

张家口不同侵蚀类型区水土流失治理模式及效益研究

综合
治理

和继军^{1,2,3}, 蔡强国³, 刘松波⁴

(1. 首都师范大学 初等教育学院, 北京 100080; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所
黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院 地理科学与
资源研究所, 陆地水循环与地表过程重点实验室, 北京 100101; 4. 北京市水利规划设计研究院, 北京 100044)

摘 要: 依据张家口典型小流域水土流失监测数据及其推广区域水土流失治理效益数据, 对该区不同侵蚀类型区的水土流失综合配置模式及推广的价值进行了研究。结果表明, 在不同类型区进行土地利用结构调整和工程及植被措施选取时, 土石丘陵区 and 土石山区应重点考虑阴坡阳坡下垫面条件的差异性, 石质山区应重点考虑小流域不同部位的土壤厚度, 白垩纪恶劣地形区考虑的重点是尽可能减少对原始地面的扰动和破坏。根据不同治理区下垫面条件的差异, 各典型小流域在实施治理后生态效益明显, 保土和蓄水效益分别到达 70% 和 60% 以上。在类似区域推广后, 同样取得了明显的生态效益, 水土保持效益均达 60% 以上。治理区域内林草地面积及土地利用所占比例均显著提高, 对水土流失的调控能力也明显增强。

关键词: 精品小流域; 生态效益; 水土流失; 土地利用; 张家口

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)05-0095-05

中图分类号: S157. 2

Benefits of Comprehensive Management on Soil and Water Loss in Different Erosion Zones of Zhangjiakou City

HE Ji-jun^{1,2,3}, CAI Qiang-guo³, LIU Song-bo⁴

(1. Capital Normal University, Elementary Educational College, Beijing
100080, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess
Plateau, Institute of Water and Soil Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water
Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources
Research, Key Laboratory of Water Cycle & Related Land Surface Processes, CAS, Beijing 100101, China;
4. Zhangjiakou Supervision Sub-station of Soil and Water Conservation and Environment, Zhangjiakou, Hebei 075000, China)

Abstract: Based on the monitoring data of soil and water loss in typical small watersheds and the demonstration areas of Zhangjiakou City, the integrated management mode of soil and water loss and its potential benefits were studied in different erosion zones. The results show that for the reconstruction of land use and the selection of engineering and biological measures, the underlying differences between shady and sunny slopes should be accounted for the hilly and rocky mountainous areas, the thickness of the soils in different locations of small watersheds should be considered in the mountainous area, and in the cretaceous terrain area, minimization of the disturbances and breakdown of original ground surface should have the highest priority. Both the typical small watersheds and the demonstration areas which already conducted comprehensive management obtained considerable amount of ecological benefits, the benefits of sediment trapping and water storage reached as high as 70% and 60% for the small watersheds, and both over 60% in the demonstration areas, respectively. At the same time, the vegetation cover percentage and land use ratio increased significantly, resulting in improved capability to control soil erosion.

Keywords: small watershed; ecological function; soil and water loss; land use capability; Zhangjiakou City

收稿日期: 2010-05-07

修回日期: 2011-03-15

资助项目: 973 国家重点基础研究发展计划项目“中国主要水蚀区土壤侵蚀过程与调控研究”(2007CB407207); 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室开放基金项目“黄土高原坡面主要侵蚀过程及发生机理实验研究”(10501-251)

作者简介: 和继军(1979—), 男(汉族), 河北省邢台市人, 博士, 讲师, 主要从事土壤侵蚀、流域侵蚀产沙模拟等方面研究。E-mail: hejiun_200018@163.com。

通信作者: 蔡强国(1946—), 男(汉族), 湖北省武汉市人, 博士, 研究员、博导, 主要从事土壤侵蚀、流水地貌、流域侵蚀产沙模拟和 GIS 应用等方面研究。E-mail: caiqg@igsnr.ac.cn。

