

基于 GIS 的梅里雪山国家公园土壤侵蚀 敏感性情景分析

张志明¹, 尹梅², 孙振华¹, 王文礼¹, 欧晓昆^{1*}

(1. 云南大学生态学与地植物学研究所, 云南 昆明 650091; 2. 云南省农业科学院农业环境资源研究所, 云南 昆明 650205)

摘 要: 运用 GIS-IDRISI 软件, 在其空间分析模块支持下, 结合植被、土壤和 DEM 数据建立了一个土壤侵蚀功能模型, 并在 3 种不同植被状况下(1. 现有植被; 2. 植被遭受严重破坏; 3. 植被得以良好保护和恢复), 利用此模型对梅里雪山国家公园的土壤侵蚀状况进行情景分析。结果表明: 在梅里雪山国家公园内, 土壤侵蚀极敏感和高度敏感区, 主要分布于高海拔的高山区域和低海拔的澜沧江河谷区, 而中度敏感、轻度敏感和不敏感区主要分布于中海拔区域。研究区现有植被得到了当地藏族居民的较好保护, 但如果该区域的植被受到严重破坏, 如情景 2 所示, 那么土壤侵蚀极敏感、高度敏感和中度敏感区面积将大量增加, 相反, 轻度敏感和不敏感区的面积将大量减少, 尤其是不敏感区将几乎全部消失。所以梅里雪山国家公园当前的首要任务为保护好当地的植被和各生态系统。

关键词: GIS; DEM; 空间建模; 土壤侵蚀模型; 情景分析

中图分类号: S157

文献标识码: A

植被具有强大的生态服务功能, 尤其是原生森林植被, 具体表现为保持水土、涵养水源、减轻自然灾害、维护生物多样性、净化空气和减少污染等^[1]。其中植被对水土的保持功能非常明显, 并且引起人们的广泛关注, 开展了大量的研究工作^[2-5]。研究表明, 植被的覆盖率对土壤的保护非常重要^[3, 6-7], 在许多土壤侵蚀预报模型中, 如 USLE^[8]、RUSLE^[9]、LISEM^[10-11] 等, 植被覆盖度都是其中的一个重要参数。

植被覆盖率对土壤的保护固然重要, 但不同类型及结构特征的植被对土壤的保护作用差异较大^[2, 4, 12], 前人针对不同植被类型及其结构特征对降雨的截流作用和对土壤层的保护作用的差异等, 开展了大量的研究工作^[13-20]。

地理信息系统(GIS)和遥感(RS)技术现被广泛应用于土壤侵蚀模型研究中^[21-28]。如上所述, 这些模型多数将植被覆盖度作为其中一个重要参

数^[29], 然而不同植被类型对降雨的截流作用和对土壤层的保护作用差异明显, 所以考虑群落结构各层次的相对作用, 并结合各层次的盖度来综合反映植被对水土流失的影响, 比只利用单一的生态学盖度能更好地诠释植被与土壤侵蚀的关系^[30]。本文利用 GIS 技术, 结合不同植被类型的群落结构、土壤数据和 DEM 产生的地形数据, 建立梅里雪山地区植被保持水土功能模型, 并应用此模型分析 3 种不同植被情景状况下的水土保持状况。

梅里雪山是藏区八大神山之一^[31, 32]。每年有许多来自于四川、甘肃、青海、西藏等地的藏族同胞到梅里雪山转经朝拜。该地区的森林植被受到了当地藏族同胞的良好保护, 是为数不多的原生森林植被保存较好的地区之一^[33-34]。梅里雪山于 2008-10 被云南省政府批准成为国家公园^[35], 而如何理解和评价其植被的生态功能和对当地环境的作用, 是国家公园规划建设以及将来开展保护与发展行动的前提之一。因此, 本研究一个重要目的是为当地

收稿日期(Received date): 2010-04-07; 改回日期(Accepted): 2010-10-21。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目(40901097); 云南省教育厅基金项目资助(09C0009)。[National Natural Science Foundation of China (40901097) and Foundation of Provincial Education, Yunnan Province (No. 09C0009).]

作者简介(Biography): 张志明(1976-), 男, 讲师, 从事植被生态学、景观生态学以及地理信息系统应用研究。[Zhang Zhiming, master, lecturer, research interesting: vegetation ecology, landscape ecology, and application of GIS and RS.]

* 通信作者: E-mail: xkou@ynu.edu.cn

开展环境保护和合理进行旅游开发提供参考。

1 研究区概况

梅里雪山位于云南省迪庆州德钦县境内,属横断山区的核心部分。广义的梅里雪山是指坐落在云南省迪庆州德钦县境内的四蟠大雪山,属位于青藏高原东南缘,澜沧江与怒江之间的滇藏边界的怒山山脉,北与西藏境内的他念他翁山相连,南接云南省怒江州贡山县境内的碧罗雪山。研究区的范围为 $28^{\circ}20' \sim 28^{\circ}33'N$, $98^{\circ}30' \sim 8^{\circ}52'E$,面积约 960 km^2 (图1)。研究区的最高海拔为 6740 m 的云南省第一高峰——卡格博峰,最低海拔为 2020 m 的澜沧江江面,相对高度 4720 m 。

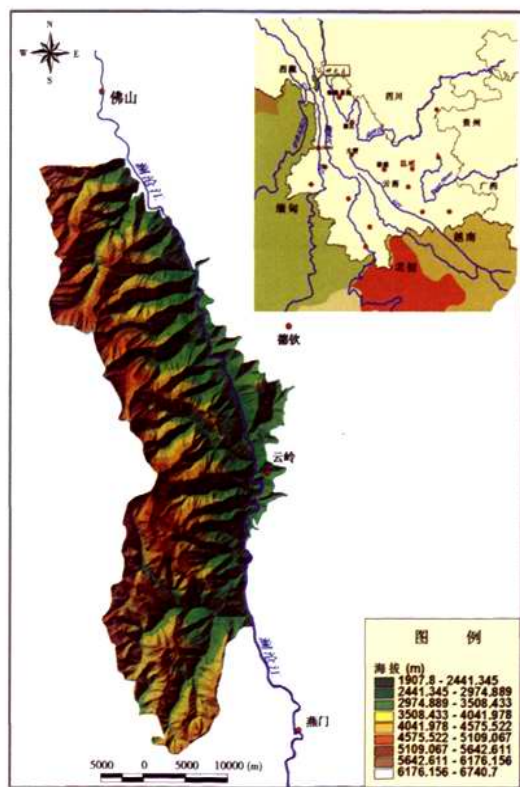


图1 研究区位置图

Fig. 1 The location of the study areas

梅里雪山地区属高原性寒温带山地季风气候。根据德钦县气象记录,德钦县城及附近地区年均温 4.7°C ,最热月7月平均气温 11.7°C ;最冷月1月平均气温 -3.1°C ;年均降雨量约 650 mm 。但由于南

北走向的深切河谷,加之受较低纬度和巨大垂直高差的双重影响,气候垂直变化十分显著。梅里雪山地区的另一典型气候特征是降雨(降雪)主要集中在海拔约 3000 m 以上的亚高山和高山地带,这一地带属寒温带、亚寒带或寒带气候;在海拔 2700 m 以下的地段则属少雨干旱的北亚热带或南温带气候,特别是近澜沧江畔的河谷地带,降雨稀少,植被多为干暖性河谷灌丛^[36]。

