

## 三峡库区东河河流等级及生态结构分析\*

熊森<sup>1</sup>, 刘红<sup>2</sup>, 王强<sup>2,3</sup>, 黎璇<sup>4</sup>

(1. 重庆市开县澎溪河湿地自然保护区管理局, 重庆 开县 405400; 2. 重庆大学 资源及环境科学学院, 重庆 400030; 3. 重庆大学 西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室, 重庆 400030; 4. 中煤国际工程集团重庆设计研究院, 重庆 400016)

**摘要** 利用 GIS 技术进行河流等级结构划分, 研究了三峡库区东河流域河流的等级体系。将整个东河流域河溪分为 6 级, 并在此基础上研究了不同等级河溪与海拔高程和坡度的关系。研究发现, 河溪在由低等级向高等级变化时, 其空间分布范围逐渐由坡度大、海拔高向坡度小、低海拔的平缓地带过渡, 低等级溪流周围植被生长状况好于高等级溪流周围植被。东河 1、2 级河流生态结构的完整性主要受自然干扰影响。3、4 级河流水体落差大, 水能丰富, 河流主要受小水电影响, 建议充分考虑河流生态需水, 维护河流生境的连通性, 保证水坝下游河段的河流生态健康。5、6 级河流沿岸人为活动强度较大, 水质较差, 建议对河岸植被进行改造和重建, 提高河岸植被的多样性和群落结构层次, 减缓面源污染对河流健康的影响。对受三峡水库水位的波动影响的河段, 建议实施生态恢复工程, 改善生态环境质量。

**关键词** 河流; 生态系统; 三峡库区; 东河; 河流分级

中图分类号: Q147

文献标志码: A

文章编号: 1672-6693(2011)05-0029-04

河流从最初的潺潺细流到后来的滔滔大江, 形成一个连续的、完整的生态系统, 对人类和其它生物的生存繁衍具有重要的意义。不同等级的河溪具有不同的生境结构和生态功能。国外对河溪级别划分的研究开展较早。Horton<sup>[1]</sup>于 1932 年第一次提出河流顺序的概念, 之后又在分类系统中加入了河流排序、长度、坡度等属性。Strahler<sup>[2]</sup>提出了基于次序号从位于河网顶端的最高、最年轻的河流开始, 逐渐增加支流的划分方法; Shreve<sup>[3]</sup>的河流分级系统与 Strahler 类似, 不过他的河流级别划分方法是逆流而上; Forman<sup>[4]</sup>将最细小且没有分支的具有常流水的河流称为 1 级河流, 两个 1 级河流汇合成为 2 级河流, 两个 2 级河流汇合成为 3 级河流, 依此类推。目前 Strahler 和 Shreve 的河流级别划分方法应用较广泛, 并被 ESRI 公司开发的 ArcGIS 软件采用。国内近年来也开展了一些相关研究, 如吴兆录等<sup>[5]</sup>对西双版纳纳溪等级体系的研究, 张军等<sup>[6]</sup>对中国东北山地集水区和溪流结构模拟分析。

例 利用 GIS 技术进行河流结构划分, 并结合实地调查对各级溪流的生境特征、空间分布进行描述, 以期对三峡库区山地河流的保护、治理提供科学依据。

### 1 研究区域

东河位于重庆市开县北部, 地处三峡库区腹心, 系长江北岸支流澎溪河正源, 流域地理坐标东经 108°22' ~ 108°53', 北纬 31°11' ~ 31°41'。东河全长 96.7 km, 流域面积 1 426.6 km<sup>2</sup>, 海拔高程 160 ~ 2 626 m, 平均比降 7.94‰。研究区域内总体地势北高南低, 尤其是温泉镇以上河段, 山高谷深。流域属亚热带季风气候区, 四季分明, 冬季多阴沉天气, 降水少, 上游常降雪。降水量年际变化较大, 从 4 月延续至 10 月的降水量约占全年降水量的 87.3%, 多年平均降水量为 1 253.8 mm。