水土流失是一个世界性的环境问题^[1-3],近几十年来受到了广泛关注。中国地域广阔,侵蚀因素及类型复杂多样,使得水土流失非常严重。北方土石山区是主要水力侵蚀类型区,其特有的土壤侵蚀环境及其所处的特殊地理位置,使它已经成为潜在土壤侵蚀最危险的地区之一。小流域是土壤侵蚀、产沙和输沙的基本单元,也是进行水土流失综合治理的基本单元,近几十年来,我国以小流域为对象,开展了大量的水土流失治理和研究工作,并取得了丰硕的成果。

张家口市位于北方土石山区的西北部,是北京市主要的水资源来源区和生态屏障之一,地理位置极其重要。1983年,张家口市被水利部列入为国家8大片水土保持重点治理区,开始了重点治理,自此河北省、北京市及国家在张家口地区开展了大量的水土保持综合治理研究^[4]。特别是近期《21世纪初期首都水资源可持续利用规划》项目、京津风沙源治理工程项目等重大项目实施以来,张家口地区出现了许多水土流失综合治理的精品小流域,为总结北方土石山区水土流失综合治理范式提供了很好的样板^[5-6]。鉴此,本研究以张家口精品治理小流域为研究基础,分析不同侵蚀类型区水土保持措施在空间配置上的结构、功能及其生态效益。

1 精品治理小流域的选取及研究方法

张家口地区的地质地貌、土壤及植被等特征空间差异性很大,因此,因地制宜,合理、有效、科学地配置不同区域水土保持措施的治理体系是有效控制该区水土流失的基础。根据地貌、岩石、土壤植被等自然因素特征及水土流失类型、特点、防治措施、土地利用方式等因素的空间差异性,把张家口划分为黄土丘陵区、土石丘陵区、土石山区、石质山区、白垩纪恶劣地形区5个侵蚀类型区。

首先在张家口不同侵蚀类型区选取有代表性的小流域,根据其地形、人类活动及水土流失等特点筛选不同水土保持措施进行合理的空间配置,并在小流域治理前进行基本生态环境背景值登记,同时监测小流域治理后的生态指标,以便分析水土保持措施配置结构的合理性。以此为基础,在同类型区选取一定数量的小流域进行推广,检验水土流失治理体系的推广价值。主要选取的小流域为黄土丘陵区怀来枣沟小流域、土石丘陵区涿鹿县胥家窑小流域、土石山区崇礼县的马凤祥沟小流域、石质山区万全县巡柴沟小流域和白垩纪恶劣地形区万全县南沟小流域,共5条小流域(表1)。资料主要来源于张家口水土保持试验

站和河北永定河上游水土保持重点治理技术的研究成果。

2 不同类型区典型小流域水土保持措施的配置结构

经过20a的治理,张家口市水土保持措施配置结构主要分为山顶松柏+山坡果树经济林+水平梯田+沟坝地+沟道治理措施(简称五道防线一型),山顶防护林+山坡果树经济林+蓄水排水沟+水平梯田+沟道治理措施(五道防线二型),环山水平沟+果树经济林+水平梯田+沟道治理措施(四道防线一型)和防护林+水平梯田+引洪淤灌+沟道治理措施(四道防线二型)4种类型。

根据各典型小流域自然环境的特点,以径流小区试验数据为基础,选择适宜的水土保持措施,在保证基本农田的条件下,重点加强生态环境的改善,调整土地的利用结构,增加植被覆盖^[7]。通过坡面水土保持措施空间适宜性分析可知^[7],由于该区气候较为干旱、土层较薄、土石混杂明显,因此坡面上部应以植被措施为主,同时必须辅助于工程措施拦土蓄水为植被的生长和恢复创造条件,坡面底部及沟道可以修建梯田、水平条及淤地坝进行基本农田建设。同时,结合目前该区常用的水土流失治理模式,可以用其一种或几种在小流域不同位置合理配置水土保持措施(详见表1)。

