

近55年贵州省潜在蒸散量变化特征及影响因子分析

张波^{1,2}, 谷晓平¹, 古书鸿¹, 胡家敏¹

(1. 贵州省山地环境气候研究所, 贵州 贵阳 550002; 2. 贵州省山地气候与资源重点实验室, 贵州 贵阳 550002)

摘要: 为了解贵州省潜在蒸散的变化特征及影响因子, 根据1961–2015年贵州省80个气象观测站的常规观测资料, 采用Penman–Monteith公式、回归分析、Mann–Kendall检验分析和GIS空间分析等方法, 计算并分析了贵州省潜在蒸散量及其变化特征和影响因子。结果表明: 近55年来贵州省 ET_0 呈下降趋势, 空间上总体呈现出南高北低, 西高东低, 由西南向东北递减的变化趋势; 除平均风速外, 平均温度、最高温度和相对湿度与 ET_0 均极显著相关性。

关键词: 潜在蒸散量; Penman–Monteith公式; GIS; 气候因子; 贵州省

中图分类号: TV12; P333

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)03-0020-07

Analysis of variation characteristics and influence factors of potential evapotranspiration in Guizhou province in recent 55 years

ZHANG Bo^{1,2}, GU Xiaoping¹, GU Shuhong¹, HU Jiamin¹

(1. Guizhou Institute of Mountainous Environment and Climate, Guiyang 550002 China;

2. Guizhou Key Laboratory of Mountainous Climate and Resources, Guiyang 550002 China)

Abstract: In order to understand the variation characteristics of potential evapotranspiration and influence factors in Guizhou province, Penman–Monteith formula, regression analysis, Mann–Kendall test analysis and GIS spatial analysis were used according to the conventional observation data of 80 meteorological observatories in Guizhou province from 1961 to 2015, and the potential evapotranspiration and its variation characteristics and influence factors in Guizhou province were calculated and analyzed. The results showed that the ET_0 of Guizhou Province had a decreased trend in the past 55 years. The spatial distribution of the South was higher than the north, the West higher than the East, and it decreased from south-west to northeast. The mean temperature, maximum temperature and relative humidity were significantly correlated with ET_0 except the mean wind speed.

Key words: potential evaporation; Penman–Monteith formula; GIS; climatic factor; Guizhou province

随着全球气候变暖, 各地气候变化差异, 潜在蒸散量也随之发生变化, 其变化趋势将直接影响到水资源评价, 这是由于潜在蒸散是表征大气蒸发能力的一个量度, 是维持陆面水分平衡的重要组成部分^[1]。潜在蒸散量已经成为评价气候干湿程度、作物耗水和计算作物生产潜力的重要指标, 也是制定作物灌溉制度和区域灌溉需水量计划的基本依据^[2–4]。

目前关于潜在蒸散量的研究已有相关报道, 高歌等^[5]采用偏相关分析法分析全国绝大多数流域的年和四季的潜在蒸散量均呈现减少趋势; 刘普幸

等^[6]分析了甘肃省潜在蒸散量, 结果表明年潜在蒸散量呈明显上升的趋势; 韦振锋等^[7]利用相关方法分析了陕西省潜在蒸散量的时空变化, 表明陕西省年潜在蒸散量呈上升趋势, 呈“弱减–强增–减”变化波动; 李鹏飞等^[8]研究结果表明近50年来京津冀地区的潜在蒸散量在减少, 东南部减少的更快; 王琼等^[9]、史建国等^[10]、曾丽红等^[11]、王素萍^[12]、刘小莽等^[13]、卢亚静等^[14]分别对长江流域、黄河流域、东北地区、江河源区、海河流域和西藏那曲等地潜在蒸散量的时空变化特征、潜在蒸散量和气候因

收稿日期: 2017-02-07; 修回日期: 2017-02-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(41365008); 贵州省山地环境气候研究所院士工作站项目(黔科合院士站(2014)4010号); 贵州省科技基金项目(黔科合J字[2013]2187号)

作者简介: 张波(1985–), 男, 山东临沂人, 硕士, 工程师, 从事农业气象研究。

通讯作者: 谷晓平(1968–), 女, 黑龙江林口人, 博士, 教授级高级工程师, 从事农业气象研究。

子之间的相互影响和蒸散量敏感性等各个方面进行研究,从不同的方面证实了潜在蒸散量在气候研究中的重要性。

本研究利用贵州省 80 个气象站点的常规气象观测资料和 ArcGIS 的空间分析功能开展贵州省潜在蒸散量的时空变化及趋势研究,以期为贵州地区作物需水量研究和制定合理的灌溉措施提供科学依据,为实现农业发展和水资源合理配置提供参考。

1 资料与方法

1.1 数据来源

选用贵州省 1961–2012 年 80 个气象站逐日平均气温、日最高、最低气温、日相对湿度、日平均风速和日照时数资料,贵州省有 85 个地面气象观测站,由于各站建站时间不一致,为了保证资料的完整性,剔除数据缺测较多的站点。定义 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,研究区域及气象站点的分布如图 1 所示。

