

文章编号: 1001-1498(2007)02-0257-06

基于 GIS平台的公别拉河流域水源 涵养林景观格局与功能分析

孙晓娟¹, 范文义², 蔡体久²

(1. 国家林业局调查规划设计院, 北京 100714; 2 东北林业大学, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要:以增加流域内水源涵养能力这一生态功能为核心,借助于 GIS平台对公别拉河流域现有植被类型的地理空间分布、林种和树种组成、景观结构进行了分析和评价,建立了区域水源涵养能力定量评价的直观影像数据库,确定了流域内适宜的覆盖率,为科学合理的进行区域林业生态工程构建提供了科学的依据。

关键词: GIS;水源涵养林;景观格局;功能分析

中图分类号: S715 文献标识码: A

Landscape Pattern and Function Analysis for the Water Resources Conservation Forests of the Gongbiela River Watershed by GIS

SUN Xiao-juan¹, FAN Wen-yi², CAI Ti-jiu²

(1. Academy of Forestry Inventory and Planning, State Forestry Administration, Beijing 100714, China;

2. Northeast Forestry University, Harbin 150040, Heilongjiang, China)

Abstract: This study focused on increasing the water resource conservation ability of the Gongbiela river watershed. By GIS technology and available advanced high spatial resolution remote sensing image SPOT5, the landscape image database was set up. According to the analyse of the spatial distribution and the composing of the forest types and forest species, The problem existing in the water resources conservation forests were pointed out. And all this was provided to quantificationally analyse the ability of water resource conservation and to meet the demands of the regional forestry engineering construction, constructing the forest system with coverage rate feasible, structure rational and the ecological benefits.

Key words: GIS; water resources conservation forests; landscape pattern; function analyse

景观生态学研究关注的焦点就是在较大的空间和时间尺度上研究生态系统的空间格局和生态过程^[1,2]。而现有的防护林配置与布局多以简单的形式设计、经验型的配置为主。随着林业生态工程建设的逐步推进,以生态学和系统工程理论为指导的功能设计、系统配置必将成为发展方向^[3,4]。GIS以其强大的空间分析、多要素综合和动态预测能力,为综合各种影响因素和解释生态系统的发展过程,进行水源涵养林的高效空间配

置和稳定林分结构设计以达到最佳的水源保护功能提供了强有力的工具^[5]。因此如何有效利用海量的空间信息来认知、预测和调控自然生态环境,配置稳定、高效、结构合理的林业生态工程体系,就成了区域林业生态构建的一个重要环节。基于流域尺度的景观空间分布格局与生态过程分析,为景观最优化管理提供了方案,大力发展空间信息分析处理技术是林业生态工程发展的必然趋势。

收稿日期: 2005-05-30。修改日期: 2006-04-20

基金项目: 黑龙江省区域重大项目 (GB01DD237)

作者简介: 孙晓娟 (1973—),女,主要从事生态信息系统管理。

1 研究区概况

公别拉河流域地处黑龙江省黑河市(爱辉区)境内,地理坐标为 126°30' ~ 127°30' E, 49°40' ~ 50°10' N,流域总面积 2 750 km²。公别拉河流域是以分水岭相区别的完整的产流产沙自然单元或集水区,其景观结构的优劣就决定着其主导过程水源涵养、水土流失量的多少。近年来由于乱砍滥伐、毁林开荒等影响,流域内森林资源锐减,生态环境受到严重威胁,建立以科学经营为基础的水源涵养林健康体系,保证防护林具有最佳的森林覆盖率、良好的林分结构以起到保持水土、调洪削峰、减少淤积和泥沙入库的作用,是调整其系统结构,增强系统功能,提高

水源涵养林营建和经营水平的关键^[6]。

2 研究方法

本文以 GIS 为平台,结合 1:5 万地形图、森林资源二类调查小班数据以及 GPS 调查样点,借助于 2002 年 7 月的 SPOT5 遥感影像,在摸清资源本底的基础上,建立了景观影像数据库,并对现有植被类型的地理空间分布、林种和树种组成、资源结构进行分析和评价。利用公别拉河流域“西沟水库流域森林对水资源调控机制及经济评价”中得出的土壤蓄水能力评价、公别拉河流域降水资料,计算出公别拉河流域最佳森林覆被率,并得出流域水源涵养能力分级图。具体工作流程见图 1。

