律一致^[5], 而与内蒙古中东部沙尘暴春季最多的特征有相异之处^[14-15]。这种春夏频繁型的分布特点与该地区的气候特点、地理条件和地面状况密切相关。春季主要受大风影响, 夏季则主要因流沙受强烈日照辐射后迅速增温, 造成局地的热力不稳定, 诱发局地沙尘暴的发生, 这也是处于沙漠中的拐子湖地区即便在盛夏也可出现能见度低于 500 m 沙尘暴的原因。

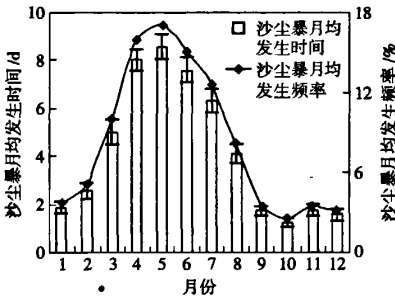


图 5 阿拉善地区沙尘暴月均发生时间与月均发生频率
Fig.5 Monthly days and frequency of dust-storm-days
in Alaxan region

3.3 沙尘暴发生影响因素分析

从沙尘暴的形成原因分析, 沙尘暴的发生必须同时具备强风、沙尘源和热力不稳定的空气层结 3 个条件^[5-7]。

从沙源来看, 阿拉善地处内陆高原, 其东、南及中部分布着乌兰布和、腾格里和巴丹吉林 3 大沙漠, 地表沙物质丰富, 为沙尘暴的发生提供了丰富的沙源。同时, 在气候暖干化的背景下, 人类强度的活动导致该区植被严重退化, 草场生产力明显下降, 地表覆盖度下降, 土地荒漠化扩张。胡杨 (*Populus euphratica*)、梭梭 (*Haloxyylon ammodendron*)、怪柳 (*Tamarix chinensis*) 3 大荒漠林面积呈不同程度的减少, 草场植物种类由 200 多种减少至 80 多种, 地表覆盖度由 60、70 年代的 10% ~ 15% 下降至 2000 年的 4.5% ~ 8.6%^[16], 荒漠景观占全盟土地总面积的百分数由 1996 年的 92.71% 增加到 2002 年的 93.14%, 且巴丹吉林沙漠与腾格里沙漠有 4 处相连, 亚玛雷克沙漠与乌兰布和沙漠有 2 处握手^[17]。荒漠化扩张和地表覆盖的减少使得更多的沙物质裸露, 诱使沙尘暴频繁发生且程度加剧。

大风是导致沙尘暴发生的动力条件。统计阿拉善地区多年平均沙尘暴发生时间与年均大风发生时间的结果表明,20 世纪 70、80 年代的大风发生时间较多,分别为 33.8 和 35.9 d/a,相应的沙尘暴发生时间处于偏多的状态,90 年代大风发生时间减少,相应的沙尘暴发生时间也降低;因此,年均沙尘暴发生时间与年均大风发生时间的年际振荡和多年变化趋势基本是一致的,同位相的,即在大风发生时间较多的年份,沙尘暴出现的频率相对增大,统计表明,二者呈极显著正相关关系,其相关系数为 0.380。为了更明确地表示大风发生时间与沙尘暴发生时间的关系,对多年月平均大风发生时间与月平均沙尘暴发生时间进行回归分析(图6),发现二

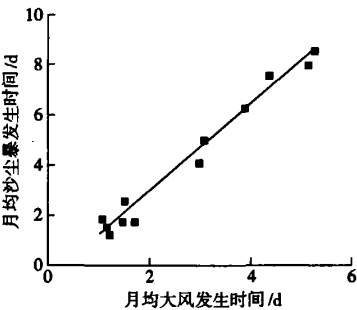


图 6 阿拉善地区月均沙尘暴发生时间与大风发生时间的关系

Fig.6 Relationship between monthly average of dust-storm-days and strong-wind-days in Alaxan region

表 2 阿拉善地区年均沙尘暴发生时间与地面气象因子的相关系数与显著性

Tab.2 Correlation coefficient and significance between yearly average dust-storm-days and surface weather factors in Alaxan region