### 2 研究方法

以 SPOT 卫星影像(分辨率为 15 m)和 1/50 000 地形图为数据源, 通过遥感解译和 GIS 分析, 采用

本研究以位于三峡库区腹心地的东河流域为

\* 收稿日期 2011-07-20 修回日期 2011-09-01 网络出版时间 2011-09-17 13:59:00

资助项目 国家自然科学基金(No. 50749045); 重庆市科委科技攻关项目(No. CSTC2009AB1079)

作者简介 熊森, 男, 工程师, 研究方向为湿地保护管理, 通讯作者: 刘红, E-mail: hliu631102@yahoo.com.cn

网络出版地址 [http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20110917.1359.201105.29\\_006.html](http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20110917.1359.201105.29_006.html)

ArcGIS 9.0 软件中的 Strahler 法,根据坡度、坡向和地形之间的相互关系以及水流特性,对东河进行河流等级划分,分级标准为:1)最小的支流,即不能再划分的源头溪流,被划定为第 1 级溪流;2)两条 1 级溪流汇合形成 2 级溪流,两条 2 级溪流汇合形成 3 级溪流,依此类推;3)低级别的河流汇入更高级别河流不影响河流的级别。

在河流级别分析的同时,根据流域内河流的海拔高程、坡度,利用重庆市 2007 年的 NDVI 数据,分析植被 NDVI 值与河流级别的关系。

为了核实河流等级划分及分析各级别河流特征,对东河河流生境进行野外调查。调查采用 GPS 定位、照片和书面记录,按照河流级别进行了调查,以获取河溪基本形态、两岸植被、人为利用等方面的数据。为避免把同一河溪划分为不同等级或把差别巨大的河溪划分为同一等级,把比降、两岸植被组成及交接程度、枯水季节水道宽度及能否跨越作为区别河与溪的重要标志,对河流分级体系进行了修正。

## 3 结果

### 3.1 东河河流等级

将东河流域的河溪数据源,进行遥感解译和 GIS 分析,并将地形图导入 GRID 水文模型,利用其中的水文分析功能生成河流网络图,再采用 Strahler 法,将东河水系划分为 6 个等级(封三彩图 1)。本研究把东河不同等级河流归并为 3 类:源头溪流(Head waters,1~3 级溪流),中等大小溪流(Medium-sized streams,4~5 级)和较大河流(Large rivers,6 级以上)。

### 3.2 东河河流结构特征

结合野外实地调查,对不同级别河流的生境特征进行了描述,具体结果参见表 1。

## 4 讨论

### 4.1 溪流结构的空分布

利用 ArcGIS 的统计功能得出研究区内各等级溪流的空间分布参数。研究表明,研究区内 1 级河溪的数量占全流域河流总数量的 70% 以上,1 级河溪的长度约占全流域河流总长度的 50%。随着河流等级的升高,河流的数量、长度呈现出减少的趋势(表 2)。该结果说明在该区域内,以低等级溪流占优势。这是山地河流的典型特征。按照 Strahler 河流分级方法,低等级河流是高等级河流的源,高等级河流是低等级河流的汇,低等级河流的水文和生态

系统状况,同样也会影响到高等级河流的水文和生态系统状况。下游大河的旱涝灾害,与其上游低等级溪流周围的生态系统遭到破坏有直接关系<sup>[7]</sup>。

表 1 东河不同级别河流特征

Tab. 1 Characteristics of different hierarchy stream in Donghe River

河流级别	类型	特征	实例
1	溪	宽度在 3 m 以下,水道较陡。河漫滩极少,两岸植被为两侧坡地植被的延伸,相互交接覆盖水道。	源头溪流
2	溪	宽度接近 4 m,水道时陡时缓,河漫滩植被常与两侧坡地植被混杂,两岸植被常相互交接。	小园河支流
3	溪	宽度接近 6~8 m,水道平缓,两岸植被时有交接,河道中出现沙洲,有特定的河岸植被。	小园河
4	河	宽度 10 m,水道平缓,两岸植被不能相互交接,有特定的河岸植被型。	锁口河
5	河	宽度 20 m,水道平缓,两岸植被不能相互交接,有特殊的河岸植被类型。	满月河
6	河	宽度 30~50 m,水道平缓,有特殊的河岸植被类型。	东河干流

