

半世纪来贵州雷山降水及气温特征与喀斯特地貌溶蚀性分析

易志学

(贵州省雷山县气象局, 雷山 557199)

摘要: 利用贵州省雷山国家气象站1961—2015年55 a的气温和降水观测资料,采用统计分析的方法,分析雷山县近55 a来的气温和降水的变化特征及趋势。结果表明:近半世纪来,雷山县降雨主要发生在6月,月平均降雨量和降雨日数分别为250.5 mm和18.9 d;年平均降雨量呈增多趋势,其趋向率为0.37 mm/10 a,而年降雨日数却呈减少趋势,其趋向率为-3.07 d/10 a,其主要原因是夏季降水强度增强、频次增多所致,其次为冬季降水;年平均气温以0.08 °C/10 a趋势上升,且近10 a气温呈明显增加趋势,波谷与波峰之间振幅明显,从各季节分析,各季气温均以不同程度上升,其中又以冬季和秋季贡献最大,增温率分别达0.12 °C/10 a及0.11 °C/10 a;贵州雷山地处亚热带季风气候区,气候湿润、降水丰富、降水量大、流水作用强烈、地表径流相对稳定,逐年降水量和逐年平均气温的上升引起的喀斯特地貌溶蚀性潜能呈上升趋势。

关键词: 降水, 气温, 特征, 溶蚀性

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2019.06.010

Precipitation and Air Temperature Characteristics and Karst Landform Solubility Analysis for Recent Half Century in Leishan Guizhou

Yi Zhixue

(Leishan Meteorological Station, Leishan 557199)

Abstract: Temporal variations of air temperature and precipitation in the past 55 years were analyzed for Leishan County by using statistical methods and observational data of Leishan National Weather Station from 1961 to 2015. The results showed that rainy days at Leishan County in the last half century mainly occurred in June, with average rainfall and rainy days in June being 250.5 mm and 18.9 days, respectively. While the average annual rainfall increased at a rate of 0.37 mm per 10 years, the annual rainy day decreased at a rate of 3.07 day per 10 years. The main reason was the increase in the rainfall intensity and frequency in summer followed by winter. Annual average temperature increased at a rate of 0.08 degrees per 10 year with more obvious increase in the recent 10 years when there was an obvious increasing trend of amplitude between trough and crest. Air temperature increased in each season to different degrees, with winter (0.12°C/10 years) followed autumn (0.11°C/10 years) being the season with the greatest increase. The increase in annual precipitation and annual average air temperature resulted in a potential increase of Karst landform solubility and erosion.

Key words: precipitation, temperature, characteristics, solubility

0 引言

贵州喀斯特地貌形成与贵州的岩石和气候密切相关。贵州岩石以石灰岩等可溶性岩石为主,透水性强;贵州地处亚热带季风气候区,降水丰富、湿度大、流水作用强烈。喀斯特地貌是具有溶蚀力的水对可溶性岩石(大多为石灰岩)进行溶蚀等作用所形成的地表和地下形态的总称,又称溶岩地貌。除溶蚀作

用以外,还包括流水的冲蚀、潜蚀,以及坍塌等机械侵蚀过程。降水是喀斯特溶蚀过程中溶蚀介质的主要补给源,降水量与溶蚀量的正相关关系已被许多学者论证^[1],同时在相同条件下,温度与溶蚀速度呈正相关^[2]。岩石的可溶性是溶蚀过程中另一个必要条件,岩石可溶性与溶蚀量有着正相关关系也已为许多岩性和喀斯特水化学分析及模拟试验所证实^[3]。贵州省为核心的中国西南岩溶区,由于地质环境脆弱性大、敏感度高,面临人口超载和经济社会落后的双重压力,同时由于历史原因致使生态环境严重退化,出现了大

收稿日期: 2018年7月24日; 修回日期 2019年3月8日
作者: 易志学(1984—), Email: ououyr@163.com

面积基岩裸露的石漠化问题。土壤侵蚀是石漠化发生的直接原因，岩溶区土壤侵蚀的研究较为滞后。不同土地利用方式下容许侵蚀量，具体为研究岩溶区人类活动造成的土壤质量差异，并深入探讨不同土地利用方式对溶蚀成土速率的影响，这对于探索出土壤退化演变过程和科学认识岩溶作用、合理利用和保护岩溶区土壤资源，对于土壤侵蚀防治和石漠化治理，发展岩溶区农村经济均有重要的科学意义和广泛应用前景^[4]。

