

ISSN 0564-3929

Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



中国土壤学会 主办
科学出版社 出版

2015

第52卷 第6期

Vol.52 No.6



土壤学报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 6 期 2015 年 11 月

目 次

综述与评论

- 耕地地力评价指标体系构建中的问题与分析逻辑…………… 赵彦锋 程道全 陈杰等 (1197)
 蚯蚓对土壤温室气体排放的影响及机制研究进展…………… 卢明珠 吕宪国 管强等 (1209)

研究论文

- 高寒山区地形序列土壤有机碳和无机碳垂直分布特征及其影响因素… 杨帆 黄来明 李德成等 (1226)
 中国中、东部典型县域土壤与地表水体多样性的粒度效应及关联性…………… 任圆圆 张学雷 (1237)
 渭北台塬区耕地土壤速效养分时空变异特征…………… 于洋 赵业婷 常庆瑞 (1251)
 黄河三角洲土壤含水量状况的高光谱估测与遥感反演…………… 李萍 赵庚星 高明秀等 (1262)
 干湿交替对黄土崩解速度的影响…………… 王健 马璠 张鹏辉等 (1273)
 晋陕蒙接壤区露天矿层状土壤水分入渗特征与模拟…………… 吴奇凡 樊军 杨晓莉等 (1280)
 旱作褐土中氧化铁的厌氧还原与光合型亚铁氧化特征…………… 孙丽蓉 王旭刚 徐晓峰等 (1291)
 流动电位法研究高岭石胶体对包铝石英砂zeta电位的影响…………… 李忠意 徐仁扣 (1301)
 近10年中国大陆主要粮食作物氮肥利用率分析…………… 于飞 施卫明 (1311)
 太行山山麓平原30年间土壤养分与供肥能力变化…………… 刘建玲 贾可 廖文华等 (1325)
 亚热带丘陵小流域土壤碳氮磷生态计量特征的空间分异性…………… 杨文 周脚根 王美慧等 (1336)
 塔里木盆地北缘绿洲土壤化学计量特征…………… 李红林 贡璐 朱美玲等 (1345)
 东北平原土壤硒分布特征及影响因素…………… 戴慧敏 宫传东 董北等 (1356)
 浙江南部亚热带森林土壤植硅体碳的研究…………… 林维雷 应雨骐 姜培坤等 (1365)
 土壤非多次叠加污染对蚯蚓的毒性效应…………… 马静静 钱新春 张伟等 (1374)
 有机肥对黄瓜枯萎病的防治效果及防病机理研究…………… 赵丽娅 李文庆 唐龙翔等 (1383)
 滴灌枸杞对龟裂碱土几种酶活性的改良效应…………… 张体彬 康跃虎 万书勤等 (1392)
 石羊河流域中下游浅层地温变化及其对气温变化的响应…………… 杨晓玲 丁文魁 马中华等 (1401)
 高放废物处置库预选场址包气带土壤渗透性研究…………… 李杰彪 苏锐 周志超等 (1412)

研究简报

- 基于TM数据的黑土有机质含量空间格局反演研究…………… 宋金红 吴景贵 赵欣宇等 (1422)
 陕西省玉米土壤肥力与施肥效应评估…………… 单燕 李水利 李茹等 (1430)
 宇宙射线土壤水分观测方法在黄土高原草地植被的应用…………… 赵纯 袁国富 刘晓等 (1438)

信息

- 《土壤学报》入选“2015期刊数字影响力100强”…………… (1437)

封面图片：滴灌枸杞改良龟裂碱土重度盐碱荒地（由张体彬提供）

DOI: 10.11766/trxb201410290547

石羊河流域中下游浅层地温变化及其对气温变化的响应*

杨晓玲^{1, 2} 丁文魁² 马中华² 徐正芬³

(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, 兰州 730020)

(2 甘肃省武威市气象局, 甘肃武威 733000)

(3 福建省浦城县气象局, 福建浦城 353400)

摘要 为合理指导农业生产、保护生态环境以及揭示地温对气候变化的响应程度。利用石羊河流域中游(武威)和下游(民勤)气象站1961—2013年日浅层地温(0、5、10、15、20 cm)及年气温观测资料,采用气候统计学分析方法,对石羊河流域中、下游浅层地温时间演变和极值特征以及其与气温的关系进行了系统分析。结果表明:石羊河流域中、下游年代、年浅层地温呈显著上升趋势,气候倾向率均通过了 $\alpha=0.01$ 显著性水平检验。年浅层地温的时间序列均存在着4~6 a的准周期变化,并发生了突变。各季节浅层地温也呈上升趋势,气候倾向率为:春季>夏季>秋季>冬季,浅层地温的月变化比较一致,7月为一个明显高峰,1月为一个明显低谷。石羊河流域中、下游年平均气温呈显著升高趋势,年浅层地温与年气温呈极显著正相关,其相关系数均通过了 $\alpha=0.001$ 显著性水平检验。中、下游年气温与年浅层地温具有相同的周期变化,气温的年变化对浅层地温的年变化具有显著正作用,浅层地温的升高可能是对气温升高的响应。

关键词 浅层地温;变化特征;相关系数;石羊河流域

中图分类号 S152.8 **文献标识码** A

土壤温度(以下简称地温)是重要的土壤物理性质,它不但影响土壤中碳氮等物质的化学和生物学过程,决定着土壤资源质量高低,而且会影响种子的萌发、植物的生长和农作物的产量^[1-2]。地温是对气候变化有重要影响的因子之一,各个层次土壤温度的高低反映出前期地表层热量蓄积的多寡,不仅会使区域的气候状况发生变化,而且对大范围的大气环流产生一定的影响。由此,地温反映了土壤—植被—大气系统的能量流动和物质交换^[3-4],也反映了气候变化的程度^[5],在气候学、生态学、生物化学等研究领域具有重要的意义^[6]。近年来一些学者对地温多有研究^[7-10]发现近几十年来中国大部分地区地温呈明显升高趋势,在不同季节、不同地域地温对气候变化的响应程度会有所

不同^[11-13]。在全球变暖的大背景下,石羊河流域气候出现了明显的变化,地温也随之发生了显著变化,但目前对石羊河流域地温的研究还很少见,且仅限于地表0 cm地温的分析^[14-15],特别是地温对天气、气候变化的响应研究尚处于起步阶段,因此,了解当地地温的变化特征以及与气候因子的关系,对于合理指导农业生产、保护生态环境和地表能量通量和热惯量的计算方面有着重要的作用,同时也可揭示地温对气候变化的响应,为地温的预报预测提供科学依据。

