

文章编号: 1008-2786-(2017)2-170-09

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000209

# 岷江上游干旱河谷边界波动的定量判定及其演化特征

丁明涛<sup>1</sup>, 周 鹏<sup>2</sup>, 张永旺<sup>1</sup>, 吕夏婷<sup>1</sup>

(1. 西南科技大学 环境与资源学院, 四川 绵阳 621010; 2. 重庆市彭水苗族土家族自治县水务局, 重庆 彭水 409600)

**摘 要:** 在山区人口迅速增加和社会经济高速发展的进程中, 干旱河谷作为山区生态系统的重要组成部分之一, 承载了严重的被干扰和过度利用。在 RS 与 GIS 技术的支持下, 本研究选择岷江上游干旱河谷作为研究对象, 应用马尔科夫预测法和土地利用动态变化空间分析测算模型, 开展干旱河谷边界波动的定量判定及其演化特征研究。研究结果表明: 岷江上游干旱河谷区面积与上边界在逐年增加, 上边界平均每年沿垂直方向抬升约 5 m, 在未来较长时间内, 干旱河谷面积的增长趋势将会越来越强; 其中, 1970 至 2010 年干旱河谷转化速率( $TRL_{70-2010}$ ) 呈现不断上升趋势, 分别为  $TRL_{70} = 1.44\%$ ,  $TRL_{80} = 0.95\%$ ,  $TRL_{90} = 2.32\%$ ,  $TRL_{2000} = 2.45\%$ ,  $TRL_{2010} = 3.59\%$ ; 1990 至 2000 年期间干旱河谷新增速率( $IRL_{90-2000}$ ) 最大, 属于高速扩展期, 在 1970 至 1980 年期间新增速率  $IRL_{70-80}$  最小; 1990 至 2000 年期间干旱河谷“敏感性”最高, 其年变化速率( $CCL_{90-2000}$ ) 为 13.01%, 其次为  $CCL_{2000-2010} = 6.51\%$ , 其余时期年均变化速率皆在 4% 左右。本研究结果可为我国西部灾害多发区聚落合理规划、灾害风险管理、人口合理分布与再调整提供重要的科学依据。

**关键词:** 干旱河谷; 边界波动; 演化特征; 风险管理; 岷江上游

**中图分类号:** P208; P285

**文献标志码:** A

干旱河谷区是山区社会经济发展与文化的枢纽、动力区, 同时也是横断山区最突出的自然景观之一<sup>[1]</sup>。随着山区人口的迅速增加与社会经济的高速发展, 干旱河谷在人类长期开发利用的基础上, 承载了严重的干扰和过度利用<sup>[2]</sup>。水电站施工、交通建设、村落扩展以及城镇发展等, 导致河谷区的植被退化, 生态恶化, 水土流失加剧, 山地灾害频繁。这不仅吞噬着区域社会经济发展的成果, 同时削弱了区域可持续发展的基础, 更加严重的是动摇了整个山地系统的安全<sup>[3-4]</sup>。

岷江上游干旱河谷区作为横断山区北段干旱河谷的缩影, 是岷江上游地区的生态脆弱带和环境敏

感区, 也是岷江上游人口和建筑物的集中分布地带, 强度和频度相对较大的人为干扰与土地利用的不合理促使干旱河谷区内人口、资源与环境之间的矛盾日益尖锐, 泥石流、滑坡等山地灾害频发, 严重影响当地及下游的工农业生产和群众的生活<sup>[5]</sup>。目前, 对于岷江上游干旱河谷的研究主要集中在土壤养分和水分动态、植被状况以及干旱河谷区生态环境的恢复与重建等方面, 而对于干旱河谷区域空间变化的定量化研究较少。

干旱河谷范围的界定是干旱河谷区域空间变化定量化研究的前提<sup>[5-15]</sup>。在前期的研究基础上<sup>[16-18]</sup>, 基于遥感和地理信息系统技术, 本文通过

收稿日期(Received date): 2016-8-9; 改回日期(Accepted date): 2017-1-11。

基金项目(Foundation item): 四川省青年科技基金项目(2017JQ0051); 国家自然科学基金项目(41371185); 教育部人文社会科学研究专项任务项目(工程科技人才培养研究)(15JJDGC019)。[Sichuan Youth Science & Technology Foundation(2017JQ0051); National Natural Science Foundation of China(41371185); Social Science Research Foundation of Ministry of Education(Engineering and technology training research)(15JJDGC019)。]

作者简介(Biography): 丁明涛(1981-), 男(汉族), 山东日照人, 博士, 教授, 主要从事地质灾害风险控制与聚落减灾方面的教学与科研工作。[Ding Mingtao(1981-), male(Han), born in Rizhao of Shandong province, Ph.D., Professor, mainly engaged in teaching and research work of geological hazard risk control and settlement planning.] E-mail: mingtaodong@163.com

定量判定岷江上游干旱河谷边界,研究干旱河谷的时空演化特征,讨论其发展趋势和进程,研究成果对于预测岷江上游干旱河谷变化趋势、恢复和重建干旱河谷生态环境以及实现干旱河谷地区的可持续发展均具有重要意义。同时,对于干旱河谷区聚落的合理规划、选址、人口迁移以及滑坡、泥石流等地质灾害的防灾减灾工作具有重要的理论意义和参考价值。

## 1 研究区概况

岷江上游是指岷江都江堰以上河段及其支流所覆盖的区域,包括阿坝藏族自治州的汶川、茂县、理县、松潘、黑水县全部或大部以及都江堰市的小部分地区<sup>[19]</sup>。它位于四川盆地西北部,阿坝自治州东部,青藏高原东部地区,地处横断山区东缘,是四川盆周丘陵山地向青藏高原的过渡地带,位于 $30^{\circ}45'N \sim 33^{\circ}10'N$ , $102^{\circ}35'E \sim 103^{\circ}57'E$ 之间(图1)。岷江上游干流全长330 km,流域南北长

