

河西走廊干旱区农业气候资源变化特征

郭良才^{1,2}, 岳 虎¹, 王 强¹, 王耀悉²

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省(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. 甘肃省酒泉市气象局, 甘肃 酒泉 735000)

摘 要:以 1960~2005 年河西走廊地区 19 个气象站 46 年的气候资料为基础,运用气候变化倾向率方法对该地区年及春、夏、秋、冬四季的光、热、水等主要农业气候资源要素进行诊断分析,并应用 Mann—Kendall 方法对主要农业气候资源要素的突变性进行了检测和分析。结果表明,近 46 年来,河西走廊区域内的气温呈平缓上升趋势,热量资源比较丰富,特别是平均最低气温增温幅度明显,冬季增温大于春、夏、秋季,但总体增温幅度低于我国平均增温水平,温度等热量资源在 20 世纪 90 年代中期同步发生突变。降水量变化比较平缓,呈略有增加的趋势,且季节性明显,夏季降水增加的贡献最大,与降水有密切关系的蒸发潜力自 60 年代起一直呈上升趋势,并在 90 年代中期发生突变,增速加快,降水蒸发差从 70 年代起呈缓慢下降趋势,不存在突变现象。太阳辐射与日照时数变化趋势一致,总体呈上升趋势,变化倾向率均为正值,从地域分布上看,北部及中部走廊绿洲区数值增加明显。河西走廊区域内总体的农业气候变化以“气温升高,降水略增、日照增加”为主要特点。文章最后简要分析讨论了农业气候资源的变化给河西走廊农业生产带来的主要影响。

关键词:农业气候资源;变化特征;突变;Mann—Kendall 检测

中图分类号: S162.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)03-0014-09

农业气候资源包括太阳辐射量、热量、降水和日照等,具体是指生长期的长短、总热量和降水的多少及其在年内和年际间的分配与变化。农业气候资源要素的质量及其年内变化特点,其数量的多寡及其配合情况的不同,形成了各种各样的农业气候资源类型,这些农业气候资源类型在一定程度上决定了农业生产的结构和布局,作物种类和品种,种植方式,栽培管理措施,耕作制度等,这些最终将影响农业产量的高低及其产品质量的优劣^[1,2]。农业气候资源年际变化受气候年际变化的影响,不同年份的热量、水分、光能资源有明显的差异。近年来,全球气候变暖的话题讨论得很热烈,全球变暖已是不争的事实,在最近 100 年,全球平均气温升高了 0.3~0.6℃,特别是 20 世纪 80 年代以来,增温更为迅速^[3]。位于中国西部甘肃省的河西走廊是一条东西长达 1 000 余千米,南北宽仅百余千米的狭长地带,地势自东向西,由南向北倾斜,这里属于典型的干旱气候区,农业气候资源的特点表现为太阳辐射强、日照丰富、气温高、降水稀少、蒸发量大及气温日较差大。南部祁连山源源不断的雪水给这片沃土增添了生命的活力,使千里绿洲生产出许多全国知名

的名优瓜果,并逐渐发展成为著名的作物育种和啤酒花培育生产基地。许多研究结果表明我国乃至西部及甘肃省的气候变化已经对农业生产及农业气候产生了影响^[4~11]。那么在全球增暖的大背景下,河西走廊的农业气候资源如何变化,农业气候是否存在突变现象?籍于此目的,本文利用线性气候倾向率和 Mann—Kendall 检验方法,对河西走廊区域内年和春季(3~5 月)、夏季(6~8 月)、秋季(9~11 月)、冬季(12~2 月)的光能、热量、水分等主要农业气候资源要素进行诊断分析,主要讨论其变化趋势、阶段性和突变性等变化特征,得到了一些有意义的结论。

1 资料来源与分析方法

分析资料为河西走廊区域内 19 个气象站 46 年(1960~2005 年)的逐日实测气候资料。农业气候资源变化趋势分析采用线性气候倾向率方法,农业气候资源的突变性检测使用 Mann—Kendall 方法进行。线性气候倾向率法, Mann—Kendall 检测方法原理介绍的文献比较多,本文不做赘述。

收稿日期:2007-10-08
基金项目:国家科技攻关计划重大项目“祁连山空中云水资源开发利用研究”(2004BA901A16);甘肃省气象局气象科研项目“航天气象要素精细化预报服务系统”(2007-17)
作者简介:郭良才(1962-),男,甘肃通渭人,工程师,主要从事天气气候和城市生态环境预测工作。E-mail:jggle@163.com.

2 光能资源变化特征

太阳光能是主要的农业气候资源和最基本的气候因素,是绿色植物进行光合作用的能量源泉,也是热量的主要来源,没有太阳的光和热,就不会有地球上的生命,也就不会有农业。太阳辐射一方面是形成一定的气候生态环境的重要因素,另一方面与包括农业作物在内的植物的生活有多方面的直接关系,在植物体总干物质中,有 90%~95%是通过光合作用合成的,只有 5%~10%来自根部吸收的养分。因此,太阳光能的多少与农作物产量和品质关系极大。

2.1 太阳辐射变化

利用左大康和翁笃鸣的月值和年值的全国通用公式^[12]计算河西走廊太阳总辐射,其月值的地域分布差异较小,但随季节变化较大。就月份变化而言,以 5 月和 6 月总辐射量最多,7 月和 8 月次之,4 月、9 月和 10 月也比较多,其次是 3 月、1 月和 12 月,2 月总辐射量为最少。在季节变化上,总辐射量由多