2 研究数据和方法

2.1 研究数据

本研究采用美国大地卫星(Landsat)TM影像数据、群落样地数据、GPS样点和DEM数据产生植被图,该植被图具体制作方法及精度检验参见张志明的文章^[37-38]。此外本研究还利用数字化的1:5万的地形图生成 30 m 空间分辨率的DEM数据,然后利用此DEM数据生成坡度和坡向图。本研究将德钦县土壤类型图数字化后得到土壤质地图。所有的数据都采用47带的UTM投影系统。

2.2 植被、土壤、地形因子权重及归一化处理

森林植被具有强大的保持水土功能,并且不同植被类型的水土保持能力和对径流的影响有所不同^[1-2,4,12,39]。土壤因子和地形因子是建立水土保持模型的另两个重要参数^[8-9]。本研究结合专家知识和成对比较矩阵法(pairwise comparison matrix)对植被、土壤、坡度、坡向以及坡长5个主要因子进行权重赋值^[40]。该方法被广泛应用于GIS多因子决策分析过程中^[41-43]。选取该5个因子的原因是由于它们是USLE和RUSLE模型的主要参数^[8-9]。各因子之间成对比较分值详见表1。其中1表示两因子同样重要,而9表示因子A相对于B极为重要^[43],并以此类推。最终权重结果需要通过一致性检验^[43]。以上处理均在GIS-IDRISI软件环境中完成。

另外不同的植被类型,其结构的不同对降雨的截流量有差异,依据植被的结构及类型,参照刘世荣

表1 成对比较矩阵等级分

Table 1 The grade division of pairwise comparison matrix

极不 重要	很不 重要	不重要	一般不 重要	相同	一般 重要	重要	很重要	极重要
1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9

表2 植被类型保持水土功能等级划分

Table 2 The grade division of soil and water conservation function of vegetation types

植被类型	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	21
功能等级	20	30	50	60	75	90	80	80	100	100	90	60	85	85	30	40	40	5	5	30

注:1~21 分别代表 1. 矮灌丛, 2. 侧柏林, 3. 高灌丛, 4. 河岸林, 5. 沙棘林, 6. 栎类林, 7. 高山松林, 8. 华山松林, 9. 针阔混交林, 10. 澜沧黄杉林, 11. 落叶阔叶林, 12. 落叶松林, 13. 云杉林, 14. 冷杉林, 15. 亚高山草甸, 16. 高山-亚高山灌丛, 17. 人工群落, 18. 岩石, 19. 冰雪, 21. 柳灌丛, 另外 20 是河流。(Note: 1~21 are respectively represented; 1. short shrub, 2. *Platycladus orientalis* forest, 3. tall shrub, 4. riverside forest, 5. *Hippophae rhamnoides* subsp. *yunnanensis* forest, 6. *Quercus* sp. Forest, 7. *Pinus densata* forest, 8. *Pinus armandii* forest, 9. mixed forest, 10. *Pseudotsuga forrestii* forest, 11. deciduous forest, 12. *Larix* sp. Forest, 13. *Picea* sp. Forest, 14. *Abies* sp. Forest, 15. sub-alpine meadow, 16. alpine and sub-alpine shrub, 17. artificial community, 18. rock, 19. snow, 20. river, 21. alpine *Salix* shrub.)

等^[4,30,44]等人的研究成果,结合当地的植被类型结构特征进行专家问卷调查(附件1),将各植被类型的保持水土功能进行百分制权重(表2)。该调查表总共发放了30份,收回26份,专家主要来自于云南省内高校(云南大学、西南林学院、云南师范大学),以及一些自然保护组织,如美国大自然保护协会(The Nature Conservancy, TNC)等。同样将土壤图根据其质地类型进行5分值权重(表3)^[45]。而地形因子采用GIS模糊集合运算功能(fuzzy set membership function)将地形因子进行归一化处理成连续梯度变化。

表3 土壤类型等级划分

Table 3 The grade division of soil types

土壤质地	石砾与沙	粗砂土、细砂土、粘土	砂粘土与粉土	面砂土与壤土	砂壤土、粉粘土、壤粘土
等级	1	2	3	4	5

2.3 模型建立和情景分析

运用 IDRSI 的空间建模模块(Model Builder)建立一个植被、土壤和地形的土壤侵蚀模型(图2),并且利用此模型进行三种不同植被状况下梅里雪山区域水土保持状况的情景分析。

1. 现有植被状况。

2. 假设该区域森林植被遭受严重破坏及退化,根据现有的植被状况结合逆向演替的规律以及当地自然条件^[46-47],可能有如下类型发生转变:如侧柏林退化成矮灌丛;高灌丛转变为矮灌丛;河岸林转变为高灌丛;沙棘林转变为矮灌丛;栎类林转变为高灌丛;高山松和华山松林转变为高灌丛;针阔混交林、澜沧黄杉林和落叶阔叶林转变为高灌丛;云冷杉林和落叶松林转变为杜鹃灌丛;亚高山草甸和高山-亚高山灌丛转变成岩石和流石滩类型;柳灌丛转变

为流石滩类型;其他类型不变。

3. 假设该区域植被无任何人为干扰情况下有些被破坏的植被类型得以很好恢复的理想状况,根据当前植被状况结合其正向演替规律^[46-47],其中可能发生如下的植被转变:高灌丛恢复成云南松林与硬叶栎和滇榛等针阔混交林;河岸林和沙棘林转变成针阔混交林;落叶阔叶林转变成针阔混交林;亚高山草甸转变成针阔混交林(因为该区域的草甸多数是云冷杉林被火烧或者砍伐后形成的人工草甸);人工群落恢复成高灌丛,主要是由于该区域多数人工群落(即农业用地)主要分布在2900 m以下的区域^[36];其他类型不发生太大变化。

2.4 土壤侵蚀敏感性等级划分

运行上述 IDRSI 空间建模模块建立的土壤侵蚀模型(图2)产生3个不同情景下的土壤侵蚀敏感度图(附图1~3),然后根据土壤侵蚀敏感度值的分布特点(敏感度柱状分布图),结合梅里雪山国家公园的实际情况,同时依据水利部土壤侵蚀分类分级标准^[48],将该区域土壤侵蚀敏感度划分为5个等级^[45](表4)。

