

文章编号:1005-0930(2009)06-0819-12 中图分类号:S157 文献标识码:A
doi:10.3969/j.issn.1005-0930.2009.06.002

论流域水土保持中水保与土保的关系

马乐宽, 倪晋仁, 李天宏

(北京大学环境工程系, 水沙科学教育部重点实验室, 北京 100871)

摘要:为揭示水土保持中“水保”和“土保”的关系,运用水资源结构分析方法,探讨了流域“水流失”的内涵.在此基础上,以安塞纸坊沟为例,利用土壤侵蚀的特征指标和水流失的特征指标分别表征土壤侵蚀和水流失,分析了水流失与土壤侵蚀之间的关系,并对不同目标下的水土保持用水进行了讨论.结果表明:水流失本质上就是流域生态环境水向潜在资源水和灾害水转化的过程;1938—1999年间纸坊沟流域水流失与土壤侵蚀的强度与程度之间均有较好的相关关系;纸坊沟流域土保可达到微度侵蚀的目标,此时的径流量约为 $6.77 \times 10^4 \text{m}^3$,基本可满足河道生态环境需水以及一定社会经济用水的需求.

关键词:水土保持;水流失;水保;土壤侵蚀;土保;水土保持用水

水土流失与土壤侵蚀在不同的研究论文中多以同义语出现,但严格说来,二者的含义略有不同.按照中国水利百科全书定义^[1],水土流失是指“在水力、重力、风力等外营力作用下,水土资源和土地生产力遭受的破坏和损失,包括土地表层侵蚀及水的损失,又称水土损失”;土壤侵蚀则指“土壤或其他地面组成物质在水力、风力、冻融、重力等外营力作用下,被剥蚀、破坏、分离、搬运和沉积的过程”.根据该定义,水土流失应包括土壤侵蚀与水的流失.但根据全国科学技术名词审定委员会的规范要求,水土流失是指在水力侵蚀作用下水与土从原地的搬运和流失^[2].因此,狭义的水土流失不包含风力、重力等外营力作用下的土壤侵蚀,狭义的土壤侵蚀也不包含水的流失,二者的交集是水力作为外营力时的土壤侵蚀.

水蚀区流域水土流失可俗解为“水流失”与“土流失”之总称,其中“土流失”即为土壤侵蚀.相应地,水土保持可以直观地理解为“水保持”和“土壤保持”,简称为“水保”与“土保”.我们习惯于说“水土流失”,但过去的研究却多集中于“土壤侵蚀”,很少关注“水土流失”与“土壤侵蚀”的差异,更少重视“水流失”与“土壤侵蚀”的关系.我们经常说“水土保持”,但过去的研究却多侧重于控制土壤侵蚀,较少关注“土保”的用水代价,更少重视“水保”与“土保”的关系.

收稿日期:2008-04-04;修订日期:2009-04-12

基金项目:国家重点基础研究发展计划项目(2007CB407202)

作者简介:马乐宽(1979—),男,博士研究生.

通讯作者:倪晋仁(1962—),男,教授,博士生导师. E-mail:nijinren@iee.pku.edu.cn

直至 20 世纪 80 年代后期我国北方许多河流下游径流量快速减少、特别是黄河下游断流日趋严重的情况下,人们才开始关注水土保持措施对径流量的影响.先后有若干重大基金项目对黄河中游河龙区间水土保持措施的减水效益进行了计算^[3],不少学者就水土保持措施对黄河下游径流量的影响展开讨论^[4-5].近年来,在评价水土保持措施的效益时,减水效益与减沙效益一样,也成为重要的指标^[6],水土流失中的水流失量也逐渐引起人们的重视^[7].然而这些研究多侧重于描述水土保持措施减少的水量,严格说来并没有对水流失的内涵进行深入的分析,也没有对“水保”与“土保”的关系进行深入的探究.

事实上,黄土高原区的土壤侵蚀以水力侵蚀为主.在水蚀区,既然水力是侵蚀的驱动因子,那么加强对水流失与水保持的研究应该更有利于从根本上解决土壤侵蚀问题,仅关注土壤侵蚀与土壤保持似乎并不能做到“标本兼治”.位于干旱半干旱区的黄土高原还面临着水资源短缺的威胁,水流失必然会使水资源供需矛盾更加突出,同时也会使下游的洪水风险有所增加.因此,深入认识水流失的内涵,进而探讨“水保”与“土保”的关系,对于该区的水土流失治理以及水资源的可持续利用均有十分重要的意义.

基于上述认识,本文首先对水流失的内涵进行分析,然后利用近年来水流失与土壤侵蚀的表征指标^[8],通过安塞纸坊沟的案例研究探讨“水保”与“土保”之间的关系,最后对不同土壤保持目标下的用水情况进行情景分析.

1 水流失的内涵

按字面意义,“流失”是指有用物质的散失.就水流失来说,应是可用的、本该利用的水资源的散失.而水资源中哪些部分是可用的、本该利用的,这属于水资源结构的问题.因此,从分析水流失对水资源结构的影响出发,应该有助于认识水流失的内涵.

1.1 水资源结构分析方法

根据水资源服务对象或功能的不同,河流水资源可划分为生态环境水、资源水与灾害水等若干部分^[9],其中资源水可进一步划分为潜在资源水与消耗资源水.生态环境水是指满足河流系统功能正常发挥所需的水量;资源水是指在尽量不损害河流系统功能且不会导致洪水灾害的流量情况下,河流可供沿岸社会经济发展利用的水量;灾害水是指超过河道过流能力而可能引起洪水灾害的水量,一般仅在汛期存在.其中潜在资源水是指资源水中可被但未被人们利用的水量,而消耗资源水是指资源水中实际被人们利用的水量.生态环境水与资源水的界限可以利用河流生态环境需水计算方法来确定^[10],而资源水与灾害水的界限通常可以用平滩流量来划分.

上述关于狭义水资源范畴(即河流径流)的水资源结构分析可加以推广应用到基于广义水资源范畴(即降水)下对整个流域水资源的分析.在分析流域水资源结构时,仍可以从生态环境水、资源水与灾害水 3 方面来考虑,但其生态环境水与分析河流水资源结构时有所不同.流域生态环境水通常包括河道、植被、湖泊、湿地与城市 5 类生态系统的需水,考虑到小流域中城市、湖泊与湿地生态系统通常分布较少,因此在分析小流域的水资源结构时,其生态环境水主要考虑植被与河道两大系统.

1.2 水流失造成的水资源结构变化

水土流失治理可看作水土流失加剧的逆过程,因此可以通过治理沟与非治理沟之间的对比来分析水流失引起的水资源结构变化.例如,韭园沟与裴家峁沟是无定河中游的2条支沟,相距6km,均属黄土丘陵沟壑区,1954年将韭园沟设定为治理沟,而将裴家峁沟作为对比沟.1961—1967年韭园沟与裴家峁沟降水量及年径流季节分配特征如表1和图1所示^[11].

