

符传博, 丹利, 魏荣庆. 2013. 新疆地区夏季多层土壤温度分布及其近45年的变化特征 [J]. 气候与环境研究, 18 (3): 288–296, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.11046. Fu Chuanbo, Dan Li, Wei Rongqing. 2013. Multi-layer soil temperature distribution and its variation characteristics in the past 45 years in Xinjiang [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 18 (3): 288–296.

新疆地区夏季多层土壤温度分布及其 近 45 年的变化特征

符传博^{1, 2, 3} 丹利¹ 魏荣庆⁴

1 中国科学院大气物理研究所东亚区域气候—环境重点实验室, 北京 100029

2 海南省气象台, 海口 570203

3 云南大学资源环境与地球科学学院大气科学系, 昆明 650091

4 新疆维吾尔自治区气象台, 乌鲁木齐 830002

摘 要 利用覆盖新疆地区 87 个站点 1961~2005 年的资料, 对新疆地区夏季的多层土壤温度进行了系统分析, 并对降水量、日照时数和地面气温 3 个对地温扰动较大的气象因子进行相关分析。结果表明: (1) 新疆地区夏季地温的空间分布特征表现为南疆高于北疆, 平原高于山区。浅层土壤大部分地区有较高的地温, 最高值达到 38 °C 以上。深层土壤温度分布较低, 其中北部的地温只有 15 °C 左右。新疆南部和北疆的准格尔盆地地区有较大的深层—浅层地温较差分布, 而天山附近和北疆的山地地区地温较差分布均较小; (2) 地面温度 45 年来经历了 20 世纪 60 年代到 70 年代中期的下降, 20 世纪 70 年代中期到 80 年代初的较快增温, 以及 20 世纪 80 年代以后的缓慢下降的 3 个阶段。地面温度 (0 cm) 在 1978 年左右有突变现象, 其他层次的土壤温度年际变化没有明显的突变特征; (3) 40 cm 以上新疆地区夏季土壤温度梯度经历了 20 世纪 60 年代到 70 年代中期的下降, 20 世纪 70 年代中期到 80 年代初的较快增长以及 20 世纪 80 年代以后的缓慢下降过程, 其中 20 世纪 80 年代较快增长时期的增长率达到 $0.0176\text{ }^{\circ}\text{C cm}^{-1}\text{ a}^{-1}$ 。而且 MK 方法检验表明, 1978 年以后, 新疆地区夏季土壤温度梯度增大趋势显著; (4) 多层土壤温度的年际变化与降水量成负相关关系, 与日照时数和地面气温主要成正相关关系。3 个气象因子与多层地温的相关关系从高到底的排列为: 地面气温、降水量、日照时数, 而且浅层地温高于深层地温。

关键词 浅层土壤温度 深层土壤温度 降水量 日照时数 地面气温 突变 新疆地区

文章编号 1006-9585 (2013) 03-0288-09

中图分类号 P461⁺.4

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.11046

Multi-Layer Soil Temperature Distribution and Its Variation Characteristics in the Past 45 Years in Xinjiang

FU Chuanbo^{1, 2, 3}, DAN Li¹, and WEI Rongqing⁴

1 Key Laboratory of Regional Climate-Environment Research for Temperate East Asia, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

2 Hainan Meteorological Observatory, Haikou 570203

3 Department of Atmospheric Science, Yunnan University, Kunming 650091

4 Xinjiang Meteorological Bureau, Ürümqi 830002

Abstract A dataset obtained at 87 stations in the Xinjiang Uygur Autonomous Region is used to analyze the spatial

收稿日期 2011-03-20 收到, 2012-10-29 收到修定稿

资助项目 财政部/科技部公益性行业 (气象) 科研专项 GYHY 201006014, 中国科学院知识创新工程重要方向项目 KZCX2-EW-QN208, 国家重点基础研究发展计划 2011CB952003, 中国科学院战略性先导科技专项课题 XDA05110103

作者简介 符传博, 男, 硕士, 主要从事大气环境与气候模拟研究。E-mail: hnfuchuanbo@163.com

通讯作者 丹利, E-mail: danli@tea.ac.cn

distribution of and temporal changes in multilayer soil temperature and climate variables (precipitation, sunshine duration, and surface air temperature). The results showed that: (1) The geographical distribution of the July soil temperature in the Xinjiang region exhibited higher values in the south than in the north and higher values on the plains than in the mountains. The shallow soil temperature in Xinjiang was high, with a maximal value of 38 °C, but the deep soil temperature was low, only 15 °C in northern Xinjiang. Southern Xinjiang and the Junggar Basin in northern Xinjiang have a wider distribution of soil temperature differences between the shallow and deep layers, whereas the soil temperature differences in the Tianshan Mountains and the northern mountainous region were smaller. (2) The surface soil temperature has undergone three phases in the past 45 years: A decline in the mid-1960s to the 1970s, rapid warming in the mid-1970s to the early 1980s, and a slow decline after the 1980s. The surface soil temperature (0 cm) changed abruptly around 1978, but not the soil temperature at other layers. (3) The July soil temperature gradient in Xinjiang has also undergone three phases: A decline in the mid-1960s to the 1970s, rapid growth in the mid-1970s to early 1980s, and a slow decline after the 1980s. The rate of growth in the rapid growth period of the 1980s was 0.0176 °C cm⁻¹ a⁻¹. The McDonald-Kreitman test revealed that the soil temperature gradient increased significantly after 1978. (4) The interannual variation in the multilayer soil temperature was negatively correlated with precipitation and positively correlated with sunshine duration and surface air temperature. The strength of the correlation between the three meteorological factors and the soil temperature could be ordered as follows, from high to low: Surface air temperature, precipitation, sunshine duration. Further, the shallow soil temperature is more strongly correlated with the meteorological factors than the deep soil temperature.

