

泥石流多发区土地荒漠化程度模糊综合评判研究

陈廷方^{1,2}, 崔鹏³, 王学杰²

(1. 西南交通大学土木学院, 四川 成都 610031; 2. 西南科技大学环境与资源学院, 四川 绵阳 621002;
3. 中国科学院 水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘要: 根据对小江流域泥石流沟谷土地荒漠化影响因子的分析和筛选, 选择切割密度、土壤有机质、泥石流堆积物面积、植被盖度等 8 个对土地荒漠化有较大影响的因子, 从地貌、土壤、植被三方面建立层次分析模型。针对土地景观生态系统的复杂性和模糊性, 在建立评价指标体系的基础上, 采用模糊综合评判的方法, 对土地荒漠化程度进行了定量评价。

关键词: 泥石流多发地区; 土地荒漠化; 层次分析模型; 模糊综合评判
中图分类号: S157 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)06-0189-06

土地荒漠化是全球性的严重环境恶化现象, 关于土地荒漠化的评价指标及评价方法国内外不少学者进行了专门研究^[1~6], 但是关于泥石流多发地区土地荒漠化程度的定量评价目前尚未见报道。本文在查阅前人研究的基础上, 对小江流域泥石流沟谷土地荒漠化进行了较深入的研究, 建立了泥石流多发地区土地荒漠化程度的模糊综合评判模型。

1 研究区背景

小江发源于云南省寻甸县鱼味后山, 流经寻甸县、东川市和会泽县境, 长 130.4 km, 流域面积 3 040 km², 流域最高海拔 4 344 m, 最低海拔 691 m, 从南向北注入金沙江(参见图 1)。流域内山地面积占地区面积的 97%, 在河流宽谷地段, 具有四周高, 中间低的山间盆地地貌特征, 是农业生产条件较好的地域。小江是一条典型的深切切割的构造河谷, 著名的小江断裂带贯穿其中。这条断裂带既有垂直方向的振荡运动也有显著的水平方面的扭动。小江流域属低纬高原山地季风气候。由于地理环境和地貌因素的影响, 气候类型复杂, 具有干湿季节分明, 垂直分带性明显之特点, 全年降水集中在 5~10 月, 占年降水量 88%, 旱季冗长, 从 11 月开始到翌年 4 月, 晴天特别多, 雨量甚少, 风速大, 蒸发强, 属半干旱气候。小江流域由于受地质地貌控制, 山体岩石破碎, 裂隙众多, 加之人类工程经济活动的强度大大地超过了山地承载力和调整能力, 加剧了生态环境的恶化^[7]。小江流域已查明的泥石流沟有 140 条, 分布在东川(87 条)、会泽(13 条)和寻甸(40 条)的

19 个乡镇^[8], 泥石流沟流域面积总计 1 878.58 km², 占小江流域总面积的 61.73%。每年都有数十条沟谷暴发泥石流, 其中蒋家沟平均每年暴发 15 次左右, 最多高达 28 次^[7]。水土流失严重, 面积已达 1 273.5 km², 占全区总面积的 68.5%。由于崩塌、滑坡和泥石流的不断发展, 大量流沙石块倾入小江, 每年有 3 000~4 000 万 m³ 的沙石堆积于河床, 泥石流堆积扇毗连成片, 扇缘串联成裙或叠置成洪积台阶, 两岸泥石流台阶高 7~10 m, 相互对峙, 形成犬牙交错之态势。

2 评价指标体系

2.1 评价方法的提出

泥石流多发区土地荒漠化影响因素十分复杂, 各要素作用的性质、方式和程度互不相同; 各要素相互联系, 相互制约, 以不同的组合特点对土地荒漠化产生综合影响。因此, 针对泥石流多发区土地荒漠化的复杂性和模糊性, 采用多层次模糊综合评判的方法^[9], 对土地荒漠化程度进行评价, 并对其科学性和可行性进行探讨。

2.2 确定评价因子及评价指标

影响土地荒漠化的因子是复杂的, 这些因子直接或间接地使土地内部发生变化, 即土地数量减少, 质量降低, 成份、结构、功能等发生衰退, 生产能力下降, 而最终导致土地荒芜。评价因子的选择, 最重要的是要能反映土地数量减少或质量的下降^[6]。通过对小江流域泥石流沟谷土地荒漠化影响因子的分析和筛选, 并参考前人的研究成果, 确定以下评

收稿日期: 2006-06-14
基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划(973)项目(2003CB415202)
作者简介: 陈廷方(1963—), 男, 贵州思南人, 副教授, 主要从事岩土工程、山地灾害研究。E-mail: chentingfang@swust.edu.cn.

