

森林植被对坡地不同空间尺度侵蚀产沙影响分析

余新晓, 秦永胜
(北京林业大学, 北京 100083)

摘 要: 根据 1991~2000 年的森林水文定位观测成果, 主要采用对比试验的方法, 对人工径流小区尺度(100 m²) 和对比自然坡面尺度(0. 9 hm²) 水源林的产流产沙特征进行了深入分析, 在此基础上初步分析了水源保护林对侵蚀控制的空間尺度效应。
关键词: 森林植被; 坡地; 尺度; 侵蚀产沙
中图分类号: S 157 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2001) 04-0066-04

Effect of Forest Cover on Sediment Yield Produced by
Erosion in Different Spatial Scales

YU Xin-xiao, QIN Yong-sheng
(Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: According to the locating observation result of forest hydrologic properties from 1991 to 2000, the characteristics of the runoff and sediment yield of artificial runoff plot scale(100 m²) and natural sloping scale(0. 9 hm²) were analyzed deeply by taking the method of contrasting experiment. Based on these, the effect of forest cover of headwater on erosion control was primarily analyzed.
Key words: forest cover; sloping land; scales; sediment yield produced by erosion

森林植被对水文循环和泥沙的影响具有尺度相关性。从一个时空尺度到另一个时空尺度, 森林植被对水文循环和泥沙的影响往往表现不同的特征。因此, 为客观评价森林植被对水文循环和泥沙的影响, 建立不同空间尺度的试验研究区, 是认识和评价森林植被功能的必然选择。
刺槐和油松是北京密云水库上游的主要造林树种, 林地面积分别为 9 065 hm² (北京市境内), 是人工林分布较广、面积较大, 也是近几年林地面积增长较快的树种。因此, 在水库东侧二级保护区內, 设刺槐林地、油松林地和对照无林地坡面人工径流小区, 观测其产流、产沙特征, 进而评价其水文生态效应, 对密云水库库区水源保护林的经营管理具有较为重要的现实意义。

1 实验布设及其自然条件

实验区布设在北京市密云县水源保护林试验区。观测期为 1991~2000 年。
1.1 人工径流小区
选择 2 块刺槐纯林地、3 块油松纯林和 1 块刺槐林采伐迹地、1 个荒坡作为对照、设置了 7 个坡面人工径流小区。收集天然降雨的地表径流和泥沙, 7 个小区除植被情况不同外, 其它情况基本一致(见表 1)。
1.2 天然坡面径流场概况
在密云水库东北庄乡林业站设置了两个对比天然坡面径流场。两个坡面径流场的自然条件非常相似, 将其中一个径流场的刺槐林采伐掉作为对比。两个天然坡面径流场的基本情况与观测设施的布设见表 2。

* 收稿日期: 2001-08-25
国家自然科学基金重点基金(39930130), 教育部博士点基金(2000002209)。
作者简介: 余新晓, 男, (1961-), 教授, 从事水土保持科研教学。

2 径流小区尺度水源保护林对土壤侵蚀产沙的影响

对 2 个刺槐林、1 个荒坡人工径流小区的观测

2. 1 刺槐人工径流小区产流量与产沙量

表 1 人工径流小区的基本情况

小区编号	植被种类		森龄/ a	郁闭度/ %	盖度/ %	枯落物厚/ mm	坡度/ °	坡向	土壤质地	土壤容重/ g · cm ⁻³	土壤孔隙/ %
	主要乔木	次要植被									
刺槐 1	刺槐	柠条	4 ~ 5	72. 5	100	3. 5	21	NW	沙壤	1. 21	53. 13
刺槐 2	刺槐	柠条	7 ~ 8	91. 7	100	5. 2	20	W	沙壤	1. 15	25. 02
油松 1	油松	荆条 羊胡子草	18	37	80	3. 4	24. 1	N	沙壤	1. 16	44. 6
油松 2	油松	荆条、白草	22	53	87	4. 3	22. 5	N	沙壤	1. 11	53. 5
油松 3	油松	荆条 狗尾草	32	81	93	6. 1	20. 2	N	沙壤	1. 05	52. 13
荒坡	—	柠条、狗尾 草、艾蒿	—	—	51	—	21	NW	沙壤	1. 39	45. 74
迹地	—	胡枝子 白草	—	—	43	3. 7	22. 3	E	沙壤	1. 34	45. 02

