

青海深层地温的变化特征及对气候变化的影响

张焕平¹, 张占峰², 汪青春³

(1. 青海省气象信息中心, 青海西宁 810001; 2. 中国大气本底基准观象台, 青海西宁 810001; 3. 青海省气候中心, 青海西宁 810001)

摘要 利用1981~2010年青海8个观测站0.8、1.6、3.2 m地层的逐月平均地温资料, 采用气候统计诊断分析方法, 对近30年青海年、季平均地温的气候变化趋势及突变特点进行研究。结果表明, 近30年青海0.8、1.6、3.2 m地层年平均地温均呈上升趋势, 升幅最大值为0.62~0.69 °C/10a; 各层均以玛多升幅最大; 近30年大部分站四季平均深层地温均呈上升趋势, 夏季升幅最大, 冬季最小; 年、季深层地温突变时间绝大部分站点发生在20世纪90年代中后期; 各地层年平均升温幅度随着深度的增加而减小; 年平均气温与各深层地温均为正相关; 降水与深层地温的相关性不明显; 冻土深度与各深层地温均为负相关。研究结果对合理利用气候资源、调整农作物种植并合理安排农业生产布局具有参考价值。

关键词 青海; 深层地温; 气候变化; 特征分析; 影响

中图分类号 S161.2 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)05-02153-04

The Variation Characteristics of Deep Soil Temperature in Qinghai Province and Its Influence on Climate Change

ZHANG Huan-ping et al (Qinghai Province Meteorological Information Centre, Xining, Qinghai 810001)

Abstract Based on the monthly mean soil temperature data of 0.8, 1.6, 3.2 from 8 observation stations of Qinghai Province during 1981–2010, the climate variation trend and mutation characteristics of annual and seasonal mean soil temperature were studied by using climatic statistical diagnosis analysis method. The results showed that the annual average soil temperature of 0.8, 1.6, 3.2 m reflects an upward trend; the maximum increase was found in Maduo with 0.62–0.69 °C/10a; the average seasonal deep soil temperature in recent 30 years showed an rising trend; the maximum increase was found in summer while minimum in winter. Annual and seasonal deep soil temperature mutation time mainly occurred in the middle and later 1990s'. The annual average soil temperature of each layer increased with depth decreased; the annual average temperature was positively correlated with deep soil temperature; the correlation between precipitation and deep soil temperature was not obvious; frozen soil depth was negatively correlated with deep soil temperature. The results have reference value on appropriate utilizing climate resource, adjusting agricultural crops planting, arranging agriculture production layout.

Key words Qinghai Province; Deep soil temperature; Climate change; Characteristics analysis; Influencing

土壤温度是太阳辐射、土壤热量平衡和土壤热学性质共同作用的结果, 不同生物气候带、不同季节变化和土壤不同组成、性质及利用状态均不同程度地影响土壤热量的收支平衡, 进而影响土壤温度的变化。土壤温度不仅影响种子的萌发、幼苗和根系的生长、发育, 而且也影响植物对水分、养分的运输和吸收及土壤中有效养分的变化等^[1-2], 各种地温数据对农、牧、交通运输、工程设施等均具有实际意义^[3]。董文杰等提出了用地温资料计算土壤热流的方法^[4], 李栋梁等研究青藏高原及铁路沿线地表温度变化趋势预测^[5], 潘卫东等利用青藏铁路沿线地温场变化规律考虑青藏铁路的修建等均将地温资料作为重要参考依据^[6]。

近年来, 许多学者对地温的应用、分布规律及变化进行了深入研究, 结果表明, 地面反射率、土壤温度等对大气环流和气候变化具有重要作用^[7-9]。就全国各地区而言, 20世纪70~90年代各地区的土壤温度存在不同程度的显著升高趋势。近年来气候变暖趋势明显, 但系统研究青海深层地温变化的尚未见报道。青海省(90.85°~102.85°E, 32.20°~38.80°N)位于青藏高原, 身居内陆, 远离海洋, 属典型的高原大陆性气候。境内呈高山、峡谷、盆地、高原等复杂多样的地形地貌, 全省平均海拔3 000 m, 其中4 000~5 000 m地区占全省总面积54%。系统研究青海深层地温的变化特征, 对农