由图 2 可知,河流等级越低,分布的海拔越高。在高海拔地区,低等级河流所占比例大。河流级别越低分布海拔的范围越广,因而受到人为干扰的可能性越大,需要加强保护。高海拔地区受人为影响严重的是低级别溪流,低海拔地区受人为影响严重的是高级别河流。

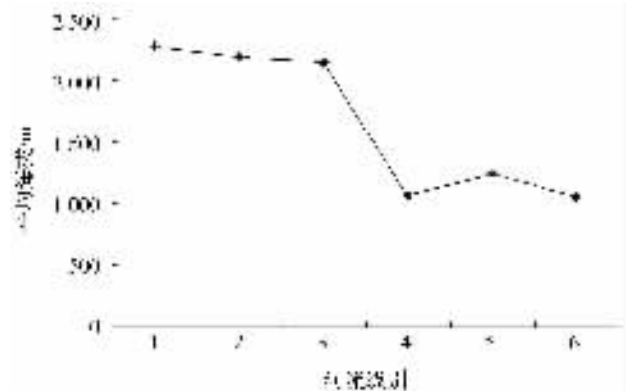


图 2 东河流域不同级别河流平均海拔变化

Fig. 2 Elevation change of different hierarchy river in Donghe River watershed

图 3 显示,河流等级越高,分布的坡度范围越小,越趋向于在平缓区域分布。例如,1 级河溪分布

的坡度变动范围为  $55.97^\circ$  ,而 6 级河溪分布的坡度的变动范围仅为  $44.98^\circ$  。因此 ,坡度越陡 ,低等级河溪所占的比例越大 ,其对植被的生长、保持土壤和防止水土流失的作用越大。

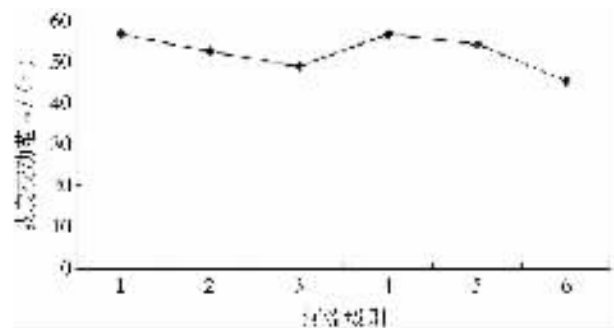


图 3 东河流域不同级别河流坡度变化

Fig. 3 Slope change of different hierarchy river in Donghe River watershed

表 2 东河流域不同等级河流的长度

Tab. 2 Length of different hierarchy river in Donghe River watershed

河流级别	河流数量	占河流总数比例/%	河流总长度/km	平均长度/m
1	765	74	872.89	1 141
2	214	20.7	382.06	1 785
3	40	3.8	147.37	3 684
4	11	1.1	84.84	7 712
5	3	0.3	42.98	14 327
6	1	0.1	76.40	76 394

#### 4.2 河流结构与植被的关系

NDVI 值的大小能反映出植被的生长情况 ,NDVI 值越大 ,植被生长力越高 ;反之则植被生长力越弱。研究表明 ,河流级别越低 ,流域内植被的 NDVI 值越大 ,而植被生长越好也越稳定 ;而河流级别越高 ,则相反 ,植被生长越差、越不稳定(封三彩图 4)。结合东河流域实地调查发现 ,不同等级的河流其河岸类型、河岸植被发生着较大变化 ,与 NDVI 值判断的植被生长情况类似。这应与以下两点有关 :