Keywords Shallow soil temperature, Deep soil temperature, Precipitation, Sunshine duration, Surface temperature, Abrupt change, Xinjiang

1 引言

地温包括下垫面温度和不同深度的土壤温度,是土壤热状况综合表征指标,其分布和变化特征对气候的变化产生重要的影响(陆晓波等, 2006)。下垫面温度又称为地面温度,地面以下土壤中的温度又称为地中温度,根据距离地表面的深度可以分为浅层地温(5、10、15、20 cm)和深层地温(40、80、160、320 cm)。

目前国内外学者对地温的研究较多的集中于单层地温和单一站点的分析,如 Toy et al. (1978) 利用美国 8 个气象站点 1962~1971 年的月均气温和 5 cm 深度月均土壤温度数据,建立土壤温度与气温的简单回归模型并预测了美国月均和季均土壤温度; Meikle and Treadway (1979, 1981) 基于美国 114 个站点 1964~1978 年土壤温度数据和加拿大 52 个站点 1970~1976 年土壤温度数据,应用四阶多项式拟合预测了美国和加拿大每个气象站点 10 cm 深度日均最高和最低土壤温度;刘晓东和韦志刚(1992)分析了我国 31 个站点 1.6 m 地温距平时空变化的气候学特征,发现地温距平场的季节变化存在明显的准半年韵律现象;余军等(1993)利用 EOF(经验正交函数)迭代恢复了缺测的 0.8 m 和 1.6 m 地温资料,并进行了地温的持续性和振荡

特征分析;杨梅学等(1999)用一个年周期的土壤温度资料,对藏北高原 D110 点的日变化特征的月变化进行了分析;向毓意等(1999)对西藏地区 7 个站点的深层地温进行了系统分析,认为深层地温近 40 年经历了暖冷暖 3 次交替,并且与气温有较好的对应关系;郭维栋等(2004)从各圈层相互作用的观点分析了深层地温对 1998 年夏季长江和嫩江流域洪涝灾害的影响,发现深层地温和同期降水场的分布较为一致,降水过程对下垫面脉冲性热扰动有较为敏感的响应;李栋梁等(2005)对青藏高原 86 个站点的地面(0 cm)温度进行了分析,得出地面温度主要受海拔高度与纬度影响的结论;张文纲等(2008)利用 MK 法对青藏高原 60 个站点的土壤观测资料进行趋势突变和周期检验,发现 1969~1970 年为明显的突变点,深层地温存在 3.25 年的周期变化;王晓婷等(2009)分析了我国东部土壤温度和土壤湿度的长期趋势及其与气温、降水的变化关系。此外还有许多类似的相关研究(董文杰和汤懋苍, 1992; 李超等, 1995; 关德新等, 2006; 胡军等, 2007; 赵红岩等, 2007; 杜军等, 2008; 李兴荣等, 2009; 张慧智等, 2009), 此处不再一一列举,但是由于地温观测资料,特别是深层地温资料的缺乏,对多层土壤温度的分布及其变化特征分析较为少见。本文旨在分析新疆地区夏季土壤温度垂直分布特征和变化趋势,及其与多个气象要素

(降水、气温和日照时数等)之间的相关分析,研究结果有利于加强对我国新疆地区多层土壤温度的垂直结构和变化规律的认识,为改善陆面过程模式中土壤温度的相关参数提供可靠依据。

2 资料及分析方法

2.1 资料

本文所用的资料来自新疆气象局,原数据共 109 个站,时间从建站到 2005 年,观测数据包括土壤温度、气温、降水量和日照时数等各种气象要素。其中 0、5、10、15、20 和 40 cm 的土壤温度的观测每日 4 次,分别为 02:00 (北京时间,下同)、08:00、14:00 和 20:00,80、160、320 cm 的土壤温度只有在每日 14:00 有观测值,为了和深层地温统一对比分析,本文取 14:00 的观测值作为当日的观测值,并只分析夏季(6 月、7 月和 8 月)的资料,这样可以一定程度上消除积雪、冻土等因素的影响。由于各个站点建站的时间不同,所以观测资料的开始时间并不一样,大部分站点在 1961 年以前的观测资料缺测值较多,而且 80 cm 以下的深层土壤温度均在 1981 年以后才有相对较全的观测值,为了统一处理,先将观测年限小于 30 年的资料舍去,而且只分析 1961 年到 2005 年共 45 年的资料,另外 80 cm 以下的深层地温只分析 1981 年以后的时间序列。筛选后的站点资料共有 87 个,其中有效观测次数占总观测次数的比例从浅层到深层分别为 97.70%、96.27%、96.22%、96.14%、95.94%、78.16%、28.19%、24.74%、22.98%。分布区域见图 1,基本覆盖了新疆大部分地区。由于深层缺测资料较多,对本文深层土壤温度变化的分析带来了

一定困难,因而深层的土壤温度变化规律还有待今后采用其他方法进行补充研究,但本文在现有资料基础上讨论了新疆各层土壤温度时空变化规律,将为该地区的陆气相互作用模拟提供土壤温度变化的客观事实基础。

2.2 分析方法

为了分析新疆地区土壤温度的空间分布特征,本文先将新疆区域分成 0.5° (纬度) $\times 0.5^\circ$ (经度) 的经纬度网格,然后采用 Cressman 插值方法将站点数据插值到格点上,冯锦明等(2004)的研究表明,Cressman 客观分析方法的插值结果与原始资料最为接近。

土壤温度梯度表征单位垂直距离内的温度变化,本文取向向下为正方向,故可表示为:

$$G = \frac{\partial T}{\partial Z} \approx \left[\frac{\frac{\Delta T_1}{\Delta Z_1} + \frac{\partial T_2}{\Delta Z_2}}{2} \right], \quad (1)$$

