

文章编号: 1008 - 2786 - (2020)2 - 303 - 11

DOI:10.16089/j.cnki.1008-2786.000511

西南地区干旱河谷分布范围及分区统计分析

范建容¹, 杨超^{1,2}, 包维楷³, 刘佳丽^{1,2}, 李炫⁴

(1. 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 2. 中国科学院大学, 北京 1000493;
3. 中国科学院 成都生物研究所, 四川 成都 610041; 4. 自然资源部 第三地理信息制图院, 四川 成都 610100)

摘 要: 干旱河谷是我国西南地区复杂地形和气候条件综合作用下形成的特殊景观类型, 明确西南干旱河谷的空间分布范围, 掌握分区统计数据, 对了解干旱河谷生态系统、分析相关自然和人文综合指标有重要意义。本文在前人研究的基础上, 利用遥感与野外验证相结合的方法, 划定了西南地区干旱河谷的空间分布范围, 同时, 分析了干旱河谷区的地形特征和干湿状况。研究表明: 西南地区干旱河谷总长度约为 6911.15 km, 总面积约为 26 451.61 km², 涉及我国甘肃省、四川省、云南省以及西藏自治区 4 个省级行政区。在空间分布上由北至南依次分布在白龙江、岷江、大渡河、雅砻江、金沙江、澜沧江、怒江和元江, 其中, 金沙江干旱河谷面积最大, 占西南地区干旱河谷总面积的 44.36%, 岷江干旱河谷面积最小, 占西南地区干旱河谷总面积的 2.74%。坡度大于 25°的面积占西南地区干旱河谷总面积的 55.00%, 地形坡度区域差异显著, 岷江干旱河谷区地形坡度较大, 雅砻江干旱河谷区较为平缓。阳坡面积大于阴坡面积, 阳坡面积占干旱河谷总面积的 40.49%, 阴坡面积占干旱河谷总面积的 31.12%。干旱河谷区内气象观测站的干季干燥度指数 (I_{ad}) 值在 2.14 ~ 5.10 之间, 属于半干旱类型和干旱类型。本研究成果可为干旱河谷的进一步深入研究提供基础数据支撑。

关键词: 横断山区; 干旱河谷; 分布范围; 地形特征; Penman - Monteith 模型; 干湿状况

中图分类号: K903

文献标志码: A

干旱河谷主要指分布在我国西南横断山高山峡谷区, 在特定气候环境条件下形成的具有特定景观类型, 并在此基础上发育相应土壤类型的区域^[1]。干旱河谷按纬度位置、海拔高度、气温、植被和土壤类型等指标可细分为干热河谷、干暖河谷和干温河谷三种类型^[1]。沿大江大河分布的狭长干旱地段以及邻近过渡带是我国西南地区区域社会、经济和文化的重心, 同时也是区域交通、信息和物流的重要通道和咽喉, 人类活动、经济发展与自然关系密切, 相互制约, 是典型的自然—社会—经济复合山地系统^[2]。随着社会经济的不断发展, 人们对干旱河谷区生态环境的影响也日益突出, 具体表现为植被退

化^[3]、生态恶化^[4-5]、水土流失加剧^[6-7]、山地灾害频发^[8], 对山地生态安全带来巨大威胁。

目前, 诸多学者在横断山干旱河谷区开展了大量的研究工作, 主要集中在干旱河谷区边界划定、范围提取与变动研究^[9-11], 干旱河谷区植被区系、分布和多样性研究^[12-14], 干旱河谷区主要气象指标波动趋势和分布格局研究^[15-17]等方面。干旱河谷分布范围作为干旱河谷研究的基础数据, 不同学者采用不同方法得出的结果仍存在较多争议, 无法统一。郑度等^[1]首次提出横断山区干旱河谷干流总长度 4105.00 km, 总面积 11 230.00 km²。包维楷等^[2]通过大量的野外考察认为这一结果偏小, 初步统计干

收稿日期 (Received date): 2019 - 12 - 25; 改回日期 (Accepted date): 2020 - 03 - 16

基金项目 (Foundation item): 国家重点研发计划课题 (2017YFC0505104); 国家测绘地理信息局地理国情监测重点实验室 2017 年开放基金项目 (2017NGCM02)。[National Key Research and Development Plan Program (2017YFC0505104); Key Laboratory for National Geographic Census and Monitoring, National Administration of Surveying, Mapping and Geoinformation (2017NGCM02)]

作者简介 (Biography): 范建容 (1969 -), 女, 四川井研人, 研究员, 博士生导师, 主要从事山地环境遥感研究。[FAN Jianrong (1969 -), female, born in Jingyan, Sichuan province, professor, Ph. D. supervisor, research on mountain environment remote sensing] E-mail: fjrjng@imde.ac.cn

旱河谷面积至少超过 26 500.00 km², 而岷江干旱河谷面积应在 720 km² 左右。蔡凡隆等^[18]和袁晖等^[19]计算的四川省干旱河谷面积分别为 9508.85 km² 和 10955.20 km², 两者计算结果相差 1446.35 km²。杨兆平等^[20]、詹金凤等^[21]和郑杰等^[11]在不同时间节点计算的岷江上游干旱河谷面积分别为 1230.78 km²、1185.15 km² 和 705.62 km², 岷江干旱河谷面积最大值与最小值相差 525.16 km²。周颖智等^[22]和高媛媛等^[23]计算的茂县地区和大渡河上游地区干旱河谷面积分别为 381.97 km² 和 585.80 km²。杨兆平等^[20]计算认为岷江上游干旱河谷面积 1974—2000 年处于扩张阶段, 而周颖智等^[22]计算认为茂县地区干旱河谷面积 2005—2015 年呈缩减趋势, 王海苕等^[24]同样计算得出岷江上游干旱河谷面积在 10 年间减少了 157.48 km²。

综上所述, 目前西南干旱河谷研究中存在两方面的突出问题: (1) 干旱河谷的分布范围缺少完整的统计数据。横断山区东北区域岷江、金沙江流域干旱河谷已有学者做了大量研究工作, 而西南区域怒江、澜沧江及元江流域干旱河谷较少有人关注。(2) 不同学者研究的干旱河谷面积和长度差异较大。准确划定干旱河谷空间分布范围是科学认识干旱河谷生态系统的基础^[2]。本文在参考前人研究成果的基础上, 通过目视解译和野外验证, 划定了西南地区干旱河谷的分布范围, 重点分析了各干旱河谷的地形特征与干湿状况, 为干旱河谷的相关研究工作提供基础数据支撑。