牧业生产具有一定现实意义。笔者运用气候倾向率、信噪比等气候统计诊断分析方法, 选取1981~2010年青海8站的深层地温观测资料, 对近30年青海0.8、1.6、3.2 m深度地温的变化趋势和突变特征等进行分析, 揭示其变化趋势及特征, 以期为指导农业生产提供参考依据。

1 资料与方法

按照《地面气象观测规范》规定, 下垫面温度和不同深度的土壤温度统称地温, 深层地温包括离地面0.4、0.8、1.6、3.2 m深度的地中温度^[10]。青海省共有50个气象站, 由于各站深层地温观测资料时间序列不同, 本着既考虑资料的均一性和序列长度, 又尽可能反映青海省深层地温变化事实的原则, 选取资料年限在30年以上的德令哈、刚察、格尔木、西宁、玛多、达日、河南、久治8个气象观测站(2个基准站和6个基本站)1981~2010年0.8、1.6和3.2 m地层逐月平均地温的观测资料。并对站址有迁移情况的台站, 根据一年的对比观测资料通过差值法进行订正, 以保证资料的连续性和均一性。2004年以前资料采用玻璃液体地温表人工读取, 每日02:00、08:00、14:00、20:00共4个数据; 2004年开始使用铂电阻地温传感器自动获取, 每小时读取数据一次, 月平均依然为02:00、08:00、14:00和20:00共4次的定时平均值。

按12月~翌年2月为冬季, 3~5月为春季, 6~8月为夏季, 9~11月为秋季生成逐季、逐年序列。对各站近30年年、季深层地温3个层次作算术平均, 得到各站1981~2010年年、季平均深层地温序列; 采用加权平均法, 计算出青海及各站0.8、1.6、3.2 m深层地温的平均值, 以分析其年、季、年

作者简介 张焕平(1963-), 女, 陕西蒲城人, 工程师, 从事地面、辐射资料质量控制和研究, E-mail: zhanghuanping0@163.com。

收稿日期 2013-01-06

代际变化以及突变等气候特征。同时,选取气温、降水、最大冻土深度,分析其与地温之间的关系。地温的气候倾向率采用一元线性方程分析方法^[11],且对趋势系数进行了显著性检验。气候突变通过累积距平和信噪比等方法^[11]来分析地温的突变特征。

2 结果与分析

2.1 深层地温的年内变化 由图1可见,近30年青海各站0.8 m深层地温年内最高值出现在8月,1.6 m最高出现在8、9月(南部出现在9月),3.2 m最高出现在9、10月;0.8 m地温最低值出现在1、2月,1.6 m最低值出现在2、3月(南部出现在3月),3.2 m最低出现在3、4月。随着深度的增加平均地温的年内最高、最低值出现时间基本上推后1个月,年内振幅也趋于减小。就全省8个代表站平均而言,0.8 m深

层3~8月是地温升温阶段,最大升幅出现在5~6月,月平均升温在3.5~3.7℃;1.6 m深层4~9月是地温升温阶段,最大升幅出现在6~7月,月平均升温在2.5~2.7℃;3.2 m深层5~10月是地温升温阶段,最大升幅出现在7~8月,月平均升温在1.5~1.6℃。0.8、1.6 m深层9月~次年2月是地温降温阶段,最大降幅出现在11月,月平均降温分别达4.6、2.8℃;3.2 m层11月~次年4月是地温降温阶段,最大降幅出现在1月,月平均降温平均为1.5℃。春、夏季平均地温变化幅度随深度增加逐步减小,表明热量由浅层向深层传递,是积蓄能量的过程;秋、冬季平均地温变化幅度随深度增加而明显增大,表明热量由深层向浅层传递,是释放能量的过程。

