

我国沙尘暴灾害述评及减灾对策

吴焕忠 (国家环境保护总局 荒漠化研究中心 江苏 南京 210042)

摘要: 综合了有关沙尘暴研究的主要成果, 对沙尘暴的危害方式与影响, 沙尘暴的空间分布与发展趋势, 沙尘暴的成因和沙尘物质来源及人为因素影响, 沙尘暴的运移路径等分别进行评述, 在此基础上综合提出了沙尘暴减灾的 6 大宏观对策。

关键词: 沙尘暴; 自然灾害; 生态灾害; 减灾

中图分类号: X43; P429; P445 文献标识码: A 文章编号: 1001-5906(2002)02-0001-05

Hazard of Sandstorms/Duststorms in China and the Control Countermeasures. Wu Huanzhong (Desertification Research Center, State Environment Protection Administration, NANJING 210042); *Rural Eco-Environment*, 2002, 18(2):1-5, 23

Abstract: Based on major findings in the research on sandstorms/duststorms, reviews were made individually on their patterns and impacts, spatial distribution and developmental trend, cause of formation and sources of sands and dusts and impacts of anthropogenic factors, and routes of movement. Thereupon, six macroscopic strategies are brought forward comprehensively for alleviating the hazard of sandstorms/duststorms.

Key words: sandstorm; duststorm; natural catastrophe; ecological hazard; hazard alleviation

沙尘天气是强风把地面的大量尘沙物质卷扬到空中并随气流悬浮运移, 使空气混浊、能见度下降的风沙天气, 它主要发生于干旱、半干旱地区, 但也波及到半湿润乃至湿润地区。气象上根据水平能见度的不同, 将沙尘天气分为浮尘、扬沙和沙尘暴 3 个不同的等级: 能见度 > 10 km 的为浮尘天气; 能见度在 1~10 km 的为扬沙天气; 能见度 < 1 km 的为沙尘暴, 它是一种灾害性天气^[1-2]。通常又将最大风速 ≥ 20 m·s⁻¹、最低能见度 ≤ 200 m 者定为强沙尘暴, 最大风速 ≥ 25 m·s⁻¹、最低能见度 ≤ 50 m 者为特强沙尘暴^[1]。有学者亦根据颗粒物的大小将沙尘暴分为沙暴和尘暴, 沙暴以细沙粉沙的飞扬为特征, 尘暴以尘埃的飞扬为特征^[3]。沙尘暴既是一种气象灾害, 也是生态环境恶化的征兆^[4]。

1 沙尘暴的危害与影响

1.1 近年来特大沙尘暴个例

1993 年 3 月 4 日至 6 日黑风暴雨席卷了新疆

东部、甘肃河西走廊、内蒙古阿拉善盟、宁夏银川平原和陕北, 平均持续时间约 5 h。该沙尘暴锋面前移速度 $14 \sim 17$ m·s⁻¹, 瞬时最大风速 34 m·s⁻¹, 黑霾墙高度 $300 \sim 400$ m, 最高 700 m, 能见度 $0 \sim 100$ m。造成 85 人死亡、264 人受伤、31 人失踪; 毁坏房屋 4 412 间; 被毁牧场数百万亩, 死亡和丢失大小牲畜 12 万头(只); 农作物受灾面积达 37 万 hm², 其中绝产或严重减产的 11 万 hm², 受灾果树 1.6 万 hm², 11 万株防护林及用材林被连根拔起或折断, 数百亩塑料大棚被毁坏。受灾严重的河西走廊局部农田风蚀深度达 $10 \sim 50$ cm, 吹失土量平均达 $3 \sim 150$ m³·hm⁻²。沙漠边缘的沙丘向前移动 $1 \sim 8$ m, 降尘达 $161 \sim 256$ t·km⁻², 沙埋水渠总长 2 000 多 km。兰新铁路干线因此中断运输 31 h, 内蒙古乌海市至吉兰泰中断 4 d, 造成 37 列火车停

运或晚点;刮断、刮倒电杆 6 021 根;永昌电厂的 14.5 万 m^3 炉灰和金昌公司的 30 万 m^3 尾矿全部被吹向了空中;吉兰泰盐矿堆放的 28 万 t 工业用盐和芒硝被刮得无影无踪。灾后估算,这次黑风暴造成的直接经济损失达 6 亿元,是近年灾情最严重的一次沙尘暴^[3-4]。

