

北京市森林生态系统土壤保持能力的综合评价^{*}

张彪^{1,2}, 李文华¹, 谢高地¹, 肖玉¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 为客观认识北京市森林生态系统的土壤保持功能, 选用植被覆盖度、枯枝落叶厚度、林分类型、郁闭度和群落结构等5项指标, 综合评价了北京市森林土壤保持能力的相对大小。结果表明: 北京市森林生态系统的土壤保持能力较高, 其中65.7%的森林保持土壤能力为中等以上, 16.8%的森林保持土壤能力较低; 不同区县森林的保土能力存在差异, 其中石景山区的森林保土能力最高, 其次为延庆县、密云县和门头沟区, 而大兴区森林的保土能力最低; 随着海拔高度增加, 森林保持土壤的能力升高, 即中山区(海拔>800 m)森林的保持土壤能力最大, 而平原区(海拔<100 m)森林保持土壤能力较低; 地形坡度增大, 森林保持土壤能力也增加, 不过坡度25°以上森林的保土能力接近; 林地土壤类型不同, 森林保持土壤能力也不同, 其中土壤类型为山地棕壤、山地草甸土和褐土的森林保土能力较高, 而为水稻土、潮土、风砂土和草甸沼泽土的森林保土能力较低。

关键词: 森林生态系统; 土壤保持; 土壤侵蚀; 北京市

中图分类号: S714.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)01-0240-05

Comprehensive Assessment of Soil Conservation Capacity of Forest Ecosystems in Beijing

ZHANG Biao^{1,2}, LI Wen-hua¹, XIE Gao-di¹, XIAO Yu¹

(1. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Science, Beijing 100101, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China)

Abstract: In this paper, five factors such as vegetation cover ratio, the depth of forest floor, forest type, crown density and community structure were employed to comprehensively evaluate Beijing's forest ecosystems effects on soil conservation. The results showed that 65.7% of forests in Beijing had the soil conservation ability at the middle and higher level, 16.8% at low level. The capacity of soil conservation in Beijing's forests varied greatly in different districts (or counties), and was ranked in the descending order as follows: Shijingshan District, Yanqing County, Miyun County, Mentougou District, Fangshan District, Haidian District, Pinggu District, Changping District, Fengtai District, Huairou District, Chaoyang District, Shunyi District, Tongzhou District and Daxing District. The capacity of soil conservation in Beijing's forests had a positive relationship with altitude, and was ranked from low to high as plain area (less than 100 m), hilly area (between 100 and 500 m), low mountain (between 500 and 800 m) and middle mountain (more than 800 m). With the increasing slope, the soil conservation ability of forests increased slightly, however, when slope more than 25 degree, there was little differences of soil conservation capacity. The capacity of soil conservation also varied with forest soil type, those forests with mountain meadow soil, mountain brown earth and cinnamon soil had the higher level, and paddy soil, alluvial soil, aeolian soil and meadow-boggy soil had lower level.

Key words: forest ecosystem; soil conservation; soil erosion; Beijing

土壤侵蚀是指在水力、风力、冻融或重力等营力作用下, 土壤及其母质被破坏、剥蚀、搬运和沉积的过程^[1], 它能使土壤层变薄, 肥力衰退, 含蓄水能力

降低, 从而导致耕地荒芜、气候恶劣、生态环境恶化和自然灾害增多^[2]。目前, 土壤侵蚀已成为全球范围内主要的环境和农业问题之一^[3], 已严重阻碍着

* 收稿日期: 2008-06-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30770410, 30230090)

作者简介: 张彪(1980-), 男, 山东鄄城人, 博士生, 主要从事生态服务功能研究。E-mail: zhangb8010@126.com

占全球陆地表面 1/5 的山区经济的发展^[4]。在我国,北京市山区的土壤侵蚀问题也较为严重^[5],据北京市水土流失监测公报数据,2004 年山区土壤侵蚀面积 4 089 km²,占到了山区总面积的 39%。由于森林植被对土壤侵蚀具有明显的控制作用^[6],因而林草植被建设一直是我国防治土壤侵蚀和控制水土流失的根本性措施^[7]。据北京市“十五”森林资源调查,2004 年山区林地面积 880 907 hm²,森林覆盖率达到 46.55%,因此定量评价这些森林植被的土壤保持能力对于客观认识北京市森林生态系统的服务功能以及未来林草植被的建设和管理具有重要意义。然而,目前关于北京市地区土壤侵蚀的研究较多^[2,5,8-12],但是有关森林植被土壤保持功能的综合评价并不多见。而且,在我国植被水土保持功能的研究中,主要是以覆盖度(或林草面积比)来评价植被的水土保持功能^[13],这种单一评价指标不能全面反映植被水土保持功能差异^[14],因此研究和利用综合性指标评价植被的土壤保持功能具有重要的理论价值和实践意义。

