

岷江上游流域干旱河谷边界位移与气候变化数据集

郭亚琳¹, 闫卫坡^{1,2*}, 王青¹, 胡琪¹, 杨敏¹, 张玉¹, 韩云伟¹

1. 西南科技大学环境与资源学院, 绵阳 621010;

2. 四川省环境政策研究与规划院, 成都 610041

摘要: 干旱河谷是中国横断山区一种独特的地理生态景观类型, 干旱河谷边界位移是山地自然生态系统对气候变化的响应指标之一。基于 SPOT 遥感影像, 采用双轨判读、人工目视解译方式, 得到岷江上游流域干旱河谷边界数据; 利用流域气象站点数据, 采用径向基函数法, 明确了岷江上游气象要素(年平均气温、年降水量、年日照时数、年均相对湿度、年蒸发量)变化趋势的空间分异; 并探讨了 1999–2013 年岷江上游干旱河谷边界位移对区域气候变化的响应特征。结果表明: 1999–2013 年, 岷江上游气候呈现出暖湿化趋势; 干旱河谷边界的平均海拔下降($0.76 \pm 0.26 \text{ m/a}$), 并与区域年降水量变化($p=0.011 < 0.05$)、年相对湿度变化($p=0.020 < 0.05$)以及气候变化($p=0.010 < 0.05$)有明显的负相关性。因此, 干旱河谷边界的下移表明流域气候变化有利于干旱河谷生境的改善。该数据集的研发丰富了岷江上游流域气候变化信息, 准确反映了流域干旱河谷边界位移的基本趋势, 可为深化全球变化下的区域响应研究、指导干旱河谷区生态建设提供数据支撑。该数据集存储为.shp、.tif、.xlsx 数据格式, 由 46 个数据文件组成, 数据量为 6.34 MB (压缩为 1 个文件, 2.59 MB)。

关键词: 干旱河谷边界位移; 时空特征; 气候变化; 横断山区

DOI: <https://doi.org/10.3974/geodp.2023.03.06>

CSTR: <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2023.03.06>

数据可用性声明:

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志(中英文)》出版, 可获取:

<https://doi.org/10.3974/geodb.2023.11.04.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2023.11.04.V1>。

1 前言

位于中国西南横断山区的干旱河谷是湿润环境下一种独特的地理生态现象^[1,2]。区内复杂的地形、气候条件在干旱河谷形成中起着主导控制作用, 局部区域的人为干扰促使干旱景观特征更为明显^[3-5]。干旱河谷边界是指位于干旱河谷灌丛景观及其上部山地森林间的过

收稿日期: 2023-07-12; 修订日期: 2023-09-20; 出版日期: 2023-09-25

基金项目: 中华人民共和国科学技术部(2015BAC05B05-01); 国家自然科学基金(41601088, 41071115); 西南科技大学自然科学基金(18zx7117)

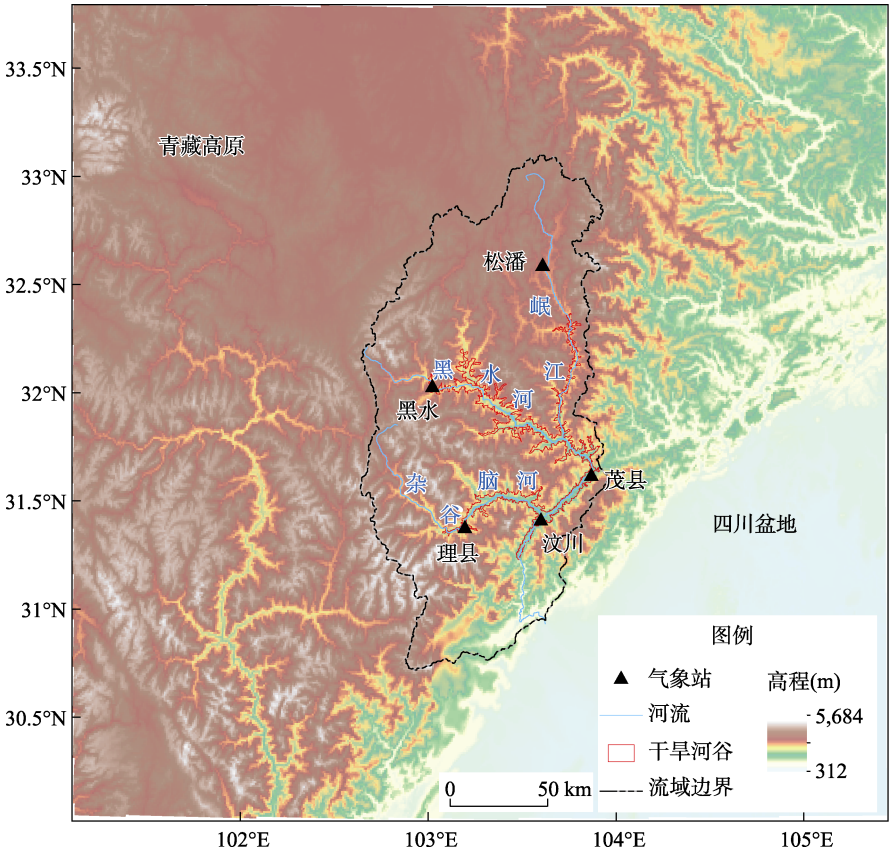
*通讯作者: 闫卫坡 L-5250-2016, 四川省环境政策研究与规划院, 西南科技大学环境与资源学院, wei-po.yan@hotmail.com

