

# 南水北调中线水源区(陕南段)水土保持效益分析

雷波<sup>1</sup>, 焦峰<sup>1,2</sup>

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

**摘要:**依据 2007—2010 年的统计与调查资料,在对典型流域进行调查的基础上,采用有无水土保持项目对比法,对南水北调中线水源区陕南安康、商洛、汉中市水土保持措施及其效益进行了分析。结果表明:治理后与治理前相比,各地类拦蓄径流量、保土效益明显增加,植被覆盖度增加,生态环境改善,当地居民生活水平也随之提高。不同措施对拦蓄径流的作用顺序依次为:封育措施>水土保持林草措施>坡面整治措施>能源替代措施>保土耕作措施;不同措施对保土效益的作用顺序依次为:水土保持林草措施>封育措施>坡面整治措施>能源替代措施>沟道防护措施>保土耕作措施。研究结果可为类似水源区的水土保持综合治理工作提供借鉴。

**关键词:**南水北调; 水源区; 水土保持措施; 效益分析

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)05-0048-04

## Analysis of Soil and Water Conservation Benefits in the Water Supply Area (Southern Shaanxi) of the Middle-Route of the South-to-North Water Diversion Project

LEI Bo<sup>1</sup>, JIAO Feng<sup>1,2</sup>

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

**Abstract:** In this paper, the benefits of soil and water conservation measures of Ankang, Shangluo and Hanzhong were analyzed based on the statistics and typical watershed survey data from 2007 to 2010, during which the method of contrastive analysis was used. The research areas, which lie in the southern Shaanxi Province, belong to the the water supply area of the middle-route of the South-to-North Water Diversion Project. The results showed that impound runoff and soil conservation increased apparently compared with former treatment, the ecological environment had been improved with the increase in vegetation coverage, the living standard of local people also increased. Effects of different measures on impound runoff were as follows: closing hillside>vegetable measures>slope harness measures>alternative energy measures>tillage measures; the order of the role of different measures on soil conservation are as the sequence of vegetable measures>closing hillside>slope harness measures>alternative energy measures>gully erosion control measures>tillage measures. This study can provide useful guidance for comprehensive harness of soil and water loss in similar water supply area.

**Key words:** South-to-North Water Diversion Project; water supply area; soil and water conservation; benefit analysis

南水北调中线工程是为了缓解京津和华北地区水资源供需矛盾的一项大型调水工程,是国家合理配置水资源,促进国民经济与社会可持续发展的重大举

措。水土流失引起河道冲刷、淤积,对南水北调工程的健康运行及水质安全造成一定影响。因此在南水北调水源区开展水土保持工作是南水北调工程必不

收稿日期:2012-04-05

修回日期:2012-05-15

资助项目:中科院西部之光项目(2009y236);中科院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-EW-406)

作者简介:雷波(1986—),男,陕西省澄城县人,硕士研究生,主要从事土地资源利用与管理、遥感与 GIS 应用与资源环境信息技术。E-mail: lb. leibo@163. com

通信作者:焦峰(1967—),男,陕西省三原县人,博士,副研究员,主要从事 GIS 应用、水土保持与环境效应监测评价研究。E-mail: Jiaof11@126. com

可少的部分,对工程质量和供水安全具有重要意义。水土保持效益分为四大类,即基础效益、生态效益、经济效益和社会效益<sup>[1]</sup>。效益评价主要包括单项措施效益评价和综合效益评价两方面,评价的方法主要采用有无水土保持措施对比法。

对于水土保持措施效益评价,前人已经做了大量研究<sup>[2-7]</sup>。如景可等<sup>[3]</sup>以陕北安塞县为例,进行水土保持措施与效益评价研究;许静等<sup>[4]</sup>以振祥小流域为例,研究东北黑土区小流域综合治理效益;孙昕等<sup>[6]</sup>以江西兴国县为例,研究南方红壤区小流域水土保持效益等。但对于水源区水土保持效益评价的研究却少见报道。因此,进行南水北调中线水源区水土保持措施效益评价,具有重要的理论和实践意义。本文以南水北调中线水源区水土流失治理为例,对项目区水土保持措施进行分析研究,总结分析不同措施的作用和效果,为政府决策提供依据,并为相关研究提供参考。