表1 1961—1967年韭园沟与裴家峁沟年降水量及年径流量季节分配特征
Table 1 The seasonal variation of precipitation and runoff of Jiuyuanguou Watershed and Peijiamagou Watershed from year 1961 to 1967

流域	3—5月		6—8月		9—11月		12—2月		年总量	
	降水量 /mm	产流模数 /m ³ /km ²	降水量 /mm	产流模数 /m ³ /km ²	降水量 /mm	产流模数 /m ³ /km ²	降水量 /mm	产流模数 /m ³ /km ²	降水量 /mm	产流模数 /m ³ /km ²
韭园沟	93.9	6518	260.8	17798	155.4	17022	11.4	6199	521	47538
裴家峁沟	92.8	7654	254.7	27156	159.8	17498	11.4	5257	519	57565

通过韭园沟与裴家峁沟降水径流特征对比可以看出,二者降水量接近,但作为对比沟的裴家峁沟年产流模数(57565m³/km²)明显大于治理后的韭园沟(47538m³/km²).从水量平衡的角度来看,说明裴家峁沟实际利用的水资源较少,而较多地以径流方式流出该流域.在径流量季节分配上,裴家峁沟表现出汛期径流量较大而枯水期径流量较小的特征.从各季节产流模数的绝对数量来看,6—8月裴家峁沟产流模数为27156m³/km²,比韭园沟的17798m³/km²高出近10000m³/km²;而在12—2月,裴家峁沟的产流模数反而比韭园沟低.从各季节产流模数占全年的比例来看,6—8月裴家峁沟比韭园沟高出近10个百分点,而其它季节均比韭园沟低,表现出径流量年内分布不均匀的特征.

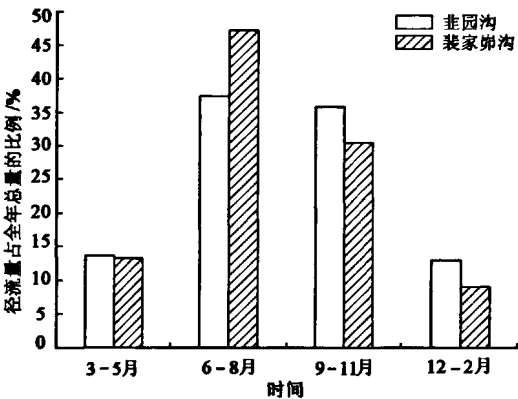


图1 1961—1967年韭园沟与裴家峁沟径流量季节分配比较

Fig.1 Comparison of seasonal variation of runoff between Jiuyuanguou Watershed and Peijiamagou Watershed from 1961 to 1967

可以看出,流域水流失的影响直接表现为加剧水资源时间分布的不均匀度,即汛期径流量增加而枯水期径流量减少.这一影响必然导致流域水资源结构发生重大变化.为简化讨论,暂不考虑社会经济发展使消耗资源水增加的情况.由于人们具有不管径流量大小都要满足自身需水的倾向和行为,因此消耗资源水无论在汛期还是枯水期均可认为保持稳定.

人类活动对水土流失的影响主要表现在对地面自然植被的干扰和破坏^[12].与治理沟相比,非治理沟通常的植被覆盖率较低而河道输沙量较高,这在流域水资源结构上直接表现为植被生态用水的减少.同时,水土流失加剧导致汛期流量增加而枯水期流量减少,因

此在汛期,多于生态环境水与消耗资源水的水量均以潜在资源水和灾害水的形式从流域输出,其中部分水资源是可利用、本该利用但未被利用的.在枯水期,当径流量减少到不能同时满足消耗资源水与生态环境水时,则会出现消耗资源水挤占生态环境水的情况.生态环境需水不能满足必然导致生态环境恶化,反过来进一步加剧水土流失,形成恶性循环.

如果考虑社会经济发展使消耗资源水增加的情况,则枯水期消耗资源水与生态环境水之间的矛盾将会进一步加剧;而如果流域水流失持续加剧,则当枯水期径流量进一步减小到低于消耗资源水时,上游社会经济用水就面临更大威胁.

1.3 水流失与水保持的内涵

从上述水资源转化结构分析来看,水流失本质上就是生态环境水向潜在资源水和灾害水转化的过程.其原因是水资源在时间分布上不均匀的加剧,其危害是加剧水资源供需矛盾,生态环境水受挤占而导致流域自然生态系统退化,水流失进一步加剧,形成恶性循环,逐渐威胁到社会经济用水.水保持可理解为阻碍水流失的过程,其目的就是要保障流域的生态环境用水.

2 研究区概况

在明确水流失内涵的基础上,本文以位于黄土高原水蚀区的安塞纸坊沟小流域为研究区域,进一步对水流失与土壤侵蚀之间的关系进行探讨.纸坊沟是延河主要支流杏子河下游的一级支沟,流域面积约为 8.27km^2 ,属于黄土丘陵沟壑区第二副区.流域内土壤类型单一,以黄褐土(俗称黄绵土)为主.流域地处森林草原地带,为乔木落叶阔叶林北界,现有植被以人工林为主.在气候上,纸坊沟流域处于暖温带半湿润气候向半干旱气候的过渡带,多年平均降水量为 542.5mm ,年内降水主要集中在6—9月,多以暴雨形式出现.流域内平均海拔 1200m 左右,上下游高差 210m ,地貌表现为典型的梁峁状黄土丘陵地貌,沟谷密集、地面起伏大^[13].

纸坊沟流域从20世纪70年代起即成为水土保持的示范区,经过多年的综合治理,生态环境有了极大的改善,同时对纸坊沟长期的观测和研究积累了较为充足的数据资料.本文主要利用纸坊沟流域1938—1999年期间15年的土地利用资料以及1985—1999年期间的降雨、径流和输沙数据来进行研究.

3 水流失的表征

为从实证的角度定量地探讨水保与土保的关系,需要采用适当的指标来表征水流失与土壤侵蚀.本节主要讨论水流失表征的问题.

水流失本质上是生态环境用水的流失,因此流域生态环境用水的多少即反映了水流失的严重程度.考虑到本文侧重于探讨水流失与土壤侵蚀之间的关系,而不是精确计算流域生态环境需水量,因此可以构建表征流域生态环境用水相对大小的指标来表征水流失的严重程度.通常情况下,确定的生态系统均有一个较为稳定的用水范围,即生态环境用水主要决定于生态系统的类型和面积.对于流域来说,其生态环境用水主要决定于流域内各生态系统的类型及其面积,在某种程度上即为流域的土地利用结构.因此,各类生态系统对流域生态环境用水的贡献大小可用一个反映其贡献能力的权重与其面积来表征,从

而可以构建流域生态环境用水特征指标 (Eco-environmental Water Use Indicator), 如公式(1)所示.

$$EWUI = \frac{\sum e_i \cdot S_i}{S} \times 100$$

(1)

式中, $EWUI$ 是流域生态环境用水特征指标; e_i 是第 i 类生态系统对流域生态环境用水的重要性权重, 可通过层次分析法^[14]来确定. S_i 为第 i 类生态系统的面积, S 为流域面积, 可以通过土地覆盖图来获取. 值得指出的是, $EWUI$ 与水流失程度成反比, 即 $EWUI$ 的值越大, 表明水流失程度越轻微.