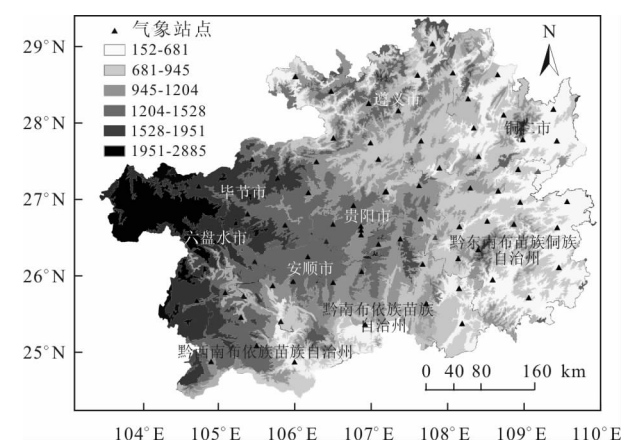


图1 研究区域及站点分布

1.2 研究方法

潜在蒸散量的估算根据 FAO 推荐的并修订的 Penman–Monteith 模型计算 ET_0 , 如下式所示:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + r \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + r(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

计算过程中变量基本上采用原模型的方法计算:

$$\Delta = \frac{4098 \times \left[0.618 \exp\left(\frac{17.27T}{T + 237.5}\right) \right]}{(T + 237.3)^2} \quad (2)$$

$$R_n = 0.77 \times (0.248 + 0.752 \frac{n}{N}) R_{so} - \sigma \left(\frac{T_{\max,k}^4 + T_{\min,k}^4}{2} \right) (0.56 - 0.08 \sqrt{e_a} (0.1 + 0.9 \frac{n}{N})) \quad (3)$$

$$u_2 = u_{10} \frac{4.87}{\ln(67.8 \times 10 - 5.42)} \quad (4)$$

$$e^0(T) = 0.618 \exp\left[\frac{17.27T}{T + 237.3}\right] \quad (5)$$

$$e_s = \frac{e^0(T_{\max}) + e^0(T_{\min})}{2} \quad (6)$$

$$e_a = \frac{RH}{100} e_s \quad (7)$$

式(1)~(7)中: ET_0 为潜在蒸散量,mm/d; Δ 为饱和和水汽压–温度曲线斜率,kPa/°C; R_n 为作物表面的净辐射,MJ/(m²·d); G 为土壤热通量(逐日计算可忽略),MJ/(m²·d); T 为2 m处的日平均气温,°C; u_2 为2 m高度的平均风速,m/s; u_{10} 为10 m风杆的实际风速,m/s; r 为干湿表常数,kPa/°C; e_s 为饱和水汽压,kPa; e_a 为实际水汽压,kPa; $T_{\max,k}^4$ 为绝对温标的最高气温,K, $T_{\min,k}^4$ 为绝对温标的最低气温,K; n 为实际日照时数,h; N 为最大可照时数,h; RH 为相对湿度,%。

1.3 Mann–Kendall 趋势检验

Mann–Kendall 是一种非参数趋势检验法监测气候要素长期变化趋势,是目前比较常用的趋势诊断方法^[15–17]。在 Mann–Kendall 检验中,原假设 H_0 为时间序列数据($x_1 \sim x_n$),是 n 个独立的、随机变量同分布的样本;假设 H_1 是双边检验,对于所有的 $k, j \leq n$,且 $k \neq j$, $x_k \sim x_j$ 的分布是不相同的,检验的统计变量 S 计算如下式:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (8)$$

其中:

$$\begin{cases} Z = (S - 1) / \sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} & S > 0 \\ Z = 0 & S = 0 \\ Z = (S + 1) / \sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} & S < 0 \end{cases}$$

当 Z 为正值表示增加趋势,负值表示减少趋势。当检验序列是否发生突变时,常通过下式进行计算:

$$S_k = \sum_{i=1}^k \sum_{j=i+1}^n a_{ij} \quad (k = 2, 3, 4, \dots, n) \quad (9)$$

$$\text{其中}, a_{ij} = \begin{cases} 1, & X_i > X_j \\ 0, & X_i \leq X_j \end{cases} \quad (1 \leq j \leq i)$$

定义:

$$UF_k = \frac{[S_k - E(S_k)]}{\sqrt{\text{Var}(S_k)}} \quad (k = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (10)$$

式中: $E(S_k) = k(k+1)/4$, $\text{Var}(S_k) = k(k-1)(2k+5)/72$; UF_k 为标准正态分布,若 UF_k 值大于 0,则表明序列呈上升趋势;小于 0 则表明呈下降趋势;当