1 研究区概况

陕西省南部汉中、安康、商洛三市,北靠秦岭、南依巴山,地处中国南北气候过渡带。由于该地山体多为板岩、片岩、页岩等岩性松散的岩石,地形陡峻、相对高差较大,因此是长江流域水土流失最为严重的地区,年输入长江泥沙量达 0.9 亿 t。南水北调中线工程的水源取自丹江口水库,陕南大部分处在丹江口水库的上游水源区,区内汉江和丹江年均入丹江口水库水量 2.85 亿 m<sup>3</sup>,占丹江口水库多年平均入库水量 4.09 亿 m<sup>3</sup> 的 70%。因此陕南是南水北调中线工程的主要水源区,对其进行水土流失治理,对保障南水北调中线工程的生态稳定及供水安全具有重要的意义。

2 水土保持措施

水土保持措施类型与规模取决于治理目标<sup>[3]</sup>。作为南水北调中线水源区,要有效降低入库泥沙量,减少非点源污染和涵养水源,保证“一江清水供北京”。因此在水源区进行水土流失治理时,首先要考虑拦蓄径流、保持水土的基础效益,其次在增加耕地面积,实现粮食自给的基础上争取有更大的经济和生态效益。研究表明,合理的耕作管理措施可以有效防止潜在水土流失<sup>[8]</sup>。

根据项目实施情况,南水北调中线水源区(陕南

段)水土保持措施可以归纳为工程措施、植物措施、农业措施和生态修复措施四大类(具体措施见图 1),对水源区进行综合治理。

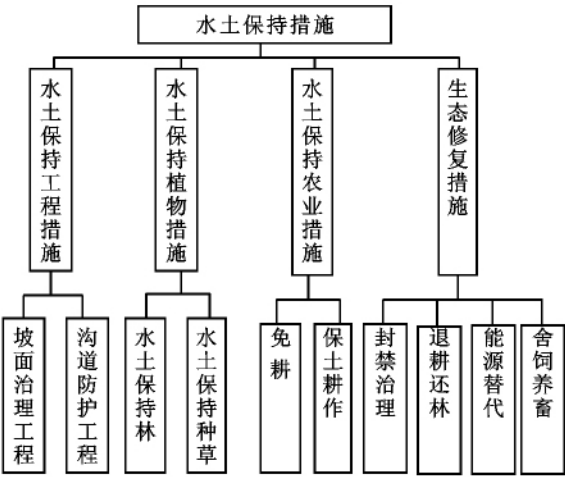


图 1 水土保持措施

3 治理效益评价

3.1 评价方法

本研究中水土保持措施效益评价采用有无水土保持项目对比法,分单项措施和综合治理两方面进行效益评价。坡面和径流小区的水土保持措施减沙量估算,多采用定位观测<sup>[9]</sup>。而对大范围水土保持措施减沙量的估算,可以概括为水保法、水文法、流域对比法。本研究中基础效益的估算采用水保法,根据单位面积措施保水保土效益和措施面积计算措施的保水保土效益。

3.2 评价标准的确定

指标计算方法见文献<sup>[10]</sup>。根据代表性、科学性、可获取性等原则,选取以下小流域进行调查:汉中市宁强县冉家沟小流域、勉县南沟门小流域;安康市石泉县饶峰河小流域、汉滨区余姐河小流域、汉滨区恒河中游项目区;商洛市丹凤县陈家沟流域、商南县豹子河流域、商南县东北山小流域 8 个典型小流域。

这些典型小流域基本上覆盖了陕南所有地貌类型,且在空间上分布均匀,能代表水源区水土流失特征。因此,本研究在对 8 个典型小流域进行调查的基础上计算其平均效益值,作为该区水土保持效益评价的标准(表 1),在此基础上推算不同水土保持措施的效益。

表 1 水土保持措施效益评价标准

项目	坡改梯	水土保持林草措施	保土耕作措施	封育措施	谷坊	拦沙坝
年拦蓄径流	3000 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	2700 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	1425 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	1845 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	—	—
年保土	42 t/hm <sup>2</sup>	43.5 t/hm <sup>2</sup>	16.5 t/hm <sup>2</sup>	14.25 t/hm <sup>2</sup>	75 t/座	200 t/座

