
综
合
治
理

黄土高原不同侵蚀类型区侵蚀产沙强度 变化及其治理目标

王万忠^{1,2}, 焦菊英^{1,2}, 马丽梅¹, 穆兴民^{1,2}

(1. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 为了确定黄土高原不同侵蚀类型区的治理目标, 采取“水文—地貌法”, 利用 98 个水文站控制区和 234 个侵蚀产沙单元, 在分析其不同治理阶段土壤侵蚀产沙变化特征与减沙幅度, 不同侵蚀强度面积的变化及其空间分布的基础上, 提出了未来 20 a 黄土高原主要流失区的区域治理目标: 土壤流失量控制在 3.60×10^8 t 左右, 土壤侵蚀模数 $< 1\ 300$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$) 左右。其中, 黄土峁状丘陵沟壑区为 $3\ 000$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$), 黄土梁状丘陵沟壑区为 $2\ 000$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$), 干旱黄土丘陵沟壑区为 $2\ 000$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$), 黄土平岗丘陵沟壑区为 $1\ 000$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$), 风沙黄土丘陵沟壑区为 $1\ 000$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$), 黄土山麓丘陵沟壑区为 $1\ 000$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$), 森林黄土丘陵沟壑区为 300 t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$), 黄土高塬沟壑区为 $1\ 500$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$), 黄土残塬沟壑区为 $3\ 000$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$), 黄土阶地区为 500 t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$), 风沙草原区为 500 t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$), 高原土石山区为 100 t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)。未来 20 a 黄土高原的治理重点区域为黄土峁状丘陵沟壑区 (2.20×10^4 km^2)、干旱黄土丘陵沟壑区 (1.50×10^4 km^2)、黄土高塬沟壑区 ($8\ 600$ km^2)、黄土梁状丘陵沟壑区 ($4\ 600$ km^2)。

关键词: 侵蚀产沙; 治理标准; 侵蚀类型区; 黄土高原

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)05-0001-07

中图分类号: S157.1

Variation of Sediment Yield in Different Soil Erosion Areas and Its Control Standards on the Loess Plateau

WANG Wan-zhong^{1,2}, JIAO Ju-ying^{1,2}, MA Li-mei¹, MU Xing-min^{1,2}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Based on the distribution of hydrological stations, the study area was divided into 98 sections controlled by hydrological stations and then, 234 soil erosion units were determined according to the different soil erosion areas. The variation of sediment yield, sediment reduction rate, and the area variation and spatial distribution were analyzed for different degrees of sediment yield in the different soil erosion areas in different control periods. The control standards for the different soil erosion areas on the Loess Plateau in the future 20 years were put forwarded: Soil loss is controlled at 3.6×10^8 t and soil erosion modulus is less than $1\ 300$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$). For the different soil erosion areas, soil erosion modulus is $3\ 000$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$) in loess Mao hilly and gully region, $2\ 000$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$) in loess Liang hilly and gully region, $2\ 000$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$) in arid loess hilly and gully region, $1\ 000$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$) in loess gentle slope hilly and gully region, $1\ 000$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$) in wind and sand loess hilly and gully region, $1\ 000$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$) in loess piedmont hilly and gully region, 300 t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$) in forest loess hilly and gully region, $1\ 500$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$) in loess tableland hilly and gully region, $3\ 000$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$) in loess residual plateau hilly and gully region, 500 t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$) in loess terraces region, 500 t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$) in wind and sand grassland region, and 100 t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$) in plateau mountain and rock region. The key control areas in the future 20 years are loess Mao hilly and gully region (2.20×10^4 km^2), arid loess hilly and gully region (1.50×10^4 km^2), loess tableland hilly and gully region ($8\ 600$ km^2), and loess Liang hilly and gully region ($4\ 600$ km^2).

Keywords: sediment yield; control standard; soil erosion area; Loess Plateau

收稿日期: 2012-03-15

修回日期: 2012-04-27

资助项目: 国家科技支撑计划项目“黄土高原水土流失综合防治技术研究”(2006BAD09B10); 国家自然科学基金重点项目“黄土丘陵区土壤侵蚀对植被恢复过程的干扰与植物的抗侵蚀特性研究”(41030532)

作者简介: 王万忠(1952—), 男(汉族), 陕西省西安市人, 研究员, 从事降雨侵蚀力及流域侵蚀产沙研究。E-mail: dbwwz@nwsuaf.edu.cn.

黄土高原的水土流失虽历经 50 a 余载的治理,取得了举世瞩目的成绩,但还未从根本上扭转水土流失严重的局面,给当地土壤生产力、粮食安全、生态环境、人居环境和社会经济发展等带来严重影响,且直接威胁着黄河下游的长治久安。因此,黄土高原地区长期以来都是国家水土流失治理的重中之重。20 世纪 80 年代以来,特别是近 10 a,黄土高原国家重点治理区的水土流失状况明显好转,长期坚持综合治理的无定河、延河、三川河、定西以及世行项目区等区域效果显著^[1]。但是,由于重点治理的覆盖面有限,黄土高原水土流失治理的任务仍然任重道远,部分地区水土流失仍然十分严重甚至有所发展,且绝大多数地区的土壤流失远远高出水利部颁发的土壤容许流失量 $[T$ 值, $1\ 000\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$]^[2]。

