

1970—2014 年云南省气温日较差 变化特征及影响因子

曹言¹, 王杰¹, 柴素盈², 戚娜¹

(1. 云南省水利水电科学研究院, 昆明 650228; 2. 云南省环境科学研究院, 昆明 650034)

摘要:利用 1970—2014 年云南省 30 个气象站最高、最低气温、年平均气温、降雨量、平均风速、日照时数、相对湿度等逐日观测资料,通过 M-K 趋势法和小波分析法研究了云南省各区气温日较差的时空变化特征,并探讨了气温日较差(Diurnal temperature range,即 DTR)的影响因子。结果表明:1970—2014 年云南省年平均、春季、夏季和冬季 DTR 整体呈减少趋势,其中滇中减少幅度均是最大,分别减小了 0.153 0,0.374 3,0.146 2,0.294 7℃/10 a,秋季 DTR 整体呈上升趋势,滇西北上升幅度最大,为 0.188 0℃/10 a,同时云南各区 DTR 普遍存在 28 a 左右的强震荡周期。DTR 高值区主要集中在河谷地区,DTR 低值区主要集中在东南部 and 西部;年平均、春季、秋季和冬季 DTR 减小幅度较大的地区主要集中在中南部和西部,上升幅度较大的地区主要集中在西北部和滇中北部,夏季 DTR 减少幅度较大的地区主要集中在西北部,上升幅度较大的地区主要集中在中部。云南省中东部 DTR 主要受平均气温和 ET_0 影响,西部 DTR 则主要受降雨量和 ET_0 影响。

关键词:气温日较差;气象因子;云南省

中图分类号:P423

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)06-0100-09

Variation Characteristics of Diurnal Temperature Range and Its Influencing Factors in Yunnan Province from 1970 to 2014

CAO Yan¹, WANG Jie¹, CHAI Suying², QI Na¹

(1. Yunnan Institute of Water Resources and Hydropower Research, Kunming 650228, China;

2. Yunnan Institute of Environmental Science, Kunming 650034, China)

Abstract: Using daily maximum temperature, minimum temperature and mean temperature, precipitation, sunshine duration, relative humidity date from 30 meteorological stations in Yunnan Province from 1970 to 2014, the temporal and spatial variation characteristics of diurnal temperature range (DTR) in different areas of Yunnan Province were analyzed by using Mann-Kendall and wave-let analysis methods, and the influence factors of DTR were discussed. The results showed that annual mean DTR decreased and DTR decreased in spring, summer and winter from 1970 to 2014, the rate of DTR decrease was maximum in central Yunnan Province, the rates decreased by 0.153 0, 0.374 3, 0.146 2 and 0.294 7℃/decade, respectively, DTR increased in autumn, the rate of DTR increase was maximum in northwest Yunnan Province, the rate increased by 0.188 0℃/decade, and the strong oscillation period of DTR change was 28 years in different areas of Yunnan Province. The area with high value of DTR was mainly located in the valley area, and the area with low value of DTR mainly concentrated in the southeastern and western parts of Yunnan Province. Areas with great decreases of annual mean DTR and DTR in the spring, autumn and winter mainly concentrated in the central south and west of Yunnan Province, and the areas with great increases of annual mean DTR and DTR in the spring, autumn and winter mainly concentrated in the northwest of Yunnan Province, north part

1.2 气温日较差

气温日较差是日最高气温与日最低气温之差,具体公式如下:

$$DTR = T_{\max} - T_{\min} \quad (1)$$

式中: DTR 为气温日较差(℃); T_{\max} 为日最高气温(℃); T_{\min} 为日最低气温(℃)。

1.3 潜在蒸散量

潜在蒸散量 ET_0 根据 Penman-Monteith^[18] 公式计算而得,具体公式如下:

$$ET_0 = \frac{\left[0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T + 273)} u_2 (e_a - e_d) \right]}{[\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)]} \quad (2)$$

式中: ET_0 是参考作物蒸发蒸腾量(mm/d); Δ 是饱和水汽压与温度曲线的斜率(kPa/℃); R_n 是作物冠层表面的净辐射[MJ/(m²·d)]; G 是土壤热通量[MJ/(m²·d)],在逐日估算时取 $G=0$; T 是日平均气温(℃),按最高气温(T_{\max})和最低气温(T_{\min})的算术平均值计算; u_2 是 2 m 高度处的风速(m/s); e_a 是饱和水汽压(kPa); e_d 是实际水汽压(kPa); γ 是干湿表常数(kPa/℃)。

1.4 分析方法

采用 Mann-Kendall 检验^[19] 和小波分析^[20] 对气温日较差的序列进行趋势分析和周期分析,其中显著性水平 α 为 0.05, 0.01, 当 $\alpha \leq 0.01$, 即 $|Z| > 2.58$ 时,说明检验具有高度显著性水平,当 $0.01 < \alpha \leq 0.05$, 即 $|Z| > 1.96$ 时,说明检验是显著的,当 α 计算结果满足上述二条件时,统计量 Z 为正则说明具有显著(或极显著性)上升趋势,统计量 Z 为负则说明具有显著(或极显著性)下降趋势,统计量 Z 为零则无趋势。当 $\alpha > 0.05$, 即 $-1.96 < Z < 1.96$ 时,为无显著趋势。采用 ArcGIS 10.0 软件中克里金(Kriging)空间插值方法,分析云南各区 DTR 空间变化趋势。并根据 SPSS 17.0 数据处理软件分析云南省气温日较差与平均气温、日照时数、潜在蒸散量(ET_0)、降雨量、相对湿度和平均风速的关系。

