

黄土丘陵区不同降雨格局下土地利用的水土流失效应

卫伟^{1,2}, 陈利顶¹, 傅伯杰¹, 赵新峰¹, 黄志霖^{1,3}, 巩杰^{1,4}

(1. 中国科学院 生态环境研究中心 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3. 中国林业科学研究院, 北京 100091;

4. 兰州大学 资源环境学院, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 研究不同类型降雨事件下土地利用/覆被对水土流失过程的影响, 对于科学指导植被建设和控制水土流失具有重要意义。基于 14 a 径流小区观测数据, 依据降雨量、降雨历时和最大 30 min 雨强 3 个指标, 利用快速聚类的方法将定西市安家沟内产流性降雨事件划分为 3 种格局。总体而言, 降雨格局 2 为雨量集中、雨强很高而历时较短的降雨事件的集合; 降雨格局 3 为雨量分散、雨强小而历时很长的一类降雨事件的集合; 而降雨格局 1 则为雨强、历时等特征值都介于格局 3 和格局 2 之间的降雨事件的集合体。在此基础上, 着重研究了 5 种土地利用类型在不同降雨格局下的径流侵蚀规律。(1) 从静态观点来看, 5 种土地利用类型抵抗径流侵蚀的能力依次为沙棘 > 荒草 > 油松 > 苜蓿 > 小麦。苜蓿地的土壤侵蚀严重, 可能跟人为干扰破坏和苜蓿自身生长习性有关。(2) 3 种降雨格局中, 以降雨格局 2 下各土地利用类型的径流侵蚀最为严重, 降雨格局 1 次之, 降雨格局 3 最弱。即雨量集中、雨强很高而历时较短的降雨类型是影响该地区水土流失的主导因素。(3) 多年生植被 (如沙棘、油松等) 的径流侵蚀有随生长年数增长而减弱的趋势, 以生长初期最为严重, 随后逐渐减弱并稳定在一个较低的水平上。因而认为, 不同土地利用类型下的径流侵蚀不仅取决于该植被类型, 更重要的是决定于该植被所处的生长发育阶段。

关键词: 黄土丘陵区; 降雨格局; 土地利用; 水土流失

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2006)06—0019—05

中图分类号: S157.5

Soil and Water Loss Affected by Landuse Under Different Rainfall Patterns in the Semi-arid Loess Hilly Area

WEI Wei^{1,2}, CHEN Li-ding¹, FU Bo-jie¹, ZHAO Xin-feng¹, HUANG Zhi-lin^{1,3}, GONG Jie^{1,4}

(1. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Ecological Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 4. College of Resource and Environment, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: Study on soil and water loss affected by landuse/cover under different rainfall types plays a significant role in soil erosion control and vegetation restoration, which can give scientific guidance to the practice. Based on 14 years of measurements in the experimental hydrologic plots, different rainfall patterns were classified. Precipitation amount, duration and maximum 30 min intensity were selected as the comprehensive index to divide the local rainfall events into three different patterns. Generally, pattern 1 is the aggregation of those with medium intensities, durations and amounts. Pattern 2 is the aggregation of rainfall events with such features as high intensities and short durations. Pattern 3 is the aggregation of those with low intensities and long durations. Accordingly, runoff and erosion features of five landuse types governed by these three rainfall patterns, as well as their features in different years, are all stressed. The main results are shown as follows. Firstly, from the static point of view, the lands characterized by the mean runoff coefficients and mean erosion moduli are in the order of seabuckthorn > natural grass > Chinese Pine > alfalfa > wheat. The reason why alfalfa land has severe runoff and erosion may be related to its growing characteristics and human disturbance. Secondly, runoff and erosion under rainfall pattern 2 hold the most serious position, followed by pattern 1 and pattern 3. This means that rainfall events with high in-

收稿日期: 2006-05-23

修稿日期: 2006-09-08

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目 (2001BA606A—03); 国家自然科学基金项目 (40321101)