雷山县地处云贵高原丘陵盆地过渡的斜坡地带，地势东北高、西南低，境内最高海拔2178 m，最低海拔480 m，境内山峦起伏、河谷纵深、地形破碎、切割深厚，河流下切冲刷强烈、地形复杂。雷公山与境内之猫鼻岭（海拔1620 m）、桥堂（海拔1763 m）、脚尧山顶（2000 m）、雷公坪（2041 m）呈西南—东北向分布。境内地形地貌复杂，地层岩性抗风化能力弱，岩结构破碎疏松，降水量充沛，每年受季风和冷暖气流的影响，易发暴雨、干旱等气象灾害。贺中华等^[5]研究表明洪水资源化是解决喀斯特地区水资源严重缺乏的有效途径。罗健等^[6]研究指出溶蚀性受气温、降水和人类活动的交替影响，在不同的时间段内，其受影响的程度不一；王冬银等^[7]研究指出降水量、温度等因素也是控制岩溶速率的主要因素之一；在雷山由强降水诱发的各类气象灾害时有发生，由于特殊的地理位置，交通不便，农村人员居住较分散，80%以上的人口居住偏远的高寒地区，受气候、交通、信息的影响，防灾减灾的能力很弱^[8]。因此，气象灾害的发生给人民生命财产带来了较大损失。对雷山县近55 a降水和气温变化特征进行详细的分析研究，将对决策气象服务和防灾减灾工作具有显著重要的意义。同时对喀斯特地貌的研究在理论和生产实践上也有重要意义。

1 资料来源及处理方法

1.1 资料来源

利用雷山国家气象站1961—2015年55 a的气温和降水观测资料为研究对象（资料由雷山县气象局气象资料档案室提供），对月降水量、年降水量、各级降水日数、年平均气温、年极端气温等资料进行统计分析。其中季节划分采用气象划分法，即3—5月为春季，6—8月为夏季，9—11月为秋季，12月—次年2月为冬季。

1.2 方法

为了解气象要素长期趋势变化，计算时间序列 x_i 与自然数数列 t_i （1, 2, ..., n）之间的相关系数，称为

趋势系数^[9]。即

$$x_i = a + bt_i \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

式中， b 为趋势系数，可表示时间序列长期趋势变化的方向和程度。它消去了气象要素的均方差和单位对线性回归系数数值大小的影响，从而可在不同地理位置、不同气象要素之间比较趋势变化大小。

2 降水变化特征

2.1 月平均降水量、月平均降水日数变化特征

根据雷山县1961—2015年的月降水资料，统计各月的平均降水量和降水日数。由表1可见，月平均降水量、月平均降水日数最大值都出现在6月，分别为250.5 mm和18.9 d，分别占全年18.85%和10.58%；月平均降水量最小值出现在1月，为29.4 mm，占全年百分率2.21%，而月降水日数最小值出现在11月，为11.6 d，占全年6.47%

表1 月平均降水量及月平均降水日数特征
Table 1 Monthly average precipitation and rainy day characteristics

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
降水量/mm	29.4	38.7	58.9	126.8	182.7	250.5	191.1	147.6	81.1	93.9	60.6	67.5
百分率/%	2.21	2.91	4.43	9.54	13.75	18.85	14.37	11.10	6.10	7.07	4.56	5.11
降水日数/d	13.6	13.6	15.2	17.0	17.8	18.9	17.3	15.9	11.8	14.0	11.6	12.2
百分比/%	7.60	7.60	8.48	9.50	9.95	10.58	9.67	8.89	6.61	7.83	6.47	6.82