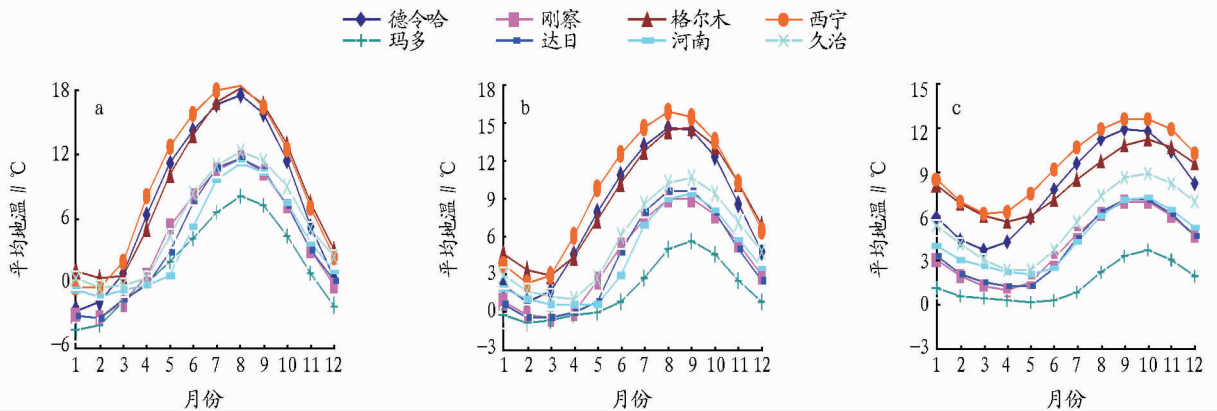


图1 1981~2010年青海各站0.8 m(a)、1.6 m(b)和3.2 m(c)月平均地温年内变化

2.2 深层地温的长期变化趋势

2.2.1 不同地层年平均地温的变化。分析青海8站0.8、1.6、3.2 m年平均地温的气候倾向率(表1)发现,大部分站点各地层均表现为不同程度的上升趋势,均以玛多升幅最大,在0.62~0.69℃/10a($P < 0.01$),特别是近20年位于青南地区的玛多、达日、河南、久治各层以0.69~0.82℃/10a($P < 0.01$)的增温速率上升。0.8、1.6、3.2 m均有3站通过了极显著性检验($P < 0.01$),3站通过了显著性检验($P < 0.05$);其余站变化趋势不明显。

2.2.2 不同地层季平均地温的变化。

2.2.2.1 0.8 m地温。由表1可见,近30年青海0.8 m地温夏季全部呈升温趋势,玛多增幅最大,为1.33℃/10a;春季、秋季、冬季大部分站呈升温趋势,春季德令哈增幅最大,为0.99℃/10a($P < 0.01$);秋季刚察、玛多以0.59℃/10a的速率升温;冬季大部分站呈上升趋势,刚察升幅达最大,为0.38℃/10a。春季有2站,夏季、秋季有1站达到极显著性检验;春季、秋季、冬季有2站,夏季4站达到显著性检验,其余各站变化不明显。

2.2.2.2 1.6 m地温。由表1可见,近30年青海各站1.6 m夏季、秋季均呈升温趋势,玛多增幅最大,分别为1.46、0.86℃/10a;春季、冬季大部分站呈上升趋势,春季德令哈增幅最大,为0.78℃/10a;冬季刚察升幅达最大,为0.58℃/10a。四季各有1站达到极显著性检验;春季有5站,夏季、秋季、

冬季均有4站达到显著性检验。

2.2.2.3 3.2 m地温。表1显示,近30年青海各站3.2 m地温春、夏、冬季绝大部分站表现为上升趋势,秋季各站全部呈升高趋势。春季、冬季增幅最大的刚察分别为0.54、0.65℃/10a,夏季、秋季均以玛多升幅最大,升幅分别为0.88、0.96℃/10a;春季有4站,夏季、冬季有3站,秋季有2站达到极显著性检验;春季、夏季有2站,冬季有1站、秋季有3站达到显著性检验。

根据季平均地温的变化趋势分析,发现大部分站四季深层地温呈升高趋势,各地层夏季升幅最大,冬季最小,值得注意的是格尔木、玛多冬季0.8 m深度地温呈较显著的降低趋势,原因有待分析;夏季、秋季以玛多升幅为最大,德令哈以春季升温最明显,刚察以冬季升温幅度最突出。