表 2 小南沟天然坡面径流场
基本情况和试验布设表

试验区名	有林地	无林地
林分或地类	刺槐薪炭林	采伐迹地
集水区面积/ hm ²	0. 91	0. 95
措施	原样(枯落物量 22. 0 t/hm ²)	皆伐、清除枯落物。雨季前地被清除
主要植被	8 ~ 10 年生刺槐林, 郁闭度为 92%, 下层植被为柠条、狗尾草、苔藓等	同龄刺槐林皆伐迹地(2 ~ 3 年)主要为柠条、狗尾草和艾蒿, 覆盖度为动态变化(30% ~ 70%)
坡向	E	W
坡度/ °	25 ~ 30	22 ~ 28
土壤类型	山地沙壤土	山地沙壤土
土层平均厚度/ cm	34	38
土壤平均容重/(g · cm ⁻³)	1. 34	1. 45
母岩类型	花岗岩、片麻岩	花岗岩、片麻岩
量水堰类型	90 °三角形薄壁量水堰	90 °三角形薄壁量水堰
试验设施布设	自计水位计、雨量计	自计水位计、雨量计

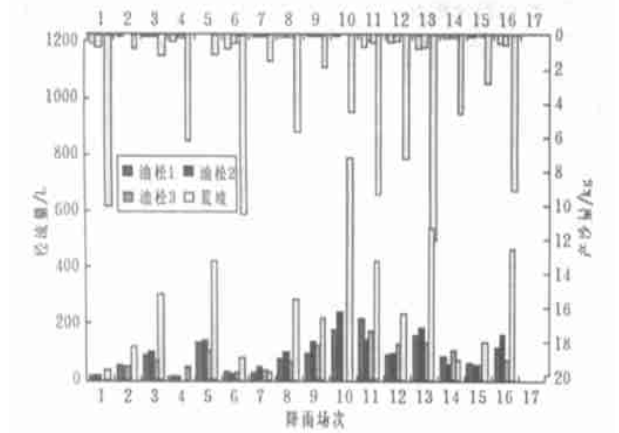


图 1 油松林地和坡人工径流小区径流量、泥沙量对比分析成果

结果见图 1。从图中可以看出, 场降雨径流小区的径流量和产沙量具有较好的相关关系。场降雨荒坡的总径流量、泥沙量都比刺槐林地大, 产沙量是刺槐林地的 145. 0% ~ 833. 2%, 产沙量是刺槐林地的

364. 9% ~ 1 278. 7%。观测中降雨量和降雨强度较大的两场暴雨, 荒坡产生的地表径流量和泥沙量要比刺槐林平均大 5. 8 倍和 10. 4 倍, 而且随着降雨量级的增加, 对照荒地与林地的径流量和泥沙量的比值呈递增趋势。刺槐林与荒坡相比, 具有明显的拦蓄降雨、减少径流和控制泥沙的作用。从图表中还可以看出, 虽然两个小区的地表覆盖度没有区别, 但是刺槐林小区 2 的郁闭度和枯落物厚度比刺槐林 1 小区大, 结果导致刺槐林 2 的径流量和产沙量较刺槐林 1 小区小。

对场降雨的产流(Q)、产沙量(S)与场降雨总量(P)、最大 15 min 雨量(I_{15})进行多元回归分析可得回归如表 3。从表中可知, 场降雨产流量和产沙量与降雨量和 15 min 最大雨强均呈良好的相关关系。随着林分郁闭度从荒坡地到刺槐 2 的增大, 场降雨径流量和产沙量与降雨量和 15 min 最大雨强的相关关系明显变小, 这说明郁闭度的增加将导致水文过程复杂性的增加, 表现为径流量和产沙量与降雨量和最大 15 min 雨强相关关系的降低。

2. 2 油松林人工径流小区产流量与产沙量

把对三个油松径流小区和一个荒坡径流小区 16 场降雨的观测试验结果见图 1。从图中可知, 油松人工径流小区的产流量和产沙量是刺槐小区 1 的 87% ~ 4. 37 倍和 12. 04 ~ 56. 50 倍, 是油松小区 2 的 66% ~ 3. 89 倍和 13. 87 ~ 117. 00 倍, 是油松小区 3 的 67% ~ 24. 28 倍和 19. 06 ~ 113. 00 倍。荒坡径流小区比油松小区的平均产流量和产沙量最大 2. 95 和 20. 57 倍。随着降雨量级的增加, 对照荒地与油松林地的径流量和泥沙量的比值呈递增趋势。油松林小区与荒坡小区相比, 具有明显的的拦蓄降雨、减少径流和控制泥沙的作用。