数据引用方式: [1] 郭亚琳, 闫卫坡, 王青等. 岷江上游流域干旱河谷边界位移与气候变化数据集[J]. 全球变化数据学报, 2023, 7(3): 281–289. <https://doi.org/10.3974/geodp.2023.03.06>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2023.03.06>.

[2] 闫卫坡, 王青, 郭亚琳等. 岷江上游流域干旱河谷边界位移与气候变化数据集(1999–2013) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2023. <https://doi.org/10.3974/geodb.2023.11.04.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2023.11.04.V1>.

渡地带，其波动特征是自然-人为因素交互作用下山地植被变化的具体体现。干旱河谷边界生境的空间异质性高、动态性强，对外界环境变化敏感而强烈。因此，干旱河谷边界的动态分析可为快速评估气候变化对山区人地系统的影响提供有效途径。

岷江上游干旱河谷是横断山区北部干温河谷的典型代表^[6,7]（图 1）。1974–2000 年间，岷江上游干旱河谷面积扩大^[8]，其最高海拔以 2 m/a 的速度由 3,128m 抬升至 3,181m^[9]。同时，在气候变化和人类活动的多重影响下，刺旋花、白刺等荒漠植物的分布不断扩大并成为优势群落，进一步表明该地区生态环境正在退化^[9–13]。然而，支持这些结论的数据较少。2000 年以后，随着退耕还林等生态修复工程的开展，岷江上游干旱河谷面积缩减，生态恢复效果突出^[14–16]。但对 2000 年以来干旱河谷波动与气候变化的定量研究涉及较少。本研究基于 SPOT 影像和区域气象资料，构建了岷江上游干旱河谷边界位移与气候变化数据集，揭示 1999–2013 年干旱河谷边界位移对区域气候变化的响应特征，丰富了全球变化下的区域响应研究，可为干旱河谷区生态建设和保护提供数据支撑。