本文选取了植被覆盖度、枯枝落叶厚度、林分类型、郁闭度和群落结构等 5 项指标,以北京市第六次森林资源二类调查数据为基础,通过计算森林保持土壤能力指数(ISC_F),综合评价并比较了不同区位条件下森林生态系统的土壤保持能力。本研究不仅有助于客观认识北京市森林植被对土壤侵蚀的控制作用,而且有利于定量评价森林资源的土壤保持效益,进而为北京市森林资源的建设与管理提供参考依据。

1 研究区概况

北京市位于华北平原的西北部(39°28′–41°05′N, 115°25′–117°30′E),土地总面积 16 800 km²,其中山区面积 10 400 km²,占市域总面积的 62%。北京属暖温带半湿润季风大陆性气候区,年均温 9.0~12.0℃,多年平均降水量 638.8 mm,降水分布极不均匀,主要集中在夏季多以暴雨的形式出现,年蒸发量达 1 800~2 000 mm。北京市土壤类型多样,主要有山地草甸土、山地棕壤、褐土、潮土、沼泽土、水稻土和风砂土等,地带性土壤为褐土。

北京市现有森林面积 91.6 万 hm²(2004 年),其中阔叶林面积 39.1 万 hm²,占森林总面积的 42.7%,其次为灌木林 32.1 万 hm²,占森林资源的 35.1%,而针叶林和针阔混交林面积较小,分别占到 15%和 7.3%;北京市森林生态系统主要分布在西部和北部山区,其中怀柔区、密云县、延庆县、门头沟区和房山区的森林资源数量较多,其面积分别占到

森林总面积的 19.1%, 16.1%, 14.4%, 13.1%, 12.1%。北京市森林优势树种以柞树为主,其次为侧柏、油松和杨树等;林种结构主要是防护林,其次为特种用途林和用材林;北京市森林生态系统以幼龄林为主,占到总林分面积的 58.4%;林分平均郁闭度为 0.51,平均胸径 9.6 cm。

2 评价方法

2.1 评价指标

植被是影响土壤侵蚀的最主要因素^[2]。研究表明^[15-16],林地土壤侵蚀量与植被覆盖度有很强的负相关性,即随着林分覆盖度的增加土壤侵蚀量减少。我国对植被覆盖与土壤侵蚀的关系通常划分为 6 个级别^[17-18]:即植被覆盖度在 90% 以上地区,属于无明显侵蚀区;覆盖度 90%~70% 地区,属轻度流失区;50%~70% 地区是属于中度侵蚀区;植被覆盖度 30%~50% 地区属于强度侵蚀区;覆盖度 30% 以下、坡度大于 25° 地段,可发生极度侵蚀;而植被覆盖度小于 10% 以下则为剧烈侵蚀区。

森林内枯枝落叶层可有效防止土壤侵蚀的发生^[9]。随着枯落物厚度的增加,森林控制土壤侵蚀效应增强,因此林地枯落物厚度是防止土壤侵蚀的重要指标^[20]。吴钦孝等对黄土高原区森林研究发现,枯枝落叶层阻延径流速度的最低有效厚度为 0.5 cm,抑制土壤蒸发的最低有效厚度为 1.0~2.0 cm,防止土壤溅蚀的最低有效厚度为 0.5~1.0 cm,提高土壤抗冲刷性能的最低有效厚度为 1.0~2.0 cm^[19]。

降雨能量,尤其是降雨动能是土壤侵蚀的直接动力^[21-23]。在森林生态系统中,林冠层、林下矮小灌木和草本植物能在一定程度上降低雨滴动能,因此林分结构的复杂程度影响森林土壤保持能力^[24]。研究发现^[25],两层结构(比如乔草或灌草型)的水土保持功能好于单层乔木林,乔木-灌木-草本型三层覆盖林地水土保持效益最好。

不同森林类型对土壤侵蚀的控制能力也有影响:乔木林保持水土能力高于灌木^[7];混交林由于其地上和地下部分彼此交错镶嵌分布,可以形成良好的结构,从而比纯林具有更大的水土保持功能^[26];一般而言,阔叶树人工林土壤抗蚀性大于针叶林、荒山荒地和侵蚀裸地^[18]。

