

甘肃水土流失区防护效益森林覆盖率研究

吴秉礼, 石建忠*, 谢忙义, 贺立勇, 陈小华, 赵军营

(甘肃省林业调查规划院, 兰州 730020)

摘要:以甘肃长江流域、黄河流域及内陆河源头地区的祁连山地等三大流域为对象,就水土流失区最佳防护效益森林覆盖率进行了研究。指出:(1)甘肃的这三大流域生态环境恶化的主要表现为水力侵蚀形成的水土流失。一日或一次性大暴雨至特大暴雨过程是造成土壤侵蚀的主要原动力。这种侵蚀力的强度受平均雨强的大小、林地面积多少、林分类型的空间分布格局等因素影响。(2)土壤的总孔隙度是承载降水的主要蓄水库;土壤的总孔隙度决定了暴雨降水量下渗和形成地表径流的比重,因而也间接地决定了暴雨对土壤的侵蚀强度;土壤的总孔隙度又受土壤表面生长的植被类型及其覆盖度、内涵质量、空间分布格局等影响。林地是各种植被类型的地类中对这种侵蚀的抵抗力最优的地类之一。(3)林地具有明显阻滞地表径流的作用。若一个流域或更大范围内的森林类型、层次、结构、长势等森林内涵质量、分布格局均处于最优状态,则森林的面积或森林覆盖率将发挥出最佳防护效益,此时的森林覆盖率称为最佳防护效益森林覆盖率。(4)生态环境对森林防护能力的影响是通过不同森林防护类型能力的差异反映出来的。(5)应用降水量与土壤饱和蓄水量之间水量平衡原理,进行最佳防护效益森林覆盖率的计算。土壤饱和蓄水量可用土壤的总孔隙度来代替。设需求的森林覆盖率为 $F(\%)$,一日最大降水量为 $P(\text{mm})$,计算土壤厚度为 $T(\text{mm})$,土壤孔隙度为 $P_t(\%)$,则 $F = [P \div (T \times P_t)] \times 100\%$ 。用这种方法能快速准确地为制定生态环境建设的目标任务和政策提供科学依据。

关键词:水土流失;森林水文;土壤总孔隙度;最佳防护效益;森林覆盖率

Optimal protective effect of forest coverage on soil and water loss in Gansu Province

WU Bing-Li, SHI Jian-Zhong, XIE Mang-Yi, HE Li-Yong, CHEN Xiao-Hua, ZHAO Jun-Ying
(Gansu Forestry Investigation & Planning Institute, Lanzhou, 730020, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23 (6): 1125~1137.

Abstract: This study focuses on the upper reach of the Yangtze River, the upper reach of the Yellow River, and the headwater areas of major rivers in the Qilian Mountains within Gansu Province to understand the effect of forest coverage on soil and water loss. Exacerbating soil erosion associated with waterpower, especially waterpower of intensive rainstorms manifests the deteriorating environments in Gansu. The erosion intensity is influenced by the average rainfall intensity, forest coverage, and spatial patterns of forest distributions. The resistance of forestland to soil erosion is different among different forest types and stand ages.

Soil porosity determines the ratio of soil infiltration to surface runoff and the porosity is thus indirectly determines the erosion intensity during rainstorms. The porosity itself is controlled by such

收稿日期:2002-01-03;修订日期:2002-08-30

作者简介:吴秉礼(1947~),男,甘肃临洮人,高级工程师,主要从事林业调查规划及生态林业的研究。

本文得到兰州大学冯兆东博士的指导,谨此致谢。

* 通信联系人 Author for correspondence, shi-jz@163.com.

Received date: 2002-08-30 Accepted date: 2002-08-30

Biography: WU Bing-Li, Senior engineer, main research field: forest investigation and planning, ecological forestry.

factors as vegetation type, coverage, density, and spatial patterns. Among all land covers, forestland is the most resistant to soil erosion. The forest functions in resisting soil erosion, reducing flooding and increasing soil water content are achieved through enhancing soil infiltration and abating surface runoff. As a key factor in forest hydrology, soil porosity of forestland is different in different forest types, slope positions, stand ages, logging intensities and land alterations.

The forestland is obviously able to retain more surface runoff. The maximal water capacity and water conservation capacity of forests increase in the following order: bush wood < secondary forest or planted forest < climax community of *Abies faxoniana* forest. These two capacities vary with different soils or soil tops and increase in the following order: deadwood layer < moss layer < forest soil. If an optimal state of forest quality and distributing pattern is achieved, the forest-covered area or forest coverage has an optimal protective effect. The optimal state refers to an optimal combination of the following factors: vegetation type, vertical layers, structure and texture, health status. The enhancement of the protective effect by improving the optimal state and optimizing the distributing pattern can be controlled through artificial interventions, although the natural ecological environment is relatively steady and difficult to be influenced.

The influence of ecological environments upon forest protection ability of soil and water is realized through different protection ability of various forest types. To achieve the optimal protective effect, expanding forest coverage should be combined with adjusting forest properties to gain an optimally coupled state between ecological environments and properties of newly planted and already existed forest. Through gaining this coupling state, the optimal functions of forest, improving ecological environment and accelerating economic development, can be achieved.

The forest coverage of optimal protective effect can be computed on the base of water balance between the precipitation and the maximum water capacity. In this study, the total soil porosity is used as the maximum water capacity. Suppose that the computed percentage of forest cover is $F(\%)$, the maximum diurnal precipitation is $P(\text{mm})$, the adopted soil thickness is $T(\text{mm})$, the soil porosity is $P_t(\%)$, then $F = [P \div (T \times P_t)] \times 100\%$. This is more or less a reliable and operational way to determine the forest coverage of optimal protective effect. Equally important is that this method can be quickly and easily used to provide scientific references for establishing environmental policies.

Key words: soil and water loss; forest hydrology; soil porosity; optimal protective effect; forest coverage

文章编号:1000-0933(2003)06-1125-13 中图分类号:S157.1,S718.55,S719 文献标识码:A

一个流域或一个县、一个地区、一个省乃至一个国家究竟需要多大的森林面积才能起到优化环境和促进发展的双重作用,这是一个十分复杂的问题。国外认为森林覆盖率达到 30% 以上,且分布均匀、结构合理,发挥着巨大的经济、社会、生态效益,是当代林业先进发达的标志之一^[1],国内一些学者对陕西省^[2]、湖南省^[3]及四川省东部地区^[4]、江苏省中部的扬州^[5]等地的森林覆盖率进行了探讨,由于这些探讨从各自的地理背景和生产实际出发,缺乏完善的理论和成熟的经验支撑,结论很难在大范围内推广应用。对我国水土流失严重地区的长江上游和黄河上中游地区的最佳防护效益森林覆盖率的研究,至今尚未报道,张岩等人只作了黄土高原土壤侵蚀物覆盖因子等方面的系统研究^[6,7]。

本文以甘肃境内的长江流域、黄河流域及内陆河源头地区的祁连山地等水土流失严重地区为研究对象,就水土流失区最佳防护效益森林覆盖率进行了研究,目的为各级政府实施西部大开发战略任务之一的生态环境建设制定建设目标任务和政策提供科学依据。

1 研究地区概况及主要生态环境问题

研究地区位于甘肃省境内的长江流域、黄河流域及内陆河源头地区的祁连山地等三大流域内即我国黄土高原的西部边缘,这里是研究水土流失区最佳防护效益森林覆盖率的理想地区,三大流域代表了 3 个不同的地理区域。地理坐标为 $32^{\circ}35' \sim 39^{\circ}42' \text{N}$, $97^{\circ}24' \sim 108^{\circ}42' \text{E}$ 。国土面积 2109.9865 万 hm^2 ,其中陆地

面积 2048.94369 万 hm^2 , 占 97.11%, 水域面积占 2.89%; 分别占全省国土面积和陆地面积的 46.40%、45.44%。研究地区的陆地面积中: 城市、工矿、村庄、交通等固定建筑物占地 50.66242 万 hm^2 、占 2.47%, 其它地类 1998.28127 万 hm^2 、占 97.53%; 其它地类中林业用地占 30.62%, 耕地占 21.52% (耕地中坡耕地占 72.85%、川平地占 27.15%), 草地占 31.98%, 未利用地占 15.88%。