价因子和评价指标,评价等级的划分采用五分法。

地貌因子:① 切割密度是反映土地被破坏程度的指标,切割密度是单位面积线状侵蚀的长度,其值越大,反映地表被流水侵蚀的越严重,因此采用切割密度作为土地荒漠化程度指标(表 1)。

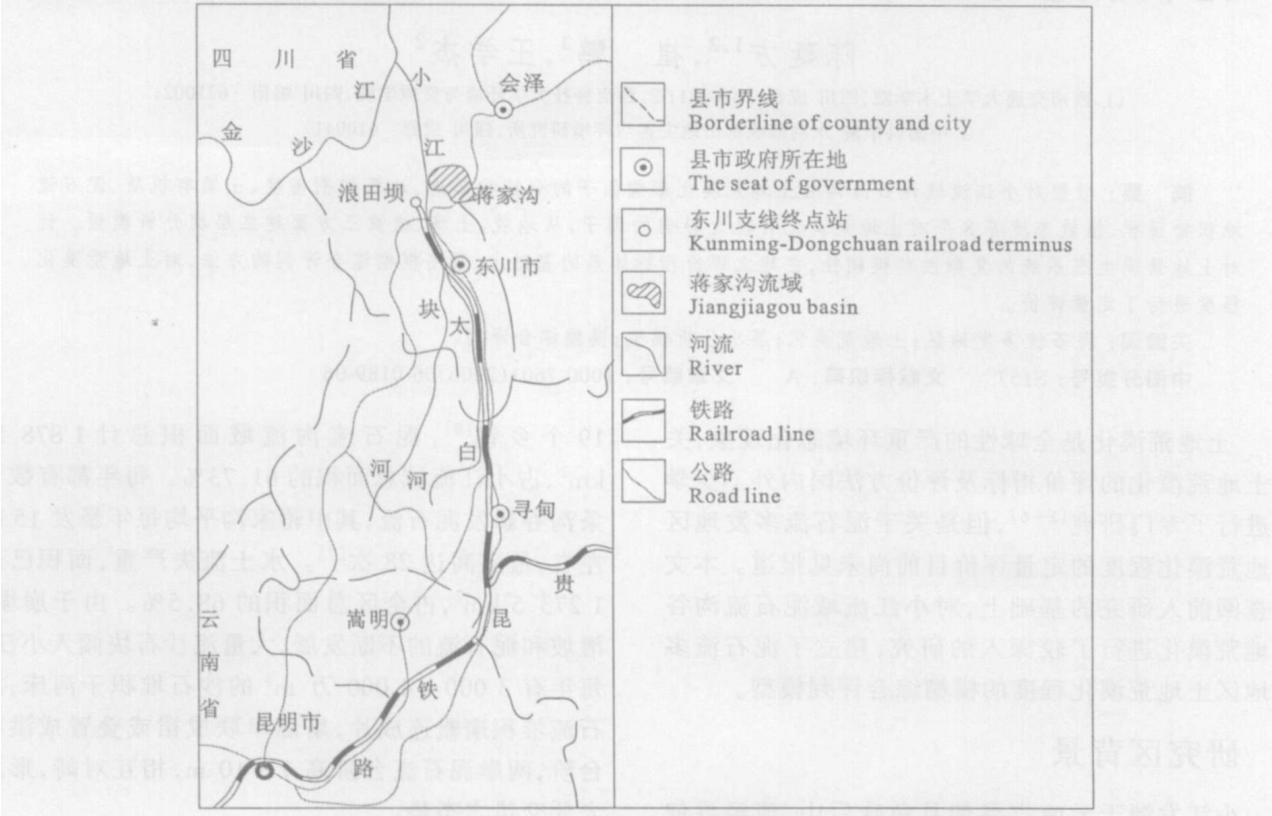


图 1 小江流域平面位置图

Fig.1 The distribution of sites in Xiao jiang River Basin of Yunnan Province

表 1 土地荒漠化影响因子分级指标

Table 1 Grades of land desertification evaluation standards for single factor

因子 Factors	子因子 Subordinate factors	代号 Symbol	无荒漠化 Nonexistence	轻度 Small	中 Medium	强 Strong	极强 The strongest
地貌因子 Geomorphology	切割密度 Cutting density(km/km ²)	x ₁₁	<1	1~2	2~3	3~4	>4
	沟床比降 Gradientration(%)	x ₁₂	<5	5~15	15~25	25~35	>35
	坡面坡度 Slope(°)	x ₁₃	<10	10~20	20~30	30~40	>40
土壤因子 Soil	厚度 Soil thickness(cm)	x ₂₁	>25	15~25	10~15	5~10	<5
	有机质 Soil organic matter content(g/kg)	x ₂₂	>3.3	2.5~3.3	1.5~2.5	0.5~1.5	<0.5
	泥石流堆积面积 Area of debris flow sediment fan(km ²)	x ₂₃	<0.1	0.1~1	1~2	2~3	>3
	松散物质数量 Unconsolidated material quantity(10 ⁴ m ³)	x ₂₄	<1000	1000~2000	2000~3000	3000~4000	>4000