3.3 水土保持措施效益评价

3.3.1 单项措施效益评价 根据典型小流域调查资

料,确定了单项措施评价标准,对不同水土保持措施的效益进行估算,主要包括坡面整治措施保水保土效

益、水土保持林草措施保水保土效益、保土耕作措施保水保土效益、沟道防护措施拦沙效益、封育措施保水保土效益和能源替代措施保水保土效益等(见图 2—3)。

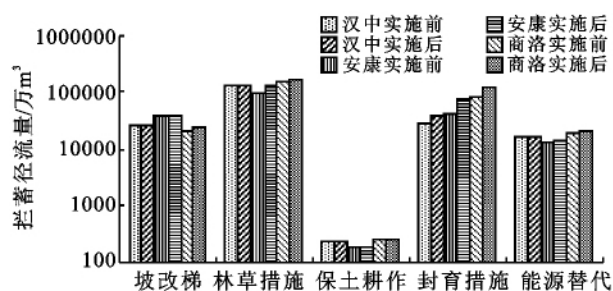


图 2 项目实施前后各项措施保水效益对比

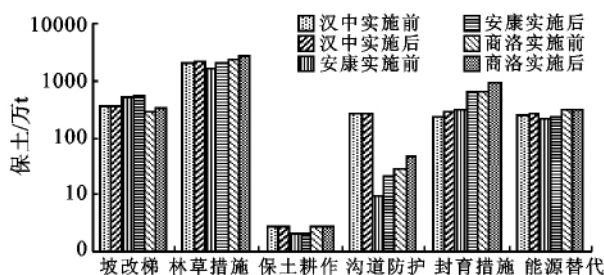


图 3 项目实施前后各项措施保土效益对比

(1) 坡面整治措施保水保土效益估算。项目中坡面整治措施主要为坡改梯,通过坡改梯工程,有效地减缓了坡面坡度,从而达到拦蓄径流,保持水土的作用。由表 1 确定的评价标准可知,坡改梯年拦蓄径流  $3\,000\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ,保土  $42\text{ t}/\text{hm}^2$ 。根据项目区坡面整治措施实施情况,可以估算出其保水保土效益。

统计结果表明,项目实施后各市坡面整治措施保土保水效益均有明显提高。其中,汉中市效益增加相对较少。这与当地的地形地貌特征及项目中实施的坡改梯量均有一定关系。

(2) 水土保持林草措施保水保土效益估算。林草措施是水土保持中的基础措施,通过植被缓冲雨滴动能、固结土壤、涵养水源,从而防止坡面冲刷,达到蓄水保土的作用。由表 1 确定的评价标准可知,林草措施年拦蓄径流  $2\,700\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ,保土  $43.5\text{ t}/\text{hm}^2$ 。根据项目区林草措施实施情况,可以估算出其保水保土效益。

统计结果表明,项目实施后各市林草措施保水保土效益均有明显提高。其中,汉中市效益增加相对较小。这与当地的生态环境质量及项目中实施的林草措施量有一定关系。

(3) 保土耕作措施保水保土效益估算。项目中实施的保土耕作措施主要有免耕和等高耕作等,通过合理的耕作管理措施,有效地防止了潜在水土流失。由表 1 确定的评价标准可知,保土耕作措施年拦蓄径

流  $1\,425\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ,保土  $16.5\text{ t}/\text{hm}^2$ 。根据项目区保土耕作措施实施情况,可以估算出其保水保土效益。

统计结果表明,项目实施前后各市保土耕作措施的保水保土效益变化均不明显。主要是因为项目中实施的保土耕作措施较少,与实施前相比无明显增加。

(4) 沟道防护措施拦沙效益估算。通过在沟道修建水土保持工程措施,可以有效拦截径流泥沙,防止河道冲刷并保障水源质量。该项目中沟道防护措施主要有谷坊和拦沙坝。由表 1 确定的评价标准可知,谷坊年拦沙  $75\text{ t}/\text{座}$ ,拦沙坝年拦沙  $200\text{ t}/\text{座}$ 。根据项目区沟道防护措施实施情况,可以估算出其拦沙效益。

统计结果表明,安康市和商洛市项目实施后沟道防护措施的拦沙效益明显增加,而汉中市项目实施前后沟道防护措施拦沙效益无明显变化。主要是因为汉中市在项目实施前沟道防护措施就很多,能够实现全面拦截沟道径流泥沙的目的,基本不需要再新增沟道防护措施。

