

长江上游生物多样性保护重要性评价 ——以县域为评价单元

朱万泽¹, 范建容¹, 王玉宽¹, 申旭红¹, 田兵伟¹, 魏宗华²

(1. 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2. 四川省林业科学研究院, 成都 610081)

摘要:长江上游是我国生物多样性最丰富的地区之一,也是全球生物多样性热点地区之一。准确可靠地掌握生物多样性信息是生物多样性保护科学决策的基础,大尺度的生物多样性保护重要性评估已成为生物多样性研究及其保育管理和决策最紧迫的问题之一。设计了由植被景观多样性指数、自然保护区多样性指数、基于生态系统类型的物种多样性指数、国家保护植物多样性指数和国家保护动物多样性指数 5 大指标构成的区域生物多样性综合评价指标体系及其计算公式,并以县域为评价单元,开展了长江上游生物多样性综合评价。结果表明,长江上游生物多样性保护重要性评价结果为极重要的县域共 18 个,占总县数的 4.95%;评价结果为重要的县域共 41 个,占 11.26%;评价结果为次重要的县域共 76 个,占 20.88%;评价结果为中等水平的县域共 106 个,占 29.12%;评价结果为中下水平的县域共 68 个,占 18.68%;评价结果为不重要的县域共 55 个,占 15.11%。长江上游生物多样性保护重要性评价结果为极重要、较重要和重要的县域主要分布于横断山区、秦巴山区、华西雨屏区、长江源区和川渝鄂黔交界处山地。

关键词:生物多样性评价;指标体系;长江上游;县域

文章编号:1000-0933(2009)05-2603-09 中图分类号:Q16,X176 文献标识码:A

Assessment of biodiversity conservation importance in the upper reaches of the Yangtze River: by taking county area as the basic assessment unit

ZHU Wan-Ze¹, FAN Jian-Rong¹, WANG Yu-Kuan¹, SHENG Xu-Hong¹, TIAN Bing-Wei¹, WEI Zong-Hua²

¹ Institute of Mountain Hazard and Environment, CAS, Chengdu 610041, China

² Sichuan Forestry Academy, Chengdu 610081, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2603 ~ 2611.

Abstract: The upper reaches of the Yangtze River is one of the most abundant biodiversity areas in China, and also one of the global biodiversity hotspots. To obtain precise biodiversity information is a foundation of scientific decision-making for biodiversity conservation. The broad-scale biodiversity assessment has already become an urgent problem in the study and administration of biodiversity. This paper created a comprehensive index system and calculating expressions for evaluating regional biodiversity that were composed of vegetation landscape diversity index, nature reserve index, species diversity index based on various ecosystem types, and national protected species (flora and fauna) diversity index. We use this method to evaluate the importance of biodiversity conservation in the upper reaches of the Yangtze River by the county area as the basic assessment unit. The results of the assessment show that: (1) there are 18 counties with the richest biodiversity accounting for 4.95% of total county number; (2) 41 counties with richer biodiversity accounting for 11.26%; (3) 76 counties with rich biodiversity accounting for 20.88%; (4) 106 counties with moderate biodiversity accounting for 29.12%; (5) 68 counties with below moderate biodiversity accounting for 18.68%; and (6) 55 counties with poor biodiversity accounting for 15.11%. All counties belonging to above-mentioned rich biodiversity mainly distribute

基金项目:中国科学院知识创新工程资助项目(KSCX2-YW-N-066);国家自然科学基金资助项目(30872017);国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2006BAC01A15)

收稿日期:2008-02-21; 修订日期:2008-07-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wzzhu@imde.ac.cn

in the Hengduan Mountains, Qinling-Daba Mountains, rainy zone of west China, and boundary mountains across Sichuan province, Chongqing city, Hubei province and Guizhou province.

Key Words: biodiversity assessment; index system; the upper reaches of the Yangtze River; county area

