

流域土地利用变化对径流的影响

郭宗锋^{1,2}, 马友鑫¹, 李红梅¹, 刘文俊¹

(1. 中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223; 2. 宜宾学院生物工程系, 四川 宜宾 644000)

摘要:美国农业部开发的 SCS 水文模型可以定量反映土地利用/土地覆被变化对径流的影响,是应用较广的模型之一。在 GIS 支持下,以 1965 年西双版纳地形图及 1988、2003 年两期 Landsat TM/ETM 卫星影像获取的土地利用数据及实地土壤调查资料确定模型参数(CN 值),通过分析 CN 值的变化来反映土地利用变化对径流的影响。研究表明,从 1965~2003 年,土地利用变化使流域径流系数增大,其中旱地、水田、有林地和草地的变化对流域径流的影响较大;人类活动逐渐向水文土壤条件较差的区域扩张,这种土地利用变化趋势使流域 CN 值增大,下垫面产流能力增强;人类活动干扰程度大的土地利用类型面积增加,这些土地利用方式对流域径流的影响越来越大。流域水田和水域面积减少,对流域径流的调节能力下降,势必影响到流域的水文循环。

关键词:SCS Curve Number; 遥感; 地理信息系统

中图分类号:F301.24; P332.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2006)05-0139-04

Effect of Land Use Change on Runoff in the Liushahe Watershed, Xishuangbanna Southwest China

GUO Zong-feng^{1,2}, MA You-xin¹, LI Hong-mei¹, LIU Wen-jun¹

(1. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China;

2. Department of Bioengineering, Yibin College, Yibin, Sichuan 644000, China)

Abstract: The Soil Conservation Service (SCS) Curve Number (CN) rainfall runoff technique is widely used to estimate runoff. Based on GIS and RS, land use data for 1965, 1988, 2003, which were got by digitizing relief map and classifying two landsat TM/ETM images, and soil data by digitizing soil map were used to estimate SCS hydrological model parameter (Curve Number, CN). And the relationship between CN and land use were analyzed to reflect the effect of land use change on runoff by analyzing variation of the parameter of SCS hydrological model in the Liushahe watershed. The results show that land use change, especially cropland, forest land and grassland, leads to the increase of runoff from 1965 to 2003. And human activity expands to the field that can produce more runoff. The decreasing of paddy field and water area can reduce the ability of adjusting watershed runoff, which will impact water cycle.

Key words: SCS Curve Number; RS; GIS

土地利用通过影响下渗、蒸发散等水文过程而影响径流的时间和空间变化,因而一直是科研工作者研究的热点问题之一^[1]。传统的研究方法是小流域集水区试验和长期观测,随着研究时空尺度的扩大,模型模拟的方法也越来越多地用于土地利用水文响应的研究中,尤其是分布式水文模型的发展和运用^[2~4]。其中,SCS 曲线数水文模型是应用较多的分布式模型之一^[5~10]。

SCS 曲线数水文模型由美国农业部土壤保持局 (Soil Conservation Service, SCS) 研制,用来计算暴雨产生的直接径流^[6]。该模型主要是在降雨径流实测资料的基础上应用数学物理方法推求降雨径流关系,但缺少介绍资料如何在模型推导应用的文献^[11]。模型所用的资料比较容易得到,应用相对简单、精确^[12],因而被广泛应用于资料缺乏的中小流域^[11]。CN 值 (Curve number) 是 SCS 模型的惟一参数,反映了研究区域的土壤、土地利用/覆被和降雨前土壤湿润程度,是流域下垫面产流能力的综合反映,通常情况下,当降水达

到一定程度时,下垫面的产流能力越强,CN 值就越大,径流量对 CN 值的变化较敏感^[13,14]。由于土壤状况相对较稳定,CN 值的变化主要由土地利用/覆被的变化而引起,因此可以通过分析 CN 值的变化确定土地利用对径流的影响。

上世纪 50 年代以来,包括流沙河流域在内的西双版纳地区,土地利用/土地覆被发生了很大变化^[14,15]。该地区已有的研究发现,土地利用变化对径流的时空分配都有不同程度的影响^[16,17],但从流域尺度上开展的研究活动还很少。本研究根据 1965 年的地形图和 1988、2003 年两期 Landsat TM/ETM 卫星影像反映的土地利用信息和实测土壤资料确定模型参数,进而通过分析 CN 值的变化来分析土地利用/土地覆被变化对径流的影响。