黄土丘陵区枣沟小流域水土保持措施配置结构:流域上部沿等高线布设水平沟或鱼鳞坑,并配以适宜立地条件的灌木,土质较好的地段可布设乔灌混交;流域中部修筑不同形式的梯田,以种植经济林或农作物,亦可实行林粮间作,并以植物(紫穗槐、杏树、枣树等)护埂;流域下游主要建筑高标准水平梯田作为高稳产田;沟头修筑双层防护措施,并配以灌木护地埂;沟道修筑各类谷坊,并在沟底种植杨树或其它优质速生树种。

土石丘陵区胥家窑小流域水土保持措施配置结构:上游丘陵地阴坡土层较厚且水分条件较好,采用鱼鳞坑或水平沟整地,呈品字形等高排列,发展落叶松或油松,其它条件较差且水土流失相对较小地区以封禁治理为主,较为破碎地区可实行人工种草,以恢复植被;中下游阳坡半阴坡的耕地及荒坡实行水平沟整地,等高开挖,配以速生、固土力强的树种;丘陵缓坡地整修为各类梯田,根据具体条件发展适宜经济林;水平梯田安排在土质好坡度缓的坡面,与滩地作为高稳产田;沟头采用双层沟头防护,并以灌木护埂;沟道修建各类谷坊坝。

