

北方农牧交错带风水蚀复合区 水土流失现状与综合治理对策

王涛, 屈建军, 姚正毅[†], 张伟民, 拓万全, 张景光, 杨根生, 陈广庭
(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 730000, 兰州)

摘要 风水蚀复合区是中国北方农牧交错带的一部分。区域的东面与南面毗邻水蚀地貌形态, 东南界为沙漠化土地发生、发展的东南界; 区域的西面与北面与风蚀地貌形态接壤, 西北界为旱作农业的西北界。复合区包括74个县(旗), 面积42.77万km², 总人口2 400万(2004年)。主要生态问题为: 沙漠化持续发展, 沙尘暴频发; 土地退化严重, 承载力急剧下降; 生态环境恶化, 自然灾害频繁。复合区水土流失的主要特点表现为风蚀在时间上交错, 空间上叠加。受侵蚀营力系统与环境系统的制约, 水土流失类型表现出明显的地域分异规律。2000年水土流失面积26万km², 占全区土地面积的61.14%; 复合区每年流失土壤11.97亿t, 其中水力侵蚀量5.55亿t, 风力侵蚀量6.42亿t。近20多年来, 复合区大部分地区的水土流失面积有所减少, 侵蚀强度有所降低。随着国家加大生态建设的力度, 预计在未来的十到几十年, 复合区的水土流失态势将呈现逐步逆转的趋势, 但局部的水土流失状况依然很严峻。风水蚀复合区水土流失治理要以预防为主、保护领先为原则, 生物措施、农业技术与工程措施相结合综合治理, 把国家的生态需求与农户的经济需求相结合, 依法协调经济开发与环境保护的关系, 注重科学的研究, 提高科技含量。根据风水蚀复合区现状, 提出了一些治理工程项目, 主要包括复合区黄河粗泥沙综合治理工程和生态修复工程。这些工程的实施, 将大大减少进入黄河的粗泥沙量, 风水蚀复合区水土流失状况可以得到改善。

关键词 农牧交错带; 水土流失; 综合治理对策; 风水蚀复合区

Current status and comprehensive control strategies of soil erosion for wind-water complex erosion region in the Northern agro-pasture zigzag zone of China

Wang Tao, Qu Jianjun, Yao Zhengyi, Zhang Weimin, Tuo Wanquan, Zhang Jingguang,
Yang Gensheng, Chen Guangting
(Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, 730000, Lanzhou, China)

Abstract As a part of Northern agro-pasture zigzag zone, wind-water complex erosion region located mainly in south edge on Inner Mongolia plateau and the area along the line of Great Wall, the boundaries of east and south part is the south-east end of land desertification, and that of west and north is north-west end of dry farmland. It involves 6 provinces and 74 counties that total area is $42.77 \times 10^4 \text{ km}^2$ and total population is 2.4×10^7 (in 2004) and average density of population per km^2 is 57. There are some ecological problems in this region including desertification developing continuously and dust frequently, bearing capacity of land resources decreasing sharply, and eco-environment worsening obviously and natural calamity appearing frequently. The characteristic of soil erosion is that the action of wind erosion and water erosion alternates in temporal and overlaps in spatial. The wind-water complex erosion region can be divided into three sub region according the char-

收稿日期: 2007-11-23 修回日期: 2007-12-25

项目名称: 水利部 中国科学院 中国工程院“中国水土流失与生态安全综合科学考察”专题“农牧交错区考察”(2005SBKK06);
国家重点基础研究发展计划(2007CB407201)

第一作者简介: 王涛(1959—), 男, 研究员, 博士生导师。主要研究方向: 沙漠与沙漠化。E-mail: wangtao@lzb.ac.cn

† 通讯作者简介: 姚正毅(1969—), 男, 副研究员。主要研究方向: 沙漠化与风沙工程。E-mail: yaozy@lzb.ac.cn

acteristics of soil erosion and ratio between two erosional agents: 1) wind-water well-matched region; 2) wind erosion predominating region; 3) water erosion predominating region. Being controlled by erosional agent systems and environmental systems, the erosion types in wind-water complex erosion region have clear spatial-temporal variation features. The wind erosion part is mainly in three sandy lands-Mowusu, Hunshandake, and Kerqin, The water erosion part is mainly in neighboring area of Shanxi-Shaanxi-Inner Mongolia and north the foot of Yanshan Mountain. The area of soil erosion in 2000 is 261 517.35 km² which accounts for 61.14% of total land area. The amount of soil loss is 11.97×10^8 t, among which 5.55×10^8 t is eroded by water and 6.42×10^8 t is eroded by wind. In the past 20 years, the area of soil erosion in most parts of the region is decreased for great scale projects of soil and water conservation, but the area of soil erosion in some parts is still increasing. With enhancing eco-environment construction extent, by estimating, in future decades, the soil erosion situation will tend to reversion gradually; but the condition of soil erosion in part area will be still very serious. The comprehensive combating countermeasures in wind-water complex erosion region include carrying out the policy of putting prevention first and giving priority to protection; comprehensive combating by combining biological-agriculture technology with engineering; combining state ecological demand with farmer's economic needs; harmonizing economic development with environment protection in accordance with law; emphasizing technology research and improvement of technology content. On the basis of present situation of soil erosion in wind-water complex erosion region, two key projects bring forward in this paper which includes: 1) comprehensive control of coarse sediment area of Yellow River Basin; 2) ecological restoration and regeneration. With putting in practice, the coarse sediment transported into Yellow River will be greatly reduced and soil erosion condition will be improved in the wind-water complex erosion region.

