

# 贵州乌江流域气温与降水空间分布特征及其地形影响分析

程东亚, 李旭东

(贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵阳 550025)

**摘 要:**探究山地流域气温与降水空间分布特征及其地形影响因素,为区域农业发展和资源利用提供参考。选取中国(贵州)地面累年值年值数据集(1981—2010 年)气温和降水数据,利用克里金法(Kriging)、反距离权重法(Inverse Distance Weight)、样条函数法(Spline)、地理加权回归(GWR)等方法,探究了贵州乌江流域气温和降水空间分布特征,并分析了地形对气温和降水的影响。结果表明:(1) 贵州乌江流域气温从上游(赫章—水城)至下游(沿河—道真)总体逐渐升高,气温与海拔变化大致呈相反关系。(2) 贵州乌江流域降水总体从东南(南)向西北逐渐减少,织金—普定—安顺等迎风坡降水较多。(3) 贵州乌江流域水热组合不均衡,水热组合良好区域偏少,生产生活需要“因温因水”制宜。(4) 贵州乌江流域海拔对气温具有负影响,海拔变化 1 000 m,气温空间变化为 3.3~6.0℃,其影响程度为下游、上游南部高,中游低。(5) 贵州乌江流域海拔对降水影响空间差异大,GWR 模拟空间影响正负均有,流域上游负影响,中游正影响。

**关键词:**气温;降水;地形;地理加权回归;贵州乌江流域

**中图分类号:**P423; P426.6

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2020)02-0246-07

## Analysis of Spatial Distribution of Temperature and Precipitation and Its Terrain Impact of the Wujiang River Basin in Guizhou Province

CHENG Dongya, LI Xudong

(School of Geography and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** It can provide reference for regional agricultural production and rational utilization of resources to explore the spatial distribution characteristics of temperature and precipitation and their influencing factors. The temperature and precipitation data of the China (Guizhou) ground yearly value data (1981—2010) was selected, the kriging, the inverse distance weight, and the spline, geographically weighted regression and other methods were used to explore the spatial distribution of temperature and precipitation of the Wujiang River Basin in Guizhou Province, and the impact of terrain on temperature and precipitation was analyzed. The results show that: (1) The temperature of the Wujiang River Basin in Guizhou Province is gradually increasing from the upstream (Hezhang-Shuicheng) to the downstream (Yanhe-Daozhen), and the temperature is roughly opposite to the change in altitude. (2) The precipitation is generally decreasing from the southeast (south) to the northwest, and there are more precipitations on the windward aspects such as Zhijin-Puding-Anshun. (3) The temperature and precipitation combination of the Wujiang River Basin in Guizhou Province is not balanced, and the area with good temperature and precipitation combination is less. The production and life should adapt to the temperature and precipitation. (4) The elevation of the Wujiang River Basin in Guizhou Province has the significantly negative impact on temperature, and when the altitude changes by 1 000 m, the temperature changes by 3.3~6.0℃. The impact degree is lower in the downstream, and it is higher in the upstream and lower in the middle. (5) The spatial difference of precipitation of the Wujiang River Basin in Guizhou Province is large, and the space effects simulated by the geographically weighted regression are positive or negative. The space effects are negative in upstream of the basin, these are positive in the middle reaches of the basin.

收稿日期:2019-04-17

修回日期:2019-05-20

资助项目:国家自然科学基金“西南山地流域城市化与生态环境的耦合关系研究——以贵州乌江流域为例”(41261039)

第一作者:程东亚(1994—),男,安徽亳州人,硕士研究生,研究方向为资源利用与低碳发展。E-mail:wwwcdongya@yeah.net

通信作者:李旭东(1969—),男,湖南邵东人,教授,主要从事人口地理与区域发展、应对气候变化与低碳经济研究。E-mail:616507732@qq.com

**Keywords:** temperature; precipitation; terrain; geographically weighted regression; Wujiang River Basin in Guizhou Province

水热资源作为重要的自然资源,对社会发展影响深刻<sup>[1-3]</sup>。随着全球气候变化加剧,气温降水异常情况频繁,人类更重视气象气候科学研究<sup>[4-5]</sup>。受地理环境影响,山区不可能建设密集的气象站点。因此,进行空间插值是获取气温与降水空间分布的重要途径之一。

空间插值方法较多,如样条函数法<sup>[6]</sup>、反距离权重法<sup>[7]</sup>、克里金法(又称克里格法)<sup>[8]</sup>等,这些方法在气象研究中被广泛应用。如庄立伟等<sup>[9]</sup>采用 Kriging, IDW, GIDW 对东北气象要素插值,结果表明 GIDW 对温度插值精度高, IDW 对降水插值适合。彭彬等<sup>[10]</sup>采用普通克里格和协同克里格等对江苏气温插值,并探究高程、经纬度及距海远近对插值效果影响。张莉莉等<sup>[11]</sup>对海南岛气象要素插值,结果表明混合插值法在该地最优。谭剑波等<sup>[12]</sup>采用 Cokriging 和 Anusplin 对青藏高原东南部气象要素插值,表明 Anusplin 更适合该区域。段晋芳等<sup>[13]</sup>对山西永庆河流域降水插值,认为 Kriging 在该区域更好。另外, Pereira 等<sup>[14]</sup>对 Sierra Nevada 插值,探究地形等对气象要素影响,以及 Li 等<sup>[15]</sup>对降雨插值研究。以上文献看,气温与降水插值研究较为丰富,涉及不同尺度。但当前文献更多探究气温降水空间分布特征,对地形因素探究相对较少。