层次分析法^[14]是一种应用广泛的多准则决策方法. 其基本思想是将待解决的问题分解为若干因素, 并根据它们之间的隶属关系建立起层次结构. 运用专家知识对隶属于同一高层元素的各元素两两比较, 采用 1—9 及其倒数的标度方法表示两元素之间的相对重要性. 数值 1、3、5、7、9 分别表示两元素比较时前者较后者同等重要、稍重要、明显重要、强烈重要和极端重要, 2、4、6、8 则表示介于它们之间的情况, 后者与前者比较的重要性标度采用上述各对应值的倒数表示. 元素两两比较的结果可以组织为一个判断矩阵, 通过计算该矩阵的特征向量即可求得该矩阵中各元素的权重. 在对两个元素间的相对重要性进行标度时存在一定的不确定性, 可能会导致求得的权重出现矛盾的情况 (如 A 比 B 重要, B 比 C 重要, 但又出现 C 比 A 重要的情况), 因此需要根据判断矩阵的最大特征根计算出矩阵的一致性比例 CR, 对矩阵的一致性进行检验 ($CR < 0.1$ 则通过检验, 否则就需要对矩阵进行调整). 如果建立的层次结构有多层, 还需要将各层的结果加以组合, 计算出各元素对层次结构总目标的权重, 并计算总的一致性比例以检验整个层次结构的一致性.

纸坊沟流域可划分为耕地、果园、林地、草地、居民地、水体、荒地共 7 类生态系统, 各类生态系统的权重如表 2 所示. 根据各类生态系统的面积及权重, 可得纸坊沟流域 1938—1999 年各期水流失表征指标 $EWUI$ 的值, 用以反映其水流失严重程度.

表 2 纸坊沟流域不同类型生态系统对流域生态环境需水影响的判断矩阵及权重

Table 2 Pairwise comparison matrix and weights for ecosystems subject to eco-environmental water use of Zhifanggou Watershed

	耕地	果园	林地	草地	居民地	水体	荒地	权重
耕地	1	1/2	1/7	1/5	2	1/8	1/3	0.0337
果园	2	1	1/6	1/3	3	1/7	1/2	0.0509
林地	7	6	1	4	7	1/3	5	0.2702
草地	5	3	1/4	1	5	1/4	3	0.1230
居民地	1/2	1/3	1/7	1/5	1	1/9	1/4	0.0253
水体	8	7	3	4	9	1	7	0.4180
荒地	3	2	1/5	1/3	4	1/7	1	0.0718

注: 一致性指标 $CR = 0.0526 < 0.1$, 通过一致性检验.

另一方面, 如果将流域视为一个黑箱, 则降水量是其水资源输入的主要途径, 而蒸发与径流则是水资源输出流域的主要途径. 考虑到蒸散发通常是植被生态系统蒸散作用的结果, 可视为已被流域所利用, 因此可不算作水流失. 而径流量则是流域未经利用而输

出的水资源,因此可将其作为水流失严重程度的一个直接度量.

这样,对于流域水流失可考虑用2个指标描述:一是基于土地利用结构而建立的“相对指标”*EWUI*;二是径流量这一“绝对指标”.由于二者均是表征水流失,同时考虑到土地利用结构比径流量数据相对容易获取,因此我们可以利用有限的径流量数据对*EWUI*加以率定,以便在径流量数据缺乏时可用*EWUI*作为替代来展开研究.

纸坊沟不同时期平均降雨量、径流量与生态环境用水特征指标*EWUI*如表3所示,为消除降雨年际波动的影响,本文利用各变量的5年平均值进行分析.径流量与*EWUI*的率定曲线如图2所示.可以看出,在多年平均降水量基本保持不变的情况下,径流量与*EWUI*具有较好的相关关系($R^2=0.944$).

表3 纸坊沟不同时期平均降水量、径流量与生态环境用水特征指标
Table 3 Annual precipitation, runoff and *EWUI* of Zhifanggou Watershed in different periods

年份	年降水量/mm	径流量/ 10^4 m^3	<i>EWUI</i>
(治理前)	549.10	76.20	7.84
1985—1989	567.82	45.72	10.13
1990—1994	556.54	38.40	11.89
1995—1999	415.42	5.61	13.36

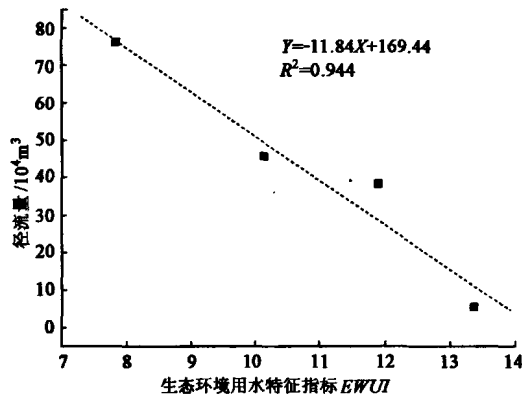


图2 纸坊沟流域年径流量与生态环境用水特征指标*EWUI*的关系

Fig.2 Correlativity between annual runoff and *EWUI* of Zhifanggou Watershed

4 土壤侵蚀的表征

土壤侵蚀的影响因素主要包括降雨、土壤、地形、植被以及人类活动.在这5个影响因素中,对于某一特定流域来说,降雨、土壤与地形这3个因子从较长时间来看通常变化较小,比较稳定,可视为常量.植被因子对土壤侵蚀的影响主要取决于植被类型与覆盖度,而人类活动主要通过改变流域下垫面的状态来影响土壤侵蚀,这2个因子上在很大程度上表现为流域土地利用结构的变化.因此,对于某一特定流域来说,其土壤侵蚀的变化主要决定于其土地利用结构的变化.实际上,已有研究表明,在其它因素不变的情况下,不同土地利用类型的土壤侵蚀特征具有明显的

差异^[13, 15].

因此,如果只是对某一特定流域的土壤侵蚀动态变化特征进行研究,探讨土壤侵蚀与水流失之间的关系,而不是精确计算流域土壤侵蚀量,则可以构建土地利用结构特征指标来表征流域土壤侵蚀的相对大小.倪晋仁等^[8]在纸坊沟流域土壤侵蚀动态评估研究中,运用层次分析法确定了不同土地利用类型对土壤侵蚀的权重,建立了土地利用结构特征指标*SI*来表征土壤侵蚀量的相对大小,如式(2)所示.本文直接采用这一结果.

$$SI = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot A_i}{A} \times 100 \tag{2}$$

式中, SI 为土地利用结构特征指标, w_i 为第 i 类土地利用类型对土壤侵蚀的权重; A_i 为第 i 类土地利用类型的面积; A 为流域总面积. 值得指出的是,这里的 SI 与流域土壤侵蚀成反比关系,即 SI 的值越大,表明流域土壤侵蚀越轻微.