Key words agro-pasture zigzag zone; soil erosion; comprehensive control strategies; wind-water complex erosion region

1 风水蚀复合区概况

1.1 风水蚀复合区范围界定

风水蚀复合区是中国北方农牧交错带的一部分,指年降雨量300~450 mm,以半干旱气候为主,风水蚀交错分布的地区。复合区的形成有其特定的原因,其中自然因素是很重要的决定因素,即该区的自然因素存在着适宜旱作农业的一面。风水蚀复合区东面与南面毗邻水蚀地貌形态,其东南界为沙漠化土地发生、发展的东南界,区域的西面与北面与风蚀地貌形态接壤,其西北界为旱作农业的西北界^①。

风水蚀复合区涉及森林草原、草原及干草原地区,重点是干草原区。生态环境具有明显的波动性、多变性和脆弱性。风水蚀复合区是国家生态安全的重要屏障,是阻止风沙和沙尘暴南下、东移的最后一道屏障。在行政区域上主要涉及中国北方农牧交错带的华北段,即华北平原和黄土高原东部湿润农业区向内蒙古高原半干旱草原牧业过渡带。

风水蚀复合区水土流失的特点是水力侵蚀和风力侵蚀在时间上交替,在空间上叠加^[1-3]。根据复合

区水土流失的特点,以2种侵蚀营力在行政区内的侵蚀模数比例和侵蚀面积比例作为划分依据,把北方农牧交错带风水蚀复合区划分为3个类型区:1)风水蚀相当复合区;2)以风蚀为主的复合区;3)以水蚀为主的复合区。这种划分方法与M.J. Kirkby, J. E. Bullard和G.H. McTainsh等人的划分方法基本一致^[4-5](图1)。然后根据复合区水土流失的规律和特点,侵蚀营力组合关系和地貌形态与地表物质组合关系,把复合区划分为15个水土流失区。

1.2 自然地理概况

农牧交错带风水蚀复合区位于年降水量300~450 mm之间的半干旱地区,全区总土地面积42.77万km²。该地区位于东亚季风气候区与内陆干旱气候区的过渡地带,降水量少而不稳,干旱频率高,风沙大。当季风气候系统势力强劲时,降水量多;当西北内陆干旱气候系统占优势时,降水量少、干旱。受大陆性气候与季风气候的共同影响,风水蚀复合区

^① 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,等.中国水土流失与生态安全综合科学考察:北方农牧交错带风水蚀复合区考察报告(待出版)

南北摆动幅度大,55%~60%为干旱年份,干旱年多大风。多雨年的强降水(暴雨)主要出现在7—8月,

此时,主要农作物已收割,土地裸露,强降水不利于蓄水保墒,易造成严重水蚀。

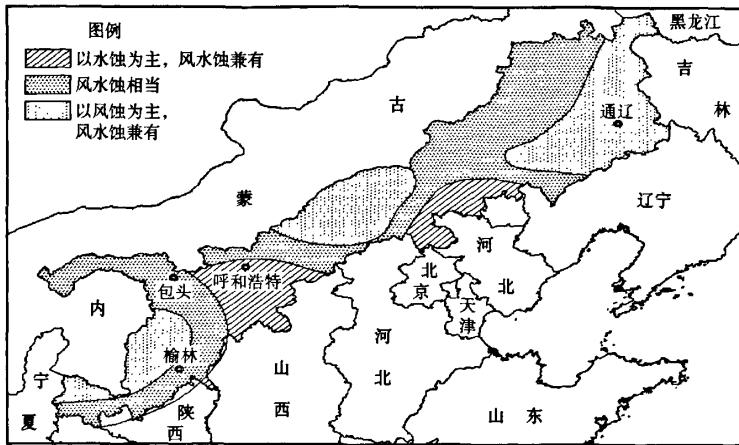


图1 北方农牧交错带风蚀复合区范围界定

Fig.1 Boundary line of wind-water complex erosion region at Northern agro-pasture zigzag zone

风蚀复合区有高亢广袤的高原,高耸的山地,起伏和缓的丘陵,一望无际的平原和山峦环抱的盆地外,还发育了各具不同特色的风沙地貌、黄土地貌以及火山、熔岩地貌。地势较高,平均海拔1 000 m左右,地势由南向北,由西向东逐渐降低,在地貌结构上大体由边缘山地逐渐向浑圆的低缓丘陵与高原依次更替。“古夷平面”、海拔1 000~1 500 m的高原面广泛分布,而海拔1 000~2 000 m的边缘山地分布也不少。东部和南部边缘分布着一系列海拔1 000~2 000 m的中等山地,较附近高原地区冷湿,并发生显著的垂直分带现象。外缘地区的鄂尔多斯高原,地形特征基本上和蒙古高原相类似,海拔1 000~1 500 m,西部高原面保存完整,分割轻微,土质粗松;东部则地面破碎切割。

风蚀复合区有黄河、海滦河、松辽、嫩江、内蒙古内流区5大水系,不计过境客水,全区地表水资源为99.6亿m³,占全国地表水总水量的0.37%。地下水资源为234.92亿m³,占全国地下水水资源的2.7%。扣除重复水量,全区水资源总量为251.49亿m³,占全国水资源总量0.89%,年人均占有水量1 048 m³,只有全国人均水平的48%,耕地单位面积平均占有水量3 754 m³/hm²,平均产水模数5.9万m³/km²,为全国平均水平的19.7%。水资源时空分布上很不均匀,且与人口和耕地分布不相适应。东部地区嫩江流域土地面积占全区的9.7%,而水资源总量占全区的30.5%,水资源相对较丰富。西辽河、海滦河、黄河和内蒙古内流区水资源比较贫乏,

其中除黄河沿岸可利用部分过境水外,大部分地区用水紧张。

风蚀复合区地带性土壤以栗钙土最为典型。具有草原地区土壤发育主要特征。土壤具有明显的富钙性,形成典型的温带草原土壤特征。由于本区生物气候条件、地表沉积物、地形等条件的综合作用,使风化壳和土壤地球化学过程表现出多样性的特点,主要有富钙化过程、淋溶与残积黏化过程,以及隐域生态环境下的盐渍化过程、潜育化过程等,这些过程在本区往往彼此相互关联和制约,在空间上组成各种风化壳地球化学类型及其结合,形成明显的2个风化壳地球化学区,即东部森林草原、灌木草原、典型草原区的碳酸盐-苏打(或硫酸盐、氯化物-苏打)区;西部荒漠草原、草原化荒漠碳酸盐-硫酸盐、氯化物(或苏打-硫酸盐、氯化物)区。