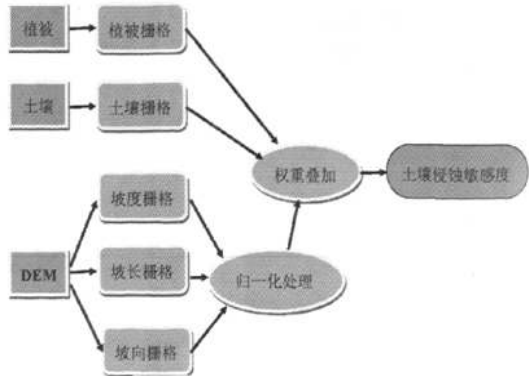


图2 土壤侵蚀模型

Fig. 2 The erosion model

表4 土壤侵蚀敏感度划分等级
Table 4 Five classes of soil erosion sensitivity

土壤侵蚀敏感性等级	土壤侵蚀敏感度值范围	水土保持意义
极敏感	1~50	地表植被裸露,地形起伏大,土壤以粉土和沙粉土为主,侵蚀模数大($>8\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$),流失厚度大($>5.9\text{ mm/a}$) 植被成荒漠化,覆盖度小,地形起伏较大,土壤沙化严重,侵蚀模数较大($5\,000\sim8\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$),流失厚度较大($3.7\sim5.9\text{ mm/a}$)
高度敏感	50~55	植被稀疏,以灌丛和疏生林为主,地形起伏中等,土壤以面沙土和壤土为主,侵蚀模数中等($2\,500\sim5\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$),流失厚度中等($1.9\sim3.7\text{ mm/a}$)
中度敏感	55~75	植被以针叶林、高灌丛和矮林为主,地形起伏较小,土壤以粗沙土和粘土为主,侵蚀模数中等($1\,000\sim2\,500\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$),流失厚度中等($0.74\sim1.9\text{ mm/a}$)
轻度敏感	75~90	植被覆盖度大,以阔叶林针阔混交林为主,地形起伏很小,土壤以粘土为主,侵蚀模数中等($<1\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$),流失厚度中等($<0.74\text{ mm/a}$)
不敏感	≥ 90	

3 结果

3.1 各因子权重

所选的5个影响因子相互比较及最终的权重见表5。其中植被权重最大为0.462 2;其次为坡度,0.232 4;土壤次之,权重指数为0.187 9;最小的是坡向,为0.032 5。

表5 各因子成对比较矩阵及权重
Table 5 Pairwise comparison matrix and weight of each factors

因子	植被	坡度	坡长	坡向	土壤	权重
植被	1					0.462 2
坡度	1/3	1				0.232 4
坡长	1/5	1/5	1			0.085 1
坡向	1/9	1/7	1/5	1		0.032 5
土壤	1/3	1	3	5	1	0.187 9

一致性检验比值为0.06<0.1(Consistency test ratio is 0.06<0.1)

3.2 情景1:现有植被状况

根据现有植被数据以及土壤和地形数据,运行土壤侵蚀模型(图2)最后产生的梅里雪山国家公园土壤侵蚀敏感性分布图如图3所示。从图3可见,土壤侵蚀极敏感和高度敏感区主要分布于海拔较高

的高山区域以及海拔较低的澜沧江河谷区。其中高海拔区域主要分布的是冰雪、高山流石滩等类型,该区域坡度较陡,土壤层薄且质地多为石砾和沙石等。海拔较低的澜沧江河谷(主要为<2 500 m区域)主要分布的是干暖河谷灌丛,植被覆盖率低,群落结构简单,且地表裸露,多为石砾和沙石等^[36]。而中度敏感、轻度敏感和不敏感区主要分布于海拔2 500至3 900 m,此海拔区间主要的森林植被类型为暖温性针叶林、针阔混交林和寒温性针叶林等^[36]。此外极敏感区和高度敏感区面积约占研究区总面积的26%,中度敏感区占32%,而轻度敏感和不敏感区约占总面积的42%。



图3 土壤侵蚀敏感性情景1分类图

Fig. 3 Five erosion hazard classes in scenario 1

3.3 情景2:植被遭受严重破坏

图4所示的为假设研究区内森林植被遭受严重破坏及退化的情景下土壤侵蚀敏感性分布状况。其中极敏感和高度敏感区域空间分布格局与情景1类似,也是主要分布于高海拔和低海拔区域。但是情

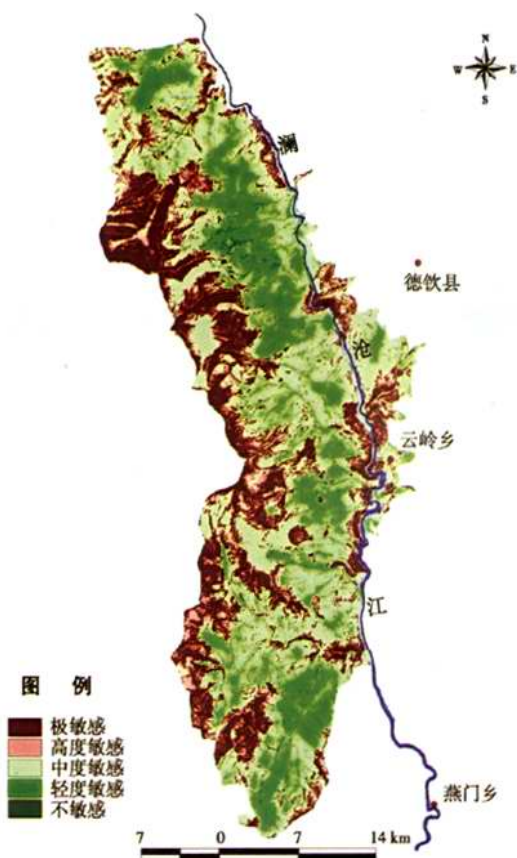


图4 土壤侵蚀敏感性情景2分类图

Fig. 4 Five erosion hazard classes in scenario 2

景2中的极敏感区面积明显大于情景1中的极敏感区,同时表5也显示出高度敏感区面积相对于情景1也有所增加(从8.16%增至12.23%)。另外相对于情景1,中度敏感区面积也大量增加,相反轻度敏感区和不敏感区是大量减少,尤其是不敏感区仅占整个研究区面积的1%左右(表6)。

3.4 情景3:植被得以很好保护和恢复

情景3是假设该区域植被在无任何人干扰情况下,使某些被破坏的植被类型得以很好恢复的理想状况。总体上图5与图3很类似,极敏感和高度敏感也主要分布于高海拔和低海拔区域。相对于情景1,极敏感和高度敏感区面积有少量减少(表6)。根据当地地形和气候特点,高海拔区域的冰雪、高山流石滩、高山灌丛等,以及低海拔区域的干暖河谷灌丛,几乎不可能得以恢复成森林植被类型,所以与情景1相比,情景3中的极敏感和高度敏感区面积不会有大的变化。另外相对于情景1,中度敏感区面积也有所减少,为3%。相反,轻度敏感区和不敏