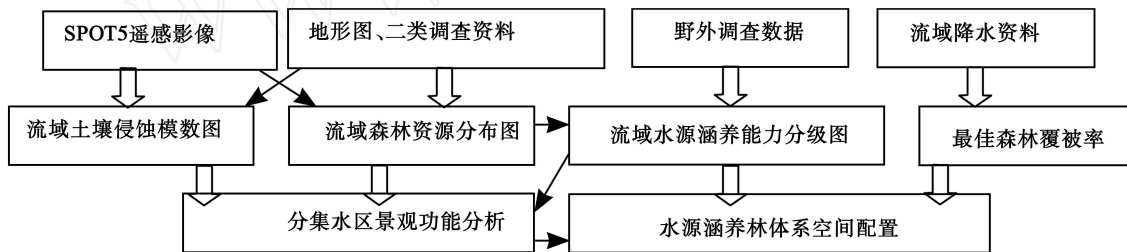


图 1 技术路线

2.1 景观斑块的分类与景观格局分析

以公别拉河流域内各支流的分水岭为界线将研究区域划分为: 1. 富地营子水库; 2. 义气罕河; 3. 库

纳尔河; 4. 洪湖吐河; 5. 哈拉台水库; 6. 宋集屯水库; 7. 石匠河等 7 个集水区(图 2)。

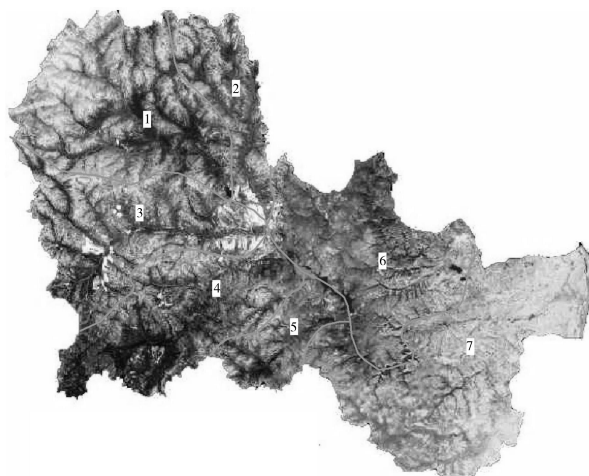


图 2 公别拉河流域 SPOT5 遥感影像与集水区分区图

根据二类调查数据对景观嵌块体进行分类,将林型划分为落叶松 (*Larix gmelini* (Rupr.) Rupr.)、樟子松 (*Pinus sylvestris* Linn. var. *mongolica* Litvin.)、柞树 (*Quercus mongolica* Fisch.)、黑桦 (*Betula dahu-*

rica Pall.)、白桦 (*Betula platyphylla* Suk.)、山杨 (*Populus davidiana* Dode.)、阔叶混交林、针阔混交林 8 种,同时特别强调了土地利用方式现状,因此加上了灌丛、草甸沼泽、耕地、弃耕地、水体、居民点与

