

文建川, 梁 平, 廖育玲, 等. 基于相对湿润度指数的黔东南州干湿状况[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(4): 989-995.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2023.04.008

基于相对湿润度指数的黔东南州干湿状况

文建川¹, 梁 平², 廖育玲¹, 吴 慧¹, 李春生³, 宋光勇²

(1. 贵州省从江县气象局, 贵州 从江 557400; 2. 贵州省黔东南州气象局, 贵州 黔东南 556000; 3. 贵州省黎平县气象局, 贵州 黎平 557300)

摘要: 了解黔东南州干湿变化特征, 为应对气候变化风险和当地农业生产安排提供科学依据。基于黔东南州 16 县(市) 1974–2020 年逐日气象数据, 采用 Penman-Monteith 公式计算蒸散量, 并结合降水量推算出相对湿润度指数 (I_{RM}), 分析其不同时间尺度特征并对比其在雨季和非雨季的时空变化差异。结果表明, 除个别年份外, 黔东南州年平均及各年代降水量均显著大于蒸散量, I_{RM} 大于 0, 气候总体较为湿润。不同月份的 I_{RM} 差异显著, 4–6 月 I_{RM} 较其余月份明显要大, 8 月、9 月及 12 月的 I_{RM} 小于 0, 发生气象干旱的潜势高。 I_{RM} 存在较大的季节和空间性差异, 雨季 I_{RM} 明显大于非雨季, 各县(市) 雨季 I_{RM} 为 6.0%~65.0%, 非雨季 I_{RM} 为 -20.4%~25.1%, 州北部和南部季节性干旱显著。

关键词: Penman-Monteith; 湿润度指数; 干湿状况; 时空变化

中图分类号: S161.3; P467 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2023)04-0989-07

Arid and moist conditions in Qiandongnan Miao and Dong Autonomous Prefecture based on relative moisture index

WEN Jian-chuan¹, LIANG Ping², LIAO Yu -ling¹, WU Hui¹, LI Chun-sheng³, SONG Guang-yong²

(1. Meteorological Bureau of Congjiang County, Guizhou Province, Congjiang 557400, China; 2. Meteorological Bureau of Qiandongnan Miao and Dong Autonomous Prefecture, Qiandongnan 556000, China; 3. Meteorological Bureau of Liping County, Guizhou Province, Liping 557300, China)

Abstract: Characteristics of arid and moist changes of Qiandongnan Miao and Dong Autonomous Prefecture was studied to provide a scientific basis for dealing with climate change risks and arranging local agricultural production. Penman-Monteith formula was used to calculate evapotranspiration based on daily meteorological data of 16 counties (cities) in Qiandongnan Miao and Dong Autonomous Prefecture from 1974 to 2020, and relative moisture index (I_{RM}) was calculated by combination of Penman-Monteith formula with precipitation, so as to analyze the characteristics of different time scales and to compare the differences of temporal and spatial changes in rainy season and non-rainy season. The results showed that, except for a few years, the annual average precipitation and annual precipitation of Qiandongnan Miao and Dong Autonomous Prefecture were significantly higher than evapotranspiration, the I_{RM} was above 0, and the climate was generally humid. The I_{RM} of different months showed significant differences, the I_{RM} in April to June was obviously higher than the other months. The I_{RM} was below 0 in August, September and December, and the potential of occurring meteorological drought was high. The I_{RM} showed great differences between different seasons and different spaces, and the I_{RM} in rainy season was obviously higher than in non-rainy season. The I_{RM} of each county (city) in rainy season was 6.0%–65.0%, and the I_{RM} in non-rainy season was -20.4%–25.1%, seasonal drought in northern and southern prefectures was significant.

Key words: Penman-Monteith; wetness index; arid and moist condition; temporal and spatial variation

收稿日期: 2022-08-22

基金项目: 贵州省气象局科研业务项目[黔气科登(2022)04-12号]

作者简介: 文建川(1994–), 女, 四川泸县人, 硕士, 助理工程师, 从事农业气象服务研究。(E-mail) 1558960137@qq.com

在全球变暖的气候背景下, 区域水分收支平衡将受到气候变化的影响, 水分收入与支出的平衡又共同决定了地表干湿状况, 水资源供需平衡的有效维持以及地表干湿状况变化规律对研究农业生产布局、农业

