

晋西黄土区小流域典型植被水文功能优化研究

郭军庭¹, 张志强¹, 唐丽霞²

(1. 北京林业大学 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 贵州大学, 贵州 贵阳 550025)

摘要: 处于不同生长发育阶段, 不同人工干扰强度与不同演替阶段的植被类型发挥着不同程度的生态环境服务功能, 在流域尺度上进行植被类型的优化配置是充分发挥植被水土保持功能的重要前提。在对晋西黄土高原丘陵沟壑区蔡家川流域内 6 种主要林分类型进行实地调查的基础上, 应用层次分析法研究了不同植被类型的垂直结构及其水源涵养能力的差异。研究结果表明, 林分的垂直结构好, 相应的水源涵养能力也强。该流域水源涵养能力: 天然次生山杨林 > 天然次生槲栎林 > 人工刺槐侧柏林混交 > 人工油松林 > 人工刺槐林; 应用水源涵养功能研究结果对该流域中嵌套的刘家凹小流域现有林分的面积进行调整, 调整后该小流域的水源涵养总体能力提高了 35.99%, 其中土壤有效持水量增加了 46.39%, 增加幅度最大。

关键词: 林分; 垂直结构; 水源涵养; 层次分析法

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)03-0036-05

中图分类号: 727.21

Improving Hydrological Functions of a Small Watershed in Hilly and Gully Loess Area by Vegetation Type Optimization

GUO Jun-ting¹, ZHANG Zhi-qiang¹, TANG Li-xia²

(1. Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating of the Education Ministry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China)

Abstract: On the Loess Plateau, different vegetation types in a forest watershed play an extremely important ecological role in soil and water conservation. By investigating and observing the 6 major forest types in Caijiachuan watershed, analytical hierarchy is used to evaluate the vertical structure and water conservation capacity of forest types. Results show that the vertical structure of a good stand type is corresponding to strong water conservation. Accordingly, existing stands of Liujiacao watershed are adjusted and the ability of water conservation is greatly increased by 35.99%. The most significant increase is the soil available water-holding capacity which is increased by 45.94%.

Keywords: forest type; vertical structure; water conservation; analytical hierarchy

由于人为过度开发, 黄土高原天然植被破坏严重。该地区水土流失严重, 生态环境亟待改善。植被恢复和重建是该地区生态恢复和水土保持治理有效的措施^[1-2], 包括自然修复和人工重建。一般植被的演替比较缓慢, 天然植被破坏后, 恢复需要很长时间^[3]。因此, 在开垦指数高, 自然残留植被少的地区人工造林种草应当作为首选。植被恢复重建过程中, 植被群落空间结构和水源涵养能力是两项重要的评价内容。植被空间结构是植被系统内部各要素之间的联系与组织方式的总和, 包括垂直结构和水平结构。植物群落成层现象的复杂程度是对生态环境的指示, 成层结构复杂, 植被对生境的适应越强, 对生境的改造能力越强^[4]。从水源涵养能力来看, 植被空间

结构直接影响到林分的水土保持功能^[5], 垂直结构尤为重要。植被的结构与功能的协调, 说明植被群落与自然环境相互适应, 植被群落才能良好发展。本文采取层次分析法对晋西北黄土丘陵沟壑区蔡家川流域的主要林分类型垂直结构和水源涵养能力进行评价, 从而验证垂直结构与水源涵养功能的关系, 并对现存小流域内的不同类型林分进行面积优化配置, 为人工林建设提供理论参考。

1 研究区概况

蔡家川流域 (110° 39' 45" - 110° 47' 45" E, 36° 14' 27" - 36° 18' 23" N) 位于山西省吉县, 吕梁山南端, 属于晋西黄土丘陵沟壑区。流域大体上为由西向