2.2 年降水量、年降水日数及各级降水日数变化特征

从图1a可以看，雷山县近55 a的年平均降水量为1328.8 mm，历史年降水量最大值是2015年为2291 mm，最小年降水量是1989年的922.9 mm，历史最大值与历史最小值相差达1368.1 mm。年降水量变化趋势略呈增加趋势，其趋向率为0.37 mm/10 a，表明年降水量呈增加趋势，但不显著。为了研究方便，采用累积距平方法计算年降水量距平百分率^[10]，以距平百分率+20%（-20%）定义降水量偏多（偏少），计算出距平降水量1594.5 mm和1063.0 mm为临界值。根据降水量偏多（偏少）年的标准，可以看出降水量偏多的年份有：1977、1979、1993、2002和2015年，特别是2015年的年降水量异常偏多，距平百分率达102.95%；降水量偏少的年份有1986、1989、2003、2005和2011年，1989年最少，距平百分率为-30.54%。

从5 a滑动平均曲线不难看出，近55 a来，雷山县从20世纪60年代开始一直到80年代，年降水量一直处于增多趋势，而到80年代中期开始，年降水量有明显的减少趋势，进入21世纪，随着全球气候变暖，人类

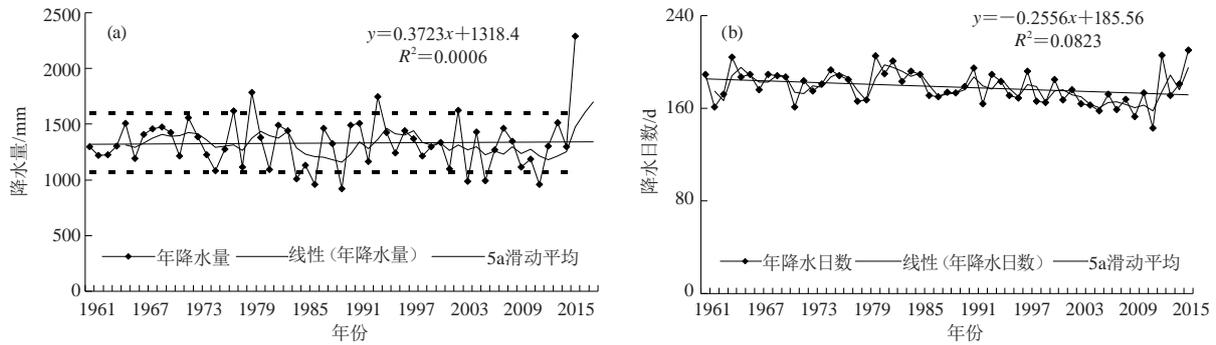


图1 雷山县近55 a年降水量 (a)、降水日数 (b) 年际变化趋势

Fig. 1 Interannual variation in annual rainfall (a) and rainy days (b) in the last 55 years in Leishan County

活动对气候影响因素增多等, 雷山县暴雨处于频发、多发时期。

将日降水量 ≥ 0.1 mm定义为一个降雨日, 根据雷山县近55 a来降水日数趋势(图1b)不难看出, 雷山县年降水日数平均为178.9 d, 最大为2015年的210 d, 最小为2011年的143 d, 最大年份与最小年份相差67 d, 且都发生在近几年。从趋势分析来看年降水日数总体呈下降趋势, 其趋向率为 -3.07 d/10 a, 并通过0.01显著性检验, 表明年降水日数呈显著减少趋势。年降水量呈增多趋势, 而降水日数呈减少趋势, 表明

降水越来越其中, 发生强降水的频率在增大。

为了研究其降水的变化特征, 采用日降水划分标准^[1], 将小雨、中雨、大雨、暴雨以上等级的日数进行趋势分析(图2)。

由图2d可见, 雷山县近半世纪以来, 除了暴雨以上量级呈上升趋势, 其趋向率为 0.64 d/10 a, 而小雨、中雨和大雨日数(图2a、3b、3c)均呈下降趋势, 其小雨、中雨和大雨的趋势率分别为 -2.31 d/10 a、 -0.80 d/10 a和 -0.24 d/10 a。