气候区划、洪涝以及干旱都有重要意义^[1-2],因此开展气候湿润状况的研究,了解水资源供需情况具有十分突出的现实意义。目前表征气候干湿特征的指标主要有两大类,一类是考虑了降水和蒸散的水分收入和支出的综合性指标,另一类是与降水及其时间分布相关的单一指标^[3-4]。由于气候的干湿状况是由多种自然因素共同影响的,单独考虑降水情况具有一定的局限性,相对湿润度指数以水分收支平衡为基础,表征水分收入对支出的满足情况,综合考虑了大气蒸散量和降水量,能够较为理想地反映地表的湿润状况^[5]。当前较多研究者基于相对湿润度指数分析了不同区域的气候干湿状况,王明田等^[6]基于相对湿润度指数研究发现西南地区有变湿的趋势。郑盛华等^[7]利用相对湿润度指数探究松嫩平原干湿状况,指出年均湿润度指数呈递减变化趋势,而冬季相对湿润度指数呈递增趋势。刘燕等^[8]探讨了江南丘陵地区季节、年际、年代等不同时间尺度的地表相对湿润度指数。

黔东南州位于贵州省东南部,地处云贵高原东侧,海拔差异明显,地表径流量大,以往研究黔东南州的气候变化特征较为常见的是分析温度、降水、日照时数等单气候因子的影响^[9-10],但由于地表径流量大,土壤容易失墒,若未考虑水分支出,有可能与实际情况有所出入,同时黔东南州雨季和非雨季降水差异明显,因此本研究引用 Penman-Monteith 公式计算黔东南州 1974–2020 年的蒸散量,并结合同期降水量推算出相对湿润度指数,分析其不同时间尺度特征,并对比其在雨季和非雨季的时空变化差异,旨在为当地有关部门指导农业生产、研究生态环境提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 研究资料

研究资料为 1974–2020 年黔东南州 16 个县(市)气象观测站日平均气温、日最高(低)气温、日照时数、风速、相对湿度、降水量等数据,这些数据从“贵州省气象数据查询与显示系统”获取。

1.2 研究方法

相对湿润度指数通过表征降水量与蒸散量之间的关系,可反映某地区的水分平衡特征,衡量气候干湿状况,其计算公式^[11]如下:

$$I_{RM} = \frac{P-ET}{ET} \times 100\% \quad (1)$$

式中: I_{RM} 为相对湿润度指数, P 、 ET 分别为降水

量和蒸散量(mm)。 $I_{RM} < 0$ 表示水分支出大于水分收入,气候趋于干燥,存在气象干旱的潜势, I_{RM} 绝对值越大,气候越干燥,气象干旱越重; $I_{RM} \geq 0$ 表示气候趋于湿润, I_{RM} 越大,气候越湿润。

ET 采用联合国粮农组织修正的 Penman-Monteith 蒸散公式^[12-13]进行估算,见公式(2)~公式(7)。

$$ET = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + r \left(\frac{900}{T_{mean} + 273} \right) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + r(1 + 0.34u_2)} \quad (2)$$

$$R_n = (1 - \alpha) \left(a_s - b_s \frac{n}{N} \right) R_a - \sigma \left(\frac{T_{x,k}^4 - T_{n,k}^4}{2} \right) (0.56 - 0.08 \sqrt{e_a}) (0.1 + 0.9 \frac{n}{N}) \quad (3)$$

$$R_a = \frac{24 \times 60 G_{sc}}{\pi} d_r (\omega_s \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s) \quad (4)$$

$$d_r = 1 + 0.033 \cos \left(\frac{2 \times \pi}{365} \times J \right) \quad (5)$$

$$\omega_s = \arccos(-\tan \varphi \tan \delta) \quad (6)$$

$$\delta = 0.49 \sin \left(\frac{2 \pi J}{365} - 1.39 \right) \quad (7)$$

式中, Δ 为饱和水气压-温度曲线斜率, $\text{kPa}/^\circ\text{C}$; R_n 为表面净辐射, $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$; G 为土壤热通量(在以日尺度估算时,值较小可忽略); r 为干湿表常数, $\text{kPa}/^\circ\text{C}$; T_{mean} 为平均气温, $^\circ\text{C}$; u_2 为离地面 2 m 高度的风速, m/s ; e_s 和 e_a 分别为饱和水气压和实际水气压, kPa ; a_s 和 b_s 分别为云全部遮盖下和晴天大气外界辐射到达地面的分量,取值分别为 0.25 和 0.75; α 为地表反射度,取值 0.23; n 和 N 分别为实际日照时数和可照时数; R_a 为大气层外太阳辐射; G_{sc} 为太阳常数,取值为 $0.820 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$; d_r 为日地相对距离的值, m ; ω_s 为日落时角; J 为日序数; φ 为纬度; δ 为太阳赤纬; $T_{x,k}$ 、 $T_{n,k}$ 分别为绝对温标的最高、最低气温, K 。