研究地区林业用地面积中, 现有有林地面积 243.05 万 hm^2 (其中天然林占 67.1%、人工林占 32.9%), 灌木林面积 144.76 万 hm^2 , 活立木蓄积量为 2.06 亿 m^3 , 森林覆盖率为 18.09%。现有的这些森林面积分布的极不均匀性表现在两方面: 一是研究地区陆地面积仅占全省陆地面积的 45.44%, 森林面积确占全省森林面积的 93.14%, 而且天然林面积占全省天然林总面积的 100%; 二是现有的这些森林面积中的 52.2% 和 100% 的天然林又集中分布在占研究地区陆地总面积 26.4% 的白龙江、岷江、康南、洮河、小陇山、太子山、连城、兴隆山、关山、子午岭及祁连山等天然林区内。

研究地区气候主要有陇南南部河谷亚热带半干旱半湿润区、陇北部暖温带半湿润区、黄土高原南部温带半湿润区、黄土高原北部温带干旱半干旱区、甘南高原温带高寒半湿润区、祁连山地温带高寒半干旱区等 6 个气候类型。

目前, 研究地区内三大流域生态恶化的主要表现都是水力侵蚀形成的水土流失, 土壤水力侵蚀面积达 1339.5 万 hm^2 ^①, 占陆地总面积的比例高达 65.38%, 这里也是西北乃至全国的重点水土流失地区之一。土壤侵蚀模数, 长江上游即陇南山地一般为 500t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$), 最高达 3000t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$), 年土壤侵蚀量达 6687 万 t, 年土壤养分流失量有机质 254.00 万 t、N 素 14.29 万 t、P 素 3.94 万 t、K 素 125.88 万 t; 黄河上中游地区的陇东黄土高原一般为 5000t~9000t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)、最高达 3.8 万 t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$), 陇西黄土丘陵沟壑区一般为 2000t~8000t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)、最高达 1.5 万 t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$), 甘南高原一般为 100t~500t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$), 年土壤侵蚀量达 69487 万 t, 年土壤养分流失量有机质 1940.61 万 t、N 素 116.19 万 t、P 素 44.64 万 t、K 素 1161.03 万 t^[13]。研究地区这些还在不断盘高的土壤侵蚀模数和土壤侵蚀量表明, 以水土流失为代表的生态环境问题是十分严重的, 必须引起足够重视。

2 理论依据

2.1 一日最大降水量是造成土壤侵蚀的主要原动力

水土流失是研究地区生态环境恶化的主要表现, 水土流失是以水力侵蚀为主的土壤侵蚀现象, 造成水力侵蚀的原动力是降水过程。在降水过程中, 引发严重水土流失的原动力不是一般的降水量, 而是那种一日或一次性大暴雨至特大暴雨过程, 其强度大, 动能高, 侵蚀力强。这种侵蚀力的强度, 又受平均雨强大小、林地面积多少、林分空间分布格局等因素的影响。

2.1.1 林地的自然侵蚀量远小于人为开垦造成的侵蚀量和荒坡自然侵蚀量 在不同平均雨强条件下, 林地土壤的自然侵蚀量远小于人为开垦造成土壤的侵蚀量和荒坡土壤的自然侵蚀量。对郁闭度 0.7 的中幼龄辽东栎 (*Quercus liaotungensis*) 次生林地与该林地被开垦后的开垦地土壤侵蚀的对照观测表明, 在一次降雨量 40.8mm、平均雨强 5.8mm/h 下, 林地土壤的自然侵蚀量为 7.2t/ km^2 、开垦地为 3602t/ km^2 ; 在一次降雨量 38.3mm、平均雨强 6.4mm/h 下, 林地自然侵蚀为 0.2t/ km^2 、开垦地为 4080t/ km^2 ^[8], 同时开垦地土壤的侵蚀量还表现出随坡度的加大, 侵蚀量有明显增大的趋势, 土壤侵蚀量在 14~32° 的坡面为 9703.7t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)、在 5~34° 的坡面为 10324.5t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)、在 38~41° 的坡面为 13179.4t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)、在 37°~42° 的坡面为 21774.1t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)^[8]。

雨季在相同降雨条件下, 林分的空间结构发生变化也影响侵蚀力的强度。雨季降雨量在 274.5mm~435.3mm 范围内, 郁闭度为 0.7、林龄 30a 的人工油松 (*Pinus tabulaeformis*) 林地的空间结构在分别进行林地枯落物被去掉和采伐林地上层林木两种处理后, 其土壤的侵蚀量 (林地去掉枯落物层的平均侵蚀量为 57.01t/ km^2 、采伐林地上层林木的平均侵蚀量为 5.59t/ km^2) 较未处理油松林地的自然侵蚀量 (2.35t/ km^2) 有所提高, 但仍然小于对照农地的侵蚀量 (2899.19t/ km^2)^[9]。

万方数据

① 吴秉礼, 等. 甘肃林业经济与资源调查. 甘肃省林业厅, 1999 年 5 月

因此,扩大林地面积和提高林分质量是降低一日或一次性大暴雨至特大暴雨过程造成严重土壤侵蚀现象的有效途径,而且只有林地才能降低或减轻这种侵蚀强度。

2.1.2 林地本身并不都对土壤侵蚀具有相同的抵抗力 不同的林地本身并不是都对这种侵蚀具有相同的抵抗力,而是表现出不同的林地类型对这种侵蚀的抵抗力各不相同。主要表现在 3 个方面:

(1)林地的组成树种不同,对侵蚀的抵抗力不同。同属幼林龄、平均雨强 21.3mm/h 的条件下,林地的自然侵蚀模数,扁核木(*Prinsepia uniflora*)林地为 76.6t/km²,狼牙刺(*Sophora vicifolia*)林地为 146.0t/km²,但都比对照荒坡的侵蚀模数 2050t/km² 小得多;在平均雨强 12.9mm/h 的条件下,也表现出扁核木林地为 2.48t/km²、狼牙刺林地为 9.36t/km²,对照荒坡为 117t/km²[10]与上述类似的规律性。

(2)对侵蚀强度的抵抗力还表现在随着林龄的增大,抵抗力越来越强。一次降雨量 46.3mm、平均雨强 4.0mm/h,野葛(*Pueraria lobata*)幼林地的自然侵蚀量为 25.8t/km²,对照荒坡的侵蚀量为 72.7t/km²[10];一次降雨量 44.2mm、平均雨强 7.38mm/h、林龄为 40a 的栓皮栎(*Quercus variabilis*)林地的自然侵蚀量仅 16.1t/km²,对照荒坡的侵蚀量为 1974.35t/km²[11]。

(3)对林地采取的抚育措施不同,造成林地的自然侵蚀量也不同[9]。

2.1.3 林地与草地土壤的侵蚀量也有很大差别 对祁连山地青海云杉(*Picea crassifolia*)天然林和对照草地观测表明,在一次降雨量 76mm、平均雨强 36mm/h 条件下,青海云杉林地没有产生自然侵蚀,而草地由于放牧强度不同产生不同的侵蚀量,过度放牧草地为 526.24t/km²、中度放牧草地为 11.5t/km²、轻度放牧草地为 0.04t/km²[12]。

综上所述,林地具有明显地阻滞土壤流失的作用,同时还揭示出了土壤侵蚀量林地<草地<荒坡的规律,从而说明森林面积的大小和空间分布格局与防护能力的关系是十分紧密的。在同等降水量条件下,林区的土壤侵蚀程度明显低于非林区,而且随着林龄的增大和林木覆盖率的提高,防护能力越来越大。土壤侵蚀模数的对比结果也表明[13]:天然林区一般为 0t/(km²·a),人工林区随着林龄和林木郁闭度或覆盖度的增大,由 200→130→100→0t/(km²·a);山坡草地随着覆盖度的增大一般变动在 500→300→200 t/(km²·a)左右;裸地随着降水强度的加大,陇东黄土沟壑区最大可达 3.8 万 t/(km²·a)、陇西黄土丘陵沟壑区最大可达 1.5 万 t/(km²·a)。林地抵抗一日或一次大暴雨至特大暴雨过程侵蚀的能力远远大于草地、大于裸地。目前,主要是区内森林面积小、分布不均匀,造成水土流失难以控制。

2.2 土壤总孔隙度是承载降水的主要蓄水库

如何有效地吸纳一日或一次大暴雨至特大暴雨过程带来的降水量,防止和减轻对土壤的侵蚀量,它直接涉及到土壤孔隙度的大小。土壤总孔隙度决定了暴雨降水量下渗和形成地表径流的比重,因而也间接地决定了暴雨对土壤的侵蚀强度;土壤的总孔隙度又受土壤表面生长的植被类型及其覆盖度、内涵质量、空间分布格局等影响。林地则是各种植被类型的地类中对这种侵蚀的抵抗力最优的地类之一,而且土壤孔隙度林地明显大于其它地类。同时,森林涵养水源机理研究还表明,森林保持水土、减缓洪水及涵养水源的功能是通过维持森林土壤的稳渗速度,缓和和减少地表径流为中心的防护能力来实现的[12,14,15]。这些能力的大小主要通过具有综合属性的森林土壤的饱和蓄水能力来获得。土壤的饱和蓄水能力又与土壤的总孔隙度高度相关。土壤孔隙度还因林地、草地、荒坡而不同,同一区域的土壤孔隙度普遍存在林地>草地>裸地的规律,但各地类内部还存在差异。