作者简介: 卫伟 (1978—), 男 (汉族), 河南封丘人, 博士研究生, 主要从事景观格局与生态过程研究。E-mail: wei7822@163.com。

通讯作者: 陈利顶 (1965—), 男 (汉族), 河南省辉县人, 博士, 研究员。E-mail: liding@rcees.ac.cn。

tensities and shorter durations play dominant roles in causing soil and water loss in the semiarid area. Lastly, perennial plants such as seabuckthorn and Chinese pine show a very clear trend that runoff coefficients and erosion modulus decrease with time. Soil and water loss is serious in the first several years after plantation, then decreases obviously and gets stable at a lower level. Therefore, more attention should be paid to the different stages of vegetation succession.

Keywords: loess hilly area; rainfall patterns; land use; soil and water loss

土地利用是影响径流侵蚀的一个重要的因素,通过合理调整土地利用结构可以改善土壤性状^[1-2],从而达到减轻或遏制水土流失的目的;反之,不合理的土地利用则会导致严重的土壤侵蚀。但是,土地利用对径流和侵蚀过程的影响受到很多因素的制约。研究发现,降雨过程的时空特征与流域水文效应之间存在着复杂的作用关系^[3]。不同类型的降雨事件下不同土地利用/覆被类型水土流失效应差别较大;即使是同样特征的降雨事件,由于发生的时间(如年份)不同,有可能产生不同的径流侵蚀效果。研究不同降雨格局特征下土地利用/覆被对水土流失及其过程的影响,对于科学开展土地利用结构调整和植被建设具有重要意义。目前关于这方面的研究相对匮乏,更多的学者侧重于研究单个降雨因子与不同植被类型对土壤侵蚀过程的影响^[4-5],并且大多基于降雨模拟试验研究,很少涉及到不同降雨格局特征下的径流侵蚀规律;也有学者划分了不同级别的降雨类型^[6-7],但多以某单一降雨特征值如降雨量、雨强等为衡量标准^[8-9],没有考虑基于多个降雨特征指标划分的降雨格局,而且较少从植被长期生长的动态角度来探讨土地利用在不同降雨格局作用下的径流侵蚀过程。本文基于多年的径流小区观测数据,通过综合分析各种降雨事件的特征,研究不同降雨格局和时间尺度下各种土地利用类型的径流侵蚀特征。

1 研究地区与方法

1.1 研究地区

研究地区位于甘肃省定西市的安家沟小流域(35°35'N, 104°39'E)。流域内气候属于中温带半干旱气候,多年平均气温 6.3℃, 10 年积温 2 239℃, 极端最高气温 34.3℃, 极端最低气温 -27.1℃, 年均降水量 427.0 mm, 降水少且年际年内分布不均, 其中 60% 以上集中在 7—9 月份, 且多暴雨。年蒸发量 1 510 mm。空气平均相对湿度 65.8%, 太阳辐射 591.1 J/cm², 年日照时数 2 409 h, 无霜期 141 d。属于典型的半干旱黄土丘陵沟壑区。

该地区的土壤主要是黄绵土母质基础上发育起来的灰钙质土, 平均厚度 40~60 m。土壤结构具有垂直节理, 土质疏松, 湿陷性强, 极易发生水土流失。

植被带为森林草原带干草原区。乔木种主要有油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)、侧柏(*Platycladus orientalis* L.)、山杏(*Prunus armeniaca* L.)等, 灌木有沙棘(*Hippophae rhamnoides* L.)、柠条(*Caragana* ssp.), 草本植物为紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)、红豆草(*Onobrychis vichfolia* Scop.)、针茅(*Stipa bungeana* Trin.)。主要的农作物有马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)、春小麦(*Triticum aestivum* L. cv *Leguan*)、玉米(*Zea mays* L.)、胡麻(*Linum usitatissimum* L.)以及豌豆(*Caragana kansuensis* Pobjark.)等。

