

河西走廊东部地面温度的变化 特征及影响因子分析

杨晓玲^{1,2}, 兰晓波², 丁文魁², 王锦波²

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,
中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃 兰州 730020; 2. 甘肃省武威市气象局, 甘肃 武威 733000)

摘要: 利用河西走廊东部 4 个气象站近 50 a 地面 0 cm 温度及年气温、蒸发、降水、相对湿度和风速等观测资料, 运用线性趋势系数法系统分析了河西走廊东部近 50 a 地面温度的空间分布、时间变化趋势及极值变化等特征, 采用多元线性回归中的标准化回归系数分析了影响地面温度的气象因子。结果表明: 受天气系统、地形地貌以及海拔高度等影响, 河西走廊东部地面温度低海拔平原区大于高海拔山区。各地年、年代地面温度呈很显著上升趋势, 年地面温度的时间序列存在着 6~9 a 的准周期变化; 月地面温度变化比较一致; 各地各季节地面温度也呈上升趋势, 春、夏季上升率大于秋、冬季; 各地年极端最高和最低地面温度也均呈上升趋势, 极端最低地面温度的上升率大于极端最高地面温度的上升率, 因此冬季增温对年地面温度升高贡献大于夏季。河西走廊东部地面温度的主要影响因子是最低气温和平均气温, 其次是降水、平均风速和相对湿度, 最高气温的影响较弱, 蒸发的影响最弱。地面温度与平均、最高、最低气温呈正相关, 与降水、相对湿度以及平均风速呈负相关, 与蒸发无相关性。影响各地地面温度的主要因子有所不同。

关键词: 河西走廊东部; 地面温度; 变化特征; 气象因子

中图分类号: P463.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)01-0223-07

Analysis of change characteristic and influence factors on ground temperature in Hexi corridor eastern

YANG Xiao-ling^{1,2}, LAN Xiao-bo², DIN Wen-kui², WANG Jin-bo²

(1. Lanzhou Institute of Arid Meteorology CMA, Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster,
Key Open Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reduction CMA, Lanzhou 730020, China;
2. Wuwei Meteorological Bureau, Wuwei 733000, China)

Abstract: Using the observation data of ground surface temperature, annual temperature, evaporation, precipitation, relative humidity and wind speed etc in four meteorological stations of eastern Hexi corridor in recent 50 years, systematically analyzed the meteorological factors that influenced the ground surface temperature by the standardized regressive coefficient in multi-linear regression. The result showed that: Ground surface temperature in low altitude plain areas is bigger than in high altitude mountain areas in eastern Hexi corridor, because of impact by the weather system, landform and altitude. Ground temperature of year and age assume very significant increasing trend in every region. Time series of ground temperature have six to nine years quasi-periodic variation. Variation trend of ground temperature in each season also assume increasing trend, rising rates in spring and summer are greater than in autumn and winter. Monthly variation of ground temperature is more consistent. Annual extreme highest and lowest ground temperature also assume increasing trend, rising rates of lowest ground temperature is bigger than of extreme highest ground temperature, so contributes to annual ground temperature increasing in winter is bigger than in summer. Main influencing factors of annual ground temperature are minimum temperature and mean temperature, the second are precipitation, average wind speed and relative humidity, effect of maximum temperature is weaker and effect of evaporation is the weakest in Hexi corridor eastern. Ground temperature is positively correlated with average temperature, maximum temperature and minimum tem-

收稿日期: 2013-06-03

基金项目: 科技部行业(气象)专项“农田水分利用效率对气候变化的响应与适应技术”(GY201106029); 石羊河流域干旱灾害风险评估及防御对策研究(IAM201205)

作者简介: 杨晓玲(1971—), 女, 甘肃民勤人, 高级工程师, 主要从事天气预报及气候方面的研究工作。E-mail: wwqxj6150343@163.com。

perature. Ground temperature is negatively correlated with precipitation, relative humidity and average wind speed. Ground temperature is no correlation with evaporation. Main influence factors of ground temperature are different in every region.