2 结果与分析

2.1 气温日较差时间变化特征

2.1.1 DTR 年际变化特征 通过计算云南省各站点气温日较差,分析各区年平均气温日较差 DTR、最高气温和最低气温的变化趋势(图 2)。可知,1970—2014 年云南各区 DTR 主要介于 7.99~12.36℃,其中滇东南年平均 DTR 最低,仅为 8.60℃,滇西南年平均 DTR 最高,达到 11.36℃,其次分别为滇中、滇西北和滇

东北,年平均 DTR 分别为 11.25, 11.06, 10.60℃。1970—2014 年滇西南($Z=2.2402$)DTR 呈显著(0.05 的显著水平)减少趋势,减小幅度为 0.104℃/10 a,滇中($Z=4.1771$)和滇东北($Z=3.3162$)DTR 均呈极显著(0.01 的显著水平)减少趋势,其减小幅度分别为 0.153, 0.113℃/10 a,滇西南($Z=0.4793$)DTR 呈弱减少趋势,减少幅度为 0.013℃/10 a,滇西北($Z=1.3989$)DTR 呈上升趋势,上升幅度为 0.126℃/10 a。1970—2014 年云南省各区最高气温和最低气温均呈上升趋势,其中滇西北($Z=2.5141$)最高气温呈显著上升趋势,上升幅度为 0.19℃/10 a,滇西南($Z=4.3923$)、滇中($Z=3.189$)、滇东北($Z=3.4336$)和滇东南($Z=2.6706$)最高气温均呈极显著上升趋势,上升幅度分别为 0.263, 0.181, 0.257, 0.193℃/10 a;滇西北($Z=1.575$)最低气温呈弱上升趋势,上升幅度为 0.064℃/10 a,滇西南($Z=6.8965$)、滇中($Z=4.0792$)、滇东北($Z=5.5857$)和滇东南($Z=3.9618$)最低气温均呈极显著上升趋势,上升幅度分别为 0.366, 0.216, 0.37, 0.206℃/10 a,可见云南省大部分地区最低气温增温幅度明显高于最高气温,DTR 受最高气温和最低气温的非对称变化影响显著。

2.1.2 DTR 周期变化特征 通过计算小波交换系数和小波方差,分析云南各区 DTR 周期变化特征,正负值的交替出现,能够清楚地反映出研究时间段内 DTR 上升和减小的波动变化,其中波幅闭合中心值的绝对值越大说明该时间尺度下的 DTR 变化越显著。由图 3A—3E 可知,1970—2014 年云南各区 DTR 普遍存在明显的 22 a 和 28 a 左右的震荡周期,不存在短周期变化,DTR 在 22 a 经历了低—高—低—高—低—高—低 7 个循环交替变化,DTR 在 28 a 尺度上振荡最为显著且贯穿整个研究时序,经历了低—高—低—高—低 5 个循环交替变化,变换周期为 7~8 a,且截至 2014 年等值线均未完全闭合,说明在 2014 年以后 DTR 仍将呈减小趋势。由云南各区 DTR 小波方差(图 3F)也可知,滇西南、滇西北、滇中和滇东北均具有明显的 28 a 左右长周期,滇东南具有明显的 28 a 左右的第一主周期和 22 a 左右的第二主周期。DTR 变化主要由于最高气温和最低气温的非对称变化导致,尤其是最低气温的显著上升,而云南省年平均最高(低)地温存在 20~30 a 左右的周期变化^[16],与云南省各区 DTR 的变化基本一致,此外云南省干湿变化周期也与 DTR 的变化周期一致^[21]。