生物多样性保护是全球关注的焦点之一,生物多样性评价是生物多样性保护与管理的基础。准确可靠地掌握生物多样性信息是生物多样性保护科学决策的基础,开展较大尺度生物多样性保护重要性评估,已成为生物多样性研究及其保育管理和决策最紧迫的问题之一^[1,2]。近年来,生物多样性评估已经成为一个优先发展领域^[14]。区域生物多样性评价的重点和难点是综合评价指标体系的建立^[3]。从 20 世纪 90 年代起,国际上开始重视生物多样性评价指标的研究,许多学者和国际研究组织从不同尺度建立了相应的生物多样性评价框架和指标体系。Reid 等提出了一套由 20 多个指标组成的指标体系,旨在建立地方、国家、区域和全球水平生物多样性现状评价框架^[4];2004 年召开的《生物多样性公约》第七次缔约方大会确定了 8 个生物多样性评价指标;2004 年欧盟制定了由现状指标、持续利用指标、威胁指标、生态系统完整性指标、遗传资源获取与惠益分享指标、技术转让指标和公众意识指标共 15 个指标组成的指标体系;美国国家研究理事会确定了生态系统范围与状态、生态资本、生态功能三大类生态指标^[5];Behera 等采用遥感技术和野外调查相结合的方法,构建了由植被类型、景观破碎度、干扰指数、地形指数、物种多样性指数(Shannon-Wiener 指数)、生态系统特有性指数等组成的生物学丰度(biological richness)综合评价指标,并评价了东喜马拉雅 Subansiri 地区森林植物多样性^[6];2006 年,英格兰提出了一套包括 4 个现状指标、14 个压力指标、34 个响应指标等 84 个指标组成的指标体系,并评价了 2003 年和 2006 年生物多样性状况^[7]。但这些指标体系大多仅就单项指标分别作评价,不能充分评估生物多样性的所有方面,更难以对大尺度生物多样性作出综合性评价。2005 年 1 月,欧洲环境局启动了“整合欧洲 2010 年生物多样性指标(SEBI2010)”泛欧洲合作项目,旨在国家、泛欧洲、全球尺度上建立尽可能一致的生物多样性指标,评价 2010 年目标的实施进展^[8]。

我国从 20 世纪 90 年代起开始研究生物多样性评价指标。马克平等论述了生物多样性测度指标^[1],张峥等提出了湿地生态系统评价指标体系^[9],曾志新等研究了生物多样性评价指标体系^[10],史作民等^[11]构建了区域生态系统多样性评价方法^[11]。张颖应用压力-状态-响应评价方法,对我国 1973~1999 年森林生物多样性变化进行了评价^[12]。在评价手段上,许多学者还探讨了遥感在大尺度生物多样性评价上的应用^[13,14]。Innes 和 Koch 详细地叙述了森林生物多样性的遥感方法^[15],Gustafson 叙述了景观格局分析的技术发展^[16]。倪健等采用多元分析与地理信息系统等手段,选择气候、植被、土壤、地形、地貌等生态地理因子,将全国生物多样性生态地理区划为 5 个生物大区、7 个生物亚区和 18 个生物群区^[17]。

由于生物多样性监测数据的缺乏,目前我国生物多样性评价大多以省(市、区)为单元,开展省际之间生物多样性基本差异的评价^[3,12],以县域为评价单元的大尺度生物多样性评价尚未见报道。长江流域是我国重要的生态功能保护区,长江流域生物多样性位居我国 7 大流域之首,是我国生物多样性最丰富的地区之一,拥有许多具有国际意义的生物多样性地区^[18]。长江中上游被世界自然基金会列为全球 200 个重要生态区之一^[19],保护国际(Conservation International)也将长江上游定为全球生物多样性热点地区之一。为此,本文从长江上游生物多样性保护与管理的需求出发,采用遥感等手段,以县域为评价单元,设计了一套大尺度生物多样性综合评价指标体系与方法,开展了长江上游生物多样性保护重要性综合评价,旨在为长江上游生态系统功能保护区规划提供科学依据,为国家更有效地保护和利用该区域生物多样性提供决策依据。

1 研究区概况

长江上游包括长江源头至宜昌段,长 4511km,约占长江总长的 70%,地理位置为 25°34′~35°27′ N、91°24′~111°28′ E。上游干流流经青、藏、滇、川、渝和鄂 6 省(市),流域范围涉及青、藏、滇、甘、川、陕、渝、鄂、黔 9 个省(市)区的 363 个县(市、区),流域面积 $1.054 \times 10^6 \text{ km}^2$,占整个长江流域面积的 58.9%。总人口约 1.9

亿人,平均人口密度约 180 人/km²。整个长江上游地势西高东低,海拔高度 400 ~ 5000m 以上,相对高差超过 4000 m,区内最高峰贡嘎山海拔为 7556 m。

2 评价指标体系

2.1 评价指标遴选的原则

(1)科学性原则。指标的选取应建立在对生物多样性充分认识、深入研究的基础上。选取的指标应目的明确、定义准确,能客观、真实、科学地反映生物多样性的基本特征、变化规律和保护现状。

(2)代表性原则。选择的指标应能直接反映生物多样性本质特征,并具有较高的代表性。

(3)可操作性原则。所选指标的基础数据容易采集,便于更新;指标体系应简明、综合性强,且具可操作性。

2.2 评价指标体系的组成与计算方法

生物多样性评价指标的建立是一个十分复杂的过程,尽管生物多样性概念包括了遗传、物种、生态系统、景观 4 个层次,然而在大尺度评价中能够涉及的往往只是与物种、景观相关的测度^[20, 21]。物种多样性最基本的特征是丰富度和均匀度^[22],围绕这两个特性,研究者构造了许多复杂的多样性指数来描述和研究多样性^[23]。许多理论认为生物多样性的丧失是生物对外部事件的因果反应^[24],因而更多科学家的共识是要对生态系统进行综合性的、多指标的评价而不是关于物种的简单评价^[25]。