Keywords: eastern Hexi corridor; ground surface temperature; variation characteristics; meteorological factor

下垫面与大气的相互作用影响着各种尺度的天气、气候变化,而在陆气相互作用中,地面反照率、地面温度和湿度对大气环流和气候变化有重要影响^[1]。其中,地面温度(指地面 0 cm 温度)是地球资源监测和地表生态环境系统研究的重要指标,也是区域和全球尺度地表物理过程的一个关键因子,可以反映土壤—植被—大气系统的能量流动和物质交换^[2]。因此,地面温度在气候学、水文学、生态学、生物化学等研究领域具有重要的意义^[3],并在农业气象及地面能量通量、热惯量计算等方面有重要的应用价值^[4-5]。近年来,许多学者对地面温度的变化趋势多有研究,发现大部分地区地面温度升高趋势明显^[6-10]。随着全球气候的变暖,河西走廊东部武威市气候出现了明显的变化,地面温度也随之发生了显著变化,但目前对河西走廊东部地面温度时空分布特征的研究还很少见,特别是地面温度对天气、气候变化的响应研究尚处于起步阶段,因此,了解当地地面温度的空间分布和变化趋势、极值变化特征以及影响因子,对于合理指导农业生产、保护生态环境和地面能量通量和热惯量的计算方面有着重要的作用,同时为揭示地面温度对气候变化的响应和地面温度的预报预测提供科学依据。

1 河西走廊东部的地理及气候状况

河西走廊东部地处青藏高原北坡,南靠祁连山脉,北邻腾格里和巴丹吉林两大沙漠,东接黄土高坡西缘,地理位置大致为东经 101°06′~104°14′,北纬 37°10′~39°24′,海拔高度在 1 300~4 872 m,地势南高北低,由西南向东北倾斜,地形地貌极为复杂,从北向南依次为民勤、永昌、武威、古浪和天祝,其中北部民勤为沙漠戈壁干旱区,中部凉州为绿洲平原区,北部永昌和南部的古浪、天祝属于祁连山边坡的山区。河西走廊东部由于深居大陆腹地、远离水汽源地,近地层水汽通道受到了山系强烈的阻挡较难达到当地,这里干旱少雨,气候干燥,年降水量在 113~405 mm,由南向北递减,年平均气温在 0.1℃~8.4℃,由南向北递增,风大沙多,无霜期长,蒸发和辐射强烈,日照时数长,是季风性气候与大陆性气候,高原气候与沙漠气候的交汇处,是较典型的气候过渡带,属于温带干旱、半干旱气候^[11]。

2 资料来源与研究方法

2.1 资料来源

所用资料来源于河西走廊东部武威市民勤、凉州、古浪、永昌 4 个气象站的逐日实测的地面温度以及年气温、蒸发、降水、相对湿度、平均风速资料,时间序列为 1961—2010 年,共 50 a。天祝的乌鞘岭气象站由于前 20 a 无地面温度观测资料,只有后 30 a 的地面温度资料,与其它各地的资料长度差异太大,在分析其变化趋势时可能会与其它各地差异较大,所以笔者未作分析。