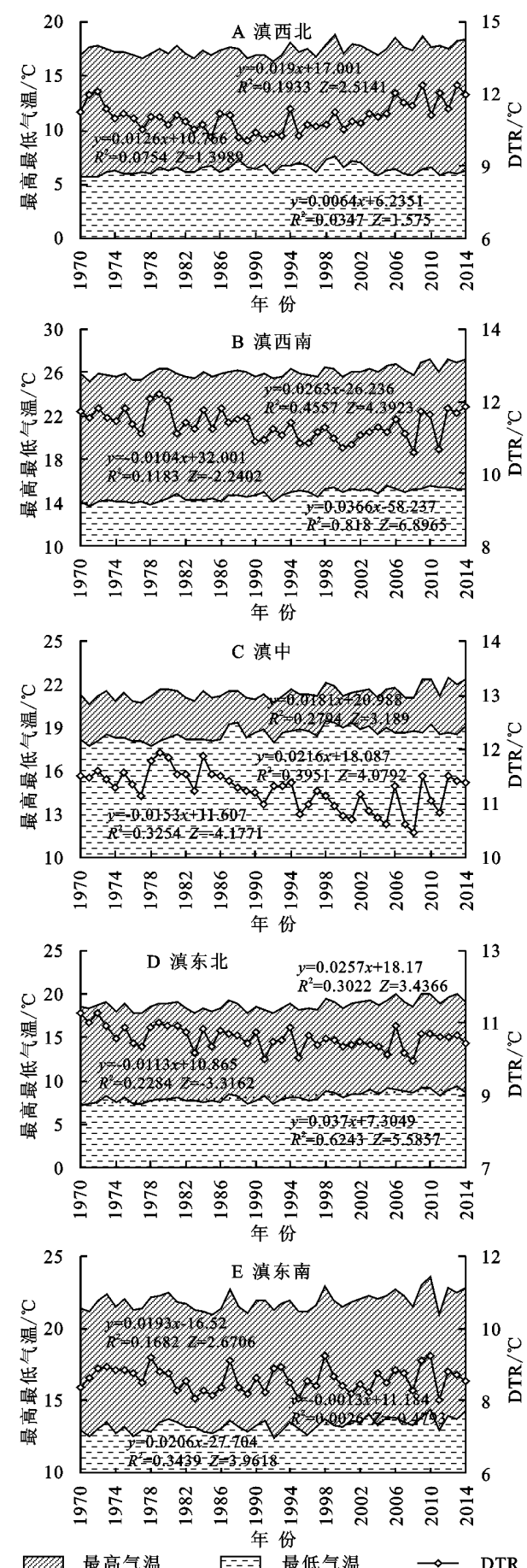


图 2 1970—2014 年云南省各分区气温日较差年际变化

从云南各区不同季节日较差的周期变化来看(表 1),春季和夏季普遍存在 3 a 短周期变化和 28 a 长周期变化,其中春季普遍还存在 6~8 a 和 11~15 a 的周期变化,夏季普遍还存在 6~8 a 和 10~14 a 的周期变化;秋季普遍存在 3~5 a 的短周期、12~15 a 的中长周期和 28 a 的长周期变化;冬季普遍存在 4 a 的短周期、13 a 的中长周期和 28 a 的长周期变化。综上所述,云南各区各季节均以 28 a 长周期变化为第一周期,也与云南省各季节平均最低地温的变化周期一致^[16]。

2.1.3 DTR 季节变化特征 以常用的 3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季,12 月—翌年 2 月为冬季划分四季,在此基础上分析云南省各区最高、最低气温和气温日较差的季节变化特征。由表 2 可知,春季 DTR 基本呈减小趋势,其中滇西南、滇中和滇东北 DTR 均呈极显著(显著水平 0.01)减少趋势,减少幅度分别为 0.341 5,0.374 3,0.280 4℃/10 a,仅滇西北呈上升趋势,上升幅度为 0.122 8℃/10 a;夏季 DTR 基本呈减少趋势,但减少幅度较小,其中滇中 DTR 呈显著(显著水平 0.05)减小趋势,减少幅度为 0.146 2℃/10 a,滇西南和滇东南 DTR 呈微上升趋势,上升幅度分别为 0.022 3,0.030 6℃/10 a;秋季 DTR 基本呈上升趋势,滇西北上升幅度最大,为 0.188 0℃/10 a,仅滇东北呈减少趋势,减小幅度为 0.006 8℃/10 a;冬季 DTR 基本呈减少趋势,滇中 DTR 呈显著(显著水平 0.05)减少趋势,减少幅度达到 0.294 7℃/10 a,仅滇西北呈上升趋势,上升幅度为 0.244 8℃/10 a。云南各区四季 T_{\max} 和 T_{\min} 基本上呈上升趋势,其中春季滇东南 T_{\max} 、滇西南 T_{\min} 上升幅度最大,达到 0.172 8,0.450 7℃/10 a;夏季 T_{\max} 和 T_{\min} 基本上呈极显著(显著水平 0.01)上升趋势,滇西南 T_{\max} 、滇东北 T_{\min} 上升幅度最大,达到 0.250 2,0.313 6℃/10 a;秋季滇东北 T_{\max} 和 T_{\min} 上升幅度最大,达到 0.377 9,0.359 0℃/10 a;冬季滇中 T_{\max} 、滇西南 T_{\min} 上升幅度最大,达到 0.395 2,0.555 4℃/10 a。由此可见,云南省大部分地区春季、夏季和冬季 DTR 呈减少趋势,减小幅度基本表现出春季>冬季>夏季,秋季 DTR 呈上升趋势; T_{\max} 上升幅度基本表现为冬季>秋季>夏季>春季; T_{\min} 上升幅度基本表现为冬季>春季>夏季>秋季,可见四季 DTR 变化受 T_{\min} 影响较大。

2.2 气温日较差空间变化特征

2.2.1 DTR 空间分布特征 从云南各区 DTR 空间分布情况(图 4)可知,年平均 DTR 整体呈现出中间高,东西低的分布特征,其中东部屏边站和西部泸水站 DTR 相对较小,分别为 7.18,7.98℃,中部华坪站 DTR 最大,达到 13.40℃。由图 4B—4E 可知,春季 DTR 基本也呈现出中间高,东西低的分布特征,屏边

和泸水站 DTR 相对较小,分别为 8.3,9.2℃,澜沧站 DTR 最大,达到 15.92℃;夏季 DTR 基本呈现出北高南低的分布特征,泸水和腾冲站 DTR 相对较低,仅为 6.09,6.43℃,维西和华坪站 DTR 相对较大,分别为 10.09,10.28℃;秋季和冬季 DTR 基本上呈现

