

网络出版时间:2014-09-10 18:19

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.10.050

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.10.050.html>

闽江流域生态公益林林型对水源涵养的影响

赖日文^{1a,1b}, 刘健^{1a,1b,2}, 汪琴^{1a}, 叶伟^{1a}

(1 福建农林大学 a 林学院, b 3S 技术应用研究所, 福建 福州 350002; 2 三明学院, 福建 三明 365000)

[摘要] 【目的】分析林型与降雨量、径流量的关系, 为合理调整闽江流域内生态公益林林型结构布局, 充分发挥公益林的水源涵养功能提供参考。【方法】以闽江流域为研究对象, 借助遥感(Remote sensing, RS)和地理信息系统(Geographic information system, GIS)技术手段, 对闽江流域 HJ-1A/B CCD 遥感影像进行处理, 在提取生态公益林资源信息的基础上, 结合水文数据, 采用灰色关联分析法, 研究流域内不同林型与年降雨量、年径流量之间的关系。【结果】经过遥感影像处理和森林资源信息提取, 获得了闽江流域 30 个县市的多年平均径流深和降雨量栅格图及生态公益林森林资源分布图。灰色关联分析结果表明, 流域内 6 种林型阔叶林、杉木林、马尾松林、针阔混交林、竹林、经济林与年径流量的关联度分别为 0.599 6, 0.544 1, 0.529 8, 0.546 9, 0.501 5, 0.457 3; 与年降雨量的关联度分别为 0.574 3, 0.757 1, 0.783 0, 0.729 1, 0.853 8, 0.882 1。各县市生态公益林的水源涵养能力以大田、闽清、三明、沙县、尤溪等较强, 德化、仙游、古田和福州、建瓯、明溪等表现为从一般到较强, 光泽和武夷山最差。【结论】流域内不同林型的水源涵养能力大小依次为阔叶林>针阔混交林>杉木林>马尾松林>竹林>经济林; 当阔叶林、杉木林、针阔混交林面积分别约占有林地面积的 20%, 18% 和 26% 时, 森林涵养水源的能力较强。

[关键词] 林型结构; 生态公益林; 水源涵养; 闽江流域

[中图分类号] S715.3; S127

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2014)10-0111-08

Effects of ecological forest types on water-holding function in Minjiang watershed

LAI Ri-wen^{1a,1b}, LIU Jian^{1a,1b,2}, WANG Qin^{1a}, YE Wei^{1a}

(1 a College of Forestry, b Institute of Geomatics Application, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China; 2 Sanming University, Sanming, Fujian 365000, China)

Abstract: 【Objective】The relationship between forest species and rainfall and runoff was analyzed to provide references for modulating distribution of ecological forests and improving their water-holding function in Minjiang watershed. 【Method】With the aid of Remote Sensing (RS) and Geographic Information System (GIS), the HJ-1A/B CCD image of Minjiang watershed was processed to extract information of ecological public welfare forests. Combining the extracted information and hydrographic data, gray correlation analysis was used to analyze the relationship between forest species and rainfall and runoff. 【Result】Mean annual rainfalls and runoffs of more than 30 counties in Minjiang watershed were acquired. Ordination and correlation revealed that the correlation coefficients between mean annual runoff and the six forest types (broadleaf forest, *Cunninghamia lanceolata* forest, *Pinus massoniana* forest, mixed forest, bamboo forest, and economic forest) were 0.599 6, 0.544 1, 0.529 8, 0.546 9, 0.501 5, and 0.457 3, while the coefficients between annual rainfall and forest types were 0.574 3, 0.757 1, 0.783 0, 0.729 1, 0.853 8, and 0.882 1, re-

[收稿日期] 2013-07-08

[基金项目] 福建省自然科学基金项目“森林碳储量遥感估测模型构建研究”(2011J01258)

[作者简介] 赖日文(1970—), 男, 福建政和人, 副教授, 博士, 主要从事 3S 技术在资源环境中的应用、森林资源经营管理研究。

E-mail: fjlw@126.com

spectively. Datian, Mingqing, Sanming, Shaxian and Youxi had very strong water-holding capacities, Dehua, Xianyou, Gutian, Fuzhou, Jian'ou and Mingxi had medium or strong water-holding capacities, while Guangze and Wuyishan had poor water-holding capacities. 【Conclusion】 The water conservation capacities of different forests were in a decreasing order of broadleaf forest>mixed forest>*C. lanceolata* forest>*P. massoniana* forest>bamboo>economic forest. When the ratios of broadleaf forest, *C. lanceolata*, and mixed forest to the total woodland area were above 20%, 18% and 26%, the forests would have strong water conservation capacities.