其中, G 为土壤温度梯度(单位: $^\circ\text{C}/\text{cm}$), ΔT 、 ΔZ 分别为两层间的温度差(单位: $^\circ\text{C}$)和深度差(单位: cm),两层深度差 $\Delta Z_1 = \Delta Z_2 = 20 \text{ cm}$,两层间温度差 ΔT 表示为:

$$\Delta T_1 = T_0 - T_{20}, \quad \Delta T_2 = T_{20} - T_{40}, \quad (2)$$

其中, T_0 为 0 cm 处的地温, T_{20} 为 20 cm 处的地温, T_{40} 为 40 cm 处的地温。

另外还用到 MK 方法(魏凤英, 2007)进行突变检验,还有二项式平滑和相关分析等统计方法。

3 结果分析

3.1 新疆地区夏季不同深度土壤温度的地理分布特征

用 Cressman 插值方法分别计算出各层地温夏季的 10 年(1996~2005 年)平均地理分布特征,再对浅层地温(5、10、15、20 cm)和深层地温(40、80、160、320 cm)进行平均,得到图 2a 和图 2b 两幅图。从图中可以看出,新疆地区土壤温度分布特征表现为南疆高于北疆,平原高于山区。浅层土壤温度(图 2a)由于离地表面较近,除了天山山脉以外,其他地区仍保持有较高的地温,其中最高温度出现在 42°N 附近的天山以南地区,最高值达到 38°C 以上,其中近 10 年平均的浅层地温最高的站点为吐鲁番站(51573),超过 35°C 的站点还有托

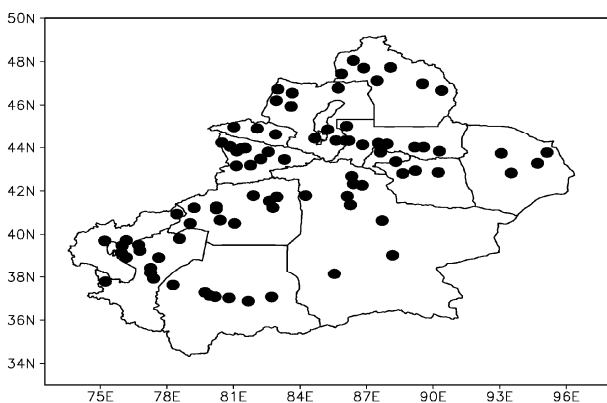


图 1 新疆地区 87 个站点分布

Fig. 1 Locations of 87 stations in Xinjiang

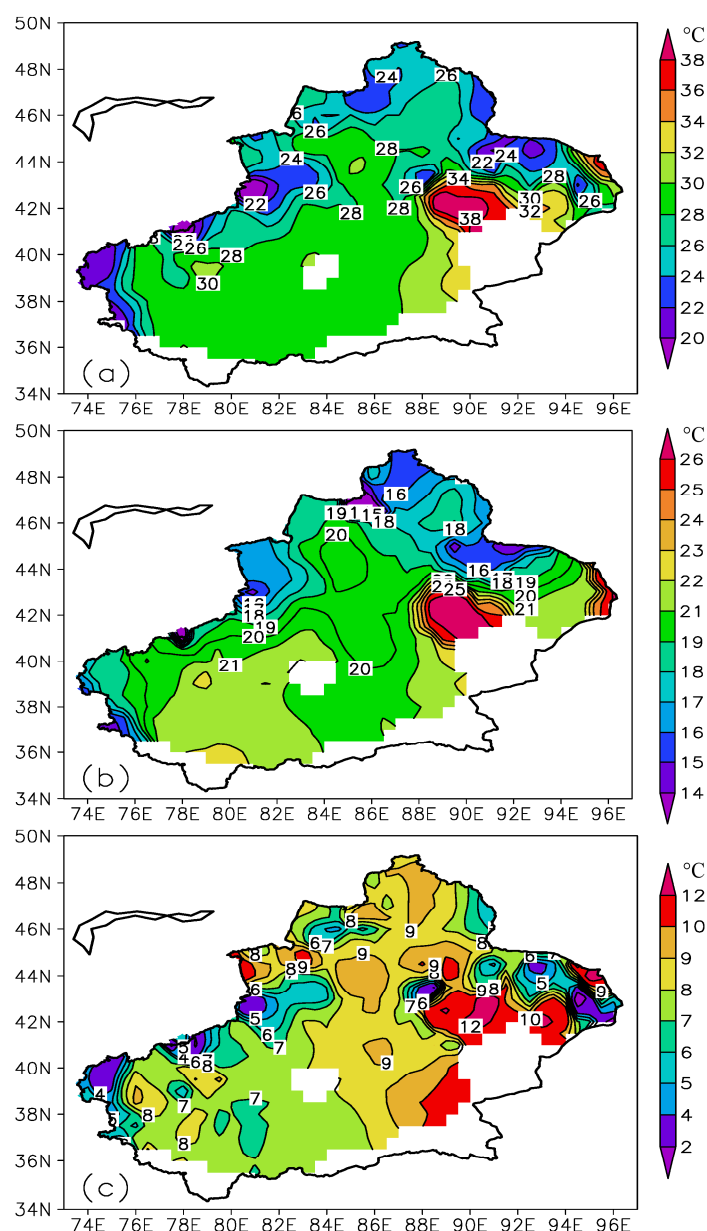


图 2 新疆地区 1996~2005 年平均夏季土壤温度 (单位: $^{\circ}\text{C}$) 分布: (a) 浅层地温; (b) 深层地温; (c) 浅层与深层地温差值

Fig. 2 The average distribution of soil temperature ($^{\circ}\text{C}$) in summer during 1996~2005: (a) Shallow soil temperature; (b) deep soil temperature; (c) difference between shallow and deep soil temperature

克逊站 (51571) 和鄯善站 (51581), 均分布在 42°N 附近。另外天山山脉和新疆北部等山区由于海拔较高, 位置偏北, 夏季可能还有积雪存在, 使得浅层土壤温度较低, 其中天山西部地区最低能达到 22°C 以下。深层土壤温度 (图 2b) 由于离地面较深, 地温分布均较低, 新疆东部部分地区最高在 25°C 以上, 而新疆北部的地温只有 15°C 左右。

