

专论综述

生物措施水土保持机理综述

马海霞¹, 王柳英²

- (1. 青海大学草业科学系, 青海 西宁 810016;
2. 青海省畜牧兽医科学院草原所, 青海 西宁 810016)

摘要:植被能有效控制水土流失,被公认为水土保持最有效最根本的方法,因此水土流失区植被的恢复和建造成水土保持工作的中心之一。通过对大量研究进行总结,进一步从机理上分析了植被对水土保持的作用,主要包括植被冠层对降雨的截留及对降雨侵蚀动能的影响,地表枯枝落叶层的水土保持作用和地下根系提高土壤抗冲性等。

关键词:水土保持;生物措施;防侵蚀机理;

中图分类号:S727 **文献标识码:**A

近年来,随着国家对基础设施建设项目投资力度不断加大,尤其随西部大开发战略的深入,公路、铁路、水利基础设施建设项目越来越多,导致出现大量的次生裸地以及严重的水土流失,加剧了生态系统的退化。因此,加强水土保持,改善生态环境,已成为我国当前面临的一项战略性任务。由于生物措施具有强大的防治水土流失的功能,并与其它两种措施(耕作措施和工程措施)相比,治根治本,对土壤的破坏程度也非常小,所以在水土流失中对生物措施的研究意义重大。

1 植被冠层水土保持机理

植被冠层主要是通过截留降雨,减少地表击溅,减少表层结皮达到减少侵蚀的目的。

1.1 乔、灌木水土保持机理

植被减弱降雨能量由两部分组成:一是冠层对降雨能量的削弱作用,减弱了降雨势能;二是林冠对降雨的缓冲作用减弱了降雨动能。刘向东^[1]

等对森林植被垂直结构减弱动能的研究表明:林冠截留削减的动能为降雨总动能的17%~40%,灌木草本层削减的动能为降雨总动能的44%,枯枝落叶层不仅可削减降雨总动能的9%,而且可将透过林冠层、灌木草本层的降雨动能全部削弱。

刘世荣等^[2]在长江上游森林植被水文功能研究中得出,当林分郁闭度在0.70时,平均截留率为24%,当郁闭度在0.30时,平均截留率为9.5%。刘昌明等^[3]得出森林覆盖率与土壤流失量之间的关系式:

$$M = ae^{-bF} \quad (1)$$

式中:M—侵蚀模数($t/km^2 \cdot a$);e—自然对数的底;a,b—回归系数;F—植被覆盖度。

陈云明,陈永勤^[4]在研究沙棘林水文水土保持作用时,经回归分析得出:

$$I = -1.59 + 0.018C^{1.439}, R^2 = 0.999 \quad (2)$$

式中,I为林冠截留率(%);C为郁闭度(%)。

宋西德^[5]通过多年研究构造了人工油松林林冠截留的动态模型:

$$I_c = at + b \cdot p \cdot \sin ct \quad (3)$$

式中, I_c 为林冠截留量的累积量; a, b, c 为常数; p 为大气降水的累积量; t 降水历时。其值随正弦函数波动, 反映了冠层截留有极限值。

Shuttle worth^[6]对植被截留降水的参数化关系为:

$$E_i = A + BP \quad (4)$$

其中 A, B 为唯象系数, P 为降水量。

Mintz Y. Walker = GK. 对植被截留降水量采用如下方法估算, 即取降水量和最大蒸散两者之间的最小值。

$$E_i = \min(P, E^*) \quad (5)$$

1.2 草本水土保持机理

与乔灌相比, 草本植被与土壤侵蚀关系最大的不是截留量的多少, 而是减少雨滴动能和溅蚀量的多少, 通常情况下土壤流失量随植被覆盖度的增加而呈指数关系下降^[7]。郑粉莉等^[8]采用模拟降雨实验对草被拦蓄径流和减少泥沙效益分析得出, 草地地面覆盖度达 90% 时, 草被拦蓄径流效益达 90% 以上, 而基本上无侵蚀发生。罗伟祥^[9]通过实验得出植被盖度与径流量和冲刷量的关系:

径流量 (Q) 与覆盖度 (C) 呈负对数关系:
 $Q = 9622.348 - 1975.345 \ln C, R = -0.833 \quad (6)$

冲刷量 (W) 与覆盖度 (C) 呈倒数关系:
 $W = -11.180 + 1099.801 \times 1/C, R = 0.948 \quad (7)$

