
试验研究

三峡库区不同退耕还林模式林地水文效应

潘磊^{1,2}, 唐万鹏¹, 肖文发², 史玉虎¹, 曾立雄², 黄志霖²

(1. 湖北省林业科学研究院, 湖北 武汉 430079; 2. 中国林业科学研究院, 北京 100091)

摘要: 在三峡库区兰陵溪小流域内选定 3 种典型退耕还林模式, 基于 2007—2009 年连续 3 a 的观测, 对退耕还林林地水文效应进行了定量研究。结果表明: (1) 与坡耕地比较, 退耕还林地土壤总孔隙度增加 4.2%~11.5%, 非毛管孔隙度增加了 69.1%~162.6%, 平均可增加饱和蓄水量 42.5%, 非毛管蓄水量 221.4%; (2) 各退耕还林模式 A 层土壤的初渗速率和稳渗速率分别在 2.73~4.74 mm/min 和 1.30~2.96 mm/min, 与对照相比 A 层土壤渗透性能差异不大, B 层土壤初渗及稳渗速率分别较对照提高 0.85~5.21 倍和 3.33~6.83 倍, 在 0.14~0.87 mm/min 和 0.06~0.47 mm/min 间变动; (3) 各退耕还林模式年均径流深为 13.21~22.38 mm, 较农耕地减少 74.7%~57.3%, 各退耕模式土壤侵蚀模数在 137.1~331.1 t/(km²·a), 较对照减少 92.4%~81.6%。

关键词: 三峡库区; 退耕还林; 林地; 水文效应

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)05-0103-04

中图分类号: S152.7

Woodland Hydrological Effects of Converting Cropland to Forest in the Three Gorges Reservoir Region

PAN Lei^{1,2}, TANG Wan-peng¹, XIAO Wen-fa², SHI Yu-hu¹, ZENG Li-xiong², HUANG Zhi-lin²

(1. Hubei Academy of Forestry, Wuhan, Hubei 430079, China; 2. Chinese Academy of Forestry, Beijing 100010, China)

Abstract: Based on 3 year (2007—2009) continuous observations, characteristics of woodland hydrological effects from the three typical models of converting cropland to forest were studied in Lanningxi small watershed of the Three Gorges Reservoir region. Results are as follows: (1) Compared with sloping farmland, the total soil porosity and non-capillary porosity increased from 4.2% to 11.5% and 69.1% to 162.6%, respectively. The maximum soil water capacity and non-capillary water capacity increased by 42.5% and 221.4%, respectively, after converting cropland to forest. (2) Initial infiltration rate and stable infiltration rate in A layer for each of the three models were between 2.73 and 4.74 mm/min and 1.30 and 2.96 mm/min, respectively, which had no great differences from those on sloping farmland; and in B layer, between 0.14~0.87 mm/min and 0.06~0.47 mm/min, respectively, which were 0.85~5.21 and 3.33~6.83 times of those on sloping farmland. (3) The surface runoff depths for the three models were between 13.21 and 22.38 mm, which were reduced by 74.7%~57.3% as compared with those on cropland. The average annual soil erosion modulus for the three models were between 137.1 and 331.1 t/km², which were reduced by 92.4%~81.6% in contrast to CK.

Keywords: Three Gorges Reservoir region; converting cropland to forest; forest stand; hydrological effect

退耕还林工程是根据恢复生态学和生态经济学理论提出的一种区域性林业发展模式, 是生态林业治理的一个核心工程, 现已成为我国生态经济建设和林业发展的重点之一^[1]。系统评价工程水文生态效益, 指导退耕还林工程的科学决策与实施, 是研究者们广

泛关注的问题。郝云庆等^[2]对北川县 3 类退耕还林模式的水土保持效应作了对比研究, 各模式水土保持效应都显著优于其对照, 径流量和泥沙量约为各自对照值的 1/3~1/2; 李双才等^[3]采用通用土壤流失方程, 在 RS 和 GIS 支持下, 对不同坡度退耕还林及还

收稿日期: 2012-02-15

修回日期: 2012-04-09

资助项目: “十二五”国家科技支撑课题“长江流域防护林体系整体优化及调控技术研究”(2011BAD38B04); 国家林业局“长江三峡库区(秭归)森林生态定位站”