1.2 试验布设及数据测定

选取研究区内(1986—1999年, 5—9月份)连续多年径流小区观测数据, 共包括 131 次产流降水事件(剔除无径流发生的降雨事件)。径流与侵蚀为试验小区实测数据。试验小区布设在安家沟小流域阴坡中部, 位于定西市水土保持研究所的野外气象站附近, 海拔 2 115 m。小区的垂直投影面积为 5 m × 10 m (农田、人工草地、自然草地)和 10 m × 10 m (灌丛和乔木林)。包括 5 种土地利用类型: 小麦、苜蓿、荒草、沙棘和油松, 分别代表农田、人工草地、自然草地、灌丛和乔木林。每个类型有 3 个重复。小区于 1985 年建成, 农田内为春小麦单作, 生长期进行除草、施肥等传统耕作处理。沙棘和油松的初始定植密度分别为 1 m × 1 m 和 2 m × 3 m。沙棘林由于长势好, 定植 4 a 后郁闭度即可达到 99%, 人为扰动极小。

利用 SM₁ 型雨量计和 SJ₁ 型虹吸式雨量计测算降水数据; 同时监测每次降水是否产生径流和侵蚀, 利用直尺测量径流池内的水位高度, 结合池的面积推算其径流量; 侵蚀的测定则是将池内雨水和泥沙混匀后, 用 250 ml 容量瓶盛取水和泥沙的混合物, 沉淀后烘干, 称量泥沙质量, 然后推算侵蚀量。

由于本研究所布设的 15 个径流小区均在阴坡, 相对高差不超过 50 m, 因而不考虑坡向、坡位、海拔高度等因素对径流侵蚀造成的可能影响。

1.3 指标选择及分析方法

根据研究需要, 选择降雨量、降雨历时、最大 30 min 雨强 3 个特征指标进行降雨格局划分。由于本研究所涉及的样本量较大, 不适宜选用层次聚类分

析中的 Q 型聚类法,而适宜于选择快速聚类分析(K-Means cluster analysis)方法进行聚类分析^[10]。后者不同于前者的地方在于,其聚类的具体数目要首先由用户指定,然后 SPSS 系统将属于各类的降雨事件进行自动归类。但是,具体分成多少类具有相当大的尝试性,有时候需要反复进行快速聚类,以求最终确定一个比较合适的聚类数目^[12]。理论上,如果分类结果中各个变量(即各个特征值)之间的 F 统计量的相伴概率都小于或远小于 0.05(即 $P < 0.05$),则认为聚类分析比较成功,聚类效果比较理想^[11]。

所有的数据均在 SPSS13.0 下进行分析处理。

2 结果与讨论

2.1 降雨格局的划分及特征分析

利用快速聚类分析方法最终将 131 次降雨事件分成 3 类,并进行单因素方差分析(One Way ANOVA)检验,结果显示降雨量、降雨历时、最大 30 min 雨强之间的 F 统计量的相伴概率均为 $P = 0.000 < 0.05$,证明各类之间差异显著,聚类成功。

然后分别整理属于 3 种降雨格局下的次降雨事件,在 SPSS 下进行统计特征分析,结果见不同降雨格局的统计特征(表 1)。

表 1 不同降雨格局的统计特征

类型	特征指标	极差	均值	标准差	变异系数	总和	次数
降雨格局 1	降雨量/mm	40.00	26.72	9.68	0.36	962	
	降雨历时/min	720.00	932.31	209.24	0.22	33 563	
	最大 30min 雨强/(mm·min ⁻¹)	0.63	0.14	0.12	0.86	—	36
降雨格局 2	降雨量/mm	39.90	14.09	7.87	0.56	1 253	
	降雨历时/min	555.00	215.62	166.63	0.77	19 190	
	最大 30min 雨强/(mm·min ⁻¹)	0.74	0.26	0.17	0.65	—	89
降雨格局 3	降雨量/mm	18.90	31.75	7.44	0.23	191	
	降雨历时/min	755.00	1 736.67	296.98	0.17	10 420	
	最大 30min 雨强/(mm·min ⁻¹)	0.18	0.11	0.07	0.64	—	6