在分析生物多样性概念、生物多样性层次、生物多样性价值、生物多样性丧失原因、生物多样性保护重点的基础上,并咨询了相关专家的意见,作者遴选了 5 个指标,即:植被景观多样性指数、自然保护区指数、基于生态系统类型的物种多样性指数、国家保护植物多样性指数和国家保护动物多样性指数,其中植被景观多样性指数可代表景观层次和生态系统层次的多样性;基于生态系统类型的物种多样性指数、国家保护植物多样性指数和国家保护动物多样性指数代表物种多样性指标;而自然保护区多样性指数既可代表生态系统多样性,又可代表物种多样性。

(1) 植被景观多样性指数

对生物多样性保护和管理优先性的深入理解,使充分认识到从单个物种保护转移到景观尺度上栖息地保护的重要性^[26, 27]。景观生态学寻求理解较大区域的生态功能,并假定生态系统、栖息地或生物群落在生态学上暗示生物学丰度(biological richness)的分布^[28 ~ 30]。景观多样性是指由不同类型的景观要素或生态系统构成的景观在空间结构、功能机制和时间动态方面的多样性或变异性,是景观水平上生物组成多样化程度的表征,它反映了景观的复杂程度^[31, 33]。在较大的时空尺度上,景观多样性构成了其他层次生物多样性的背景,并制约着这些层次生物多样性的时空格局及其变化过程^[34]。景观类型多样性是指景观类型的丰富度和复杂度,主要考虑不同景观类型在景观中所占面积的比例和类型的多少^[31, 32]。植被是生态系统或自然环境的重要组成部分,是自然环境的最敏感性要素。植被作为生态系统的第一性生产力,自然植被所保存的基因库是生物多样性保护的核心,本研究根据长江上游植被图,测定了植被景观 Shannon-Wiener 多样性指数^[35],反应长江上游生态系统多样性,其表达式为:

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 (P_i)$$

式中, H 为测定区域的植被景观 Shannon-Wiener 多样性指数, P_i 是某县域植被景观类型(植被群系) i 占该县域植被总面积的比例, n 为植被群系的数目。 H 值越大,表示植被景观多样性越大,生态系统越丰富。植被类型按照《中国植被》、《中国生态系统》和《中国湿地植被》中生态系统中的最小单元——群系进行确定^[36 ~ 38]。据统计,整个长江上游共有植被类型 301 种,其中森林生态系统 110 类,灌丛与灌草丛生态系统 65 类,草原与草甸生态系统 61 类,湿地生态系统 22 类,荒漠生态系统 11 类,高山冻原与高山垫状生态系统 6 类,农田生态系统 26 类。

(2) 基于生态系统类型的物种多样性指数

物种多样性是指某个区域或群落中物种的数量,物种丰富度越大,表明该区域或群落的物种多样性就越

高,反之,物种多样性就越低。研究表明,遥感手段在生物多样性评价中的应用,提供物种水平的信息是基于这样一个前提,即景观结构及其单位和生态系统、物种及存在于其中的基因型之间存在着联系^[39]。在农田、森林和草场三大陆地生态系统类型中,森林生态系统是世界生物多样性的分布中心,而在森林生态系统中,热带森林又是生物多样性分布中心。据统计,世界上多达一半的物种生活在热带雨林中,其余一半可见于其他各种生态系统类型中。冻原、热带湖泊、红树林以及温带阔叶林都是独一无二的生物多样性代表,为特殊物种、生态过程和进化现象提供了避难所。虽然这些系统不可能像热带雨林或珊瑚礁拥有那么丰富物种的生物群落,但是却包含着适应特定环境条件的物种群落^[12, 19]。我国热带森林面积仅占国土面积的0.5%,物种数量却占全国的25%^[40]。植被组成尤其是森林面积与植物、濒危植物、哺乳动物、鸟类丰富度等存在着密切的相关关系^[12]。森林生态系统中,物种丰富度大小依次为:热带季雨林、雨林>亚热带常绿阔叶林和针叶林>暖温带针叶林和阔叶林>温带针阔混交林>寒温带针叶林^[12]。对青藏高原高寒地区生物多样性的研究表明,不同类型生态系统的物种丰富度依次为:森林生态系统>高寒灌丛生态系统>高寒草原生态系统>高寒荒漠生态系统^[41]。在世界14个陆生生物群区中,以热带与亚热带阔叶林的物种丰度为最高,苔原、北部森林与针叶林和温带针叶林较低^[5]。为此,作者根据长江上游植被数据,以县域为单元,计算了基于生态系统类型的物种多样性指数,其计算方法是:首先将各县域生态系统类型面积进行归一化处理,评价指标的归一化方法为:

$$\text{归一化后的评价指标}(BI) = \text{归一化前的评价指标} \times \text{归一化系数}$$

$$\text{归一化系数} = 100/A_{\max}$$

式中, $A_{\max}$ 指某指标归一化处理前的最大值,这里为各种类型生态系统的面积;然后计算依托生态系统类型的物种多样性指数,各项评价指标权重确立采用专家咨询法(下同),计算方法为:

$$\text{物种多样性指数}(S) = BI_{\text{针叶林}} \times 0.05 + BI_{\text{针阔混交林}} \times 0.2 + BI_{\text{阔叶林}} \times 0.5 + BI_{\text{竹林}} \times 0.05 + BI_{\text{灌丛}} \times 0.05 + BI_{\text{草地}} \times 0.03 + BI_{\text{草甸}} \times 0.03 + BI_{\text{稀疏植被}} \times 0.02 + BI_{\text{沼泽}} \times 0.03 + BI_{\text{荒漠生态系统}} \times 0.01 + BI_{\text{农业生态系统}} \times 0.03$$

(3) 自然保护区指数

建立自然保护区是减少人类活动对生物多样性威胁,保护生物多样性最广泛应用的手段^[42],尤其对自然生态系统和野生生物物种的就地保护作用更为显著,自然保护区为物种提供了生存和进化的场所,能够维持种群大小和结构的动态平衡,有效地保护种群数量及其所用的基因库^[43, 44]。以归一化处理后的生态系统型自然保护区面积和野生生物型自然保护区面积为基础,计算自然保护区指数:

$$\text{自然保护区指数} = BI_{\text{国家级自然保护区}} \times 0.6 + BI_{\text{省级自然保护区}} \times 0.3 + BI_{\text{市级自然保护区}} \times 0.1$$

(4) 国家保护植物多样性指数

统计国家保护植物种类及数量,通过国家保护植物物种数量归一化处理,计算国家保护植物多样性指数:

$$\text{国家保护植物多样性指数} = BI_{\text{国家一级保护植物}} \times 0.65 + BI_{\text{国家二级保护植物}} \times 0.35$$

(5) 国家保护动物多样性指数

统计国家保护动物种类及数量,数据归一化处理后,计算国家保护动物多样性指数:

$$\text{国家保护动物多样性指数} = BI_{\text{国家一级保护动物}} \times 0.65 + BI_{\text{国家二级保护动物}} \times 0.35$$

2.3 生物多样性综合指数(BI)计算方法

生物多样性综合指数(BI)是植被景观多样性指数、自然保护区指数、基于生态系统类型的物种多样性指数、国家保护植物多样性指数和国家保护动物多样性指数5个评价指标的加权求和。

生物多样性综合指数(BI) = 植被景观多样性指数 × 0.3 + 自然保护区指数 × 0.15 + 基于生态系统类型的物种多样性指数 × 0.25 + 国家保护植物多样性指数 × 0.15 + 国家保护动物多样性指数 × 0.15。