感区有所增加,尤其是不敏感区增加幅度为3%左右(见表6)。

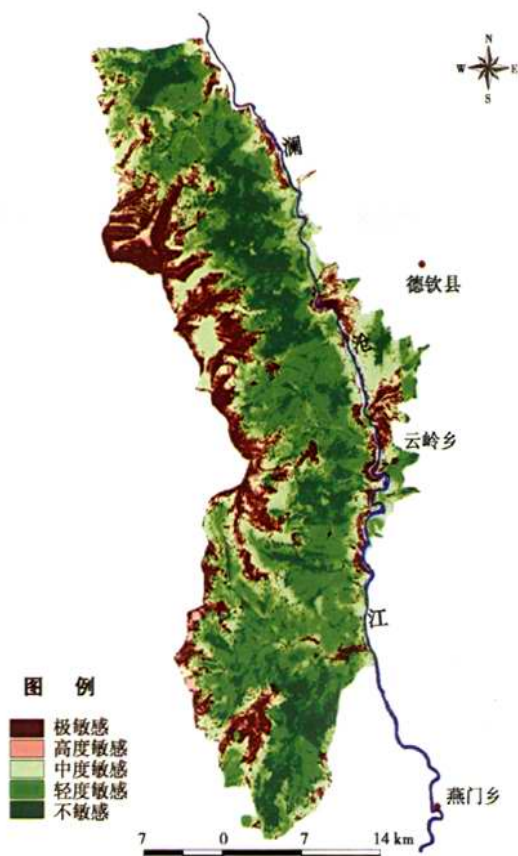


图5 土壤侵蚀敏感性情景3分类图

Fig. 5 Five erosion hazard classes in scenario 3

表6 各敏感等级所占面积比

Table 6 Area ratio occupied of each sensitivity level /%

土壤侵蚀敏感性等级	情景1	情景2	情景3
极敏感	17.83	25.67	17.36
高度敏感	8.16	12.23	7.70
中度敏感	31.71	44.63	28.17
轻度敏感	21.89	16.50	22.96
不敏感	20.41	0.97	23.81

4 讨论与结论

植被作为影响水土流失的一个重要因子一直受到人们的广泛关注^[3,12,30],在许多土壤侵蚀预报模型中植被覆盖度均是其中一个重要参数。但是不同植被类型的保持水土能力和对径流的影响有所不

同^[2,4,12],所以考虑群落结构中各层次的相对作用,并结合各层次的盖度来综合反映植被影响水土流失的作用,比单一的生态学盖度能更好地描述植被与土壤侵蚀的关系^[30]。

本研究在考虑梅里雪山各植被类型的结构特征基础上^[36],对各植被类型的水土保持功能进行百分制权重,同时结合土壤和地形数据,通过GIS建立土壤侵蚀模型,并利用此模型进行3种不同植被状况下的土壤侵蚀情景对比分析。结果表明在梅里雪山国家公园内土壤侵蚀敏感和高度敏感区主要分布于高海拔的高山区域和低海拔的澜沧江河谷区,而中度敏感、轻度敏感和不敏感区主要分布于中海拔区域。另外情景1与情景3差异不大,主要是由于该区域现有的森林植被保存较好。如上所述,由于藏族文化宗教的作用使梅里雪山得到了很好的保护^[33-34]。但是若该区域的植被受到严重破坏,如情景2所示,那么土壤侵蚀敏感、高度敏感和中度敏感区面积大量增加,相反轻度敏感和不敏感区将大量减少,尤其是不敏感区几乎全部消失。

本研究在利用植被数据建立土壤侵蚀模型中考虑了不同植被类型的水土保持功能差异,但其权重值主要基于经验值,因为精确定量各植被类型水土保持功能参数几乎是不可能的。尽管大量的研究表明森林植被的垂直结构对降雨的截流作用和对土壤层的保护作用明显^[13-20],如雷婉宁和温仲明(2008)^[30]建议考虑群落结构中各层次的相对作用,并结合各层次的盖度来综合反映植被影响水土流失的作用,但是如何确定不同植被或者同一植被类型的不同结构特征的截流和对土壤保护作用参数,至今是植被水土保持功能模型研究难点之一,有待于进一步深入研究。

除了植被、土壤和地形以外,降雨也是影响土壤侵蚀另一重要因子。USLE、RUSLE和LISEM等土壤侵蚀预测模型将降雨作为其中一个重要参数。但是如上所述,由于本研究区是典型的高山峡谷区域,海拔高差为4700m,气候垂直变化显著,而仅有的德钦县和佛乡两个气象站数据是几乎无法得到相对较准确,空间分辨率为30m的空间降雨数据,所以本研究并未采用降雨参数。

此外本研究中的情景2和情景3中植被的退化和恢复是假设的两个极端过程,尽管这两种假设是以演替理论为基础,并参考了前人相关研究^[46-47],然而植被演替是一个长期复杂的变化过程,所以该

地区植被最终的变化结果也许与上述两种假设情景都不相符。但通过这两种假设的极端情景与现有实际情景比较,使人们能够深入理解该区域的植被现状及其水土保持功能,并使大家进一步意识到保护该区域植被的重要性。

尽管该模型仍需要进行一步完善和补充,但本研究利用GIS建立的土壤侵蚀预测模型及不同植被状况下的情景模拟分析研究,可以对梅里雪山国家公园建设起到一定的警示作用。近年来随着梅里雪山地区旅游事业的发展,外来人口的增加,以及建房、修路等基础设施建设,加剧了对土地的开发利用和植被保护的矛盾,并已直接和间接影响了植被对该地区水土保持作用。尤其是公路建设,多数是发生在海拔较低的河谷地带。根据我们的研究结果,该区域本身就是土壤侵蚀敏感和高度敏感性区域,公路建设已经加剧了该区域的水土流失。所以该区域的建设项目一定要在严格可行保护的基础上进行,鉴于当地特殊的地质和地貌条件,植被一旦被破坏,水土保持功能下降,可能会导致一系列难以预测的自然灾害发生。

参考文献(References)

- [1] Zhong Xianghao, Cheng Genwei. An analysis of affection of forest vegetation change on flood—take typical small watersheds and history flood event in the upper reaches of the Yangtze River as examples[J]. *Journal of Mountain Science*, 2001, 19(5): 413-417 [钟祥浩,程根伟.森林植被变化对洪水的影响分析[J].山地学报,2001,19(5):413-417]
- [2] Wei Hongbo, Li Rui, Yang Qinke. Research advances of vegetation effect on soil and water conservation in China[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26(4): 489-496 [韦洪波,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]
- [3] Zhang Qingchun, Liu Baoyuan, Zhai Gang. Review on relationship between vegetation and soil and water loss[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2002, 9(4): 96-101 [张青春,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]
- [4] Liu Shirong, Sun Pengsen, Wen Yuanguang. Comparative analysis of hydrological functions of major forest ecosystems in China[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 27(1): 16-22 [刘世荣,孙鹏森,温远光.中国主要森林生态系统水文功能的比较研究[J].植物生态学报,2003,27(1):16-22]
- [5] Xu Xianli, Ma Keming, Fu Bojie, et al. Research review of the relationship between vegetation and soil loss[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(9): 3137-3143 [徐宪立,马克明,傅伯杰,等.植被与水土流失关系研究进展[J].生态学报,2006,26(9):3137-3143]