267 km,东西宽152 km,流域面积约为 $2.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。岷江流域的干旱河谷区位于岷江的上游,主要分布于松潘镇江关以下,经茂县凤仪镇至汶川县绵虬间的岷江干流,以及黑水县西尔以下的黑水河谷和理县杂谷脑以下的杂谷脑河谷等岷江支流,处于海拔1200~2200 m的沿河狭长地段,位于 $103^{\circ}14'E \sim 103^{\circ}45'E$ , $31^{\circ}21'N \sim 31^{\circ}44'N$ 之间。岷江上游干旱河谷总长度为161 km,总面积达170  $\text{km}^2$ ,其海拔变化的幅度为200~400 m。

## 2 岷江上游干旱河谷提取

### 2.1 干旱河谷定义

干旱河谷是一个宽泛的定义,其划分的标准至今没有统一。到目前为止,几乎所有的研究均认为干旱河谷是由生态退化和环境恶化造成<sup>[21]</sup>。许多学者研究干旱河谷,是根据研究对象来界定干旱河谷的具体范围。例如,多数学者对干旱河谷的提取,是先将遥感影像按常规方法进行目视解译,再基于

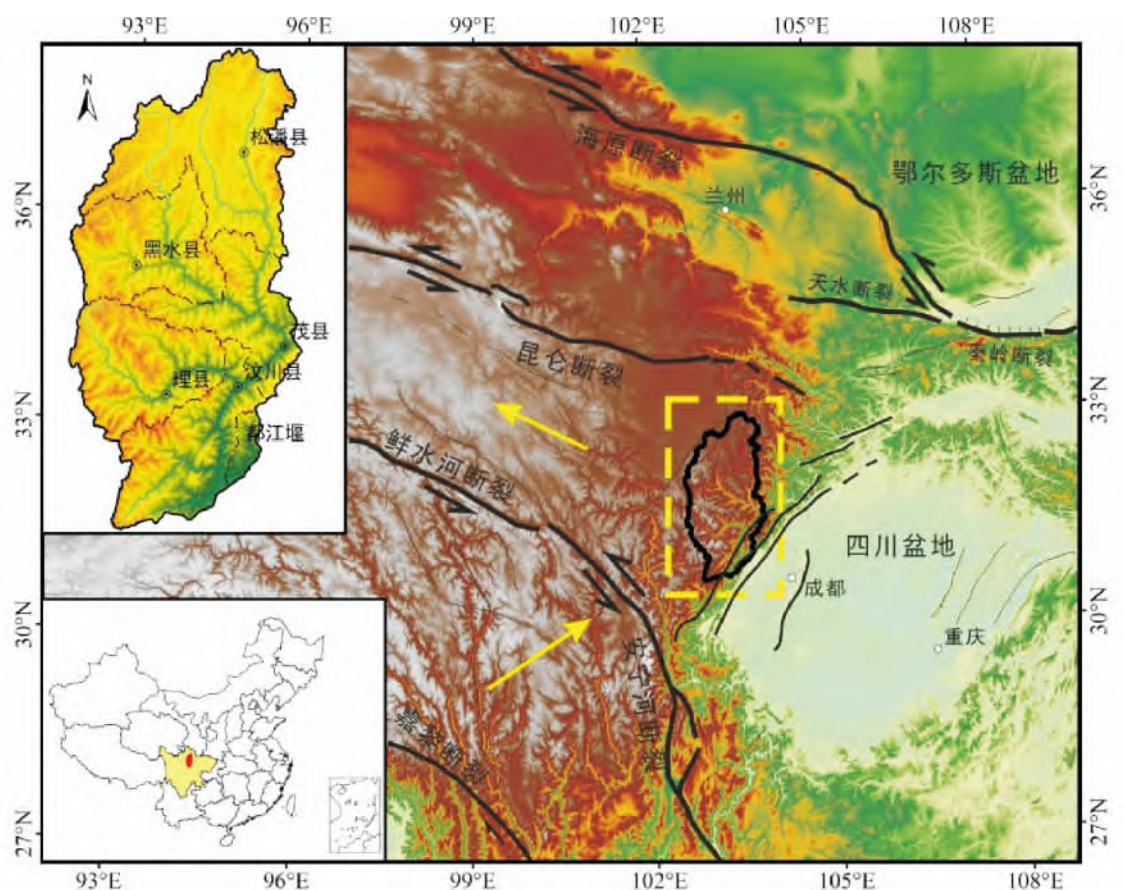


图1 研究区位置图

Fig. 1 Location of study area

某种地理因子(如气候、植被、高程等,即降雨量少、气温较高、蒸发量大、高程介于一定范围的区域就是干旱河谷)来细化分类结果,确定干旱河谷的范围,最后通过实地调查来评估。这些方法获得的结果比较粗略,甚至有错误。另外,基于遥感影像直接分类提取出干旱区域,难以高精度划定干旱河谷的边界,容易把一些没有河流存在的区域归类到干旱河谷中。因此,本文认为干旱河谷的判定标准是河谷内没有植被或植被较少的地区(包括河道)即为干旱河谷(见图2河谷横剖面结构图)。这样,即使在山谷里植被较茂盛的区域也不属于干旱河谷,即使山谷以外较少植被的区域也不是干旱河谷。