2 结果与分析

2.1 黔东南州干湿状况的时间变化趋势分析

2.1.1 干湿状况的年际变化 从图 1 可以看出,近 48 年全州年平均降水量存在显著的波动变化,以 2.21 mm/a 的速率增加,年平均降水量为 917.0 mm (2011 年)~ 1546.0 mm (2020 年),多年平均降水量为 1225.5 mm 。全州年平均蒸散量变化幅度相对较

小,随时间变化呈不明显的递减趋势,递减速率为 0.17 mm/a ,年平均蒸散量为 928.6 mm (2012 年)~ $1\,140.9 \text{ mm}$ (2011 年),多年平均蒸散量为 $1\,038.9 \text{ mm}$ 。近 48 年平均相对湿度指数为 18% ,其随时间的变化呈递增趋势,递增速率为 $1 \text{ a } 0.28\%$,90% 以上年份相对湿度指数大于 0,即气候湿润,并且

降水量和蒸散量差值越大,相对湿度指数越高,仅有 6 年相对湿度指数为负值,表明这些年份气候偏干,其中 2011 年相对湿度指数(-19.2%)为历年最低值,因为该年全州平均蒸散量远大于降水量,干旱较重。综上所述,近 48 年来,黔东南州平均降水量大于蒸散量,黔东南州整体上气候较为湿润。

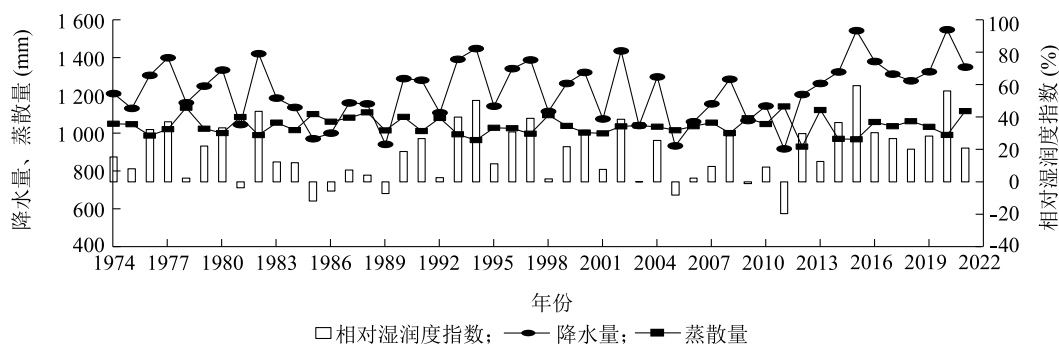


图 1 黔东南州降水量、蒸散量及相对湿度指数年际变化特征

Fig.1 Interannual variation characteristics of precipitation, evapotranspiration and relative humidity index in Qiandongnan Miao and Dong Autonomous Prefecture

2.1.2 干湿状况年代变化 为分析干湿状况年代变化趋势,分别求算各年代内降水量、蒸散量及相对湿度指数的平均值,从图 2 可以看出,降水量各年代变化波动较大,呈现出“下降-上升-下降-上升”的“W”形变化趋势,蒸散量各年代变化不大,相对湿度

指数各年代均大于 0,其变化趋势与降水量变化趋势一致,其中 1981–1990 年降水量最小、蒸散量最大,因此相对湿度指数最低。由此说明,在年代变化中,相对湿度指数主要受降水量影响,与其同降同升,黔东南州各年代气候总体较湿润。

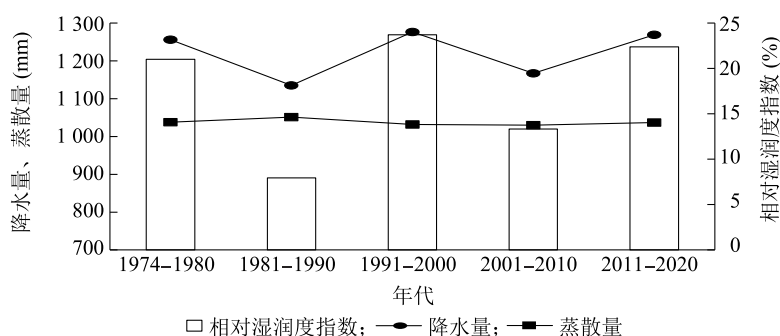


图 2 黔东南州降水量、蒸散量及相对湿度指数年代变化特征

Fig.2 Decade variation characteristics of rainfall, evapotranspiration and relative humidity index in Qiandongnan Miao and Dong Autonomous Prefecture