2 数据集元数据简介

《岷江上游流域干旱河谷边界位移与气候变化数据集(1999–2013)》^[17]的名称、作者、

地理区域、数据年代、时间分辨率、空间分辨率、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

表 1 《岷江上游流域干旱河谷边界位移与气候变化数据集(1999–2013)》元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	岷江上游流域干旱河谷边界位移与气候变化数据集(1999–2013)
数据集短名	Boundary_Climate_UpperMinjiang
作者信息	闫卫坡 L-5250-2016, 四川省环境政策研究与规划院 西南科技大学环境与资源学院, wei-po.yan@hotmail.com 王青 L-5245-2016, 西南科技大学环境与资源学院, qingw@imde.ac.cn 郭亚琳 L-5221-2016, 西南科技大学环境与资源学院, guoyalin_linda@163.com 胡琪, 西南科技大学环境与资源学院, 2635542962@qq.com 杨敏, 西南科技大学环境与资源学院, miro-y@swust.edu.cn 张玉, 西南科技大学环境与资源学院, 1653651783@qq.com 韩云伟, 西南科技大学环境与资源学院, hanyw1976@126.com
地理区域	中国
数据年代	1999 年、2013 年
时间分辨率	年
空间分辨率	30 m
数据格式	.shp、.tif、.xlsx
数据量	6.34 MB
数据集组成	(1) 1999 年、2013 年岷江上游干旱河谷边界数据 (.shp) (2) 1999–2013 年研究区气候要素变化率数据 (.tif) (3) 干旱河谷边界位移与气候变化统计 (.xlsx)
基金项目	中华人民共和国科学技术部 (2015BAC05B05-01); 国家自然科学基金 (41601088, 41071115); 西南科技大学自然科学基金 (18zx7117)
数据计算环境	ArcGIS
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101, 中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	(1) “数据” 以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放, 用户免费浏览、免费下载; (2) 最终用户使用 “数据” 需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源; (3) 增值服务用户或以任何形式散发和传播 (包括通过计算机服务器) “数据” 的用户需要与《全球变化数据学报 (中英文)》编辑部签署书面协议, 获得许可; (4) 摘取 “数据” 中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10% 引用原则, 即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%, 同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[18]
数据和论文检索系统	DOI, CSTR, Crossref, DCI, CSCD, CNKI, SciEngine, WDS/ISC, GEOSS

3 数据研发方法

3.1 数据来源

气象数据: 包括岷江上游年均温度变化、年降水量变化、年日照时数变化、年均相对湿度变化、年蒸发量变化, 由中国气象局国家气象信息中心提供。

遥感数据: 由于研究的时间尺度较短, 干旱河谷边界位移可能较小, 因此, 选择具有高分辨率的 SPOT 卫星影像作为基础数据 (表 2)。同时, “干旱河谷” 的概念具有相对性, 其定义尚未统一明确^[6, 19, 20]。故, 为了验证干旱河谷边界遥感解译的准确性, 本研究中基

于 Landsat MSS 影像，增加了 1974 年干旱河谷边界的提取，并与已有研究^[9]进行对比。

表 2 遥感影像数据信息

影像类型	获取时间	空间分辨率 (m)	
		全色波段	多光谱波段
Landsat MSS	1974 年 1 月	/	30
SPOT-2/SPOT-4	1999 年 12 月、2000 年 1 月	10	20
SPOT-6	2014 年 1 月、2014 年 2 月	1.5	6

3.2 数据处理

气象数据处理：线性倾向估计法被广泛用于研究气象要素的变化趋势^[21]，该方法通过拟合一条直线来描述数据的变化趋势，其中，斜率表示气象要素年际变化的方向和速率。Mann-Kendall 趋势检验法是一种非参数统计方法，常用于分析时间序列数据是否存在突变^[22]，本研究中以检验各气象要素变化趋势的显著性和可靠性。在此基础上，采用径向基函数法^[18]，在 ArcGIS 平台下，进一步探究流域各气象要素年际变化的空间分布情况。

遥感影像预处理：为了确保后续数据的准确性和可靠性，统一遥感数据坐标系为 WGS_1984_UTM_Zone_48N，其中央子午线在东经 105°。随后，对遥感影像依次进行了几何校正、正交校正、影像融合、影像镶嵌、影像切割等预处理^[2]，确保了遥感影像的几何精度，为后续精确的地理信息提取创造了条件。

干旱河谷边界提取：第一，在研究区内选择具有代表性的典型样区开展实地调查，获取详实的周边环境信息，涵盖了经纬度、海拔、坡度、方位等地理信息，同时也包括植被类型、地面凋落物、人类活动等重要信息。实地调查过程中，筛选与 Google Earth 在线影像中地理位置吻合度较高的样点，成功获得了 88 个控制点和 61 个验证点^[23]，为后续数据处理、地理信息提取提供了重要参考。第二，由于 SPOT 影像中存在阴影区，因此，为了提高数据的准确性和完整性，参考了同期 Landsat 影像。结合前期实地调查和对遥感影像的非监督分类，基于植被类型、影像颜色和纹理特征，建立了干旱河谷边界的解译标志。最后，基于解译标志，由两人同时采用目视解译的方法提取干旱河谷边界，并以最大似然法对两人提取结果的一致性进行检验^[24]：当一致率大于 90%时，即认为解译结果较可靠，仅需对不一致的部分进行协商修改；一致率小于 90%时，即认为解译结果差异较大，需进行重新解释。