出西北高东南低的分布特征,最小值均出现在屏边站,为 6.63,6.89℃,最大值出现在香格里拉和华坪站,分别达到 13.13,16.65℃。综上所述,DTR 高值区主要集中在澜沧江、金沙江、元江等河谷地区,DTR 低值区主要集中在东南部和西部。

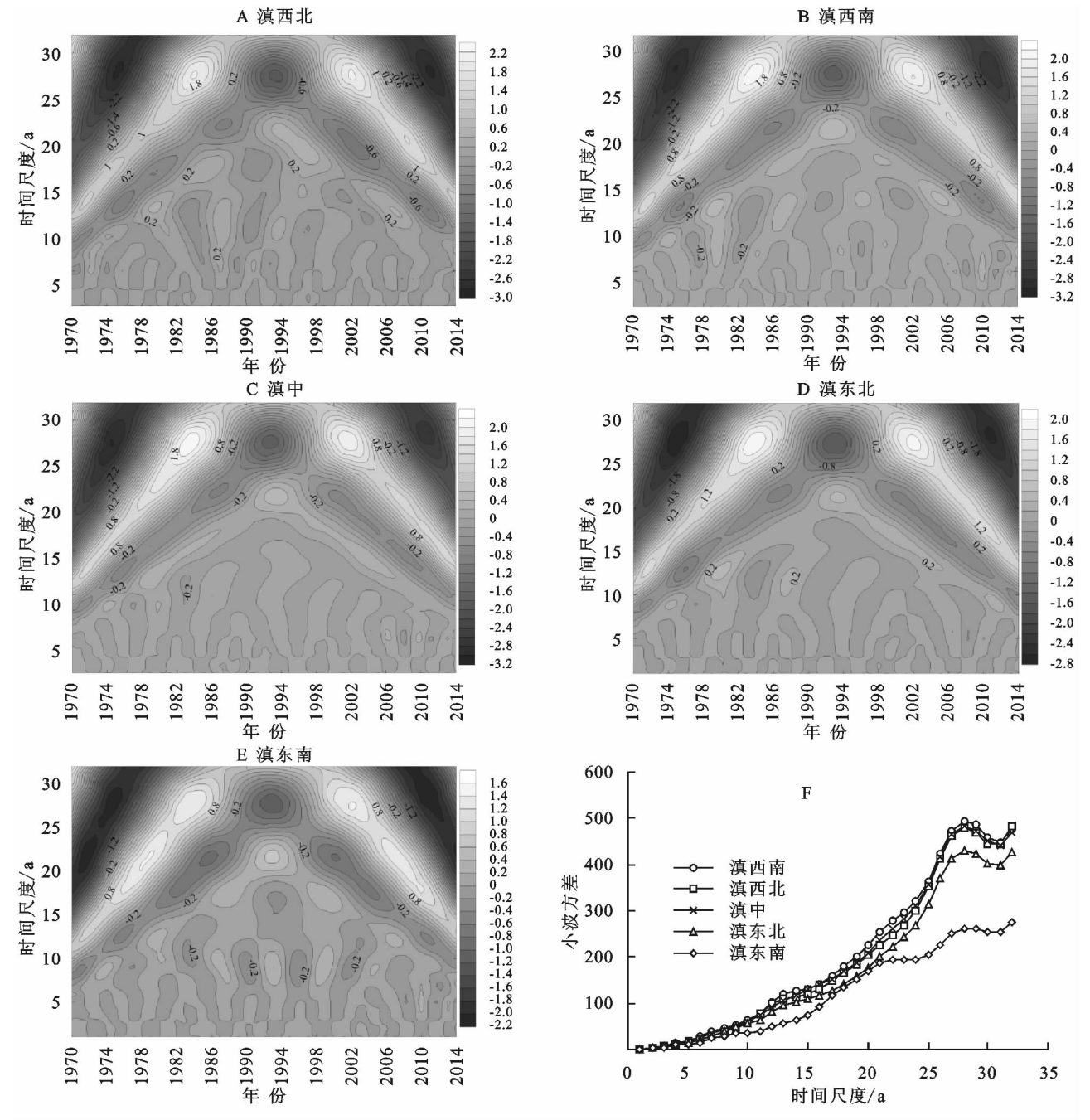


图 3 云南省各分区气温日较差周期变化及小波方差

表 1 云南不同地区气温日较差季节周期变化 a

地区	春季	夏季	秋季	冬季
滇西北	3/8/11/28	3/8/12/28	5/9/15/28	4/13/28
滇西南	6/13/28	4/8/10/28	3/13/28	4/9/13/28
滇中	3/7/15/28	4/8/28	5/12/28	4/9/28
滇东南	3/8/28	3/6/10/28	7/12/28	4/8/12/28
滇东北	3/6/13/28	3/6/14/28	4/7/15/27	6/9/13/28

注:下划线为主周期。

2.2.2 DTR 空间变化趋势 根据 M-K 法计算各气象站点气温日较差 DTR 的变化倾斜度 β ,采用克里金(Kriging)将不同研究时段 DTR 的变化倾斜度 β 进行空间内插值。从云南各区 DTR 空间变化趋势(图 5)可知,1970—2014 年云南各区年平均 DTR 变化趋势不一致,76%的站点 DTR 呈减小趋势,其中楚雄、昆明、蒙自、香格里拉等 11 个站点 DTR 呈显著(0.05 的显著水平)

