

DOI: 10.5846/stxb201712212298

陈淼, 苏晓磊, 黄慧敏, 高婷, 党成强, 董蓉, 曾波, 陶建平. 三峡库区河流生境质量评价. 生态学报, 2019, 39(1): - .

Chen M, Su X L, Huang H M, Gao T, Dang C Q, Dong R, Zeng B, Tao J P. Assessment of river habitat quality in the Three Gorges Reservoir region. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(1): - .

三峡库区河流生境质量评价

陈 淼, 苏晓磊, 黄慧敏, 高 婷, 党成强, 董 蓉, 曾 波, 陶建平*

三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆市三峡库区植物生态与资源重点实验室, 西南大学生命科学学院, 重庆 400715

摘要: 三峡水库建成蓄水后, 库区流水生境的大幅度减少及垂直落差最高可达 30 m 的消落带的形成, 使库区支流生境发生了剧烈变化, 因此对库区河流生境质量评价十分必要。基于水文情势、河流形态和河岸带生境 3 个方面 18 个指标的河流生境评价指标体系, 对三峡库区 36 条重要支流 254 个样点河段进行河流生境质量评价。结果表明, 4.72% 的样点河流生境质量处于优等, 30.31% 为良好等级, 49.61% 为一般等级, 15.35% 为较差等级, 没有最差等级的样点。对于表征河流生境状况的水文情势、河流形态和河岸带生境 3 个类别, 254 个河段总体上河岸带生境状况最好, 其次为水文情势, 河流形态最差。从总体上来看, 三峡库区支流生境质量是自然环境和人类活动相互作用的结果, 其中河岸带植被状况、消落带宽度、人为干扰、河床底质状况、水文情势自然性等为主要的驱动因子。

关键词: 三峡水库; 库区支流; 生境质量评价; 主成分分析

Assessment of river habitat quality in the Three Gorges Reservoir region

CHEN Miao, SU Xiaolei, HUANG Huimin, GAO Ting, DANG Chengqiang, DONG Rong, ZENG Bo, TAO Jianping*

Key Laboratory of Eco-environment in the Three Gorges Reservoir Region of the Ministry of Education, Chongqing Key Laboratory of Plant Ecology and Resources Research in the Three Gorges Reservoir Region, College of Life Science, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: After the completion of the Three Gorges Reservoir, tributaries of the reservoir habitat changed dramatically because of the greatly reduced flow of water and formation of a 30 m deep water-level fluctuation zone, so it is very necessary to evaluate reservoir river habitat quality. Based on the river habitat assessment index system, including 18 indicators that relate to river hydrology, river morphology, and riparian habitat, we evaluated the quality of the river habitat at 254 sampling points in the 36 important tributaries of the Three Gorges Reservoir area. The quality of the habitat scored within the range of “excellent” at 4.72 percent of the sampling sites and 30.31 percent received a score within the range of “very good.” On the other hand, 49.61 percent received a score within the range of “average,” while the remaining 15.35 percent received a score of “poor.” There was no site within this catchment that received a score of “very poor.” For the river habitat conditions, the riparian zone was the best out of the whole 254 sites, followed by the hydrological regime, and the river morphology was the worst. Overall, the habitat quality of tributaries of the Three Gorges Reservoir is due to the interaction between the natural environment and human interaction, and the riparian vegetation condition, riparian zone width, human disturbance, riverbed sediment conditions, and hydrological nature are the main driving factors.

Key Words: Three Gorges Reservoir Region; rivers in reservoir area; habitat assessment; Principal component analysis

基金项目: 国务院三峡办三峡后续工作库区生态与生物多样性保护专项项目 (5000002013BB5200002-1)

收稿日期: 2017-12-21; 网络出版日期: 2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: taojp@swu.edu.cn

随着人类对河流的开发利用,大型水利设施的建设导致河流水文情势、流水生态系统结构和过程发生改变,甚至影响全球的环境变化^[1]。三峡库区的长江干流具有众多支流汇入,这些支流成为三峡水库水资源的重要组成部分,并且对三峡水库水环境和水生生态系统有重要影响。三峡水库建成后,长江干流以及汇入长江的支流的下游河段均被淹没,使三峡水库修建前长江干流和支流的湍急流水环境被改变,河流生境从典型的流水型水体转变为相对静止的湖泊水体,流水生境的大幅度减少使该区段内支流水生生态系统也发生了巨大变化。由于三峡库区的特殊性,水库库尾以上干流,特别是库区支流生境质量对库区水环境质量和水生生态系统健康的影响甚大。在这种新的特殊情况下,三峡库区支流生境是否完好,支流生境质量的驱动因子是什么目前并不清楚。因此,对三峡库区支流生境质量进行评价十分必要。

最早的有关河流生境的评价方法出现于 20 世纪 80 年代,提出的方法主要是对河流物理生境的定性描述,直到 2000 年欧盟水框架指令(Water Framework Directive, WFD)^[2]发布以后,各种河流生境评价方法才大量涌现^[3-25]。目前使用较为广泛的评价方法包括美国快速生物监测协议(Rapid Bio-assessment Protocols, RBPs)^[9]、英国河流生境调查(River Habitat Survey, RHS)^[4-5]、澳大利亚河流状况指数(Index of Stream Condition, ISC)^[7]、西班牙水文地貌指标(Hydro Geomorphologic Index, IHG)^[10]等。目前国内外的众多河流生境评价方法多用于自然状态下河流生境评价^[3],其方法和评价体系并不完全适合大型水库影响下的河流生境评价,特别是有不同形式消落区存在的支流生境评价。在这种情况下,我们改进形成了新的评价体系和方法^[26],主要增加了能反应库区河流水文情势及消落带特点的指标,使用建立的新体系和方法,对三峡库区 3 条重要支流东溪河、黄金河、汝溪河进行评价,认为该评价指标体系适合库区支流河流生境状况的特殊性,并且具有较强的科学性和可操作性^[26]。本研究中,我们将调查的河流数量扩展到 36 条(包括前期的 3 条河流),调查样点扩展到 254 个,进一步对方法和体系进行检验,并对评价结果进行生境指标得分状况分析、河流生境质量驱动因子分析。本研究的目的是二,一是使用大量的河流生境调查数据,分析新方法在生境指标得分状况、生境质量驱动因子等方面的有效性,进一步检验评价指标体系和方法在大型水库库区河流生境评价中的适用性;二是期望能全面合理地评估三峡库区的河流生境质量,寻找影响库区河流生境质量的驱动因子,为三峡库区河流生境恢复及管理提供指导和帮助。