另一方面,由于黄土高原泥沙输移比接近 1^[12],因此把口站实测的输沙模数即可近似作为流域实际的侵蚀模数,是流域土壤侵蚀严重程度的直接度量,水利部现行的《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190-96)^[16]就是以这一数据作为分级依据. 因此,对于土壤侵蚀也可考虑用 2 个指标来描述:一是土地利用结构特征指标 SI ,这是相对指标;二是流域把口站实测的输沙模数,这是绝对指标.

同样地,我们可以利用输沙模数数据对 SI 进行率定,以便利用相对易得的土地利用结构资料来探讨与土壤侵蚀相关的各种问题. 根据纸坊沟不同时段输沙模数以及土地利用结构特征指标 SI 的值(表 4),可以得到二者的率定曲线(图 3)..可以看出,在多年降雨量基本保持不变的情况下,纸坊沟流域输沙模数与 SI 之间具有较好的相关关系($R^2=0.996$).

表 4 纸坊沟不同时段降雨量、输沙模数与土地利用结构特征指标 SI

Table 4 Annual precipitation, sediment transport modules and SI of Zhifanggou Watershed in different periods

时段	降雨/mm	输沙模数/ $t/(km^2 \cdot a)$	SI
治理前	549. 10	14000. 0	6. 25
1985—1989	567. 82	8136. 3	8. 76
1990—1994	556. 54	3447. 3	10. 32
1995—1999	415. 42	2316. 2	10. 98

5 水流失与土壤侵蚀的关系

从水沙运移机理来看,水蚀区土壤侵蚀必然是水流运动的结果,而流域水流失也必然会造成一定程度的土壤侵蚀,因此流域水流失与土壤侵蚀之间应存在一定的相关关系. 而从水土保持的角度来看,要达到保持土壤的目的则必然要求减少水的流失,因而自然地也达到了保水的效果. 这可以理解为水土保持是需要一定的水资源作为代价,这部分水资源即为水土保持用水. 水土保持用水必然对流域下游水资源利用带来影响^[45];因而分析水流失与土壤侵蚀的关系可以为进一步探讨水土保持用水问题提供依据.

根据上述关于水流失与土壤侵蚀指标的

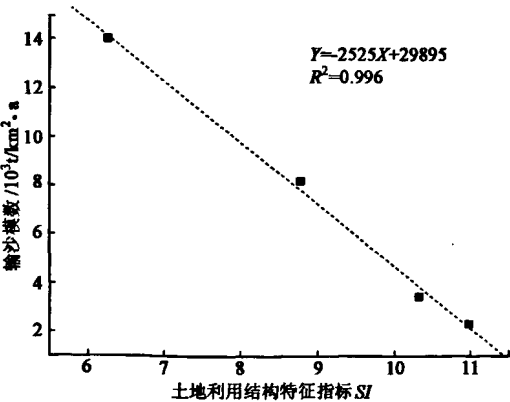


图 3 纸坊沟流域输沙模数与土地利用结构特征指标 SI 的关系

Fig. 3 Correlativity between annual sediment transport modules and SI of Zhifanggou Watershed

分析结果,可求得纸坊沟流域 1938—1999 年各期的 *EWUI* 值与 *SI* 值及二者的年变化率,如表 5 所示. 其中,年变化率的计算方法为相邻两期 *EWUI* 值及 *SI* 值的差值除以年份的差值.

表 5 纸坊沟 1938—1999 年各年 *EWUI* 与 *SI* 值及年变化率

Table 5 Value and change rate of *EWUI* and *SI* of Zhifanggou Watershed from 1938 to 1999

年份	1938	1958	1975	1978	1987	1990	1991	1992
<i>EWUI</i>	20.5	7.02	7.86	7.82	10.13	10.94	11.99	12.12
<i>SI</i>	16.82	5.86	6.47	6.55	8.72	9.37	10.35	10.49
<i>EWUI</i> 变化率	—	-0.67	0.05	-0.01	0.26	0.27	1.04	0.13
<i>SI</i> 变化率	—	-0.55	0.04	0.03	0.24	0.22	0.98	0.14
年份	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	
<i>EWUI</i>	12.16	12.24	12.27	12.29	12.42	14.91	14.92	
<i>SI</i>	10.52	10.6	10.62	10.63	10.79	11.51	11.53	
<i>EWUI</i> 变化率	0.05	0.07	0.03	0.02	0.13	2.5	0.01	
<i>SI</i> 变化率	0.03	0.08	0.02	0.01	0.16	0.72	0.02	

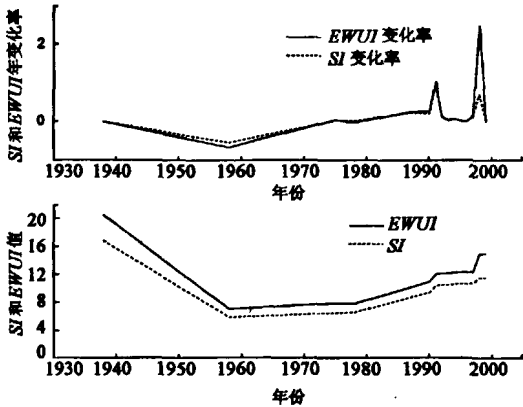


图 4 纸坊沟流域 1938—1999 年期间 *SI* 和 *EWUI* 值及其年变化率

Fig. 4 Value and change rate of *EWUI* and *SI* of Zhifanggou Watershed from 1938 to 1999

可以认为,纸坊沟流域 1938—1999 年期间各年的 *EWUI* 与 *SI* 值分别代表了该年的水流失与土壤侵蚀严重程度,而它们的年变化率则分别代表了各年的水流失与土壤侵蚀强度.从图 4 可以看出,1938—1999 年期间,不管是 *EWUI* 与 *SI* 的值还是二者的年变化率均有很好的-致性:随着流域水流失的逐渐遏制,土壤侵蚀也得到了有效的控制.

进一步对二者进行相关分析,结果表明(图 5),1938—1999 年期间纸坊沟流域 *EWUI* 值与 *SI* 值具有很好的相关性($R^2 = 0.974$),但二者的变化率之间相关性却较差($R^2 = 0.688$).但通过观察图 5 中二者变化率的关系发现,除 1 个点外,其它点基本落在一条直线上,如果排除这一点再做相关分析,

则能得到很好的相关关系($R^2 = 0.993$).为此需要深入分析.