3 评价结果

长江上游各县(市、区)生物多样性综合评价结果见图1,评价结果比较客观地反映了各县域生物多样性

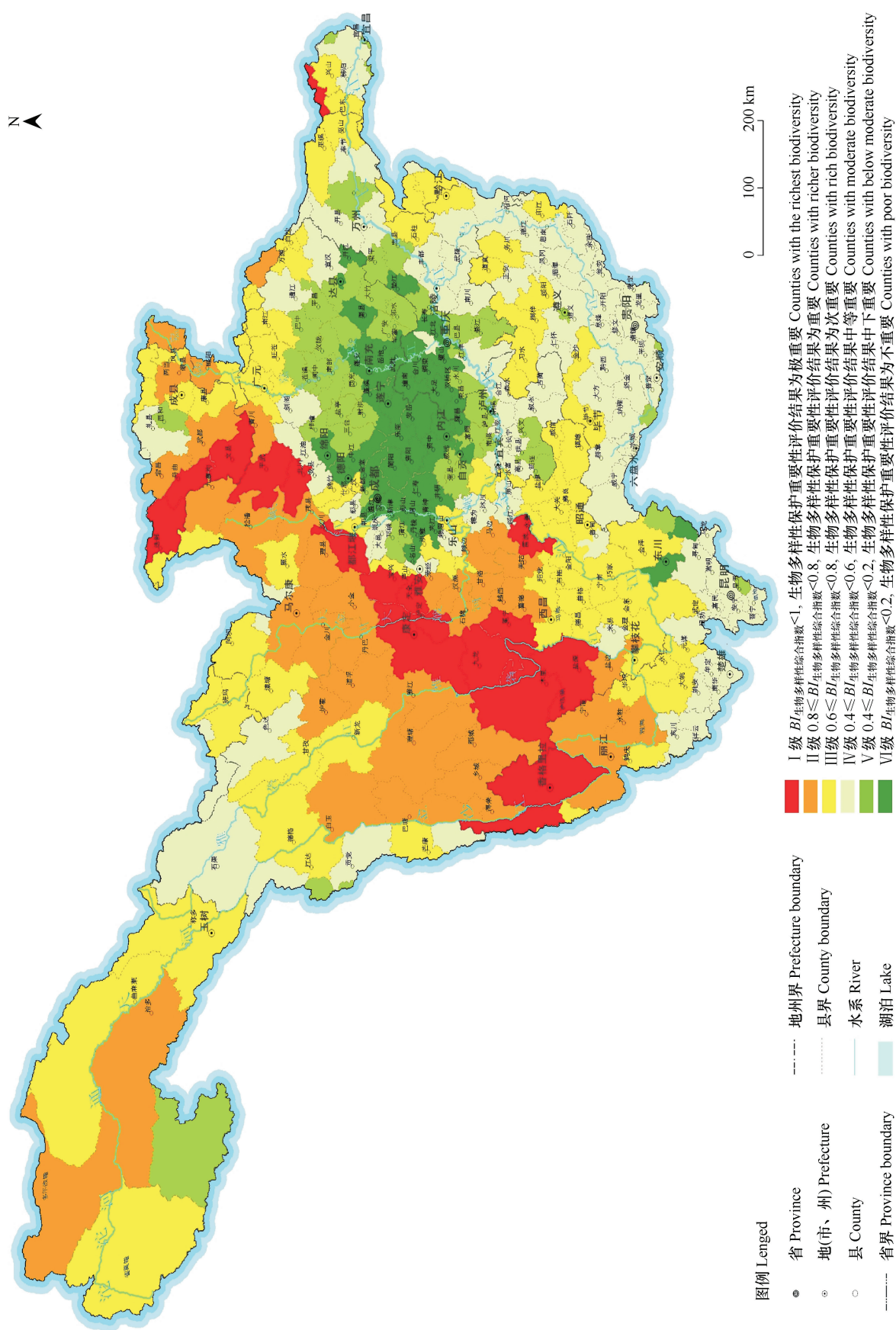


图 1 长江上游生物多样性保护重要性评价图
Fig.1 Integrative assessment of biodiversity conservation importance in the Upper Yangtze River

现状。根据生物多样性综合指数值(BI),将长江上游县域生物多样性评价结果分为6级,即:

- I级 $BI_{\text{生物多样性综合指数}} > 1$,生物多样性保护重要性评价结果为极重要;
II级 $0.8 \leq BI_{\text{生物多样性综合指数}} < 1$,生物多样性保护重要性评价结果为重要;
III级 $0.6 \leq BI_{\text{生物多样性综合指数}} < 0.8$,生物多样性保护重要性评价结果为次重要;
IV级 $0.4 \leq BI_{\text{生物多样性综合指数}} < 0.6$,生物多样性保护重要性评价结果为中等水平;
V级 $0.4 \leq BI_{\text{生物多样性综合指数}} < 0.2$,生物多样性保护重要性评价结果为中下水平;
VI级 $BI_{\text{生物多样性综合指数}} < 0.2$,生物多样性保护重要性评价结果为不重要。

(1)生物多样性保护重要性评价结果为I级的县域共18个,占总县数的4.95%,这些县大多分布于横断山区、秦巴山区。分别是:四川省的平武县、北川县、汶川县、康定县、泸定县、九龙县、雷波县、冕宁县、盐源县、木里县、宝兴县、天全县,云南省的香格里拉县、德钦县,湖北省的神龙架林区和甘肃省的迭部县、舟曲县、文县。

(2)生物多样性保护重要性评价结果为II级的县域共41个,占总县数的11.26%,也主要分布于横断山区、秦巴山区和长江源区。分别是:四川省的盐边县、峨边县、马边县、青川县、荣经县、汉源县、石棉县、马尔康县、理县、茂县、松潘县、九寨沟县、金川县、小金县、丹巴县、雅江县、道孚县、炉霍县、白玉县、理塘县、巴塘县、乡城县、稻城县、得荣县、美姑县、甘洛县、越西县、喜德县,重庆市的城口县,云南省的(丽江市)古城区和玉龙县、永胜县、宁蒗县,陕西省的略阳县、镇巴县、凤县,甘肃省的宕昌县、武都、徽县、凤县,青海省的治多县。

(3)生物多样性保护重要性评价结果为III级的县域共76个,占总县数的20.88%,主要分布于川渝鄂黔交界处山地、横断山区、华西雨屏区和长江源区;

(4)生物多样性保护重要性评价结果为IV级的县域共106个,占总县数的29.12%,主要分布于云贵高原区、川南、黔北等区域;

(5)生物多样性保护重要性评价结果为V级的县域共68个,占总县数的18.68%,主要分布于川东平行岭谷和四川盆地等区域;