1998 年 4 月 15 日 9 时,形成于内蒙古西部的沙尘暴持续达 4 d,波及长江以北广大地区,北京“泥雨霏霏”;其时空中总悬浮颗粒物最高达 $69.0 \text{ mg} \cdot m^{-3}$,超过大气环境质量标准 230 倍,部分地区能见度只有 300 m。受沙尘暴影响,北京、济南、南京至杭州出现扬沙浮尘天气^[5]。北京、济南机场关闭,多次班机停飞,造成直接经济损失 3.22 亿元^[4]。

1.2 沙尘暴危害方式

沙尘暴特别是强沙尘暴危害巨大,其危害方式主要有^[1-3,6]:

(1) 风沙流的吹蚀和磨蚀,轻者刮走农田表层沃土,重者风蚀土壤深度可达 10~50 cm,使农作物根系外露或连苗刮走,使肥沃的土壤变得贫瘠粗化,农作物及各种设施遭到损害。

(2) 风沙流搬运的大量沙粒沉积后,掩埋邻近沙尘暴源区的农田、草场、灌渠、村舍、居民区、工矿、铁路、公路及其它设施,加剧土地沙化。据估算,在“93.5.5”一次沙尘暴中,甘肃河西的金昌、武威、民勤、古浪 4 市县扬沙尘量为 6.17 亿 t。

(3) 与沙尘暴相伴的大风本身就具有强大的致灾力量,沙尘暴发生时的风速往往超过 $20 \sim 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,破坏力巨大的风沙可以袭击各种工农业设施,摧毁建筑物及公用设施、树木和花果,伤害人和畜禽,吹翻火车,刮断、折倒通讯和电力线、杆等。

(4) 急剧变化的恶劣天气可能导致部分人群产生精神障碍。沙尘暴往往是在很短的瞬间,由静风或小风而突然转为 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上的大风。狂风突起时,飞沙走石,水平能见度急剧减小。遭遇强沙尘暴天气时,很快就天昏地暗,空气混浊,呼吸窒息不畅。对此缺乏科学

认识的一般群众,一些小孩、中、小学生以及某些存有迷信思想的人,甚至会被此种恐怖可怕的情况吓得失常,不能控制自己的情绪冷静地采取有效防护措施。

(5) 沙尘暴还会引发众多次生灾害。附着在农作物叶面上的尘土直接减弱植物的光合作用和呼吸作用,严重阻碍作物的生长;浮尘对于精密机械、精密化工以及航空等交通设施,也有着严重的破坏性影响;电力线、杆和变压器台被刮断、倒塌,继而可能引发火灾;强沙尘暴天气能见度过低,可造成飞机停飞,可能引起各种交通事故的发生;沙尘暴消弱地段有时会有降雪和霜降等冻灾,导致农作物大幅度减产,甚至绝收等。

(6) 大量沙尘进入高空,可随风飘散到数千 km 以外,对大气环境产生严重尘污染,使呼吸道疾病发病率显著增加,严重影响人群健康。

1.3 沙尘暴的影响

由于沙尘暴天气过程所引发的气候学效应,对大气能见度、大气云物理特性、大气光学特性、地气辐射平衡等的影响,特别是由于沙尘暴导致的自然生态环境的破坏,都是今后值得人们关注的沙尘暴影响^[1]。

凡沙尘暴所到之处,能见度骤降,直接太阳辐射大大减弱。如 1988 年 4 月 9 日至 16 日,我国发生了一次大范围沙尘暴天气,北京在沙尘暴侵入前与侵入时,水平能见度由 10.3 km 下降为 1.2 km,直接太阳辐射减弱到^[1]。

一次强沙尘暴的影响范围:浓密沙尘带宽度在 200 km 左右,运移距离可达数千 km,总面积达 100 万 km^2 以上。重沙暴区影响高度在 2 500~3 200 m 之间,轻沙暴区影响高度在 1 000~2 500 m 之间^[1]。当沙尘云顶高度在西北地区为 2 100 m 时,在华北地区则为 4 500 m^[1]。有时受垂直气流作用,部分沙尘由边界层卷入低涡中心,造成更远更高的沙尘输送,形成朝鲜半岛及日本的泥雨和浮尘天气^[7]。