1 研究区域

流沙河是澜沧江的支流之一,发源于云南省西双版纳勐海县布朗山区,主要支流有南木央河、南木养河、南开河、南

* 收稿日期:2005-08-20

作者简介:郭宗锋(1978-),男,山东济宁人,助教,主要从事土地利用变化及其环境影响研究;通讯作者:马友鑫。

混河等,干流全长 129 km,总径流面积 2 163 km²。流域内有 4 个主要坝子:中、上游有勐遮、勐混和勐海坝子,下游经景洪坝子汇入澜沧江。流沙河流域位于勐海县和景洪市境内,其中勐海水文站控制的流域面积为 978 km²(本文只研究勐海水文站控制的流域)。该区域全部位于勐海县境内,约 100°5′~100°35′E,21°40′~22°8′N,海拔 1 200~2 000 m,包括勐遮、勐混坝子及勐海坝子的一部分,其中勐遮坝子是西双版纳最大的坝子,水热条件优越,自古就是滇南的“鱼米之乡”。居民以傣族为主,大部分居住在坝区;山区民族主要有哈尼族、拉祜族、布朗族。流域纬度较低,处于热带北缘,一年分干热季(11~4月)和雨季(5~10月),雨季受西南季风控制,雨水较多;干季降水较少,降水强度不大。土壤类型的分布具有明显的地域特征:800~1 500 m 发育着赤红壤(砖红壤性红壤),1 500~2 000 m 则是红壤。赤红壤土层深厚,疏松,厚度一般在 1 m 以上,地表有 2~3 cm 厚的枯枝落叶层,表土层有较好的团粒结构;总孔隙度很高,渗透性好,持水能力强,具有良好的水分状况。

2 数据来源与处理方法

利用 ArcInfo 处理西双版纳勐海县 1:100 000 的土壤图,得到量化的土壤数据。进而按照 SCS 模型给定的水文土壤分组标准和该地土壤性质,调整原有土壤分类,使之符合模型要求,根据土壤入渗率的大小,按照 SCS 水文土壤分组标准^[11],结合西双版纳的具体情况,将该流域的土壤分为四个水文土壤组(A、B、C、D),A 组产流能力最低,D 组最高,B 组和 C 组介于两者之间。

基于航空影像和实地调查资料绘制的 1:50 000 西双版纳地形图,绘有各种土地利用类型的边界,利用 ArcView 的矢量化功能,提取出 1965 年的土地利用数据。本研究所用的遥感数据为两期 Landsat TM/ETM 影像,成像时间分别为 1988 年 2 月 2 日和 2003 年 3 月 7 日,地面分辨率分别为 30 m 和 15 m,影像完全覆盖研究区域。此前刘文俊^[18]已完成 1988 年影像的几何纠正,所以在 2003 年影像纠正时以 1988 年影像作为参考,纠正后 RMS 小于一个像元。由于影像清晰无云,因此经几何纠正后直接利用 Erdas Imagin 软件进行监督分类(共分为 9 类土地利用类型),分类时参考了 1992 年绘制的勐海县土地利用现状图。分类后的栅格图经 neighborhood, clump, eliminate(将小于 4 个像元的独立斑块删除)处理后利用 ArcView 3.2 软件转成矢量格式,并将面积小于 0.5 hm² 的斑块合并到与之边界最长的斑块内,最后利用 ArcInfo 8.3 对分类结果作进一步处理得到流沙河流域土地利用的图形和属性数据,将土地利用图层与水文土壤图层叠加后分别输入每个斑块的 CN 值,进而与月降水量图层叠加后导出属性数据,并代入模型计算径流量。利用 1965、1976、1981、1990 和 2000 年的数据对模型进行验证,结果表明模拟径流量与实测径流量最大误差 5.9%,5 年平均误差 3.0%,表明模拟结果较符合实际情况,模型参数设置合理,可以利用该模型在西双版纳流沙河流域进行径流模拟。

本研究采用的是 SCS-CN 模型,其降雨-径流表达式为^[11]:

$$Q = \begin{cases} \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}, & P > 0.2S \\ 0, & P < 0.2S \end{cases}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