2.2.1 林地土壤自身的孔隙度有一定差别 主要表现在:

(1)林型(林分类型)不同,林地的孔隙度不同。林龄 5~10a 不同林型林地土壤的孔隙度,白刺花(*Saphora davidii*)64.9%>狼牙刺 60.6%>扁核木 60.0%>红皮柳(*Salix purpurea*)59.4%>黄刺玫(*Rosa xanthina*)59.0%>刺槐(*Robinia pseudoacacia*)57.8%>虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)57.8%>榛子(*Corylus heterophylla*)57.6%>紫丁香(*Syringa oblata*)57.3%>紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)48.98%>山桃(*Prunus davidiana*)47.4%[10,15]。

(2)坡位不同数据土壤的孔隙度不同。杉木(*Cunninghamia lanceolata*)幼林地土壤的孔隙度,山顶为 43.7%、中坡为 44.1%、下坡为 43.6%[17],由此说明在不同坡位土壤的孔隙度存在中坡>山顶>下坡的规

律,黄土高原也有类似表现^[19]。

(3)林龄不同,林地土壤的孔隙度也不同。竹(*Phyllostachys pubescens*)林地有随着竹龄的增大,存在林地土壤的孔隙度逐渐减小的趋势。1~15a 不同林龄的竹林地,土壤容重从 0.96g/cm³上升到 1.13 g/cm³,平均增加 0.02 g/cm³;土壤孔隙度从 62.5%逐渐下降到 55.9%,年均下降 0.4%,但 10~11a 竹林地土壤容重均为 1.10 g/cm³,土壤孔隙度也保持 57%不变,13~14a 竹林地同样土壤容重均为 1.12 g/cm³,土壤孔隙度也保持 56.3%不变^[18]。从而证明了竹林存在林龄与土壤孔隙度呈负相关的规律。

阔叶林、针叶林、针阔混交林等 3 种林地土壤的孔隙度都表现出随着林龄的增大,土壤孔隙度存在逐渐增大的趋势。①阔叶林地的土壤孔隙度,5a 生刺槐林地地为 57.8%^[16],14a 生胡枝子(*Lespedeza bicolor*)林地地为 58.2%^[10],40a 生锐齿栎(*Quercus aliena* var. *acuteserrata*)林地地为 63.4%^[19],100a 生左右常绿阔叶林林地地为 70.6%^[20],100a 生以上常绿落叶混交林林地地为 83.3%^[20]。②针叶林地的土壤孔隙度,30a 生马尾松(*Pinus massoniana*)林地地为 54.7%^[20],中龄华山松(*Pinus armandi*)林地地为 62.3%^[19],近熟青海云杉林地地为 75%^[12]。③针阔混交林地土壤孔隙度,28a 生桉树(*Eucalyptus robusta*)-松树(*Pinus massoniana*)混交林地地为 58.8%^[20],50a 生油松-胡枝子林地地为 60.1%^[21],中近熟松-栎混交林地地为 62.2%^[19]。它们都明显地揭示出林龄与林地土壤孔隙度大小呈正相关关系。

(4)择伐强度不同,林地土壤的孔隙度也不同。热带天然次生林,在无干扰条件下,林地土壤的孔隙度为 48.0%;择伐强度为 50%时,林地土壤的孔隙度为 47.7%;择伐强度为 70%时,林地土壤的孔隙度为 45.6%,并且与迹地土壤的孔隙度相同^[22]。林地的择伐强度与林地土壤的孔隙度大小存在负相关关系,择伐强度越大,伐后林地土壤的孔隙度越小,造成土壤被侵蚀的可能性越大。

(5)整地方式不同,林地土壤的孔隙度也不同。定植 5a 生的刺槐林地土壤孔隙度,反坡梯田形式整地的为 55.8%、深坑大穴形式整地的为 57.8%、梯田形式整地的为 59.0%^[16]。这 3 种不同整地方式对比表明,林地土壤的孔隙度梯田>深坑大穴>反坡梯田,从而为造林优化整地方式提供了依据。

2.2.2 草地土壤自身的孔隙度,也有较大差别 放牧强度即载畜量与草地土壤的孔隙度存在轻度放牧草地为 38.7%>中度放牧草地为 27.3%>过度放牧草地为 16.5%^[12]。草地土壤孔隙度的大小还表现出,由于其地理区域的不同,草地土壤的孔隙度也不同,目前已有的资料显示出南方草地土壤的孔隙度最大,一般为 47.6%~82.3%^[20,22];西北黄土高原草地土壤的孔隙度处于中间水平,一般为 38.7%~58.3%^[12,19];东北草地土壤的孔隙度则处于较低水平,一般为 34.6%~57.6%^[16,23,24]。

2.2.3 自然土壤的孔隙度,随土壤类型不同,其孔隙度的大小也不同 甘肃 19 个主要自然土壤(包括荒坡自然土壤和滩地自然土壤等)类型的孔隙度大小各不相同,土壤孔隙度最大为泥炭土 76.79%;最小为黑土和黑钙土分别是 45.66%、45.36%^[25]。

2.3 森林具有明显阻滞地表径流的作用

对各气候带的主要森林类型测定结果表明,森林林冠层能有效地截持一部分降水,枯枝落叶层的有效吸水量通常为自重的 2~3 倍以上,林地地表径流很少发生或显著削弱,在月降雨量 80~90mm 下,或一次降雨量 60~65mm 时,均未产生地表径流^[27]。对与甘肃省白龙江林区毗邻而且有类似森林类型的长江上游的川西高山米亚罗林区的森林类型的蓄水能力研究结果也表明,森林枯枝落叶层还能增加地表的粗糙度,对森林的水源涵养和水土保持具有重要的作用;从灌丛到次生林或人工林,最后演替到顶级群落岷江冷杉(*Abies faxoniana*)林,既有从枯枝落叶层→苔藓层→森林土壤层最大蓄水量逐渐增大的明显表现,又有不同森林类型的枯枝落叶层、苔藓层、森林土壤层蓄水量逐渐增大的明显表现,而且不同森林类型土壤层的蓄水量与其土壤的总孔隙度呈正相关,并都朝顶级群落的涵养水源能力方向恢复。如 50cm 的森林土壤层、枯枝落叶层、苔藓层各自的最大蓄水量岷江冷杉原始林为 366.6mm、3.95mm、4.45mm,相当于 375.00mm 的降水量;岷江冷杉次生林为 335.75mm、0.58mm、0.87mm,相当于 337.20mm 的降水量;粗枝云杉(*Picea asperata*)林为 350.41mm、0.23mm、0.78mm,相当于 351.42mm 的降水量;桦木(*Betula*)林为 349.04mm、1.65mm、1.39mm,相当于 351.92mm 的降水量;灌木林为 346.45mm、0.49mm、0.71mm,相当于 347.65mm 的降水量^[28]。

综上所述,若一个流域或一个县、一个地区乃至更大范围的森林类型、层次、结构、长势等森林内涵质量、分布格局均处于最优状态,则森林面积或森林覆盖率将发挥出最佳防护效益,此时森林覆盖率为最佳防护效益森林覆盖率。由增加森林内涵质量和优化森林分布格局带来的防护效益的大小,主要取决于现实森林自身属性状态。森林自身属性是人力可控的,而生态环境相对稳定,人力难以干涉。生态环境对森林防护能力的影响是通过不同森林类型防护能力差异反映出来的。因此,在一定范围内确定最佳防护效益森林覆盖率时,应把扩大森林面积和着力调整森林自身属性有机结合起来,使新造和原有森林的自身属性与生态环境达到最佳耦合状态,这样才能发挥森林优化环境和促进发展的双重作用。

2.4 土壤饱和蓄水量与土壤总孔隙度的关系及孔隙度的测定

土壤的饱和蓄水量可用土壤的总孔隙度来代替^[26]。土壤的总孔隙度一般不直接测定,而是先测定土壤的容重,再测定土壤的比重,然后根据公式 $P_t = (1 - r_s/d_s) \times 100\%$ (式中, P_t 为土壤总孔隙度(%), r_s 为土壤容重(g/cm^3), d_s 为土壤比重(g/cm^3)) 计算土壤总孔隙度。

