

文章编号:1001-1498(2014)06-0836-05

三峡库区森林景观安全格局定量分析

孙晓娟¹, 肖文发², 刘晓东³

(1. 中国国际工程咨询公司, 北京 100048; 2. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091;
3. 北京林业大学, 北京 100083)

摘要:以 GIS 为平台, 充分利用我国森林资源清查资料和定位监测网络体系, 扩展监测内容, 从森林景观安全格局角度出发, 按照层次分析法构建多层次评价指标体系, 对三峡库区森林景观安全格局进行了定量评价, 分析了森林景观破碎化程度、多样性、完整性和稳定性对区域森林景观安全格局的影响, 其主要目标是评价具有不确定性的灾害或事件对森林生态系统及其组分可能造成的损伤, 根据景观安全综合评价结果, 兴山县居库区各县之首, 综合评价价值达 11.553, 景观安全程度最高, 石柱县、武隆县、秭归县评价价值也超过了 10, 巴东、奉节、夷陵相对较高, 重庆市区及周边地区只有 5.788, 其景观安全程度最低。

关键词:三峡库区; 森林景观; 安全格局; 定量分析

中图分类号: S792.39

文献标识码: A

Quantitative Analysis of Forest Landscape Security Patterns at the Three-Gorges Reservoir Area

SUN Xiao-juan¹, XIAO Wen-fa², LIU Xiao-dong³

(1. China International Engineering Consulting Corporation, Beijing 100048, China;
2. Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;
3. Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on GIS platform and the historical data of national forest resources investigation and the located monitoring network system, the forest landscape security pattern at the Three-Gorge reservoir area was evaluated quantitatively by using the multiple level evaluation indicator system established by means of Analytical Hierarchy Process (AHP). The effects of forest landscape fragmentation degree, diversity, integrity and stability on the regional forest landscape security pattern were analyzed. The main purpose is to evaluate the probably damage on forest ecosystem and its components caused by the uncertain disasters and events. According to the results of integrated risk evaluation, Xingshan County showed the highest value, with the integrated risk evaluation value reached 11.553. The values of Shizhu County, Wulong County, Zigui County were all above 10, that of Badong County, Fengjie County and Yiling County were also relative high, while that of Chongqing and surrounding areas was 5.788, that means these areas have the lowest degree of landscape security, and necessary measures should be taken to maintain the regional sustainable development and ecological security.

Key words: the Three-Gorges Reservoir area, forest landscape, security pattern, quantitative analysis

收稿日期: 2014-03-15

基金项目: 国家“十二五”科技支撑课题“森林火灾风险评估与防范技术”(2011BAD32B05), 国家自然科学基金“森林可燃物生态调控基础研究”(31270696)。

作者简介: 孙晓娟, 博士, 高级工程师. 主要研究方向: 生态学. 电话: 13522110898 Email: sunxiaojuan2000@163.com

三峡工程是目前世界上在建的最大水利枢纽工程,必将对生态与环境产生巨大而又深远的影响,而三峡库区是影响集中区。在一个人类活动频繁、生态脆弱而又进行快速经济建设的地区,它可能引起的生态问题引起了国内外的广泛关注。在以往生态学研究多中多以单个种群或群落为中心,但从保护三峡库区持续不变的生态效益功能出发,单一物种、单一资源调查小班的评价对管理决策的指导意义并不很大,而选择高水平的评价单元在生态学上更具有现实性,更能反映群落之间相互作用和生物与环境相互作用的复杂性。近年来通过空间异质性来分析景观生态空间稳定性的理论逐渐成为区域生态安全研究的重要手段^[1-5]。本研究立足于三峡库区森林景观安全格局分析与评价,通过森林景观的破碎化程度、多样性、完整性和稳定性对区域景观安全格局的影响,以及评价具有不确定性的灾害或事件对森林生态系统及其组分可能造成的损伤,对于建立景观生态安全保障体系,满足生态系统健康管理和决策的要求,维持三峡库区可持续发展与生态安全具有重要的意义^[6-10]。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