关于源自中国西北部半径 $\leq 10 \mu\text{m}$ 的悬浮沙尘及其长距离飘运,已经引起周边国家,如美

国、日本等的关注。美国根据北太平洋 7 个站的观测研究认为,自亚洲大陆到达北太平洋 $25^{\circ} \sim 40^{\circ}\text{N}$ 之间的尘粒,估计每年在 $(2.3 \sim 566) \times 10^6 \text{ t}$ 。据统计,从亚洲大陆输送至日本 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}\text{N}$ 范围的黄沙尘(即浮尘)春季为 $(3.5 \sim 4.5) \times 10^6 \text{ t}$,全年为 $(4.1 \sim 5.3) \times 10^6 \text{ t}$ 。据日本向日葵号人造卫星观测,黄沙漂浮最大高度不在塔克拉玛干沙漠附近,而在黄河流域下游,并且近年来这种黄沙漂浮很严重,其中相当部分又在 $10 \mu\text{m}$ 以下,它显然来自深耕的农田沃土。

2 沙尘暴的分布与趋势

2.1 沙尘暴的空间分布

全球沙尘暴主要发生在中国西北地区、西南亚地区、阿拉伯地区、非洲撒哈拉与萨赫勒地区、美国中南部地区、中亚地区和澳大利亚^[1]。我国沙尘暴多发区集中在西北和华北北部,主要分布如下^[1-2 6 8-10]:

(1) 甘肃河西走廊与内蒙古阿拉善盟

甘肃河西走廊,包括河西走廊、金塔盆地、民勤盆地,以及腾格里沙漠西南缘,为沙尘暴高发区,高频率中心分别在金塔、民勤,年平均沙尘暴日数分别为 27.0 和 37.8 d。

内蒙古阿拉善高原,含巴丹吉林和腾格里两大沙漠,为沙尘暴高发区;其中,东部的额伦布拉斯格年平均沙尘暴日数高达 48.0 d,东南部腾格里沙漠与贺兰山之间的腰坝为 27.5 d,北部的拐子湖为 28.6 d,是 3 个高频率中心。

(2) 新疆塔克拉玛干沙漠周边地区,包括塔

里木盆地南缘及西部喀什噶尔冲积平原,塔里木盆地北缘和西部柯坪盆地(其中盆地南缘(从最西边的莎车直到东侧的若羌),喀什噶尔冲积平原,以及柯坪盆地为沙尘暴高发区,高频率中心在皮山、和田、民丰、柯坪,年平均沙尘暴日数分别达 30.4、32.9、35.4 和 38.8 d)。

(3) 内蒙古阴山北坡及浑善达克沙地毗邻地区。如河北坝上西部也是一个沙尘暴多发区,其中张北年平均沙尘暴日数在 20 d 以上。

(4) 蒙陕宁交界地区及鄂尔多斯高原

内蒙古河套平原为高发区,其中,乌海年平均沙尘暴日数 25.6 d,包头 21.6 d,是高频率中心。鄂尔多斯高原为高发区,高频率中心在杭锦旗,年平均沙尘暴日数 27.0 d。宁夏平原及中部盐池、同心旱作地区,其中盐池、同心为高发区,年平均沙尘暴日数在 20 d 以上。陕北长城沿线,包括榆林市及所辖各县,其中定边为沙尘暴高发区,年平均沙尘暴日数 27.5 d。

(5) 西北地区还有一些范围较小的沙尘暴多发区,如新疆北部的莫索湾、吐鲁番盆地和哈密盆地,青海的格尔木和贵南,甘肃的会宁。

此外,西藏也有 2 个沙尘暴多发区,一个在藏北的改则、申扎,为沙尘暴高发区,年平均沙尘暴日数在 20 d 以上;另一个在拉萨东南的泽当。

2.2 沙尘暴的发展趋势

根据新近研究结论,我国沙尘暴从 20 世纪 50 年代以来呈波动减少之势,其中 20 世纪 60 年代和 20 世纪 70 年代略有上升,20 世纪 80 年代至 20 世纪 90 年代在减少中有回升,但 1999 年,特别是 2000 年又急剧增加,强或特强沙尘暴达 9 次之多,为近 50 a 之最。1999 年沙尘暴出现时间之早、强度、持续时间之长都创了有现代气象观测以来的最高记录,3 月初河西走廊和兰州一线就出现沙尘暴,至 8 月 14 日,河西走廊西部的敦煌、阿克塞、安西、玉门仍有中等强度的沙尘暴发生,北方沙尘暴的影响已逐步扩大到长江流域。2000 年的沙尘暴对江苏、安徽、湖北、上海等地影响明显^[1-2 4 9-10]。