3 计算方法及数据收集

3.1 计算方法

为了防止这种大暴雨至特大暴雨过程引发水土流失,应用降水量与土壤饱和蓄水量之间的水量平衡原理,即陆地面积范围内产生的一日或一次性大暴雨至特大暴雨量与一定森林面积范围内森林土壤的饱和蓄水量之间保持水量平衡的原理进行最佳防护效益森林覆盖率的定量研究。设需要的森林面积为 $S_{森}$ (hm^2), 陆地总面积为 $S_{陆}$ (hm^2) 即防护面积, 一日最大降水量为 P (mm), 森林土壤饱和蓄水量为 W (mm), 则有: $S_{森} = P \cdot S_{陆} / W$ (1) 式中, W 有土壤最小孔隙度的饱和蓄水量 W_{min} 、土壤最大孔隙度的饱和蓄水量 W_{max} 、土壤平均孔隙度的饱和蓄水量 W_{ave} 。

森林覆盖率采用原国家林业部 1996 年颁发的《森林资源规划设计调查主要技术规定》^[29] 提出的计算公式:

$$F = (S_{森} / S_{陆}) \times 100\% \quad (2)$$

式中, F 为森林覆盖率(%); 这里的 $S_{森}$ 按照国家计算森林覆盖率应包括林地面积即森林面积、灌木林地面积、林网占地面积、四旁树占地面积计算。

(1) 式中的 W 的计算公式如下:

$$W = T \times P_t \quad (3)$$

式中, T 为土壤厚度(mm); P_t 为土壤总孔隙度(%), 其中 P_{min} 为土壤最小孔隙度、 P_{max} 为土壤最大孔隙度、 P_{ave} 为土壤平均孔隙度。

$$F = (P \cdot S_{陆} / W \cdot S_{陆}) \times 100\%$$

$$\text{即} \quad F = (P / T \cdot P_t) \times 100\% \quad (4)$$

3.2 数据收集

陆地面积数据来源于《甘肃林业经济与资源调查》、《甘肃省农业资源调查》^①及参考文献^[30]; 一日或一次最大降水量数据来源于《甘肃省县市区地面基本气候资料》^②; 土壤总孔隙度数据来源于文献^[25]; 各县市区主要土类来源于《甘肃省县级综合农业区划简编》^③; 各县市区主要土类的土层厚度来源于作者长期深入实地的调查结果。

4 研究结果

4.1 基础数据

4.1.1 陆地总面积 研究地区陆地总面积为 20489436.9 hm^2 , 详见表 1。

① 甘肃省农业资源调查, 甘肃省区划委员会办公室, 1986 年 12 月

② 甘肃省县市区地面基本气候资料, 甘肃省气象局, 1950~1980 年

③ 甘肃省县级综合农业区划简编, 甘肃省农业区划委员会办公室, 1987 年 12 月

表 1 陆地面积、森林覆盖现状与一日最大降水量

Table 1 Maximum diurnal precipitation and current situation of land area and forest cover rate

县市区 ^①	陆地面积 ^② (hm ²)	森林覆盖率 ^③ 状(%) ^③	一日最大降水量 ^④ (mm)	县市区 ^①	陆地面积 ^② (hm ²)	森林覆盖率 ^③ 状(%) ^③	一日最大降水量 ^④ (mm)
总计 Total	20489436.9	18.09	87.9	F7 东乡县 Dongxiang	146030.3	6.26	(82.1)
Ⅰ 陇西黄土丘陵沟壑区 Long-xi				Autonomous County			
Loess hills and gullies region	781126.4	10.15	82.8	F8 积石县 Jishishan Baoan-	89401.8	11.27	(82.1)
A 兰州市 Lanzhou City	1306831.0	6.96	84.2	Dongxiang-Sala Autonomous County			
A2 七里河 Qiluhe District	20652.0	17.37	96.8	Ⅱ 陇东黄土高原 Long-dong Loess			
A3 西固区 Xigu District	39190.0	18.14	96.8	Plateau region	3432744.1	18.75	105.5
A4 安宁区 Anning Sistrict	36738.0	14.09	96.8	E 平凉地区 Pingliang Prefecture	733537.0	23.40	112.4
A5 红古区 Honggu District	8679.0	18.42	96.8	E3 平凉市 Pingliang City	192566.0	19.02	94.7
A6 永登县 Yongdeng County	53514.0	4.40	(111.1)	E4 泾川县 Jingchuan County	143860.0	31.85	(94.7)
A7 皋兰县 Gaolan County	572426.0	6.17	(82.2)	E5 灵台县 Lingtai County	195240.0	18.65	150.1
A8 榆中县 Yuzhong County	248688.0	3.21	(82.2)	E6 崇信县 Chongxin County	83837.0	23.42	139.4
B 白银市 Baiying City	326944.0	8.50	80.6	E7 华亭县 Huating County	118034.0	28.08	81.5
B1 白银区 Baiying District	1998340.0	3.39	71.1	G 庆阳地区 Qingyang Prefecture	2699207.1	17.49	103.6
B2 平川区 Pingchuan District	134149.0	0.83	82.2	G1 西峰市 Xifeng City	98977.3	17.54	100.3
B3 靖远县 Jingyuan County	193594.0	2.28	(75.8)	G2 庆阳县 Qingyang County	267315.0	12.95	190.2
B4 会宁县 Huining County	562711.0	1.90	(75.8)	G3 环县 Huan County	916594.2	2.85	61.4
B5 景泰县 Jingtai County	558997.0	6.86	75.8	G4 华池县 Huachi County	382679.0	21.25	143.5
C 天水市 Tianshui City	548889.0	2.39	57.1	G5 合水县 Heshui County	292965.9	53.99	131.9
C1 秦城区 Qincheng District	1399598.7	23.87	78.5	G6 正宁县 Zhengning County	130377.7	40.87	96.7
C2 北道区 Beidao District	229611.1	22.44	88.1	G7 宁县 Ning County	263500.0	27.78	73.5
C3 清水县 Qingshui County	342037.7	52.69	68.5	G8 镇原县 Zhenyuan County	346798.0	8.26	106.9
C4 秦安县 Qinan County	198253.6	12.68	75.1	Ⅲ 陇南山地 Long-nan mountainous			
C5 甘谷县 Gangu County	156778.2	10.34	79.3	region	2756071.4	38.56	112.3
C6 武山县 Wushan County	145881.2	11.29	65.8	H 陇南地区 Longnan Prefecture	2756071.4	38.56	112.3
C7 张川县 Zhangjiachuan Hui	197733.9	10.07	87.5	H1 武都县 Wudou County	460329.1	23.75	(95.0)
Autonomous County	129303.0	19.78	92.3	H2 宕昌县 Tanchang County	332277.0	29.38	(95.0)
D 定西地区 Dingxi Prefecture				H3 成县 Cheng County	167655.0	41.17	180.7
D1 定西县 Dingxi County	1948713.0	7.55	91.3	H4 康县 Kang County	294107.8	48.25	132.9
D2 通渭县 Tongwei County	363902.0	7.34	(91.3)	H5 文县 Wen County	497659.3	58.35	(95.0)
D3 陇西县 Longxi County	289196.0	2.73	91.3	H6 西和县 Xihe County	182011.3	20.44	103.9
D4 渭源县 Weiyuan County	238478.0	1.12	76.9	H7 礼县 Li County	413431.0	18.35	116.3
D5 临洮县 Lintao County	206426.0	12.34	(76.9)	H8 两当县 Liangdang County	136881.9	65.93	95.0
D6 漳县 Zhang County	278603.0	5.05	143.8	H9 徽县 Hui County	271719.0	56.44	138.2
D7 岷县 Min County	215712.0	16.76	(76.9)	Ⅳ 甘南高原 Gan-nan plateau region	3766635.0	19.54	73.2
E 平凉地区 Pingliang Prefecture				I 甘南州 Gannan Autonomous			
E1 庄浪县 Zhuanglang County	369534.0	11.09	89.7	Prefecture	3766635.0	19.54	73.2
E2 静宁县 Jingning County	153966.0	18.65	94.7	I1 合作市 Hezuo City	283218.9	5.98	(73.2)
F 临夏州 Linxia Hui Autonomous				I2 临潭县 Lintan County	156096.5	21.73	(73.2)
Prefecture	788709.7	14.19	93.1	I3 卓尼县 Zhoni County	509484.3	37.74	(73.2)
F1 临夏市 Linxia City	8587.0	7.28	82.1	I4 舟曲县 Zhouqu County	299505.5	55.93	(73.2)
F2 临夏县 Linxia County	118263.0	18.80	(82.01)	I5 迭部县 Diebu County	472759.6	57.72	(73.2)
F3 康乐县 Kangle County	97819.3	23.54	81.2	I6 玛曲县 Maqu County	1008676.0	2.18	(73.2)
F4 永靖县 Yongjing County	181191.7	6.33	111.1	I7 碌曲县 Luqu County	469595.1	4.67	73.2
F5 广河县 Guanghe County	52520.3	10.15	(82.1)	I8 夏河县 Xiahe County	567299.1	6.37	(73.2)
F6 和政县 Hezheng County	94896.3	32.26	119.3	V 祁连山地 Qi-lian mountainous			
				region	2722260.0	17.31	(76.0)