裸地,共计 14 类。各集水区景观类型组成见表 1。

表 1 各集水区景观类型面积

序号	类型	集水区							hm ²
		1 富地营子	2 义气罕河	3 洪湖吐河	4 库纳尔河	5 哈拉台	6 宋集屯	7 石匠河	
1	落叶松	588.34	1 744.33	1 362.14	1 822.92	283.84	1 374.69	409.63	
2	樟子松		445.98	26.82	156.62	105.61	658.10	227.81	
3	柞树	3 862.22	469.46	918.99	1 925.24	15.51	962.21	1 484.35	
4	黑桦	451.57	118.49	2.49	88.65		693.41	23.30	
5	白桦	12 987.61	8 441.08	4 528.75	4 284.62	1 337.55	5 193.39	13 619.38	
6	山杨	75.29	11.06	9.47			37.96		
7	阔叶混交林	17 686.71	5 945.86	20 729.98	18 506.55	6 672.99	14 545.30	11 990.43	
8	针阔混交林	610.07	551.82	1.80	59.14	71.86	1 065.89	299.17	
9	灌丛	43.96	49.45	317.35	354.56	12.03	290.33	562.34	
10	草甸沼泽	14 616.35	7 067.73	9 060.63	11 274.77	2 872.63	11 184.48	10 475.80	
11	耕地	68.08	1 642.12	2 875.26	1 348.66	1.15	11 383.07	12 580.14	
12	弃耕地	521.13	383.49	881.61	484.22	1.96	120.85	318.34	
13	水体	171.34	64.04		549.59	66.67	730.89	363.39	
14	居民点裸地	49.09	37.05	82.65	274.57	25.39	1 580.62	400.01	

景观指数与格局分析采用 FRAGSTATS 软件进行计算。

2.2 最佳森林覆被率计算方法

根据历年出现频率较大(10年一遇)暴雨量与该区内森林土壤饱和蓄水能力值,求算水源涵养林能全部蓄留该级别降水量的森林覆盖率,即以水源涵养为目标的最佳防护效益的森林覆盖率。森林覆盖率的计算公式为:

$$F = (A_f / S_f) \times 100\% \quad (1)$$

式中, A_f 为该流域水源涵养林蓄留 P 量级降水量所需的森林面积, $A_f = (P \times S_f) / W$, S_f 为防护面积, W 为森林土壤饱和蓄水量,相应的 S_f 为流域总面积^[7]。 P 为历年一日出现频率较大的暴雨量。根据公别拉河流域多年的水文观测资料,该地区多年平均降水量为 550 mm,年径流深 180 mm,其中降水径流的 70%集中在汛期 6—9 月。多年平均最大日降水量为 68 mm,如以 10 年一遇为标准,将 112 mm 作为历年一日出现频率较大的暴雨量 P 值,若以 50 年

一遇则是 1963 年 7 月 27 日的 134.1 mm。考虑到长期规划,以 50 年一遇为标准,取 134.1 mm 为 P 值。

3 结果与分析

3.1 各集水区景观指数分析

对 7 个集水区的景观指数(见表 2)分析表明,景观指数可以分为 3 类:

第一类是多样性指数反映景观要素的多少及各景观要素所占比例的变化,包括: Shannon-Weaner 多样性指数、优势度指数和均匀度指数,在 1 集水区富地营子库区明显存在优势景观:湿地沼泽。而 5 集水区哈拉台水库则主要是天然次生阔叶混交林优势景观,多样性指数、均匀度指数相对较低,而对于 6 集水区宋集屯水库,其农地是优势景观,是景观基质(matrix)。增加森林面积,增加林种多样性、改善林分结构和林分质量,才能更好地发挥森林改善生态环境的作用,使水源林建设向低耗高效方向发展。

表 2 各集水区景观指数

景观指数	集水区						
	1 富地营子	2 义气罕河	3 洪湖吐河	4 库纳尔河	5 哈拉台	6 宋集屯	7 石匠河
面积 /hm ²	52 130	26 954	40 786	41 140	11 467	49 845	52 940
多样性指数	1.543 57	1.735 72	1.449 071	1.571 44	1.140 97	1.872 21	1.711 58
优势度指数	2.263 785	2.071 635	2.156 87	2.129	2.443 993	2.215 25	2.095 775
均匀度指数	0.495 08	0.566 36	0.435 86	0.477 08	0.353 18	0.565 63	0.583 73
嵌块体形状指数	3.254 33	7.311 940	7.932 710	6.527 870	18.604 120	3.532 200	2.882 820
嵌块体分维数	1.373 072	1.452 870	1.433 480	1.424 070	1.716 690	1.354 640	1.333 810
嵌块体密度指数	2.448 996	6.440 840	4.284 280	4.332 820	4.107 250	4.024 140	4.338 060
形状破碎化指数	0.701 595	0.863 240	0.797 270	0.846 810	0.946 248	0.71 890	0.653 117
数目破碎化指数	0.017 600	0.047 530	0.033 320	0.030 287	0.030 697	0.029 610	0.036 790