式中:Q——月径流量(mm);P——月降雨量(mm);S——当

时可能最大滞留量(mm),CN (curve number)是一个无量纲的参数,综合反映了下垫面的土地利用、土壤等状况。

3 结果与分析

由图 1 可以看出,1965、1988 和 2003 年流沙河流域的主要土地利用类型是有林地、耕地、灌木林地和草地,占总面积的 85% 以上,其中有林地的面积最大,但从 1965~1988~2003 年逐次下降,3 年中其面积比例分别为 39.8%、31.8%、21.8%,尤其到 2003 年,有林地的优势已不再明显,分别与旱地(20.4%)和草地(18.0%)所占的比例基本持平。流域有较大面积的水田,同有林地的变化趋势类似,水田面积也在减少(3 年中面积比例分别为 23.3%、15.3%、11.4%),而旱地、疏林地和居工用地在增加。灌木林地、其他林地、草地和水域的变化各有其自身的特点:1965 年时草地面积较大,到 1988 年面积减少,而从 1988~2003 年又有所增大;其他 3 种土地利用类型的变化趋势基本相似,1965~1988 年面积增加,1988~2003 年面积减少。

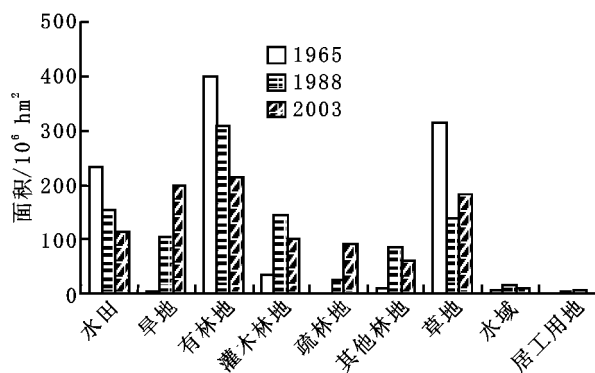


图 1 流沙河流域土地利用变化

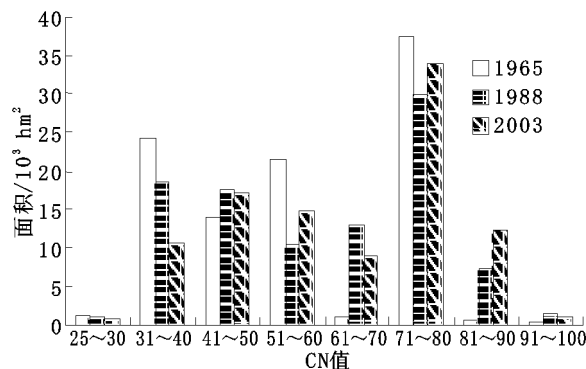


图 2 流沙河流域各类 CN 值所占面积

由图 2 可以看出,3 年中流域绝大部分面积的 CN 值介于 31~80 之间,小于 30 或大于 81 的面积很少;从 1965~2003 年,CN 值较小的区域面积逐渐减少而较大的区域面积有增大的趋势。计算表明,1965 年、1988 年和 2003 年 CN 值加权平均值分别为 57.3、60.7、64.3,即从 1965~2003 年,流域土地利用变化的结果会导致径流量增加。图 3 显示了 1965~1988 年、1988~2003 年 CN 值的空间变化,其中零值区域表示 CN 值没有发生变化,负值表示 CN 值减小,正值表示增大。

由于各种土地利用类型的水文土壤组不同,当土地利用发生变化后,某种土地利用类型对应的 CN 值加权平均也会发生变化(图 4)。1965~1998 年和 1998~2003 年两个时期中,各种土地利用类型的变化与水文土壤条件有如下关系:从 1965~1998 年,水田、旱地、灌木林地和草地的 CN 值加权平均增大,有林地、疏林地和其他林地减小,水域和居工用地基

本未变;同时水田、有林地和草地的面积减少而旱地、灌木林地、疏林地和其他林地面积增加(图 1)。说明在水田和草地这两种土地利用类型中,水文土壤条件较好的一部分转变成了其他土地利用类型,而部分条件较差的有林地也发生了转变,旱地则向水文土壤条件较差的区域扩张,疏林地和其他林地向水文土壤条件较好的区域扩张。从 1998~2003 年,水田和有林地的 CN 值加权平均增大,其他土地利用类型减小;同时水田、有林地、灌木林地、草地和水域面积减少,说明水文土壤条件较好的水田、有林地继续转变为其他土地利用类型,而