植被因子 Vegetation	盖度 Vegetation cover	x ₃	>80	50~80	10~50	5~10	<5

② 坡面坡度和沟床比降:泥石流侵蚀主要发生在沟谷的中上游地区或坡面上,属重力侵蚀,其侵蚀比一般水流侵蚀更加强烈。泥石流侵蚀包括坡面侵蚀和沟道侵蚀两种方式。

坡面侵蚀过程即是坡面汇流形成泥石流的过程。泥石流沟上游山坡坡度大,植被稀少,地表裸

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

露,抗侵蚀能力差,在强暴雨的作用下强大的坡面径流形成冲沟,冲沟不断加深、扩大,将坡面松散的土层不断带走,使坡面植被和土壤遭到严重侵蚀破坏,形成裸露坡、光板地、裸岩或石山等,坡面植被自然恢复难度极大,往往在植被还未恢复前又遭到下一次泥石流侵蚀破坏,造成坡面长期处于裸露荒芜状态。泥石流在坡面汇流后进入沟道,形成更强大的泥石流,使沟道内泥石流具有更强的侵蚀能力。因此将坡面坡度及沟床比降作为评价土地荒漠化间接指标,其指标分级见表 1。

土壤因子:土壤因子是反映土地荒漠化重要因子之一。① 土壤厚度和土壤有机质:文献^[6]根据实地样方调查及土壤样品分析数据,在土壤物理指标、化学指标等众多指标中对土地荒漠化程度贡献率进行了相关的运算和分析。其结果表明,在研究区,土壤物理指标中土壤层厚度与土地荒漠化有极显著的相关。在土壤化学指标中经分析显示,土壤有机质,全氮和有效氮与土地荒漠化有显著的相关性。② 泥石流堆积物面积和松散物质数量:泥石流堆积物面积是反映泥石流多发地区土地荒漠化程度的重要指标。由于泥石流堆积是一种混杂堆积,使泥石流堆积扇形成一个杂乱无章、大小混杂、分选性极差的堆积体,在后期洪水的改造下形成砾石滩,与戈壁滩

的景观极其相似,在这种滩地上植物生长困难,又常遭受泥石流的再次袭击,所以泥石流堆积扇上土地砂石化程度最为严重。松散物质数量间接地反映了泥石流物源区土壤侵蚀状况。因此将泥石流堆积物面积和松散物质数量作为评价泥石流多发地区土地荒漠化的指标(表 1)。

植被因子:土地荒漠化是在人和自然因素的综合作用下,地表环境退化的总过程,其实质是土地减弱或丧失生长绿色植物的能力^[6]。因此,植被因子是评价土地荒漠化的关键因子。植被盖度能很好地反映土地是否荒漠化和荒漠化的强弱程度。