文章选取地形条件复杂(海拔落差超 2 000 m)、喀斯特分布广泛(流域内岩溶地貌分布广泛)、社会经济条件差异悬殊(既有经济发展水平较高区域,又有相对贫困地区)的贵州乌江流域(约 26.14°—29.22°N, 104.32°—108.79°E)为研究对象,探究气温降水空间分布特征和地形影响。文章意义表现在:(1) 地形复杂的西南山地流域,气候要素变化具有复杂性,河流上中下游气象要素差异对社会经济发展影响不同;(2) 西南山地流域生态环境较脆弱,以流域为单元探究气象要素空间分布有利于流域开发和生态保护;(3) 气温降水对农业生产有直接影响,探究气温降水分布特征及水热组合有利于流域农业开发“因地制宜”。

# 1 数据与方法

## 1.1 数据来源

气温降水数据来源于国家气象科学数据共享服务平台(<http://data.cma.cn>)中国(贵州)地面累年值数据集(1981—2010 年)。DEM 数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn>),分辨率为 30 m。选取 31 个有效站点,参考以往研究<sup>[16-17]</sup>, 27 个站点(87.10%)作为插值站点, 4 个站点(12.90%)作为检验站点。在不影

响插值效果前提下,检验站点尽量分布流域不同位置(图 1)。气象站点海拔数据采用 DEM 获取,可反映气象站点大致海拔高度。



图 1 研究区气象站点空间分布位置

## 1.2 插值方法

地理空间插值具有误差,本文使用多种方法分析气温与降水空间特征,具有实际应用意义。介绍克里金法(Kriging)、样条函数法(Spline)、反距离权重法(IDW)书籍和文献较多,表达式为:

(1) 克里金法(Kriging)<sup>[18]</sup>。

$$Z_b = \sum_{i=1}^S Z_n W_n \tag{1}$$

式中: $Z_b$ 为待估计值; $Z_n$ 为已知值; $W_n$ 为权重; $S$ 为估算样本点数目。

(2) 样条函数法(Spline)。样条函数法有几种不同函数,薄板样条函数(Thin-plate Splines)为例,表达式为<sup>[18]</sup>:

$$Q(m, n) = \sum A_i D_i^2 \lg D_i + a + bm + cm \tag{2}$$

式中: $m, n$ 为待插值点坐标; $D_i^2 = (m - m_i)^2 + (n - n_i)^2$ ; $m_i, n_i$ 是相应控制点  $m, n$  的坐标。

(3) 反距离权重法(IDW)<sup>[18]</sup>。

$$Z_b = \sum_{i=1}^S Z_i \frac{1}{d_i^k} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^S \frac{1}{d_i^k}} \tag{3}$$

式中: $Z_b$ 为估计值; $Z_i$ 为已知点  $i$  数值; $d_i$ 为  $i$  与  $a$  距离; $S$ 为已知点数目; $k$ 为幂。

## 1.3 误差检验方法

文章采用多种方法探究气温和降水空间分布特征,气温与降水分布的地形影响采用最优插值方法分析。采用均方根误差(Root-Mean-Square Error, RMSE)检验插值精度,越小说明插值效果越好,表达式为<sup>[17-18]</sup>:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i - Z_x)^2} \tag{4}$$

式中:RMSE 为均方根误差; $Z_i$  为已知值; $Z_x$  为估计值。

### 1.4 地理加权回归

地理加权回归 (Geographically Weighted Regression,GWR)是空间回归模型,采用 GWR 探究地形对气温降水影响,表达式为<sup>[19]</sup>:

$$y=b_0(u_i,v_i)+\sum_{i=1}^kb_1(u_i,v_i)x_{ij}+\delta_i \tag{5}$$

式中: $(u_i,v_i)$  为某区域地理坐标中心; $b_0$  为常数; $b_1$  为自变量回归系数; $x_{ij}$  为自变量; $\delta_i$  为误差。

## 2 气温与降水空间分布特征

### 2.1 气温空间分布特征

气温在流域东北部大致呈东西向降低(图 2),即从沿河—务川—正安、沿河—德江—凤冈方向逐渐降低。不同方法降低具有局部差异,IDW 在流域东北有道真、务川两个低温中心,Kriging,Spline 小范围低高温中心少

