

晋北地区土地沙化现状及其成因分析

秦作栋¹, 王孟本¹, 薛占金^{1,2}

(1. 山西大学黄土高原研究所, 太原 030006; 2. 大同大学浑源师范分校, 山西浑源 037400)

摘 要: 山西省晋北地区地处我国农牧交错地带, 近年来, 经过大规模、高强度的治理, 沙化土地面积呈缩减态势, 但全区土地沙化形势十分严峻, 生态环境十分脆弱, 严重制约了社会、经济的发展。分析了晋北地区土地沙化的现状及动态变化, 重点探讨了晋北地区土地沙化形成的自然因素和人为因素, 旨在为晋北地区预防和治理土地沙化提供参考依据, 最终实现生态、经济、社会的可持续发展。

关键词: 土地沙化; 农牧交错区; 晋北地区

中图分类号: S157; X171.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)02-0168-05

An Analysis of Present Situation and Causes of Sandification in North Shanxi Province

QIN Zuo-dong¹, WANG Meng-ben¹, XUE Zhan-jin^{1,2}

(1. Institute of Loess Plateau, Shanxi University, Taiyuan 030006, China; 2. Hunyuan Normal School, Datong University, Hunyuan, Shanxi 037400, China)

Abstract: The North Shanxi Province is located in the interlacing zone of pastures and farmlands of North China. In recent years, the sandification areas have reduced by large-scale and high strength management, but the whole region sandification situation is still stern, the ecological environment is still fragile, the social and economic development is seriously restricted. The present situation of sandification was analyzed, natural and man-made factors were discussed, the purpose provides the reference for the prevention and the government, realizes the sustainable development of the ecology, the economy and the society.

Key words: sandification; zone of pastures and farmlands; North Shanxi province

土地沙化是我国当前面临的最为严重的生态问题之一, 也是我国生态建设的重点和难点。土地沙化不仅恶化生态环境, 导致沙区贫困, 而且吞噬中华民族的生存空间与发展空间, 给国民经济和社会可持续发展造成了极大危害与威胁, 已成为中华民族的心腹之患。据有关资料显示, 我国是世界上受土地沙化危害最严重的国家之一, 现有沙化土地 $1.74 \times 10^6 \text{ km}^2$, 占国土面积的 18.1%, 每年因土地沙化造成的直接经济损失高达 5.4×10^{10} 元, 间接经济损失更是难以估算^[1]。山西省沙化土地面积约占全省总面积的 10.4%, 晋北地区地处我国农牧交错地带, 是我国遭受沙化危害严重的地区之一, 沙化土地面积分布大, 土地沙化形势十分严峻, 生态环境十分脆弱。因此防治土地沙化已成为晋北地区实现社会经济可持续发展所面临的一项紧迫任务。

1 晋北地区概况

1.1 晋北地区范围

晋北地区位于山西省北部, 行政区划涉及大同、朔州、忻州等 3 个地级市。该区作为山西省沙化土地最为严重的地区, 由于不同部门和不同学者的着眼点不同, 在研究晋北地区沙化土地时, 各研究方案所涉及的县级行政区也不尽相同

(表 1)。在这 3 个方案中, 全国防沙治沙规划(2005—2010 年)经国务院第 81 次常务会议审议通过, 而且根据实地考察, 晋北地区沙化土地的分布范围与该规划中的 18 个县区较为吻合, 以该规划中的 18 个县区作为研究区域。

1.2 晋北地区自然概况

晋北地区是我国黄土高原的重要组成部分, 是山西省能源、矿产等资源的集中分布区, 人类活动对自然生态系统的干扰最剧烈, 土壤受人类活动的影响最显著。地理坐标为东经 $110^\circ 56' - 114^\circ 32'$ 和北纬 $38^\circ 39' - 40^\circ 43'$, 总国土面积 $2.804 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。以洪涛山为界, 以西为地形起伏和缓的覆沙黄土丘陵区, 呈现高原形态, 素有“晋西北黄土高原”之称, 以东是构造下陷的大同盆地, 桑干河由西南向东北折向东流经大同盆地。全区平均海拔 1 200~1 800 m, 黄土广泛分布, 地貌类型复杂多样。属温带气候, 温差大、干旱且多风沙, 年平均气温 $3.6 \sim 8.8^\circ\text{C}$, 年日照时数 2 300~2 900 h, 年平均降水量 360~490 mm, 主要集中在 6—9 月, 占全年降水量的 70%~80%, 冬春季降水极少, 仅占全年降水量的 15% 左右, 年蒸发量 1 700~2 300 mm, 相对湿度 50%~60%, ≥ 8 级的大风日数平均在 20~40 d, 初霜期 9 月下旬, 无霜期