森林林冠能够拦截部分降水,减弱雨滴对土壤表层的直接冲击和侵蚀,防止地表土壤侵蚀^[18]。余新晓(1988)研究发现,林冠郁闭度与森林植被减弱降雨势能作用呈正比关系,因此增加林分郁闭度,可以减弱降雨对地表的冲刷侵蚀作用;不过陈廉杰

(1991) 研究发现, 当乔木层郁闭度 < 0. 80 时, 随着郁闭度的增加, 土壤侵蚀量减少, 呈现负相关, 而当郁闭度 > 0. 88 时, 则转为正相关。因此合理的郁闭度应控制在 0. 8~ 0. 88^[23, 25]。

表 1 北京市森林保持土壤能力评价指标及其标准化

指标	分 值					
	1	0. 8	0. 6	0. 4	0. 2	0
植被覆盖度/ %	> 90	70~ 90	50~ 70	30~ 50	10~ 30	< 10
枯落物厚度/ cm	> 3	2~ 3	1. 5~ 2	1~ 1. 5	0. 5~ 1	< 0. 5
林冠郁闭度	0. 8~ 0. 9	0. 7~ 0. 8	0. 9~ 1. 0	0. 5~ 0. 7	0. 3~ 0. 5	0. 2~ 0. 3
森林类型	混交林	阔叶林	针叶林	灌木林		
群落结构	完整结构	复杂结构	简单结构			

2. 3 森林土壤保持能力指数(ISCF)

森林的土壤保持能力指数(Index of soil conservation by forest ecosystem) 即综合评价森林生态系统保持土壤能力相对大小的指标, 计算公式为

$$I_{SCF} = \sum_{i=1}^5 \alpha_i \cdot S_i \tag{1}$$

式中: α_i ——第 i 个指标权重; S_i ——第 i 个评价指标的分值。

本研究利用层次分析法计算各评价指标的权重, 得到权数矩阵 $A = (0. 49, 0. 27, 0. 03, 0. 07, 0. 14)$, 经过对判断矩阵进行一致性检验, $CR = 0. 05 < 0. 1$, 认为判断矩阵具有较好的一致性。

3 结果分析

以北京市森林资源第六次二类调查数据为基础(2004 年), 对 63 457 个林地小班计算其保持土壤能力指数, 并将土壤保持能力指数划分为低保持区、较低保持区、中保持区、较高保持区和高保持区共 5 个等级(如表 2)。计算结果表明: 北京市森林生态系统的土壤保持能力较高, 其中 65. 7% 森林的土壤保持能力指数 > 0. 4, 仅有 16. 8% 的森林保持土壤能

表 2 北京市森林生态系统土壤保持能力指数分布

土壤保持状态	低保持区	较低保持区	中保持区	较高保持区	高保持区
土壤保持能力指数	0~ 0. 2	0. 2~ 0. 4	0. 4~ 0. 6	0. 6~ 0. 8	0. 8~ 1
森林面积比例/ %	16. 8	17. 5	38. 2	18. 2	9. 3

3. 2 不同海拔区森林的土壤保持能力

根据海拔高度的不同, 可以将北京市森林生态系统所处的地区划分为平原区(< 100 m)、丘陵区(100 ~ 500 m)、低山区(500~ 800 m) 和中山区(> 800 m)。研究发现, 随着海拔高度的升高, 森林生态系统的土壤保持能力增大(图 2), 其中位于中山区森林的土壤保持能力最高(森林的土壤保持能力指数为 0. 6), 低

2. 2 指标标准化

本研究选取植被覆盖度、枯枝落叶层厚度、群落结构、森林类型和林冠层郁闭度等 5 个指标, 根据不同评价指标值赋予相应的分值, 结果如表 1。

力 < 0. 2, 这些森林主要分布在平谷、怀区、密云和房山等山区, 其原因是由于植被覆盖度和枯落物数量较小所致。因此北京市森林生态系统的土壤保持功能还有较大的提升潜力。