在黄土高原地区,也有其他的 T 值研究结果,如陆中臣等^[3]根据黄土堆积速率和母质成土量确定的 T 值在 $276\sim 427\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$;陈奇伯等^[4]根据黄土的成土速度、水土流失对作物产量的影响、表土营养平衡和黄河河道容许来沙量确定的黄土丘陵区坡耕地 T 值为 $200\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$;孙立达等^[5]根据水土流失措施的减沙效益确定的黄土高原坡面 T 值为 $200\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$;刘秉正等^[6]确定渭北高原农坡地的 T 值应小于 $500\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$;唐克丽等^[7]根据无明显侵蚀确定的 T 值为 $1\ 000\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,与水利部颁布的标准值相符;赵焕勋^[8]依据植被盖度估算的皇甫川流域以砒砂岩、黄土和风沙土为主小流域的 T 值分别为 $7\ 000\sim 10\ 000, 2\ 800\sim 5\ 100$ 和 $1\ 400\sim 2\ 000\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。但由于研究对象、考虑因素和研究方法的不同,研究结果存在较大的差异,再加上黄土高原生态与环境的复杂性及经济发展途径多样性的特点,致使至今还没有切合实际的治理目标。申元村等^[9]也提出了黄土高原水土流失治理的 3 个目标:(1)从黄河下游行洪安全考虑,黄土高原土壤侵蚀的泥沙来量减至 $1.20 \times 10^9\ \text{t}/\text{a}$;(2)将人为加速土壤侵蚀量减下来,将土壤侵蚀量减至 $9.75 \times 10^8\ \text{t}/\text{a}$;(3)可考虑在局部特殊治理区减少自然侵蚀量,实现生态环境的良性循环。可这些目标过于宏观,还不能应用于水土流失治理实践,无法指导具体区域及不同土地利用的水土流失治理。同时,由于黄土高原水土流失直接影响黄河的长治久安,已有关于黄土高原水土流失的治理大多是从黄河的角度考虑和提出的。有人提出用 $8.00 \times 10^8\ \text{t}$ ($1.60 \times 10^9\ \text{t}$ 的 $1/2$) 推算黄土高原的容许流失量^[10],而目前已低于 $4.0 \times 10^8\ \text{t}$ (如 2000—2010 年潼关水文站的平均输沙量为 $3.03 \times 10^8\ \text{t}$),但并不意味着黄土高原的治理就达到了目标。

为此,本文将在研究 50 a 来黄土高原不同侵蚀类型区侵蚀产沙的时空变化特征及减沙幅度和明确黄土高原治理以来的成效与其空间分布的基础上,确定黄土高原不同土壤侵蚀类型区未来 20 a 的治理目标,以期为黄土高原后退耕时代水土保持远景规划提供参考依据,对维持黄土高原生态环境可持续发展与黄河下游河道健康运行具有重要的意义。

1 资料与方法

根据黄土高原所能获取输沙资料的水文站分布情况,并依据蔡志恒^[11]对黄河流域侵蚀类型划分的 6 个一级类型区和 20 个二级类型区,同时减去未发生或轻微侵蚀的冲积平原区 $8\ 312.7\ \text{km}^2$,极高原石质山区 $2\ 844.31\ \text{km}^2$ 与库布齐沙漠区 $1\ 765.3\ \text{km}^2$,研究区域的面积共 $249\ 400.7\ \text{km}^2$,包括河龙区间、北洛河湫头以上及泾渭河华县以上区域,有 98 个水文站控制区,12 个二级侵蚀类型区(表 1,附图 1)。

采取“水文—地貌法”^[12],将研究区划分为 234 个侵蚀产沙单元。在计算各侵蚀产沙单元的侵蚀产沙强度^[12]的基础上,分析不同土壤侵蚀类型区 1955—2007 年不同时段侵蚀产沙强度变化,确定未来 20 a 黄土高原不同侵蚀类型区的治理目标。

2 结果与分析

2.1 不同侵蚀类型区侵蚀强度的变化

表 1—2 分别是不同侵蚀类型区 1955—2007 年不同时段侵蚀模数变化,及 20 世纪 70 年代以来不同治理阶段的侵蚀强度减幅情况。

(1)从治理前后相比(即 1970—2007 年与 1955—1969 年相比,一般认为 1969 年以前人类活动比较轻微,视为近天然状态或治理前^[13]),20 世纪 70 年代以来,侵蚀模数减幅最大的是黄土山麓丘陵沟壑区,从治理前的 $6\ 892.6\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 减少到 $2\ 079.9\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,减幅达到 69.8%。其次是风沙黄土丘陵沟壑区,侵蚀模数从治理前的 $6\ 347.3\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 减少到 $2\ 502.3\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,减幅为 60.6%。平岗、卵状、梁状 3 个丘陵沟壑区减幅基本在 55% 左右。除森林黄土丘陵沟壑区减幅在 6.6% 和黄土残塬沟壑区减幅在 48.1% 外,其余各类型区大致都在 30%~40%。

(2)从不同治理阶段的减幅看,90 年代以后较 1970—1980 年代减沙效益明显增大,其减沙幅度普遍提高了近 20%。从 90 年代起,特别是退耕还林还草以来,减沙效益显著增强的有以下几个区域:①黄土平岗丘陵沟壑区,90 年代以来的减沙效益从 70—80 年代的 33.5% 增加到 78.5%,再到退耕还林

还草后(1998—2007 年)的 88%; ② 风沙草原区,90 年代以来的减沙效益从 70—80 年代的 5.8%增加到 71.7%,再到退耕还林还草后 90.9%; ③ 高原土石山区,也从 12.9%分别增加到 73.6%和 77.4%。风