到少的顺序依次为夏季、春季、秋季和冬季。河西走廊各月及年的太阳总辐射量地域分布特征基本一致,大致上是由南向北、自东向西增加。位于巴丹吉林沙漠南缘的地域为总辐射量高值区,主要原因是由于这一地区干旱少雨,云量少而大气透明度高;次高值出现在走廊绿洲区;低值出现在走廊区域内的山区,主要是因为这些地区植被覆盖相对较好,地形地势复杂,降水相对频繁,阴雨天数较多致使大气透明度降低。

1960~2005 年,河西走廊区域内年太阳辐射量总体呈上升趋势变化,线性倾向率为 $0.03 \times 10^8 \text{ J}/(\text{m}^2 \cdot 10\text{a})$ 。1965~1970 年为相对偏多期,1971~1977 年及 1981~1985 年为偏少期,1986 年后转为周期性震荡缓慢上升趋势,进入 20 世纪 90 年代中期后年太阳辐射量总体上升加剧。太阳辐射量最多出现在 1997 年,为 $53.33 \times 10^8 \text{ J}/\text{m}^2$,1983 年最少,为 $45.62 \times 10^8 \text{ J}/\text{m}^2$,两者相差 $7.71 \times 10^8 \text{ J}/\text{m}^2$ (图 1)。

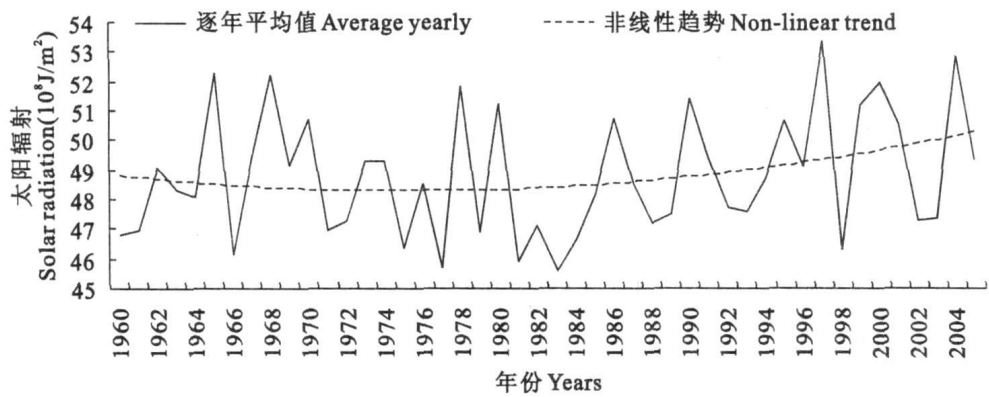


图 1 河西走廊 46 年太阳辐射量逐年变化

Fig. 1 Changing curve of solar radiation in 46 year in Hexi corridor

2.2 日照时数变化

1960~2005 年,河西走廊区域内大部分地区实际日照时数变化趋势与太阳辐射量变化趋势相一致,呈逐渐增加趋势,平均日照时数线性倾向率为 $1.211 \text{ h}/10\text{a}$,46 年间共增加 55.71 h 。从年际变化来看,20 世纪 60 年代河西走廊平均日照时数距平为 14.32 h ,70 年代和 80 年代为负距平,数值分别为 -14.2 h 和 -33.77 h ,进入 90 年代后走廊内平均日照时数距平呈平稳上升趋势,2000~2005 年的距平值达 39.31 h 。从地域分布上看,河西走廊区域内日照时数线性倾向率均为正值,北部及中部走

廊绿洲区日照时数增加明显。

日照时数(h)的年际变化存在明显的季节差异,图 2 给出河西走廊春(3~5 月)、夏(6~8 月)、秋(9~11 月)、冬(12~次年 2 月)四季日照时数逐年变化曲线。可以看出,1960~2005 年春、夏、秋、冬四季日照时数变化趋势与年日照时数变化规律一致,呈上升趋势,但各季变化情况亦不同,春季增加趋势最为明显,增加幅度最大,秋季次之,冬季比较平稳,夏季则呈缓慢下降趋势,春、夏、秋、冬各季的日照线性倾向率分别为 16.42 、 -2.76 、 4.16 、 $-1.04 \text{ h}/10\text{a}$ 。