1 研究区概况

石羊河流域是甘肃省河西走廊3大内陆河之

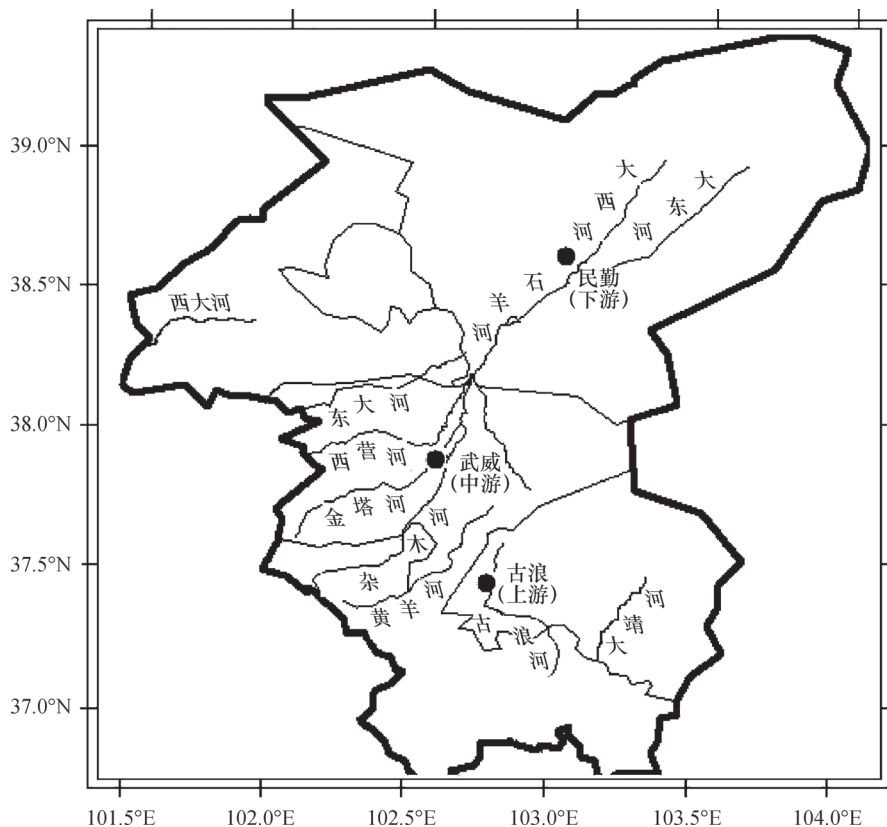
* 干旱气象科学研究基金项目“石羊河流域干旱灾害风险评估及防御对策研究”(IAM201205)与科技部行业(气象)专项“农田水分利用效率对气候变化的响应与适应技术”(GYHY201106029)共同资助

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

收稿日期:2014-10-29;收到修改稿日期:2015-03-05

一, 位于祁连山东段与腾格里沙漠和巴丹吉林沙漠南缘之间, 地理位置大致为 $36^{\circ}29' \sim 39^{\circ}27'N$, $101^{\circ}41' \sim 104^{\circ}16'E$, 流域全长300余km, 面积4.16万 km^2 (图1)。地势南高北低, 由西南向东北倾斜, 地形地貌极为复杂。石羊河流域深居大陆腹地, 属大陆性温带干旱、半干旱气候, 太阳辐射强, 日照充足, 温差大, 降水少, 蒸发强烈。流域自南向北可分为上游南部祁连山区 (古浪)、中游

中部走廊平原区 (武威)、下游北部荒漠区 (民勤) 3大地貌单元和气候区^[16], 上游南部祁连山为高寒半干旱、半湿润区, 海拔高度2 000~5 000 m, 年降水量300~600 mm, 年平均气温 $2 \sim 6^{\circ}C$; 中游走廊平原温凉干旱区, 海拔高度1 500~2 000 m, 年降水量150~300 mm, 年平均气温 $6 \sim 8^{\circ}C$; 下游荒漠温暖干旱区海拔高度1 300~1 500 m, 年降水量小于150 mm, 年平均气温大于 $8^{\circ}C$ 。



注 Notes: 大西河 Dadong River, 大东河 Dadong River, 民勤 (下游) Minqin (Lower reaches), 石羊河 Shiyang River, 西大河 Xida River, 东大河 Dongda River, 西营河 Xiyang River, 金塔河 Jintan River, 武威 (中游) Wuwei (Middle reaches), 杂木河 Zamu River, 黄羊河 Huangyang River, 古浪 (上游) Gulang (Upper reaches), 古浪河 Gulang River, 大靖河 Dajing River

图1 石羊河流域地理分布

Fig. 1 Geographic map of the Shiyang River Basin

2 资料与方法

2.1 资料

所用资料来源于石羊河流域中游武威、下游民勤2个气象站的逐日实测的地温以及年气温、降水资料, 时间序列为1961—2013年, 共53 a。下垫面温度和不同深度的土壤温度统称地温, 本文只研究浅层地温 (0、5、10、15、20 cm温度), 对深层地温暂不讨论。上游古浪为一般气候站, 夜间不进

行观测, 与中、下游的资料差异太大, 在分析其变化趋势时可能会与其他各地差异较大, 所以笔者未对上游作分析。中、下游2个气象站在53 a来均未迁移, 观测数据完整性和连续性较好, 且时间序列长, 能够满足本研究的需要。

中游武威基本信息: 海拔1 532 m, 土壤地质较为坚硬, 为黏性和少量沙性土壤, 土壤湿度在64%左右, 植被覆盖率为42.35%, 土地利用效率为49.35%; 下游民勤基本信息: 海拔1 369 m, 土壤

地质较为松软，为黏性和少量盐碱性土壤，土壤湿度在49%左右，植被覆盖率为25.65%，土地利用效率达31.15%。

2.2 方法

季节划分按照3—5月为春季、6—8月为夏季、9—11月为秋季和12月至翌年2月为冬季。分析年代、年、季和月浅层地温的变化趋势以及年极值变化特征，并分析了地温对气温变化的响应。

气候倾向率：地温的气候倾向率采用线性趋势回归方程表示^[17]：

$$X_i = a + bt_i, \quad i=1, 2, 3, \dots, n, \quad (1)$$

式中： X_i 表示年平均地温，用 t_i 表示 X_i 所对应的时间， b 为地温的倾向率， $b > 0$ 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^[18-19]：通过信度 $\alpha = 0.1$ 、0.05、0.01显著性检验所对应的相关系数临界值，依次为：0.305 8、0.365 3、0.443 0，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。

方差分析周期：地温的周期分析采用方差分析方法，计算公式如下：

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (2)$$

式中， S^2 为地温方差， X_i 同上， \bar{X} 表示地温多年的平均值，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^[20-21]。

累计距平和信噪比：气候突变是气象要素变化过程中存在的某种不连续现象，常用累计距平指标

来确定它，使用指标为：

$$c(t) = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) \quad (3)$$

式中， $c(t)$ 为年平均地温累计距平， X_i 、 \bar{X} 同上。若 $c(t)$ 绝对值达到最大时，对应的 t 为转折年份。为检验转折是否达到气候突变的标准，计算转折年份的信噪比，计算公式如下：

$$s/K = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{S_1 + S_2} \quad (4)$$

式中， \bar{X}_1 、 \bar{X}_2 和 s_1 、 s_2 分别为转折年份前后两个阶段的平均地温和标准差，当 s/N 大于等于1.0时，认为存在气候突变，最大信噪比的年份定义为气候突变出现的年份^[22]。