沙黄土丘陵沟壑区和梁状黄土丘陵沟壑区侵蚀模数亦明显减少,而对于黄土高塬沟壑区和黄土阶地区,90 年代及退耕还林以后同 70—80 年代相比较,减沙幅度变化却不是很大,增幅不到 10%。

表 1 黄土高原不同类型区的侵蚀模数变化

侵蚀类型区	面积/ km ²	侵蚀模数/(t·km ⁻² ·a ⁻¹)					
		1970 年以前 (1955—1969)	70 年代后 (1970—2007)	70—80 年代 (1970—1989)	90 年代后 (1990—2007)	退耕后 (1998—2007)	平均 (1955—2007)
黄土平岗丘陵沟壑区	26 191.1	6 528.6	2 950.4	4 343.8	1402.1	785.9	3 963.1
黄土峁状丘陵沟壑区	41 054.6	13 670.1	6 179.9	6 695.9	5 606.4	3 848.0	7 773.9
黄土梁状丘陵沟壑区	25 240.1	8 610.5	3 787.6	4 850.2	2 606.9	1 842.9	5 159.7
黄土山麓丘陵沟壑区	4 573.9	6 892.6	2 079.9	2 838.8	1 236.7	1 584.2	3 442.0
干旱黄土丘陵沟壑区	35 626.8	9 777.6	6 271.6	6 932.4	5 537.3	3 749.3	7 266.5
风沙黄土丘陵沟壑区	10 544.4	6 347.3	2 502.3	3 443.3	1 456.7	866.6	3 590.5
森林黄土丘陵沟壑区	15 527.9	345.0	322.1	292.7	354.8	316.8	328.6
黄土高塬沟壑区	26 297.6	6 835.4	4 382.4	4 998.4	3 698.0	2 920.5	5 076.7
黄土残塬沟壑区	4 205.6	13 384.9	6 947.5	6 472.8	7 474.9	5 420.0	8 769.4
黄土阶地区	10 832.0	2 822.2	1 963.0	2 171.2	1 731.7	1 974.1	2 206.1
风沙草原区	23 024.1	2 871.8	1 809.3	2 705.4	813.5	262.1	2 110.0
高原土石山区	26 282.5	557.1	325.2	485.4	147.3	126.0	386.4
总 计	249 400.7	7 013.1	3 636.1	4 286.8	2 913.1	2 046.0	4 506.0

表 2 20 世纪 70 年代以来不同类型区的侵蚀模数减幅变化

侵蚀类型区	较 70 年以前的减幅/%			
	70 年 代后	70—80 年代	90 年 代后	退耕后
黄土平岗丘陵沟壑区	54.8	33.5	78.5	88.0
黄土峁状丘陵沟壑区	54.8	51.0	59.0	71.9
黄土梁状丘陵沟壑区	56.0	43.7	69.7	78.6
黄土山麓丘陵沟壑区	69.8	58.8	82.1	77.0
干旱黄土丘陵沟壑区	35.9	29.1	43.4	61.7
风沙黄土丘陵沟壑区	60.6	45.8	77.1	86.3
森林黄土丘陵沟壑区	6.6	15.1	-2.8	8.2
黄土高塬沟壑区	35.9	26.9	45.9	57.3
黄土残塬沟壑区	48.1	51.6	44.2	59.5
黄土阶地区	30.4	23.1	38.6	30.0
风沙草原区	37.0	5.8	71.7	90.9
高原土石山区	41.6	12.9	73.6	77.4
总 计	48.2	38.9	58.5	70.8

(3) 对于整个研究区域来说(249 400.71 km²),侵蚀模数从 70 年以前的平均 7 013.1 t/(km²·a)减少到 70—80 年代的 4 286.8 t/(km²·a),再减少到 90 年代以后的 2 913.1 t/(km²·a),减幅分别达到 38.9%和 58.5%。从 1998—2007 年的统计结果看,侵蚀模数年平均只有 2 046 t/(km²·a),减幅达到 70.8%。

2.2 不同侵蚀类型区各侵蚀强度的面积变化

分别统计了研究区内不同侵蚀强度的面积变化,

特别是强度以上侵蚀[≥5 000 t/(km²·a)]的面积变化分别见表 3—4 和附图 2—5。

(1) 从治理前后(70 年以前和 70 年代以后)相比较,不同侵蚀强度的面积发生了很大变化。特别是 ≥5 000 t/(km²·a)的侵蚀强度面积从治理前的 130 277.4 km²减少到治理后的 73 649.2 km²,减幅达 43.5%;而 ≥10 000 t/(km²·a)极强烈以上侵蚀面积从治理前的 75 405.6 km²减少到 12 293.4 km²,减幅达 83.5%。由于强度以上侵蚀面积的大幅减少,轻度侵蚀以下[<2 500 t/(km²·a)]的面积有很大的增加,从治理前的 78 209.7 km²增加到 118 489.4 km²,增幅达 44.2%。

(2) 从 70—80,90 年代以后和退耕还林(草)以后 3 个不同治理阶段较治理前的面积变化看,≥5 000 t/(km²·a)强度侵蚀的面积是一个逐步减少的过程,且从 90 年代后减幅明显加大,3 个不同阶段较治理前减幅分别为 29.4%,56.9%和 75.9%;相对于 70—80 年代,90 年代以后的减幅增加近 1 倍。其中,≥10 000 t/(km²·a)的极强烈侵蚀的面积减幅比 ≥5 000 t/(km²·a)侵蚀面积的减幅变化更明显,3 个治理阶段的减幅分别为 75.2%,85.2%和 93.0%。