1) 在海拔较高的区域以低级别河流为主 ,受人类干扰较少 ,保存较好 ,因此流域内植被生长力比高等级河流流域内植被生长得好而且稳定。河流两岸的植被部分或全部交接遮盖水道 ,使河道小环境有明显地遮荫性和隐蔽性 ,为野生生物提供了特殊的栖息生境。同时 ,河流的漫滩和阶地不发育 ,两侧坡地的植被直接伸入流水中 ,较小的河流没有区别于

两侧坡地的特殊植被。

2) 高等级河流分布在低海拔、平缓地带 ,人类活动干扰强度较大 ,垦殖强度较大 ,地表植被生长力降低 ,河流两岸植被不能交接遮盖水道 ,河流有较发育的漫滩和阶地 ,生长着与两侧坡地截然不同的河岸植被 ,且大量被开垦成农田和居民区。

#### 4.3 不同级别河流干扰源分析

东河流域内 ,不同级别河流的干扰源存在着明显的差异。本研究中 ,对于 1、2 级源头溪流来说 ,主要的干扰源是自然干扰 ,尤其是 1、2 级溪流所在的源头区域 ,是典型的喀斯特地貌区域 ,喀斯特地貌处在不断的发育过程中。在东河源头的雪宝山国家级自然保护区内 ,在山原面上 ,大小不同的漏斗一直处在不断的发育过程中 ,有的漏斗刚刚形成 ,有的漏斗直径可达几十米 ,并且与地下暗河连通 ,漏斗形成的地貌变化过程使得山原面上地表水漏失 ,干扰 1、2 级溪流生态结构的完整性 ,并对这些溪流中的生物产生明显影响。

在东河流域的下游较高级别的河流 ,其干扰源主要是人类活动。流域内 3、4 级河溪由于水体落差大 ,水能丰富 ,许多水电站建设在此。因此 ,对于 3、4 级河流来说 ,最大的干扰源是梯级水电站的影响。

在东河流域 ,早期人口稀少的时候 ,村寨选择建立在 2~4 级河溪交汇处 ;在近几十年里 ,山区居民逐渐向沟谷或平缓地段迁移 ,随着经济发展 ,人口不断聚集 ,需要宽广而便利的地区居住 ,所以人们逐渐转移到了 5、6 级河溪的河岸居住 ,特别是东河河口位于开县城区内 ,所受干扰尤为强烈。东河下游河口段处在三峡库区淹没区域内 ,由于三峡水库采取“蓄清排浑”的运行方式 ,夏季低水位运行 ,冬季高水位运行 ,这样就在高程 145~175 m 之间形成季节性水位消涨带-消落带 ,水位的周期性消落 ,是构成对 5、6 级河流的最大干扰源。

东河河溪级别不同 ,干扰源不同 ,其产生的生态环境问题不同。1、2 级源头溪流受到喀斯特地貌发育变化的影响 ,其最大的问题是水源漏失 ,野外调查发现一条源头溪流常常呈现出自然状态下的局部断流 ,形成片段化溪流生境 ,而分布在这一区域海拔 1 000 m 源头溪流的中国特有动物——巫山北鲵 (*Ranodon shihi*) ,受到这种自然变化的明显胁迫 ,生境面积逐渐缩小。3、4 级河流受梯级水电站影响 ,最大的问题是连续河流生境的破碎化 ,在每一级水坝之下形成减水或脱水段 ,河流生境结构发生明显的改变 ,对生活在这些溪流中的水生生物产生了极