- [6] Jiao Juying, Wang Wanzhong, Li Jing. Effective cover rate of woodland grassland for soil and water conservation[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(5): 608-612 [焦菊英, 王万中, 李靖. 黄土高原林草水土保持有效盖度分析[J]. *植物生态学报*, 2000, 24(5): 608-612]
- [7] Li Peng, Li Zhanbin, Zheng Liangyong. Advances in researches of the effectiveness for vegetation conserving soil and water[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2002, 9(1): 76-80 [李鹏, 李占斌, 郑良勇. 植被保持水土有效性研究进展[J]. *水土保持研究*, 2002, 9(1): 76-80]
- [8] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning[M]. Washington: U S Dep Agric, 1978: 17-34
- [9] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, et al. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE) [M]. Washington: US Department Agriculture, 1997: 147-175
- [10] de Roo A P J, Offermans R J E, Cremers D T. LISEM: a single event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins I: theory, input and output[J]. *Hydrological Processes*, 1996, 10: 1-107
- [11] de Roo A P J, Offermans R J E, Cremers D T. LISEM: a single event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins II: sensitivity analysis, validation and application[J]. *Hydrological Processes*, 1996, 10: 1-119
- [12] Li Lihui, Long Yuelin. Research progress of vegetation effect on soil and water conservation [J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2007, 5: 90-92 [李丽辉, 龙岳林. 不同植被类型水土保持功能研究进展[J]. *湖南农业科学*, 2007, 5: 90-92]
- [13] Liu Xiangdong, Wu Qinxiao, Zhao Hongyan. The vertical interception function of forest vegetation and soil and water conservation [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 1994, 1(3): 8-13 [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]
- [14] Yang Liwen, Li Changzhe, Zhang Lihong. A study on interception process of rainfall by forest canopy[J]. *Hebei Journal of Forestry and Orchard Research*, 1995, 10(1): 7-12 [杨立文, 李昌哲, 张理宏. 林冠对降雨截留过程的研究[J]. *河北林学院学报*, 1995, 10(1): 7-12]
- [15] Wang Hansheng, Liu Guobin. Analyses on vegetation structures and their controlling soil erosion[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 1999, 13(2): 62-68 [汪拴生, 刘国彬. 植被结构及其防止土壤侵蚀作用分析[J]. *干旱区资源与环境*, 1999, 13(2): 62-68]
- [16] Zhang Guangcan, Liu Xia, Zhao Mei. On rainfall interception models[J]. *Journal of Nanjing Forestry University*, 2000, 24(1): 64-68 [张光灿, 刘霞, 赵玫. 林冠截留降雨模型研究进展及评述[J]. *南京林业大学学报*, 2000, 24(1): 64-68]
- [17] Xie Chunhua, Guan Wenbin, Wu Jianan, et al. Interception capability of dark coniferous forest ecosystem in Gongga Mountain[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2002, 24(4): 68-71 [谢春华, 关文彬, 吴建安, 等. 贡嘎山暗针叶林生态系统林冠截留特征研究[J]. *北京林业大学学报*, 2002, 24(4): 68-71]
- [18] Bao Wen, Bao Weikai, He Binghui, et al. Interception effects of forest ecosystems to precipitation: a Review[J]. *Journal of Mountain Research*, 2004, 22(4): 483-491 [鲍文, 包维楷, 何炳辉, 等. 森林生态系统对降水的分配与拦截效应[J]. *山地学报*, 2004, 22(4): 483-491]
- [19] Fan Shixiang, Gao Yan, Cheng Yincui, et al. Rainfall-intercepting capability of forest canopy[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2007, 27(2): 200-204 [范世香, 高雁, 程银才, 等. 林冠对降雨截留能力的研究[J]. *地理科学*, 2007, 27(2): 200-204]
- [20] Wang Yanhong, Song Weifeng, Li Caijin. Study on crown interception effect of different forest canopies[J]. *Subtropical Soil and Water Conservation*, 2008, 20(3): 5-10 [王艳红, 宋维峰, 李财金. 不同森林类型林冠截留效应研究[J]. *亚热带水土保持*, 2008, 20(3): 5-10]
- [21] Cai Chongfa, Ding Shuwen, Shi Zhihua, et al. Study of applying USLE and geographical information system IDRISI to predict soil erosion in small watershed[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000, 14(2): 19-24 [蔡崇法, 丁树文, 史志华, 等. 应用 USLE 模型和地理信息系统 IDR ISI 预测小流域土壤侵蚀量的研究[J]. *水土保持学报*, 2000, 14(2): 19-24]
- [22] Sidorchuk A, Märker M, Moretti S, et al. Gully erosion modelling and landscape response in the Mbuluzi River catchment of Swaziland[J]. *Catena*, 2003, 50: 507-525
- [23] Hessel R., van Asch T. Modelling gully erosion for a small catchment on the Chinese Loess Plateau[J]. *Catena*, 2003, 54: 131-146
- [24] Fu B J, Zhao W W, Chen L D, et al. Assessment of soil erosion at large watershed scale using RUSLE and GIS: a case study in the Loess Plateau of China[J]. *Land Degradation and Development*, 2005, 16(1): 73-85
- [25] Huang Shaoyan. Application of GIS in the quantitative research of soil erosion in China[J]. *Subtropical Soil and Water Conservation*, 2008, 20(4): 30-32 [黄少燕. GIS 在中国土壤侵蚀定量研究中的应用[J]. *亚热带水土保持*, 2008, 20(4): 30-32]
- [26] Yuan Keqin, Ni Jiupai, Gong Chunming, et al. Research progress of prediction and evaluation on soil erosion based on GIS[J]. *Technology of Soil and Water Conservation*, 2009, 1: 16-20 [袁克勤, 倪九派, 宫春明, 等. 基于 GIS 的土壤侵蚀预测与评价研究进展[J]. *水土保持应用技术*, 2009, 1: 16-20]
- [27] Chen Yibing, Trouwborst K O. Study of applying ANSWERS and the geographical information system ARC/INFO R in soil erosion modeling[J]. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1997, 3(2): 1-13 [陈一兵, Trouwborst K O. 土壤侵蚀建模中 ANSWERS 及地理信息系统 ARC/INFO 的应用研究[J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1997, 3(2): 1-13]
- [28] Liu Haitao. Research and application of soil erosion model based on WebGIS[J]. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 2001, 15(3): 52-55 [刘海涛. 基于 WebGIS 的土壤侵蚀模型的研究及应用[J]. *水土保持学报*, 2001, 15(3): 52-55]