上述一点对应的年份是 1998 年,纸坊沟流域经过长期治理,水流失与土壤侵蚀已经得到极大的改善.上述结果表明:在土壤侵蚀较为严重的情况下,消耗少量的水资源即可取得较大的土保效益,对应于 1998 年以前 *SI* 随 *EWUI* 的增加而同等地增加;而在土保工作已经较好、土壤侵蚀较为轻微的情况下,为使土壤侵蚀进一步减弱,则需要以较多的水资源作为代价,对应于 1998 年 *SI* 随 *EWUI* 增加较小,即水土保持用水的边际效益降低.因此,从协调该流域生态环境用水与社会经济用水、提高单位用水效益的角度出发,可以认为 1997 年的水平即为水土保持的合理水平,如果想进一步降低土壤侵蚀,应采取其它措施,如改良土壤结构、提高土壤抗蚀性等.

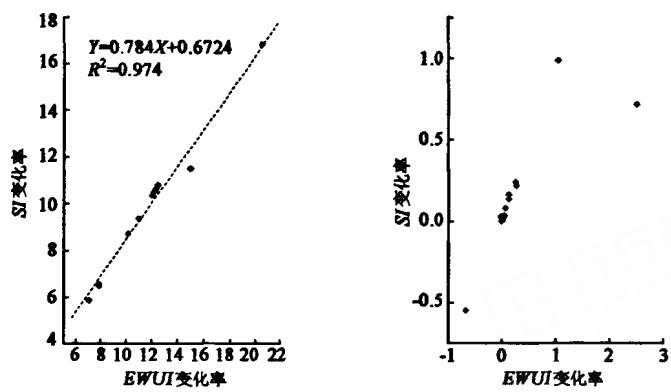


图5 1938—1999 年期间纸坊沟流域 $EWUI$ 与 SI 值及二者变化率相关分析
Fig.5 Correlativity between SI and $EWUI$ and their change rates
in Zhifanggou Watershed from 1938 to 1999

6 关于水土保持用水问题的讨论

在水资源短缺的情况下,如何合理地确定水土保持用水是人们较为关心的一个问题^[17].在上述关于纸坊沟流域 $EWUI$ 与径流量、 SI 与输沙模数以及 $EWUI$ 与 SI 之间关系的研究基础上,可对纸坊沟不同土保目标下的水土保持用水进行情景分析.通常人们较为关心的是水土保持用水增加对径流量的影响,因此本文主要根据不同土保目标对径流量的影响来讨论水土保持用水.情景分析的主要步骤是:针对不同的土保目标(以输沙模数表征),利用 SI 与输沙模数的关系可求得相应的 SI 值;利用 $EWUI$ 与 SI 之间的关系可求得相应的 $EWUI$ 值;利用 $EWUI$ 与径流量的关系可求得在该土保目标下流域出流的径流量.

由于黄土高原泥沙输移比接近 1^[12],因此把口站实测的输沙模数即可近似作为流域实际的侵蚀模数.根据水利部《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190-96)^[16],黄土高原地区侵蚀模数 $< 1000t/(km^2 \cdot a)$ 时为微度侵蚀, $1000—2500t/(km^2 \cdot a)$ 为轻度侵蚀, $2500—5000t/(km^2 \cdot a)$ 为中度侵蚀,本文主要对这几个土保目标进行讨论.根据上述的情景分析步骤,可求得纸坊沟流域不同土保目标所对应的径流量,如表 6 所示.

由表 6 可知,对应于微度侵蚀的土保目标时,纸坊沟径流量小于 $6.77 \times 10^4 m^3$;对应于轻度侵蚀目标时,纸坊沟径流量为 $6.77 \times 10^4 m^3—15.74 \times 10^4 m^3$;而对应于中度侵蚀目标时,纸坊沟径流量为 $15.74 \times 10^4 m^3—30.70 \times 10^4 m^3$.

由于河流生态环境水、流域社会经济用水以及下游用水的需求,河道内必须保证一定的径流量,据此可对纸坊沟流域土保目标进行讨论.纸坊沟流域 1985—1990 年年均径流量为 $48.28 \times 10^4 m^3$,本文将其作为纸坊沟流域多年平均径流量,以此为基础来展开讨论.根据水文学方法原理^[18],河道生态环境需水量不能低于年均径流量的 1/10,即 $4.83 \times 10^4 m^3$.由表 6 可知,只考虑保障河道生态环境需水的情况下,土保可达到微度侵蚀的目标,即土壤侵蚀模数 $< 1000t/(km^2 \cdot a)$,该目标下还有一定量的水资源供社会经济利用.

表 6 纸坊沟流域不同输沙模数对应的 SI 、 $EWUI$ 和径流量
Talbe 6 SI , $EWUI$ and annual runoff corresponding to different sediment
transport modules in Zhifanggou Watershed

输沙模数/ $t/(km^2 \cdot a)$	SI	$EWUI$	径流量/ $10^4 m^3$
1000	11.44	13.74	6.77
2000	11.05	13.23	12.75
2500	10.85	12.98	15.74
3000	10.65	12.73	18.74
4000	10.26	12.22	24.72
5000	9.86	11.72	30.70

而根据国际公认的河流水资源开发不超过年均径流量 40% 的原则,可得流域社会经济用水为 $19.31 \times 10^4 m^3$,加上河道生态环境需水量则为 $24.14 \times 10^4 m^3$,对应的土壤侵蚀模数接近 $4000t/(km^2 \cdot a)$,为中度侵蚀.考虑到河道生态环境水可进入下游供其利用,因此,此处不再单独讨论下游用水的需求.

根据上述的分析可知,纸坊沟流域 1995—1999 年年均径流量为 $5.61 \times 10^4 m^3$,尽管受到年均降雨量略微偏小的影响,但可以认为这一时期的土壤侵蚀强度应接近于微度侵蚀.相关研究表明^[19],纸坊沟流域生态经济系统 1997 年以后即进入良好状态.这与本文的计算结果是一致的.

7 结论

针对当前水土保持研究中对于流域水流失研究相对不足的现状,本文运用水资源结构分析方法,分析了水流失的内涵.以安塞纸坊沟为例,分析了水流失与土壤侵蚀之间的关系,并对不同目标下的水土保持用水进行了讨论.主要结论如下:

(1)从水资源转化结构来看,水流失本质上就是生态环境水向潜在资源水和灾害水转化的过程.其原因是水资源在时间分布上不均匀的加剧,其危害是加剧当地水资源供需矛盾,生态环境水受挤占而导致流域自然生态系统退化,水流失进一步加剧,形成恶性循环,同时逐渐威胁到社会经济用水;

(2)流域水流失与土壤侵蚀均可通过构建一个相对指标和一个绝对指标来表征.二者的相对指标均是基于流域土地利用结构来构建.水流失的绝对指标是流域把口站实测径流量,而土壤侵蚀的绝对指标则是流域实测输沙模数.由于土地利用结构资料相对容易获取,因此利用有限的绝对指标数据将相对指标率定后,即可利用相对指标来展开相关研究;

(3)纸坊沟流域 1938—1999 年间,其水流失与土壤侵蚀的强度与程度之间均有较好的相关关系.随着水土保持工作的进展,当土壤侵蚀得到明显控制后,水土保持用水的边际效益将会降低,表现为单位土壤侵蚀量的降低需要相当的用水代价;

(4)通过对纸坊沟流域不同目标下水土保持用水的分析可知,纸坊沟流域土保可达到微度侵蚀的目标,此时的径流量约为 $6.77 \times 10^4 m^3$,基本可满足河道生态环境需水以及一定社会经济用水的需求.这一情景对应于该流域 1995—1999 年间的状态,与相关研究

较为吻合.