3 结果与讨论

3.1 浅层地温的年代变化

表1为石羊河流域中、下游逐年代平均浅层地温距平，其中所用均值为1961—2013年53 a平均值。由表1可知，中、下游浅层地温的年代变化比较一致，呈逐年代升高趋势，但是升高的幅度不同。中游浅层地温20世纪60—80年代均为负距平，浅层地温偏低；90年代为较小的正距平，浅层地温略偏高；21世纪前13年为较大的正距平，浅层地温显著偏高；20世纪60年代至21世纪前13年浅层地温升高的幅度0~20 cm依次为2.4、1.6、1.6、1.6、1.7 $^{\circ}\text{C}$ 。下游浅层地温20世纪60年代均为较大的负距平，浅层地温显著偏低；70年代为负距平，浅层地温偏低；80年代距平在0 $^{\circ}\text{C}$ 左右，浅层地温持平；90年代为正距平，浅层地温偏高；21世纪前13年为较大的正距平，浅层地温显著偏高，20世纪60年代至21世纪前13年浅层地温升高的幅度0~20 cm依次为2.9、2.6、2.6、2.4、2.4 $^{\circ}\text{C}$ 。由此可知，下游浅层地温升高的幅度明显大于中游升高的幅度。

表1 石羊河流域中、下游逐年代浅层地温距平

年代 Decade	中游 Middle reaches					下游 Lower reaches				
	0 cm	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	0 cm	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
1961—1970	-0.9	-0.5	-0.6	-0.6	-0.6	-1.4	-1.3	-1.3	-1.2	-1.2
1971—1980	-0.8	-0.5	-0.6	-0.6	-0.6	-1.0	-0.9	-0.9	-0.9	-1.0
1981—1990	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.3	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0
1991—2000	0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6
2001—2013	1.5	1.1	1.0	1.0	1.1	1.5	1.3	1.2	1.2	1.2

3.2 浅层地温的年变化

石羊河流域中、下游近53 a年浅层地温均呈升高的趋势(图2),用线性趋势方法计算中、下游年浅层地温的气候倾向率见表2。年浅层地温气候倾向率为下游>中游,从各层次变化来看,气候倾向率中游为0 cm>20 cm>15 cm>10 cm>5 cm,下游为0 cm>5 cm>20 cm>10 cm>15 cm。根据蒙特卡罗模拟方法规定:中、下游各层次年浅层地

温气候趋势系数均通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验,升高趋势很显著。由此可知,在全球气候变暖的大背景下,石羊河流域中、下游年浅层地温升高趋势很显著。由图2可知,石羊河流域中、下游年浅层地温的变化步调比较一致,运用方差分析周期发现,中、下游年各层次浅层地温的时间序列均存在着4~6a的准周期变化,经F检验,均通过了信度 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验。

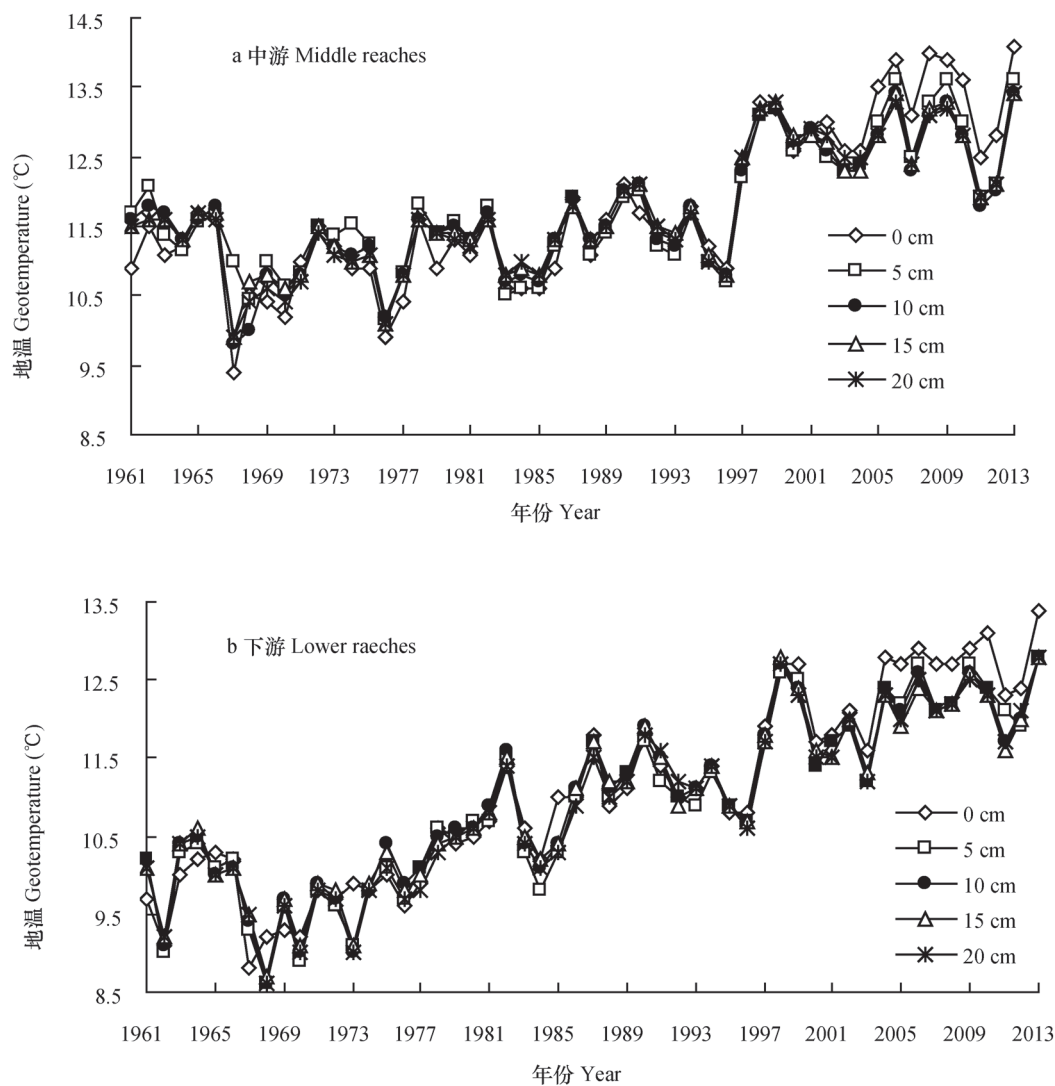


图2 石羊河流域中、下游年浅层地温的变化

Fig. 2 Change in annual shallow soil temperature in the middle and lower reaches of the Shiyang River Basin

石羊河流域中、下游年浅层地温的均值为中游>下游,各层次差异很小(表2),各层次极值的差异也很小,中游年浅层地温最大值0~20 cm依次为14.1、13.4、13.6、13.4、13.4 °C,均出现在2013年;最小值0~20 cm依次为9.4、10.2、9.8、9.9、9.9 °C,除10 cm出现在1976年,其他均出现