应该指出的是,研究区降雨量和人类活动强度也是泥石流多发区土地荒漠化程度的重要影响因子,但由于降雨量和人类活动强度与泥石流多发区土地荒漠化程度的关系有待进一步研究以及定量资料收集方面的困难,本次研究没有考虑这两个影响因子。

2.3 土地荒漠化评价层次分析模型

基于上述评价因子,建立了泥石流多发地区土地荒漠化评价层次分析模型(图 2),重点从地貌因子、土壤因子、植被因子三方面进行评价,根据研究区土地荒漠化特点,选取切割密度、土壤有机质、泥石流堆积物面积、盖度等 8 个对土地荒漠化有重要影响的子因子。

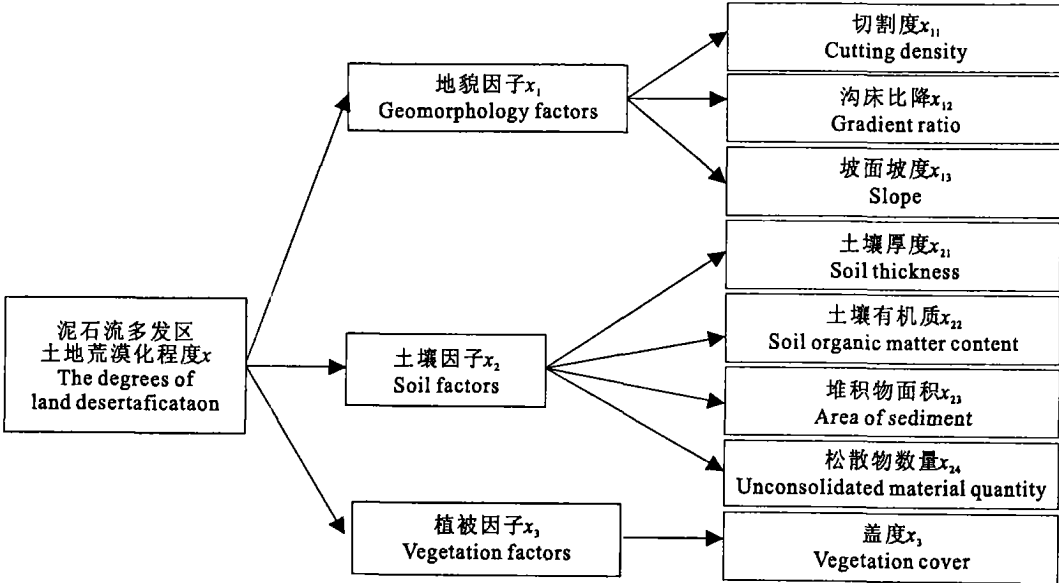


图 2 泥石流多发地区土地荒漠化评价层次分析模型

Fig.2 AHP analysis model of land desertification evaluation in debris flow activity region

3 土地荒漠化评价

3.1 模糊综合评判的数学模型及参数确定

采用多层次模糊综合评判方法,即先对低层次

结果进行高层次的综合评判。经过一个由低层次、小系统过渡到高层次、大系统的逐渐综合过程,实现土地荒漠化的模糊综合评价。

3.1.1 划分因子集并给出评语集 将整个土地荒漠化因素集 X 划分为地貌(X_1)、土壤(X_2)、植被

(X_3) 三个子集,即

$$X=\{X_1,X_2,X_3\}$$

三个子集分别为

$$X_1=\{x_{11},x_{12},x_{13}\},$$

$$X_2=\{x_{21},x_{22},x_{23},x_{24}\},$$

$$X_3=\{x_3\}$$

拟定土地荒漠化的评语集为:

Y = 无明显荒漠化,轻度荒漠化,中度荒漠化,强度荒漠化,极强度荒漠化。

3.1.2 确定评价因子的权重 利用层次分析法(AHP)^[9]求得各层因子权重,并按权重值确定各因子对土地荒漠化贡献的大小即相对重要程度,得到土地荒漠化权重集

$$X=(0.1634,0.5390,0.2969)$$

地貌因子子权重集为:

$$X_1=(0.5390,0.1634,0.2969)$$

土壤因子子权重集为:

$$X_2=(0.0969,0.2863,0.4348,0.1820)$$

植被因子子权重集为:

$$X_3=(1.0)$$

通过计算同一层所有元素相对最高层重要性的排序权重,进行层次总排序(见表 2)。层次总排序结果反映了各影响因子对土地荒漠化的贡献大小和相对重要程度,结果表明植被盖度和泥石流堆积物面积的作用最为显著。

表 2 层次总排序
Table 2 Hierarchy overall line in order

项目 Item	X_1	X_2	X_3	层次总排序权值 Weighting	排序 Order
X	0.1634	0.5390	0.2969	—	—
x_{11}	0.5390	0	0	0.0881	5
x_{12}	0.1634	0	0	0.0267	8
x_{13}	0.2969	0	0	0.0485	7
x_{21}	0	0.0969	0	0.0522	6
x_{22}	0	0.2863	0	0.1543	3
x_{23}	0	0.4348	0	0.2344	2
x_{24}	0	0.1820	0	0.0981	4
X_3	0	0	1	0.2969	1

3.1.3 单因素评价 选用升降半梯形分布,建立一元线性隶属函数,计算每个因子对各评语的隶属程度,并诱导出因子集的模糊关系 R ,即单因子评价矩阵:

$$R=\begin{bmatrix}r_{11}&r_{12}&\cdots&r_{1n}\\r_{21}&r_{22}&\cdots&r_{2n}\\\cdots&\cdots&\cdots&\cdots\\r_{n1}&r_{n2}&\cdots&r_{nr}\end{bmatrix}$$

式中: r_{ij} 为 i 因素对于 j 等级的隶属度。通过单因素评判矩阵,可了解各评价要素的土地荒漠化等级状况。

3.1.4 综合评判 评价因素被分为两层,因此,要作两级综合评判,即一级综合评判和二级综合评判。一级综合评判是由各类因子的权数 W_i 与该类的单因素评判矩阵 R_i 进行模糊变换,求得各类一级因子的评价结果 B_i ,即

$$B_i=W_i\cdot R_i=(b_1,b_2,\cdots,b_j,\cdots,b_n)$$

在模糊变换中,选用加权求和型,即

$$b_j=\sum_1^ma_ir_{ij}$$

式中: b_j 为一级评判结果矩阵的第 j 个元素, a_i 为单因子权重向量,实际计算中其值同 W_i , r_{ij} 为第 i 种评价因子对 j 等级的隶属度。

此变换法对所有因素依权重大小均衡兼顾。通过一级综合评判的评语 B ,可以从不同角度考虑土地荒漠化的等级状况。

二级综合评判是将每个 X_i 作为一个因素看待,用 B_i 作为它的单因素评判,于是构成单因素集 X 的单因素评判矩阵:

$$R=\begin{bmatrix}b_1\\b_2\\b_3\end{bmatrix}=(b_{ij})_{3\times5}$$

用土地荒漠化权数集 W 与 R 进行模糊变换,即得土地荒漠化的综合评语

$$B=W\cdot R$$

3.2 土地荒漠化模糊综合评价

采用前述模糊综合评判的数学模型进行小江流域蒋家沟土地荒漠化评价。首先对地貌各子因子进行评价,每一子因子对各评语的隶属程度:

$X_{11} = [0 \ 0 \ 0.96 \ 0.04 \ 0]; X_{12} = [0 \ 0.6 \ 0.4 \ 0 \ 0];$
 $X_{13} = [0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0]$

从而得到单因子评判矩阵

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.96 & 0.04 & 0 \\ 0 & 0 & 0.6 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

同理可得土壤单因子评判矩阵 R_2 及植被单因子评判矩阵 R_3 。

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0.1 & 0.9 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = [0 \ 0 \ 0.02 \ 0.98 \ 0]$$

