

# 基于生态交错带理论的生态环境潜在容量评估和预警研究\*

## ——以重庆三峡库区为例

张梦婕<sup>1</sup>, 官冬杰<sup>1\*</sup>, 苏维词<sup>2,3</sup>

(1. 重庆交通大学 河海学院, 重庆 400074; 2. 重庆师范大学 地理与旅游学院, 重庆 401331;

3. 贵州科学院 山地资源研究所, 贵阳 550001)

**摘要:**生态交错带是指两种不同类型的生态系统交界过渡的区域。基于生态交错带理论对重庆三峡库区的生态脆弱性状况进行了分析,并在此基础上运用道夫尼尔和地球环境的潜在指数M,计算人对地理环境的影响,评估土地类型和环境污染状态。通过对生态环境潜在容量指数E的修正评估了库区22个区县的生态环境潜在容量,并在此基础上做出预警研究,将其划分为急警、重警、中警、轻警和无警等5种类型。最终得出重庆三峡库区生态环境状况两极化现象比较严重,发展不平衡,有些地区生态破坏较为严重,因此需要采取相应的对策进行优化发展。

**关键词:**生态交错带;消落区;潜在容量;预警;重庆三峡库区

**中图分类号:**X171.1

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-6693(2015)04-0054-07

生态交错带,也称作生态过渡带,是两种或两种以上不同生态系统的交界过渡区域。在普通生态学中提出,如果生态系统中两种或两种以上不同结构体系、物质条件、功能结构、能量状况之间所形成的“过渡面”,以及使该过渡面向外不断扩展的“过渡带”的空间区域,即为生态过渡带或生态交错区。生态交错带有点、线、带3种不同的表现方式。从宏观的层面区观察城乡过渡带、农牧过渡带、干湿过渡带、水陆过渡带、森林边缘区和沙漠边缘区等都是生态交错带,通常也就是生态环境状况比较脆弱的地区<sup>[1-2]</sup>。这个交错区域与其他地域的区别在于它的生态环境状况与跟它相邻的两个不同种类的生态系统的核心区域有着很明显的差别。在生态交错区域内,生态系统的稳定性很差,生态环境的变化对其中因素的作用也较大,因此交错带中经常发生环境退化状况;另外,因为生态交错带的自我恢复能力差,如果受到影响,生态修复会需要更长的时间。1987年在巴黎SCOPE会议上,将生态交错带定义确定为“由临近生态系统相互影响的时间、空间和强度所确定的临近生态系统之间的过渡带”<sup>[3-5]</sup>,这个定义是当前比较认可的。一般认为生态交错带有7个基本属性<sup>[3,6-7]</sup>:1)高物种多样性。由于生物多样性损失的不断加重以及人们环保意识的逐渐加强,生物多样性特点在生态带过渡带中受到越来越高的关注度。2)特有物种丰富。这是普遍认为交错带的根本特征之一,但这并不是说每个交错带都有特有物种。3)大量的外来物种。生态交错带具有较高的外来物种比例,很多论文报道了外来物种入侵生态交错带。4)频繁的物质转换。生态交错带物质转换的特征突出表现在湿地交错带与河岸生态交错带中,还有主要化学要素N、C、S和P在生态过渡带的迁移、转化与输入输出过程或其特性。5)敏感的时空动态性。生态过渡带的时空动态性体现在群落构成及其形成过程、生活史对策以及土壤理化性质的变化等,包含交错区面积的变化,而且还可能受到人类干扰和气候影响。6)结构的异质性。生态过渡带的空间异质性表示指群落结构及组成具有较为明显的镶嵌性,即由于临近群落或者生态系统的边缘效应的影响,或者许多斑块生境的存在,使区域出现了多种群落共存的现象。7)生态脆弱性。生态过渡带的脆弱性表示受多种因素干扰的生境具有敏感性,一旦生态系统遭到破坏其恢复难度将加大,所以有人认为这种过渡带也可以称之为脆弱带。生态过渡带的脆弱性突出表现在荒漠绿洲过渡区、农牧过渡区等人地矛盾尖锐区。作为生态环境波动最显著的区域,如今生态过渡带已经作为生态保

\* 收稿日期:2014-04-10 修回日期:2015-02-15 网络出版时间:2015-5-15 10:55

资助项目:国家自然科学基金(No. 41201546; No. 41261038);重庆市自然科学基金(No. cstc2012jjA20010);国家十二五科技支撑计划专题(No. 2011BAC02B02);国家十二五科技支撑计划项目(No. 2012BAJ25B09);贵州省重大科技专项(黔科合重大专项字〔2012〕6015号)