从自然景观上看,风蚀复合区以温带草原占绝对优势,并以干草原为核心。植被属于温带草原区中的森林草甸草原植被带和典型草原植被带,本区植被的分布表现出明显的过渡特征,即由东北向西南依次分布有森林草原、草原和干草原植被类型,在山地阴坡分布有森林或次生林植被类型。

1.3 社会经济概况

风蚀复合区覆盖6个省区74个县(旗、市、区),2004年人口共计2 400万,占全国总人口的1.9%;其中城镇人口948万,占风蚀复合区总人口的39%。人口密度为57人/km²,比全国平均人口密度低78人/km²。在就业结构方面,第一产业人口

比例最大, 占总人口的 58.96%; 第三产业其次, 占 26.69%; 人口比例最小的为第二产业人口, 占 14.35%。从人口密度的空间变化来看, 内蒙古自治区乌兰察布市集宁区人口密度最大, 达到 2 291 人/ km^2 , 内蒙古自治区镶黄旗最小, 为 5 人/ km^2 。

全区土地总面积为 42.77 万 km^2 , 其中, 耕地面积为 670 万 hm^2 , 约占土地总面积的 16%。水浇地面积为 230 万 hm^2 (人均 9.3 hm^2), 约占耕地面积的 34%, 而近 70% 的耕地是缺少灌溉水源的坡耕地, 属于典型的旱地农业。土地利用结构有显著的区域差异, 从西北向东南逐步由牧业过渡到农牧交错和以农为主的土地利用方式, 西北部草地占 83%, 耕地只占 1%; 在草地以南紧邻东南部的狭长地带, 草地占 45%, 耕地占 31%; 在风水蚀复合区的东南部, 草地只占 28%, 而耕地占 44%。

2004 年风水蚀复合区农作物播种面积为 539 万 hm^2 , 其中, 粮食作物播种面积为 374 万 hm^2 , 占农作物播种面积的 69.4%。当年的粮食总产量为 1 540 万 t, 占全国粮食总产量的 3.3%。粮食单产为 4.12 t/ hm^2 , 比全国的粮食单产低 0.5 t/ hm^2 。人均粮食占有量为 0.63 t, 比全国人均占有量高 0.27 t, 表明复合区的粮食总产量具有较高的水平, 处于自给有余的状态。

风水蚀复合区 2004 年的牲畜存栏量为 5 120 万头(只), 其中, 大牲畜存栏量为 670 万头, 占牲畜总量的 13.1%; 羊的存栏量为 3 650 万只, 占牲畜总量的 71.5%; 猪的存栏量为 784 万头, 占牲畜总量的 15.4%。从本区的牲畜存栏量在全国的比例来看, 牲畜存栏量占全国存栏量的 5.2%。从牲畜存栏量和肉类产量在全国的比例来看, 复合区的畜牧业经营比较粗放, 牲畜的产肉率有待提高。

2 水土流失状况

2.1 水土流失现状

根据第 2 次全国土壤侵蚀遥感调查成果, 风水蚀复合区 2000 年的水土流失面积 26 万 1 517.35 km^2 , 占全区土地面积的 61.14%。其中: 中度以上侵蚀面积 15 万 6 573.28 km^2 , 占全区土地面积的 36.61%; 强度以上侵蚀面积 7 万 4 281.73 km^2 , 占全区土地面积的 17.37%。水力侵蚀面积 12 万 2 439.54 km^2 , 占研究区总面积的 28.63%; 轻度和中度侵蚀面积 8 万 9 677.38 km^2 , 占全研究区总面积的 20.97%; 强度以上侵蚀面积 3 万 2 762.16 km^2 , 占全研究区总面积的 7.66%。由此推算, 复合区每年流

失土壤 11.97 亿 t, 其中: 水力侵蚀量 5.55 亿 t, 占总量的 46.36%; 风力侵蚀量 6.42 t, 占总量的 53.64%^①。

极强度水土流失区域包括府谷县、佳县、河曲县、偏关县、神木县、榆林市, 总面积 2 万 3 514.77 km^2 , 占复合区面积的 5.5%, 总侵蚀量为 2.12 亿 t, 占复合区侵蚀总量的 17.7%。分布在陕北和晋西北并连为一片(图 2)。

强度水土流失区域包括靖边县、准格尔旗、横山县、乌审旗、清水河县、定边县、磴口县, 总面积 4 万 2 599.37 km^2 , 占复合区面积的 9.96%, 总侵蚀量为 2.87 亿 t, 占复合区侵蚀总量的 24.0%。分布在陕北和内蒙古交界处, 磬口县在乌兰布和沙漠边缘。

中度水土流失区域包括 12 个旗县, 总面积 7 万 7 931.49 km^2 , 占复合区面积的 18.2%, 总侵蚀量为 2.67 亿 t, 占复合区侵蚀总量的 22.3%。主要分布在鄂尔多斯高原北部、乌兰察布盟中部、浑善达克沙地中部及科尔沁沙地中南部。

轻度水土流失区域分布最广, 包括 49 个旗县, 总面积 28 万 3 688.9 km^2 , 占风水蚀复合区面积的 66.3%, 总侵蚀量为 4.31 亿 t, 占风水蚀复合区侵蚀总量的 36.0%。

2.2 水土流失成因

造成风水蚀复合区水土流失的原因有自然和人为因素 2 方面。

自然因素方面, 一是复合区表层多为黄土地和沙地, 由于黄土垂直节理发育, 质地疏松, 易于崩塌和透水, 导致沟头延伸, 沟岸扩张; 沙地松散、植被稀疏、干旱少雨、易风蚀。二是复合区绝大部分地区沟深坡陡, 地面起伏不平, 易产生水土流失。三是植被覆盖率低, 大部分裸露山地坡地遇水而产生水土流失。四是降雨主要集中在 7—8 月, 且多暴雨, 强度大, 是造成现代加速侵蚀的直接原因。