于 IDW。Kriging 无明显小范围低高温中心,该方法在开阳周边存在较大范围低温中心。Spline 低温中心两处较明显,一是开阳周边,二是清镇周边。Kriging 与 IDW 在流域西北毕节—赫章差异小,仅低温范围不同。但 Spline 在该区域 13.5℃ 以下出现间隔,有别另外两种方法,赫章西部出现另一低温中心。流域南部普定—花溪—贵定,IDW 有几处小范围高温中心,Kriging 和 Spline 则呈带状,即南北降低(花溪—白云降低),东西延伸(普定—平坝—花溪—龙里)。流域中部,3 种插值差异明显。Kriging 中,除白云、修文、瓮安等外,气温变化和缓,以开阳为低温中心向周边缓慢升高。Spline 插值低温区扩大,包括开阳—瓮安较大范围。IDW 呈 2 个相对分散低温中心,即开阳—修文连成低温中心,瓮安单独成低温中心。总体看,IDW 有多处局部高低温中心,Kriging、Spline 气温分布整体呈带状。

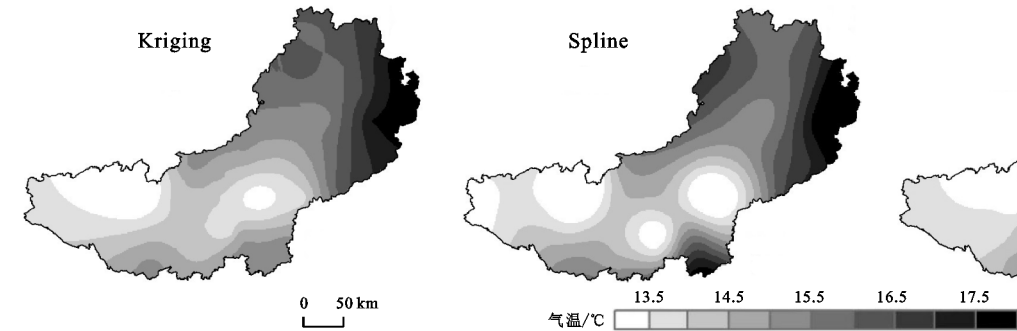


图 2 贵州乌江流域气温空间分布特征

### 2.2 降水空间分布特征

3 种插值(图 3)在流域西部变化密集,但密集程度有差异。Kriging,Spline 插值在流域变化密集最明显是织金—毕节和织金—黔西一带。但该区 IDW 降水密集程度不明显,且降水高值中心小于 Kriging,Spline。该区域 IDW 高降水中心在织金和普定两侧延伸距离短、面积小。另外,IDW 在该区域变化趋势虽呈南北向递减,但等降水线相对和缓。流域东北凤冈—德江属小范围降水高值中心,降水多于周边。3 种插值方法在凤冈—德江一带高值中心范围有差异。Kriging 降水高值中心

呈东北—西南狭长分布,向周边缓慢扩散。但 Spline 降水高值中心范围大,降水量从内到外均匀减少。IDW 在流域东北插值和缓,降水变化较慢。IDW 降水向周边降低过程中,并非 Kriging 和 Spline 呈椭圆变化,而是不规则面状。Kriging 在中部无明显拓展,呈现以开阳为中心均匀降水区。Spline 出现明显高值降水中心,以开阳为中心向周边减少。IDW 在中部单一降水中心多,如开阳为中心高值降水中心,花溪为中心降水低值中心。黔西周边较特殊,属降水低值中心。总体看,Spline 较均匀呈条带状,IDW 多区域中心且变化和缓,Kriging 介于两者间。

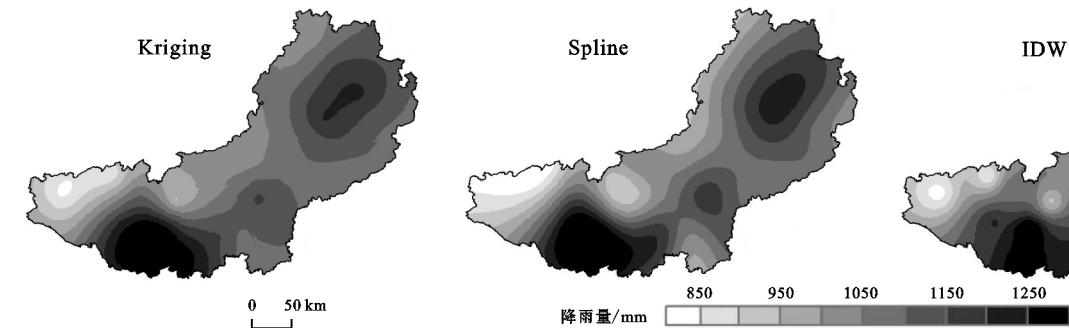


图 3 贵州乌江流域降水空间分布特征

### 2.3 插值精度对比分析

气温与降水插值数据通过 ArcGIS 提取,用 RMSE

检验。插值对比结果显示(表 1),Spline 插值气温与降水最大值和最小值差异较大,极差达 7.68,654.03,而

Kriging 和 IDW 插值差异相对较小。气温插值检验中(表 2),IDW,Kriging,Spline 的 RMSE 分别为 0.53,0.79,1.28,IDW 插值最好。降水插值检验中,IDW,Kriging,Spline 的 RMSE 分别为 33.94,17.11,36.95,Kriging 效果最好。因此,探究气温降水空间分布特征的地形影响,文章采用 Kriging(降水)和 IDW(气温)。