在1967年。下游年浅层地温最大值0~20 cm依次为13.8、12.8、12.8、12.8 °C、12.8 °C,均出现在2013年;最小值0~20 cm依次为8.8、8.6、8.6、8.7、8.6 °C,除0 cm出现在1967年,其他均出现在1968年,极值也为中游>下游。

这主要是由于下游(民勤)被巴丹吉林沙漠和

表2 石羊河流域中、下游年浅层地温的均值、气候倾向率及趋势系数

Table 2 Annual mean shallow soil temperature and its climate tendency rates and trend coefficient in the middle and lower reaches of the Shiyang River Basin

层次 Level	中游Middle reaches			下游Lower reaches		
	均值 Mean value ($^{\circ}\text{C}$)	倾向率 Tendency rate ($^{\circ}\text{C } 10\text{a}^{-1}$)	趋势系数 Tendency coefficient	均值 Mean value ($^{\circ}\text{C}$)	倾向率 Tendency rate ($^{\circ}\text{C } 10\text{a}^{-1}$)	趋势系数 Tendency coefficient
0	11.7	0.587	0.792	11.0	0.728	0.919
5	11.7	0.385	0.669	10.9	0.627	0.875
10	11.7	0.397	0.690	11.0	0.606	0.868
15	11.7	0.407	0.721	10.9	0.592	0.872
20	11.7	0.423	0.731	10.9	0.610	0.877

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，地温的日变化幅度较中游（武威）绿洲平川区大，这可能是引起多年均值、极值较中游低的原因，由此可见，浅层地温的高低与局部地形、下垫面以及天气气候有一定的关系。

3.3 各季节浅层地温的年变化

表3为各地春、夏、秋、冬四季浅层地温的平均值、气候倾向率及趋势系数。由表3可知，中游各层次浅层地温的均值为夏季最大，春季次之，冬季最小；下游各季节0、5和10 cm地温的均值与中游一致，也为夏季最大，春季次之，冬季最小，15 cm和20 cm地温为夏季最大，秋季次之，冬季最小。中游各季节各层次浅层地温均为上升趋势，下游除15 cm和20 cm冬季为弱的下降趋势外，其他季节各层次浅层地温为上升趋势，中游、下游气候倾向率基本为：春季>夏季>秋季>冬季。根据蒙特卡罗模拟方法规定，中游、下游各层次春、夏、秋季三季和0 cm冬季气候趋势系数均通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验，上升趋势很显著；中游20 cm冬季气候趋势系数也通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验，上升趋势很显著，10 cm和15 cm冬季气候趋势系数通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验，上升趋势显著，5 cm冬季气候趋势系数通过了 $\alpha=0.1$ 的显著性水平检验，上升趋势较显著；下游5~20 cm冬季气候趋势系数没有通过显著性水平检验，上升趋势不显著。

3.4 浅层地温的月变化

分析石羊河流域中、下游月浅层地温发现，浅

层地温月变化特征明显，月变率较大，中游0~20 cm地温月变率为12.7、9.6、8.3、7.1、6.0 $^{\circ}\text{C}$ ；下游0~20 cm地温月变率为16.4、14.7、10.3、8.7、6.8 $^{\circ}\text{C}$ 。由此可见，月变率为下游>中游，且随着地温层次的加深，月变率在逐渐减小。在曲线图上，中、下游均表现出一个明显低谷和一个明显高峰，1—2月和12月浅层地温均在零下，其中，1月最低，12月次之，3—11月浅层地温均在零上，7月最高，8月次之，依次向两端递减（图3），即1月为明显低谷，7月为明显高峰。

3.5 浅层地温的突变分析

采用累计距平方法对近53 a浅层地温进行了突变分析。从图4a可以看出：石羊河流域中游0~20 cm浅层地温20世纪60年代至90年代中期均呈波动下降趋势，1996年开始呈快速上升趋势，即20世纪90年代中期至21世纪前13年为快速上升阶段，各层次的变化比较一致，0 cm的变化最为明显，1996年信噪比依次为1.83、1.51、1.46、1.60、1.70，均通过了信噪比检验，可认为中游0~20 cm地温的突变时间为1996年。从图4b可以看出：石羊河流域下游0~20 cm浅层地温20世纪60年代至80年代中期均呈快速下降趋势，1985年开始呈波动上升趋势，即80年代前期至90年代中期为波动上升阶段，1996年开始呈快速上升趋势。即20世纪90年代中期至21世纪前13年为快速上升阶段，各层次的变化也比较一致，0 cm的变化也最为明显，与中游的变化不同的是出现了两个转折的年份，1985年信噪比依次为1.40、1.38、1.37、1.42、1.45，1996

表3 石羊河流域中、下游四季浅层地温的均值、气候倾向率及趋势系数

Table 3 Seasonal mean shallow soil temperature and its climate tendency rate and trend coefficient in the middle and lower reaches of the Shiyang River Basin

地点Place	季节 Season	0 cm			5 cm			10 cm		
		均值 Mean value ($^{\circ}\text{C}$)	倾向率 Tendency rate ($^{\circ}\text{C}10\text{a}^{-1}$)	趋势系数 Tendency coefficient	均值 Mean value ($^{\circ}\text{C}$)	倾向率 Tendency rate ($^{\circ}\text{C}10\text{a}^{-1}$)	趋势系数 Tendency coefficient	均值 Mean value ($^{\circ}\text{C}$)	倾向率 Tendency rate ($^{\circ}\text{C}10\text{a}^{-1}$)	趋势系数 Tendency coefficient
中游Middle reaches	春季 Spring	14.3	0.651	0.698	13.6	0.545	0.634	13.1	0.549	0.666
	夏季 Summer	27.2	0.631	0.640	25.9	0.498	0.549	25.3	0.503	0.595
	秋季 Autumn	10.5	0.522	0.670	11.2	0.298	0.470	11.6	0.296	0.446
	冬季 Winter	-5.0	0.529	0.605	-3.7	0.189	0.322	-3.3	0.241	0.394
下游Lower reaches	春季 Spring	13.6	0.868	0.803	12.3	1.105	0.828	11.7	1.111	0.852
	夏季 Summer	27.8	0.678	0.731	26.0	0.867	0.805	25.3	0.938	0.856
	秋季 Autumn	9.6	0.655	0.788	10.5	0.336	0.586	11.2	0.312	0.520
	冬季 Winter	-6.7	0.703	0.721	-5.3	0.190	0.270	-4.5	0.055	0.088
地点Place	季节 Season	15 cm			20 cm					
		均值 Mean value ($^{\circ}\text{C}$)	倾向率 Tendency rate ($^{\circ}\text{C}10\text{a}^{-1}$)	趋势系数 Tendency coefficient	均值 Mean value ($^{\circ}\text{C}$)	倾向率 Tendency rate ($^{\circ}\text{C}10\text{a}^{-1}$)	趋势系数 Tendency coefficient			
中游Middle reaches	春季 Spring	12.8	0.554	0.676	12.5		0.563	0.694		
	夏季 Summer	24.9	0.515	0.636	24.6		0.523	0.668		
	秋季 Autumn	12.0	0.320	0.480	12.3		0.336	0.493		
	冬季 Winter	-2.9	0.254	0.427	-2.5		0.266	0.449		
下游Lower reaches	春季 Spring	11.1	1.126	0.866	10.5		1.208	0.887		
	夏季 Summer	24.6	0.987	0.890	23.9		1.107	0.914		
	秋季 Autumn	11.8	0.302	0.515	12.2		0.306	0.536		
	冬季 Winter	-3.7	-0.056	-0.089	-3.0		-0.171	-0.267		

