

# 库区坡面植被水土保持生态建设模式

程龙飞, 李林燕

(重庆三峡学院 建筑工程系, 重庆 万州 404000)

**摘 要:**通过对坡面产沙、植被水土保持机理以及库区坡面植被水土保持生态建设模式的研究, 结果表明: 减小水流拖拽力、水流上举力以及增大土壤的黏聚力都有利于水土保持; 植被冠层及枝干的水土保持作用主要体现在植被冠层的水分截留、削弱降雨的溅蚀功能以及抑制地表径流等几个方面; 而根系的水土保持作用主要体现在菌根及分泌物能降低土层重度、增加土层的黏聚力, 根系能增加土体的有效孔隙度、改善土体的渗透性能。库区坡面有效的水土保持栽植模式应该是: 在坡顶, 以封山育林为主; 在坡面, 应垄沟结合, 辅以坡改梯等配套工程措施, 种植附加值较高的经济作物。

**关键词:**水土保持; 坡面产沙; 封山育林; 垄沟

中图分类号: S157.43

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)05-0251-03

## The Ecosystem Development Mode of Slope Vegetation for Water and Soil Conservancy in Three Gorges Region

CHENG Long-fei, LI Lin-yan

(Architecture and Engineering Department of Chongqing Three Gorges College, Wanzhou, Chongqing 404000, China)

**Abstract:** After studying the mechanism of slope sediment yield and the principle of using vegetation for water and soil conservancy as well as the application of this ecosystem development mode in Three Gorges region, it comes to following conclusions: it is beneficial for water and soil conservancy to reduce the pulling and unlift forces of flows, or to increase the cohesion of soil; the main effects of canopy and branches are moisture closure, reduction of rain splash-erosion and restraint of surface runoff etc; as to roots, mycorrhiza and secretion can reduce the bulk density and increase the cohesion of soil stratas; the roots could increase effective porosity and improve permeability. So the valid planting mode in Three Gorges region is closed forest on the top of the slopes and to combine ridge and furrow on slope sides, planting economic fores with high-attached value and assisted by engineering measures such as terracing of sloping fields.

**Key words:** water and soil conservancy; slope sediment yield; closed forest; ridge and furrow

重庆三峡库区地处长江上游, 在全国水土流失类型区划中属于西南土石山区, 是国家级水土流失重点监督区和水土流失重点治理区。由于投资不足, 前期水土流失治理中科技含量严重偏低, 治理措施简单, 基本上还是沿用传统的工程治理模式, 只是一定程度上降低了土壤的侵蚀强度。植被措施是水土保持中最有效和最根本的方法, 研究库区坡面有效的植被水土保持生态建设模式, 可望从根本上解决库区面临的水土流失问题, 改善流域自然和人居生态环境<sup>[1-2]</sup>。

### 1 坡面产沙动力学机理分析

当坡面流逐渐加强超过一定限度后, 坡面土壤团粒开始脱离静止状态进入运动状态, 研究坡面团粒在坡面径流的动力学特征, 是分析坡面水土流失机理的基础<sup>[3-5]</sup>。坡面上土壤团粒在水流作用下, 由静止到起动是各种力综合作用的结果, 团粒在坡面上受力情况如图 1 所示。

坡面流作用下土壤颗粒受到的动力平衡条件是:

收稿日期: 2010-04-06

资助项目: 重庆三峡学院青年项目(2007-sxyq-03); 重庆三峡学院资助计划(09zz-055)

作者简介: 程龙飞(1977-), 男, 副教授, 主要从事地质灾害、水土保持方面的研究工作。E-mail: chenglongfei@126.com

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$(G' + F_y)(\sin\theta - \cos\theta \tan\varphi) + (F_D + F_L \tan\varphi) \leq C \quad (1)$$

式中:  $F_y$  ——雨滴击溅力;  $G'$  ——土颗粒在水中受到的浮重力;  $F_D$  ——水流的拖拽力;  $F_L$  ——水流上举力;  $C$  ——黏聚力;  $\varphi$  ——泥沙在水下的有效内摩擦角,  $0 \leq \tan\varphi \leq 1$ ;  $\theta$  ——坡角。