大量研究表明只有当草被对地面的覆盖达到一定程度时, 才能起到防侵蚀的作用; 而最佳覆盖度是使其侵蚀量小于该地土壤流失的允许值, 也就是有效覆盖度。焦菊英等^[10]根据黄土高原草地径流小区降雨侵蚀资料, 对不同坡度和降雨下草地水土保持有效盖度进行了分析, 建立草地水土保持有效盖度 (V) 与降雨 (P_{i30}) 及坡度 (S) 的关系式:

$$V = -103.20 + 34.621 \ln(P_{i30}) - 78.971 \ln(S), R = 0.780 \quad (8)$$

2 枯枝落叶层水土保持机理

2.1 枯落物蓄水固土作用

枯枝落叶层覆盖地表可以防治雨滴直接击溅造成侵蚀。据朱金兆等^[11]研究表明, 油松林地凋

落物厚度为 1.0 和 1.5cm 时, 土壤的击溅侵蚀分别减少了 79.6% 和 94.0%; 当凋落物厚度为 2cm 时, 土壤击溅侵蚀量为 0。

枯枝落叶层还具有很高的透水性和水容量, 通过自己吸收, 截留部分降水, 其截留量相当于自身重量的 1.7~3.5 倍, 相当于 2~3mm 降水。黄礼隆^[12]通过实验研究得到, 不同植被林下枯落物、苔藓的持水量区别很大: 苔藓储水量最高可达 587%, 软阔叶为 386%, 硬阔叶为 250%, 针叶为 172%。

当林地枯落物吸水饱和后, 多余的水分通过枯枝落叶层渗入土壤中变为地下水, 因而大大减少了地表径流, 如在 10° 的坡地上, 有枯枝落叶层覆盖的地表, 其径流量仅为裸露地表的 1/30, 在 25° 的坡地上, 枯枝落叶层内的径流流速仅为裸露地表的 1/40^[13]。吴钦孝, 刘向东^[14,15]实验表明, 在雨季降雨量为 479.6mm 时, 山杨次生林去掉枯落物层的林分比未去的原状林分地表径流量增加 1.66 倍。

由于枯落物增加地表粗糙度, 因而延缓了汇流时间, 降低了径流流速。陈奇伯^[16], 经统计分析得出, 山杨林枯落物层阻延径流流出时间 $\Delta t/(s)$ 与枯落物厚度 $d/(mm)$ 、坡度 $\alpha(^{\circ})$ 、径流深 $h/(mm)$ 的关系为:

$$\Delta t = 50.283 d^{-0.458} h^{-0.671} \alpha^{-0.190} \quad (9)$$

赵鸿雁等^[17]利用水槽法, 对油松枯落物下径流流速测定研究发现枯落物降低径流流速 $\Delta v/(cm/s)$ 与坡度 $\alpha(^{\circ})$ 、径流深 $h/(mm)$ 、枯落物厚度 $d/(mm)$ 呈正比例关系, 回归方程为:

$$\Delta v = 17.2 \alpha^{0.365} h^{0.346} d^{0.05} \quad (10)$$

2.2 枯落物抑制蒸发作用

凋落物是热的不良导体, 使土壤散热较慢, 同时土壤蒸发散失的水气受到凋落物层的阻滞, 向大气逸散较慢, 从而使林地蒸发较少。

杨立文^[18]在太行山区研究发现当裸地一个月的蒸发量为 56.3mm 时, 有凋落物覆盖的地表蒸发量为 13.8mm, 凋落物的存在每年可减少地表蒸发量的 222%。朱金兆等研究表明凋落物层抑制蒸发的效果随厚度的增加而增加, 特别是在 2cm 以内效果更明显。赵鸿雁等^[19]通过研究得出枯落物覆盖下的土壤蒸发量数学式: 假定 $t = 0$ 时, 土壤含水量为 W_0 , 经过时间 t 后, 土壤的含水