1 研究区概况

本研究区以横断山区为主体, 同时包含白龙江流域和元江流域(见图 1)。横断山区在大地构造上处于南亚大陆与欧亚大陆镶嵌交接带的东翼, 位于我国青藏高原东部、四川盆地西部和云贵高原西北部, 总面积为 449 841.00 km², 包括我国西藏自治区昌都市的部分县和四川省甘孜、阿坝、雅安、凉山、攀枝花的部分县区, 以及云南省怒江、迪庆、丽江、大理、楚雄、昆明的部分县区^[5]。横断山区地域辽阔, 南北向跨越 10 个纬度, 东西向跨越 7 个经度, 区域内地势北高南低, 山川相间排列、南北纵贯、岭谷高程悬殊、地貌类型垂直分异明显等是横断山区地貌形态的重要特征^[25]。在地貌形态上横断山区有一

系列近似南北向展布的 7 条山脉和 6 条河流, 在气候上横断山区受高空西风环流、印度洋和太平洋季风环流的影响, 具有不同于我国同纬度的降水特征, 干湿季区分明显, 一般 5 月中旬到 10 月中旬为湿季, 降水量占全年的 85% 以上, 从 10 月中旬到翌年 5 月中旬为干季, 降水少, 日照长, 蒸发大, 空气干燥^[25]。在水文上该区域是我国唯一兼有太平洋和印度洋水系的地区。在动植物地理分布上是多种动植物区系相互交错、汇聚和种属演化替代的交接地带^[25]。根据水要素和热要素为主导因素、植被和土壤要素为主要标志的综合性原则, 区内自然带从南至北可以划分为以下四个带: (1) 北热带季雨林—红壤带; (2) 亚热带常绿阔叶林—红壤和黄壤带; (3) 暖温带针阔叶混交林—褐色土和典型棕壤带; (4) 寒温带亚高山暗针叶林草甸—暗棕壤和亚高山草甸土带^[25]。白龙江流域地处我国大陆中部, 海拔 586~4950 m, 是青藏高原向黄土高原、秦巴山区过渡的斜坡急剧变形带, 白龙江横贯秦岭构造带, 由一系东西向褶皱和断裂带组成, 区内经两次构造运动

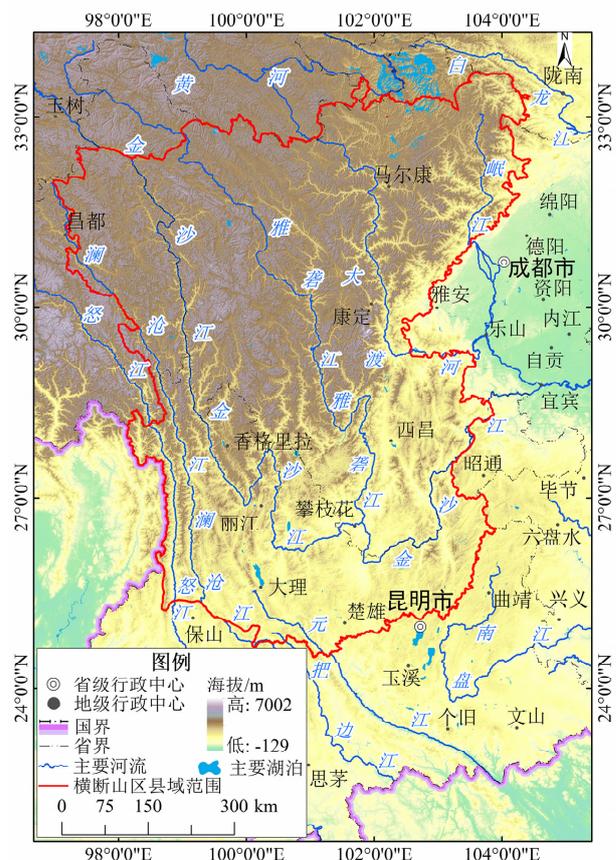


图 1 区域位置图

Fig. 1 Location of study area in Southwest China

形成高山峡谷地形,该区域属于暖温带向北亚热带过渡地带,夏季高温多雨,冬季温暖少雨,气候垂直分异明显,受山脉屏障作用,干旱河谷气候显著^[26-27]。元江河谷约在 $23^{\circ}12' \sim 25^{\circ}10'N$ 和 $100^{\circ}30' \sim 103^{\circ}30'E$ 范围内,海拔 $300 \sim 1200 \text{ m}$,河谷位于横断山区东南缘,呈西北向东南走向长条斜贯于云南高原中南部,属高山峡谷地貌。该区域受西侧哀牢山脉、无量山脉和东侧云贵高原的地形阻挡,河谷内“焚风效应”显著,属北热带特征的干热气候^[28-29]。

2 数据与方法

2.1 数据来源

研究区行政区划矢量数据来源于国家基础地理信息中心提供的1:25万全国基础地理信息数据库。采用2000国家大地坐标系,1985国家高程基准,分幅数据采用地理坐标,单位为度。气象数据来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)中国地面气候资料日值数据集(V3.0)提供的1989—2018年干旱河谷区内部及外部周边21个气象观测站逐日降雨量、日照时数、相对湿度、气温和风速风向数据。

2.2 研究方法

干旱河谷典型植被类型包括干热的河谷型稀树灌草丛和肉质灌丛、干暖的小叶灌丛和干温的近荒漠植被,具有独特的群落特征和植物区系组成,是我国西南河谷地区特有的植被类型,也是全球萨王纳植被、地中海型马基植被在中国西南地区的残余和替代类型^[30]。元江、金沙江、怒江和澜沧江4大江河干旱河谷植被被定名为“河谷型萨王纳植被(Savanna of valley type)”^[31]。本文以Google Earth平台提供的多年秋季(9月—11月)和冬季(12月—翌年2月)历史遥感影像作为数据源,其中,怒江干旱河谷、澜沧江干旱河谷、雅砻江干旱河谷、金沙江干旱河谷、元江干旱河谷和大渡河干旱河谷选用的遥感影像时间为2010—2019年;白龙江干旱河谷和岷江干旱河谷选用的遥感影像时间为2013—2019年。干旱河谷范围的具体提取方法为:首先,由两人同时分别采用目视遥感解译的方法,勾绘出西南干旱河谷分布范围;其次,以最大似然法检查两人提取干旱河谷范围的精度,当相似度超过90%,则通过两人商议,对不一致部分进行修改,而当相似度低于