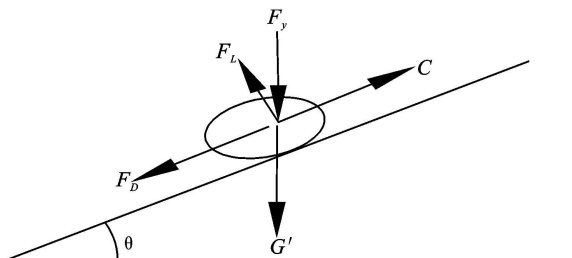


图 1 坡面颗粒受力分析

显然由式(1)可以得出减小水流拖拽力、水流上举力以及增大土壤的黏聚力都有利于水土保持;对于坡度较大的坡面,减小浮重力  $G'$  有利于水土保持。雨滴击溅力  $F_y$  对水土保持作用影响相对较小,当坡面饱和时,可以忽略雨滴击溅力对于土壤侵蚀的影响<sup>[6-7]</sup>。

## 2 植被水土保持机理分析

### 2.1 冠层及干枝对水土保持的影响

2.1.1 植被冠层的水分截留 植被冠层形成了一个天然屏障,对降落到坡体表面的雨水起到了阻隔截留作用<sup>[8]</sup>。一部分降雨在到达坡面之前就被植被茎叶截留并暂时贮存在其中,植被通过截留作用降低了到达坡面的有效降雨量,从而减少了雨水向坡体的入渗量,减弱了雨水对坡面土体的侵蚀。植被截留降雨量  $E$  可近似采用如下计算方法<sup>[6]</sup>:

$$E = \begin{cases} \lambda p & p \leq p' \\ E' & p > p' \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $E$  ——植被截留降雨量;  $E'$  ——最大截留降雨量;  $\lambda$  ——最大截留降雨系数;  $p$  ——降雨量;  $p'$  ——临界降雨量。

2.1.2 植被可削弱溅蚀功能 雨滴的溅蚀是雨滴对地面的击溅作用。降雨时的雨滴从高空落下,落地时产生一定的打击力量,裸露的表土在这种力量打击下,土壤粘结力被削除导致土壤结构即遭破坏,发生分离、破裂、位移并溅起。当其它因素一定的情况下,雨滴击溅力  $F_y$  的大小可以表示为

$$F_y \approx M V_r^2 e^{Nd_r^2} \quad (3)$$

式中:  $V_r$  ——碰撞前雨滴终速;  $d_r$  ——雨滴中径;  $M$ ,  $N$  ——土性质、坡面形态及径流深度有关的量。由式(3)中分析得出:减小碰撞前雨滴的速度  $V_r$ 、减小雨滴中径  $d_r$  可以减小雨滴击溅力  $F_y$ 。

草本、灌木林能够拦截高速落下的雨滴,通过地上茎叶的缓冲作用,则雨滴落到植被上后由于其动能被覆盖植被的缓冲作用所消耗,因此雨滴的速度大大减小甚至为零;通过与叶面的相互作用,雨滴又被分散为多个粒径更小的雨滴。部分乔木林,由于干枝高大,拦截雨滴后可生成比原雨滴更大的雨滴,雨滴速度也和原雨滴差不多,这样反而可能导致雨滴击溅力的增大。

2.1.3 风荷载对林地水土保持的影响 植物能传递风荷载,可对表层含根土产生附加荷载。风荷载大小可以近似表示为

$$w_k = \beta_{gz} \mu_s \mu_z w_0 \quad (4)$$

式中:  $w_k$  ——风荷载标准值;  $\beta_{gz}$  ——高度  $z$  处的阵风系数;  $\mu_s$  ——风荷载体型系数;  $\mu_z$  ——风压高度变化系数;  $w_0$  ——基本风压。

显然,植株越高、冠层越大,所受的风荷载越大;风荷载通过杆茎传到表层含根土,由根系锚固力分力承担。由于风荷载的方向不定,一般按对水土保持不利考虑。在基本风压较大的陡坡上,冠幅高大的乔木、以及部分阔叶灌木都将不利于水土保持。