2.1.3 干湿状况的月变化特征 从多年平均的降水量、蒸散量和湿度指数的月变化(图 3)可以看出,降水量和蒸散量表现为单峰型,降水量具有明显的雨季和非雨季特征,月平均降水量为 29.3 mm (12 月)~ 213.9 mm (6 月),雨季(4–9 月)平均累计降水量占年总降水量的 73.5% ;月平均蒸散量为 36.9 mm (1 月)~ 147.9 mm (7 月);相对湿度指数(I_{RM})年内变化较大,

1–3 月降水量和蒸散量均较少,则 I_{RM} 偏小,4–6 月降水量显著多于蒸散量, I_{RM} 呈显著增加趋势,7 月以后,降水量呈减少趋势,蒸散量因 7 月和 8 月气温显著升高、日照时数增加而明显增大,在 7 月和 8 月分别达到峰值和次大值,因此 I_{RM} 在 7 月和 8 月明显减少,同时,8 月和 9 月的蒸散量多于降水量,所以 I_{RM} 小于 0,12 月降水量的减速较蒸散量的减速大, I_{RM} 呈显著减小趋势且

为负值,达到一年中的最低值。综上所述,不同月份降水量、蒸散量和相对湿度指数差异显著,4~6月降水量明显多于蒸散量,因而相对湿度指数较大,7~8月蒸散量显著增加,降水量呈下降趋势,则相对湿度指数明显降低,表现为雨季中的4~6月较大,气候较为湿润,非雨季的相对湿度指数总体偏小,尤其在8~9月和12月气候偏干燥,存在气象干旱的现象,因此,后文将在雨季和非雨季2种情形下对黔东南州干湿状况的时空特征进行对比分析。

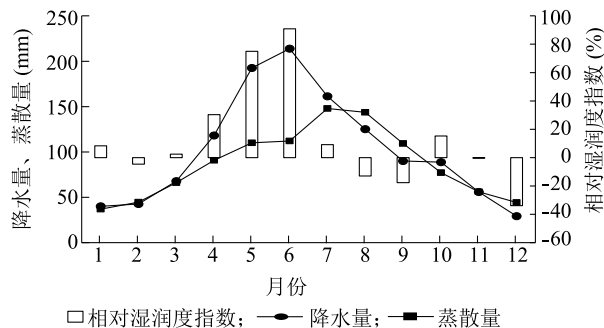


图3 降水量、蒸散量及相对湿度指数月变化特征

Fig.3 Monthly variation characteristics of precipitation, evapotranspiration and relative humidity index

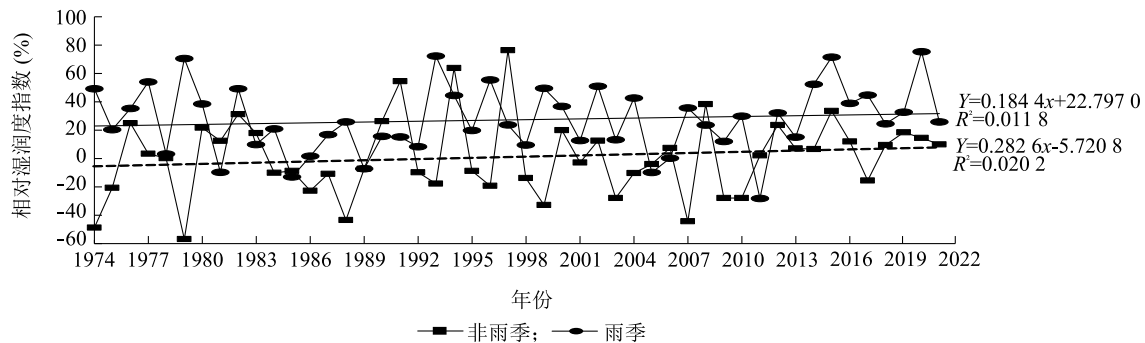


图4 雨季和非雨季相对湿度指数年际变化特征

Fig.4 Interannual variation characteristics of relative wetness index in rainy and non-rainy seasons

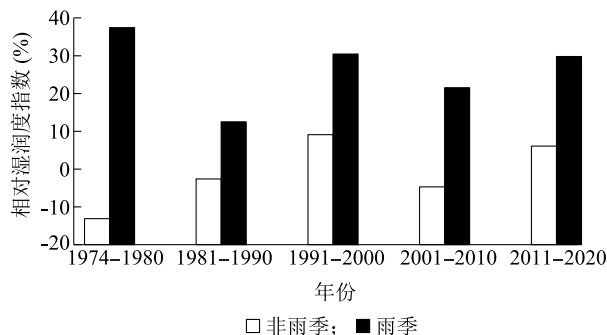


图5 雨季和非雨季相对湿度指数年代变化特征

Fig.5 Decade variation characteristics of relative wetness index in rainy and non-rainy seasons