2.2 研究方法

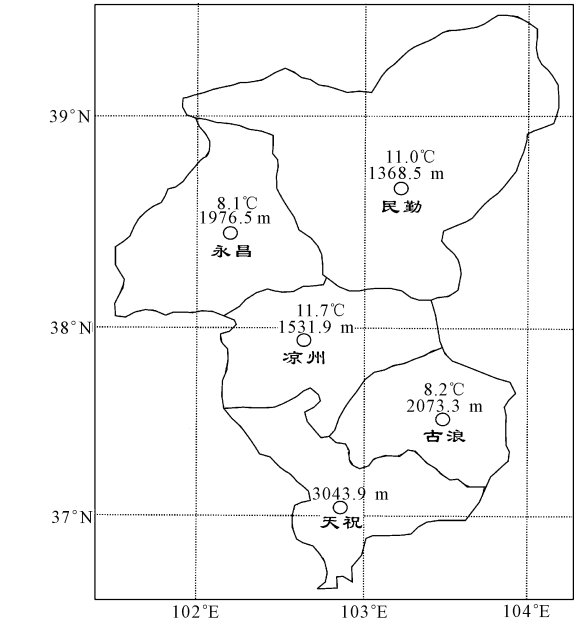
季节划分按照 3—5 月为春季、6—8 月为夏季、9—11 为秋季和 12 月至翌年 2 月为冬季。分析年代、年、季和月地面温度的变化趋势以及地面温度年极值变化特征。地面温度的变化趋势采用线性趋势计算方法:用 x_i 表示样本量为 n 的气候变量,用 t_i 表示 x_i 所对应的时间,建立 x_i 和 t_i 之间的一元线性回归方程: $x_i = a + bt_i$, $i = 1, 2, 3 \dots n$, 其中 b 为气候变量的倾向率, $b > 0$ 表示直线递增, $b < 0$ 表示直线递减, $b \times 10$ 表示每 10 a 的变化率,单位为 $^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 。变化趋势的显著性,采用时间 t 与序列变量 x 之间的相关系数即气候趋势系数进行检验。根据蒙特卡罗模拟方法^[12-13]:通过信度 $\alpha = 0.1$ 、 $\alpha = 0.05$ 、 $\alpha = 0.01$ 显著性检验所对应的相关系数临界值,依次为:0.231、0.273、0.354,当气候趋势系数绝对值大于上述临界值时,分别认为气候趋势系数较显著、显著、很显著。运用方差分析方法进行了周期分析,方差分析周期的主要思路是把要素时间序列按不同时间间隔进行分组,如果某个组的组内数据比较均匀,即方差小,而组间的方差较大,那么这个组的时间间隔就是该时间序列的主要周期,按不同长度周期进行排列,求出 F 值并进行检验^[14-15]。采用多元线性回归中的标准化回归系数分析了各气象因子与地面温度的关联性和贡献大小。

3 地面温度时空变化特征

3.1 空间分布

统计分析河西走廊东部 4 个气象站近 50 a 地面温度资料发现:沙漠干旱区和绿洲平原区地面温

度高于祁连山边坡的山区,年平均地面温度凉州最高,为 11.7℃;民勤次高,为 11.0℃;其次古浪,为 8.2℃;永昌最低,为 8.1℃(图 1)。



注:上为地面温度(℃),下为海拔高度(m)
Note: Ground temperature in above(℃); Altitude above sea level is in down(m).

图 1 年平均地面温度和海拔高度空间分布
Fig.1 Spatial distribution of annual mean ground temperature and altitude above sea level

由图 1 可知,河西走廊东部年平均地面温度空间分布与海拔高度呈负相关,海拔越高地面温度越低,海拔相近地区地面温度相差不大,这与李栋梁等^[6]的研究结论一致。除此之外,地面温度的高低还与局部地形和下垫面有关,北部民勤被巴丹吉林

沙漠和腾格里沙漠包围,干旱少雨,蒸发量大,辐射强,特别是夜间辐射强烈,地面温度的日变化幅度较凉州大,这可能是引起多年均值较凉州低的原因;古浪、永昌地处山区,阴雨日数相对较多,蒸发量相对小,因此地面温度相对较低。

3.2 时间变化

3.2.1 年际变化 河西走廊东部各地 50 a 年平均地面温度均呈升高的趋势(图 2),用线性趋势统计各地年平均地面温度的上升率为永昌 0.334℃·10a⁻¹,气候趋势系数 R 为 0.641;凉州 0.593℃·10a⁻¹,R 为 0.775;民勤 0.743℃·10a⁻¹,R 为 0.913;古浪 0.479℃·10a⁻¹,R 为 0.766,即上升率为民勤>凉州>古浪>永昌。根据蒙特卡罗模拟方法规定,各地气候趋势系数均很显著。由此可知,在全球气候变暖的大背景下,河西走廊东部年地面温度升高趋势很显著,与同期当地年气温的上升率相比,这个上升率远大于气温的上升率^[16]。由于河西走廊东部受海拔高度和下垫面的影响,各地地面温度上升有所不同,表现为戈壁沙漠区和绿洲平原区上升较快,祁连山边坡的山区上升较慢。河西走廊东部年平均地面温度为 9.8℃(不包括天祝),各地年地面温度最大值永昌 10.0℃、凉州 14.0℃、古浪 10.3℃,均出现在 2009 年,民勤 13.3℃,出现在 2008 年;各地年地面温度最小值永昌 6.7℃、凉州 9.4℃、民勤 8.8℃,均出现在 1967 年,古浪 6.5℃,出现在 1976 年。由图 2 可知各地年地面温度的变化步调比较一致,运用方差分析周期发现,年地面温度的时间序列存在着 6~9 a 的准周期变化,经 F 检验,通过了信度 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平检验。