表 2 气温与降水插值精度对比

	实测数据		插值数据					
	气温/℃	降水/mm	气温/℃			降水/mm		
			IDW	Spline	Kriging	IDW	Kriging	Spline
印江	16.8	1110.2	17.08	18.20	17.59	1129.04	1117.28	1085.67
息烽	14.8	1070.6	13.94	14.05	13.69	1112.17	1098.57	1085.16
龙里	15.0	1077.3	14.64	16.78	15.23	1112.32	1095.70	1009.78
安顺	14.2	1293.0	14.63	15.16	14.96	1256.98	1292.43	1302.38
RMSE			0.53	1.28	0.79	33.94	17.11	36.95

2.4 水热组合空间分布特征

水热组合对农业发展具有重要意义,水热组合良好则有利于农业生产,反则不利。不考虑季节变化因素和喀斯特地下水下渗、多溶洞等复杂情况,则水热充足更利农业发展。根据最优插值结果,气温降水采用自然间断点分级法(Jenks)分 3 类(表 3):高气温区(高温)、中气温区(中温)、低气温区(低温);高降水区(高水)、中降水区(中水)、低降水区(低水)。气温降水形成不同水热组合区(图 4)。高温—高水区主要在凤冈—德江一带,水热状况组合良好,有利农业生产。高温—中水区在流域下游,主要为道真—务川—思南—石阡一带,水热组合较优。该区域水热组

	表 1 气温与降水插值最大值、最小值、极差对比					
	气温/℃			降水/mm		
	IDW	Kriging	Spline	IDW	Kriging	Spline
最大值	17.70	17.84	19.72	1355.46	1358.27	1392.70
最小值	12.10	12.11	12.04	832.90	834.05	738.67
极差	5.60	5.73	7.68	522.56	524.22	654.03

合良好,可适度开发农业资源,积极培育宜温湿作物。中温—高水区在凤冈周边及普定—安顺等区域,该带气温适中,降水丰沛,农业生产总体有利。中温—中水区主要在流域中上游,呈现东西向狭长带状分布。低温—高水区主要在流域上游南岸,气温较低,但降水丰沛。流域低温—低水区主要在上游北岸毕节、赫章,降水气温组合不佳。发展农业生产,需克服不利因素。流域水热组合条件良好区较少,不利农业发展。但发展旅游业可利用低温优势,夏季山地避暑旅游都是较好举措。综合看,流域水热组合不均衡,优良水热组合(指高温—高水区)面积偏小,其他类型水热组合面积偏大。

表 3 自然间断点分级划分气温与降水区间

3 类自然间断点 分级区间	气温	低气温区	中气温区	高气温区		
	范围/℃	12.10~14.10	14.11~15.46	15.47~17.70		
	降水	低降水区	中降水区	高降水区		
	范围/mm	834.05~1035.52	1035.53~1169.14	1169.15~1358.27		
5 类自然间断点 分级区间	气温	低气温区	较低气温区	中气温区	较高气温区	高气温区
	范围/℃	12.10~13.79	13.80~14.56	14.57~15.46	15.47~16.43	16.44~17.70
	降水	低降水区	较低降水区	中降水区	较高降水区	高降水区
	范围/mm	834.05~963.57	963.58~1060.19	1060.20~1134.19	1134.20~1232.87	1232.88~1358.27

注:3 类划分自然间断点分级适用于图 4;5 类自然间断点分级区间适用于图 5—6。

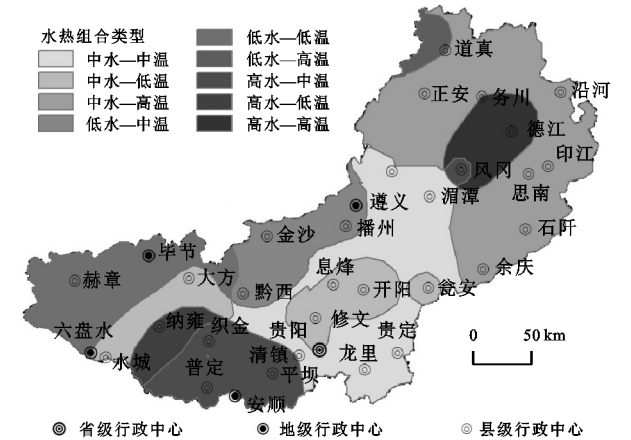


图 4 贵州乌江流域水热组合空间分布特征

3 地形对气温与降水空间分布的影响

3.1 地形对气温分布的影响

乌江流域离海洋(太平洋、印度洋)较远,气温分布除经纬度影响外,地形成为重要因素,很多研究<sup>[20-21]</sup>已经涉及地形对温度影响。流域高差大,地形对气温影响不可忽视,该影响主要体现在海拔高度变化。总体看,流域气温从上游(赫章—水城)到下游(道真—沿河)逐渐升高。流域气温变化与海拔变化大致相反(图 5)。流域低气温区主要分布在大于 1 500 m 的上游,主要包括毕节、赫章、纳雍、大方等。流域低气温区还有开阳周边,该分布与局部环境有关。流域中部海



