

中国西北干旱区沙尘暴物质源地的遥感估算

颜长珍, 王一谋, 冯毓莉, 王建华, 祁 元

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000)

摘要: 以中国西北地区 2000 年的 TM 影像为信息源, 在全数字方式下运用遥感技术与地理信息系统技术结合建立了西北地区沙尘暴物质源地数据库。通过分析得出: 2000 年全区有沙尘暴源区 196,165,449 hm^2 , 占总土地面积的 63.66 %。在冬春季全区有沙尘物质源地 139 $\times 10^4$ hm^2 , 占沙尘暴源区面积的 70.66 %, 其中强度和弱度沙尘物质源地的面积所占比例总体相近, 相比较而言全区供尘物质的面积大于供沙物质的面积。沙尘物质源地夏秋季比冬春季减少 5.90 %。

关 键 词: 遥感; 西北地区; 沙尘物质源地

中图分类号: P445.4; TP79

1 引言

贺兰山以西的西北地区(甘肃、宁夏、青海、新疆及内蒙古)分布着大面积的沙漠和戈壁, 是我国沙漠、沙地和沙漠化土地的主要分布区和沙尘暴的主要源区。据本项目同期遥感调查数据, 2000 年全区有沙漠、沙地 84252103 hm^2 , 占本区总土地面积的 25.63 %, 占全国沙漠、沙地面积的 67.82 %。西北地区是我国沙尘暴高频多发中心, 它们既是沙尘暴灾害的重灾区, 也是造成其它地区沙尘暴的主要源区^[1, 2]。沙尘暴频发一方面是区域土地退化、植被盖度减少、地表疏松细颗粒物增多和气候干旱化表现, 另一方面沙尘暴又促使土地进一步退化, 生态环境更加恶化。沙尘暴是一种发展迅速、生命史短、影响面积大、破坏力强的灾害性天气, 它的产生是以大面积沙尘物源区内地表存在的疏松细颗粒物为基础。因此, 沙尘暴源区圈定及对沙尘物质源地地面沙尘物质裸露和植被活化情况监测分析是研究沙尘暴成因及动态变化的一个重要方面。遥感技术与地理信息系统技术结合为宏观快速研究地表沙尘物质源地提供了方便手段, 以此可以定性、定量和定位确定沙尘物质源地, 分析其变化的关键因子, 制定相应的保护措施。

目前对沙尘暴的研究主要集中在沙尘暴成因的大气动力条件和危害的个例分析中, 如赵兴梁、徐国昌、王式功等的研究^[3-7]; 或者是对沙尘暴发生的趋势、时空分布和治理对策的宏观分析, 如邱新法、叶笃正、王式功、杨东贞等的研究^[1, 8-10]; 或者是对沙尘暴发生源地下垫面的宏观和微观研究, 如张国平、刘连友的研究^[11-12]; 而对沙尘暴物质源地现状的分析及其动态变化的监测很少开展, 使得在分析沙尘暴发生次数增多的原因时

收稿日期: 2002-10-20; 修订日期: 2002-12-02

基金项目: 中国科学院知识创新项目 (KZCX1-Y-02) [Foundation Item: Knowledge Innovation Project of CAS, No. KZCX1-Y-02]

作者简介: 颜长珍 (1967-), 甘肃人, 博士。主要从事遥感与地理信息系统应用及沙漠化监测等领域研究。

E-mail: yanzzt@public.lz.gs.cn

缺乏沙尘物质源变化的详细定量对比资料, 仅能定性地提及荒漠化土地增多。本文利用遥感技术与地理信息系统技术相结合, 从宏观和高分辨率的角度对西北地区沙尘暴物质源地的现状作以分析, 从另一方面为本地区沙尘暴的监测研究提供基础数据。

2 沙尘暴源区及沙尘物质源地的界定

沙尘暴的形成必须满足地表疏松细粒物质和风力搬运的动力两个条件。当动力条件满足时, 沙尘暴的发生发展就随不同的地表条件而定, 有植被保护的地表和未耕作的耕地抗风蚀力强, 难以成为沙尘暴物质源地, 而无植被覆盖或植被覆盖度低的裸露疏松细粒物质的地表都可以是潜在的沙尘暴物质源地。西北地区的几大山系由于气候较湿、植被覆盖好, 土壤风蚀小, 为非沙尘源区, 除此以外的其它地区由于气候干旱、植被稀疏都有可能为沙尘暴源区, 存在大量沙尘暴物质源地。