(3) 从不同类型区 ≥5 000 t/km² 的侵蚀强度以上的面积变化看,退耕还林(草)后,黄土山麓丘陵沟壑区、风沙黄土丘陵沟壑区和风沙草原区的减幅达到 100%,现已不存在强度以上的侵蚀。≥5 000 t/km²

的强度以上侵蚀面积的大幅减少,主要发生在 90 年代以后,特别是干旱黄土丘陵沟壑区、梁状黄土丘陵沟壑区和平岗丘陵沟壑区。这 3 个区 70—80 年代较 70 年以前强度以上的侵蚀面积减幅分别只有 8.3%,

10.0%和 23.5%,而 90 年代后较 70 年以前强度以上的侵蚀面积减幅分别为 45.4%,72.1%和 71.0%,而退耕还林还草后减幅就分别达到了 80.3%,93.4%和 92.7%。

表 3 20 世纪 70 年代以来不同侵蚀强度的面积增减变化

侵蚀强度分级	标准/ ($t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$)	70 年以前 面积/ km^2 (1955—1969)	较 70 年以前增减变化/%			
			70 年代后 (1970—2007)	70—80 年代 (1970—1989)	90 年代后 (1990—2007)	退耕后 (1998—2007)
微弱侵蚀	<1 000	57 138.1	49.8	31.9	93.4	122.9
轻度侵蚀	1 000~2 500	21 071.6	56.2	48.6	94.8	162.2
中度侵蚀	2 500~5 000	40 913.7	40.0	23.9	1.9	-13.6
强度侵蚀	5 000~10 000	54 871.8	11.8	33.5	-18.1	-52.4
极强烈侵蚀	>10 000	75 405.6	-83.7	-75.2	-85.2	-93.0
强度侵蚀以上	>5 000	130 277.4	-43.5	-29.4	-56.9	-75.9
轻度侵蚀以下	<2 500	78 209.7	44.2	31.3	80.5	114.6

表 4 20 世纪 70 年代以来强度以上侵蚀($\geq 5 000 t/(km^2 \cdot a)$)的面积减幅

侵蚀类型区	70 年以前 面积/ km^2 (1955—1969)	较 70 年以前的面积减幅/%			
		70 年代后 (1970—2007)	70—80 年代 (1970—1989)	90 年代后 (1990—2007)	退耕后 (1998—2007)
黄土平岗丘陵沟壑区	8 731.3	49.8	23.5	71.0	92.7
黄土峁状丘陵沟壑区	38 113.5	32.0	42.5	42.0	64.8
黄土梁状丘陵沟壑区	16 346.5	72.1	10.0	72.1	93.4
黄土山麓丘陵沟壑区	4 573.9	100.0	100.0	100.0	100.0
干旱黄土丘陵沟壑区	27 563.8	31.0	8.3	45.4	80.3
风沙黄土丘陵沟壑区	7 809.1	100.0	100.0	100.0	100.0
森林黄土丘陵沟壑区	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
黄土高塬沟壑区	14 661.0	15.2	15.2	41.4	48.6
黄土残塬沟壑区	4 205.6	11.2	8.8	34.6	34.6
黄土阶地区	1 698.6	67.5	67.5	67.5	67.5
风沙草原区	6 574.2	53.7	0.0	100.0	100.0
高原土石山区	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
总计	130 277.4	43.5	29.4	56.9	75.9

(4) 考虑到从退耕还林(草)后的资料统计年限较短,关于黄土高原强度以上侵蚀的面积变化情况,采用 90 年代以后(1990—2007)18 a 的平均状况较为合理。黄土高原 $\geq 5 000 t/km^2$ 的强度以上的侵蚀面积还有 $5.60 \times 10^4 km^2$ 左右,主要分布在黄土峁状丘陵沟壑区($2.20 \times 10^4 km^2$ 左右)、干旱黄土丘陵沟壑区($1.50 \times 10^4 km^2$ 左右)、黄土高塬沟壑区(8 600 km^2 左右);而 $\geq 10 000 t/km^2$ 的极强烈以上侵蚀有 10 000 km^2 ,主要分布在黄土峁状丘陵沟壑区(5 000 km^2 左右)、干旱黄土丘陵沟壑区(3 000 km^2 左右)。

2.3 不同侵蚀类型区治理目标的确定

在分析不同类型区前期治理(1970—1989 年)和中期治理(1990—2007 年)两个治理阶段的侵蚀产沙量的基础上,依据中期治理(1990—2007 年)的减沙效益(较

70 年以前的减沙幅度),不同治理度下^[14] 的土壤侵蚀模数预测(表 5),以及退耕还林(草)后的土壤流失减幅进行综合计算,确定了不同侵蚀类型区的治理目标(表 6)。未来 20 a(2010—2029 年)黄土高原所能达到的治理目标是土壤侵蚀模数小于 $1 300 t/(km^2 \cdot a)$,但不同的侵蚀类型区的治理目标各不相同,变化在 $100 \sim 3 000 t/(km^2 \cdot a)$ 。通过未来 20 a 的治理,黄土高原的侵蚀产沙量约在 $3.60 \times 10^8 t$ 左右,较中期治理的 $7.30 \times 10^8 t$ 要减少约 1/2;侵蚀强度以上的面积将由现阶段的 $5.60 \times 10^4 km^2$ 可减少到 $1.50 \times 10^4 km^2$ 。未来 20 a 黄土高原治理的重点区域主要分布在黄土峁状丘陵沟壑区($2.20 \times 10^4 km^2$)、干旱黄土丘陵沟壑区($1.50 \times 10^4 km^2$)、黄土高塬沟壑区(8 600 km^2)、黄土梁状丘陵沟壑区(4 600 km^2)。