2.1.4 植被抑制地表径流流速功能 水流对泥沙颗粒上的水流拖拽力  $F_D$  和水流上升力  $F_L$  可以分别表示以下两式表示:

$$F_D = C_d V^2 \quad F_L = C_L V^2 \quad (5)$$

式中:  $V$  ——直接作用在泥沙颗粒上的流速;  $C_d$  ——渗流方向上土颗粒形状有关的参数;  $C_L$  ——垂直渗流方向上土颗粒形状有关的参数。

由式(5)可以看出,直接作用在土颗粒上的流速越小,渗流拖拽力及水流上升力也就越小。草本植物分支多,丛状生长,径流在草丛间迂回流动,从而增大了流程,使径流由直流变为绕流,水力坡降减小,流速减缓。

### 2.2 植被根系对水土保持的影响

2.2.1 菌根及分泌物能降低土层重度、增加土层的黏聚力 根土层水稳定性团粒网络由小根与菌根真菌、腐生真菌和其他真菌菌丝构成,同时,围绕腐朽的根系物质也可能形成团聚体。大团聚体是微团聚体形成后在根系和菌丝的缠绕作用下形成的;这些大的团粒,很多直径在 3 mm 以上,其强度和性质取决于根系统的形态,具有较强的水稳定性和疏散多孔性,相对于土颗粒而言,具有较低的重度  $G'$ 。

活根提供分泌物,主要是菌根吸附微团聚体多糖,作为土粒团聚体的胶结剂,保护菌根和根系与根际土团粒不被分解;根系的穿插、缠结、挤压作用,能增强土层的黏聚力。土中根系的分布如同加筋纤维的分布:这种加筋为土层提供了附加“黏聚力”  $\Delta C$ <sup>[7]</sup>。

2.2.2 增加土体的有效孔隙度,改善土体的渗透性能 根系能将土壤单粒粘结起来,同时也能将板结密实的土体分散,并通过根系自身的腐解和转化合成腐殖质,使土壤有良好团聚结构和孔隙状况。植物根系的作用可相应增加土壤的孔隙度,使土壤微生物的活性增加,土壤有机质氧化分解速度加快,死亡的根系又可增加土壤中有有机质的含量,这样就可以使土壤处于良性的循环过程中,进一步有效提高土壤的有效孔隙率,明显地改善了土壤的渗透性能。根据达西定律,有<sup>[89]</sup>:

$$V = \frac{Q}{nA} \quad (6)$$

式中:  $Q$  ——断面  $A$  的流量;  $n$  ——孔隙率;  $A$  ——渗流断面。

须根通过在土壤中的交错穿插作用和积累有机质,促使土壤中大粒级水稳团粒的增加,明显地改善了土壤的渗透性能。由以上分析可知,当流量一定时,孔隙率越大,流速就越小;根据式(5)分析,将减小渗流的上举力和拖拽力,有利于水土保持。

由以上分析可以得出,根系能增加土体的孔隙率,降低土壤的浮重度  $G'$ , 增加土体的黏聚力  $C$ , 提高土壤的抗冲蚀的性能。

### 3 坡面植被水土保持建设模式

#### 3.1 库区栽植条件分析

三峡库区属于亚热带湿润季风气候区,年平均气温在  $16 \sim 18^\circ\text{C}$ , 年降水量  $1\,000 \sim 1\,200\text{ mm}$ ; 但降雨多集中于  $5 \sim 9$  月, 全年  $70\%$ , 且多暴雨。三峡库区常见的土壤是黄棕壤、山地黄壤、紫色土和石灰土。库区的气候适合于大部分植物的生长; 春季是最好的施工季节, 秋夏季也是可以施工的季节, 因为此时热量和雨水组合较好, 适宜植物发芽生长。