在沙尘暴源区内沙尘暴物质源地判定的依据是: 在土地资源类型中, 裸岩、水体和建设用地都不具备有细粒物质的条件, 构不成沙尘暴物质源地。林地和中高覆盖度草地由于植被覆盖度高, 地表物质在植被保护下难以被风蚀, 也不具备构成沙尘暴物质源地的条件。耕地由于地表植被覆盖率在年内变化与农事活动有极高的一致性, 耕地是否是沙尘暴物质源地是由种植制度和农事活动特点决定的, 每年的 11 月至第二年的 3 月为休耕期, 降水少, 耕作后的土壤破坏了地表植被和土壤持结力, 抗风蚀力弱, 成为强沙尘暴物质源地。据风洞实验研究翻耕与未翻耕土壤风蚀量在 7~12 级风力之间相差 13.8 倍^[12]。从 4 月初至 5 月底, 为旱地作物播种及发芽出苗期, 虽植被盖度低, 但由于灌溉土壤含水量高土壤抗风蚀力较强, 为弱沙尘暴物质源地; 从 5 月初至 10 月底, 作物生长旺盛期, 降水丰富, 地表覆盖率高, 此期间耕地属于非沙尘暴物质源地。干旱区的低覆盖度草地由于植被稀疏难以对地表土壤进行有效保护和阻止土壤细粒物质被风蚀, 属于弱沙尘暴物质源地。戈壁由于砾石间夹有细粒沙土, 也属于弱沙尘暴物质源地。

因此, 沙尘暴源地的构成冬春季 (前年 11 月至本年 4 月) 主要是沙地、盐碱地、砾质戈壁、裸上、低覆盖度草地和耕地等 6 种类型, 夏秋季 (5 月至 10 月) 主要是沙地、盐碱地、砾质、裸上和低覆盖度草地等 5 种类型。

3 沙尘物质源地专题信息的提取方法

本研究基于遥感与地理信息系统技术结合, 利用在全数字方式下建立的 2000 年土地利用现状空间数据库和地理环境背景数据库, 主要采用知识挖掘的方法经过以下技术路线提取沙尘暴物质源地的专题信息。

(1) 确定沙尘暴源区: 有可能为沙尘暴提供物质的地表必须满足地表具有细粒沙土和土壤质地疏松且粘聚力小而无植被保护两个条件。西北地区能够产生细粒物质的土壤质地粘质、壤质、砂质及砾质, 而半干旱、干旱及极干旱区的这种性质的土壤由于含水量低质地疏松, 植被稀疏又难以保护地表免受风蚀。因此, 从地理环境背景数据库中从以干燥度为指标的湿润度层面提取半干旱、干旱和极干旱气候区, 即是沙尘暴源区。

(2) 沙尘暴物质源地: 将沙尘暴源区范围层面与土地利用现状层面叠加, 提取能提供沙尘暴物质的土地利用类型, 即可获取沙尘物质源地分布的专题信息。

4 西北沙尘暴源区的地表覆盖特征

西北地区由于气候干旱和水资源缺乏, 沙尘暴源区的土地利用程度低, 65.28 % 的

土地为难利用土地，只有 34.72 % 的土地被利用或可利用，而其中又以草地所占的比例最大 (表 1)。近年来在人为过度的利用和滥采滥挖的破坏下，草地大面积出现“三化”现象，全区以沙漠化为主的土地退化严重。如根据本项目同期遥感调查数据，1986~2000 年由以草地沙漠化为主的多种因素造成本区新增沙漠化土地 1394181 hm²，使沙漠、沙地增加了 1.68 %。土地沙漠化为沙尘暴提供了更多的物质基础，使得沙尘暴发生的频率更高、范围更大和破坏程度更为严重，最近连续 3 年大范围频发的强沙尘暴除与本区持续干旱和不稳定天气引发的大风有关外，土地沙漠化造成的沙尘暴物质源地的扩大也是主要原因。除草地外，耕地是已利用土地中所占比例较小的部分，仅占 4.17 %，但它是重要的沙尘暴物质源，应改变现有的作物收获后深翻耕地的传统耕作方法，大力推广经济有效的留茬越冬免耕播种技术，就可达到保护耕地和减少冬春季沙尘暴物质源地的双重目的。