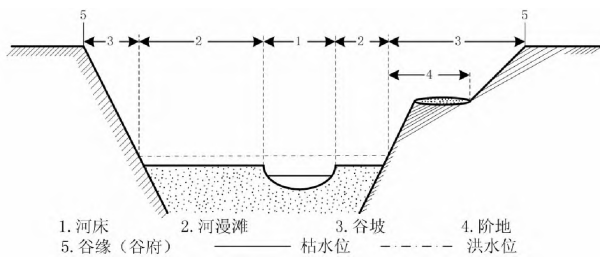


图2 河谷横剖面结构图<sup>[20]</sup>

Fig. 2 Cross-section of river valley

## 2.2 数据来源

研究区影像数据来源于 Google Earth 提供的卫星影像(1970 年和 1980 年)、Landsat 5 卫星提供的 TM 影像(1990 年)、Landsat 7 提供的 ETM 影像(2000 年)、Landsat 8 提供的 OLI 影像数据(2010 年)。数据的获取主要有以下几个途径:

- (1) 美国马里兰大学公布遥感影像数据及相关信息;
- (2) 中国科学院遥感与数字地球研究所提供的遥感影像数据及相关信息;
- (3) 地理空间数据云提供的遥感影像数据及相关信息;
- (4) Landsat 免费平台提供的遥感影像数据及相关信息;
- (5) USGS 美国地质勘探局提供的遥感影像数据及相关信息;
- (6) 美国 Google Earth 的卫星影像。

## 2.3 岷江上游干旱河谷提取方法

本文提出了一种新的获取干旱河谷数据较为准确的提取方法,即:以分类后的结构和 Google Earth 影像图作为参考制作出河谷范围内的掩膜文件,再与分类结果叠加获得最终的干旱河谷数据。具体技术

路线如图3所示:

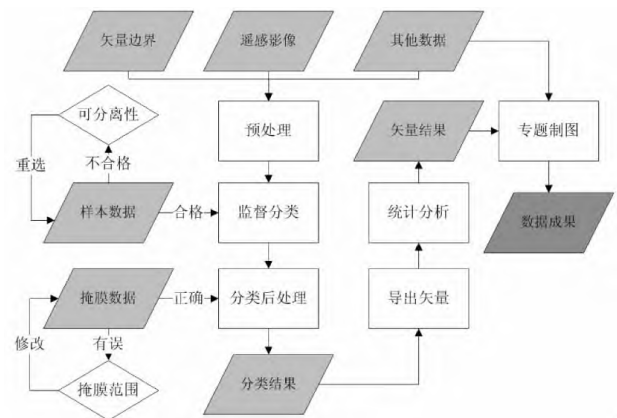


图3 岷江上游干旱河谷提取技术路线图

Fig. 3 Technology roadmap of extracting arid valleys in the upper reaches of Min River

## 2.4 岷江上游干旱河谷提取结果

岷江上游降水充沛,干湿季明显,夏季降雨集中 6-8 月份降水占全年的 70%,蒸发量为降水量的 2-4 倍,表现为全年水分亏损<sup>[12,22]</sup>。本文结合实际条件与遥感影像可用性,以 10 年为一个时间节点,选取 1970 年、1980 年、1990 年、2000 年和 2010 年的 6-8 月时段内的遥感影像数据来提取岷江上游干旱河谷数据。岷江上游多年(1970、1980、1990、2000 和 2010) 6-8 月时段内干旱河谷提取结果详见图 4(4a、4b、4c、4d 和 4e)。

## 3 干旱河谷边界波动的定量判定

### 3.1 岷江上游干旱河谷面积变化

通过对岷江上游 5 期(1970 年、1980 年、1990 年、2000 年和 2010 年)遥感影像图的判读,结合(图 4)得到岷江上游各期干旱河谷的具体范围与面积,其情况详见表 1。

根据图 4 和表 1,1970 年到 2010 年干旱河谷面积每 10 年变化率分别为 13.66%、21.53%、83.71% 和 16.05%。其中,1990 年至 2000 年干旱河谷增长速率陡增。结合当时我国经济发展情况推测,这主要是由于破坏性资源开采所导致。2000 年至 2010 年干旱河谷增长速率变缓,可以推测为 2008 年汶川大地震出现了大量的滑坡与崩塌等地质灾害,导致实际情况出现逆向变化。总之,岷江上游干旱河谷面积变化趋势为不断增加,且变化速率在不断加快。