3 种降雨格局的降雨事件次数分别为 36,89,6,降雨总量分别为 962,1 253,191 mm,说明该地区产生径流的降雨以降雨格局 2 为主,而降雨格局 1 影响力较弱,降雨格局 3 最弱。

3 种降雨格局的主要特征为:降雨格局 1 的降雨量、降雨历时、最大 30 min 雨强的均值都处于中间水平;降雨格局 2,其降雨量、降雨历时的均值最小,而最大 30 min 雨强的均值最大;降雨格局 3 的降雨量和降雨历时的均值都是最高的,而其最大 30 min 雨强的均值最低。从极差来看,降雨格局 1 和降雨格局 2 下的降雨量和最大 30 min 雨强都较降雨格局 3 稍高,说明前两种降雨格局的降雨量和最大 30 min 雨强都较后者更为分散。从变异系数来看,3 个特征指标在 3 种降雨格局下的变异程度不同。降雨格局 1

和降雨格局 3 以最大 30 min 雨强的变异最大,而降雨历时的变异最小;降雨格局 2 则是降雨历时的变异最大,降雨量变异最小。

总体而言,降雨格局 2 为雨量集中、雨强很高而历时较短的降雨事件的集合,降雨格局 3 为雨量分散、雨强小而历时很长的一类降雨事件的集合,而降雨格局 1 则为雨强、历时等特征值都介于格局 1 和格局 2 之间的所有降雨事件的集合体。

2.2 不同降雨格局下土地利用的水土流失效应

2.2.1 不同降雨格局下土地利用对径流侵蚀的影响

通过对不同土地利用类型下的多年平均径流系数和多年平均侵蚀模数进行分析,发现在不同降雨类型冲击下,不同土地利用类型之间的径流和侵蚀表现出明显的差异性(表 2)。

表 2 不同降雨格局下各土地利用类型的多年平均径流系数和侵蚀模数比较

t/km²

土地利用	降雨格局 1		降雨格局 2		降雨格局 3	
	径流系数	侵蚀模数	径流系数	侵蚀模数	径流系数	侵蚀模数
小麦	5.52	1 032.47	15.12	6 298.62	4.57	68.29
苜蓿	5.28	681.76	13.52	2 542.52	4.25	67.38
沙棘	3.36	29.31	3.65	100.57	1.70	0.62
油松	4.14	99.02	12.27	655.00	3.67	6.10
荒草	3.98	74.14	7.38	452.76	2.87	7.43

从表 2 可知,5 种不同的土地利用类型,降雨格局 2 下的多年平均径流系数和多年平均侵蚀模数都是最高的;径流系数和侵蚀模数最小的为降雨格局 3;而降雨格局 1 下产生的径流侵蚀处于中间水平。同时还发现,在产生侵蚀的条件下,侵蚀模数和径流系数呈现一定的正相关性,侵蚀模数高的土地利用类型下,其径流系数也一般较高。但反之则未必。

3 种降雨格局下径流侵蚀的发生机理是不同的。降雨格局 2 下的径流多为瞬间产流,土壤入渗速度低于降雨积累于地表的速率而发生的超渗产流,这是本研究区域甚至整个西北黄土高原区域的主要侵蚀形式;降雨格局 3 下所产生的径流一般为土壤入渗至水分饱和,达到土体的最大水分承载力条件下发生的径流与侵蚀;降雨格局 1 下的径流侵蚀为上述 2 种径流与侵蚀机理并存。

进一步对比不同土地利用类型,发现在 3 种降雨格局下,沙棘的多年平均径流系数和侵蚀模数都是最低的,其次分别是荒草、油松、苜蓿,而以小麦的径流系数和侵蚀模数最高。在试验中选择这 5 种土地利用类型主要是它们分别代表灌丛、自然草地、人工林、人工草地和农田。