三峡库区地处东经 105°44′~111°39′30″,北纬 28°32′~31°44′,总面积 57 828 km²。位于我国中亚热带北缘,地带性植被是以栲(*Castanopsis*),楠木属(*Phoebe*)为主的常绿阔叶林,库区面积最大的 11 种主要森林类型为:暖温性常绿针叶林(暖性松林、柏木林、杉木林)、典型落叶阔叶林(栎类混交林)、一般落叶阔叶林(其它软阔林)、典型常绿阔叶林(其它硬阔林)、暖温性针阔混交林(马尾松针阔混交林、杉木针阔混交林)、温性常绿针叶林(温性松林)、竹林、灌木林和柑桔人工林等类型。三峡库区包括重庆市东部 22 个县市(区)和湖北西部 4 个县,人口约为 1 440 万人。区内地形起伏,相对高差大,低山以上的山地约占总面积的 74%,平原、坝地仅占总面积的 4.3%,土地承载力不高,人口密度大。区内经过几千年来人为活动的影响,植被发生了很大变化,除边缘山区外,沿江两侧地带性植被类型所存极少,大面积分布的是马尾松疏林、柏木疏林及各类灌丛、草丛和农田,植被破碎化程度较大,林火、病虫害灾害等威胁着森林生态系统的健康。

1.2 研究方法

1.2.1 数据来源

以三峡库区森林资源二类小班

数据为主要数据源,结合 175 块典型样地调查与现有研究成果,共同形成一套信息全面的三峡库区空间数据库。数据库涵盖纪录 41.75 万多条。其它统计数据包括 1949—2001 年三峡库区森林火灾、森林病虫害发生面积及危害面积和程度数据以及人口数据等。

1.2.2 评价指标的确定 评价指标的选择主要是根据区域性、系统性、科学性与可操作性的原则,在时间上反映发展速度和趋势,在空间上反映其整体布局与结构,在数量上反映其规模,在层次上反映其功能与水平。同时既要考虑保障评价指标体系的完备性,又要力求避免各因子之间的重复。根据评价对象各组成部分之间的相互关系构筑多层次评价指标体系,选取区域生态环境系统的景观格局评价指标、森林生态系统的生态质量评价指标、与减灾容灾等方面的特征指标即系统压力指标作为区域景观安全评价研究的因子体系。其中:

(1) 景观格局评价指标选择采用主成分分析法,利用景观结构分析软件 FRAGSTATS,选取每个主成分中具有最大相关性的景观结构指数和森林景观碎化度指标来表示景观结构组织,反映森林受干扰程度,通过景观指数的定量分析来阐述其结构特征,确定其空间异质性和缀块性,方便进行各种分析;

(2) 森林生态系统的生态质量评价指标选择根据三峡库区的特点以及数据可获取性,将度量指标和常见的功能类型进行归类和剔除,筛选出符合生态质量评价要求的指标,选择的生态系统指标必须具有较大空间和时间尺度上的可应用性,既兼顾系统的复杂性及多变性,又能精确和准确地反映生态系统管理和评价目标,包括生态系统结构特性、功能特性、生态系统变化特性和扰动特性,体现整个系统的健康水平,选取了森林覆盖率、人工林与天然林面积之比、单位面积生物量、平均固碳量、健康小班占总林地面积 5 个指标;

(3) 系统压力指标评价具有不确定性的灾害或事件如病虫害、火灾、人口等压力指标对森林生态系统及其组分可能造成的损伤。包括:①病虫害发生面积:病虫害发生频度的表征;②难燃类型与可燃类型林地面积比值:森林火灾对森林生态系统的损害随时都有可能发生。该比值是火灾频度的表征;③人口密度:区域内单位面积的人口数量,表征人口压力;④人均耕地:反映耕地压力(见表 1)。

表1 三峡库区森林生态系统压力指标

县名	难燃或可燃树种与 易燃树种面积比值	病虫害发生面 积/(万 hm ²)	人口密度/ (人·km ⁻²)	人均耕地/ hm ²
长寿县	1.06	4.03	621	0.063
丰都县	0.63	5.48	263	0.075
奉节县	0.73	3.00	244	0.062
涪陵区	0.38	3.61	371	0.078
江津市	3.457	9.80	451	0.059
开县	0.72	16.62	371	0.055
石柱县	1.91	3.26	164	0.041
万州区	0.44	15.19	478	0.051
巫山县	1.83	4.15	189	0.075
巫溪县	2.914	4.200	124	0.089
武隆县	1.94	1.68	136	0.093
云阳县	0.16	17.99	342	0.057
忠县	0.32	4.46	451	0.061
重庆市区	0.152	56.390	1 671	0.051
巴东县	1.156	3.000	144	0.060
秭归县	1.200	3.633	185	0.073
兴山县	4.457	1.200	77	0.073
夷陵	1.820	8.870	155	0.060

1.2.3 评价方法 采用多层次模糊综合评判方法,即先对低层次的各类因子进行综合评判,然后对各类因子的评价结果进行高层次的综合评判,经过一个由低层次、小系统过渡到高层次、大系统的逐渐综合过程,其函数表达式可表示为:

$$LCEI = \sum_{k=1}^l \left[\sum_{i=1}^m \left(\sum_{j=1}^n E_j \times D_j \right) \times C_i \right] \times B_k \quad (1)$$