表 5 不同类型区不同治理度下的土壤侵蚀模数

侵蚀类型区	面积/ km ²	土壤侵蚀模数/(t·km ⁻² ·a ⁻¹)							
		1955—1969	治理度/%						
			10	30	50	70	80	90	100
黄土平岗丘陵沟壑区	26 191.1	6 528.6	6 019.4	5 007.4	4 002.0	2 990.1	2 480.9	1 978.2	1 468.9
黄土峁状丘陵沟壑区	41 054.6	13 670.1	12 603.8	10 471.3	8 352.4	6 219.9	5 153.6	4 087.4	3 021.1
黄土梁状丘陵沟壑区	25 240.1	8 610.5	7 964.7	6 664.5	5 364.3	4 064.2	3 409.8	2 764.0	2 118.2
黄土山麓丘陵沟壑区	4 573.9	6 892.6	6 368.8	5 321.1	4 266.5	3 218.8	2 695.0	2 171.2	1 647.3
干旱黄土丘陵沟壑区	35 626.8	9 777.6	9 014.9	7 489.6	5 974.1	4 448.8	3 686.2	2 933.3	2 170.6
风沙黄土丘陵沟壑区	10 544.4	6 347.3	5 839.5	4 830.3	3 821.1	2 805.5	2 304.1	1 796.3	1 294.8
森林黄土丘陵沟壑区	15 527.9	345.0	318.8	266.3	213.6	161.1	134.9	108.7	82.5
黄土高塬沟壑区	26 297.6	6 835.4	6 363.8	5 427.3	4 490.9	3 554.4	3 089.6	2 618.0	2 153.2
黄土残塬沟壑区	4 205.6	13 384.9	12 461.3	10 627.6	8 793.9	6 960.1	6 050.0	5 126.4	4 216.2
黄土阶地区	10 832.0	2 822.2	2 607.7	2 178.7	1 746.9	1 318.0	1 103.5	889.0	674.5
风沙草原区	23 024.1	2 871.8	2 639.2	2 174.0	1 708.7	1 243.5	1 010.9	778.3	545.6
高原土石山区	26 282.5	557.1	514.8	430.1	344.8	260.2	217.8	175.5	133.1
总 计	249 401.0	7 013.1	6 480.1	5 414.1	4 341.1	3 275.1	2 742.1	2 209.1	1 676.1

表 6 不同类型区未来 20 年(2010—2029 年)的治理目标

侵蚀类型区	治理目标/ (t·km ⁻² ·a ⁻¹)	减沙幅度/ %	侵蚀量/ 10 ⁴ t	强度侵蚀面积/ km ²
黄土平岗丘陵沟壑区	1 000	84.7	2 619.1	0
黄土峁状丘陵沟壑区	3 000	78.1	12 316.4	10 000
黄土梁状丘陵沟壑区	2 000	76.8	5 048.0	0
黄土山麓丘陵沟壑区	1 000	85.5	457.4	0
干旱黄土丘陵沟壑区	2 000	79.5	7 125.4	3 000
风沙黄土丘陵沟壑区	1 000	84.2	1 054.4	0
森林黄土丘陵沟壑区	300	13.0	465.8	0
黄土高塬沟壑区	1 500	81.0	3 944.6	2 000
黄土残塬沟壑区	3 000	77.6	1 261.7	0
黄土阶地区	500	82.3	541.6	0
风沙草原区	500	82.6	1 151.2	0
高原土石山区	100	82.0	262.8	0
总 计	1 238	75.6	36 248.4	15 000

3 结论与讨论

(1) 评价一个区域的治理效益和土壤流失程度, 首先应该有一个“时间尺度”的概念。由于降雨因素的影响, 不同水文年型的土壤流失状况差异很大, 既就是治理度大幅度地提高了, 这种差异仍是存在的, 无非是差异的变幅会逐步缩小。实践证明, 黄土高原的综合治理即使取得了明显成效, 遇到特大暴雨, 流失量依然可能是极其严重的。例如, 北洛河流域吴起水文站 1994 年输沙模数达到了 58 720 t/(km²·a), 超过近 50 a 平均值的 5 倍多, 超过 90 年代以来年平均值的 6 倍多。因此, 不能用某一年或某一较短时段的土壤流失量来评价和预测综合治理的效益。根据黄土高原不同水土流失治理阶段的进展情况与治理

效益变化, 1949—1969 年的 20 a 为零星治理阶段(或视作未治理阶段); 1970—1989 年的这 20 a, 为以解决群众吃饭问题为主要目的的初期治理阶段, 是一个从初期的以梯田建设为主体的单项措施治理逐渐过渡到小流域综合治理阶段; 1990—2009 年的 20 a, 是以从解决吃饭问题转向改善生态环境为目的的中期治理阶段, 是一个从多元化的小流域治理过渡到集中连片、大规模林草建设阶段, 特别是退耕还林(草)的近 10 a; 而 2010—2029 年的未来 20 a, 可认为是以建设生态文明为主体的后期治理阶段, 也是从集中连片、大规模林草建设过渡到生态、经济、社会协调发展的阶段。因此, 认为 20 a 这样一个时间尺度会涵盖平水、丰水和枯水不同水文年型, 如果采用 10 a 的时间尺度则偏短, 可能会因为某一水文年型的持续出现