因此,从静态观点来看,沙棘具有明显优于其它土地利用类型的遏制水土流失的效果;荒草地次之,效果也很佳;人工油松林作用逊色于前两者,但优于苜蓿;以农田小麦的水土保持效果最差。然而,各土

地利用类型的水土保持能力还与人为扰动有关。近自然状态下的土地利用类型(如沙棘)受到的扰动少、强度低,对土壤层和植被层的破坏作用小;而农田和其它人工植被类型由于在耕种、除草、收割、搬运等一系列生产过程中对于土壤层的严重破坏^[12-13],以及地表覆盖度的降低(甚至在收割以后会形成地表裸露期),从而极易诱发严重的水土流失。

一些研究认为,多年生豆科植物苜蓿适宜作为干旱半干旱地区主要的生态修复草种,因为它的根系强劲发达可以吸收水分(主根入土可达 3~4 m^[14]),根部还有根瘤菌可以固氮,而且地面生长高度可达到 1 m,因此具有良好的抗旱增肥功效^[15]。但我们研究发现,苜蓿抵御土壤侵蚀的功效并不理想,其侵蚀程度仅低于小麦,而高于其它土地利用类型。主要原因可能有两个,一方面,由于苜蓿本身是优良的饲料和草料,因而在许多区域被当地农民大面积收割,致使苜蓿生长受到压制破坏、土层扰动、地表裸露,从而导致水土保持作用下降;另一方面,研究表明苜蓿具有“抽水机”效应,它的生长是建立在大量消耗深层土壤水分基础之上的,进而形成了土壤干层,严重恶化土体理化性质,造成土壤颗粒内聚力大幅下降,抗冲抗蚀性减弱。因此不仅没有起到水保效果,还适得其反。