4 数据结果与科学发现

4.1 数据集组成

《岷江上游流域干旱河谷边界位移与气候变化数据集(1999–2013)》共包括三个部分：(1) 1999 年、2013 年岷江上游干旱河谷边界数据 (.shp)；(2) 1999–2013 年研究区气候要素变化率数据 (.tif)，空间分辨率为 30 m；(3) 干旱河谷边界位移与气候变化统计 (.xlsx)。

4.2 数据结果验证

数据结果的验证以岷江上游干旱河谷边界数据的验证为重点。一方面，干旱河谷边界

平均海拔在 1974–1999 年间以 $1.72\pm0.32\text{ m/a}$ 的速度向高海拔抬升，这一结果与杨兆平等^[9]基于干旱河谷边界的最高海拔研究成果（ 2 m/a ）相一致，为验证本研究中干旱河谷边界位移的准确性提供了重要的参考依据。另一方面，研究团队长期在岷江上游进行山地生态和聚落地理的研究，积累了大量宝贵的历史资料。为深入了解区域生态环境特征，实地调查了岷江上游理县、汶川县典型聚落^[23]，为干旱河谷边界的提取和位移分析提供了重要的基础信息。因此，该数据集能够准确反映岷江上游干旱河谷边界位移的基本趋势，对深化气候变化与区域响应研究具有重要意义。

4.3 科学发现

4.3.1 岷江上游气候变化特征

1999–2013 年间，岷江上游流域年均气温、年降水量分别以 $0.008\text{ }^{\circ}\text{C/a}$ 、 2.25 mm/a ，的速度增加，气候整体上呈现出暖湿化趋势（表 3）。同时，由于气候背景和区域地理特征的差异，各气象要素变化呈现出明显的地域差异。干旱河谷中心区，干旱特征尤为显著，气候暖湿化趋势较明显，年均气温、年降水量变化率分别为 0.018°C/a 、 3.84 mm/a ，是整个流域中增加最快的。北部黑水河流域的海拔较高、年均气温相对较低，年均气温、年降水量的增加速度较干旱河谷中心区缓慢，暖湿化趋势相对较弱。位于流域南部的杂谷脑河流域海拔较低、气候较为湿润，但年均气温、年降水量的增加最为缓慢，暖湿化趋势最弱。该数据集的研发进一步细化、丰富了岷江上游流域气候变化信息，可为区域环境变化的相关研究、生态建设的开展提供基础数据支撑。

表 3 1999–2013 年岷江上游各气象要素年际变化率统计表

区域	年均气温变化 ($^{\circ}\text{C/a}$)	年日照时数变化 (h/a)	年蒸发量变化 (mm/a)	年降水量变化 (mm/a)	年相对湿度变化 (%/a)
干旱河谷中心区	0.018	-5.24	-5.40	3.84	0.08
黑水河流域	0.006	8.17	-4.18	2.63	-0.29*
杂谷脑河流域	0.005	-25.67*	6.92	2.12	-0.26*
岷江上游流域	0.008	-8.72	5.51	2.25	-0.19*

*表示通过 0.10 显著性水平的 M-K 趋势检验。

4.3.2 干旱河谷边界位移特征

干旱河谷边界位移是气候变化和人类活动的综合反映。岷江上游干旱河谷边界主要分布在 1,601–3,200 m。1974–1999 年间，区内干旱河谷边界平均海拔从 2,371 m 抬升到 2,414 m（图 2），速度为 $1.72\pm0.32\text{ m/a}$ （图 3）。这与基于干旱河谷边界最高海拔的研究结果（ 2 m/a ）相似^[9]，在一定程度上验证了本研究干旱河谷边界提取的准确性。1999–2013 年，岷江上游干旱河谷边界向低海拔移动，平均速度为 $-0.76\pm0.26\text{ m/a}$ ，并在不同地区呈现出一定的差异。