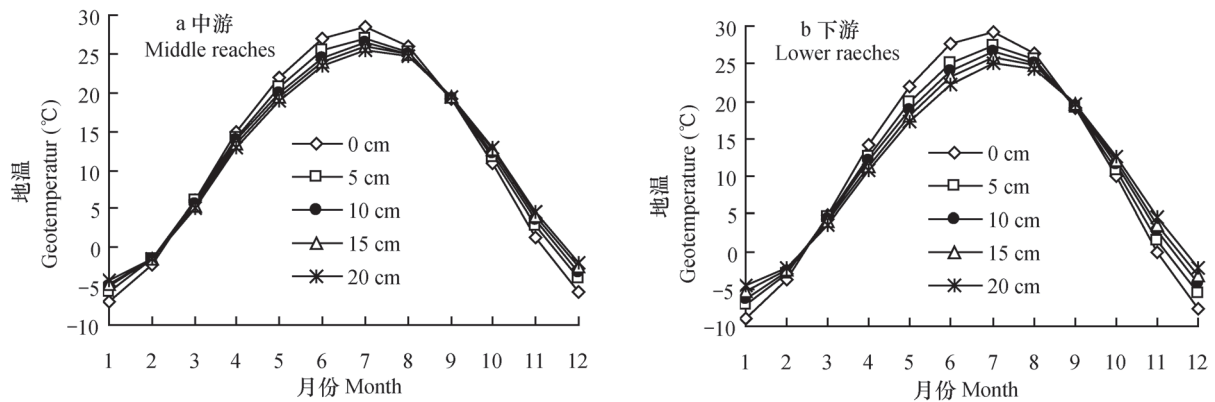


图3 石羊河流域中、下游浅层地温的月变化

Fig. 3 Monthly change in shallow soil temperature in the middle and lower reaches of the Shiyang River Basin

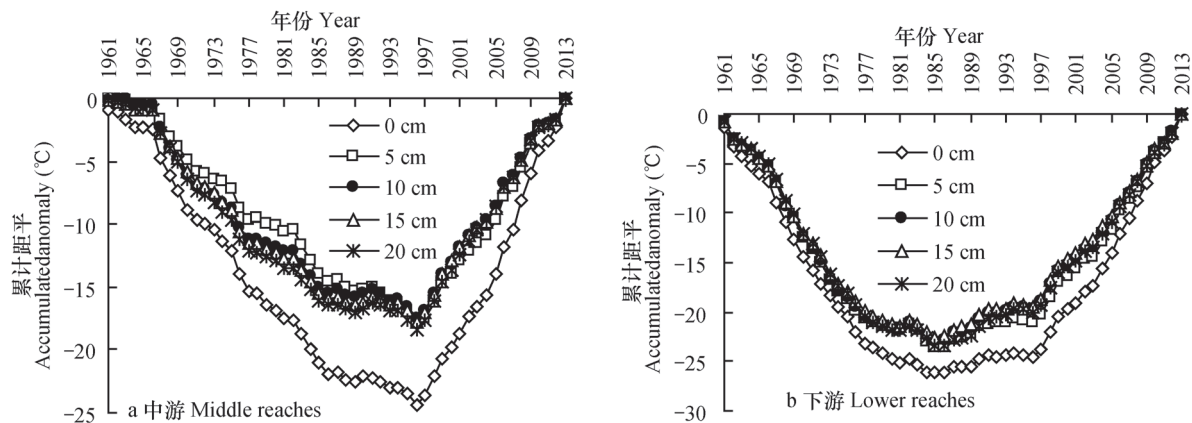


图4 石羊河流域中、下游年浅层地温的累计距平

Fig. 4 Accumulated anomaly of annual shallow soil temperature in the middle and lower reaches of the Shiyang River Basin

年信噪比依次为1.48、1.25、1.07、1.07、1.11，均通过了信噪比检验，可认为下游浅层地温的突变时间为1985年和1996年。由于1985年信噪比大于1996年，因此，1985年较1996年的突变更明显。

3.6 浅层地温对气温变化的响应

选取中、下游与浅层地温同期的年平均气温资料进行时间的变化分析，从变化趋势来看，近53a石羊河流域中、下游年气温也呈上升的趋势（图5），其气候倾向率中游为 $0.437\text{ }^{\circ}\text{C}\ 10\text{a}^{-1}$ ，气候趋势系数为0.731 9；下游为 $0.417\text{ }^{\circ}\text{C}\ 10\text{a}^{-1}$ ，气候趋势系数为0.784 9。根据蒙特卡罗模拟方法规定，气候趋势系数通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验，上升趋势很显著。运用方差分析年气温周期发现，中、下游年气温的时间序列也均存在4~6 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。

地温是一个敏感的气候指标，地温的变化实际上是气候变化对土壤热状况影响的最迅速最具体表现，气温的变化必然引起浅层地温的变化。气候趋势法和相关系数法分析表明，石羊河流域中、下游浅层地温随着气温的升高而升高（表4），表4中x的系数表示年气温每升高或降低 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，浅层地温升高或降低的度数，下游浅层地温的变化对气温变化的响应程度比中游更敏感。年气温与年浅层地温均呈极显著正相关，各层次相关系数见表4，其相关系数均通过了 $\alpha=0.001$ 的显著性水平检验，变化趋势均很显著。说明气温对浅层地温具有显著的正效应，即浅层地温的升高主要是由于驱动因子气温的升高所导致。进一步分析发现，气温与浅层地温随时间具有相同的演变趋势，说明气温的随时间变化在一定程度上可以决定浅层地温的随时间变化。由以上周期分析可知，气温与浅层地温具有相同的