作者简介: 潘磊(1976—), 男(汉族), 湖北省武汉市人, 博士, 副研究员, 从事森林生态及森林水文研究。E-mail: panlei2008@126.com。

通信作者: 肖文发(1964—), 男(汉族), 湖北省公安县人, 博士生导师, 研究员, 从事森林生态研究。E-mail: xiaowenf@caf.ac.cn。

草情景下的水土保持效应进行了模拟,结果表明,土壤侵蚀量的减少主要发生在 $\geq 15^\circ$ 和 $\geq 25^\circ$ 的退耕地;罗海波等^[4]在贵州山区的研究表明,退耕还林(草)后旱坡地地表径流中泥沙含量降低,土壤养分流失减少,土壤容重降低,土壤理化性质改善。退耕还林在控制侵蚀、涵养水源方面具有较为明显的效益,研究不同退耕模式的土壤水文效应是模式选择与植被恢复重建的关键问题之一。

林地土壤作为森林各组分中最大的贮水库和水分调节器^[5],是森林生态系统发挥水土保持及水源涵养效应的主体。将退耕还林林地土壤作为独立单元,研究其蓄渗性能及水文效益,对于理解退耕还林水文调节机制,确定退耕还林建设模式具有重要意义。本文选取三峡库区 3 类典型退耕还林模式,在连续多年定位观测基础上,开展了不同退耕还林模式林地水文效益的定量研究,以期推动林地坡面径流与侵蚀研究向纵深发展,并为三峡库区退耕还林工程建设提供理论依据。

1 研究区概况

试验地位于湖北省秭归县境内的兰陵溪小流域,距长江三峡大坝上游 5 km 处,地理坐标为东经 $110^\circ 54' 30''$ — $110^\circ 56' 20''$,北纬 $30^\circ 50' 04''$ — $30^\circ 52' 09''$,基岩为花岗岩。气候类型属北亚热带湿润季风气候,冬夏气候交替明显,年平均气温 18.0°C , $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 $5\ 300^\circ\text{C}$,无霜期 250 d,多年平均降雨量 $1\ 150\text{ mm}$,年内分配不均,4—10 月降水量约占全年

的 85%,年蒸发量 $1\ 421.5\text{ mm}$ 。流域内土壤以黄壤为主。主要乔木树种有马尾松(*Pinus massoniana*)、枫香(*Liquidambar formosana*)、杉木 [*Cunninghamia lanceolata*],林下灌木以化香树(*Platycarya strobilacea*)、映山红(*Rhododendron simsii*)、黄荆(*Vitex negundo*)、马桑(*Coriaria sinica*)和麻栎(*Quercus acutissima*)等为主。草本以蕙兰(*Cymbidium faberi*)、白茅(*Imperata cylindrical*)、蕨类(*Pteridium* spp.)、苔草(*Carex* spp.)和飞蓬(*Erigeron* spp.)等为主。经济树种主要有柑橘(*Citrus reticulata* Osbeck)、板栗(*Castanea mollissima*)和茶树(*Camellia sinensis*)等。

2 材料与方法

2.1 退耕还林模式选择

经济林树种配置生物埂是一种重要的生态经济型退耕模式,该种模式能保障林农的经济收入,生物埂对水土流失有较好的控制作用,多数生物埂树种也是饲养牲畜的优良牧草,目前在三峡库区的农林交错区应用非常普遍。试验选取板栗+紫穗槐(模式 I)、柑橘+金荞麦(模式 II)及油桃+金荞麦(模式 III) 3 种退耕还林模式,其群落特征见表 1。

各种退耕模式每年进行 1 次穴式施肥,模式 II 和 III 在退耕 3 a 后进行了少量修剪,紫穗槐每年刈割 3~4 次,金荞麦每年刈割 5~6 次。3 种退耕还林模式均为 2000—2003 年秭归县退耕初期种植,具有较好的可比性。

表 1 3 种退耕还林模式的基本情况

编号	退耕模式	基岩	海拔/m	坡度/($^\circ$)	坡向	林龄/a	林地盖度/%		
							乔木	灌木	草本
I	板栗+紫穗槐	花岗岩	215	26	S	10	60	5	20
II	柑橘+金荞麦	花岗岩	205	26	S	7	50	5	60
III	油桃+金荞麦	花岗岩	205	25	ES	7	40	10	30