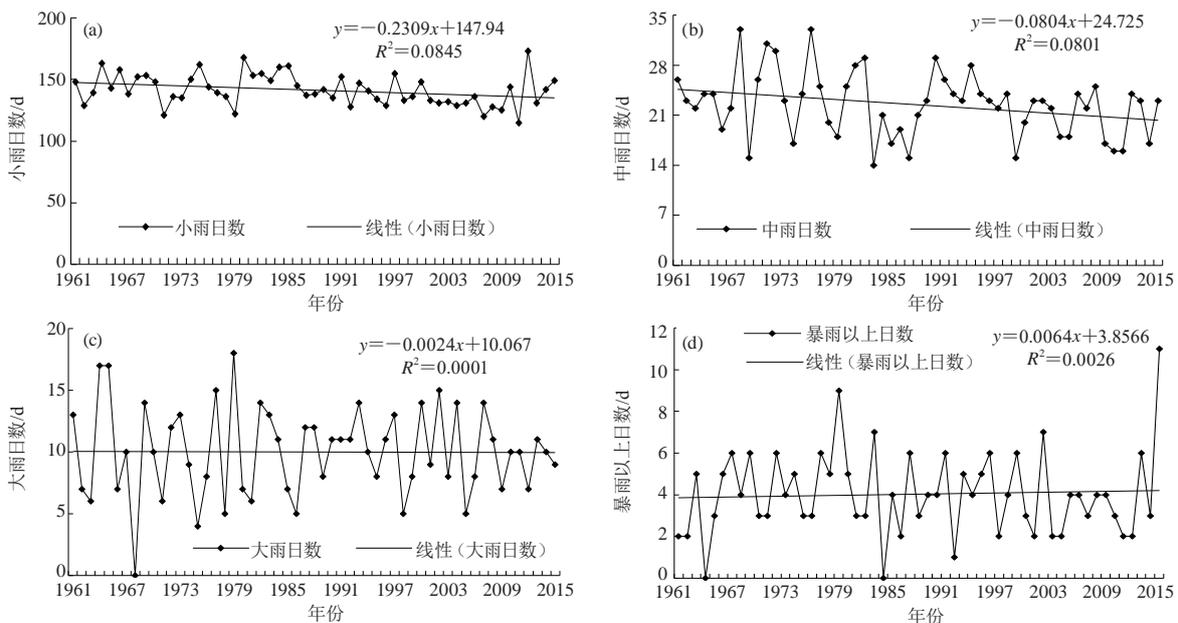


图2 雷山县近55 a小雨日数 (a)、中雨日数 (b)、大雨日数 (c)、暴雨以上日数 (d) 趋势变化

Fig. 2 Inter-annual variation in light (a), moderate (b), heavy (c), and torrential rain days (d) in the last 55 years in Leishan County

2.3 季降水量及降水日数变化特征

由图3a、3b可见, 近半世纪来, 雷山县春季的累计降水以2013年的796.1 mm最大, 最小累计降水为

1989年的206.8 mm, 最大与最小相差589.3 mm, 春节期间降水日数最多为1967年的67 d, 最少是1987年的36 d, 相差31 d。其降水量趋势和降水日数均呈下降