参考文献

- [1] 王礼先. 中国水利百科全书水土保持分册[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004
Wang Lixian. Encyclopedia of Chinese hydraulic engineering; soil and water conservation[M]. Beijing: China Water Power Press,2004
- [2] 全国科学技术名词审定委员会. 土壤学名词[M]. 北京:科学出版社,1998
China National Committee for Terms in Sciences and Technologies. Terms of agrology[M]. Beijing: Science Press,1998
- [3] 冉大川,柳林旺,赵力仪,等. 黄河中游河口镇至龙门区间水土保持与水沙变化[M]. 郑州:黄河水利出版社,2000
Ran Dachuan, Liu Linwang, Zhao Liyi, et al. Soil and water conservation and water and sediment variation in the middle reach of Yellow River[M]. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Press,2000
- [4] 李玉山. 黄土高原治理开发与黄河断流的关系[J]. 水土保持通报,1997,17(6):41-45
Li Yushan. Relation between control in Loess Plateau and no-flow in the Yellow River[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation,1997,17(6):41-45
- [5] 刘万铨. 黄土高原水土保持在黄河流域水资源开发利用中的地位和作用[J]. 中国水土保持,1999,(11):28-32
Liu Wanquan. The position and role of the loess plateau soil and water conservation in the Yellow River water resources development and utilization[J]. Soil and Water Conservation in China,1999,(11):28-32
- [6] 王光谦,张长春,刘家宏,等. 黄河流域多沙粗沙区植被覆盖变化与减水减沙效益分析[J]. 泥沙研究,2006,(2):10-16
Wang Guangqian, Zhang Changchun, Liu Jiahong, et al. Analyses on the variation of vegetation coverage and water/sediment reduction in the rich and coarse sediment area of the Yellow River basin[J]. Journal of Sediment Research, 2006,(2):10-16
- [7] 赵永军,孙顺蒂,王云璋. 开发建设项目水流失量预测及其方法探讨[J]. 人民黄河,2007,29(5):48-49
Zhao Yongjun, Sun Shundi, Wang Yunzhang. Approach to water loss prediction and its method of development and construction projects[J]. Yellow River,2007,29(5):48-49
- [8] Ni J R, Li Y K. Approach to soil erosion assessment in terms of land-use structure changes[J]. Journal of Soil and Water Conservation,2003,58(3):158-169
- [9] Ni J R, Wang Y D, Qian Z H, et al. On the variation of water resource structure in the lower Yellow River[J]. Science in China Ser. E Engineering & Materials Science,2004,47(Supp. I):127-141
- [10] 倪晋仁,金玲,赵业安,等. 黄河下游河流最小生态环境需水量初步研究[J]. 水利学报,2002,(10):1-7
Ni Jinren, Jin Ling, Zhao Yean, et al. Minimum water demand for ecosystem protection in the lower Yellow River[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2002,(10):1-7
- [11] 穆兴民,徐学选,陈霁巍,等. 黄土高原生态水文研究[M]. 北京:中国林业出版社,2001
Mu Xingmin, Xu Xuexuan, Chen Jiwei, et al. Eco-hydrology of loess plateau[M]. Beijing: China Forestry Publishing House,2001
- [12] 唐克丽. 中国水土保持[M]. 北京:科学出版社,2004
Tang Keli. Soil and water conservation in China[M]. Beijing: Science Press,2004
- [13] 李壁成. 小流域水土流失与综合治理遥感监测[M]. 北京:科学出版社,1995
Li Bicheng. Monitoring by remote sensing of water and soil loss and its comprehensive treatment on watershed[M]. Beijing: Science Press,1995
- [14] Saaty T L. The analytic hierarchy process[M]. New York: McGraw-Hill,1980
- [15] 王占礼,邵明安,刘文兆,等. 纸坊沟流域土壤侵蚀与产沙初步研究[J]. 天津师大学报(自然科学版),1999,19(1):45-50

- Wang Zhanli, Shao Mingan, Liu Wenzhao, et al. Preliminary study on the features of soil erosion and sediment yield in the Zhifanggou catchment[J]. Journal of Tianjin Normal University (Natural Science Edition), 1999, 19(1): 45-50
- [16] 水利部水土保持司. 土壤侵蚀分类分级标准(SL190-96)[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998
Department of Soil and Water Conservation of China. Classification and gradation of soil erosion (SL190-96)[M]. Beijing: China Water Power Press, 1998
- [17] 王礼先, 常丹东. 水土保持用水的调节问题[J]. 中国水利, 2005, (13): 121-124
Wang Lixian, Chang Dandong. Regulation of water use for water and soil conservation[J]. China Water Resources, 2005, (13): 121-124
- [18] Tennant D L. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources[J]. Fisheries, 1976, 1(4): 6-10
- [19] 刘国彬, 胡维银, 许明祥. 黄土丘陵区小流域生态经济系统健康评价[J]. 自然资源学报, 2003, 18(1): 44-49
Liu Guobing, Hu Weiyin, Xu Mingxiang. An analysis on eco-economy system health in Zhifanggou small watershed of ansai on loess hilly-gullied region[J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(1): 44-49

The Relationship Between Water Conservation and Soil Conservation

MA Lekuan, NI Jinren, LI Tianhong

(Department of Environmental Engineering, Peking University, The Key Laboratory of Water and Sediment Sciences, Ministry of Education, Beijing 100871, China)

Abstract

In order to reveal the relationship between “water conservation” and “soil conservation”, analytical method of water resource structure was applied to discover the connotation of “water loss”. Furthermore, with Zhifanggou Watershed as the study area, indicators of soil erosion and water loss were used to address the relationship between them, and the water use for soil and water conservation under deferent objectives was discussed. The results showed that essentially water loss was the transforming process of water for eco-environment to that of latent resource and calamity. From 1938 to 1999, both the degree and the intensity of water loss and soil erosion in Zhifanggou had good correlativity. The objective of soil and water conservation of Zhifanggou could be set to a soil loss tolerance of $1000\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, with a corresponding annual runoff of $6.77 \times 10^4 \text{m}^3$ which could meet the EWR (Eco-environmental water requirement) of the river ecosystem and a part of human water requirement.