第二类是斑块形状指数,包括斑块平均形状指数和斑块分维数,用于测定斑块形状的复杂程度。第 5 集水区的形状指数明显优于其他集水区,最接近自然,而第 7 集水区该区形状指数小,多为最简单、最规则的形状斑块农田。

第三类为景观破碎化指数反映景观被分割的破碎程度,包括斑块密度指数、斑块形状破碎化指数、斑块数目破碎化指数,可以比较不同斑块类型受干扰的程度,第 6、7 集水区明显受人为干扰程度大而 5 集水区保留自然未受干扰状态。

对景观功能而言,景观基质表现为优势的控制

作用,一般其面积超过景观面积的 50%,且连通性能最高。就流域防蚀作用而言,在农地或裸露地不能成为景观基质的情况下,当流域林草植被面积达到此数值,且整体上具有连通性,那么,可以认为植被在景观防蚀功能上起主导作用,可控制地表径流,防止冲刷。第 6、7 集水区耕地明显占优势,就要考虑其植被的整体连通性,以增强其防止侵蚀功能。

对各个集水区的森林覆盖率、土壤非毛管孔隙涵养水源能力与土壤侵蚀模数^[10]之间的关系进行分析(见表 3)。

表 3 森林覆盖率与水源涵养、土壤侵蚀的关系

项目	集水区						
	1 富地营子	2 义气罕河	3 洪湖吐河	4 库纳尔河	5 哈拉台	6 宋集屯	7 石匠河
面积 /hm ²	52 130	26 954	40 786	41 140	11 467	49 845	52 940
森林覆盖率 /%	46.47	38.69	39.97	35.3	45.79	27.58	25.84
土壤非毛管孔隙涵养水源能力	231	219	228	224	241	188	193
平均海拔 /m	502	448	481	465	443	294	287
土壤侵蚀模数 / (t · km ⁻² · a ⁻¹)	43	49	34	42	27	191	193

从各集水区的森林覆盖率与涵养水源,防止侵蚀能力来看,森林覆盖率高,土壤涵养水源能力与防止侵蚀能力就强,因此,必须加快植树造林步伐,加强和完善生态工程建设,提高本地区的森林覆盖被率,增加涵养水源能力,使水土流失程度降到最低限。

3.2 以涵养水源为目标确定最佳森林覆盖率

森林涵养水源能力的大小主要是由森林土壤非毛管孔隙、土壤饱和蓄水能力、渗透系数等决定的,其中土壤饱和蓄水能力是一个综合性较强的指标,它不但与林下土壤水分、物理、化学特性如土壤孔隙度、机械组成、土层厚度、有机质含量等高度相关,还与森林的内涵质量、地质地貌等因子紧密相关。因此森林土壤饱和蓄水能力是森林自身属性及地质地貌等因子对森林生态系统在保持水土、水源涵养诸方面的综合体现。森林土壤饱和蓄水能力完全可以作为水源保护林水源保护功能的一个科学的评价指标。

公别拉河流域不同森林类型的加权林地土壤饱和蓄水量(见表 4)。

在公别拉河流域内降水是产生侵蚀的最主要的原动力,其中持续时间长、强度大、动能高的特大暴雨侵蚀力最强,因此,根据历年出现频率较大(10年一遇)暴雨量与该区内森林土壤饱和蓄水能力值,来求算以水源涵养为目标的最佳防护效益的森林覆盖

率。森林土壤饱和蓄水量 w 值因林分不同而不同(见表 4)。由表 4 中不同森林类型土壤饱和蓄水量加权平均可得该流域林地土壤平均饱和蓄水量为 $231 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