(6)生物多样性保护重要性评价结果为VI级的县域共55个,占总县数的15.11%,主要分布于四川盆地。

4 讨论

一般地,植被景观多样性指数高的区域,基于生态系统类型的物种多样性指数亦较高,但由于不同生态系统蕴藏的物种多样性不同,以森林生态系统为较高,森林生态系统中又以阔叶林和针阔混交林物种多样性为较高,具有较高的物种多样性权重(分别为0.5和0.2),因此,有的县域虽然植被景观多样性较高,但由于森林生态系统中阔叶林和针阔混交林尤其是阔叶林占的比重小,因而物种多样性指数亦不高。如泸定县尽管植被景观多样性指数高达2.5912,但由于植被景观多样性构成中阔叶林占的比重较低,归一化处理后仅为0.03086,针阔混交林为0.03601,因而其物种多样性指数仅为0.0418;与泸定类似的县还有四川省的得荣县、壤塘县、阿坝县、若尔盖县、道孚县、炉霍县、甘孜县、新龙县、德格县、普格县、布拖县、金阳县,云南省的永胜县、鹤庆县、永善县等,湖北省的利川市,青海省的曲麻莱县、治多县、称多县、玉树市、格尔木市、达日县、久治县等。

四川省的雷波县、冕宁县、盐源县和木里县不仅具有较高的植被景观多样性指数,而且具有较高的物种多样性指数、国家保护植物多样性指数和国家保护动物多样性指数,因而其生物多样性综合指数也较高,生物多样性保护重要性评价结果为极重要。甘肃省的迭部县和舟曲县,植被景观多样性指数、物种多样性指数、国家保护植物多样性指数和国家保护动物多样性指数均较高,其生物多样性保护重要性评价结果为极重要,但目前两县既无国家级自然保护区,也无省级自然保护区,建议将其作为今后生物多样性保护的重点区域。

《中国生物多样性国情研究报告》根据物种丰富度和特有种数量,确定了我国17个有全球意义的生物多样性保护关键区域,分布在陆地的有11个,其中有4个全部或部分位于长江中上游地区,即:横断山南段(藏东南、滇西北、川西南)、岷山-横断山北段(川西北)、湘黔川鄂边境山地和秦岭山地^[41]。李迪强等^[45]利用指

示物种的数量与分布,确定了 16 个中国生物多样性热点地区,其中有 4 个分布在长江上游地区,即秦岭地区、大巴山地区、川西高山峡谷地区和滇西北地区^[45]。上述的关键区域或热点地区与本研究评价结果中 I 级和 II 级县域基本吻合。

值得一提的是,位于青藏高原东南部的长江源区,行政区划上包括青海省玉树藏族自治州的玉树县、杂多县、称多县、治多县、曲麻莱县和海西蒙古族藏族自治州的格尔木市唐古拉乡,为高山高原地形,地势西高东低,四周高山一般在 5500 m 以上,其它也多在 4000 m 以上。属高原寒带半湿润、半干旱区。生态系统具有原始性、敏感性、脆弱性三大特点。其中治多县生物多样性保护重要性评价结果为 II 级,玉树县、杂多县、称多县、曲麻莱县和格尔木市评价结果为 III 级,属于生物多样性保护的重要区域,拥有国家 I 级保护动物 11 种,国家 II 级保护动物 24 种,主要保护以西藏嵩草、小嵩草、苔草为主的高寒草甸和高寒荒漠生态系统。

三峡库区湿地生态系统是三峡工程蓄水后,大坝上游库区两岸形成的一个水位有规律季节性变化的涨落区,并逐渐演化成一个独特的生态系统,三峡库区湿地东起湖北宜昌三斗坪,西至重庆江津,分布在长江主干流的两岸,全长达 600 多公里,属河道型水库湿地,主要以优先保护湿地生态系统为主,拥有中华鲟(*Acipenser sinensis*),达氏鲟(*Acipenser dabryanus*),白鲟(*Psephurus gladius*),大鲵(*Andrias davidianus*)、胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)等国家保护物种。三峡库区湿地是一个重要的生态敏感区,建议设立国家级湿地生态保护区,纳入世界级湿地生态保护区的候选名单,以优先保护其珍稀濒危水生物种和景观多样性为重点。

References:

- [1] Ma K P, Qian Y Q, Wang C. Present state and future of biodiversity studies. In: Qian Y Q, Ma K P eds. Principle and methods of biodiversity studies. Beijing: Chinese Scientific & Technological Press, 1994. 1—13.
- [2] Stork N E, Samways M J. Inventorying and monitoring of biodiversity. In: Heywood V H, Watson R T eds. Global biodiversity assessment. Cambridge University Press, UK, 1995. 453—545.
- [3] Wan B T, Xu H G, Ding H, *et al.* Methodology of comprehensive biodiversity assessment. Biodiversity Science, 2007, 15(1): 97—106.
- [4] Reid W V, McNeely J A, Tunstall D B, *et al.* Biodiversity indicators for policy-makers. World Resources Institute, Washington DC. 1993.
- [5] Millennium Ecosystem Assessment Committee. Ecosystems and Human Well-Being -Biodiversity Synthesis. Beijing: China Environmental Scientific Press, 2005. 8—21.
- [6] Behera M D, Kushwaha S P S, Roy P S. Rapid assessment of biological richness in a part of Eastern Himalaya: an integrated three-tier approach. Forest Ecology and Management, 2005, 207: 363—384.
- [7] Department for Environment, Food and Rural Affairs. Working with the grain of nature-taking it forward (II). Measuring progress on the England biodiversity strategy. 2006 Assessment. London, 2006.
- [8] European Environment Agency. Progress towards halting the loss of biodiversity by 2010. Copenhagen, Denmark, 2006.
- [9] Zhang Z, Zhang J W, Li Y N, *et al.* Ecological evaluation index system of wetland. Agro-environment Protection, 1999, 18: 283—285.
- [10] Zheng Z X, Luo J, Yan L H, *et al.* Assessment index and Criterion of biodiversity. Journal of Hunan Forestry Science & Technology, 1999, 26(2): 26—29.
- [11] Shi Z M, Cheng R T, Chen L, *et al.* Study on method for regional eco-system biodiversity assessment. Rural Eco-Environment, 1996, 12(2): 1—5.
- [12] Zhang Y. Evaluation on forest biodiversity in China. Beijing: China Forestry Publishing House, 2002.
- [13] Yue T X. Discussion of studying biodiversity by remote sensing. Biodiversity Science, 2000, 8(3): 343—346.
- [14] Guo Z W, Li D M, Gan Y L. The assessment of forest ecosystem biodiversity by remote sensing. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(8): 1369—1384.
- [15] Innes J L, B Koch. Forest biodiversity and its assessment by remote sensing. Global Ecology and Biogeography Letters, 1998, 7(6): 397—419.
- [16] Gustafson E. Quantifying landscape spatial pattern: what is the state-of-the-art? Ecosystems, 1998, 1: 143—156.
- [17] Ni J, Chen Z X, Dong M, *et al.* An ecogeographical regionalization for biodiversity in China. Acta Botanica Sinica, 1998, 40(4): 370—382.
- [18] Chen J K, Li B, Wu Q H. Biodiversity and its countermeasures with economic harmonious development in the Yangtze River Basin. Chinese Biodiversity, 1997, 5(3): 217—219.
- [19] Zhao S Q, Fang J Y, Lei G C. Global 2000: an approach to setting large-scale biodiversity conservation priorities. Chinese Biodiversity, 2000, 8(4): 435—440.

- [20] Yoccoz N G, Nichols J D, Boulmier T. Monitoring of biological diversity in space and time. *Trends in Ecology and Evolution*, 2001, 16(8): 446—453.
- [21] Zhao H J, Ji L Q. Biodiversity assessment at broad scale. *Biodiversity Science*, 2003, 11(1): 78—85.
- [22] Purvis A, Hector A. Getting the measure of biodiversity. *Nature*, 2000, 405: 212—219.
- [23] Magurran, A E. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, Princeton New Jersey. 1988.
- [24] Solé R V. Criticality and scaling in evolutionary ecology. *Trends in Ecology and Evolution*, 1999, 14(4): 156—159.
- [25] Ayensu E, Claassen D V R, Collins M, *et al.* International ecosystem assessment. *Science*, 1999, 286: 685—686.
- [26] Orians G H. Endangered at what level? *Ecological Applications*, 1993, 31: 206—208.
- [27] Edwards P J, Webb N R, May R M, eds. *Large-scale ecology and conservation biology*. Environments, Nature and Resources, 1994, 32(1): 33—39.
- [28] Romme W, Knight D H. Landscape diversity: the concept applied to Yellowstone National Park. *Bioscience*, 1982, 32: 664—670.
- [29] Forman R, Godron M. *Landscape Ecology*. John Wiley & Sons, New York, 1986.
- [30] Turner, M. G., *Landscape ecology: the effect of pattern on process*. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1989, 20: 171—197.
- [31] Fu B J. Landscape diversity analysis and mapping. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15(4): 345—350.
- [32] Fu B J, Chen L X. Landscape diversity types and their ecological significance. *Acta Geographica Sinica*, 1996, 51(5): 454—462.
- [33] Ma K M, Fu B J, Zhou H F. Measuring landscape diversity: affinity analysis of pattern diversity. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(1): 76—81.
- [34] Li X W, Hu Y M, Xiao D N. Landscape ecology and biodiversity conservation. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(3): 399—407.
- [35] Ma K P, Liu Y M. Measurement of biotic community diversity I: Methods for measuring of α -diversity (2). *Chinese Biodiversity*, 1994, 2(4): 231—239.
- [36] Wu Z Y. *China vegetation*. Beijing: Chinese Science Press, 1980.
- [37] Sun H L. *China ecosystem*. Beijing: Chinese Science Press, 2004.
- [38] Lang H Q, Zhao K Y, Chen K L. *Wetland vegetations of China*. Beijing: Science Press, 1999.
- [39] Wang B, Guan W B, Wu J A, *et al.* A method for assessing regional ecological security pattern to conserve biodiversity-GAP analysis. *Research of Soil and Water Conservation*, 2006, 13(1): 192—196.
- [40] Chinese Academy of Sciences, The Committee for Integrated Survey of Natural Resources. *Handbook of China Natural Resources*. Beijing: Science Press, 1990.
- [41] Editorial Committee of State Report on Biodiversity of China Committee. *State Report on Biodiversity of China*. Beijing: China Environmental Science Press, 1998. 147—164.
- [42] Margules C R, Pressey R L. Systematic conservation planning. *Nature*, 2000, 405: 243—253.
- [43] Gong X, Wu Q A, Zhang Q T. The function and significance of reservation in the conserving biological diversity. *Guihaia*, 1993, 13(4): 359—366.
- [44] Xue D Y, Jiang M K. Contributions of nature reserves in China to biodiversity conservation. *Journal of Natural Resources*, 1995, 10(3): 286—292.
- [45] Li D Q, Song Y L, Ouyang Z Y. *Research on the National Forestry Nature Reserve System Plan*. Beijing: China Land Press, 2003.