- [29] Vázquez R F, Feyen J. Assessment of the effects of DEM gridding on the predictions of basin runoff using MIKESHE and a modelling resolution of 600 m[J]. *Journal of Hydrology*, 2007, 334: 73 - 87
- [30] Lei Wanning, Wen Zhongming. Research on soil erosion vegetation factor index based on community structure[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(5): 68 - 77 [雷婉宁, 温仲明. 基于植物群落结构的水土流失植被因子指数研究[J]. *水土保持学报*, 2008, 22(5): 68 - 77]
- [31] Huber T. The cult of pure crystal mountain: popular pilgrimage and visionary landscape in southeast Tibet[M]. New York: Oxford University Press, 1999
- [32] Pei S, Luo P. Traditional culture and biodiversity conservation in Yunnan[G]//Xu J. (ed.), *Links between Cultures and Biodiversity: Proceedings of the Cultures and Biodiversity Congress 2000*. 20 - 30 July 2000, Yunnan, China. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, Yunnan, China, 2000: 143 - 153
- [33] Anderson D M, Salick J, Moseley R K, et al. Conserving the sacred medicine mountains: a vegetation analysis of Tibetan sacred sites in Northern Yunnan [J]. *Biodiversity and Conservation*, 2005, 14: 3065 - 3091
- [34] Salick J, Amend A, Anderson D, et al. Tibetan sacred sites conserve old growth trees and cover in the eastern Himalayas [J]. *Biodiversity and Conservation*, 2007, 16: 693 - 706
- [35] Tourism Institute of Yunnan University. The National Park general planning of Meili Snow Mountain[R]. 2008 [云南大学旅游研究所. 梅里雪山国家公园总体规划[R]. 2008]
- [36] Ou Xiaokun, Zhang Zhiming, Wang Chongyun, et al. Vegetation research in Meili Snow Mountain [M]. Beijing: Science Press, 2006 [欧晓昆, 张志明, 王崇云, 等. 梅里雪山植被研究[M]. 北京: 科学出版社出版, 2006]
- [37] Zhang Zhiming, Ou Xiaokun, Wang Chongyun, et al. Accuracy analysis of vegetation mapping for Meili Snow Mountain area, north-west Yunnan, China. [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(9): 1517 - 1522 [张志明, 欧晓昆, 王崇云, 等. 利用3S技术对梅里雪山地区植被制图精度检验分析[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(9): 1517 - 1522]
- [38] Zhang Z, De Clercq E M, Ou X., De Wulf R, Verberk L. Mapping dominant communities vegetation in Meili Snow Mountain, Yunnan Province, China using satellite imagery and plant community data[J]. *Geocarto International*, 2008, 23(2): 135 - 153
- [39] Li Wenhua, He Yongtao, Yang Liyun. A summary and perspective of forest vegetation impacts on water yield[J]. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(5): 398 - 406 [李文华, 何永涛, 杨丽韞. 森林对径流影响研究的回顾与展望[J]. *自然资源学报*, 2001, 16(5): 398 - 406]
- [40] Saaty T. The Analytic Hierarchy Process[M]. New York: McGraw-Hill, 1980
- [41] Eastman J R. IDRISI 32: guide to GIS and image processing[M]. Clark Labs, Clark University, Worcester, 2001
- [42] Malczewski J. On the use of weighted linear combination method in GIS: common and best practice approaches [J]. *Transactions in GIS*, 2000, 4: 5 - 22
- [43] Malczewski J, Chapman T, Flegel C, et al. GIS - multicriteria evaluation with ordered weighted averaging (OWA): case study of developing management strategies [J]. *Environmental Planning*, 2003, 35(10): 1769 - 1784
- [44] Huang Jinliang, Hong Huasheng, Zhang Luoping, et al. Study on predicting soil erosion in Jiulong River Watershed Based on GIS and USLE[J]. *Journal of Soil Water Conservation*, 2004, 18(5): 75 - 79 [黄金良, 洪华生, 张珞平, 等. 基于GIS和USLE的九龙江流域土壤侵蚀量预测研究[J]. *水土保持学报*, 2004, 18(5): 75 - 79]
- [45] Wang Wenli, Zhang Zhiming, Ou Xiaokun. Sensitivity assessment of soil erosion in Deqin County, Yunnan Province based on RUSLE/GIS methodology [J]. *Journal of Yunnan University: Natural Sciences Edition*, 2009, 31(S1): 331 - 337 [王文礼, 张志明, 欧晓昆. 基于RUSLE/GIS方法的德钦县土壤侵蚀敏感性评价[J]. *云南大学学报: 自然科学版*, 2009, 31(S1): 331 - 337]
- [46] Li Yongping, Dang Chenglin. The research progress of climax community in forest [J]. *Journal of Yunnan University: Natural Sciences Edition*, 2006, 28(S1): 298 - 303 [李永萍, 党承林. 森林顶极群落研究进展[J]. *云南大学学报: 自然科学版*, 2006, 28(S1): 298 - 303]
- [47] Zhang Jinfeng, Song Hongtao, Geng Yunfen, et al. Characteristics of vegetations and soil nutrients on subalpine degraded forestlands in Northwest Yunnan [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(7): 298 - 303 [张劲峰, 宋洪涛, 耿云芬, 等. 滇西北亚高山不同退化林地植被与土壤养分特征[J]. *生态学杂志*, 2008, 27(7): 298 - 303]
- [48] China Ministry of Water Resources. Standards for Classification and Gradation of Soil Erosion. The Industrial Standard of the People's Republic of China Quality Standard (SL190 - 96) [S]. 1997 [中华人民共和国水利部. 土壤侵蚀分类标准 [S]. 中华人民共和国行业标准(SL190 - 96), 1997]

A GIS – based Soil Erosion Model for Assessment of Vegetation Scenarios in Meili Snow Mountain National Park, Yunnan, China

ZHANG Zhiming¹, YIN Mei², SUN Zhenhuan¹, WANG Wenli¹, OU Xiaokun¹

(1. *Institute of Ecology and Geobotany, Yunnan University, Kunming 650091, Yunnan, China;*

2. *Agricultural Environment and Resources Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, Yunnan, China*)

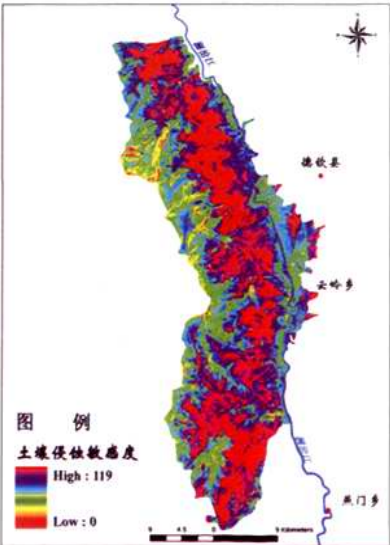
Abstract: More and more researchers focus on the ecological services of vegetation. One of the most important ecological services of vegetation is soil and water conservation. In this study, a GIS – based soil erosion model was built by integrating vegetation map, soil map, and DEM data. This model was used to predict the soil erosion with three different vegetation scenarios. In scenario 1, the vegetation data is the current vegetation map. In scenario 2, we assume that the current vegetation was greatly degraded. Especially, all of the forest vegetation was deforested. In scenario 3, we assume that the current vegetation was protected very well, and no disturbance. Some degraded types restore into forest. The results show that the higher soil erosion areas occur on alpine areas and the lower areas along Lancang River. Much less soil erosion occurs on the middle range of altitude (from 2 500 m to 3 900 m) because most of the forest can be found in this area. The prediction result of scenario 3 is quite similar to the scenario 1. The reason is that the current vegetation is protected very well by local Tibetan people. However, the result of scenario 2 shows that if the degradation of vegetation increased the soil erosion would increase dramatically. Almost the whole area is in high hazard of soil erosion. Therefore, the most important objective of the Meili Snow Mountain National Park is to protect the vegetation and ecosystems.