量为 W_t , 则 $W_t = W_0 - Q_t$, Q_t 为 t 时间上土壤蒸发量, 则可求出:

$$Q_t = [W_0 e^{kt} - W_0 + Q_0] / e^{k/d} \quad (11)$$

式中: Q_t 为观测期土壤的累积蒸发量, g ; k 为比例常数; Q_0 为积分常数, g ; t 为蒸发时间, d ; d 为枯落物厚度, cm 。

2.3 枯落物改良土壤结构, 增加入渗

大量实测结果表明, 土壤渗透量的多少不取决于林分的表象或林分密度, 而取决于林内枯落物性质和土壤表层腐殖质层的厚度。汪有科等^[20]在陕西宜川测定林地枯落物后, 发现稳渗率仅为原林分的 69.2%。闫文德等^[21]在对祁连山森林枯落物水文作用的研究中指出, 在大量枯落物存在的林地内, 土壤具有容重低、孔隙度高、水分入渗快的特征, 这种入渗特性表现出巨大的调节降水、涵养水源的功能。

3 植被根系水土保持机理

各种植物根系都有固持土壤的作用, 特别是乔灌木树种的根系不仅分布深而且广, 在水平和垂直方向上都可固持、网络土壤。

3.1 植物根系提高土壤的抗冲性和渗透性

土壤抗冲性是指土壤抵抗径流分散和悬浮的能力。早在 60 年代朱显谟^[22]先生就指出, 生物措施是水土保持中最有效和最根本的方法, 他认为土壤抗冲性的增强主要取决于根系的缠绕和固结作用。另有研究表明植被根系对土壤理化性质的改良也有利于防止水土流失, 比如增加土壤有机质含量、增大非毛管孔隙度、提高大于 0.25mm 的水稳性团聚体含量以及增大土壤稳渗率、土壤崩解率、土壤抗冲性、抗蚀性等^[23-25]。

张祖荣^[26]在植物根系提高土壤抗冲性的研究中得到林木根系对土壤水稳性团聚体的增加值(y)与 $\leq 1mm$ 须根量(R_w)之间服从线性回归关系:

$$y = a + bR_w \quad (12)$$

蒋定生^[27-28]通过研究得出土壤的抗冲性与根系的分布密度呈指数关系, 表达式为:

$$S_0 = 1.24 \cdot e^{0.854X} \quad (13)$$

式中: S_0 为土壤抗冲性; X 为小于 1mm 的根系的分布密度, $r = 0.791$ 。

李勇等^[29-31]也研究了根系对土壤的抗冲性影响, 得出植物根系强化土壤抗冲性能主要取决于有效根密度(100cm² 土壤截面上 $\leq 1mm$ 的须根

的个数)在土壤剖面中的分布盘绕状况, 并从定量描述不同土层深度处根系强化土壤抗冲性的特征及减沙效应入手, 建立了植物根系对提高土壤抗冲性的有效性方程:

$$y = K \times R_d^B / (A + R_d) \quad (14)$$

式中: y 为根系减沙效应(%); R_d 为有效根密度(个/100cm²); K 为根系减沙效应所能达到的最大值(%); 当 $y = K/2$ 时, $A^{1/B} = R_d$ 。

陈云明等分析得到沙棘毛根量和冲刷模数二者呈显著幂相关:

$$M_s = 7.683R_d^{-0.529}, R^2 = 0.941 \quad (15)$$

式中: M_s 为沙棘林的冲刷模数(g/L); R_d 为植物毛根(0.1~0.4mm)量(g)。

王芝芳等^[32]实验研究表明, 土壤-根系复合体随含根量的增加渗水模数随之提高, 径流模数和泥沙模数随之下降, 但含根量增加到某一限制时, 复合体抗水蚀效能的变化很小, 并趋于稳定。

3.2 根系提高土体抗剪强度

如同钢筋混凝土构件具有较高的抗剪强度是由于钢筋具有较高的抗拉强度, 且与混凝土之间存在着粘结力一样, 当土壤受剪产生滑动时, 根系与土壤之间的摩擦力和茂密根系与土壤之间产生的胶合力就会通过根系受拉来阻止土体滑动, 从而提高了土壤的抗剪强度。

郝彤琪等^[33]由直剪实验得出土壤-根系复合体抗剪强度 τ 与法向正压力 σ 符合库仑定律 $\tau = \sigma \tan \phi + c$, 且 τ 随含根量 M_r 的增加而增加, 并得到复合体单位面积上的受剪承载力与含根量之间的关系式: $\tau = \tau_0 + 0.14M_r f_r$ (f_r 取毛根与主根抗剪强度的平均值, 适用范围 $\sigma < 50kPa$) (16)