收稿日期: 2007-07-19

基金项目: 山西省软科学研究项目(2007041056-01)

作者简介: 秦作栋(1962—), 男, 教授, 博士, 主要从事土地荒漠化研究。E-mail: xuezhanjin@sina.com

120~135 d。土壤侵蚀模数一般为 $2\,000\sim 8\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,西部严重侵蚀区高达 $12\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 。地带性植被已被破坏殆尽,现代地表景观以温带半干旱草原和部分半湿润森林草原为主,植被多为次生灌木和草类,以沙棘(*Hippophae rhemonides*)、柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)、虎榛子(*Ostryopsis daridiana*)、黄刺玫(*Rosa xanthina*)、百里香(*Thymus mongolicus*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)、蒿类(*Artemisia* spp.)为代表性植被^[2-3],区内人工林及天然灌木林以油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)、樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)、新疆杨(*Pop*)、落叶松(*Larix* spp.)为主。地带性土壤为风沙土、栗钙土、栗褐土,粒度组成以细砂和极细砂为主。

表1 不同方案涉及的县级行政区

方案	县级 个数/个	县区名称
京津风沙源 治理工程方案	13	天镇县、阳高县、大同县、浑源县、左云县、南郊区、新荣区、怀仁县、应县、山阴县、朔城区、繁峙、代县
朱震达方案 ^[1]	15	大同市郊、左云县、朔城区、平鲁区、右玉县、怀仁县、山阴县、偏关县、河曲县、保德县、神池县、五寨县、岢岚县、岚县、兴县
全国防沙治沙规划 (2005—2010)方案	18	南郊区、新荣区、大同县、天镇县、阳高县、左云县、浑源县、朔城区、平鲁区、右玉县、怀仁县、应县、山阴县、偏关县、河曲县、保德县、神池县、五寨县

2 土地沙化概念

土地沙化作为我国北方广大地区土地退化的一种表现形式,由来已久,但土地沙化的概念在国内很长时期内没有统一的标准。直到2001年《中华人民共和国防沙治沙法》颁布,土地沙化的概念才以法律的形式固定下来。

史培军等认为,土地沙化(Sandification)指人为活动影响下的沙地活化或古沙翻新与地表物质粗化等;它不能与自然干旱、半干旱区广泛存在的沙漠与沙地相混淆^[4]。朱世忠认为,土地沙化是指在各种气候(包括极干旱、干旱、半干旱、亚湿润干旱和湿润等)条件下,主要由于风力或水力作用形成的,其土壤由通体或上覆粗沙(1~0.5 mm)、中沙(0.5~0.25 mm)、细沙(0.25~0.1 mm)的疏松的沙物质组成,具有移动、堆积和活动过程及风沙地貌景观的沙丘和沙地^[5]。王庆锁等认为,沙化是指在各种气候条件下,由于自然和人为因素导致土地呈现出沙质或砾质为主的土地退化,沙化土地是由此而形成的地表呈现出以沙(或砾)物质为主的土地^[6]。

《中华人民共和国防沙治沙法》第二条规定,“土地沙化是指因气候变化和人类活动所导致的天然沙漠扩张和沙质土壤上植被破坏、沙土裸露的过程”,“本法所称土地沙化,是

指主要因人类不合理活动所导致的天然沙漠扩张和沙质土壤上植被及覆盖物被破坏,形成流沙及沙土裸露的过程”,“本法所称沙化土地,包括已经沙化的土地和具有明显沙化趋势的土地”。