* “七里河”指七里河区;“张川县”指张家川回族自治县;“临夏州”指临夏回族自治州;“东乡县”指东乡族自治县;“积石县”指积石山保安族东乡族撒拉族自治县;“甘南州”指甘南藏族自治州;①Names of units;②Total land area;③Forest cover rate;④The maximum diurnal precipitation

4.1.2 一日最大降水量 研究地区 30a 内一日或一次最大降水量,陇西黄土丘陵沟壑区从 57.1mm/d(景泰)~143.8mm/d(临洮)、陇东黄土高原从 61.4mm/d(环县)~190.2mm/d(庆阳)、陇南山地从 95.0mm/d(文县)~180.7mm/d(成县)、甘南高原为 73.2mm/d(碌曲)、祁连山地为 76.0mm/d(皇娘娘台),详见表 1。

4.1.3 土壤厚度与土壤孔隙度 依据林木主要根系的分布范围及土壤石质化程度来确定各类型区土壤饱和蓄水量的计算土层厚度。一般情况下,陇西黄土丘陵沟壑区、陇东黄土高原区及陇南山地以 50cm 为宜,甘南高原和祁连山地以 40cm 为宜。研究地区各县市区的土壤类型以面积比重较大的土类为主,一般取 3 个主要土类作为确定该县土壤的总孔隙度的基本土壤。通过对不同土类的 830 个土壤样品容重及比重的测定,研究地区各类型区、各县市区山地主要的 9 个土纲 19 个土类的总孔隙度见表 2^[25]。土壤综合总孔隙度,最小为 45.36%(黑钙土),最大为 76.79%(泥炭土),平均(面积加权数)为 55.10%。

表 2 自然土壤主要土类总孔隙度

Table 2 Total porosity of main soil types of nature soil

类型区 Study area	主要土类 1 Soil type 1		主要土类 2 Soil type 2		主要土类 3 Soil type 3		最小孔隙度 ^③ (%)	最大孔隙度 ^④ (%)	平均孔隙度 ^⑤ (%)			
	名称 Soil 名称 Soil	面积比 ^① (%)	孔隙度 ^② (%)	名称 Soil 名称 Soil	面积比 ^① (%)	孔隙度 ^② (%)				名称 Soil 名称 Soil	面积比 ^① (%)	孔隙度 ^② (%)
总计 Total							45.36	76.79	55.00			
I							45.36	65.04	55.00			
A							52.73	65.04	58.09			
A1	灰钙土	29.0	57.05	黄绵土	57.0	56.00	灌淤土	14.0	52.73	52.73	57.05	55.85
A2	灰钙土	8.0	57.05	黄绵土	76.0	56.00	灰褐土	13.0	65.04	56.00	65.04	55.58
A3	灰钙土	22.0	57.05	黄绵土	58.0	56.00	灌淤土	20.0	52.73	52.73	57.05	55.58
A4	灰钙土	20.0	57.05	黄绵土	80.0	56.00				56.00	57.05	56.21
A5	灰钙土	11.0	57.05	黄绵土	73.0	56.00	灌淤土	16.0	52.73	52.73	57.05	55.59
A6	灰褐土	123.0	65.04	黄绵土	20.0	56.00	灰钙土	67.0	57.05	56.00	65.04	57.88
A7	灰钙土	20.0	57.05	黄绵土	80.0	56.00				56.00	57.05	56.20
A8	灰褐土	54.0	65.04	灰钙土	6.0	57.05	黄绵土	40.0	56.00	56.00	65.04	60.94
B							51.70	65.04	55.51			
B1	灰钙土	10.0	57.05	灰棕漠土	78.0	54.89	灌淤土	12.0	52.73	52.73	57.05	54.85
B2	灰钙土	40.0	57.05	栗钙土	30.0	51.70	灌淤土	30.0	52.73	51.70	57.05	54.15
B3	灰钙土	14.0	57.05	黄绵土	75.0	56.00	灌淤土	11.0	52.73	52.73	57.05	55.79
B4	灰钙土	22.0	57.05	黄绵土	46.0	56.00	黑垆土	32.0	54.00	54.00	57.05	55.79
B5	灰钙土	26.0	57.05	灰棕漠土	73.0	54.89	灰褐土	1.0	65.04	54.89	65.04	55.55
C							50.50	56.00	53.44			
C1	黄绵土	38.0	56.00	黑垆土	14.0	54.00	褐土	48.0	50.57	50.57	56.00	53.11
C2	褐土	62.00	50.57	黄绵土	22.0	56.00	红粘土	16.0	50.50	50.40	56.00	51.75
C3	黄绵土	79.0	56.00	褐土	16.0	50.57	黑垆土	5.0	54.00	50.57	56.00	55.03
C4	黄绵土	48.0	56.00	黑垆土	31.0	54.00	褐土	21.0	50.57	50.57	56.00	54.11
C5	黄绵土	52.0	56.00	黑垆土	21.0	54.00	褐土	27.0	50.57	50.57	56.00	54.11
C6	褐土	50.0	50.57	黄绵土	23.0	56.00	黑垆土	27.0	54.00	50.57	56.00	52.75
C7	褐土	20.0	50.57	黄绵土	57.0	56.00	黑垆土	23.0	54.00	50.57	56.00	54.45
D							45.66	65.04	54.58			
D1	黑垆土	6.0	54.00	灰钙土	57.0	57.05	黄绵土	37.0	56.00	54.00	57.05	56.48
D2	黑垆土	70.0	54.00	黄绵土	27.0	56.00	红粘土	3.0	50.50	50.50	56.00	54.44
D3	黄绵土	49.0	56.00	黑垆土	41.0	54.00	灰褐土	10.0	65.04	54.00	65.04	56.08
D4	黑垆土	46.0	54.00	灰褐土	14.0	65.04	黄绵土	40.0	56.00	54.00	65.04	56.35
D5	黑垆土	35.0	54.00	灰钙土	17.0	57.05	黄绵土	48.0	56.00	54.00	57.05	55.48
D6	褐土	30.0	50.57	黑垆土	30.0	54.00	亚高山草原土	40.0	52.98	50.57	54.00	52.56
D7	黑土	14.0	45.66	亚高山草原土	62.0	52.98	褐土	24.0	50.57	45.66	52.98	51.38
E							45.36	65.04	55.56			
E1	黑垆土	19.0	54.00	黄绵土	69.0	56.00	灰褐土	12.0	65.04	54.00	65.04	56.70
E2	黑钙土	0	54.00	黄绵土	72.0	56.00	黑钙土	8.0	45.36	45.36	65.04	54.75