东走向,长约 14 km,面积 38 km²,海拔 900~1 513 m。年降水量为 575.9 mm,6—9 月降水占全年降水量的 70%左右,年平均水面蒸发量为 1 732.9 mm,年均气温 10 ℃。土壤为褐土,黄土母质。森林覆盖率 39.8%,属于由暖温带阔叶落叶林向森林草原的过渡地带。流域中上游植被主要为山杨(*Populus davidiana*)、白桦(*Betula platyphylla*)、丁香(*Syzygium aromaticum*)、虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)等组成的天然次生林,中游为刺槐(*Robinia*

pseudoacacia)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)等树种组成的人工林,下游为荒草坡和农地。

2 材料和方法

2.1 研究材料

通过全面调查,选择研究区内主要的 6 种林分类型,在典型地段布置样方对其进行观测,各林分特征详见表 1。

表 1 调查林地林分主要特征

植被类型	坡度/(°)	坡向	海拔高度/m	群落高度/m	平均胸径/cm	密度/(株·hm ⁻²)	郁闭度	枯落物厚度/cm
C ₁	19	NW26°	1 133	4.71	9.23	1 075	0.75	1.60
C ₂	28	NE75°	1 109	8.60	10.27	1 350	0.80	1.54
C ₃	24	NE30°	1 210	7.04	8.40	2 225	0.83	2.68
C ₄	40	北坡	1 043	8.42	9.81	1 475	0.70	1.40
C ₅	39	NW20°	1 066	4.63	9.87	2 350	0.74	1.64
C ₆	36	SW10°	1 027	2.06	—	1 600	—	2.50

注: C₁ 是人工刺槐林; C₂ 是人工油松林; C₃ 是人工刺槐侧柏林; C₄ 是天然次生山杨林,间有少量榉栎; C₅ 是天然次生榉栎林; C₆ 是灌木林。下同。

2.2 研究方法

(1) 植被群落垂直结构样地调查 在研究流域内选择人工刺槐林、油松林、刺槐侧柏混交林、天然次生榉栎林、天然次生山杨林和灌木林 6 种主要林分类型,在典型地段设置 20 m × 20 m 的标准样地,按照群落生态学研究方法,进行样地调查。调查乔木、灌木、草本的高、径、冠幅、盖度等;用剖面土块法^[6]测定植物根长、根数、根深等。

(2) 植被群落水源涵养功能 枯落物层吸水量采用吸水法测定。土壤层水文特性采用环刀法在挖掘的 1 m 土壤剖面上测定,其中使用体积 400cc 环刀取得原状土后在实验室采用恒定水头法测定土壤饱和导水率,多次重复取平均值。

(3) 层次分析法 本研究采用层次分析法(analytic hierarchy process,简称 AHP)确定各项指标的权重^[7]。该方法是由美国匹兹堡大学教授 T. L. Saaty 最早提出的一种定性与定量分析结合的多目标评价决策方法。它将决策者对复杂系统的评价思维过程数学化。决策者通过把复杂问题分解为若干层次和要素,在各要素之间简单地进行两两比较,判断每 2 个指标间相对重要性(各因子的重要性采用 1—9 级标度法确定)并构造矩阵。计算该矩阵标准化特征向量并进行一致性检验,然后再转为对这些元素的整体权重进行排序判断,最后确立各元素的权重。

3 结果和分析

3.1 不同林分垂直结构评价

3.1.1 评价指标及权重 植被垂直结构由地上、地下两部分组成。地上部分包括乔木层、灌木层、草本层、枯落物层;地下部分是根系层。选取能够反映各层的指标建立层次分析模型(图 1),分别选取乔木层、灌木层、草本层的高度,盖度,枯落物层的厚度,根系层的深度、总根数、根量等作为评判的具体措施。应用层次分析法对植被垂直结构好坏进行分析,得出各指标对植被垂直结构的权重(表 2),结合实地调查的结果进行评判。