杨亚川^[34]和李绍才^[35]分别得出抗剪强度指标 C 与含根量亦呈正相关, 但 ϕ 与含根量关系不大; 复合体的抗剪强度是随含水量的增加而减小的, 抗剪力由摩擦力及根系的生物作用力两部分组成。

周跃^[36]在对云南松树垂直根剪切作用试验中得出, 松树垂直根可使根基土层的抗剪强度平均提高 0.98MPa, 使土层对斜向滑动的阻力提高了 42.09%。封金财^[37]在植物根系对边坡的加固作用模拟分析中通过有限元分析得出随根系深度的增加边坡稳定性安全系数越大, 当根系长度在 3m 以上时, 安全系数提高效果趋于稳定, 且分叉

根系比未分叉加固效果更显著。

4 结语

在水土流失严重而普遍,生态环境恶化的今天,植被在防止水土流失方面起着举足轻重的作用,一方面可以减缓引起水土流失的外营力(风、

水、重力、温差等),另一方面可以增强土体本身的抵抗力。但水土流失与植被的关系错综复杂,目前仍没有被广为接受的定量关系,因此,水土流失与植被指标的研究有待于深化。

参考文献:

- [1] 刘向东,等. 植被截留与水土保持[J]. 水土保持学报,1994(3):13~18
- [2] 刘世荣,孙鹏森. 长江上游森林植被水文功能研究[J]. 自然资源学,2001(5):451~456
- [3] 刘昌明. 黄河中游黄土高原森林减沙效应研究梗概[J]. 水土保持信息,1992,3:6~1
- [4] 陈云明,陈永勤. 人工沙棘林水文水土保持作用研究[J]. 西北植物学报,2003,23(8):1357~1361
- [5] 宋西德. 黄土高原森林植被水土保持研究[J]. 内蒙古农业大学学报,2001,22(2):7~11
- [6] Shuttleworth WJ. Evaporation models in the Global water budget. Ibid,1983,147~171
- [7] 李勉,姚文艺,李占彬. 黄土高原草本植被水土保持作用研究进展[J]. 地球科学进展,2005,20(1):74~80
- [8] 郑粉莉,白红英,安韶山. 草被地上和地下部分拦蓄径流和减少泥沙的效益分析[J]. 水土保持研究,2005,12(5):86~88
- [9] 罗伟祥,白立强,宋西德,等. 不同覆盖度林地和草地的径流量和冲刷量[J]. 水土保持学报,1990,4(1):30~34
- [10] 焦菊英,王万忠,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
- [11] 朱金兆,刘建军,朱清科,等. 森林凋落物层水文生态功能研究[J]. 北京林业大学学报,2002,24(5/6):30~34
- [12] 黄礼隆. 川西亚高山暗针叶森林涵养水源性能的初步研究/周晓峰. 中国森林生态系统定位研究[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1994,400~402
- [13] 王礼先主编. 水土保持学[M]. 北京:中国林业出版社,1995
- [14] 吴钦孝,刘向东,苏宁虎. 山杨次生林枯枝落叶蓄积量及其水文作用[J]. 水土保持学报,1992,6(1):71~76
- [15] 刘向东,吴钦孝,苏宁虎. 六盘山林区森林树冠截留、枯枝落叶层和土壤水分性质的研究[J]. 水土保持学报,1991,5(4):87~91
- [16] 陈奇伯. 森林枯落物及苔藓阻延径流流速研究[J]. 北京林业大学学报,1996,18(1):1~5
- [17] 赵鸿雁,吴钦孝,刘向东. 山羊枯枝落叶层的水文水保作用研究[J]. 林业科学,1994,30(2):176~180
- [18] 杨立文,石清峰. 太行山主要植被枯落物的水文作用[J]. 林业科学研究,1997,10(3):181~188
- [19] 赵鸿雁,吴钦孝. 黄土高原沙棘水土保持功能研究[J]. 沙棘,1996,9(2):29~33
- [20] 汪有科,吴钦孝,韩冰,等. 森林植被水土保持功能评价[J]. 水土保持研究,1994,1(3):24~30
- [21] 闫文德. 祁连山森林枯落物水文作用研究[J]. 西北林学院学报,1997,12(2):7~14
- [22] 朱显谟. 黄土高原地区植被因素对水土流失的影响[J]. 土壤学报,1960,8(2):110~120
- [23] 查轩,唐克丽,张科利,等. 植被对土壤特性及土壤的侵蚀的影响研究[J]. 水土保持学报,1992,6(2):52~58
- [24] 王万中,焦菊英. 中国土壤侵蚀定量评价研究[J]. 水土保持通报,1996,16:5~8
- [25] 李德生. 石灰岩山地植被水土保持效益研究[J]. 水土保持学报,1993,7(2):57~63
- [26] 张祖荣. 植物根系提高土壤抗侵蚀能力的初步研究[J]. 渝西学院学报,2002,15(1):31~35
- [27] 蒋定生. 论晋陕蒙接壤地区土壤的抗冲性与水土保持措施体制的配置[J]. 水土保持学报,1995,9(1):1~7