2.3 深层地温的年代际变化特点 由图2可见,近30年青海各层年平均地温大部站点呈逐年代升高趋势,3个地层年平均地温距平最高值出现在21世纪以来;最低值出现在20世纪80年代。80年代各层最高值均出现在格尔木站,21世纪以来各层均以玛多最高。各地层20世纪80年代各站均为负距平,90年代距平有正有负,21世纪以来均为正距平;21世纪以来与80年代比较,各站升幅0.8 m在0~1.3℃、1.6 m在0~1.4℃、3.2 m在0~1.2℃,玛多升幅最大,格尔木最小。

表 1 1981~2010 年青海年、季平均地温的气候倾向率

℃/10a

深度//m	时间	德令哈	刚察	格尔木	西宁	玛多	达日	河南	久治
0.8	春季	0.99**	0.31	0.05	-0.33	0.65**	0.25	0.33*	0.56*
	夏季	0.62	0.78**	0.39	0.58*	1.33*	0.42	0.95*	0.75*
	秋季	0.47	0.59**	0.10	-0.24	0.59*	0.36	0.41*	0.37
	冬季	0.25	0.38*	-0.24	-0.73*	-0.49	0.34	0.18	0.08
	全年	0.61*	0.51**	0.10	-0.14	0.62**	0.34*	0.50*	0.47**
1.6	春季	0.78*	0.38*	0.07	-0.16	0.14*	0.33*	0.22*	0.42**
	夏季	0.53	0.39*	0.33	0.23	1.46**	0.46*	0.86*	0.57*
	秋季	0.51*	0.50*	0.12	0.02	0.86**	0.41*	0.42*	0.27
	冬季	0.36*	0.58**	-0.20*	-0.36	0.01	0.27*	0.23*	0.06
	全年	0.56*	0.48**	0.09	-0.15	0.69**	0.38*	0.45**	0.36*
3.2	春季	0.53*	0.54**	-0.07	-0.41*	0.18**	0.13	0.32**	0.45**
	夏季	0.62*	0.31	0.11	-0.13	0.88**	0.40*	0.65**	0.66**
	秋季	0.59*	0.42*	0.16	0.16	0.96**	0.35*	0.53**	0.11
	冬季	0.47*	0.65**	0	-0.07	0.42**	0.14	0.43**	0.05
	全年	0.56*	0.46**	0.05	-0.12	0.63**	0.27*	0.50**	0.34*

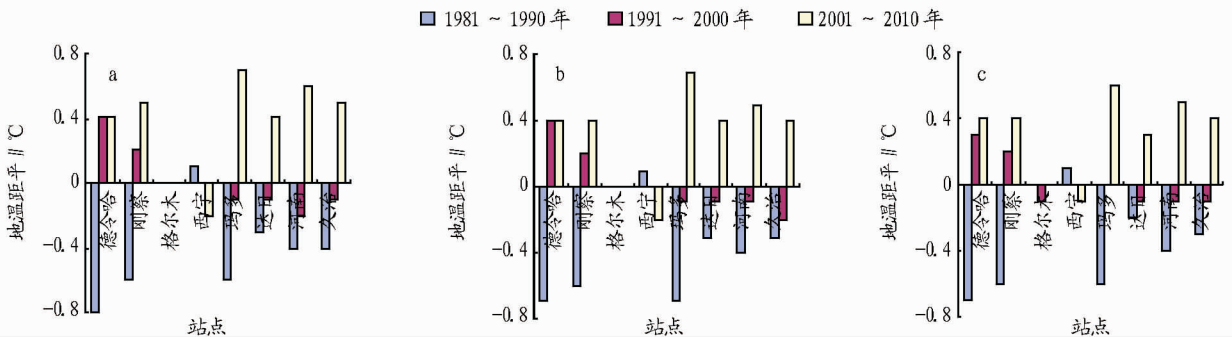
注: *、** 分别表示 $P < 0.05$ 、 $P < 0.01$ 。

图 2 1981~2010 年青海各站 0.8 m(a)、1.6 m(b) 和 3.2 m(c) 地层年平均地温的年代际变化

分析青海各站 0.8~3.2 m 地层年平均地温的变化发现,有 7 站地温显著升高。由青海省玛多和西宁 2 个代表站年平均地温的变化(图 3)可见,玛多升温幅度达 0.64℃/10a,西宁站年平均地温的变化呈下降趋势,近 20 年(1991~2010 年)德令哈升温幅度更明显,为 0.74℃/10a。