作者简介:张梦婕,女,研究方向为三峡库区生态安全,E-mail:1074241890@qq.com;通信作者:官冬杰,教授,E-mail:juandongjie\_2000@163.com

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.n.20150515.1055.003.html>

护的重点地区。

通过生态交错带理论来分析三峡库区重庆段的生态环境状况可以看出,各种生态系统过渡带的脆弱性表现尤其明显。重庆三峡库区具有丰富的矿物和动植物资源,正处在社会经济发展的重要阶段,但是由于库区处于水陆交错带,生态环境脆弱性对区域开发造成非常突出的干扰<sup>[6,8]</sup>。受水陆交错带库区水位变化频繁、季节性淹没以及由于水位涨落变化所引起的泥沙淤积,导致库区的土壤成分、地形地貌以及水分状况发生相应的变化,可能对库区产生泥沙淤积、水体污染等环境影响问题,水位周期性涨落变化也会使该区域产生强烈的土壤侵蚀。因为水陆两种不同地貌类型的交替,使其生态系统表现出很不稳定的状态,生物群落的构成及形成也比较困难,生物多样性程度较低,所以是一种脆弱的过渡带<sup>[9-10]</sup>。该地区发展需解决的主要问题是:当前三峡库区重庆段的生态环境质量状况及导致这种状况的原因,生态环境质量和潜力的测量标准,怎样对其进行预警和政府应当采取的相关环境措施等等。基于此,本文运用生态交错带原理对重庆三峡库区的生态脆弱性状况进行了详细分析,然后通过计算生态环境潜在容量指数对该区域进行生态预警研究,以期实现库区生态环境的可持续发展。

## 1 研究区域和研究方法

### 1.1 研究区域概况

三峡库区重庆段包括重庆市和湖北省两个区域,总面积达 7.9 万 km<sup>2</sup>,总人口约为 2 937 万人。三峡库区重庆段位于长江上游下段,地理位置范围为北纬 28°28′~31°44′、东经 105°49′~110°12′之间,其覆盖的三峡库区的面积约占整个三峡库区总面积的 85.6%,占了大部分的范围。库区丘陵与中低山面积大,占 90%以上,区域内自然环境较差,水土流失严重,土地不合理利用方式和结构,使其在较小的土地面积内承载了大量的人口数量,人口密度大,特别是库区水陆交错带,由于不同物质状态的交错转换,使其出现了一个不同于陆地和水体生态环境的特殊交错带,生态环境相当脆弱。

三峡工程是我国的大型水利枢纽工程,建成后在运行过程中会出现一个落差达 30 m、面积约 348.93 km<sup>2</sup> 的消落带。消落带陆域面积大,成陆时间较长,与丰富水热资源相匹配,具有很大优势,使消落区土地生产力具有较高潜力,但同时消落区生态环境比较脆弱,属于水、陆两种生态系统的交错地区,具有环境脆弱性、周期性变化和人类活动干扰等特征。消落带处于陆地和水域环境的过渡区域,库区水位周期性变化,且属能量、物质和信息迁移与转换的活跃地带,对外界变化相当敏感,生态环境复杂,是典型的生态脆弱区。三峡工程建成后,消落区由原来的陆生生态系统转变为周期性的湿地生态系统,使原来在陆生环境适应的物种,特别是植物物种逐渐灭亡,而且原来生长在水生环境中的物种因为季节性的变化而出现在陆地,生存率降低。所以,消落区内的植物种类的数量和以前的陆域生态环境相比将大为减少,导致生态系统脆弱性更强,稳定性更低<sup>[11]</sup>。

但是,生态环境本身的脆弱性,并不是说生产力水平最低、生态环境质量最差,只是说对于抵抗外部力量干预、生态环境变化的速度、生态系统稳定性的保持,空间竞争能力及资源竞争力等方面体现出较弱的一面,而在其他方面,如许多生态系统过渡带的物种丰富、种类多样属于高生产力地区。因此,世界上许多著名的大型水利工程项目都运用这种边缘效应来把自然生态系统改造为人为设计的合理的人工生态系统,使其具有更高的区域生产力,从而全面提高三峡库区重庆段农、林、牧、副、渔的生产力和改善人类的生存环境,世界上许多大型水利工程的发达繁荣就是例证<sup>[1]</sup>。