从图中还可以清楚的看出, 植被状况不同的三

个油松径流小区,其场降雨的产流产沙量也是不同的,油松径流小区 1、2、3 的产流量和产沙量平均值分别:90.6 L 和 0.42 kg、96.64 L 和 0.33 kg、79.06

L 和 0.14 kg,由此可见,森林植被的存在对于场降雨的产流产沙量具有显著的削减作用。

表 3 刺槐径流小区产流产沙特性回归分析表

	产流量回归方程	产沙量回归方程	产流量与产沙量
刺槐 1	$Q=14.38+0.88P+27.41I_{15}$ $R^2=0.858^{**}n=17$	$S=0.36-0.0032P+0.655I_{15}$ $R^2=0.76^{**}n=17$	$S=0.0127Q+0.0163$ $R^2=0.726^{**}n=17$
刺槐 2	$Q=11.02+0.65P+17.87I_{15}$ $R^2=0.799^{**}n=17$	$S=0.37-0.0035P+0.47I_{15}$ $R^2=0.66^{**}n=17$	$S=0.1155+0.012Q$ $R^2=0.62^{**}n=17$
荒坡	$Q=-63.25+4.84P+204.74I_{15}$ $R^2=0.845^{**}n=17$	$S=0.204+0.059P+5.517I_{15}$ $R^2=0.82^{**}n=17$	$S=0.022Q+0.62$ $R^2=0.96^{**}n=17$

其中:流量单位为 m³,产沙量单位为 kg,降雨量单位为 mm,15 min 最大雨强单位为 mm/min。

从图中还可清楚的看出,植被状况不同的三个油松径流小区,其场降雨的产流产沙量也是不同的,油松径流小区 1、2、3 的产流量和产沙量平均值分别为:90.6 L 和 0.42 kg、96.64 L 和 0.33 kg、79.06 L 和 0.14 kg,由此可见,森林植被的存在对于场降雨的产流产沙量具有显著的削减作用。

对场降雨的产流量(Q)、产沙量(S)与场降雨总量(P)、最大 10 min 雨强(I₁₀)和最大 30 min 雨强

(I₃₀)进行多元回归分析可得如表 4 所示方程。与刺槐径流小区同样,场降雨产流量和产沙量与降雨量(P)、最大 10 min 雨强(I₁₀)和最大 30 min 雨强(I₃₀)的相关关系,随着林分郁闭度的增加而降低。由林分郁闭度(复杂性)增大而引起的变异性 and 不确定性,无疑将极大的增加森林植被与侵蚀控制相关关系研究的难度。

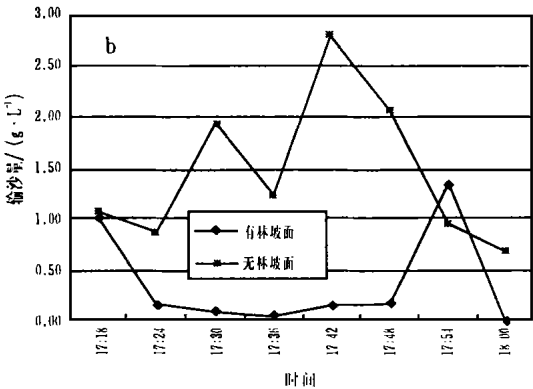
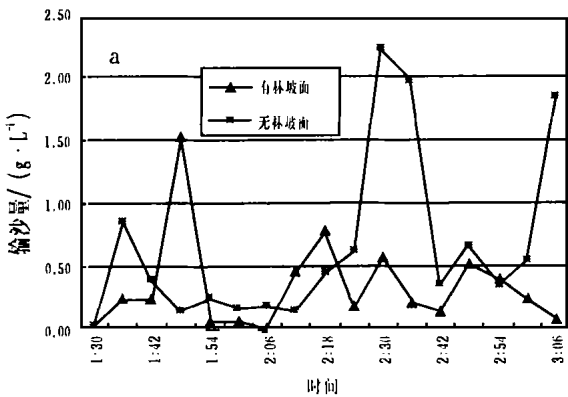