公式中的 $LCEI$ 为评价指数; E_j 为某单位指标的标准; D_j 为某单位指标的权重; C_i 为因素层的权重; B_k 为项目层的权重; l, m, n 为对应的项目层、因素

层、指标层中指标的个数。此变换法对所有因素依权重大小均衡兼顾。一级综合评判的结果 B_i 是因素集 C_i 中单因素的评价。二级综合评判是将每个 C_i 作为一个因素看待,用 B_i 作为它的单因素评判。根据评价因素对研究区域的景观安全评价做两级综合评判,即一级综合评判和二级综合评判。一级综合评判是由各类因子的权数集 A_i 与该类的单因素评判矩阵 R_i ,进行模糊变换求得各类一级因子的评价结果 B_i ,即:

$$B_i = A_i \times R_i = (b_1, b_2, \dots, b_m) \quad (2)$$

在模糊变换中,选用加权求和型,即

$$b_j = \sum_{i=1}^m a_i r_{ij} \quad (3)$$

此变换法对所有因素依权重大小均衡兼。一级综合评判的结果 B_i 是因素集 C_i 中单因素的评价。二级综合评判是将每个 C_i 作为一个因素看待,用 B_i 作为它的单因素评判。

2 结果与分析

2.1 评价指标的分级与权重确定

根据主成分分析法选取了3个景观结构指数即景观多样性指数、斑块面积、形状指数和3个森林景观碎化度指标即斑块密度指数、分维数、聚集度指数,结果见表2。

根据经验值以及专家打分法对研究区域整个评价指标分别按优、良、中、低和差分5级,具体见表3。

表2 三峡库区森林景观格局评价指标

序号	县名	斑块面积/(10 ⁵ hm ²)	斑块密度	形状指数	分维数	聚集度	香农多样性指数
1	长寿县	2.04	39.142 8	2.290 9	1.335	49.621	2.264
2	丰都县	12.32	12.879 1	5.344 2	1.407	56.367	1.919
3	奉节县	19.58	4.566 1	8.394 8	1.363	68.133	1.482
4	涪陵区	11.16	15.487 6	4.414 2	1.418	54.916	2.049
5	江津市	10.16	22.305 6	5.200 4	1.437	58.368	1.891
6	开县	12.57	5.633 8	6.181 5	1.401	59.070	1.910
7	石柱县	17.65	8.836 0	8.756 8	1.399	57.378	1.836
8	万州区	10.69	17.815 9	3.143 6	1.354	52.725	2.158
9	巫山县	17.84	5.794 6	6.958 3	1.377	64.794	1.565
10	巫溪县	28.289	3.762 5	7.044 0	1.37	64.621	1.591
11	武隆县	17.4	9.296 5	16.033 0	1.395	62.482	1.613
12	云阳县	13.3	3.043 7	4.555 0	1.324	60.473	1.899
13	忠县	5.18	28.921 5	2.730 3	1.443	52.203	2.138
14	重庆市区	10.94	30.910 0	2.415 7	1.339	51.938	2.161
15	巴东县	19.92	5.222 1	6.877 6	1.414	56.192	1.908
16	秭归县	15.57	5.515 5	5.548 2	1.427	56.485	1.803
17	兴山县	17.43	3.817 5	10.413 9	1.353	65.083	1.453
18	夷陵县	22.37	5.175 3	5.894 9	1.370	56.819	1.817
	三峡库区	264.43	9.118 0	7.722 0	1.366	54.261	2.063