减少的灌木林地、草地和水域的水文土壤条件较差,旱地、疏林地、其他林地和居工用地向水文土壤条件较差的区域扩张。

图 5 显示了 1965 年和 1998 年土地利用变化前后 CN 值加权平均的变化。从 1965~1988 年,除旱地和水域的变化使 CN 值减小外,其余土地利用类型的变化都使 CN 值增大,其中居工用地和有林地的变化最大;1998~2003 年,则是旱地、其他林地和水域的变化使 CN 值减小,在使 CN 值增大的土地利用类型中,同 1965~1988 年一样也是有林地和居工用地的变化最大。

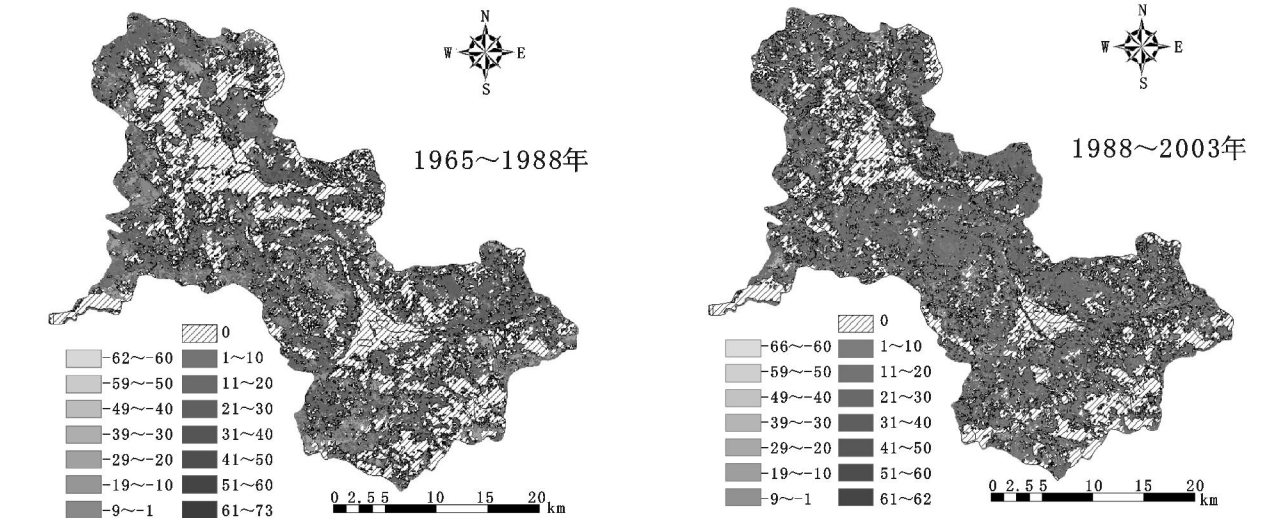


图 3 流域 CN 值变化的空间分布

图 5 反映的只是每种土地利用类型发生变化后 CN 值加权平均的变化情况,流域 CN 值加权平均的变化是各类土地利用类型面积和 CN 值变化的综合,为了反映每种土地利用类型对流域 CN 值加权平均的影响,将流域 CN 值加权平均分解到各个土地利用类型,结果如图 6 所示。由图 6 可以看出,在 1965 年,对流域 CN 值影响较大的是草地、水田和有林地,其中草地的影响最大,尽管旱地的 CN 值较大,但由于面积小而使其影响较小;到 1988 年,除居工用地、疏林地和水域外,其余土地利用类型对流域 CN 值的影响都较大,其中有林地的影响最大;对 2003 年流域 CN 值影响最大的是旱地,疏林地的影响也开始增大。从 1965~1988 年,水田、草地、有林地由于面积的减少而使其影响下降,居工用地则由于向水文土壤条件较好的区域扩展使其 CN 值减小而导致影响力下降;其他土地利用类型影响力的增大主要是面积增加引起的。1988~2003 年,水田、有林地和其他林地的