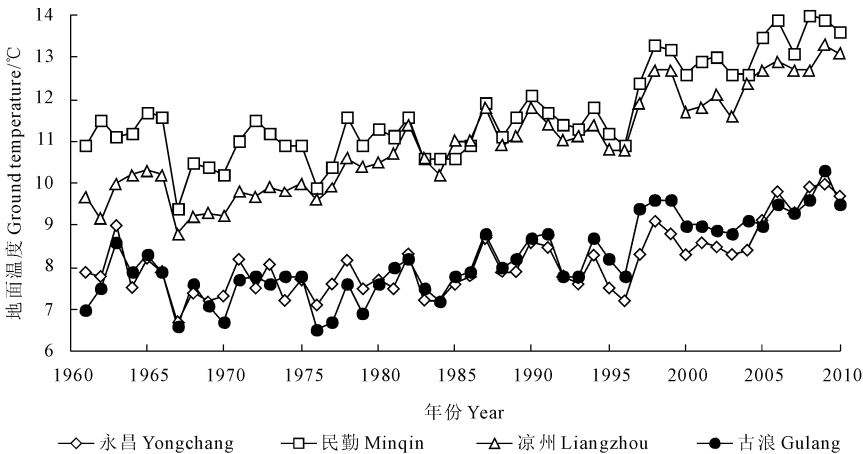


图 2 年平均地面温度变化
Fig.2 Change of annual mean ground temperature

表 1 逐年代平均地面温度距平(℃)

Table 1	Index of mean ground temperature of various ages			
年代 Decade	永昌 Yongchang	凉州 Liangzhou	民勤 Minqin	古浪 Gulang
1960s	-0.4	-0.8	-1.3	-0.7
1970s	-0.4	-0.7	-0.9	-0.8
1980s	-0.2	-0.4	0.1	-0.2
1990s	0.1	0.3	0.6	0.5
2000s	1.1	1.7	1.6	1.1

表 1 为各地逐年代地面温度距平。由表 1 可知,各地地面温度的年代变化比较一致,呈逐年代升高趋势。各地地面温度均 20 世纪 60 年代最低,21 世纪 10 年代最高,其中 20 世纪 60—70 年代地面温度为大的负距平,80 年代民勤为较小的正距平,其它三地均为较小的负距平,90 年代为较小的正距平,21 世纪 10 年代为较大的正距平,20 世纪 60 年代至 21 世纪 10 年代地面温度升高的幅度在 1.5℃~2.9℃。

3.2.2 年变化 分析石羊河流域逐月地面温度发现,地面温度年变化特征明显,年内最高和最低地面温度的差在 30.9℃~38.1℃,各地均表现出了一个明显的低谷和一个明显的高峰,其中 1 月为明显的低谷,1—7 月地面温度逐渐升高,7 月为明显高峰,7 月后最逐渐降低(图 3)。从图 3 可以看出,海拔较