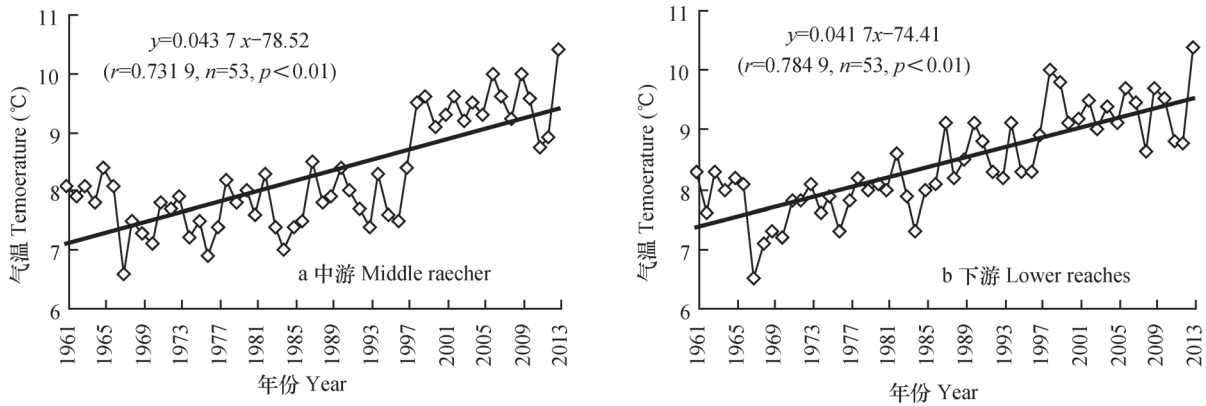


图5 石羊河流域中、下游年气温变化

Fig. 5 Variation of annual air temperature in the middle and lower reaches of the Shiyang River Basin

周期变化，且在时间的变化上具有同步性，气温随时间的变化对浅层地温随时间的变化具有显著正作用，即为同位相变化，浅层地温的变化可能就是对应气温变化的响应。这与蒙桂云和喻彦^[23]在西双版纳、李岳坦等^[24]在青海湖流域、袁文涛^[25]在黑龙江等地的研究结果具有一致性。

由3.3节分析可知，石羊河流域中游、下游各季节地温上升趋势为：春季>夏季>秋季>冬季，而杨晓玲等^[26]研究发现石羊河流域各季节气温的上升趋势为冬季>春季>秋季>夏季，且冬季气温

上升趋势远大于其余三个季节。由此可知，各季节各层次浅层地温的变化趋势与气温的变化趋势很不一致，春季和夏季浅层地温对气温变化的响应较为敏感，而气温快速上升的冬季，浅层地温的上升趋势最弱，个别层次甚至呈下降趋势，即冬季浅层地温对气温变化的响应最不敏感。

另外，浅层地温除与气温显著相关外，可能还与其他气候因子以及其局地的地表植被、地层岩性、土层含水量等区域性因素有关，这一点将需要在以后工作中进一步分析研究。

表4 石羊河流域中、下游年气温与年浅层地温的关系

Table 4 Relationships between annual air temperature and annual shallow soil temperature In the middle and lower reaches of the Shiyang River Basin

层次 Level (cm)	中游Middle reaches		下游Lower reaches	
	关系式 Relationship	相关系数 Correlation coefficient	关系式 Relationship	相关系数 Correlation coefficient
0	1.194 x+1.886	0.960 4	1.380x-0.613 9	0.925 1
5	0.900 4x+4.313	0.933 1	1.242x+0.412 1	0.920 8
10	0.905 6x+4.221	0.939 2	1.194x+0.862 2	0.909 6
15	0.896 9x+4.322	0.947 0	1.167x+1.080	0.913 2
20	0.920 9x+4.099	0.948 3	1.192x+0.825 5	0.910 9

4 结论

石羊河流域中、下游浅层地温表现出了明显的时间变化特征。年代、年浅层地温呈很显著上升趋势，气候倾向率均通过了 $\alpha = 0.01$ 显著性水平检验。中、下游年浅层地温的时间序列均存在着

4~6 a的准周期变化，年浅层地温突变的时间中游为1996年，下游为1985年和1996年。中、下游各季节浅层地温也呈上升趋势，气候倾向率为：春季>夏季>秋季>冬季，月浅层地温变化比较一致，7月为明显高峰，依次向两端递减，1月为明显低谷。石羊河流域中、下游与浅层地温同期的年平均

气温呈显著升高趋势, 气候趋势和相关分析表明, 年浅层地温与年气温呈极显著正相关, 其相关系数均通过了 $\alpha = 0.001$ 显著性水平检验。在时间周期变化上, 中、下游年气温与年浅层地温具有相同的周期变化, 且具有同步性和同位相变化, 气温随时间变化对浅层地温随时间变化具有显著正作用, 浅层地温的升高可能是对气温升高的响应。

参考文献

- [1] 程建峰, 潘晓云, 刘宜柏. 土壤条件对陆稻根系生长的影响. 土壤学报, 2002, 39 (4) : 590—598. Cheng J F, Pan X Y, Liu Y B. Studies on the growth of upland rice roots under various soil conditions (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39 (4) : 590—598
- [2] 张慧智, 史学正, 于东升, 等. 中国土壤温度的季节性变化及其区域分异研究. 土壤学报, 2009, 46 (2) : 227—234. Zhang H Z, Shi X Z, Yu D S, et al. Seasonal and regional variations of soil temperature in China (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46 (2) : 227—234
- [3] 汤懋苍, 孙淑华, 钟强, 等. 下垫面能量储放与天气变化. 高原气象, 1982, 1 (1) : 24—33. Tang M C, Sun S H, Zhong Q, et al. Surface energy storage and change of weather (In Chinese). *Plateau Meteorology*, 1982, 1 (1) : 24—33
- [4] Li Z, Becker F. Feasibility of Land Surface Temperature and emissivity determination from AVHRR data. *Remote Sensing of Environment*, 1993, 43: 67—85
- [5] IPCC. IPCC Third Assessment Report—Climate Change 2001. Cambridge, UK: The Scientific Basis. Cambridge University Press, 2001: 385—386
- [6] Qin Z, Karnieli A. Progress in the remote sensing of land surface temperature and ground emissivity using NOAA-AVHRR. *International Journal of Remote Sensing*, 1999, 20 (12) : 2367—2393
- [7] 张翠华, 张文煜, 郭立平. 河北石家庄浅层地温变化特征. 干旱气象, 2013, 31 (4) : 78—81. Zhang C H, Zhang W Y, Guo L P. Characteristics of shallow layer ground temperature change in Shijiazhuang of Hebei Province (In Chinese). *Journal of Arid Meteorology*, 2013, 31 (4) : 78—81
- [8] 强玉柱, 蒲金涌, 刘扬, 等. 天水市近50年浅层地温变化特征分析. 中国农学通报, 2013, 29 (35) : 317—322. Qiang Y Z, Pu J Y, Liu Y, et al. A study on variation characteristics of shallow geotemperature in Tianshui recent 50 years (In Chinese). *Chinese Agricultural science Bulletin*, 2013, 29 (35) : 317—322
- [9] 杜军, 胡军, 罗布次仁, 等. 西藏浅层地温对气候变暖的响应. 冰川冻土, 2008, 30 (5) : 745—751. Du J, Hu J, Luobu C R, et al. Response of shallow geotemperature to climatic change over Tibet from 1971 to 2005 (In Chinese). *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2008, 30 (5) : 745—751
- [10] 周绍毅, 劳炜, 苏志, 等. 196—2010年广西浅层地温变化特征. 西南农业学报, 2012, 25 (4) : 1372—1375. Zhou S Y, Lao W, Su Z, et al. Variation features of shallow soil temperature in Guangxi from 1961 to 2010 (In Chinese). *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 25 (4) : 1372—1375
- [11] Hu Q, Feng S. A daily soil temperature dataset and soil temperature climatology of the contiguous United States. *Journal of Applied Meteorology*, 2003, 42: 1139—1156
- [12] 陆晓波, 徐海明, 孙丞虎, 等. 中国近50 a 地温变化特征. 南京气象学报, 2006, 29 (5) : 706—712. Lu X B, Xu H M, Sun C H, et al. Characteristics of soil temperature variation in china in recent 50 years (In Chinese). *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2006, 29 (5) : 706—712
- [13] 张晶晶, 陈爽, 赵昕奕. 近50年中国气温变化的区域差异及其与全球气候变化的联系. 干旱区资源与环境, 2006, 20 (4) : 1—6. Zhang J J, Chen S, Zhao X Y. Spatial divergency of temperature change during 1951—2000 in China and its correlation with global climate change (In Chinese). *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2006, 20 (4) : 1—6
- [14] 杨晓玲, 兰晓波, 丁文魁, 等. 河西走廊东部地面温度的变化特征及影响因子分析. 干旱地区农业研究, 2014, 32 (1) : 224—229. Yang X L, Lan X B, Din W K, et al. Analysis of change characteristic and influence factors on ground temperature in Hexi corridor eastern (In Chinese). *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2014, 32 (1) : 224—229
- [15] 刘明春, 李玲萍. 石羊河流域地表0 cm温度的长期变化. 干旱区研究, 2011, 28 (3) : 478—484. Liu M C, Li L P. Long-term change of ground temperature in the Shiyang river basin (In Chinese). *Arid Zone Research*, 2011, 28 (3) : 478—484
- [16] 白肇焯, 许国昌, 孙学筠, 等. 中国西北天气. 北京: 气象出版社, 1988: 230—240. Bai Z Y, Xu G C, Sun X J, et al. Weather over northwest China (In Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1988: 230—240
- [17] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术: 第二版. 北京: 气象出版社, 2007: 37—41. Wei F Y. Modern climatic statistical diagnosis and prediction technology: 2nd