表 1 2000 年西北地区沙尘暴源区土地利用结构 (hm², %)

Tab.1 The land use structure of sand-dust storm source area in Northwest China in 2000 (hm ² , %)												
项目	耕地		林地		草地		水域		建设用地		其它未用地	
	面积	比例	面积	比例	面积	比例	面积	比例	面积	比例	面积	比例
甘肃	1739433	8.57	265364	1.31	4257696	20.98	109995	0.54	88485	0.44	13830549	68.16
宁夏	1365231	32.4	189944	4.5	1950655	46.26	78820	1.87	83015	1.97	548691	13.01
内蒙古	220999	0.82	181541	0.68	4892669	18.24	77731	0.29	67450	0.25	21384570	79.72
青海	111570	0.42	619348	2.33	12205095	45.97	840996	3.17	12111	0.05	12763580	48.07
新疆	4747739	4.01	2684252	2.27	29249966	24.73	1733209	1.47	343572	0.29	79521177	67.23
合计	8184972	4.17	3940449	2.01	52556081	26.79	2840751	1.45	594633	0.3	128048567	65.28

在不同省区中只有宁夏沙尘暴源区土地可利用程度较高，达 86.99 %，但是从另一方面来看，沙尘暴涉及到大范围已利用和可利用土地时，对生态环境的破坏性更大，使更多可利用土地资源衰退或丧失。青海沙尘暴源区的草地比例与另外 4 省区相比较，而未利用地较低，从而沙尘暴发生的频率低，危害也相对较轻，但在高寒脆弱的生态环境下更需调整土地利用结构，防止土地沙漠化进一步发展，为沙尘暴提供新生沙源。

5 沙尘暴物质源地面积及分布特征

2000 年本地区有沙尘暴源区面积 196,165,449 hm²，占本区总土地面积的 63.66 %，除湿润、半湿润气候区和高山湿寒气候带外都是沙尘暴发生的源区。其中以内蒙古西部比例最高，全区都是沙尘暴源区，青海由于有大量湿寒气候区，沙尘暴源区最小，仅占总面积的 37.05 % (表 2)。在沙尘暴源区中全区在冬春季有沙尘暴物质源地 138,612,007 hm²，占沙尘暴源区面积的 70.66 %，可见西北地区沙尘物质丰富，并且分布范围广。不同省区中沙尘暴物质源地占沙尘源区比例最高的是内蒙古西部，达 81.56 %，相邻的甘肃河西走廊地区其比例也达 72.68 %。开阔的地形与广泛分布的沙尘物质源，使得本区成

表 2 2000 年西北地区沙尘物质源地面积 (单位: hm², %)

省区	沙尘暴物质源地		冬春季沙尘物质源地		夏秋季沙尘物质源地		年内差值	
	面积	比例	面积	比例	面积	比例	面积	减少
甘肃	20291520	50.14	14543956	71.68	12804523	63.10	1739433	11.96
宁夏	4216355	81.42	2834038	67.22	1468807	34.84	1365231	48.17
内蒙西	26824961	100.00	21877309	81.56	21656310	80.73	220999	1.01
青海	26552700	37.05	13889427	52.31	13777857	51.89	111570	0.80
新疆	118279913	72.12	85467277	72.26	80719538	68.24	4747739	5.56
合计	196165449	63.66	138612007	70.66	130427035	66.49	8184972	5.90

为我国沙尘暴高发区之一。频繁出现的沙尘暴对周围环境造成了严重危害,许多地方土壤细粒物质被吹蚀上地生产力丧失,如1986~2000年间仅内蒙西部就新增沙漠化土地414,655 hm²。由这里产生的沙尘暴而引发的长距离传输的沙尘可达南方地区,有些强沙尘暴产生的浮尘远达日本和韩国。