影响力也随着面积的减少而减小,灌木林地和水域因为向水文土壤条件较好的区域扩展使其影响力下降;其他土地利用类型影响力的增大同样也主要是因为面积的增加。

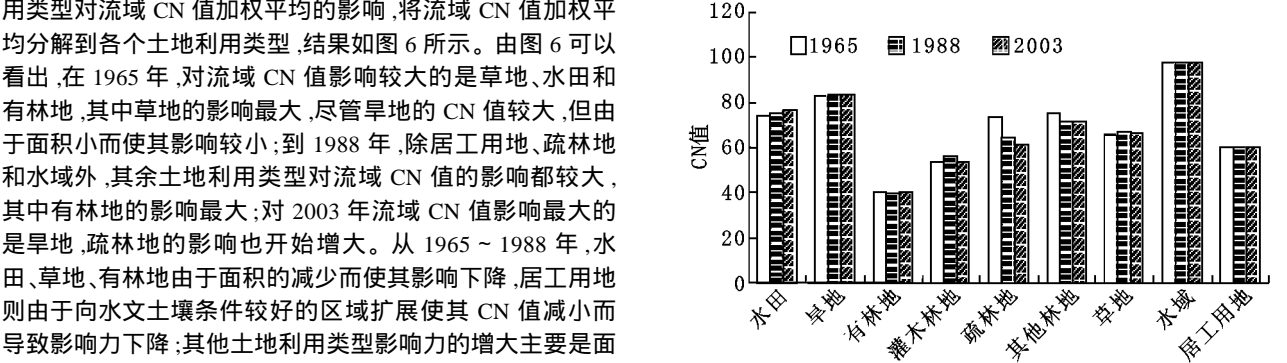


图 4 各种土地利用类型 CN 值加权平均的变化

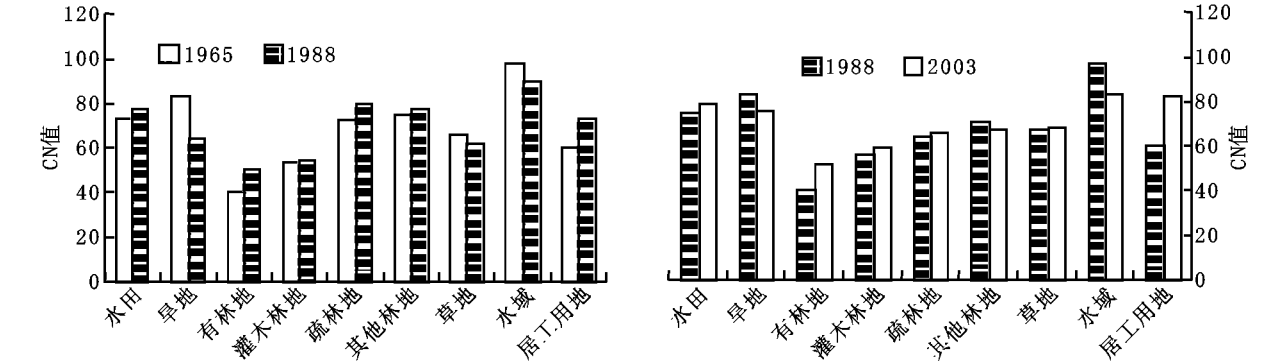


图 5 土地利用变化前后 CN 值加权平均的变化

本文以流域近 42 年 8 月份平均降水量(304.76 mm)为例,计算 1965 年、1988 年和 2003 年径流深,以此说明降水量相同时径流的变化情况。3 个时期径流深分别为 153.63

mm、166.40 mm、180.48 mm,说明相同的降水条件下,由于土地利用的变化,从 1965~2003 年,径流深(或径流系数)有增大的趋势,流域下垫面的产流能力增强。

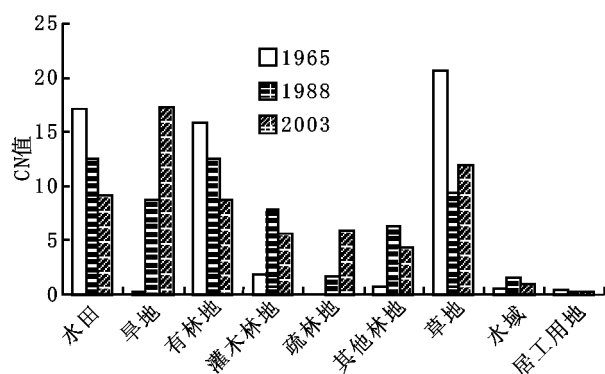


图 6 流域各类土地利用类型 CN 值在流域中的比重

4 结论与讨论

本文试图以 SCS 模型参数的变化来反映土地利用变化对径流的影响。研究表明,可以通过对土地利用变化与 SCS 模型 CN 值关系的分析,来揭示土地利用变化对径流的影响:一般情况下,CN 值越大,产流能力越强。从 1965~2003 年,流域的土地利用/土地覆被发生了很大的变化,人类活动干扰程度大的土地利用方式(如旱地)面积增加,对流域径流的影响越来越大,并且这些土地利用类型有向水文土壤条件较差的区域扩展的趋势,从而使流域 CN 值增大,产流能力增强;流域 CN 值的变化主要由旱地、水田、有林地和草地的变化引起。另外,流域水田和水域面积减少,对流域径流的影响力下降,这些变化势必对流域的水文循环产生影响。