### 1.2 研究方法

生态环境质量和潜力的度量需要综合考虑人文因素和自然因素两个方面。在现今社会生态活动中,已经无法找到没有人类足迹的生态环境,人类活动对生态环境的干扰越来越大,这种干扰假如处于一种不明智的、没有远见的或不清醒的状态,那么对生态环境的威胁将要比纯自然扰动严重许多倍。因此,对生态环境质量的测量,必须充分考虑到人类干扰对其产生的作用。1985年以色列的道夫尼尔提出,利用感应度与发展度两个指标来反映人类对与生态环境的影响,发展度指标使用城镇人口百分数来表示,而文盲百分数表示人类对缺乏自然环境知识的感应度。进一步的统计结果显示,文盲百分数和城镇人口百分数之间的关系呈负相关。为了使评价结果符合实际情况,选用  $UP$  表示城镇人口百分数,用  $DN$  表示文盲人口百分数,  $(UP + DN)/2$  的计算结果可以作为社会指标,如果计算结果的平均值低于 50,就表明生态环境比较安全;倘若高于 50,就表明其人为对自然环境的干预度已经超过了生态环境的忍耐力。长此以往,最后将导致生态环境状况逐渐恶化。所以应该采取有效对策保护自然生态环境<sup>[1]</sup>。对于自然因素的评价,牛文元提出,选取该地区内主要的地形和气候因素,从而对公式  $(UP + DN)/2$  修正<sup>[12]</sup>,最后得到“人为作用影响生态环境潜在容量指数  $M$ ”的表达式,并对世界上 37 个国家和

地区的生态环境质量进行了预警研究,但是地貌种类和气候类型这两种因子不适用于微观或小区域环境研究,用 M 指数度量显然不能表现小范围区域内的差异。因此,许学工在黄河三角洲生态环境的评估和预警研究中选用土地类型作为自然要素参与公式的订正,并充分考虑工业污染对环境的破坏作用,通过运用牛文元与道夫尼尔对生态环境容量的研究结果,得到了生态环境潜在容量指数 E 的计算公式,能够较全面地体现自然环境稳定或脆弱(易受损)的程度<sup>[1-2]</sup>。

本文综合以上研究成果提出了重庆三峡库区生态环境潜在容量并进行预警评价。由于文盲人口百分比统计较为困难,因此选用小学以下文化程度进行计算,同时对于土地类型的划分采用了海拔高度作为依据并参考许学工的环境系数进行赋值。环境污染评价区则根据三峡库区的地域特色将其分为主城区、库区核心区、库腹和库尾 4 个区域,对于各污染系数的获取本文借助重庆各区域污染物入河污染浓度<sup>[13-16]</sup>,从污染物在各污染源中的污染负荷比可知主要贡献源是畜禽养殖和农村生活污水占 94.5%;化肥流失、水土流失和农村生活污水占 98.7%;化肥流失和水土流失占 92.5%;化肥流失、水土流失和畜禽养殖占 95.6%。因此,根据库区各环境污染评价区的污染情况得出各环境评价区的污染系数。

通过以上分析,充分考虑在中小尺度地域范围内气候、地形、土壤、植被等形成的综合自然环境和人类活动对生态环境的影响,得出了重庆三峡库区生态环境潜在容量指数 E 的计算公式:

$$E = \frac{UP + DN}{2} \times \left( \sum_{i=1}^r A_i K_{\beta_i} + \sum_{j=1}^s B_j K_{\nu_j} \right),$$

式中,UP 为城市化率(表示发展程度);DN 为文盲率(表示人类对生态环境状况的感应程度); $K_{\beta}$  为土地类型指数(表示生态环境的脆弱程度); $K_{\nu}$  为污染指数(表示环境污染的程度);r 为土地类型,i 为第 i 种土地类型;s 为环境污染评估区,j 为第 j 个评估区; $A_i, B_j$  分别为各种土地类型,各个评估区面积的权重,且

$$\sum_{i=1}^r A_i = 1, \sum_{j=1}^s B_j = 1.$$

有关环境因素的分类及赋值<sup>[1,17]</sup>见表 1,表 2。

式中  $\frac{UP + DN}{2}$  数值位于 0~1 之间,而

$\left( \sum_{i=1}^r A_i K_{\beta_i} + \sum_{j=1}^s B_j K_{\nu_j} \right)$  的极大值是 2,但如果

数值大于 1,就会加重前半部分的作用程度。所以,在此处规定:如果  $E > 1$ ,则表示环境质量已达到危害程度,如果  $E > 0.5$ ,则表示生态环境质量已接近恶化;E 值越大,生态环境质量越差,环境潜在容量越小,可承受的人类活动范围也就越小<sup>[8]</sup>。