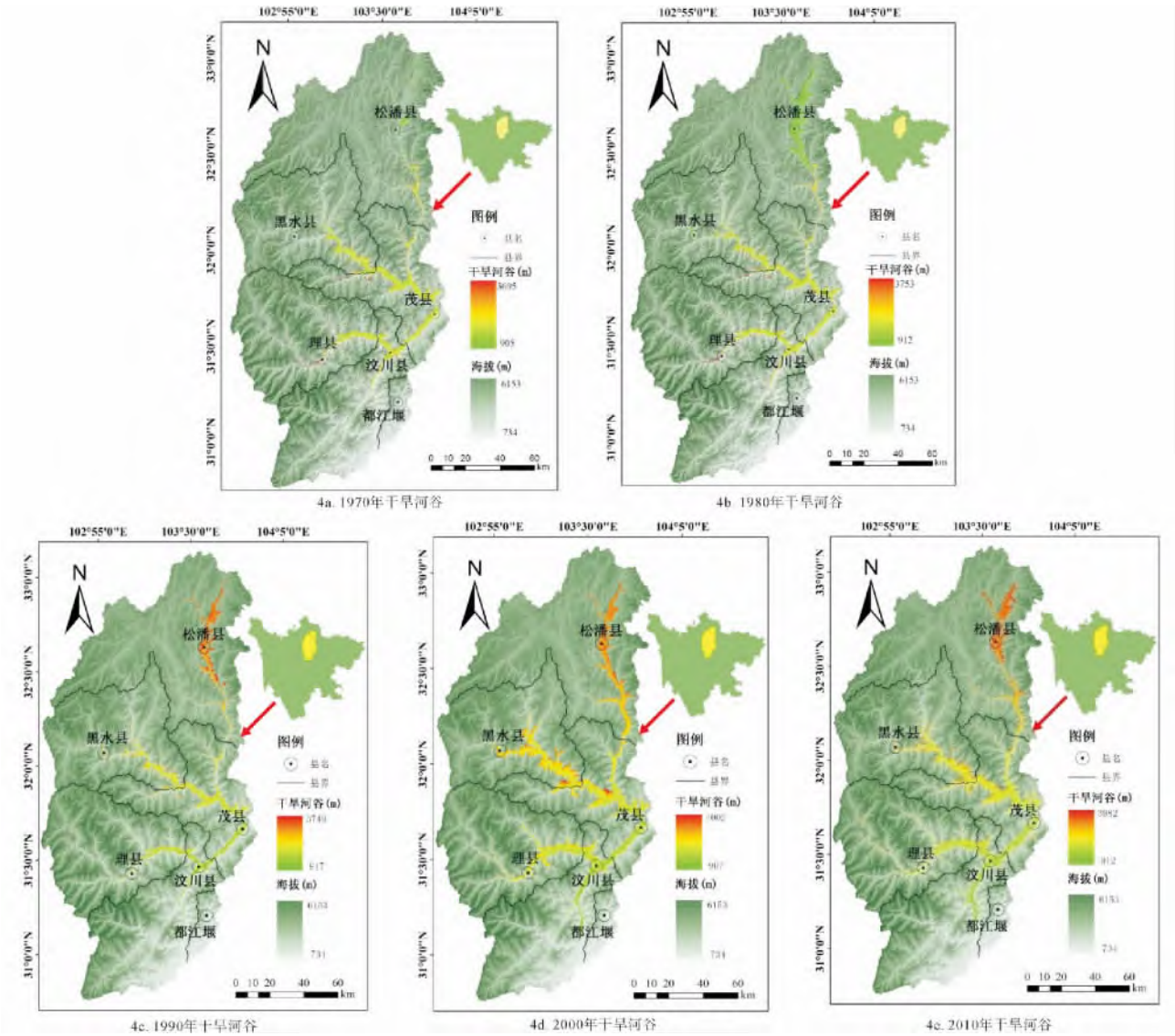


图 4 岷江上游 1970 - 2010 年间干旱河谷提取结果

Fig. 4 Extraction result of arid valleys in the upper reaches of Min River from 1970 to 2010

表 1 岷江上游干旱河谷监测信息  
Tab. 1 Monitoring information of arid valleys  
in the upper reaches of Min River

年份	干旱河谷面积( m <sup>2</sup> )	每 10 年变化率
1970	471 718 112	0
1980	536 154 806	13.66%
1990	651 588 936	21.53%
2000	1 197 034 034	83.71%
2010	1 389 182 384	16.05%

3.2 岷江上游干旱河谷上边界最高海拔变化

本文通过在 ArcGIS 中执行 Union 和 Dissolve 操作生成具有最大边界的干旱河谷分布图,然后将各期干旱河谷图与最大边界干旱河谷分布图进行

Union操作,令干旱河谷属性为 1,非干旱河谷的属性为 0,并转换成 Grid 格式。在空间分析模块中进行 Raster calculate 操作,得到不同海拔上干旱河谷的栅格数目(属性为 1 的栅格数目),最后计算干旱河谷的栅格数在不同海拔高度上的累计百分比<sup>[1]</sup>。本文假定累计百分比达到 15%,即认为干旱河谷的上限已经上升到该海拔高度。结合岷江上游干旱河谷提取结果(图 4),统计分析得出岷江上游不同海拔栅格数目的累积百分比(见图 5)。

图 5 表明:1970 至 2010 年岷江上游干旱河谷上边界分别为 3 139 m、3 146 m、3 157 m、3 192 m 和 3 144 m。其中 1970 年至 2000 年岷江上游干旱河谷边界沿垂直方向分别抬升 7 m、11 m 和 35 m,而

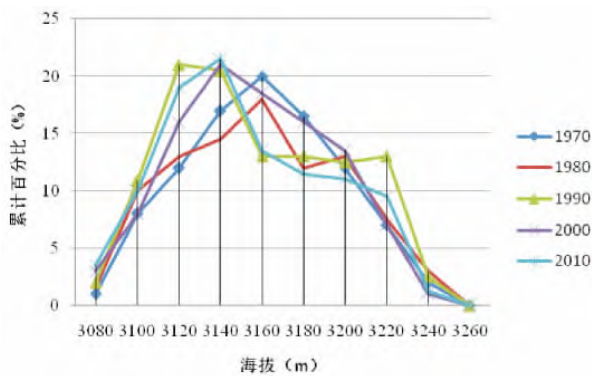


图5 不同海拔栅格数目的累积百分比

Fig. 5 Cumulative percentage of grid number at different elevation

2000 年至 2010 年沿垂直方向下降 48 m, 推测其原因可能为汶川地震引发的大量地质灾害导致实际情况出现逆向变化, 与岷江上游干旱河谷面积变化情况一致。因此, 岷江上游干旱河谷上边界变化趋势为逐年增加。

#### 4 岷江上游干旱河谷随时间演化特征分析

对干旱河谷在时间序列下的变化情况, 采用马尔科夫预测法<sup>[23]</sup>进行预测。该方法能克服相关数据精度不足的缺陷、避免人为因素的影响。具体方法步骤如下:

(1) 构建状态转移概率矩阵:

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & \cdots & P_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & \cdots & P_{nn} \end{bmatrix}$$

式中:  $P$  为状态转移概率矩阵,  $P_{ij}$  为从状态  $E_i$  转变为  $E_j$  状态的状态转移概率

$P_{ij}$  满足以下条件:

$$\begin{cases} 0 \leq P_{ij} \leq 1 & (i, j = 1, 2, \cdots, n) \\ \sum_{j=1}^n P_{ij} = 1 & (i, j = 1, 2, \cdots, n) \end{cases}$$