1 研究区域概况

1.1 研究区域

三峡库区是被三峡大坝蓄水所淹没的地区,库区流域面积达 100 万 km²,属中亚热带湿润季风气候,年平均气温 17—19℃^[27]。长江干流自西向东横穿三峡库区段,全长 683.8 km,北有嘉陵江、南有乌江汇入,形成不对称的、向心的网状水系。本研究对三峡库区位于江津-长寿段的 11 条长江一级支流,涪陵-巫山段的 22 条长江一级支流,湖北境内的 3 条长江一级支流开展生境状况调查与评估工作(图 1)。

1.2 数据收集

本研究对三峡库区 36 条重要支流进行调查与评价,三峡库区支流由于受到三峡大坝蓄水的影响,库区支流形成了 3 种不同水文类型的河段:完全受水库蓄水影响的河段(145 m 回水段),既受蓄水影响又受自然洪汛影响的河段(145—175 m 回水段)以及不受蓄水影响的自然河段(大于 175 m 的自然河流段)。研究区域内共设置样点断面 254 个,145 m 回水段、145—175 m 回水段及大于 175 m 的自然河流段均设有样点,并于 2015 年 6 月—10 月、2016 年 8 月—9 月进行野外调查。数据均通过野外调查获得,调查时间避开蓄水期及洪水期,在平水期进行。通过实地考察、采访当地群众,确定 145 m 及 175 m 回水区位置。每个样点以 500 m 的河段为调查单位,从下游往上游步行,调查、测量和记录河流水文、河流形态、河岸带生境的各个指标;同时使用 GPS 记录每个样点经纬度坐标并拍摄照片^[28]。

1.3 统计分析

研究中调查数据处理与统计分析,均采用 SPSS 22.0 和 Microsoft Office Excel 2013 软件完成。使用 Excel

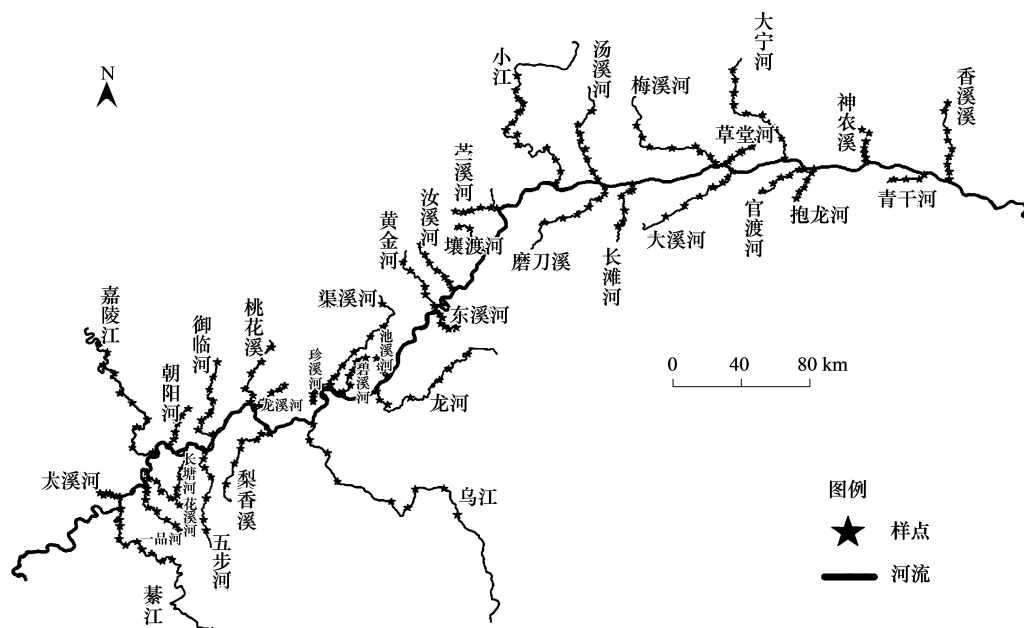


图 1 研究区样点分布图

Fig.1 Distributions of sampling sites in three gorges reservoir region

进行河流生境质量指数(index of stream habitat quality, 简称 ISHQ) 计算。主成分分析^[29]和因子分析都适用于将多个相关变量简化为少数几个综合指标的多元统计分析方法, 都可以在尽量保留变量信息的基础上降低变量维数。因子分析可以看作是主成分分析法的扩展, 其通过因子旋转, 对因子载荷座进一步简化, 使得各公因子具有明确的实际意义。利用主成分分析方法(PCA)确定评价指标对河流生境质量的贡献率, 找出影响河段生境质量的驱动因子。利用 Origin 9.0 软件作图。

2 研究方法

参考三峡水库河流生境评价指标体系构建及应用^[26]中的评价方法, 对三峡库区河流生境进行调查与评价。评价指标体系设置了目标层、准则层及指标层 3 个层次, 以河流生境评价为目标层, 以水文情势、河流形态、河岸带生境为准则层, 以各准则层的分类特性和特征为指标层。水文情势包含 5 个指标, 分别为水文情势自然性、流速流态状况、表观水质、水量、湿润率; 河流形态包含 4 个指标, 分别为人为影响长度、河床底质种类数量、底质受泥沙覆盖率、表层覆盖物状况; 河岸带生境包含 9 个指标, 分别为河岸类型、河岸侵蚀程度、河岸坡度、河岸带宽度、河岸带土壤厚度、植被覆盖率、植被连续性、植被结构完整性、岸边带土地利用方式。