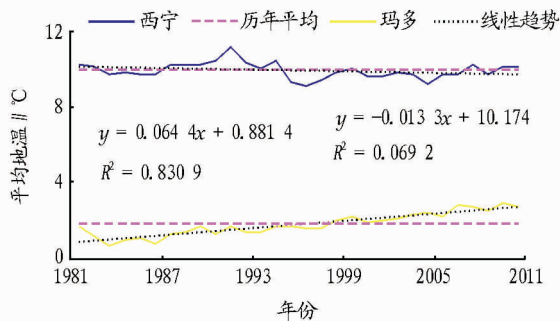


图 3 1981~2010 年青海代表站玛多、西宁深层地温年平均变化

2.4 深层地温变化的突变特征

2.4.1 年际突变特点。根据累积距平和信噪比等方法计算青海 1981~2010 年 8 站 0.8、1.6、3.2 m 深层地温气候突变年份,经检验有 5 站发生了突变,且 3 个地层均有 4 站发生了突变。大部站点各层均在 20 世纪 90 年代发生了突变,德令哈 0.8、1.6 m 地层突变出现在 1993 年,3.2 m 出现在 1989 年;刚察 3 个地层突变发生在 1990 年;玛多 3 个地层以及久

治 0.8、3.2 m 在 1997 年发生了突变;达日 1.6 m 层突变出现在 1998 年(表 2)。年际突变表明了青海各地层升温的趋势是十分显著的,从地域分布来看,地处柴达木盆地的德令哈、环青海湖地区的刚察各深层地温的突变明显早于位于青南的玛多、达日和久治。可见,青海不同地层深层地温年际突变时间绝大部分站点均发生在 20 世纪 90 年代中后期,而青藏高原年平均气温此时也发生了气候突变^[12],各站不同地层深层地温发生了一个由相对偏冷期跃变为相对偏暖期的气候突变现象。

表 2 1981~2010 年青海各站不同地层年平均地温的突变年份

深度//m	德令哈	刚察	玛多	达日	久治
0.8 m	1993	1990	1997	-	1997
1.6 m	1993	1990	1997	1998	-
3.2 m	1989	1990	1997	-	1997

注:“-”表示未出现突变。

2.4.2 季节突变特点。根据累积距平和信噪比等方法计算得到德令哈、刚察、格尔木、玛多等 8 站 0.8、1.6、3.2 m 深层地温不同季节的气候突变年份(表 3),经检验有 7 站发生了突变,近 30 年春季德令哈 3.2 m 突变年份出现在 1987 年,1.6 m 出现在 1991 年,0.8 m 出现在 1993 年;刚察、玛多 3.2 m,玛多、久治 0.8 m,河南、久治 1.6 m 突变出现在 1997 年;达日 1.6 m、久治 3.2 m 在 1998 年发生了突变。夏季格尔木

0.8、1.6 m 在 1986 年发生了突变;德令哈 1987 年 3.2 m 发生了突变,0.8、1.6 m 在 1989 年出现了突变;玛多、久治 1997 年 3 个地层发生了突变。秋季格尔木 1.6、3.2 m 在 1986 年,德令哈 3.2 m 在 1989 年发生了突变;刚察 3 个地层 1993 年,玛多 1.6、3.2 m 在 1997 年也发生了突变。冬季久治 0.8 m 在 1986 年,德令哈 1.6、3.2 m 在 1993 年发生突变;刚察 1.6、3.2 m 以及玛多 3.2 m 突变出现在 1997 年;达日 1.6 m 在 1998 年发生了突变。西宁深层地温四季没有发生突变现象。青海大部分站在四季均发生了突变现象,突变年份四季均出现在 20 世纪 80 年代中期和 90 年代中后期。由此可见,青海不同季节深层地温突变时间绝大部站点均发生在 20 世纪 90 年代中后期,各站不同季节深层地温发生了一个由相对偏冷期跃变为相对偏暖期的气候突变现象。