Key words: forest type; ecological forest; water-holding function; Minjiang watershed

林型即森林类型,为森林群落的分类单位,是按照群落的内部特性、外部特征及其动态规律所划分的同质森林地段。划分林型的目的是为森林调查、造林、经营和规划设计提供科学依据,从而对不同的类型采取与之相适应的营林措施^[1]。森林作为陆地生态系统的主体,在调节气候、涵养水源、水土保持、防风固沙、改良土壤、减少污染、美化环境、抵御自然灾害、保持生物多样性、维系生态平衡等方面发挥着不可替代的作用^[2],其具有的水土保持和涵养水源功能,对于改善生态环境具有积极作用^[3-4]。森林涵养水源,通常是指森林生态系统对降水的拦截和滞蓄,其功能主要表现在蓄水、调节径流、森林削洪抗旱和净化水质等几个方面^[5]。目前,关于林型结构与森林涵养水源功能的研究,多集中在对定位观测结果的对比分析上,研究的具体方法主要是对森林涵养水源各组成要素进行定位观测;数学方法则主要运用统计学、模糊数学、层次分析法等,将灰色关联分析法^[6]应用到林型结构与水源涵养功能关系研究^[7-8]的并不多见。

本研究以闽江流域为研究对象,借助遥感(Remote sensing, RS)和地理信息系统(Geographic information system, GIS)技术,在遥感影像图处理、森林资源信息提取的基础上,利用灰色关联分析法,通过研究流域内降雨量和径流量 2 个森林水量平衡的“入口”与“出口”,分析不同林型结构与森林涵养水源功能之间的相关关系,以期在减少定位观测工作量的基础上,为合理调整闽江流域内生态公益林林型结构布局,充分发挥公益林的水源涵养功能提供参考。

1 研究区概况

闽江流域位于我国东南部,发源于武夷山脉,在南平以上有建溪、富屯溪和沙溪三大支流,在南平以下有纳尤溪、古田溪、梅溪、大樟溪等支流,最后流经福州、长乐出海。闽江是福建省最大的河流,河长

577 km,河道平均坡降为 0.5‰,总流域面积为 6 099 200 hm²,约占福建省总面积的 1/2,被福建人民称作“母亲河”。根据全流域近 500 个雨量站的实测资料计算,全流域多年平均年降水总量 1 043 亿 m³,折算平均年降水深 1 710 mm。随着流域地势高程从西北向东南方向递延,年降雨量也随之递减,闽江下游地区则为低雨区。全流域降水在年内分配比较集中,汛期(4—9 月)降雨量占年降雨量的 70%~80%。全流域河川年径流量 586 亿 m³,其中由地下水补给的径流量为 162 亿 m³,分别占全流域降水总量的 56.1%和 15.5%。闽江流域径流深(即每公顷径流量)在武夷山主峰附近的多年平均值达 2 000 mm,为全流域最大值,在武夷山脉形成了闽北径流丰水带,随着山地高程递减,径流深也随之降低,至沿海地区只有 600 mm 左右^[9]。

2 资料的收集与处理

2.1 资料来源

本研究主要采用的卫星遥感影像有:2012-03-05 环境与灾害监测预报小卫星星座 A、B 星(HJ-1A/B)CCD 影像数据 6 景,轨道号分别为 451-84、452-84、452-88、448-84、450-84 和 449-88。此外,还收集了《福建省农业地图集》、福建省气象台站近 30 年降雨量数据、闽江流域 1:250 000 行政边界矢量(Shapefile, SHP)、福建省 1:250 000 行政边界矢量和福建省第 7 次(2008 年)森林资源连续清查数据库存档材料。

本研究采用的主要软件有 ERDAS 9.2 遥感影像处理软件、ArcGIS 10.0 地理信息系统软件和 DPS v7.05 统计软件等。

2.2 数据处理

2.2.1 径流量和降雨量栅格数据库的建立 利用《福建省农业地图集》收录的福建地表水资源多年径流深图,运用 ArcGIS 10.0 软件,在福建省 1:250 000 行政边界矢量图层上,将径流深线用点进行

绘制,并将各点赋予相应的径流深值;福建省多年平均降雨量的点图由福建省近 30 年各台站平均降雨量获得。

在 ArcGIS 10.0 软件中,采用反距离加权(Inverse Distance Weighted, IDW)插值法分别对径流深和降雨量的点图进行内插处理,获取福建省多年

平均径流深图和年降雨量图,以 30 m×30 m(与遥感影像空间分辨率一致)栅格数据格式输出。再将闽江流域范围 SHP 图层借助遥感图像处理软件转换成感兴趣区(Area of Interesting, AOI),裁剪得到闽江流域多年平均径流深分布图(图 1)和多年平均降雨量分布图(图 2)。

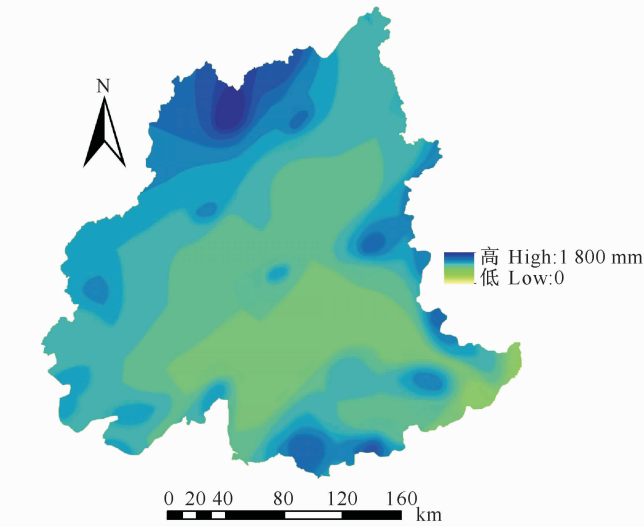


图 1 闽江流域多年平均径流深的分布

Fig. 1 Mean annual runoff in Minjiang watershed

将闽江流域内各县市行政范围 SHP 图层转换成 AOI,裁剪图 1 和图 2 统计得到流域内各县市的径流深和降雨量值。由于所得到的各县市平均径流深和降雨量栅格的灰度值分布不均匀,可以通过加权平均计算获得各县市的平均径流深和降雨量值。