为了分析不同深度土壤温度的地温较差情况, 图 2c 给出了浅层地温和深层地温的差值分布 (浅层地温减去深层地温), 从图中可以看出, 新疆南

部和北疆的准格尔盆地地区有较大的地温较差分布, 最大值达 12°C 以上, 这些地方的植被类型主要是裸土和灌丛, 气候干旱, 降水稀少, 使得浅层地温分布较高, 土壤温度梯度较大。相反的, 天山附近和北疆的山地地区由于海拔较高, 夏季降水较为丰富 (辛渝等, 2009), 气候湿润, 地温较差分布均较小, 基本在 9°C 以下。

3.2 新疆地区夏季多层地温年际和年代际变化特征

图 3a、3b 分别给出新疆地区夏季多层土壤温度的逐年变化及其 1981~2005 年的深度—时间剖

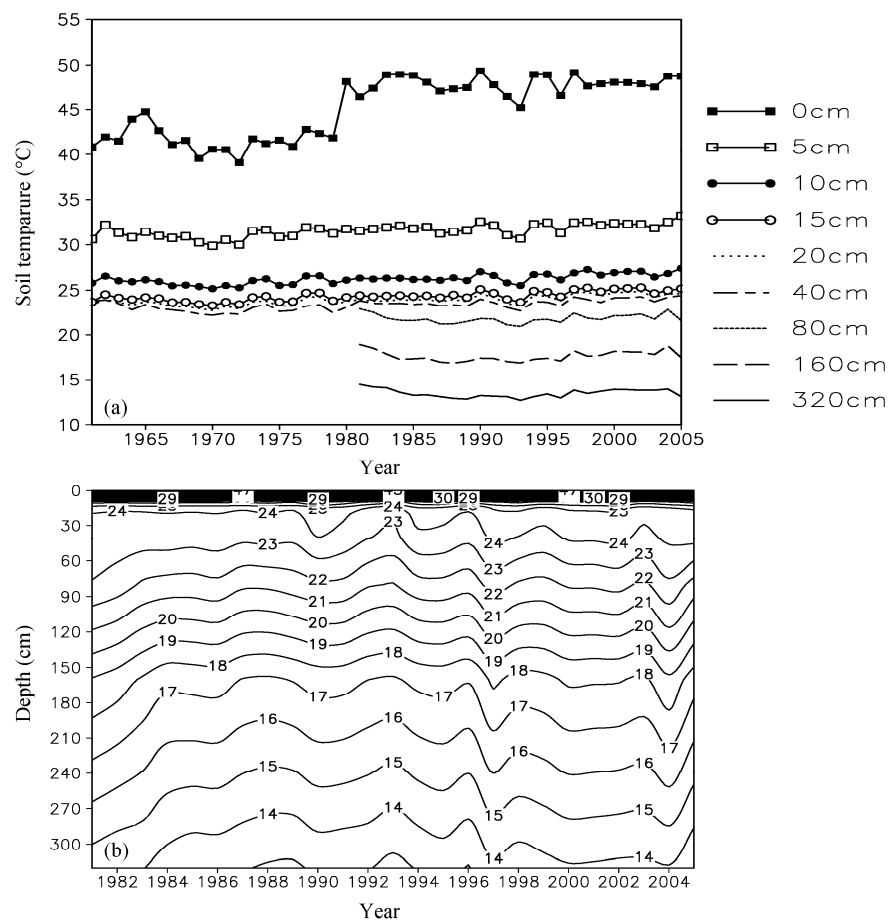


图3 新疆地区夏季地温(单位:℃)(a)不同深度逐年变化及其(b)深度和时间剖面分布
Fig. 3 (a) The interannual variation of soil temperature (°C) at different lavers and (b) the depth-time profile

表1 新疆地区夏季浅层地温不同年代的平均值和变化趋势

年代	0 cm		5 cm		10 cm		15 cm		20 cm	
	平均值 (°C)	趋势	平均值 (°C)	趋势	平均值 (°C)	趋势	平均值 (°C)	趋势	平均值 (°C)	趋势
20 世纪 60 年代	42.394	—	32.158	—	26.947	—	24.939	—	24.358	—
20 世纪 70 年代	42.902	上升	32.582	上升	27.179	上升	25.206	上升	24.661	上升
20 世纪 80 年代	48.097	上升	32.885	上升	27.347	上升	25.352	上升	24.827	上升
20 世纪 90 年代	47.745	下降	33.050	上升	27.632	上升	25.693	上升	25.175	上升
2001~2005 年	47.508	下降	33.026	下降	27.592	下降	25.674	下降	25.196	上升

面图,从图中可以看出,地面温度(0 cm)最高,浅层土壤温度次之,深层土壤温度最低,即从地面到深层土壤,温度逐步降低。图 3a 表明,新疆地区夏季地面温度 45 年来可以分为三个阶段,20 世纪 60 年代到 70 年代中期的下降过程,20 世纪 70 年代中期到 80 年代初的较快增温过程,以及 20 世纪 80 年代以后的缓慢下降过程,最低值出现在 1972 年,只为 39.07℃,而最高值出现在 1990 年,为 49.34℃。由表 1 可知,地面温度从 20 世纪 70 年代到 80 年代上升了 5.195℃。浅层地温和地面温度

相比,变化并没有那么剧烈,从 20 世纪 60 年代到 90 年代均表现为缓慢的上升趋势,而到了 2000 年以后有所下降。20 世纪 60 年代到 90 年代浅层地温上升的幅度分别为:1.342℃(5 cm)、0.685℃(10 cm)、0.754℃(15 cm)和 0.817℃(20 cm)的上升。

从深度和时间剖面图(图 3b)可以看出,30 cm 以上的地温等值线比较密集,而 30 cm 以下的地温等值线逐渐稀疏,说明从地面往下,土壤温度梯度是逐渐减小的。表 2 说明,深层地温从 20 世纪 80