观测资料表明,近几十年来我国北方的气候有明显干旱化的趋势,未来几十年内,全球气候呈变暖趋势,北方内陆地区降水量变化不大,但温度显著增高,地表蒸发加大,土壤干旱,为沙尘暴发生提供了气候条件。如果按照现有情况继续下去,在 10 ~ 20 a 内,除了个别自然条件好、生态环境得到改善的地区外,西北和华北北部大部分地区沙尘暴的频率、强度和危害程度,有进一步加大的可能。专家预测,在全球气温上升和我国北方生态环境状况没有根本好转

的情况下,如果再逢反厄尔尼诺现象引起强冬季季风年,像 2000 年那样甚至更严重的沙尘暴天气仍可能出现^[2 6]。

3 沙尘暴的成因及其与人为活动的关系

沙尘暴作为一种气象灾害和生态环境问题,早已引起世界各国的注意。20世纪30年代美国西南部大草原的过度开垦、放牧和20世纪50年代哈萨克斯坦的大量开垦荒地,均导致地表和植被的严重破坏,加之气候干旱,使以百万t计的沙尘被吹走,大面积农田被毁,造成极其严重的沙尘暴灾害。非洲撒哈拉沙漠南缘萨赫勒地区,在20世纪70年代初至20世纪80年代中,由于连续大旱、草原破坏、田地荒芜、风沙蔓延、尘沙四起,使千百万人流离失所,景象十分悲惨^[6]。因此,沙尘暴既是一种自然灾害,又是一种人为灾害。

3.1 沙尘暴的成因及运行路线

3.1.1 沙尘暴的成因

沙尘暴的形成必须同时具备3个基本条件:一是大风,这是构成沙尘暴的动力条件;二是裸露于地表的尘沙物质,这是沙尘暴的物质基础;三是具有强劲对流的不稳定空气状态,这是重要的局地热力条件^[1-2 6-7]。仅有第一个条件,则只是一种大风天气;仅有第一、第二两个条件,则形成近地面的局地的风沙天气;只有当3者有机结合,才形成波及较大范围和高度的沙尘暴天气。

我国西北地区地处欧亚大陆内部,远离海洋,气候干燥,降水稀少,植被稀疏,具有丰富的沙源。每年春季风力强劲,平均风速达4~6 m·s⁻¹,年超过临界起沙风速(5 m·s⁻¹)的天数为200~300 d,8级以上大风天数为20~80 d,加之春季地温升高,土层松动,对流旺盛,强劲的大风和上升气流极易将地表沙尘卷入高空,形成沙尘暴^[2]。

3.1.2 沙尘暴的运行路线

沙尘暴的形成和运行路线与大气环流、大的山体走_下^行有_有^极大关系。我国北方地处北半球

西风环流带,西北地区多西—东和北西—南东东走向的山脉,山体交汇处又多聚风的峡谷。现代大范围沙尘暴比较集中的运行路线有二:第一条形成于东疆戈壁地区,在甘肃河西走廊和内蒙古阿拉善地区形成强大的沙尘暴,横扫宁夏、鄂尔多斯高原和陕北、陇西、陇东、关中平原,势力减弱后进入中原地区,一直影响到长江流域;另一条主要线路一般形成于中蒙边境戈壁地区,在内蒙古高原(阴山以北)得到加强,从西北部进入河北省,越过燕山进入北京后成为尘暴^[4]。

影响北京的沙尘路径主要有3条,一是西北偏北路径,即沿蒙古国东南部戈壁荒漠区、内蒙古浑善达克沙地经河北黑河河谷至北京;二是西北路径,即沿内蒙古朱日和经河北洋河河谷至北京;三是偏西北路径,即沿河北桑干河河谷经永定河河谷至北京。从上述路径分析,内蒙古阿拉善盟、黄土高原和毛乌素沙地、内蒙古库布齐沙地、浑善达克沙地、河北北部,以及蒙古国戈壁荒漠区,都可能是影响北京的沙尘暴策源地^[2]。

3.2 沙尘暴的多源性特征

以2000年4月3日至9日的沙尘暴为例,初始沙尘暴源地主要发生于蒙古高原、浑善达克沙地西部和南部的沙漠边缘、面积相对较小的沙地和裸露耕地及草地。初始点源区及冷空气路径上源区的沙尘随气旋进入自由大气,经气流的辐合作用及远距离输送通道上的动量下传以及地形形成的气流下沉作用,输入北京地区,属北京地区沙尘暴的远距离输送;点源沙尘暴群在华北地区并合形成区域性沙尘云区或称为面源沙尘暴,属北京地区近周边边界层输送^[7]。