计算公式为:
$$P=(\sum_i p_i a_i)/A.$$
(1)

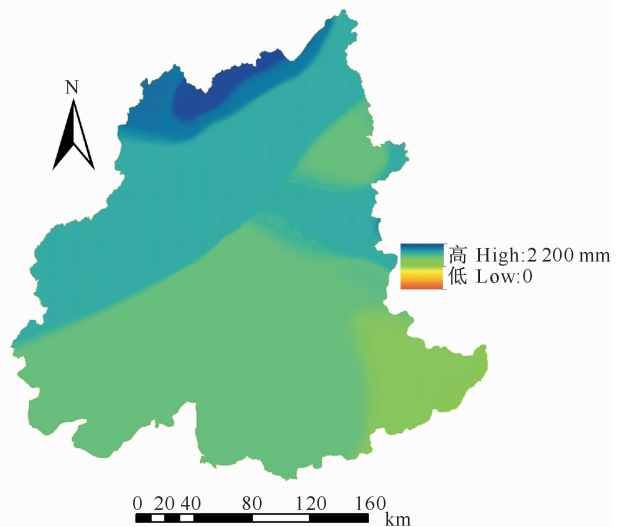


图 2 闽江流域多年平均降雨量的分布

Fig. 2 Mean annual rainfall in Minjiang watershed

式中: P 为区域径流深或降雨量平均值, p_i 为第 i 个栅格径流深或降雨量值(mm), a_i 为第 i 个径流深或降雨量值所代表的面积(hm²), A 代表流域内各县市的面积。统计所得闽江流域各县市多年平均径流量和年降雨量的值见表 1。

表 1 闽江流域各县市多年平均径流量和年降雨量的统计结果

Table 1 Statistical results of mean annual runoff and rainfall of each county in Minjiang watershed

县市 County	多年平均 径流深/mm Mean annual runoff depth	面积/hm ² Area	年径流量/ 10 ⁸ m ³ Annual volume of runoff	年降雨 量/mm Annual volume of rainfall	县市 County	多年平均 径流深/mm Mean annual runoff depth	面积/hm ² Area	年径流量/ 10 ⁸ m ³ Annual volume of runoff	年降雨 量/mm Annual volume of rainfall
长乐 Changle	775.802	42 258.6	3.278 43	1 334.9	浦城 Pucheng	1 025.970	292 048.6	29.963 20	1 835.4
大田 Datian	864.975	199 591.9	17.264 20	1 593.8	清流 Qingliu	975.151	181 738.2	17.722 20	1 593.8
德化 Dehua	1 125.870	219 992.4	24.768 30	1 593.8	三明 Sanming	828.005	117 486.5	9.727 94	1 593.8
福州 Fuzhou	905.780	85 501.8	7.744 59	1 384.1	邵武 Shaowu	1 121.260	283 216.7	31.755 80	1 800.2
光泽 Guangze	1 314.700	204 163.2	26.841 20	1 989.6	沙县 Shaxian	858.853	179 467.2	15.413 60	1 593.8
古田 Gutian	1 010.190	228 736.8	23.106 70	1 664.7	顺昌 Shunchang	921.579	198 076.0	18.254 30	1 691.1
将乐 Jiangle	937.618	225 293.4	21.123 90	1 736.4	松溪 Songxi	993.575	104 760.1	10.408 70	1 648.5
建宁 Jianning	1 099.720	173 785.2	19.111 40	1 793.0	泰宁 Taining	1 026.210	153 476.3	15.749 80	1 793.0
建瓯 Jian'ou	963.962	420 089.0	40.495 00	1 731.1	武夷山 Wuyishan	1 312.350	280 867.3	36.859 60	1 967.4
建阳 Jianyang	1 068.180	339 396.8	36.253 60	1 796.0	仙游 Xianyou	1 082.150	68 390.6	7.400 89	1 529.4
连城 Liancheng	1 038.700	135 118.0	14.034 80	1 593.8	延平 Yanping	850.938	266 958.4	22.716 50	1 597.9
明溪 Mingxi	950.587	169 281.4	16.091 70	1 644.1	永安 Yong'an	927.337	274 380.8	25.444 30	1 593.8
闽侯 Minhou	942.732	176 797.1	16.667 20	1 399.1	永泰 Yongtai	958.182	224 776.8	21.537 70	1 510.0
闽清 Minqing	869.969	144 827.9	12.599 60	1 533.7	尤溪 Youxi	842.493	343 462.0	28.936 40	1 593.8
宁化 Ninghua	1 037.900	234 706.0	24.360 20	1 676.5	政和 Zhenghe	1 024.960	102 992.9	10.556 30	1 645.7

校正、直方图匹配、灰度调节、镶嵌及云去除等处理,将闽江流域 SHP 电子图层转换为 AOI 格式,实现闽江流域范围 HJ-1 影像 CCD 数据 4 个波段的影像剪裁。在此基础上,采用监督分类、分层分类结合专家知识分类方法^[10-12],实现对闽江流域森林资源信息的提取,利用森林资源连续清查数据库续档资料对其进行精度验证,总体精度为 81.8%。然后通过已有的闽江流域生态公益林掩膜图,裁剪出闽江流域生态公益林的森林资源分布图(图 3)。用闽江流域内 30 个县市的 AOI,可以裁剪出各个县市的森林资源专题图,并从图中提取各县市的林型和各林型面积,结果见表 2。