## 2 结果分析

对三峡库区重庆段所包含的 22 个区县的 UP, DN 和加权后的  $K_{\beta}, K_{\nu}$  进行调查和统计,得到以下分布曲线(图 1)。

由以上分布曲线可知,图 1a 库区各区县中城市人口百分比 UP 集中在 25%~50% 之间,个别区县达到 100%,全区城市化水平较高,属于发展较快地区;图 1b 中各区县小学以下文化程度接近正态分布,多数区县 DN 在 10%~20% 之间,说明对自然环境的反映感应度还较差;图 1c 中按各区县的土地面积加权计算后得到的土地类型指数  $K_{\beta}$  集中分布在 0.6~0.7 之间,说明中等偏差质量的土地面积分布范围广,自然环境状态比较脆弱;从图 1d 污染指数  $K_{\nu}$  的分布曲线来看,以 0.5 为轴线呈对称分布,分别集中在 0.2~0.4 和 0.6~0.8 之间,说明库区污染两极化明显,有的地区污染较为严重,有的地区则相对良好,可以看出大多数区县处于中污染或低污染状态。

表 1 环境因素  $K_{\beta}$  的分类及赋值

Tab. 1 Classification of environmental factors  $K_{\beta}$  and the assignment

土地类型	i	面积/km <sup>2</sup>	占库区面积/%	海拔高度/m	$K_{\beta}$
沿江河谷地	1	2 736	5.9	175~300	0.6
浅山丘陵区	2	9 970	22.8	300~500	0.5
低山区	3	14 850	32.09	500~800	0.2
中高山区	4	18 600	39.21	800 以上	0.4

表 2 环境因素  $K_{\nu}$  的分区及赋值

Tab. 2 Classification of environmental  $K_{\nu}$  factors and the assignment

环境污染评价区	j	面积/km <sup>2</sup>	占库区面积/%	$K_{\nu}$
主城区	1	3 641	7.9	0.3
库区核心区	2	15 360	33.3	0.6
库腹	3	22 125	47.9	0.8
库尾	4	5 030	10.9	0.2

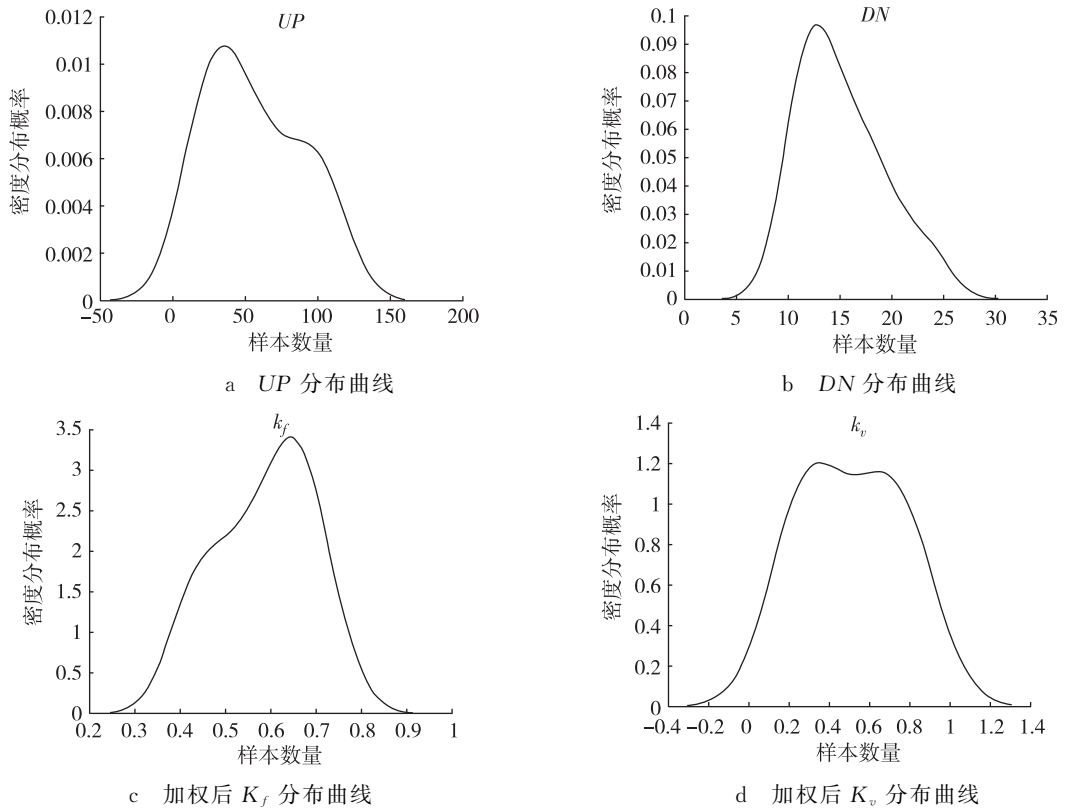


图 1 UP、DN 及加权后的  $K_f$ 、 $K_v$  的分布曲线

Fig.1 UP, DN and the distribution curve of weighted  $K_f$ ,  $K_v$ .