(2) 马尔科夫预测法

$$\pi_j(k) = \sum_{i=1}^n \pi_j(k-1) P_{ij} \quad (j = 1, 2, \cdots, n)$$

式中:  $\pi_j(k)$  为事件在初始 ( $k=0$ ) 状态为已知的条件下, 经过  $k$  次状态转移后, 在第  $k$  个时刻 (时期) 处于状态  $E_j$  的概率<sup>[24-30]</sup>。

(3) 状态概率逐次递推公式:

$$\begin{cases} \pi_1 = \pi(0) P \\ \pi(2) = \pi(1) P = \pi(0) P^2 \\ \cdots \cdots \cdots \\ \pi(k) = \pi(k-1) P = \cdots = \pi(0) P^k \end{cases}$$

根据岷江上游干旱河谷提取结果可知 (图 4), 岷江上游干旱河谷面积在时间序列下存在增长 ( $E_1$ ) 和降低 ( $E_2$ ) 两种状态, 且 1970-2010 年期间干旱河谷面积的状态转移情况详见表 2。

表 2 岷江上游 1970-2010 年干旱河谷面积状态转移情况

Tab. 2 List of area variations of arid valleys in the upper reaches of Min River for 1970-2010

年份	1970	1980	1990	2000	2010
序号	1	2	3	4	5
状态	$E_1$	$E_1$	$E_1$	$E_1$	$E_1$

由表 2 可以看出, 由 1970 年至 2010 年 4 个从  $E_1$  (转移出去) 的状态中 4 个皆是从  $E_1$  转移到  $E_1$  的, 因此可以得到状态转移概率分别为  $P_{11} = 1$ ,  $P_{12} = 0$ ,  $P_{21} = 0$ ,  $P_{22} = 0$ , 则状态转移概率矩阵:

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

使用马尔科夫预测法对未来干旱河谷面积变化的各种状态概率进行预测; 由于 2010 年干旱河谷面积状态为增长, 因此其状态记为  $\pi(0) = [1 \ 0]$ , 将状态转移概率矩阵公式及  $\pi(0)$  代入递推公式, 求得 2020-2060 年可能出现的各种状态的概率详见表 3。

表 3 岷江上游 2020-2060 年干旱河谷面积状态概率预测值

Tab. 3 Estimated probability values of arid valley areas in the upper reaches of Min River for 2020-2060

年份	2020		2030		2040		2050		2060	
状态	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>
概率	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0

从表 3 中可以明显的看出, 在没有其它外界条件 (地质灾害、植被恢复等) 的干预下, 岷江上游干旱河谷面积将持续增长。

#### 5 岷江上游干旱河谷空间演化特征分析

GIS 空间分析技术为开展区域土地利用变化的

空间分析提供了强有力的技术支持。通过对不同时期的区域土地利用图进行叠加运算及空间分析统计,可以量化、定位化地识别出土地利用类型在不同监测点间的未变化部分、转移部分和新增部分。本文采用土地利用动态变化空间分析测算模型<sup>[31]</sup>,揭示干旱河谷在空间上的变化,该模型改善了传统数量分析模型忽略土地利用空间区位的固定性与独特性,且无法识别土地利用变化的“热点”和“敏感区域”等方面的缺陷,能够更精确的刻画和测算干旱河谷动态变化的空间过程和强烈程度。其具体空间测算模型如下:

$$TRL_i = \frac{(LA_{(i,t_1)} - ULA_i)}{LA_{(i,t_2)}(t_2 - t_1)} \times 100\%$$

$$IRL_i = \frac{(LA_{(i,t_2)} - ULA_i)}{LA_{(i,t_2)}(t_2 - t_1)} \times 100\%$$

$$CCL_i = TRL_i + IRL_i$$

$$= \frac{\{(LA_{(i,t_2)} - ULA_i) + (LA_{(i,t_1)} - ULA_i)\}}{LA_{(i,t_2)}(t_2 - t_1)} \times 100\%$$

式中:  $TRL_i$  为第  $i$  种土地利用类型在监测时期  $t_1$  到  $t_2$  期间的转化速率,  $IRL_i$  为其新增速率,  $CCL_i$  为其变化速率,  $LA_{(i,t_1)}$  为监测初期第  $i$  种土地利用类型的面积,  $ULA_i$  为监测期间第  $i$  种土地利用类型未变化部分的面积<sup>[32-37]</sup>。

根据岷江上游干旱河谷监测信息(表1)及土地利用动态变化空间分析测算模型,得到干旱河谷动态空间变化情况(详见表4)。

表4 干旱河谷动态变化空间分析情况

Tab.4 Spatial analysis of the dynamic changes in the upper reaches of Min River

	$LA_{(i,t_1)}$	$LA_{(i,t_2)}$	$ULA_i$	$TRL_i$	$IRL_i$	$CCL_i$
1970	471.718	536.155	403.77	0.014 4	0.028 1	0.042 5
1980	536.155	651.589	485.16	0.009 5	0.031	0.040 5
1990	651.589	1 197.034	500.18	0.023 2	0.106 9	0.130 1
2000	1 197.034	1 389.182	903.25	0.024 5	0.040 6	0.065 1
2010	1 389.182	/	890.58	0.035 9	/	/

对表4中数据分析可以得到以下几点结论:

(1) 1970年至2010年干旱河谷转化速率,呈现不断上升趋势,分别为  $TRL_{70} = 1.44\%$ ,  $TRL_{80} = 0.95\%$ ,  $TRL_{90} = 2.32\%$ ,  $TRL_{2000} = 2.45\%$ ,  $TRL_{2010} = 3.59\%$ ;

(2) 干旱河谷在  $IRL_{90-2000}$  时期新增速率最大,

属于高速扩展期,在  $IRL_{70-80}$  时期新增速率最小;