2.2 研究方法

(1) 降雨量观测。通过在林外空旷处布设 CR 2 型翻斗式电脑数字雨量仪(成都产)观测,降雨记录间隔为 1 min,降雨量最大观测值为 33.6 mm/min 。按地面气象要素观测规范,对降雨历时、降雨量、降雨强度等数据进行整理。

(2) 坡面径流量及产沙量观测。通过设立坡面径流场观测各类退耕林地的地表径流,径流场水平投影面积为 $20\text{ m} \times 10\text{ m}$ 。边界用砖砌起,地上高 20 cm ,地下埋深 30 cm ,表面用水泥抹浆防止区内外径流交换,通过集水槽和导流管将径流收集至集流池

量测每次降雨后的地表径流。在观测径流的同时,将量水池中的水搅拌均匀后取样,经过滤、烘干、称重求算径流含沙量和侵蚀量。

(3) 土壤物理性质测定。在每个样地对角线上选 2 个部位,各挖 1 个 60 cm 深的土壤剖面,按 0 — 20 , 20 — 40 , 40 — 60 cm 这 3 个层次每层采集环刀(100 cm^3)土样 1 份,带回室内测定容重、含水量、饱和持水量、孔隙度等指标,各项指标测定值取 3 层土样平均值,土壤物理特性分析按森林土壤水分—物理性质的测定标准(国家行业标准 LY/T1215—1999)进行。

(4) 土壤渗透性能测定。采用“双环法”测定不同模式土壤渗透性能,包括土壤初渗速率、稳渗速率。

3 结果与分析

3.1 土壤物理性状及水源涵养效益

森林水源涵养功能主要表现在对土壤物理结构的改善和对降水再分配。土壤性质,特别是土壤的孔隙状况直接影响土壤通气、透水性,是决定森林土壤水源涵养功能的重要因素。不同退耕还林模式其土壤性质存在差异。各种退耕模式林地土壤的物理结构和持水特性见表 2。

表 2 不同退耕模式林地土壤的物理特性

退耕模式	容重/(g·cm ⁻³)	总孔隙度/%	毛管孔隙度/%	非毛管孔隙度/%	毛管持水量/%	饱和持水量/%
I	1.49	36.18	33.18	3.00	33.76	36.03
II	1.48	34.26	31.03	3.23	27.80	28.20
III	1.41	33.83	31.75	2.08	35.76	36.30
农耕地	1.53	32.46	31.23	1.23	26.85	27.51

土壤饱和蓄水量反映了土壤蓄持水分和调节水分的潜在能力,可用于综合反映水源涵养能力,而以非毛管孔隙计算的蓄水量是森林土壤暂时所能储存的一次性有效蓄水量,反映了林地降水向下渗透时森林土壤非毛管孔隙饱和状态的蓄水量,体现了森林土壤对降雨的动态调蓄能力^[6](表 3)。

表 3 不同退耕模式土壤蓄水性能

退耕模式	土层平均厚度/m	饱和蓄水量/(m ³ ·hm ⁻²)	非毛管蓄水量/(m ³ ·hm ⁻²)
I	0.6	2 170.8	180.0
II	0.8	2 740.8	258.4
III	0.6	2 029.8	124.8
农耕地	0.4	1 298.4	49.2

由表 3 可知,坡耕地退耕后饱和蓄水量、非毛管蓄水量均呈明显上升趋势,平均可增加饱和蓄水量 42.5%,非毛管蓄水量 221.4%。表明退耕还林能显著改善坡地土壤蓄水能力,且这种作用更多地体现在对土壤蓄渗能力的改善上,这对于减少坡面地表产流产沙具有重要意义。

3.2 土壤渗透性能

土壤渗透性能是土壤的重要水分物理性质之一,也是评价林分水源涵养功能的重要指标,一般用土壤初始入渗率、稳定入渗率和渗透系数来衡量其优劣^[7]。对土壤入渗性能测定结果表明(表 4),研究区 3 种退耕模式及农耕地的渗透性能尤其是下层渗透性能不高,A 层土壤的初渗速率和稳渗速率分别在