参考文献:

- [1] 刘苏峡. 世纪之交的水文研究[J]. 水科学进展, 2001, 12(1): 113 - 117.
- [2] Klock B and Uwe Haberlandt. Impact of land use changes on water dynamics - a case study in temperate meso and macroscale river basins[J]. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 2002, 27(9 - 10): 619 - 629.
- [3] 陈仁升, 康尔泗, 杨建平, 等. 水文模型研究综述[J]. 中国沙漠, 2003, 23(3): 221 - 229.
- [4] Troch P A, Paniconi C, McLaughlin D. Catchment - scale hydrological modeling and data assimilation[J]. Advances in Water Resources, 2003, 26: 131 - 135.
- [5] Karvonen T, Koivusalo H, Jauhainen M, et al. A Hydrological model for predicting runoff from different land use areas[J]. Journal of Hydrology, 1999, 217: 253 - 265.
- [6] Ponce, V M, Hawkins R H. Runoff curve number: Has it reached maturity? [J]. Journal of Hydrologic Engineering, 1996, 1(1): 11 - 19.
- [7] Hjelmfelt A T. Investigation of curve number procedure[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1991, 117(6): 725 - 737.
- [8] An investigation of curve number applicability to watersheds in excess of 25000 hectares[J]. Journal of Environmental Hydrology, 1998, 6(7): 1 - 10.
- [9] 史培军, 袁艺, 陈晋. 深圳市土地利用变化对流域径流的影响[J]. 生态学报, 2001, 21(7): 1041 - 1049.
- [10] Melesse Assefa M, Shih S F. Spatially distributed storm runoff depth estimation using Landsat images and GIS[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2002, 37: 173 - 183.
- [11] Maidment D R. Handbook of Hydrology[M]. New York: McGraw - Hill Book Company, 1992. 176 - 182.
- [12] Hawkins R H. The importance of accurate curve numbers in the estimation of storm runoff[J]. Water Resources Bulletin, 1975, 11(5): 87 - 91.
- [13] Bondelid T R, McCued T H, Jackson T J. Sensitivity of SCS models to curve number variation[J]. Water Resources Bulletin, 1982, 18(1): 11 - 16.
- [14] 许建初, 张佩芳, 王语华. 云南澜沧江流域土地利用和覆盖变化[J]. 云南植物研究, 2003, 25(2): 145 - 154.
- [15] 张佩芳, 赫维人, 何祥, 等. 云南西双版纳森林空间变化研究[J]. 地理学报, 1999, 54(Z): 139 - 144.
- [16] 张一平, 张克映, 马友鑫, 等. 西双版纳热带地区不同植被覆盖地域径流特征[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 3(4): 25 - 30.
- [17] 刘玉洪, 张一平, 马友鑫, 等. 西双版纳橡胶人工林地地表径流与地下径流的关系[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2002, 26(1): 75 - 77.
- [18] 刘文俊, 马友鑫, 胡华斌, 等. 西双版纳勐仑镇土地利用/覆盖变化极其驱动力研究[J]. 山地学报, 2005, 23(1): 71 - 79.

(上接第 138 页)

工程施工条件恶劣, 施工过程稍有不慎, 就会产生水土流失或加剧当地水土流失的发生和发展。施工中, 既要防治路基工程本身水土流失的发生和路基主体的稳定, 又要避免工程施工带来的区域水土流失问题。因此, 大准铁路水土流失防治在铁路修建中颇为典型。

参考文献:

- [1] 李文银, 等. 工矿区水土保持[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [2] 姜德文, 等. 开发建设项目水土保持[M]. 北京: 中国法律出版社, 1998.
- [3] 王礼先. 水土保持工程学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1989.
- [4] 段喜明, 王治国. 朔黄铁路山西段水土流失预测及治理研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(6): 71 - 75.
- [5] 陈家琪. 兰新铁路风沙区提速改建工程对水土流失的影响及防治措施[J]. 水土保持通报, 2004, 24(4): 62 - 70.

1997 年 7 月, 大准铁路正式运营以来的实践表明, 大准铁路施工建设中, 针对路基工程及其所处地段特点, 采取的一系列水土保持措施合理可行, 不仅确保路基主体工程安全可靠, 而且铁路沿线未发生水土流失事件, 各项工程水土流失防治效果显著。