图 2 天然坡面悬移质输沙过程

表 4 油松径流小区产流产沙性回归分析表

	产流量回归方程	产沙量回归方程	产流量
油松林 1	$Q=15.3-19.1P+86.7I_{10}+102.1I_{30}$ $R^2=0.92^{**}n=16$	$S=0.21-0.015P-0.055I_{10}+1.057I_{30}$ $R^2=0.95^{**}n=15$	$S=0.0054Q-0.07$ $R^2=0.77^{**}n=16$
油松林 2	$Q=4.6-0.105P-20.13I_{10}+171.05I_{30}$ $R^2=0.94^{**}n=16$	$S=0.04-0.0036P-0.39I_{10}+1.03I_{10}$ $R^2=0.96^{**}n=16$	$S=0.00496Q-0.121$ $R^2=0.85^{**}n=16$
油松林 3	$Q=8.01-1.16P+99.4I_{10}+48.28I_{30}$ $R^2=0.84^{**}n=16$	$S=0.21-0.015P+0.44I_{10}+0.053I_{30}$ $R^2=0.79^{**}n=16$	$S=0.0018Q-0.0157$ $R^2=0.50^{**}n=16$
油松林 4	$Q=18.94-1.57P-156.1I_{10}+624.6I_{30}$ $R^2=0.95^{**}n=16$	$S=1.035-0.07P-1.16I_{10}+12.36I_{30}$ $R^2=0.94^{**}n=16$	$S=0.021Q+0.66$ $R^2=0.98^{**}n=16$

其中:流量单位为 m³,产沙量单位为 kg,降雨量单位为 mm,15 min 最大雨强单位为 mm/min。

3 天然坡面尺度森林植被对土壤侵蚀产沙的影响

3.1 天然坡面场降雨过程产沙特性分析

对于天然坡面的悬移沙过程来说,有林坡面不仅具有较小的输沙率而其输沙过程相对比较平缓,而无林坡面的不仅输沙率大而且输沙过程具有陡涨陡落的特性(如图 3 所示)。1997 年 7 月 19 日的产沙

过程实测降雨量为 117.3 mm,无林坡面的最大含沙量为 2.77 g/L,而有林坡面的最大含沙量仅为 1.33 g/L;1997 年 7 月 31 日的产沙过程实测降雨量为 140.85 mm,无林坡面的最大含沙量达 2.22 g/L,而有林坡面的最大含沙量为 0.78 g/L,有林坡面防止天然侵蚀作用非常明显。

根据对 1992 年 8 月 3 号试验流域暴雨径流泥沙过程的分析,得到悬移质含沙量(S)过程和对应的径流量(Q)的回归关系:

有林坡面: $S = 0.162 Q^{0.833} \quad R^2 = 0.92^{**}$
 $n = 17$ (1)

无林坡面: $S = 0.867 Q^{0.75} \quad R^2 = 0.86^{**}$
 $n = 17$ (2)

其中: 单位分别为: 流量为 m^3 , 产沙量 kg 。

3.2 天然坡面场降雨产沙量分析

在观测期内, 共观测到 18 场场降雨大于 30 mm 径流泥沙。对于场降雨大于 30 mm 的降雨, 有林坡面的产流量、产流系数和产沙量都比无林坡小, 有林坡面和无林坡面的最大径流系数分别为 40.63% 和 49.30%。从图 3 和图 4 中可以看出, 在观测到的 18 场降雨中, 场降雨侵蚀比较悬殊, 无林坡面的侵蚀量远大于有林坡面, 但是由于受多种因素作用, 场降雨侵蚀量与径流量并不具有简单的相关关系。场降雨有林坡面与无林坡面的土壤侵蚀量最大可相差 118 倍多, 森林植被防治土壤侵蚀作用明显。

对产流量(Q)和产沙量(S)与场降雨量(P)和最大 5 min 雨强(I_5)进行回归分析可得如下方程:

有林坡面: $Q = -147.39 + 4.33 P - 15.27 I_5$
 $R^2 = 0.926^{**} \quad n = 17$ (3)

$S = 2.044 Q^{0.9117}$
 $R^2 = 0.741^{**} \quad n = 17$ (4)

无林坡面: $Q = -202.44 + 5.6 P - 8.27 I_5$
 $R^2 = 0.950^{**} \quad n = 17$ (5)

$S = 7.95 Q^{0.8661}$
 $R^2 = 0.594^{**} \quad n = 17$ (6)