人为因素方面, 一是不合理的土地利用、陡坡开荒、乱砍滥伐森林等加剧了水土流失, 二是工矿基本建设和传统养畜习惯, 特别是牧区, 牲畜在自然放牧过程中, 畜蹄对植被的践踏破坏, 以及采食过度, 植被土壤被牲畜践踏后不能得到及时覆盖, 汛期暴雨季节, 拦蓄洪水能力低, 造成水土流失。

^① 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 等. 中国水土流失与生态安全综合科学考察: 北方农牧交错带风水蚀复合区考察报告(待出版)

2.3 水土流失主要特点

风蚀复合区水土流失的主要特点表现为风水蚀在时间上交错,空间上叠加。风力侵蚀和水力侵蚀在时间上不同步,延长了土壤遭受侵蚀的时间;水蚀作用和风蚀作用二者互为因果,相互促进,从而使复合区的侵蚀能量明显高于单纯水蚀地区或风蚀地区,这表明复合区是潜在侵蚀强度较大的地区^[6-7]。受侵蚀营力系统与环境系统的制约,水土流失类型表现出明显的地域分异规律。以风蚀为主的复合区主要分布在我国的3大沙地——毛乌素沙地、浑善达克沙地和科尔沁沙地;以水蚀为主的区域主要分

布在晋陕蒙接壤的黄土丘陵区和燕山北麓山地丘陵区;风蚀相当区夹持在上述2个复合区之间,主要分布在毛乌素沙漠边缘、乌兰布和、十大孔兑、坝上高原。

侵蚀类型的过渡性非常明显。复合区西部以毛乌素沙地为中心,是以风蚀为主的复合区,风水蚀相当区呈环状分布在以风蚀为主复合区的外围,再向外是以水蚀为主的复合区或水蚀区。复合区中部以浑善达克沙地为中心,3种侵蚀类型区也成半环状分布,中心是以风蚀为主的复合区,向南是风水蚀相当区,再向南是以水蚀为主的复合区。

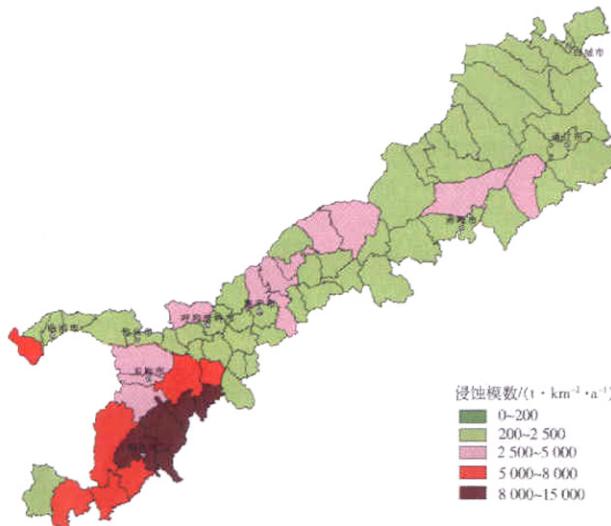


图2 风水蚀复合区水土流失现状图

Fig.2 Present situation of soil erosion in wind-water complex erosion region

2.4 水土流失主要危害

风蚀复合区是辽河、海河、滦河等北方河流的发源地,是黄河多泥沙区支流的发源地,同时也是这些河流泥沙的主要来源区。风水蚀复合区又处于京津地区的上风向,是京津地区沙尘暴的主要源区。风水蚀复合区水土流失不仅制约了本地区经济、农牧业的发展和水土资源的可持续利用,还威胁到这些河流下游、京津地区的发展,后果非常严重。

风水蚀复合区属于我国生态环境比较脆弱的地区,在风水两相营力交错作用下,水土流失危害尤为突出。水土流失的结果,使表层土壤遭到冲蚀,降低土地生产力;使植物赖以生存、生长的表层土壤不断被侵蚀而流失,土壤结构被破坏,肥力下降,土地产出能力降低,粮食产量低而不稳。据王晓等^[8]在内蒙古砒砂岩地区观测结果,土壤有机质和无机矿物养分随水土流失损失严重。每流失1吨土壤,损失

有机质9.6~2.1 kg,全氮0.61~0.14 kg,碱解氮0.05~0.18 kg,速效磷0.005 63~0.001 58 kg,速效钾0.09~0.04 kg。

风蚀也是复合区水土流失的主要形式,造成的危害比水蚀有过之而无不及。由于复合区大风时间较多,且多发生在地面无植被覆盖、地表干燥的冬春季节,大风一起,尘土飞扬,沙尘弥漫,不仅剥蚀表土,促使农田失墒和沙化,而且风沙直接吹入河道。沙粒淤积河道,加剧了水土流失的危害,直接影响到当地群众生活和生产的正常进行,造成经济落后,群众生活贫困。该区频繁爆发的沙尘暴可以很快运移到京津地区,给当地交通、环保、卫生等工作带来严重影响。

2.5 水土流失发展趋势

风水蚀复合区面积广大,气候多样,地貌类型千差万别,各个地区的水土流失发展极不平衡,其发展

趋势各个亚区有显著差异。根据对复合区内蒙古51个旗县(面积33万4077.62km²)1980—2000年水土流失发展变化趋势的分析,近20年来,内蒙古51个旗县水蚀面积、强度和风蚀面积、强度都呈下降趋势。水蚀面积下降了9.9%,风蚀面积则下降了8.2%,总的水土流失面积下降了8.9%。但复合区内黄河流域32个旗县(面积13万5902.75km²)1990—2000年,水蚀面积和强度都呈增加趋势,水蚀面积增加了10.5%,风蚀面积减少了8.9%,总的水土流失面积增加了2.3%。