90%,则进行重新解译。最后,开展干旱河谷沿线野外实地考察验证,对干旱河谷分布范围的重要端点、拐点位置进行了验证和修正工作。

干湿度指数用于表示某一区域的干旱程度,一般用湿润指数或干燥度指数来表示^[32]。采用联合国粮农组织(FAO)推荐的Penman-Monteith模型(计算方法详见文献[32])编程计算得到潜在蒸散数据。结合降水量数据,干湿指数采用Vysotskii模型确定,将干燥度指数 I_a 值定义为湿润指数的倒数,即:

$$I_a = ET_0/P \quad (1)$$

式中, ET_0 为最大可能蒸散(mm), P 为降雨量(mm)。

$I_a \leq 0.99$ 时为湿润类型, $1.00 \leq I_a \leq 1.49$ 时为半湿润类型; $1.50 \leq I_a \leq 3.99$ 时为半干旱类型; $I_a \geq 4.00$ 时为干旱类型。本文通过对原始气象数据漏行、错行值的修正,整理得到21个观测站点1989—2018年逐日气象数据,由公式(1)计算得到 I_a 值。

3 研究结果

3.1 干旱河谷总体空间分布状况

西南地区干旱河谷位于 $22^{\circ}59'20'' \sim 34^{\circ}4'52''N$, $97^{\circ}25'8'' \sim 105^{\circ}9'43''E$ 的范围内,总长度约为6911.15 km,总面积约为26 451.61 km²。西南地区干旱河谷以横断山区干旱河谷为主体,同时包括白龙江干旱河谷和元江干旱河谷,主要涉及我国甘肃省、四川省、云南省和西藏自治区4个省级行政区,38个地级市,117个县(区)(表1)。西南地区干旱河谷从北至南,依次分布在白龙江、岷江、大渡河、雅砻江、金沙江、澜沧江、怒江和元江(图2)。其中,金沙江干旱河谷面积最大(11 735.17 km²),其次分别为雅砻江干旱河谷(3 142.76 km²)、元江干旱河谷(3 085.54 km²)、澜沧江干旱河谷(2 685.05 km²)、怒江干旱河谷(2 107.13 km²)、大渡河干旱河谷(1 785.36 km²)、白龙江干旱河谷(1 185.61 km²)、岷江干旱河谷面积最小,仅为724.99 km²。

3.2 干旱河谷各省分布概况

西南地区干旱河谷在云南省分布的长度和面积最大,四川省和西藏自治区次之,甘肃省境内分布的干旱河谷长度和面积最小(图3)。云南省境内干旱

表1 西南地区干旱河谷统计数据

Tab.1 The statistical data of dry valleys in Southwest region

干旱河谷名称	面积/km ²	长度/km	涉及省份	涉及县级行政区/个
白龙江干旱河谷	1185.61	355.45	甘肃省	5
岷江干旱河谷	724.99	253.43	四川省	5
大渡河干旱河谷	1785.36	726.93	四川省	10
雅砻江干旱河谷	3142.76	782.38	四川省	13
金沙江干旱河谷	11735.17	2353.95	四川省、云南省、西藏自治区	44
澜沧江干旱河谷	2685.05	862.80	云南省、西藏自治区	12
怒江干旱河谷	2107.13	833.58	云南省、西藏自治区	9
元江干旱河谷	3085.54	742.63	云南省	19
合计	26451.61	6911.15		117

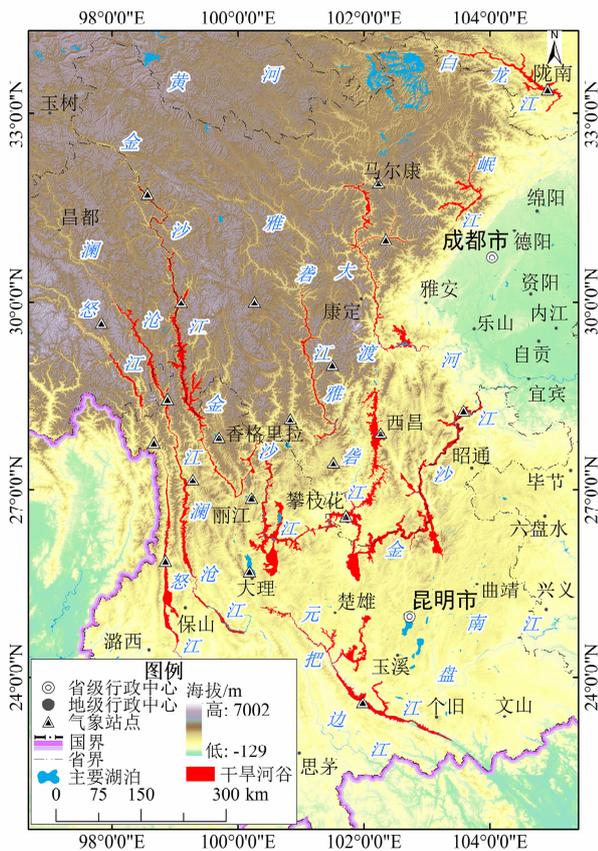


图2 西南地区干旱河谷空间分布

Fig.2 Spatial distribution of dry valleys in Southwest China

河谷长度为3133.90 km,面积为13 856.30 km²,分别占西南地区干旱河谷总长度和总面积的45.35%和52.39%,主要包括金沙江干旱河谷、澜沧江干旱河谷、怒江干旱河谷和元江干旱河谷。四川省境内干旱河谷长度为2733.71 km,面积为9745.38 km²,分别占西南地区干旱河谷总长度和总面积的

39.55%和36.84%,主要包括金沙江干旱河谷、大渡河干旱河谷、岷江干旱河谷和雅砻江干旱河谷。西藏自治区境内干旱河谷长度为688.09 km,面积为1664.32 km²,分别占西南地区干旱河谷总长度和总面积的9.96%和6.29%,主要包括澜沧江干旱河谷、金沙江干旱河谷和怒江干旱河谷。甘肃省境内仅涉及白龙江干旱河谷,干旱河谷长度为355.45 km,面积为1185.61 km²,分别占西南地区干旱河谷总长度和总面积的5.14%和4.48%。