沙尘暴物质源地占沙尘暴源区比例较大的还有新疆,高达72.26%,但是强沙尘暴物质源地大面积集中在南疆塔里木盆地,丰富的沙尘物质源及春夏季强烈对流天气,使得这里成为我国另一个沙尘暴高发区,但由于闭塞的环境和与经济比较发达、人口稠密的东部地区距离遥远,虽然年平均沙尘暴日数可达60天以上,对我国北方及东部的影响较小^[13],目前对此区沙尘暴的发展关注程度相对较低。

夏秋季沙尘源区由于农作物生长,农田植被覆盖度提高以及防护林发挥作用,风力难以吹蚀耕地土壤,耕地已经不再成为沙尘暴物质源地。全区沙尘暴物质源地在夏秋季比冬春季减少5.90%。沙尘暴发生多以春季为主^[14]的另一重要原因是夏秋季是除北疆外西北地区雨季,土壤含水量相对较高土壤不易被吹蚀,另外春季也是大部分西北地区的大风季节。在空间分布上强沙尘暴物质源地主要集中在巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠及周围地区、塔克拉玛干沙漠及周缘、准噶尔盆地的古尔班通古特沙漠(图1)。这3个强沙尘暴物质源地为沙尘暴的发生提供了丰富的沙尘物质,使得这些地区周边或下风地段的民勤、和田和吐鲁番成为西北地区的3个强和特强沙尘暴多发中心^[15]。强沙尘暴源地的另一集中区是青海柴达木盆地,这里也是沙尘暴经常发生地。另外,长江和黄河源区由于草地沙化而形成弱沙尘暴源地连续分布区,高寒气候条件下植被恢复极为困难,土地沙漠化继续发展下去将对我国赖以生存的水源区构成严重威胁。

6 沙尘物质源地组成结构

西北地区的沙尘暴物质源地中以沙地所占比例最大(表3),是沙物质的主要提供者。其次是戈壁和低覆盖度草地,这两者属于弱沙尘暴物质源地,其供尘能力大于供沙能力,是尘物质的主要供给者。耕地、盐碱地和裸土地所占的比例虽小,它们也是尘物质的主

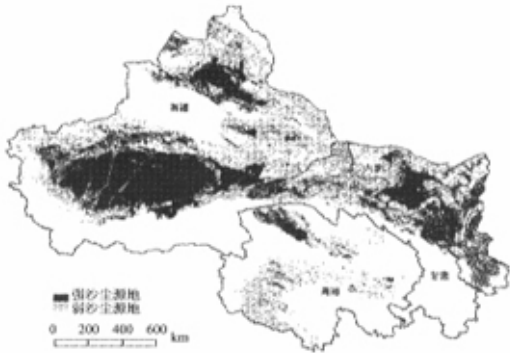


图1 2000年西北地区冬春季沙尘物质源地分布图
Fig. 1 Distribution of sand-dust material sources in Northwest China in the winter and spring of 2000

表3 2000年西北地区沙尘物质源地组成结构(hm², %)

Tab. 3 The structure of sand-dust material sources in Northwest China in 2000 (hm², %)

项目	耕地		草地(低)		沙地		戈壁		盐碱地		裸土地	
	面积	比例	面积	比例	面积	比例	面积	比例	面积	比例	面积	比例
甘肃	1739433	11.96	3090115	21.25	2621934	18.03	6029250	41.46	743706	5.11	319519	2.20
宁夏	1365231	48.17	969510	34.21	288571	10.18	161233	5.69	23391	0.83	26103	0.92
内蒙西	220999	1.01	4232269	19.35	9286157	42.45	7025223	32.11	825556	3.77	287104	1.31
青海	111570	0.8	8123941	58.49	2091921	15.06	2543311	18.31	853395	6.14	165289	1.19
新疆	4747739	5.56	15733944	18.41	34047049	39.84	24200442	28.32	5189927	6.07	1548177	1.81
合计	8184972	5.90	32149779	23.19	48335632	34.87	39959459	28.83	7635975	5.51	2346192	1.69