Keywords: soil and water conservation; water loss; water conservation; soil erosion; soil conservation; water for soil conservation

作者: 马乐宽, 倪晋仁, 李天宏, [MA Lekuan](#), [NI Jinren](#), [LI Tianhong](#)
作者单位: [北京大学环境工程系, 水沙科学教育部重点实验室, 北京, 100871](#)
刊名: [应用基础与工程科学学报](#) [ISTIC](#) [EI](#)
英文刊名: [JOURNAL OF BASIC SCIENCE AND ENGINEERING](#)
年, 卷(期): 2009, 6(6)
被引用次数: 0次

参考文献(19条)

1. 王礼先 [中国水利百科全书水土保持分册](#) [期刊论文] - [北京:中国水利水电出版社](#) 2004
2. 全国科学技术名词审定委员会 [土壤学名词](#) [期刊论文] - [北京:科学出版社](#) 1998
3. 冉大川, 柳林旺, 赵力仪 [黄河中游河口镇至龙门区间水土保持与水沙变化](#) [期刊论文] - [郑州:黄河水利出版社](#) 2000
4. 李玉山 [黄土高原治理开发与黄河断流的关系](#) [期刊论文] - [水土保持通报](#) 1997(06)
5. 刘万铨 [黄土高原水土保持在黄河流域水资源开发利用中的地位和作用](#) [期刊论文] - [中国水土保持](#) 1999(11)
6. 王光谦, 张长春, 刘家宏 [黄河流域多沙粗沙区植被覆盖变化与减水减沙效益分析](#) [期刊论文] - [泥沙研究](#) 2006(02)
7. 赵永军, 孙顺蒂, 王云璋 [开发建设项目水流失量预测及其方法探讨](#) [期刊论文] - [人民黄河](#) 2007(05)
8. Ni J R, Li Y K [Approach to soil erosion assessment in terms of land-use structure changes](#) [期刊论文] - [Journal of Soil and Water Conservation](#) 2003(03)
9. Ni J R, Wang Y D, Qian Z H [On the variation of water resource structure in the lower Yellow River](#) [期刊论文] - [Science in China Ser E Engineering & Materials Science](#) 2004(Supp. I)
10. 倪晋仁, 金玲, 赵业安 [黄河下游河流最小生态环境需水量初步研究](#) [期刊论文] - [水利学报](#) 2002(10)
11. 穆兴民, 徐学选, 陈霁巍 [黄土高原生态水文研究](#) [期刊论文] - [北京:中国林业出版社](#) 2001
12. 唐克丽 [中国水土保持](#) [期刊论文] - [北京:科学出版社](#) 2004
13. 李壁成 [小流域水土流失与综合治理遥感监测](#) [期刊论文] - [北京:科学出版社](#) 1995
14. Saaty T L [The analytic hierarchy process](#) [期刊论文] - [New York:McGraw-Hill](#) 1980
15. 王占礼, 邵明安, 刘文兆 [纸坊沟流域土壤侵蚀与产沙初步研究](#) [期刊论文] - [天津师大学报\(自然科学版\)](#) 1999(01)
16. 水利部水土保持司 [SL 190-1996. 土壤侵蚀分类分级标准](#) [期刊论文] - [北京:中国水利水电出版社](#) 1998
17. 王礼先, 常丹东 [水土保持用水的调节问题](#) [期刊论文] - [中国水利](#) 2005(13)
18. Tennant D L [Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources](#) [期刊论文] - [Fisheries](#) 1976(04)
19. 刘国彬, 胡维银, 许明祥 [黄土丘陵区小流域生态经济系统健康评价](#) [期刊论文] - [自然资源学报](#) 2003(01)

相似文献(10条)

1. 期刊论文 朱太芳, ZHU Tai-feng [开发建设项目水土保持方案编制要考虑水流失 -中国水土保持2006, ""](#) (6)
针对目前开发建设项目水土保持方案编制对水流失问题存在缺位的现象, 阐述了开发建设项目造成水流失的形式与后果, 以陕北侏罗纪煤田开发排水为例, 分析了流失数量、污染程度、影响范围、影响时间, 提出了水流失的防治思路和恢复标准. 防治思路:一是改变目前采矿工艺, 采用永久性顶板支护, 保证采空区不塌陷, 上层含水水体结构不受破坏;二是采用地下排水, 恢复补偿疏空区用水, 解决回灌问题. 按照防治思路, 结合目前我国节水技术发展水平, 分别给出了该矿区农业用水、生态用水、人畜用水的恢复标准.
2. 期刊论文 赵永军, 孙顺蒂, 王云璋, ZHAO Yong-jun, SUN Shun-di, WANG Yun-zhang [开发建设项目水流失量预测及其方法探讨 -人民黄河2007, 29](#) (5)
开发建设项目建成后往往使地表大面积硬化, 从而改变项目区入渗、蒸发、地表径流量和特性. 针对开发建设项目水土保持方案中仅预测土壤流失量的现状, 认为应开展水流失量预测. 鉴于水流失量预测及其危害分析工作过去尚未开展、可供参考的研究成果较少的情况, 提出了开发建设项目水流失量预测范围、单元划分的原则及预测方法和预测参数的获取途径等.
3. 期刊论文 万方秋, 丘世钧, 王继增 [城市水土流失强度分级指标体系初探 -水土保持研究2003, 10](#) (2)
城市水土流失强度分级指标体系包括土沙流失指标、水流失指标和相关指标, 其中水流失指标在以往的水土流失强度分级中常常被忽视. 该指标体系

反映了城市水土流失的内涵,符合城市水土流失的特点,对城市水土保持规划有一定指导意义.

4. 期刊论文 [李文玲, 田耀武, 郑根宝, LI Wei-ling, TIAN Yao-wu, ZHENG Gen-bao](#) [城市森林水流失率与水土流失率的](#)

[探讨 -水土保持通报](#)2005, 25 (2)

水土保持是城市森林生态效益中最重要的项目,它是森林其它各种效益的基础.传统上研究和考察森林水土保持效益时,一般从土壤侵蚀角度出发,忽视了对水损失的考察.着重从水的损失出发,提出了用森林水土保持率、水土保持率来考察城市森林的水土保持功能,并对北京、伦敦的城市森林和河南山区水保林的水流失率、水土保持率进行了论证比较.

5. 期刊论文 [李宇, 孟华, 孙宇群](#) [北安市乌裕尔河流域城乡水利一体化研究 -黑龙江水利科技](#)2007, 35 (5)

北安市地处乌裕尔上游,城区供水不足,沿河低洼地水田开发无水源,防洪无保障,黑土地流失加剧,制约了城乡经济的可持续发展.新建闹龙河水库,扩建东胜灌区和先锋水库,乌裕尔河流域国家重点水土保持项目,综合治理联合运用,可解决城区供水、开发大面积水田、有利于城乡防洪和生态环境改善.

6. 学位论文 [马乐宽](#) [流域生态环境需水研究——以延河流域为例](#) 2008

快速识别流域内生态缺水严重的区域、动态评估生态用水状况对流域生态环境建设和水资源优化配置具有重要意义.本文借鉴水体快速生物评价方法的思想,建立了一种适于不同尺度的流域生态环境需水快速评估方法,并在黄土高原区的延河流域、纸坊沟流域开展了案例研究.