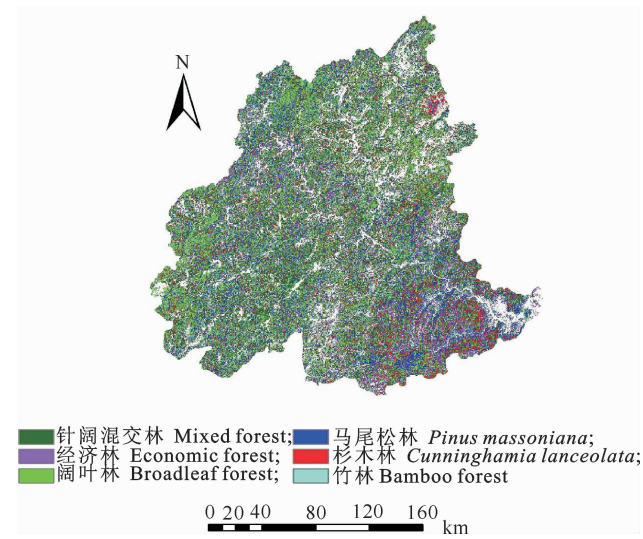


图 3 闽江流域生态公益林资源的分布
Fig. 3 Distribution of ecological forest resources in Minjiang watershed

林型通常按有林地的林种划分,但考虑到遥感

表 2 闽江流域各县市不同林型的面积及年径流量、年降雨量和林型面积的初值化变换结果

Table 2 Areas of different forest types and preliminary transformation of mean annual runoff,mean annual rainfall and area of each county in Minjiang watershed														
县市 County	年径流量(Y ₁) Mean annual runoff	年降雨量(Y ₂) Mean annual rainfall	阔叶林(X ₁) Broadleaf forest		杉木林(X ₂) C. lanceolata		马尾松林(X ₃) P. massoniana		针阔混交林(X ₄) Mixed forest		竹林(X ₅) Bamboo forest		经济林(X ₆) Economic forest	
			面积/ hm ²	初值化值 Prelimi-nary transformation	面积/ hm ²	初值化值 Prelimi-nary transformation	面积/ hm ²	初值化值 Prelimi-nary transformation	面积/ hm ²	初值化值 Prelimi-nary transformation	面积/ hm ²	初值化值 Prelimi-nary transformation	面积/ hm ²	初值化值 Prelimi-nary transformation
			Area	transformation	Area	transformation	Area	transformation	Area	transformation	Area	transformation	Area	transformation
长乐 Changle	1	1	1 297	1	2 572	1	2 596	1	2 322	1	1 594	1	4 715	1
大田 Datian	5.266 0	1.193 9	12 895	9.945 1	11 695	4.547 5	10 108	3.893 2	10 859	4.677 5	6 438	4.038 7	9 537	2.022 4
德化 Dehua	7.554 9	1.193 9	13 717	10.578 8	11 958	4.649 5	15 866	6.111 2	12 184	5.248 4	4 317	2.708 2	12 686	2.690 3
福州 Fuzhou	2.362 3	1.036 9	1 141	0.879 8	2 021	0.785 8	4 083	1.572 5	3 832	1.650 7	3 413	2.140 9	6 078	1.288 9
光泽 Guangze	8.187 2	1.490 4	16 025	12.358 7	11 361	4.417 4	9 788	3.770 1	13 688	5.896 2	5 373	3.370 2	8 319	1.764 1

影像解译的可操作性,以及用材林、薪炭林、防护林和特种用途林等林分是由杉木、马尾松、阔叶树等树种组成,形成了杉木林、马尾松林、阔叶林和针阔混交林,同时在闽江流域内分布有福建省的广布植物毛竹林,并且还具有相当面积的经济林,因此本研究将林型划分为杉木林、马尾松林、阔叶林、针阔混交林、竹林和经济林 6 种。

2.2.3 林型与降雨量和径流量的灰色关联分析
本研究尝试利用灰色关联分析法研究林型结构与森林涵养水源的关系,主要有以下步骤:

1)确定母序列。通过研究流域降雨量和流域出流径流量两个森林水量平衡的“入口”与“出口”,分析不同林型结构与森林水源涵养功能之间的相关关系。所以确定母序列为 2 个因素,即年径流量 Y₁ 与年降雨量 Y₂,记为{Y_i}={Y₁,Y₂},具体见表 2。

2)确定子序列。闽江流域林型划分为阔叶林 X₁、杉木林 X₂、马尾松林 X₃、针阔混交林 X₄、竹林 X₅、经济林 X₆ 等 6 种,所以确定子序列为 6 个因素,记为{X_i}={X₁,X₂,X₃,X₄,X₅,X₆},具体见表 2。

3)无量纲化处理。由于降雨量、径流量和林型面积等数据的单位不一致,因此需对所有因子进行无量纲化处理。本研究采用初值化变换,其计算公式为:

$$X_{ij'} = \frac{X_{ij}}{X_{i1}}$$

(2)

式中:X_{ij'}(i=1,2,⋯,n;j'=1,2,⋯,m)为初值化的指标值,X_{ij}(i=1,2,⋯,n;j=1,2,⋯,m)为原始指标值,X_{i1}为每行的第 1 个值。变换结果见表 2。