(3) 由干旱河谷变化速率可知,在  $CCL_{90-2000}$  时期干旱河谷“敏感性”最高,其年变化速率为  $13.01\%$ ,其次为  $CCL_{2000-2010}$  时期,年均变化速率为  $6.51\%$ ,其余时期年均变化速率皆在  $4\%$  左右。

## 6 结论

本文以RS与GIS技术为支撑,通过对岷江上游5期(1970、1980、1990、2000和2010)遥感影像的干旱河谷提取分析,采用马尔科夫预测法和土地利用动态变化空间分析测算模型,明确了岷江上游1970-2010年间干旱河谷边界的长期变化情况,在此基础上对岷江上游边界2020-2060年未来变化情况做出定量预测。该预测结果能够为岷江上游区域居民迁移、城市规划和人口再分布等活动提供科学依据,并为岷江上游地区环境治理范围和生态功能分区提供参考。

通过对岷江上游干旱河谷的边界波动情况以及其时空演化特征进行量化研究分析,主要得到以下几点结论:

(1) 由1970年至2010年岷江上游干旱河谷面积整体趋势为不断增加,且其变化速率不断加快;同时,岷江上游干旱河谷上边界逐年增加,平均每年沿垂直方向抬升约  $5\text{ m}$ ;

(2) 岷江上游在未来相当长的一段时间内,干旱河谷的面积增长的概率皆大于其降低的概率,且干旱河谷面积的增长趋势将越来越强;

(3) 1970年至2010年干旱河谷转化速率,呈现不断上升趋势,分别为  $TRL_{70} = 1.44\%$ ,  $TRL_{80} = 0.95\%$ ,  $TRL_{90} = 2.32\%$ ,  $TRL_{2000} = 2.45\%$ ,  $TRL_{2010} = 3.59\%$ ;干旱河谷在  $IRL_{90-2000}$  时期新增速率最大,属于高速扩展期,在  $IRL_{70-80}$  时期新增速率最小;在  $CCL_{90-2000}$  时期干旱河谷“敏感性”最高,其年变化速率为  $13.01\%$ ,其次为  $CCL_{2000-2010}$  时期,年均变化速率为  $6.51\%$ ,其余时期年均变化速率皆在  $4\%$  左右。

## 参考文献(References)

- [1] 杨兆平,常禹,布仁仓,等. 岷江上游干旱河谷区域空间变化的定量判定[J]. 生态学报, 2007, 27(8): 3250-3256. [YANG Zhaoping, CHANG Yu, BU Rencang, et al. Long-term dynamics of dry valleys in the upper reaches of Min River, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(8): 3250-3256.]
- [2] 李昌爱. 近35年苏南典型地区的土地利用动态变化研究\_以宜