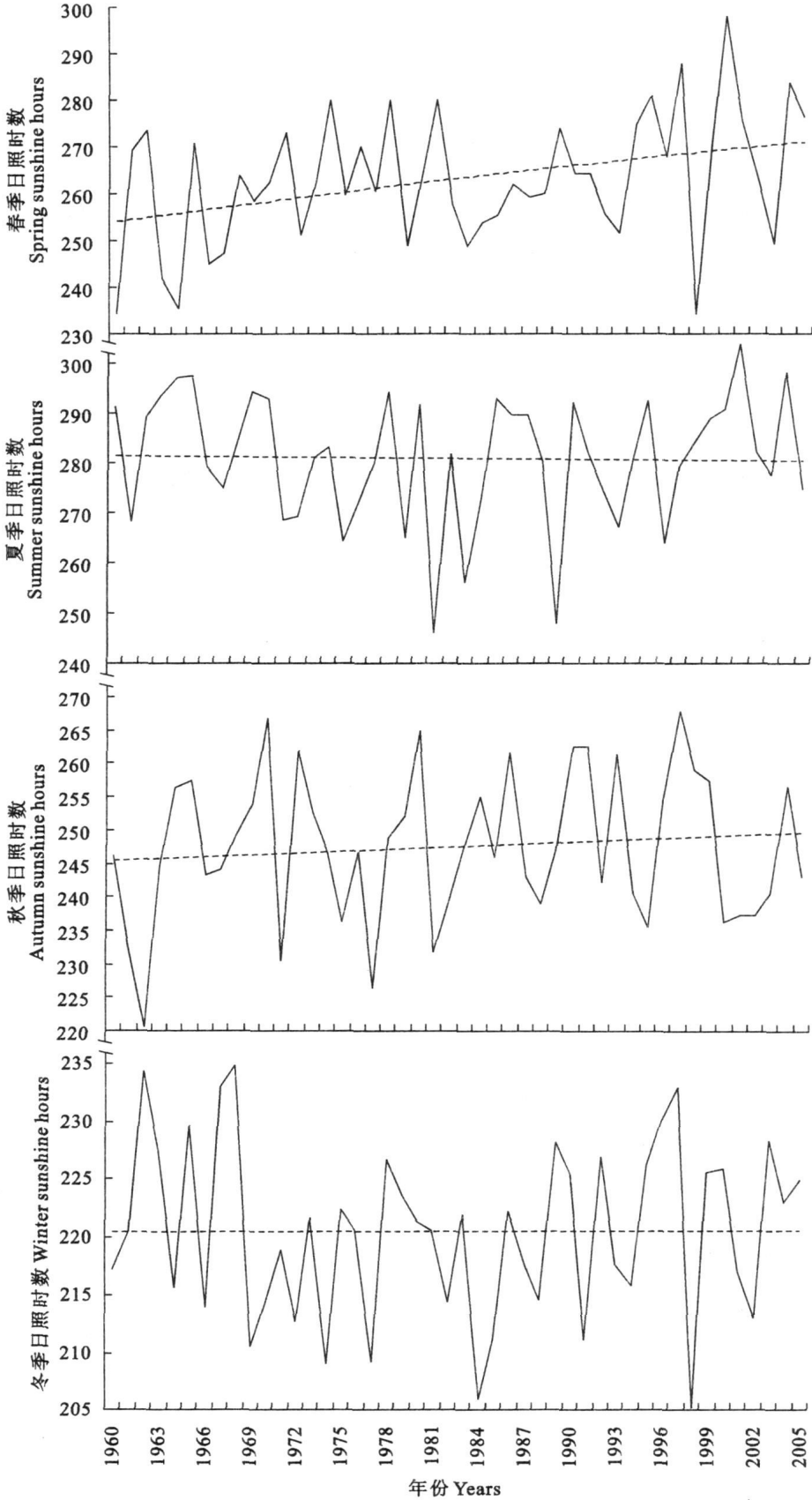


图 2 河西走廊 46 年四季日照时数逐年变化

Fig.2 Annually changing curve of four seasons' sunshine hours in 46 years in Hexi corridor

3 热量资源变化特征

“热量”通常是用气温数值来表示,它是农作物生长必需的环境因子之一,是一种重要的农业气候资源。气温的高低直接影响植物水分和矿物质营养的吸收蒸腾和光合作用,植物的生育过程要求在一一定的温度条件下进行,只有当热量累积到一定数量后,才能完成整个生育过程并获得最终产量。生育期间热量不足或某个生育阶段温度过高或过低,都会给作物带来不利影响,严重的会造成灾害。

3.1 平均气温变化

河西走廊年平均气温为 $-0.03\sim 9.57^{\circ}\text{C}$,近 46 年来区域内各地年平均气温均呈现出明显升高趋势,气候变暖显著。区域内年平均气温 20 世纪 70 年代与 60 年代基本持平,仅相差 -0.05°C ,自 80 年代后所有地区均为正增长,80 年代比 70 年代增幅 0.21°C ;90 年代比 70 年代增幅 0.8°C ;21 世纪前 6 年比 20 世纪 70 年代增幅为 1.2°C ;即进入 20 世纪 90 年代后,河西走廊区域内年平均气温升高明显,与多年平均值相比,区域内年平均气温平均升幅达 0.62°C 。46 年来年平均气温总的增温趋势表现为酒泉和金昌增温幅度最小,为 0.14°C 和 0.15°C ,山丹和武威增温幅度最大,达 0.27°C 和 0.26°C 。四季中冬季平均气温上升明显,90 年代后期冬季平均气温升高幅度最为显著和强烈,其中,马鬃山区增温幅度最小为 0.31°C ,民乐增温幅度最大达 1.50°C ,区域内平均增幅达 0.84°C ;其次是秋季、夏季和春季,分别增幅 0.51 、 0.50 、 0.45°C 。从增温地域分布上看,20 世纪 90 年代以后河西走廊西部、中部和东部地区年平均气温增幅分别为 0.51 、 0.66 和 0.58°C ,尤以中部地区的山丹和民乐增温幅度最大,为 0.92°C 和 0.84°C 。由于增温速率的不均匀,使得西部地区与中东部地区的温度梯度有逐渐增大的趋势。

1960~2005 年,河西走廊年平均气温线性倾向率在 $0.02\sim 0.051^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 之间,气温倾向率随地域的变化规律是东部>中部>西部,呈明显的平均缓慢变暖趋势。

3.2 平均最高气温变化

区域内各地多年平均最高气温为 $5.74\sim 17.99^{\circ}\text{C}$,敦煌和瓜州的平均最高气温分别为 17.99 和 17.45°C ,是河西走廊最热的地区。近 46 年来区域内年平均最高气温整体呈上升趋势,20 世纪 60~80 年代平均最高气温偏低,距平依次为 -0.27 、 -0.36 和 -0.25°C ;90 年代和 21 世纪前 6 年偏高,