3.3 干旱河谷区地形特征

干旱河谷区坡度大于25°的面积占西南地区干旱河谷总面积的55.00%,其中,岷江干旱河谷区地形坡度较大,雅砻江干旱河谷区较为平缓。由表2可知,岷江干旱河谷区坡度大于25°的面积占该河谷总面积的74.53%,其中,29.04%和28.86%的面积集中分布在25°~35°和35°~45°的陡坡范围内。雅砻江干旱河谷区坡度小于25°的面积占该河谷总面积的61.51%,其中坡度小于5°的面积占该干旱河谷面积的27.81%,总体坡度较缓。

西南地区各干旱河谷在阳坡方向分布面积均大于其在阴坡方向分布面积(图4)。从坡面朝向来看,西南和东南方向干旱河谷面积较大,分别占干旱河谷总面积的14.17%和13.27%;正北和西北方向干旱河谷面积较小,分别占干旱河谷总面积的8.23%和11.20%。从干旱河谷来看,白龙江干旱河谷、雅砻江干旱河谷、澜沧江干旱河谷和金沙江干旱河谷在西南方向分布面积最大,分别占其干旱河

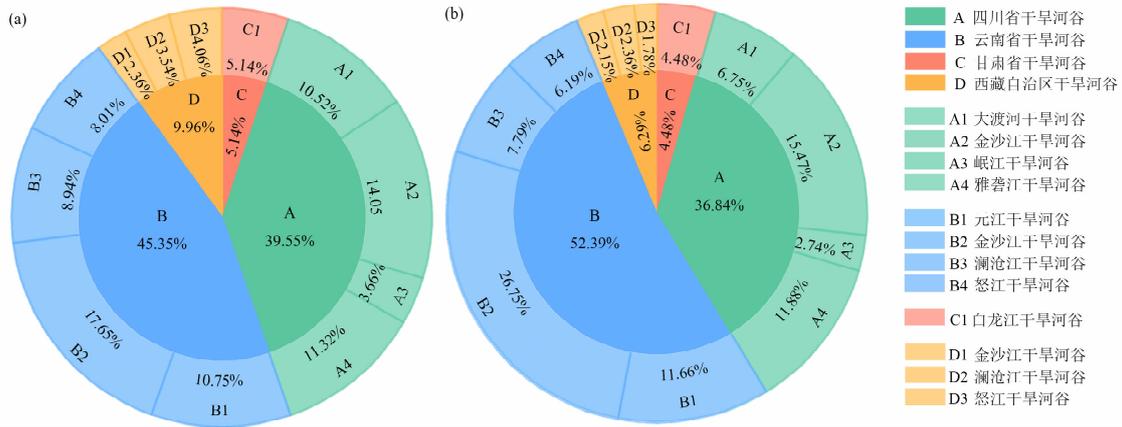


图 3 干旱河谷长度及面积百分比: (a) 干旱河谷长度; (b) 干旱河谷面积

Fig. 3 Length and area percentage of dry valleys:

(a) length percentage of dry valleys; (b) area percentage of dry valleys

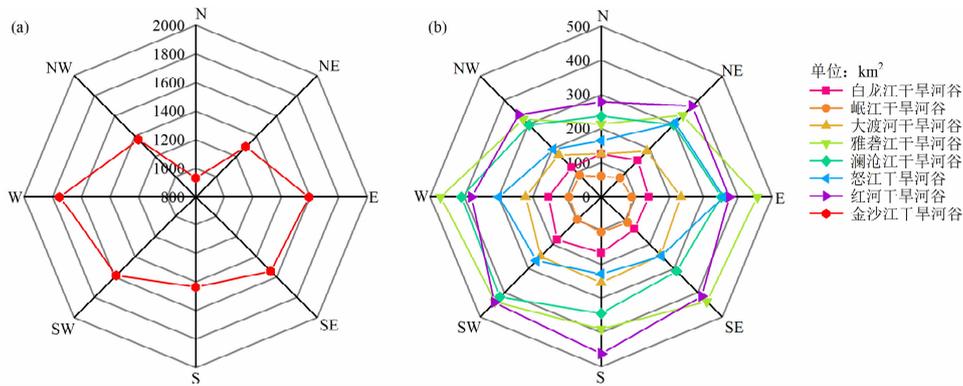


图 4 干旱河谷不同坡向面积统计图: (a) 金沙江干旱河谷; (b) 其他七条干旱河谷

Fig. 4 Area of dry valleys in various aspect: (a) dry valley of Jinsha River; (b) seven other dry valleys

谷面积的 15.40%、14.32%、15.68% 和 13.77%。大渡河干旱河谷和元江干旱河谷主要分布在南坡方向,分别占其干旱河谷面积的 15.05% 和 15.07%。岷江干旱河谷集中分布在东南方向,占其干旱河谷面积的 15.14%。怒江干旱河谷虽在东北坡向分布面积较大,但分布于北坡和西北坡的面积较小,总体来看,干旱河谷在阳坡分布面积仍大于其在阴坡方向分布面积。

3.4 近 30 年干旱河谷区干湿状况

根据 Penman - Monteith 模型和 Vysotskii 模型,计算得出西南干旱河谷区 21 个气象台站的干燥度指数(见表 3)。由表 3 可知,干燥度指数 $I_a \leq 1.99$,依据 Vysotskii 模型的定义,该区域属于湿润类型 (≤ 0.99) 和半湿润类型 (1.00 ~ 1.49),这一划分标准与该区域实际的干旱气候状况不相符。造成这一现象的主要原因是由于本区域降雨呈现显著的干湿

季分异。由图 5 可知,干季(10 月中旬到翌年 5 月中旬)与湿季(5 月中旬至 10 月中旬)的 ET_0 相差不大,干季潜在蒸发量(ET_{0D})略大于湿季潜在蒸发量(ET_{0W}),但湿季降雨量(P_W)约为干季降雨量(P_D)的 1.27 ~ 6.67 倍,差异显著。使用全年平均值计算 I_a 值,湿季充沛的降水导致计算的 I_a 值偏低,遮掩了干季的干燥气候。因此采用 ET_{0D} 与 P_D 计算该区域 I_{aD} 值。由表 3 和图 6 可知,西南地区干旱河谷气象站点的 I_{aD} 值均大于等于 2.14,攀枝花站点 I_{aD} 值大于 5.00,分别属于半干旱类型(1.50 ~ 3.99) 和干旱类型 (≥ 4.00)。张荣祖等^[1]通过对比其他不同学者划分干湿类别所用的干燥度指标,提出横断山区干旱河谷干燥度划分区间应为 1.5 ~ 5.00 的区间范围,本研究通过该区域气象站点 30 年逐日气象数据的计算,该结果与前人研究结论较为吻合。