3. 1 不同区县森林的土壤保持能力

北京市的森林资源集中分布在怀柔、密云、延庆、门头沟和房山等北部和西部山区(如图 1), 这些地区地形复杂, 山高坡陡, 降水量较高, 易于发生土壤侵蚀、滑坡、泥石流等自然灾害, 因此森林的土壤保持功能对于这些地区的可持续发展具有重要意义。评价结果表明, 尽管石景山区的森林面积最小, 但是其土壤保持能力最高(0. 66), 而怀柔区森林面积最大, 但是其土壤保持能力并不高(0. 3); 密云县、延庆县和门头沟区的森林土壤保持能力都较高(均为 0. 5), 其次为房山区和海淀区(均为 0. 4); 而通州区和大兴区森林的土壤保持能力最差, 分别为 0. 18 和 0. 16, 其余区县森林的土壤保持能力指数集中分布在 0. 2~ 0. 4。可见, 从各区县来看, 北京市森林生态系统的土壤保持功能基本得到发挥, 但是仍具有继续提高的潜力空间, 尤其是怀柔区森林的土壤保持能力需要提高。

山区和丘陵区森林的土壤保持能力处于中等水平(分别为 0. 5 和 0. 4), 而平原区森林的土壤保持能力最低, 其土壤保持能力指数仅为 0. 2; 根据北京市的实际情况, 平原地区土壤侵蚀的潜在威胁并不高, 而且其面积相对较小; 不过海拔较高的山区土壤侵蚀的威胁较大。因此北京市森林生态系统土壤保持的功能较好地吻合了防治土壤侵蚀的实际需要。

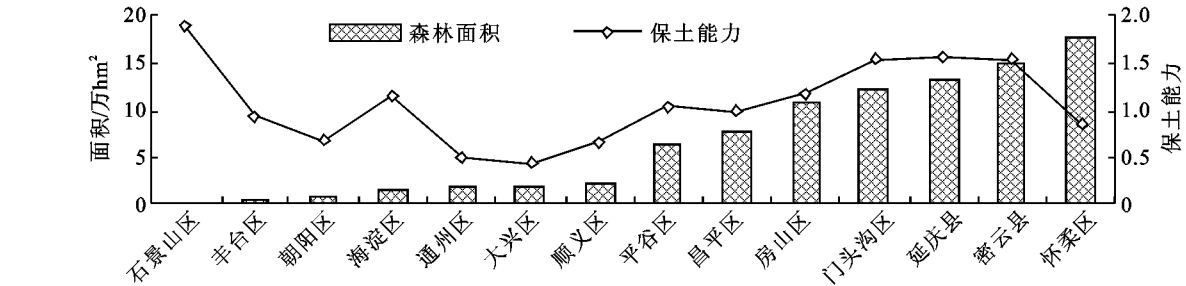


图 1 北京市不同区县森林生态系统的面积与土壤保持能力

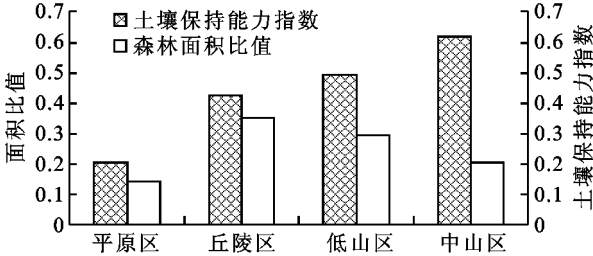


图 2 北京市不同海拔区森林的面积比值及其土壤保持能力

3.3 不同坡度区森林的土壤保持能力

地形坡度也是土壤侵蚀过程中重要影响因子^[7]。当乔灌草层次及盖度相近似条件下,随着坡度增加,地表径流与土壤侵蚀量相应增加^[25]。在本研究中,根据地形坡度的不同,可以将北京市森林资源的分布地区划分为平坡($< 5^{\circ}$)、缓坡($6^{\circ} \sim 15^{\circ}$)、斜坡($16^{\circ} \sim 25^{\circ}$)、陡坡($26^{\circ} \sim 35^{\circ}$)、急坡($36^{\circ} \sim 45^{\circ}$)和险坡($> 45^{\circ}$)6 种类型。结果发现,随着地形坡度的增加,森林土壤保持的能力增大,但是坡度 25° 以上地区(即陡坡、急坡和险坡)增加不明显(图 3);在北京地区,79.5% 的森林分布在坡度大于 5° 的坡地上,而这些地区森林具有较高的土壤保持能力,因此北京市森林生态系统的土壤保持功能得到有效发挥。