低的平原区凉州、民勤各月地面温度接近,海拔较高的山区永昌、古浪各月地面温度接近,平原区和山区相比,夏季地面温度差异大,冬季地面温度差异小,春秋两季次之。

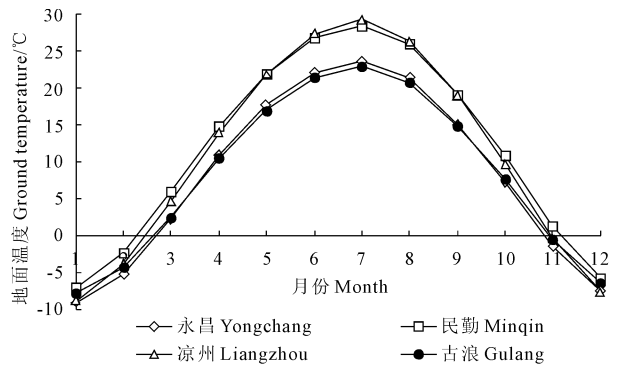


图 3 地面温度的年变化

Fig.3 Annual change of ground temperature

3.2.3 季节变化 表 2 为各地春、夏、秋、冬四季平均地面温度、上升率及趋势系数。各地地面温度均为夏季最高,春季次之,冬季最低。各地各季节地面温度均为上升趋势,其中上升率的最大值永昌、民勤出现在春季,凉州、古浪出现在夏季;上升率的次大值永昌出现在夏季,凉州出现在春季,民勤、古浪出现在冬季。根据蒙特卡罗模拟方法规定,各地各季节气候趋势系数均很显著。

表 2 各季节地面温度的均值、上升率及趋势系数

Table 2 Mean value and growth rate and tendency coefficient of ground temperature in various seasons

项目 Items		永昌 Yongchang	凉州 Liangzhou	民勤 Minqin	古浪 Gulang
冬季 Winter	均值 Mean value/℃	-7.3	-5.0	-6.8	-6.3
	上升率 Growth rate/(℃·10a ⁻¹)	0.318	0.576	0.791	0.529
	趋势系数 Tendency coefficient	0.424	0.609	0.719	0.628
春季 Spring	均值 Mean value/℃	10.3	14.2	13.4	9.9
	上升率 Growth rate/(℃·10a ⁻¹)	0.409	0.612	0.851	0.396
	趋势系数 Tendency coefficient	0.523	0.662	0.777	0.448
夏季 Summer	均值 Mean value/℃	22.4	27.1	27.6	21.8
	上升率 Growth rate/(℃·10a ⁻¹)	0.359	0.622	0.649	0.581
	趋势系数 Tendency coefficient	0.420	0.603	0.688	0.619
秋季 Autumn	均值 Mean value/℃	7.0	10.4	9.5	7.3
	上升率 Growth rate/(℃·10a ⁻¹)	0.287	0.529	0.661	0.389
	趋势系数 Tendency coefficient	0.463	0.651	0.771	0.556

3.2.4 极端最高和极端最低地面温度年际变化 各地年极端最高和最低地面温度的变化步调基本相同,呈上升趋势(图 4a、4b),其线性上升率分别为永昌 0.293℃·10a⁻¹和 0.44℃·10a⁻¹、凉州 1.06℃·10a⁻¹和 1.198℃·10a⁻¹、民勤 0.678℃·10a⁻¹和

1.31℃·10a⁻¹、古浪 0.585℃·10a⁻¹和 0.874℃·10a⁻¹,这个上升速度比当地同期极端最高和最低气温的上升速度要明显^[17]。由此可见,各地极端最低地面温度的上升率均大于极端最高地面温度的上升率,特别是民勤极端最低地面温度上升率比极端最高地面

温度的上升率大的多,因此,冬季地面温度升高的趋势比夏季更加明显。

各地极端最高地面温度极值为永昌 68.8℃,出现在 2005 年 7 月 13 日;凉州 74.2℃,出现在 2010 年 7 月 18 日;民勤 72.4℃,出现在 2008 年 7 月 8 日;古浪 66.9℃,出现在 2008 年 7 月 6 日。极端最高地面温度均值为永昌 63.8℃、凉州 67.8℃、民勤 67.0℃、古浪 62.0℃。各地极端最低地面温度极值为永昌 -34.5℃、凉州 -37.1℃、民勤 -34.1℃、古浪 -36.5℃,均出现在 1997 年 12 月 27 日。极端最低地面温度均值为永昌 -27.7℃、凉州 -25.5℃、民勤

-27.5℃、古浪 -26.0℃,各地极端最高地面温度主要出现在 6、7、8 月,其中 7 月出现最多,占总次数的 46%~62%;6 月次之,占 24%~36%;其次为 8 月,共占 8%~14%;5 月只有永昌出现过 2 次,占 4%。各地极端最低地面温度主要出现在 1、2、12 月,其中 1 月最多,占总次数的 36%~50%;12 月次之,占 28%~38%;其次为 2 月,占 16%~22%;11 月只有凉州、古浪分别出现过 2 次、1 次,分别占 4%、2%;3 月只有古浪出现过 1 次,共占 2%。