表 3 1981~2010 年青海各站不同季节年平均地温的突变年份

季节	深度//m	德令哈	刚察	格尔木	玛多	达日	河南	久治
春季	0.8	1993	-	-	1997	-	-	1997
	1.6	1991	-	-	-	1998	1997	1997
	3.2	1987	1997	-	1997	-	-	1998
夏季	0.8	1989	-	1986	1997	-	-	1997
	1.6	1989	-	1986	1997	-	-	1997
	3.2	1987	-	-	1997	-	-	1997
秋季	0.8	-	1993	-	-	-	-	-
	1.6	-	1993	1986	1997	-	-	-
	3.2	1989	1993	1986	1997	-	-	-
冬季	0.8	-	-	-	-	-	-	1986
	1.6	1993	1997	-	-	1998	-	-
	3.2	1993	1997	-	1997	-	-	-

注:“-”表示未出现突变。

2.5 深层地温与气温、降水、冻土深度的关系

2.5.1 深层地温与气温的关系。近 30 年青海年平均气温总体呈上升趋势,气候倾向率在 $0.17 \sim 0.69 \text{ } ^\circ\text{C}/10\text{a}$ (有 6 站 $P < 0.05$),格尔木升温幅度最大,在 20 世纪 80 年代中期以

后各站点气温开始上升,一直持续到 2010 年。与同时期平均气温的增温幅度比较,绝大多数站深层地温的增幅明显偏小。近 30 年来 8 站 0.8、1.6、3.2 m 深层地温与同期年平均气温的相关分析表明(表 4),气温与深层地温呈明显的正相关,除格尔木以外,其余各站均通过了显著性检验水平,说明气温对深层地温的影响作用明显,深层地温受气温升高的影响也呈升高趋势。此外,有 6 站随着深度的增加气温与地温的相关性也在降低。

表 4 各地层年平均地温与气温的相关系数

深度 m	德令哈	刚察	格尔木	西宁	玛多	达日	河南	久治
0.8	0.866	0.878	0.353	0.639	0.854	0.814	0.919	0.862
1.6	0.804	0.823	0.391	0.616	0.793	0.803	0.897	0.810
3.2	0.714	0.811	0.405	0.610	0.783	0.686	0.894	0.836

2.5.2 深层地温与降水的关系。青海省属典型的高原大陆性气候,气候相当干燥,暖湿气流很难到达,一年四季降水量均很小,年降水量在 $50.0 \sim 450.0 \text{ mm}$,集中于 5~9 月份,从东南向西北递减,且降水多夜雨。分析 1981~2010 年青海历年降水量变化发现,20 世纪 80 年代以来有 6 站降水量呈增加趋势,8 站降水量变化值在 $-32.38 \sim 30.69 \text{ mm}/10\text{a}$,西宁降水量增加最明显,久治降水量减少最显著。对年降水量与深层年平均地温相关性的分析表明(表 5),刚察、西宁 3 个地层以及河南 1.6 和 3.2 m 深层地温与降水量均表现为负相关,其他各站不同层次均表现为正相关,但相关性均不明显,均未通过显著性检验,表明青海降水量对深层地温影响不太显著;而格尔木、玛多、达日、久治 4 站各地层年平均地温与降水似乎表现为较明显的正相关,这主要是与高原降水的天气特征有关系,特别是夏季气温越高其降水过程强度越大,降水量增加有关。

表 5 各地层年平均与降水的相关系数

深度//m	德令哈	刚察	格尔木	西宁	玛多	达日	河南	久治
0.8	0.036	-0.008	0.331	-0.202	0.335	0.455	0.014	0.166
1.6	0.107	-0.010	0.368	-0.192	0.330	0.412	-0.081	0.306
3.2	0.220	-0.008	0.416	-0.140	0.310	0.482	-0.041	0.217