减小趋势,中部的楚雄和蒙自站 DTR 减小幅度最大,分别达到 0.566 3,0.460 7℃/10 a,元谋和德钦站 DTR 呈显著上升趋势,上升幅度分别为 0.317 6,0.507 2℃/10 a。由图 5B—5E 可知,春季、夏季和冬季云南大部分地区 DTR 呈减小趋势,其中春季 83% 站点呈减小趋势,楚雄、昆明、玉溪、蒙自等 17 个站点 DTR 呈显著减小趋势,楚雄站 DTR 减小幅度最大,达到 0.905 6℃/10 a,德钦、元谋、华坪和昭通站 DTR 呈显著上升趋势,德钦站 DTR 上升幅度最大,达到 0.415 5℃/10 a;夏季 63% 站点 DTR 呈减小趋势,蒙自、香格里拉、华坪和贡山站 DTR 呈显著减小趋势,香格里拉站 DTR 减小幅度最大,达到 0.382 4℃/10 a,元谋、元江和保山站 DTR 呈显著上升趋势,元江站 DTR 上升幅度最大,达到 0.197 4℃/10 a;冬季 67% 的站点 DTR 呈减小趋势,楚雄、昆明、蒙自、玉溪等 9 个站点 DTR 呈显著减小趋势,楚雄站 DTR 减小幅度最大,达到 0.960 2℃/10 a;德钦、元谋和景洪站 DTR 呈显著上升趋势,德钦站 DTR 上升幅度最大,达到 0.930 2℃/10 a;秋季 60% 的站点 DTR 呈上升趋势,德钦、元江、元谋和景洪站 DTR 呈显著上升趋势,德钦站 DTR 上升幅度最大,达到 0.514 2℃/10 a,楚雄、香格里拉、蒙自和泸水站 DTR 呈显著减小趋势,楚雄站 DTR 减小幅度最大,达到 0.316 0℃/10 a。

表 2 云南各地区四季平均 DTR, T_{\max} , T_{\min} 的变化趋势

地区	项目	春季	夏季	秋季	冬季
滇西北	T_{\max}	0.1535 *	0.2152 **	0.1402	0.2574
	T_{\min}	0.0673	0.1980 **	-0.0601	0.0018
	DTR	0.1228	-0.0016	0.1880	0.2448
滇西南	T_{\max}	0.1705	0.2502 **	0.2895 **	0.3651 **
	T_{\min}	0.4507 **	0.2261 **	0.2627 **	0.5554 **
	DTR	-0.3415 **	0.0223	0.0424	-0.2066
滇中	T_{\max}	0.0480	0.1373 **	0.2055 **	0.2786 *
	T_{\min}	0.2627 **	0.1661 **	0.0879	0.3952 **
	DTR	-0.3743 **	-0.1462 *	0.0042	-0.2947 *
滇东南	T_{\max}	0.1182	0.1672 **	0.2726 **	0.1448
	T_{\min}	0.1871 *	0.1640 **	0.1638 **	0.2650
	DTR	-0.0474	0.0306	0.1084	-0.1260
滇东北	T_{\max}	0.1728	0.1887	0.3779 **	0.2863
	T_{\min}	0.3907 **	0.3136 **	0.3590 **	0.4401 **
	DTR	-0.2804 **	-0.0513	-0.0068	-0.1476

注: * 和 ** 分别表示通过 0.05 和 0.01 水平的显著性检验。

2.3 气温日较差影响因子分析

为全面探讨 DTR 的影响因子,利用 SPSS 17.0 分析 DTR 与热力因素、水分因素和动力因素的相关性。由表 3 可以看出,云南各区年平均 DTR 与热力因素的平均气温和日照时数、水分因素中的 ET_0 ,动力因素中的平均风速呈正相关,与水分因素中的降雨量和动力因素中的相对湿度呈负相关。