需要指出的是,土地沙化(Sandification)与我们平时所说的“土地沙漠化(Sandy Desertification)”含义并不相同。史培军等认为,土地沙漠化的典型景观标志是发育程度不等、规模大小不同的沙丘移动、就地起沙、沙丘活化、古沙翻新与地表粗化^[7],可见,这比其上给出的土地沙化概念范围大的多。土地沙漠化是以地表覆盖沙层厚度在10 cm以上为标准,堆积的风沙物质多来源于本地区地表的物质,土地沙化是以天然沙漠扩张和沙质土壤上植被破坏、沙土裸露为主^[8]。由此分析得出,在景观标志方面,土地沙化是土地沙漠化的表现形式之一;在土地退化程度方面,土地沙漠化比土地沙化的土地退化程度高,前者地表为沙层覆盖,后者地表为沙质土壤或沙土;在沙物质来源方面,土地沙漠化的沙物质多来源于本地,土地沙化的沙物质来源于外地和本地。至此,我们可以说,土地沙化包含在土地沙漠化之内,二者都是土地退化的标志,如不采取根本措施,土地沙化过程不仅不会自动停止,反而会加剧发展成为土地沙漠化过程。

3 晋北地区土地沙化现状及动态分析

3.1 土地沙化概况

据有关资料显示统计,晋北地区土地沙化面积为 $70.542\,9\times 10^4\text{ hm}^2$,占全区国土总面积的25.2%,经实地调查测算,其中:流动沙地 $0.248\,5\times 10^4\text{ hm}^2$,半固定沙地 $23.195\,4\times 10^4\text{ hm}^2$,固定沙地 $34.662\,0\times 10^4\text{ hm}^2$,闾田 $12.437\,0\times 10^4\text{ hm}^2$,此外,全区有20%的土地面临着风沙危害。各类沙化土地面积相差悬殊,总的来说,以固定沙地面积最大,其次为半固定沙地(图1)。

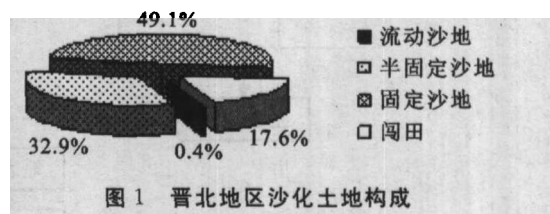


图1 晋北地区沙化土地构成

3.2 土地沙化动态变化

晋北地区土地沙化发展与治理并存。近年来,通过人工造林、退耕还林、飞播造林种草、封沙育林种草、小流域综合治理等措施,使全区森林覆盖率达到16.1%,土地沙化总体呈现缩减态势。1994年全区土地沙化面积 $78.530\,2\times 10^4\text{ hm}^2$,占全区国土总面积的28%;2004年全区土地沙化面积 $70.542\,9\times 10^4\text{ hm}^2$,占全区国土总面积的25.2%。与1994年相比,10 a 全区土地沙化面积减少了 $7.987\,3\times 10^4\text{ hm}^2$,表现在半固定沙地、固定沙地的面积有不同程度的下降,但流动沙地、闾田的面积却有所增加(图2),其中:在1994—1999年,流动沙地、固定沙地和闾田的面积都呈正增长,以流动沙地的增长率最大,达24.9%,但在1999—2004年三者得到了控制,由正增长变为负增长;半固定沙地在10 a (1994—2004年)一直呈负增长(表2),说明晋北地区凭借

“三北”防护林工程和京津风沙源工程的大好时机,通过大规模、高强度的治理,土地沙化扩展的态势基本被遏制。但与 1994 年相比,2004 年流动沙地和闾田的面积有所扩大,而且全区土地沙化面积仍占全区国土总面积的 1/4 左右,这又说明晋北地区土地沙化形势十分严峻,生态环境十分脆弱,需要继续加大防沙治沙的力度。

4 晋北地区土地沙化成因分析

土地沙化是一种或几种营力过程造成的土地退化,但不是一般的土地退化,而是发生在脆弱生态环境下,由于气候因素或不合理的人为活动造成的土地生物生产力减低、土地生产潜力衰退、土地资源丧失和生物多样性减少。晋北地区土地沙化是特定环境下自然因素和人为因素相互作用的结果(图 3),在地质时期,土地沙化是自然因素作用的结果,在人类历史时期,随着人口的增加和人类改造自然能力的增强,人类活动的作用越来越明显,成为导致晋北地区土地沙化发生、发展和加剧最活跃、最主要的因素。据统计,晋北地