风水蚀复合区内仅有8个分区有水土流失发展比较资料,这些分区的水土流失发展趋势各有其特点:水土流失面积减少较多的分区主要有大兴安岭及燕山北麓丘陵亚区、浑善达克亚区和陕北覆沙黄土亚区,水土流失面积增加的分区有晋陕蒙沙黄土亚区和乌兰察布亚区。除了晋陕蒙沙黄土亚区等2个亚区外,其他各亚区的水蚀和风蚀发展趋势正好相反,这种变化是人为因素和自然因素共同作用的结果。在以风蚀为主的区域,由于重视风力侵蚀的治理,风蚀面积相应有所减少,而水力侵蚀因重视程度不够,其面积和强度都呈发展趋势。在以水蚀为主的区域,由于重视水力侵蚀的治理,其水蚀面积和强度相应有所减少或者增加不多,而风蚀的面积和强度呈增加趋势。

随着温室气体的增多,全球升温将导致风水蚀复合区气温升高和干燥,会加剧复合区的沙黄土、覆沙黄土以及2大沙漠3大沙地的风蚀。随着人口的不断增长,对自然资源的开发强度加大,地质环境承受的压力也会增加,开矿、修路、基本建设占用耕地、破坏植被将难以避免。如果不注意资源的合理利用与环境的保护,就会进一步诱发和强化水土流失过程,造成“点上治理,面上破坏,一边治理,一边破坏”的现象。随着国家加大生态建设的力度,加之水土保持工程、退耕还林、还草、还牧,天然林保护工程、环京津风沙源等项目的进一步实施以及产业结构的调整,在未来的十到几十年里,本区的水土流失态势将呈现逐步逆转的趋势;但局部的水土流失状况依然很严峻,特别随着人口的增长及经济的发展,若不采取切实可行的防治措施,水土流失将会有加剧的可能。

3 综合治理对策

在风水蚀复合区过去几十年水土流失治理和生态建设实践中,当地人民群众经过不懈努力,对该区

水土流失的特点、规律、危害、成因等有了新的认识,总结出了一系列水土流失治理的经验和对策,即:水土流失治理要以预防为主,保护领先为原则进行综合治理(生物措施、农业技术与工程相结合);把国家的生态需求与农户的经济需求相结合;依法协调经济开发与环境保护的关系;注重科学的研究,提高科技含量。这些经验和对策是广大劳动群众智慧的结晶,已经在风水蚀复合区的运用中取得了丰硕成果。

3.1 预防为主,保护领先

风水蚀复合区水土流失的发生发展除了受自然因素影响外,在很大程度上受人为因素的加速加剧作用,因此,必须正确处理防、治的关系。要特别加强对现有林草植被的管护,采取有力措施,严禁滥垦、滥牧、滥采、滥挖等破坏植被的现象,防止出现新的水土流失土地和原有水土流失土地的进一步升级。在切实保护好现有林草植被的基础上,有计划、有步骤、有重点地对已有水土流失土地逐步进行治理。以预防为主是针对任何自然灾害采取的通用原则,即防患于未然。采取封育、退耕还林、轮牧、休牧,严禁滥垦、滥牧、滥樵,坚持水土保持项目与开发建设项目同时实施原则,就是以预防为主的原则在水土流失防治中的灵活运用。

3.2 生物措施、农业技术与工程措施相结合

风水蚀复合区水土流失土地分布广、面积大、东西跨度长,气候、地貌、土壤、植被等自然因素差异明显,人类生产活动各异。在同一地方,由于坡度、坡向的不同,水土流失的成因和机制也不一样。广大干部群众在水土保持的实践中总结出了水土流失的治理应该坚持因地制宜,生物措施、农业技术与工程措施相结合的综合治理原则,即在水土流失的类型程度分区的基础上,根据水土流失的成因,针对不同的水土流失发生形式采用不同的水土保持措施,面对复杂的水土流失区时,要综合采用生物措施、农业技术与工程措施,才会有效的控制水土流失,单一的水土保持措施很难在区域上发挥效益。生物措施、工程措施、农业技术措施在水土保持中的功能是不同的:生物措施从沟底到坡顶阻止表土流失、涵养水源、固沙固土;工程措施主要布设在沟道、沟谷,起消洪、阻沙,保水保土,淤地造田;农业技术措施,如留茬、覆盖、草田轮作,增加土壤覆盖度,防风防水蚀,保护基本农田。

3.3 国家的生态需求与农户的经济需求相结合

统计资料表明,风水蚀复合区74个县、旗(市)中,有40个是国家贫困县,超过50%。严重的水土

流失导致生产力降低,农民经济收入下降;同时,由于贫困,人们的生产方式落后,效率低下,不合理的土地利用可能导致了水土流失的加剧。在水土保持的实践中,人们认识到贫困和水土流失之间有很强的相关关系。水土流失的治理必须与农民的脱贫致富联系起来,否则,边破坏边治理的现象难以克服;因此,水土流失的防治必须把生态、经济、社会效益结合起来,坚持三效益结合的原则,把国家的生态需求与农户的经济需求相结合。例如,水土流失综合治理措施可以蓄水保土、增加植被盖度、提高土地生产力、增加有效耕地面积,为当地农民带来经济效益;同时水土流失综合治理措施具有减少泥沙入河、减轻河道淤积、消洪减洪等作用,满足了国家的生态需求。

3.4 依法协调经济开发与环境保护的关系

1991年6月29日国家颁布了《中华人民共和国水土保持法》,1993年8月,国务院又发布了《中华人民共和国水土保持法实施条例》,使我国的水土保持工作步入了预防为主、依法防治的轨道。法规条文初步明确了经济开发与环境保护的关系,主要内容有以下几个方面:一是保护现有林草植被,禁止乱砍滥伐,禁止毁林毁草,开荒垦种,禁止在陡坡地铲草皮和挖树根;二是禁止在25°以上的陡坡地开垦种植农作物,对现有25°以上的陡坡耕地,应在建设基本农田的基础上,逐步退耕,种树种草,恢复植被;三是在山区、丘陵区、风沙区开矿、修路、兴修水利工程等开发建设事业,在建设项目环境影响报告书中,必须有水土保持主管部门同意的水土保持方案,与主体工程同时设计,同时施工,同时投产使用,防止由于破坏原有地形和地表植被产生新的水土流失。