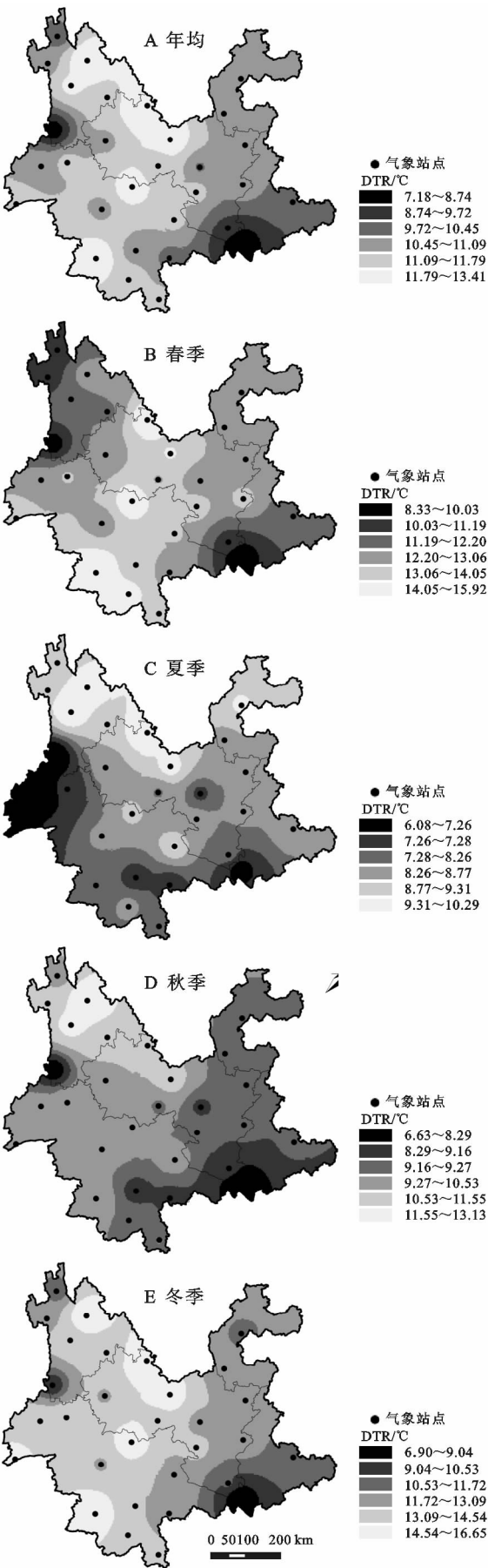


图 4 云南省年、春季、夏季、秋季和冬季气温日较差空间分布特征

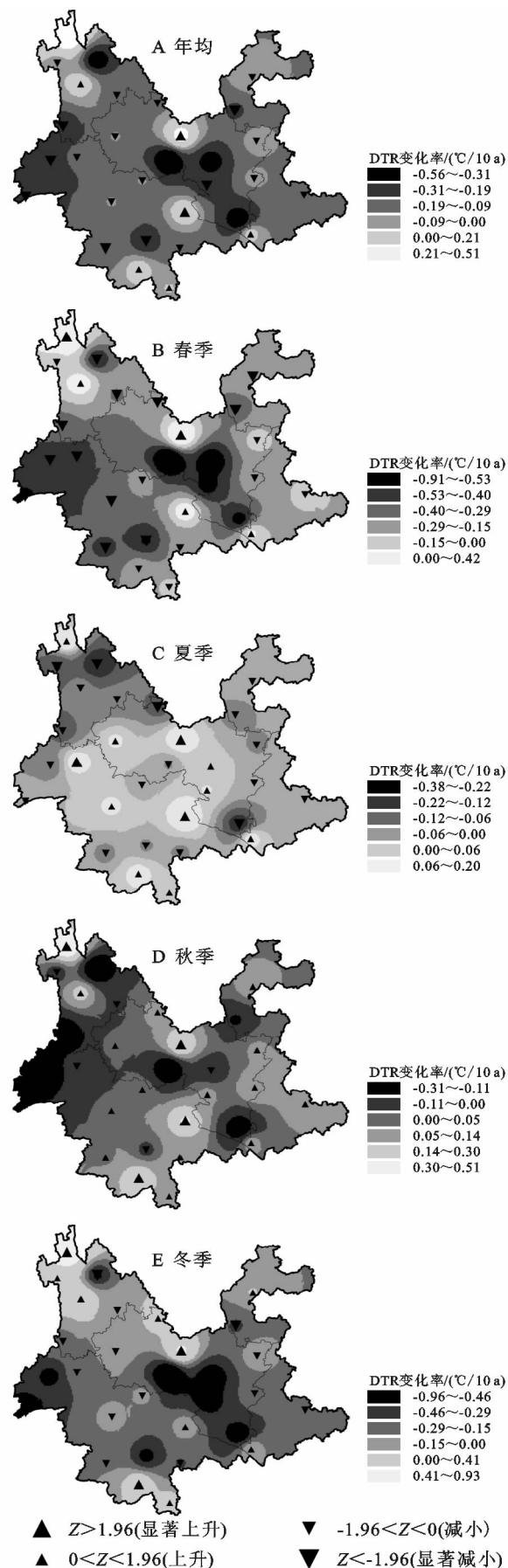


图5 云南省年、春季、夏季、秋季和冬季气温日较差空间变化特征

其中滇中 DTR 与平均气温和相对湿度基本呈负相关, DTR 与日照时数相关性最强, 且相关系数最大, 大理、昆明、楚雄等 6 个站点日照时数与 DTR 呈极显著(显著水平 0.01)正相关, 大理站的相关系数最大, 达到 0.698; 滇西南降雨量与 DTR 相关性最强, 景东、江城、勐腊等 7 个站点降雨量与 DTR 呈极显著或显著负相关, 其中江城站的相关系数最大, 达到 -0.713, 其次分别是日照时数、 ET_0 和平均风速。均有 6 个站点与 DTR 呈极显著或显著正相关; 滇西北 ET_0 , 相对湿度与 DTR 相关性最强, 均有 4 个站点与 DTR 呈极显著相关关系, 其中泸水站的 ET_0 , 贡山站的相对湿度与 DTR 相关系数最大, 分别为 0.923 和 -0.729; 滇东南平均气温、 ET_0 与 DTR 相关性最强, 其次分别为相对湿度、日照时数和平均风速, 均有 2 个站点与 DTR 呈极显著相关, 其中屏边站平均气温、 ET_0 与 DTR 相关系数最大, 分别为 0.971, 0.970; 滇东北平均气温与 DTR 相关性最强, 其次为 ET_0 , 均有 2 个站点与 DTR 呈极显著正相关, 其中昭通站的平均气温与 DTR 相关系数最大, 达到 0.739。由此可知, 影响云南中东部 DTR 变化的主要因子是平均气温和 ET_0 , 其次是日照时数、相对湿度和平均风速, 降雨量的影响相对较弱, 影响云南西部 DTR 变化的主要因子是降雨量和 ET_0 , 其次分别是日照时数、平均风速和相对湿度, 平均温度的影响相对较弱。