2.2.2 不同降雨格局下径流侵蚀的年际变化 3 种降雨格局下,各土地利用类型的径流侵蚀年际变化如图 1—3 所示。

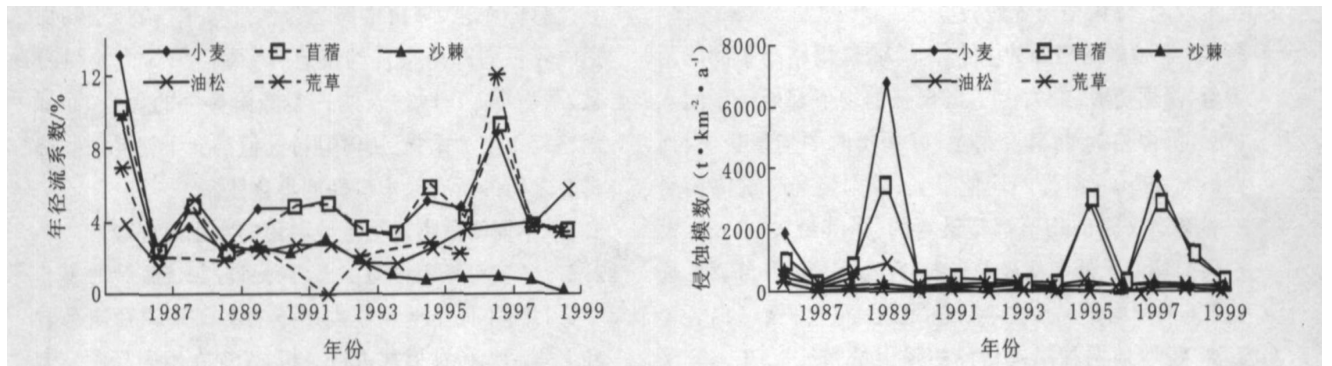


图 1 降雨格局 1 下各土地利用的径流侵蚀年际变化

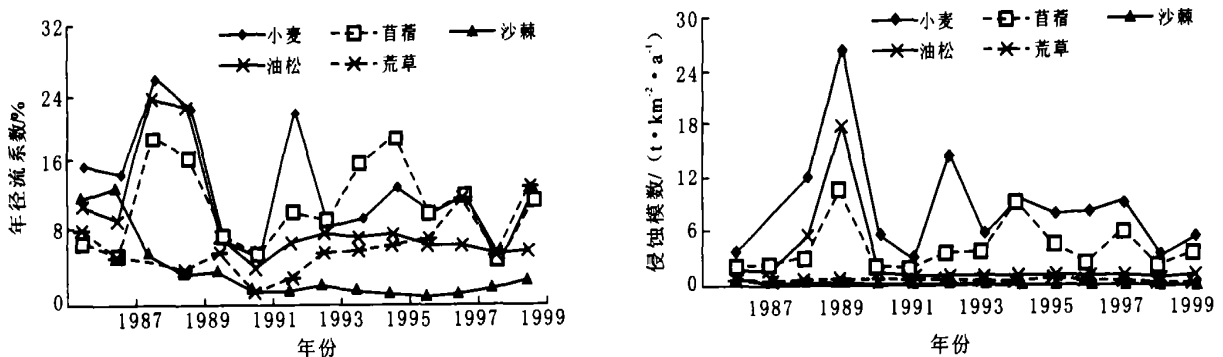


图 2 降雨格局 2 下各土地利用的径流侵蚀年际变化

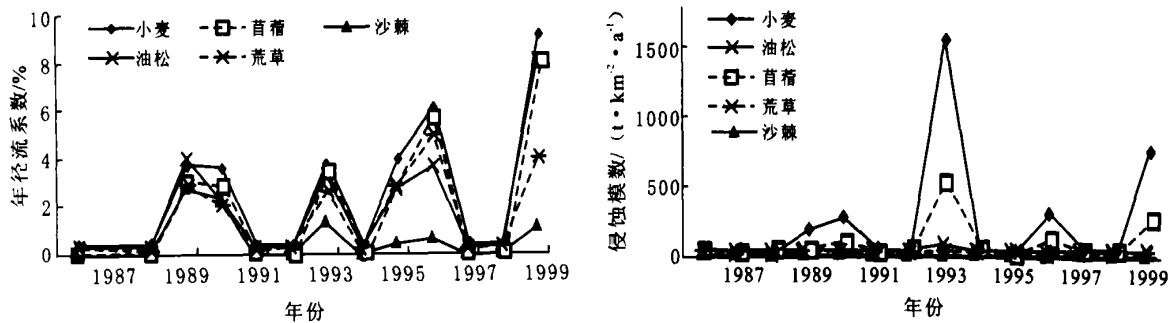


图3 降雨格局3下各土地利用的径流侵蚀年际变化

从图1—3可知,3种降雨格局下径流系数和侵蚀模数的年份间差异很大。总体而言,在降雨格局2的控制下,各种土地利用类型下的年平均径流系数和年平均侵蚀模数最大,说明这种格局的降雨事件是决定径流侵蚀格局产生和发展的主要因素;其次为降雨格局1;最弱的为降雨格局3,径流侵蚀很弱,影响力最小。也就是说,各土地利用内的径流与侵蚀对不同降雨类型的敏感程度是不同的,对降雨格局2最敏感,格局1次之,格局3最弱。

5种土地利用类型中,仍然以小麦的年径流侵蚀最为严重,其次为苜蓿,在个别年份苜蓿的径流侵蚀甚至高于小麦的径流侵蚀,然后按照油松、荒草地、沙棘依次递减。另外,还发现,在降雨格局2主导下,多年生植被的多年平均径流系数和多年平均侵蚀模数有随生长年数增长减弱的趋势,如沙棘、油松等在生长初期的3~4a内,径流系数和侵蚀模数均较高,而自1990年以后急剧下降,并稳定在一个很低的水平上。特别是沙棘,在生长的初期,如1986年,1987年内的径流和侵蚀都比较严重,相同年份内对应的平均径流系数和侵蚀模数仅稍低于小麦,高于苜蓿、荒草地和油松,而后随着时间的推移,其径流侵蚀逐年迅速下降。1988年的侵蚀模数仅高于荒草地,自1990年以来降至最低水平,成为5种土地利用类型中径流侵蚀最弱的一种。