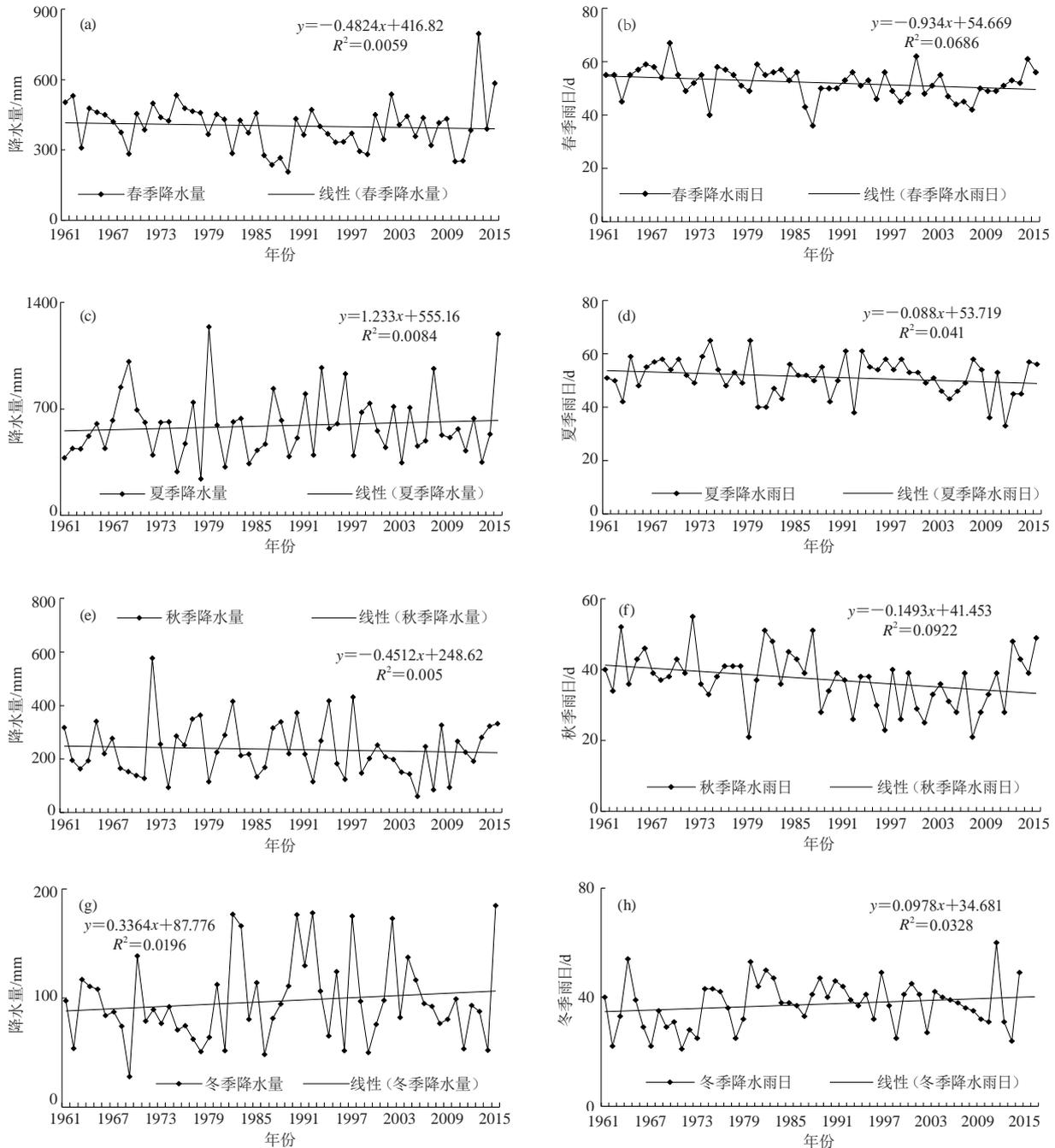


图3 雷山县近55 a四季降水量 (a, c, e, g) 及降水日数 (b, d, f, h) 变化特征

Fig. 3 Seasonal precipitation (a, c, e, g) and number of rainy days (b, d, f, h) in the last 55 years in Leishan County

趋势，其趋势率分别为 $-4.82 \text{ mm}/10 \text{ a}$ 、 $-0.93 \text{ d}/10 \text{ a}$ 。

图3c、3d分析，夏季累计降水量最大值为1979年1237.2 mm，最小值为1978年239.6 mm，相差达997.6 mm。而夏季降水日数最多为1974年和1979年的65 d，最少为2011年的33 d，相差达32 d。从其趋势率分析来看，夏季累计降水量呈上升趋势，且上升趋势明显，趋势率为 $12.33 \text{ mm}/10 \text{ a}$ ，而降水日数呈下降趋势，其趋势率为 $-0.88 \text{ d}/10 \text{ a}$ ，均通过了0.05的显著性

检验，这说明，夏季累计降水的增多趋势对年降水量贡献最大，同时也表明夏季降水时间跨度缩小了，而强降水的频次正在日益呈上升趋势。

由图3e、3f不难看出，秋季的累计降水量和降水日数均呈下降趋势，其下降趋向率分别为 $-4.51 \text{ mm}/10 \text{ a}$ 和 $-1.49 \text{ d}/10 \text{ a}$ 。然而冬季（图3g、3h）各月累计降水量和降水日数也呈上升趋势，其倾向率分别为 $3.36 \text{ mm}/10 \text{ a}$ 、 $0.98 \text{ d}/10 \text{ a}$ ，且通过了0.05