拔主要在 800~1 500 m, 气温低于赫章等地。较低气温区面积大, 占流域面积 1/3 左右。流域中气温区呈北宽南窄, 该特点可能与北部山地有关。中气温区南部海拔在 500~1 000 m, 北部部分山地 1 000~1 500 m。较高气温区主要在流域中下游道真、正安、务川、余庆等地, 呈南北向带状分布。相对南部, 较高气温区北部宽, 可

能原因如下: (1) 道真、正安、务川等属于小范围谷地, 河谷盆地具有保温作用; (2) 区域海拔降低, 气温升高。气温高值区主要在流域东北部靠近重庆市附近, 海拔较低, 属乌江下游。综合看流域气温分布, 自西南(上游)至东北(下游)逐渐升高, 变化趋势与海拔相反, 该变化与河流流向基本一致。

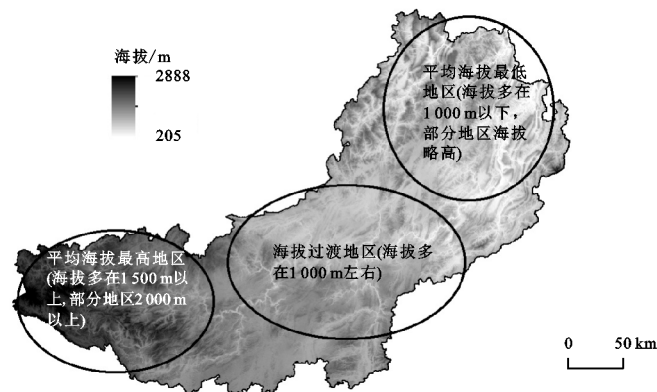


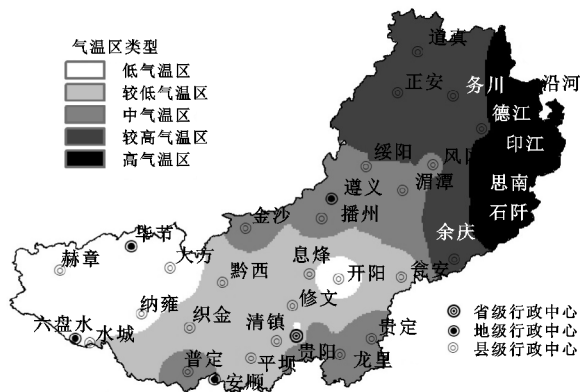
图 5 贵州乌江流域地形对气温的影响简单示意图

### 3.2 地形对降水分布的影响

降水分布受地形影响, 特别是山地迎背风坡及特殊地形对降水影响已有较多研究<sup>[22-23]</sup>。流域海拔变化复杂, 迎背风坡变化较多, 对降水产生显著影响。总体看, 流域降水变化呈东南(南)向西北递减, 西南部则由南向北递减明显(图 6)。从贵定—毕节(赫章)、安顺—赫章降水总体逐渐减少且速度快, 变化快与山地迎风坡有关。降水受地形阻挡, 产生地形雨, 地形雨形成变化较快降雨带。流域低降水区主要分布在上游北岸毕节—赫章。毕节—赫章降水相对较少, 有以下原因: (1) 海拔较高。 (2) 处于山地背风坡。 (3) 缺少湿润气流。毕节—赫章向东和东南, 降水带呈东西向狭长分布, 该特征与谷地地形、山地海拔、夏季风有关。黔西—纳雍一带属谷地, 谷地使气流沿谷底上行, 也对降水产生一定影响。该地属南北山地(六盘水—织金东西向山地)背风坡, 多因素叠加使流域上游降水呈东西向狭长分布。普定—安顺—织金一带降水多, 该带属夏季风山地迎风坡, 地形阻挡增加降水。由于流域大环境相对湿润, 山地东西延伸, 使高降水区面积较大。另一相对较高降水区位于凤冈—德江迎风坡, 降水偏多。凤冈—德江较高降水区分布大, 呈东北—西南向, 该特征与迎风方向和面积有关, 东北—西南向迎风坡长且迎风面大, 使降水与山地走向密切相关。流域中降水区面积广大, 主要分布于中部。该区海拔较均匀, 地形平坦, 故降水分布较均匀, 呈现大规模平缓降雨变化区。黔西降水少于周边, 可能与谷地入口有关。黔西属气流入口带, 风速相对较快, 降水受此地形影响, 偏少于周边。黔西周边降水呈圆形分布, 该变化可能与插值方法有关。