3.5 注重科学研究,提高科技含量

水土流失治理是一个庞大的系统工程,涉及到社会的各个方面,如土地资源、水资源的保护与利用,资金的投入与管理,科学研究与治理措施的选择,经济效益与生态效益的协调等,同时也对人们生产、生活产生巨大影响。风沙侵蚀复合区由于生态环境具有明显的波动性、多变性和脆弱性,加之风沙侵蚀复合区又是国家生态安全的重要屏障,因此,风沙侵蚀复合区水土流失治理工作应重视科学研究,加强水土流失监测,把科学研究、科学监测、科学规划放在首位。开展水土流失综合治理必须经过以下科学程序:一是进行水土流失治理查勘(或调查),作为编制水土流失治理规划的依据;二是根据自然条件、社会经济情况和水土流失特点,结合当地发展生产的需

要,编制水土流失治理规划;三是进行水土流失治理措施的设计;四是根据规划设计,有计划地进行组织实施。

4 建议实施的重点工程

4.1 黄河粗泥沙的综合治理

黄河之患,根在粗沙,粗沙淤积是黄河上、中、下游洪水危害的根本原因。对粗泥沙的“拦、排、放、调、挖”是处理和利用黄河泥沙的基本思路。现已初步查明,1960年前三门峡水库未建成的自然情况下,下游河道主槽淤积物中,粒径大于0.05 mm和0.1 mm的粗泥沙分别达76.1%和50.7%^[9]。如此之多的粗泥沙主要来自风水蚀复合区内的黄甫川、窟野河、秃尾河、孤山川、无定河等支流和乌兰布和沙漠、十大孔兑(库布齐沙漠)^[9-10]。

4.1.1 内蒙古河段主要泥沙源区综合治理(乌兰布和沙漠治理)工程 随着乌兰布和沙漠的东移南侵,河流对沙漠的淘蚀作用进一步加剧,因而沙丘坍塌入黄沙量势必成为风沙直接入黄沙量的重要部分。为有效阻止河流的淘蚀作用,减少沙漠坍塌入黄沙量,需要对河道左岸的沙丘进行护坡工程建设。根据河道左岸沙丘的分布状况,确定护坡工程规模为50 km×50 m。护坡工程量主要包括砂砖制作工艺和沙丘背风坡砂砖铺垫工程。砂砖制作工艺主要是应用乌兰布和沙漠沙采用新型沙漠沙制砖技术制成50 cm×50 cm×3 cm规格的砂砖;沙丘背风坡砂砖铺垫工程主要应用50 cm×50 cm×3 cm型号砂砖铺垫沙丘背风坡面,防止河流对沙丘的淘蚀作用。

沙漠沙入黄的另一重要方式是沙丘前移和风沙流输送过程。以固为主、固阻结合的沙漠锁边林是有效地控制沙丘前移和风沙流输送风沙入黄的主要工程措施。根据河道左岸沙丘的分布状况,确定左岸沙漠锁边林工程规模为120 km×300 m。沙漠锁边林工程主要包括流沙固定沙障,障内固沙灌木栽植和丘间低地乔灌栽植工程。流沙固定沙障主要指草方格沙障和黏土沙障;沙障内固沙灌木主要应用花棒(*Hedysarum scoparium*)、柽柳(*Tamarix chinensis*)、沙柳(*Salix cheilophila*)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)等;丘间低地主要栽植旱柳(*Salix matsudana*)、白杨(*Populus alba*)、柳(*Salix babylonica*)、沙枣(*Elaeagnus angustifolia*)、黄柳(*Salix gordejevii*)、沙柳等。

4.1.2 10大孔兑(库布齐沙漠)治理工程 10大孔兑水土流失治理生态建设工程治理区域涉及黄河中

游多沙粗沙区 10 条相邻的流域,区域总面积 1 万 767 km²,项目区面积 8 803.1 km²。行政区包括鄂尔多斯市达拉特旗全部和杭锦旗、东胜区和准格尔旗的部分地区。东起准格尔旗萨亥图乡,西至杭锦旗杭锦淖乡,南起东胜区东胜梁,北至黄河南岸。

根据区域地形地貌特征,可以把治理区划分为丘陵沟壑区、风沙区、平原区 3 个分区,各个分区自然田间差异较大,治理的方法也各有其特点。

丘陵沟壑区一部分坡度大,土壤肥力差,已造成水土流失,坡耕地将在今后 10 年内逐步退耕。将退耕的坡耕地发展为高产人工草地。为了解决饲草来源,选择土层深厚的坡面,建设人工草地。在土层较薄,地面较完整的坡面,进行水平沟整地,沟内种植油松 (*Pinus tabulaeformis*)、沙棘 (*Hippophae rhamnoides*) 等,沟间种植柠条 (*Caragana korshinskyi*)、苜蓿 (*Medicago sativa*)、沙打旺 (*Astragalus adsurgens*) 等,实行乔、灌、草混交,以提高植被覆盖度。在土层较薄的破碎坡面,进行鱼鳞坑整地,坑内栽植油松,坑间播种适生牧草如苜蓿等,形成立体防护。覆沙黄土坡面以穴状整地,栽植沙柳,行间播种沙打旺、羊柴 (*Hedysarum laeve*) 等牧草。覆沙较厚的坡面,配合沙障治沙,栽种沙柳、沙打旺、羊柴等,重建和恢复林草植被。在黄土梁选择以沙打旺为主要草种,覆沙梁选择以沙打旺、羊柴为主要草种。丘陵区沟坡一般较陡,不进行工程整地,在土质沟坡段,实施人工撒播沙棘、苜蓿或拌有同类灌草种籽的泥丸喷播等措施,使植物在靠沟坡坑凹和侵蚀松散土体地段着根、发芽、生长,达到增加植被的目的。丘陵区主、干沟一般都较为宽阔,在干沟中下部及主沟两侧依水流条件实施治河造地、引洪澄地等措施,发展基本农田。在支毛沟通过修筑骨干工程、淤地坝、塘坝等形式形成科学合理的治沟工程体系,在拦泥蓄水,治沙减沙的同时,进行灌溉和发展沟坝地;其次配合工程措施,在水分条件较好的小支毛沟内进行沙柳、沙棘封沟,拦沙蓄水稳定河床。