要提供者。在沙尘暴发生的主要季节(冬春季)全区沙尘暴物质源地中供沙尘较强的流沙地、耕地、盐碱地和裸地与供沙尘能力较弱的戈壁和低覆盖度草地所占比例总体相近,相比较而言供生物质的面积大于供沙物质的面积。不同的省区的沙尘物质源地组成中,青海省和甘肃省主要以供沙尘物质能力较弱的低覆盖度草地和戈壁为主,宁夏以供沙尘物质较强的沙地和耕为主,内蒙西部和新疆强、弱沙尘物质源的面积接近。

7 讨论

(1) 西北地区沙尘暴物质源地分布范围广,所占比例较大,并且在冬春季稍多于夏秋季,使得本地成为我国春季沙尘暴高发区之一。

(2) 沙尘暴源区的土地利用程度低,只有 34.72 % 的土地被利用或可利用,其中又以草地所占的比例最大。

(3) 在沙尘暴源区强度和弱度沙尘物质源地的面积所占比例总体相近,相比较而言全区供生物质的面积大于供沙物质的面积。

(4) 为减少沙尘暴物质源地除采取常规的恢复植被、退耕还林还草的措施外,应改变现有的传统耕作方法,以保护耕地和减少冬春季沙尘暴物质源地。

(5) 开垦沙尘暴物质源地为耕地和葡萄园是沙尘物质源地土壤抗风蚀能力减弱的主要因素,在水源日益紧张不能保证的情况下,今后应尽量减少无计划的开垦荒地。

参考文献 (References)

- [1] Qiu Xinfu, Zeng Yan, Miao Qilong. Temporal-spatial distribution as well as tracks and source areas of sand-dust storms in China. *Acta Geographica Sinica*, 2001, **56**(3): 316-322. [邱新法, 曾燕, 缪启龙. 我国沙尘暴的时空分布规律及其源地和移动路径. 地理学报, 2001, **56**(3): 316-322.]
- [2] Chen Zhiqing, Zhu Zhenda. Significance of eco-environmental protection in development of west regions in connection with sandstorms. *Progress in Geography*, 2000, **19**(3): 259-265. [陈志清, 朱震达. 从沙尘暴看西部大开发中生态环境保护的重要性. 地理科学进展, 2000, **19**(3): 259-265.]
- [3] Zhao Xiangliang. Damages and countermeasures of catastrophic sandstorm occurred in Gansu Province. *Journal of Desert Research*, 1993, **13**(3): 1-7. [赵兴梁. 甘肃特大沙尘暴的危害与对策. 中国沙漠, 1993, **13**(3): 1-7.]
- [4] Xu Guochang. Analysis of the "4.22" much stronger sand-dust storm in Gansu Province. *Acta Meteorologica Sinica*, 1979, **37**(4): 26-35. [徐国昌. 甘肃“4.22”特大沙尘暴分析. 气象学报, 1979, **37**(4): 26-35.]
- [5] Wang Shigong, Yang Debao, Jin Jiong *et al.* Study on the formative causes and countermeasures of the catastrophic sandstorm occurred in Northwest China. *Journal of Desert Research*, 1995, **15**(1): 19-30. [王式功, 杨得保, 金炯等. 我国西北地区黑风暴的成因和对策. 中国沙漠, 1995, **15**(1): 19-30.]
- [7] Wang Shigong, Yang Debao, Zhou Yusu *et al.* Analysis on the formative causes of sand-dust storms in the Northwest China during 3-12 April 1994. *Journal of Desert Research*, 1995, **15**(4): 332-338. [王式功, 杨得保, 周玉素等. 我国西北地区“94.4”沙尘暴成因探讨. 中国沙漠, 1995, **15**(4): 332-338.]
- [8] Wang Shigong, Yang Debao, Meng Meizhi *et al.* Analyses of structure characteristics and formative causes of the "5.5" black storm. *Journal of Gansu Meteorology*, 1993, **11**(3): 28-31. [王式功, 杨得保, 孟梅芝等. 甘肃河西“5.5”黑风天气系统结构特征及其成因分析. 甘肃气象, 1993, **11**(3): 28-31.]
- [9] Ye Duzheng, Chou Jifan, Liu Jiyan *et al.* Causes of sand-stormy weather in North China and control measures. *Acta Geographica Sinica*, 2000, **55**(5): 513-520. [叶笃正, 卮纪范, 刘纪远等. 关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策. 地理学报, 2000, **55**(5): 513-520.]
- [10] Wang Shigong. Study on sand-dust storms over the desert region in North China. *Journal of Natural Disasters*, 1996, **5**(2): 86-94. [王式功. 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.]