表 1 不同侵蚀类型区典型小流域的基本概况及水土保持措施配置结构

侵蚀类型	小流域	区域基本情况	土地利用现状	治理措施布局情况	实施治理措施后的情况
黄土 丘陵区	怀来 枣沟	总人口 1 597 人,总面积 24.3 km ² ,流失面积 21.67 km ² ,侵蚀模数 3 634 t/(km ² ·a),海拔 800~1 745 m,年均气温 5℃,无霜期 117 d,年均降雨量 388 mm,土层厚度 30—60 cm,有机质 0.75%。	总面积 2 430 hm ² ,生产用地 1 993 hm ² ,其中农业 388 hm ² ,林业 472.5 hm ² ,牧业 206.7 hm ² ,荒地 1 099.5 hm ² ,非生产用地 263.3 hm ² 。	丘陵荒山荒坡地营造护坡林,发育侵蚀沟底营造侵蚀沟防护林,条田护坡经济林,一般梯田经济林;沟坡筑水平沟,沟头连续围埝。	治理度 87.8%,其中水平梯田 106.7 hm ² ,一般梯田 51.3 hm ² ,坡式梯田 214 hm ² ,封育草地 10 hm ² ,种草 10 hm ² 。建谷坊 20 座。
		总人口 1 709 人,总面积 10.97 km ² ,流失面积 6.68 km ² ,侵蚀模数 6 500 t/(km ² ·a),海拔 690~1 100 m,年均气温 8℃,无霜期 127 d,年均降雨量 438 mm,土层厚度大于 60 cm,有机质 1.3%,基本为黄土轻壤质碳酸盐褐土。	总面积 1 097.3 hm ² ,农业用地 400.8 hm ² ,其中坡耕地 353.1 hm ² ,水地 47.7 hm ² ,林业用地 173.2 hm ² ,荒坡 93.7 hm ² ,非生产地 429.5 hm ² ,其中裸岩面积达 378.5 hm ² 。	土石丘陵背阴坡地发展落叶松,采用鱼鳞坑整地,密度 3 330 株/hm ² ,呈品字形等高排列。流域中下游阳坡半阴坡的耕地及荒坡上,选速生、固土力强的树种,水平沟整地,密度 1 665 株/hm ² ,等高开挖。沟底植树株距 2 m;经济林树种主要是苹果,密度因地制宜,旱地果园密度为 495~825 株/hm ² ;水平梯田安排在土质好坡度缓的坡面。	治理度达 85.6%,其中水平梯田 111.5 hm ² ,坡式梯田 85.2 hm ² ,沟坝地 2.1 hm ² ,造林 137 hm ² (33.3 hm ² 用材林,经济林 103.7 hm ²),封山育草 700 hm ² ,建土谷坊 88 座,石谷坊 71 座,鱼鳞坑 5.35 万个。
土石 山区	崇礼县 马凤祥沟	总人口 555 人,总面积 14.6 km ² ,流失面积 10.57 km ² ,侵蚀模数 5 289 t/(km ² ·a),海拔 1 250~1 619 m,年均气温 3℃,无霜期 105 d,年均降雨量 470 mm。	总面积 1 460 hm ² ,农业用地 98 hm ² ,林业用地 146 hm ² ,荒地 1 020 hm ² ,其它用地 58 hm ² 。	土石山阴坡地发展落叶松及油松,采用鱼鳞坑与水平沟结合整地,密度 3 330 株/hm ² ,呈品字形等高排列,阳坡以鱼鳞坑整地,种植山杏;沟道就地取材,建土或石谷坊;沟头种植沙棘以控制其延伸;水平梯田安排在土质好坡度缓的坡面。	治理度 88%,其中水平梯田 40 hm ² ,封育草地 86 hm ² ,水保林 708 hm ² ,经济林 50.6 hm ² 。
石质 山区	万全县 巡柴沟	总人口 5 078 人,总面积 28.5 km ² ,流失面积 7.7 km ² ,侵蚀模数 3 750 t/(km ² ·a),海拔 896~1 353 m,年均气温 6.9℃,无霜期 129 d,年均降雨量 390 mm,整个流域属片麻岩石质山地,地面高差大,坡度陡,土壤肥力低,沟壑发育较严重。	总面积 2 849.6 hm ² ,农业用地 562.3 hm ² ,林业用地 247.5 hm ² ,荒山荒坡 202 hm ² ,非生产地 1 827.8 hm ² ,其中裸岩面积达 1 801.1 hm ² 。	坡面上部鱼鳞坑等高布设,品字形排列;坡面下部土层较厚或坡脚修建水平梯田进行基本农田建设;沟道修建谷坊进行淤沙造田。	治理度 88.8%,其中水平梯田 14.7 hm ² ,一般梯田 213.9 hm ² ,共完成造林面积 386.4 hm ² (其中经济林 259.8 hm ² ,杨树乔木林油松合计 126.6 hm ²)。建石谷坊 487 座,修田间路 5 000 m。
白恶 劣地形区	万全县 南沟	总人口 593 人,总面积 13.34 km ² ,流失面积 11.8 km ² ,侵蚀模数 5 200 t/(km ² ·a),年均气温 6.9℃,无霜期 129 d,年均降雨量 390 mm,坡度陡,沙砾石风化严重,土壤肥力低,结构性差,疏松易流失。	总面积 1 333.5 hm ² ,农业用地 125.3 hm ² ,林业用地 232.8 hm ² ,荒地面积 933 hm ² ,非生产地 42.4 hm ² 。	沟底疏林地补植,并新植杨树乔木林;阴坡布设以柠条为主的灌木林;缓坡或中坡上挖鱼鳞坑,呈品字形排列,等高布设;沟道内设置谷坊并适当结合沟底防护林。	治理度 81.23%,其中水平梯田 53.9 hm ² ,共完成造林面积 907.3 hm ² (其中经济林 60 hm ² ,乔木林 269.9 hm ²)。修筑谷坊 908 座,挖水平沟 2.604×10 ⁵ m,鱼鳞坑 67.11 万个。