在风沙区流动沙丘地带采用锁边治理措施,从沙丘外围和周边开始,通过设置人工沙障,在控制沙丘发展的基础上,在沙障中间栽种沙柳、花棒、沙打旺等,同时在有条件地段的沙丘间下部较低处筑沙坝蓄水,通过前拉后挡逐步削平沙丘,拉沙造地,削减沙丘高度,治理中期治理区达到半流动沙丘时配合沙障分段隔断,在雨季条件成熟时进行人工飞播种草造林加快治理进度。固定、半固定沙丘地带,一般地下水较为丰富,可直接进行林草植被的建设和

恢复,途径是以沙柳、沙蒿 (*Artemisia desertorum*) 为主要草树种,带状、菱形状栽种形成网格,其间撒播适生牧草。丘间低地及丘外平地较为平坦,土壤水分条件好,一般已开辟为农地。在此类地区,采用营造防护林进行保护,并通过拉沙造田抬高田面,防止盐渍化、钙化等危害。风沙区低洼碱滩主要分布在库布其沙漠北缘与平原相接,大片沙荒低洼地,沙与碱坑相连,不治理则无法利用。根据现实条件,规划在各流域中游修建引洪淤灌工程,通过洪水泥沙的引入,沿途拉沙治沙,用水用沙造田,与此同时相应减轻了下游的洪水危害,收到一举两得之效。

在平原区,实施引洪减沙淤地工程和引洪灌溉工程。利用汛期洪水,在适宜地段修建引洪水利工程,进行引洪淤地和灌溉。这对于缓解用水困难,利用洪水水温高、富含养分的优势,增加土壤养分,改良土壤,改造中低产田和低洼滩地,达到治沙减沙和改造开发宜农耕地的目的,同时还可以减轻下游防洪负担,一举数得。

4.1.3 窟野河、秃尾河、孤山川沟道拦沙工程 根据区域侵蚀产沙特征、主要原因和规律,要快速减少入黄泥沙,就必须从沟道措施入手,通过沟道拦沙工程建设,在较短时间内将泥沙拦截;同时,在沟道措施保障下,用较长时间恢复植被,改变土壤流失严重、生态环境恶化的趋势。

1) 淤地坝工程。根据不同类型区小流域沟道特征、建坝条件及来水来沙情况,在分析典型小流域沟道工程布局的基础上,按照项目区拦减泥沙目标要求,结合沟道工程现状,考察组确定出骨干坝总控制面积、单坝控制面积、总库容、拦泥库容等技术指标。最终确定本项目共安排建设骨干淤地坝 541 座,总控制面积 1 521 km²。其中新建骨干坝 394 座,中型淤地坝 147 座;加高加固骨干坝 38 座,中型淤地坝 32 座(表 1)^①。

2) 拦泥库工程。拦泥库工程布局主要布置在窟野河、秃尾河、孤山川的 7 条主要沟道中,7 座拦泥库总控制面积为 480.5 km²(表 2)。

4.2 生态修复工程

生态修复分为 2 方面,即自然修复和人工修复。水土流失严重区即水土流失中等程度以上者,主要靠人工修复,辅助自然修复。水土流失较轻的广大

^① 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,等. 中国水土流失与生态安全综合科学考察:北方农牧交错带水风蚀复合区考察报告(待出版)

地区,主要靠保护、围封自然修复。同时,辅以调整土地利用结构,退耕还林(草)、禁牧、限牧、轮牧、休牧等人工措施。生态修复工程必须坚持人工修复措

施、生物、农业与工程措施相结合,区域防治与重点区域治理相结合。根据生物气候带理论与适地适树的原则,建设乔灌草相结合,以灌草为主的人工植被。

表 1 淤地坝工程布局情况表
Tab.1 Engineering arrangement of silt arresters

支流	新建骨干坝		新建中型淤地坝		加高加固		中型坝	
	数量	控制面积/km ²	数量	控制面积/km ²	数量	控制面积/km ²	数量	控制面积/km ²
孤山川	70	210	7	10.5	5	15	6	9
窟野河	255	869	65	112.0	11	33	4	8
秃尾河	69	207	75	112.5	22	66	22	33
合计	394	1 286	147	235.0	38	114	32	50

表 2 拦泥库工程经济技术指标
Tab.2 Economic-technology target of sediment-retaining reservoirs

支流名称	库名	控制面积/km ²	库容/万 m ³			坝高/m			可淤地/hm ²
			总	拦泥沙	滞洪	总	拦泥沙	滞洪	
孤山川	马家沟	50.0	2 300.0	1 500.0	800.0	54	48	4	100.0
	木瓜沟	155.0	8 080.7	5 166.7	2 914.0	64	52	10	293.0
秃尾河	郑家洼	30.6	734.4	183.6	550.8	53	28	23	13.2
	刘岔	29.0	1 392.0	870.0	522.0	46	38	6	58.7
	圪柳沟	114.0	7 209.9	5 066.7	2 143.2	64	53	9	326.7
窟野河	小河沟	65.4	5 792.3	4 360.0	1 432.3	72	64	6	306.7
	张家塔	36.5	2 421.6	1 622.2	799.4	71	57	12	94.7