它们超过显著性水平对应的临界值时,表明上升或下降趋势显著。

1.4 其他分析方法

研究中还用到气候倾向率等常用方法分析潜在蒸散量的变化趋势。

2 结果与分析

2.1 潜在蒸散量年变化特征

图 2 所示为贵州省潜在蒸散量年际变化,1961–2015 年间贵州省潜在蒸散量呈下降趋势,递减速率约为 3.4 mm/10a,最大值为 1963 年的 970.2 mm,最小值为 2012 年的 819.7 mm,潜在蒸散量平均值为 884.8 mm。年际变化趋势表明,1961–1970 年间贵州省潜在蒸散量平均值为 895.4 mm,并以 15.5 mm/10a 的速率递减,1971–1980 年间平均潜在蒸散量为 892.1 mm,以 32 mm/10a 的速率递减,1981–1990 年间潜在蒸散量平均值为 887.5 mm,以 22.5 mm/10a 的速率递增,1991–2000 年潜在蒸散量平均值为 860.9 mm,以 12.9 mm/10a 的速率递减,2001–2010 年潜在蒸散量平均值为 883.1 mm,以 32.5 mm/10a 的速率递增,2011–2015 年间潜在蒸散量以 10.6 mm/a 递减。

2.2 潜在蒸散量季节变化特征

贵州省潜在蒸散量季节变化趋势,如图 3 所示,全省潜在蒸散量季节差异明显,近 55a 贵州省春季和夏季的潜在蒸散量呈递减趋势,递减速率分别为 0.9 mm/10a、3.4 mm/10a,春季潜在蒸散量最大值为 295.6 mm,最小值为

215.5 mm,夏季潜在蒸散量最大值为 394.7 mm,最小值为 301.3 mm;秋季、冬季潜在蒸散量均为递增变化趋势,但均不显著,递增速率分别为 0.5 mm/10a、0.2 mm/10a,其中秋季最大日降雨量最大值为 215.8 mm,最小值为 170.5 mm,冬季最大值为 132.6 mm,最小值为 87.7 mm。

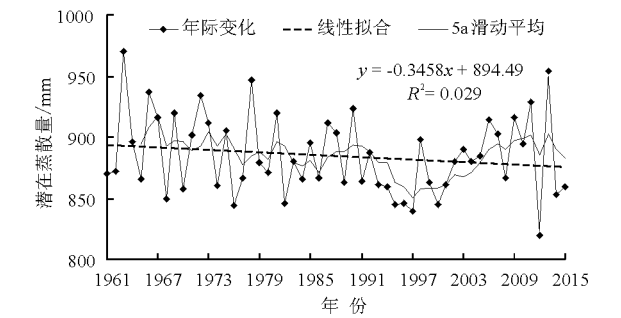


图 2 贵州省潜在蒸散量年变化特征

山区地形地貌导致 ET_0 变化趋势差异明显,戴明宏等^[18]的研究结果表明贵州省年平均 ET_0 总体呈波动上升趋势,张伟伟等^[19]的研究表明 1960–2013 年西南地区 ET_0 呈显著下降,降幅约为 -4.5 mm/10a,尹云鹤等^[20]研究表明青藏高原在 1981–2010 年间降水量整体略有增加, ET_0 呈减少趋势。本研究的结果 ET_0 呈下降趋势,研究结果不同于戴明宏等的结论,变化趋势与张伟伟等基本一致,原因可能是由于戴明宏等气象数据站点少且没有代表性所造成的,此外春、夏、秋、冬的 ET_0 总体均呈上升趋势^[18] 这一结论不同于本研究的春、夏季 ET_0 呈递减趋势,秋、冬季 ET_0 均为递增变化趋势。