表 2 新疆地区夏季深层地温不同年代的平均值
Table 2 The average value of deep soil temperature at different times in summer

年代	40 cm		80 cm		160 cm		320 cm	
	平均值 (℃)	趋势	平均值 (℃)	趋势	平均值 (℃)	趋势	平均值 (℃)	趋势
20 世纪 60 年代	23.883	—	—	—	—	—	—	—
20 世纪 70 年代	23.750	下降	—	—	—	—	—	—
20 世纪 80 年代	24.232	上升	22.861	—	18.224	—	13.553	—
20 世纪 90 年代	24.381	上升	22.685	下降	18.091	下降	13.531	下降
2001~2005 年	24.659	上升	22.826	上升	18.522	上升	13.796	上升

年代到 90 年代主要是下降的趋势，20 世纪 90 年代以后有所上升，如图 3b 所示的 300 cm 处的地温，20 世纪 80 年代末只有 14℃，2004 年上升到 15℃左右。深层地温 2000 年后的比 20 世纪 90 年代上升的幅度分别为：0.278℃（40 cm）、0.141℃（80 cm）、0.431℃（160 cm）和 0.265℃（320 cm）。

针对新疆地区夏季不同深度的土壤温度年际变化特征，本文利用 MK 方法对其进行突变特征检验，结果表明，地面温度（0 cm）在 45 年来有突变现象（图 4），突变点发生在 1978 年左右，并且通过了 95%的信度检验，说明 1978 年以后，新疆地区夏季地面温度增大趋势显著，其他层次的土壤温度年际变化没有明显的突变点（图略）。

3.3 新疆地区夏季 0~40 cm 土壤温度梯度变化特征

由于 40 cm 以下深度的深层土壤温度资料站点相对稀少和记录时间较短（仅 1981~2005 年），故只讨论 40 cm 以上新疆地区土壤温度梯度的变化。图 5a 表明，土壤温度梯度 45 年来的变化趋势与地面温度比较一致，也经历了 20 世纪 60 年代到 70 年代中期的下降，20 世纪 70 年代中期到 80 年代初的较快增长以及 20 世纪 80 年代以后的缓慢下降过程，最低值出现在 1971 年，数值为 0.412℃/cm，而 1985 年时出现最高值，为 0.658℃/cm，这一时期的土壤温度梯度增长率达到 0.0176℃ cm⁻¹ a⁻¹。新疆地区不同年代土壤温度梯度均值分别为：0.463℃/cm（20 世纪 60 年代）、0.479℃/cm（20 世纪 70 年代）、0.597℃/cm（20 世纪 80 年代）、0.584℃/cm（20 世纪 90 年代）和 0.571℃/cm（2001~2005 年）。与土壤温度类似，本文也利用 MK 方法对土壤温度梯度进行突变检验，结果（图 5b）表明，新疆地区夏季 40 cm 以上的土壤温度梯度在 45 年来也有突变现象，突变点发生在 1978 年左右，和地面温度较为一致，而且也通过了 95%的信度检验，说明 1978 年以后，新疆地区夏季土壤

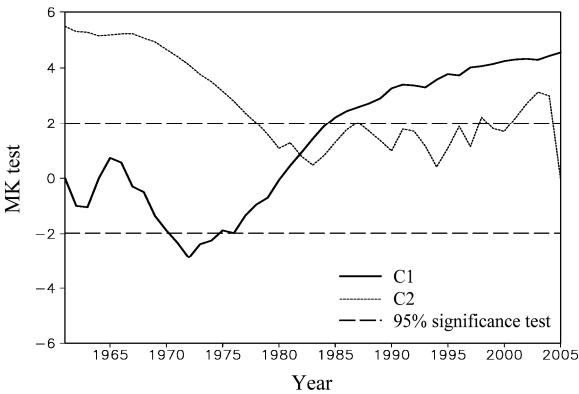


图 4 地面温度（0 cm）MK 突变检验，C1 是地面温度标准正态分布，C2 是其反序列的标准正态分布
Fig. 4 The MK test of surface soil temperature (0 cm), C1 indicates surface soil temperature's standard normal distribution, C2 indicates the anti sequence's standard normal distribution

温度梯度增大趋势显著。

3.4 新疆地区夏季多层地温与气象因子的可能联系

在不同深度的土壤温度中，除了 160 cm 和 320 cm 地温的热源一部分来自于地壳（汤懋苍和张建，1994）以外，其它层次土壤温度的热源主要来自地面上的其他气象因子，土壤温度对气候变化有一定的响应，为此，本文下面进一步分析新疆地区夏季降水量、日照时数和地面气温的变化特征及其与土壤温度可能的关系。

图 6 给出了新疆地区夏季降水量、地面气温和日照时数 45 年（1961~2005 年）来的变化趋势。从降水量的时间变化（图 6a）上可见，新疆地区夏季的降水量从 20 世纪 60 年代到 70 年代中期表现为弱的下降趋势，并在 1973 年达到了 45 年来的极小值，只为 12.52 mm，而后出现较大的增长特征，并且降水增长率达到 0.69 mm/a，夏季降水不同年代的平均值分别为：23.40 mm（20 世纪 60 年代）、19.20 mm（20 世纪 70 年代）、24.05 mm（20 世纪 80 年代）、29.02 mm（20 世纪 90 年代）和 31.06 mm