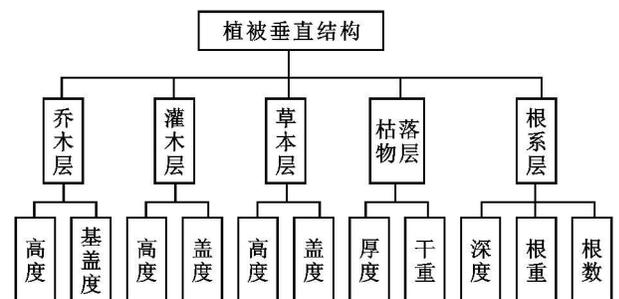


图 1 植被垂直结构层次模型

3.1.2 不同植被垂直结构评价结果 结合实地调查,植被垂直结构各个层次的评判指标乘以指标的权重得到各个指标的评判结果,然后对该植被类型的所

有垂直结构的指标评判结果求和得到综合评判值, (见表 3)。

表 2 林分垂直结构评价指标及权重

一级指标	权重	二级指标	权重
乔木层	0.471 9	乔木高度	0.118 0
		乔木层盖度	0.353 9
灌木层	0.117 4	灌木层高度	0.023 5
		灌木层盖度	0.093 9
草本层	0.071 4	草本层高度	0.014 3
		草本层盖度	0.057 1
枯落物层	0.048 4	枯落物层厚度	0.048 4
		根系深度	0.049 2
根系层	0.291 0	根量	0.129 1
		总根数	0.112 7

注: 各层对目标层的一致性检验值为 0.022 4, 小于 0.1。

表 3 不同林分类型的垂直结构评价结果

林分类型	综合评判值	排序
C ₄	101.717 8	1
C ₅	89.508 1	2
C ₃	79.662 3	3
C ₂	74.168 5	4
C ₁	67.512 5	5

结果表明, 植被垂直结构性: 天然次生山杨林 > 天然次生柞栎林 > 人工刺槐侧柏混交林 > 人工油松林 > 人工刺槐林。总体趋势天然林优于人工林, 人工混交林好于人工纯林。其中, 天然次生山杨林垂直结构综合评判值是人工刺槐林的 1.5 倍, 说明天然次生林成层现象复杂, 即群落结构复杂, 也表明天然次生的山杨林对该区域环境的适应良好, 群落各层之间在利用和改造环境中达到平衡互补。同时天然次生林植物群落的成层性良好也是对该流域生态环境的一种指示, 表明在该流域自然条件下植被群落的结构性可以达到程度, 则依据该垂直结构性程度对人工林植被系统进行自然林分结构仿拟, 同时发挥人工设计能力实现与自然林分结构的相近, 以期达到与自然植被相近的功能。

3.2 不同林分类型水源涵养功能评价

森林植被对生态系统水源涵养能力的影响主要表现在植被冠层、枯落物层及土壤层对降水的拦截和滞留作用。林冠截留功能受树种组成、林分郁闭度、降雨条件等多种因素影响^[8-10]。枯枝落叶层是实现森林涵养水源、保持水土的主要作用层之一, 它的厚度和最大有效持水是衡量其持水能力的重要指标。据有关研究显示^[11-13], 林地表面的枯落物层保持的最大水量可达到 3~5 mm, 在原始林最多可达 30 mm。森

林植被可以改变林下土壤理化性质, 从而改变林地土壤的入渗率、入渗量, 使降水部分蓄留在土壤中形成土壤水, 部分形成径流, 参与流域汇流过程。一般使用土壤非毛管空隙饱和含水量计算林地总蓄水^[10, 14]。水源涵养功能的优劣主要取决于水分在生态系统各层次间的传输过程, 及林冠层的截留、枯落物层的蓄水和土壤层的贮水能力, 这些过程最优组合才能达到最佳的水源涵养能力。不同植被类型的空间配置才是实现水源涵养功能的最终具体措施。据此, 建立起不同林分类型空间配置层次分析模型(图 2)