可以看出坡耕地经退耕还林后土壤的总孔隙度增加 4.2%~11.5%,非毛管孔隙度增加 69.1%~162.6%。比较土壤毛管持水量及饱和持水量,各模式较农耕地都有一定程度增加,其中以油桃+金荞麦(模式 III)土壤持水性能最优。通常毛管孔隙蓄持的水分可长时间保持在土壤中,主要用于植物根系吸收和土壤蒸发,而非毛管孔隙水分可以及时排空,更加有利于水分的下渗^[6]。

可见退耕还林对土壤的物理结构和持水特性具有明显的改善作用,有利于保持土壤水分供植物利用。

2.73~4.74 mm/min 和 1.30~2.96 mm/min,而 B 层土壤的初渗速率和稳渗速率则在 0.14~0.87 mm/min 和 0.06~0.47 mm/min 间变动。各种退耕模式与对照相比 A 层土壤渗透性能差异不大,这与坡耕地表层耕作在一定程度上改善了土壤结构有关;但 B 层土壤渗透性能在退耕后有显著提高,各模式 B 层土壤初渗及稳渗速率分别较对照提高 0.85~5.21 倍和 3.33~6.83 倍。退耕还林植物根系通过在土壤中的穿插作用和积累有机质,使土壤有良好团聚结构和孔隙状况,改善了下层土壤渗透性能^[8],且这种改善作用一般随着退耕年限的增加还会进一步呈增强趋势^[9-10]。

表 4 不同退耕模式土壤渗透性能

退耕模式	土壤层次	初渗速率/(mm·min ⁻¹)	稳渗速率/(mm·min ⁻¹)	渗透系数
I	A	4.08	2.96	1.48
	B	0.51	0.28	0.14
II	A	4.74	1.30	0.65
	B	0.87	0.47	0.23
III	A	2.73	2.15	1.08
	B	0.36	0.26	0.13
农耕地	A	3.03	2.13	1.07
	B	0.14	0.06	0.03

土壤水分入渗实际上是在地表径流和地下径流之间分配降水的过程,直接关系到坡面产流和产沙机制,能显著影响森林系统水文功能。将各模式及对照 A、B 层土壤入渗过程曲线绘制成图 1—2。可以看

出,退耕林地土壤稳渗时间在 35~40 min 间变动,而坡耕地对照的稳渗时间则相对较短,A,B 层都为 30 min,退耕还林促进了坡地入渗性能的提高。与对照相比,无论 A 层还是 B 层,退耕还林地土壤入渗曲线显得更为“陡峭”,退耕还林地土壤初渗速率较对照有较大程度提高,可能与土壤孔隙状况的改善有关,这对降雨尤其是大强度降雨的调节具有积极作用。

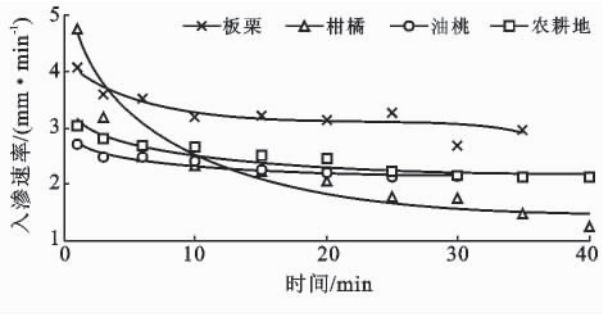


图 1 A 层土壤入渗曲线

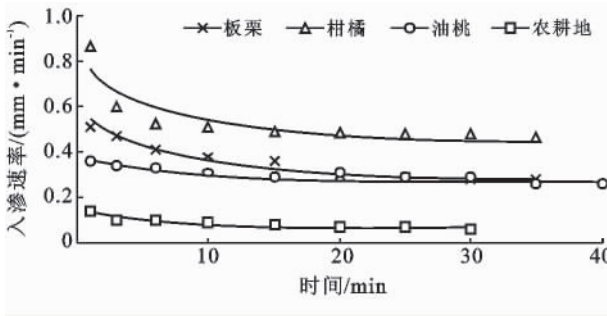


图 2 B 层土壤入渗曲线

3.3 削减径流泥沙效应

表 5 列出了各种退耕还林模式及对照的平均径流量和侵蚀量,各退耕还林模式年均径流深为 13.21~22.38 mm,较农耕地减少 74.7%~57.3%,各退耕模式土壤侵蚀模数在 137.1~331.1 t/(km²·a),较对照减少 92.4%~81.6%。流域内退耕还林模式消减径流泥沙效益明显,主要原因是退耕还林后,林地土壤蓄渗能力提高,同时各模式都配套栽培了边坎、埂生物篱,有效地拦截了泥沙并促进坡地自然改造为梯地。