#### 3.2 库区坡面植被建设模式

3.2.1 坡顶封山育林 坡顶风化作用强烈, 岩石风化成土时间不长, 土层极为贫瘠, 即  $C$  接近于 0; 其土层厚度较薄, 且风荷载相对较大, 在某些情况下, 表层根系的锚固力可能不足以平衡较大的风荷载。在坡顶, 式(1)可变形为:

$$\sin\theta + \frac{w'_k + F_D + F_L \tan\varphi}{G'} \leq \cos\theta \tan\varphi \quad (7)$$

式中:  $w'_k$  ——剩余风荷载。

式(7)即为坡顶不发生土壤流失的必要条件; 由式(7)可以看出, 若在坡顶栽植松土, 当发生暴雨时, 水流拖拽力  $F_D$  和水流上升力  $F_L$  急剧增大; 即使在  $\theta$  很小的坡面, 也极易引起水土流失; 若伴有大风, 水土流失更会加剧。故应对坡顶实施封山育林, 划定范围, 专人管护等措施, 靠自然修复生态, 减轻水土流

失。确出于需要, 要在较短时间内恢复坡面的植被覆盖, 应选择耐贫瘠、生长快、根系发达、固土能力强、不会引起附加风荷载的先锋树种。

3.2.2 坡面采取垄沟结合的建设模式 坡面在山区农业生产中占有重要地位, 是径流的策源地; 在库区, 坡面又是主要的居民聚集地, 集中了大量的人口, 是垦殖系数最高的地区; 因此该区域水土流失严重。为了减轻坡面侵蚀, 应根据坡向、坡度、土壤、沟壑分布等条件, 垄沟结合, 以垄护沟等与坡改梯配套工程。在坡面垄上, 几乎没有与水流作用相关的力。在坡面垄上, 式(1)可变形为

$$\sin\theta \leq \cos\theta \tan\varphi + \frac{C}{G'} \quad (8)$$

式(8)即为坡面垄上不发生土壤流失的必要条件; 由式(8)可以看出, 与坡改梯配合, 将  $\theta$  控制在一定的范围内, 即使由于耕作, 导致黏聚力  $C$  等于 0 也不会产生水土流失。当然, 要保证居民收入水平不下降, 应在坡面种植附加值较高的经济作物。

#### 3.3 实例及效果分析

龙驹镇距万州主城区  $50\text{ km}$ , 海拔  $310 \sim 1\,244\text{ m}$ , 由于采矿和居民的耕作, 镇内水土流失严重, 且人均纯收入在  $2\,000$  元左右。从 2002 年开始, 根据国家“退耕还林”的政策, 龙驹镇提出了“依山丰林”的总体工作思路。土地贫瘠的坡顶, 以村为单位, 封山育林; 在坡面, 按照“协会+ 大户+ 基地”的植被栽植模式, 种植优质的笋竹、黑木耳、花椒、猕猴桃等。在居民聚积区, 留有一定面积的自留地, 根据地势, 设置好排水沟, 由居民在地里种植番茄、青椒、茄子、黄瓜、韭菜等时令菜蔬。通过治理, 林草植被增加, 生态环境向良好发展, 水土流失明显减少, 流失程度大部分下降一两个等级。到 2007 年, 林地面积增加达到  $0.92\text{ 万 hm}^2$ , 占总面积的  $81.12\%$ , 其中高附加值的经济林木也占有一定的比例; 群众生活水平显著提高, 到 2009 年底农民纯收入达到  $4\,000$  元。

### 4 结论

(1) 减小水流拖拽力、水流上举力以及增大土壤的黏聚力都有利于水土保持; 对于坡度较大的坡面, 减小浮重力  $G$  有利于水土保持。

(2) 植被冠层及枝干的水土保持作用主要体现在植被冠层的水分截留、削弱降雨的溅蚀功能以及抑制地表径流等几个方面; 而根系的水土保持作用主要体现在菌根及分泌物能降低土层重度、增加土层的黏聚力, 根系能增加土体的有效孔隙度、改善土体的渗透性能。

(下转第 260 页)