多指标综合评价中各评价指标权重分配不同会直接导致评价对象优劣顺序的改变, 因而权重的合理性、准确性直接影响评价结果的可靠性^[30]。本研究使用层次分析法和熵值法分别计算指标体系的权重, 然后通过组合赋权法^[31-35]确定最终权重。评价指标、权重及各指标评价标准见表 1^[26]。

具体评分方法为: 利用加权平均法对二级指标(即指标层)得分进行计算, 所得结果作为一级指标(即准则层)的得分, 利用加权平均法对一级指标得分进行计算, 得到河流生境质量指数(index of stream habitat quality, 简称 ISHQ) 总得分, 为便于区分样点间得分的差异, 将总得分乘以 10^[26]。河流生境质量分级标准参考 An^[36]及郑丙辉^[12]等人根据我国的实际情况进行数值分布比率的调整, 将河流等级分为优等、良好、一般、较差、差 5 个等级^[26](表 2)。

表 1 河流生境评价标准、权重及评价标准 [26]

Table 1 Indicators, weight and their criteria for assessment of river habitat quality									
目标层 Objective level	准则层 Normal level	权重 Weight	评价指标 Assessing indicator	权重 Weight	评分标准 Scoring criteria				
河流生境评价 River habitat assessment (A)	水文情势 (B1)	0.3019	水文情势自然性 (C11)	0.3024	有水文节律的改变,但是季节节律仍保持其很好的特性	有水文节律的改变,但是对季节节律仅有稍微明显的改变	在某个时期有流量的明显改变,意味着季节节律的倒置	有一个非常重要的流量改变,其扭转了季节节律或产生了一个恒定的环境流量	
			流速流态状况 (C12)	0.3105	有 4 种及以上流态类型,流速流态变化很大,有较多的流速缓急不同的区域	有 2 种流态类型,不同断面流速流态变化一般	流速缓慢,各断面流速无变化	水体基本不流动	
			表观水质 (C13)	0.1198	清澈透明、无异味	轻微浑浊、少量异味	比较浑浊、较大异味	很浑浊、很大异味	极端浑浊、恶臭味
			水量 (C14)	0.1381	水位达到两岸,仅有少量底质裸露	水覆盖 75%, <25% 底质裸露	水覆盖 75%, <50% 底质裸露	水覆盖 25%, 浅滩大部分裸露	水量很少,几乎全部裸露
			湿润率 (C15)	0.1292	0.8—1	0.6—0.8	0.4—0.6	0.2—0.4	0—0.2
	河流形态 (B2)	0.4619	人为影响长度 (C21)	0.1819	<50 m	50—100 m	100—200 m	200—300 m	>300 m
			河床底质种类数量 (C22)	0.2703	>4	4	3	2	1
			底质受泥沙覆盖率 (C23)	0.2480	<20%	20%—40%	40%—60%	60%—80%	80%—100%
			表层覆盖物 (C24)	0.2999	覆盖物种类超过 3 种,覆盖面积比例>20%	3 种覆盖物、覆盖面积 10%—20%	2 种覆盖物、覆盖面积 0—10%	1 种覆盖物,覆盖面积 <5%	无覆盖
			河岸类型 (C31)	0.0870	自然原型	近自然型	抛石/土堤挡墙/混凝土栅格植被	堆石/浆砌石块/干砌石块	混凝土固化
	河岸带生境 (B3)	0.2362	河岸侵蚀程度 (C32)	0.0692	无侵蚀	仅在弯曲或狭窄的地方有侵蚀	坡脚侵蚀频繁	岸坡侵蚀严重	河岸坍塌
			河岸坡度 (C33)	0.0839	0—15	15—30	30—45	45—60	60—90
			河岸带宽度 (C34)	0.2268	>河宽 1 倍	河宽 0.5—1 倍	河宽 0.25—0.5 倍	河宽 0.1—0.25 倍	河宽 0—0.1 倍
			河岸带土壤厚度 (C35)	0.0812	>100 cm	30—100 cm	10—30 cm	<10 cm	无土壤
			植被覆盖率 (C36)	0.1359	>75%	50%—75%	25%—50%	5%—25%	0—5%
	岸带土地利用方式 (C39)	0.1400	植被连续性 (C37)	0.0777	连续均匀分布	半连续分布	丛块分布	单独零散分布	无植被
			植被结构完整性 (C38)	0.0983	乔灌木繁茂	任意一种或两种繁茂	任意两种稀疏	只有一种稀疏	无植被
			岸边带土地		不受干扰的林地、灌丛、草地、自然湿地,有少量农作物	耕地与林地、灌丛、草地、自然湿地交错	耕地/果园	裸地/城镇/公园	
			利用方式						
			(C39)						
赋予分值 Score				5	4	3	2	1	

表 2 河流生境质量分级标准^[26]
Table 2 Classification criteria of stream habitat quality

河流生境质量分级 Class of stream habitat quality	频数分布/% Frequency distribution	分级标准 Classification criteria
优等 Excellent	<25	>37.5
良好 Good	25—40	30<ISHQ≤37.5
一般 Fair	40—55	22.5<ISHQ≤30
较差 Poor	55—70	15<ISHQ≤22.5
最差 Very poor	>70	≤15

ISHQ 表示河流生境质量指数(index of stream habitat quality,简称 ISHQ)

3 结果与分析

3.1 库区河流生境现状

三峡库区 254 个样点的河流生境指数分值介于 17.1—40.9 之间。根据上述生境质量分级标准对样点进行生境质量分级显示,在库区 254 个样点中有 12 个样点的生境质量处于优等等级,占 4.72%;77 个样点为良好等级,占 30.31%;126 个样点为一般等级,占 49.61%;39 个样点为较差等级,占 15.35%;没有最差等级的样点(表 3)。