- Ed (In Chinese), Beijing: China Meteorological Press, 2007: 37—41
- [18] 施能, 马丽, 袁晓玉, 等. 近50 a浙江省气候变化特征分析. 南京气象学院学报, 2001, 24 (2): 207—213. Shi N, Ma L, Yuan X Y, et al. Climate variation features over Zhejiang province in the last 50 years (In Chinese). Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2001, 24 (2): 207—213
- [19] Livezey R E, Chen W Y. Statistical field significance and its determination by Monte Carlo techniques. Monthly Weather Review, 1983, 111 (1): 46—59
- [20] 周石清, 陈建江, 耿峻岭. 单因子方差分析法对三屯河年均流量序列的周期分析. 新疆水利, 2001, 122 (3): 25—29. Zhou S Q, Chen J J, Geng J L. Cycle analysis of annual average flow series with single factor variance analysis method in Three Tun River (In Chinese). Xinjiang Water Resources, 2001, 122 (3): 25—29
- [21] 王媛媛, 张勃. 陇东地区近51 a气温时空变化特征. 中国沙漠, 2012, 32 (5): 1402—1407. Wang Y Y, Zhang B. Spatio-temporal change of temperature in recent 51 years in east Gansu (In Chinese). Journal of Desert Research, 2012, 32 (5): 1402—1407
- [22] 杜军, 李春, 廖健, 等. 近45年拉萨浅层地温对气候变化的响. 气象, 2007, 33 (10): 61—67. Du J, Li C, Liao J, et al. Responses of climatic change on soil temperature at shallow layers in Lhasa from 1961 to 2005 (In Chinese). Meteorological Monthly, 2007, 33 (10): 61—67
- [23] 蒙桂云, 喻彦. 1961—2005年西双版纳浅层地温对气候变化的响应. 气象科技, 2010, 38 (3): 316—320. Meng G Y, Yu Y. Responses of shallow soil temperature to climatic change in Xishuangbanna from 1961 to 2005 (In Chinese). Meteorological Science and Technology, 2010, 38 (3): 316—320
- [24] 李岳坦, 李小雁, 崔步礼, 等. 青海湖流域及周边地区浅层地温对全球变化的响应. 地球环境学报, 2010, 1 (3): 219—225. Li Y T, Li X Y, Cui B L, et al. Responses of shallow geotemperature to global change over Qinghai Lake basin from 1961 to 2007 (In Chinese). Journal of Earth Environment, 2010, 1 (3): 219—225
- [25] 袁文涛. 黑龙江省浅层地温的时空变化特征. 哈尔滨: 东北林业大学, 2011. Yuan W T. Spatio-temporal variation characteristics of shallow layer geotemperature in Heilongjiang Province (In Chinese). Haerbin: Northeast Forestry University, 2011
- [26] 杨晓玲, 丁文魁, 刘明春, 等. 河西走廊东部近50年气温变化特征及其对比分析. 干旱区资源与环境, 2011, 25 (8): 76—81. Yang X L, Din W K, Liu M C, et al. Change characteristics of temperature in eastern Hexi Corridor in recent 50 years (In Chinese). Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, 25 (8): 76—81

CHANGE IN SHALLOW SOIL TEMPERATURE AND ITS RESPONSE TO CHANGE IN AIR TEMPERATURE IN MIDDLE AND LOWER REACHES OF SHIYANG RIVER BASIN

Yang Xiaoling^{1, 2} Ding Wenkui² Ma Zhonghua² Xu Zhengfen³

(1 Lanzhou Institute of Arid Meteorology CMA, Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster, Key Open Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reduction CMA, Lanzhou 730020, China)

(2 Wuwei Meteorological Bureau of Gansu Province, Wuwei, Gansu 733000, China)

(3 Pucheng County Meteorological Bureau of Fujian Province, Pucheng, Fujian 353400, China)