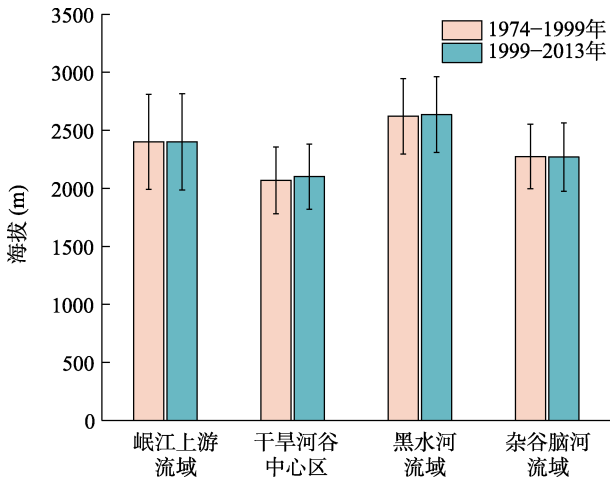


图 2 不同时期干旱河谷边界平均海拔对比图

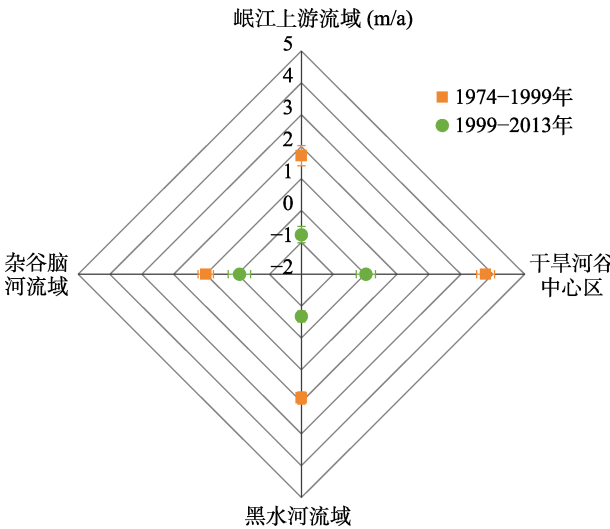


图 3 不同时期干旱河谷边界平均位移对比图

黑水河流域的干旱河谷边界下移最快 (-0.68 m/a), 其次为杂谷脑河流域, 平均速度为 -0.06 m/a , 而干旱河谷中心区的边界整体表现出一定的抬升趋势 (0.02 m/a)。可见, 干旱河谷边界位移呈现出显著的时空异质性特征, 这与不同时期、不同地区的气候条件及其变化特征、人类活动情况存在着密切联系^[2]。20 世纪 70 年代至 90 年代, 岷江上游年均气温、年均降水均呈现出持续上升趋势^[21]。但同时, 该时期人口数量迅猛增长, 当地居民的生计方式和社会经济发展发生了巨大的变化, 人类活动对山地生态系统的干扰强度和频度增加, 干旱河谷的面积扩大、海拔抬升, 生态环境严重退化。自 1999 年以来, 岷江上游气候呈现暖湿化趋势。同时, 天然林保护、退耕还林 (草) 等一系列生态工程相继实施, 降低了人类活动对河谷生态系统的干扰, 区内水土流失得到有效控制, 干旱河谷生境得到恢复, 一定程度上减缓了干旱河谷边界的抬升。综上, 干旱河谷边界波动

是多种因素相互作用、共同影响的结果，该数据集的研发对于精确量化各因素的作用特征及其内在关联机制等深层次研究具有重要意义，为全面、深入地理解干旱河谷边界波动的动因提供了基础支撑。

4.3.3 干旱河谷边界位移与气候变化

1999–2013 年间，岷江上游干旱河谷边界在 1,601–3,000 m 之间的位移量较稳定，平均位移为 -0.02 ± 0.04 m/a，且位移与气象要素的年际变化之间存在着显著的相关性（图 4）。主成分分析、相关性分析表明，干旱河谷边界位移与区域气候变化（即第一主成分因子）呈显著负相关性（ $r=-0.662$ ， $p=0.010<0.05$ ），其中，与水分因子（降水量、相对湿度、蒸发量）的变化负相关（ $p<0.05$ ）、与热量因子（日照时数）的变化正相关（ $r=0.664$ ， $p=0.010<0.05$ ），并达到统计学显著水平。这意味着，随着当前气候变化趋势的增强，岷江上游的干旱河谷边界向高海拔地区抬升的趋势减缓，甚至下降，同时，向低海拔地区的下移将会增加。可见，干旱河谷边界位移能够有效反映区域气候暖湿变化特征。