续表 2

类型区 Study area	主要土类 1 Soil type 1		主要土类 2 Soil type 2		主要土类 3 Soil type 3		最小孔隙度 ^③ (%)	最大孔隙度 ^④ (%)	平均孔隙度 ^⑤ (%)			
	名称 Soil 名称 Soil	面积比 ^① (%)	孔隙度 ^② (%)	名称 Soil 名称 Soil	面积比 ^① (%)	孔隙度 ^② (%)				名称 Soil 名称 Soil	面积比 ^① (%)	孔隙度 ^② (%)
F							45.66	64.91	52.28			
F1	黑垆土	61.0	54.00	黑土	10.0	45.66	红粘土	29.0	50.50	45.66	54.00	52.15
F2	黑垆土	40.0	54.00	黑土	40.0	45.66	棕壤	20.0	55.54	45.66	55.54	50.97
F3	黑土	62.0	45.66	暗棕壤	28.0	64.91	栗钙土	10.0	51.70	45.66	64.91	51.65
F4	黑土	6.0	45.66	栗钙土	27.0	51.70	灰钙土	67.0	57.05	45.66	57.05	54.92
F5	黑土	36.0	45.66	黑垆土	12.0	54.00	黄绵土	52.0	56.00	45.66	56.00	52.04
F6	黑土	39.0	45.66	黑垆土	31.0	54.00	棕壤	30.0	55.54	45.66	55.54	51.21
F7	灰钙土	33.0	57.05	栗钙土	47.0	51.70	黑土	20.0	45.66	45.66	57.05	52.26
F8	黑土	34.0	45.66	黑垆土	48.0	54.00	红粘土	18.0	50.50	45.66	54.00	50.53
II							49.76	65.04	56.62			
E							52.89	65.04	57.47			
E3	黄绵土	53.0	56.00	黑垆土	17.0	54.00	灰褐土	30.0	65.04	54.00	65.04	58.37
E4	黑垆土	26.0	54.00	黄绵土	61.0	56.00	灰褐土	13.0	65.04	54.00	65.04	56.66
E5	黑垆土	21.0	54.00	黄绵土	58.0	56.00	灰褐土	23.0	65.04	54.00	65.04	588.78
E6	黑垆土	53.0	54.00	黄绵土	47.0	56.00				54.00	56.00	54.94
E7	亚高山草原上	25.0	52.34	灰褐土	15.0	65.04	黄绵土	60.0	56.00	52.89	65.04	56.60
G							49.76	65.04	56.40			
G1	黄绵土	53.0	56.00	黑垆土	45.0	54.00	红粘土	2.0	50.50	50.50	56.00	54.99
G2	黑垆土	53.0	54.00	黄绵土	45.0	56.00	红粘土	2.0	50.50	50.50	56.00	54.83
G3	黄绵土	71.0	56.00	黑垆土	14.0	54.00	风沙土	15.0	49.76	49.76	56.00	54.78
G4	黄绵土	65.0	56.00	黑垆土	15.0	54.00	灰褐土	20.0	65.04	54.00	65.01	57.51
G5	黑垆土	10.0	54.00	黄绵土	26.0	56.00	灰褐土	64.0	65.04	54.00	65.04	51.59
G6	黑垆土	25.0	54.00	黄绵土	17.0	56.00	灰褐土	58.0	65.04	54.00	65.04	60.72
G7	黑垆土	26.0	54.00	黄绵土	65.0	56.00	灰褐土	9.0	65.04	54.00	65.04	56.29
G8	黑垆土	44.0	54.00	黄绵土	56.0	56.0				54.00	56.00	55.12
III							45.36	64.91	54.09			
H							45.36	64.91	54.09			
H1	褐土	66.0	50.57	棕壤	28.0	55.54	黄棕壤	6.0	60.94	50.57	60.94	52.58
H2	褐土	63.0	50.57	暗棕壤	25.0	64.91	黑钙土	12.0	45.36	45.36	64.91	53.53
H3	褐土	90.3	50.57	棕壤	6.0	55.54	潮土	1.0	52.55	50.57	55.54	50.89
H4	褐土	31.0	50.57	棕壤	16.0	55.54	黄棕壤	53.0	60.94	50.57	60.94	56.25
H5	黄棕壤	78.0	60.94	棕壤	8.0	55.54	亚高山草原土	14.0	52.98	52.98	60.94	59.39
H6	褐土	55.0	50.57	棕壤	32.0	55.54	黑垆土	13.0	54.00	50.57	55.54	52.61
H7	褐土	49.0	50.57	红粘土	9.0	50.50	黑垆土	42.0	54.00	50.50	54.00	52.00
H8	棕壤	72.0	55.54	亚高山草原上	10.0	52.98	褐土	18.0	50.57	50.57	55.54	54.33
H9	褐土	88.0	50.57	棕壤	8.0	55.54	潮土	4.0	52.55	50.57	55.54	51.05
IV							45.36	79.79	54.58			
I							45.36	76.79	54.58			
I1	棕壤	17.0	55.54	亚高山草原土	75.0	52.98	黑钙土	8.0	45.36	45.36	55.54	52.81
I2	亚高山草原土	57.0	52.98	黑钙土	20.0	45.36	灰褐土	23.0	65.04	45.36	65.04	54.23
I3	亚高山草原土	61.0	52.98	灰褐土	31.0	65.04	黑钙土	8.0	45.36	45.36	65.04	56.11
I4	亚高山草原土	29.0	52.98	棕壤	65.0	55.54	暗棕壤	6.0	64.91	52.98	64.91	55.36
I5	棕壤	54.0	55.54	暗棕壤	5.0	64.91	亚高山草原土	41.0	52.98	52.34	64.91	54.70
I6	亚高山草原土	89.0	52.98	沼泽土	4.0	47.60	泥炭土	7.0	76.79	47.60	76.79	54.43
I7	暗棕壤	3.0	64.91	亚高山草原土	94.0	52.98	泥炭土	3.0	76.79	52.98	76.79	54.05
I8	灰褐土	17.0	65.04	亚高山草原土	75.0	52.98	黑钙土	8.0	45.36	45.36	65.04	54.41
V	亚高山草原土	45.0	52.98	灰褐土	22.0	65.04	栗钙土	33.0	51.70	51.70	65.04	55.21

①Area percentage of soil type to the county's total;②Porosity;③The minimum soil porosity;④The maximum soil porosity;⑤The average soil porosity. 黄棕壤 Yellow brown,棕壤 Burozen,暗棕壤 Dark brown forest soil,褐土 Drab soil,灰褐土 Gray-barb forest soil,黑土 Black soil;黑钙土 Chernozem,栗钙土 Chestnut soil,黑垆土 Heilu soil,灰钙土 Sierozem soil;灰棕漠土 Gray brown desert soil;黄绵土 Yellow mein soil,红粘土 Red clay,风沙土 Windy-sandy soil;潮土 Chao soil;沼泽土 Bog soil;泥炭土 Peat soil;灌淤土 Irrigated deposit soil;亚高山草原土 Subalpine sward soil

4.1.4 土壤饱和蓄水量 据表2的土壤孔隙度和表3的土壤层厚度,土壤饱和蓄水量(mm)=土壤总孔隙度(%)×土层厚度(mm),计算结果表明,研究地区最小孔隙度条件下的土壤饱和蓄水量为212.15mm、最大孔隙度条件下的土壤饱和蓄水量为359.14mm、平均孔隙度条件下的土壤饱和蓄水量为257.68mm(详见表3)。

表3 自然土壤不同孔隙度条件下的饱和蓄水量及所需森林覆盖率

Table 3 Water capacity of saturated soil of different porosity and the required forest coverrate