3 结论

(1) 从静态观点来看,5种土地利用类型中,沙棘的多年平均径流系数和多年平均侵蚀模数均为最低,其次分别是荒草地、油松,多年平均径流系数和多年平均侵蚀模数依次升高,发现苜蓿抵御土壤径流与侵蚀的能效较差,其径流系数和侵蚀模数仅小于小麦,而高于其它土地利用类型,认为可能跟人为破坏和苜蓿自身生长习性有关。因此认为人为干扰下的土地利用类型水土保持效果要远高于受干扰破坏严重的土地利用类型。

(2) 3种降雨格局中,以降雨格局2所占的比重最大,同时该格局下各土地利用类型的径流侵蚀也最为严重,降雨格局1次之,降雨格局3最弱。即该地区雨量分散、雨强很高而历时较短的降雨事件是影响水土流失的主导性降雨因素。

(3) 不同年份下多年生植被的径流侵蚀有随生长年数增长而减弱的趋势,以生长初期(最初几年)的径流侵蚀最为严重,随后逐渐减弱并稳定在一个很低的水平上。因而认为,不同土地利用类型下的径流和侵蚀不仅仅取决于该植被类型,更重要的是决定于该植被类型所处的生长时期和发育阶段。

[参 考 文 献]

- [1] Fu B J, Chen L D, Ma K M, et al. The relationship between land use and soil conditions in the hilly area of the Loess Plateau in northern Shaanxi, China [J]. *Catena*, 2000, 39: 69—78.
- [2] Chen L D, Messing I, Zhang S R, et al. land use evaluation and scenario analysis towards sustainable planning on the Loess Plateau in China: case study in a small catchment [J]. *Catena*, 2003, 54: 303—316.
- [3] Morin E, David C G, Robert A M, et al. Spatial patterns in thunderstorm rainfall events and their coupling with watershed hydrological response [J]. *Advances in Water Resources*, 2006, 29(6): 843—860.
- [4] 沈玉芳,高明霞,吴永红. 黄土高原不同植被类型与降雨因子对土壤侵蚀的影响研究 [J]. *水土保持研究*, 2003, 10(2): 13—16.
- [5] 李铁军,李晓华. 森林植被防止地表侵蚀机制研究 [J]. *水土保持科技情报*, 2003(4): 23—25.
- [6] 焦菊英,王万忠,郝小品. 黄土高原不同类型暴雨的降水侵蚀特征 [J]. *干旱区资源与环境*, 1999, 13(1): 34—41.
- [7] Yeh H Y, Wensel L C, Turnblom E C. An objective approach for classifying precipitation patterns to study climatic effects on tree growth [J]. *Forestry Ecology and Management*, 2000, 139: 41—50.

(下转第47页)

花岗岩陡崖,呈微风化状,岩坡还长有许多小树、灌木,已无明显的产砂和坍塌现象。陡崖脚为老溜砂坡,宽 100 m,长满树和灌丛。靠公路边,因公路开挖拓宽,引起 70~100 m 的砂坡坍塌溜动。砂坡由中、粗砂夹较大岩块组成。2001 年砂坡中上部发生一次较大溜砂,近万方砂夹块石向公路溜滑,推垮挡砂墙 60 m,近千方砂、块石堆在公路阻断交通 2 d,现约有 8 000 m³ 的砂夹块石仍堆在砂坡中下部。