表 2 干旱河谷不同坡度面积统计表

Tab.2 Area of dry valleys in various slope

干旱河谷名称	<5°		5°~15°		15°~25°		25°~35°		35°~45°		>45°	
	面积	百分比	面积	百分比								
白龙江干旱河谷	86.20	7.27	120.82	10.19	204.22	17.23	350.81	29.59	325.01	27.41	98.54	8.31
岷江干旱河谷	31.59	4.36	48.85	6.74	104.23	14.38	210.55	29.04	209.25	28.86	120.53	16.62
大渡河干旱河谷	202.46	11.34	207.15	11.60	281.54	15.77	397.67	22.27	447.86	25.09	248.69	13.93
雅砻江干旱河谷	873.93	27.81	596.47	18.98	462.67	14.72	520.55	16.56	471.78	15.01	217.37	6.92
金沙江干旱河谷	1299.55	11.07	1875.22	15.98	2412.61	20.56	2942.96	25.08	2324.06	19.80	880.77	7.51
澜沧江干旱河谷	95.27	3.55	167.97	6.25	431.70	16.08	837.96	31.21	880.06	32.78	272.10	10.13
怒江干旱河谷	215.39	10.22	324.58	15.40	384.95	18.27	450.66	21.39	483.90	22.97	247.65	11.75
元江干旱河谷	216.67	7.02	455.51	14.76	804.30	26.07	920.24	29.82	555.34	18.00	133.48	4.33

注:面积单位为 km²,百分比单位为%。

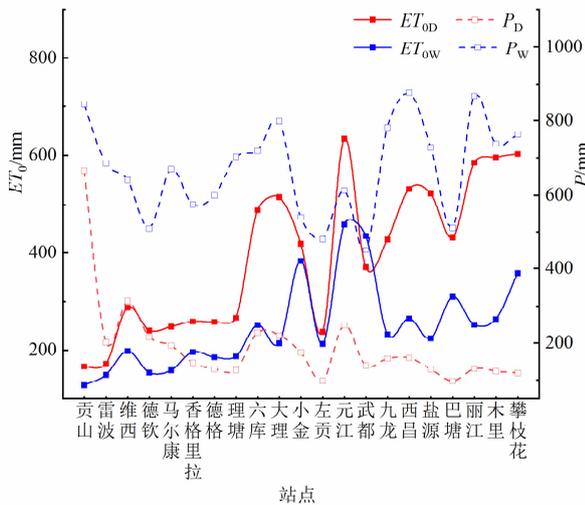


图 5 站点干季和湿季的潜在蒸散和降雨量

Fig.5 ET₀ and P of the meteorological stations in dry season and wet season

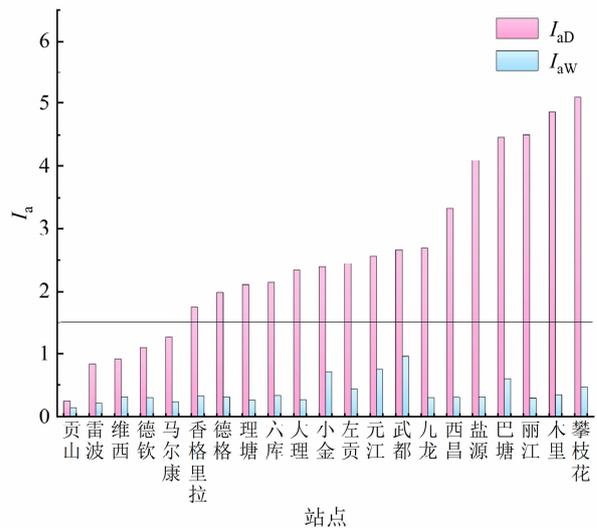


图 6 站点干燥度指数

Fig.6 Aridity index data of meteorological stations

受西南地区自然条件等限制,该区域气象站点分布稀疏,加之部分气象站长期观测数据难以获取,目前仅收集到 21 个气象站的日值观测数据,其中有 8 个气象站位于干旱河谷区内部,13 个气象站位于干旱河谷外部(图 2 和表 3)。干旱河谷内部气象站与不同干旱河谷的具体对应关系分别为:武都站和小金站分别位于白龙江干旱河谷和大渡河干旱河谷,贡山站和六库站位于怒江干旱河谷,巴塘站和攀枝花站位于金沙江干旱河谷,西昌站和元江站分别位于雅砻江干旱河谷和元江干旱河谷,暂时无法收集到位于澜沧江干旱河谷和岷江干旱河谷内部的气

象站点观测数据。

4 讨论与结论

干旱河谷是我国湿润、亚湿润地区的一种特殊自然地理类型,也是干旱区环境研究的触角领域之一^[33],全面准确的掌握干旱河谷在我国西南地区的空间分布状况具有重要的现实意义。本文在收集整理前人研究干旱河谷分布范围的基础上,通过遥感影像解译,并结合大量的野外实地考察,提出了较为完整的西南地区干旱河谷面积及空间分布。通