- 响的研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 1-5.
- [29] 贾科利, 常庆瑞, 王占礼, 等. 陕北坡耕地土壤侵蚀对土壤性质的影响研究[J]. 2006, 14(1): 96-99.
- [30] 葛方龙, 张建辉, 苏正安, 等. 坡耕地紫色土养分空间变异对土壤侵蚀的响应[J]. 生态学报, 2007, 27(2): 459-464.
- [31] Ni S J, Zhang J H. Variation of chemical properties as affected by soil erosion on hillslopes and terraces[J]. *European Journal of Soil Science*, 2007, 58: 1285-1292.
- [32] Reicosky D C, Lindstrom M J, Schumacher T E, et al. Tillage-induced CO<sub>2</sub> loss across an eroded landscape [J]. *Soil & Tillage Research*, 2005, 81: 183-194.
- [33] Lobb D A. Soil erosion processes on shoulder slope landscape positions [D]. Guelph: University of Guelph, 1991.
- [34] Tsara M, Gerontidis S, Marathianou M, et al. The long-term effect of tillage on soil displacement of hilly areas used for growing wheat in Greece[J]. *Soil Use and Management*, 2001, 17: 113-120.
- [35] Marques da Silva J R, Alexandre C. Soil carbonation processes as evidence of tillage-induced erosion [J]. *Soil & Tillage Research*, 2004, 78: 217-224.
- [36] Stewart C M, McBratney A B, Skerritt J H. Site specific durum wheat quality and its relationship to soil properties in a single field in Northern New South Wales[J]. *Precision Agriculture*, 2002, 3: 155-168.
- [37] Nie X J, Zhang J H, Su Z A. Intensive tillage effects on wheat production on a steep hillslope in the Sichuan Basin, China[C]. *ESiAT*, 2009: 635-638.
- [38] Quine T A, Walling D E, Chakela Q K, et al. Rates and patterns of tillage and water erosion on terraces and contour strips: evidence from caesium-137 measurements [J]. *Catena*, 1999, 36: 115-142.
- [39] Quine T A, Desmet P J J, Govers G, et al. A comparison of the roles of tillage and water erosion in landform development and sediment export on agricultural land near Leuven, Belgium [C]// *Variability in Stream Erosion and Sediment Transport*. IAHS Publ. No. 224, 1994: 77-86.
- [40] Govers G, Quine T A, Desmet P J J. The relative contribution of soil tillage and overland flow erosion to soil redistribution on agricultural land [J]. *Earth Surface Processes*, 1996, 21: 929-946.
- [41] Lobb D A, Kachanoski R G. Modelling tillage translocation using step, liner plateau and exponential functions [J]. *Soil & Tillage Research*, 1999, 51: 317-330.
- [42] Quine T A, Walling D E, Chakela Q K, et al. Rates and patterns of tillage and water erosion on terraces and contour strips: evidence from caesium-137 measurements [J]. *Catena*, 1999, 36: 115-142.

(上接第 253 页)

(3) 库区坡面有效的水土保持栽植模式应该是: 在坡顶, 以封山育林为主; 确出于需要, 应选择耐贫瘠、生长快、根系发达、固土能力强的先锋树种; 在坡面, 应根据坡向、坡度、土壤等条件, 垄沟结合, 辅以坡改梯等配套工程措施, 种植附加值较高的经济作物。

#### 参考文献:

- [1] 黎华寿, 蔡庆. 水土保持工程植物运用图解[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [2] 陈伟烈, 江明喜, 赵常明, 等. 三峡库区谷地的植物与植被[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [3] 卢立霞. 三峡库区岸生植物根系固土效应分析[D]. 重庆: 西南大学[D], 2006.
- [4] 吴震. 坡面水土流失力学机理与模型研究[D]. 大连: 辽宁工程技术大学, 2007.
- [5] 傅涛. 三峡库区坡面水土流失机理与预测评价建模[D]. 重庆: 西南大学, 2002.
- [6] 姜志强. 植被根系固土机理及护坡稳定性研究[D]. 南京: 河海大学, 2007.
- [7] 曹志平. 土壤生态学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [8] 张力霆. 土力学与地基基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [9] 程龙飞, 孙树林, 裴洪军. 香根草- 铰链式混凝土块护岸系统机理分析[J]. *岩土工程学报*, 2005, 27(5): 562-566