区由于人为因素诱发土地沙化面积占总面积的 90% 以上。对于形成土地沙化自然因素,人类在有限的发展过程中很难改变,人类能做的仅是通过认识土地沙化形成的人为因素,来改变自身行为抑制土地沙化扩展,恢复退化的自然植被。

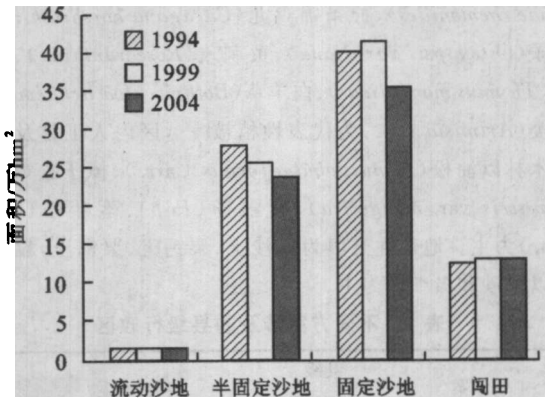


图 2 晋北地区不同类型沙化土地面积变化比较

表 2 晋北地区 10 a(1994—2004 年)沙化土地动态变化

类型	1994 ^①		1999 ^①		2004		增长率/%	
	面积/hm²	%	面积/hm²	%	面积/hm²	%	1994—1999	1999—2004
合 计	785302	100	783629	100	705429	100	-0.2	-9.9
流动沙地	2275	0.3	2841	0.34	2485	0.4	24.9	-12.5
半固定沙地	271464	34.5	250450	32.0	231954	32.9	-7.7	-7.4
固定沙地	390950	49.8	405173	51.7	346620	49.1	3.6	-14.5
闾 田	120613	15.4	125165	16.0	124370	17.6	3.8	-0.6

①国家林业局. 全国防沙治沙规划(2005—2010 年).

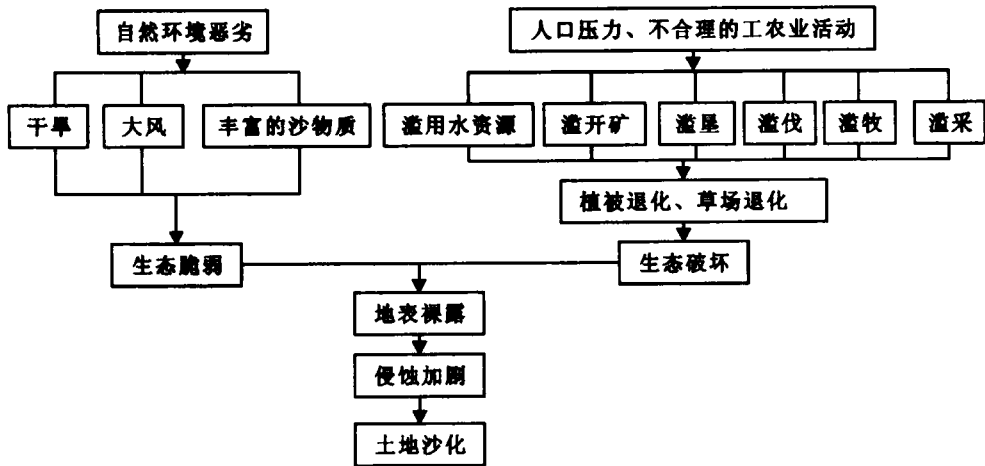


图 3 晋北地区土地沙化成因过程

4.1 自然因素

干旱、大风、丰富的沙物质是晋北地区产生土地沙化的三大自然因素。

4.1.1 干 旱

“一寒二旱”是晋北地区的主要气候特点。全区年降水量 360~490 mm,年蒸发量 1 700~2 300 mm,约是年降水量的 4.7 倍,是我国典型的半湿润向半干旱过渡区,长期干旱的原因使该区土地大面积无植被或很少有植被生长。而且随着全球气候变暖,加速了土壤蒸发,改变了局地大气环流,影响了降水变化的区域分布,加剧了区域干旱化,进而加速

了该区植被退化和土地沙化。

4.1.2 大 风

大风天气是在一定的天气系统和独特的地貌结构作用下形成的。大风天气在晋北地区偏多,“一年一场风,从春刮到冬”是其真实写照,年平均风速 2.4~4.2 m/s,≥8 级的大风日数平均在 20~40 d,扬沙过程在一定的风动力条件下也时有发生。究其原因,首先是特殊的位置和地形,该区处在东部季风区向西北干旱区的过渡区和中温带向寒温带的过渡区,冬春季盛行西风和西北风,再加上西北高、东南低的地形特征,为西风和西北风的通过与风速加大创造了良好的条