2.5.3 深层地温与冻土深度的关系。近 30 年来青藏高原多年冻土区的气候变化总的趋势是向着气温升高的方向发展,气温的变化对多年冻土热状况的扰动主要表现在地温场的变化上。30 多年高原气温升高 $0.45 \text{ } ^\circ\text{C}$ 左右,并引起冻土地温平均升高了 $0.2 \sim 0.3 \text{ } ^\circ\text{C}$ ^[6]。通过对青海 8 个观测站最大冻土深度的气候倾向率分析,近 30 年除西宁站以外其他各站最大冻土深度呈显著的减小趋势,变化值在 $8.92 \sim -29.56 \text{ cm}/10\text{a}$ (有 5 站 $P < 0.05$),刚察减幅最大。青海 1981~2010 年平均冻土深度变化趋势呈显著的减小趋势,为 $9.03 \text{ cm}/10\text{a}$ (图 4)。这说明近 30 年青海高原深层地温呈明显的上升趋势与最大冻土深度呈显著的减小趋势关系密切。

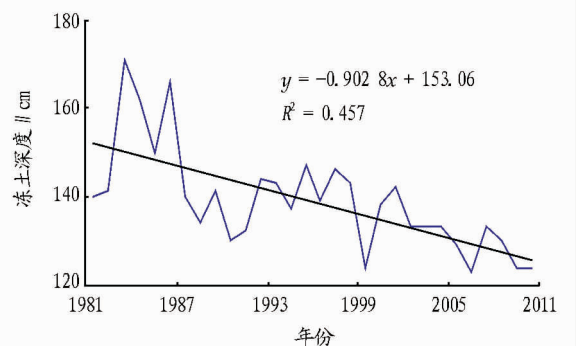


图 4 1981~2010 年青海平均冻土深度变化

的效益费用比为 2.55, 投资回收年限约 4 年, 内部收益率为 37.2%, 净现值为 61 880 万元。受益人口约 29 万人, 人均增收 1 117 元, 高效节水灌溉经济效益明显, 同时具有良好的社会效益和生态效益。因此, 如果财力允许, 加大高效节水灌溉投入力度将会带来显著的经济和社会、生态效益。

参考文献

- [1] 龚时宏, 李久生, 李光永. 喷灌技术发展现状 & 未来发展重点[J]. 中国水利, 2012(2): 74-78.
 [2] 刘鑫, 孔伟丽. 浅析高效节水灌溉方式及其优缺点[J]. 技术与市场, 2012(7): 255.

- [3] 安徽省·淮委水利科学研究所. 利辛县农田水利规划(2011-2020)[Z]. 2011.
 [4] 利辛县人民政府. 利辛县国民经济与社会发展第十二个五年规划纲要[Z]. 2010.
 [5] 曾建军, 李金冰. 利辛县节水灌溉技术的示范与推广[J]. 治淮, 2002(12): 18-20.
 [6] 江建友. 节水灌溉技术方案比较[J]. 科学中国人, 2000(10): 53-54.
 [7] 刘增进. 节水灌溉的工程措施与经济效益分析[J]. 华北水利水电学院学报, 1994(3): 64-68.
 [8] 张俊, 丰波. 利辛县大力发展节水灌溉成效显著[J]. 治淮, 2000(12): 32-33.

(上接第 2156 页)

分析青海 8 站最大冻土深度与深层 0.8、1.6、3.2 m 年平均地温相关性(表 6)发现, 8 站均为负相关, 0.8、1.6、3.2 m 相关系数分别在 -0.842、-0.848、-0.854 以上, 其中年最大冻

土与 0.8 m 年平均地温负相关系数最大, 说明深层地温受冻土深度减小的影响也呈升高趋势。此外随着深度的增加, 大部分站点冻土深度与地温的相关性也在降低。

表 6 各地层年平均地温与冻土深度的相关系数

深度/m	德令哈	刚察	格尔木	西宁	玛多	达日	河南	久治
0.8	-0.829	-0.842	-0.277	-0.499	-0.406	-0.735	-0.752	-0.748
1.6	-0.840	-0.848	-0.291	-0.557	-0.464	-0.794	-0.793	-0.770
3.2	-0.839	-0.854	-0.345	-0.597	-0.439	-0.748	-0.767	-0.793