- [11] Yang Dongzhen. Analysis on the variation trend of sandstorm in Northern China. *Journal of Applied Meteorology*, 1998, **9**(3): 352-358. [杨东贞. 我国北方沙尘暴变化趋势的分析. 应用气象学报, 1998, **9**(3): 352-358.]
- [12] Zhang Guoping, Zhang Zengxiang, Liu Jiyan *et al.* Spatial distribution of aeolian erosion of soil and its driving factors in China. *Acta Geographica Sinica*, 2001, **56**(2): 146-158. [张国平, 张增祥, 刘纪远等. 中国土壤风力侵蚀空间格局及驱动因子分析. 地理学报, 2001, **56**(2): 146-158.]
- [13] Liu Lianyou. Simulating measurement on the erosive ability of soil. *Chinese Science Bulletin*, 1998, **43**(15): 1663-1666. [刘连友. 耕作土壤可蚀性颗粒的风洞模拟测定. 科学通报, 1998, **43**(15): 1663-1666.]
- [14] Li Hu, Li Xia, Xiao Jidong. The monitoring for sand-storm in centre of Taklamakan Desert by using remote sensing. *Journal of Xinjiang Agriculture University*, 1999, **22**(3): 219-223. [李虎, 李霞, 肖继东等. 塔克拉玛干沙漠腹地沙尘的遥感监测. 新疆农业大学学报, 1999, **22**(3): 219-223.]
- [15] Hu Jinming, Cui Haiting, Tang Zhiyao. Temporal and spacial characteristics of sandstorm in China and the influences of human activities on its development trend. *Journal of Natural Disasters*, 1999, **8**(4): 49-57. [胡金明, 崔海亭, 唐志尧. 中国沙尘暴时空特征及人类活动对其发展趋势的影响. 自然灾害学报, 1999, **8**(4): 49-57.]
- [16] Wang Xiaoqing. The occurrent characteristics and prevention countermeasures of sand and dirt storm disaster in northwestern China. *Arid Zone Research*, 2001, **18**(2): 61-64. [王晓青. 西北地区沙尘暴灾害及防治对策. 干旱区研究, 2001, **18**(2): 61-64.]

Estimate of Sand-dust Material Source Area in Northwest China by Remote Sensing

YAN Changzhen, WANG Yimou, FENG Yusun, WANG Jianhua, Qi Yuan

(Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Sand-dust storms occurred frequently in Northwest China in recent years. In order to forecast and prevent sand-dust storm occurrence, it is important to analyze the extent, magnitude and spatial distribution of sand-dust material source area. Aeolian erosion takes place on the bare surface of loosen material in arid and semi-arid regions, including cultivated land, low coverage grassland, sandy land, gravel Gobi, salinized land, and nude clay land. By using digital method of remote sensing and geographical information system techniques, TM images of the year 2000 have been interpreted to establish the database of sand-dust material source area in Northwest China. Based on studies and analysis of these databases, the following conclusions can be obtained: (1) In 2000, sand-dust material source area covers 138,612,007 ha in winter and spring, and 130,427,035 ha in summer and autumn. (2) In sand-dust storm source area, only 34.71% of land is used or usable, and the grassland occupies a large part of it. (3) In sand-dust storm source area, the strong aeolian land is almost equal to the weak aeolian land, and the extent related to dust is greater than that to sand. (4) The countermeasures are mainly to encourage farmers to spread straw on the land after harvesting until next planting season. The straw can protect the cultivated land effectively from aeolian erosion and keep the winter snow from freezing on these farmlands. (5) With the decreasing of water resources, cultivation practice in sand-dust material source area should be restrained to prevent the land from being aeolian eroded.

Key words: RS technique; Northwest China; sand-dust material source area