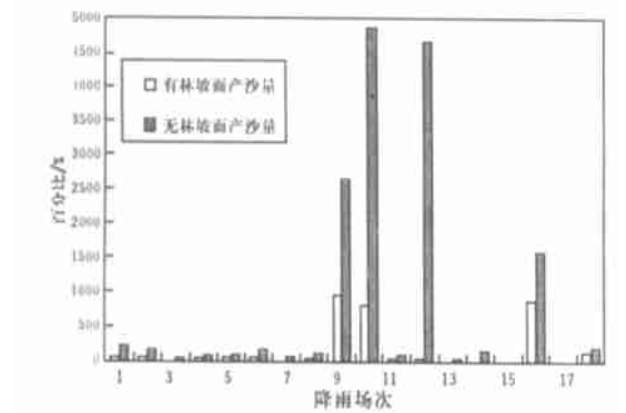


图 3 有林坡面和无林坡面场降雨侵蚀产沙量对比图
其中: 单位分别为: 流量为 m^3 , 产沙量为 kg , 降雨量 mm , 5 min 最大雨强 mm/min 。

如模型所示, 在坡面尺度上, 与径流量计算模型的相关系数相比, 土壤侵蚀量计算模型的相关系数较小, 这是因为: (1) 土壤侵蚀过程影响因子较多; (2) 传统的土壤侵蚀观测手段落后导致数据的精确性较差, 而这正是当前土壤侵蚀研究的现状。

4 结 论

(1) 在径流小区尺度上, 场降雨的径流量和产沙量具有较好的相关关系。荒坡径流小区比油松小区的平均产流量和产沙量大 2.95 和 20.57 倍。多元回归分析表明, 场降雨产流量和产沙量与降雨量和 15 min 最大雨强均呈良好的相关关系。植被状况不同的三个油松径流小区, 其场降雨的产流产沙量也是不同的, 油松径流小区 1、2、3 的产流量和产沙量平均值分别为: 90.6 L 和 0.42 kg、96.64 L 和 0.33 kg、79.06 L 和 0.14 kg。

(2) 在天然坡面尺度上, 有林坡面不仅具有较小的输沙率, 而且其输沙过程相对比较平缓, 而无林坡面不仅输沙率大而且输沙过程具有陡涨陡落的特性。场降雨侵蚀量比较悬殊, 场降雨有林坡面与无林坡面的土壤侵蚀量最大可相差 118 倍多。

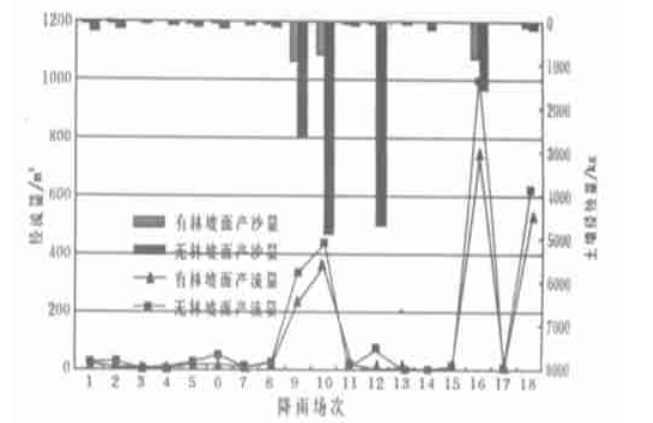


图 4 有林坡面和无林坡面场降雨径流量侵蚀特征图

(3) 侵蚀量的大小与林分的好坏(郁闭度大小)成反比关系。天然坡面尺度水源保护林的减沙率变动范围为 33.95% ~ 99.12%; 随着从坡面尺度的增大, 水源保护林对土壤侵蚀的调蓄和控制能力具有增大的趋势。多尺度侵蚀产沙特征分析表明, 水源保护林地防治土壤侵蚀的最大有效降雨范围约 75 ~ 90 mm。超过这一临界范围, 水源保护林的减沙率迅速下降。

参考文献:

[1] 于志民, 王礼先. 水源涵养林效益研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.

土地核减土地税, 定购粮食, 尽量减轻农民的负担, 同时一定要明确农民的所有权、承包权和经营权, 以利于还林后的管理和收益。

3. 2. 4 紧持在退耕还林还草工程中应用综合治理

在坡耕地的治理过程中, 要按照山、水、林、田、路综合治理的原则, 在科学规划、合理布局的基础上, 充分应用成熟的科技成果, 选择适宜的造林树种(草)种, 选择适宜的配置模式和混交比例营造兼顾生态、经济效益的多用途防护林, 同时还应开展以坡改梯、培肥增效的农田基本建设和水利配套建设, 把退耕还林还草与改善农业生产条件, 建设稳产高产基本农田结合起来, 提高土地生产力, 增加农民收入, 才能使退耕还林还草得到持续稳定的发展。