再进行一级综合评判, 得到研究的泥石流沟谷土地荒漠化的各因子综合评判结果

$B_1 = W_1 \cdot R_1 = (0 \ 0 \ 0.4803 \ 0.5190 \ 0)$
 $B_2 = W_2 \cdot R_2 = (0 \ 0.0097 \ 0.0872 \ 0 \ 0.9031)$
 $B_3 = W_3 \cdot R_3 = (0 \ 0 \ 0.02 \ 0.98 \ 0)$

最后, 进行二级综合评判, 其单因素评判矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.4803 & 0.5190 & 0 \\ 0 & 0.0097 & 0.0872 & 0 & 0.9031 \\ 0 & 0 & 0.02 & 0.98 & 0 \end{bmatrix}$$

综合评判结果:

$$B = W \cdot R = [0.1634, 0.5390, 0.2969] \cdot \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{bmatrix} =$$

$$(0 \ 0.0522 \ 0.1314 \ 0.3758 \ 0.4868)$$

按照最大隶属原则, 该泥石流沟谷土地荒漠化属于极强度荒漠化。

4 结果验证及防治对策

研究表明, 泥石流多发区土地荒漠化过程始于森林植被受到破坏的裸露山区, 泥石流频繁活动加速了荒漠化过程; 生态环境的退化导致泥石流的产生和发展, 泥石流的强烈活动又加速了土地荒漠化过程, 这种恶性循环是泥石流多发地区土地荒漠化的特点。小江流域蒋家沟沟道两岸及沟口扇形地数百公顷良田由于泥石流的侵蚀和堆积作用已经变成砂石滩, 大部分堆积扇上草被稀疏, 甚至寸草不长, 犹如戈壁滩 (见图 3)。评价结果与该泥石流沟的实际荒漠化程度基本相符, 表明泥石流多发地区土地荒漠化的模糊综合评判方法是可行的, 具有较高的科学性。但评价结果的准确程度还依赖于各评价因子的数据来源的可靠性。

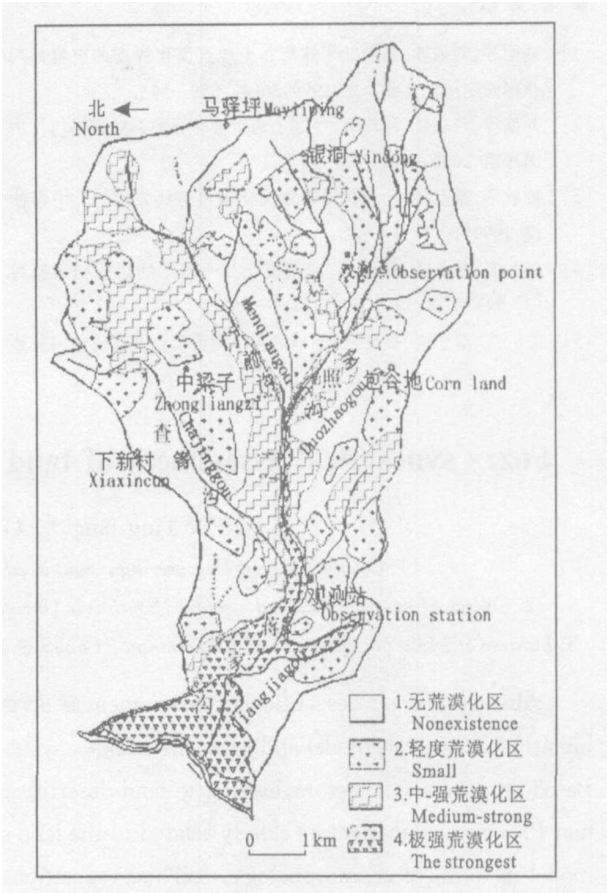


图 3 小江蒋家沟流域土地荒漠化评价图
(基础资料引自文献[10])

Fig. 3 The land desertification evaluation of debris flow activity region in Jiangjia Valley in Yunnan Province
(Relief date from literature [10])