距平为 0.48 和 0.68°C 。从平均值看,80 年代前基本在平均值以下徘徊,90 年代后期跳跃到平均值以上,以后一直在此高位上波动,1998 年是近 46 年来平均最高气温的最高年,为 15.51°C ,比平均值高出 1.44°C 。以 80 年代后期为界,可分为冷暖 2 个时段,之前为冷期,之后为暖期。60 和 70 年代偏冷,80 年代以来开始逐渐变暖,特别是 1987 年以后升温明显。年四季平均最高气温均呈上升的趋势,其中增温幅度大小顺序为冬季、春季、夏季和秋季。在 1960~2005 年的 46 年间,河西走廊各地平均最高气温线性倾向率在 $0.02\sim 0.05^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 之间,平均最高气温的平均线性倾向率为 $0.03^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,倾向率随地域的变化规律是西部>中部>东部。

3.3 平均最低气温变化

河西走廊区域内多年平均最低气温为 $-4.47\sim 1.83^{\circ}\text{C}$,位于山区的乌鞘岭平均最低气温为 -4.47°C ,是气候最冷的地区。近 46 年河西走廊年平均最低气温整体呈上升的趋势,其中 60~70 年代偏低,距平为 -0.46 和 -0.34°C ;80 年代呈波动变化,距平为 -0.12°C ;进入 90 年代后持续偏高,平均距平为 0.64°C 。自 80 年代中期以来河西走廊平均最低气温逐渐上升,特别是 1997 年以来急剧上升,1998 年达到 1.62°C ,是有气象记录以来的最高值。四季最低气温平均值均呈上升的趋势,其中增温幅度大小顺序为冬季、春季、秋季和夏季。

年平均最低气温线性倾向率随地域的变化规律:中部是最低气温上升最快的地区,平均倾向率最大为 $0.046^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,东部次之为 $0.036^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,西部为 $0.032^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,平均值为 $0.036^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。

4 水分资源变化特征

4.1 降水量变化

河西走廊常年降水量为 $39.0\sim 395.79\text{ mm}$,最多和最少分别出现在东部的乌鞘岭和西端的敦煌,两者相差 10 倍以上,各地年降水量的分布趋势是自东南向西几乎以等间距递减。单从区域内降水量的数值看,降水对农业气候水分资源的贡献很小,实际状况也表现为走廊内以灌溉农业为主,但南部祁连山的积雪变化与降水量息息相关,即降水量的大小是反映积雪增减的重要因子。

1960~2005 年,河西走廊各地年平均降水量随时间呈缓慢增加趋势,降水线性倾向率为 $0.31\text{ mm}/10\text{a}$,但存在着明显的阶段性变化和地域分布特征。1960~1976 年为降水偏少期;1977~1983 年为波动期;1984~1991 年为偏少期;1992~1996 年为

偏多期;1997~2005 年为平稳缓增期。降水年际间变化较大,其中,1979 年为历年降水最多年份,走廊内平均降水量为 189.84 mm;1962 年降水最少为 74.36 mm,两者相差 115.48 mm。年降水量的季节分布特点是:降水量的 60%集中在高温、作物需水量最大的夏季,而且愈向少雨的西部,这种集中的趋势愈加突出。其中降水量的空间分布上也有变化,表现在走廊东部的乌鞘岭、永昌和山丹地区降水量增加趋势相对明显,降水线性倾向率为 1.43~0.54 mm/10a,其它大部分地区在 0.34~0.13 mm/10a 之间,但马鬃山、金塔和酒泉的降水倾向率为负值,降水量呈减少趋势。年降水总量的缓增主要来自于夏季降水量增加的贡献,其降水线性倾向率为 0.19 mm/10a。

4.2 降水变率变化

干旱的河西走廊降水量的年际间变化较小,各地年降水平均相对变率为 4%~28%。降水相对变率最大值出现在走廊最西端的敦煌(28%),最小值在河西走廊最东端的乌鞘岭(4%)。降水相对变率较大的地方主要在酒泉市所属的瓜州、敦煌盆地及北部的马鬃山区,值域在 13%~28%之间,这些地区年降水量极少,降水量稳定性较差。降水相对变率较小的区域主要在乌鞘岭及周边地区,值域在 4%~10%之间,相对降水量稳定性较好。就季节而言,降水变率由大到小的顺序为秋季、冬季、春季和夏季。

4.3 蒸发潜力变化

蒸发潜力又称最大可能蒸发量,是指下垫面足够湿润条件下,水分保持充分供应的蒸发量。在下垫面实际蒸发计算中往往利用蒸发潜力这一数值,同时它也常用于气候区划中的干湿系数,水分盈亏量(灌溉定额)等气候指标计算中。一个地区的最大可能蒸发量表示了该地区蒸发能力的大小,我国最大可能蒸发量的季节分布和地区分布,主要取决于该地该时的湿润状况和热力状况。这里应用 Penman-Monteith 方法^[12]计算蒸发潜力,得出河西走廊区域内年平均蒸发潜力为 967.89 mm,各地值域在 814.071~1 060.91 mm,相差 860.98 mm。其中东部及中部地区的乌鞘岭、永昌、张掖和高台在 1 000 mm 以下,西部地区的敦煌和瓜州大于 1 300 mm,其余地区为 1 150 mm 左右。四季中夏季蒸发潜力最大,冬季最小,春季大于秋季。全年蒸发潜力的月变化呈单峰型,7 月份达到最大,12 月和 1 月最小。