表 3 河流生境质量评价结果分析
Table 3 Analysis of assessment of river habitat quality in the three gorges reservoir region

河流生境质量分级 Class of stream habitat quality	样点个数 Number of sample points	所占比例/% Proportion	分值范围 Score range
优等 Excellent	12	4.72	37.6—40.9
良好 Good	77	30.31	30.2—37.3
一般 Fair	126	49.61	22.6—30.0
较差 Poor	39	15.35	17.1—22.5
最差 Very poor	0	0	—

分析发现,河流生境质量分级为优等的 12 个样点中,11 个位于大于 175 m 的自然河流段,还有 1 个位于 145—175 m 回水段,这些样点平均水深较浅,河床底质种类数量多,流态类型多样,且自然植被覆盖率高,人为干扰较少。河流生境质量分级为较差的 39 个样点中,其中 26 个位于 145 m 回水段,其共同特征是均位于河流下游,完全受水库蓄水影响,河面加宽,流速缓慢,流态类型单一,河床底质多为细沙或淤泥,无表层覆盖物;5 个位于 145—175 m 回水段的样点,均为城市繁华地带;8 个位于大于 175 m 的自然河流段的样点,虽然不受三峡大坝蓄水的影响,但都受到当地其他水库蓄水或拦水坝的影响,所有样点均呈现出流速缓慢甚至不流动,流态类型单一,河床底质多为细沙或淤泥,表观水质较差,河流两岸堆有垃圾,河岸带土地利用方式多为耕地。

3.2 河流生境指标得分状况分析

一级指标(即准则层)评分利用加权平均法对二级指标(即指标层)得分进行计算,所得结果作为一级指标的得分(图 2)。结果表明,对于表征河流生境状况的水文情势、河流形态和河岸带生境 3 个类别,由图 2 中阴影部分覆盖面积占雷达图中的比例,254 个河段总体上河岸带生境状况最好,其次为水文情势,河流形态最差。

库区支流生境指标按照质量由好到差分为 5 个等级,若不考虑各指标对库区支流生境的重要程度,仅从指标本身出发,则可根据 254 个河段各指标的中位数作为该指标的得分来确定其健康状况(图 3)。三峡库区支流生境指标得分显示,水量、人为影响长度、植被连续性 3 个生境指标的质量状况最好,其次为表观水质、湿润率、河岸类型、河岸坡度、植被覆盖率、植被结构完整性等 5 个生境指标,而水文情势自然性、流速流态状况、河岸带宽度 3 个指标的质量状况较差,河床底质种类数量、底质受泥沙覆盖率、表层覆盖物状况 3 个指标的质量状况最差。