续表 2 Continued table 2

县市 County	年径流量(Y_1) Mean annual runoff	年降雨量(Y_2) Mean annual rainfall	阔叶林(X_1) Broadleaf forest		杉木林(X_2) <i>C. lanceolata</i>		马尾松林(X_3) <i>P. massoniana</i>		针阔混交林(X_4) Mixed forest		竹林(X_5) Bamboo forest		经济林(X_6) Economic forest	
			面积/ hm ² Area	初值化值 Preliminary transform- ation	面积/ hm ² Area	初值化值 Preliminary transform- ation	面积/ hm ² Area	初值化值 Preliminary transform- ation	面积/ hm ² Area	初值化值 Preliminary transform- ation	面积/ hm ² Area	初值化值 Preliminary transform- ation	面积/ hm ² Area	初值化值 Preliminary transform- ation
古田 Gutian	7.048 3	1.247 1	12 173	9.388 1	11 727	4.559 7	9 752	3.756 1	12 304	5.299 9	4 099	2.571 0	11 301	2.396 6
将乐 Jiangle	6.443 4	1.300 8	6 602	5.091 8	5 346	2.078 7	4 188	1.613 2	6 418	2.764 7	2 299	1.441 8	4 657	0.987 5
建宁 Jianning	5.829 4	1.343 2	11 308	8.720 9	7 156	2.782 5	5 672	2.184 7	7 136	3.073 9	2 426	1.522 0	6 986	1.481 4
建瓯 Jian'ou	12.352 1	1.296 8	9 235	7.121 8	8 470	3.293 3	5 009	1.929 2	6 926	2.983 3	2 037	1.278 0	4 168	0.883 9
建阳 Jianyang	11.058 4	1.345 4	5 225	4.029 8	4 516	1.755 8	3 264	1.257 2	5 337	2.299 1	2 099	1.316 7	2 589	0.549 0
连城 Liancheng	4.281 1	1.193 9	12 468	9.615 8	11 377	4.423 6	10 394	4.003 4	12 131	5.225 6	5 480	3.437 4	7 710	1.635 0
明溪 Mingxi	4.908 5	1.231 6	3 525	2.718 4	2 881	1.120 3	2 244	0.864 5	4 269	1.838 9	1 753	1.099 4	2 785	0.590 6
闽侯 Minhou	5.083 9	1.048 1	2 000	1.542 4	3 625	1.409 5	4 608	1.774 8	3 537	1.523 5	2 471	1.550 2	6 169	1.308 2
闽清 Minqing	3.843 3	1.148 9	4 369	3.369 2	5 585	2.171 5	5 315	2.047 0	5 216	2.246 9	1 567	0.982 8	4 644	0.984 7
宁化 Ninghua	7.430 5	1.255 9	11 282	8.701 0	7 788	3.028 1	4 163	1.603 5	5 918	2.549 1	1 952	1.224 6	4 890	1.036 9
浦城 Pucheng	9.139 5	1.374 9	11 849	9.138 2	9 131	3.550 6	7 414	2.855 6	7 868	3.389 2	2 889	1.812 5	5 088	1.079 0
清流 Qingliu	5.405 7	1.193 9	1 987	1.532 8	1 813	0.704 9	1 927	0.742 4	2 775	1.195 5	1 441	0.904 1	1 141	0.242 0
三明 Sanming	2.967 3	1.193 9	2 081	1.604 9	1 991	0.774 0	1 736	0.668 6	2 384	1.027 1	968	0.607 0	1 564	0.331 7
邵武 Shaowu	9.686 4	1.348 6	4 883	3.765 7	5 697	2.215 3	4 198	1.617 0	6 672	2.874 2	2 902	1.820 1	6 826	1.447 6
沙县 Shaxian	4.701 7	1.193 9	1 625	1.253 0	1 798	0.699 2	1 527	0.588 3	2 265	0.975 9	1 218	0.763 9	1 816	0.385 2
顺昌 Shunchang	5.568 0	1.266 8	1 404	1.083 1	1 477	0.574 1	1 223	0.471 0	1 824	0.785 8	1 064	0.667 2	2 050	0.434 7
松溪 Songxi	3.175 0	1.234 9	1 958	1.510 3	4 101	1.594 5	2 451	0.944 2	2 261	0.973 8	1 519	0.952 7	1 165	0.247 0
泰宁 Taining	4.804 2	1.343 2	11 616	8.958 5	11 095	4.314 1	8 992	3.463 3	20 258	8.726 3	7 946	4.984 4	14 465	3.067 5
武夷山 Wuyishan	11.243 3	1.473 8	17 877	13.786 7	11 323	4.402 7	11 014	4.242 2	11 835	5.097 8	3 782	2.372 1	8 480	1.798 4
仙游 Xianyou	2.257 5	1.145 7	5 364	4.136 9	3 322	1.291 6	4 355	1.677 6	3 570	1.537 9	848	0.531 8	4 685	0.993 5
延平 Yanping	6.929 3	1.197 0	3 794	2.925 9	3 955	1.537 7	3 412	1.314 3	5 757	2.479 9	2 243	1.406 8	3 720	0.788 9
永安 Yong'an	7.761 1	1.193 9	10 457	8.064 8	9 133	3.551 1	8 994	3.464 3	10 265	4.421 8	3 824	2.398 7	6 165	1.307 4
永泰 Yongtai	6.569 7	1.131 2	5 949	4.587 6	8 485	3.299 4	8 839	3.404 4	5 361	2.309 4	1 291	0.809 6	5 158	1.093 8
尤溪 Youxi	8.826 3	1.193 9	7 790	6.007 7	8 745	3.400 2	9 608	3.700 5	7 635	3.288 8	2 334	1.464 1	6 589	1.397 2
政和 Zhenghe	3.219 9	1.232 8	3 007	2.318 8	3 467	1.348 1	2 034	0.783 4	2 963	1.276 4	1 146	0.718 7	1 861	0.394 7