### 3.3 模型参数检验

由于地形包括坡度、海拔、坡向等多种因子, 坡



度、坡向等虽对气温、降水具有影响, 但其影响程度不如海拔明显。故本文仅模拟海拔对气温、降水的影响。气温模拟结果显示(表 4), 带宽为 71 319.04, 残差平方为 2.21, 有效数为 11.76, 拟合优度  $R^2$  为 0.96, 调整  $R^2$  为 0.94。拟合效果好。利用 GWR 探究气温空间影响较为合适, 其模拟系数具有良好参考。降水模拟结果显示, 残差平方为 132 516.61, 带宽为 71 319.04, 有效数为 11.76, 拟合优度  $R^2$  为 0.67, 调整  $R^2$  为 0.48。利用 GWR 探究海拔对降水影响整体尚可, 空间模拟趋势具有一定的参考价值。

### 3.4 地形影响趋势空间特征

海拔对气温影响呈负相关系数, 空间影响趋势并不一致(图 7)。随海拔升高, 气温处于下降趋势。流域海拔每上升 1 000 m, 气温空间下降范围 3.3~6.0℃。海拔对气温影响程度下游、上游南部最明显。下游和上游南部海拔升高 1 000 m, 气温下降多在 5℃ 以上。流域中部海拔对气温影响相对较低, 且均匀和缓。中部海拔升高 1 000 m, 气温空间下降约为 3.3~4.3℃。整体影响来看, 海拔对气温影响程度中部低, 下游和上游南部较高, 空间影响程度具有异质性。出现以上变化特征, 可能有以下原因: 上游南岸山地为东西走向, 1 800 m 左右中高海拔区, 海拔高气温越低, 空间影响则越表现为明显。下游地形起伏大, 多河谷, 小尺度内气温变异明显, 海拔对气温影响属于最明显区域。虽然下游影响明显, 但下游变化趋势不如上游密集, 这说明高大山地对降水影响程度和复杂性高于低矮山地。中游地势较为平坦, 海拔影响也较为和缓, 相对平坦地区对气温的影响程度和空间复杂性不如高海拔区和高起伏区明显, 故空间影响趋势平缓且面积大。

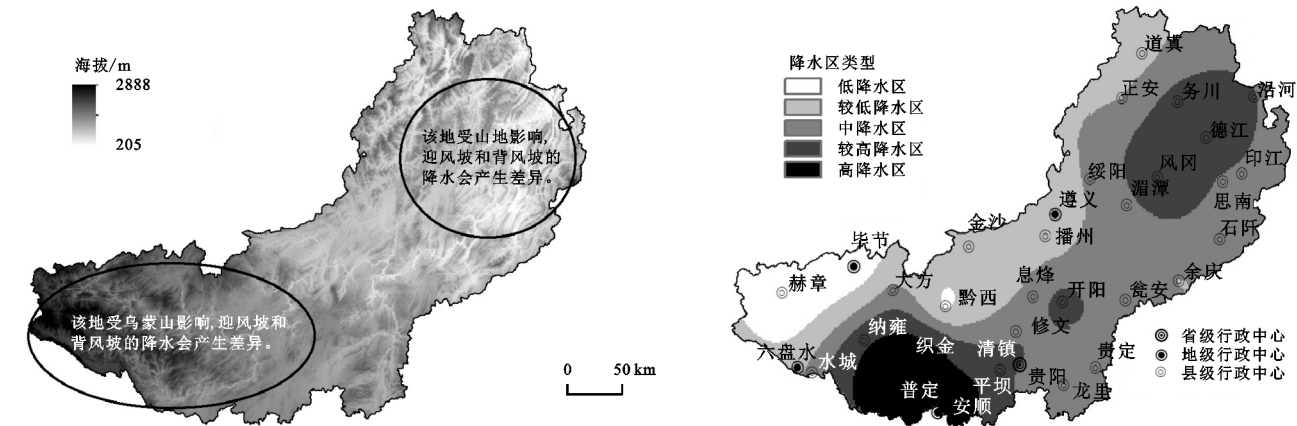


图 6 贵州乌江流域地形对降水的影响简单示意图

表 4 地理加权回归模拟参数检验

项目	带宽	残差平方	有效数	Sigma	AICc	R <sup>2</sup>	调整 R <sup>2</sup>
气温	71319.04	2.21	11.76	0.34	35.91	0.96	0.94
降水	71319.04	132516.61	11.76	82.99	376.93	0.67	0.48

海拔对降水影响正负均有, 空间影响趋势并不一致(图 7)。随海拔升高, 降水在流域上游呈负向关系, 可能是上游海拔相对较高, 地形雨到一定阶段处于极限, 降水不再持续增加, 出现减少甚至焚风干燥效应, 故表现为负影响。流域中游地形相对平坦, 降水空间变化平缓, 故中游地形对降水影响空间平缓分