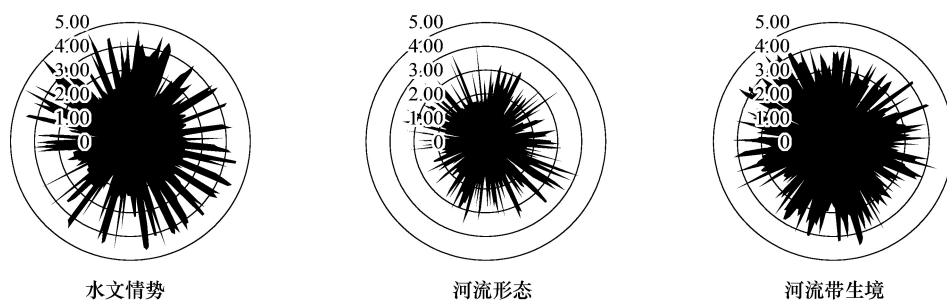


图2 各河段一级指标评价结果

Fig.2 Results of rule layer assessment

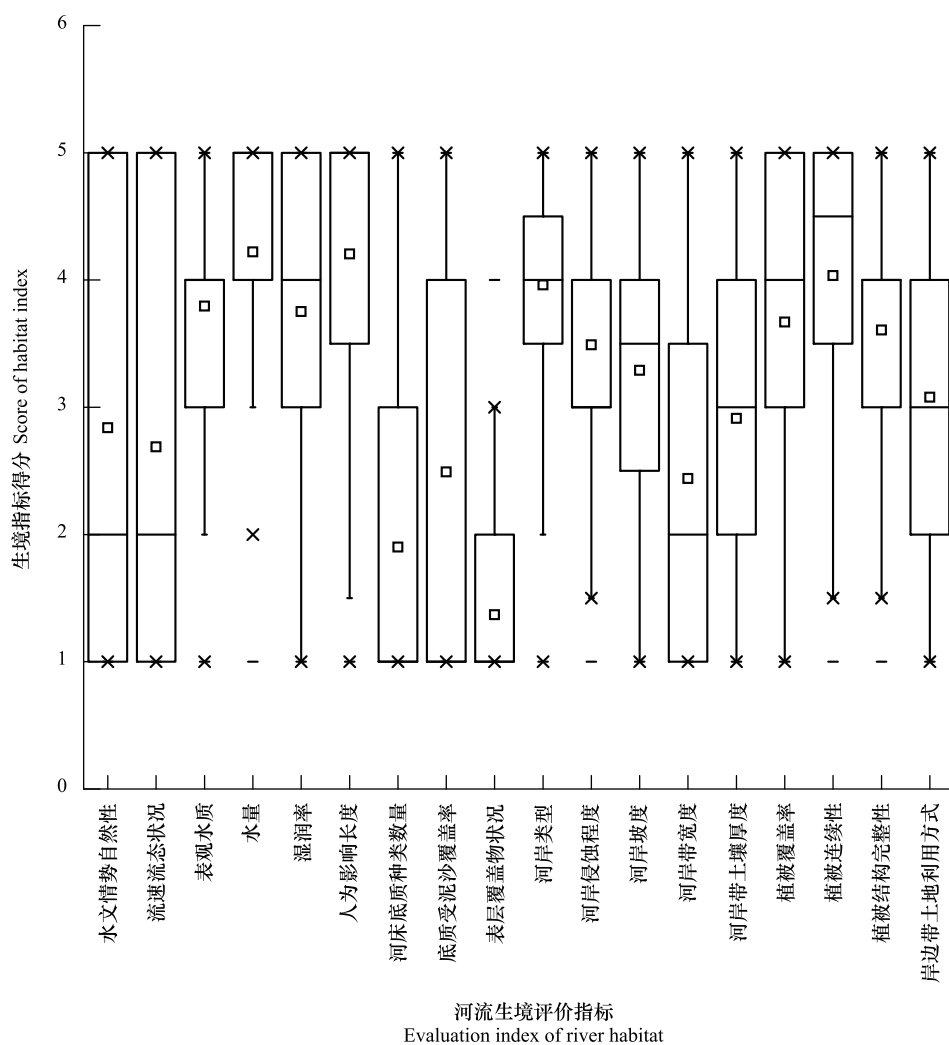


图3 生境因子得分状况

Fig.3 Scores of habitat factors

将河流生境质量达到优秀与良好的样点分为 a 组,将生境质量为一般与较差的样点分为 b 组,比较 a 组与 b 组生境参数得分。从水文情势参数得分状况来看(图 4),水文情势自然性(C11)及流速流态状况(C12)两个指标差异明显,a 组得分很高而 b 组得分很低。从河流形态参数得分状况来看(图 5),河床底质种类数量(C22)及表层覆盖物状况(C24)两个指标无论 a 组还是 b 组得分都很低,而底质受泥沙覆盖率(C23) a 组得

分较高,而 b 组得分很低。从河岸带生境参数来看(图 6),除河岸带宽度(C34)得分较低外,其他参数得分都在一般偏上,且 a 组与 b 组差别不大。

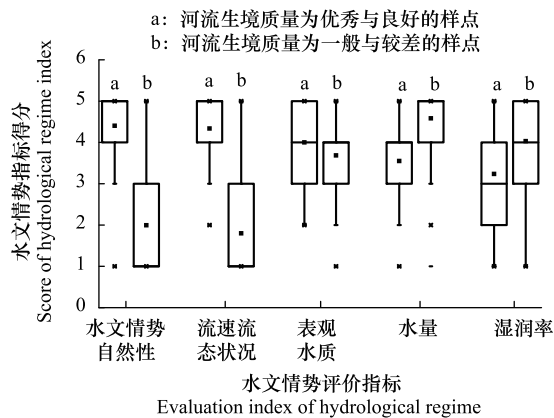


图 4 水文情势指标得分比较

Fig.4 Comparison of hydrological parameters

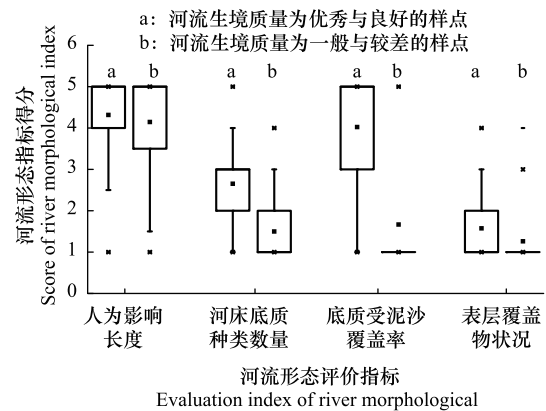


图 5 河流形态指标得分比较

Fig.5 Comparison of river morphological parameters

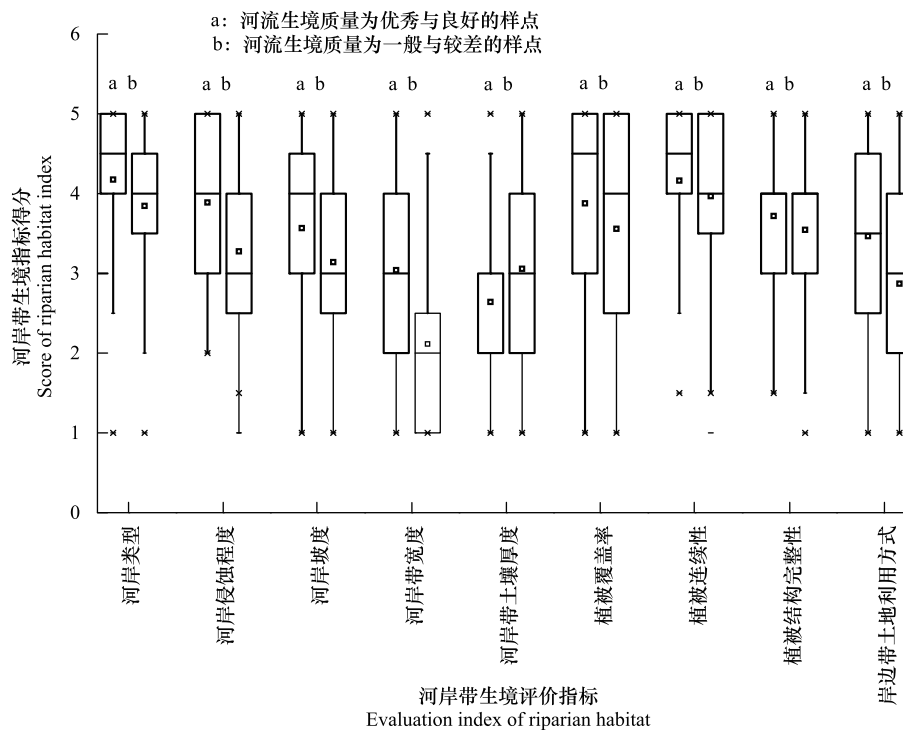


图 6 河岸带生境指标得分比较

Fig.6 Comparison of riparian habitat parameters

3.3 河流生境质量驱动因子分析

利用因子分析方法对 a 组和 b 组进行分析, a 组和 b 组均为前 6 个主成分的特征值大于 1, 为了使各个主成分具有明确的实际意义, 使用方差最大正交旋转 (Varimax) 对不同河段前 6 个主成分进行因子分析。