西北地区沙尘暴的沙尘源分为2类:一类是自然的第四纪沉积物堆积类型,如沙漠风成沙、戈壁沙砾、风蚀劣地、第三纪红色砂岩、现代流水冲积物、湖积物、黄土、沙黄土。另一类是人类生产活动的人工堆积物类型,如尾矿砂、废弃土、炉灰、工业盐、垃圾、建筑尘等露天堆积

物^[6]。我国北方的沙漠、沙地、戈壁和广泛分布的黄土是沙尘的主要来源,北方农牧交错地区冬闲旱田(雨养田)经过冬耕春耙也为沙尘暴提供了沙尘,一些城镇周边人工堆积物也是不可忽视的沙尘源^[4]。

3.3 人类不合理活动加剧了沙尘暴

人类活动严重破坏了植被和地表结构,生态环境严重恶化又会使沙尘暴次数增多,所以有人认为“今天空气中的浮尘主要来源于世界沙漠,而未来则可能主要来自人类活动”。沙尘暴是恶劣生态环境的产物。绿化的欧洲可以出现12级大风,却无沙尘暴天气出现,则从另一个方面说明了这一问题^[1]。

观测表明,不同地表沙尘临界起动风速差异很大。地面疏松则起动风速小,起动风速由小到大排列顺序为沙丘地、砂壤土、沙砾戈壁、粘土地,由 $3.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 上升到 $17.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;而受扰动的土地起动风速则大大降低,如粘土地受扰动后起动风速则由 $17.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 下降到 $5.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。相同风速下,受扰动的土地的风蚀量大大增加,如土地翻耕之后的风蚀量在7~12级风力之间为未翻耕时土地风蚀量的14.8倍。当植被盖度为30%~50%时,近地面风速可削弱50%。地面输沙量仅相当于流沙地段的1%。在流动沙丘之间的低风口处,近地面风沙流输送的流沙量达 $14 \text{ m}^3 \cdot (\text{m} \cdot \text{a})^{-1}$,而封育地段通过的沙尘量仅 $0.7 \text{ m}^3 \cdot (\text{m} \cdot \text{a})^{-1}$,相当于流沙量的1/20。同时植被可截持落尘,形成结皮,抗御风蚀。这些说明了下垫面条件对沙尘暴形成的重要影响^[6]。

沙尘暴的形成主要受气象、地理条件等自然因素影响,但乱垦、乱挖、滥伐、过牧、无保护的建筑与耕作、露天采矿、工业废物的随意堆放、水资源过度开发等不合理的人类活动,都会破坏植被,导致土地裸露、沙化,严重破坏地表结构,扩大了沙尘暴发生的范围,增加了沙尘暴的强度,加剧了沙尘暴的危害^[2]。

3.4 人口快速增长对沙尘暴的影响

我国沙尘暴有扩大的趋势,特别是现代时

期发展尤甚,这种现象同气候的周期性变化也许有一定关系,但是几种社会经济因素,如人口增长、战乱、垦殖等对沙尘暴的发生也有或多或少的影响^[1]。

人口快速增长及由此引起的大规模农垦为沙尘暴形成和扩大提供了有利条件。自建国以来,我国社会稳定,但人口增长很快,全国人口数量从1949年的5.4亿增至1990年的11.6亿,增长了115%;而西北地区人口到1982年却增长了163%,较全国人口增长速度至少高50个百分点。随着人口增长和生产建设的发展,需要大规模开垦土地和开发各种自然资源,不可避免地造成对生态环境的严重扰动;加上西北地区本身自然条件差(雨水少、风多、土质疏松),生态环境十分脆弱,为沙尘暴的发生提供了有利条件^[1]。

4 沙尘暴的减灾对策^[1-2,10]

目前人类还无法控制大风、强劲对流天气,也不可能根除沙尘源,因此不可能彻底消除沙尘暴灾害。但是,对沙尘暴灾害的防治,有可能着眼于生态环境的保护,即从遏制生态环境中的沙尘源入手,从而减弱沙尘暴的强度,缩小沙尘暴的范围,并减轻沙尘暴的危害。沙尘暴减灾对策的关键,是切实加强生态环境保护和建设,以减小沙尘暴的危害。具体内容如下:

(1) 在全民中深入开展生态环境形势警示教育,增强忧患意识,鼓励并发动公众积极参与生态环境保护,加强关于沙尘暴和生态学知识的科普宣传,树立生态环境保护优先、预防为主的思想,同时让沙尘暴易发区的民众掌握沉着应变的防灾方法。