土石山区马凤祥沟小流域水土保持措施配置结构:中上游地区栽植落叶松,下游的阴坡修筑高标准的水平梯田;治理重点在阳坡,上游阳坡以封禁为主,中下游荒山荒坡,采用鱼鳞坑结合水平沟进行整地或反坡整地,并配以耐旱、耐瘠薄的树种,初植密度应加大;修建沟头防护措施,以柠条或沙棘等灌木护埂,沟底修筑谷坊坝、拦沙坝、淤地坝等工程,沟底土地杨树、柳树、沙棘树种,实行乔灌混交,较宽的 U 形沟,与在下游修筑的土质、肥力较好的水平梯田作为高稳产田。

石质山区巡柴沟小流域水土保持措施配置结构:上游土层较薄的荒坡地以封禁治理为主;中下游土层较厚的适林地以水平沟及鱼鳞坑整地,配以乔灌混交,沟道治理以石谷坊及土谷坊层层拦截,土层厚但肥力差的坡耕地配以坡式梯田栽种耐旱经济林,肥力较好的坡耕地改造为水平梯田,与沟坝地、滩地一并作为基本农田或高效益经济林种植区。

白垩纪恶劣地形区南沟小流域水土保持措施配置结构:该区治理原则是尽量减少对原地表的扰动,上游以封禁治理为主,中下游和沟道防护上重点实施工程措施;坡面工程措施以鱼鳞坑和水平沟为主,工程密度要稀,植物配置密度要大;沟谷洼地以修筑谷坊坝为主;植物配置尽量采取多种植物混交的方法,树种以沙棘、柠条、杞柳、杨树、油松等阳性树种为主,沟底沿内可实施杨树压条措施。

3 不同类型区实施水土保持措施后的生态效益分析

水土流失强度的变化除了受下垫面条件的影响外,降雨条件也是影响其强度的关键因素,在其它条件相同的情况下,降雨特征的不同将直接导致土壤侵蚀强度的变化。因此,在分析治理区近 20 a 的水土保持效益时,必须考虑降雨条件的变化。鉴于此,统计了张家口 1956—2009 年的逐年降雨数据(图 1)。从图 1 可以看出,近 54 a 来,该区的多年平均降雨量基本保持在一个稳定的状态,其中 1956—1980 年间的多平均年降雨量稍多于 1981—2009 年间的多年平均降雨量,但前者年降雨量有稍为减小的趋势,后者有逐年稍微增加的趋势。本研究涉及的治理小流域均始于 1980 年,而 1980—2009 年间的张家口逐年降雨数据显示变化不大,因此可以认为在这一时期治理小流域的水土流失的强弱变化完全是由于水土保持措施的实施而引起的。

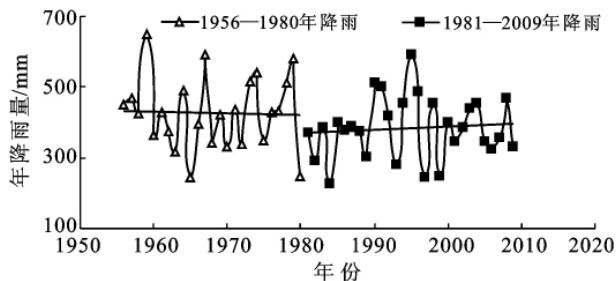


图 1 张家口年降雨量变化时间序列

注:数据来源于中国气象资料共享服务网·中国地面气候资料年值数据集(1956—2009 年)。

图 2 和图 3 是各类型区典型小流域实施治理前后的多年平均水土保持效益统计结果。图 2 显示,与治理前相比,各小流域在实施治理后土壤侵蚀模数显著降低,保土效益均在 70% 以上,而土石山区马凤祥沟小流域的保土效益则高达 90% 以上。同时除土石丘陵区胥家窑小流域治理后的侵蚀模数较高外,其它类型区各小流域治理后的土壤侵蚀模数均低于 $1\ 000\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。图 3 显示,实施治理后,各小流域年均径流量均有明显下降,蓄水效益均达到 60% 以上,充分说明小流域内水土保持措施的配置结构是合理有效的。同时,统计结果显示,同类型区典型小流域治理后的保土效益要高于蓄水效益,而不同类型区典型小流域之间治理后的拦土蓄水效益存在一定的差异,其中保土效益区域间的差异较小,蓄水效益的差异较大(见图 2—3),这主要是由降雨特征、地形、土壤植被及水保措施配置结构等因素空间差异性引起的^[8-9]。