表3 景观安全格局评价指标分级

健康等级	1(恶化)	2(严重)	3(不健康)	4(较健康)	5(健康)	
景观格局指标	斑块面积(×10 ⁵)	<10.0	10.0~15.0	15.0~20.0	20.0~25.0	>25.0
	斑块度密	>30.0	30.0~25.0	25.0~20.0	20.0~15.0	<15.0
	形状指数	2.0~4.0	4.0~6.0	6.0~8.0	8.0~10.0	>10.0
	分维数	1.30~1.33	1.33~1.36	1.36~1.39	1.39~1.42	1.42~1.45
	聚集度	<50.0	50.0~54.0	54.0~58.0	58.0~62.0	>62.0
	多样性指数	<1.5	1.5~1.7	1.7~1.9	1.9~2.1	>2.1
生态质量指标	森林覆盖率/%	<25.0	25.0~40.0	40.0~55.0	55.0~70.0	>70.0
	平均生物量	<20.0	20.0~26.0	26.0~32.0	32.0~38.0	>38.0
	人工林/天然林	>1.2	1.2~0.9	0.9~0.6	0.6~0.3	<0.3
	平均固碳量	<10.0	10.0~12.0	12.0~14.0	14.0~16.0	>16.0
	健康小班占林地面积比	0~0.3	0.3~0.4	0.4~0.5	0.5~0.6	>0.6
	健康程度比值	<0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0	>2.0
压力指标	病虫害发生面积	>18.0	18.0~13.0	13.0~8.0	8.0~3.0	<3.0
	难燃或可燃树种 与易燃树种面积比值	<1.0	1.0~2.0	2.0~3.0	3.0~4.0	>4.0
	人口密度	>600	600~400	400~200	200~100	<100
	人均耕地	>1.1	1.1~1.0	1.0~0.9	0.9~0.8	<0.8

按照指标体系的层次结构和隶属关系对所有因素依权重大小均衡兼顾,分别构建森林景观格局指标评价矩阵、森林生态系统生态质量指标评价矩阵、压力指标评价矩阵总体评价矩阵:

(1)森林景观格局指标评价矩阵:

$$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 & 2 & 3 & 3 \\ 1/3 & 1 & 1/3 & 2 & 3 & 5 \\ 1/2 & 3 & 1 & 2 & 1/3 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1 & 2 & 2 \\ 1/3 & 1/3 & 3 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/5 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} w = \begin{bmatrix} 0.326 \\ 0.182 \\ 0.168 \\ 0.133 \\ 0.124 \\ 0.067 \end{bmatrix}$$

(2)森林生态系统生态质量指标评价矩阵:

$$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 & 3 & 3 & 3 \\ 1/3 & 1 & 2 & 3 & 4 & 3 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 2 & 3 & 1/3 \\ 1/3 & 1/3 & 1/2 & 1 & 3 & 1/3 \\ 1/3 & 1/4 & 1/3 & 1/3 & 1 & 1/3 \\ 1/3 & 1/3 & 3 & 3 & 3 & 1 \end{bmatrix} w = \begin{bmatrix} 0.328 \\ 0.238 \\ 0.125 \\ 0.087 \\ 0.054 \\ 0.169 \end{bmatrix}$$

(3)压力指标评价矩阵:

$$\begin{bmatrix} 1 & 4 & 2 & 2 \\ 1/4 & 1 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} w = \begin{bmatrix} 0.451 \\ 0.225 \\ 0.190 \\ 0.134 \end{bmatrix}$$

总体评价(景观格局指标、生态质量指标和压力指标)。

$$\begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 3 \\ 3 & 1 & 3 \\ 1/3 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} (w_1 = 0.135, w_2 = 0.584, w_3 = 0.135) \quad w = \begin{bmatrix} 0.135 \\ 0.584 \\ 0.135 \end{bmatrix}$$

2.2 结果分析

依据层次分析法的评价结果对三峡库区各县的景观安全综合评价值进行排序(见表4)。

表4 三峡库区景观安全综合评价值

县名	评价值	县名	评价值
兴山县	11.553	江津市	8.866
石柱县	10.72	巫山县	8.76
武隆县	10.419	丰都县	8.336
秭归县	10.054	忠县	7.768
巴东县	9.999	长寿县	7.396
巫溪县	9.674	开县	7.248
奉节县	9.529	云阳县	7.142
夷陵	9.293	万州区	6.775
涪陵区	9.012	重庆市区	5.788

从表4中可以明显看出,兴山县景观安全综合评价值居于库区首位,达11.55,石柱县、武隆县、秭归县评价值均超过了10,巴东、奉节、夷陵也相对较高。重庆市区及周边以及万州区评价值较低,重庆市区及周边只有5.788,其景观安全程度最低。

库区景观安全综合评价值整体呈现由东向西指数逐渐降低的空间分布格局。尤其是库区东北部和南部山地区,由于还残留着地带性的常绿阔叶林天

然植被,天然林占有较大比例,森林生态系统健康程度较高,景观格局相对安全。而重庆辖区的西部与北部地区森林健康状况很不理想,重庆市区附近县域由于人为干扰严重,原生植被遭到破坏,景观出现破碎化。虽然森林资源得以很快恢复,但人工林比例过高,树种单一,大面积的人工马尾松、杉木林等纯林的出现,对森林生态系统健康状况有很大的影响。森林火灾频繁、植被逆向演替、森林病虫害暴发和森林生产能力下降等,这些特征的出现均反映了森林生态系统功能的紊乱,即不健康的标志,直接影响、制约着区域的可持续发展,是区域生态系统管理中的主要生态问题,应采取必要的措施加以调控。