件;其次是大尺度环流的影响,主要是蒙古高压冷气团的控制和欧亚经纬向环流的转变等所诱发的冷空气南下,形成强冷锋天气活动,气候寒冷干燥,冷锋过境则形成大风;再次是由于晋北地区地表植被稀少和地表裸露、半裸露,其热容量小,地面增温快,导致底层大气强烈的垂直对流,形成大风和恶劣天气。大风直接作用于地表,风蚀加剧,造成土地沙化。

4.1.3 丰富的沙物质

晋北地区整体上位于黄土高原东北部的沙黄土带内,不仅地表组成物质疏松,而且植被覆盖率低,周边及区内丰富的沙物质是本区土地沙化发生发展的重要原因之一。从周边来看主要是风积沙化,晋北地区正处在我国第二级地势阶梯东部,本区位于陕西省榆林地区和内蒙古自治区伊克昭盟之间的毛乌素沙地(面积 $4.22 \times 10^4 \text{ km}^2$)前沿,对比本区与毛乌素沙地现代风成沙的粒度组成,毛乌素沙地以细沙($0.125 \sim 0.25 \text{ mm}$)成分占绝对优势,而本区以极细沙($0.063 \sim 0.125 \text{ mm}$)成分占优势,其粒度组成小一个量级^[11],反映出在大风、浮尘天气影响下,每年从毛乌素沙地吹来的沙物质都会在本区沉积下来,从而加剧了晋北地区土地沙化的程度;从区内来看主要是风蚀沙化,地表不同地貌部位分布有 Q_3 砂黄土及其它第四纪松散沉积物,特别是风成沙和黄土的连续、大片覆盖,加上本区的土壤类型以风沙土、栗钙土、栗褐土、盐碱土、黄绵土等为主,这些土壤沙性较大、土质疏松,缺乏团粒结构和黏性物质,以细砂和极细砂为主,其含量达 $77\% \sim 85\%$ 。这种疏松、砂质的地表物质组成,在牲畜的过度啃食和践踏以及其它人为破坏植被(如樵柴)的情况下,很容易风蚀起沙,形成大片沙地,加剧土地沙化程度。

4.2 人为因素

人口压力、不合理的工农业活动是晋北地区产生土地沙化的两大人为因素。

4.2.1 人口压力

任何一种灾害的存在和发生,都不完全是自然发生的,或多或少都有人为的因素。晋北地区土地沙化与人口增加有必然的联系,人口增加对土地沙化的影响主要体现在人口增加加大了环境承载力。晋北地区是典型的半干旱地区,其环境的人口承载力受自然条件的限制,2003年底全区总人口有338.62万人,与1949年相比,人口数量约增长了1.8倍,平均人口密度为 121 人/km^2 ,这一数字远远高于联合国1997年公布的半干旱地区 $7 \sim 22 \text{ 人/km}^2$ 的人口承载标准。由于晋北地区人口的增加,过度地开发利用土地资源,超越了生态系统所能承受的能力,造成生态系统的破坏和解体,使土地沙化进一步扩大。因此,人口压力过大是晋北地区土地沙化加剧的直接原因。

另外,人们的素质也是晋北地区土地沙化的重要原因,本区是山西省老少边穷最典型的地区,经济比较落后,人们的文化素质普遍不高,农民中有许多人认为土地资源面临的沙化是局部问题,他们不断新开土地,以此作为解决生存问题的长期对策。因此,人们的文化素质低也是本区土地沙化的重要原因之一。