- 兴市为例 [D]. 安徽师范大学硕士论文, 2003. 5. [LI Changai. Land use change in the typical region of Jiangsu Province for last 35 years: a case study in Yixing City [D]. Anhui Normal University, 2003. 5. ]
- [3] 杨兆平, 常禹, 胡远满, 等. 岷江上游干旱河谷景观变化及驱动力分析 [J]. 生态学杂志, 2007, 26(6): 869–874. [YANG Zhao-ping, CHANG Yu, HU Yuanman et al. Landscape change and its driving forces of dry valley in upper reaches of Min River [J]. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(6): 869–874. ]
- [4] 樊宏, 张建平. 岷江上游半干旱河谷土地利用—土地覆盖研究 [J]. 中国沙漠, 2002, 22(3): 273–278. [FAN Hong, ZHANG Jianping. Study on land use / cover in arid valley of upper Minjiang watershed [J]. Journal of Desert Research, 2002, 22(3): 273–278. ]
- [5] 包维楷, 庞学勇, 李芳兰, 等. 干旱河谷生态恢复与持续管理的科学基础 [M]. 科学出版社, 2012. [BAO Weikai, PANG Xu-eyong, LI Fanglan et al. Arid valley ecological restoration and sustainable management of scientific basis [M]. Science Press, 2012. ]
- [6] 蔡凡隆, 张军, 胡开波. 四川干旱河谷的分布与面积调查 [J]. 四川农业科技, 2009, 30(4): 82–85. [CAI Fanlong, ZHANG Jun, HU Kaibo. Distribution and area investigation of the arid valley in Sichuan Province [J]. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 2009, 30(4): 82–85. ]
- [7] 李云强, 齐伟, 王丹, 等. GIS 支持下山区县域农村居民点分布特征研究—以栖霞市为例 [J]. 地理与地理信息科学, 2011, 27(3): 73–77. [LI Yunqiang, QI Wei, WANG Dan et al. Research on spatial distribution characteristics of rural settlements in mountainous areas at County level based on GIS: a case study in Qixia City [J]. Geography and Geo-Information Science, 2011, 27(3): 73–77. ]
- [8] 杨瑞红, 董春, 张玉. 汶川县居民地要素空间分布特征分析 [J]. 测绘科学, 2014, 39(11): 72–75. [YANG Ruihong, DONG Chun, ZHANG Yu. Analysis on spatial distribution characteristics of residential features in Wenchuan County [J]. Science of Surveying and Mapping, 2014, 39(11): 72–75. ]
- [9] 张文辉, 卢涛, 马克明, 等. 岷江上游干旱河谷植物群落分布的环境与空间因素分析 [J]. 生态学报, 2004, 24(3): 552–559. [ZHANG Wenhui, LU Tao, MA Keming et al. Analysis on the environmental and spatial factors for plant community distribution in the arid valley in the upper reach of Minjiang River [J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(3): 552–559. ]
- [10] 王渺林, 郭丽娟, 高攀宇, 等. 岷江流域水资源安全及适应对策 [J]. 重庆交通学院学报, 2006, 25(4): 138–142. [WANG Miaolin, GUO Lijuan, GAO Panyu et al. Discussion on water security problem and countermeasure in Minjiang River [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University, 2006, 25(4): 138–142. ]
- [11] 李斌, 李丽娟, 李海滨, 等. 澜沧江流域干旱变化的时空特征 [J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 87–92. [LI Bin, LI Lijuan, LI Haibin et al. Spatial and temporal variability of droughts in the Lancang River basin [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(5): 87–92. ]
- [12] 庞学勇, 包维楷, 吴宁. 岷江上游干旱河谷气候特征及成因 [J]. 长江流域资源环境, 2008, 17(S1): 46–53. [PANG Xu-eyong, BAO Weikai, WU Ning. Reasons of dry valley climate characteristic and its formation reason in upstream of Min River [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2008, 17(S1): 46–53. ]
- [13] 杨兆平, 常禹, 杨孟, 等. 岷江上游干旱河谷景观边界动态及其影响域 [J]. 应用生态学报, 2007, 18(9): 1972–1976. [YANG Zhaoping, CHANG Yu, YANG Meng et al. Dynamics and influence width of dry valley landscape boundary in the upper reaches of Min River [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(9): 1972–1976. ]
- [14] 刘国华, 马克明, 傅伯杰, 等. 岷江干旱河谷主要灌丛类型地上生物量研究 [J]. 生态学报, 2003, 23(9): 1757–1764. [LIU Guohua, MA Keming, FU Bojie et al. Above ground biomass of main shrubs in dry valley of Min River [J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(9): 1757–1764. ]
- [15] 杨钦周. 岷江上游干旱河谷灌丛研究 [J]. 山地学报, 2007, 25(1): 1–32. [YANG Qinzhou. Study on the arid-valley Scrubs in the upper reaches of Min River [J]. Journal Mountain Science, 2007, 25(1): 1–32. ]
- [16] 丁明涛, 庙成. 基于 GIS 的芦山地震灾区滑坡灾害风险评价 [J]. 自然灾害学报, 2014, 23(4): 81–90. [DING Mingtao, MIAO Cheng. GIS-based risk assessment on landslide hazards in Lushan earthquake-stricken areas [J]. Journal of Natural Disasters, 2014, 23(4): 81–90. ]
- [17] DING Mingtao, CHENG Zunlan, WANG Qing. Coupling mechanism of rural settlements and mountain disasters in the upper reaches of Min River [J]. Journal of Mountain Science, 2014, 11(1): 66–72.
- [18] DING Mingtao, HU Kaiheng. Susceptibility mapping of landslides in Beichuan County using cluster and MLC methods [J]. Natural Hazards, 2014, 70(1): 755–766.
- [19] 伏耀龙. 岷江上游干旱河谷区土壤质量评价及侵蚀特征研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012, 1–106. [FU Yaolong. Study on evaluation of soil quality and erosion characters in dry valley of the upper Min River. Northwest A&F University, 2012, 1–106. ]
- [20] 中文百科在线 (Chinese Wikipedia Online) [DB/OL]. [http://www.zwbk.org/PictureShow.aspx?pid=20121210163619252\\_7405.jpg&title=%u6CB3%u8C37%u6A2A%u5256%u9762%u7ED3%u6784%u56FE&lid=272809](http://www.zwbk.org/PictureShow.aspx?pid=20121210163619252_7405.jpg&title=%u6CB3%u8C37%u6A2A%u5256%u9762%u7ED3%u6784%u56FE&lid=272809).
- [21] 孙辉, 唐亚, 黄雪菊, 等. 横断山区干旱河谷研究现状和发展方向 [J]. 世界科技研究与发展, 2005, 27: 54–61. [SUN Hui, TANG Yajun, HUANG Xueju et al. Present situations and its R&D of dry valleys in the Hengduan Mountains of SW China [J]. World Sci-Tech R & D, 2005, 27: 54–61. ]
- [22] 申学圣, 宫渊波, 陈林武, 等. 岷江上游干旱河谷 4 个乡土树种的抗旱生理指标主成分分析 [J]. 贵州林业科技, 2012, 40(4): 1–6. [SHEN Xue-sheng, GONG Yuan-bo, CHEN Lin-wu et al. Principal component analysis on drought-resistance of 4 native tree species in arid valleys of the Minjiang River [J]. Guizhou Forestry Science and technology, 2012, 40(4): 1–6. ]