表 4 不同森林类型的土壤蓄水能力与相应加权值

森林类型	土壤饱和蓄水量		各类型所占面积		土壤饱和蓄水量 加权值 / (t · hm ⁻²)
	(t · hm ⁻²)	mm	hm ²	权重	
落叶松林	318.40	31.84	7 514	0.031 4	10.00
樟子松林	282.46	28.25	1 593	0.016 7	1.88
水冬瓜林	256.50	25.65	329	0.001 4	0.35
灌木林	397.19	39.72	1 003	0.004 2	1.66
黑桦林	346.28	34.63	1 378	0.005 8	2.00
白桦林	271.91	27.19	50 392	0.210 7	57.29
阔叶混交林	304.76	30.48	96 125	0.401 9	122.00
针阔混交林	458.71	45.87	2 660	0.011 1	5.10
柞木林	346.05	34.61	9 638	0.040 3	13.95
山杨林	314.30	31.43	134	0.000 6	0.18
撩荒地	45.05	4.50	3 468	0.014 5	0.65
泽	20.61	2.06	10 844	0.045 3	0.93
草甸	68.65	6.87	54 090	0.226 1	15.40
(合计)			239 168	1	231.39

根据公式(1)计算,以目前水源保护林林地土壤饱和蓄水量现状,能够蓄留历年一日出现频率较大(50年一遇)暴雨量(134.1 mm)时的最佳森林覆盖率为 50.42%。但考虑到土壤前期含水量问题,应将森林覆盖率适当增加为宜。而公别拉河流域现有森林覆盖率为 35.66%,因此应加大流域内植树

造林力度。

3.3 涵养水源能力现状分析

利用野外调查数据和部分森林、土壤类型的定位观测数据,对本区主要乔灌木树种和林分类型的降水拦蓄功能进行排序分析,并将其值作为一个属性字段加入到森林二类调查数据中,并以该字段的值为属性值转化为栅格图形(图 3),从而为本区水源涵养林造林工程的树种选择,林分结构等造林设计及总体布局提供直观的科学依据。

图 3 中不同优势树种林分对降雨的截留能力和蓄水能力的实测平均值,反映了树种间涵养水源功能的差异性。其中,针阔叶混交林的土壤发育较好,涵养水源能力较强,达到 $458.71 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (表 4)。

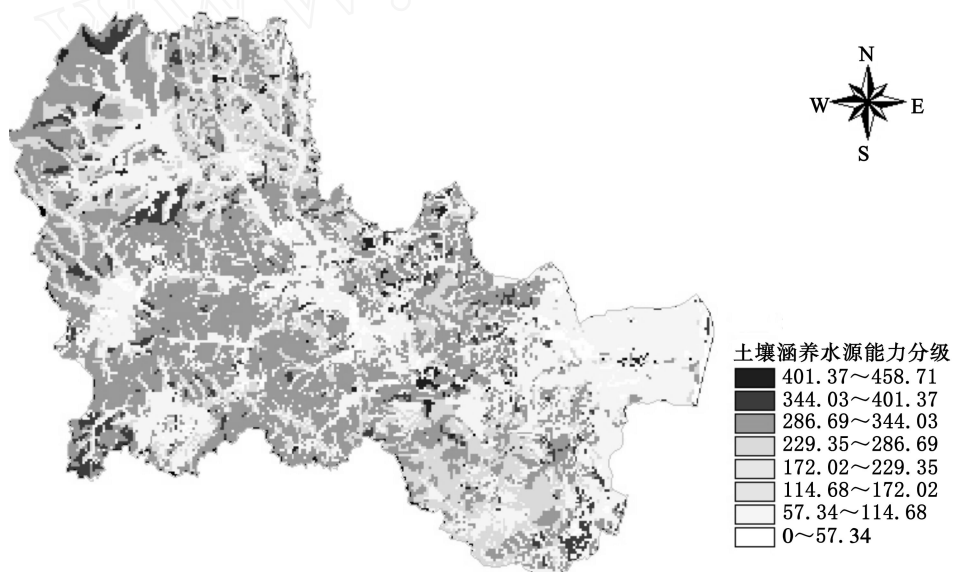


图 3 土壤非毛管孔隙水源涵养能力分级图

4 小结与建议

(1) 本文在基于对各林型土壤非毛管孔隙涵养水源能力分析的基础上,计算出以暴雨降水量的全部蓄留为标准的公别拉河流域最佳森林覆盖率为 50.42%。确定水源涵养林的最佳森林覆盖率和最优植被类型结构,是能动态调整其系统结构,增强系统功能,提高水源涵养林营建和经营水平的关键。