布。下游地形对降水影响呈东北—西南方向平缓变化, 本文认为可能有以下原因: 流域下游海拔相对较低, 但地形起伏大, 山脉为东北—西南方向, 海拔对降水影响也呈东北—西南方向。此处地形虽起伏大, 但多地区海拔不超过 1 500 m, 地形对降水影响有限。总体看, 流域海拔每上升 1 000 m, 降水空间变化 -1 412~607 mm, 空间差异大。海拔对降水影响正负均有, 流域上游影响主要为负向, 流域中游大致为正向, 但影响程度差异较大。定量探究海拔对降水影响需更多因素综合探究, GWR 仅能反映基本趋势。

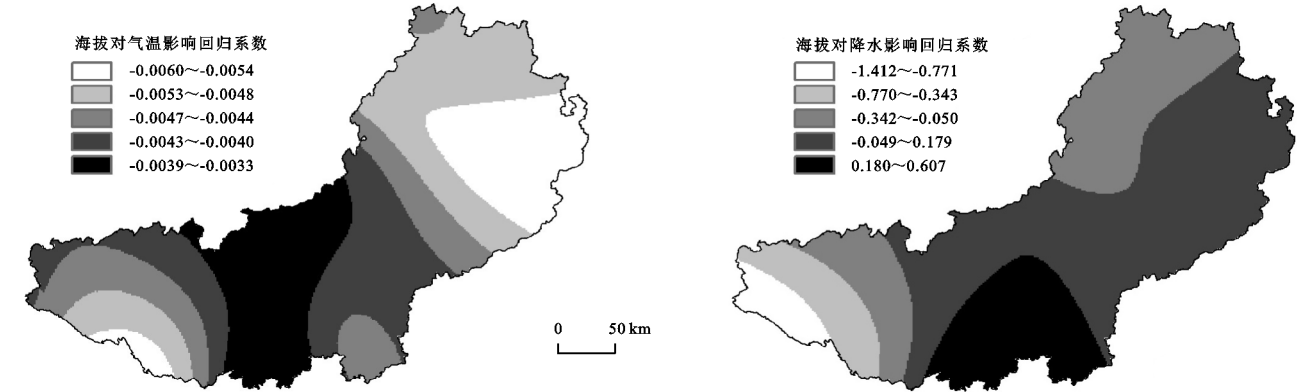


图 7 贵州乌江流域海拔对气温、降水空间影响趋势

4 讨论与结论

4.1 讨论

选择贵州乌江流域作为研究案例, 测度气温降水空间分异规律和地形影响。气温降水空间分布中, 两者均存在局部变化。西南山地众多, 山地直接导致气温降水分异。流域海拔差达 2 000 m, 气温垂直差异突出。流域气温垂直差异在下游更明显, 特别是下游河谷温度高, 两侧海拔高, 小尺度垂直分异。降水受地形影响总体以宏观为主, 流域地形对降水影响最明显是南部山脉影响。山脉对地形影响主要从迎风“地形雨”和背风坡的“焚风效应”凸显, 流域均存在这种效应, 特别是地形雨丰富的南部。

地形对气温影响更一致, 随海拔上升, 气温处于

下降趋势。流域地形对气温影响空间趋势不一致, 具有区域特征。流域海拔上升 1 000 m, 气温空间下降 3.3~6.0℃, 降幅明显低于标准大气压下 6℃。可能是流域主体海拔 1 000~1 500 m 左右, 该阶段气压会发生明显变化。地形对降水影响复杂, 有些是正影响, 有些是负影响。正影响和负影响是大区域尺度整体结果, 小尺度流域是否存在该特征尚且不知。

利用空间插值探究流域气温降水空间分布特征, 可为流域开发提供参考。空间插值是探究气温降水空间分布的重要手段, 但空间插值只是空间模拟, 在山区具有局限性。本文结合多种方法, 选择最优结果, 其结果相对精确。但山区小尺度存在不确定性, 特别是垂直变异明显的气温要素。气温降水因素划分过程中, 文章采用自然间断点分级。若换成不同分级方法, 流域水

热组合是否会发生大变化需进一步探究。因此,本文尚可进一步延伸:(1) 寻求自动站气象数据,探究山地流域气温降水空间分布规律,特别是局部分布规律是否存在差异。(2) 气温空间分布过程中,空间插值考虑海拔高度影响,其空间特征是否不同。(3) 寻找合适模型,探究地形对气温降水局部影响。

## 4.2 结论

(1) 贵州乌江流域气温从上游(赫章—水城)至下游(沿河—道真)总体逐渐升高,气温与海拔变化大致呈相反关系。流域气温从上游赫章—毕节(多 1 500 m 以上)向沿河(500 m 左右)逐渐升高。随海拔降低,气温逐渐升高。

(2) 贵州乌江流域降水总体从东南(南)向西北逐渐减少,织金—普定—安顺等迎风坡降水较多。流域降水从东南(南)向西北递减,西南降水受地形影响,递减较快,东部则不明显。降水较多地区多在大型山地迎风坡,如织金—安顺一带山地迎风坡。