	沙尘暴发生时间	年均气温	当年降水量	大风发生时间	春季降水量	上年降水量
沙尘暴发生时间	1.000	0.001	0.169	0.005	0.179	0.006
年均气温	-0.447	1.000	0.265	0.328	0.073	0.388
当年降水量	-0.148	-0.097	1.000	0.381	0.050	0.410
大风发生时间	0.380	-0.069	-0.047	1.000	0.395	0.160
春季降水量	-0.142	0.222	0.239	-0.041	1.000	0.097
上年降水量	-0.376	-0.044	-0.035	-0.153	-0.199	1.000

注:右三角阵为相关系数,左三角阵为对应相关系数的显著性水平。

别是春季午后地面受热增温快,空气层结很不稳定,在叠加了丰富的沙源和强风因子的基础上,极易发生沙尘暴,而在局地条件下,如拐子湖地区,即使在夏季也易因地面升温迅速而出现不稳定的大气层结,造成沙尘暴的发生。

此外,阿拉善地区气候干旱,土壤表面松散干燥,风蚀严重是形成沙尘暴的诱导因子,而水资源严

者呈极显著的线性相关,其方程为 $S_d = 1.7291W_d - 0.4579$ ($R = 0.9885$),其中, S_d 为多年月平均沙尘暴发生时间, W_d 为多年平均大风发生时间。

沙尘暴的发生是多种因子共同作用的结果,大风只是与之紧密相关的主要因子之一。为此,对该地区年均沙尘暴发生时间与地面气象因子进行相关性分析,结果如表 2 所示。可见沙尘暴发生时间除与大风发生时间呈极显著正相关外,还与该地区年均气温、上年降水量呈极显著负相关,而与当年降水量、春季降水量关系不明显。研究表明,东亚冬季风与气候变暖有密切关系,气候变暖意味着东亚冬季风弱,与之对应的沙尘暴处于减少的态势^[2]。从阿拉善地区 40 多年的沙尘暴发生时间与气温间的关系来看,20 世纪 60、70 年代沙尘暴发生次数多,但该时期的气温较低,而 1985 年后温度明显升高,而沙尘暴发生时间也恰好在 1985 年后处于负距平,二者呈现负相关,因而沙尘暴减少是气候变暖的反映。当年的降水量显著影响牧草的生长状况和土壤的墒情,更影响到第 2 年牧草的返青状况,且降水量这种滞后效应带来的影响较之于当年降水量的影响更大,因而使得上年降水量与沙尘暴发生时间的关系更为密切,这也为沙尘暴的预测提供了一个有效途径,即从当年降水量的大小预测下一年度沙尘暴可能发生的频率。

就热力不稳定的空气层结条件而言,阿拉善地区春季期间,冷暖空气异常活跃,气旋活动频繁,特

重不足、草场退化和沙化、地面缺乏有效覆盖是影响该区沙尘暴发生的生态环境因子,人为不合理的经营活动则加速了生态环境的恶化,成为沙尘暴发生的催化剂;因此,阿拉善地区沙尘暴的屡屡发生与该地区特定的气候、地理和生态环境等条件有密切关系,是特定沙漠化生态环境和气候条件、人为活动相结合的产物。

显然,干旱、多风的气候条件是造成阿拉善地区沙尘暴发生的主要影响因素,而气候条件是不以人的意志为转移的,不是人为可以控制的,所以,防治沙尘暴的积极应对措施应是严格控制人为不合理的经营行为,建立人与自然的和谐关系,逐步改善生态环境,增强地表覆盖,减缓和遏制荒漠化的进一步扩张,从而有效地减缓沙尘暴的发生频度和强度。

4 结论

1) 阿拉善地区沙尘暴天气的空间分布特征明显,沙尘暴的空间分布特征与大风发生时间的地理分布特征一致:沙尘暴发生的中心出现于北部的拐子湖,并由此向外辐射减少;沙尘暴天气多发生于西北部的额济纳和拐子湖及东部的吉兰泰和诺尔公地区,而在西部的中泉子、上井子及南部的头道湖、锡林高勒和巴彦浩特等地出现时间相对较少。