表 3 气象台站干燥度指数数据
Tab.3 Aridity index data of meteorological stations

台站名	纬度/°	经度/°	海拔/m	30 年平均值			干季平均值			湿季平均值		
				ET_0 /mm	P /mm	I_a	ET_{0D} /mm	P_D /mm	I_{aD}	ET_{0w} /mm	P_w /mm	I_{aw}
六库*	25.87	98.85	950.00	809.33	965.73	0.84	487.88	227.64	2.14	250.41	718.80	0.35
小金*	31.00	102.35	1022.00	897.77	633.49	1.42	419.12	175.47	2.39	381.98	539.30	0.71
元江*	23.60	101.98	401.00	1263.70	797.38	1.58	634.53	247.50	2.56	457.39	612.25	0.75
武都*	33.40	104.92	1079.00	916.94	461.50	1.99	368.82	138.32	2.67	434.32	451.16	0.96
西昌*	27.90	102.27	1591.00	886.47	1038.66	0.85	531.46	159.64	3.33	264.28	875.13	0.30
巴塘*	30.00	99.10	2589.00	814.26	492.03	1.65	431.41	96.61	4.47	309.27	510.35	0.61
攀枝花*	26.58	101.72	1225.00	1109.82	828.37	1.34	602.90	118.13	5.10	357.31	762.67	0.47
贡山*	27.75	98.67	1583.30	235.35	1716.19	0.14	165.26	663.95	0.25	126.94	843.20	0.15
雷波	28.27	103.58	1255.80	269.27	864.99	0.31	170.97	202.05	0.85	147.70	684.10	0.22
维西	27.17	99.28	2326.10	481.62	953.78	0.50	287.35	313.21	0.92	197.63	640.33	0.31
德钦	28.45	98.88	3319.00	364.58	652.18	0.56	239.18	215.39	1.11	152.28	509.04	0.30
马尔康	31.90	102.23	2664.40	387.43	812.16	0.48	246.98	193.54	1.28	157.27	668.49	0.24
香格里拉	27.83	99.70	3341.50	446.06	648.59	0.69	257.82	146.08	1.76	195.87	575.31	0.34
德格	31.73	98.57	3184.00	427.20	643.09	0.66	256.98	128.66	2.00	184.49	598.97	0.31
理塘	30.00	100.27	3948.90	447.61	776.22	0.58	265.55	126.07	2.11	186.70	702.59	0.27
大理	25.70	100.18	1977.70	802.69	1038.92	0.77	514.46	220.16	2.34	213.99	796.75	0.27
左贡	29.67	97.83	3780.00	436.75	463.58	0.94	236.84	97.13	2.44	212.68	480.70	0.44
九龙	29.00	101.50	2925.00	712.42	921.94	0.77	427.27	158.00	2.70	231.48	782.02	0.30
盐源	27.43	101.52	2516.80	819.40	800.90	1.02	522.34	127.76	4.09	223.88	728.07	0.31
丽江	26.87	100.22	2380.90	939.60	980.22	0.96	584.57	129.70	4.51	251.33	865.24	0.29
木里	28.13	100.83	2426.50	970.16	809.62	1.20	595.45	122.16	4.87	262.91	737.34	0.36

注：* 表明该气象站点位于干旱河谷区内部，其他为外部周边气象站点。 ET_{0D} 、 P_D 、 I_{aD} 分别为干季潜在蒸散、干季降雨量和干季干燥度指数； ET_{0w} 、 P_w 、 I_{aw} 分别为湿季潜在蒸散、湿季降雨量和湿季干燥度指数。

过与前人研究结果进行对比分析，本文研究的西南干旱河谷总面积为 26 451.61 km²，与包维楷等^[2]估算的干旱河谷面积（26 500.00 km²）相接近，略小于 Fang 等^[34]研究得出的西南干旱河谷面积（33 391.60 km²）。郑度等^[1]20 世纪 90 年代初期提出位于横断山区的干旱河谷面积为 11 230.00 km²，而本研究计算的该区域干旱河谷面积为 20 358.81 km²。袁晖等^[19]和蔡凡隆等^[18]分别计算的四川省干旱河谷面积与本文研究结果（9745.38 km²）相差不大。在岷江流域，本文计算结果为 724.99 km²，小于杨兆平等^[20]和詹金凤等^[21]的计算面积，与郑杰等^[11]的计算结果（705.62

km²）相接近。造成以上结果差异的主要原因是由于前人计算干旱河谷面积多为估算，有的虽然进行了边界勾绘，但比较粗略，相较之下本文进行了更为精细解译和大量野外考察修正，边界的确定更为准确。

本文研究结论如下：

(1) 西南干旱河谷由北向南依次分布在白龙江流域、岷江流域、大渡河流域、雅砻江流域、金沙江流域、澜沧江流域、怒江流域和元江流域。西南地区干旱河谷总长度约 6911.15 km，总面积约为 26 451.61 km²，主要涉及我国甘肃省、四川省、云南省和西藏自治区 4 个省级行政区，38 个地级市，117

个县(区)。

(2)云南省境内涉及金沙江干旱河谷、怒江干旱河谷、澜沧江干旱河谷和元江干旱河谷,占西南地区干旱河谷总面积的 52.82%;四川省境内涉及金沙江干旱河谷、岷江干旱河谷、大渡河干旱河谷和雅砻江干旱河谷,占西南地区干旱河谷总面积的 37.15%;西藏自治区境内涉及金沙江干旱河谷、怒江干旱河谷和澜沧江干旱河谷,占西南地区干旱河谷总面积的 6.34%;甘肃省境内涉及白龙江干旱河谷,占西南地区干旱河谷总面积的 3.69%。

(3)干旱河谷区坡度大于 25°的面积占西南地区干旱河谷总面积的 55.00%,其中,岷江干旱河谷区地形坡度较大,雅砻江干旱河谷区较为平缓。西南地区各干旱河谷在阳坡方向分布面积均大于其在阴坡方向分布面积。

5 不足与展望

西南干旱河谷区地质构造复杂、地形环境多样、植被类型丰富、气候条件独特,导致该区域形成了与周边湿润环境截然不同的干旱河谷景观。植被对气候变化的反应较为敏感和直观。本文以干旱河谷在遥感影像中反应出的景观特征为依据,确定了西南地区干旱河谷的空间分布范围,分析了该区域的地形特征,同时,结合干燥度指数定量研究了该区域的干湿状况。但由于西南地区干旱河谷分布范围较大,涉及划分指标较多且不完善,本文未将西南地区干旱河谷细分为干温河谷、干暖河谷和干热河谷三种亚类型。横断山区山高谷深,区内气象站点稀少,部分干旱河谷区内气象观测数据难以获取,同时,采用干燥度指标的划分方法,从 Vysotskii 模型的计算公式中只体现了“干”的气候特征,尚未体现温度指标对干旱河谷分布范围的影响作用。以上不足期望在后续的研究中继续深入探索。

致谢 感谢中国气象数据网提供气象数据。

参考文献 (References)