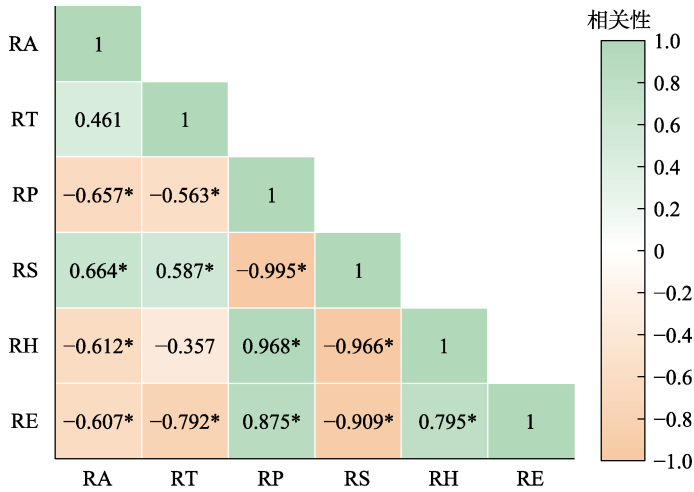


图 4 干旱河谷边界位移与气象因子变化的相关性对比图

（* $p<0.05$ ，RA、RT、RP、RS、RH、RE 分别表示位移、年均气温变化、年日照时数变化、年蒸发量变化、年降水量变化、年相对湿度变化）

5 讨论和总结

干旱河谷边界的位移是山地自然生态系统响应气候变化的敏感性指标之一，其变化直接受到区域生境和气候变化特征的影响^[1]。研究表明，在岷江上游的干旱河谷边界中，位于聚落生态位上限和林地附近的边界仅占据了总长的 13%。同时，由于在快速城镇化发展的推动下，农村居民生计方式转变，放牧、林产品采集等干扰活动减少。考虑到区域气候条件对植被生长的重要影响，可以推断：基于流域内干旱河谷边界整体的研究，能够有效地揭示干旱河谷边界位移与气候变化之间的内在关系。在 1999 年至 2013 年间，岷江上游的气候呈现暖湿化趋势。与此同时，干旱河谷边界下移（ 0.76 ± 0.26 m/a），与区域年降水量、年均相对湿度的变化以及整体气候变化之间存在明显的负相关性，反映出这一时期流

域气候的变化对干旱河谷生境的改善起到了积极的作用^[20]。

由于岷江上游干旱河谷生态建设的艰巨性和长期性,只有科学认知区域环境特征,合理进行人工调控,才能有效开展生态建设。岷江上游干旱河谷边界位移与气候变化数据集的研发可有效揭示干旱河谷边界的空间分异特征及其位移规律,为研究全球气候与环境变化背景下的区域响应提供基础数据支撑,对进一步指导区域生态与环境建设具有重要科学指导价值。但同时,由于缺乏对干旱河谷边界的具体定义,干旱河谷边界的提取存在一定的误差,本研究对于今后基于高分辨率遥感影像的干旱河谷边界自动提取具有重要的参考价值。此外,岷江上游干旱河谷是中国西南地区重要的民族走廊,山区居民生计策略的差异对自然环境有不同的影响^[25-27],该数据集的研发为深入探讨长时间尺度下居民生计选择对干旱河谷边界波动的影响提供了有益的思路和方法。