流域生态环境需水快速评估方法包括以下主要步骤:(1)根据流域等级嵌套结构的特点,选择小流域为评价和计算单元;(2)基于流域内土地利用/覆盖和各种生态系统的内在关系,构建生态环境需水特征指标EWRI作为流域生态环境需水的表现因子;(3)针对不同的研究尺度,选择生态环境需水的影响因子作为环境因子;(4)以小流域为基本单元,进行表现因子与环境因子的数据集成;(5)以典型小流域单元作为参照单元,构建参照组;(6)以环境因子相似性作为判别依据,将待评估单元匹配到参照组中,计算其对各参照组的隶属度;(7)根据各参照组表现因子的平均特征及待评估单元对其隶属度,计算待评估单元表现因子的预测值;(8)进行评估单元表现因子预测值和实际值的对比,得到生态缺水度指标EWDI的值,以此为依据进行生态缺水严重程度的评估.

以位于黄土高原区的黄河流域一级支流延河流域为研究区域,利用1990年与2000年两期土地利用/覆盖数据对流域生态缺水进行了评估.结果表明,安塞县南部、延安市周边及宝塔区是生态缺水最严重的区域.为此,进一步利用位于安塞县南部的延河二级支流纸坊沟流域1938~1999年15期的土地利用资料进行了生态缺水动态评估.结果表明,纸坊沟流域生态环境用水经历了“自然平衡.严重亏缺-逐渐改善-趋向平衡”的变化过程,这一过程与该流域的开发治理过程是一致的.案例研究的结果说明了流域生态环境需水快速评估方法的可行性、快速性.

针对研究区以水土流失为首要生态环境问题的特点,以纸坊沟流域为例开展了基于水土保持的流域生态环境需水研究.结果表明,在允许土壤流失量1000t/km²-a的目标下,纸坊沟流域的生态环境需水量约为1.77x10⁶m³,占该流域降水资源总量的39.0%,这与1998年该流域的情景相当;适当降低水土保持目标可在一定程度上减少生态环境用水量.

在纸坊沟流域生态环境需水研究结果的基础上进一步探讨了水土保持中“水保”和“土保”的关系.利用土壤侵蚀的特征指标和水流失的特征指标分别表征土壤侵蚀和水流失,分析了水流失与土壤侵蚀之间的关系,并对不同目标下的水土保持用水进行了讨论.结果表明:伴随着“土壤侵蚀”的“水流失”反映了生态环境向潜在水资源和灾害水转化的趋势.1938~1999年间纸坊沟流域“水流失”与土壤侵蚀程度之间具有较好的相关关系.当流域出口测站的径流量约为6.77×10⁴m³时,不仅流域生态环境需水和社会经济用水能够基本得到满足,而且流域“土保”也可达到微度侵蚀的目标(侵蚀模数≤1000t/km²·a).

本研究得到了国家重点基础研究发展计划课题(2007CB407202),的资助。

7. 期刊论文 [侯庆春, 韩蕊莲, HOU Qing-chun, HAN Rui-lian](#) [黄土高原植被建设中的有关问题 -水土保持通报](#)

2000, 20 (2)

针对黄土高原植被建设中存在的覆被率低,造林成活率、保存率低和效益低等问题,提出了只有在生态效益、树种选择等方面转变观念,才能切实搞好植被建设,并提出了植被建设中值得注意的若干重大问题.

8. 期刊论文 [段舜山, 林秋奇, 章家恩, 刘宁宁, DUAN Shun-shan, LIN Qiu-qi, ZHANG Jia-en, LIU Ning-ning](#) [广东缓丘](#)

[坡地牧草果树间作模式的水土保持效应 -中国草地](#)2000, "" (5)

试验于1997年在广东省东莞市桥头农科园赤红壤坡地重期果园进行,试验设在果园间作花生(A)、木薯(B)、花生+木薯(C)、苏丹草(D)、柱花草(E)和果树间裸地(CK)6个处理,采用自制的径流收集器分别测定各处理三场降雨的径流深度、径流系数、水土流失量和侵蚀量.结果表明,CK的平均径流深度为8.33mm/10mm,降水流失率为83.33%,平均每10mm降雨的土壤侵蚀量为0.293t/hm²,年土壤侵蚀模数为52.41t/hm²;5个间作处理的地表径流量比对照降低32.36%~65.62%,平均土壤侵蚀量减少47.81%~82.51%;果园间作柱花草的水土保持效果最好.

9. 期刊论文 [徐宁, 段舜山, 章家恩, 蔡昆争](#) [广东鹤山赤红壤坡地林茶利用模式的水土保持效应 -热带地理](#)

2001, 21 (2)

野外观测试验于1997年在广东省鹤山茶业科技研究所的赤红壤坡地上进行.试验设计了人工林下地表覆盖(A)、人工林下地表裸露(B)、等高梯田种植茶树(C)和等高梯田裸地对照(CK)4个处理,采用自制的径流收集器分别测定了各处理4场降雨的径流深度、径流系数、水土流失量和侵蚀量等指标.结果表明,CK的平均径流深度为3.72 mm/10 mm,降水流失率为37.2%,平均每10mm降雨的土壤侵蚀量为43.6kg*hm⁻²,年土壤侵蚀模数为7.42 t*hm⁻²;其它3个不同植被覆盖处理的地表径流量比裸地对照降低2.20%~67.08%,平均土壤侵蚀量减少43.81%~90.83%;林下地表覆盖处理的保土效果最好,等高梯田种植茶树处理的保水效果最好.

10. 期刊论文 [谢小立, 王凯荣](#) [红壤坡地雨水产流及其土壤流失的垫面反应 -水土保持学报](#)2002, 16 (4)

通过4年(1998~2001年)径流场定位观测研究,探明了不同植被垫面雨水产流过程中系统水土流失有显著性差异.水流失量为农作区>常绿灌木区、针叶林区>常绿果园区>退化区、恢复区.坡地不同垫面间雨水地表径流的差异存在,为坡地雨水利用和利用坡地集雨支持农田灌溉提供了依据和可调控性.土壤流失量受人为干预、耕作强度的影响很大,坡地从自然保护到作物栽培,系统的土壤流失量提高20倍.茶果林地的土壤流失低于作物耕种的2~3倍,而高于自然利用和自然保护的6~12倍.养分流失在数量和质量上皆取决于垫面构成.提出了利用坡地集雨优势,构建与单元生态系统水循环平衡相适应的坡地农林复合生态系统,并通过水平衡生态建设来维系生态系统的水分平衡.

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_yyjcycgckxb200906002.aspx

授权使用: 中国科技大学(wfzykjdx), 授权号: c693a898-805d-47c6-8a51-9de601723c35

下载时间: 2010年9月3日