(2) 分集水区对流域整体进行景观功能分析,剖析目前景观格局中存在的树种配置问题,以期在此基础上,根据景观生态学中的结构-功能原理,优化景观功能,为水土保持林的高效空间配置提供数量化依据。不足之处是没有考虑森林空间分布中其它的因素,例如森林离河岸距离等。

目前,该流域针阔叶混交林所占的比重很小,应充分利用人工天然更新方式,加强天然次生林的人工诱导,增加针阔叶林面积。其他林型涵养水源能力也较农田、塔头、沼泽等无林地高,尤其是灌木林,其涵养水源能力较强。所以,在公别拉河流域植被管理中,应加强对灌木林的保护和培育,以充分发挥其涵养水源功能。建议在集水区的农用林地营造混交林,尽量选用当地的针、阔叶树种,并保持较高的比例;流域内主要入库沟道营造防护林、水库周围营造库岸防护林、流域内无林地段(荒地、弃耕地)应人工造林加快恢复植被,形成稳定的乔灌混交群落,对低价值林分则定向培育改造,以较小的投入获得最大的水源涵养功能。

(3) 以涵养水源、改善水质和防止土壤侵蚀为核心的水源涵养林,其功能是林分系统历史发育过程中形成的,而且随系统结构的变化而变化。公别拉河流域建设的重点是保护、经营好现有森林资源,提高林分质量和林地生产力,由过去的粗放经营型向集约型经营转变,在原有林种、树种的基础上,适当增加优良品种的比例,调整林种、树种的结构,逐步实现树种的优化配置以及开发相应的培育技术,主要营林措施包括:按适地适树原则,以阔叶树或针阔叶混交配置为主,进行树种选择和树种配置,提高森林覆被率。根据乔、灌木树种的生长过程,截留能力的变化和功能要求,调整林分密度和层次结构,以调节林分的截留量和截留过程。对林相残破的疏林地及天然次生幼龄林等,人工诱导针阔叶

混交林。由于大多数天然次生林,其林内已很难找到原始针叶树及其种源,靠天然恢复针阔混交林要经过一段漫长的时期。因此,通过栽针保阔的方法可大大加快植被恢复过程。在大面积营造针阔混交林后,森林的整体景观功能会得到很大改观,涵养水源能力、防止土壤侵蚀能力会大大增强,涵养水源的效益也将得到大幅度提高。依据环境条件,进行森林植被类型的空间配置,形成多种功能互补,多种效益有效结合的合理布局。使林木的生态、经济、社会效益充分发挥出来,从而使其在改善流域生态环境,促进区域发展中早日发挥巨大潜能。

参考文献:

- [1] 万鲁河,周道伟,藏淑英.二龙山水库流域景观格局研究[J].植物研究,2003,23(1):117~122
- [2] 白降雨,彭道黎,庾晓红,等.森林景观生态研究现状与展望[J].生态学杂志,2005,24(8):943~947
- [3] 饶良懿,朱金兆.防护林空间配置研究进展[J].中国水土保持科学,2005,3(2):102~106
- [4] 高甲荣,刘德高,吴家兵.密云水库北庄示范区水源保护林林种配置研究[J].水土保持学报,2000,14(1):12~17
- [5] 孙玉军,王雪军.基于GIS的森林景观定量分类[J].生态学报,2003,23(12):2540~2544
- [6] 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
- [7] 郭中伟,甘雅玲.基于功能与空间格局的区域生态系统保育策略[J].生物多样性,2002,10(4):399~408
- [8] 胡良军,邵明安.论水土流失研究中的植被覆盖度量指标[J].西北林学院学报,2001,16(1):40~43
- [9] 吴钦孝.黄土高原的林草资源和适宜覆盖率[J].林业科学,2000,36(6):6~7
- [10] 孙晓娟.基于3S技术的区域林业生态工程空间配置的研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2003