4.4 水分盈亏变化

自然降水是水资源补充的最主要来源,但降水量的多少并不能完全反映某地区水分条件的好坏。降水量与蒸发潜力之差即水分盈亏量,是反映地区旱涝的重要指标之一,当某地降水量大于蒸发潜力时,表示该地降水除满足蒸发所需水量外还有盈余,反之亦然,当降水量正好等于蒸发潜力时,表示该地区的降水量与蒸发力相当,该地区的水分收支达到平衡。计算表明,河西走廊区域内年平均降水蒸发差为-844.19 mm,春季、夏季、秋季和冬季降水蒸发差分别为-1 249.51、-1 788.95、-898.52 和 -289.0 mm。可见河西走廊区域内水分为整体亏缺,其中夏季是河西走廊水分亏缺最为严重的季节。

5 农业气候资源突变性分析

气候突变是普遍存在于气候系统中的一个重要现象,它表现为气候在时空上从一个统计特征到另一个统计特征的急剧变化,河西走廊区域内总体的气候变化存在以“气温升高,降水略增、日照增加”为主要特点的变化趋势,这种趋势有着明显的季节性和地域性差异,但是农业气候的变化是否也存在突变现象呢?目前对农业气候资源进行突变性检测分析工作的报道不是很多,张定全^[13]等人利用小波分析方法,对黄土高原春季气温的变化特征进行了分析,结果表明:黄土高原春季气温变化出现 3 个特征区域,即 1991~1992 年发生突变,突变后气温突然转暖;上世纪 80 年代中期最冷;90 年代后期最暖。王菱^[14]等人对中国北方地区 50 年来最高和最低气温的变化进行突变性检验,发现年平均最高气温变化的突变点发生于 1992 年,年平均最低气温变化的突变点发生于 1981 年。龚道溢^[15]、丁一汇^[16]和郭良才^[17]等人对全球气候变化、天气和气候极端事件及甘肃省的气候变化规律进行了分析研究,得出了一些重要的结论。本文应用 Mann-Kendall 突变检测方法,寻找河西走廊区域内农业气候“转型”开始的时间,并进行分析讨论。

由图 3 中的 UF 曲线分析得出,20 世纪 70 年代为一个降温时段,从 80 年代开始,河西走廊区域内年平均气温呈上升的趋势,特别是在 80 年代后期这种升温倾向十分显著,到 90 年代后期 UF 曲线大大超过 0.05 置信线,表明河西走廊年平均气温在 90 年代后期以后呈显著升温,这种升温阶段集中出现在 80 年代后期。根据 UB 和 UF 曲线交点的位置,可以确定河西走廊区域内 90 年代中后期的增暖是一突变现象,具体是从 1994 年开始的。

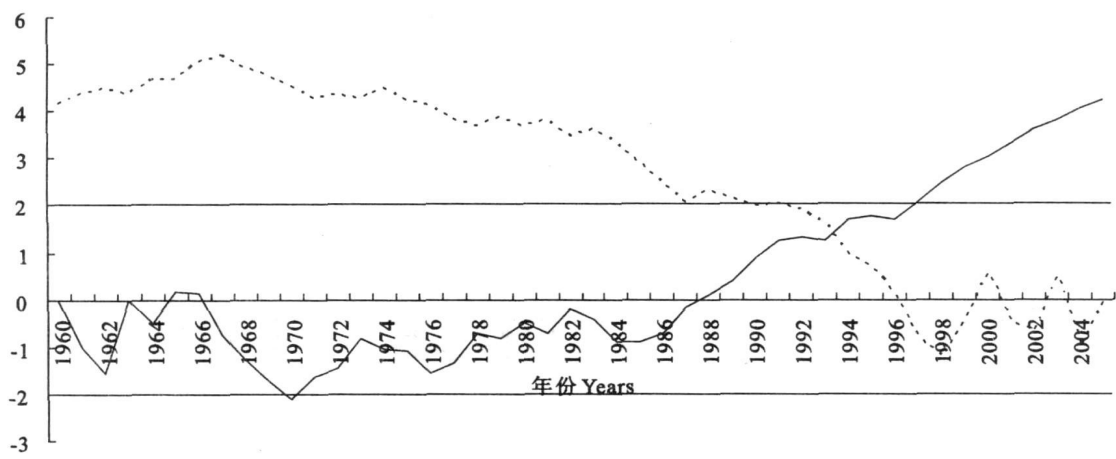


图 3 河西走廊年平均气温的 Mann-Kendall 检验

Fig.3 Mann-Kendall proof-testing curve of annual average temperature in Hexi corridor

注:实线为 UF 线,虚线为 UB 线,两直线为 $\mu_{0.05} = \pm 1.96$ 。 Note: real line for UF, dashed for UB, two lines for $\mu_{0.05} = \pm 1.96$.

图 4 中的 UF 曲线表明,1963~1972 年是降水明显增加阶段,随后有 10 年的稳定期,从 1983 年开始降水不稳定,总体保持相对偏多趋势,但不显著,没有明显的突变点。从气温和降水的 Mann-Kendall 检验曲线来看,自 20 世纪 90 年代以来河西走廊区域内一直保持着强增温弱增湿的气候趋势。这种强增温弱增湿的趋势对河西走廊的农业生产环

境产生了一定影响。热量条件的显著改善,引起无霜期增加,作物生长季延长,部分地区种植结构已经因此而发生变化,例如位于巴丹吉林沙漠南缘的金塔县已经扩大了棉花等喜温作物的种植面积。气候变暖在冬季表现最明显,直接导致影响作物和林木越冬更加容易,农田冻土环境改变,冻土层变薄,土壤水分容易流失。