- [1] 张荣祖. 横断山区干旱河谷[M]. 北京:科学出版社,1992:6-20. [ZHANG Rongzu. The dry valleys of the Hengduan mountains region [M]. Beijing: Science Press, 1992: 6-20]
- [2] 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]. 北京:科学出版社,2012:2-3. [BAO Weikai, PANG Xueyong, LI Fanglan, et al. The scientific basis for ecological restoration and sustainable management in arid valley [M]. Beijing: Science Press, 2012: 2-3]
- [3] 李昆,刘方炎,杨振寅,等. 中国西南干热河谷植被恢复研究现状与发展趋势[J]. 世界林业研究,2011,24(4):55-60. [LI Kun, LIU Fangyan, YANG Zhenyin, et al. Study status and trends of vegetation restoration of dry-hot valley in Southwest China [J]. World Forestry Research, 2011, 24(4): 55-60]
- [4] 欧朝蓉,朱清科,孙永玉. 元谋干热河谷景观生态安全时空变化[J]. 中国水土保持科学,2018,16(1):131-140. [OU Zhaorong, ZHU Qingke, SUN Yongyu. Temporal and spatial variation of landscape ecological security in Yuanmou dry-hot valley [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2018, 16(1): 131-140]
- [5] 时振钦,邓伟,张少尧. 近 25 年横断山区国土空间格局与时空变化研究[J]. 地理研究,2018,37(3):607-621. [SHI Zhenqin, DENG Wei, ZHANG Shaoyao. Spatial pattern and spatio-temporal change of territory space in Hengduan mountains region in recent 25 years [J]. Geographical Research, 2018, 37(3): 607-621]
- [6] 董一帆,聂勇,熊东红. 基于 Google Earth 影像的横断山区沟蚀及侵蚀沟类型调查研究[J]. 水土保持通报,2018,38(3):151-157. [DONG Yifan, NIE Yong, XIONG Donghong. Investigation of gully density and classification of Hengduan mountainous area based on google earth image [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(3): 151-157]
- [7] 丁文荣. 金沙江下游元谋干旱河谷区水沙过程演变规律研究[J]. 水资源与水工程学报,2017,28(6):20-26. [DING Wenrong. Study on the evolution rule of water and sediment processes in Yuanmou arid valley of Jinsha river, Southwest China [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2017, 28(6): 20-26]
- [8] 陈剑,黎艳,许冲. 金沙江干热河谷区泥石流易发性评价模型及应用[J]. 山地学报,2016,34(4):460-467. [CHEN Jian, LI Yan, XU Chong. Susceptibility assessment model of debris flows in the dry-hot valley of the Jinsha river and its application [J]. Mountain Research, 2016, 34(4): 460-467]
- [9] 杨斌,李丹,高桂胜,等. Sentinel-2a 卫星数据处理分析及在干旱河谷提取中的应用[J]. 国土资源遥感,2018,30(3):128-135. [YANG Bin, LI Dan, GAO Guisheng, et al. Processing analysis of sentinel-2a data and application to arid valleys extraction [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2018, 30(3): 128-135]
- [10] 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. [DING Mingtao, ZHOU Peng, ZHANG Yongwang, et al.

- Quantitative determination of boundary fluctuation in arid valley of the upper Min river and its evolution feature [J]. *Mountain Research*, 2017, **35**(2): 170 - 178]
- [11] 郑杰,冯文兰,王凤杰,等. 岷江上游干旱河谷范围的界定及其变化分析[J]. *干旱区地理*, 2017, **40**(3): 541 - 548. [ZHENG Jie, FENG Wenlan, WANG Fengjie, et al. Spatial definition and its range variation of arid valley in the upper reaches of Minjiang river [J]. *Arid Land Geography*, 2017, **40**(3): 541 - 548]
- [12] 李云琴,杜凡,汪健. 金沙江上游干旱河谷维管植物区系特征[J]. *西部林业科学*, 2019, **48**(1): 93 - 99. [LI Yunqin, DU Fan, WANG Jian. Floristic characteristics of vascular plants in dry valleys of the upstream of Jinsha river [J]. *Journal of West China Forestry Science*, 2019, **48**(1): 93 - 99]
- [13] 沈泽昊. 中国西南干旱河谷的植物多样性:区系和群落结构的空分异与成因[J]. *生物多样性*, 2016, **24**(4): 363 - 366. [SHEN Zehao. Plant diversity in the dry valleys of Southwest China: spatial deviation and determinants for flora and plant communities [J]. *Biodiversity Science*, 2016, **24**(4): 363 - 366]
- [14] 刘晔,朱鑫鑫,沈泽昊,等. 中国西南干旱河谷植被的区系地理成分与空间分异[J]. *生物多样性*, 2016, **24**(4): 367 - 377. [LIU Ye, ZHU Xinxin, SHEN Zehao, et al. Flora compositions and spatial differentiations of vegetation in dry valleys of Southwest China [J]. *Biodiversity Science*, 2016, **24**(4): 367 - 377]
- [15] 徐飞,贾仰文,牛存稳,等. 横断山区气温和降水年季月变化特征[J]. *山地学报*, 2018, **36**(2): 171 - 183. [XU Fei, JIA Yangwen, NIU Cunwen, et al. Variation character of annual, seasonal and monthly temperature and precipitation [J]. *Mountain Research*, 2018, **36**(2): 171 - 183]
- [16] 申官正,王龙,余航,等. 变化环境下横断山区参考作物蒸散量时空分布及成因分析[J]. *中国农村水利水电*, 2017, (8): 40 - 45. [SHEN Guanzheng, WANG Long, YU Hang, et al. Temporal and spatial distribution and cause analysis of reference crop evapotranspiration in Hengduan mountains [J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2017, (8): 40 - 45]
- [17] 丁文荣,吕喜玺. 横断山区干旱河谷大气水资源变化特征与演变趋势研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2015, **24**(3): 395 - 401. [DING Wenrong, LV Xixi. Changing feature and trend of atmospheric water resource in dry valleys of Hengduan mountains, China [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, **24**(3): 395 - 401]
- [18] 蔡凡隆,张军,胡开波. 四川干旱河谷的分布与面积调查[J]. *四川林业科技*, 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]
- [19] 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. [YUAN Hui, LI Xianwei, LIN Yong. Arid river valley division research in Sichuan Province based on remote sensing [J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2013, **31**(2): 182 - 187]
- [20] 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 Minjiang river, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, **27**(8): 3250 - 3256]
- [21] 詹金凤,杨斌,李茂娇,等. GIS和地理本体在岷江上游干旱河谷范围界定中的应用研究[J]. *地理与地理信息科学*, 2015, **31**(2): 65 - 69. [ZHAN Jinfeng, YANG Bin, LI Maojiao, et al. Definition scope of arid valley in the upper reaches of Minjiang river based on GIS and geographic ontology [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2015, **31**(2): 65 - 69]
- [22] 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. [ZHOU Yingzhi, WEI Jianglong, SHAO Huaiyong. Monitoring the scope changes of dry valleys in Maoxian area based on RS and GIS [J]. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2016, **39**(1): 38 - 40]
- [23] 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. [GAO Yuanyuan, LIU Qiong, WANG Hongrui, et al. Definition dry valleys scope by RS and GIS [J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2012, **48**(1): 92 - 96]
- [24] 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. [WANG Haijiang, GUO Yalin, WANG Qing. Boundary displacement characteristics of the dry valley in the upper reaches of the Minjiang river during the period from 1999 to 2009 [J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 2017, **53**(3): 316 - 321]
- [25] 钟祥浩,刘淑珍. 山地环境理论与实践[M]. 北京:科学出版社, 2015: 163 - 174. [ZHONG Xianghao, LIU Shuzhen. Theory and practice of mountain environment [M]. Beijing: Science Press, 2015: 163 - 174]
- [26] 魏宏庆,沈永平,魏鹏慧,等. 白龙江中游干旱河谷水土流失与地理环境[J]. *干旱区地理*, 2019, **42**(5): 1023 - 1028. [WEI Hongqing, SHEN Yongping, WEI Lihui, et al. Soil erosion and geographical environment in dry valley of the middle reaches of bailong river [J]. *Arid Land Geography*, 2019, **42**(5): 1023 - 1028]
- [27] 谢余初,巩杰,赵彩霞. 甘肃白龙江流域水土流失的景观生态风险评价[J]. *生态学杂志*, 2014, **33**(3): 702 - 708. [XIE Yuchu, GONG Jie, ZHAO Caixia. Evaluation of landscape ecological risk of soil and water erosion in the bailongjiang watershed in southern Gansu, China [J]. *Chinese Journal of*