而不能客观地反映出治理效益。例如,近 10 a 来黄河泥沙的急剧减少(不到 4.00×10^8 t),并不是治理效益的真正体现,在一定程度上是受降雨因素的影响^[15-16]。因此,本研究依据中期治理(1990—2007 年)的减沙效益(较 70 年以前的减沙幅度),并结合退耕还林(草)后的侵蚀产沙减幅确定未来 20 a(2010—2029 年)黄土高原水土流失治理目标。

(2) 同样,评价一个区域的治理效益和土壤流失程度,也应该有一个“空间尺度”的概念。由于黄土高原地形地貌条件差异较大,不同类型区的土壤流失程度差异也很大。同时,水土保持措施的配置也与不同侵蚀类型区密不可分。因此,不能用一个标准来给定整个黄土高原的治理目标。如对于水利部颁布的黄土高原容许流失量为 $1\ 000$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)这个标准,一些侵蚀类型区是很难达到的,而一些植被较好的土石山区却早已低于这个标准。而关于 1997 年水利部颁发的黄土高原土壤容许流失量为 $1\ 000$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$),只能是黄土高原一个时间和空间上的平均概念。从时间尺度来讲,在丰水年份实现是有一定困难的;从空间尺度上讲,一些流失严重的地区如黄土峁状丘陵沟壑区和黄土残塬沟壑区也是有难度的。因此,黄土高原的治理目标应以不同的土壤侵蚀类型区而变化,不应是一个固定值,针对不同的土壤侵蚀类型区提出未来 20 a 黄土高原的治理目标是合理的。

(3) 关于不同土壤侵蚀类型区的治理目标,可将其分 4 类。① 风沙草原区、高原土石山区、森林黄土丘陵沟壑区,为 20 世纪 90 年代以后土壤侵蚀模数偏小的区域。风沙草原区 1990—2007 年的侵蚀模数为 813.5 t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$),未来 20 a 的目标可定为 500 t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$);高原土石山区 1990—2007 年的侵蚀模数为 147.3 t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$),未来 20 a 的目标可定为 100 t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$);森林黄土丘陵沟壑区 1990—2007 年的侵蚀模数为 354.8 t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$),未来 20 a 的目标可定为 300 t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)。② 干旱黄土丘陵沟壑区、黄土高塬沟壑区、黄土残塬沟壑区、黄土阶地区这些流失区,90 年代以来具有明显的治理效益,而且通过继续加强治理,效益将更为显著,这些区域未来 20 a 的减沙幅度普遍从 90 年代以来的 40% 左右增加到 70%~80%,侵蚀产沙量也较 90 年代来相对可减少约 1/2。未来 20 a 的治理目标:干旱黄土丘陵沟壑区可以从 1990 年以来的 $5\ 537.3$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)减少到 $2\ 000$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$),黄土高塬沟壑区可以从 1990 年以来的 $3\ 698.0$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)减少到 $1\ 500$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$),黄土残塬沟壑区的侵蚀模数可以从 1990 年以来的 $7\ 474.9$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)减少到 $3\ 000$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$),黄土

阶地区可从 90 年以来的 $1\ 731.7$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)减少到 500 t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)。③ 黄土平岗丘陵沟壑区、风沙黄土丘陵沟壑区、黄土山麓丘陵沟壑区这些 90 年代以来减沙效益已很明显的区域,其未来 20 a 的治理目标确定是在 90 年代以来减沙幅度的基础上做了较小幅度的增加。黄土平岗丘陵沟壑区的减沙效益从 90 年代后的 62.0% 增加到 77.0%,侵蚀模数由 $1\ 402.1$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)减少到 $1\ 000$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$);风沙黄土丘陵沟壑区减沙效益从 90 年代后的 77.1% 到 84.2%,侵蚀模数由 $1\ 456.7$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)减少到 $1\ 000$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$);黄土山麓丘陵沟壑区减沙效益的从 90 年代后的 82.1% 到 85.5%,侵蚀模数 $1\ 236.7$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)减少到 $1\ 000$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)。④ 黄土峁状和梁状丘陵沟壑区这 2 个重点水土流失区,90 年代以来通过集中连篇治理和大范围的退耕还林还草政策的实施,治理效益较为明显,其未来 20 a 的治理目标分别确定为 $3\ 000$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)和 $2\ 000$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)。