对 a 组旋转后的因子载荷矩阵进行分析(表 4), 与第一主成分(PC1)密切相关的指标是植被覆盖率、植被连续性、植被结构完整性; 第二主成分(PC2)在水量、湿润率、河岸带宽度上有较大载荷; 第三主成分(PC3)在表观水质、岸边带土地利用方式上有较大载荷; 第四主成分(PC4)在人为影响长度上有较大载荷; 第五主成分(PC5)在水文情势自然性上有较大载荷; 第六主成分(PC6)在底质受泥沙覆盖率上有较大载荷。

对 b 组旋转后的因子载荷矩阵进行分析(表 5),与第一主成分(PC1)密切相关的指标是植被覆盖率、植被连续性、植被结构完整性;第二主成分(PC2)在人为影响长度、河岸类型、岸边带土地利用方式上有较大载荷;第三主成分(PC3)在湿润率、河岸带宽度上有较大载荷;第四主成分(PC4)在表观水质、表层覆盖物状况上有较大载荷;第五主成分(PC5)在水文情势自然性上有较大载荷;第六主成分(PC6)在河床底质种类数量上有较大载荷。

表 4 a 组旋转后的因子载荷矩阵

Table 4 The factor loading matrix of a group after rotation

序号 Number	评价指标 Assessing indicator	主成分 Principal component					
		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
1	水文情势自然性(C11)	-0.145	-0.183	-0.176	-0.073	0.739 *	0.164
2	流速流态状况(C12)	-0.278	-0.391	-0.234	0.457	0.070	0.252
3	表观水质(C13)	-0.133	-0.085	0.758 *	-0.100	0.081	0.158
4	水量(C14)	0.310	0.716 *	-0.102	-0.181	-0.254	0.156
5	湿润率(C15)	0.171	0.846 *	-0.034	-0.076	0.076	-0.033
6	人为影响长度(C21)	0.107	0.147	0.164	0.838 *	-0.121	-0.031
7	河床底质种类数量(C22)	-0.434	0.038	0.165	-0.126	0.149	0.632
8	底质受泥沙覆盖率(C23)	-0.300	-0.119	0.024	-0.216	0.026	-0.761 *
9	表层覆盖物状况(C24)	-0.007	-0.252	-0.203	0.541	0.083	0.154
10	河岸类型(C31)	0.306	-0.056	0.421	0.587	0.259	-0.114
11	河岸侵蚀程度(C32)	0.440	0.139	0.110	0.113	0.679	-0.042
12	河岸坡度(C33)	0.090	0.197	-0.632	0.034	0.269	0.055
13	河岸带宽度(C34)	0.146	-0.868 *	0.123	-0.111	0.039	-0.076
14	河岸带土壤厚度(C35)	0.322	0.427	-0.129	-0.186	-0.458	0.249
15	植被覆盖率(C36)	0.923 *	0.132	-0.022	0.002	0.006	0.037
16	植被连续性(C37)	0.943 *	0.138	-0.037	0.015	0.049	0.041
17	植被结构完整性(C38)	0.857 *	0.026	-0.071	0.112	-0.029	-0.022
18	岸边带土地利用方式(C39)	0.038	0.045	0.775 *	0.157	0.041	-0.033

* 表示生境因子的载荷矩阵大于 0.7

表 5 b 组旋转后的因子载荷矩阵

Table 5 The factor loading matrix of b group after rotation

序号 Number	评价指标 Assessing indicator	主成分 Principal component					
		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
1	水文情势自然性(C11)	-0.044	-0.183	0.007	-0.045	0.773 *	0.180
2	流速流态状况(C12)	-0.110	-0.290	0.453	0.030	0.533	0.365
3	表观水质(C13)	-0.084	0.161	0.116	0.843 *	-0.048	-0.017
4	水量(C14)	0.143	0.169	-0.661	0.402	-0.209	-0.181
5	湿润率(C15)	-0.112	-0.044	-0.834 *	-0.149	0.070	-0.074
6	人为影响长度(C21)	0.231	0.842 *	0.041	-0.057	-0.197	-0.143
7	河床底质种类数量(C22)	-0.051	-0.126	-0.030	0.091	0.104	0.883 *
8	底质受泥沙覆盖率(C23)	-0.449	-0.345	0.054	0.123	0.236	0.140
9	表层覆盖物状况(C24)	0.087	0.031	-0.017	-0.865 *	-0.037	-0.131
10	河岸类型(C31)	0.134	0.823 *	-0.047	0.041	-0.185	-0.130
11	河岸侵蚀程度(C32)	0.431	-0.054	-0.035	-0.028	0.605	-0.373
12	河岸坡度(C33)	0.626	-0.240	0.354	-0.030	0.146	0.022
13	河岸带宽度(C34)	0.121	0.086	0.849 *	0.136	-0.011	-0.235
14	河岸带土壤厚度(C35)	0.574	-0.040	0.102	-0.251	-0.347	0.193
15	植被覆盖率(C36)	0.877 *	0.199	0.057	0.065	0.135	-0.119
16	植被连续性(C37)	0.896 *	0.162	0.001	0.044	0.053	-0.076
17	植被结构完整性(C38)	0.850 *	-0.017	-0.061	-0.148	-0.063	-0.036
18	岸边带土地利用方式(C39)	-0.194	0.809 *	0.007	0.247	0.059	0.083

* 表示生境因子的载荷矩阵大于 0.7

除此之外,其他生境因子对库区支流生境状况也造成不同程度的影响,但从总体上来看,三峡库区支流生境质量是自然环境和人类活动相互作用的结果,其中河岸带植被状况、消落带宽度、人为干扰、河床底质状况、水文情势自然性等为主要的驱动因子。