(5) 封育措施保水保土效益估算。据有关规定,大于  $25^\circ$  的坡耕地都要进行退耕还林还草。根据陕南自然条件和项目实际情况,在大于  $25^\circ$  的坡地上实行封育措施,增加植被覆盖度,保障生态环境质量。由表 1 确定的评价标准可知,封育措施年拦蓄径流  $1\,845\text{ m}^3/\text{hm}^2$ ,保土  $14.25\text{ t}/\text{hm}^2$ 。根据项目区封育措施实施情况,可以估算出其保水保土效益。

统计结果表明,项目实施后各市封育措施保水保土效益均有明显增加,汉中市相对较少。这与各地新增封育措施量和当地的生态环境质量均有一定关系。

(6) 能源替代措施保水保土效益估算。项目中能源替代措施主要有修建节柴灶和沼气池。通过修建节柴灶和沼气池,可以减少对树木的砍伐,从而间接地起到保持水土的作用。据测算,节柴灶年拦蓄径流  $842.4\text{ m}^3/\text{个}$ ,保土  $13.572\text{ t}/\text{个}$ ,沼气池年拦蓄径流  $540\text{ m}^3/\text{座}$ ,保土  $8.70\text{ t}/\text{座}$ ,根据项目能源替代措施实施情况,可以估算出其保水保土效益。

统计结果表明,项目实施后各市能源替代措施保水保土效益均有一定增加,其中,商洛市增加量相对较多。这与当地农业人口数量及能源替代措施在当地的宣传推广力度有关。

(7) 不同措施保水保土效益对比。通过对以上各单项措施的保水保土效益进行分析,可以得出不同措施对总保水保土效益的贡献率,从而分析总结不同措施的作用和效果(图 4)。

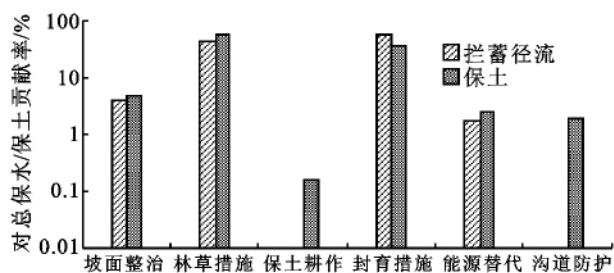


图4 不同措施保水保土效益比较

调查结果表明,不同措施对拦蓄径流的作用顺序依次为:封育措施(52.82%)>水土保持林草措施(41.55%)>坡面整治措施(3.89%)>能源替代措施(1.73%)>保土耕作措施(0.01%);不同措施对保土效益的作用顺序依次为:水土保持林草措施(56.71%)>封育措施(34.51%)>坡面整治措施(4.61%)>能源替代措施(2.39%)>沟道防护措施(1.78%)>保土耕作措施(0.15%)。

分析以上结果得出,南水北调中线水源区(陕南段)的水土保持措施以林草措施和封育措施为主,二者的效益之和分别占到拦蓄径流量和保土效益的94.37%和91.22%。但这并不意味着其他措施发挥效益的潜力比较低或对南水北调的健康运行没有多大影响。效益的高低并不仅仅与措施本身产生效益的潜力有关,更大的原因是实施量的多少和单位面积措施效益的高低。从调查数据中明显看出,各项措施的实施量有很大差别,单位面积措施效益也相差甚远。

南水北调中线工程的水土流失治理是一个系统工程,治沟与治坡相结合,生物措施与工程措施相结合。各项措施应合理配置、优势互补。

### 3.3.2 综合治理效益评价

(1) 基础效益评价。根据典型小流域调查资料确定的单项措施评价标准,以及上述单项措施保水保土效益的估算,对项目实施前后基础效益评价如下:

汉中市项目实施后,每年可拦蓄径流从治理前的198 176万 $\text{m}^3$ 增加到治理后的213 291万 $\text{m}^3$ ,增加了7.63%;保土效益从治理前的3 166万t增加到治理后的3 347万t,增加了5.72%;安康市项目实施后,每年可拦蓄径流从治理前的186 710万 $\text{m}^3$ 增加到治理后的260 540万 $\text{m}^3$ ,增加了39.54%;保土效益从治理前的2 597万t增加到治理后的3 474万t,增加了33.78%;商洛市项目实施后,每年可拦蓄径流从治理前的269 371万 $\text{m}^3$ 增加到治理后的340 149万 $\text{m}^3$ ,增加了26.27%;保土效益从治理前的3 615万t增加到治理后的4 443万t,增加了22.91%。