表 5 不同退耕还林模式林地径流侵蚀特征值

退耕模式	径流深/ mm	径流系数/ %	侵蚀量/ (t·km ⁻² ·a ⁻¹)	径流含沙率/ (kg·m ⁻³)
I	22.38	1.76	290.3	12.97
II	13.21	1.04	137.1	10.38
III	18.22	1.44	331.1	18.17
农耕地	52.37	4.13	1794.7	34.27

3 类退耕林分年产沙量大小顺序为油桃+金荞

麦>板栗+紫穗槐>柑橘+金荞麦,与径流量间的大小顺序表现得并不相同,主要是由于油桃+金荞麦模式平均径流含沙率(18.17 kg/m³)较板栗+紫穗槐模式(12.97 kg/m³)为高所致,这可能是冠层性状、灌草及枯落物特征及土壤理化性质差异综合作用的结果^[11-12]。柑橘+金荞麦模式因其林地灌草层丰富,能有效削减雨滴动能、减缓径流流速,年均径流含沙率仅为 10.38 kg/m³,显示了较强的控制侵蚀产沙能力。

4 结论

退耕还林可明显改善坡地土壤的物理结构和持水特性,与坡耕地比较,退耕还林地土壤总孔隙度增加 4.2%~11.5%,非毛管孔隙度增加 69.1%~162.6%。各退耕还林模式 A 层土壤的初渗速率和稳渗速率分别在 2.73~4.74 mm/min 和 1.30~2.96 mm/min,与对照相比 A 层土壤渗透性能差异不大,这与坡耕地表层耕作在一定程度上改善了土壤结构有关,但各种退耕模式 B 层土壤初渗及稳渗速率分别较对照提高 0.85~5.21 倍和 3.33~6.83 倍。受林地土壤蓄渗性能改善影响,各退耕还林模式年均径流深较农耕地减少 74.7%~57.3%,土壤侵蚀模数较对照减少 92.4%~81.6%。

王富等^[13]在坝上地区的研究表明,不同植被类型土壤入渗速率与入渗时间存在较好的幂函数关系,有林地的土壤入渗性能优于草地的土壤入渗性能,且柠条林、沙棘林和榆树林的土壤稳渗速率分别为草地的 4.96,3.18 和 2.88 倍;高国雄等^[14]在北川河流域研究表明,不同退耕模式土壤稳渗速率在 0.8~6.8 mm/min。上述研究各退耕模式林地土壤的蓄渗性能与本文研究表现出了较好的一致性,值得注意的是不同退耕模式的土壤蓄渗能力也表现出较大的变异,这与土壤质地、灌草覆盖及林地管理都有着直接关系。下一步需要加强这些退耕林土壤蓄渗影响机制方面的研究,这也将是退耕还林林地管理与成果巩固的重要研究内容。

退耕还林土壤的不同蓄渗指标反映了林地对降水不同涵蓄和调节功能,研究区内不同退耕还林模式的这种涵蓄和调节能力差异非常显著。在退耕还林实际中,要充分注重适地适树适功能的原则,通过在不同地段布局不同的退耕还林树种,以促进水源涵养及水土保持效益的优化。

(下转第 112 页)

此更精细地反映一个对象所处的状态。可拓方法中关联函数取值在 $(-\infty, \infty)$, 这为我们量化评价对象带来方便, 也是模糊综合评判法、层次分析法所不具备的, 因为模糊综合评判法的取值范围在 $[0, 1]$, 取值范围较小, 限制性较大。

(3) 论文探讨了基于点与区间距和简单关联函数确定指标权重值的问题, 避免了人为主观因素对权重值的影响。实例证明, 用此方法确定权重值科学、可行。

(4) 论文主要是为了验证可拓学物元模型在土地整理效益评价中的可行性, 所以在选取评价指标时有些指标间存在相容性, 对评价结果有些影响, 这在后续研究中应注意。

[参 考 文 献]