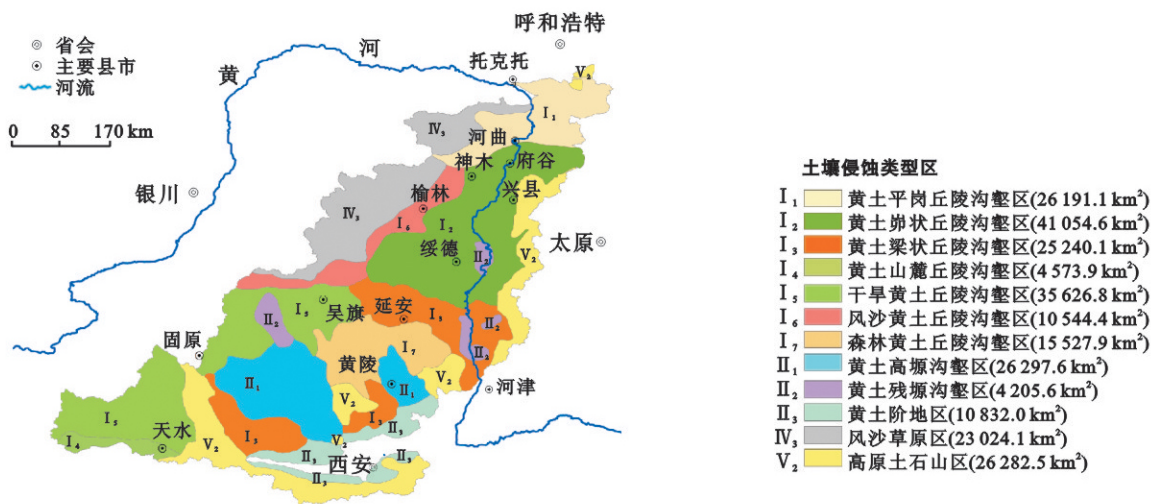
(4) 根据不同类型区未来 20 a 来治理目标的计算结果,得到未来 20 a 黄土高原的区域治理目标为侵蚀模数控制在 $1\ 300$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)左右,土壤流失量控制在 3.6×10^8 t 左右,减沙幅度较 70 年以前达近 80%,治理度达到 90%。实现上述目标是可能的。① 从不同时期的治理效益来看,根据对 2.50×10^5 km^2 不同时期的土壤流失状况详细计算,70 年以前(1955—1969 年)侵蚀模数大约为 $7\ 000$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$),1970—1989 年侵蚀模数大约在 $4\ 300$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$),1990—2007 年在 $2\ 900$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$),未来 20 a 为 $1\ 500$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$),分别较 70 年以前大约减少了 40%,60% 和 80%,减沙幅度大致增加了 20%,按照上述的减沙幅度是可以实现的。② 根据计算黄河输沙量在 70 年以前大约为 1.60×10^9 t,70 年代以后为 8.00×10^8 t,90 年代以后为 6.00×10^8 t,2000 年以后仅为 3.60×10^8 t,按照黄河泥沙的减少幅度,再通过 20 a 的治理,提出的黄土高原 4.00×10^8 t 的土壤流失量控制目标,完全可以使黄河的输沙量维持在 2000 年以后的 3.60×10^8 t 左右。③ 水土保持治理的减沙效益是一个不断累积的过程,也是一个不断由量变到质变的过程。近 10 a 来的退耕还林还草及大范围的封育措施,显示了大面积高盖度林草措施明显的防蚀减沙作用,这种作用和效益在未来 20 a 将会更为显著,生态环境将会得到一个根本性改变,土壤流失量也会更大程度地减少。

(5) 未来 20 a 的重点区域应从两方面来考虑。① 20 世纪 90 年代以来治理效益不显著的区域。从不同类型区 90 年代以后较 70 a 以前的土壤流失量减幅

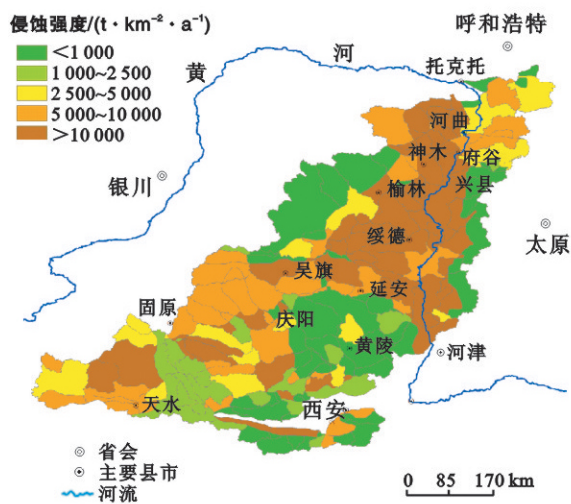
看,黄土残塬沟壑区、黄土高塬沟壑区和黄土阶地区的减少幅度较小(40%左右),因此,未来20 a应加强对上述区域的治理。②目前还存在强度侵蚀($\geq 5\ 000\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$)的区域。据统计,70 a以前黄土高原共有强度侵蚀以上的面积 $1.30 \times 10^5\ \text{km}^2$,通过治理1970—1989年强度侵蚀以上的面积为 $9.20 \times 10^4\ \text{km}^2$,1990—2007年为 $5.60 \times 10^4\ \text{km}^2$,未来20 a的控制目标为 $1.50 \times 10^4\ \text{km}^2$ 。目前存在强度侵蚀的区域主要分布在黄土峁状丘陵沟壑区($2.20 \times 10^4\ \text{km}^2$)、干旱黄土丘陵沟壑区($1.50 \times 10^4\ \text{km}^2$)、黄土高塬沟壑区($8\ 600\ \text{km}^2$)、黄土梁状丘陵沟壑区($4\ 600\ \text{km}^2$)。加大上述区域的治理不仅可以大幅度地减少强度以上的侵蚀面积,而且也可促进全区域 $1\ 500\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 治理目标的实现。

[参 考 文 献]