4 讨论

三峡水库建成蓄水后,对库区河流生境的影响严重,河道及河岸带物理结构的变化必定导致栖息在河流中的生物群落组成的变化,通常导致水生生态系统的生物多样性减少^[37],而河流生境评价对于河流生态恢复具有重要作用^[38],是必不可少的环节。相比于其他河流的生境质量评价^[12-20,39],本研究所选择的河流以及调查样点较多,共调查了 36 条库区支流的 254 个样点,其中 35% 的样点生境质量处于优等或良好等级,50% 为一般等级,约 15% 为较差等级,没有最差等级的样点,相比之下,虽然三峡库区支流生境受库区蓄水影响严重,但生境质量整体状况较好。

三峡水库建成后,长江干流以及汇入长江的支流的下游河段均被淹没,而且根据三峡水库的运行调度方法,库区的回水区域呈现出与建库前相反的反季节水位涨落的特点,水位涨落的库岸消落区每年要经历长时间、大深度的水淹,水淹深度最大可达 30 m,水淹时间最长可达 9 个月^[26]。对这种特殊情况下的库区支流进行河流生境质量调查与评价发现,生境质量为优等和良好的河段多位于库区支流上游,受库区蓄水影响较小甚至不受库区蓄水影响,这些样点的共同特征是平均水深较浅,河床底质种类数量多,流态类型多样,且自然植被覆盖率高,植被结构完整,人为干扰较少;完全受库区蓄水影响的 145 m 回水河段共调查了 64 个样点,其中 38 个样点的生境质量等级为一般,26 个样点的生境质量等级为较差,没有优秀、良好、较差等级的样点,这些样点的共同特征是位于河流下游,完全受水库蓄水影响,河面加宽,流速缓慢,流态类型单一,河床底质多为细沙或淤泥,河流表层生境单一,无多样化的生境存在。

经分析发现,河岸带植被状况、消落带宽度、人为干扰、河床底质状况、水文情势自然性等为主要的驱动因子。三峡库区支流与自然河流很大的区别就在于河流水文情势的改变,水文情势自然性发生改变以后,其他生境因子随之发生改变。从入江口至 175 m 回水区,在水文情势自然性上有一个非常重要的流量改变,在这一河段,消落带植被多为耐水淹的草本植物,库区蓄水形成的消落带宽度却靠近上游越小,河床底质状况也因流速不同而表现出不同的状况,越靠近下游,流速越慢而导致泥沙沉积,越靠近上游,流速越快,将泥沙等颗粒物等带往下游,河床底质越多样。在不受库区蓄水影响的自然河流段,河岸带植被覆盖率及连续性高,植被结构相对完整,河床底质呈现出多样化,沙、淤泥、卵石、砾石、大石均有出现。人为干扰主要表现在河道取直及混凝土加固、人工采沙、修建水库或拦水坝,人工采沙行为会引起水位的降低、流量的重新分配及其他水文情况的改变,并可能破坏地表水与地下水的补给平衡,也会对水生生物觅食场所、栖息地、繁殖场所等生活环境造成影响;河道中因建有水库或其他原因设置拦水坝会造成河流流量的减少、鱼类等生物迁徙及水流与营养物质传递受阻,并会改变河流原有水生生物群落及水生生态系统的结构和功能,拦水坝存在不单单影响设置拦水坝的具体河流断面,而且会影响整个河流的连通性。

5 结论

三峡库区 254 个样点的河流生境指数分值介于 17.1—40.9 之间,其中有 12 个样点的生境质量处于优等等级,占 4.72%;77 个样点为良好等级,占 30.31%;127 个样点为一般等级,占 49.61%;38 个样点为较差等级,占 15.35%;没有最差等级的样点。

对于表征河流生境状况的水文情势、河流形态和河岸带生境 3 个类别,254 个河段总体上河岸带生境最好,其次为水文情势,河流形态最差。从总体上来看,三峡库区支流生境质量是自然环境和人类活动相互作用的结果,其中河岸带植被状况、消落带宽度、人为干扰、河床底质状况、水文情势自然性等为主要的驱动因子。

参考文献 (References):