2.2 黔东南州雨季和非雨季干湿状况时空差异分析

2.2.1 年际变化分析 对比相对湿度指数在雨季和非雨季的年际变化特征(图4)发现,除个别年份外,雨季相对湿度指数普遍高于非雨季,并且非雨季相对湿度指数在大部分年份均小于0,非雨季表现为气候偏干,存在气象干旱现象;相对湿度指数随时间变化均呈递增的变化趋势,雨季和非雨季10 a内的递增速率分别为1.8%和2.8%。综上所述,黔东南州雨季和非雨季相对湿度指数年际波动变化大,雨季气候湿润,呈湿化趋势,非雨季呈干湿交替变化,整体气候偏干,并且有继续变干趋势。

2.2.2 年代变化分析 从雨季和非雨季相对湿度指数的年代变化特征对比(图5)来看,雨季 I_{RM} 为12%~37%,所有年代均大于0, I_{RM} 随年代变化表现为“下降-上升-下降-上升”的“W”形变化特征;非雨季 I_{RM} 为-13%~9%,其中1974~1980年、1981~1990年、2001~2010年3个年代 I_{RM} 小于0,存在气象干旱的现象。综上所述,不同年代雨季 I_{RM} 均明显高于非雨季,雨季气候湿润,但湿润程度的年代变化差异明显,非雨季相对湿度指数随年代呈现增湿-减湿-增湿的干湿交替变化趋势。

2.2.3 空间分布特征 从雨季相对湿度指数空间分布图中可以直观地看出,各县(市)雨季降水量均大于蒸散量,相对湿度指数为6%~65%,气候均较湿润,但空间分布差异明显。降水量表现为中部以西地区偏多、北部偏少的空间分布特征,大值区位于州西部的麻江、丹寨、雷山、凯里等县(市),其值为914.8~1114.6 mm,北部低值区降水量为771.4~882.5 mm;雨季蒸散量为671.4~753.8 mm,在州中部以南地区较高,其中以从江及黎平南部为大值中心,州西部的丹寨、麻江偏少;受降水量和蒸散量的共同影响, I_{RM} 在州中部一带较大,同纬度下西部又

大于东部,西部的麻江、丹寨为相对湿度指数大值中心,相对湿度指数分别达 52%、65%(图 6)。综上所述,各县(市)雨季降水量均大于蒸散量,因此全州在雨季时气候均较湿润,但相对湿度指数大