4) 求关联系数及关联矩阵。

关联系数 $L_{0i}(K)$ 的计算公式为：

$$L_{0i}(K)=\frac{\Delta_{\min}+\rho\Delta_{\max}}{|\mathbf{X}_0(K)-\mathbf{X}_i(K)|+\rho\Delta_{\max}}。 \tag{3}$$

式中： $\Delta_{\max}$ 和 $\Delta_{\min}$ 分别表示所有比较序列各个时刻绝对差中的最大值与最小值,因为比较序列相交,故取 $\Delta_{\min}=0$; ρ 为分辨系数,取 0.3; $|\mathbf{X}_0(K)-\mathbf{X}_i(K)|$ 表

示 K 时刻 2 个比较序列的绝对差。

关联度的计算公式为：

$$r_{0i}=\frac{1}{N}\sum_{K=1}^NL_{0i}(K)。 \tag{4}$$

式中： r_{0i} 为子序列 i 与母序列 0 的关联度; N 为比较序列的长度,即数据个数。

关联矩阵的计算结果见表 3。

3 结果与分析

3.1 林型结构与森林涵养水源的关系

3.1.1 闽江流域林型结构与降雨量和径流量的关系 从表 3 可以看出,阔叶林(X_1)、杉木林(X_2)、针阔混交林(X_4)3 个因子与年径流量(Y_1)的关联度较大,表明这 3 个因子对年径流量(Y_1)的影响作用相对较强,而马尾松林(X_3)、竹林(X_5)、经济林(X_6)3 个因子对年径流量的影响作用较弱。杉木林(X_2)、马尾松林(X_3)、针阔混交林(X_4)、竹林(X_5)、经济林(X_6)5 个因子与年降雨量(Y_2)的关联度都较

大,表明闽江流域的不同林型对年降雨量的分配均发挥了重要作用,其中马尾松林(X_3)、竹林(X_5)、经济林(X_6)3 个因子与年降雨量的关联度均在 0.78 以上。说明不同林型结构对年径流量的影响作用有明显差异,但对年降雨量均有较强的影响。其中阔叶林(X_1)、针阔混交林(X_4)、杉木林(X_2)3 种林型与年径流量的关联度较大,而与年降雨量间的关联度较小,表明研究区域内的阔叶林、针阔混交林、杉木林 3 种林型对森林涵养水源的影响作用强于马尾松林、经济林和竹林。

表 3 闽江流域年径流量和年降雨量与林型的关联矩阵

母序列 Mother sequence	子序列 Subsequence					
	阔叶林(X_1)	杉木林(X_2)	马尾松林(X_3)	针阔混交林(X_4)	竹林(X_5)	经济林(X_6)
	Broadleaf forest	<i>C. lanceolata</i>	<i>P. massoniana</i>	Mixed forest	Bamboo forest	Economic forest
年径流量(Y_1) Mean annual runoff	0.599 6	0.544 1	0.529 8	0.546 9	0.501 5	0.457 3
年降雨量(Y_2) Mean annual rainfall	0.574 3	0.757 1	0.783 0	0.729 1	0.853 8	0.882 1

3.1.2 闽江流域各县市林型结构与径流量的关系 由于不同林型对年降雨量的分配都具有重要的作用,而不同林型对年径流量的影响作用具有较明显的差异,故单独将林型与年径流量进行比较分析。对于森林水源涵养来说,一般是每公顷径流量(即径

流深)越小,其所对应的林型比例越有利于水源涵养。以闽江流域各县市径流深数据为基础,运用 DPS v7.05 统计软件的聚类功能,按径流深对各县市进行动态聚类,结果分成 4 类,具体见表 4。

表 4 闽江流域各县市生态公益林涵养水源能力的聚类结果

Table 4 Clustering result of water-holding function of ecological public welfare forests of each county in Minjiang watershed		
类别 Class	县市 County	涵养水源能力 Water-holding function
1	长乐、大田、闽清、三明、沙县、延平、尤溪 Changle, Datian, Minqing, Sanming, Shaxian, Yanping, Youxi	强 Very strong
2	福州、将乐、建瓯、明溪、闽侯、清流、顺昌、松溪、永安、永泰 Fuzhou, Jiangle, Jian'ou, Mingxi, Minhou, Qingliu, Shunchang, Songxi, Yong'an, Yongtai	较强 Strong
3	德化、古田、建宁、建阳、连城、宁化、浦城、邵武、泰宁、仙游、政和 Dehua, Gutian, Jianning, Jianyang, Liancheng, Ninghua, Pucheng, Shaowu, Taining, Xianyou, Zhenghe	一般 Medium
4	光泽、武夷山 Guangze, Wuyishan	差 Poor

3.2 闽江流域各县市林型结构及其经营策略

通过对表 2 中不同林型面积分析,可知闽江流域生态公益林中阔叶林、针阔混交林、杉木林 3 种林型面积与马尾松林、竹林和经济林 3 种林型面积的比值约为 6 : 4,总体来说闽江流域生态公益林涵养水源能力较好。