- Ecology, 2014, **33**(3): 702–708]
- [28] 李新辉,刘延虹,刘晔,等. 地理距离及环境差异对云南元江干热河谷植物群落 Beta 多样性的影响[J]. 生物多样性, 2016, **24**(4): 399–406. [LI Xinhui, LIU Yanhong, LIU Ye, et al. Impacts of geographical distances and environmental differences on the beta diversity of plant communities in the dry-hot valley of the Yuanjiang river [J]. Biodiversity Science, 2016, **24**(4): 399–406]
- [29] 沈蕊,张建利,何彪,等. 元江流域干热河谷草地植物群落结构特征与相似性分析[J]. 生态环境学报, 2010, **19**(12): 2821–2825. [SHEN Rui, ZHANG Jianli, HE Biao, et al. The structure characteristic and analysis on similarity of grassland community in dry-hot valley of Yuanjiang river [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010, **19**(12): 2821–2825]
- [30] 沈泽昊,张志明,胡金明,等. 西南干旱河谷植物多样性资源的保护与利用[J]. 生物多样性, 2016, **24**(4): 475–488. [SHEN Zehao, ZHANG Zhiming, HU Jinming, et al. Protection and utilization of plant biodiversity resources in dry valleys of Southwest China [J]. Biodiversity Science, 2016, **24**(4): 475–488]
- [31] 金振洲,欧晓昆. 元江、怒江、金沙江、澜沧江干热河谷植被 [M]. 昆明:云南大学出版社, 2000: 285–286. [JIN Zhenzhou, OU Xiaokun. Vegetation of Yuan river, Nu river, Jinsha river, and Lancang river dry-hot valleys [M]. Kunming: Yunnan University Press, 2000: 285–286]
- [32] 吴绍洪,尹云鹤,郑度,等. 近 30 年中国陆地表层干湿状况研究[J]. 中国科学(D 辑:地球科学), 2005, **32**(3): 276–283. [WU Shaohong, YIN Yunhe, ZHENG Du, et al. Characteristics of China dry-wet condition in recent 30 years [J]. Science in China (Ser. D: Earth Sciences), 2005, **32**(3): 276–283]
- [33] 杨勤业,郑度,刘燕华. 横断山地区干旱河谷的自然特点及其开发利用[J]. 干旱区资源与环境, 1988, **2**(2): 17–24. [YANG Qinye, ZHENG Du, LIU Yanhua. Physico-Geographical feature and economic development of the dry valleys in the Hengduan Mountains, Southwest China [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 1988, **2**(2): 17–24]
- [34] FANG Shu, ZHAO Yonghua, HAN Lei. Boundaries and Characteristics of Arid Regions in Mountain Valleys in Southwestern China [J]. Mountain Research and Development, 2018, **38**(1): 73–84.

Distribution Scope and District Statistical Analysis of Dry Valleys in Southwest China

FAN Jianrong¹, YANG Chao^{1, 2}, BAO Weikai³, LIU Jiali^{1, 2}, LI Xuan⁴

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

2. University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China; 3. Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Science,

Chengdu 610041, China; 4. The Third Geoinformation Mapping Institute of Ministry of Natural Resource, Chengdu 610100, China)

Abstract: Dry valleys are special landscape types in Southwest China due to the complex interplay of environment and socioeconomic characteristics, such as unique terrain, and complex climate. A scientific understanding and quantitative assessment of the distribution range and district statistical data of the dry valleys will be essential to investigate the ecosystem of the dry valleys, and to analyze related natural and anthropogenic factors. Based on the previous research achievements, the distribution range of the dry valleys was delineated using a comprehensive methodology that integrated the visual interpretation and field validation method. The results showed that the dry valleys in Southwest China encompassed a length of 6845.84 km and an area of 26 232.91 km², respectively. They covered 4 provinces including Gansu Province, Sichuan Province, Yunnan Province and Tibet and distributed along dry valley of Pai-lung River, Minjiang River, Dadu River, Yalong River, Jinsha River, Lancang River, Salween and Yuanjiang River ranging from the North to the South. Dry valley of Jinsha River was the largest, which takes up around 44.73% of the total area of the dry valleys, and the dry valley of Minjiang River was the smallest, which accounted for 2.76%. The dry valley area on slope over 25° accounted for 55.00% of total area. There

were significant differences in slope gradient among each dry valley. The topography was steep in Minjiang River dry valley, but it was gentle in Yalong River dry valley. The dry valley area on sunny slope and shade slope accounted for 40.49% and 31.12% of the total area of dry valleys, respectively. The I_{ad} of the meteorological stations ranged from 2.14 ~ 5.10 in dry valleys, belonging to semiarid type and arid type. The results of this paper could serve as fundamental scientific reference for further research of dry valleys in Southwest China.

Key words: Hengduan Mountain; dry valleys; distribution range; Penman-Monteith model; wet-dry condition