- [23] 徐建. 现代地理学中的数学方法 [M]. 北京: 高等教育出版社 2002 93-97. [XU Jian. Mathematical methods in contemporary Geography [M]. Beijing: Higher education press 2002 93-97.]
- [24] 黄雄伟. 基于 GIS 和 RS 的城市土地利用时空演化研究—以长沙为例 [D]. 北京: 中国地质大学博士集, 2008. [HUANG Xiongwei. Remote sensing and GIS-based analysis on temporal-spatial evolution of urban land use change: a case study of Changsha [D]. Beijing: A Dissertation Submitted to China University of Geosciences for Doctoral Degree 2008.]
- [25] 陈四清, 刘保春. 1988-2006 年东莞市建设用地图空演变研究 [J]. 湖北农业科学, 2011, 50(23): 4828-4830. [CHEN Siqing, LIU Baochun. Research and analysis on temporal and spatial change of construction land in Dongguan City from 1988 to 2006 [J]. Hubei Agricultural Sciences 2011, 50(23): 4828-4830.]
- [26] 孙希义. 区域土地利用变化与驱动力研究: 以北碚区为例 [D]. 重庆: 西南农业大学, 2005. [SUN Xiyi. Regional land use change and driving force: a case study on Beibei District [D]. Chongqing City: Southwest Agriculture University 2005.]
- [27] 王琼. 鄯善县土地利用变化检测研究 [D]. 新疆大学, 2009. [WANG Qiong. A Study of Xinjiang Shanshan County's land use change detection [D]. Xinjiang University 2009.]
- [28] 赵学钦, 杨海军, 马青, 等. 塔北西部一间房组碳酸盐岩礁滩体同生期暴露溶蚀作用模式 [J]. 中国地质, 2015, 42(6): 1811-1821. [ZHAO Xueqin, Yang Haijun, Ma Qin, et al. Syn-sedimentary corrosion mode of carbonate reef-banks in the middle Ordovician Yijianfang formation within the western Tabei uplift of Tarim Basin [J]. Geology in China 2015, 42(6): 1811-1821.]
- [29] 李晓青, 孙佳, 唐焰, 等. 洞庭湖区平垸行洪对土地利用结构的影响—以湖南沅江市为例 [J]. 农业现代化研究, 2004, 25(6): 422-424. [LI Xiaoqing, SUN Jia, TANG Yan, et al. Effects of sluicing flood via plain on regional land use of Dongting Lake region-taking Yuanjiang City of Hunan as example [J]. Research of Agricultural Modernization 2004, 25(6): 422-424.]
- [30] 朱小韦. 河南省电子政务基础地理空间数据库研究 [D]. 河南理工大学, 2009, 9(71). [ZHU Xiaowei. Research on the E-government basic geographic spatial database of Henan Province [D]. Henan Polytechnic University 2009, 9(71).]
- [31] 刘盛和, 何书金. 土地利用动态变化的空间分析测算模型 [J]. 自然资源学报, 2002, 17(5): 532-540. [LIU Shenghe, HE Shujin. A spatial analysis model for measuring the rate of land use change [J]. Journal of Natural Resources 2002, 17(5): 532-540.]
- [32] 侯芳. 基于 RS 和 GIS 的吐鲁番市土地利用时空演化及预测研究 [D]. 新疆大学, 2010. [HOU Fang. Remote sensing and GIS-based analysis on temporal-spatial evolution and forecast of land use change in Turpan city [D]. Xinjiang University 2010.]
- [33] 李奕. 岷江上游植被复原与恢复评价 [D]. 北京林业大学, 2009. [LI Yi. The Vegetation reconstruction and restoration in the upper reaches of Min River [D]. Beijing Forestry University, 2009.]
- [34] 赵宏. 城市土地利用动态变化及空间格局研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009. [ZHAO Hong. Research on dynamic-change of land-use and spatial pattern of urban area [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology 2009.]
- [35] 岳德鹏, 王计平, 刘永兵, 等. 京郊西北地区农地利用与景观格局时空特征 [J]. 农业工程学报, 2008, 24(6): 89-95. [YUE Depeng, WANG Jiping, LIU Yongbing, et al. Spatial and temporal characteristics of agricultural land-use and landscape pattern changes in northwest of Beijing [J]. Transactions of the CSAE 2008, 24(6): 89-95.]
- [36] 陈会广. 经济发展中土地非农化的制度响应与政府征用绩效研究 [D]. 南京农业大学, 2004. [CHEN Huiguang. On the institutional response to land conversion and the performance of government expropriating during economic development [D]. Nanjing Agricultural University 2004.]
- [37] 卢明龙. 海河流域土地利用变化特征及趋势分析 [D]. 天津大学, 2010. [LU Minglong. Feature of land use change and analysis of its changing trend in Haihe River Basin [D]. Tianjin University 2010.]

## Quantitative Determination of Boundary Fluctuation in Arid Valley of the Upper Min River and Its Evolution Feature

DING Mingtao<sup>1</sup> ZHOU Peng<sup>2</sup> ZHANG Yongwang<sup>1</sup> LV Xiating<sup>1</sup>

(1. School of Environment and Sources, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, Sichuan;

2. Water Affairs Bureau of the Pengshui Miao and Tujia Autonomous County, Pengshui 409600, Chongqing)

**Summary:** With rapid population growth and socio-economic development in mountainous regions of western China, arid valleys are acting as an important part in support of mountain ecosystems and suffering serious engineered interference and over-exploitation. With the help of RS and GIS technology, this research took arid valleys in the



upper reaches of Min River as a case study. It applied the Markov prediction method and the model of dynamic change of land use space analysis calculation to perform a quantitatively investigation on the boundary fluctuation of arid valleys in the upper reaches of Min River and its evolutionary features. Results confirmed that: The area of arid valleys in the upper reaches of Min River and its upper border had been growing for years. On an annual average, the upper boundary kept uplifting about 5 m per year in the vertical direction, and the growth trend in the arid valley areas would be getting stronger in the long run; During 1970 to 2010, the expansion rate of arid valley ( $TRL_{70-2010}$ ) presented a rising trend, with  $TRL_{70} = 1.44\%$ ,  $TRL_{80} = 0.95\%$ ,  $TRL_{90} = 2.32\%$ ,  $TRL_{2000} = 2.45\%$ ,  $TRL_{2010} = 3.59\%$  separately; And arid valleys had been highly developing from 1990 to 2000 with a unprecedented maximum rate ( $IRL_{90-2000}$ ), which was regarded as high-speed expansion period, whereas for the period of 1970 to 1980, its rate  $IRL_{70-80}$  dropped to the minimum; As for the period of 1990 to 2000, arid valley had the highest "sensitivity", with a annual rate of change ( $CCL_{90-2000}$ ) 13.01%, followed by  $CCL_{2000-2010} = 6.51\%$ , and in the remaining period, a average annual rate of change was about 4%. This research achievement can provide important scientific basis for rational site planning for settlements, disaster risk management, proper population distribution and readjustment in some areas of western China with a high susceptibility in geohazards.

**Key words:** arid valley; boundary fluctuation; evolution pattern; risk management; the upper reaches of Min River