总体来看,项目实施后,各区蓄水保土效益显著。每年可拦蓄径流从治理前的654 258万 $\text{m}^3$ 增加到治

理后的813 980万 $\text{m}^3$ ,增加了24.41%;保土效益从治理前的9 377万t增加到治理后的11 264万t,增加了20.12%。其中,安康市综合治理治理效益最大,分别占到拦蓄径流和保土效益的46.22%和46.50%,商洛市综合治理效益次之,分别占到拦蓄径流和保土效益的44.31%和43.89%。

(2) 生态效益。项目区水土保持生态建设竣工后,水土流失面积由治理前的1.67万 $\text{km}^2$ 下降到治理后的0.95万 $\text{km}^2$ ,植被覆盖度由治理前的29.73%上升到治理后的39.48%,生态环境质量大大改善。

(3) 经济效益。经济效益是开展水土保持的最终目的,也是调动群众积极性的物质基础。治理期内4a给当地增加效益24.29亿元,其中汉中市2.61亿元,安康11.19亿元,商洛市10.49亿元,分别占到汉中市、安康市和商洛市农民人均收入增幅的8.07%,32.94%,43.47%。

(4) 社会效益。在项目区实施水土保持措施后,水土流失得到有效控制。土地利用结构趋于合理,农业生产条件得到改善,土地利用率和劳动生产率也随之提高,从而促进了该区农、林、牧、副各业协调稳定发展,加快了当地农民脱贫致富的步伐。

## 4 结论

(1) 陕南地区水土流失导致泥沙的大量淤积和水质下降,严重威胁着南水北调中线水源区的水环境与水质安全。在水源区进行水土流失综合治理至关重要。进行水源区水土保持措施效益评价,结果表明,该水土保持项目具有较好的生态效益、经济效益和社会效益,是一项致富当地、保障首都供水和环境安全,功在当代、利在后代的工程。

(2) 水源区各市之间的水土保持综合效益存在一定的差异。其中,安康市综合治理效益最大,分别占到拦蓄径流和保土效益的46.22%和46.50%,商洛市综合治理效益次之,分别占到拦蓄径流和保土效益的44.31%和43.89%。这与当地的生态环境质量及水土保持措施的实施量均有一定关系。

(3) 不同措施对拦蓄径流的作用顺序为:封育措施>水土保持林草措施>坡面整治措施>能源替代措施>保土耕作措施;不同措施对保土效益的作用顺序为:水土保持林草措施>封育措施>坡面整治措施>能源替代措施>沟道防护措施>保土耕作措施。因此,在水源区进行水土流失治理时,可在保证耕地面积,实现粮食自给的基础上尽可能加大封育措施及水土保持林草措施的力度。

(下转第58页)