显著性检验,这说明随着全球气候变暖的趋势,人类对气候干扰因素增多,冬季的降水频次也呈显著上升趋势。

3 气温特征分析

3.1 年平均气温、年极端最高气温、年极端最低气温变化特征

根据雷山县1961—2015年的平均气温资料,分析其气温变化特征,由图4a可见,雷山县近55 a的年平均气温为15.4 °C,最高为2015年的16.4 °C,最低为1984年的14.3 °C;年平均最高气温与年平均最低气温相差2.1 °C。从其倾向率分析来看,雷山县年平均气温正以0.08 °C/10 a的趋势上升。在经历了20世纪80年代的冷期时段后(图4b),气温呈缓慢的增温趋势,特别是近10 a来,随着全球气候变暖的趋势,气温增幅较大,曲线振幅明显。

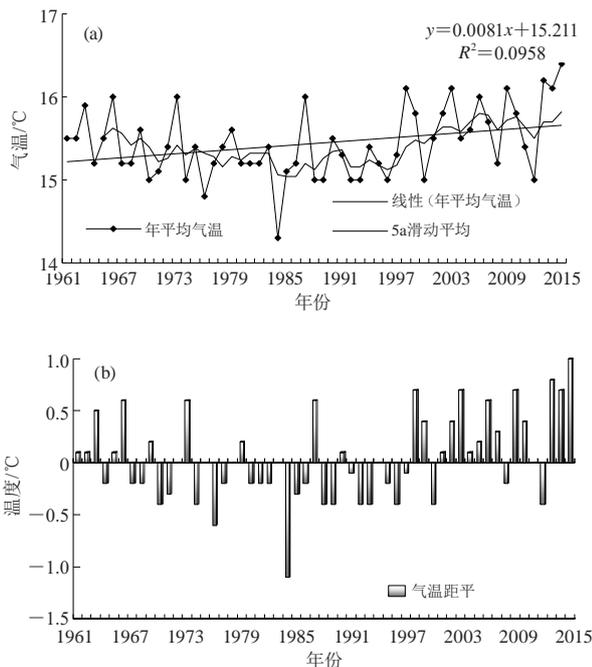


图4 雷山县近55 a平均气温(a)及温度距平(b)特征
Fig. 4 Average air temperature and temperature anomaly characteristics in the last 55 years in Leishan County

由图5a可见,雷山县近55 a年极端历史最高气温的最大值为2013年的35.9 °C,最小值为1987年的31.7 °C,最大与最小值相差4.2 °C,近半世纪来年极端最高气温以0.28 °C/10 a趋势缓慢上升。而年极端最低气温(图5b)呈上升趋势,且这种上升趋势非常明显,增温率为0.55 °C/10 a。历史最大值为1977年的-8.9 °C,最小值为2015年的-2.0 °C,年极端最低气温最大值与最小差相差高达-7.7 °C。历史年极端最高气温与历史年最低气温相差达44.8 °C。

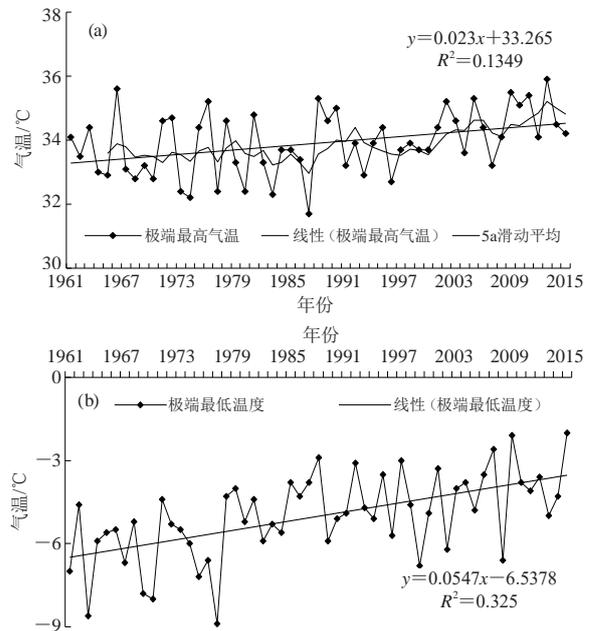


图5 雷山县近55 a极端最高气温(a)及极端最低气温(b)特征
Fig. 5 Extreme maximum (a) and minimum (b) air temperature characteristics in the last 55 years in Leishan County