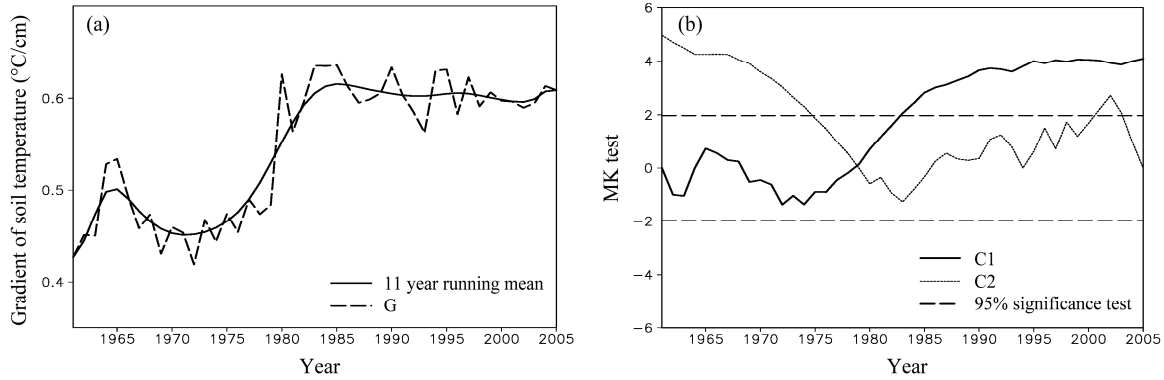


图 5 40 cm 以上土壤温度 (a) 梯度逐年变化及其 (b) MK 突变检验, C1 是地面温度标准正态分布, C2 是其反序列的标准正态分布
Fig. 5 (a) The annual variation of soil temperature gradient and (b) its MK test, C1 indicates surface soil temperature's standard normal distribution, C2 indicates the anti sequence's standard normal distribution

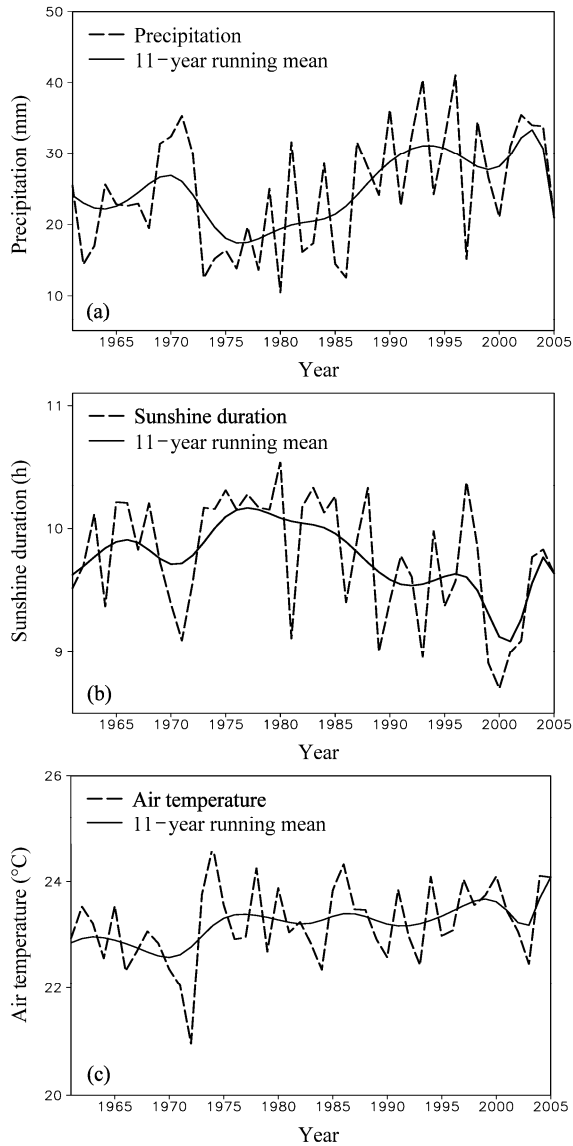


图 6 新疆地区夏季 (a) 降水量、(b) 日照时数和 (c) 地面气温的年际变化
Fig. 6 The interannual variation of (a) precipitation, (b) sunshine duration, and (c) surface air temperature in summer

(2001~2005 年)。新疆地区夏季日照时数 (图 6b) 在 20 世纪 60 年代到 70 年代中期有弱的上升, 20 世纪 70 年代以后出现明显的下降趋势, 而地面气温 45 年来最低值出现在 1972 年, 仅为 20.957 °C, 而 1974 年则出现了最大值, 为 24.659 °C, 两年间的增温达 3.70 °C, 之后没有明显的变化趋势。进一步分析降水量、日照时数和地面气温与多层土壤温度的相关系数 (表 3) 表明, 土壤温度与降水量成负相关关系, 与日照时数和地面气温主要成正相关关系。与降水量相关较好的地温为 5 cm 和 10 cm 深的浅层土壤温度, 相关系数分别为 -0.516 和 -0.388, 并且都通过了 99% 的信度检验, 15 cm 和 20 cm 的地温的相关系数也通过了 95% 的信度检验。与日照时数的相关关系较差一些, 只有 5 cm 地温达到 0.334, 通过 95% 的信度检验。与地面气温的相关关系是最好的, 10 cm 地温的相关系数达到最高, 为 0.918, 而且, 0 cm 到 40 cm 深的地温相关系数均

表 3 新疆地区夏季多层地温与气象因子的相关系数
Table 3 The correlation coefficients between soil temperature at different layers and meteorological factors (precipitation, sunshine duration, and surface air temperature)

深度 (cm)	降水量	日照时数	地面气温
0	-0.101	0.072	0.581**
5	-0.516**	0.334*	0.887**
10	-0.388**	0.184	0.918**
15	-0.334*	0.097	0.917**
20	-0.291*	0.054	0.898**
40	-0.194	0.037	0.784**
80	-0.254	0.004	0.258
160	-0.132	0.002	0.116
320	-0.074	-0.156	-0.069

*, ** 分别表示通过 0.05、0.01 的显著性水平, 80、160 和 320 cm 地温取 1981~2005 年的时间系列。

通过了 99% 的信度检验。3 个气象因子与多层地温的相关关系从高到底的排列为: 地面气温、降水量、日照时数, 而且浅层地温高于深层地温。

4 结论

本文利用覆盖新疆大部分地区的 87 个站点资料, 对 1961~2005 年新疆地区夏季的多层土壤温度进行了系统的分析, 并结合降水量、日照时数和地面气温 3 个对地温影响较大的气象因子进行相关分析, 得出以下主要结论:

(1) 对新疆地区夏季地温的空间分布特征分析表明, 分布特征表现为南疆高于北疆, 平原高于山区。浅层土壤温度除了天山山脉以外, 其他地区仍保持有较高的地温, 最高值达到 38 °C 以上, 而天山地区最低能达到 22 °C 以下。深层土壤温度只有新疆东部部分地区有 25 °C 左右, 北部的地温只有 15 °C 左右。对不同深度土壤温度的温较差分析表明, 新疆南部和北疆的准格尔盆地地区有较大的地温较差分布, 天山附近和北疆的山地地区地温较差分布均较小, 甚至天山的部分地区出现负值, 说明该地区深层土壤温度比浅层土壤温度还要高。

(2) 对多层土壤温度的年际和年代际变化分析可得, 从地面到深层土壤, 温度逐步降低, 而且地面温度 45 年来经历了 3 个阶段, 20 世纪 60 年代到 70 年代中期的下降过程, 20 世纪 70 年代中期到 80 年代初的较快增温过程, 以及 20 世纪 80 年代以后的缓慢下降过程, 地面温度从 20 世纪 70 年代到 80 年代上升了 5.195 °C。浅层地温和地面温度相比, 波动不大。利用 MK 方法对不同深度的土壤温度年际变化进行突变特征检验结果表明, 地面温度 (0 cm) 在 1978 年左右有突变现象, 并且通过了 95% 的信度检验, 说明 1978 年以后, 新疆地区夏季地面温度增大趋势显著, 其他层次的土壤温度年际变化没有明显的突变特征。

(3) 40 cm 以上新疆地区夏季土壤温度梯度经历了 20 世纪 60 年代到 70 年代中期的下降, 20 世纪 70 年代中期到 80 年代初的较快增长以及 20 世纪 80 年代以后的缓慢下降过程, 其中 20 世纪 80 年代较快增长时期的增长率达到 $0.0176\text{ }^{\circ}\text{C cm}^{-1}\text{ a}^{-1}$ 。MK 方法对其进行突变检验表明, 1978 年以后, 新疆地区夏季土壤温度梯度增大趋势显著, 而且也通过了 95% 的信度检验。

(4) 新疆地区夏季降水量从 20 世纪 60 年代到 70 年代中期表现为弱的下降趋势, 而后出现较大的增长特征, 并且降水增长率达到 0.69 mm/a 。日照时数在 20 世纪 60 年代到 70 年代中期有弱的上升, 20 世纪 70 年代以后出现明显的下降趋势, 而地面气温最低值出现在 1972 年, 1974 年则出现了最大值, 两年间的增温达 3.70 °C。进一步分析降水量、日照时数和地面气温与多层土壤温度的相关系数表明, 土壤温度与降水量成负相关关系, 与日照时数和地面气温主要成正相关关系。与降水量相关较好的地温为 5 cm 和 10 cm 深的浅层土壤温度, 相关系数分别为 -0.516 和 -0.388, 并且都通过了 99% 的信度检验, 15 cm 和 20 cm 的地温的相关系数也通过了 95% 的信度检验。与日照时数的相关关系较差一些, 只有 5 cm 地温达到 0.334, 通过 95% 的信度检验。与地面气温的相关关系是最好的, 10 cm 地温的相关系数达到最高, 为 0.918, 而且, 0 cm 到 40 cm 深的地温相关系数均通过了 99% 的信度检验。3 个气象因子与多层地温的相关关系从高到底的排列为: 地面气温、降水量、日照时数, 而且浅层地温高于深层地温。

参考文献 (Reference)

- 董文杰, 汤懋苍. 1992. 用气象站地温资料计算多年平均土壤热流的初步结果 [J]. 高原气象, 11 (2): 115-125. Dong Wenjie, Tang Maocang. 1992. Preliminary results of mean soil heat flux calculated by soil temperature data observed at meteorological stations [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 11 (2): 115-125.
- 杜军, 胡军, 杨勇, 等. 2008. 近 45 年拉萨深层地温变化趋势分析 [J]. 应用气象学报, 19 (1): 96-100. Du Jun, Hu Jun, Yang Yong, et al. 2008. Variation trend of soil temperature at deep layers in Lhasa from 1961 to 2005 [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 19 (1): 96-100.
- 冯锦明, 赵天保, 张英娟. 2004. 基于台站降水资料对不同空间内插方法的比较 [J]. 气候与环境研究, 9 (2): 261-277. Feng Jinming, Zhao Tianbao, Zhang Yingjuan. 2004. Intercomparison of spatial interpolation based on observed precipitation data [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 9 (2): 261-277.
- 关德新, 吴家兵, 金昌杰, 等. 2006. 用气象站资料推算附近森林浅层地温和气温 [J]. 林业科学, 42 (11): 132-137. Guan Dexin, Wu Jiabing, Jin Changjie, et al. 2006. Estimating air and shallow soil temperatures in forest site by the recordings at neighboring meteorological station [J]. Scientia Silvae Sinicae (in Chinese), 42 (11): 132-137.
- 郭维栋, 柳艳香, 汤懋苍. 2004. 1998 年夏季地震、地温场演变与洪涝过程分析 [J]. 地球物理学报, 47 (3): 411-416. Guo Weidong, Liu Yanxiang, Tang Maocang. 2004. Earthquakes and soil temperature