(2) 完善生态环境保护管理体制,建立环境与发展综合决策机制,加强生态环境保护的立法工作,加大执法力度,把生态环境保护纳入法制化轨道。凡国家和地方的重大决策,以及重大的工程项目、资源开发项目和农林牧开发项目,都要先进行生态环境影响评估,避免和防止

(下转第23页)

对麦田水热传输的作用[J].地理研究,1999,18(1):24-

30

- [5] 彭方仁,黄宝龙,李杰,等.海岸带复合农林系统植物蒸腾耗水规律研究[J].南京林业大学学报,1999,23(6):19-22

- [6] 康绍忠,刘晓明,熊运章.土壤-植物-大气连续体水分传输理论及其应用[M].北京:水利电力出版社,1994:78

-85

- [7] 刘昌明,王会肖,等.土壤-作物-大气界面水分过程与节水调控[M].北京:科学出版社,1999:120-121

作者简介:段华平(1975—),男,湖南茶陵人,硕士生,主要研究方向为农业生态。

(上接第5页)

产生较大的生态破坏和生态影响。

(3)坚持生态保护与生态建设并重的方针。生态保护重点在“防”,主要是通过经济的、社会的和法律的手段,加强监管,防止毁林、垦草,节约和合理调配水资源,对良好生态系统或经过恢复重建的生态系统采取积极的保护措施;生态建设重点在“治”,主要是通过生物与工程相结合的措施,对已经破坏的生态系统进行治理,使其得以重建和恢复。

(4)遵循生态规律,开展生态环境保护与建设工作。沙尘暴发生区主要分布于我国西部和北方,西部和北方地区生态系统脆弱,自然条件复杂,年降水量不足400 mm,属干旱半干旱草原地带和荒漠地带,并不适宜普遍植树造林,退化的林地、草地一般通过封育3~5 a即可起到防风固沙的效果。因此,西部地区生态建设必须因地制宜,遵循自然规律。主要是加大封育力度,人工恢复与自然恢复相结合,宜林则林,宜灌则灌,宜草则草,对不适宜植树种草的荒地不要轻易破坏地表结构。同时,应切实加大防风固沙生态功能区的退耕还林还草力度,在防风固沙区抢救性建立一批生态功能保护区。

(5)加强生态保护区划与规划工作,把沙尘暴减灾作为其中一项重要内容,严格控制沙漠化地区的开发。按照沙尘暴的严重程度、受灾程度、受影响程度及沙尘暴运移路径划分沙尘暴重点防护区和沙尘源重点控制区,把有限的人力、物力和财力集中用于沙尘暴重点防护区

和沙尘源重点控制区,在搞好生态保护的同时,最大限度地减轻沙尘暴的危害。

(6)组织多学科力量,加强沙尘暴的科学的研究,加快沙尘暴源区监测网的建设,进一步掌握沙尘暴发生发展的机制和规律,做好对沙尘暴的预警预报,减轻沙尘暴灾害带来的损失。

参考文献:

- [1] 方宗义,朱福康,江吉喜,等.中国沙尘暴研究[M].北京:气象出版社,1997
- [2] 国家环境保护总局.我国沙尘暴发生情况及防治对策[J].环境保护,2001(4):19-20
- [3] 申元村,杨勤业,景可,等.我国的沙暴、尘暴灾害及其防治[J].中国减灾,2001,11(2):27-30
- [4] 陈广庭.沙尘暴威胁着我们[M].中国人口资源环境与可持续发展战略研究.北京:中国环境科学出版社,2000:735-736
- [5] 崔书红.1998年特大沙尘暴[M].中国环境年鉴.北京:中国环境科学出版社,1999
- [6] 夏训诚,杨根生.中国西北地区沙尘暴灾害及防治[M].北京:中国环境科学出版社,1996
- [7] 李令军,高庆生.2000年北京沙尘暴源地解析[J].环境科学研究,2001,14(2):1-3
- [8] 赵雪,赵文智,宝音,等.河北坝上脆弱生态环境及整治[M].北京:中国环境科学出版社,1997
- [9] 钱正安,宋敏红.近50年来中国沙尘暴的分布、变化及预测[N].中国环境报,2001-08-15(4)
- [10] 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所.中国北方沙尘暴现状及对策[N].中国环境报,2001-08-15(4)

作者简介:吴焕忠,男,国家环境保护总局南京环境科学研究所研究员,兼国家环境保护总局荒漠化研究中心主任。