类型区①	土壤表 层厚度 ②(mm)	最小孔隙度③		最大孔隙度④		平均孔隙度⑤		类型区①	土壤表 层厚度 ②(mm)	最小孔隙度③		最大孔隙度④		平均孔隙度⑤	
		土壤饱 和蓄水 量⑥ (mm)	所需森 林覆盖 率⑦ (%)	土壤饱 和蓄水 量⑥ (mm)	所需森 林覆盖 率⑦ (%)	土壤饱 和蓄水 量⑥ (mm)	所需森 林覆盖 率⑦ (%)			土壤饱 和蓄水 量⑥ (mm)	所需森 林覆盖 率⑦ (%)	土壤饱 和蓄水 量⑥ (mm)	所需森 林覆盖 率⑦ (%)	土壤饱 和蓄水 量⑥ (mm)	所需森 林覆盖 率⑦ (%)
总计 Total	467.69	212.15	41.43	359.14	24.48	257.68	34.11	F5	500	228.30	35.96	280.00	29.32	260.20	31.55
I	500	226.80	36.51	325.20	25.46	275.00	30.11	F6	500	228.30	52.26	277.70	42.96	256.06	46.59
A	500	263.65	31.94	325.20	25.89	290.44	28.99	F7	500	228.30	35.96	285.25	28.78	261.30	31.42
A1	500	263.65	36.72	285.25	33.94	279.25	34.66	F8	500	228.30	35.96	270.00	30.41	252.65	32.50
A2	500	280.00	34.57	325.20	29.77	277.90	34.83	II	500	248.80	42.40	325.20	32.44	283.12	37.26
A3	500	263.50	36.72	285.25	33.94	277.90	34.83	E	500	264.45	42.50	325.20	34.56	287.34	39.12
A4	500	280.00	34.57	285.25	33.94	281.05	34.44	E3	500	270.00	35.07	325.20	29.12	291.85	32.45
A5	500	263.65	42.14	285.25	38.95	277.95	39.97	E4	500	270.00	35.07	325.20	29.12	283.30	33.43
A6	500	280.00	29.36	325.20	25.28	289.40	28.40	E5	500	270.00	55.59	325.20	46.16	293.90	51.07
A7	500	280.00	29.36	285.25	28.82	281.00	29.25	E6	500	270.00	51.63	280.00	49.79	274.70	50.75
A8	500	280.00	28.79	325.20	24.78	304.70	26.45	E7	500	264.45	30.82	325.20	25.06	283.00	28.80
B	500	258.50	27.50	325.20	21.86	277.53	25.62	G	500	248.80	41.64	325.20	31.86	281.98	36.74
B1	500	263.65	31.38	285.25	28.82	274.25	29.97	G1	500	252.50	39.72	280.00	35.82	274.95	36.48
B2	500	258.50	29.32	285.25	26.57	270.75	28.00	G2	500	252.50	75.33	280.00	67.93	274.15	69.38
B3	500	263.65	28.75	285.25	26.57	278.95	27.17	G3	500	248.80	24.68	280.00	21.93	273.90	22.42
B4	500	270.00	28.07	285.25	26.57	278.95	27.17	G4	500	270.00	53.15	325.20	44.13	287.55	49.90
B5	500	274.45	20.81	325.20	17.56	277.75	20.56	G5	500	270.00	48.85	325.20	40.56	307.95	42.83
C	500	525.50	31.09	280.00	28.04	266.70	29.43	G6	500	270.00	35.81	325.20	29.74	303.60	31.85
C1	500	252.85	34.84	280.00	31.46	265.55	33.18	G7	500	270.00	27.22	325.20	22.60	281.45	26.11
C2	500	252.50	27.13	280.00	24.46	258.75	26.47	G8	500	270.00	39.59	280.00	38.18	275.00	38.79
C3	500	252.85	29.70	280.00	26.82	275.15	27.29	III	500	226.80	49.51	324.55	34.60	270.43	41.53
C4	500	252.85	31.36	280.00	28.32	271.20	29.24	H	500	226.80	49.51	324.55	34.60	270.43	41.53
C5	500	252.85	26.02	280.00	23.50	270.55	24.32	H1	500	252.85	37.57	304.70	31.18	262.90	36.14
C6	500	252.85	34.61	280.00	31.25	263.75	33.18	H2	500	226.80	41.89	324.55	29.27	267.65	35.49
C7	500	252.85	36.50	280.00	32.96	272.25	33.90	H3	500	252.85	71.47	277.70	65.07	254.45	71.02
D	500	228.30	39.99	325.20	28.08	272.91	33.45	H4	500	252.85	52.56	304.70	43.62	281.25	47.25
D1	500	270.00	33.81	285.25	32.01	282.40	32.33	H5	500	264.90	35.86	304.70	31.18	296.95	31.99
D2	500	252.50	36.16	280.00	32.61	272.20	33.54	H6	500	252.85	41.09	277.70	37.41	263.05	39.50
D3	500	270.00	28.48	325.20	23.65	280.40	27.43	H7	500	252.50	46.06	270.00	43.07	260.00	44.73
D4	500	270.00	28.48	325.20	23.65	281.75	27.29	H8	500	252.85	37.57	277.70	34.21	271.65	34.97
D5	500	270.00	53.26	285.25	50.41	277.40	51.84	H9	500	252.85	54.66	277.70	49.77	255.25	54.14
D6	500	252.85	30.41	270.00	28.48	262.80	29.26	IV	400	181.44	40.34	307.16	23.83	218.34	33.53
D7	500	228.30	33.68	264.90	29.03	256.90	29.93	I	400	181.44	40.34	307.16	23.83	218.34	33.53
E	500	226.80	39.55	325.20	27.58	277.79	32.29	II	400	181.44	40.34	222.16	32.95	211.24	34.65
E1	500	270.00	35.07	325.20	29.12	283.50	33.40	I2	400	181.44	40.34	260.16	28.14	216.92	33.75
E2	500	226.80	37.96	325.20	26.48	273.75	31.45	I3	400	191.44	40.34	260.16	28.14	224.44	32.61
F	500	228.30	40.78	324.55	28.69	261.41	35.61	I4	400	211.92	34.54	259.64	28.19	221.44	33.06
F1	500	228.30	35.96	270.00	30.41	260.75	31.49	I5	400	209.36	34.96	259.64	28.19	218.80	33.46
F2	500	228.30	35.96	277.70	29.56	254.85	32.22	I6	400	190.40	38.45	307.16	23.83	217.72	33.62
F3	500	228.30	35.57	324.55	25.02	258.25	31.44	I7	400	211.92	34.54	307.16	23.83	216.20	33.86
IV	500	228.30	48.66	285.25	38.95	274.60	40.46	18	400	181.44	40.34	260.16	28.14	217.64	33.63
V	500	228.30	48.66	285.25	38.95	274.60	40.46	V	400	206.80	36.75	260.16	29.21	220.84	34.41

① Study area; ② Soil thickness; ③ The minimum soil porosity; ④ The maximum soil porosity; ⑤ The average soil porosity; ⑥ Water capacity of saturated soil; ⑦ required forest cover rate

4.2 计算结果

据表 1~表 3 的基础数据,应用公式(4)进行最佳防护效益森林覆盖率的计算(表 3),结果表明,在土壤最小孔隙度条件下,研究地区需要 41.43% 的森林覆盖率,才能防止一日或一次最大降水量造成的水土流失;在土壤最大孔隙度条件下,研究地区需要 24.48% 的森林覆盖率,就能防止一日或一次最大降水量造成的水土流失;在土壤平均孔隙度条件下,研究地区需要 34.11% 的森林覆盖率,就能防止一日或一次最大降水量造成的水土流失。

5 结论

据不同土壤类型的孔隙度、不同土层厚度、不同的一日最大降水量等条件,来确定研究地区及其各类型区、各县市区的最佳防护效益森林覆盖率,具有一定的科学性和可操作性。

(1)虽然用自然土壤的总孔隙度代替土壤饱和蓄水量的数值稍大于自然土壤的实际饱和蓄水量^[26],但林木具有改善土壤孔隙度的良好作用,森林土壤的实际总孔隙度又远大于自然土壤的总孔隙度^[19],而且森林土壤表层枯枝落叶层的含水量是枯枝落叶重量的 274.58%~315.06%^[31]。因此,用自然土壤的总孔隙度作为森林防护能力的指标具有科学性,而且容易测定。

(2)研究的这种结果,是建立在甘肃的黄河流域、长江流域和内陆河源头地区的祁连山地等不同的气候类型、不同地貌类型的基础上的,因此,它对类似地区也具有一定的可行性和可操作性。

(3)本文计算的所需森林覆盖率是未来防止一日或一次性大暴雨至特大暴雨过程造成土壤侵蚀的总体发展目标,所需森林覆盖率与现有森林覆盖率(表 1)的差值就是未来建设的总任务量,这个任务量与陆地面积的乘积就是尚需造林的实际总面积。在总目标控制下,各实施单位可根据实际能力确定不同时期造林的实际面积和将要达到的森林覆盖率。

References:

- [1] Su Y. *American Forestry System Analysis*. Changsha: Hunan Science and Technology Publishing House, 1989. 30~35.
- [2] Guo Y R. Study on forest cover rate of Shanxi Province. *Journal of Shanxi Forestry Science and Technology*, 1992, (1):10~13.
- [3] Lu X L. Discussion about Forest Cover Rate of Hunan. *Central South Forest Inventory and Planning*, 1990, **34**(4):5~7.
- [4] Zhong J, Gong Y B, Chen L W. A quantitative discussion forest coverage of the optimum forest protective effect. *Scientia Silvae Sinicae*, 1996, **32**(4):317~324.
- [5] Gao C L, Lin B Y, Ding C B. Discussion about forest cover rate in Yangzhou Region. *Chinese Journal of Ecology*, 1993, (1):18~22.
- [6] Zhang Y, Liu B Y, Shi P J, et al. Crop cover factor estimating for soil loss prediction. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(7):1050~1056.
- [7] Zhang K L, Cai Y M, Liu B Y, et al. Evaluation of soil erodibility on the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(10):1687~1695.
- [8] Zheng F L, Tang K L, Zhang K L. Relationship of eco-environmental change and natural erosion and man-made accelerated erosion. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, **15**(3):254~255.
- [9] Wu Q X, Zhao H Y, Wang Y K. Flow production and sediment production and their processes in Chinese pine woodlands in the Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, **18**(2):153.
- [10] Zhao J Y, Sun L D, Zhu J Zh. *Scrubs for soil and water conservation on the Loess Plateau*. Beijing: China Forestry Publishing House, 1994. 286~593.
- [11] Zhang J Ch, Li T Sh, Jiang Zh L, et al. A preliminary study on soil and water conservation function of main forest types in the hilly region of southern Jiangsu Province. In: Zhou X F. *Long-term research on China's forest ecosystems*. Northeast Forestry University Press, 1994. 322.
- [12] He H Y, Che K J, Fu H E, et al. A preliminary study on water and soil erosion in Sidelong forest region, Qilian