3.2 各季气温变化特征

为了进一步了解雷山县气温变化特征,分析了雷山县四季平均气温变化规律(图6)。由图6a可见,雷山县近55 a冬季和春季平均气温多以不同程度

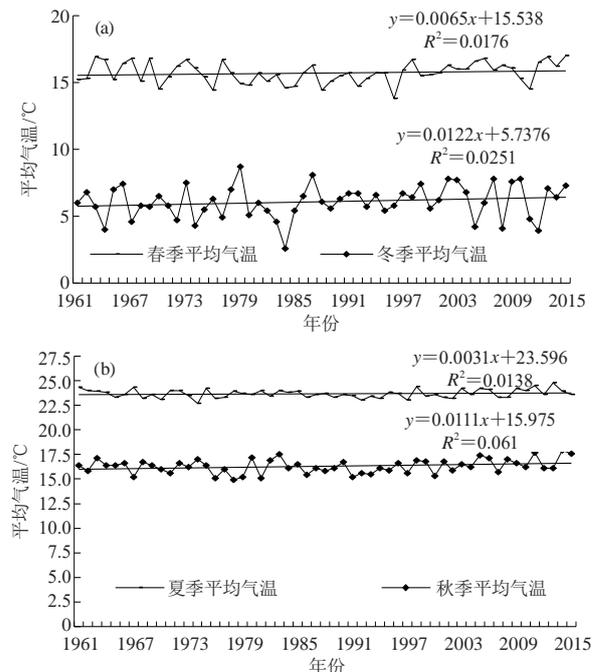


图6 雷山县近55 a四季平均气温变化特征
Fig. 6 Seasonal average air temperature characteristics in the last 55 years in Leishan County

响应气候变暖的趋势, 冬季年平均气温为6.7 °C, 年平均最低为1984年的2.6 °C, 最高为1979年的8.7 °C, 相差6.1 °C, 且冬季年平均气温波谷与波峰之间振幅明显, 升温率为0.12 °C/10 a, 并通过了0.05显著性检验。春季年平均气温为15.7 °C, 年平均气温最低值为1996年的13.8 °C, 最高值是2015年的17.0 °C, 两者相差3.2 °C, 从气温趋势线分析, 春季增温不是很明显。同样夏季(图6b)可见, 夏季年平均气温为23.7 °C, 年平均气温最高值为2013年的24.8 °C, 最低值为1974年的22.7 °C, 最高与最低相差2.1 °C, 气温曲线振幅不明显, 增幅率不高。最后, 秋季(图6b)年平均气温为16.3 °C, 最高值为2014年的17.9 °C, 最低值为1978年的14.9 °C, 相差3 °C, 从趋势线分析, 秋季平均气温从进入21世纪后, 气温曲线振幅较大, 半世纪以来整体以0.11 °C/10 a的速度开始上升。

4 喀斯特地貌溶蚀性分析

喀斯特溶蚀率与气温及降水的关系, 随着年均降水量 P 或年平均气温 t 的增加, 喀斯特溶蚀率 $K[r]$ 也增加, 由于本文基础数据有限, 故研究略去岩性、地貌等性质, 依据现有的降水和气温资料对喀斯特地貌溶蚀性做了粗略的分析, 根据参考文献数据^[12-14]建立两者的相关关系, 其关系可以用式(1)和式(2)来表达:

$$K[r]=0.001870P[1.442], \quad (1)$$

$$K[r]=0.0057207t[3.322], \quad (2)$$

式中, $K[r]$ 的单位为mm/a, 即平均每年因喀斯特作用而蚀去的石灰岩的厚度。将年降水资料和年平均气温代入式(1)和式(2), 结果不难发现, 其溶蚀性主要是降水影响。故略去气温项(图7)。