小有明显的空间分布差异,在平均降水量大值区和蒸散量低值区共同叠加影响下,州中部及其以西、以东地区湿润度指数更大,气候更为湿润。

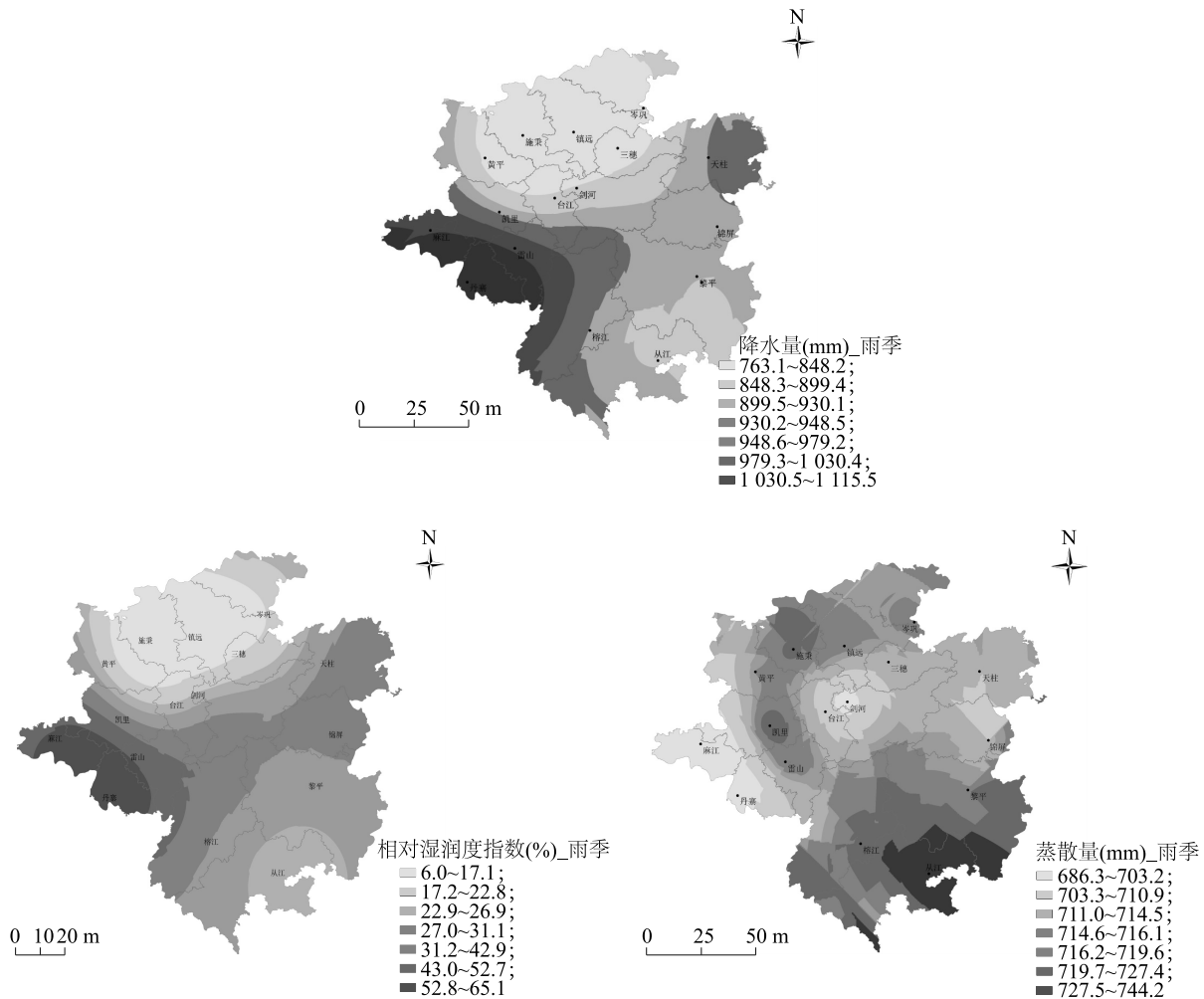


图 6 雨季干湿状况空间分布特征

Fig.6 Spatial distribution characteristics of arid and moist conditions in rainy season

由图 7 可以看出,各县(市)非雨季降水量、蒸散量和相对湿度指数均显著小于雨季,同时大部分地区非雨季蒸散量大于降水量,相对湿度指数为 $-20.4\% \sim 25.1\%$,州东部的天柱、锦屏、黎平等县(市)为降水大值中心区,州北部降水量依旧相对偏少;非雨季蒸散量自北向南增加,南部的榕江、从江为蒸散量高值区;与雨季相对湿度指数明显不同的是,非雨季除州东部的天柱、锦屏、黎平及西部的麻江、丹寨相对湿度指数大于 0 外,其他县(市)均小于 0,说明在非雨季时蒸散量明显大于当地同期降水量,易发生气象干旱。综上所述,非雨季降水量、蒸散量及相

对湿润度指数小于雨季,大部分地区蒸散量大于降水量,除了州东部及西部的麻江、丹寨相对湿度指数大于 0,其余地区小于 0,说明州北部及南部易发生气象干旱。

3 讨论与结论

3.1 讨论

降水量和蒸散量分别代表水分的收入和支出^[14-19],二者的变化共同影响湿润度指数。近 47 年黔东南州湿润度指数变化趋势与降水量有较好的对应关系,因气温、日照、风速、相对湿度等气象要素