如前所述, 在影响泥石流多发地区土地荒漠化的各种因子中, 植被盖度和泥石流堆积物面积的作用最为显著, 因此, 泥石流多发地区土地荒漠化的防治重点就在于增加植被和减少泥石流堆积物面积, 结合前人成功的经验, 可采用从上游到中游再到下游的稳、拦、排相结合的综合防治对策^[7]。稳主要是在宜林荒山区造林种草, 在流域上游修建谷坊, 以稳定沟床和坡脚, 起到稳床固坡的作用, 同时减缓上游的沟床比降, 达到抑制泥石流形成的目的。谷坊一般以谷坊群的形式出现, 形成一个相互保护的系统。拦即是在流域中下游修建拦砂坝, 拦蓄泥石流。拦砂坝是泥石流减灾工程中的控制性工程, 拦砂坝一般设计成开孔坝, 平时的洪水和较小颗粒的泥砂可以通过孔洞进入排导槽, 一旦大规模泥石流暴发, 拦砂坝拦截绝大部分粗颗粒物, 细颗粒物可以进入排导槽, 起到控制泥石流灾害的作用。排即是在下游修建排导槽, 排导槽起到束流排导的作用, 将泥石流排导到指定地带, 以保护下游农田的安全。

参 考 文 献:

[1] 刘刚才,刘淑珍.金沙江干热河谷土地荒漠化程度的土壤评判指标确定[J].土壤学报,1999,36(4):559—563.

[2] 刘淑珍,柴宗新,范建容.中国土地荒漠化分类系统探讨[J].中国沙漠,2000,20(1):35—39.

[3] 刘毅华,董玉祥.刍议我国的荒漠化与可持续发展[J].中国沙漠,1999,19(1):17—22.

[4] 张 宏,慈龙骏,孙保平.对荒漠化几个理论问题的初步探讨[J].地理科学,1999,19(5):446—450.

[5] 陈 杰,龚子同,高尚玉.干旱地区草场荒漠化及其评价[J].地理科学,2000,20(2):176—181.

[6] 刘淑珍,范建容,刘刚才.金沙江干热河谷土地荒漠化评价指标体系研究[J].中国沙漠,2002,22(1):47—51.

[7] 杜榕桓,康志成,陈循谦,等.云南小江泥石流综合考察与防治规划研究[M].重庆:科学文献出版社重庆分社,1987.1—84.

[8] 韦方强,刘淑珍,范建容,等.小江流域生态环境灾害与治理对策[J].自然灾害学报,2004,13(4):109—114.

[9] 许树伯.层次分析法原理[M].天津:天津大学出版社,1988.100—125.

[10] 吴积善,康志成,田连权,等.云南蒋家沟泥石流观测研究[M].北京:科学出版社,1990.99—139.

Fuzzy synthetical assessment of land desertification in debris activity region

CHEN Ting-fang^{1,2}, CUI Peng³, WANG Xue-jie²

(1. College of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;
2. College of environment and resource, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621002, China;
3. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China)

Abstract: Land desertification assessment is an issue of important theory of land desertification study. The hierarchical analysis model and assessment index system of debris flow region land desertification is firstly raised. Based on analysis of factors, loading to land desertification of the debris flow region in the Xiaojiang valley Yun-nan Province, eight factors closely related to the land desertification are chosen to establish a hierarchical analysis model in terms of geomorphology, soil and vegetation. According to the evaluation criteria system land desertifi-cation degrees are determined quantitatively with fuzzy evaluation.

Keywords: the debris flow activity region; land desertification; hierarchical analysis model; fuzzy evalua-tion

(上接第 177 页)

Current progress in water erosion prediction project

SHI Wan-li^{1,2}, YANG Qin-ke¹, ZHANG Guang-hui³

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;
3. Colledge of Geography and Remote Sense of Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: As a new generation prediction technology, Water Erosion Prediction Project (WEPP) is a guide to conservation planning and a tool for quantitative researches of soil erosion. In recent years, Geographic Infor-mation Systems (GIS) and Remote Sensing technologies have been introduced for generating, preprocessing and visual display of parameters in WEPP model. Meanwhile, the introduction of regionalization concept makes WEPP application in lager areas. This paper concentrated on the latest development of WEPP and briefly ana-lyzed some potential problems of WEPP applied in China. The object of this paper was to promote the develop-ment of soil erosion predicting model in China through calculating all the advantages and disadvantages of WEPP.

Keywords: WEPP; water and soil loss; predicting model; GIS