由图7可见, 雷山县近55 a来溶蚀率也呈逐年上升趋势, 最大值在2015年达6.17 mm。但是在实际生活中, 影响喀斯特地貌的溶蚀性因素诸多, 比如CO₂、地下水径流、地貌植被情况等, 由于本文资料收集有限, 采用的是定量计算, 故在实际应用中还有充分考虑CO₂、地貌等诸多因素变化情况来开展修订, 以便接近实际情况^[15-17]。

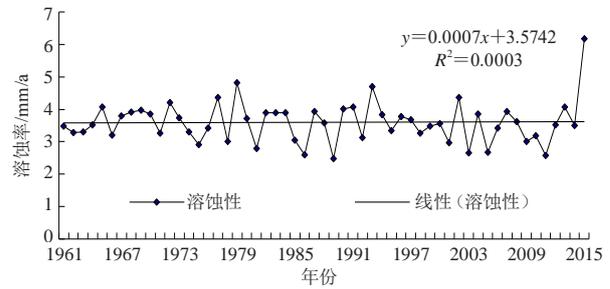


图7 近55 a降水对喀斯特地貌溶蚀性变化特征
Fig. 7 Characteristics of precipitation-related karst erosion in Karst landforms in the last 55 years in Leishan county

参考文献

- [1] Sweeting M M. Karst and climate—a review. *Zeitschrift fur Geomorphologie, Supplementband*, 1980, 36(49): 203-216.
- [2] White W B. Rate process, chemical kinetics and karst landform development//Lefearced R G. *Groundwater as a geomorphic agent*. London: Allen & Unwin, 1984: 227-248.
- [3] 中国科学院地质研究所岩溶教研组. 中国岩溶研究. 北京: 科学出版社, 1979.
- [4] 杨新. 岩溶区不同土地利用方式下土壤容许侵蚀研究. *自然灾害学报*, 2011, 20(4): 223-228.
- [5] 贺中华, 陈晓翔, 梁虹, 等. 典型喀斯特地貌空间配置的洪水资源化机理——以贵州省为例. *热带地理*, 2014, 34(2): 225-233.
- [6] 罗健, 蒋勇军, 李林立, 等. 表层岩溶泉水化学特征环境敏感性分析——以重庆金佛山水房泉为例. *西南大学学报(自然科学版)*, 2013, 35(1): 148-154.
- [7] 王冬银, 章程, 谢世友, 等. 亚高山不同植被类型区的雨季岩溶溶蚀速率研究[J]. *地球学报*, 2007, 28(5): 488-495.
- [8] 易志学, 潘齐平. 雷山县降水型地质灾害特征及风险预警指标. *陕西气象*, 2018, 32(2): 37-41.
- [9] 顾欣, 田楠, 潘平珍. 黔东南暴雨气候特征及其地形影响. *气象科技*, 2006, 34(4): 441-445.
- [10] 谢仁波, 舒国勇, 晏理华, 等. 近40 a铜仁地区降水量和雨日的变化特征. *贵州气象*, 2011, 35(4): 351-356.
- [11] 王芬, 曹杰, 李腹广, 等. 贵州不同等级降水日数气候特征及其与降水量的关系. *高原气象*, 2015, 34(1): 145-154.
- [12] 冉景丞, 何师意. 亚热带森林岩溶区土壤CO₂迁移动态初步研究. *贵州地质*, 2001, 18(4): 247-252.
- [13] 李矩章, 林钧枢, 房金福. 喀斯特溶蚀强度分析与估算. *地理研究*, 1994, (3): 90-97.
- [14] 吴凤珠, 张宝, 王力. 台江县近46 a降雨和降雨侵蚀力变化特征分析. *贵州气象*, 2017, 41(4): 463-467.
- [15] 姚姚, 撒利明, 王尚旭, 等. 深层碳酸盐岩溶风化壳溶洞型油气藏地震波场的理论研究(英文). *Journal of Chinese Geophysical Society Applied Geophysics*. 2005, (2): 94-102
- [16] 章程, 谢运球, 吕勇, 等. 不同土地利用方式对岩溶作用的影响——以广西弄拉峰丛洼地岩溶系统为例. *地理学报*, 2006, (11): 228-234.
- [17] Fu B J, Zhao W W, Chen L D, et al. A multiscale soil loss evaluation index. *Chinese Science Bulletin*. 2006, 51(4): 448-456.