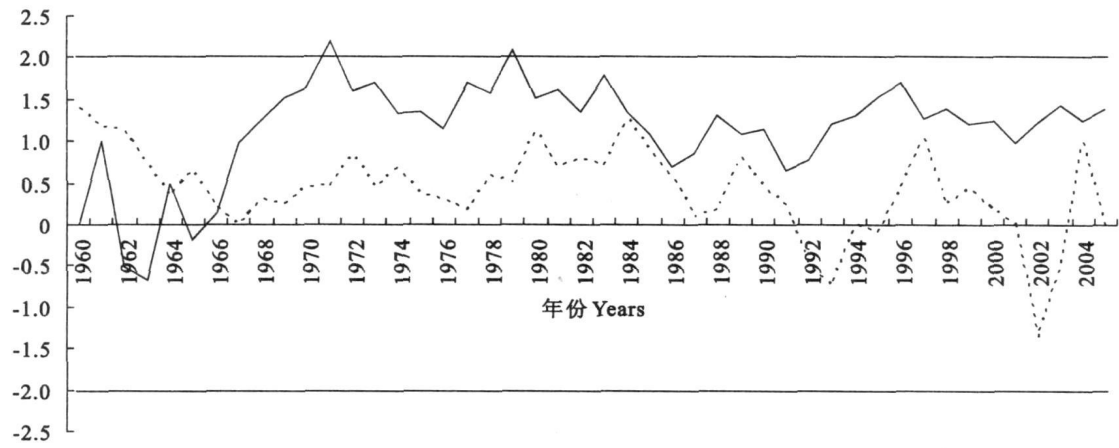


图 4 河西走廊年降水量的 Mann-Kendall 检验

Fig.4 Mann-Kendall proof-testing curve of annual precipitation in Hexi corridor

注:实线为 UF 线,虚线为 UB 线,两直线为 $\mu_{0.05} = \pm 1.96$ 。 Note: real line for UF, dashed for UB, two lines for $\mu_{0.05} = \pm 1.96$.

此外利用 Mann-Kendall 方法还对河西走廊的太阳辐射、日照时数、蒸发潜力及水分盈亏等农业气候要素的突变性进行检测,结果表明:与光照、热量资源相关的农业气候资源的变化也存在明显的突变现象,但各农业气候要素的突变点并不一致(图 5)。最直接受气温变化影响的蒸发潜力发生突变的时间比气温突变的时间滞后 2 年,都是在 90 年代末期。

太阳辐射的突变点与日照时数一致,在 1969 年发生突变,并一直呈下降趋势,到 80 年代中期开始回升,回升一直延续到现在。与降水有密切关系的蒸发潜力从 60 年代开始一直处于缓慢上升期,到 90 年代中期发生突变,上升趋势明显加大,根据 UB 和 UF 曲线交点的位置,可以确定河西走廊区域内 90 年代中期蒸发潜力增大是一突变现象,具体是从 1995 年

开始的。水分盈亏的变化与年平均气温和蒸发潜力变化呈反位相,从图 5 可以看出,从 80 年代开始 UB 线一直呈下降趋势,表明气候变暖对河西走廊地区的水分盈亏的负贡献是相当明显的。