- evolution over China in summer 1998 and their relation to the severe flood events [J]. Chinese Journal of Geophysics (in Chinese), 47 (3): 411–416.
- 胡军, 杜军, 边多, 等. 2007. 西藏地温的年际和年代际变化 [J]. 地理学报, 62 (9): 925–934. Hu Jun, Du Jun, Bian Duo, et al. 2007. Interannual and interdecadal variations of soil temperature over Tibetan plateau from 1971 to 2005 [J]. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 62 (9): 925–934.
- 李超. 1995. 青藏高原 0.8 m 地温异常与我国汛期降水的关系 [J]. 成都气象学院学报, 10 (2): 175–181. Li Chao. 1995. Ground temperature of Qinghai-Xizang Plateau and precipitation of flood seasons [J]. Journal of Chengdu Institute of Meteorology (in Chinese), 10 (2): 175–181.
- 李栋梁, 钟海玲, 吴青柏, 等. 2005. 青藏高原地表温度的变化分析 [J]. 高原气象, 24 (3): 291–299. Li Dongliang, Zhong Hailing, Wu Qingbai, et al. 2005. Analyses on changes of surface temperature over Qinghai-Xizang Plateau [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 24 (3): 291–299.
- 李兴荣, 张小丽, 梁碧玲, 等. 2009. 深圳夏季多层土壤温度及其垂直结构日变化特征 [J]. 科学技术与工程, 8 (22): 5996–6002. Li Xingrong, Zhang Xiaoli, Liang Biling, et al. 2009. Diurnal variation of the soil temperature and its vertical profiles in summer in Shenzhen city [J]. Science Technology and Engineering (in Chinese), 8 (22): 5996–6002.
- 刘晓东, 韦志刚. 1992. 地温异常的气候学分析 [J]. 高原气象, 11 (3): 312–320. Liu Xiaodong, Wei Zhigang. 1992. Climatological analyses of anomaly of soil temperature [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 11 (3): 312–320.
- 陆晓波, 徐海明, 孙丞虎, 等. 2006. 中国近 50 a 地温的变化特征 [J]. 南京气象学院学报, 29 (5): 706–713. Lu Xiaobo, Xu Haiming, Sun Chenghu, et al. 2006. Characteristics of soil temperature variations in China in recent 50 years [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 29 (5): 706–713.
- Meikle R W, Treadway T R. 1979. A mathematical method for estimating soil temperatures [J]. Soil Science, 128 (4): 226–242.
- Meikle R W, Treadway T R. 1981. A mathematical method for estimating soil temperatures in Canada [J]. Soil Science, 131 (5): 320–326.
- 余军, 张邦林, 丑纪范. 1993. 不同层次土壤温度的持续性和振荡特征 [J]. 高原气象, 12 (1): 12–17. She Jun, Zhang Banglin, Chou Jifa. 1993. The persistence and the characteristics of oscillation of soil temperatures in different depths [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 12 (1): 12–17.
- 汤懋苍, 张建. 1994. 季平均 3.2 m 地温距平场在汛期预报中的应用 [J]. 高原气象, 13 (2): 178–187. Tang Maocang, Zhang Jian. 1994. Seasonal mean soil temperature anomaly field at depth 3.2 m and its application in prediction for flood season [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 13 (2): 178–187.
- Toy T J, Kuhaida A J, Munson B E. 1978. The prediction of mean monthly soil temperature from mean monthly air temperature [J]. Soil Science, 126 (3): 181–189.
- 王晓婷, 郭维栋, 钟中. 2009. 中国东部土壤温度、湿度变化的长期趋势及其与气候背景的联系 [J]. 地球科学进展, 24 (2): 181–192. Wang Xiaoting, Guo Weidong, Zhong Zhong. 2009. Long term trends of soil moisture and temperature change in East China in relationship with climate background [J]. Advances in Earth Science (in Chinese), 24 (2): 181–192.
- 魏凤英. 2007. 现代气候统计诊断与预测技术 (第 2 版) [M]. 北京: 气象出版社, 274pp. Wei Fengying. Climate Statistical Diagnosing and Prediction (2nd ed.) (in Chinese) [M]. China Meteorological Press, 274pp.
- 向毓意, 杜军, 马玉才. 1999. 西藏高原深层地温气候特征分析 [J]. 西藏科技, (5): 16–20. Xiang Yuyi, Du Jun, Ma Yucui. 1999. The character of deep soil temperature over Tibetan Plateau [J]. Tibetan Science and Technology (in Chinese), (5): 16–20.
- 辛渝, 毛炜峰, 李元鹏, 等. 2009. 新疆不同季节降水气候分区及变化趋势 [J]. 中国沙漠, 29 (5): 948–959. Xin Yu, Mao Weiyi, Li Yuanpeng, et al. 2009. Climate division of seasonal precipitation and their changing trend in Xinjiang [J]. Journal of Desert Research (in Chinese), 29 (5): 948–959.
- 杨梅学, 姚檀栋, 丁永建, 等. 1999. 藏北高原土壤温度的日变化 [J]. 环境科学, 20 (3): 5–8. Yang Meixue, Yao Tandong, Ding Yongjian, et al. 1999. The diurnal variation of the soil temperature in the northern part of Tibetan Plateau [J]. Environmental Science (in Chinese), 20 (3): 5–8.
- 张文纲, 李述训, 庞强强. 2008. 近 45 年青藏高原土壤温度的变化特征分析 [J]. 地理学报, 63 (11): 1151–1159. Zhang Wengang, Li Shuxun, Pang Qiangqiang. 2008. Variation characteristics of soil temperature over Qinghai-Xizang Plateau in the 45 years [J]. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 63 (11): 1151–1159.
- 张慧智, 史学正, 于东升, 等. 2009. 中国土壤温度的季节性变化及其区域分异研究 [J]. 土壤学报, 46 (2): 227–234. Zhang Huizhi, Shi Xuezheng, Yu Dongsheng, et al. 2009. Seasonal and regional variations of soil temperature in China [J]. Acta Pedologica Sinica (in Chinese), 46 (2): 227–234.
- 赵红岩, 杨瑜峰, 张久林. 2007. 夏季西太副高位置与中国地温场的关系 [J]. 高原气象, 26 (5): 1119–1123. Zhao Hongyan, Yang Yufeng, Zhang Jiulin. 2007. The relationships between the position of west pacific subtropical high and ground temperature field of China summer [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 26 (5): 1119–1123.