- [1] Nilsson C, Berggren K. Alterations of riparian ecosystems caused by river regulation. *Bioscience*, 2000, 50(9): 783-792.
- [2] 石秋池. 欧盟水框架指令及其执行情况. *中国水利*, 2005, (22): 65-66, 52-52.
- [3] Belletti B, Rinaldi M, Buijse A D, Gurnell A M, Mosselman E. A review of assessment methods for river hydromorphology. *Environmental Earth Sciences*, 2015, 73(5): 2079-2100.
- [4] Szożkiewicz K, Buffagni A, Davy-Bowker J, Lesny J, Chojnicki B H, Zbierska J, Staniszewski R, Zgola T. Occurrence and variability of River Habitat Survey features across Europe and the consequences for data collection and evaluation. *Hydrobiologia*, 2006, 566(1): 267-280.
- [5] 王强. 山地河流生境对河流生物多样性的影响研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2011.
- [6] Ecot J R, Dice J L, Celeste L A A, Podico R R, Tayong L M P, Abdon S A P, Olegario S P, Sabid J, Ferrer C J, Bigsang R T, Abalunan A J F, Jumawan J H. Riparian zone analysis using riparian, channel and environmental (RCE) inventory and water testing analysis in Lun Padidu river, Lun Padidu, Malapatan, Sarangani Province, Philippines. *AES Bioflux*, 2014, 6(3): 276-283.
- [7] Ladson A R, White L J, Doolan J A, Finlayson B L, Hart B T, Lake P S, Tilleard J W. Development and testing of an index of stream condition for waterway management in Australia. *Freshwater Biology*, 1999, 41(2): 453-468.
- [8] Brierley G J, Cohen T, Fryirs K, Brooks A. Post-European changes to the fluvial geomorphology of Bega catchment, Australia: implications for river ecology. *Freshwater Biology*, 1999, 41(4): 839-848.
- [9] Barbour M T, Gerritsen J, Snyder B D, Stribling J B. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish. 2nd ed. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 1999.
- [10] Ollero A, Ibasate A, Gonzalo L E, Acín V, Ballarín D, Díaz E, Domenech S, Gimeno M, Granado D, Horacio J, Mora D, Sánchez M. The IHG index for hydromorphological quality assessment of rivers and streams: updated version. *Limnetica*, 2011, 30(2): 255-262.
- [11] Ortiz B J, Fernández D P, Álvarez-Cabria M, Peñas F. Riparian quality and habitat heterogeneity assessment in Cantabrian rivers. *Limnetica*, 2011, 30(2): 329-346.
- [12] 郑丙辉, 张远, 李英博. 辽河流域河流栖息地评价指标与评价方法研究. *环境科学学报*, 2007, 27(6): 928-936.
- [13] 夏继红, 严忠民, 蒋传丰. 河岸带生态系统综合评价指标体系研究. *水科学进展*, 2005, 16(3): 345-348.
- [14] 娄会品, 高甲荣, 陈子珊. 北京郊区河岸带自然性评价指标体系. *水土保持通报*, 2010, 30(1): 161-165.
- [15] 王强, 袁兴中, 刘红, 庞旭, 王志坚, 张耀光. 基于河流生境调查的东河河流生境评价. *生态学报*, 2014, 34(6): 1548-1558.
- [16] 汪冬冬, 杨凯, 车越, 吕永鹏. 河段尺度的上海苏州河河岸带综合评价. *生态学报*, 2010, 30(13): 3501-3510.
- [17] 邓晓军, 许有鹏, 翟禄新, 刘娅, 李艺. 城市河流健康评价指标体系构建及其应用. *生态学报*, 2014, 34(4): 993-1001.
- [18] 赵彦伟, 杨志峰. 城市河流生态系统健康评价初探. *水科学进展*, 2005, 16(3): 349-355.
- [19] 刘华, 蔡颖, 於梦秋, 龚蕾婷, 安树青. 太湖流域宜兴片河流生境质量评价. *生态学杂志*, 2012, 31(5): 1288-1295.
- [20] 朱卫红, 曹光兰, 李莹, 徐万玲, 史敏, 秦雷. 图们江流域河流生态系统健康评价. *生态学报*, 2014, 34(14): 3969-3977.
- [21] 刘跃晨, 袁兴中, 王云. 三峡库区重庆段水质安全综合评价研究. *人民长江*, 2014, 45(18): 10-14.
- [22] 况琪军, 胡征宇, 周广杰, 叶麟, 蔡庆华. 香溪河流域浮游植物调查与水质评价. *武汉植物学研究*, 2004, 22(6): 507-513.
- [23] 王欢, 韩霜, 邓红兵, 肖寒, 吴钢. 香溪河河流生态系统服务功能评价. *生态学报*, 2006, 26(9): 2971-2978.
- [24] 李月臣, 刘春霞, 闵婕, 王才军, 张虹, 汪洋. 三峡库区生态系统服务功能重要性评价. *生态学报*, 2013, 33(1): 168-178.
- [25] 刘强, 李晔, 马啸, 郑方钊, 王涌泉. 香溪河流域生态治理效益综合评价. *中国水土保持*, 2012, (6): 57-58.
- [26] 陈森, 苏晓磊, 党成强, 高婷, 黄慧敏, 董蓉, 陶建平. 三峡水库河流生境评价指标体系构建及应用. *生态学报*, 2017, 37(24): 8433-8444.
- [27] 马骏, 李昌晓, 魏虹, 马朋, 杨予静, 任庆水, 张雯. 三峡库区生态脆弱性评价. *生态学报*, 2015, 35(21): 7117-7129.
- [28] 陈森, 苏晓磊, 黄慧敏, 党成强, 高婷, 曾波, 陶建平. 三峡库区支流生境因子对库区蓄水的响应. *生态学报*, 2018, 38(4): 1478-1486.
- [29] Shine J P, Ika R V, Ford T E. Multivariate statistical examination of spatial and temporal patterns of heavy metal contamination in new Bedford Harbor marine sediments. *Environment Science & Technology*, 1995, 29(7): 1781-1788.
- [30] 杨宇. 多指标综合评价中赋权方法评析. *统计与决策*, 2006, (13): 17-19.
- [31] 郑志宏, 魏明华. 基于组合赋权的河流健康模糊评价研究. *水利水电技术*, 2013, 44(2): 28-31.
- [32] 山成菊, 董增川, 樊孔明, 杨江浩, 刘晨, 方庆. 组合赋权法在河流健康评价权重计算中的应用. *河海大学学报: 自然科学版*, 2012, 40(6): 622-628.
- [33] 宋光兴, 杨德礼. 基于决策者偏好及赋权法一致性的组合赋权法. *系统工程与电子技术*, 2004, 26(9): 1226-1230, 1290-1290.
- [34] 李俊玲. 河流健康评价指标体系及权重模型研究[D]. 南京: 河海大学, 2008.
- [35] 陈加良. 基于博弈论的组合赋权评价方法研究. *福建电脑*, 2003, (9): 15-16.
- [36] An K G, Park S S, Shin J Y. An evaluation of a river health using the index of biological integrity along with relations to chemical and habitat conditions. *Environment International: A Journal of Environmental Science, Risk and Health*, 2002, 28(5): 411-420.
- [37] Maddock I. The importance of physical habitat assessment for evaluating river health. *Freshwater Biology*, 1999, 41(2): 373-391.
- [38] 赵进勇, 董哲仁, 孙东亚. 河流生物栖息地评估研究进展. *科技导报*, 2008, 26(17): 82-88.
- [39] 王建华, 田景汉, 吕宪国. 挠力河流域河流生境质量评价. *生态学报*, 2010, 30(2): 481-486.