风水蚀复合区总面积 42.77 万 km²,其中需进行生态修复的面积 26.15 万 km²,占总面积的 61.14%。按流域而论,复合区黄河流域面积达到 12.95 万 km²,修复的面积 8.87 万 km²,占复合区黄河流域总面积的 68.4%。复合区海滦河流域面积 3.59 万 km²,需修复的面积 1.86 万 km²,占流域面积的 51.8%。复合区松辽流域 19.61 万 km²,需修复的面积 10.32 万 km²,占 52.63%。内蒙古内陆河流域面积 6.63 万 km²,需修复的面积 5.1 万 km²,占 76.9%。生态修复后不仅坡面水土流失得到减轻,由中、轻度侵蚀逐渐过渡到轻度和微度,进而延长了沟道工程的运行年限,减少入黄泥沙;而且促进经济社会和人居环境的全面改善,为实现环境优美、建设小康社会和新农村提供保障。

参加本次科学考察工作的还有李栋梁、颜长珍、周立华、张克存、马永欢、马绍休、贾泽祥、谭晶、马安利等。本次科学考察得到了水利部黄河水利委员会水土保持局、水利部黄河水利委员会黄河上中游管

理局、内蒙古自治区林业科学研究院、水利部松辽水利委员会、水利部海河水利委员会以及内蒙古自治区、陕西省、山西省、河北省、吉林省、辽宁省等有关市(地、盟)、县(旗)政府和水保部门的大力支持,其中的农户调查也得到了有关村干部的热情帮助和农民朋友的积极配合。在此表示衷心感谢。

5 参考文献

- [1] 史培军,王静爱.论风、水两相作用地貌的特征及其发育过程.内蒙古林学院学报,1986,8(2):88-97
- [2] 高学田,唐克丽.神府-东胜矿区风蚀水蚀交互作用研究.土壤侵蚀与水土保持学报,1997,3(4):1-7
- [3] 张平仓.水蚀风蚀交错带风、水两相侵蚀时空特征研究:以神木六道沟小流域为例.土壤侵蚀与水土保持学报,1999,3(5):93-94
- [4] Kirkby M J. The stream head as a significant geomorphic threshold. Department of Geography, University of Leeds Working Paper, 1978, 216

(下转第 42 页)

度矛盾突出,人地关系失衡,造成了对水土资源的不合理利用,加速了水土流失的发生发展。贵州省人口密度从1949年的88人/km²增加到2001年的216人/km²,而人均耕地却从0.127 hm²锐减到0.05 hm²,且80%属于坡陡贫瘠的低产坡耕地,这种人口密度与人均耕地的剪刀差,使得贵州省的水土流失越来越严重;因此,在严格执行计划生育政策、控制人口增长的基础上,实施生态移民,是防治水土流失及土地石漠化,实现区域人口发展和生态环境协调发展的有效措施。

在科学考察活动与资料收集过程中,得到了贵州、云南和广西水利厅及其考察县市有关部门的大力支持和帮助,水利部水土保持监测中心提供了西南岩溶石漠化区的水土流失遥感解译资料,在此一并表示感谢。

4 参考文献

- [1] 蒋忠诚,袁道先.西南岩溶区的石漠化及其综合治理综述//中国地质调查局.中国岩溶地下水与石漠化研究论文集.南宁:广西科技出版社,2003:13-19
- [2] 曹建华,袁道先.受地质条件制约的中国西南岩溶生

态系统.北京:地质出版社,2005:90-148

- [3] 中国科学院学部.关于推进西南岩溶地区石漠化综合治理的若干建议.地球科学进展,2003,18(4):489-492
- [4] 熊康宁,黎平,周忠发.喀斯特石漠化的遥感-GIS典型研究:以贵州省为例.北京:地质出版社,2002:51-84
- [5] 张雅梅,熊康宁,安裕伦,等.花江喀斯特峡谷示范区土壤侵蚀调查.水土保持通报,2003,23(2):19-22
- [6] 万军,蔡运龙,张惠远,等.贵州省关岭县土地利用/土地覆被变化及土壤侵蚀效应研究.地理科学,2004,24(5):573-578
- [7] 裴建国,李庆松.生态环境破坏对岩溶洼地内涝的影响:以马山古寨乡为例.中国岩溶,2001,20(4):297-300
- [8] 童立强,丁富海.西南岩溶石山地区石漠化遥感调查研究//中国地质调查局.中国岩溶地下水与石漠化研究论文集.南宁:广西科技出版社,2003:36-45
- [9] 袁道先.岩溶地区的地质环境和水文生态问题.南方国土资源,2003(1):22-25
- [10] 陈文贵.珠江上游石灰岩地区综合治理试点工程建设与管理.中国水土保持,2005(7):20-21
- [11] 柴宗新.试论广西岩溶区的土壤侵蚀.山地研究,1989,7(4):255-260

(责任编辑:宋如华)

(上接第36页)

- [5] Bullard J E, McTainsh G H. Aeolian-fluvial interactions in dryland environments: examples, concepts and Australia case study. *Progress in Physical Geography*, 2003, 27: 471-501
- [6] 高学田,唐克丽.水蚀风蚀交错带侵蚀能量特征.水土保持通报,1996,16(3):27-31
- [7] 查轩,唐克丽.水蚀风蚀交错带小流域生态环境综合治理模式研究.自然资源学报,2000,15(1):97-100
- [8] 王晓,郑宝明,刘立斌.披砂岩分布区土壤侵蚀特征

及防治对策.土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(4):19-24

- [9] 徐建华,金双彦,张成,等.用边际分析法确定黄河中游粗泥沙集中来源区.中国水土保持科学,2006,4(3):1-5
- [10] 吴成基,王生雄,孟彩萍,等.从自然地理背景宏观剖析黄河中游粗泥沙集中来源区.中国水土保持,2006(9):8-10

(责任编辑:程 云)