- [1] Sklenicka P. Applying evaluation criteria for the land consolidation effect to three contrasting study areas in the Czech Republic[J]. Land Use Policy, 2006, 23(4): 502-510.
- [2] 张正峰. 土地整理潜力与效益评价[M]. 北京: 知识产权出版社, 2008: 88-116.
- [3] 张正峰. 土地整理模式与效应[M]. 北京: 知识产权出版社, 2011: 1-215.
- [4] 张正峰, 赵伟. 土地整理的资源与经济效益评估方法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 295-299.
- [5] 李岩, 赵庚星, 王瓊玲, 等. 土地整理效益评价指标体系研究及其应用[J]. 农业工程学报, 2006, 22(10): 98-101.
- [6] 张正峰, 陈百明. 土地整理的效益分析[J]. 农业工程学报, 2003, 19(2): 210-213.
- [7] 王炜, 杨晓东, 曾辉, 等. 土地整理综合效益评价指标与方法[J]. 农业工程学报, 2005(10): 70-73.
- [8] 信桂新, 杨庆媛, 杨华均, 等. 土地整理项目实施后影响评价[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 312-317.
- [9] 赵燕伟, 苏南. 可拓设计[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 1-204.
- [10] 杨春燕, 蔡文. 可拓工程[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 1-182.
- [11] 蔡文, 杨春燕, 陈文伟, 等. 可拓集与可拓数据挖掘[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 1-160.
- [12] 刘春莉, 李祚泳. 生态环境质量物元可拓评价及实例分析[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(4): 62-64.
- [13] 吴冠岑, 刘友兆, 付光辉. 基于熵权可拓物元模型的土地整理项目社会效益评价[J]. 中国土地科学, 2008, 22(5): 40-45.
- [14] 欧阳彦, 刘秀华. 基于熵权物元可拓模型的土地整理生态环境影响评价[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2009, 34(6): 67-73.
- [15] 樊闽. 中国土地整理事业发展的回顾与展望[J]. 农业工程学报, 2006, 22(10): 246-251.

(上接第 106 页)

[参 考 文 献]

- [1] 李世东. 中国退耕还林研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 1-5.
- [2] 郝云庆, 王金锡, 李力. 北川退耕还林农林复合经营模式的水土保持效应研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(4): 16-19.
- [3] 李双才, 罗利芳, 张科利, 等. 黄土沟壑丘陵区退耕对土壤侵蚀影响的模拟研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(1): 74-77, 81.
- [4] 罗海波, 钱晓刚, 何方, 等. 喀斯特山区退耕还林(草)保持水土生态效益研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 31-34, 41.
- [5] 高甲荣. 长江上游亚高山暗针叶林林地水文作用初探[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(4): 75-79.
- [6] 王勤, 张宗应, 徐小牛. 安徽大别山库区不同林分类型的土壤特性及其涵养水源功能[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 59-62.
- [7] 史培军, 宫鹏, 李晓兵, 等. 土地利用与覆被变化研究的方法与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 18-20.
- [8] 吴彦, 刘世全. 植物根系对土壤抗侵蚀能力的影响[J]. 应用与微生物学报, 1997, 2(3): 119-124.
- [9] 董三孝. 黄土丘陵区退耕坡地植被被自然恢复过程及其对土壤入渗的影响[J]. 水土保持通报, 2004, 24(4): 1-5.
- [10] 胡建中, 朱金兆, 周心澄, 等. 北川河流域退耕还林还草工程土壤渗吸性能研究[J]. 中国水土保持科学, 2004, 2(2): 55-61.
- [11] 张金池, 胡海波, 朱克成, 等. 苏南丘陵区不同土地利用状况的蓄水保土功能研究[J]. 南京林业大学学报, 1995, 19(3): 6-10.
- [12] 魏晶, 吴钢. 辽西低山丘陵区人工油松林和沙棘林的水文生态效应[J]. 生态学报, 2006, 26(7): 2087-2092.
- [13] 王富, 甄宝艳, 董智, 等. 坝上地区退耕还林土壤水文生态特征[J]. 中国水土保持科学, 2010, 8(4): 61-66.
- [14] 高国雄, 李文忠, 周心澄, 等. 北川河流域退耕还林不同配置模式的水文效应[J]. 水土保持学报, 2006, 20(4): 11-15.