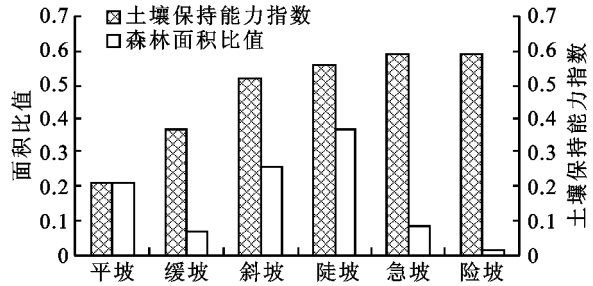


图 3 北京市不同坡度区森林的面积比值及其土壤保持能力

3.4 不同土壤类型区森林的土壤保持能力

土壤自身的抗侵蚀能力是影响土壤流失量的内在因子,主要取决于土壤的种类,即土壤容重、渗透性能、有机质含量、颗粒大小、土壤结构等级和渗透系数等^[27]。在北京地区,林地的土壤类型主要有山地草甸土、山地棕壤、褐土等 6 种类型,其中 68% 的森林土壤类型为褐土,18% 为山地棕壤,土壤类型为潮土的森林占 9%,其余土壤类型上的森林面积很

小,均低于 1%。不过计算结果表明,土壤类型为山地草甸土和山地棕壤的森林生态系统保持土壤能力最高(均大于 0.6),其次是土壤类型为褐土的森林(0.45),其余土壤类型上森林的保持土壤能力较差,均小于 0.3(图 4)。

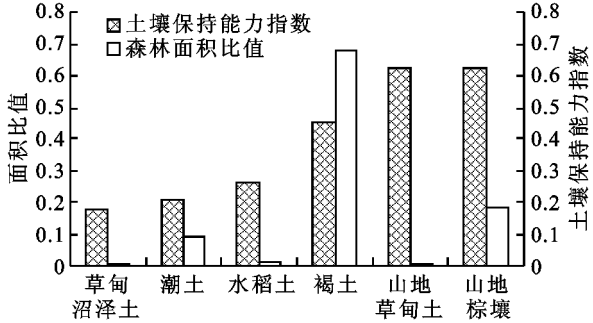


图 4 北京市不同土壤类型区森林的面积比值及其土壤保持能力

4 讨论

土壤侵蚀是一个全球性的灾害问题^[12],森林植被对水土流失的控制作用早已为人们所认识^[28]。但是任何地区森林植被建设与营造,都必须结合当地的自然条件,客观认识当地土壤侵蚀的特征及森林植被的功能特征,不过我国当前植被水土保持功能差异的研究主要集中在单一植被覆盖度指标上,不利于完全综合性地认识植被对土壤侵蚀的控制作用。本文在分析森林植被控制土壤侵蚀主要影响因子的基础上,采用植被覆盖度、枯落物厚度、群落结构、森林类型和林冠层郁闭度等 5 个指标综合评价了北京市森林土壤保持能力的特征,能够揭示北京市森林控制土壤侵蚀能力在不同区县、海拔高度、地形坡度以及土壤类型上的差异,有助于促进人们客观认识森林植被对土壤侵蚀控制作用,有利于定量评价北京市森林资源的效益及合理进行森林资源建设与管理。森林植被控制土壤侵蚀功能还受到树木年龄^[7]、林冠层高度^[24]、树木根系等因素的影响,而且 5 个评价指标之间也存在一定的相关性问题,这将是下一步研究的重点,不过这并不影响人们对北京市森林生态系统土壤控制作用的认识和理解。

参考文献:

[1] 韩富伟, 张柏, 宋开山, 等. 长春市土壤侵蚀潜在危险度分级及侵蚀背景的空间分析[J]. 水土保持学报, 2007, 21(1): 39-43.

[2] 赵忠海. 北京市密云水库北部地区土壤侵蚀情况的遥感调查[J]. 地质灾害与环境保护, 2005, 16(4): 387-390.

[3] David P. Environmental and economic cost of soil erosion and conservation benefits[J]. Science, 1995, 267: 1117-1123.

[4] Lal R. Soil quality and food security: the global perspective[C]// La R. Soil quality and soil erosion, New York: CRC Press, 1999: 3-15.

[5] 符素华, 段淑怀, 李永贵, 等. 北京山区土地利用对土壤侵蚀的影响[J]. 自然科学进展, 2002, 12(1): 108-112.

[6] Viles H A. The agency of organic beings: A selective review of recent work in biogeomorphology [C]// Thornes J B. Vegetation and erosion. John Wiley & Sons Ltd, 1990: 5-24.

[7] 吴钦孝, 赵鸿雁. 植被保持水土的基本规律和总结[J]. 水土保持学报, 2001, 15(4): 13-15.