3 结论

(1) 受气温非对称变化的影响, 特别是最低气温的显著上升, 1970—2014 年云南省年平均、春季、夏季和冬季 DTR 整体呈减少趋势, 其中滇中减少幅度均是最大, 减小幅度分别为 0.153 0, 0.374 3, 0.146 2, 0.294 7°C/10 a, 秋季 DTR 整体呈上升趋势, 滇西北上升幅度最大, 为 0.188 0°C/10 a。云南各区各季节 DTR 普遍存在 28 a 左右的强震荡周期, 其中 DTR 年变化主要存在 28 a 长周期变化, 春季和夏季普遍存在 3 a 短周期变化和 28 a 长周期变化, 秋季普遍存在 3~5 a 的短周期、12~15 a 的中长周期和 28 a 的长周期变化; 冬季普遍存在 4 a 的短周期、13 a 的中长周期和 28 a 的长周期变化。

(2) DTR 高值区主要集中在河谷地区, DTR 低值区主要集中在东南部和西部; 年平均、春季、秋季和冬季 DTR 减小幅度较大的地区主要集中在中南部和西部, 上升幅度较大的地区主要集中在西北部 and 滇中北部, 夏季 DTR 减小幅度较大的地区主要集中在西北部, 上升幅度较大的地区主要集中在中部。

表 3 云南省各地区气温日较差与各气象因子的相关性分析结果

分区	站点	热力因素		水分因素		动力因素	
		平均气温	日照时数	ET ₀	降雨量	相对湿度	平均风速
滇中	华坪	−0.442**	0.568**	0.591**	−0.350*	−0.559**	0.442**
	大理	0.163	0.698**	0.503*	−0.192	−0.124	0.035
	元谋	0.190	0.198	−0.233	−0.129	0.086	−0.507**
	楚雄	−0.597**	0.651**	0.128	−0.289	0.411**	0.128
	昆明	−0.552**	0.691**	0.156	−0.078	0.389**	0.472**
	沾益	0.165	0.361*	0.197	−0.111	−0.068	−0.073
	玉溪	−0.582**	0.383**	0.090	−0.231	0.475**	0.237
	泸西	0.211	0.441**	0.432**	−0.035	−0.361**	−0.091
	蒙自	−0.551**	0.281	0.489**	−0.024	0.464**	0.867**
	腾冲	−0.444**	0.175	0.058	−0.209	0.179	−0.051
滇西南	保山	−0.309*	0.152	0.238	−0.315*	0.061	0.542**
	瑞丽	−0.490**	0.248	0.236	−0.358*	0.322*	0.173
	景东	0.131	0.559**	0.712**	−0.564**	−0.507**	0.554**
	临沧	0.163	0.698**	0.503**	−0.192	−0.124	0.035
	澜沧	−0.309*	0.058	0.092	−0.328*	−0.119	−0.163
	景洪	0.336*	0.311*	0.514**	−0.258	−0.534**	0.508**
	思茅	0.190	0.098	0.317*	−0.306*	0.026	0.627**
	元江	0.431**	0.488**	0.208	−0.140	−0.395**	−0.401**
	勐腊	0.303*	0.500**	0.592**	−0.539**	−0.523**	0.360*
	江城	0.604**	0.704**	0.782**	−0.713**	−0.591**	0.484**
滇西北	德钦	0.603**	0.072	0.620**	0.288*	−0.375**	−0.718**
	贡山	0.566**	0.634**	0.634**	−0.678**	−0.729**	0.506**
	香格里拉	−0.316*	0.186	−0.229	−0.265	0.122	0.600**
	维西	0.139	0.191	0.261	−0.420**	−0.549**	−0.297*
	丽江	0.318*	0.469**	0.536**	−0.193	0.146	0.001
滇东南	泸水	0.128	0.791**	0.923**	−0.601**	−0.693**	0.377**
	屏边	0.971**	0.897**	0.970**	−0.573**	−0.946**	−0.659**
	广南	0.816**	0.604**	0.753**	0.063	−0.466**	−0.488**
滇东北	昭通	0.739**	0.756**	0.844**	−0.396**	−0.425**	−0.018
	会泽	0.622**	0.123	0.524**	−0.285*	0.387**	−0.205

(3) 年平均 DTR 与平均气温、日照时数、ET₀、平均风速呈正相关,与降雨量和相对湿度呈负相关。影响云南各地 DTR 的主要影响因子也有所不同,中东部 DTR 主要受平均气温和 ET₀ 影响,而西部 DTR 则主要受降雨量和 ET₀ 影响。此外,影响 DTR 的因素诸多,因此今后需进一步探讨其他因素(如太阳辐射、云量、气溶胶以及下垫面的变化等)对 DTR 的影响,从而更加客观地反映出云南各区 DTR 的变化特征。

参考文献:

[1] 郁家成,黄小燕,郁阳,等. 安徽省江淮地区气温日较差变化特征分析[J]. 浙江大学报:理学版,2009,36(2):