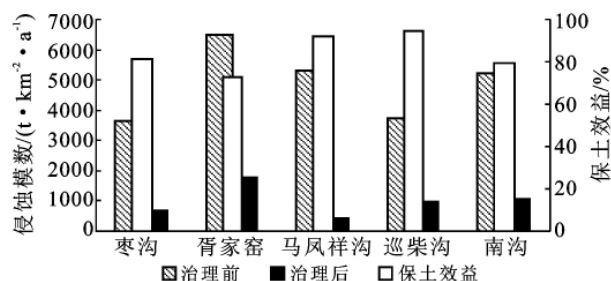


图 2 不同类型区典型小流域治理前后土壤侵蚀变化

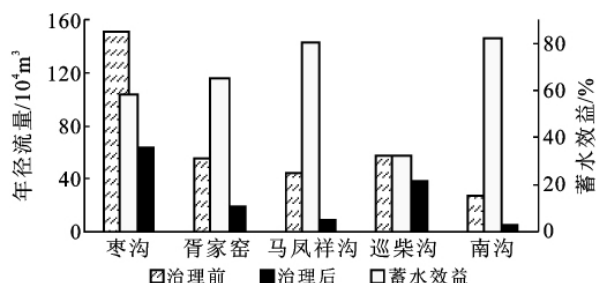


图 3 不同类型区典型小流域治理前后径流量变化

图 4 是不同类型区以典型小流域治理模式为基础在类似区域推广后的平均水土保持效益统计结果。

其中,黄土丘陵区共统计了 59 条推广小流域,土石丘陵区共统计了 33 条推广小流域,土石山区共统计了 63 条小流域,石质山区共统计了 12 条小流域,白垩纪恶劣地形区共统计了 18 条小流域。图 4 显示,不同类型区类似区域实施典型小流域治理模式后均取得良好的水土保持效益,其中各推广区域保土效益基本维持在 80%左右,蓄水效益也在 60%以上。进一步说明各类型区实施的水土保持配置模式是可行的,具有很好的推广价值。同时,推广区域实施水土保持综合治理后,土地利用的结构也有了很大的变化(表 2),其中林地和草地所占比例均有明显提高,荒地显著降低,在保证基本农田不变的情况下,土地利用率和植被覆盖均得到明显提高,实施治理后的黄土丘陵区、土石丘陵区、土石山区、石质山区及白垩纪恶劣地

形区的植被覆盖率已经分别达到 33.7%,53.8%,45.5%,40.0%和 61.2%,生态环境也得到明显改善。大量研究表明,林草用地的提高及农业用地的降低是有效抑制水土流失的根本途径^[10-11]。