2) 阿拉善地区全年各月均有沙尘暴发生,且表现出明显的春夏季多、秋冬季少的季节性变化规律,属于春夏频繁型。以多年沙尘暴平均发生时间为基准,则正距平年份低于负距平年份,年际间则表现为正常发生年份最多,极多年少于极少年,偏多年略多于偏少年。从年代际来看,20世纪70年代沙尘暴发生时间最多,平均为66.3 d/a,表现为偏多年或极多年,60年代和80年代则表现为正常年,90年代沙尘暴发生时间最少,尽管2001年较90年代略有增加,但总体上属于水平状态下的波动现象。

3) 阿拉善地区沙尘暴的屡屡发生与该地区特定的气候、地理和生态环境等条件有密切关系,3大沙漠为沙尘暴的形成提供了丰富的沙源,冷空气活跃、大风频繁和局地热力不稳定大气层结因素是形成沙尘暴的动力源泉,而当年年均温度、上年降水量等也成为影响该区沙尘暴发生的气候因子;大风发生时间与沙尘暴发生时间呈极显著的正相关关系,平均气温、上年降水量则与沙尘暴发生时间呈极显著的负相关;生态环境的恶化、人为不合理的经营行为是造成阿拉善地区沙尘暴发生的主要诱因。

5 参考文献

- [1] 王式功. 沙尘暴研究的进展. 中国沙漠, 2000, 20(4): 349-356
- [2] 钱正安, 蔡英, 刘景涛, 等. 中国北方沙尘暴研究的若干进展//刘景涛, 刘钟龄, 李青丰, 等. 沙尘暴成因及综合防治. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 2004: 3-14
- [3] 刘志丽, 马建文, 李启青. 沙尘暴过程地面测量与卫星同步观测实验及数据分析. 地理科学, 2003, 23(5): 571-578
- [4] 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
- [5] 邱新法, 曾燕, 缪启龙. 我国沙尘暴时空分布规律及其源地和移动路径. 地理学报, 2001, 56(3): 316-322
- [6] 钱正安, 宋敏红, 李万元. 近50年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析. 中国沙漠, 2002, 22(2): 106-111
- [7] 丁瑞强, 王式功, 尚可政. 近45 a我国沙尘暴和扬沙天气变化趋势和突变分析. 中国沙漠, 2003, 23(3): 306-310
- [8] 王式功, 王金艳, 周自江, 等. 中国沙尘天气的区域特征. 地理学报, 2003, 58(2): 193-200
- [9] 全林生, 时少英, 朱亚芬, 等. 中国沙尘天气变化时空特征及其气候原因. 地理学报, 2001, 56(4): 477-485
- [10] 刘景涛, 郑明倩. 内蒙古中西部强和特强沙尘暴的气候学特征. 高原气象, 2003, 22(1): 51-64
- [11] Dong Zhibao. Wind Erosion in Arid and Semiarid China: An Overview. Journal of Research, 2000, 20(2): 134-139
- [12] 张明铁, 史生胜, 张巍, 等. 额济纳绿洲生态环境变化及原因. 中国水土保持科学, 2003, 1(4): 56-60
- [13] 董智, 李红丽, 孙保平, 等. 乌兰布和沙漠东北缘磴口县沙尘天气变化规律及其对防护林体系建设的响应. 干旱区资源与环境, 2004, 18(增刊): 269-275
- [14] 王革丽, 吕达仁, 尤莉. 浑善达克沙地沙尘暴气候特征分析. 气候与环境研究, 2002, 7(4): 433-439
- [15] 董智, 姚云峰, 李红丽, 等. 额济纳绿洲生态环境现状与综合治理对策. 干旱区资源与环境, 2000, 14(增刊): 1-4
- [16] 王承安, 安春梅, 杜斌, 等. 内蒙古阿拉善盟生态环境“3S”技术定量动态分析. 测绘科学, 2005, 30(3): 78-79, 82

(责任编辑:宋如华)

- [1] 夏训诚, 杨根生. 中国西北地区沙尘暴灾害及防治. 北