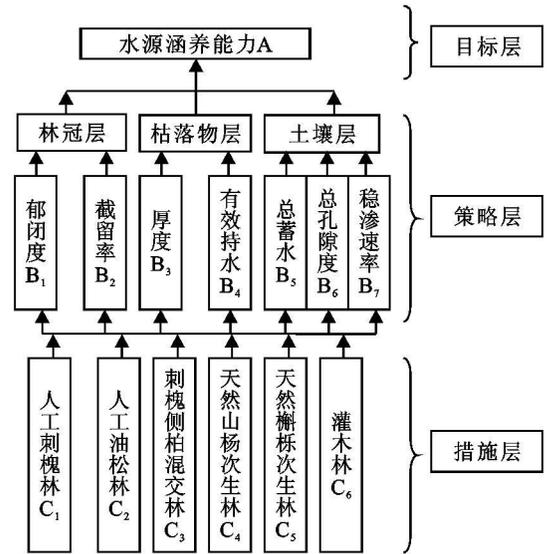


图 2 水源涵养能力层次分析结构模型

通过专家打分与该区域实际调查结合, 构造相应的判断矩阵。对构造的判断矩阵进行一致性检验, 一致性比率为 0.064, 小于 0.1, 可以认为判断矩阵具有满意的一致性。因此 6 种不同林分水源涵养效果如表 4 所示: 天然次生杨树林 > 天然次生柞栎林 > 刺槐侧柏混交林 > 人工油松林 > 人工刺槐林 > 灌木林。

4 小流域水源涵养能力植被优化配置

4.1 确定林分的优化面积

刘家凹小流域是蔡家川流域中的嵌套小流域, 该小流域中自然残留的次生柞栎林面积比重较大, 占到总面积的 43%, 其次是人工刺槐林, 占到总面积的 36%。依据各个植被类型的水源涵养能力的权重值对其现有面积进行调配, 使现有林分类型的水源涵养能力达到最大化(表 5)。在现有面积基础上, 人工刺槐林的面积需要减少 70%, 次生柞栎林面积要减少 42%, 次生杨树林面积则大幅增加 660%, 人工油松林面积增加 680%, 人工刺槐侧柏林面积增加 81%, 灌

木林的面积增加 47%。因此, 从水源涵养能力的目标出发, 需要在人工林营造过程中减少刺槐林的种植, 增加油松林、刺槐侧柏混交林的种植。天然次生林调整后次生的槲栎林和次生杨树林的面积之和(49%)与调整前二者和(46%)变化不大。另外, 天然次生山杨林伴生少量槲栎, 山杨林是一种更新和演替变化比

较快的森林植物群落, 适应性广, 若在干燥贫瘠条件下可过渡成萌生槲栎林, 或者灌草丛, 经过长期封禁, 促进天然更新, 恢复成槲栎林。同样, 天然槲栎林采取措施可变成伴生有山杨的天然次生混交林^[15]。所以在天然次生林面积调整过程中依据水源涵养能力采取人工措施使天然次生林根据需要进行抚育转化。

表 4 层次分析指标矩阵及指标权重

措施层	策略层							措施层总权重
	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	
C ₁	0.123 7	0.085 1	0.156 1	0.072 4	0.059 3	0.073 4	0.047 9	0.104 6
C ₂	0.089 7	0.194 3	0.252 0	0.147 6	0.080 0	0.115 2	0.117 3	0.124 1
C ₃	0.262 3	0.218 1	0.096 2	0.189 7	0.163 1	0.158 1	0.081 3	0.213 8
C ₄	0.245 2	0.227 4	0.331 1	0.154 9	0.264 1	0.328 9	0.234 5	0.248 1
C ₅	0.257 2	0.250 3	0.141 8	0.097 6	0.186 7	0.287 3	0.209 0	0.239 5
C ₆	0.021 9	0.025 0	0.022 9	0.337 9	0.246 8	0.037 1	0.310 0	0.069 9