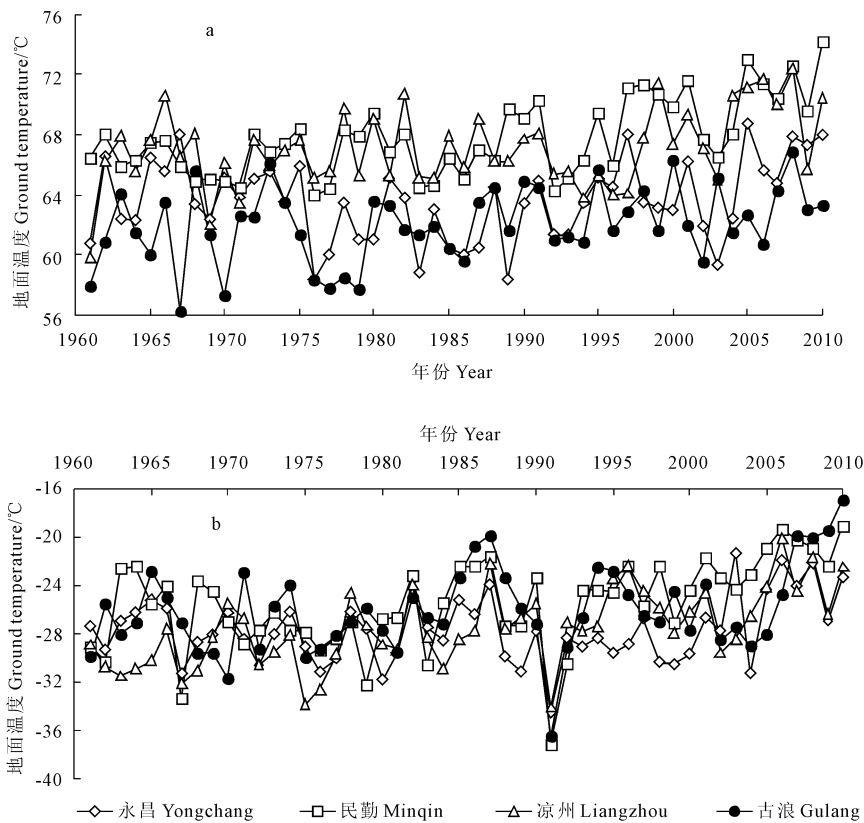


图 4 年极端最高(a)、最低(b)地面温度的变化
Fig.4 Change of annual extreme highest (a) and lowest (b) ground temperature

4 地面温度与其他气象因素的相关性

地面是地球和大气能量交换的界面,气象因子的变化必然引起地面温度的变化,地面温度的变化实际上是气候变化对土壤热状况影响最迅速的具体体现,因此地面温度是一个敏感的气候指标。为深入分析影响地面温度的主要因子,将与地面温度变化密切相关气象因子平均气温、平均最高气温、平均最低气温、蒸发量、降水量、相对湿度和平均风速分为热力因子、水分因子、动力因子 3 类^[18],并进行多元回归分析,为了更好地比较各个自变量在回归方

程的重要性,就必须消除单位的影响,为此在做多元线性回归时对各变量值作标准化变换(即变量减去其均值并除以其标准差的估计)得到的回归系数为标准化回归系数(表 3),其含义是当自变量增加一个单位时,因变量增加或减少的单位^[19-20],并对标准化回归系数的显著性进行了 *t* 检验分析。

由表 3 可知,全区域来年地面温度与热力因子的平均、最高、最低气温呈正相关,与水分因子中的降水量、相对湿度以及动力因子平均风速呈负相关,与水分因子中的蒸发量无相关性。其中,热力因子中的最低气温、平均气温和水分因子中的降水量和

动力因子平均风速的标准化回归系数远大于其它要素,因此影响全区域地面温度的主要因子依次为最低气温、平均气温、降水量和平均风速,关联性最强的是最低气温,其次是平均气温。影响各地地面温度的主要因子有所不同,影响永昌地面温度的主要因子依次为最低气温、平均气温、蒸发量和降水量,关联性最强的是最低气温,其次是平均气温;影响凉州地面温度的主要因子依次为平均气温、降水量、最低气温、平均风速和相对湿度,关联性最强的是平均