同时这也说明近年来三峡库区虽然实施了天然林保护工程、退耕还林工程、三峡水库周边绿化带建设工程等林业重点工程,森林生态建设保护工作取得了明显成效,但在保证有林地面积、活立木蓄积“双增长”的同时,也应关注森林生态系统的健康,在保护现有森林的同时,应更注意加强长江沿线及西部都市区的营林建设以及东部下游地区的景观多样性恢复,从而保证其生态功能的有效发挥。

3 结论与讨论

(1) 本文选取了区域景观格局多样性指数与森林破碎化指数、森林生态系统的生态质量指标、与减灾容灾等方面的特征指标构筑了景观安全多层次评价指标体系,通过对森林景观破碎化程度、多样性、完整性和稳定性对区域森林景观安全格局的影响,以及评价具有不确定性的灾害或事件对森林生态系统及其组分可能造成的损伤,对三峡库区森林资源的结构、功能和景观安全格局进行了定量评价,突破了以往生态学研究中以单个种群或群落为中心的局限性,对于建立景观生态安全保障体系,满足生态系统健康管理和决策的要求,维持三峡库区可持续发展与生态安全具有重要的意义。

(2) 全面考虑景观因素对于制订正确的管理计划以保证森林景观内正常的生态功能非常重要。根据三峡库区各县的景观安全综合评价排序,兴山县、石柱县、武隆县、秭归县评价价值均超过了10,兴山县居库区各县之首,其综合评价价值达11.553,其景观安全程度最高。巴东、奉节、夷陵也相对较高,重庆市区及周边以及万州区评价价值较低,重庆市区及周边地区只有5.788,其景观安全程度最低,反映

了森林生态系统功能的紊乱,直接影响、制约着区域的可持续发展,是区域生态系统管理中的主要生态问题,应采取必要的措施加以调控,从而为在景观和区域尺度上制订正确的生态系统管理计划提供科学依据。

(3) 由于系统和景观尺度上森林是远远超出人们所能直接观察和实验的,森林景观安全格局评价的客观性还需要基础数据的进一步积累并建立基础数据库和良好的反映森林生态系统组织、结构、功能及动态演替的指示者,同时注意结合具体森林生态系统所包含的社会和经济因素,选择能充分反映它们的因子和指示者去评价,并针对评价目标的层次和水平应用不同的评价体系。

参考文献:

- [1] 张艳芳,任志远. 区域生态安全定量评价与阈值确定的方法探讨[J]. 干旱区资源与环境,2006,(2):11-16.
- [2] 高扬,黄华梅,吴志峰. 基于投影寻踪的珠江三角洲景观生态安全评价[J]. 生态学报,2010,30(21):5894-5903.
- [3] 肖凤劲,欧阳华,傅伯杰,等. 森林生态系统健康评价指标及其在中国的应用[J]. 地理学报,2003,58(6):803-809.
- [4] 蒋佩华,谢世友,熊平生. 长江三峡库区生态环境退化及其恢复与重建[J]. 国土与自然资源研究,2006(2):54-55.
- [5] 余瑞林,王新生,张红. 三峡库区土地利用时空变化特征及其驱动力分析[J]. 湖北大学学报,2006,28(4):429-432.
- [6] 陈高,代力民,姬兰柱,等. 森林生态系统健康评估 I. 模式、计算方法和指标体系[J]. 应用生态学报,2004,15(10):1743-1749.
- [7] 白降丽,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.
- [8] 王棒,关文彬,吴建安,等. 生物多样性保护的区域生态安全格局评价手段-GAP分析[J]. 水土保持研究,2006,13(1):192-196.
- [9] Mageau M T, Costanza R, Ulanowicz R E. Quantifying the trends expected in developing ecosystems[J]. Ecological Modelling,1998,112(1):1-22.
- [10] 左伟,王桥,王文杰,等. 区域生态安全评价指标与标准研究[J]. 地理学与国土研究,2002,2(1):67-71.
- [11] 何琼,孙世群,吴开亚,等. 区域生态安全评价的AHP赋权方法研究[J]. 合肥工业大学学报:自然科学版,2004,27(4):433-437.
- [12] 孙晓娟. 三峡库区森林生态系统健康评价与景观安全格局分析[D]. 北京:中国林业科学研究院,2007.
- [13] 王亮. 崇明岛景观生态安全格局分析[J]. 国土与自然资源研究,2007,2:54-56.