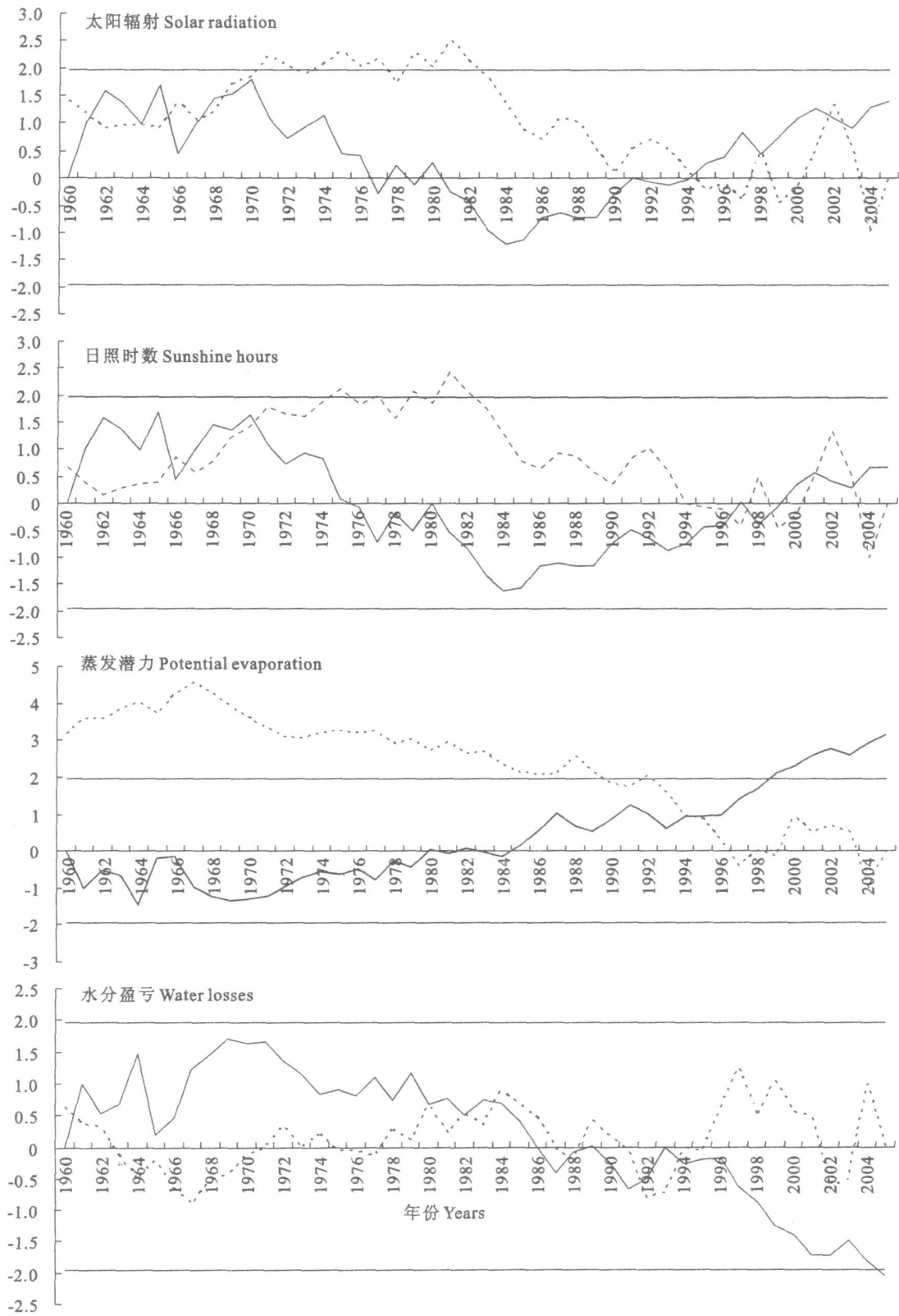


图 5 河西走廊部分气候要素的 Mann-Kendall 检验曲线

Fig. 5 Mann-Kendall proof-testing curve of portion essential factor in Hexi corridor

注:实线为 UF 线,虚线为 UB 线,两直线为 $\mu_{0.05} = \pm 1.96$ 。 Note: real line for UF, dashed for UB, two lines for $\mu_{0.05} = \pm 1.96$.

6 气候变化对农业生产的影响

6.1 正面影响

河西走廊区域内农业热量资源的显著增加,导致无霜期延长,终霜日提前,春季回暖早,升温快,作物在苗期受霜冻袭击的机会减少,初霜日推后,积温量增加,积温保证率有了大幅度提高,作物生长发育所需的热量条件得到更充分的满足,田间作物品种由中早熟向晚熟发展,除南部和东部山区外,都可以播种叶片数在 22 片以上的玉米主栽品种,且喜温的作物(如棉花等)产量和种植面积都有同步增加,同时降水量的逐年稳定维持及少量增加使得灌溉水源较充足,给区域内农作物的生产提供了得天独厚的条件,农产品糖分积累多,品质好,尤其对种子生产更为有利,所产种子籽粒饱满,色泽纯正,发芽势强,耐储藏。根据这些有利气候变化条件,当地政府近年来不断引导农户调整产业结构,由过去单一的种植粮油为主转向以大力发展制种产业和棉花等为主的支柱产业,使制种等新兴产业面积逐年扩大。以区域内中西部地区的酒泉市肃州区为例,2004 年从事制种生产的企业达 14 家,所制品种包括玉米、瓜果、蔬菜、花卉、牧草等十大类五十多种,制种收入达到 1.9 亿元,比上年增加 7 000 万元,出口创汇 450 万美元,增加 120 万美元,全区农民人均纯收入中来自制种产业的部分达到 441 元。

6.2 负面影响

气候变暖,特别是冬季气温偏高,使越冬病虫卵(蛹)死亡率降低,易造成病虫害大面积发生而增大了防治难度。冬季变暖这种变化的最大影响是冬季冻土层厚度变薄,造成植被根系层的土壤水分和养分流失,使土壤结构和成分发生变化。

7 结 论

利用河西走廊 19 个地面气象站的观测资料,对 1960~2005 年以来河西走廊区域内农业气候资源的变化特征进行了分析,并采用 Mann-Kendall 方法对区域内光能、热量、水分等主要农业气候资源要素进行了突变性检测,取得以下主要结论:

1) 近 46 年来,河西走廊总体的农业气候变化存在以“气温升高,降水略增、日照增加”为主要特点的变化趋势,气候演变趋势存在着季节性和地域性差异,且趋势在冬季表现更为明显一些。

2) 河西走廊地区热量资源更加丰富,年和四季平均气温、平均最高气温、平均最低气温都呈现增温趋势,特别是平均最低气温增温尤其显著;冬季增温

比春、夏、秋季都明显,热量资源发生突变的时间是在 20 世纪 90 年代中期。

3) 降水量总体出现略增的趋势,演变并不剧烈,年降水总量的缓增主要来自于夏季降水量增加的贡献;与降水有密切关系的蒸发潜力在 20 世纪 90 年代中期发生突变,呈明显增加趋势;水分盈亏的变化趋势与蒸发潜力呈反相位,但突变现象不明显。

4) 太阳辐射与日照时数变化趋势一致,没有发生突变现象,从 20 世纪 80 年代中期开始一直呈上升趋势,太阳辐射量和日照时数的增加,主要表现在夏季的增多。

5) 河西走廊区域内农业气候资源的变化,对农业生产的正面和负面影响是同时存在的,区域内相关部门正在适应这些变化,并已经通过许多科学技术手段趋利避害。

参 考 文 献:

- [1] 林孝松. 农业气候资源研究进展[J]. 海南师范学院学报(自然科学版), 2003, 16(4): 87-91.
- [2] 于沪宁, 李伟光. 农业气候资源分析和利用[M]. 北京: 气象出版社, 1985.
- [3] 董 杰, 贾学锋. 全球气候变化对中国自然灾害的可能影响[J]. 聊城大学学报, 2004, 17(2): 58-70.
- [4] 王绍武. 近百年全球及中国气候变暖[A]. 气候变化规律及数值模拟研究论文(第三集)[C]. 北京: 气象出版社, 1996. 7-11.
- [5] 田 展, 徐新良, 史 军. 气候变化对甘肃定西、安徽合肥小麦生产影响研究[J]. 地理科学进展, 2006, 25(4): 88-95.
- [6] 刘德祥, 朱炳瑗, 董安祥, 等. 甘肃省 2001 年干旱特征和成因分析[J]. 甘肃气象, 2002, 15(1): 4-7.
- [7] 朱炳瑗, 尹 东, 董安祥, 等. 甘肃省干旱气候变化及其对西部大开发的影响[J]. 气候与环境研究, 2002, 18(3): 57-67.
- [8] 刘德祥, 白虎志, 宁惠芳, 等. 气候变暖对甘肃干旱气象灾害的影响[J]. 冰川冻土, 2006, 28(5): 707-712.
- [9] 刘德祥, 董安祥, 薛万孝, 等. 气候变暖对甘肃农业的影响[J]. 地理科学进展, 2005, 24(2): 49-58.
- [10] 刘德祥, 董安祥, 邓振镛. 中国西北地区气候变暖对农业的影响[J]. 自然资源学报, 2005, 20(1): 119-125.
- [11] 施雅风, 沈永平, 李栋梁, 等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究, 2003, 23(2): 152-164.
- [12] 高国栋, 陆渝蓉. 气候学[M]. 北京: 气象出版社, 1990.
- [13] 张定全, 王毅荣. 中国黄土高原地区春季气温时空特征分析[J]. 高原气象, 2005, 24(6): 898-904.
- [14] 王 菱, 谢贤群, 苏 文, 等. 中国北方地区 50 年来最高和最低气温变化及其影响[J]. 自然资源学报, 2004, 19(3): 337-343.
- [15] 龚道溢, 王绍武. 全球气候变暖研究中的不确定性[J]. 地学前沿, 2002, 9(2): 371-376.
- [16] 丁一汇, 张 锦, 宋亚芳. 天气和气候极端事件的变化及其与全球变暖的联系[J]. 气象, 2002, 28(3): 3-7.
- [17] 郭良才, 王 璘, 白虎志, 等. 河西走廊近 55 年气候变化空间分布特征对比分析[J]. 地球科学进展, 2007, 22(7): 193-197.

Characteristics of agricultural climate resources' changing
in dry area of Hexi corridor

GUO Liang-cai^{1,2}, YUE Hu¹, WANG Qiang¹, WANG Yao-xi²

(1. Key Laboratory of Arid Climatic Changing and Reducing Disaster of Gansu Province, Institute of Arid Meteorology, China Meteorology Administration, Lanzhou 730020, China; 2. Jiuquan Meteorological Bureau, Jiuquan, Gansu 735000, China)

Abstract: According to the climate data observed by 19 weather stations in Hexi corridor from 1960 to 2005, the annual and seasonal agricultural climate resources, including light, heat and water and so on, are di-agnostically analyzed by using the method of climate changing tendency, and the abrupt changes of critically a-gricultural resources factors are analyzed by approach of Mann-Kendall. The research reveals that, in recent 46 years, the temperature in Hexi corridor rose smoothly thereby abundant heat resources, especially average mini-mum temperature rose obviously; the increasing amplitude of winter is larger than that of other seasons; howev-er, the gross increasing amplitude is lower than the average level of whole China; the heat resources abruptly changed in 1990s'. The amount of precipitation varied gently, while tending to slightly increase and relating ob-viously to seasons—the increase of summer precipitation contributes remarkably. Since 1960s', vaporizing po-tential, close relating to the precipitation, tended to ascend, and abruptly changed to rapidly increase; the dif-ference between precipitation and vaporization decreased slowly since 1970s' without abrupt change. The solar radioactivity and sunshine hours tend identically to increase and their various tendencies are all positive; from as-pects of regional distribution, the number of oasis in north and middle of the corridor increased dramatically. The total agricultural climate changing-characteristics include temperature's rising, precipitation's slightly in-creasing, and sunshine hours' increasing. Finally, the chief influence brought by the change of agricultural cli-mate resources to agricultural production in Hexi corridor is discussed and analyzed.

Keywords: agricultural climate resources; characteristic of changing; abrupt change; Mann—Kendall testing

(上接第 6 页)

The changing trends of drought in the Loess Plateau and
Grey-Markov chain prediction model

ZHANG Jian-xing, MA Xiao-yi, ZHAO Wen-ju, HAO Jing-jing, QU Jin-na

(Key Laboratory for Agricultural Soil and Water Engineering in Arid Area of Education, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: By applying the *Mann-Kendall* test, the changing trends of annual and seasonal climatic drought index were analyzed based on the precipitation data of 21 meteorological observation stations(1957~2001) in the Loess Plateau. The changing trend of hydrological drought and agricultural drought were also analyzed at the same time. The results showed that: There were developing trends of drought for summer, autumn, winter and the whole year, and the drought developing trend of summer and autumn lead to the drought developing trend of the year; Spring has a wetness developing trend. Taking the Weihe River basin for example, it was revealed that the water resources of Loess Plateau were becoming less and less; By analyzing the relationships between climatic drought and hydrological drought, we found climatic drought may be the primary reason leading to the hydrological drought; At the same time, the agricultural drought situation was becoming heavier than before by analyzing the areas influenced by climatic drought in the Loess Plateau, especially in 1990s. The Grey-Markov chain model was established to predict the climatic drought index at last; and the average precision of the predic-tion model was 88.26%.

Keywords: drought; trend; *Mann-Kendall* test; Grey prediction model; *Markov chain*; Loess Plateau