本文以三峡库区重庆段 22 个区县为评价单元,运用已经改进的生态环境潜在容量指数  $E$  的公式进行计算,根据所得到的结果进行环境质量等级的划分,根据许学工的划分原则<sup>[1]</sup>并结合重庆三峡库区生态环境的特点,其统计结果如下(表 3)。

根据  $E$  值计算结果和分布情况,可以得出以下结果:

1)  $E \geq 0.5$  有 6 处,分别为渝中区、江北区、沙坪坝区、九龙坡区、大渡口区 and 南岸区,这些区县位于重庆主城区,人类活动对其开发较早,环境质量下降较快,必须采取全面措施,才能阻止环境进一步恶化,保持城区快速发展势头。

2)  $0.4 < E < 0.5$  的有 2 处,即为万州区和涪陵区。万州区位于重庆三峡库区库腹,是重庆市人口最多、移民任务最重、城市体量最大、管理单元最多的区县,为重庆第二大城市。2011 年万州实现生产总值 630 亿元,经济总量列全市第 4 位;分产业看,第一产业实现增加值 42.34 亿元,增长 6.1%;第二产业实现增加值 351.17 亿元,增长 24.4%,经济增长带来的负面效应就是环境污染加重。涪陵区位于库区核心区,总人口 116.50 万,城区常住人口 67 万,重庆第三大城市、成渝经济区东部中心城市。该区域资源丰富是重庆重要的经济增长极和工业基地,经济增长速度快。但同时经济的快速发展对地理环境产生了很大的扰动,加上生态环境脆弱,导致对环境造成了很大的危害,必须采取保护措施。

3)  $0.3 < E < 0.4$  的地区有 7 处,分别是北碚区、渝北区、巴南区、长寿县、开县、云阳县和奉节县,占区县的 31.82%。其中开县、云阳县和奉节县位于库腹环境污染系数较高,但是由于这 3 个区域,土地类型系数较小,对自然环境抵抗力大,所以造成的影响较小。其余 4 个区县环境污染系数与土地类型系数均处于中间阶段,因此该区域的人类活动虽然对环境产生了一定的影响,但不严重。

4)  $E \leq 0.3$  的 7 个区县环境质量较好,其中巫溪县  $\leq 0.2$ ,环境容量最大,而丰都县、武隆县、忠县、巫山县、石柱县和江津市处于 0.2~0.3 之间,这些区县的  $E$  值都较小,生态环境比较稳定,人类活动基本没有对地理环境

表 3 重庆三峡库区生态环境潜在容量指数  $E$  值计算结果统计  
Tab.3 Statistics of environmental potential index  $E$  in Three Gorges Reservoir

分级指标		评价结果	
$E$ 值范围	环境质量等级	区域个数	所占百分比/%
$\leq 0.2$	1	1	4.55
0.2~0.3	2	6	27.27
0.3~0.4	3	7	31.82
0.4~0.5	4	2	9.09
$\geq 0.5$	5	6	27.27

造成破坏性干预,但同时也反映出这些区县人们生活水平处于贫困状态。

通过对以上结果的讨论,可以分析看出  $E$  值所得计算的结果基本符合重庆三峡库区的实际情况。生态环境潜在容量指数评估的目的就在于对区域的环境状况进行监测,而预警研究可以通过监测警标敏感地反映预警对象在运行中的异常状态并及时

反馈警情进而加以控制。预警表示对某一警情的状况和趋势进行监测并指出正常状态的时空限制和危害范围,以及提出相应的对策措施。近些年来,我国对预警研究逐渐深入,并出现了大量的研究成果<sup>[18]</sup>。因此本文根据重庆三峡库区的实

际情况,综合参考国内外其他区域相关研究以及以上生态环境潜在容量结果划分生态环境预警分级标准<sup>[11]</sup>,分级标准分为无警(理想)、轻警(良好)、中警(一般)、重警(较差)和急警(恶劣)5个等级(表4)。

为了更清晰地分析评价结果的空间分布特征,基于 ArcGIS 技术,将评价结果进行等级划分,得到重庆三峡库区预警分布图(图2)。

通过对以上重庆三峡库区预警分布图进行分析可以得出研究区域生态环境总体良好,但两极化分布比较明显,其中“急警”和“重警”地区占 36.36%,处于该区域的区县应该提出环境预警,生态系统超载,处于非安全状态,资源供给能力已面临短缺,生态环境已遭到破坏,此时需要采取强有力的措施,阻止系统的持续恶化;“中警”地区占 31.82%,表示这些区县的生态环境处于临界状态,如继续按现有模式发展,系统将不堪重负;“轻警”和“无警”是表示生态环境处于相对安全的状态,是一种可持续发展的理想状态,该区域占 31.82%。