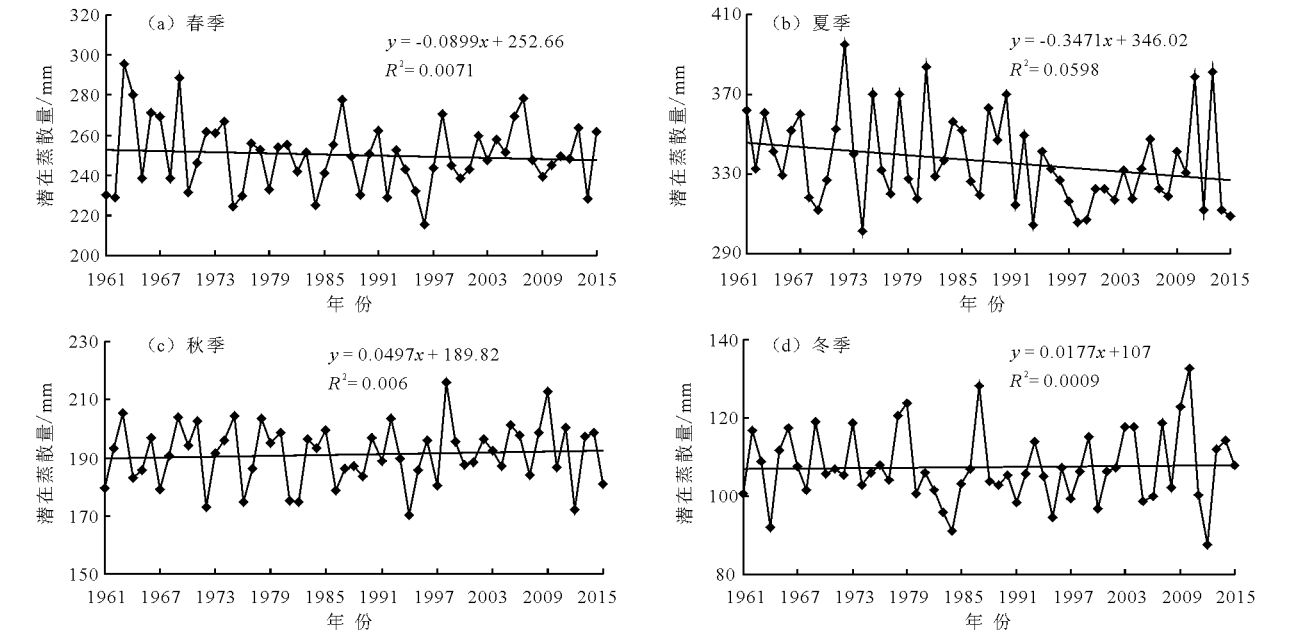


图 3 潜在蒸散量季节变化特征

表 1 贵州省各季潜在蒸散量的年代际变化 mm

季节	1961 – 1970 年	1971 – 1980 年	1981 – 1990 年	1991 – 2000 年	2001 – 2010 年	2011 – 2015 年	1961 – 2015 年
春季	257.27	248.51	247.82	243.21	253.85	250.19	250.14
夏季	339.45	342.63	348.19	321.94	328.23	338.46	336.31
秋季	191.14	192.58	187.07	191.39	194.56	189.89	191.21
冬季	108.15	109.66	104.45	104.30	112.41	104.50	107.49

各季节年代变化表明(表 1),春季潜在蒸散量随着年代增加呈现递减的变化趋势,在 20 世纪 90 年代最小,最小值为 243.21 mm,之后呈现递增趋势,接近春季平均值 250.14 mm;夏季潜在蒸散在各年代际间均为最大,80 年代之前呈递增的变化趋势,最大值为 348.19 mm;秋季潜在蒸散量在 80 年代之前呈递减趋势,之后呈递增趋势,最小值为 187.07 mm;冬季潜在蒸散量各年代接近平均值,最大值为 112.41 mm,发生在 21 世纪的前 10 年。

2.3 Mann – Kendall 检验分析贵州潜在蒸散量的变化

Mann – Kendall 趋势检验结果表明(表 2),贵州地区年平均潜在蒸散量的检验值为 -1.18,随时间呈下降的趋势变化,但未通过显著性检验,季节的趋势检验结果显示,春季和夏季的潜在蒸散量呈下降的变化趋势,其中夏季的 Mann – Kendall 检验值为 -2.19,说明贵州夏季的潜在蒸散量下降速度快,而秋季和冬季的潜在蒸散量呈上升的变化趋势,但上升趋势均不显著。

表 2 贵州省各季潜在蒸散量的 Mann – Kendall 检验值

全年	春季	夏季	秋季	冬季
-1.18	-0.25	-2.19**	0.62	0.029

注: ** 表示极显著水平 ($\alpha = 0.01$)。

利用 Mann – Kendall 突变检验贵州潜在蒸散量的变化趋势(图 4),年潜在蒸散 Mann – Kendall 突变检验结果表明,UF 和 UB 曲线相交于 1974 年,1974 年之后呈显著的递减趋势,至 1996 年这一递减趋势超过了 0.05 的临界线,1996 年之后 UF 曲线又呈现递增趋势,表明贵州省近 55a 潜在蒸散量在 1974 年存在明显的突变。春季,UF 和 UB 曲线相交于 1970 年,为春季突变点,1970 年以前为递减趋势,1975 年至 1997 年递减趋势显著,但未通过显著性检验,1997 年之后呈递增趋势;夏季,UF 和 UB 曲线存在多个交点,其中在 1990 年以前 UF 曲线呈递增趋势,1990 年之后 UF 曲线呈显著递减趋势,超过了 0.05 的临界线,说明夏季潜在蒸散量的突变时间为 1990 年;秋季,UF 曲线不存在显著变化趋势,虽

有多个交点,但没有产生突变,在 1986 年以前呈递减变化趋势,1998 年之后呈递增趋势,但趋势均不显著;冬季,UF 和 UB 曲线在 1970 年以前出现多个交点,但均未通过显著性检验,1970 年以后呈递减的变化趋势,1997 年之后呈递增的变化趋势,但未超过 0.05 的临界线。