注: 一致性检验比率为 0.064 小于 0.1, 符合条件。

表 5 不同林分类型优化前后面积对比

植被类型	现状		调整后	
	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%
C ₁	1.13	36	0.33	10
C ₂	0.05	2	0.39	12
C ₃	0.37	12	0.67	21
C ₄	0.10	3	0.78	25
C ₅	1.34	43	0.76	24
C ₆	0.15	5	0.22	7

4.2 优化后林分的水源涵养能力

森林生态系统的水源涵养主要靠枯落物层和土壤非毛管空隙的调节, 其能力占综合调节能力的90%以上^[16]; 森林冠层的调节能力相对较弱, 多在 2 mm 以内。枯枝落叶层的调节, 约为 3~ 10 mm^[17]。林冠对降水的截留可以涵养水源, 但截留的降水大部分蒸发耗掉, 所以林冠截留也是一种耗水。因此在降水稀少的地区应适当控制和调节水源林的密度和郁闭度, 增加落入林地的雨量, 减少水分消耗。基于上述分析, 同时限于试验条件, 该文应用层次分析法优化后的结果, 从枯落物层和土壤层的水源涵养能力指标出发对刘家凹小流域不同林分的面积调整后的水源涵养能力进行对比。

表 6 为单位面积的不同林分类型的枯落物层和土壤层的水源涵养能力。单位面积的枯落物最大持水量: 灌木林> 天然次生杨树林> 天然次生槲栎林> 人工油松林> 人工刺槐林> 刺槐侧柏林; 单位面积枯落物有效持水能力天然次生杨树林> 灌木林> 天然次生槲栎林> 人工油松林> 刺槐侧柏林> 人工刺槐

林; 土壤层的单位水源涵养能力则是灌木林> 天然次生杨树林> 天然次生槲栎林> 刺槐侧柏林> 人工油松林> 人工刺槐林。

表 6 单位面积的各种林分水源涵养能力 t/km²

植被类型	枯落物最大持水量	枯落物有效持水量	土壤最大持水量	土壤有效持水量
C ₁	6 170	2 120	7 820	2 640
C ₂	6 470	3 440	43 320	24 740
C ₃	4 930	2 300	43 420	24 840
C ₄	10 600	8 850	63 080	44 440
C ₅	8 300	7 090	48 300	29 720
C ₆	15 400	7 400	72 000	53 620

假定其它条件不变, 只有 6 种林分的面积变化, 则结合表 5—6, 面积优化前后的 6 种林分水源涵养能力变化如表 7 所示。调整后的该流域的枯落物最大持水量、枯落物有效持水量、土壤最大持水量、土壤有效持水量分别增加了 9.38%, 17.35%, 38.03% 和 46.39%。调整后刘家凹小流域的总体水源涵养能力增加了 35.99%, 水源涵养效果更加显著。

5 结论

应用层次分析法分别对蔡家川 6 种林分类型的垂直结构和水源涵养能力进行分析, 结果表明, 天然林林分的垂直结构和水源涵养能力好于人工林, 林分垂直结构和水源涵养功能相一致, 天然林植物物种数多, 垂直层次性好, 水源涵养能力也高。人工林的建设是一种人为仿拟自然植被的过程, 因此人工林可以