由表 4 可知,长乐市、大田县、闽清县、三明市、沙县、延平区、尤溪县生态公益林涵养水源能力较强,这些县市主要位于闽江流域的中部,林型结构中阔叶林、杉木林和针阔混交林占有林地面积的比例分别约为 20%,18%和 26%,马尾松林、竹林和经济林面积共计约占林地面积的 36%。在这类区域

中,长乐市、沙县的阔叶林初值化值低于平均水平,尤其是长乐市需要对阔叶林加强营造和保护;闽清的阔叶林、杉木林、针阔混交林的初值化值都较高,其涵养水源能力最强,需要继续合理经营管理。

由表 4 可见,福州市、将乐县、建瓯市、明溪县、闽侯县、清流县、顺昌县、松溪县、永安市、永泰县、德化县、古田县、建宁县、建阳市、连城县、宁化县、浦城县、邵武市、泰宁县、仙游县和政和县生态公益林的涵养水源能力属于 2、3 类,这些县市基本位于闽江流域的东、西和南部,阔叶林、杉木林和针阔混交林占有林地面积的比例分别约为 16%,19%和 20%,马尾松林、竹林和经济林面积共计约占林地面积

的 45%。2 类区域属于福建省杉木中心产区,公益林中杉木林的比例较高,可对将乐县、明溪县、清流县、顺昌县、永安市的杉木林进行一定程度的择伐,而福州市、闽侯县、顺昌县、松溪县的阔叶林需加强营造和保护,还需加强对福州市、闽侯县、松溪县、永泰县针阔混交林的营造和保护。3 类区域属于闽江流域的高海拔区,公益林中杉木林占有更高比例,大部分县市需要对阔叶林及针阔混交林加强营造和有效保护,对建阳市、宁化县、浦城县、政和县的杉木林可以进行适度的择伐作业。

光泽县和武夷山市属于 4 类区域,这 2 个县市生态公益林涵养水源的能力最弱,阔叶林占有林地面积的比例平均为 26%,杉木林占 17%,针阔混交林占 19%,马尾松林、竹林和经济林面积总和约占 38%。光泽县和武夷山市位于闽江流域最北部,属高海拔地区,虽然阔叶林所占比例较高,但多数为高山矮灌类型,加上区域气温较低,林木生长季节较短,生长量相对较低,持水能力较弱,因此在这个区域需要加强对阔叶林及针阔混交林的营造和保护。

3.3 闽江流域各林型的涵养水源能力

阔叶林水源涵养功能较强^[13],这是因为阔叶林林分枝叶稠密、叶面相对粗糙,叶片斜向上、叶质坚挺,能截持较多的水分,且叶片含水量低,吸持水分的空间较大,因而林分的持水率很高。另外,阔叶林下有一层较厚的枯枝落叶层,具有保护土壤免受雨滴冲击和增加土壤腐殖质及有机质的作用,还可以改善土壤结构,减缓地表径流速度,从而增加土壤层蓄水、滞洪能力。

针阔混交林也具有较强水源涵养功能。这是由于针阔混交林具有多层复合林冠结构,并且林下植被种类多样,植被层次结构复杂,增强了森林对降雨的调节功能;另外,由于不易分解的针叶落叶的存在,使成分复杂的枯枝落叶层既能有效地缓冲和蓄存降雨,又可以保持土壤水分、湿度及温度,促进微生物分解活动,使土壤结构得到改善^[14],增强了土壤的蓄水能力。

由于闽江流域是福建省的杉木中心产区,且杉木中幼林所占比例较大,林分叶片较小,单个林木的叶片数量多、表面积大,可吸附更多的水滴;另外,杉木枝条和侧枝呈斜向上着生方式,叶螺旋状(有时二列状)排列于小枝上,可以有效地截留雨水和雾滴,因而杉木林分林冠层的持水率较高^[15]。马尾松林的涵养水源能力较杉木林弱,一方面是由于马尾松叶为针型且枝干形态不利于持水;另一方面则是由

于马尾松林多分布在坡面的中上部,同时针叶不易腐烂造成持水能力下降。

经济林的水源涵养功能最差,这主要是因为经济林种植得比较稀疏、空隙较大,林冠间的截留率低、灌草持水量少的缘故。闽江流域内毛竹林较多,且经营较为集约,林下杂草、灌木较少,加上毛竹冠幅较小且枝干持水能力较弱,因此涵养水源能力较差。

4 结论与讨论

本研究通过绘制径流深线和气象台站的降雨量点分布,经内插得到径流深和降雨量分布图,有效获取了闽江流域多年平均径流深图和降雨量栅格图。在对 HJ-1A/B 遥感影像处理的基础上,通过监督分类、分层分类,结合专家知识分类方法,实现了闽江流域森林资源信息的提取,并通过闽江流域 30 个县市的边界 SHP 得到各县市的生态公益林森林资源数据。灰色关联分析结果表明:马尾松林、竹林、经济林对水分的调节能力较差,其中经济林对水分的调节能力最差,阔叶林、杉木林、针阔混交林对水分的调节能力较好。

闽江流域内生态公益林中阔叶林、杉木林和针阔混交林面积分别约占有林地面积的 20%,18% 和 26% 时,径流深较小,涵养水源能力较强;在流域内 30 个县市中,长乐市、大田县、闽清、三明、沙县、延平区和尤溪县生态公益林水源涵养能力较强,且闽清的阔叶林、杉木林、针阔混交林占有林地面积的比例均较佳,因此该区域生态公益林的涵养水源能力最好。