- moisture[J]. *Journal of Hydrology*, 1999, 217(3/4): 203-224.
- [12] 程积民, 万惠娥. 中国黄土高原植被建设与水土保持[M]. 北京: 中国林业出版社, 2002.
- [13] 张仁铎. 空间变异理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [14] 赵忠, 李鹏, 王乃江. 渭北黄土高原主要造林树种根系分布特征的研究[J]. *应用生态学报*, 2000, 11(1): 38-40.
- [15] 王志强, 刘宝元, 海春兴, 等. 晋西北黄土丘陵区不同植被类型土壤水分分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2002, 16(4): 53-58.
- [16] 李洪建, 王孟本, 柴宝峰. 黄土高原土壤水分变化的时空特征分析[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(4): 515-519.
- [17] 胡伟, 邵明安, 王全九. 黄土高原退耕地土壤水分空间变异性研究[J]. *水科学进展*, 2006, 17(1): 74-81.
- [18] 杜建涛, 何文清, Nangia V, 等. 北方旱区保护性耕作对农田土壤水分的影响[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(11): 25-29.
- [19] 蒋定生. 黄土高原水土流失与治理模式[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997.
- [20] 李裕元, 邵明安, 张兴昌. 侵蚀条件下坡地土壤水分与有效磷的空间分布特征[J]. *水土保持学报*, 2001, 15(2): 41-44.
- [21] 徐学选, 刘文兆, 高鹏, 等. 黄土丘陵区土壤水分空间分布差异性探讨[J]. *生态环境*, 2003, 12(1): 52-55.
- [22] 杨文治, 邵明安. 黄土高原土壤水分研究[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [23] 贾志清, 宋红竹, 陈涛, 等. 黄家二岔小流域土壤水分空间分布特征[J]. *北京林业大学学报*, 1999, 21(5): 88-91.
- [24] 卢金伟, 李占斌, 郑良勇, 等. 陕北黄土区土壤水分养分空间分异规律[J]. *山地学报*, 2002, 20(1): 108-111.
- [25] 黄奕龙, 陈利顶, 傅伯杰, 等. 黄土丘陵小流域地形和土地利用对土壤水分时空格局的影响[J]. *第四纪研究*, 2003, 23(3): 334-342.
- [26] 连纲, 郭旭东, 傅伯杰, 等. 黄土高原小流域土壤容重及水分空间变异特征[J]. *生态学报*, 2006, 26(3): 647-654.
- [27] 张军涛, 艾华, 于长英. 东北农牧交错区水分条件的空间分异及其对土地利用的影响[J]. *地理科学进展*, 2001, 20(3): 233-238.
- [28] 王云强, 张兴昌, 从伟, 等. 黄土区不同土地利用方式坡面土壤含水率的空间变异性研究[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(12): 65-71.
- [29] Yoo C, Kim S. EOF analysis of surface soil moisture field variability [J]. *Advances in Water Resources*, 2004, 27(8): 831-842.
- [30] Ursino N, Contarini S. Stability of banded vegetation patterns under seasonal rainfall and limited soil moisture storage capacity[J]. *Advances in Water Resources*, 2006, 29(10): 1556-1564.
- [31] 成向荣, 黄明斌, 邵明安. 神木水蚀风蚀交错带主要人工植物细根垂直分布研究[J]. *西北植物学报*, 2007, 27(2): 321-327.

(上接第 51 页)

(4) 对同一区域不同市进行比较评价, 有利于通过对比揭示同一区域不同市水土保持效益的差异及其产生的根源, 这对指导今后的水土保持工作具有重要的现实意义。

由于数据和自身条件所限, 本文的研究比较宏观和浅薄。对南水北调中线水源区(陕南段)各项水土保持措施效益进行了宏观上的分析与评价, 并总结分析不同措施的作用和大小, 但对造成该结果的原因未进行深入的分析研究。产生这些效益的好坏和能否达到工程健康运行的要求也没有给出定性的结论, 因此还有待进一步深入研究。

#### 参考文献:

- [1] 王礼先, 朱金兆. 水土保持学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2005.
- [2] 党志良, 林启, 史淑娟. 水土保持综合治理效益分析与评价: 以丹凤县陈家沟小流域为例[J]. *西北大学学报: 自然科学版*, 2010, 40(3): 535-539.
- [3] 景可, 焦菊英. 水土保持措施与效益评价研究: 以陕北安塞县为例[J]. *水土保持研究*, 2011, 18(1): 312-316.
- [4] 许静, 王玉玺, 樊华. 东北黑土区小流域综合治理措施及效益评价: 以振祥小流域为例[J]. *中国水土保持科学*, 2010, 8(4): 95-100.
- [5] 王文生, 李红月. 郝家流域水土保持治理措施效益分析[J]. *中国水土保持*, 1998(9): 37-39.
- [6] 孙昕, 李德成, 梁音. 南方红壤区小流域水土保持综合效益定量评价方法探讨: 以江西兴国县为例[J]. *土壤学报*, 2009, 46(3): 373-380.
- [7] 刘建强, 李延忠, 时光新. 榆林小流域水土保持综合治理措施及其效益分析[J]. *水土保持通报*, 2000, 20(6): 51-54.
- [8] Shipitalo M J, Edwards W H. Runoff and erosion control with conservation tillage and reduced-input practices on cropped watersheds [J]. *Soil & Tillage Research*, 1998, 46(1/2): 1-12.
- [9] Zhang G S, Chan K Y, Oates A, et al. Relationship between soil structure and runoff/soil loss after 24 years of conservation tillage[J]. *Soil & Tillage Research*, 2007, 92(1/2): 122-128.
- [10] 王玮. 南水北调中线水源区(陕西段)水土保持生态补偿研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2010.