2.4 潜在蒸散量空间变化特征

在 ArcGIS 中利用栅格计算器(Spatial Analyst Raster Calculator),计算得出贵州省多年平均年潜在蒸散量在 651.3 ~ 1 050.8 mm 之间(图 5),空间差异比较明显。贵州省中部以东、以北大部分部地区潜在蒸散量在 650 ~ 800 mm 之间,低值区位于遵义市和铜仁市北部、东部边缘一线,不足 700 mm,中部及以南地区在 900 ~ 1 020 mm 之间,其中黔西南州地区最大,达到 1 000 mm 以上。贵州省多年潜在蒸散量空间分布的总体趋势是:南高北低,西高东低由西南向东北递减的空间变化趋势。

2.5 潜在蒸散量气候倾向系数的空间分布

图 6 给出了 1961 – 2015 年贵州省潜在蒸散量的气候倾向系数的空间分布,可以看出,安顺市、黔西南州大部以及黔东南州东部的气候倾向系数在 0.4 ~ 1.3 之间,其余地区大部分站点的倾向系数小于 0,其中东部和北部的倾向系数在 -2.4 ~ -0.6 之间,表明近 55a 贵州省西南部潜在蒸散量呈递增变化趋势,而其他大部分区域呈递减的变化趋势,其中东部和北部递减速率显著。

2.6 潜在蒸散量季节空间分布特征

图 7 为贵州省季节潜在蒸散量的空间分布图。从图 7 可以看出,春季潜在蒸散量与年潜在蒸散量的空间分布基本一致,变化范围为 160.3 ~ 336.6 mm,其中最小值仍然出现在贵州省东北部边缘一线,而黔西南州地区仍然是最大值区域。夏季潜在蒸散量在 265.6 ~ 383.2 mm 之间,其中最小值出现在贵州省西北部,而最大值出现在北部、东部的地热河谷。秋季潜在蒸散量的变化范围为 150.4 ~ 225.8 mm,其中最小值出现在省之东部一带,而最大值出现在南部边缘一带。冬季潜在蒸散量的空间