参考文献:

- [1] 马克平, 钱迎倩, 王晨. 生物多样性研究的现状与发展趋势. 见: 钱迎倩, 马克平主编. *生物多样性研究的原理与方法*. 北京: 中国科技出版社, 1994. 1~13.
- [3] 万本太, 徐海根, 丁晖, 等. 生物多样性综合评价方法研究. *生物多样性*, 2007, 15(1): 97~106.
- [5] 千年生态系统评估委员会. *生态系统与人类福祉——生物多样性综合报告*. 北京: 中国环境科学出版社, 2005. 8~21.
- [9] 张峥, 张建文, 李寅年, 等. 湿地生态评价指标体系. *农业环境保护*, 1999, 18: 283~285.
- [10] 曾志新, 罗军, 颜立红, 等. 生物多样性的评价指标和评价标准. *湖南林业科技*, 1999, 26(2): 26~29.
- [11] 史作民, 程瑞婷, 陈力, 等. 区域生态系统多样性评价方法. *农村生态环境*, 1996, 12(2): 1~5.
- [12] 张颖著. *中国森林生物多样性评价*. 北京: 中国林业出版社. 2002.
- [13] 岳天祥. 生物多样性遥感研究方法浅议. *生物多样性*, 2000, 8(3): 343~346.
- [14] 郭中伟, 李典谟, 甘雅玲. 森林生态系统生物多样性的遥感评估. *生态学报*, 2001, 21(8): 1369~1384.
- [17] 倪健, 陈仲新, 董鸣, 等. 中国生物多样性的生态地理区划. *植物学报*, 1998, 40(4): 370~382.
- [18] 陈家宽, 李博, 吴千红. 长江流域的生物多样性及其与经济协调发展的对策. *生物多样性*, 1997, 5(3): 217~219.
- [19] 赵淑清, 方精云, 雷光春. 全球 200: 确定大尺度生物多样性优先保护的一种方法. *生物多样性*, 2000, 8(4): 435~440.

- [21] 赵海军, 纪力强. 大尺度生物多样性评价. 生物多样性, 2003, 11(1): 78 ~ 85.
- [31] 傅伯杰. 景观多样性分析及其制图研究. 生态学报, 1995, 15(4): 345 ~ 350.
- [32] 傅伯杰, 陈利顶. 景观多样性的类型及其生态意义. 地理学报, 1996, 51(5): 454 ~ 462.
- [33] 马克明, 傅伯杰, 周华峰. 景观多样性测度: 格局多样性的亲和度分析. 生态学报, 1998, 18(1): 76 ~ 81.
- [34] 李晓文, 胡远满, 肖笃宁. 景观生态学与生物多样性保护. 生态学报, 1999, 19(3): 399 ~ 407.
- [35] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I: α 多样性的测度方法(下). 生物多样性, 1994, 2(4): 231 ~ 239.
- [36] 吴征镒. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980.
- [37] 孙鸿烈. 中国生态系统. 北京: 科学出版社, 2004.
- [38] 郎惠卿, 赵魁义, 陈克林. 中国湿地植被. 北京: 科学出版社, 1999.
- [39] 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. 水土保持研究, 2006, 13(1): 192 ~ 196.
- [40] 中国科学院国家计划委员会自然资源综合考察委员会. 中国自然资源手册. 北京: 科学技术出版社, 1990.
- [41] 《中国生物多样性国情研究报告》编写组. 中国生物多样性国情研究报告, 北京: 中国环境科学出版社, 1998. 147 ~ 164.
- [43] 龚洵, 武全安, 张启泰. 自然保护区在保护生物多样性中的作用和意义. 广西植物, 1993, 13(4): 359 ~ 366.
- [44] 薛达元, 蒋明康. 中国自然保护区对生物多样性保护的贡献. 自然资源学报, 1995, 10(3): 286 ~ 292.
- [45] 李迪强, 宋延龄, 欧阳志云. 全国林业系统自然保护区体系规划研究. 北京: 中国大地出版社, 2003.