气温,其次是降水量;影响民勤地面温度的主要因子依次为最低气温、平均气温、相对湿度和最高气温,关联性最强的是最低气温,其次是平均气温;影响古浪地面温度的主要因子依次为最低气温、蒸发量和平均气温,关联性最强的是最低气温,其次是蒸发量。由此可知,影响该区域地面温度的主要因子是最低气温和平均气温,其次是降水量、平均风速和相对湿度,最高气温的影响较弱,蒸发量的影响最弱。

表 3 全区域及各地各气象因子的标准回归系数

Table 3 Standard regression coefficient of every meteorological factor in whole area and around

区域 Region	热量因子 Thermodynamic factor			水分因子 Moisture factor			动力因子 Power factor
	平均气温 Average temperature	最高气温 Highest temperature	最低气温 Lowest temperature	年蒸发量 Annual evaporation	年降水量 Annual precipitation	年相对湿度 Annual relative humidity	平均风速 Average wind speed
永昌 Yongchang	0.411***	-0.065	0.536**	0.169**	-0.143***	0.020	-0.009
凉州 Liangzhou	0.749***	0.059	0.127*	-0.085*	-0.135***	-0.089*	-0.109***
民勤 Minqin	0.145**	-0.123*	0.863***	0.079	-0.075*	-0.126***	-0.049
古浪 Gulang	-0.255***	0.000	1.007***	0.356***	0.000	0.000	0.000
全区域 Whole area	0.264***	0.061	0.557***	0.000	-0.123***	-0.098**	-0.126***

注:***、**、*表示分别通过了 $\alpha=0.01$ 、 $\alpha=0.05$ 、 $\alpha=0.1$ 的显著性水平检验(t 检验)。
Note:***、** and * were significant at $\alpha=0.01$ 、 $\alpha=0.05$ and $\alpha=0.1$ level (t test).

5 结 论

河西走廊东部武威市地面温度地域分布差异较大,地面温度与海拔高度呈负相关,海拔较低的平原区地面温度高于海拔较高的山区,除此之外,还与地形地貌有一定的关系,表现为戈壁沙漠区和绿洲平原区的地面温度上升较快,祁连山边坡的山区地面温度上升较慢;各地年、年代地面温度均呈很显著的上升趋势,民勤、永昌的上升趋势尤为显著,地面温度的时间序列存在着6~9 a的准周期变化;各季节地面温度也呈上升趋势,春季上升最显著,对年地面温度的贡献率最大;各地年极端最高和最低地面温度也均呈上升趋势,极端最低地面温度的升幅均大于极端最高地面温度的升幅,即冬季地面温度升高的趋势比夏季更加明显,说明冬季地面温度升高对年地面温度的升高的贡献比夏季要大。

影响河西走廊东部地面温度的主要因子是最低气温和平均气温,其次是降水、平均风速和相对湿度,最高气温的影响较弱,蒸发的影响最弱。关联性最强的是最低气温,其次是平均气温,其中地面温度与热力因子的平均、最高、最低气温呈正相关,与水分因子中的降水、相对湿度以及动力因子平均风速呈负相关,与热力因子的蒸发无相关性。

参 考 文 献:

[1] 李崇银. 气候动力学引论[M]. 北京:气象出版社,1995:290-296.

[2] Li ZL, Becker F. Feasibility of land surface temperature and emissivity determination from AVHRR data[J]. Remote Sensing of Environment, 1993,43:67-85.

[3] Qin Z, Karnieli A. Progress in the remote sensing of land surface temperature and ground emissivity using NOAA - AVHRR[J]. International Journal of Remote Sensing, 1999,20(12):2367-2393.

[4] Dash P, Gottsche F M, Olesen F S, et al. Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: theory and practice current trends[J]. International Journal of Remote Sensing, 2002,23(13):2563-2594.

[5] 张 杰,杨兴国,李巧珍.应用EOS - MODIS 卫星资料推算西北雨养农业区能量通量[J].干旱地区农业研究,2005,23(5):226-231.