237-242.
[2] 杨允凌,孙东磊,杨丽娜,等. 邢台市气温日较差的变化[J]. 干旱气象,2013,31(4):708-713.
[3] 姜丽霞,吕佳佳,王晾晾,等. 黑龙江省气温日较差的变化趋势及其与作物产量的关系[J]. 中国农业气象,2013,34(2):179-185.
[4] 汪凯,叶红,唐立娜,等. 气温日较差研究进展:变化趋势及其影响因素[J]. 气候变化研究进展,2010,6(6):417-423.
[5] 白松竹,李焕,田忠峰. 阿勒泰地区气温日较差的气候变化特征[J]. 气象与环境学报,2012,28(2):77-80.
[6] 石岩. 中国区域温度日较差变化及其与降水日变化的联系[D]. 南京:南京信息工程大学,2016.

- [7] 周宇,史军,孙国武,等. 1873—2009 年上海气温日较差变化及其影响因素[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(1): 24-30.
- [8] 杨晓玲,丁文魁,殷玉春,等. 1961—2010 年武威市气温日较差变化趋势及影响因子分析[J]. 中国沙漠, 2014, 31(1): 225-232.
- [9] 刘强吉,武胜利. 新疆额尔齐斯河流域气温日较差变化特征及影响因子分析[J]. 水土保持学报, 2017, 31(4): 351-356.
- [10] 郑建萌,任菊章,张万诚. 云南近百年来温度雨量的变化特征分析[J]. 灾害学, 2010, 25(3): 24-31.
- [11] 段旭,陶云. 云南近 50 年来的气候变化[J]. 热带气象学报, 2012, 28(2): 243-250.
- [12] 罗燕,田永丽,戴敏,等. 云南近 50 年极端气温及降水事件变化特征与区域气候变暖的关系[J]. 云南大学学报:自然科学版, 2015, 37(6): 870-877.
- [13] 卜明,李爱国. 1960—2012 年云南省年际气温与降水量的区域性变化特征[J]. 贵州农业科学, 2017, 45(8): 130-136.
- [14] 张万诚,郑建萌,马涛,等. 1961—2012 年云南省极端气温时空演变规律研究[J]. 资源科学, 2015, 37(4): 710-722.
- [15] 杨晓静,徐宗学,左德鹏,等. 云南省 1958—2013 年极端气温时空变化特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(3): 523-536.
- [16] 程清平,王平,徐强. 1960—2013 年云南地面温度时空变化特征[J]. 水土保持研究, 2017, 24(6): 111-121.
- [17] 张雷,王杰,黄英,等. 1961—2010 年云南省基于 SPEI 的干旱变化特征分析[J]. 气象与环境学报, 2015, 31(5): 141-146.
- [18] 韩焕豪,崔远来,王树鹏,等. 云南省参考作物蒸发蒸腾量时空变化特征[J]. 节水灌溉, 2016(6): 182-186.
- [19] 曹言,王杰,张雷,等. 滇中地区极端降水事件的时空变化特征分析[J]. 人民长江, 2017, 48(21): 50-55.
- [20] 韩知明,贾克力,杨芳,等. 基于 Morlet 小波的呼伦湖流域降水多时间尺度分析[J]. 水土保持研究, 2018, 25(1): 160-166.
- [21] 曹言,王杰,黄英,等. 云南省气候干湿状况时空变化特征[J]. 水电能源科学, 2017, 35(8): 6-9.

~~~~~  
(上接第 99 页)

- [9] 曾路生,高岩,李俊良,等. 寿光大棚土壤团聚体中交换性盐基离子组成与土壤团聚性关系[J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 224-228.
- [10] Guo Q, Guo T, Ma Z, et al. Seasonal performance and spatial heterogeneity of soil salt ions in a semiarid orchard of northwest China[J]. Hortscience, 2014, 49(5): 653-661.
- [11] 张风华,王建军. 不同轮作模式对土壤团聚体组成及有机碳分布的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(4): 113-116.
- [12] 卢金伟,李占斌. 土壤团聚体研究进展[J]. 水土保持研究, 2002, 9(1): 81-85.
- [13] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [14] 李爱宗. 耕作方式对土壤有机碳库和团聚体稳定性的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2007.
- [15] Six J, Elliott E T, Paustian K, et al. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils [J]. Soil Science Society of America Journal, 1998, 62(5): 1367-1377.
- [16] 张旭辉,李恋卿,潘根兴. 不同轮作制度对淮北白浆土团聚体及其有机碳的积累与分布的影响[J]. 生态学杂志, 2001(2): 16-19.
- [17] 李恋卿,潘根兴. 退化红壤植被恢复中表层土壤微团聚体及其有机碳的分布变化[J]. 土壤通报, 2000, 31(5): 193-195.
- [18] 李向春,李文昊,韩冬梅,等. 绿洲区长期膜下滴灌棉田土壤盐分离子分布[J]. 节水灌溉, 2016(7): 65-69.
- [19] 刘淑慧. 松嫩平原苏打盐碱地滴灌土壤水盐调控机制与盐碱化草场恢复重建方法研究[D]. 北京:中国科学院研究生院, 2012.
- [20] 胡敏,向永生,张智,等. 恩施州耕地土壤 pH 近 30 年变化特征[J]. 应用生态学报, 2017, 28(4): 1289-1297.