Abstract To rationally guide agricultural production, protect ecological environment and explore how much soil temperature responds to climate change, a study was performed to systematically analyze temporal variation and extreme value of shallow soil temperature and their relationships with air temperature based on the observatory data, accumulated during 1961—2013, of the daily shallow soil temperature (0、5、10、15、20 cm) and annual air temperature in the middle (Wuwei) and lower (Minqin) reaches of the Shiyang River Basin, using the linear trend method, variance analysis method, accumulative anomaly method, and correlation coefficient method. Results show that in that region the decade and annual shallow soil temperature displayed a very significant rising trend, particularly, in the first 13 years of the twenty-

first century; climate tendency rate was greater in the middle reaches than in the lower reaches, and climate tendency coefficients all passed the $\alpha=0.01$ significant level test. Annual mean of shallow soil temperature was higher in the middle reaches than in the lower reaches. In the chronology of shallow soil temperature existed 4~6 year paracycles of variation for both middle and lower reaches. Sudden change in shallow soil temperature occurred in 1996 in the middle reaches and in 1985 and 1996 in the lower reaches. Shallow soil temperature was the highest in summer and the lowest in winter in both the middle and lower reaches, and tended to rise in all the four seasons, with climate tendency rate being in the order of spring > summer > autumn > winter. Monthly variation of shallow soil temperature was quite consistent, with an obvious peak in July and an obvious valley in January. The annual mean air temperature was obviously in a rising trend in that region. The climate tendency rate was $0.437\text{ }^{\circ}\text{C}\ 10\text{a}^{-1}$ in the middle reaches and $0.417\text{ }^{\circ}\text{C}\ 10\text{a}^{-1}$ in the lower reaches, and climate tendency coefficients all passed the $\alpha=0.01$ significant level test. Annual shallow soil temperature and annual air temperature were in an extremely significant positive relationship, with correlation coefficients passing the $\alpha=0.001$ significance level test, indicating that air temperature has a positive effect on shallow soil temperature. Annual air temperature and shallow soil temperature showed a similar pattern of variation. It is quite obvious that annual variation of air temperature has a remarkable positive effect on annual variation of shallow soil temperature. The increase in shallow soil temperature may be explained as its response to the rising air temperature, and the response is more sensitive in the lower reaches than in the middle reaches, and in spring and summer than in winter.

Key words Shallow soil temperature; Variation characteristics; Correlation coefficient; Shiyang River Basin

(责任编辑：汪枫生)

CONTENTS

Reviews and Comments

- Problems and analytical logic in building cultivated land productivity evaluation index system..... Zhao Yanfeng, Cheng Daoquan, Chen Jie, et al. (1207)
 Advancement in study on effect of earthworm on greenhouse gas emission in soil and its mechanism Lu Mingzhu, Lü Xianguo, Guan Qiang, et al. (1224)

Research Articles

- Vertical distributions of soil organic and inorganic carbon and their controls along toposequences in an alpine region Yang Fan, Huang Laiming, Li Decheng, et al. (1235)
 Effect of grain size on and correlation analysis of pedodiversity and surface water body diversity in counties typical of Central and East China Ren Yuanyuan, Zhang Xuelei (1249)
 Spatial-temporal variability of soil readily available nutrients in cultivated land of Weibei Tableland Area Yu Yang, Zhao Yeting, Chang Qingrui (1260)
 Hyperspectral estimation and remote sensing retrieval of soil water regime in the Yellow River Delta Li Ping, Zhao Gengxing, Gao Mingxiu, et al. (1271)
 Effect of wet-dry alternation on loess disintegration rate Wang Jian, Ma Fan, Zhang Penghui, et al. (1278)
 Experiment and simulation of infiltration from layered soils in open pit mine in Jin-Shaan-Meng adjacent region Wu Qifan, Fan Jun, Yang Xiaoli, et al. (1289)
 Anaerobic redox of iron oxides and photosynthetic oxidation of ferrous iron in upland cinnamon soils Sun Lirong, Wang Xugang, Xu Xiaofeng, et al. (1299)
 Study on effect of kaolinite colloids on zeta potential of Al oxide coated quartz with streaming potential method Li Zhongyi, Xu Renkou (1309)
 Nitrogen use efficiencies of major grain crops in China in recent 10 years Yu Fei, Shi Weiming (1324)
 Changes of soil nutrients and supply capacities in the piedmont plain of Taihang Mountain during the period of 1978–2008 Liu Jianling, Jia Ke, Liao Wenhua, et al. (1334)
 Spatial variation of ecological stoichiometry of soil C, N and P in a small hilly watershed in subtropics of China Yang Wen, Zhou Jiaogen, Wang Meihui, et al. (1343)
 Stoichiometric characteristics of soil in an oasis on northern edge of Tarim Basin, China Li Honglin, Gong Lu, Zhu Meiling, et al. (1354)
 Distribution of soil selenium in the Northeast China Plain and its influencing factors Dai Huimin, Gong Chuandong, Dong Bei, et al. (1364)
 Study on phytolith-occluded organic carbon in soil of subtropical forest of southern Zhejiang Lin Weilei, Ying Yuqi, Jiang Peikun, et al. (1372)
 Toxic effect of multiple-time overlying pollution of Phe in soil on *Eisenia fetida* Ma Jingjing, Qian Xinchun, Zhang Wei, et al. (1381)
 Effect of organic manure on cucumber Fusarium wilt control and its mechanism Zhao Liya, Li Wenqing, Tang Longxiang, et al. (1390)
 Ameliorative effect of cropping *Lycium barbarum* L. with drip irrigation on soil enzymes activities in takyric solonetz Zhang Tibin, Kang Yaohu, Wan Shuqin, et al. (1399)
 Change in shallow soil temperature and its response to change in air temperature in middle and lower reaches of Shiyang River Basin Yang Xiaoling, Ding Wenkui, Ma Zhonghua, et al. (1410)
 Soil permeability of aeration zone in Xinchang-Xiangyangshan - a preselected site for high level radioactive waste disposal Li Jiebiao, Su Rui, Zhou Zhichao, et al. (1420)

Research Notes

- Inversion of spatial pattern of organic matter contents in black soil based on TM data Song Jinhong, Wu Jinggui, Zhao Xinyu, et al. (1429)
 Analysis of soil fertility and fertilizer efficiency of maize field in Shaanxi Shan Yan, Li Shuili, Li Ru, et al. (1437)
 Application of cosmic-ray method to soil moisture measurement of grassland in the Loess Plateau Zhao Chun, Yuan Guofu, Liu Xiao, et al. (1444)

Cover Picture: Reclamation of a highly saline-sodic wasteland of takyric solonetz while cropping *Lycium barbarum* L. with drip irrigation (by Zhang Tibin)

《土壤学报》编辑委员会

主 编: 史学正

执行编委: (按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任: 陈德明

责任编辑: 汪枳生 卢 萍 檀满枝

土 壤 学 报

Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第 52 卷 第 6 期 2015 年 11 月

ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 6 Nov., 2015

编 辑 《土壤学报》编辑委员会
地址: 南京市北京东路 71 号 邮政编码: 210008
电话: 025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China
Tel: 025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史 学 正
主 管 中 国 科 学 院
主 办 中 国 土 壤 学 会
承 办 中国科学院南京土壤研究所

Editor-in-Chief Shi Xuezheng
Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Soil Science Society of China
Undertaken by Institute of Soil Science,
Chinese Academy of Sciences

出 版 科 学 出 版 社
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

印刷装订 北京中科印刷有限公司
总发行 科 学 出 版 社
地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717
电话: 010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company
Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China
Tel: 010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址: 北京 399 信箱 邮政编码: 100044

Foreign China International Book Trading Corporation
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一刊号: CN 32-1119/P

国内邮发代号: 2-560

国外发行代号: BM45

定价: 60.00 元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929



9 770564 392156