[6] 李栋梁,钟海玲,吴青柏,等.青藏高原地表温度的变化分析[J].高原气象,2005,24(3):291-298.

[7] 建 军,余锦华,达 琼.近30年青藏高原0 cm 年平均地温的分布和变化特征[J].气象,2006,32(12):64-69.

[8] 唐国利,任国玉.近百年中国地表气温变化趋势的再分析[J].气候与环境研究,2005,10(4):791-798.

[9] 袁文涛,刘滨辉,刘燕玲,等.黑龙江省1960—2000年地表温度的变化趋势[J].东北林业定西学报,2011,39(2):67-71.

[10] 宁和平,曹金武,王成福.甘南玛曲地区地表温度的变化特征[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(2):183-189,194.

(上接第 212 页)

- [8] 王莉,张强,牛西午,等.黄土高原丘陵区不同土地利用方式对土壤理化性质的影响[J].中国生态农业学报,2007,15(4): 53-56.
- [9] 鲍士旦.土壤农化分析[M].第三版.北京:中国农业出版社,2000:14-188.
- [10] 徐波,朱雪梅,刘倩,等.川中丘陵区不同土地利用方式下土壤养分特征研究——以中国科学院盐亭紫色土农业生态试验站小流域为例[J].西南农业学报,2011,24(2):663-668.
- [11] 李东,王子芳,郑杰炳.紫色丘陵区不同土地利用方式下土壤有机质和全量氮磷钾含量状况[J].土壤通报,2009,40(2): 310-314.
- [12] Osono T, Takeda H. Accumulation and release of nitrogen and phosphorus in relation lignin decomposition in leaf of 14 tree species[J]. Ecological Research, 2004,19:593-602.
- [13] Marques J D D, Luizao F J, Teixeira W G, et al. Variations of dissolved organic carbon and soil physical properties under different land uses in central Amazonia[J]. Revista Brasileira De Ciencia Do Solo, 2012,36(2):611-622.
- [14] Viana E T, Batista M A, Tormena C A, et al. Physical properties and organic carbon of an oxisol affected by different land use and soil management systems[J]. Revista Brasileira De Ciencia Do Solo, 2011,35:2105-2114.
- [15] 石箭华,孟广涛,李品荣,等.滇中不同植物群落土壤团聚体组成及养分特征[J].水土保持学报,2011,25(4):183-187.
- [16] 邱莉萍,张兴昌.子午岭不同土地利用方式对土壤性质的影响[J].自然资源学报,2006,21(6):965-976.
- [17] 高雪松,邓良基,张世熔.不同利用方式与坡位土壤物理性质及养分特征分析[J].水土保持学报,2005,19(2):53-58.
- [18] 彭少麟,李跃林,任海,等.全球变化条件下的土壤呼吸效应[J].地球科学进展,2002,17(5):705-712.
- [19] 李鉴霖,江长胜,郝庆菊,等.缙云山土地利用方式对土壤有机碳及全氮的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(11):1-8.
- [20] Prescott C E, Chappell H N, Vesterdal L. Nitrogen turnover in forest floors of coastal douglas-fir at sites differing in soil nitrogen capital[J]. Ecology, 2000,81(7):1878-1886.
- [21] 马玉红,郭胜利,杨雨林,等.植被类型对黄土丘陵区流域土壤有机碳氮的影响[J].自然资源学报,2007,22(1):97-105.
- [22] 徐鹏,江长胜,郝庆菊,等.缙云山土地利用方式对土壤活性有机质及其碳库管理指数的影响[J].环境科学,2013,34(10): 4009-4016.
- [23] 郭彩华.土壤溶液常规分析中离子含量和电导率之间的关系[J].科技情报开发与经济,2006,16(14):153-154,165.
- [24] 林义成,丁能飞,傅庆林,等.土壤溶液电导率的测定及其相关因素的分析[J].浙江农业学报,2005,17(2):83-86.
- [25] 吴秀坤,李永梅,李朝丽,等.纳版河流域土地利用方式对土壤总有机碳以及活性有机碳的影响[J].生态环境学报,2013,22(1):6-11.