### 3 讨论

对于生态环境预警研究大部分学者采用通过建立预警评价指标体系,然后运用模糊数学法<sup>[19]</sup>、神经网络法<sup>[20]</sup>等进行预警评价。文章通过运用许学工提出的生态环境潜在容量指数,并充分考虑在中小尺度地域范围内气候、地形、土壤和植被等形成的综合自然环境和人类活动对生态环境的影响,提出了重庆三峡库区生态环境潜在容量  $E$  值。 $E$  值的计算结果代表了生态环境质量的优劣与和潜力的大小。如果  $E$  值很大,代表生态环境质量很差,则越接近环境容量的限度, $E$  值很小,就表示生态环境受破坏程度较小,还有很大的潜在容量。最后综合参考国内外其他区域相关研究以及环境潜在容量得出了重庆三峡库区预警分布结果,可以看出重庆三峡库区生态环境状况总体良好,还有较大的环境容量,这对于三峡库区生态安全的后续发展较为有利,但同时也得出区域生态环境状况两极化现象比较严重,发展不平衡,有些地区生态破坏较为严重,因此需要进行警情预测采取相应的政策措施进行可持续发展。本文旨在寻求一种可以将定性定量有效结合起来从而对生态环境容量及潜力进行预警研究的方法,在指标的选择及计算方法方面作了一定的创新,结果虽然与《长江三峡工程生态与环境监测公报》的相关内容有所出入,但最终结果是一致的,都是需要保护库区生态环境,实现其可持续发展。

三峡库区消落区是水生生态系统和陆生生态系统交错控制的生态交错带。由于受库区水位季节性变化的作用,消落带属于能量、物质和信息迁移与转换的活跃地带,对外界变化相当敏感,属典型生态环境脆弱区和敏感区,加之库区不合理的开发利用增加了消落区的生态风险。总之,三峡库区生态环境系统经常处在不稳定、不平衡、扰动和混沌的状态中,尤其是许多突发事件,如滑坡、泥石流、山体崩塌和环境污染等<sup>[21-22]</sup>。为了确保生态安全,必须针对不同区县的生态环境容量和质量进行预警,为三峡库区生态安全的后续发展提供强劲动力。所

表 4 生态环境预警分级标准

Tab. 4 Grading standards of ecological environment pre-warning

警级序号	警级	信号颜色	警级范围	叙述
1	急警	红色	第 5 级	生态环境状况趋于崩溃,情况紧急,需紧急处理
2	重警	橙色	第 4 级	环境恶化严重,功能退化,需要采取相应措施
3	中警	黄色	第 3 级	呈恶化趋势,仍可运行,但需要局部调整
4	轻警	蓝色	第 2 级	有恶化迹象,情况不严重,控制即可修复
5	无警	绿色	第 1 级	没有造成破坏,功能完善,需要继续保护

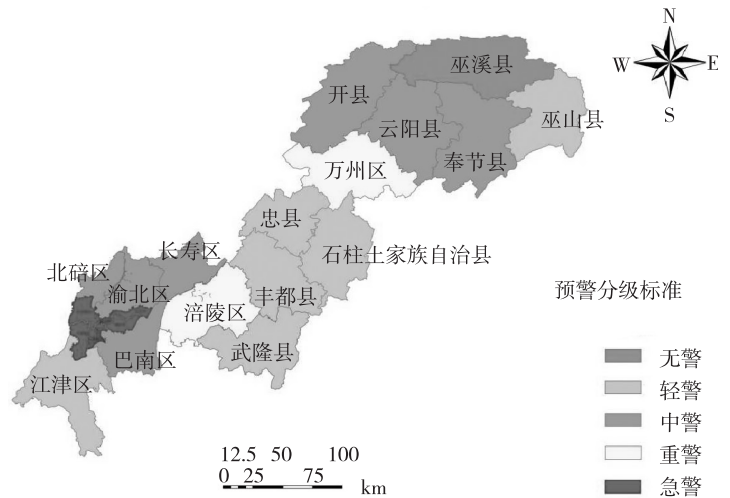


图 2 重庆三峡库区预警分布图

Fig. 2 Pre-warning distribution map in Three Gorges Reservoir

以,建立完整的预警研究和完善的库区预警评价体系任重而道远,在以后的相关研究中还需在不断探索和实践中逐步前进。

## 4 结论

本文基于生态交错带理论并对道夫尼尔指数进行改良后,计算得出了重庆三峡库区生态环境潜在容量指数,并运用 ArcGIS 技术得到了重庆三峡库区预警分布结果,结论如下:

1) 重庆三峡库区生态环境状况总体良好,还有较大的环境容量,这对于三峡库区生态安全的后续发展较为有利。

2) 区域生态环境状况两极化现象比较严重,发展不平衡,有些地区生态破坏较为严重,因此需要进行警情预测采取相应的对策进行优化发展。

3) 三峡库区生态系统和环境系统经常处于不平衡、不稳定的变化中,必须针对不同区县的生态环境容量和质量进行预警,建立健全库区预警研究的理论体系和方法论。

## 参考文献:

- [1] 许学工. 黄河三角洲生态环境的评估和预警研究[J]. 生态学报,1996,16(5):461-468.  
Xv X G. Study of evaluation and pre-warning of ecological environment in the yellow river delta[J]. Acta Ecological Sinice,1996,16(5):461-468.
- [2] 牛文元. 生态环境脆弱带 ecotone 的基础判定[J]. 生态学报,1989,9(2):97-105.  
Niu W Y. The discriminatory index with regard to the weakness,overlapness,and breadth of ecotone[J]. Acta Ecological Sinice,1989,9(2):97-105.
- [3] 朱芬萌,安树青,关保华. 生态交错带及其研究进展[J]. 生态学报,2007,27(7):3032-3042.  
Zhu F M, An S Q, Guan B H. A review of ecotone: concepts, attributes, theories and research advances [J]. Acta Ecological Sinice,2007,27(7):3032-3042.
- [4] Holland M M. SCOPE/MAB technical consultations on landscape boundaries report on A SCOPE/MAB workshop on ecotones[J]. Biol Int,1988,17 (Special Issue):47-106.
- [5] Allen C D, Breshears D D. Drought-induced shift of a forest-woodland ecotone: rapid landscape response to climate variation[C]//Proc Natl Acad Sci. USA: Proc Natl Acad Sci. 1998,95:14839-14842.
- [6] 罗利民,田伟君,翟金波. 生态交错带理论在生态护岸构建中的应用[J]. 自然生态保护,2004(11):26-28.  
Luo L M, Tian W J, Zhai J B. Application of the ecotone theory in bioengineering design[J]. Nature Ecological Conservation,2004(11):26-28.
- [7] 王军,周广才. 以正确的生态理念保障河流生态安全——浅析河流治理现状及生态化对策[C]//中国环境科学学会学术年会论文集. 昆明:中国环境科学学会,2013:6043-6047.  
Wang J, Zhou G C. The protection of river ecological security based on ecology concept-analysis of river situation management and measures [C]//Proceedings of environmental sciences academic conference, Kunming: Environmental sciences academic conference,2013:6043-6047.
- [8] 孙凡. 重庆三峡库区生态安全研究[J]. 中国生态农业学报,2003,11(2):173-174.  
Sun F. Study on ecological security in Three Gorges Reservoir area of Chongqing[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2003,11(2):173-174.
- [9] 谢德体,范小华,魏朝富. 三峡水库消落区对库区水土环境的影响研究[J]. 西南大学学报:自然科学版,2007,29(1):39-47.  
Xie D T, Fan X H, Wei C F. Effects of the riparian zone of the Three-Gorges Reservoir on the water-soil environment of the reservoir area[J]. Journal of Southwest University: Natural Science,2007,29(1):39-47.
- [10] 范小华,谢德体,魏朝富. 三峡水库消落区生态环境保护与调控对策研究[J]. 长江流域资源与环境,2006,15(4):495-501.  
Fan X H, Xie D T, Wei C F. Counter measures for the protection and control line of the eco-environment of riparian zone of the Three Gorges Reservoir [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin,2006,15(4):495-501.
- [11] 郑磊,左大安,李月臣. 三峡库区消落区生态安全预警系统研究[J]. 安徽农业科学,2010,38(23):12626-12629.  
Zheng L, Zuo T A, Li Y C. Preliminary study on early-warning system of ecological security in water-level-fluctuating zone(WLFZ) of Three Gorges Reservoir [J]. Journal of Anhui Agri Sci,2010,38(23):12626-12629.
- [12] 牛文元. 理论地理学[M]. 北京:商务印书馆,1992.  
Niu W Y. Theory of geography [M]. Beijing: Commercial Press,1992.
- [13] 曹彦龙,李崇明,阚平. 重庆三峡库区面源污染源评价与聚类分析[J]. 农业环境科学学报,2007,26(3):857-862.  
Cao Y L, Li C M, Kan P. Evaluating and clustering analysis of non-point source pollution in Chongqing Three Gorges Reservoir Region [J]. Journal of Agro-Environment Science,2007,26(3):857-862.
- [14] 丁恩俊,谢德体,魏朝富. 基于 MUSLE 模型的三峡库区重庆段农业非点源污染危险性评[J]. 西南大学学报:自然科学版,2010,32(5):96-101.