3. 2. 5 加大科技支撑的力度, 建设退耕还林草工程示范区

金沙江流域的退耕还林还草工程, 政策性强、涉及面广、难度大、技术要求高, 要在确保恢复生态植被这个第一目标的前提下, 通过退耕还林促进山区农村生产要素的优化和产业结构的调整, 就必须充分采用科技手段, 妥善处理好生态效益与经济效益的关系。目前一些地方存在的问题是经济林比重过大, 不少地方退耕还林的规划中经济林高达 80%, 这不仅达不到生态建设的目的, 还可能形成新林果产品结构重复, 退耕还林不应全还“果”, 但也必须要考虑采用具有较好生态与经济效益的特色优良林木, 一定要有符合当地生态条件的综合配套技术支撑。以往因为种种原因, 在进行生态环境建设工程, 常常是重项目, 轻科技, 重面上专家咨询, 忽视专项的科技支持, 导致工程效益降低, 质量不高, 严重制约了其功能作用的全面发挥。科技进步是生态环境设的关键性因素, 对重大工程项目的科技专项支

持已是发达国家一条成功经验。作为以林为主的云南省金沙江流域退耕还林还草工程, 由于建设周期长, 难度大, 自然地理及社会经济状况复杂, 现有的科技成果储备明显不足。因此, 急需开展相应的试验研究与示范基地建设, 通过科学的方法和技术手段, 紧紧抓住工程关键技术的研究攻关, 选择培育林果草药优良种苗, 形成综合配套技术, 建立推广示范基地, 提高工程的科技含量, 提高科技在工程中的贡献率和显示度, 才能保证工程建设的总体目标得以如期圆满完成, 从而极大地改善我省退耕还林区的生态环境, 促进经济和社会可持续发展。

3. 2. 6 加强监督, 严格执法, 保证工程的质量和持续发展 加强对工程的计划、资金、粮食的管理与监督, 确保工程顺利, 资金、粮食安全、按时、足额到位、到户, 以做好群众的工作, 同时也要加强对森林的管护, 以制止新的毁林开荒和返耕。

3. 2. 7 退耕还林还草必须与扶贫攻坚紧密结合 金沙江流域的退耕还林还草工程区均属较贫困落后地区。为保证退耕初期粮食和收入减少不致影响农民的生活, 避免返耕出现, 就必须将退耕还林还草与解决农民的贫困问题结合起来统筹考虑, 通过村民股份合作制或林草产业化等形式予以扶持, 逐步对退耕地加以可持续的开发利用, 从而促使当地农村产业结构的调整, 彻底改变原来经济贫困、生态恶化的面貌。

3. 2. 8 建立生态效益补偿机制的有益探索 以解决国家投入资金的不足, 使生态公益林的经营和管理有着合理的、长期稳定的经济收益, 这也是退耕还林还草工程持续稳定发挥其重大效益的重要保障。

(上接第 69 页)

[2] 余新晓, 于志民, 等. 水源保护林[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.

[3] Bergstrom, S. and Graham, L. P. , One the scale problem in hydrological modeling[J]. J. Hydro. 1998, 211: 253 ~ 265.

[4] Black, P. e. , Research issues in forest hydrology[J]. J. Ameri. Water Resource. Assoc. , 1998, 34(4) .

[5] Blochl, G. and Sivapalan, M. , Scale issues in hydrological modeling: A review[J]. Hydrol. Process. , 1995, 9: 251 ~ 290.

[6] De Roo, A. P. J. , Soil erosion assessment using GIS[A]. In Singh, V. P. and M. Fiorentino(eds.) , Geographical Information Systems in Hydrology[C]. Netherlands: Kluwer Academic Publisher, 1996. 339 ~ 356.

[7] Foster, G. R. 1991. 土壤侵蚀模拟和产沙[A]. In R. Lar (ed) Soil Erosion Research Methods[M]. 北京: 科学出版社, 1991.

[8] Govindaraju, R. S. and Kavvas, Modeling the erosion process over steep slopes: approximate analytical solutions[J]. J. Hydrol, 1991, 127: 279 ~ 305.

[9] McDonnell, R. , Applying GIS to catchment - scale soil erosion modelling[A]. In Boardman, J. and David Favis- Mortlock(eds.) Modelling soil erosion by water[C]. Berlin Springer- Verlag, 1998. 351 ~ 363.

[10] Nearing, M. A. , Evaluating Soil erosion models using measured plot data: accounting for variability in the data[J]. Earth Surf. Process. Landforms, 2000, 25: 1035 ~ 143.