森林覆盖率的提高能在一定程度上削洪补枯、稳定河川径流^[16]。针对闽江流域来说,森林经营要遵循适地适树的原则,把握好各种林型占林地总面积的比例,保护林下调落物,因地制宜,保护森林资源,禁止滥砍滥伐,具体措施有待于进一步的完善。

需要指出的是,本研究主要是借助 RS 和 GIS 技术,探讨林型及其比例与森林涵养水源的关系,所得结果可以为合理调整流域内生态公益林林型结构布局、充分发挥生态公益林水源涵养功能提供参考。但由于森林水源涵养涉及许多因素,如森林植被所处的温度、地形等环境因子,因此,相关研究仍有待于进一步完善。另外,遥感影像空间分辨率的高低对森林资源信息的提取精度有一定影响,因此也会对分类结果产生影响。

[参考文献]

[1] 蒋文伟,姜志林,余树全,等.安吉主要森林类型水源涵养功能

- 的分析与评价 [J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2002, 26(4): 71-74.
- Jiang W W, Jiang Z L, Yu S Q, et al. Analysis and evaluation on water-holding function of main forest types in Anji region [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2002, 26(4): 71-74. (in Chinese)
- [2] 翟中齐. 我国的森林资源 [J]. 地理教学, 1998(4): 6-7.
- Zhai Z Q. Forest resources in China [J]. Geography Teaching, 1998(4): 6-7. (in Chinese)
- [3] Costanza R, Arge R, Degroot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997, 387: 253-260.
- [4] 刘晓黎, 曹玉昆, 国洪飞. 区域性森林涵养水源生态效益补偿: 以大庆地区为例 [J]. 林业科学, 2010, 46(4): 103-110.
- Liu X L, Cao Y K, Guo H F. Regional water resource compensation mechanism for forest water conservation benefit: A case of Daqing region [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(4): 103-110. (in Chinese)
- [5] 姜文来. 水资源价值论 [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 67-69.
- Jiang W L. Value theory of water resources [M]. Beijing: Science Press, 1999: 67-69. (in Chinese)
- [6] 罗庆成. 灰色关联分析与应用 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1989.
- Luo Q C. Analysis and practice on grey correlation [M]. Nanjing: Phoenix Science Press, 1989. (in Chinese)
- [7] 蔡体久. 基于 RS 和 GIS 的林型结构与森林涵养水源关系的研究 [J]. 水土保持学报, 2001, 15(4): 16-19.
- Cai T J. Relationship between forest types and water conservation function of forest based on RS and GIS [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2001, 15(4): 16-19. (in Chinese)
- [8] 赖玫妃, 刘 健, 余坤勇, 等. 闽江生态公益林类型与森林水源涵养关系 [J]. 福建林学院学报, 2007, 27(2): 157-160.
- Lai M F, Liu J, Yu K Y, et al. Relationship between ecological forest species in Minjiang watershed and their water conservation [J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2007, 27(2): 157-160. (in Chinese)
- [9] 赖日文. 基于 RS 与 GIS 技术闽江流域森林资源利用评价研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2007.
- Lai R W. Researches on the forest resource assessment in Minjiang watershed based on RS and GIS [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2007. (in Chinese)
- [10] 刘 健, 余坤勇, 开兴兰, 等. 基于专家分类知识库的林地分类 [J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2006, 35(1): 42-46.
- Liu J, Yu K Y, Qi X L, et al. Forest land cover type classification base on expert system [J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Natural Science Edition, 2006, 35(1): 42-46. (in Chinese)
- [11] Rossk J. Present status and perspectives of remote sensing of vegetation [J]. Journal of Remote Sensing, 1997, 1(Suppl.): 33-39.
- [12] 刘 健. 基于 3S 技术闽江流域生态公益林体系高效空间配置研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2006.
- Liu J. Study on the efficient spatial allocation of the ecological forest system in Minjiang watershed based on geomatics [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2006. (in Chinese)
- [13] 王晓学, 沈会涛, 李叙勇, 等. 森林水源涵养功能的多尺度内涵、过程及计量方法 [J]. 生态学报, 2013, 33(4): 1019-1030.
- Wang X X, Shen H T, Li X Y, et al. Concepts, processes and quantification methods of the forest water conservation at the multiple scales [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(4): 1019-1030. (in Chinese)
- [14] 莫 菲, 李叙勇, 贺淑霞, 等. 东灵山林区不同森林植被水源涵养功能评价 [J]. 生态学报, 2011, 31(17): 5009-5016.
- Mo F, Li X Y, He S X, et al. Evaluation of soil and water conservation capacity of different forest types in Dongling Mountain [J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(17): 5009-5016. (in Chinese)
- [15] 张春霞, 杨玉盛, 廖福霖, 等. 闽江流域森林生态与经济社会协调发展研究 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2004.
- Zhang C X, Yang Y S, Liao F L, et al. Study on forest ecosystem coordination with economic and social development in Minjiang watershed [M]. Beijing: China Forestry Press, 2004. (in Chinese)
- [16] 麻泽龙, 宫渊波, 胡庭兴, 等. 森林覆盖率与水土保持关系研究进展 [J]. 四川农业大学学报, 2003, 21(1): 54-58.
- Ma Z L, Gong Y B, Hu T X, et al. Summary of the studies on relation between forest coverage and water and soil conservation [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2003, 21(1): 54-58. (in Chinese)