[8] 符素华, 张卫国, 刘宝元, 等. 北京山区小流域土壤侵蚀模型[J]. 水土保持研究, 2001, 8(4): 114-120.

[9] 齐乌云, 马蔼乃, 周大良, 等. 北京地区土壤水力侵蚀评估[J]. 水土保持研究, 2003, 10(3): 137-139.

[10] 杨志新, 郑大玮, 李永贵. 北京市土壤侵蚀经济损失分析及价值估算[J]. 水土保持学报, 2004, 18(3): 175-178.

[11] 周为峰, 吴炳方, 李强子. 官厅水库上游近 20 年土壤侵蚀强度时空变化分析[J]. 水土保持研究, 2005, 12(6): 183-186.

[12] 毕小刚, 段淑怀, 李永贵, 等. 北京山区土壤流失方程探讨[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(4): 6-13.

[13] 韦红波, 李锐, 杨勤科. 我国植被水土保持功能研究进展[J]. 植物生态学报, 2002, 26(4): 489-496.

[14] 刘启慎, 李建兴. 低山石灰岩区不同植被水土保持功能的研究[J]. 水土保持学报, 1994, 8(1): 78-83.

[15] 罗伟祥, 白立强, 宋西德, 等. 不同覆盖度林地和草地的径流量与冲刷量[J]. 水土保持学报, 1990, 4(1): 36-43.

[16] 董荣万, 朱兴平, 何增化, 等. 定西黄土丘陵沟壑区土壤侵蚀规律研究[J]. 水土保持通报, 1998, 18(3): 1-15.

[17] 张桂华, 姚凤梅. 江西兴国土壤侵蚀动态的研究[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(1): 53-56.

[18] 赖仕樟, 吴锡玄, 杨玉盛, 等. 论森林与土壤保持[J]. 福建水土保持, 2001, 13(2): 11-14.

[19] 吴钦孝, 赵鸿雁, 刘向东, 等. 森林枯枝落叶层涵养水源保持水土的作用评价[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(2): 23-28.

[20] 侯喜禄, 白岗栓, 曹清玉. 黄土丘陵区森林保持水土效益及其机理的研究[J]. 水土保持研究, 1996, 3(2): 98-103.

[21] 余新晓. 森林植被减弱降雨侵蚀能量的数理分析[J]. 水土保持学报, 1988, 2(2): 24-30.

[22] 刘向东, 吴钦孝, 赵鸿雁. 森林植被垂直截留作用与水土保持[J]. 水土保持研究, 1994, 1(3): 8-13.

[23] 周国逸. 几种常见造林树种冠层对降水动能分配及其生态效应分析[J]. 植物生态学报, 1997, 21(3): 250-259.

[24] 雷瑞德. 华山松林冠层对降雨动能的影响[J]. 水土保持学报, 1988, 2(2): 31-39.

[25] 陈廉杰. 乌江中下游低效林水土保持效益分析[J]. 水土保持通报, 1991, 22(6): 18-22.

[26] 杨吉华, 刘凯生, 宫锐, 等. 山丘地区森林保持水土效益的研究[J]. 水土保持学报, 1993, 7(3): 47-52.

[27] 刘定辉, 李勇. 植物根系提高土壤抗侵蚀性机理研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 34-37.

[28] 张清春, 刘宝元, 翟刚. 植被与水土流失研究综述[J]. 水土保持研究, 2002, 9(4): 96-101.

(上接第 239 页)

[3] 叶碎高, 赵聚国, 应聪惠, 等. 河道植物护坡及水土流失观测[J]. 黑龙江水专学报, 2007, 34(4): 9-12.

[4] 胡江波, 杨改河, 张笑培, 等. 不同植被恢复模式对土壤肥力的影响[J]. 河南农业科学, 2007(3): 69-72.

[5] 王利民, 寸玉康, 陈奇伯, 等. 滇西北高原水土保持生态修复措施的土壤理化效应[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(1): 7-11.

[6] 张俊华, 常庆瑞, 贾科利, 等. 黄土高原植被恢复对土壤肥力质量的影响研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 38-41.

[7] 代全厚, 张力, 刘艳军, 等. 嫩江大堤植物根系固土护堤功能研究[J]. 中国水土保持, 1998(12): 36-37.

[8] 张金池, 康立新, 卢义山, 等. 苏北海堤林带树木根系固土功能研究[J]. 水土保持学报, 1994, 8(2): 43-47.