(3) 贵州乌江流域水热组合不均衡,水热组合良好区域偏少,生产生活需要“因温因水”制宜。贵州乌江流域高温—高水及高温—中水等水热组合良好区域总体偏少,主要分布在流域下游地区。流域中上游多区域水热组合相对不佳,不利于农业生产,可考虑特色优势产业发展。

(4) 贵州乌江流域海拔对气温具有负影响,空间变化 3.3~6.0℃,其影响程度下游、上游南部高,中游低。流域气温对海拔空间影响呈负向趋势,空间影响程度具有异质性。

(5) 贵州乌江流域海拔对降水影响空间差异大,GWR 模拟空间影响正负均有,流域上游负影响,中游正影响。海拔对降水影响在空间上差异大,海拔每上升 1 000 m,降水空间变化—1 412~607 mm。GWR 回归显示,流域上游负回归系数,中游正回归系数。

## 参考文献:

- [1] 徐中强,陈俊华,邵俊明,等.基于 AHP 和 GIS 的重庆市避暑自然适宜性评价[J].贵州师范大学学报:自然科学版,2016,34(1):14-21.
- [2] 钱莉莉,贺中华,梁虹,等.基于降水 Z 指数的贵州省农业干旱时空演化特征[J].贵州师范大学学报:自然科学版,2019,37(1):10-14,19.
- [3] 孙嗣旻.气候变化对我国农业水旱灾害的影响[D].杭州:浙江大学,2012.
- [4] 林桂桓,戴全厚,王向栋,等.全球气候变化背景下贵州草海湿地极端降水特征[J].气象与减灾研究,2018,41(3):168-175.
- [5] 吴战平,何玉龙,严小冬,等.贵阳旱涝气候变化特征及其趋势分析[J].贵州师范大学学报:自然科学版,2014,32(6):30-34.

- [6] 李军龙,张剑,张丛,等.气象要素空间插值方法的比较分析[J].草业科学,2006,23(8):6-11.
- [7] 李正泉,吴尧祥.顾及方向遮蔽性的反距离权重插值法[J].测绘学报,2015,44(1):91-98.
- [8] Hodam S, Sarkar S, Marak A G R, et al. Spatial interpolation of reference evapotranspiration in India: comparison of IDW and Kriging methods[J]. Journal of the Institution of Engineers, 2017,98(4):511-524.
- [9] 庄立伟,王石立.东北地区逐日气象要素的空间插值方法应用研究[J].应用气象学报,2003,14(5):605-615.
- [10] 彭彬,周艳莲,高苹,等.气温插值中不同空间插值方法的适用性分析:以江苏省为例[J].地球信息科学学报,2011,13(4):539-548.
- [11] 张莉莉,陶忠良,张京红.基于 GIS 海南岛气象要素空间插值法比较分析[J].热带农业科学,2012,32(4):57-61,66.
- [12] 谭剑波,李爱农,雷光斌.青藏高原东南缘气象要素 Anusplin 和 Cokriging 空间插值对比分析[J].高原气象,2016,35(4):875-886.
- [13] 段晋芳,王青杵,王改珍,等.基于 GIS 的山西永定河流域降水空间插值方法分析[J].山西农业科学,2010,38(3):44-47.
- [14] Pereira P, Oliva M, Misiune I. Spatial interpolation of precipitation indexes in Sierra Nevada (Spain): comparing the performance of some interpolation methods [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2016,126:683-698.
- [15] Li M, Shao Q, Renzullo L. Estimation and spatial interpolation of rainfall intensity distribution from the effective rate of precipitation[J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2010,24(1):117-130.
- [16] 冯腾飞,钟钰,于良.基于 GA\_SVM 的江西省降水插值模型研究[J].信息与电脑:理论版,2017(16):84-87.
- [17] 赵冰雪,王雷,程东亚.安徽省气象数据空间插值方法比较与分布特征[J].水土保持研究,2017,24(3):141-145.
- [18] Chang K T.地理信息系统导论[M].陈健飞,译.3 版.北京:清华大学出版社,2009.
- [19] 王佳,钱雨果,韩立建,等.基于 GWR 模型的土地覆盖与地表温度的关系:以京津唐城市群为例[J].应用生态学报,2016,27(7):2128-2136.
- [20] 袁淑杰,谷晓平,缪启龙,等.贵州高原复杂地形下月平均日最高气温分布式模拟[J].地理学报,2009,64(7):888-896.
- [21] 舒守娟,王元,储惠芸.地理和地形影响下我国区域的气温空间分布[J].南京大学学报:自然科学版,2009,45(3):334-342.
- [22] 于晓晶,赵勇.地形对天山夏季降水影响的模拟[J].中国沙漠,2016,36(4):1133-1143.
- [23] Myoungjin U, Yun H S, Woncheol C, et al. Analysis of orographic precipitation on Jeju-Island using regional frequency analysis and regression[J]. Water Resources Management, 2010,24(7):1461-1487.