- Ding E J, Xie D T, Wei C F. Musle-based agricultural non-point source pollution risk assessment in the Three Gorges Reservoir area of Chongqing[J]. Journal of Southwest University: Natural Science Edition, 2010, 32(5): 96-101.
- [15] 杨志敏. 基于压力-状态-响应模型的三峡库区重庆段农业面源污染研究[D]. 重庆: 西南大学, 2009.
- Yang Z M. Study on agricultural nonpoint source pollution in the Three Gorges Reservoir based on PSR model[D]. Chongqing: Southwest University, 2009.
- [16] 陈媛, 郭秀锐, 程水源. 基于 SWAT 模型的三峡库区流域污染物来源分析及重点控制区域识别[J]. 北京工业大学学报, 2013, 39(5): 761-768.
- Chen Y, Guo X R, Cheng S Y. Pollutant source analysis and identification of prior control areas in Three Gorges Reservoir based on SWAT model[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2013, 39(5): 761-768.
- [17] 方创琳, 冯仁国, 黄金川. 三峡库区不同类型地区高效生态农业发展模式与效益分析[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 228-234.
- Fang C L, Feng R G, Huang J C. Analysis on the development mode and its benefits of the efficient eco-agriculture in different regions in Three Gorges Area[J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(2): 228-234.
- [18] Xiao Y T. Warning assessment of urban ecological security based on fuzzy matter-element theory [C]//Sichuan: Northeastern University, China, 2011.
- [19] 吴冠岑, 牛星. 土地生态安全预警的惩罚型变权评价模型及应用—以淮安市为例[J]. 资源科学, 2010, 32(5): 992-999.
- Wu G C, Niu X. Application of an evaluation model based on punishing variable weight for early warning of land ecological security[J]. Resources Science, 2010, 32(5): 992-999.
- [20] 韩晨霞, 赵旭阳, 刘浩杰, 等. 石家庄市生态安全预警评价研究[J]. 石家庄学院学报, 2009, 11(6): 40-46.
- Han C X, Zhao X Y, Liu H Y. The ARM micro controller-based data acquisition system of electric physical qualities[J]. Journal of Shijiazhuang University, 2009, 11(6): 40-46.
- [21] 何春燕, 薛鹏, 刘邵权. 重庆三峡库区生态经济区县域经济发展空间差异分析[J]. 长江流域资源与环境, 2013, 22(9): 1110-1116.
- He C Y, Xue P, Liu S Q. Spatial difference of county economy development in ecological economical zone of Chongqing Three Gorges Reservoir Region[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2013, 22(9): 1110-1116.
- [22] 孙凡, 李天云, 黄轲. 重庆市生态安全评价与监测预警研究——理论与指标体系[J]. 西南农业大学学报: 自然科学版, 2005, 27(6): 757-762.
- Sun F, Li T Y, Huang K. The ecological safety evaluation and monitoring and early warning in Chongqing—the theoretical and index system[J]. Journal of Southwest Agricultural University: Natural Science, 2005, 27(6): 757-762.

## Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

### Potential Capacity Assessment of Ecological Environment and Pre-warning Research Based on Ecotone Theory: a Case Study of Three Gorges Reservoir

ZHANG Mengjie<sup>1</sup>, GUAN Dongjie<sup>1</sup>, SU Weici<sup>2,3</sup>

(1. School of River and Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074;

2. College of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 401331;

3. Institute of Mountain Resources, Guizhou Academy of Sciences, Guizhou 550001, China)

**Abstract:** Ecotone is a transition zone of two different ecosystem junctions. Based on the Ecotone theories, this paper analyzed the ecological vulnerability of the Three Gorges reservoir, and then applied the ecological environment potential index (M) to monitor the human's impacts on the geographic environment, land type, and the environment pollution status. According to the regional characteristics, the index for potential capacity of ecological environment (M) was further amended for evaluating the potential capacity of ecological environment in 22 counties of the Three Gorges reservoir. Subsequently, a pre-warning evaluation was performed after the potential capacity of ecological environment was ranked into five levels, e. g., urgent warning, heavy warning, middle warning, light warning, and no warning. The results demonstrated that the development situation of environmental quality in the Three Gorges reservoir was not balanced; meanwhile, there remained the serious ecological deterioration in some regions, indicating that the polarization phenomenon was greatly serious our results suggest that some applicable strategies should be proposed for optimized development.

**Key words:** ecotone; water level-fluctuating zone; potential capacity; pre-warning research; Three Gorges Reservoir