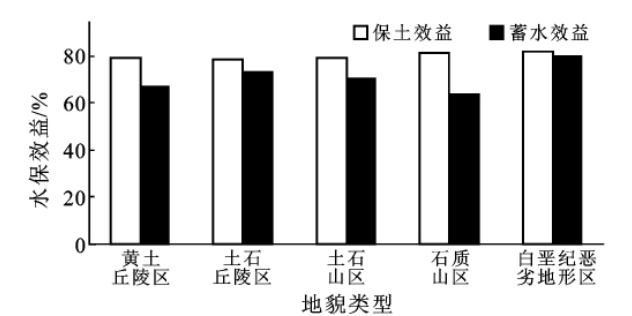


图 4 不同类型区推广小流域实施治理后的水土保持效益

表 2 不同地貌类型区推广小流域治理后土地利用结构变化 %

土地利用类型	黄土丘陵区		土石丘陵区		土石山区		石质山区		白恶纪恶劣地形区	
	治理前	治理后	治理前	治理后	治理前	治理后	治理前	治理后	治理前	治理后
农地	42.91	42.37	35.13	31.08	22.79	21.30	22.10	20.35	15.67	15.53
林地	9.00	27.02	12.17	36.96	12.68	38.87	10.85	31.44	8.00	51.60
草地	1.65	6.79	2.64	11.81	7.81	15.05	1.25	8.18	0.00	9.60
荒地	29.91	8.69	34.59	8.46	41.29	9.35	34.19	8.45	66.02	12.97
非生产用地	17.45	17.20	14.99	15.18	15.43	15.37	31.61	31.58	10.29	10.30
土地利用率	68.93	92.53	61.73	92.09	54.38	89.59	61.92	90.71	32.26	86.90

4 结 论

对不同类型区典型小流域水土流失治理体系及类似区域推广后的监测数据的分析结果显示,不同类型区水土流失治理模式是合理可行的,生态效益明显,具有很好的推广价值。其基本配置结构是依据治理小流域的上、中、下游及沟道不同部位的具体情况合理布置水土保持工程措施和植被措施,但要重点考虑不同类型区特有的自然环境特点。其中,在土地利用结构调整和工程措施及植被措施选取时,土石丘陵区 and 土石山区应重点考虑阴坡阳坡下垫面条件的差异性,石质山区重点考虑小流域不同部位的土壤的厚度,白垩纪恶劣地形区考虑的重点是尽可能减少对原始地面的扰动和破坏。

各典型小流域在实施治理后生态效益明显,保土效益基本在 70%以上,蓄水效益在 60%以上。在各个类型区类似区域推广后,同样取得了明显的生态效益,推广区域的水土保持效益均达 60%以上,同时治理区域内林草地面积及土地利用所占比例均显著提高,对水土流失的调控能力也明显增强。

[参 考 文 献]

[1] Judson S. What's happening to our continents[M]// Skin-

ner B(ed). Use and Misuse of Earth Surface. William. Kaufman, Inc., Los Altos, California, 1981:12-139.

[2] 张科利,蔡永明,刘宝元. 黄土高原地区土壤可蚀性及其应用研究[J]. 生态学报, 2001, 21(10): 1687-1695.

[3] Podwojewski P, Orange D, Jouquet P, et al. Land-use impacts on surface runoff and soil detachment within agricultural sloping lands in Northern Vietnam[J]. Cate-na, 2008,74:109-118.

[4] 刘震. 水土保持 60 年:成就·经验·发展对策[J]. 中国水土保持科学, 2009,7(4):1-6.

[5] 王忠科,和继军,蔡强国. 北方土石山区小流域综合治理措施及效应研究[J]. 水土保持通报, 2008,28(4):54-58.

[6] 李秀彬,马志尊,姚孝友,等. 北方土石山区水土保持的主要经验与治理模式[J]. 中国水土保持, 2008(12):57-62.

[7] 和继军,蔡强国,方海燕,等. 张家口地区水土保持措施空间配置效应评价[J]. 农业工程学报, 2009,25(10):69-75.

[8] 符素华,刘宝元,路炳军,等. 官厅水库上游水土保持措施的减水减沙效益[J]. 中国水土保持科学, 2009,7(2): 18-23.

[9] 卫伟,陈利顶,傅伯杰,等. 半干旱黄土丘陵沟壑区降水特征值和下垫面因子影响下的水土流失规律[J]. 生态学报, 2006,26(11):3847-3853.

[10] 李广,黄高宝. 雨强和土地利用方式对黄土丘陵区水土流失的影响[J]. 农业工程学报, 2009,25(11):85-90.

[11] 索安宁,李金朝,王天明,等. 黄土高原流域土地利用变化的水土流失效应[J]. 水利学, 2008,39(7):767-772.