大威胁。而下游高级别河流主要受三峡水库蓄水后水位变动的影 响,对河岸生境的稳定性、河岸生境自然景观均产生了影响。本研究认为,作为典型山地河流的东河,河溪级别不同,干扰源不同,产生的生态环境问题不同,因此,其保护措施更应该分级制定。对于 1、2 级河流应该加强保护,对部分生境受破坏的河段进行恢复;3、4 级河流应根据河流连续系统(River continuum system)理论对流域水电开发进行整体规划,充分考虑河流生态需水,维护河流生境的连通性,保证水坝下游河段的河流生态健康;5、6 级河流应对河岸植被进行改造和重建,提高河岸植被的多样性和群落结构层次,减缓面源污染对河流健康的影响;对河口受三峡水库水位的波动影响的河段,应结合开县县城城市周边景观建设对 175 m 以下三峡水库消落带进行生境改造,实施“基塘工程”、“林泽工程”等<sup>[8]</sup>项目,改善景观质量。

#### 参考文献:

[ 1 ] Horton R E. Drainage basin characteristics[ J ]. Transactions

of American Geophysical Union ,1932 ,13 350-361.

[ 2 ] Strahler A N. A quantitative analysis of watershed geomorphology[ J ]. American Geophysical Transactions ,1957 ,38 : 913-920.

[ 3 ] Shreve R L. Infinite topologically random channel networks [ J ]. Journal of Geology ,1967 ,75 :178-186.

[ 4 ] Forman R T. Land mosaics the ecology of landscape and regions[ M ]. New York :Cambridge University Press ,1995.

[ 5 ] 张军,笱国盛,葛剑平. 中国东北山地集水区和溪流结构模拟分析[ J ]. 北京师范大学学报 :自然科学版 ,2002 ,38 ( 3 ) :390-394.

[ 6 ] 吴兆录,郑寒,刘宏茂,等. 西双版纳河溪等级体系研究 [ J ]. 云南大学学报 :自然科学版 ,2001 ,23( 3 ) 231-234.

[ 7 ] Armitage P D ,Pardo I. Impact assessment of regulation at the reach level using macroinvertebrate information from mesohabitats[ J ]. Regulated Rivers :Research and Management ,1995 ,10 :147-158.

[ 8 ] 袁兴中,熊森,李波,等. 三峡水库消落带湿地生态友好型利用探讨[ J ]. 重庆师范大学学报 :自然科学版 ,2011 ,28( 4 ) 23-25.

## Resources , Environment and Ecology in Three Gorges Area

### Analysis on River Hierarchy and Ecological Structure of Donghe River in Three Gorges Reservoir Area

XIONG Sen<sup>1</sup> , LIU Hong<sup>2</sup> , WANG Qiang<sup>2 3</sup> , LI Xuan<sup>4</sup>

( 1. Pengxi River Wetland Nature Reserve Management Bureau , Kaixian Chongqing 405400 ;

2. College of Resource and Environmental Science , Chongqing University , Chongqing 400030 ;

3. Key Laboratory of Southwest Resource Exploitation and Environmental Disaster Controlling Project of Educational Ministry , Chongqing University , Chongqing 400030 ; 4. Sino-coal International Engineer Group , Chongqing Design & Research , Institute , Chongqing 400016 , China )

**Abstract :** Stream hierarchy of Dong he River was analyzed by using GIS technology. The total watershed of Dong he River was divided into six grades. Relationship between river grade and elevation and slope was researched. The result indicated that river with higher grade distributed in those areas with smaller slope and lower elevation. Vegetation in watershed of lower grade stream is better than that in watershed of higher grade. The first and second grade streams were influenced by natural disturbance and maintained high quality of ecosystem integrality. The third and fourth grade rivers with high water slope and rich hydropower potential were significantly influenced by small hydropower. Ecological water demand of the reach in the downstream of dam should be released in order to maintain habitat connexity and river health. The fifth and sixth grade rivers were influenced by intensive anthropogenic disturbance with poor water quality. Riparian vegetation with high diversity and multi layers should be reestablished in this area to decrease non-point source pollution. Ecological engineering should be carried out in reach influenced which was by the fluctuation of the Three Gorges Reservoir in order to improve its landscape quality.

**Key words :** stream ; ecosystem ; Three Gorges Reservoir Area ; Donghe River ; river hierarchy