3 结论与讨论

(1) 近 30 年青海 0.8 m 深层地温年内最高值出现在 8 月, 1.6 m 最高出现在 8、9 月, 3.2 m 最高出现在 9、10 月; 0.8 m 深层地温最低值出现在 1、2 月, 1.6 m 最低值出现在 2、3 月, 3.2 m 最低出现在 3、4 月。随着深度的增加平均地温的年内最高、最低值出现时间基本上推后 1 个月, 年内振幅也趋于减小。春、夏季平均地温变化幅度随深度增加逐步减小, 表明热量由浅层向深层传递, 是积蓄能量的过程; 秋、冬季平均地温变化幅度随深度增加而明显增大, 表明热量由深层向浅层传递, 是释放能量的过程。

(2) 近 30 年青海 0.8、1.6、3.2 m 土层年平均地温均表现为不同程度的上升趋势, 特别是近 20 年位于青南地区的玛多、达日、河南、久治各层以 0.69~0.82 °C/10a 的速率显著升高, 黄河源区的玛多站升幅最大。各地层年平均升温率随着深度的增加而减小。青海绝大部分站点四季深层地温均呈显著升高趋势, 夏季升幅最大, 冬季最小。

(3) 近 30 年青海年、季深层地温突变时间绝大部分站点发生在 20 世纪 90 年代中后期, 各站不同季节和年平均深层地温发生了一个由相对偏冷期跃变为相对偏暖期的气候突变现象。

(4) 近 30 年青海年平均气温与各地层地温均为正相关, 与降水量的相关性不明显, 冻土深度与各地层地温均为负相关。大部分站点随着深度的增加, 气温与地温的相关性在降低; 深层地温受冻土深度减小的影响也呈升高趋势, 此外随着深度的增加, 大部分站点冻土深度与地温的相关性也在

降低。

(5) 青海高原东部的西宁站年、季平均地温表现为明显的降低趋势, 与气温变化趋势相反。主要与 20 世纪 90 年代中期该站点迁址有关, 原站址地势高、地下水位较低, 现址地下水水位较高、土壤较为湿润; 二是由于近 30 年日照时数明显减少、降水量增加, 从而影响土壤热量的传输。而青海其他大部分站点年、季平均地温均呈现显著的升高趋势, 这与同时期平均气温明显增温一致。但与同时期平均气温的增温幅度比较, 绝大多数站深层地温的增幅明显偏小。

参考文献

- [1] 冯秀藻, 陶炳炎. 农业气象原理[M]. 北京: 气象出版社, 1991: 72-150.
 [2] 朱祖祥. 土壤学[M]. 北京: 农业出版社, 1983: 169-189.
 [3] 戴加洗. 青藏高原气候[M]. 北京: 气象出版社, 1990: 142-158.
 [4] 董文杰, 汤懋苍. 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, 1992, 11(6): 115-124.
 [5] 李栋梁, 郭慧, 李跃清, 等. 青藏高原及铁路沿线地表温度变化趋势预测[J]. 高原气象, 2005, 24(5): 687-693.
 [6] 潘卫东, 余绍水, 贾海峰, 等. 青藏铁路沿线地温场变化规律[J]. 冰川冻土, 2002, 24(6): 774-779.
 [7] 吴让, 周秉荣, 李金红. 三江源地区深层地温变化特征分析[J]. 青海科技, 2009(1): 53-56.
 [8] 胡军, 杜军, 边多, 等. 西藏地温的年际和年代际变化[J]. 地理学报, 2007, 62(9): 925-934.
 [9] 汪宝龙, 张明军, 魏军林, 等. 1960-2009 年青海省极端气温事件的变化特征[J]. 中国农业气象, 2012, 33(1): 41-47.
 [10] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 85-89.
 [11] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 50-53.
 [12] 陈成国, 石慧兰, 王桂兰. 1961-2010 年德州市地温变化特征[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(2): 86-89.