- [28] 蒋定生, 范兴科. 黄土高原水土流失严重区土壤抗冲性的水平和垂直变化规律研究[J]. 水土保持学报, 1995, 9(2): 1~8
- [29] 李勇, 徐晓琴. 黄土高原植物根系强化土壤渗透力的有效性[J]. 科学通报, 1992(4): 366~369
- [30] 李勇, 徐晓琴. 植物根系与土壤抗冲性[J]. 水土保持学报, 1993, 7(3): 11~18
- [31] 李勇. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性的有效性[J]. 水土保持学报, 1991, (12): 935~938
- [32] 王芝芳, 杨亚川, 赵作善, 等. 土壤-草本植被根系复合体抗水蚀能力的土力学模型[J]. 中国农业大学学报, 1996, 2(1): 39~45
- [33] 郝彤琪, 谢小妍, 洪添胜. 滩涂土壤与植物根系复合体抗剪强度试验研究[J]. 华南农业大学学报, 2000, 21(4): 78~80
- [34] 杨亚川, 莫永京, 王志芳, 等. 土壤-草本植被根系复合体抗水蚀强度与抗剪强度的实验研究[J]. 中国农业大学学报, 1996, 1(2): 31~38
- [35] 李绍才, 孙海龙, 杨志荣, 等. 坡面岩体-基质-根系互作的力学特性[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(12): 2074~2081
- [36] 周跃, 李宏伟, 徐强. 云南松幼树垂直根的土壤增强作用[J]. 水土保持学报, 2000, 12(5): 110~114
- [37] 封金财. 植物根系对边坡的加固作用模拟分析[J]. 江苏工业学院学报, 2005, 17(3): 27~29

REVIEW ON MECHANISM OF SOIL AND WATER CONSERVATION BIOLOGICAL MEASURES

MA Hai-xia et al

(1. Department of Grassland science, Qinghai University, Qinghai, Xining, 810016, China;)

Abstract Because of controlling soil and water loss effectively, vegetation construction was regarded as one of the most effective and fundamental methods. According to generalize extensive studies, further analyze the function of biological measures in soil and water conservation from mechanism. The research consisted of canopy interception and its effect on the rainfall erosivity, effect of litter layer on conserving soil and water, and improvement of root system on soil anti-scourability etc.

Key words: Soil and water conservation; Biological measures; Anti-erosion mechanism

(上接第 9 页)

TRIAL OF FEED SHEEP IN KOCHIA SCOPARIA FODDER

XU Gong-fang et al

(Grassland Station of Delinha, Delinha Qinghai China, 817000)

Abstract 30 semifine - woolle sheep were divided into three groups in random, that is check group I, check group II and trial group. The sheep of check group I were fed 0.5kg concentrate and unlimited straw; The sheep of check group II were fed 0.5kg concentrate and unlimited dry fodder; The sheep of trial group were fed 20% kochia scoparia fodder powder instant of concentrate and unlimited kochia scoparia fodder. The results showed that the gain in weight of sheep of check group I, check group II and trial group increased as 118g, 172.5g, 169.5g average day. The cost of trial group was lower than sheep of check group I, check group II each as 24.23% and 6.96%.

Key words: kochia scoparia; Sheep Gain in weight; effect