作者分工:王青、郭亚琳对数据集的开发做了总体设计;闫卫坡、郭亚琳、杨敏采集和处理了数据;胡琪、韩云伟、张玉做了数据验证;闫卫坡撰写了数据论文。

利益冲突声明:本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献

- [1] 郑度. 青藏高原对中国西部自然环境地域分异的效应[J]. 第四纪研究, 2001(6): 484-489.
- [2] 郭亚琳. 岷江上游藏羌聚落生境分异与气候变化的关联机制[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2018.
- [3] 包维楷, 王春明. 岷江上游山地生态系统的退化机制[J]. 山地学报, 2000, 18(1): 57-62.
- [4] 陈国阶, 涂建军, 樊宏等. 岷江上游生态建设的理论与实践[M]. 重庆: 西南师范大学出版社, 2006.
- [5] Dong, Y. F., Xiong, D. H., Su, Z. A., *et al.* The distribution of and factors influencing the vegetation in a gully in the dry-hot valley of southwest China [J]. *Catena*, 2014, 116: 60-67.
- [6] 张荣祖. 横断山区干旱河谷[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 20-25.
- [7] 范建容, 杨超, 包维楷等. 西南地区干旱河谷分布范围及分区统计分析[J]. 山地学报, 2020, 38(2): 303-313.
- [8] 丁明涛, 周鹏, 张永旺等. 岷江上游干旱河谷边界波动的定量判定及其演化特征[J]. 山地学报, 2017, 35(2): 170-178.
- [9] 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.
- [10] 刘文彬. 岷江上游半干旱河谷灌丛植物区系[J]. 山地研究, 1992, 10(2): 83-88.
- [11] Fang, S., Zhao, Y. H., Han, L., *et al.* Boundaries and characteristics of arid regions in mountain valleys in southwestern China [J]. *Mountain Research and Development*, 2018, 38(1): 73-84.
- [12] Nan, X., Yan, D., Li, A. N., *et al.* Mountain hazards risk zoning in the upper reaches of Minjiang River [J]. *Journal of Catastrophology*, 2015, 30: 113-120.
- [13] Sun, L., Cai, Y., Yang, W., *et al.* Climatic variations within the dry valleys in southwestern China and the influences of artificial reservoirs [J]. *Climatic Change*, 2019, 155: 111-125.
- [14] 王海荏, 郭亚琳, 王青. 岷江上游干旱河谷 1999-2009 年边界位移特征[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2017, 53 (3): 316-321.
- [15] 周颖智, 魏江龙, 邵怀勇. 基于RS与GIS的茂县地区干旱河谷范围变化监测[J]. 测绘与空间地理信息,

- 2016, 39 (1): 38–40.
- [16] 樊敏, 李富程, 郭亚琳等. 退耕还林对岷江上游高山聚落区生态服务价值变化的影响[J]. 山地学报, 2016, 34(3): 356–365.
- [17] 闫卫坡, 王青, 郭亚琳等. 岷江上游流域干旱河谷边界位移与气候变化数据集(1999–2013)[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2023. <https://doi.org/10.3974/geodb.2023.11.04.V1>. <https://cstr.science.org.cn/CSTR:20146.11.2023.11.04.V1>.
- [18] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. <https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05> (2017年更新).
- [19] 高媛媛, 刘琼, 王红瑞等. 基于RS和GIS的干旱河谷范围界定方法研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2012, 48(1): 92–96.
- [20] 袁晖, 李贤伟, 林勇. 基于遥感的四川省干旱河谷分布范围区划研究[J]. 四川农业大学学报, 2013, 31(2): 182–187.
- [21] 李宗省, 何元庆, 辛惠娟等. 我国横断山区1960–2008年气温和降水时空变化特征[J]. 地理学报, 2010, 65(5): 563–579.
- [22] Gocić, M., Trajković, S. Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia [J]. *Global and Planetary Change*, 2013, 100: 172–182.
- [23] 王青, 翟真. 岷江上游林树下线地理分布及实地调查样本点数据集(1999–2009)[DB/OL]. 全球变化数据仓储, 2016. <https://doi.org/10.3974/geodb.2016.04.18.V1>.
- [24] Guo, Y. L., Wang, Q., Fan, M. Exploring the relationship between the arid valley boundary's displacement and climate change during 1999–2013 in the upper reaches of the Min River, China [J]. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2017, 6(5): 146.
- [25] 杨靖, 戴君虎, 姚华荣等. 1992–2020年横断山区植被分布与植被活动变化[J]. 地理学报, 2022, 77(11): 2787–2802.
- [26] Zhou, W., Guo, S., Deng, X., *et al.* Livelihood resilience and strategies of rural residents of earthquake-threatened areas in Sichuan Province, China [J]. *Nature Hazards*, 2021, 106: 255–275.
- [27] Fang, Y. P., Fan, J., Shen, M. Y., *et al.* Sensitivity of livelihood strategy to livelihood capital in mountain areas: Empirical analysis based on different settlements in the upper reaches of the Minjiang River, China [J]. *Ecological Indicators*, 2014, 38: 225–235.