分布与春季大体一致,变化范围为 68.6 ~ 148.7 mm,自东北部向西南部呈递增的空间变化趋势。

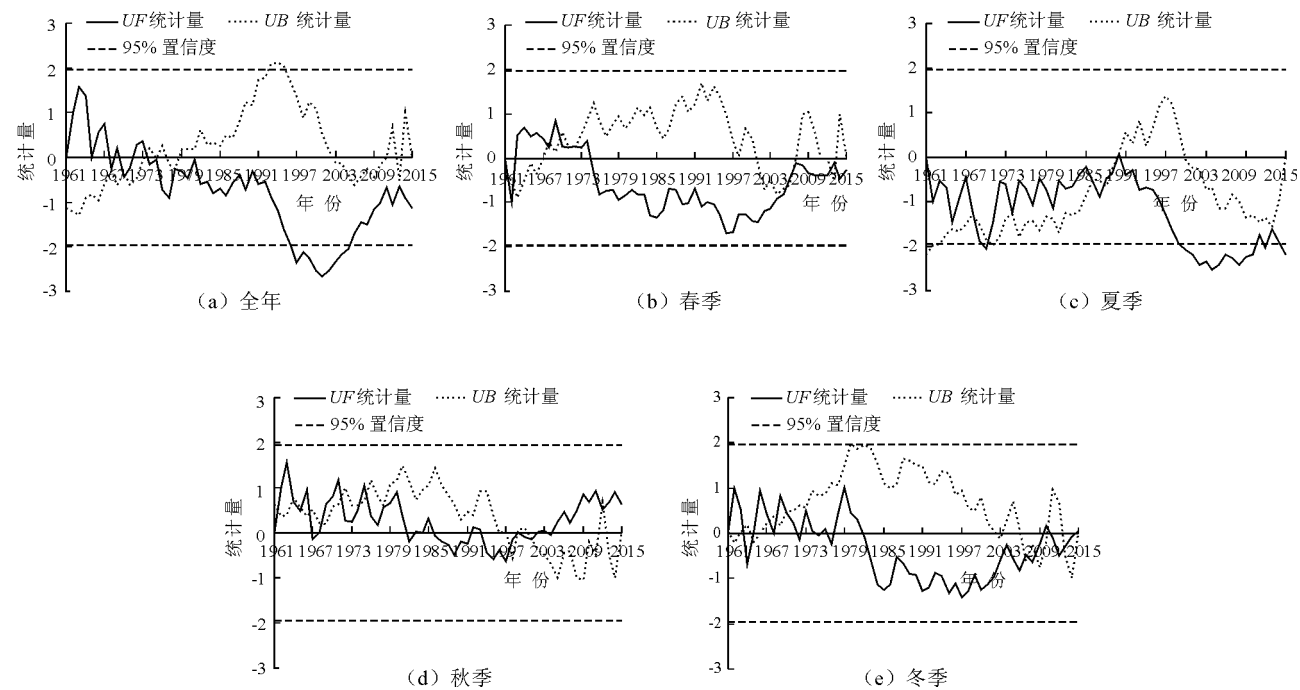


图4 贵州省全年和各季潜在蒸散量突变检验

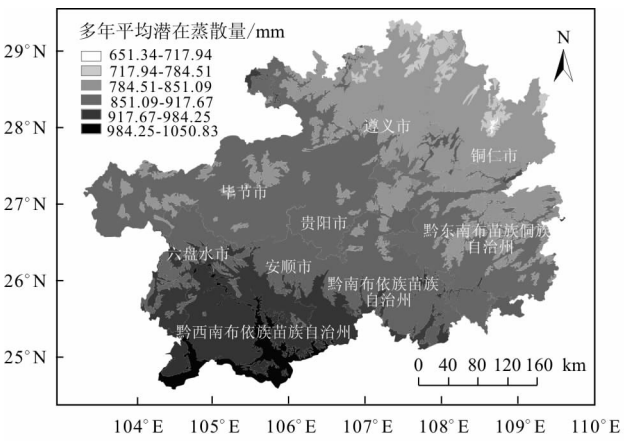


图5 贵州省潜在蒸散量空间变化特征

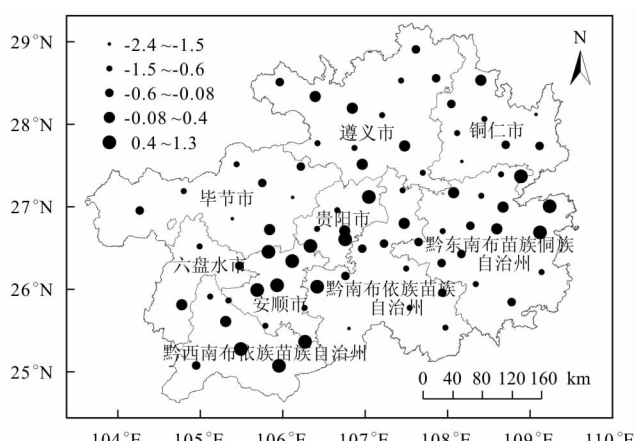


图6 潜在蒸散量气候倾向系数的空间分布

2.7 潜在蒸散量的气候因子分析

贵州省年和季节潜在蒸散量和气象要素的相关性分析如表 3 所示,可以看出除秋季和冬季平均风速外,其它气象要素和年和各季节的潜在蒸散量的相关性均达极显著水平($\alpha = 0.01$),全年和季节相对湿度与潜在蒸散量均呈负相关,平均气温、最高温度和日照时数与潜在蒸散量均为正相关。对年潜在蒸散量影响较大的气象要素是日照时数、相对湿度、最高温度和平均温度,春季是日照时数、最高气温、相对湿度和平均温度,夏季是最高温度、日照时数、相对湿度,秋季是日照时数、最高温度、相对湿度、平

均温度,冬季是最高温度、日照时数、平均温度和相对湿度。

表3 年和季节 ET_0 与气象要素的相关性分析

年、季节	平均温度	最高温度	日照时数	相对湿度	平均风速
全年	0.46**	0.65**	0.85**	-0.70**	0.42**
春季	0.77**	0.85**	0.93**	-0.77**	0.53**
夏季	0.76**	0.88**	0.86**	-0.82**	0.56**
秋季	0.47**	0.74**	0.84**	-0.73**	-0.002
冬季	0.75**	0.87**	0.81**	-0.74**	0.20