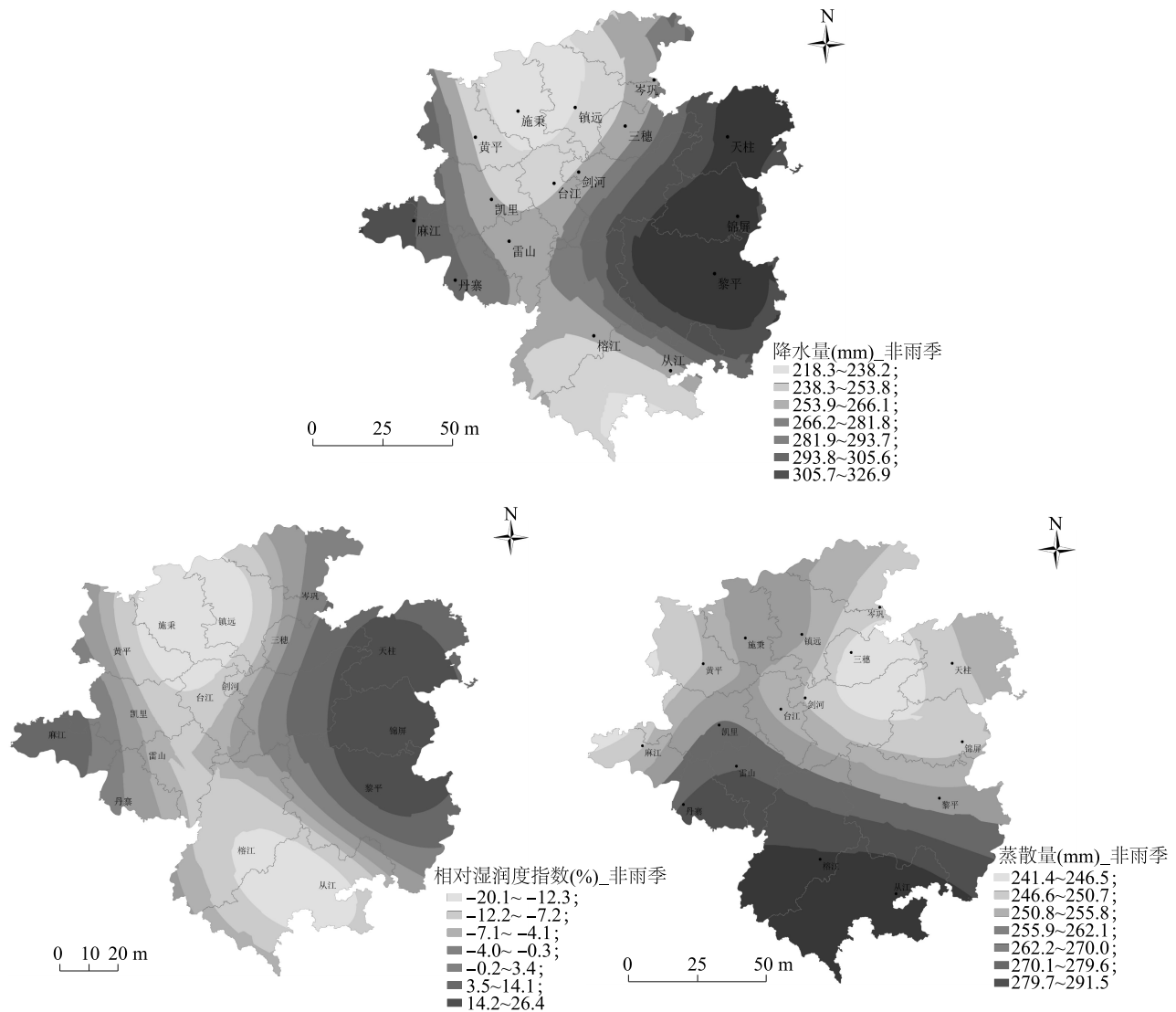


图7 非雨季干湿状况空间分布特征

Fig.7 Spatial distribution characteristics of arid and moist conditions in non-rainy seasons

对水分支出项(蒸散)的正负效应不太一致,导致其变化幅度较小,所以在以年为时间的尺度上,降水量在很大程度上决定了相对湿润度指数。除个别年份外,黔东南州雨季降水量显著大于同期蒸散量,非雨季降水量和蒸散量均明显减小,但大多数年份其他气象因素引起的蒸散量较降水量要高,非雨季降水量较小,对相对湿润度指数的影响减弱,水分支出对气候湿润状况的影响凸显,大多数年份非雨季相对湿润度指数为负值,呈现出气候干湿交替的变化趋势,任菊章等^[20]研究同样发现雨季旱涝主要由降水决定,而非雨季则受到降水和蒸散的共同影响。值得注意的是,虽然7、8月属于主汛期,降水量相较其他月份来说要高,但

由于该时段气温高、日照充足,导致蒸散量明显增加,为全年的蒸散大值时段,水分的消耗更加明显,因此相对湿润度指数明显低于4~6月,另外,12月相对湿润度指数最低,说明冬季易发生气象干旱,农业生产上要注意做好应对夏旱以及冬旱的措施。同时黔东南州气候干湿状况存在明显的空间差异性,虽然在雨季全州各县(市)相对湿润度指数均大于0,但不同区域相对湿润度指数的大小差异显著,州北部及南部相对湿润度指数较州中部一带要小;非雨季相对湿润度指数明显为负值,这与北部、南部降水量相对偏少、蒸散量偏多有关,基于标准化降水指数(*SPI*)的研究结果也显示,黔东南州中部以北地区干旱频率较高^[21]。雨

季相对湿度度指数以西部为大值中心,这是因为黔东南州降水空间分布不均,州西部降水量显著高于其他地区^[22]。

3.2 结论

本研究基于黔东南州1974–2020年常规气象数据,采用Penman-Monteith公式计算蒸散量,结合降水量推算出湿润度指数(I_{RM}),分析其不同时间尺度特征并对比在雨季和非雨季的时空变化差异,得出以下结论:

(1)除个别年份外,黔东南州年平均及各年代降水量均显著大于蒸散量,湿润度指数大于0,气候总体较为湿润。不同月份降水量、蒸散量和湿润度指数差异显著,4–6月降水量显著大于蒸散量,湿润度指数较大,其余月份湿润度指数明显较小。

(2)雨季湿润度指数主要受到降水的影响,非雨季受到降水和蒸散的共同影响。雨季和非雨季降水量、蒸散量和湿润度指数年际和年代间变化差异显著,雨季湿润度指数明显高于非雨季,雨季气候湿润,非雨季气候偏干且略有加强趋势;在空间上也有明显的区域差异,雨季各县(市)气候均较湿润,州中部以西、以东地区湿润度指数较大,非雨季除了州西部和东部外,其余地区湿润度指数小于0,易发生气象干旱。

参考文献:

- [1] FLATO G, MAROTZKE J, ABIODUN B, et al. Evaluation of climate model[M]//Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- [2] 胡琦,董蓓,潘学标,等. 1961–2014年中国干湿气候时空变化特征及成因分析[J]. 农业工程学报, 2017, 33(6): 124–132.
- [3] 顾欣,韦波,张杰,等. 黔东南夏季气象干旱指数适宜性及气候特征分析[C]北京:中国气象学会, 2014:346–351.
- [4] 陈少勇,郭俊瑞,吴超. 基于降水量距平百分率的中国西南和华南地区的干旱特征[J]. 自然灾害学报, 2015, 24(1): 23–

- 31.
- [5] 姚玉璧,张强,王劲松,等. 气候变暖背景下中国西南干旱时空分异特征[J]. 资源科学, 2015, 37(9): 1774–1784.
- [6] 王明田,王翔,黄晚华,等. 基于相对湿度度指数的西南地区季节性干旱时空分布特征[J]. 农业工程学报, 2012, 28(19): 85–92.
- [7] 郑盛华,覃志豪,张文博. 松嫩平原干旱变化特征及其对气候变化的响应[J]. 中国农业气象, 2015, 36(5): 640–649.
- [8] 刘燕,刘友存,边晓辉,等. 江南丘陵地区湿润指数变化特征及敏感性分析[J]. 水土保持研究, 2019(2): 263–271, 282.
- [9] 池再香,白慧. 黔东南地区近40年来气候变化研究[J]. 高原气象, 2004, 23(5): 704–708.
- [10] 杨再禹,龙先菊. 黔东南地区近49年的气候变化特征[J]. 中国农业气象, 2011, 32(3): 338–345.
- [11] 张强,张良,崔县成,等. 干旱监测与评价技术的发展及科学挑战[J]. 地球科学进展, 2011, 26(7): 763–778.
- [12] ALLEN R G, PEREIRA L S, RAES D, et al. Crop evapotranspiration: guideline for computing crop water requirements[M]. Logan: Utah State University, 1998.
- [13] 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.
- [14] 刘泉杉,吴宗俊,崔宁博,等. 云贵高原参考作物蒸散量时空特征及成因分析[J]. 排灌机械工程学报, 2022, 40(3): 302–310.
- [15] 邱凤婷,过志峰,张宗科,等. 大渭公河次区域植被覆盖时空变化特征及其与气象因子的关系[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2022, 46(2): 187–195.
- [16] 沙慧敏,李琪,何乐,等. 1957–2017年河南省潜在蒸散量的时空分布特征[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(14): 231–236.
- [17] 尹起,周建平,许燕,等. 基于粒子群优化(PSO)超限学习机预测新疆参考作物蒸散量[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(3): 622–631.
- [18] 吴宗俊,崔宁博,胡笑涛,等. 基于改进Makkink模型的四川盆地参考作物蒸散量估算[J]. 排灌机械工程学报, 2021, 39(5): 509–516.
- [19] 赵强强,陈财,张菲菲,等. 淮河流域冬小麦干旱时空分布特征[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(2): 373–381.
- [20] 任菊章,黄中艳,郑建萌. 基于相对湿度度指数的云南干旱气候变化特征[J]. 中国农业气象, 2014, 35(5): 567–574.
- [21] 徐德智,张杰,杨帆,等. 基于SPI的黔东南州近52a的干旱特征分析[J]. 贵州气象, 2015, 39(1): 9–13.
- [22] 周智晖,顾欣,陈杨,等. 近10a黔东南区域站与国家站降水时空对比分析[J]. 中低纬山地气象, 2021, 45(5): 88–93.

(责任编辑:陈海霞)