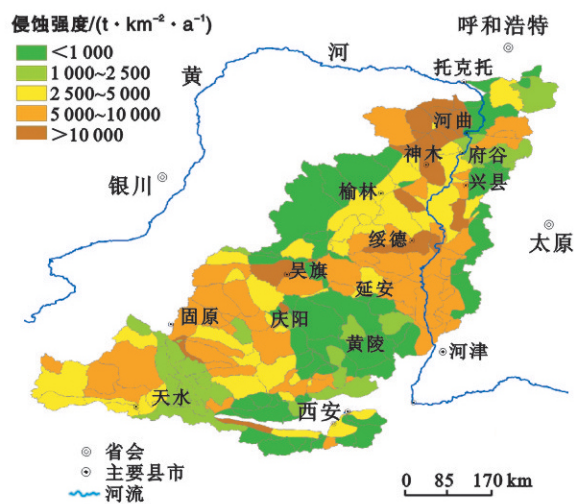
- [1] 水利部,中国科学院,中国工程院. 中国水土流失防治与生态安全:西北黄土高原区卷[M]. 北京:科学出版社,2010:100-127.
- [2] 中华人民共和国水利部. SL190—96. 土壤侵蚀分类分级标准[S]. 北京:中国水利水电出版社,1997:9-12.
- [3] 陆中臣,袁宝印,励强. 黄土高原流域环境治理前景[M]//杨勤业,袁宝印. 黄土高原地区的环境及其演变. 北京:科学出版社,1991:201-219.
- [4] 陈奇伯,王克勤,齐实,等. 半干旱黄土丘陵区坡耕地土壤容许流失量研究[J]. 水土保持通报,2003,23(4):1-4.
- [5] 孙立达,孙保平,齐实,等. 黄家二岔小流域水土流失规律及其防护体系[M]//中国科学院资源环境科学局. 黄土高原小流域综合治理与发展. 北京:科学技术文献出版社,1992:237-290.
- [6] 刘秉正,吴发启,陈继明. 渭北高塬水土流失降低土壤肥力与生产力的研究[M]//中国科学院资源环境科学局. 黄土高原小流域综合治理与发展. 北京:科学技术文献出版社,1992:317-325.
- [7] 唐克丽,周佩华. 黄土高原土壤侵蚀研究若干问题的讨论[J]. 中国科学院西北水土保持研究所集刊,1988(7):124.
- [8] 赵焕勋. 对皇甫川流域土壤侵蚀规律的再认识:小流域土壤估算模型的应用[J]. 水土保持研究,1998,5(3):101-105.
- [9] 申元村,洪清华. 黄土高原土壤侵蚀有效防治战略[J]. 中国水土保持科学,2003,1(2):22-27.
- [10] 龚时旻. 黄河流域黄土高原的土壤侵蚀问题[J]. 人民黄河,1991(4):38-43.
- [11] 蔡志恒. 黄河流域土壤侵蚀类型区间图[M]//水利部黄河水利委员会. 黄河流域地图集. 北京:中国地图出版社,1989:248-249.
- [12] 王万忠,焦菊英. 黄土高原侵蚀产沙强度的时空变化特征[J]. 地理学报,2002,57(2):210-17.
- [13] 张胜利,李焯,赵文林,等. 黄河中游多沙粗沙区水沙变化原因及发展趋势[M]. 郑州:黄河水利出版社,1998:142-178.
- [14] 王万忠,焦菊英. 黄土高原水土保持减沙效益预测[M]. 郑州:黄河水利出版社,2002:87-113.
- [15] 李焯. 黄河河口镇—龙门区间年输沙量变化原因分析[J]. 人民黄河,2008,30(8):41-42.
- [16] Wang Houjie, Yang Zuosheng, Saito Y, et al. Stepwise decreases of the Huanghe(Yellow River) sediment load (1950—2005): Impacts of climate change and human activities[J]. Global and Planetary Change, 2007, 57(3/4):331-354.



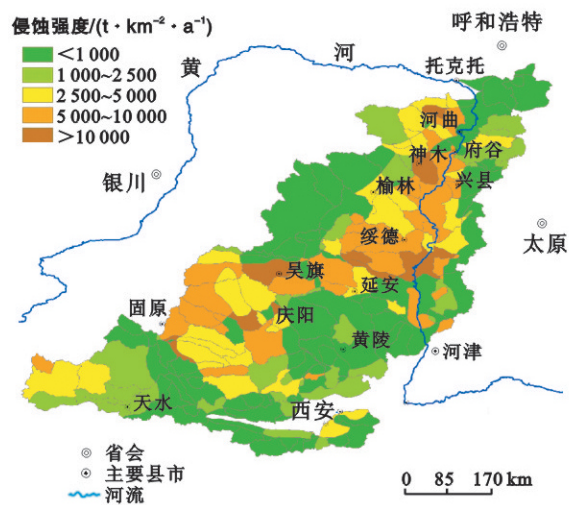
附图1 黄土高原土壤侵蚀类型区划分



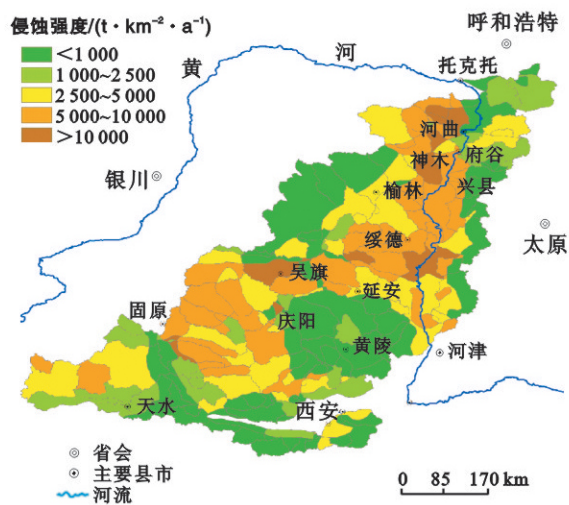
附图2 1955—1969年黄土高原侵蚀强度变化



附图3 1970—1989年黄土高原侵蚀强度变化



附图4 1990—2007年黄土高原侵蚀强度变化



附图5 1970—2007年黄土高原侵蚀强度变化