4.2.2 不合理的工农业活动

工业生产上的不合理性主要表现在滥开矿和滥用水资源。本区正在建设国家级的能源重化工基地,分布有大批大型煤炭、铁矿等资源开发基地,对本区土地沙化是一个人为的突变性刺激因素,表现在人口数量急剧增长、占用大片耕地、各种大型机械碾压地表、开矿修路破坏或松动表土等,这种开发活动势必破坏地表土层和植被,使地面“千疮百孔”,造成生物多样性减少、地下水位下降、水体污染等一系列问题,再加上治理措施不完善,使本来脆弱的生态系统失去了平衡。据推算,每采 100 t 煤消耗 2 m^3 木材,而山西省人工林平均蓄积量为 $27.9 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,也就是说,每采 100 t 煤,就要消耗 0.1 hm^2 森林。这种以资源开采为主的工业生产,加速了植被退化和土地沙化。水资源短缺是晋北地区经济发展的重要制约因素,但水资源的破坏和浪费现象在本区相当严重,有关资料显示,在本区每采 1 t 煤,就有 2.4 m^3 的水资源受到破坏,使地表径流减少 7% 左右;农田引水灌溉仍沿用传统的灌溉方式和用水方式,如:漫灌、块灌普遍,无水不灌,来水猛灌,水资源利用率低,有限的水资源被浪费。工业化的快速发展,带动了城镇扩展,也使人水矛盾、人粮矛盾、农林牧用地矛盾日益尖锐,因此,在开发中寻求大范围地抑制土地沙化和生态环境恶化,已迫在眉睫。

农业生产上的不合理性主要表现为滥垦、滥牧、滥伐、滥采。在滥垦方面,晋北地区大多为贫困地区,截止2005年底的统计数据,该区有11个贫困县,约有70万贫困人口,长期以来这些贫困地区是广种薄收的低效农业,靠扩大耕作面积来增加粮食产量,一些非农用地被无计划、无节制地开垦,边开垦,边撂荒,这是一种得不偿失的短期行为,在有限的水资源条件下,新开垦的耕地大多只能种 $2 \sim 3 \text{ a}$,然后不得不撂荒,弃耕的土地经风吹雨打,就容易发生风蚀和水蚀而产生土地沙化;在滥牧方面,晋北地区集中连片的草场很少,优质牧草更少,一直延用传统的散养放牧方式,市场经济刺激了农户养畜的积极性,广大农户不是以草定畜,而是盲目扩大牲畜数量,大量的牲畜在公共草场上无节制地放牧,达到或超过草场的承载能力,据统计,晋北地区过牧20万羊单位,长期过度放牧加上投资建设不足,草场得不到休养生息,使草场的产草量下降、载畜能力减低、土壤理化性状恶化、牧草不足以覆盖沙质地表,加之牲畜的反复啃食践踏,导致草地沙化过程发生、发展迅猛;在滥伐方面,晋北地区的许多农户以天然植物为燃料,不合理的过度樵采、乱砍滥伐林草植被现象严重,造成相当面积的有林地转变为无林地、疏林地或灌木林地,治理速度抵不上破坏速度,使植被覆盖率降低,导致土地沙化现象加重;在滥采方面,晋北地区滥采中药材和采收珍稀资源(如甘草和发菜)等现象十分突出,这种掠夺式的采挖方式,不仅对野生植物资源的利用造成极大的浪费,同时也会引发盛产中药材、珍稀资源地区的土地沙化。

5 结论与建议

(1)晋北地区沙化土地面积从1994—2004年整体呈缩减态势,10年间减少了 $7.9873 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。但与1994年相比,2004年流动沙地和开垦面积有所扩大,而且全区土地沙

化面积仍占全区国土总面积的1/4左右,说明晋北地区土地沙化形势仍十分严峻,生态环境仍十分脆弱,需要继续加大防沙治沙的力度。

(2)晋北地区土地沙化是一个自然与经济、社会相关联,是特定环境下自然因素和人为因素相互作用,以人为诱导因素为主所引起的土地退化过程。在这个过程中,干旱、大风创造了动力条件,丰富的沙物质提供了物质基础,而人口压力和不合理工农业活动则在土地沙化过程中起到了加速、推动作用。

(3)建议晋北地区按照“以防为主、保护优先、积极治理、合理利用、恢复植被、协调发展”的原则,通过控制人口增长和提高人口素质、调整产业结构和合理利用资源、加强植被保护和恢复重建、加大科技治沙和依法治沙力度、完善防沙治沙相关配套政策等途径,加快晋北地区土地沙化的预防与治理步伐,以改善晋北地区脆弱的生态环境,适应建设山川秀美新山西、建设社会主义新农村的需要。

参考文献:

- [1] 王涛. 我国沙漠化研究的若干问题:3 沙漠化研究和防治的重点区域[J]. 中国沙漠, 2004, 24(1): 1-9.
 - [2] 秦作栋. 晋西北土地荒漠化及其整治对策研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996: 11-19.
 - [3] 马义娟, 苏志珠. 晋西北地区环境特征与土地荒漠化类型研究[J]. 水土保持研究, 2002, 9(3): 124-126.
 - [4] 史培军, 李博, 赵焯. 鄂尔多斯高原土地退化及其防治对策[M/OL]//史培军文集. <http://irs.bun.edu.cn/SPJBook>, 2001-06-18.
 - [5] 朱世忠. 沙化土地及其监测方法[J]. 山西林业科技, 2000(4): 45-47.
 - [6] 王庆锁, 李玉中. 我国的土地沙化及治理对策[J]. 中国农业科技导报, 2003, 5(6): 50-54.
 - [7] 史培军, 王静爱. 土地荒漠化[M]//史培军文集. <http://irs.bun.edu.cn/SPJBook>, 2001-06-18.
 - [8] 什么是土地沙化和土地沙漠化[EB/OL]. <http://www.htrwh.com>, 2005-08-10.
 - [9] 李双全. 山西省土地沙漠化的现状及防治对策[J]. 山西农业大学学报, 2000, 20(4): 342-345.
 - [10] 马义娟, 苏志珠. 山西省土地沙质荒漠化现状及其发展趋势研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(6): 81-84.
-
- (上接第167页)
- (2)由表2可知,模型预报平均相对误差为7.23%,个别月份甚至超过了20%,说明降水等水文要素的中长期预报方法还不够完善,目前很难做到准确预报,这需要在将来的工作中进一步研究。
- 参考文献:
- [1] 梁春英, 王熙, 杨天维. 精准农业在三江平原的应用研究与探讨[J]. 农机化研究, 2004(3): 193-194.
 - [2] 王韶华, 田园. 三江平原地下水埋深变化及成因的初步分析[J]. 灌溉排水学报, 2003, 22(2): 61-64.
 - [3] 李士峰, 崔广臣, 杨国顺. 三江平原洪涝灾害及治理措施[J]. 水利水电科技进展, 2000, 20(1): 65-67.
 - [4] 李娟, 张维江, 马铁. 滑动平均—马尔可夫模型在降水预测中的应用[J]. 水土保持研究, 2005, 12(6): 196-198, 205.
 - [5] Sahai A K, Soman M K, Satyan V. All India summer monsoon rainfall prediction using an artificial neural network[J]. Climate Dynamics, 2000, 16(4): 291-302.
 - [6] 钱家忠, 朱学愚, 吴剑锋. 地下水资源评价中降水量的时间序列—马尔可夫模型[J]. 地理科学, 2001, 21(4): 65-67.
 - [7] 傅鹤林, 李亮, 刘宝琛. 降雨量预测理论模型及其工程应用研究[J]. 中国铁道科学, 2002, 23(4): 62-66.
 - [8] 曹广学, 张世泉. BP模型在降雨径流预报中的应用研究[J]. 太原理工大学学报, 2005, 36(3): 350-353.
 - [9] Feng Y R, David H K. A short-range quantitative precipitation forecast algorithm using back-propagation neural network approach[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2006, 23(3): 405-414.
 - [10] 王文胜, 丁晶, 李跃清. 水文小波分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 60-66.
 - [11] Donoho D L. De-noising by soft-thresholding [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1995, 41(3): 613-627.
 - [12] 王仲民, 戴士杰, 岳宏, 等. 基于小波变换的信号消噪[J]. 河北工业大学学报, 2000, 29(5): 48-51.
 - [13] 付强. 农业水土资源系统分析与综合评价[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005: 228-235.
 - [14] 丁晶, 刘权授. 随机水文学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997: 54-59.
 - [15] 伍允桂, 李元, 王伟妍, 等. 应用时间序列分析[M]. 桂林: 广西师范大学出版社, 1999: 109-117.
 - [16] 任树梅, 朱仲元. 工程水文学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2001: 249-251.
 - [17] 杨志霞. 时间序列模型在深层地下水水位预测中的应用[J]. 河北工程技术高等专科学校学报, 2000(3): 34-38.
 - [18] SL250—2000, 水文情报预报规范[S].