参照自然植被模式进行营建和管理。在对植被的类型、生长发育状况、演替阶段、面积、分布等调查研究

的基础上,根据实际需求、自然修复和人工重建相结合促进人工林向自然植被的演替。

表 7 优化调整后不同林分类型的水源涵养能力对比

t/km²

植被类型	枯落物最大持水量		枯落物有效持水量		土壤层最大持水量		土壤层有效持水量	
	现状	调整后	现状	调整后	现状	调整后	现状	调整后
C ₁	6 972.1	2 036.1	2 395.6	699.6	8 836.6	2 580.6	2 983.2	871.2
C ₂	323.5	2 523.3	172.0	1 341.6	2 166.0	16 894.8	1 237.0	9 648.6
C ₃	1 824.1	3 303.1	851.0	1 541.0	16 065.4	29 091.4	9 190.8	16 642.8
C ₄	11 122.0	6 308.0	9 500.6	5 388.4	64 722.0	36 708.0	39 824.8	22 587.2
C ₅	1 060.0	8 268.0	885.0	6 903.0	6 308.0	49 202.4	4 444.0	34 663.2
C ₆	2 310.0	3 388.0	1 110.0	1 628.0	10 800.0	15 840.0	8 043.0	11 796.4
总计	2 3611.7	25 780.5	14 914.2	17 466.4	108 898.0	150 021.6	65 722.8	95 915.0

应用水源涵养能力层次分析的结果对蔡家川嵌套的刘家凹小流域的植被分布面积进行了配置优化。在不考虑林冠截留条件下,该小流域应当减少纯人工刺槐林,增加人工混交林,同时减少天然次生柞栎林的面积,增加天然次生山杨林的面积。优化后植被的水源涵养能力总体增加了 35.99%,效果明显。

本文应用层次分析法对黄土丘陵沟壑区森林小流域水源功能的研究提供了初步优化结果,但这只是静态地分析了植被垂直结构和水源涵养能力。限于研究条件未能考虑动态演替过程中森林植被对生境的影响,尤其是演替过程中林分各个层次对生态功能的影响。因此动态演替过程中植被对生境的影响需要进一步研究探索。

[参 考 文 献]

- [1] 穆兴民,巴桑赤烈,张檀,等.黄河河口镇龙门区间来水来沙变化及其对水利水保措施的影响[J].泥沙研究,2007(2):36-42.
- [2] 张晓萍,董冰让,李锐,等.黄河中游河龙区间土地利用与林地覆被格局变化研究[J].水土保持学报,2007,21(5):163-166.
- [3] 李锐,杨文治,李壁成,等.中国黄土高原研究与展望[M].北京:科学出版社,2008:249-260.
- [4] 宋康昌.植被生态学[M].上海:华东师范大学出版社,2001:147-152.
- [5] 高成德,余新晓.水源涵养林研究综述[J].北京林业大

学学报,2000,22(5):78-82.

- [6] 伯姆 W.根系研究法[M].薛德榕译.北京:科学出版社,1985:62-77.
- [7] 徐建华.现代地理学中的数学方法[M].北京:高等教育出版社,2002:224-230.
- [8] 孙儒泳,李庆芬,牛翠娟,等.基础生态学[M].北京:高等教育出版社,2002:147-152.
- [9] 陈祥伟,王文波,夏祥友.小流域水源涵养林优化配置[J].应用生态学报,2007,18(2):267-271.
- [10] 刘征,赵旭阳.河北省水源涵养生态功能保护区划分研究[J].水土保持通报,2008,28(2):180-183.
- [11] 吴钦孝,赵鸿雁,刘向东,等.森林枯枝落叶层涵养水源保持水土的作用评价[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(2):23-28.
- [12] 孙艳红.重庆缙云山不同植被类型坡面土壤水分及地表径流特性[D].北京:北京林业大学,2006.
- [13] 王栋.长江三峡库区不同植被类型对降雨产流影响的研究[D].北京:北京林业大学,2007.
- [14] 何东宁,张洪勋.青海乐都地区森林涵养水源效能研究[J].植物生态学报与地植物学学报,1991,15(1):74-78.
- [15] 马子清.山西植被[M].北京:中国科学技术出版社,2001:63-67.
- [16] 朱继鹏,高甲荣,胡封兵.晋西黄土区不同森林植被的林地水源涵养功能[J].林业资源管理,2005(3):47-50.
- [17] 温远光,刘世荣.我国主要森林生态系统类型降水截留规律的数量分析[J].林业科学,1995,31(4):289-298.