Key word: GIS; DEM; spatial modeling; soil erosion model; scenario analysis

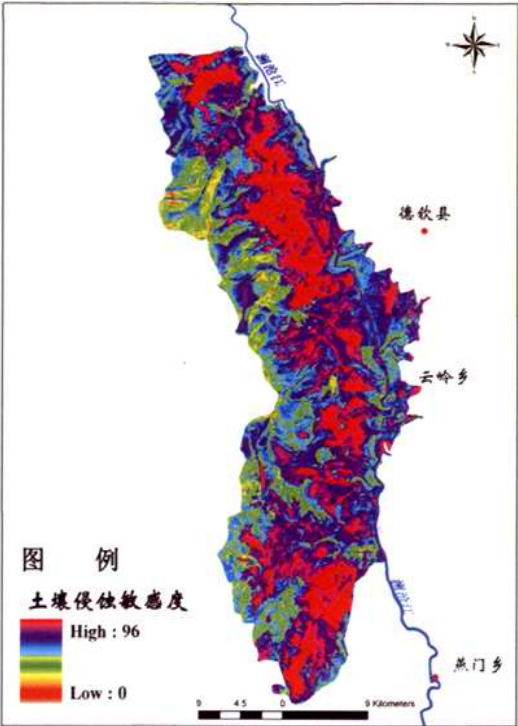
附件1:问卷调查表

代码	植被类型	垂直结构	叶形	水土保持功能权重
1	矮灌丛	Short Shrubs	1	
2	侧柏 <i>Platycladus orientalis</i> Forest	1		
3	高灌丛	Tall Shrubs	2	
4	河岸林 <i>Riverside Disturbed Forest</i>	2		
5	沙棘林 <i>Hippophae rhamnoides</i> subsp. <i>Yunnanensis</i> Forests	3		
6	栎类林 <i>Quercus</i> spp. Forest	3		
7	高山松林 <i>Pinus densata</i> Forest	3		
8	华山松林 <i>Pinus armandi</i> Forest	3		
9	针阔混交林 <i>Mixed forest</i>	4		
10	黄杉林 <i>Pseudotsuga forrestii</i> Forest	4		
11	落叶阔叶林	Deciduous Forest	3	
12	落叶松林 <i>Larix speciosa</i> Forest	3		
13	云杉林	Picea Forest	4	
14	冷杉林 <i>Abies</i> Forest	4		
15	亚高山草甸 <i>sub-alpine Meadow</i>	1		
16	高山、亚高山灌丛 <i>Alpine and sub-alpine shrubs</i>	1		
17	人工植被 <i>Man-made vegetation</i>	1		
18	岩石	Rocks	0	
19	冰雪	Snow	0	
20	澜沧江 <i>Ian Cang River</i>	0		
21	高山柳灌丛 <i>Alpine Salix</i> spp. shrub	2		

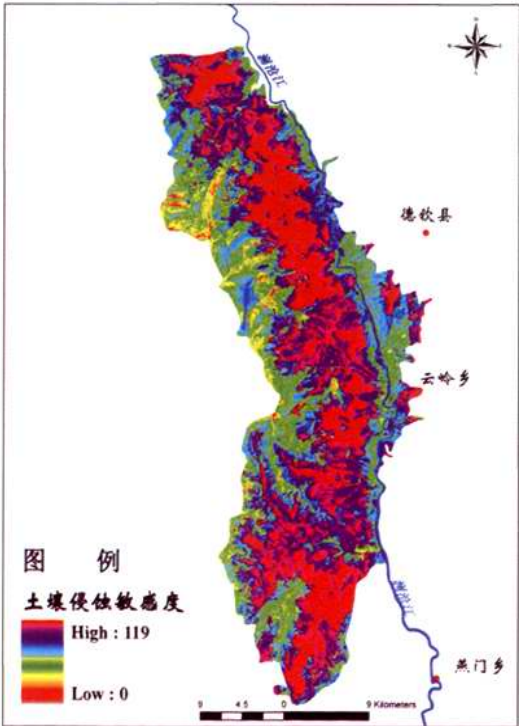
注:叶型——(leaf form)指的是叶子的形状和大小。同一群落内或不同群落间,叶型常有明显的差异,而不同生境内的群落,其叶型的差异尤为显著。因此,作为群落外貌特征之一的叶型分析,越来越被重视,尤其是结构复杂的森林群落的叶型分析,具有重要意义。如热带雨林的大型或中型叶为主,温带林以小型叶为主。叶型研究大多是按照 Raunkiaer(1934)所创议的叶型分类系统来进行叶型分析,他的分类系统是以叶面积大小分为六级,各级间相差九倍[50]。即:1级:鳞叶或细叶(leptophyll),叶面积为0~25 mm²;2级:微叶(nanophyll),叶面积为26~225 mm²;3级:小叶(microphyll),叶面积为226~025 mm²;4级:中叶(mesophyll),叶面积为2 026~18 225 mm²;5级:大叶(macrophyll),叶面积为18 226~164 025 mm²;6级:巨叶(megaphyll),叶面积>164 025 mm²。



附图1 土壤侵蚀敏感度情景1图
Appendix 1 Sensitivity values of erosion hazard in scenario 1



附图2 土壤侵蚀敏感度情景2图
Appendix 2 Sensitivity values of erosion hazard in scenario 2



附图3 土壤侵蚀敏感度情景3图
Appendix 3 Sensitivity values of erosion hazard in scenario 3

作者: 张志明, 尹梅, 孙振华, 王文礼, 欧晓昆, ZHANG Zhiming, YIN Mei, SUN Zhenhuan, WANG Wenli, OU Xiaokun
作者单位: 张志明, 孙振华, 王文礼, 欧晓昆, ZHANG Zhiming, SUN Zhenhuan, WANG Wenli, OU Xiaokun(云南大学生态学与地植物学研究所, 云南, 昆明, 650091), 尹梅, YIN Mei(云南省农业科学院农业环境资源研究所, 云南, 昆明, 650205)
刊名: 山地学报 ISTIC PKU
英文刊名: JOURNAL OF MOUNTAIN SCIENCE
年, 卷(期): 2011, 29(2)

参考文献(48条)

1. 钟祥浩;程根伟 森林植被变化对洪水的影响分析[期刊论文]-山地学报 2001(05)

2. 韦洪波;李锐;杨勤科 我国植被水土保持功能研究进展[期刊论文]-植物生态学报 2002(04)

3. 张清春;刘宝元;翟刚 植被与水土流失研究综述[期刊论文]-水土保持研究 2002(04)

4. 刘世荣;孙鹏森;温远光 中国主要森林生态系统水文功能的比较研究[期刊论文]-植物生态学报 2003(01)

5. 徐完立;马克明;傅伯杰 植被与水土流失关系研究进展[期刊论文]-生态学报 2006(09)

6. 焦菊英;王万中;李靖 黄土高原林草水土保持有效盖度分析[期刊论文]-植物生态学报 2000(05)

7. 李鹏;李占斌;郑良勇 植被保持水土有效性研究进展[期刊论文]-水土保持研究 2002(01)

8. Wischmeier W H;Smith D D Predicting rainfall erosion losses:a guide to conservation planning 1978

9. Renard K G;Foster G R;Weesies G A Predicting soil erosion by water:a guideto conservationplanning with the revised universal soil loss equation(RUSL E) 1997

10. de Reo A P J;Offermans R J E;Cremers D T LISEM:a single event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins I :theory, input and output 1996

11. de Roo A P J;Offermans R J E;Cremers D T LISEM:a single event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins II :sensitivity analysis, validation and application 1996

12. 李丽辉;龙岳林 不同植被类型水土保持功能研究进展[期刊论文]-湖南农业科学 2007(5)

13. 刘向东;吴钦孝;赵鸿雁 森林植被垂直截留作用与水土保持[期刊论文]-水土保持研究 1994(03)