4.2 防治措施

(1) 鉴于砂坡中、下部大块危石太多,所以首先清除砂坡的大块危石。

(2) 因砂坡下部太松散,所以需进行深部固砂处理,在原挡砂墙内侧布设 6 排微型花管树根桩,排距桩间距均为 1 m,梅花型排列。

(3) 砂坡严重段有 60 m 长,可选用抗滑挡砂棚方案,其余可采用加高原挡砂墙方案,原挡砂墙高 2.5 m,加高到 5 m。

(4) 加高后的挡砂墙高 5 m 满足不了抗倾覆稳定性的要求,所以还应对挡砂墙进行加固处理,可采用锚杆挂网喷护混凝土措施。

(5) 坡面基本稳定,不发生溜砂后,应立即实施格梁锚杆植被护坡工程,护坡的宽度 20 m 左右,其余自然恢复植被。

以上防护措施见剖面示意图(图 6)。

5 结论与建议

固砂工程作为溜砂坡防治措施的一种,本文对其力学机理作了初步的探讨,得出以下结论。

(1) 注浆工程本身的竖向浆柱可起锚固效应,相邻浆柱间可起土拱效应,产生的侧向浆脉也起锚固效

应,有利于砂坡深部稳定。

(2) 生物工程的植被深根可起锚固效应,盘结的浅根能起加筋效应,有利于砂坡浅部稳定。

(3) 2 种固砂措施各有优缺点,有机结合能使溜砂坡得到标本兼治的效果。

(4) 鉴于生物工程需在砂坡停止溜砂后进行,因此溜砂坡的治理可以分两期进行:先实施土木工程,待到停止溜砂后实施生物工程。

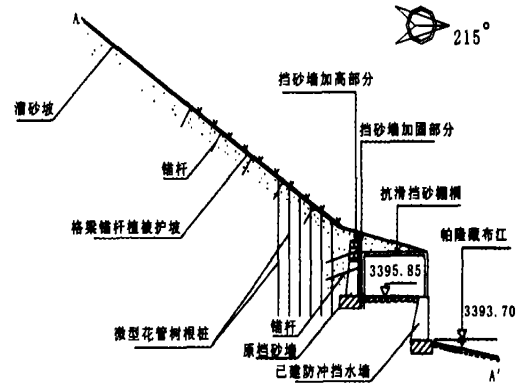


图 6 溜砂坡防护措施剖面示意图

[参 考 文 献]

- [1] 王成华,梁光模,张小刚,等.川藏公路中坝段溜砂坡发生机理与防治关键技术示范研究报告[R].2003.60—88.
- [2] 邹越强,李彬.树根桩防治滑坡的研究[J].合肥工业大学学报,1994,17(1):120—124.
- [3] 张俊云,周德培,李绍才.高速公路岩石边坡绿化方法探讨[J].岩石力学与工程学报,2002,21(9):1400—1403.
- [4] 吴积善,王成华,程尊兰.中国山地灾害防治工程[M].北京:科学出版社,1997.220—221.
- [8] Kirkby M J, Bracken L J, Shannon J. the influence of rainfall distribution and morphological factors on runoff delivery from dryland catchments in SE Spain[J]. Catena, 2005,62:136—156.
- [9] Salles C, Poesen J, Daniel. Kinetic energy of rain and its functional relationship with intensity[J]. Journal of Hydrology, 2002,257:256—270.
- [10] Horvath S. spatial and temporal patterns of soil moisture variations in a sub-catchment of River Tisza[J]. Physics and Chemistry of the Earth,2002,27:1051—1062.
- [11] 余建英,何旭宏.数理统计分析与 SPSS 应用[M].北京:人民邮电出版社,2003.257—276.
- [12] Ruyschaert G, Poesen J, Verstraeten G, et al. Inter-annual variation of soil losses due to sugar beet harvesting in West Europe[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2005,107:317—329.
- [13] Ruyschaert G, Poesen J, Verstraeten G, et al. Soil losses due to mechanized potato harvesting[J]. Soil & Tillage Research,2005, in press.
- [14] 杨玉海,蒋平安,艾尔肯,等.种植苜蓿对土壤肥力的影响[J].干旱区地理,2005,28(2):248—251.
- [15] Sillon J F, Richard G, Cousin I. Tillage and traffic effects on soil hydraulic properties and evaporation[J]. Geoderma,2003,116:29—46.

(上接第 23 页)