注: * 表示显著水平($\alpha = 0.05$), ** 表示极显著水平($\alpha = 0.01$)。

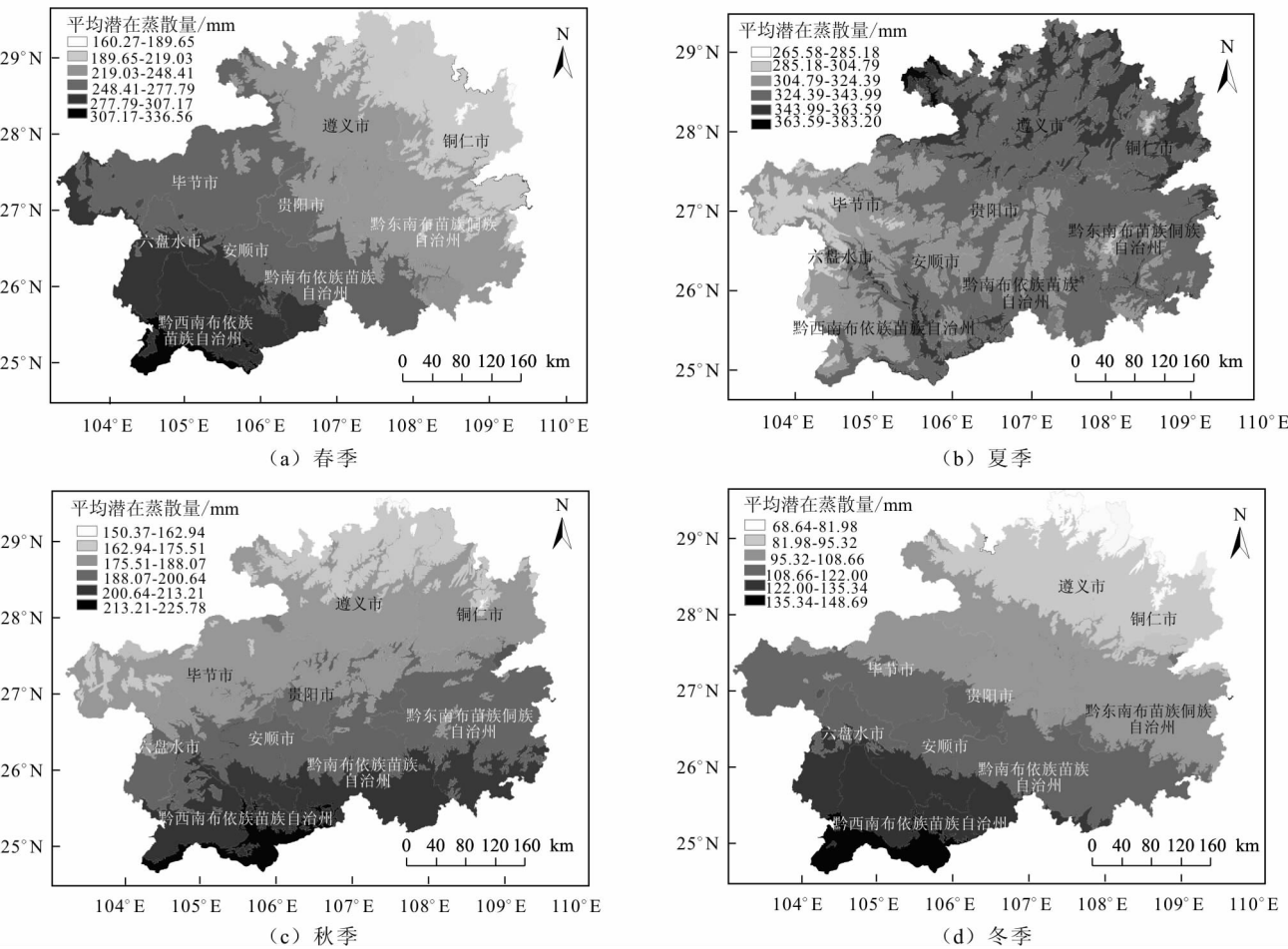


图7 潜在蒸散量季节空间分布

3 结 论

(1) 近55a来贵州省 ET_0 呈下降趋势,递减速率约3.4 mm/10a,多年平均值为884.8 mm,春季、夏季 ET_0 呈递减趋势,递减速率分别为0.9 mm/10a、3.4 mm/10a,秋季、冬季 ET_0 均为递增变化趋势,递增速率分别为0.5 mm/10a、0.2 mm/10a。

(2) 贵州省多年平均 ET_0 在1974年前后发生突变;季节变化突变表明,夏季 ET_0 的突变时间为1990年,春季、秋季和冬季没有显著突变点。

(3) 贵州省多年平均 ET_0 在651.3~1 050.8 mm之间,空间分布差异明显,总体呈现出南高北低,西高东低,由西南向东北递减的变化趋势。季节空间分布差异显著,春季 ET_0 与年平均 ET_0 的空间分布基本一致。夏季 ET_0 呈现自东向西递减的趋势,秋季 ET_0 的变化范围为150.4~225.8 mm,呈现出自南向北递减的变化趋势,冬季 ET_0 的空间分布与春季一致,变化范围为68.6~148.7 mm,自东北部向西南部呈递增的空间变化趋势。

(4) 贵州省除秋季和冬季的平均风速外,其它气象要素与 ET_0 均为极显著相关,平均气温、最高温度和日照时数与 ET_0 均为正相关,而相对湿度与 ET_0 均呈负相关。

参考文献:

[1] 谢贤群,王 菱. 中国北方近50年潜在蒸发的变化[J]. 自然资源学报,2007,22(5):683-691.

[2] 赵俊芳,郭建平,徐精文,等. 基于湿润指数的中国干湿状况变化趋势[J]. 农业工程学报,2010,26(8):18-24.

[3] 张方敏,申双和. 我国参考作物蒸散的空间分布和时间趋势[J]. 南京气象学院学报,2007,30(5):705-709.

[4] 张瑞钢,莫兴国,林忠辉. 滹沱河上游山区近50年蒸散变化及主要影响因子分析[J]. 地理科学,2012,32(5):628-634.

[5] 高歌,陈德亮,任国玉,等. 1956-2000年中国潜在蒸散量变化趋势[J]. 地理研究,2006,25(3):378-387.