14. 杨立文;李昌哲;张理宏 林冠对降雨截留过程的研究[期刊论文]-河北林学院学报 1995(01)

15. 汪晗生;刘国彬 植被结构及其防止土壤侵蚀作用分析 1999(02)

16. 张光灿;刘霞;赵玫 林冠截留降雨模型研究进展及评述[期刊论文]-南京林业大学学报(自然科学版) 2000(01)

17. 谢春华;关文彬;吴建安 贡嘎山暗针叶林生态系统林冠截留特征研究[期刊论文]-北京林业大学学报(自然科学版) 2002(04)

18. 鲍文;包维楷;何炳辉 森林生态系统对降水的分配与拦截效应[期刊论文]-山地学报 2004(04)

19. 范世香;高雁;程银才 林冠对降雨截留能力的研究[期刊论文]-地理科学 2007(02)

20. 王艳红;宋维峰;李财金 不同森林类型林冠截留效应研究[期刊论文]-亚热带水土保持 2008(03)

21. 蔡崇法;丁树文;史志华 应用USLE模型和地理信息系统IDR ISI预测小流域土壤侵蚀量的研究[期刊论文]-水土保持学报 2000(02)

22. Sidorchuk A;M(a)rker M;Moretti S Gully erosion modelling and landscape response in the Mbuluzi River catchment of Swaziland[外文期刊] 2003(2/4)

23. Hessel R;van Asch T Modelling gully erosion for a small catchment on the Chinese Loess Plateau[外文期刊] 2003

24. [Fu B J;Zhao W W;Chen L D Assessment of soil erosion at large watershed scale using RUSLE and GIS:a case study in the Loess Plateau of China](#)[外文期刊] 2005(01)
25. [黄少燕 GIS在中国土壤侵蚀定量研究中的应用](#)[期刊论文]-[亚热带水土保持](#) 2008(04)
26. [袁克勤;倪九派;宫春明 基于GIS的土壤侵蚀预测与评价研究进展](#)[期刊论文]-[水土保持应用技术](#) 2009(1)
27. [陈一兵;Trouwborst K O 土壤侵蚀建模中ANSWERS及地理信息系统ARC/INFO的应用研究](#) 1997(02)
28. [刘海涛 基于WebGIS的土壤侵蚀模型的研究及应用](#)[期刊论文]-[水土保持学报](#) 2001(03)
29. [Yázquez R F;Feyen J Assessment of the effect s of DEM gridding on the predictions of basin runoff using MIKESHE and a modelling resolution of 600 m](#) 2007
30. [雷婉宁;温仲明 基于植物群落结构的水土流失植被因子指数研究](#)[期刊论文]-[水土保持学报](#) 2008(05)
31. [Huber T The cult of pure crystal mountain:popular pilgrimage and visionary landscape in southeast Tibet](#) 1999
32. [Pei S;Luo P Traditional culture and biodivemity conservation in Yunnan](#) 2000
33. [Anderson D M;Salick J;Moseley R K Conserving the sa cred medicine nmountain8:u vegetation analysis of Tibetan sacredsites in Northern Yunnan](#) 2005
34. [Salick J;Amend A;Anderson D Tibetan sacred sites conserve old growth trees and cover in the eastern Himalayas](#)[外文期刊] 2007
35. [云南大学旅游研究所 梅里雪山国家公园总体规划](#) 2008
36. [欧晓昆;张志明;王崇云 梅里雪山植被研究](#) 2006
37. [张志明;欧晓昆;王崇云 利用3S技术对梅里雪山地区植被制图的精度检验分析](#)[期刊论文]-[应用生态学报](#) 2004(09)
38. [Zhang z;De Clercq E M;Ou X;De Wulf R Verberk L Mapping dominant communities vegetation in Meili Snow Mountain,Yunnan Province,China using satellite imagery and plant community data](#) 2008(02)
39. [李文华;何永涛;杨丽钰 森林对径流影响研究的回顾与展望](#)[期刊论文]-[自然资源学报](#) 2001(05)
40. [Saaty T The Analytic Hierarchy Process](#) 1980
41. [Eastman J R IDRISI 32:guide to GIS and image processing](#) 2001
42. [Malczewski J On the use of weighted linear combination method in GIS:common and best practice approaches](#)[外文期刊] 2000
43. [Malczewski J;Chapman T;Flegel C GIS-multicriteria evaluation with ordered weighted averaging\(OWA\):case study of developing management strategies](#) 2003(10)
44. [黄金良;洪华生;张珞平 基于GIS和USLE的九龙江流域土壤侵蚀量预测研究](#)[期刊论文]-[水土保持学报](#) 2004(05)
45. [王文礼;张志明;欧晓昆 基于RUSLE/GIS方法的德钦县土壤侵蚀敏感性评价](#) 2009(z1)
46. [李永萍;党承林 森林顶极群落研究进展](#) 2006(z1)
47. [张劲峰;宋洪涛;耿云芬 滇西北亚高山不同退化林地植被与土壤养分特征](#)[期刊论文]-[生态学杂志](#) 2008(07)
48. [中华人民共和国水利部 SL190-96 土壤侵蚀分类标准](#) 1997

本文读者也读过(9条)

1. [齐颖 基于GIS的高速磁悬浮铁路车站选址决策技术研究](#)[学位论文]2004
2. [高燕, 王晓昕, 鞠晖, 刘淑华, GAO Yan, WANG Xiao-xin, JU Ye, LIU SHU-hua 东北黑土区土壤侵蚀模型研究现状与](#)

展望[期刊论文]-东北水利水电2010, 28(12)

3. 刘海涛 基于WebGIS的土壤侵蚀模型的研究及应用[期刊论文]-水土保持学报2001, 15(3)
4. 李岫军, 徐效波, Li XiuJun, Xu XiaoBo 基于GIS的超市选址研究与实现[期刊论文]-城市勘测2011(2)
5. 姜雪, 段克, 陈国玉, 崔德杰, 李旭霖, 陈金林, JIANG Xue, DUAN Ke, CHEN Guo-yu, CUI De-jie, LI Xu-lin, CHEN Jin-lin 基于GIS的莱西市农田土壤资源评价[期刊论文]-畜牧与饲料科学2010, 31(2)
6. 陈江平, 傅仲良, 边馥苓, 沙宗尧 基于特征数据的VRML建模在Web GIS中的应用[期刊论文]-武汉大学学报(信息科学版)2002, 27(5)
7. 姚志宏, 杨勤科, 王春梅, 李锐, YAO Zhi-hong, YANG Qing-ke, WANG Chun-mei, LI Rui 基于GIS的黄土丘陵区小流域土壤水分模拟[期刊论文]-草地学报2011, 19(3)
8. 李辉, 陈晓玲, LI Hui, CHEN Xiaoling 不同空间尺度下的土壤侵蚀模型研究进展[期刊论文]-华中师范大学学报(自然科学版)2006, 40(4)
9. 高惠瑛, 郭红霞, 冯启民, Gao Huiying, Guo Hongxia, Feng Qimin 基于GIS的城市重大危险源选址研究[期刊论文]-灾害学2010, 25(z1)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_sdx201102003.aspx