- Mountains. In: Zhou X F. *Long-Term Research on China's Forest Ecosystem*. Harbin: Northeast Forestry University Press, 1994. 300~309.
- [13] Wu B L, Xie M Y, He L Y. Primary study on dominant position of forest in ecological security system. *Journal of Desert Research*, 2000, **20**(supp.): 201~204.
- [14] Che K J, Fu H E, He H Y. A study on mechanism of water resource conservation of forest in north slope of Qilian Mountains. In: Zhou X F. *Long-term research on China's forest ecosystems*. Harbin: Northeast Forestry University Press, 1994. 280~287.
- [15] Fu H E. Preliminary studies on Relation Among Climatic Changes, Water Resources and Forests in Qilian Mountains. In: Zhou X F. *Long-term research on China's forest ecosystems*. Harbin: Northeast Forestry University Press, 1994. 288~291.
- [16] Liu Ch L, Sun M Q, Wang Q L. An investigation on the technique of soil preparation of forestation in rocky hill areas. *Scientia Silvae Sinicae*, 1989, **25**(3): 265.
- [17] Li W H, Chen X M, Jiang Zh L. The relation between Soil Water gaseous regime and the growth of young Chinese fir plantation. In: Zhou X F. *Long-term research on China's forest ecosystems*. Harbin: Northeast Forestry University Press, 1994. 341.
- [18] Xu D Y, Nie D P. A study on a bamboo-cattle-grass agroforestry system using system dynamics. In: Zhou X F. *Long-term research on China's forest ecosystems*. Harbin: Northeast Forestry University Press, 1994. 749.
- [19] Lei R D, Zhang Y Q, Dang K L. A study on hydrologic effects of forest in Qinling Mountain forest region. In: Zhou X F. *Long-term research on China's forest ecosystems*. Harbin: Northeast Forestry University Press, 1994. 231.
- [20] Huang Ch B, Wei B E, Li J J. A study on surface runoff of different types of vegetation in Guangxi Autonomous Region. *Scientia Silvae Sinicae*, 1991, **27**(5): 495.
- [21] Li X L, Tian J Y, Zhang Ch E. A study on effects of different types of forest on the Loess Plateau on physical properties of soil. *Scientia Silvae Sinicae*, 1992, **28**(2): 104.
- [22] Xu L F, Zhu W K. The utilization of tropical secondary forest and the change of soil physical properties. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, **16**(6): 657.
- [23] Li J Ch, Zhao Y Y, Gao Y Q, et al. A preliminary analysis of changes in ecological factors after reforestation in swamp land. *Scientia Silvae Sinicae*, 1985, **21**(2): 82.
- [24] Wang Y K. Observations on the effect of some sand-fixing plants on the sandy soil. *Scientia Silvae Sinicae* 1985, **21**(2): 117.
- [25] Soil Surveying Office of Gansu. *Gansu Soil*. Beijing: China Publishing House, 1993.
- [26] Nanjing Institute of Soil Science, Academia Sinica. *Physical and Chemical Analysis of Soil*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Publishing House, 1978. 522~524.
- [27] Zhou X F, Zhao H X, Sun H Zh. Proper assessment for forest hydrological effect. *Journal of Natural Resources*, 2001, **16**(5): 420~426.
- [28] Liu S R, Sun P S, Wang J X, et al. Hydrological functions of forest vegetation in upper reaches of the Yangtze River. *Journal of Natural Resources*, 2001, **16**(5): 451~456.
- [29] Ministry of Forestry P R C. *Main Technical Prescript for Forestry Resource Inventory and Planning*. 1996. 17.
- [30] Gansu Statistic Burea. *Gansu Statistic Yearbook*. Beijing: China Statistic Publishing House, 2000.
- [31] Zhou X F, Li Q X, Jin Y Y. Studies on forest water cyclings. In: Zhou X F. *Long-term research on China's forest ecosystems*. Harbin: Northeast Forestry University Press, 1994. 213~222.

参考文献:

- [1] 苏益. 美国林业系统分析. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1989. 30~35.
- [2] 郭养儒. 基于遥感数据的森林覆盖率的研究. 陕西林业科技, 1992. (1): 10~13.
- [3] 鲁退龄, 等. 湖南森林覆盖率探讨. 中南林业调查规划, 1990, **34**(4): 5~7.

- [4] 张健,宫渊波,陈林武. 最佳防护效益森林覆盖率定量探讨. 林业科学,1996,32(4):317~324.
- [5] 高丽春,林伯颜,丁翠柏. 扬州地区林木覆盖率的探讨. 生态学杂志,1993,(1):18~22.
- [6] 张岩,刘宝元,史培军,等. 黄土高原土壤侵蚀作物覆盖因子计算. 生态学报,2001,21(7):1050~1056.
- [7] 张科利,蔡永明,刘宝元,等. 黄土高原地区土壤可蚀性及其应用研究. 生态学报,2001,21(10):1687~1695.
- [8] 郑粉莉,唐克丽,张科丽,等. 自然侵蚀和人为加速侵蚀与生态环境演变. 生态学报,1995,15(3):254~255.
- [9] 吴钦孝,赵鸿雁,汪有科. 黄土高原油松林地产流产沙及其过程研究. 生态学报,1998,18(2):153.
- [10] 赵金荣,孙立达,朱金兆. 黄土高原水土保持灌木. 北京:中国林业出版社,1994. 287~444.
- [11] 张金池,李士生,姜志林,等. 苏南丘陵区主要森林类型水土保持功能研究. 见:周晓峰主编. 中国森林生态系统定位研究. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1994. 322.
- [12] 贺红元,车克钧,傅辉恩,等. 祁连山寺大隆林区水土流失状况的初步研究. 见:周晓峰主编. 中国森林生态系统定位研究. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1994. 300~309.
- [13] 吴秉礼,谢忙义,贺立勇. 森林在生态安全体系中主体地位的初步研究. 中国沙漠,2000,20(增):201~204.
- [14] 车克钧,傅辉恩,贺红元. 祁连山北坡森林涵养水源机理的研究. 见:周晓峰主编. 中国森林生态系统定位研究. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1994. 280~287.
- [15] 傅辉恩. 气候变化与祁连山(北坡)水资源、森林关系的初步探讨. 见:周晓峰主编. 中国森林生态系统定位研究. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1994. 288~291.
- [16] 刘长利,孙美清,王庆禄. 石质山地造林整地技术研究. 林业科学,1989,25(3):265.
- [17] 厉婉华,陈秀明,姜志林. 杉木幼林土壤水分状况及其与生长的关系. 见:周晓峰主编. 中国森林生态系统定位研究. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1994. 341.
- [18] 徐德应,聂道平. 竹林下牧草饲牛的系统动力学分析. 见:周晓峰主编. 中国森林生态系统定位研究. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1994. 749.
- [19] 雷瑞德,张仰渠,党坤良. 秦岭林区森林水文效应的研究. 见:周晓峰主编. 中国森林生态系统定位研究. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1994. 223~234.
- [20] 黄承标,韦炳二,黎洁娟. 广西不同植被类型地表径流的研究. 林业科学,1991,27(5):495.
- [21] 李香兰,田积莹,张成娥. 黄土高原不同林型对土壤物理性质影响的研究. 林业科学,1992,28(2):104.
- [22] 许炼烽,朱伍坤. 热带次生林利用与土壤物理性质变化. 生态学报,1996,16(6):657.
- [23] 李继承,赵玉英,高瑶琴,等. 沼泽地造林后生态因子的变化与效益初步分析. 林业科学,1985,21(1):82.
- [24] 王永魁. 几种固沙植物对沙土影响的研究. 林业科学,1985,21(2):117.
- [25] 甘肃省土壤普查办公室. 甘肃土壤. 北京:中国农业出版社,1993.
- [26] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海:上海科学技术出版社,1978. 522~524.
- [27] 周晓峰,赵惠勋,孙慧珍. 正确评价森林水文效益. 自然资源学报,2001,16(5):420~426.
- [28] 刘世荣,孙鹏森,王金锡,等. 长江上游森林植被水文功能研究. 自然资源学报,2001,16(5):451~456.
- [29] 中华人民共和国林业部. 森林资源规划设计调查主要技术规定. 1996. 17.
- [30] 甘肃省统计局. 甘肃统计年鉴(2000). 北京:中国统计出版社,2000.
- [31] 周晓峰,李庆夏,金永岩. 帽儿山、凉山森林水分循环的研究. 见:周晓峰主编. 中国森林生态系统定位研究. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1994. 213~222.