[6] 刘普幸,卓玛兰草. 甘肃省1960-2008年潜在蒸散量时空变化及其影响因子[J]. 自然资源学报,2012,27(9):1561-1571.

[7] 韦振锋,陈思源,黄 毅. 1981-2010年陕西潜在蒸散量

- 时空特征及其对气候因子的响应[J]. 地理科学, 2015, 35(8):1033-1041.
- [8] 李鹏飞, 刘文军, 赵昕奕. 京津冀地区近 50 年气温、降水与潜在蒸散量变化分析[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(3):137-143.
- [9] 王 琼, 张明军, 潘淑坤, 等. 长江流域潜在蒸散量时空变化特征[J]. 生态学杂志, 2013, 32(5):1292-1302.
- [10] 史建国, 严昌荣, 何文清, 等. 黄河流域潜在蒸散量时空格局变化分析[J]. 干旱区研究, 2007, 24(6):773-778.
- [11] 曾丽红, 宋开山, 张 柏, 等. 近 60 年来东北地区参考作物蒸散量时空变化[J]. 水科学进展, 2010, 21(2):194-200.
- [12] 王素萍. 近 40a 江河源区潜在蒸散量变化特征及影响因素分析[J]. 中国沙漠, 2009, 29(5):960-965.
- [13] 刘小莽, 郑红星, 刘昌明, 等. 海河流域潜在蒸散的气候敏感性分析[J]. 资源科学, 2009, 31(9):1470-1476.
- [14] 卢亚静, 秦天玲, 刘少华, 等. 西藏那曲流域典型测站气候特征分析[J]. 人民长江, 2016, 47(22):32-38.
- [15] 徐丽梅, 郭 英, 刘 敏, 等. 1957 年至 2008 年海河流域气温变化趋势和突变分析[J]. 资源科学, 2011, 33(5):995-1001.
- [16] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999.
- [17] 符淙斌, 王 强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992, 16(4):482-493.
- [18] 戴明宏, 李玉涛, 王腊春, 等. 典型喀斯特地区参考作物蒸散量的时空变化分析——以贵州省为例[J]. 地球与环境, 2016, 44(3):342-352.
- [19] 张伟伟, 王 允, 张国斌. 西南地区 1960-2013 年参考作物蒸散量时空变化特征及成因分析[J]. 中国农学通报, 2016, 32(2):135-141.
- [20] 尹云鹤, 吴绍洪, 赵东升, 等. 1981-2010 年气候变化对青藏高原实际蒸散的影响[J]. 地理学报, 2013, 67(2):1471-1481.

(上接第 19 页)

参考文献:

- [1] 王 乐, 郭生练, 洪兴骏, 等. 赣江流域未来降雨径流变化模拟预测[J]. Journal of Water Resources Research, 2014, 3(6):522-531.
- [2] 袁 飞, 谢正辉, 任立良, 等. 气候变化对海河流域水文特性的影响[J]. 水利学报, 2005, 36(3):274-279.
- [3] 郝振纯, 李 丽, 王加虎, 等. 气候变化对地表水资源的影响[J]. 地球科学, 2007, 32(3):139-146.
- [4] 郭 靖, 郭生练, 张 俊, 等. 汉江流域未来降水径流预测分析研究[J]. 水文, 2009, 29(5):18-22.
- [5] 包为民, 等. 水文预报[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
- [6] 褚健婷, 夏 军, 许崇育. SDSM 模型在海河流域统计降尺度研究中的适用性分析[J]. 资源科学, 2008, 30(12):1825-1832.
- [7] 翟文亮, 李朋俊, 林凯荣, 等. 基于 SDSM-SWAT 的气候变化下东江流域径流预测模拟[J]. 人民珠江, 2016, 37(4):1-6.
- [8] 王 宁. 基于 VIC 模型和 SDSM 的气候变化下西北旱区的径流响应模拟[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- [9] 潘海军. 鄱阳湖流域饶河水资源分配探讨[J]. 广东水利水电, 2014(8):81-83.
- [10] 江西省水利厅. 江西河湖大典[M]. 武汉: 长江出版社, 2010.
- [11] 赵天保, 艾丽坤, 冯锦明. NCEP 再分析资料和中国站点观测数据的分析与比较[J]. 气候与环境研究, 2004, 9(2):278-294.
- [12] 刘 敏, 王 冀, 刘文军. SDSM 统计降尺度方法对江淮地区地面气温模拟能力评估及其未来情景预估[J]. 气象科学, 2012, 32(5):500-507.
- [13] 徐若兰, 陈 华, 郭 靖. 气候变化对汉江流域上游水文极值事件的影响[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2010, 46(3):383-386.
- [14] 郭家力, 郭生练, 郭 靖, 等. 鄱阳湖流域未来降水变化预测分析[J]. 长江科学院院报, 2010, 27(8):20-24.
- [15] 陈炯烽, 张万昌. 概念性水文模型遗传算法多目标参数优选研究[J]. 水利水电技术, 2007, 38(6):5-7+11.